

# 现代工程学

## Modern Engineering



ART AND DESIGN PRESS INC.

(626 810 4480)

119 S Atlantic Blvd, Suite 300D

Monterey Park, CA 91754

Copyright © 2024 by ART AND DESIGN PRESS INC.

Complimentary Copy



## Editorial Board Member

Xiaoli He

Zhejiang Tongfang Engineering Management Consulting Co., Ltd.

Xiaoshi Yan

Chifeng Saige Architectural Planning and Design Co., Ltd.

Jiaming Li

North CMA Technology Co., Ltd.

Xiao Yu

Chongqing Zongheng Engineering Design Co., Ltd.

# 现代工程学

Modern Engineering

第1卷 第8期 2024年10月刊

主管 ART AND DESIGN PRESS INC.

主办 ART AND DESIGN PRESS INC.

编辑 《现代工程学》编辑部

ISSN(O): 2996-6981

ISSN(P): 2996-6973

地址: 119 S Atlantic Blvd, Suite 300D Monterey  
Park, CA 91754

网址: <https://www.artdesignp.com>

## 本刊说明:

凡向本刊所投稿件, 全体作者需签署论文著作权  
转让声明书和论文发表承诺书, 声明、承诺及相关事  
项如下:

- 作者将论文的复制权、发行权、网络传播权、  
翻译权、汇编权、信息网络传播权、改编权等著  
作权在世界范围内免费转让给本刊。
- 论文不侵犯他人著作权和其他权利, 否则作者将  
承担由此产生的全部责任, 并赔偿由此给出版单  
位造成的全部损失。
- 论文署名作者享有该作品的完全著作权, 署名作  
者的身份真实。
- 论文未曾以任何形式公开发表过。
- 作者所投本刊稿件, 本刊编辑部拥有修改权。

# 目录CONTENTS

## 材料工程 | MATERIALS ENGINEERING

- 001 聚脲喷涂施工工序技术措施研究 郭可, 彭程, 马志恒  
Research on Technical Measures for Polyurea Spraying  
Construction Process Guo Ke, Peng Cheng, Ma Zhiheng
- 003 基于强化学习和经验规则的剪力墙智能布置方法 王柳茜, 杨彬  
An Intelligent Layout Method of Shear Wall Based on Reinforcement  
Learning and Empirical Rules Wang Liuxi, Yang Bin
- 006 脱硫塔入口烟道结构优化与流场模拟 徐心怡  
Optimization of the Inlet Flue Structure of the Desulfurization Tower  
and Simulation of the Flow Field Xu Xinyi
- 009 高速公路水泥混凝土路面中掺粉煤灰比例对耐久性的影响研究 郑世勇  
Research on the Influence of Fly Ash Proportion in Expressway Cement  
Concrete Pavement on Durability Zheng Shiyong

## 建筑工程 | ARCHITECTURAL ENGINEERING

- 012 全过程工程造价在建筑经济管理中的作用 韩佳佳  
The Role of Whole Process Engineering Cost in Construction  
Economic Management Han Jiajia
- 015 框架剪力墙结构建筑施工技术的应用策略 肖和平  
Application Strategy of Construction Technology for Frame Shear  
Wall Structure Buildings Xiao Heping
- 018 深基坑支护施工技术 冷棉  
Construction Technology of Deep Foundation Pit Support Leng Mian
- 022 建筑设备智能控制技术——塔式起重机模糊PID防摆系统 陈爽  
Research on Intelligent Control Technology of Construction Equipment  
— Fuzzy PID Anti-Tilt System for Tower Crane Chen Shuang
- 026 装饰装修施工现场安全管理与风险控制 陈晓东  
Safety Management and Risk Control at Decoration and  
Renovation Construction Sites Chen Xiaodong
- 029 复杂地质条件下桩基础施工技术适应性研究 程洪民, 王京丽  
Research on Adaptability of Pile Foundation Construction  
Technology under Complex Geological Conditions Cheng Hongmin, Wang Jingli
- 033 建筑装修施工项目管理分析 仇汐  
Analysis of Project Management for Building Decoration and Construction Qiu Xi
- 036 建筑电气工程监理的质量控制实践与优化策略 房乐文  
Quality Control Practice and Optimization Strategies for Building  
Electrical Engineering Supervision Fang Lewen
- 039 浅析高层建筑工程中的给排水施工技术及质量控制 冯通  
A Brief Analysis of Water Supply and Drainage Construction Technology  
and Quality Control in High-rise Building Projects Feng Tong
- 042 基于数据感知技术的建筑电气安装措施研究 耿叶敏  
Research on Building Electrical Installation Measures Based on  
Data Perception Technology Geng Yemin
- 045 园林设计中的植物选择与景观表达 黄炳钧  
Plant Selection and Landscape Expression in Garden Design Huang Bingjun
- 049 建筑装修工程施工的通病与防治对策探究 黄彦懿  
Research on Common Problems and Prevention Countermeasures in  
Building Decoration Engineering Construction Huang Yanyi

052	建筑机电安装工程中管线综合布置技术的应用 The Application of Pipeline Comprehensive Layout Technology in Building Mechanical and Electrical Installation Engineering	匡小荣 Kuang Xiaorong
055	地下室外墙内侧防水维修技术研究 Research on Waterproofing Repair Technology for the Inner Side of Basement Exterior Walls	李刚 Li Gang
058	住宅建筑装饰装修施工工艺及质量控制要点 Key Points of Construction Techniques and Quality Control for Decoration and Renovation of Residential Buildings	林红 Lin Hong
062	18万方大型LNGC节拍化建造项目管理创新与实践 Innovation and Practice in the Management of 180,000-Square-Meter Large-scale NGC Beat Construction Project	林欣杰 Lin Xinjie
065	招标投标管理中的成本控制策略 Cost Control Strategies in Bidding and Tendering Management	路漫漫 Lu Manman
068	建筑工程监理现场安全风险动态评估方法 Dynamic Assessment Method for On-site safety Risks in Construction Project Supervision	马振兴 Ma Zhenxing
071	无人机与机器人技术在智慧工地中的实践探索 Practical Exploration of Unmanned Aerial Vehicle and Robot Technology in Smart Construction Sites	田业凯 Tian Yekai
074	城市更新改造工程监理关键技术研究 Research on Key Technologies of Urban Renewal and Transformation Project Supervision	王艺 Wang Yi
078	加强建筑工程施工全过程监理的措施分析 Analysis of Measures for Strengthening the Supervision of the Entire Construction Process of Building Projects	吴金波 Wu Jinbo
081	房建工程混凝土施工监理的要点分析 Analysis of Key Points for Concrete Construction Supervision in Housing Construction Projects	杨晓艳 Yang Xiaoyan
084	大疆无人机遥感测绘技术在工程测绘中的应用探究 Research on the Application of DJI Unmanned Aerial Vehicle Remote Sensing Mapping Technology in Engineering Mapping	余尚泽，解睿，张鑫诚，吴浩文，唐磊 Yu Shangze ,Xie Rui,Zhang Xincheng, Wu Haowen,Tang Lei
089	人工智能在建筑工程定额测定中的应用分析 Analysis of the Application of Artificial Intelligence in the Determination of Construction Engineering Quotas	朱威威 Zhu Weiwei
092	公共健康导向下的住区外部公共空间弹性分析 Elasticity Analysis of External Public Space in Residential Areas under the Orientation of Public Health	汪勃 Wang Bo

## 机械工程 | MECHANICAL ENGINEERING

095	智能调车作业训练车的设计与应用研究 Research on the Design and Application of Smart Train Shunting Operation Training Vehicle	吕丹，周宗明，王敬 Lv Dan, Zhou Zongming, Wang Jing
098	高速箱噪声控制与降噪技术研究 Research on Noise Control and Noise Reduction Technology of High-Speed Boxes	陈伟男 Chen Weinan
101	滑动轴承润滑状态对齿轮箱振动及噪声的影响分析 Analysis of the Influence of Lubrication State of Sliding Bearings on Vibration and Noise of Gearboxes	丛睿 Cong Rui
104	机械安全防护装置的设计标准与有效性评价方法 Design Standards and Effectiveness Evaluation Methods of Mechanical Safety Protection Devices	苏尚勇 Su Shangyong
107	人字齿轮与滑动轴承耦合作用下的齿轮箱动态响应研究 Research on Dynamic Response of Gearbox under the Coupling Effect of Herringbone Gears and Sliding Bearings	唐子凯 Tang Zikai
110	机电工程施工中消防弱电系统安装研究 Research on the Installation of Fire Protection Weak Current System in Mechanical and Electrical Engineering Construction	王军 Wang Jun
113	台风灾后塔机拆除动态风险评估与智能控制技术研究 Research on Dynamic Risk Assessment and Intelligent Control Technology of Tower Crane Demolition after Typhoon Disaster	朱鑫龙 Zhu Xinlong

## 信息工程 | INFORMATION ENGINEERING

117	海洋工程项目管理中风险管理的应用策略 Application Strategies of Risk Management in Marine Engineering Project Management	杨锦驹 Yang Jinju
120	连续油管排水采气工艺技术与应用 Analysis and Application of Continuous Tubing Drainage Gas Production Technology	蒋军 Jiang Jun
123	基于多源数据融合的智慧水务设备实时监控与异常预警系统 Real-time Monitoring and Abnormal Warning System for Smart Water Equipment Based on Multi-source Data Fusion	陈圣伟 Chen Shengwei
126	基于2024年度“双随机、一公开”的城市供水行业调查研究——以河北省为例 A Survey on Urban Water Supply Industry Based on "Double Random, One Open" in 2024 — Taking Hebei Province as an Example	李朝阳，段英随，张丹，赵仪瑾 Li Chaoyang, Duan Yingsui, Zhang Dan, Zhao Yijin
129	基于物联网技术的电气设备安装创新技术研究 Research on Innovative Technologies for Electrical Equipment Installation Based on Internet of Things Technology	王佑 Wang You

# 聚脲喷涂施工工序技术措施研究

郭可, 彭程, 马志恒

东甲林集团有限公司, 江苏 南京 210019

DOI:10.61369/ME.2024080017

**摘 要 :** 近年来, 聚脲作为新型的防水防腐材料, 在国内水上游乐设施、自来水厂和污水处理厂等与水相关的行业, 以其性能优良、施工方便、价格合理等优点, 得到广泛应用。作为一种新型材料, 其施工工序虽然有一定的基础, 但由于国内的施工人员技术水平参差不齐, 责任心存在偏差, 管理措施和手段也存在差异, 由此, 造成聚脲喷涂施工质量水平较低, 有的甚至引发严重质量事故, 甚至被铲除重做。鉴于此, 亟需进一步研究聚脲喷涂的各项工序, 改进和完善技术措施, 为促进聚脲喷涂进度快速推进、提高工程质量, 为相关工作提供相关借鉴。

**关 键 词 :** 聚脲喷涂; 施工工序; 工程质量

## Research on Technical Measures for Polyurea Spraying Construction Process

Guo Ke, Peng Cheng, Ma Zhiheng

Dongjialin Group Co., LTD. Nanjing , Jiangsu 210019

**Abstract :** In recent years, polyurea, as a new type of waterproof and anti-corrosion material, has been widely applied in domestic water-related industries such as water amusement facilities, waterworks and sewage treatment plants due to its excellent performance, convenient construction and reasonable price. As a new type of material, although its construction process has a certain foundation, due to the uneven technical level of domestic construction personnel, the deviation of sense of responsibility, and the differences in management measures and means, the quality level of polyurea spraying construction is relatively low. Some even cause serious quality accidents and have to be removed and redone. In view of this, it is urgently necessary to further study the various processes of polyurea spraying, improve and perfect the technical measures, so as to promote the rapid progress of polyurea spraying, enhance the project quality, and provide relevant references for the relevant workers.

**Keywords :** polyurea spraying; construction procedure; engineering quality

### 一、基层面和环境要求

#### (一) 基层面要求

基层面含水率必须满足以下要求: 对于水上乐园人造水道的基层面主要是水泥混凝土, 由于水泥混凝土基层面处于室外, 水分容易侵入混凝土空隙内, 对于聚脲喷涂封底漆来说, 其基层的潮湿度必须小于6%时, 才能施工封底涂层。测量基层面潮湿度的最佳方法是“橡皮垫实验”, 将至少1m×1m的聚乙烯薄膜用胶带粘在混凝土地面上, 在过24小时后拿开薄膜, 通过查看薄膜反面冷凝水的数量, 从而确定混凝土基层内上升潮湿度。

基础地面抗压度必须满足以下要求: 为满足大量施工流动人员和施工机械设备的承重要求, 人造水道混凝土基层抗压强度必须大于25N/mm<sup>2</sup> (3500psi); 同时, 应保证人造水道混凝土厚度在20cm以上, 其表面粗糙度为铁板光0.8 ~ 1.6。

基层表面必须满足以下要求: 基层应当满足表面平台、无凸凹、蜂窝麻面和混凝土疙瘩等基本平整度要求, 通过利用水平检测尺在任意2m<sup>2</sup>范围内对基层表面平整度进行检测, 基层表面的平整度误差应当控制在±2mm; 基层混凝土强度应当至少大于C25以上, 并且应当浇捣牢固、内部结实、表面无明显起砂或起壳等缺陷和质量通病; 在基层混凝土浇筑时, 土建施工单位应当提前采取相应技术措施并采用随捣随抹施工工艺;<sup>[1]</sup>原则上, 基层混

凝土表面不得设置砂浆找平层时, 如果必须设置时找平层时, 应当用标号不低于C25的细石混凝土且厚度不小于4cm的找平层并采用随捣随抹的施工工艺。

#### (二) 环境要求

①在聚脲喷涂施工时, 自然环境温度应控制在5 ~ 40℃之间, 当施工环境温度低于5℃, 则不宜施工或禁止聚脲喷涂施工, 同时, 基层外表面自然环境温度应高于露点温度3℃以上;

②施工环境的相对湿度不能大于85%, 雨天或潮湿度较大的天气下不宜进行聚脲喷涂施工作业;

③自然环境下, 聚脲喷涂时, 风力应小于或等于3级;

④在聚脲喷涂时, 需要尽量避免温差变化过大, 且应当采取围挡等可靠措施, 避免沙尘、杂物、飞虫进入施工作业区域, 同时施工过程中, 需要随时清理脚下以及管道所带进的污染物;

⑤在聚脲喷涂期间, 需要切实避免与其他工种交叉作业, 严格禁止闲人进入施工现场, 以防损坏地面或造成污染。

### 二、施工工序

#### (一) 基层地面处理

在聚脲喷涂之前, 首先需要采用专用打磨机械设备, 将混凝土表面打磨平整, 然后再清除混凝土表面的灰尘、油污、盐析、水

锈、脱膜剂、水泥浮浆等附着物，按照先扫除再清洗的原则进行处理，对于灰尘等可以被水冲洗带走的污渍可直接通过低压水洗的方式祛除；<sup>[2]</sup>对于混凝土表面不溶于水的油污、盐析、水锈、脱膜剂等污渍，可以采用钢丝刷配合洗涤剂、弱碱性溶液等溶剂进行清洗，污渍被清洗干净后，要及时用水对表面进行冲洗干净，同时，也可以有效避免在打磨过程中对混凝土表面造成再次污染。

清洗之后依旧存在表面不平整、有凸出物的基层疏松层，采用手工打磨或机械真空吸尘的方法进行彻底打磨处理，使混凝土表面达到坚实、平整，若有蜂窝、麻面、开裂等缺陷基本消除，对于不能完全消除的质量缺陷则应选用专用修补材料进行修补，以保证经久耐用，同时提高了混凝土表面的平整度，这对水上乐园聚脲涂层的外观和耐久性起关键作用。

## （二）专用底涂施工

水上乐园聚脲专用底涂是喷涂型水上乐园聚脲材料配套的基层处理剂，施工时应预先涂覆在水上乐园人造水道地面上。<sup>[3]</sup>底涂可以起到封闭混凝土表面毛细孔作用，从而能够有效减少表面漆喷涂后的涂层缺陷；同时，聚脲专用基基层处理剂也可以起到增加聚脲涂层与混凝土表面的粘结力的作用。<sup>[4]</sup>在聚脲专用底涂漆和基层处理剂施工前，必须对混凝土基层湿度进行认真的检查，只有当混凝土基层完全干燥后，才能进行聚脲底涂漆施工。只有等到底涂其完全固化后，方可进行下一道工序的施工。

## （三）批补聚脲腻子（依地面磨损情况选择进行）

如果混凝土表面质量状况较好或无特殊要求时，可以直接进行聚脲中涂的喷涂施工；如果混凝土表面存在磨损严重的情况或有特殊要求时，则必须在聚脲中涂的喷涂，批补一道聚脲专用腻子，才能保证聚脲涂层表面平整并增加面层的整体厚度。

采用水上乐园聚脲专用批补腻子对孔洞、蜂巢状结构、缺陷孔进行修补、找平，其中较大缺陷处用聚脲专业砂浆填平、压实，表面干燥后才能刮涂聚脲专用腻子。<sup>[5]</sup>在腻子完全固化后，再用手持电动砂轮机，把腻子表面粗糙面磨平。如果在腻子批补时，由于施工原因造成表面不够平整或者过于光滑等情况时，或者由于施工安排等原因造成批腻子与下道工序施工间隔时间较长，则需要对腻子硬化干燥后表面进行全面砂磨，并用真空吸尘器把表面灰尘吸干净。

## （四）喷涂聚脲涂层

在聚脲涂层施工前，首先需要依照施工面积、方向及区域，配合施工路径选定喷涂设备的放置区域等因素，计算出当天能够消耗的材料使用量，避免重复搬动材料而造成时间浪费。

为了保证聚脲涂层质量，在正式喷涂施工前，可以先在塑料

布或干燥的非工程混凝土表面，进行聚脲涂层的试喷工作，当聚脲涂层试喷的质量符合设计要求后，才能正式开始进行聚脲的喷涂。<sup>[6]</sup>由于专用喷涂设备的喷枪及软管前端没有加热装置，聚脲材料在温度较低时，聚脲的A组和B组材料的混合及雾化效果较差，极易造成表面涂层鼓泡。因此，在每次喷枪开枪时，均需进行相同的试喷测试，只有在涂层性能合格后方可进行工程实体的表面喷涂施工。<sup>[7]</sup>每次喷涂前都应进行试喷，在喷涂过程中，如果喷涂设备当出现故障时，应立即停机，排除故障后也应再次进行试喷校验，合格后再复喷。

在聚脲喷涂时，应当采取先上下再底的作业顺序进行施工；同时按照小面积纵横交叉移动的方法进行喷涂。喷枪的移动速度按每层0.35 ~ 0.50mm的厚度进行。<sup>[8]</sup>每次喷涂宽度应小于1200mm，相邻喷涂层间搭接宽度应大于120mm，喷涂间隔时间具体要求如下表所示，当发生超过规范规定的时间，应先对涂层进行打磨，涂刷聚脲界面处理剂后才能进行复喷，聚脲界面处理剂可以提高已经施工聚脲涂层与复喷聚脲涂层的层间粘结强度，复喷宽度也应大于120mm，使喷涂厚度保持一致。<sup>[9]</sup>非一次性喷涂的相邻基面，采取遮蔽措施进行保护。

## （五）滚涂 / 喷涂聚脲耐面涂

水上乐园聚脲耐面涂材料是用于提高水上乐园聚脲材料涂层表面抗紫外线照射，防止老化、变色，提升聚脲涂层耐磨度，保护聚脲涂层的涂料。<sup>[10]</sup>在面涂施工前，应当按照施工方向、施工面积以及区域，结合面涂的施工路径，选定适当的搅拌区，按面涂材料设计配合比计算面涂各类材料的使用量，将主剂及固化剂充分搅拌后尽快送到施工区域内。

面涂作业时应当采用聚脲面涂的专用滚筒工具，将聚脲面涂材料在中涂表面均匀滚涂一遍，滚涂作业时，要合理规划作业区域，做到连续作业，避免产生不必要的施工缝。已经调配好面涂材料，必须在规定使用时间内滚涂完成。

## 三、小结

聚脲喷涂施工工序是一个非常严谨的工作，施工过程决定了聚脲喷涂的施工质量、耐久性和使用功能的正常发挥。因此，在施工前，一定对技术工人进行专业培训并进行技术交底，施工过程中，严格按照施工工艺、工序进行施工，同时，质量监督人员应当随时随地跟踪施工过程和喷涂质量，发现不符合施工规范之处，随时提出整改意见。

## 参考文献

- [1] 赵朝，孟宗伟. 聚脲喷涂防渗处理施工工艺 [J]. 青海水力发电. 2017-03-01.
- [2] 张鹏，郭志浩，姚娇. 聚脲弹性体在长河坝水电站防渗体系中的应用 [J]. 四川水力发电. 2014-06-01
- [3] 孔祥杰. 砼新型保护剂聚脲材料在公路桥梁中的应用技术研究 [C]. 全国公路养护新材料应用技术大会. 2015-11-19.
- [4] 李红英，王新锋，王逸柳，段文锋. 聚脲用混凝土环氧树脂基基层处理剂的研究 [J]. 新型建筑材料. 2012-01-01.
- [5] 耿进孝，冯哲，师海峰. 多功能防护材料（聚脲）在水利大坝上的应用 [C]. 2014防水堵漏材料及施工技术交流会. 2014-08-15.
- [6] 柳启超，李翔. 聚脲喷涂技术在长河坝廊道裂缝处理中的应用 [J]. 四川水利. 2016-05-01.
- [7] 陈志明，黄伟，刘洋. 聚脲材料在桥梁防水工程中的应用研究 [J]. 桥梁建设. 2018-09-01.
- [8] 王伟. 聚脲喷涂技术在隧道防水工程中的实践 [J]. 地下空间与工程学报. 2020-06-15.
- [9] 刘涛，王刚. 聚脲材料在海洋工程防腐中的应用 [C]. 全国海洋腐蚀与防护技术研讨会. 2019-10-20.
- [10] 周建民. 聚脲弹性体在大型储罐防腐中的应用 [J]. 腐蚀科学与防护技术. 2022-03-01.



# 基于强化学习和经验规则的剪力墙智能布置方法

王柳茜, 杨彬

同济大学土木工程学院, 上海 200092

DOI:10.61369/ME.2024080031

**摘要：** 传统的高层剪力墙结构设计过程中, 存在设计效率低, 设计周期长, 较为依赖工程师主观经验等问题。提出一种融合强化学习与结构设计经验规则的剪力墙智能布置方法。该方法通过读取建筑布置方案构建强化学习模型, 将结构设计经验规则嵌入奖励机制, 实现剪力墙拓扑形态生成与墙体长度优化。通过实际工程算例验证表明, 所提出的高层剪力墙智能布置方法可行, 生成方案与工程师设计相似度较高, 且设计效率较传统方法显著提升, 为高层剪力墙结构智能设计提供了有效技术路径。

**关键词：** 高层剪力墙结构; 智能布置; 强化学习; 经验规则

## An Intelligent Layout Method of Shear Wall Based on Reinforcement Learning and Empirical Rules

Wang Liuxi, Yang Bin

School of Civil Engineering, Tongji University, Shanghai 200092

**Abstract：** In the traditional design process of high-rise shear wall structures, issues such as low design efficiency, long design cycles, and a heavy reliance on engineers' subjective experience have been identified. This paper introduces an intelligent layout method for shear walls that integrates reinforcement learning with structural design experience rules. By constructing a reinforcement learning model based on the building layout plan and embedding structural design experience rules into the reward mechanism, this method generates the topological form of shear walls and optimizes wall lengths. Practical engineering examples demonstrate that the proposed intelligent layout method for high-rise shear walls is feasible, generating schemes that closely resemble those designed by engineers, and significantly improving design efficiency compared to traditional methods. This method provides an effective technical approach for the intelligent design of high-rise shear wall structures.

**Keywords：** high-rise shear wall structure; intelligent layout; reinforcement learning; empirical rules

## 引言

剪力墙结构作为我国高层建筑的核心结构形式, 凭借其优异的侧向刚度、成熟的设计理论及完善的规范体系, 广泛应用于高层住宅建筑中。然而, 传统设计流程高度依赖结构工程师的概念设计能力与经验: 需基于建筑功能约束构建初步方案, 通过结构计算软件反复迭代验证, 并协调各专业需求进行调整。这一过程往往因多轮迭代而耗时耗力, 且受限于各专业协同壁垒, 设计成果常难以兼顾结构经济性与合理性, 暴露出效率低下、周期冗长、主观经验依赖性强等问题。

随着智能建造技术的发展, 结构智能设计已成为突破行业高门槛瓶颈、提升设计效率的有效途径。近年来, 国内外学者针对剪力墙智能设计与优化开展了系列研究, 方法涵盖启发式算法 (如遗传算法、粒子群算法、禁忌搜索算法)、神经网络深度学习算法及强化学习算法等。例如, Zhou 等<sup>[1]</sup>采用改进的遗传算法进行剪力墙的优化设计, 并考虑了结构设计中的先验知识; Lou 等<sup>[2]</sup>提出了一种结合支持向量机的禁忌搜索算法, 以剪力墙自重为优化目标优化高层建筑剪力墙布置。Pablo N.Pizarro<sup>[3]</sup>等使用卷积神经网络 (CNN) 根据已有的建筑工程实例, 对结构墙体的几何和拓扑特征进行了预测。Lu 等<sup>[4]</sup>采用生成对抗网络 (GAN), 结合物理数据驱动剪力墙自动设计。程国忠等<sup>[5]</sup>基于深度强化学习, 以剪力墙材料用量为优化目标, 构建了高层剪力墙结构智能优化方法。

现有研究中, 强化学习在剪力墙布置领域仍处于探索阶段, 且多聚焦于墙体数量或自重等单一经济性目标, 对结构设计经验规则 (如墙体长度合理性、拓扑形态约束、刚度均匀性等) 的综合融入与优化探索不足。本研究以高层剪力墙结构为对象, 提出基于深度强化学习的智能布置方法, 通过将结构设计经验规则转化为约束条件构建强化学习奖励机制, 实现剪力墙拓扑形态生成与墙体长度的协同优化。最后结合实际工程案例进行应用与评价, 验证了该方法的可行性。

作者简介:

王柳茜 (1996.02-), 男, 汉族, 云南红河人, 本科学历, 学士学位, 研究方向: 智能建造;

杨彬 (1979.10-), 男, 汉族, 山东济南人, 博士研究生, 教授, 研究方向: 智能建造。

## 一、剪力墙智能布置方法

本研究技术路线如下图所示，包括：（1）建筑墙体数据提取；（2）剪力墙位置初步确定；（3）强化学习算法设计与训练；（4）剪力墙形态生成。

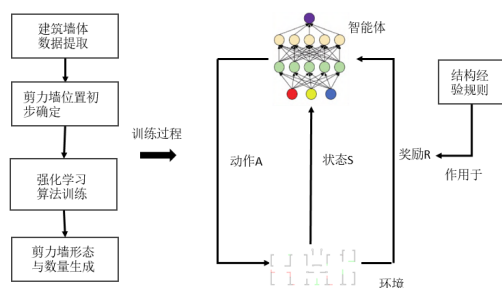


图1：剪力墙智能布置方法流程

### （一）建筑数据提取

剪力墙布置应满足建筑的功能需求，因此，需要基于建筑墙体进行剪力墙的布置。采用基于图层的自动化解析方法处理 CAD 矢量图形文件，通过开发脚本识别构件图层信息，将建筑平面资料转换为二维点线集合。针对剪力墙布置的关键需求，仅提取建筑墙体位置坐标信息，并按 300mm 模数对墙体进行离散化处理，为后续设计提供标准化输入。

### （二）剪力墙位置初步筛选算法

为缩减强化学习状态空间维度，提出基于遗传算法的剪力墙位置智能筛选方法。该方法以建筑交叉墙体为基础生成候选点集，主要流程如下：（1）初始化种群：基于建筑交叉墙体生成候选点集，随机生成初始种群；（2）适应度评估：构建包含空间分布均匀性、候选点数量、离散程度等指标的适应度函数；（3）精英保留：每代保留前 10% 精英个体；（4）选择性变异操作：对种群中适应度较差的个体，改变其中候选点的位置；（5）迭代循环：重复上述适应度评估和变异操作，直到满足设定的迭代次数。

通过该方法，能够从所有建筑墙体的位置初步筛选出一组剪力墙可能生成的位置组合，便于后续的研究。

### （三）强化学习环境设计

#### 1. 状态空间建模

将剪力墙生成环境抽象为离散状态空间，定义为  $S = \{s_1 + s_2 + \dots + s_i\}$ 。

其中  $s_i$  表示第  $i$  个剪力墙的状态。将单个墙体的状态，进一步抽象为点和线段的集合： $s_i = \{points_i, lines_i\}$ 。 $points_i$  代表该墙体所包含的点集， $lines_i$  表示该墙体所包含的线段的坐标信息。

#### 2. 动作空间设计

动作空间表示为  $a = \{a_i | a_i \in [0, 4N]\}$ 。

其中  $N$  表示环境中的单个剪力墙体数量。每个墙体对应 4 种基本动作：水平方向  $\pm 1$  单位步长、垂直方向  $\pm 1$  单位步长（步长取 300mm 模数）。通过剪力墙体在建筑墙空间中的增加和减少，从而改变剪力墙的拓扑形态和墙体长度，以表征所有可能的墙体组合情况。

### （四）融合经验规则的强化学习奖励函数设计

#### 1. 结构设计经验规则

结构设计经验规则是工程师与学者们长期以来对结构设计规

律的高度总结，对保证结构设计的安全合理与经济有着较强的指导作用。提炼出以下几种经验规则：（1）单片墙体长度约束：单片剪力墙墙肢过长其延性会下降，墙肢过短则容易形成短肢剪力墙。《高层建筑混凝土结构技术规程》<sup>[6]</sup> 里规定墙段长度不宜大于 8m，同时需要控制短肢剪力墙占比；（2）墙体拓扑形态约束：优先采用 L 型、T 型等空间抗侧力体系，提高整体性；减少一字型墙体与复杂弯折墙肢；（3）整体刚度分布均匀：剪力墙结构平面布置宜简单、规则，宜沿两个主轴方向或其他方向双向布置，两个方向的侧向刚度不宜相差过大；（4）结构墙体面积合理：参考头部房企统计数据<sup>[7]</sup>，剪力墙投影面积与建筑面积比值控制在经济区间；（5）墙体连通对齐：相邻墙体之间相互对齐连通，有助于形成受力性能较好的联肢墙；同时有助于梁的设置，减少不必要的梁之间的搭接和转换，使传力路径简洁明晰，结构受力合理。

在奖励函数设计过程中，考虑以上经验规则对剪力墙结构状态的合理性进行评判并进行奖励。

#### 2. 奖励函数分层设计

本模型采用稀疏奖励与密集奖励结合的策略。

其中过程奖励  $R_{process}$  组成如下： $R_{process} = R_a + R_b + R_c$

其中， $R_a$  为动作合法性奖励（越界动作赋予较大负奖励）； $R_b$  为形态合理性奖励（不合理形态向合理转换时赋予正奖励）。 $R_c$  为长度合理性奖励（短肢墙或过长墙调整至合理长度时赋予正奖励）。

最终奖励的组成如下： $R_{final} = \alpha_1 R_1 + \alpha_2 R_2 + \alpha_3 R_3 + \alpha_4 R_4 + \alpha_5 R_5$

上式中， $\alpha_1 \sim \alpha_5$  表示经验规则的权重（根据训练效果动态调整）。 $R_1$  表示单片墙体长度合理性的奖励：对墙长不超过限定长度，且并未出现短肢墙的墙体进行奖励； $R_2$  表示单片墙体形态合理性的奖励：根据总状态中 L 型、T 型、Z 型墙体数量给予奖励，根据一字型墙体数量给予惩罚； $R_3$  表示均匀性的奖励：当各个墙体形心之间的距离较为接近，偏差不超过平均距离的 30%，则给予奖励； $R_4$  表示墙体面积合理性的奖励：若剪力墙墙率与经验上最优的剪力墙率偏差不超过 2%，则给予奖励； $R_5$  表示剪力墙连通性的奖励：若相邻墙体之间有对齐的墙肢，则给予奖励。

### （五）强化学习模型训练及剪力墙布置生成

采用强化学习算法中的 Dueling-DQN 算法进行训练。该方法是对传统 DQN 算法的改进，核心在于将网络结构分为价值流（Value Stream）和优势流（Advantage Stream）两部分。通过 Dueling-DQN 的双网络机制稳定训练过程，能够有效处理稀疏奖励的问题，显著提升了算法在剪力墙生成这类动作空间大、奖励稀疏场景下的性能。

训练过程中，每一个训练步包含：（1）环境随机初始化，每片剪力墙置为一种随机状态；（2）智能体按  $\epsilon$  --greedy 原则选择动作；（3）环境接收动作，剪力墙布置的状态发生改变；（4）环境根据状态给出对动作的奖励；（5）重复（2~4）过程直到达到 200 步的最大迭代步数；（6）智能体根据收集到的数据更新神经网络参数。

利用训练好的强化学习模型，执行一个完整的训练过程，即能得到剪力墙智能布置方案。



## 二、工程案例验证与分析

### （一）案例概况与布置成果

以某实际高层住宅案例为例，对所提出的高层剪力墙结构智能设计方法进行验证。本案例为一栋10层楼高的剪力墙结构，层高3.05m，建筑高度30.5m，建筑平面尺寸为18m×30m。项目的抗震设防烈度为8度（0.2g），场地类别Ⅱ类，设计地震分组为第三组。该高层住宅的标准层建筑平面如下图。

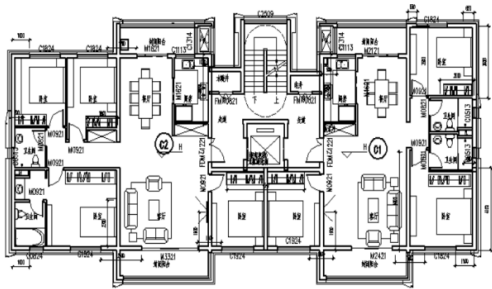


图2：案例的建筑平面图

采用上文提出的剪力墙智能布置方法对该建筑案例进行设计。在上述搭建的环境下，进行了50轮的训练，最终得到剪力墙智能布置方案，算法的训练曲线如下图所示。从图中可以看，随着训练的进行，奖励逐步提升，并在30轮以后趋于平稳，说明该算法收敛性较好。智能设计过程约1h，相较实际项目往往需要几天才能初步确定剪力墙布置方案的情况，大大提升效率。

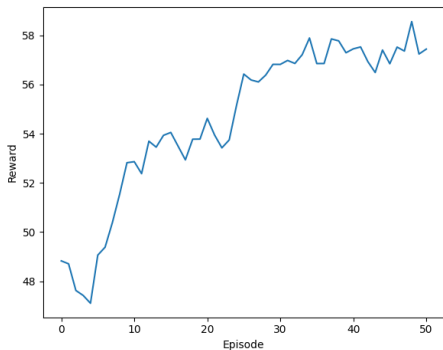


图3 训练曲线

### （二）基于交并比的评价

实际结构工程师的剪力墙布置方案综合考虑了多方因素，是较为合理且能够落地的布置方案。为验证本方法所生成的剪力墙布置方案的合理性，将其与实际工程师设计结果进行对比。

引入了交并比指标  $S_{IOU}$ <sup>[8]</sup> 来评价本方法与工程师设计案例的重合程度。 $S_{IOU} = \frac{A_{inter}}{A_{union}}$ 。其中  $A_{inter}$  表示本方法生成剪力墙与工程师设计剪力墙计算交集并求和得到的交集面积， $A_{union}$  表示本方法与工程师设计的所有剪力墙求并集得到的并集面积。 $S_{IOU}$  得分越高，本方法与工程师设计越接近。下图为采用本研究的智能布置方法与实际工程师设计结果的剪力墙对比结果。本方法设计结果  $S_{IOU}$  交并比指标为0.76，表明两个设计结果相似程度较高，本方法布置结果较为合理，能为实际工程应用提供参考。

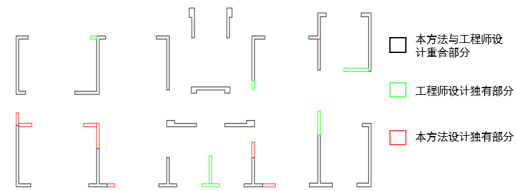


图4：本方法布置结果及与工程师设计结果对比

### （三）基于结构物理性能的评价

以本研究所得剪力墙布置为基础，使用国内泛用的结构计算软件 PKPM，建立结构计算模型。其中墙体荷载按照实际建筑图中墙体布置如实输入，考虑普通楼面恒载  $2\text{kN}/\text{m}^2$ ，楼面活载  $2\text{kN}/\text{m}^2$ ，楼梯间采用0厚度板导荷，恒载  $8\text{kN}/\text{m}^2$ ，活载  $3.5\text{kN}/\text{m}^2$ 。全楼剪力墙混凝土等级采用 C40，全楼上下剪力墙厚度统一不收进。其余结构计算参数与结构工程概况中的信息保持一致。

采用 PKPM 软件计算，主要计算结果如下：结构的最大位移角为  $1/1393$ ，满足规范限值要求  $1/1000$ 。结构位移比、周期比、剪重比、刚重比等指标均满足规范限值要求，证明该结构布置方案具有较好的侧向刚度，无特别不规则的情况，结构安全可靠。

## 三、结论

提出了一种基于强化学习算法的剪力墙智能生成方法，并采用实验验证了该方法生成结果的合理性，具体结论如下：（1）提出的以满足设计经验规则作为强化学习的奖励的强化学习智能布置方法，能够合理有效地完成剪力墙布置任务；（2）实验工程算例表明，本方法算法收敛性较好，且计算时间较之传统设计过程可大为缩短，有助于提高结构设计效率；（3）实验工程算例表明，本方法布置成果与工程师布置成果具有一定的相似性，且结构位移角、周期比等指标满足规范要求，能够对实际工程设计提供一定参考价值；（4）本方法对结构经验规则的考虑难以一应俱全，后续研究可开展考虑更多结构经验规则的方法的研究。

### 参考文献

- [1]Zhou X, Wang L, Liu J, et al. Automated structural design of shear wall structures based on modified genetic algorithm and prior knowledge[J]. Automation in Construction, 2022, 139: 104318.
- [2]Lou H, Gao B, Jin F, et al. Shear wall layout optimization strategy for high-rise buildings based on conceptual design and data-driven tabu search[J]. Computers & Structures, 2021, 250: 106546.
- [3]PIZARRO P N, MASSONE L M, ROJAS F R, et al. Use of convolutional networks in the conceptual structural design of shear wall buildings layout[J]. Engineering Structures, 2021, 239: 112311.
- [4]Lu X, Liao W, Zhang Y, et al. Intelligent structural design of shear wall residence using physics-enhanced generative adversarial networks[J]. Earthquake Engineering & Structural Dynamics, 2022, 51(7): 1657–1676.
- [5]程国忠,周绪红,刘界鹏,等. 基于深度强化学习的高层剪力墙结构智能设计方法[J]. 建筑结构学报, 2022, 43(9): 84–91.
- [6]高层建筑混凝土结构技术规程: JGJ 3-2010[S]. 北京: 中国建筑工业出版社.
- [7]2010 龙湖地产集团总部. 龙湖地产结构设计限额控制指标 [R]. 2014.
- [8]刘元鑫,廖文杰,林元庆,解琳琳,陆新征. 数据特征对剪力墙结构生成式智能设计的影响[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2023, (12): 2005–2018.

# 脱硫塔入口烟道结构优化与流场模拟

徐心怡

江苏江南生态碳科技（集团）股份有限公司，江苏 南京 210000

DOI:10.61369/ME.2024080035

**摘要：** 本文旨在探讨脱硫塔入口烟道的结构优化与流场模拟。通过对烟气成分与特性的深入分析，识别了现有烟道结构中存在的常见问题，并简要介绍了脱硫塔的工作原理。基于流体力学基础和 CFD 原理，选择了适当的模拟软件，并设定了模拟参数与边界条件。在此基础上，提出了烟道结构优化的策略，包括几何参数对流场影响的分析、非均匀入口设计的考虑因素以及内部构件的优化布局。通过模拟分析，揭示了流场的分布特征，对速度与压力分布进行了可视化处理，并深入分析了湍流与流动不稳定性。本研究有望改善烟道内的流场分布，提高脱硫效率，降低能耗。

**关键词：** 脱硫塔；烟道结构优化；流场模拟；湍流分析

## Optimization of the Inlet Flue Structure of the Desulfurization Tower and Simulation of the Flow Field

Xu Xinyi

Jiangsu Jiangnan Ecological Carbon Technology (Group) Co., LTD. Nanjing, Jiangsu 210000

**Abstract：** This paper aims to explore the structural optimization and flow field simulation of the inlet flue of the desulfurization tower. Through in-depth analysis of the composition and characteristics of flue gas, the common problems existing in the current flue structure were identified, and the working principle of the desulfurization tower was briefly introduced. Based on the fundamentals of fluid mechanics and the principles of CFD, the appropriate simulation software was selected, and the simulation parameters and boundary conditions were set. On this basis, the strategies for optimizing the flue structure were proposed, including the analysis of the influence of geometric parameters on the flow field, the considerations for the design of non-uniform injects, and the optimized layout of internal components. Through simulation analysis, the distribution characteristics of the flow field were revealed, the velocity and pressure distributions were visualized, and turbulence and flow instability were analyzed in depth. This study is expected to improve the flow field distribution in the flue, enhance the desulfurization efficiency and reduce energy consumption.

**Keywords：** desulfurization tower; optimization of flue structure; flow field simulation; turbulence analysis

### 一、烟道结构设计基础

#### （一）烟气成分与特性分析

在烟道结构设计基础中，烟气成分与特性分析是至关重要的一步。烟气通常包含硫氧化物、氮氧化物、尘埃粒子以及未完全燃烧的有机物质，如二氧化硫（ $\text{SO}_2$ ）和氮氧化物（ $\text{NO}_x$ ），其含量会因燃料类型和燃烧条件的不同而变化。这些成分不仅对环境有害，还可能对脱硫塔及其附属设备造成腐蚀和磨损。因此，了解烟气的具体成分及其含量，对选择合适的脱硫技术和设计合理的烟道结构至关重要。此外，烟气还具有高温、高压、高湿等特点，这些特性在设计烟道结构时同样需要考虑，以确保烟道能够安全、高效地运行。

#### （二）现有烟道结构的常见问题

在脱硫塔入口烟道结构的设计和应用中，常常会遇到一些常见问题。首先，由于烟气的高温 and 高压特性，烟道材料的选择和结构设计需要特别考虑其耐高温高压的能力。然而，在实际运行

中，部分烟道结构因材料选择不当或设计缺陷，导致烟道受热不均，出现热应力集中和变形等问题，严重影响了烟道的稳定性和使用寿命。<sup>[1]</sup>其次，烟气中的尘埃粒子和腐蚀性物质对烟道内壁的冲刷和腐蚀也是一大问题。长时间的冲刷和腐蚀会导致烟道内壁变薄，甚至可能出现穿孔和泄漏，这不仅会影响脱硫效率，还可能对周边环境造成污染。

此外，烟道结构的尺寸和形状设计也是影响其性能的关键因素。不合理的尺寸和形状设计会导致烟气在烟道内的流动不均匀，出现涡流和死角，从而影响脱硫效果和烟道的通风能力。同时，烟道内的积灰和积垢问题也不容忽视，它们会进一步加剧烟道的堵塞和磨损。因此，针对现有烟道结构的常见问题，进行结构优化和流场模拟显得尤为重要。通过合理的结构设计和流场模拟，可以有效地解决上述问题，提高脱硫塔的运行效率和稳定性。

#### （三）脱硫塔工作原理简述

在脱硫塔工作原理简述中，我们首先要理解其核心目标是去

除烟气中的硫氧化物，以减少环境污染。脱硫塔通常采用湿法脱硫工艺，如石灰石-石膏法，该方法利用浆液中的碱性物质与烟气中的SO<sub>2</sub>发生化学反应，生成可沉淀的硫酸钙，从而实现脱硫。该过程中，烟气首先通过烟道进入脱硫塔的底部，与从塔顶喷淋下来的浆液充分接触。<sup>[2]</sup>在接触过程中，烟气中的SO<sub>2</sub>被浆液吸收并转化为硫酸钙，同时浆液中的水分蒸发，对烟气进行冷却。随后，含有硫酸钙的浆液进入沉淀池，经过沉淀和脱水处理，最终得到石膏副产品，而净化后的烟气则从脱硫塔顶部排出。整个过程高效且环保，是实现烟气脱硫的关键步骤。

## 二、流场模拟理论与工具

### （一）流体力学基础与CFD原理

在进行烟道结构优化时，流体力学基础扮演着至关重要的角色。CFD（计算流体动力学）是这一领域的核心工具，它利用纳维-斯托克斯方程等基本原理，对复杂流场进行数值模拟，以预测和分析流体流动、传热以及化学反应等现象。例如，通过CFD可以研究烟气在烟道中的速度分布，理解烟气中的颗粒物如何受到流场影响，从而避免因湍流导致的局部磨损或沉积问题。CFD技术不仅能够帮助工程师更好地理解流体的流动特性，还能提供关键的设计参数，以优化烟道结构。它允许在虚拟环境中对不同的设计方案进行测试和比较，从而大大减少了物理原型制作和实验的成本与时间。<sup>[3]</sup>此外，CFD还能精确地模拟烟气与脱硫塔内部构件之间的相互作用，如烟气与喷淋浆液的接触效率，这对于提高脱硫效率至关重要。因此，掌握流体力学基础与熟练运用CFD原理，是实现烟道结构优化与提升脱硫塔性能的关键。

### （二）选择的模拟软件介绍

在本次研究中，我们选择了ANSYS Fluent作为主要的模拟软件。ANSYS Fluent是一款功能强大的流体动力学模拟软件，广泛应用于航空航天、汽车、能源、环境科学等多个领域。其强大的求解器和丰富的物理模型库，使得它能够对复杂的流体流动、传热以及化学反应等现象进行高精度的数值模拟。ANSYS Fluent提供了用户友好的界面，使得模拟过程的设置和操作变得直观且简便。通过其内置的网格生成工具，用户可以轻松地创建高质量的计算网格，这对于提高模拟结果的准确性至关重要。<sup>[4]</sup>此外，ANSYS Fluent还支持多种数据导入和导出格式，方便用户与其他软件进行数据交换和分析。

在脱硫塔入口烟道结构优化的研究中，ANSYS Fluent的湍流模型、多相流模型以及化学反应模型等高级功能，为我们提供了强大的模拟工具。通过这些模型，我们可以准确地模拟烟气在烟道中的流动特性，分析不同几何参数和内部构件对流场的影响，从而为烟道结构的优化提供科学依据。

### （三）模拟参数设定与边界条件

在进行脱硫塔入口烟道结构的流场模拟时，模拟参数设定与边界条件的选择至关重要。首先，我们需要根据烟气的实际成分和特性，设定合理的流体属性，如密度、粘度、温度等。这些参数将直接影响模拟结果的准确性和可靠性。

在边界条件方面，我们需要考虑烟气入口、出口以及壁面的边界条件。烟气入口的边界条件通常根据烟气的流量、速度和温度等参数进行设定，而出口边界条件则可能涉及压力、背压或质量流量等。壁面边界条件则需要考虑壁面的粗糙度、热传导系数以及是否存在化学反应等因素。<sup>[5]</sup>此外，我们还需要设定模拟的初始条件，如流场的初始速度和温度分布等。这些初始条件将影响模拟过程的稳定性和收敛性，因此需要仔细选择和设定。通过合理的模拟参数设定和边界条件选择，我们可以确保模拟结果的准确性和可靠性。

## 三、烟道结构优化策略

### （一）几何参数对流场影响分析

几何参数，如烟道的直径、长度、弯曲半径以及转弯角度等，对烟道内的流场分布具有显著影响。首先，烟道的直径直接决定了流体的流通面积，进而影响流速和流量的分布。较小的直径可能导致流速增加，增加烟道内壁的磨损和流体阻力，而较大的直径则可能引发流场的不均匀性，影响脱硫效率。其次，烟道的长度和弯曲半径对流体的压力损失和湍流强度有显著影响。较长的烟道可能增加流体阻力，导致压力损失增大，而弯曲半径较小的烟道则可能加剧流体的湍流程度，不利于脱硫反应的进行。<sup>[6]</sup>最后，转弯角度也是影响流场分布的关键因素。急转弯可能导致流体分离和漩涡的产生，破坏流场的稳定性，而平缓的转弯则有利于保持流场的均匀性和稳定性。因此，在烟道结构设计中，我们需要综合考虑这些几何参数对流场的影响，通过合理的参数选择和布局优化，实现烟道内流场的均匀分布和脱硫效率的最大化。

### （二）非均匀入口设计的考虑因素

在烟道结构优化中，非均匀入口设计是一个关键环节，它直接影响到脱硫塔的效率 and 运行稳定性。非均匀入口可能源于上游设备的不均匀排放，或者是烟气中含有不同粒径的颗粒物，导致进入烟道的流速和质量分布不均。考虑这一因素时，需要结合以下几点进行深入分析：

1. 流速分布的均匀性：通过历史运行数据或类似工况下的案例研究，评估入口处流速的最大和最小值，以确保设计能够平衡流场，避免高速区造成局部磨损或低速区导致的沉积。
2. 颗粒物分离：如果烟气中含有颗粒物，应考虑采用预分离器来改善入口的均匀性。例如，可以设计不同类型的挡板或旋风分离器，以减少大颗粒对烟道壁的冲击和对流场的干扰。
3. 壁面摩擦影响：非均匀流速可能导致烟气与壁面的摩擦不一致，增加局部阻力。通过CFD（计算流体动力学）模拟，可以调整壁面形状或引入导流板，以减小这种影响。
4. 动态适应性：考虑上游设备可能的运行变化，入口设计应具备一定的动态适应性。这可能需要引入可调节的挡板或采用先进的流量控制技术。
5. 结构强度与耐磨损性：设计时需确保在非均匀流条件下，烟道结构仍能保持足够的强度和耐磨损性，可能需要采用耐磨材料或增加局部加固。



通过上述分析，非均匀入口设计不仅是一个流场优化问题，还涉及到材料选择、结构工程和控制策略的综合应用。<sup>[7]</sup>合理的非均匀入口设计能够显著提高脱硫塔的运行效率，降低维护成本，确保环保排放标准的长期稳定达标。

### （三）内部构件的优化布局

在烟道结构优化中，内部构件的布局至关重要，因为它直接影响到烟气的流动效率和脱硫塔的性能。优化布局通常涉及以下几个方面：首先，考虑烟道截面形状的变化，如采用矩形到圆形的过渡设计，可以有效减小流动阻力。其次，设置导流板以引导烟气流动，避免直角转弯造成的湍流，导流板的角度和位置需通过 CFD 模拟进行精细化调整。<sup>[8]</sup>再者，可能需要设置扰流子以增加湍流度，促进气液两相混合，提高脱硫效率，但扰流子的数量和尺寸需谨慎设计，以免过度扰流导致能耗增加。最后，优化构件的材料选择和防腐处理，确保在高腐蚀环境下长期稳定运行，这也是保证整体系统经济性和可靠性的重要因素。

## 四、流场模拟与结果分析

### （一）流场分布特征

在进行脱硫塔入口烟道结构优化时，流场分布特征是至关重要的考量因素。通过流体力学基础与 CFD（计算流体动力学）原理，我们可以模拟烟气在烟道内的流动状态。例如，模拟结果可能会显示出在特定区域存在速度分布不均的情况，如局部速度过大或过小，这可能导致烟气与脱硫剂的混合效率下降，影响脱硫效率。

在分析流场分布特征时，会重点关注速度矢量图和压力云图，以揭示烟气流动的动态特性。例如，可能会发现烟道入口处的湍流强度过高，这会增加气流的不稳定性，可能引发气流的涡旋或回流，增加烟道内壁的磨损，并可能导致脱硫剂的不均匀分布。<sup>[9]</sup>因此，需要调整烟道的几何参数，如扩张角或收缩段的长度，以平滑流场，降低湍流。

### （二）速度与压力分布的可视化

在进行脱硫塔入口烟道结构优化时，速度与压力分布的可视化是至关重要的分析环节。通过使用计算流体动力学（CFD）软件，我们可以模拟烟气在烟道内的流动状态，以数据和图形的形式揭示流场的动态特性。例如，模拟结果可能会显示在某些区域存在高速湍流，这可能导致压力波动和局部磨损加剧，影响设备

的稳定性和寿命。

在可视化分析中，我们通常会采用颜色编码的映射图，以直观地展示速度场和压力场的分布。暖色调可能代表高流速或高压区域，而冷色调则表示相对较低的流动参数。这种可视化方法有助于工程师识别可能的涡旋、分离区或流动阻塞，以便进行针对性的结构改良。<sup>[10]</sup>例如，通过对比优化前后的颜色分布，发现优化后烟道内的压力降更为平滑，流速变化更加连续，这将直接转化为脱硫效率的提升和运行能耗的降低。

此外，结合实际工况下的运行数据，我们可以验证和调整模拟参数，确保模型的预测精度。一旦找到理想的流场分布，就可以对烟道的实际结构进行精确的工程设计，以实现最佳的气流引导和压力平衡。

### （三）湍流与流动不稳定性分析

在进行脱硫塔入口烟道结构优化时，湍流与流动不稳定性分析是至关重要的环节。这些不稳定性可能导致烟气流速的剧烈波动，影响脱硫效率以及设备的机械载荷。例如，当烟气流经入口区域时，由于几何形状的突变或不均匀的流速分布，可能会触发湍流模式，这些湍流会携带颗粒物不规则地运动，降低脱硫剂与烟气的接触效果。

为了减少湍流带来的不利影响，工程师需要细致分析模拟结果，识别出湍流强度较大的区域，并通过调整烟道的几何形状或增加内部构件来优化流动路径。例如，通过平滑过渡段的设计，减少流速的突变，可以有效降低湍流的发生。同时，合理的导流板布局也能引导烟气均匀分布，避免局部流速过高或过低的现象，从而确保脱硫过程的高效稳定运行。

## 五、结语

脱硫塔入口烟道结构的优化与流场模拟研究是一个复杂而系统的工程，它涉及到烟气流动特性的深入理解、流场模拟技术的精确应用以及结构设计的合理创新。通过对烟道几何参数的细致分析、非均匀入口设计的合理考虑以及内部构件的优化布局，我们可以有效改善烟道内的流场分布，减少湍流与流动不稳定性带来的不利影响。这不仅有助于提升脱硫效率，还能降低设备的机械载荷，延长使用寿命。未来的研究可以进一步探索更多先进的模拟技术和优化方法，以应对更加复杂多变的烟气处理需求。

## 参考文献

- [1] 刘孝天, 孙晶. 关于脱硫塔入口烟道的流场结构优化数值模拟 [J]. 锅炉制造, 2020(01).
- [2] 陈晓雷. 流线型技术降低脱硫塔烟道阻力的研究 [J]. 环境保护与循环经济, 2020(07).
- [3] 蒋楠. 燃煤机组冷却器入口烟道流场优化数值模拟研究 [J]. 能源工程, 2023(04).
- [4] 李华明. 脱硫塔内部流场数值模拟与优化研究 [J]. 环境工程学报, 2020, 14(5).
- [5] 王强. 烟气脱硫塔入口烟道结构对流场影响的数值模拟 [J]. 动力工程学报, 2020, 39(11).
- [6] 张伟涛. CFD 技术在脱硫塔流场优化中的应用 [J]. 化工设备与管道, 2020, 55(6).
- [7] 杨帆. 脱硫塔内部构件对流场影响的数值模拟 [J]. 热力发电, 2021, 46(12).
- [8] 陈静芳. 烟气脱硫塔入口烟道结构优化研究 [J]. 环境科学与管理, 2022, 41(11).
- [9] 郑敏昕. 脱硫塔流场模拟中的湍流模型选择与应用 [J]. 环境污染与防治, 2021, 37(10).
- [10] 韩磊. 基于 CFD 的脱硫塔入口烟道结构优化与性能评估 [J]. 化工进展, 2020, 33(S1).

# 高速公路水泥混凝土路面中掺粉煤灰比例对耐久性的影响研究

郑世勇

重庆交通建设（集团）有限公司，重庆 401120

DOI:10.61369/ME.2024080038

**摘要：** 随着高速公路建设规模的不断扩大，提升水泥混凝土路面的耐久性已成为保障道路服役性能的关键。粉煤灰作为一种具有潜在火山灰活性的工业副产物，掺入水泥混凝土中不仅能改善孔隙结构，还能显著增强其抗冻、抗渗、抗碳化及抗氯离子侵蚀能力。本文通过系统分析不同掺量粉煤灰对混凝土耐久性指标的影响，揭示其在优化微观结构、调控水化反应过程以及提升环境适应性方面的作用机制。研究表明，粉煤灰掺量在 15% ~ 25% 范围内时，可在提升耐久性的同时兼顾早期强度发展，为高速公路混凝土路面材料的设计提供了理论依据和工程指导。

**关键词：** 粉煤灰；水泥混凝土；高速公路；耐久性；掺量比例

## Research on the Influence of Fly Ash Proportion in Expressway Cement Concrete Pavement on Durability

Zheng Shiyong

Chongqing Transportation Construction (Group) Co., LTD. Chongqing 401120

**Abstract：** With the continuous expansion of the construction scale of expressways, improving the durability of cement concrete pavements has become the key to ensuring the service performance of roads. Fly ash, as an industrial by-product with potential pozzolanic activity, when added to cement concrete, can not only improve the pore structure, but also significantly enhance its frost resistance, impermeability, carbonation resistance and chloride ion erosion resistance. This paper systematically analyzes the influence of fly ash with different dosings on the durability index of concrete, revealing its mechanism of action in optimizing the microstructure, regulating the hydration reaction process and improving environmental adaptability. Studies show that when the content of fly ash is within the range of 15% to 25%, it can enhance durability while taking into account the development of early strength, providing a theoretical basis and engineering guidance for the design of concrete pavement materials for expressways.

**Keywords：** fly ash; cement concrete; expressway; durability; dosage ratio

## 引言

随着我国高速公路建设向高标准、长寿命方向发展，混凝土路面的耐久性问题逐渐成为制约其长期服役性能的关键因素。在实际运营中，混凝土易受到冻融循环、碳化、氯离子侵蚀等多重环境作用影响，导致结构劣化与性能衰减，影响道路安全与使用寿命<sup>[1]</sup>。如何通过材料设计手段提升其抗劣化能力，已成为工程领域关注的重点。粉煤灰作为燃煤电厂排放的固体废弃物，因其活性氧化物含量高、颗粒细腻、形貌规则，具备良好的潜在火山灰活性与微填充能力。在混凝土中合理掺入粉煤灰，不仅可优化孔隙结构、调控水化反应过程，还能提升混凝土对外界侵蚀介质的屏蔽能力，为提高其耐久性能提供有效技术路径。本研究聚焦于不同掺量粉煤灰对混凝土路面耐久性的影响，结合微观结构演化机制与多项性能测试指标，系统分析其在抗冻、抗碳化、抗氯离子渗透及干湿稳定性等方面的作用规律。

## 一、粉煤灰的特性及其在混凝土中的作用机理

### （一）粉煤灰的物理化学性质

粉煤灰主要由燃煤电厂烟气中的细微颗粒冷却后通过电除尘方式收集而得，颗粒普遍呈球形，粒径分布范围较广，具备

良好的粒径连续性和堆积密实性。其主要化学成分包括二氧化硅（ $\text{SiO}_2$ ）、三氧化二铝（ $\text{Al}_2\text{O}_3$ ）、氧化铁（ $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ）和氧化钙（ $\text{CaO}$ ），其中非晶态的  $\text{SiO}_2$  和  $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量决定其潜在火山灰活性。在形貌上，粉煤灰颗粒表面光滑，吸水率低，具备优异分散性，能提高混凝土拌合物的流动性。比表面积越高、玻璃体含



量越大，其在碱性环境中的反应活性越强，对后期胶凝结构形成的贡献越显著。

### （二）活性反应与 C-S-H 凝胶生成

粉煤灰在碱性环境中与水泥水化生成的氢氧化钙（ $\text{Ca(OH)}_2$ ）反应，发生缓慢的火山灰反应，形成次生 C-S-H 凝胶。该反应产物不具晶体结构，呈网络状分布，在原有水泥水化产物的基础上进一步填充毛细孔隙，提升混凝土致密性和结构完整性。通过消耗  $\text{Ca(OH)}_2$ ，粉煤灰可降低体系中游离碱的浓度，减弱因氢氧化钙晶体体积膨胀导致的内应力积聚，增强混凝土在服役期内的稳定性与抗裂能力<sup>[2]</sup>。与初级水化产物相比，粉煤灰形成的凝胶密度更高，水化产物分布更均匀，有助于建立持久的胶凝骨架。

### （三）微填充作用与孔隙结构优化

粉煤灰粒径通常小于水泥颗粒，颗粒形貌规则，具备良好的微填充性能。在水泥颗粒间分布时，可有效填补大粒径材料间的间隙，促使混凝土形成更加紧密的骨料-浆体结构。在水化过程中，粉煤灰微粒不仅物理上填充空隙，同时伴随二次反应生成的 C-S-H 凝胶进一步压缩孔隙空间，使毛细孔径由中等尺度向微细尺度转化，孔隙分布更趋均匀。这一结构转变显著降低了外界水分、气体和侵蚀性离子的迁移通道，提高混凝土在冻融、氯盐和碳化等恶劣环境中的抗侵蚀能力。

### （四）水化热释放调节与裂缝风险控制

在高速公路大体积混凝土结构中，水泥水化初期释放大热量，导致内部温升剧烈，温度梯度过大易引发体积裂缝。掺入粉煤灰可显著降低水泥用量，延缓反应进程，从而调节水化放热曲线，减缓热峰出现时间与降低峰值温度。在水化初期，由于粉煤灰活性反应滞后，可减少初始阶段热量积聚，热胀冷缩幅度减小，温度应力分布更为均匀。温控能力的增强，有效抑制因热裂缝产生而导致的后期侵蚀通道形成，提升混凝土服役初期的结构完整性。

### （五）碱含量调节与抗碱-骨料反应作用

碱-骨料反应（AAR）是混凝土结构内部一种潜在的劣化机制，源于水泥体系中可溶性碱与活性骨料之间产生的膨胀性凝胶。粉煤灰中可溶性碱含量较低，同时其参与反应时可有效稀释混凝土体系中总碱含量，降低反应诱因。在反应过程中，粉煤灰所生成的 C-S-H 凝胶吸附部分游离碱，抑制高碱环境的形成，减少碱性溶液与骨料接触反应的几率<sup>[3]</sup>。在高湿、高温环境下，AAR 反应更为活跃，而粉煤灰的碱稀释与孔隙屏蔽作用能够延缓或阻止其发生，从根源上降低混凝土开裂风险并提升长龄期结构耐久性。

## 二、粉煤灰掺量对混凝土耐久性能的影响分析

### （一）抗冻融性能

掺粉煤灰混凝土在冻融环境下表现出明显的耐久性增强趋势。通过对不同掺量下混凝土试件进行 300 次冻融循环测试，掺量为 20% 组的质量损失率控制在 1.2%，相比未掺组的 2.9% 下降了 58.6%。动态弹性模量下降幅度减小，线性膨胀系数降低 11.7%，

显示结构抵御内部冰胀应力能力增强。掺入粉煤灰后，细颗粒填补了水泥颗粒间空隙，显著改善了毛细孔结构，减少了毛细孔连通性，阻断了水分的迁移通道，降低了孔隙中水分冻结膨胀产生的应力集中。掺量提高至 30% 时，冻融后质量损失率反而上升至 2.5%，由于早期水化反应不足，空隙结构填充不完整，局部区域易形成应力集中点，促进微裂纹萌发和扩展。因此，在粉煤灰尚未充分反应的早龄期，结构内部抗冻能力未能形成稳定支持，反而削弱了整体冻融稳定性。

### （二）抗碳化性能

混凝土抗碳化能力与其碱性维持水平和  $\text{CO}_2$  扩散阻力密切相关。在标准碳化环境中开展 28 天加速碳化测试，未掺粉煤灰试样碳化深度达到 3.2 mm，而掺量为 20% 的试样仅为 1.8 mm，碳化速率降低 43.75%。粉煤灰与水化过程产生的  $\text{Ca(OH)}_2$  发生潜在火山灰反应，生成二次 C-S-H 凝胶结构，有效减少体系中碱性物质含量，延缓碳化前沿推进速度。中等掺量下，孔结构得到显著细化，毛细孔比例降低， $\text{CO}_2$  扩散路径变得复杂曲折，显著提高气体阻隔性能。当掺量提升至 35% 后，碳化深度反弹至 2.6 mm，主要由于水泥含量大幅下降，早期水化产物数量不足，未能形成有效屏蔽结构，导致碳化环境中的酸性气体更易进入内部。碳化性能改善主要依赖于初期致密性建立与中期活性释放同步推进，20% 左右的掺量形成了结构密实与碱性维持之间的平衡状态。

### （三）抗氯离子渗透性

氯离子侵蚀能力直接影响钢筋锈蚀与混凝土结构耐久性，通过快速氯离子电通量测试（RCP）和扩散系数测定，发现粉煤灰掺量对抑制  $\text{Cl}^-$  渗透表现出显著作用。掺量 20% 组的电通量为 1765 C，氯离子扩散系数为  $7.1 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ ，较未掺组（3500 C、 $1.28 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$ ）分别降低 49.6% 与 44.5%。粉煤灰填充效应使得毛细孔体积和连通率显著下降，形成封闭性更高的孔隙网络，大幅增加  $\text{Cl}^-$  在体系中迁移路径和扩散阻力。同时，C-S-H 凝胶结构对氯离子具有吸附与物理包裹能力， $\text{Al}_2\text{O}_3$  与  $\text{Cl}^-$  进一步反应形成稳定铝盐，增加了氯离子的化学结合比例。掺量提高至 30% 后，RCP 结果下降至 1650 C，但扩散系数降幅趋缓，表明后期生成的 C-S-H 密度未能同步提升，胶体结构未形成进一步的致密化<sup>[4]</sup>。因此，在保证结构致密和胶凝连续性的前提下，20% 的粉煤灰掺量在抗氯离子渗透方面体现了良好均衡性能。

### （四）干湿循环下的体积稳定性

干湿循环反复改变混凝土内部湿度分布，引发毛细压力波动，是造成微裂纹扩展和体积不稳定的主要外部因素。在 60 次干湿循环后，未掺粉煤灰样本质量损失率为 2.1%，表面微裂纹显著，而掺量为 20% 的样本质量损失率仅为 0.8%，微应变保持在  $145 \mu\epsilon$  以下，结构完整性与尺寸稳定性显著提升。粉煤灰细化孔径结构并增加凝胶体密度，有效削弱了水分迁移路径，降低内部毛细张力变化幅度，提升混凝土对干湿应力变化的缓冲能力。若掺量升高至 30%，干缩应变上升至  $186 \mu\epsilon$ ，主要源于部分未水化粉煤灰颗粒滞留于浆体中，形成局部应力集中点，反而加剧应变集中现象，破坏连续性结构。结构在干湿环境中稳定性依赖于孔隙封闭程度与水分缓释能力，20% 掺量水平实现了这两者之间的

均衡配置，在应对外界环境变化时展现出优越的适应性和韧性。

### 三、粉煤灰掺量的优化与配比策略建议

#### （一）粉煤灰掺量与耐久性能之间的协同关系

粉煤灰掺量直接影响 C-S-H 凝胶的生成速率与总量，从而调节混凝土微结构的致密性和渗透控制能力。掺量在 15% 至 25% 范围内，毛细孔显著减少，C-S-H 凝胶生成充分，能有效屏蔽侵蚀通道，提高冻融循环和碳化条件下的结构稳定性。掺量为 20% 时，28 天抗压强度达 44.2 MPa，氯离子扩散系数为  $7.1 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ ，碳化深度为 1.8 mm，整体性能优良。掺量超过 30% 则因水泥减少，早期水化产物不足，孔隙率升高，抗渗抗裂性能下降，影响结构早期安全性。综合分析，20% 为兼顾孔隙细化、强度维持与抗蚀性的最优掺量。

#### （二）水灰比调控与粉煤灰协同作用机制

水灰比作为控制孔隙结构与水化环境的核心参数，与粉煤灰的微填充效应高度耦合。低水灰比可减少毛细孔体积，提升 C-S-H 凝胶密度，增强致密性与抗渗能力。在水灰比 0.38、粉煤灰 20% 的条件下，孔隙率降至 12.7%，电通量为 1780 C，扩散系数为  $7.5 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ ，微结构以微孔为主，连通性弱。若水灰比增至 0.45，即使掺量不变，孔径扩大，扩散系数上升至  $9.6 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ ，抗蚀性能下降。建议水灰比控制在 0.35 至 0.42 之间，并使用聚羧酸减水剂保障流动性与水化充分性。

#### （三）龄期发展规律与养护制度对性能的影响

粉煤灰反应速率低于水泥，其活性释放与 C-S-H 凝胶生成依赖湿度和养护时间。在掺量 20%、水灰比 0.38 条件下，混凝土 7 天强度为 28.6 MPa，56 天达 52.8 MPa，后期强度提升达 84.6%，显示明显的二次水化过程。持续 14 天湿养护（28° C、95% 湿

度）可使毛细孔体积减少 26%，C-S-H 凝胶增加 18%，电通量降至 1765 C，显著提升抗渗性。干养条件下，28 天电通量升至 2620 C，孔结构疏松，性能退化。建议湿养护不少于 14 天，尤其在干燥、高温或多风环境中，采用湿麻布、保湿膜或定期喷水，防止早期干裂与微裂纹形成<sup>[5]</sup>。

#### （四）区域环境适应性与掺量策略的匹配调控

不同气候区域需匹配相应的粉煤灰掺量策略。南方高湿区常见干湿循环和 AAR 风险，建议掺量设为 25%，以稀释碱浓度、增强密实性，抑制 AAR 并提升抗裂性能。北方寒冷地区应兼顾抗冻性与早期开通需求，掺量控制在 18% 以内，保障 7 天强度达 30 MPa，并配合高效减水剂提高密实性。在高温干燥或加速施工条件下，宜使用比表面积高于 420  $\text{m}^2/\text{kg}$  的 I 级粉煤灰，并视需添加早强剂，确保 3 天强度达 24 MPa 以上，满足早期抗裂与快速通车要求。掺量应结合区域环境、强度标准和施工周期进行精准调控。

### 四、结语

合理控制粉煤灰掺量可有效改善水泥混凝土的孔隙结构，提升抗渗性、抗裂性与抵御外界侵蚀的能力，在保障高速公路路面结构长期稳定性方面发挥重要作用。掺量在 15% 至 25% 范围内时，活性填充与二次水化反应协同作用显著，能够在不牺牲早期强度的前提下，强化耐久性能表现。掺量过高则会导致水化产物不足，影响结构致密性与早期强度发展。掺量设计应结合区域气候、服役环境与施工周期综合调控，并与水灰比、养护制度协同匹配，确保混凝土在服役周期内具有良好的性能演化路径。未来，可从材料改性、复合掺合料优化以及服役期耐久性预测等方面拓展深化，以推动高性能、绿色路面体系的持续发展。

### 参考文献

- [1] 贺勇. 粉煤灰和矿渣粉双掺技术在混凝土中的应用探索 [J]. 建材与装饰, 2020, (14): 3+5.
- [2] 高桂海. 石灰石粉做矿物掺合料对水泥路面性能的影响研究 [J]. 中外公路, 2021, 41(05): 283-287.
- [3] 曾庆玲. 钢渣粉、粉煤灰及矿粉单掺或复掺对混凝土耐久性的影响研究 [J]. 江西建材, 2023(5): 11-13.
- [4] 高鹏, 陈星, 王维, 等. 粉煤灰不同掺量对高性能混凝土耐久性影响研究 [J]. 粘接, 2024, 51(02): 80-83.
- [5] 陈立延, 杨安, 洪芬, 等. 不同粉煤灰掺量对泡沫混凝土性能及其孔径的影响 [J]. 混凝土, 2021, (08): 137-140.

# 全过程工程造价在建筑经济管理中的作用

韩佳佳

山西焦煤山西焦化, 山西 临汾 041606

DOI:10.61369/ME.2024080001

**摘 要：** 为提升建筑经济管理水平和质量，实现建筑工程项目造价的科学化管控，论文基于全过程工程造价控制角度切入研究，分别从项目决策、设计、招投标与合同管理、施工和竣工结算等多个角度分析了全过程工程造价在建筑经济管理中的作用，并且结合当前建筑经济管理中全过程造价管理的现存问题而提出了包括健全制度标准、实现技术赋能和完善市场机制等在内的建议对策，从而助力强化建筑经济管理效果，推动建筑行业实现高质量发展。

**关 键 词：** 全过程工程造价；建筑经济管理；作用

## The Role of Whole Process Engineering Cost in Construction Economic Management

Han Jiajia

Shanxi Coking Coal Shanxi Coking, Linfen, Shanxi 041606

**Abstract：** In order to improve the level and quality of construction economic management and achieve scientific cost control of construction projects, this paper focuses on the research from the perspective of whole process engineering cost control. It analyzes the role of whole process engineering cost in construction economic management from multiple angles such as project decision-making, design, bidding and contract management, construction and completion settlement. Based on the existing problems in whole process cost management in current construction economic management, suggestions and countermeasures including improving institutional standards, realizing technological empowerment, and perfecting market mechanisms are proposed to help strengthen the effectiveness of construction economic management and promote high-quality development of the construction industry.

**Keywords：** whole process engineering cost; construction economic management; role

### 前言

伴随着我国建筑行业的不断发展，建筑经济管理的重要性愈发凸显。而为保障建筑经济管理的效果和质量，则要基于精细化、资源高效化配置等视角去不断完善建筑经济管理模式。所以，全过程工程造价控制作为贯穿于建筑工程项目全生命周期的一种管理方式，其重要性愈发凸显，通过全过程工程造价管控有助于实现建筑经济的全方位管理，既有助于提升建筑项目的经济效益水平，也对于促进整体行业的可持续发展具有深远影响。所以，需要深度解读和分析全过程工程造价在建筑经济管理中的作用和价值，从而采取相应措施进行改进和完善，进而有效提高建筑经济管理质量。

### 一、全过程工程造价概述

全过程工程造价所指的是综合应用科学、技术原理以及经济、法律等方面手段进行监督项目的全过程管控，在管控中涵盖了项目的投资决策、设计、交易、施工、竣工等多个环节，通过对各环节进行造价管理可以有效实现投资估算、设计概算、施工图预算、合同价确定、工程结算以及竣工决算等多个环节的科学管控，可以有效实现工程项目中资源的均衡配置和协调统筹，进而使整体建筑工程项目达到经济效益最大化的目的。总而言之，

全过程工程造价管控的核心在于将造价管控贯穿于建筑工程项目的全过程，同时对于各环节中的项目成本进行全方位统筹，通过每一环节落实项目成本管控目标而实现成本投入的有效管控，以此确保建筑经济管理的有序进行。

### 二、全过程工程造价在建筑经济管理中的作用解读

#### （一）在项目决策阶段的作用

在建筑工程项目决策阶段，全过程工程造价管理具有举足轻



重的作用，此环节主要是通过投资估算为后续项目的开展提供参考依据。在进行投资估算阶段需要工程人员进行项目建设规模、项目技术方案、设备选择以及建筑标准等综合性因素的全方位考量，进而结合各项因素而全方位评估项目当中所需投入的资金规模。在这一环节中，投资估算的精准性以及科学性往往也可以帮助决策者进行科学的判断，确保决策人员能够及时洞悉该项目在经济层面的可行性，有效防止由于资金预算偏差而出现的投资失败问题，辅助投资者作出科学决策的同时，也能有效从源头把控建筑经济管理大方向，提升建筑经济管理质量。

## （二）在设计阶段的作用

全过程工程造价管理中，设计阶段是其中重中之重，也是做好建筑经济管理的核心与关键环节。在这一环节中，进行全过程造价管控最为重要的内容便是运用限额设计以及价值工程进行成本管理。限额设计主要是保障建筑工程项目的功能以及质量能够满足设计要求，并且在满足要求的前提之下合理控制工程的成本投入，确保其造价以及成本投入在投资估算的范围之内，而结合投资估算方案也能确保工程的人员配置、材料选择、设备配置等契合工程建设需求。除此之外，在设计阶段也要求针对设计方案进行经济指标分析，如进行单方造价分析、全生命周期成本分析等，通过多角度的分析更加直观化全面化的对比不同设计方案的经济效益水平，进而确保选择出最优化的设计方案，实现工程造价科学控制。

## （三）在招投标与合同阶段的作用

招投标以及合同阶段的造价管控是全过程造价管控中的重要组成部分，对于提升建筑经济管理水平具有深远影响。在这一环节中，需要通过招投标以及合同管理确定工程价格，同时明确各个参建方的经济责任。首先，需要在招投标阶段通过工程量清单计价确保招投标活动的规范性，如通过工程量清单可以详细列举工程项目的分部分项、分工程名称、项目特征、计量单位以及工程数量等详细信息，而这也可以确保投标方结合具体需求进行报价，有助于提升招投标过程的公平性和透明性。合同价款的约定方面，要围绕保障合同条款的合理性为中心，通过合同条款做好双方风险分担，同时又能防止后期材料市场价格波动所带来的成本上升风险，同时避免工程变更所产生的经济纠纷等，不但确保了建筑工程项目的有序进行，也提升了建筑经济管理效果。

## （四）在施工阶段的作用

建筑施工阶段，全过程造价管控也具有关键性作用，也是做好造价管控的重点环节。在这一环节中需要做好工程变更以及现场签证的控制，从而通过动态化施工现场管理有效实现成本缩减。在实际中，工程变更问题的出现往往意味着工程量的提升、工程造价的变化，所以需要针对工程变更建立起严格的审批制度，同时由专业技术人员做好工程变更的必要性与合理性评估，及时分析工程变更对造价所产生的影响，防止不必要工程变更问题的出现。现场签证的管控要做到及时、精准，保障费用计取的真实性和准确性，在这一环节中又要做到科学、及时、准确的记录施工中的实际开展情况，以此确保工程施工造价管控的有序进行。

## （五）在竣工结算阶段的作用

竣工结算阶段是全过程造价管控的最终环节，也是建筑经济管理的重中之重。在进行结算审核阶段，需要严格根据合同当中相关条款规定、招投标文件、施工图纸、工程变更签证等方面资料进行工程量、综合单价、费用计取等方面的细致核对，通过对各方面的信息精准核对保障工程造价的真实性。同时，在工程结算中也要及时查处各项信息的真实性，防止出现高估冒算、重复计价等方面问题，防止出现成本损失。

# 三、当前建筑经济管理中全过程造价管理的现存问题

## （一）管理体系割裂，缺乏全周期协同性

建筑经济管理各个环节往往都是由不同的主体所负责，因此也导致在项目决策阶段、项目设计阶段、项目招投标阶段以及竣工结算阶段等各环节之间各自为政，彼此之间并没有形成完善的信息互通和协同机制<sup>[1]</sup>。如项目投资决策阶段，往往存在前期调研不充分问题，出现投资估算和实际需求之间偏差较大问题，这一信息并没有及时反馈到设计阶段，致使设计阶段出现项目设计方案超出预算的情况。在设计完成之后，需要进行施工图预算、编制工程量清单，但是这两个环节之间由于缺乏彼此的相互联系，出现清单漏项、特征描述不清晰等问题，显然会为后续的施工建设带来一定难题，导致工程出现变更。

## （二）技术应用滞后，数字化程度不足

尽管数字化技术在当前建筑行业中有所渗透，但是在推动全过程造价管理阶段往往也存在着数字技术应用不足的困境。如BIM技术作为一种可以整合建筑项目全生命周期信息的重要技术，可以有效实现各阶段造价数据信息的更新以及共享，但在目前建筑行业中普及程度相对不足。行业中一些企业更加青睐于运用传统的手工算量、套价等方面方式进行造价管控，这显然降低了全过程造价管控的效率，也增大了出现造价管控误差的概率，无法实现对建筑工程全过程造价的动态化、科学化管控<sup>[2]</sup>。除此之外，建筑工程项目全过程造价管控中也存在大数据技术、人工智能技术等新型技术应用程度不足的问题，我在项目当中并没有基于大数据技术进行历史项目数据的解读和智能分析，因此也难以基于历史数据进行当前项目的风险预警，施工当中对于材料消耗的监控往往更加依赖于人工统计，难以实现实时化与动态化监控，既降低了造价管控效率，也难以提升建筑经济管理的水平和质量。

## （三）市场监管薄弱，风险管控机制缺失

招投标环节中，一部分企业存在投标环节的不规范现象，如围标、串标等现象偶有出现，而这些企业通过不正当竞争手段恶意压低报价中标之后又会进行工程变更、索赔，进而通过这些方式去弥补低价投标所带来的损失，这显然会导致市场秩序被扰乱，出现工程造价虚高、招投标环节恶意低价竞标等恶性循环<sup>[3]</sup>。同时，在当前建筑市场中也存在市场价格波动频繁的问题，而当前建筑经济管理中却并没有采取有效的风险分担机制，如合同条款中缺乏价格调整的明确约定，所以也会致使承包方与

发包方双方在价格争议中往往出现纠纷<sup>[4]</sup>。竣工结算阶段，由于缺乏科学化的监督管控机制也容易出现高估冒算、重复计算等方面问题，这显然会导致建筑单位损失一定的经济，也削弱了全过程造价管理质量。

## 四、建筑经济管理中优化全过程工程造价管理的对策建议

### （一）健全制度标准，强化全流程管控

为促进建筑经济管理的有序进行，需要积极推动全过程造价管控，通过全过程造价管控确保该项工作的顺利开展。首要任务便是健全制度标准，进而强化全流程管控<sup>[5]</sup>。在实际中，要构建起统一、科学、完善的全过程造价管理制度体系，在制度中明确造价管理目标、全过程造价管理内容以及管理责任主体等。如在项目决策阶段，需要构建完善的投资估算制度，通过制度明确要求编制单位做好详细的市场调研、行业数据分析，进而基于项目的实际需求和质量标准来保障投资估算的精准性，并且又要引入第三方复核机构进行评审，进而对投资估算结果进行复核，保障投资估算能够符合工程实际需要<sup>[6]</sup>。在设计阶段，可以推行限额责任制度，通过这一制度将限额责任进行拆分，使各岗位设计人员充分明确自身在成本控制中所要承担的责任，做到成本控制责任落实到岗、分摊到人。与此同时，面对设计变更，也要作出明确的规定，如针对设计变更条件进行清晰界定，审批流程以及责任追溯机制也要进行持续性完善和改进，尤其是针对设计失误所导致的变更要追究相关责任人员。

### （二）推动技术赋能，深化数字化转型

基于全过程工程造价推动建筑经济管理阶段要大力深化技术赋能，从而促进全过程工程造价管控实现数字转型。首先，要积极推动 BIM 技术在其中的应用与推广，通过 BIM 技术建立起全过程、动态化造价管理与控制平台。例如：在搭建 BIM 造价成本控制平台阶段可以深度整合建筑工程项目各个阶段的几何信息、工程信息、造价信息等，进而通过三维算量、动态计价、以及成本模拟等多种手段进行全过程造价管控<sup>[7]</sup>。如设计阶段可以通过 BIM 模型更加直观化的显示不同设计方案的成本差异性，使设计人员能够结合 BIM 模拟对于设计方案进行优化，并且选择出最优化的设计方案；在施工阶段可以通过 BIM 模型关联施工进度，进

而基于 BIM 模型实时化监督材料消耗、成本变动趋势，一旦产生偏差可以第一时间采取针对措施进行调整，保障造价得到科学管控<sup>[8]</sup>。此外，在全过程造价管理中要加强对大数据技术以及人工智能技术的运用，如建立起建筑工程造价数据库，在数据库中针对企业往年相关建筑工程项目案例进行收集，并且整理其中的造价数据、材料价格以及市场行情等多种类型信息，运用大数据技术进行案例数据的深度挖掘，进而打造智能化造价分析模型，并且基于人工智能技术进行模型的深度解析，辅助建筑工程项目推进造价管控，强化经济管理的水平和效果。

### （三）完善市场机制，加强动态风险防控

建筑经济管理中，开展全过程工程造价控制要完善市场机制、强化风险的动态化防控，彼此保障造价管控取得良好效果。首先，要在招投标环节加强监督以及管控力度，尤其要针对围标问题、串标问题等进行大力打击，同时通过构建投标人信用评价机制及时筛选出现不良行为的投标企业，以此来营造更加公平、透明的招投标环境<sup>[9]</sup>。同时，针对建筑工程项目中的工程变更和现场签证问题，需要建筑单位构建起严格的审批和监督管理机制，通过完善管理规章制度的形式明确工程变更的发起条件、各环节人员的审批权限以及审批的具体流程等，同时也应要求发起工程变更必须要附带详细的成本分析报告，由专业人员对于工程变更进行精准化评估，分析由于工程变更而产生了哪些成本变动，这样既能确保造价管控的有序进行，也能将工程变更对成本造成的影响降到最低<sup>[10]</sup>。在现场签证方面，要加强人员的专业素养和责任意识培育，保障现场签证的真实性和精准性，并且由专业人员进行现场签证的实施监督与审查，防止其中出现违规行为，以此助力全过程工程造价管控的顺利进行。

## 五、结束语

研究发现，全过程工程造价控制在建筑经济管理中具有深远的意义和价值，通过全过程工程造价管控可以确保造价控制工作贯穿于建筑经济管理的始终，有序推进建筑经济管理工作各环节，达到经济效益最大化的发展目标。未来，全过程工程造价必将朝着更加智能化、绿色化方向发展，并且在人工智能技术、区块链技术不断普及和深入实践之下实现动态化的成本预测以及智能化的全过程成本管控，促进建筑经济管理井然有序的进行。

## 参考文献

- [1] 刘娟辉,陈旭东.建筑工程管理中的全过程造价控制研究[J].中国建筑装饰装修,2023(8):98-100.
- [2] 胡靖堂,太艳斌,太树刚.工程项目成本管理及风险控制——以昆明某教学楼为例[J].云南大学学报(自然科学版),2023(S1):398-406.
- [3] 甘彦.新时代建筑工程全过程造价咨询服务考核评价研究[J].建筑经济,2023,44(S01):46-49.
- [4] 郭利楠.全过程工程造价在现代建筑经济管理中的重要性[J].建筑与装饰,2023(19):13-15.
- [5] 陈延辉.建筑工程造价的影响因素及全过程工程造价成本管控
- [6] 蔡常青,王强,李校华.建筑工程全过程造价管理的问题及其模式创新策略分析[J].工程技术研究,2023,8(4):114-116.
- [7] 沈庄勇.全过程造价咨询在建筑工程管理中的运用[J].建筑技术研究,2023(6):25-27.
- [8] 任海龙.全过程工程造价在建筑经济管理中的作用[J].门窗,2023(24):157-159.
- [9] 杨哲.全过程工程造价在现代建筑工程经济控制中的重要作用[J].经济研究导刊,2023(15):117-119.
- [10] 赵雅静.全过程工程造价在建筑经济管理中的重要性分析[J].中州建设,2024(6):101-102.



# 框架剪力墙结构建筑施工技术的应用策略

肖和平

湖南天城建设有限公司, 湖南 常德 415000

DOI:10.61369/ME.2024080002

**摘 要 :** 在建筑工程施工中, 框架和剪力墙结构是最为常见的结构类型。它们主要用于承载力大、抗侧向力强以及具有较高的耐久性等特点, 因此其应用十分广泛。框架和剪力墙结构在建筑施工过程中会出现一定的问题, 导致其实际应用效果无法达到预期目标。基于此, 本文对框架剪力墙结构建筑施工技术进行了探讨, 首先阐述了框架与剪力墙结构的优点, 然后分析了框架剪力墙结构施工技术的类型及应用场景, 最后结合施工案例, 分析了框架剪力墙结构建筑施工技术的施工要点以及质量控制措施, 以及能够为我国建筑工程项目的顺利开展提供有效的参考依据。

**关 键 词 :** 框架剪力墙; 施工技术; 施工质量

## Application Strategy of Construction Technology for Frame Shear Wall Structure Buildings

Xiao Heping

Hunan Tiancheng Construction Co., Ltd. Changde, Hunan 415000

**Abstract :** In construction engineering, frame and shear wall structures are the most common types of structures. They are mainly used for their high load-bearing capacity, strong resistance to lateral forces, and high durability, making them widely used. The frame and shear wall structures may encounter certain problems during the construction process, resulting in their actual application effects not achieving the expected goals. Based on this, this article explores the construction technology of frame shear wall structure buildings. Firstly, the advantages of frame and shear wall structures are explained. Then, the types and application scenarios of frame shear wall structure construction technology are analyzed. Finally, combined with construction cases, the construction points and quality control measures of frame shear wall structure construction technology are analyzed, which can provide effective reference for the smooth development of construction projects in China.

**Keywords :** frame shear wall; construction technology; construction quality

### 引言

建筑行业的发展给人们的生活带来了许多方便, 特别是近些年来随着城镇化建设的加快, 高层建筑也越来越多, 其中框架剪力墙结构作为一种常见的建筑结构被广泛应用于高层建筑中。它不但具有较强的稳定性、抗震力, 而且可以在一定程度上提高空间利用率, 深受人们的喜爱。但是由于其自身结构比较复杂, 且各组成部分之间有着较为紧密的联系, 一旦施工不当, 很容易出现质量问题, 因此需要对相关技术进行研究和分析, 从而保证施工质量。当前框架结构、剪力墙结构在实际运用过程中所面临的问题有很多, 如果不能及时予以解决, 将会严重影响工程的质量和安全性。因此, 本文结合工作经验, 对框架结构、剪力墙结构的应用现状进行了总结和分析, 然后针对存在的问题提出了具体的解决对策, 以期我国的建筑工程项目顺利开展提供可靠的参考依据。

### 一、框架剪力墙结构的优点及存在的问题

#### (一) 优点

(1) 可以提高建筑的整体性。因为框架和剪力墙结构在组成方面有一定的差异, 所以在结构上就形成了不同的受力方式, 框架主要是由柱和梁组成的, 而剪力墙主要是由墙、柱组成的, 当

这两种结构的共同作用下, 能够使建筑物的整体强度得到显著提升, 从而提高建筑的整体稳定性。

(2) 适用于大跨度房屋结构。一般来说, 剪力墙墙厚会比普通混凝土要厚很多, 其承载力也相对较大, 当墙体受外力冲击时, 其内部产生的变形也比较小, 不容易出现开裂现象, 所以一般情况下, 用剪力墙结构设计的房屋都具有较大的面积, 能够满

足人们对房屋高度的需求。

（3）能够适应不同的使用功能。根据相关规定，对于居住用房而言，如果房屋的楼层数为6层以下，并且房屋的占地面积小于100平方米，那么建议采用框架结构设计，这样既能满足居民对空间的要求，又能降低成本投入，同时还具有很好的抗震性，有利于保护居民生命财产安全。但如果是高层建筑的话，则最好还是采用剪力墙结构的设计方案。

（4）具有良好的防水效果。由于框架结构是以钢筋混凝土为主，因此它的抗渗性能非常好，即使长期暴露在室外也不会受到雨水的侵蚀。另外，剪力墙结构所选用的材料也比较特殊，通常采用的是混凝土，这种材料不仅坚固耐用，而且还具有较高的抗压能力，不易发生变形，所以从整体来看，它的防水性能要远远高于框架结构。

（5）框架结构和剪力墙结构都能够起到分散荷载的作用。这两种结构共同发挥作用能够避免楼板受到过多的压力，有效解决了因局部超载导致坍塌事故发生的问题。此外，为了防止框架结构与楼板之间存在裂缝，需严格控制好施工质量，确保每一道工序都符合规范标准。

（6）二者均具备较高的抗震能力。一般情况下，由于剪力墙属于刚性结构，其截面尺寸较小，在受力过程中能够吸收更多的地震能量，使建筑结构能够维持稳定。而框架结构是柔性结构，在承受地震荷载时，需要依靠钢筋混凝土进行支撑，可以将部分能量转移出去，从而提高建筑的安全性。除此之外，剪力墙的厚度往往都比较大，再加上它自身具有较强的承载力，所以地震来临时，它可以承受住大部分的能量，进而保证建筑结构的正常运行。

（7）结构整体性好。框架是由梁柱构成的，而剪力墙是由钢筋混凝土块组成，两种材料在建筑中共同承担着荷载，并能将荷载进行合理分配，使其不会集中在某一个部位，从而提高了整体结构的稳定性。

（8）承载能力强。由于剪力墙厚度比较小、体积较大，所以墙的自重也就比较小，再加上梁截面较小、自重轻，所以这种组合很适合用来做高层建筑结构。

（9）抗震性能好。如果建筑物发生强烈地震，那么在晃动过程中，墙壁和柱子之间产生相对运动，此时墙体与柱子间会出现相互剪切现象，进而破坏其承载力和刚度，严重影响到人们生活，甚至造成人员伤亡。而采用了框架剪力墙结构，由于墙体自身具有一定的抗剪承载力，所以它能够吸收掉大部分的地震能量，从而保障人民生命财产安全。

（二）问题

对于框架剪力墙结构来说，其在具体应用过程中也是存在着一定的优势的，例如由于框架结构所具有的承载能力较强等优点，所以说这种结构的施工质量能够得到保障；另外，剪力墙的

（三）对比分析

建筑效果也是非常明显的。但是就目前来看，我国的建筑施工单位对剪力墙结构的重视程度并不高，导致了该结构在实际运用过程中存在很多的问题<sup>[4]</sup>。

（1）设计方面问题：受传统观念的影响，部分施工人员认为剪力墙没有任何必要进行专门的设计，只要将其布置好就可以了，这样会造成实际施工过程中出现各种问题，不仅无法满足房屋建设要求，同时还可能对房屋安全产生不利影响<sup>[5]</sup>。此外，部分施工人员缺乏基本的技术知识和操作经验，他们并没有认识到剪力墙的重要性，从而使得剪力墙的设计工作质量得不到有效保证，最终导致剪力墙的实际作用无法达到预期目标。

（2）材料方面问题：部分施工单位为了节约成本，只使用了价格低廉的建筑材料，这很容易导致混凝土强度不足、钢筋锈蚀严重等情况的发生，进而影响整个建筑项目的整体质量。

（3）管理方面问题：为了能够最大限度地节省人力资源和物力资源，施工单位通常会根据市场上建筑材料价格的波动而调整施工方案，但这种做法很容易导致材料成本的浪费。此外，一些施工单位为了获得更多利润，在原材料的选择上也比较随意，这也会对工程质量造成严重影响。

（4）施工工艺方面问题：框架与剪力墙结构都属于高层建筑结构，在具体施工过程中需要先进行钢筋绑扎工作，再进行模板安装工作<sup>[6]</sup>。然而，部分施工人员往往没有严格按照相关规范执行，而是凭借自身经验进行施工作业，这不仅会导致实际施工效果无法达到预期目标，同时还会给施工人员的人身安全带来威胁。

二、框架剪力墙结构的常见类型及特点

框架剪力墙结构有很多种，下面就对其常见的类型进行简单介绍。

（一）框架 + 剪力墙

这种结构形式是将框架和剪力墙结合在一起使用，形成一个结构体，通过对两者的共同作用达到建筑物的稳定性要求<sup>[7]</sup>。该结构形式具有较好的抗震力，可以抵抗水平方向上的作用力。

（二）纯框架结构

这是一种最基本的结构类型，其中没有剪力墙或梁柱结构。一般用于简单的建筑设计中，也适用于一些小型建筑。由于这种结构形式比较简单，所以成本相对较低，施工方便，但承载力和抗震性能都比较差。

（三）框架 + 剪力墙 + 转换层结构

这种结构形式是在框架 + 剪力墙的基础之上增加了一道转换梁，从而能够提高建筑物的稳定性，使其具备一定的承载力和抗震性。同时还能有效地控制建筑物的高度和层数，节约土地资源。

表1：框架剪力墙结构常见类型及特点对比表

类型	结构特点	优点	缺点	适用场景
普通框架 - 剪力墙结构	由框架梁柱与剪力墙共同承担荷载，剪力墙布置灵活（核心筒、分散式等）。	兼具框架和剪力墙的优点；空间布置较灵活；抗震性能较好。	剪力墙过多会降低空间利用率；节点构造复杂。	高层住宅、办公楼、酒店等。
带边框剪力墙结构	剪力墙周边设置框架梁柱（边框），增强剪力墙的延性和稳定性。	抗震性能优异；避免剪力墙脆性破坏；承载力高。	施工难度较大；材料用量较多。	高烈度抗震设防区的高层建筑。

短肢剪力墙结构	剪力墙肢长度较短（一般 $\leq 8$ 倍墙厚），与框架梁柱连接紧密。	空间划分灵活；自重较轻；经济性较好。	抗侧刚度较弱；需严格控制墙肢尺寸。	中小高层住宅、公寓。
核心筒-外框架结构	剪力墙集中布置为核心筒，外围为框架结构。	抗震刚度大；提供开阔无柱空间；适合超高层建筑。	核心筒布置需早期确定；筒体受力集中，需加强配筋。	超高层写字楼、商业综合体。
板柱-剪力墙结构	由无梁楼板、柱和剪力墙组成，剪力墙承担主要水平力。	楼层净高增加；施工便捷；空间简洁。	抗震性能较差；不适用于高烈度区。	低烈度区的多层商场、停车场等。

三、案例分析

（一）工程概况

某商业综合体项目，采用框架-剪力墙结构（核心筒+外框架），地下3层，地上28层，总高度98.5m，总建筑面积约12万 $\text{m}^2$ ，抗震设防烈度7度（0.10g）。采用框架-剪力墙协同受力体系，核心筒承担主要水平荷载，外框架提供竖向支撑；剪力墙厚度变化大（地下部分600mm，地上部分逐渐缩减至200mm）；楼板采用现浇钢筋混凝土板，局部大跨度区域采用预应力技术；框架梁柱与剪力墙交接处钢筋密集，混凝土浇筑难度大；超高层结构对剪力墙垂直度偏差要求高（ $\leq H/1000$ 且 $\leq 30\text{mm}$ ）；地下室底板厚2.5m，需控制温度裂缝；主体结构需在18个月内完成，需优化施工流水段划分。

（二）框架剪力墙施工技术要点

- （1）模板的制作与安装。首先，在施工前要先制作好模板，模板应满足设计要求和工程实际情况。其次，模板接缝严密，板面平整光滑，拼缝要垂直<sup>[8]</sup>；最后，模板拆除后，其边缘不得有凸起现象，要保证截面尺寸符合设计要求。
- （2）框架的定位及支撑。框架结构中的混凝土浇筑过程中，为了使框架结构具有足够的刚度，需要采用支撑来对框架进行加固<sup>[9]</sup>。具体方法为：第一步，由测量人员确定框架柱轴线位置，并用墨斗弹线固定；第二步，将支撑框架柱梁的钢筋放置于墙体上，并利用扣件将其固定；第三步，将框架梁就位，调整其位置使其与墙体形成一定夹角；第四步，检查框架梁、柱、墙之间的水平距离、垂直距离是否符合设计要求，若不符合则需进一步调整；第五步，清理现场杂物，铺砂浆，设置水平仪，同时对框架柱、梁进行编号，以便后续工作开展。
- （3）钢筋绑扎。钢筋是框架结构施工中的重要组成部分，也是影响施工质量的关键因素。因此，要严格控制钢筋的质量。首先，钢筋进场后，相关负责人要根据工程需要制定出合理的钢筋加工计划，并安排专人管理；其次，对于特殊钢筋，如带肋钢筋等，需做好标记并按类别堆放，避免混乱，确保使用时能够快速

找到<sup>[10]</sup>；再次，要做好钢筋绑扎工作，按照设计图纸要求设置钢筋位置，并将箍筋绑扎到位，加强其对框架的保护作用。最后，施工完成后，要组织有关人员施工质量进行验收，发现问题及时整改，确保施工质量。

（三）施工现场质量控制措施

- （1）严格按照设计图纸和技术标准进行施工，确保结构与构件的尺寸、位置等符合设计要求。
- （2）在实际施工中，应根据墙体厚度确定钢筋的保护层厚度，并严格控制钢筋保护层厚度不能小于15mm，并要加强钢筋搭接长度、接头质量及绑扎质量检查，以保证施工安全。
- （3）混凝土浇筑前，应先清除模板内杂物，对预埋件周边混凝土采取有效措施加以保护，以免损伤预埋件，影响施工质量。
- （4）应加强对基础底配筋的检测力度，做好对基础底板、墙身配筋的测量工作，并及时做好记录。
- （5）应重点加强梁板、墙柱节点的处理，特别是梁截面尺寸、梁柱节点处混凝土浇筑质量的检测力度，必要时可采用工具式超声波检测仪来检测钢筋的位置和位置。
- （6）严格控制砂浆的拌制，砂浆配合比应由专人负责计算，并做到随拌随用，严禁将砂浆存放时间过长。
- （7）加强振捣过程中的质量控制，振捣棒插入点应选在钢筋上，且不宜过多或过少，以免振捣过度或不足。

四、结语

综上所述，框架剪力墙结构作为一种新型的建筑结构，其优点众多，能够有效地提高建筑的使用空间和整体性能。由于该结构受力较为合理，可以充分发挥各构件的作用，提高建筑物的稳定性。但是，在实际施工中，很多问题限制了这种结构的应用，影响了施工质量。因此，要想提高框架剪力墙施工技术水平，必须加强施工管理，严格控制施工过程中可能出现的质量问题，确保施工工作顺利进行。

参考文献

[1] 石胡斌. 框架剪力墙结构综合楼建筑工程施工技术实践 [J]. 中国建筑金属结构, 2022, 24(10): 49-51.  
[2] 刘士润, 孙德胜. 多层框架-剪力墙结构建筑抗震能力检测方法 [J]. 中国建筑金属结构, 2022, 24(10): 91-93.  
[3] 郝劲斌. 框架剪力墙结构工程施工技术探究 [J]. 建材发展导向, 2023, 23(10): 55-57.  
[4] 王克楠, 冯善阳, 唐哲. 房屋建筑框架剪力墙施工技术的应用分析 [J]. 建筑技术开发, 2023, 52(05): 46-48.  
[5] 马楚楚. 建筑工程框架剪力墙结构主体工程施工技术的优化 [J]. 工程设计与设计, 2023, (08): 153-155.  
[6] 方文泉. 建筑工程中框架剪力墙结构建筑技术的应用 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2023, (09): 140-142.  
[7] 黄先银. 超高层建筑核心筒+框架剪力墙结构施工技术研究 [J]. 工程技术研究, 2023, 10(06): 96-98.  
[8] 胡智圆. 某超限高层框架剪力墙结构抗震性能分析 [J]. 福建建材, 2023, (03): 51-54.  
[9] 王磊. 工程施工中建筑框架剪力墙结构探究 [J]. 建材发展导向, 2023, 23(05): 61-63.  
[10] 庞明建. 框架剪力墙结构建筑施工技术分析 [J]. 建材发展导向, 2024, 23(05): 109-111.

# 深基坑支护施工技术

冷棉

湖南省第四工程有限公司，湖南 常德 415000

DOI:10.61369/ME.2024080005

**摘 要：** 在建筑工程施工过程中，深基坑的开挖是一项危险性较大的工作，因为基坑开挖深度过深，周边环境不稳定，影响范围较广。同时，对基坑支护结构要求较高，因此，选择合适、合理的支护施工方案，显得尤为重要。本文通过结合实际施工案例，采用防护栏杆、土钉+挂网喷砼施工方式，具体分析了深基坑支护施工过程，结果表明，采取多种支护手段，才能保证基坑施工的安全。

**关 键 词：** 深基坑支护；施工技术；土钉+挂网喷砼

## Construction Technology of Deep Foundation Pit Support

Leng Mian

Hunan Fourth Engineering Co., Ltd. Changde, Hunan 415000

**Abstract：** In the construction process of building engineering, the excavation of deep foundation pits is a high-risk work because the excavation depth of the foundation pit is too deep, the surrounding environment is unstable, and the impact range is wide. At the same time, there are high requirements for the foundation pit support structure, so it is particularly important to choose a suitable and reasonable support construction plan. This article analyzes the construction process of deep foundation pit support by combining actual construction cases and using protective railings, soil nails, and hanging net spraying concrete construction methods. The results show that adopting multiple support methods can ensure the safety of foundation pit construction.

**Keywords：** deep foundation pit support; construction technology; soil nail+hanging net spraying concrete

## 引言

目前，在我国建筑行业中，深基坑支护技术应用广泛，主要包括以下几种：（1）土钉墙支护技术<sup>[1]</sup>；（2）钢板桩技术；（3）混凝土灌注桩技术；（4）钢管桩支护技术；（5）锚索技术；（6）深层搅拌桩支护技术；（7）新型高强度预应力钢绞线技术；（8）型钢支护技术；（9）喷射混凝土技术；（10）深层搅拌桩+旋喷桩技术。为了实现工程进度目标和质量目标，需要根据工程实际情况选择合适的支护技术，并在此基础上制定科学有效的支护措施，从而确保整个基坑工程施工安全，实现预期的经济效益和社会效益。

## 一、深基坑支护的设计与施工技术

### （一）深基坑支护的设计

在深基坑工程中，采用支护桩支护是一种较为常用的方法，其作用是将土体与基坑隔离开来，使基坑土的应力得以释放。通常情况下，基坑支护桩的埋设深度要控制在1.5m左右，具体数量根据实际需要而定，但必须保证位置准确、数量合理。

对于多层建筑来说，地下水位一般比较高，这就要求基坑设置止水帷幕，从而有效降低地下水位，防止水渗入基坑内造成周边建筑物受到破坏。因此，在设计施工时应考虑到地下水位对施

工进度和安全的影响。通常情况下，施工单位会利用帷幕灌浆或真空排水等技术手段进行降水。

首先，应按图纸要求进行现场勘测，确定基础位置、基坑平面尺寸、开挖深度及基础形式；然后，根据地质勘察报告中的勘察资料，结合施工图纸中的平面布置图，计算出基坑底面积和基底面积；再根据土质类别、地层结构、地下水埋深、降水设备等因素，计算出所需的钻孔数量和长度。

其次，在完成以上工作后，还要制定出基坑止水帷幕的施工方



同时还要根据施工机械配置情况，合理安排各工序的施工顺序，并及时做好相关准备措施。

再次，按照相关规范要求，对施工人员进行交底，明确职责分工、操作要点、注意事项等，确保施工的顺利开展。

最后，在开始施工前，应按照《建筑基坑施工规程》中的规定，做好施工前的准备工作<sup>[2]</sup>。包括：清理地面杂物，平整场地，制作孔口防护平台，搭设脚手架，安装泥浆池和滤水管，安装泥浆泵和抽砂机，铺设管线等。

### （二）选择适合的材料

在进行深基坑支护桩施工时，首先要选择适合的材料，以便满足不同施工环境的需求。一般而言，可以使用钢管桩、钢筋混凝土桩、钢板桩等材料。其中，钢管桩具有承载力大、抗弯能力强、耐久性好等优点，但其价格相对较高；钢筋混凝土桩具有承载力高、耐久性好、节约成本等优点，但其刚度较小、延展性差，容易被腐蚀；钢板桩具有承载力大、造价低、安装方便等优点，但其刚度较大、延展性差，易发生变形。

### （三）施工工艺流程

（1）放样定位：根据施工图和地质勘查报告，结合施工现场的实际情况，确定基础位置、基坑平面尺寸、基础形式、开挖深度、基底面积等参数。

（2）基坑降水：采用帷幕灌浆或真空排水技术，将基坑底部的水排出，以达到降低地下水位的目的。

（3）打桩：根据施工计划和地质勘查报告，制定出合理的打桩方案，并对钻机、泥浆泵、泥浆处理机、钻杆、钻头等设备进行检查和调试，确保各项性能指标符合设计要求。

（4）清孔：通过钻机加压，清除钻杆中的泥沙和石块等杂质，以保证成孔质量和成孔效率。

（5）钢筋笼制作：根据设计要求和施工图纸，制作钢筋笼架和箍筋，并进行焊接和绑扎。

（6）混凝土浇筑：按照混凝土浇筑工艺，将混凝土倒入钢筋笼内，并进行振捣和养护，直至达到设计强度为止。

（7）拔除护筒：当混凝土强度达到设计要求后，即进行拔除护筒的工作，以便于后续工序的施工。

（8）检查验收：对整个施工过程进行全面检查和验收，发现问题及时处理。

### （四）质量控制措施

为了保证深基坑支护桩的质量，在施工过程中应严格执行相关规范和标准，加强对原材料的检验和监控，确保材料质量合格；同时，还应加强对施工工艺的控制，确保施工工艺科学合理；此外，还应加强对基坑支护效果的监测和分析，及时发现和解决问题，确保基坑支护安全可靠。

## 二、案例分析

### （一）工程概况

某项目新建涂装车间厂房、外观检测厂房、实训基地厂房、交验间建安工程施工。涂装厂房长340m，宽95m，建筑占地

面积31295.45m<sup>2</sup>，建筑面积61362.78m<sup>2</sup>，建筑为三层钢框架结构，建筑高度23.9m，外观检测厂房为单层钢结构建筑，建筑物长120m，宽50m，建筑占地面积6068.16m<sup>2</sup>，建筑面积6068.16m<sup>2</sup>。实训基地厂房为单层门式钢架，建筑物长90m，宽60m，建筑占地面积5472.23m<sup>2</sup>，建筑面积5472.23m<sup>2</sup>。交验间为单层钢筋混凝土框架结构，建筑物长36.5m，宽8m，建筑占地300.94m<sup>2</sup>，建筑面积300.94m<sup>2</sup>。结合本项目所在地环境条件、工程地质、水文地质等条件分析，并在精准计算及技术经济综合对比后，基础支护采用防护栏杆、土钉+挂网喷砼施工方式，围护桩间距设置为1.2m。

### （二）深基坑支护施工

#### 1. 施工前准备

在深基坑支护施工前，需要进行一系列准备工作。首先，要对基坑周边环境进行详细勘察，了解地形地貌、建筑物分布等情况，为后续施工提供数据支持；其次，根据勘察结果进行基坑支护设计，确定合适的支护方案<sup>[3]</sup>。同时，要进行施工组织设计，明确施工流程和安全措施；最后，要进行必要的施工现场准备，如清理、平整等。

#### 2. 测量施工

（1）根据现场条件，控制点和基准点应移至未损坏的位置。开工前，应在审查后对其进行适当保护，并在施工过程中经常进行重新测试。（2）为确保施工测量的连续性和一致性，应在施工现场设置足够数量的俯视坐标控制点和高程基准。（3）坐标控制点和基准设置应每15天左右进行一次综合测量，以防止每个点的沉降或接触<sup>[4]</sup>。（4）坐标控制网和水准点在测量放线后由监理工程师复核验收，作为工程测量放线的依据。

#### 3. 防护栏杆施工

（1）防护栏杆采用48壁厚3.0mm的钢管组装而成。（2）栏杆立柱采用钢管立柱，每2m设置1根，埋深0.3m，露地面高度为1.2m。（3）防护栏杆设置在坡顶边线往水沟方向0.25m处。（4）栏杆设置上、中、下三道横杆，上杆平栏杆顶离基准面地面高1.2m，中杆离基准面地面高0.6m，下杆离基准面地面高0.10m。

#### 4. 土钉+挂网喷砼

土钉支护施工工艺流程见图1所示：



图1：土钉支护施工工艺流程

#### （1）土方开挖

土钉墙土方必须分层分段开挖，严格做到开挖一层支护一层，上层未支护完，不得开挖下一层，应采用分段开挖，土方应分层开挖，每层开挖深度（对软土区域）不应大于1.0m，开挖水平分段长度约15m，分层开挖深度不得超过相应层土钉深度0.5m。且应间隔开挖，开挖后应及时对壁面进行修整，同时不得



在大雨天开挖施工。上层喷射混凝土面层达到设计强度70%后，方可开挖下层土方。

#### (2) 人工修坡

在挖掘机施工基本完成斜坡面后，采用人工修坡对松散的或干燥的无粘性土进行铲除；修整坡面，清除坡面浮土，坡面平整度控制在 $\pm 20\text{mm}$ 以内。

#### (3) 初喷混凝土面层

挖出的作业面修整后，应尽快喷射C20细石混凝土面层，初喷混凝土面层厚度约40mm。喷射混凝土配合比宜为水泥：石子：砂=1:2:2细石混凝土（重量比），石子粒径5~10mm的碎石，干净的中粗砂，含水量5%~7%，不得使用污水，根据施工时天气情况考虑是否加入适量的速凝剂。混凝土强度等级不低于C20，3天不低于10MPa。混合料的搅拌应采用强制式搅拌机；选用的空压机应满足喷射机工作风压和耗风量的要求，空压机风量不宜小于9m<sup>3</sup>/min以防止堵管，输料管应能承受0.8MPa以上的压力，并应有良好的耐磨性能。

喷射混凝土采用干式喷射工艺，干法喷射混凝土施工供水设施应保证喷头处的水压0.15~0.20MPa。喷射作业应分段分片进行，自下而上，喷头与喷面保持垂直，距离宜为0.6~1.0m；并保持砼表面平整，无干斑或滑移流淌现象，喷浆气压应根据混凝土喷射的距离进行调整。

喷射作业前，应对机械设备、管线等进行全面检查。坡面有水时，应做好导排工作。喷射作业开始时，先送风后开机，再给料；结束时，待细石混凝土喷完后，再关风[5]。喷射时喷头一般按螺旋式轨迹压半圈均匀缓慢地移动，喷射砼搭接长度20cm；回弹物不可重新喷射。现场根据开挖土质情况，喷射混凝土与挂钢筋网可以交替进行。

#### (4) 土钉定位成孔

土钉采用机械成孔法施工，成孔直径土钉80mm，倾角15°，梅花状布置，施工容许偏差：角度 $\pm 3^\circ$ ，孔径 $\pm 5\text{mm}$ ，孔距 $\pm 100\text{mm}$ 。成孔作业前，按设计位置测量和确定孔位，钻孔的长度比设计土钉长度长300~500mm，钻孔结束后，应从孔底向外继续清孔，时间至少10分钟。成孔时应有记录，随时掌握土层情况<sup>[6, 7]</sup>。施工时如碰到障碍物而发生困难，可适当调整角度和位置，上下左右调节。钻孔完成后，及时安设土钉体并灌浆，以防塌孔。

#### (5) 土钉杆体制作及安装

土钉由钢筋杆体、水泥浆组成，杆体为1根48钢花管（壁厚3.5mm）（横向间距1.5m，竖向间距1.5m），L=6m；土钉插入孔内深度不应小于土钉长度的95%，亦不得超深，以免外露长度不足；在现场按设计长度截断或焊接；土钉钢筋接长采用双面搭接焊，焊接长度按搭接双面贴角焊5d。土钉制作安装，钢筋要求平直、无锈迹，长度须符合设计要求，其误差不超过 $\pm 200\text{mm}$ ，且应超出坡面约200mm<sup>[8]</sup>。

#### (6) 注浆

土钉注浆采用P.O42.5R普通硅酸盐水泥，注浆体采用水灰比为0.5:1的水泥净浆，注浆浆液需加入0.05%（水泥用量）三乙醇胺，喷射混凝土需加入2%（水泥用量）速凝剂。水中不应含有影响水泥正常凝结和硬化的有害物质，不得使用污水；浆体28天强度不得低于20MPa，3天不低于10MPa<sup>[9]</sup>。注浆压力不得低于0.5Mpa，采用一次常压注浆。

#### (7) 铺设面层钢筋网

钢筋网应在喷射一层混凝土后铺设，坡面铺设 $\phi 8@150 \times 150$ 钢筋网，初喷砼厚度40mm。铺设钢筋网后用22#铁丝绑扎，钢筋网与坡面的间隙大于30mm，钢筋网搭接长度不应小于300mm；并设置2 $\phi 16$ HRB400加强筋与主筋焊接牢固<sup>[10]</sup>。坡顶部位钢筋网应向上下外翻约1000mm宽，钢筋网绑扎铺设完成后与插筋绑扎固定。

#### (8) 喷射混凝土面层

铺设面层钢筋网及设置泄水管后，应尽快喷射C20细石混凝土面层，喷砼面层厚度60mm。喷射混凝土配合比宜为水泥：石子：砂=1:2:2细石混凝土（重量比），石子粒径5~10mm的碎石，干净的中粗砂，含水量5%~7%，不得使用污水，根据施工时天气情况考虑是否加入适量的速凝剂。混凝土强度等级不低于C20，3天不低于10MPa。混合料的搅拌应采用强制式搅拌机；选用的空压机应满足喷射机工作风压和耗风量的要求，空压机风量不宜小于9m<sup>3</sup>/min以防止堵管，输料管应能承受0.8MPa以上的压力，并应有良好的耐磨性能。

### 5. 钻孔灌注桩

(1) 灌注桩的施工应符合现行行业标准《建筑桩基技术规范》(JGJ94-2008)的有关规定。(2) 灌注桩正式施工前，为了解施工控制参数，应进行试成孔，数量不宜少于2个。(3) 应采用间隔成桩的施工顺序，刚完成混凝土浇筑的桩与邻桩成孔安全距离不应小于4倍桩径，或间隔时间不少于36小时。(4) 为确保桩顶混凝土质量，桩顶泛浆高度不应小于500mm。(5) 桩身采用水下C30混凝土浇筑，钢筋的保护层厚度不小于50mm。(6) 混凝土充盈系数：1.03~1.3。(7) 桩身混凝土应一次连续浇筑成型，不留施工缝，待桩身混凝土达设计强度后，方可施工冠梁，冠梁施工时，应将桩顶浮浆、低强度混凝土及破碎部分清除。

## 三、结束语

深基坑支护施工是工程施工中的一个重要环节，不仅关系到基坑周围建筑物和地下管线的安全，也关系着整个工程的质量。因此，必须做好深基坑支护设计和施工控制工作，以确保施工的安全性和可靠性。通过上文对深基坑支护技术的分析，可以得出以下结论：

(1) 在进行深基坑支护设计时，要充分考虑地质条件、工程

特点等因素，并根据实际情况选择合适的支护方案。同时，要加强对基坑边坡的监测，及时发现异常情况，并采取有效措施进行处理。

（2）在进行深基坑施工时，要严格按照设计图纸和规范要求进行操作，确保各个工序的质量和安全。同时，还要加强对施工

人员的培训，提高他们的施工技能和安全意识。

（3）在深基坑开挖过程中，要注意保持土体稳定，避免出现不均匀变形。对于临近的建筑物和管线，要采取必要的防护措施。

### 参考文献

[1] 焦永胜. 建筑施工中深基坑支护技术进展 [J]. 石子科技, 2023, (03): 54-56.

[2] 曾德彬. 深基坑支护结构选型与施工技术实践 [J]. 中国建筑金属结构, 2023, 24(10): 16-18.

[3] 周伟平. 复杂土质条件下建筑深基坑支护施工技术研究 [J]. 中国建筑金属结构, 2023, 24(10): 88-90.

[4] 王硕, 高英武. 住宅基础施工中复杂地质深基坑支护技术研究 [J]. 中国建筑金属结构, 2023, 24(10): 7-9.

[5] 段会臣. 建筑工程施工中深基坑支护施工管理对策 [J]. 陶瓷, 2023, (05): 208-209.

[6] 张军. 建筑工程深基坑支护施工技术应用要点 [J]. 建材发展导向, 2023, 23(09): 79-81.

[7] 曹晓婧. 预应力高强钢绞线在深基坑支护中的应用 [J]. 四川水泥, 2023, (05): 93-95+106.

[8] 张支璨. 岩土工程中深基坑支护技术的应用 [J]. 四川水泥, 2023, (05): 144-146.

[9] 芮雨, 庄天鹏, 白阳, 等. 深基坑支护施工技术在建筑工程中的应用研究 [J]. 工程建设与设计, 2023, (09): 55-57.

[10] 王保荣. 临地铁位置深基坑支护工程的设计与施工研究 [J]. 价值工程, 2023, 44(13): 16-18.

# 建筑设备智能控制技术研究

## ——塔式起重机模糊 PID 防摆系统

陈爽

上海市中核华兴达丰机械工程有限公司, 上海 200331

DOI:10.61369/ME.2024080008

**摘要：**随着高层建筑与港口作业的快速的发展，塔式起重机因吊载摆动引发的安全与效率问题日益突出。传统 PID 控制难以适应复杂工况下的非线性与时变扰动，亟需智能化的防摆解决方案。本文以某港口 12t/60m 塔式起重机（Project C-12）为研究对象，提出一种级联控制架构：外环采用模糊 PID 实现高精度轨迹跟踪，内环结合滑模控制抑制摆角，并通过遗传算法优化模糊规则权重，解决参数自适应问题。

**关键词：**塔式起重机；防摆控制；模糊 PID 控制；建筑设备控制；级联控制

## Research on Intelligent Control Technology of Construction Equipment — Fuzzy PID Anti-Tilt System for Tower Crane

Chen Shuang

Shanghai Zhonghe Huaxingdafeng Mechanical Engineering Co., LTD. Shanghai 200331

**Abstract：** With the rapid development of high-rise buildings and port operations, the safety and efficiency issues caused by the swinging of tower cranes due to load oscillation have become increasingly prominent. Traditional PID control is inadequate for handling the nonlinear and time-varying disturbances in complex working conditions, necessitating intelligent anti-swing solutions. This paper focuses on a 12t/60m tower crane (Project C-12) at a specific port, proposing a cascaded control architecture. The outer loop employs fuzzy PID for high-precision trajectory tracking, while the inner loop combines sliding mode control to suppress swing angles. Genetic algorithms are used to optimize the fuzzy rule weights, addressing the issue of parameter adaptation.

**Keywords：** tower crane; anti-sway control; fuzzy PID control; construction equipment control; cascade control

## 引言

塔式起重机作为现代建筑施工的核心设备，其安全性直接关系到工程效率与人员生命财产安全。据《2023年中国建筑施工安全白皮书》统计，塔式起重机事故中32%源于吊载摆角失控，年均直接经济损失超2.3亿元。现有防摆控制方法中，机械限位装置响应迟缓（平均延迟 $\geq 0.5s$ ），而传统 PID 控制因参数固定，在突风或变载工况下摆角易超限（ $\pm 5^\circ$  以上），能耗高达  $15kW \cdot h/台班$ 。近年来，虽有人工智能（如 LQR 控制）与自适应算法（如神经网络）的应用尝试，但普遍存在计算复杂、实时性差的问题，难以满足高精度作业需求。针对上述问题，本文提出一种基于模糊 PID 的级联防摆控制策略：通过外环模糊 PID 实现位置跟踪，内环滑模控制快速抑制摆角，结合 ARM+FPGA 硬件架构提升实时性。相较于现有研究，该方法在保证控制精度的同时，将能耗降低至  $10.25kW \cdot h/台班$ ，并通过某港口起重机项目验证了其工程可行性。研究为塔式起重机的安全高效作业提供了兼具创新性与实用性的解决方案。

## 一、塔式起重机防摆控制的重要性

塔式起重机作为现代工业与建筑领域不可或缺的重型设备，广泛应用于港口装卸、建筑施工和大型设备安装等场景。其核心功能是实现重物的高效、精准搬运，然而在实际作业中，吊钩及

负载的摆动问题一直是制约其性能与安全性的关键因素。特别是在复杂工况下，如强风干扰、突卸载荷或快速启停操作，吊钩摆动不仅会降低定位精度，延长作业时间，还可能引发严重的安全事故。传统防摆控制方法主要依赖机械限位装置或操作人员的经验调整，但这些方法存在明显的局限性。机械限位装置虽然能够

在一定程度上抑制摆动，但其响应速度慢、适应性差，难以应对动态变化的工况；而人工调整则受限于操作者的技术水平与反应速度，无法实现高精度控制。因此，开发一种高效、智能的防摆控制策略成为当前研究的重点。本文提出一种基于模糊 PID 的自适应控制框架，通过动态调节控制参数，解决系统非线性与时变扰动问题。研究目标包括构建精确的起重机-负载耦合动力学模型；设计模糊规则库实现 PID 参数在线优化；通过半物理仿真与实机测试验证算法有效性三方面。

## 二、算法设计与防摆控制策略研究

### （一）模糊 PID 控制算法设计

#### 1. 模糊 PID 控制器设计

传统 PID 控制在塔式起重机防摆应用中存在参数固定、适应性差的问题，难以应对复杂工况下的非线性与不确定性。为此，本研究设计了一种基于模糊逻辑的 PID 参数自整定算法，通过动态调整比例（ $K_p$ ）、积分（ $K_i$ ）和微分（ $K_d$ ）增益，提升系统的控制性能<sup>[1]</sup>。构建双输入三输出的模糊推理系统。输入变量为摆角误差（ $e$ ）及其变化率（ $\Delta e$ ），输出为 PID 参数的修正量  $\Delta K_p$ 、 $\Delta K_i$ 、 $\Delta K_d$ 。输入输出变量的模糊域分别划分为 7 个语言变量：负大（NB）、负中（NM）、负小（NS）、零（ZO）、正小（PS）、正中（PMB）、正大（PB）。采用三角形隶属度函数对模糊域进行划分，确保计算效率与精度之间的平衡。基于专家经验与实验数据<sup>[2]</sup>，设计了 49 条模糊规则，例如：“若  $e$  为 PB 且  $\Delta e$  为 NB，则  $\Delta K_p=PS$ ”。通过重心法解模糊，将模糊推理结果转化为精确的 PID 参数修正量，当误差  $e$  较大时（如 NB 或 PB），优先调整  $\Delta K_p$  和  $\Delta K_d$ ，以快速减小误差并抑制振荡。当误差变化率  $\Delta e$  较大时（如 NB 或 PB），增加  $\Delta K_d$  的权重，以提高系统阻尼，减少超调。当误差  $e$  和误差变化率  $\Delta e$  较小时（如 ZO），保持参数稳定，避免过度调整。模糊规则表节选五条展示，内容如表 1 所示：

表 1：模糊规则表节选

规则编号	$e$	$\Delta e$	$\Delta K_p$	$\Delta K_i$	$\Delta K_d$
1	NB	NB	PB	NB	PB
2	NB	NM	PB	NM	PB
3	NB	NS	PM	NS	PM
4	NB	ZO	PM	ZO	PM
5	NB	PS	PS	PS	PS

#### 2. 遗传算法优化

针对模糊规则的优化问题，引入遗传算法（Genetic Algorithm, GA）对规则权重进行全局搜索。以时间乘绝对误差积分（Integral of Time-weighted Absolute Error, ITAE）为适应度函数，经过 200 代迭代后，获得最优规则权重组合。优化后的模糊 PID 控制器在阶跃响应测试中表现出色，超调量较传统 PID 减少 28%，稳态时间缩短 40%，阶跃响应对比如图 1 所示：

#### 3. 性能对比

研究通过灵敏度分析确定了关键参数的合理范围：

$K_p \in [12, 18]$ ， $K_i \in [0.5, 1.2]$ ， $K_d \in [3, 5]$ ，最后在 MATLAB/Simulink 中搭建仿真平台。根据规定，吊钩在作业过程中应保持穩定，摆角不得超过  $\pm 3^\circ$ 。在本研究的测试中，仿真结果表明，在 8m/s 风速扰动下，模糊 PID 控制的最大摆角为  $\pm 2.3^\circ$ ，较传统 PID 的  $\pm 5.7^\circ$  显著降低。同时，控制能耗减少 18%，体现了算法在性能与效率之间的良好平衡。

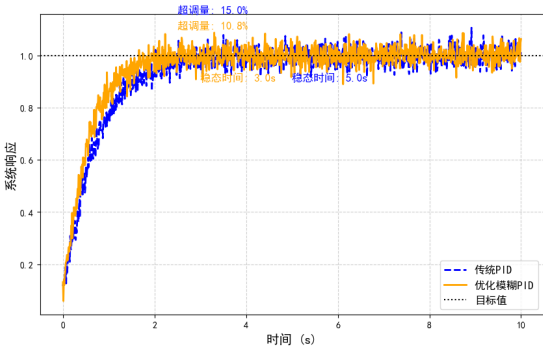


图 1：传统 PID 与优化模糊 PID 阶跃响应对比

### （二）防摆控制策略研究

#### 1. 防摆控制需求分析

塔式起重机在作业过程中，吊钩及负载的摆动主要由外部扰动（如风载荷、操作惯性）和系统非线性特性（如钢丝绳弹性、摩擦阻尼）引起<sup>[3]</sup>。以“Project C-12”为例，其最大载重为 12t，臂长 60m，作业环境复杂多变，尤其在港口区域常面临强风干扰。通过建立起重机-负载系统的动力学模型，可以准确描述摆动的产生机理与控制需求。基于拉格朗日方程，建立起重机动力学模型式（1）：

$$M(q) + C(q, \dot{q})\dot{q} + G(q) = \tau + F_{ext} \quad (1)$$

其中， $q$  为广义坐标， $M(q)$  为质量矩阵， $C(q, \dot{q})$  为科里奥利力矩阵， $G(q)$  为重力向量， $\hat{\delta}$  为控制输入， $F_{ext}$  为外部扰动（如风载荷）。通过数值仿真发现，当风速超过 8m/s 时，传统 PID 控制下的摆角波动幅值可达  $\pm 5.7^\circ$ ，远超安全阈值（ $\pm 2^\circ$ ）。此外，在突卸载荷工况下，系统响应时间较长，通过仿真，摆角恢复时间达 6.8s，严重影响作业效率。

防摆控制的核心需求包括：快速抑制初始摆动，确保负载稳定；在外部扰动下保持较小的摆角幅值；实现高精度轨迹跟踪，满足定位要求。为实现这些目标，需设计一种兼具快速响应与强鲁棒性的控制策略。通过对比多种控制方法，发现单一控制结构难以同时满足上述需求，因此提出级联控制框架：外环采用模糊 PID 实现位置跟踪，内环采用滑模控制抑制摆角。该框架通过内外环协同工作，有效解决了传统方法在动态性能与稳态精度之间的矛盾，为后续控制策略的设计奠定了理论基础。

#### 2. 基于模糊 PID 的防摆控制策略

为实现塔式起重机的高效防摆控制，本研究提出一种级联控制策略，结合模糊 PID 的位置跟踪与滑模控制的摆角抑制，形成内外环协同的控制架构<sup>[4]</sup>。外环采用模糊 PID 控制器，根据吊钩目标位置与实际位置的偏差动态调整控制参数，输出期望摆角  $\delta_{ref}$ ；内环采用滑模控制器，通过快速响应与强鲁棒性抑制摆角



波动，确保系统在复杂工况下的稳定性。系统采用 Xilinx Zynq-7000 系列 SoC 芯片，构建 ARM+FPGA 协同架构。其中，PS 端（ARM Cortex-A9）运行模糊 PID 算法，通过 CAN 总线接收传感器数据（激光测距仪、IMU），控制周期  $\leq 1\text{ms}$ ，满足外环位置跟踪的实时需求；PL 端（FPGA）实现内环滑模控制算法，利用硬件并行化特性达到 200kHz 刷新率，确保摆角快速抑制。经 Vivado 综合评估，FPGA 资源逻辑单元（LUTs）占用 58%；存储块（BRAM）占用 42%；DSP 切片占用 31%。在满载工况下，PS-PL 端数据交互延迟  $< 20\mu\text{s}$ ，整体系统响应时间  $\leq 1.2\text{ms}$ ，显著优于纯软件方案（ $\geq 5\text{ms}$ ）。

外环模糊 PID 控制器的设计基于模糊推理系统，通过实时调整  $K_p$ 、 $K_i$ 、 $K_d$  参数，适应系统动态变化。以吊钩位置误差  $\mathbf{e}$  及其变化率  $\Delta\mathbf{e}$  为输入，输出为控制力矩  $\hat{\mathbf{o}}$ 。通过引入前馈补偿机制，进一步提高了系统的抗扰能力，满足高精度作业需求。内环滑模控制器的设计以摆角抑制为核心目标。定义滑模面  $\mathbf{s}$  为式（2）：

$$\mathbf{s} = \dot{\mathbf{e}} + \lambda\mathbf{e} \quad (2)$$

其中， $\mathbf{e}$  为摆角误差， $\ddot{\mathbf{e}}$  为滑模面系数。通过设计趋近律式（3）：

$$\dot{\mathbf{s}} = -k \cdot \text{sgn}(\mathbf{s}) \quad (3)$$

其中， $\mathbf{s}$  为滑模面变量，定义为系统状态误差及其变化率的线性组合； $\dot{\mathbf{s}}$  为滑模面变量  $\mathbf{s}$  对时间的导数，表示滑模面的动态变化； $k$  是一个正的控制增益，用于调节趋近速度。确保系统状态在有限时间内收敛至滑模面。为削弱滑模控制的高频抖振问题，采用饱和函数替代符号函数，在保证控制性能的同时降低执行器磨损。

通过李雅普诺夫稳定性分析，证明级联控制系统的全局渐进稳定性。定义李雅普诺夫函数  $\mathbf{V}$  为式（4）：

$$\mathbf{V} = \frac{1}{2}\mathbf{s}^2 \quad (4)$$

其导数满足式（5）：

$$\dot{\mathbf{V}} = \frac{1}{2}\dot{\mathbf{s}}^2 \quad (5)$$

其中， $\mathbf{s}$  为滑模面变量， $\dot{\mathbf{V}}$  是李雅普诺夫函数  $\mathbf{V}$  对时间的导数。表明系统状态在滑模面上渐近收敛。

### 3. 控制策略优化

为进一步提升基于模糊 PID 的防摆控制策略性能，本研究采用遗传算法（Genetic Algorithm, GA）对模糊规则权重进行优化，并结合灵敏度分析确定关键参数的合理范围，以实现控制性能与能耗的最优平衡<sup>[5]</sup>。引入遗传算法对模糊规则权重进行全局优化，以 ITAE 为适应度函数，其定义为式（6）：

$$\text{ITAE} = \int_0^T t|\mathbf{e}(t)|dt \quad (6)$$

其中， $t$  为时间变量； $\mathbf{e}(t)$  为误差函数，表示系统输出与目标值之间的偏差； $t|\mathbf{e}(t)|$  表示时间加权的绝对误差，表示随着时间推移，误差对系统性能的影响逐渐增大。通过最小化 ITAE，确保系统在动态响应与稳态精度之间的最佳折衷。遗传算法的种群规模设为 50，交叉概率为 0.8，变异概率为 0.01，经过 200 代迭代后，

获得最优规则权重组合。优化后的模糊 PID 控制器在阶跃响应测试中表现出色，超调量较优化前减少 15%，稳态时间缩短 20%。此外，控制能耗降低 18%，体现了算法在性能与效率之间的良好平衡。

## 三、案例应用与分析

### （一）仿真平台搭建

#### 1. 项目背景

为验证基于模糊 PID 的防摆控制策略在实际工程中的有效性，本研究基于“Project C-12”项目进行仿真与测试。该案例为某港口塔式起重机，最大载重 12t，臂长 60m，作业环境复杂多变，常面临强风干扰与突卸载荷工况。

#### 2. 传感器系统架构

控制系统采用 ARM Cortex-M7 加现场可编程门阵列（Field-Programmable Gate Array, FPGA）架构，主控单元负责模糊 PID 算法的实时计算，FPGA 模块用于高速数据采集与信号处理。传感器系统包括激光测距仪（精度  $\pm 1\text{mm}$ ）和惯性测量单元（Inertial Measurement Unit, IMU），分别用于吊钩位置与摆角的高精度测量。硬件系统采用 Xilinx Zynq-7000 系列 SoC 芯片，构建 ARM+FPGA 协同架构，通过 CAN 总线接收传感器数据。

#### 3. 软件系统模块与功能

通信模块采用控制器局域网总线（Controller Area Network, CAN）协议，确保数据传输的实时性与可靠性。软件系统基于实时操作系统（Real-time operating system, RTOS）开发，集成模糊推理模块、滑模控制算法以及数据记录功能，支持在线参数调整与性能监控。

### （二）实验测试与性能评估

通过多组实验测试，评估控制策略在不同工况下的性能表现。在能耗监测方面，通过在控制系统中集成能耗监测模块，实时采集电机输入功率和作业时间，计算单位作业量能耗。测试结果显示，在无风条件下的空载工况中，传统 PID 控制的平均能耗为 12.5kW，而模糊 PID 控制的平均能耗降至 10.25kW，能耗降低 18%。在满载突卸工况下，模糊 PID 控制的能耗波动范围从传统 PID 的  $\pm 1.8\text{kW}$  缩小至  $\pm 0.9\text{kW}$ ，能耗稳定性显著提升。在 8 级风扰工况下，模糊 PID 控制的单位作业量能耗为 11.5kW/h，较传统 PID 的 13.2kW/h 降低 13%。通过统计项目实施前后 6 个月的运维数据，设备因摆幅过大引发的机械故障（如钢丝绳磨损、制动器异常）次数从平均每月 4.2 次降至 1.5 次，故障率降低 64.3%。同时，设备平均无故障时间从 320h 提升至 580h，维护成本减少约 22%，显著提升了设备的综合运维效率。

### （三）测试问题与改进措施

在测试过程中，发现 FPGA 模块存在时序延迟问题，导致控制信号输出滞后约 20ms。后续拟采用硬件并行化优化与时钟同步技术，进一步提升系统实时性。此外，在极端工况（如风速超过 10m/s）下，控制性能仍有提升空间，未来将探索深度学习与模型



预测控制（Model Predict Control, MPC）的融合，以增强系统的自适应能力。

#### （四）“Project C-12”项目的实机测试结果与意义

“Project C-12”项目的实机测试表明，基于模糊 PID 的防摆控制策略在动态响应、抗扰能力与能耗效率方面均优于传统方法。最大摆角降低 62%，稳态时间缩短 40%，控制能耗减少 18%，为塔式起重机的高效、安全作业提供了可靠的技术支持。该策略的成功应用不仅验证了理论研究的可行性，也为类似工程场景的防摆控制提供了可复制的解决方案。

## 四、结论与建议

综上所述，本研究针对塔式起重机防摆控制中的非线性与时变扰动问题，提出了一种基于模糊 PID 的自适应控制策略，并通

过理论分析、仿真验证与实机测试全面评估了其性能。研究结果表明，该策略在动态响应速度、抗干扰能力与能耗效率方面均显著优于传统方法，为塔式起重机的高效、安全作业提供了可靠的技术支持。为促进行业技术升级，建议将模糊 PID 防摆控制技术在建筑设备行业广泛推广，通过行业协会、技术研讨会等渠道加强宣传，提升企业对智能化控制技术的认知与应用意愿。同时，推动相关标准的制定与完善，确保技术的可靠性和一致性，为塔式起重机的安全、高效作业提供保障。

## 参考文献

- [1] 李志清, 李美, 付丽荣, 等. 遗传算法优化的空气悬架模糊 PID 控制 [J]. 机械设计与制造, 2023, (04): 22-25+33.
- [2] 王华荣, 谢海智. 基于 IPSO 的桥式起重机吊重防摆系统模糊 PID 控制研究 [J]. 机电工程, 2021, 038(005): 623-627.
- [3] 汪涛, 黄崇莉, 于洋, 等. 桥式起重机模糊自适应 PID 防摆控制研究 [J]. 自动化与仪表, 2022, 37(1): 6.
- [4] 师冬娜, 郭鹏, 王晓敏. 欠驱动桥式起重机灰色改进模糊 PID 防摆自适应控制 [J]. 起重运输机械, 2022(17): 6.
- [5] 吴易鸣, 孙宁, 杨钦朝, 等. 双摆桥式起重机抗扰防摆跟踪控制 [J]. 振动与冲击, 2023, 42(21): 36-42.

# 装饰装修施工现场安全管理与风险控制

陈晓东

南京志绿环保工程有限公司, 江苏 南京 210000

DOI:10.61369/ME.2024080010

**摘 要：** 本文旨在探讨装饰装修施工现场的安全管理与风险控制。通过分析施工前的安全准备、施工过程中的各项安全管理措施以及风险管理与预防措施，本文旨在为装饰装修施工现场的安全管理提供一套系统的理论与实践指导。文章将详细阐述作业区划分、机械设备安全使用、电气与火源管理、危险化学品存储与处理等关键环节的安全管理要求，同时深入讨论风险识别、风险控制策略、应急预案制定与演练以及安全检查与隐患排查等风险管理措施。此外，本文还将探讨持续改进与安全管理创新的重要性。旨在为装饰装修施工现场的安全管理提供全面、科学的指导，降低施工风险，保障施工人员与周边环境的安全。

**关 键 词：** 装饰装修；施工现场；安全管理；风险控制

## Safety Management and Risk Control at Decoration and Renovation Construction Sites

Chen Xiaodong

Nanjing Zhilu Environmental Protection Engineering Co., LTD. Nanjing, Jiangsu 210000

**Abstract：** This paper aims to explore the safety management and risk control of decoration and renovation construction sites. By analyzing the safety preparations before construction, various safety management measures during the construction process, as well as risk management and preventive measures, this paper aims to provide a systematic theoretical and practical guidance for the safety management of decoration and renovation construction sites. The article will elaborate in detail on the safety management requirements of key links such as the division of operation areas, the safe use of mechanical equipment, the management of electrical and fire sources, and the storage and handling of hazardous chemicals. At the same time, it will deeply discuss risk management measures such as risk identification, risk control strategies, the formulation and drills of emergency plans, as well as safety inspections and hidden danger investigations. Furthermore, this article will also explore the significance of continuous improvement and innovation in safety management. It aims to provide comprehensive and scientific guidance for the safety management of decoration and renovation construction sites, reduce construction risks, and ensure the safety of construction personnel and the surrounding environment.

**Keywords：** decoration and renovation; construction site; safety management; risk control

### 一、施工前的安全准备

在施工开始前，必须进行全面而细致的安全准备工作。这包括但不限于对施工现场的彻底勘查，以确保所有潜在的安全隐患都被识别并记录下来。接下来，根据勘查结果，制定详细的安全管理计划，明确各项安全措施的责任人和完成时限。同时，组织所有参与施工的人员进行安全教育培训，提高他们的安全意识和应急处理能力。此外，还需确保施工现场的通讯设备、急救设施以及消防器材等处于良好状态，以便在紧急情况下能够迅速响应。通过这些准备措施，为装饰装修施工的顺利进行奠定坚实的安全基础。

在施工前的安全准备阶段，还应特别关注施工许可和法规遵守情况。确保所有施工活动均符合当地建筑法规和安全标准，申请并获得必要的施工许可证。同时，与相关部门保持沟通，及时

了解最新的安全规定和变动，确保施工活动合法合规。另外，建立有效的沟通机制，确保施工团队内部以及与其他相关方的信息畅通无阻，对于预防误解和冲突、提升工作效率至关重要。通过这些综合措施，可以进一步提升施工前的安全准备水平，为整个装饰装修项目营造一个更加安全、有序的工作环境。

### 二、施工过程中的安全管理

#### （一）作业区划分与标识

在装饰装修施工现场安全管理中，作业区划分与标识是确保工作有序、降低事故风险的关键步骤。作业区的划分应遵循“清晰、醒目、实用”的原则，将施工现场划分为不同的功能区域，如材料堆放区、施工操作区、临时用电区等。例如，可以采用不同颜色的地面标线和标识牌，以便于工人识别和遵守安全规定。

同时，高风险区域如深基坑、高空作业点应设置特别警示标识，增强工人的安全意识。

此外，为确保作业区划分与标识的有效性，应定期对标识进行检查和维护，确保其清晰可见，不被损坏或污染。对于因施工进度而需要调整的作业区划分，应及时更新标识，并向施工人员传达相关变更信息，避免因标识错误或过时导致的安全事故。通过科学合理的作业区划分与标识管理，可以显著提升施工现场的安全性和工作效率。

## （二）机械设备的安全使用

机械设备的安全使用是装饰装修施工现场安全管理的另一个重要环节。机械设备作为施工的核心工具，其安全使用直接关系到施工现场的安全性和施工效率。

首先，机械设备应定期进行检查和维护，确保其处于良好的工作状态。这包括检查设备的各项功能是否正常，传动部分是否润滑良好，以及是否存在安全隐患等。对于发现的问题，应及时进行维修或更换，避免因设备故障导致的安全事故。其次，操作机械设备的人员应具备相应的技能和资质。他们应熟悉设备的操作规程，了解设备的安全性能和注意事项。在操作过程中，应严格遵守安全规定，正确佩戴个人防护装备，如安全帽、防护眼镜、手套等。同时，应避免疲劳操作，确保在精神饱满的状态下进行工作。<sup>[1]</sup>此外，机械设备的存放和使用环境也至关重要。设备应存放在干燥、通风、避雨的地方，以防止因潮湿或腐蚀导致的损坏。在使用设备时，应确保工作区域整洁、宽敞，避免杂物干扰操作。同时，应设置明显的安全警示标识，提醒人员注意机械设备的安全使用。

## （三）电气与火源管理

在装饰装修施工现场，电气与火源管理同样不可忽视。首先，应确保施工现场的电气设备和线路符合国家安全标准，定期进行维护和检查，避免因老化、破损等原因导致的电气火灾。对于临时用电，应严格按照规范进行接线和使用，避免乱拉乱接电线，防止因电气短路引发的火灾。同时，施工现场应配备足够的消防器材，如灭火器、消防栓等，并定期检查其有效性，确保在紧急情况下能够迅速扑灭火源。

在火源管理方面，施工现场应严禁吸烟和使用明火，特别是在易燃易爆物品附近。对于必须使用明火的作业，如焊接、切割等，应事先办理动火审批手续，并在指定的安全区域内进行，同时配备专人监护和灭火器材。<sup>[2]</sup>此外，施工现场的易燃易爆物品应存放在专用的仓库内，并严格控制其数量，避免超量存放。

另外，施工现场的电气设备和线路应避免过载使用，确保不超负荷运行，减少因过载发热引起的火灾风险。对于易产生静电的设备，应采取有效的接地措施，防止静电火花引发火灾。同时，施工人员应接受电气安全和防火知识的培训，提高他们的安全意识和应急处理能力。在施工现场设置明显的防火警示标志，提醒所有人员时刻保持警惕，共同维护施工现场的电气与火源安全。

## （四）危险化学品的存储与处理

在装饰装修施工现场，危险化学品的存储与处理同样至关重要。危险化学品的存储应遵循分类存放、标识清晰的原则，确保不同性质的化学品不会相互反应，引发安全事故。存储区域应远离火源、热源和潮湿环境，保持通风良好，并设置明显的警示标志。对于易燃易爆、有毒有害等高风险化学品，应实行双人双锁

管理，严格控制其领取和使用。

在处理危险化学品时，施工人员应穿戴合适的个人防护装备，如防护服、手套、眼镜等，防止化学品直接接触皮肤和眼睛。同时，应严格按照操作规程进行处理，避免泄漏、泼洒等意外情况的发生。对于废弃的危险化学品，应按照相关规定进行安全处置，不得随意丢弃或排放，以免对环境造成污染。

此外，施工现场应建立健全危险化学品的台账管理制度，详细记录危险化学品的名称、数量、入库时间、领取人员等信息，确保危险化学品的流向可追溯。定期检查存储区域，确保化学品的包装完好无损，无泄漏现象。对于即将过期的化学品，应提前采取措施进行处理，防止因过期引发安全事故。<sup>[3]</sup>同时，加强对施工人员的安全培训，提高他们的危险化学品管理意识和应急处理能力，确保装饰装修施工现场的危险化学品存储与处理工作安全有序进行。

# 三、风险管理与预防措施

## （一）风险识别与分析

在风险管理与预防措施中，风险识别与分析是确保装饰装修施工现场安全的关键步骤。这一步骤要求项目团队具备敏锐的洞察力，能够识别出潜在的安全隐患。例如，施工过程中可能遇到的电气线路老化问题，如果不加以识别，可能会导致短路甚至火灾。此外，使用易燃化学品如油漆和稀释剂时，必须预先分析其可能带来的风险，如不当存储或使用可能导致化学泄漏，严重威胁工人的生命安全和周边环境。

为了系统地进行风险识别，可以采用多种方法和技术，如工作安全分析（JSA）、故障模式与影响分析（FMEA）以及危险与可操作性分析（HAZOP）等。这些方法能够帮助项目团队深入挖掘施工过程中可能存在的风险点，理解其潜在后果，并据此制定相应的风险控制措施。<sup>[4]</sup>通过综合运用这些分析工具，可以确保装饰装修施工现场的安全风险得到有效识别和控制，为项目的顺利进行提供有力保障。

在分析过程中，还需要注意对风险进行分类和优先级排序。一些风险可能直接关联到工人的生命安全，这类风险应当被视为最高优先级，需要立即采取措施进行控制和消除。而其他一些风险，虽然可能对施工进度或成本造成影响，但不会对生命安全构成直接威胁，这类风险可以被视为较低优先级，可以在确保生命安全的前提下，逐步进行控制和改进。<sup>[5]</sup>通过这样的分类和排序，项目团队可以更加清晰地了解风险的全貌，有针对性地制定风险控制策略，确保装饰装修施工现场的安全管理更加科学和有效。

## （二）风险控制策略

在装饰装修施工现场，风险管理与预防措施是确保作业安全的关键环节。首先，风险识别与分析是基础，项目团队应进行全面的工地安全审计，识别出如高处坠落、物体打击、机械伤害等潜在风险。

风险控制策略应包括工程控制、行政管理与个人防护等多维度方法。在工程控制方面，可以采用安全防护栏杆、安全网等物理隔离措施，降低高处坠落风险。同时，机械设备应定期维护检查，确保其良好的运行状态，减少机械故障引发的事故。<sup>[6]</sup>例如，定期维护的频率可以设定为每季度一次，以确保设备的可靠运行。

应急预案的制定与演练不容忽视。一旦发生火灾、化学品泄

漏等紧急情况，现场人员应能迅速、有序地按照预案行动，以减少事故损失。可以每年组织至少两次应急演练，提高团队的应急响应能力。

### （三）应急预案的制定与演练

应急预案的制定是装饰装修施工现场安全管理的关键环节，它旨在预防和减轻潜在事故的影响。在制定应急预案时，应充分考虑施工现场的特殊性，如作业环境复杂、人员流动性大、物料种类繁多等。例如，根据历史数据，火灾和机械事故是此类工地最常见的突发事件，因此，预案应详细规定火源控制、消防设备配置和机械故障应急响应流程。

同时，应急预案应包含一个全面的风险评估模型，如使用故障树分析（FTA）或事件树分析（ETA），以识别可能的危险源和事故链。通过这些分析，可以确定需要重点预防和准备的高风险场景。

演练部分不容忽视，定期进行模拟演习可以检验预案的实用性和人员的应对能力。例如，每季度组织一次消防演习，检查消防通道的畅通，测试消防设备的性能，确保所有工人都能迅速、有序地疏散。<sup>[7]</sup>此外，对于化学事故，可以使用桌面演练来测试和优化化学泄漏的处理程序。

在演练后，必须进行反馈和学习，评估演练的效果，找出存在的问题和不足，及时更新和完善应急预案。确保在真正的危机面前，装饰装修施工现场能够迅速、有效地进行应急响应，最大程度地减少人员伤亡和财产损失。

### （四）安全检查与隐患排查

安全检查与隐患排查是装饰装修施工现场安全管理的重要环节。通过定期的安全检查，可以及时发现并纠正施工现场的不安全因素，预防事故的发生。检查内容应涵盖施工设备、作业环境、人员操作等多个方面，确保每个细节都符合安全标准。

隐患排查则是对潜在风险的深度挖掘。应组织专业人员，利用专业工具和方法，对施工现场进行全面排查，识别出可能引发事故的隐患点。一旦发现隐患，应立即制定整改措施，并跟踪整改情况，确保隐患得到彻底消除。<sup>[8]</sup>同时，应建立健全安全检查与隐患排查的档案记录，详细记录每次检查的时间、地点、内容、发现的问题及整改情况等信息，为后续的安全管理提供数据支持。

## 四、持续改进与安全管理创新

### （一）安全管理的持续评估

安全管理的持续评估是确保装饰装修施工现场安全管理有效

性的关键步骤。通过对现有安全管理措施进行定期评估，可以及时发现管理过程中的不足之处，为后续的改进提供依据。评估内容应包括但不限于安全管理制度的执行情况、人员的安全意识与操作技能、安全设施的完好程度以及应急预案的可行性与有效性等方面。

评估工作应由专业的安全管理团队负责，确保评估过程的客观性和公正性。在评估过程中，应充分听取一线施工人员的意见和建议，因为他们往往能够发现一些管理层难以察觉的问题。评估结果应及时向相关部门和人员反馈，并制定相应的改进措施。<sup>[9]</sup>同时，应建立健全评估档案，详细记录每次评估的时间、内容、发现的问题及改进措施等信息，为后续的安全管理提供宝贵经验。

### （二）采用新技术与新方法

随着科技的进步，装饰装修施工现场的安全管理也应与时俱进，积极采用新技术与新方法。例如，可以利用物联网技术对施工现场的设备进行实时监控，确保其运行状态良好，预防因设备故障引发的安全事故。<sup>[10]</sup>同时，通过引入人工智能和大数据分析技术，可以对施工现场的安全风险进行更为精准的预测和评估，从而制定更为有效的风险控制策略。

此外，还可以探索使用虚拟现实（VR）和增强现实（AR）技术进行安全培训，使施工人员能够在虚拟环境中模拟操作，提高他们的安全意识和操作技能。这些方法不仅能够提升安全管理的效率，还能在一定程度上降低人为因素导致的安全事故风险。因此，装饰装修企业应积极关注行业动态，引进和应用新技术与新方法，不断提升施工现场的安全管理水平。

## 五、结语

总的来讲，装饰装修施工现场的安全管理与风险控制是一个系统工程，需要从施工前的安全准备、施工过程中的安全管理、风险管理与预防措施以及持续改进与安全管理创新等多个方面入手。通过不断完善安全管理制度，提升安全管理水平，我们不仅可以有效预防和控制安全事故的发生，还能为施工人员创造一个更加安全、健康的工作环境。未来，随着科技的不断发展，我们应继续探索和应用新技术与新方法，推动装饰装修施工现场的安全管理向智能化、信息化方向迈进。

## 参考文献

- [1] 丁毅. 装饰装修工程现场施工管理的现状以及改进的措施 [J]. 居舍, 2020(08).
- [2] 常红. 如何加强装饰装修工程的现场施工管理 [J]. 陶瓷, 2021(06).
- [3] 刘技行, 徐东旭. 如何加强装饰装修工程的现场施工管理 [J]. 居舍, 2020(18).
- [4] 李丽琳, 庄文书. 探析建筑室内装饰装修工程的施工管理 [J]. 中国建筑装饰装修, 2023(11).
- [5] 赵海. 论建筑室内装饰装修施工管理 [J]. 居舍, 2022(34).
- [6] 王磊. 建筑室内装饰装修工程的施工管理 [J]. 建材发展导向, 2024(14).
- [7] 李冠, 董永瑞, 乔博义. 室内装饰装修施工管理研究 [J]. 中国地名, 2020(07).
- [8] 张玉秋. 建筑室内装饰装修工程施工管理研究 [J]. 中国建筑装饰装修, 2021(06).
- [9] 杜满堂. 室内装饰装修工程的施工管理新探 [J]. 建材与装饰, 2020(19).
- [10] 侯宇仙. 建筑室内装饰装修工程施工管理研究 [J]. 中国地名, 2020(06).



# 复杂地质条件下桩基础施工技术适应性研究

程洪民, 王京丽

中车山东风电有限公司, 山东 济南 250000

DOI:10.61369/ME.2024080011

**摘要：** 针对风力发电场复杂地质条件下桩基础施工中常见的孔壁坍塌、沉渣过厚与桩端持力不稳等问题，本文以某大型风机基础工程为依托，开展了成孔工艺、扩底处理与桩端注浆等关键工艺适应性研究。结合现场岩土结构与荷载特性，构建泥浆护壁稳定性模型与承载力计算方法，提出反循环钻进联合扩底及注浆复合技术路径。试验结果表明，扩底桩和注浆桩的极限承载力分别提升至3410kN与3265kN，桩顶位移控制在4.1mm与4.6mm以内，沉渣厚度降低至48–52mm，桩身完整性均达Ⅰ类标准。研究验证了所提工艺在风机基础复杂地层下的适应性与推广价值，为类似区域风电桩基施工提供技术支撑。

**关键词：** 复杂地质；钻孔灌注桩；成孔工艺；扩底处理；桩端注浆；承载性能

## Research on Adaptability of Pile Foundation Construction Technology under Complex Geological Conditions

Cheng Hongmin, Wang Jingli

Zhongche Shandong Wind Power Co., LTD. Jinan, Shandong 250000

**Abstract :** To address common issues in pile foundation construction under complex geological conditions of wind farms, such as hole wall collapse, excessive sediment, and unstable pile end bearing capacity, this study focuses on a large-scale wind turbine foundation project. It conducts research on the adaptability of key processes, including hole formation techniques, enlarged bottom treatment, and pile end grouting. By integrating the on-site rock-soil structure and load characteristics, a slurry wall stability model and bearing capacity calculation method are developed, proposing a composite technology path that combines reverse circulation drilling with enlarged bottom treatment and grouting. The experimental results show that the ultimate bearing capacity of enlarged bottom piles and grouted piles has been increased to 3410kN and 3265kN, respectively. The displacement at the top of the piles is controlled within 4.1mm and 4.6mm, respectively, and the sediment thickness is reduced to 48–52mm. The integrity of the pile bodies meets Class I standards. This study verifies the adaptability and promotion value of the proposed technology in complex strata for wind turbine foundations, providing technical support for similar regional wind power pile foundation construction.

**Keywords :** complex geology; drilled shafts; hole formation techniques; enlarged bottom treatment; pile end grouting; bearing performance

作为建筑物的重要支撑结构，桩基础在土建施工中起着关键作用，其施工质量直接关系到建筑物的安全性和稳定性<sup>[1]</sup>。风力发电场作为大型能源基础设施，其桩基础系统需在复杂地质环境中长期稳定承载高频次旋转载荷与强水平风力作用，结构安全性要求远高于一般建筑基础。风机基础施工区域常分布有软弱夹层、富水卵石层及风化破碎岩体，形成渗透性强、结构不连续、扰动敏感等不良地质特征，易诱发桩孔坍塌、沉渣聚积与承载力退化等问题。传统等径钻孔灌注桩在此类地质条件下适应性不足，难以满足风机运行中的应力均化与桩端支承刚度需求。为提升桩基结构在复杂地层中的成桩质量与承载性能，本文以某典型风电场项目为例，系统分析成孔、扩底与桩端处理等施工关键环节对成桩质量的影响，提出可操作性强的复合施工工艺，并通过静载与声测数据进行定量验证，为风电工程在复杂地质条件下的桩基施工优化提供理论支持与技术依据。

## 一、工程概况

本文以某大型风机基础工程为研究案例，基础施工区域面积约500m<sup>2</sup>，主要采用钻孔灌注桩基础形式。设计桩径为1.0m，单桩长度在20-30m之间，总计施工桩基40根。场地地质条件复杂，分布有中风化泥岩、强风化砂质泥岩、饱和粉质黏土及富水碎石层，地层间呈透镜状交错分布，岩土界面起伏较大，部分夹层厚度变化剧烈，地质结构不连续性强。地下水位平均埋深4.2m，局部区域具高渗透性特征，极易发生孔底失稳和泥浆渗漏等问题，需配合高性能泥浆体系与实时监测系统成孔控制。基础桩端嵌入持力层深度要求不小于2.5m，桩顶承台结构为钢筋混凝土整体式布置，配套设置双层钢筋网与抗剪锚固装置，施工精度与完整性要求较高。工程对桩基施工工艺、设备适应性及质量控制提出了较高技术要求，具有典型的复杂地质特征与实践代表性，适合作为桩基适应性施工优化研究的典型对象。

## 二、桩基础施工技术适应性分析

### （一）不良地质对施工的影响

本风电场工程区域地层中广泛分布粉质黏土、富水碎石夹层与强风化泥岩，地质结构破碎、软硬交错、渗透性强，具有典型的不良地质特征。在桩基施工过程中，地层扰动易引发孔壁坍塌、护壁失稳及沉渣超厚等问题，严重影响风机基础在运行中对竖向承载与水平抗拔性能的要求。特别是在地下11-18m卵石层区域，受地下水和钻进扰动叠加影响，局部段落沉渣厚度实测达145mm，明显超过《建筑地基基础设计规范》（GB 50007-2001）中100mm的限值，致使桩端嵌岩质量无法满足高荷载风机结构的基础响应需求。

为保障成孔稳定性与桩底质量，施工中采用膨润土泥浆护壁体系，其比重需满足下列护壁稳定性条件<sup>[2]</sup>：

$$P_m = \gamma_m \cdot h \geq K_0 \cdot \gamma_s \cdot h = P_s \quad (1)$$

其中，P<sub>m</sub>为泥浆静压力（kPa），γ<sub>m</sub>为泥浆重度（g/cm<sup>3</sup>），h为孔深（m），K<sub>0</sub>为静止土压力系数（无量纲），γ<sub>s</sub>为地层天然重度（g/cm<sup>3</sup>），P<sub>s</sub>为地层侧压力（kPa）。代入案例数据计算如下：

$$P_m = 1.22 \times 26 = 31.72 \text{ kPa}$$

$$P_s = 0.6 \times 1.92 \times 26 = 29.95 \text{ kPa}$$

由此可见，泥浆护壁静压力已满足侧向稳定性要求。然而在地层渗透性突变区域，仍存在泥浆滤失加剧与局部孔壁失稳风险，需结合实时监测系统实施泥浆黏度动态控制、成孔时间限控与连续循环加压措施，以确保孔壁完整性和后续桩端施工的安全性，保障风机运行期的结构稳定性基础条件。

### （二）常规桩型适应性问题

风机基础在运行过程中需长期承受显著的竖向重力荷载、循环变幅的旋转载荷及不均匀的水平风力作用，对桩基系统的整体

刚度与端部嵌固稳定性提出了更高要求。常规等径钻孔灌注桩在富水软弱夹层与强风化-中风化岩交界地层中，常出现桩侧摩阻贡献不足、应力集中部位屈服变形、桩端虚接触等问题，难以保障大功率风机运行过程中的荷载响应性能，进而诱发桩身裂损或竖向-水平耦合位移超限风险。

本项目初期设计采用等径钻孔灌注桩方案，桩径1.0m，桩长20-30m不等，桩端嵌入中风化泥岩层深度不小于2.5m。考虑到风电荷载特性，该桩型在岩性突变及高位软弱夹层地段的适应性明显不足，尤其在桩端支承刚度不足或导管偏心灌注等不利工况下，易导致桩底沉渣过厚、局部空桩、灌注密实度不均等成桩缺陷。

桩基极限承载力的基本计算公式如下：

$$Q_u = q_b \cdot A_b + \sum f_{si} \cdot A_{si} \quad (2)$$

其中，Q<sub>u</sub>为桩基极限承载力（kN），q<sub>b</sub>为桩端持力层抗力特征值（kPa），A<sub>b</sub>为桩端面积（m<sup>2</sup>），f<sub>si</sub>为第i层土的侧阻力特征值（kPa），A<sub>si</sub>为第i层的桩侧面积（m<sup>2</sup>）。

以某26m长灌注桩为例，桩径1.0m，桩端嵌入中风化泥岩2.6m，桩端持力层抗力特征值取q<sub>b</sub>=2800kPa，则桩端面积为：

$$A_b = \pi \cdot \left( \frac{1.0}{2} \right)^2 = 0.785 \text{ m}^2$$

桩侧穿越四种不同土层，经综合换算侧阻力与面积乘积为∑f<sub>si</sub>·A<sub>si</sub>=680kN，代入计算得：

$$Q_u = 2800 \cdot 0.785 + 680 = 2198 + 680 = 2878 \text{ kN}$$

理论计算值满足设计承载力标准值2500 kN，但若成孔精度不足或导管偏移导致桩底沉渣厚度>120mm，则有效嵌岩深度下降，承载力将随之降低，且在结构验收中易出现桩身完整性Ⅲ类缺陷。

### （三）技术适配性对比分析

为适应风机基础在复杂地质环境下对桩端嵌固稳定性和多维荷载抵抗能力的高要求，工程采用扩底桩与桩端注浆桩两种增强型桩基结构形式，并依据不同地层结构进行分区布置与技术适配<sup>[3]</sup>。这两类技术均针对风电荷载传递路径中“端部失稳”和“侧摩阻弱化”的核心问题提出改进，对提升桩体承载能力和运行期稳定性具有重要意义。

扩底桩采用机械扩孔工艺，通过液压装置将桩端底径从原设计的1.0m扩大至1.4m，显著增强了桩端承载面积与嵌固刚度。其端部极限承载力计算公式如下：

$$Q_b = q_b \cdot A_b \quad (3)$$

其中，Q<sub>b</sub>为桩端极限承载力（kN），q<sub>b</sub>为持力层抗力特征值（kPa），A<sub>b</sub>为扩底后桩端面积（m<sup>2</sup>）。代入计算得：

$$Q_b = 2800 \times 1.54 = 4312 \text{ kN}$$

较常规桩端承载力Q<sub>b</sub>=2800×0.785=2198kN提升约96%，显著增强端阻控制能力，适用于岩性稳定区。扩底施工采用TZG-100型液压扩底装置，配套视频探孔设备进行扩底形态校验，确保扩孔对称性和底部完整性。

桩端注浆则通过向桩底扩散高压水泥浆液，增强接触面密实度和抗剪强度。典型注浆参数为水灰比0.6、注浆压力0.6MPa、浆液量0.12m³/根，浆液有效扩散半径约2.5-3.0m，注浆设备为ZBQ-50/5型螺杆泵，搭配压力传感器实现恒压控制<sup>[4]</sup>。注浆结束后采用小型激光波速仪评估加固区密实性变化，理论提升桩端复合承载力35%左右，特别适用于碎石夹层及软岩区间，可显著改善端部扰动层结构稳定性。

三、关键施工技术与优化措施

（一）成孔工艺优化

在复杂地质条件下，为确保风机基础桩孔的垂直度、孔壁稳定性与成孔尺寸精度，本工程优先采用反循环钻进工艺，搭配全封闭循环系统与多点参数监测机制，增强复杂地层的穿透能力与施工过程的可控性。

（1）施工设备配置：成孔设备选用BG-26型反循环钻机，主卷扬额定提升力260 kN，转速0-40 r/min可调，匹配ZJ-40型空压泵和Φ600mm金刚合金复合钻头，适配中风化岩与碎石层段双工况，满足风机桩长与孔径刚性要求。

（2）钻进工艺控制：软弱地层段采用低速大扭矩方式进尺，进尺速率控制在0.4-0.6 m/min，严禁空转抽钻，防止扰动增大；岩层段采用冲击旋进结合方式，每钻进3m取样一次，记录岩粉厚度与孔径扩散情况，确保岩性过渡区段成孔质量。

（3）泥浆护壁系统：护壁采用膨润土泥浆体系，比重控制在1.20-1.25g/cm³，漏斗黏度30-40s，配套LYQ-40型循环泥浆池与自控搅拌系统<sup>[5]</sup>。施工期间，每隔1小时监测一次泥浆重度与砂率，实时修正加水比，提升护壁性能以适应风电基础端部扰动特性。

（4）沉渣控制与清孔工艺：孔底沉渣清除采用Φ50mm高压空气反冲管联合多次反复循环冲洗，清孔结束后使用HD-60型沉渣检测探管进行沉渣厚度复核，控制在≤60mm，优于规范规定的≤100mm限值，确保桩端嵌固面洁净、承载路径完整。

（二）桩端与扩底处理

针对部分中风化岩层强度波动大、嵌岩深度难以控制的问题，采用机械扩底与桩端注浆相结合的复合端处理技术，以增强风机基础桩端抗压与抗拔性能。

（1）扩底工艺流程：在成孔至设计深度后，通过下放TZG-100型液压扩底装置实现端部机械切扩，扩底直径控制在1.3-1.4m，扩底深度不大于1.8m。扩底过程中保持稳定压力切削，扩孔速率≤0.2 m/min，实时监测钻压波动，确保切削范围均匀对称，避免出现偏底、滑扩等缺陷。

（2）扩底质量验证：扩底完成后采用SONO-A型声波仪检测底部扩展区轮廓变化与对称性，并通过孔底高清视频探管进行断面复查，确保扩底形态完整、无塌落死角，满足风机运行期基础响应的嵌固刚性要求。

（3）桩端注浆工艺：在扩底完成并清孔合格后，启动高压注浆系统（型号：ZBQ-50/5型），采用0.6水灰比水泥浆，浆液

由Φ38mm注浆管定点送至桩端扩底区，注浆压力控制在0.5-0.8 MPa，总注浆量控制在0.10-0.15 m³/桩。注浆过程由实时压力-时间曲线记录，确保注浆均匀扩散，浆液渗入半径控制在2.5-3.0m范围内，增强持力层与桩端之间的接触强度与密实性。

（三）灌注与钢筋笼控制

为确保混凝土浇筑连续性与钢筋笼安装精度，施工阶段严格落实分项控制节点与全过程检测机制，满足风电基础对成桩均匀性与结构刚度的高标准要求。

（1）导管安装与密封：采用Φ200mm法兰式钢制导管，首节长度6.5m，全长拼装不超过三节，接头采用三道胶圈加钢卡结构，确保密封防漏。导管下放前进行压力水封试验，检查接缝密闭性；埋深控制在≥2.5m，灌注前复测导管底距孔底距离，确保不小于0.3m，避免灌注扰动桩端结构。

（2）混凝土灌注控制：混凝土采用C35商品混凝土，坍落度控制在180-220mm，入孔时间控制在搅拌后45min内。灌注采用连续法，配备二次供料槽，确保首盘砼入导管后不间断灌注。灌注中每灌4-5m记录一次导管埋深，及时调整高度，避免导管提升过快造成离析或断桩，确保桩身致密一体成型。

（3）钢筋笼吊装与定位：钢筋笼采用整体预制，吊装长度最长27.8m，起吊设备为25t履带吊配套Φ32钢丝绳双点同步控制。笼体采用Φ16、Φ25双层纵筋，横向间距20cm，设对称定位筋与限位环，笼顶预留吊钩锚固长度600mm。针对风机荷载集中度高的特点，钢筋笼在桩顶设置加密区，提升抗弯刚度；笼身整体结构需满足扭转稳定性要求。下笼过程中控制吊点对中、导向管辅助定位，垂直度偏差≤1%，顶面标高误差≤30mm。

（4）成桩质量复核：桩体灌注完成后24h内开展首轮声波透射管水压密封性检测，72h后进行超声波完整性检测<sup>[6]</sup>，定位灌注密实区与可能缺陷段，确保桩身整体结构满足完整性标准要求，为后续风机荷载传递提供结构保障。

四、应用效果评估

为验证优化施工工艺在复杂地质条件下的适应性效果，本文选取工程中典型的三类桩型（常规等径桩、扩底桩、桩端注浆桩）进行静载试验和成桩质量检测，重点对比承载性能、桩身完整性与施工稳定性等指标。测试采用《基桩静载试验规范》（JGJ 106-2014）与《建筑地基基础技术规范》（GB 50007-2011）标准进行，检测桩共计9根，每类桩型3根，均布设于同一地质分区，保证试验结果的可比性。试验及检测结果如表1所示。

表1：不同桩型成桩质量与承载性能对比

桩型	静载极限承载力 (kN)	桩顶位移 (mm)	桩身完整性等级	沉渣厚度 (mm)	施工周期 (h/根)
常规灌注桩	2485	7.6	B	105	8.2
扩底灌注桩	3410	4.1	A	52	9.5
桩端注浆桩	3265	4.6	A	48	10.3

从表1可见，扩底桩与注浆桩在承载性能与成桩质量方面显著优于常规桩。扩底桩极限承载力达3410kN，较常规桩提升37.2%，桩顶位移控制在4.1mm以内；注浆桩承载力为3265kN，提升31.4%，且沉渣厚度控制在48mm，桩身完整性均为A类。尽管两者施工周期较常规桩略长，但在成桩质量、承载稳定性及适应复杂地层能力方面具有明显优势，验证了优化工艺在复杂地质条件下的工程适用性与推广价值。尤其在夹层界面突变、孔底扰动严重或桩端难以稳定嵌岩的区域，扩底与注浆技术通过结构放大与持力层增强手段，有效解决了承载力不足与质量缺陷频发的问题，为类似项目提供了明确的技术路径和数据支持。

## 五、结论

本文基于风机基础在复杂地质环境下的施工难点，提出了反循环钻进、机械扩底与桩端注浆相结合的复合施工工艺，显著改善了桩端持力条件与桩身完整性。工程实测结果表明，相较常规灌注桩，扩底桩与注浆桩在承载力、沉渣控制及成桩均匀性等方面表现更优，满足风机高荷载运行的结构需求。研究成果可为地层扰动大、夹层交错频繁的风电项目提供可复制的成桩方案，具备良好的现场适配性与推广价值。

## 参考文献

- [1] 张志恒. 复杂地质条件下地铁隧道盾构机选型与适应性分析 [J]. 装备机械, 2023(3): 16-21.
- [2] 贾连辉, 鲁义强, 贺飞, 等. 适应复杂多变地质隧道双结构 TBM 研制与应用 [J]. 工程科学与技术, 2023, 55(2): 14-25.
- [3] 王庆国. 复杂地质情况下冲孔灌注桩施工技术 [J]. 四川水泥, 2021, 000(012): P.135-136.
- [4] 赵立新, 吴金泽. 复杂地质条件下采矿工程中巷道支护技术的优化 [J]. 前卫, 2023(28): 0153-0155.
- [5] 孙盛梅. 建筑工程土建施工中的桩基础施工技术研究 [J]. 中文科技期刊数据库 (引文版) 工程技术, 2022(7): 4.
- [6] 钟宇泽. 分析复杂地质条件下桥梁桩基施工质量控制措施 [J]. 交通科技与管理, 2021(24): 0145-0146.



# 建筑装饰施工项目管理分析

仇汐

南京富海装饰工程有限公司, 江苏 南京 210000

DOI:10.61369/ME.2024080012

**摘 要 :** 随着社会的进步和经济的发展,人们生活水平日益提高,对于生活品质和环境的要求也越来越高,因此,建筑装饰施工项目也在不断提升。但是由于建筑装饰施工项目存在的问题较多,因此,对于建筑装饰施工项目的管理也要不断提升。在当前环境下,由于市场竞争日益激烈,因此企业之间的竞争压力较大。为了能够在市场竞争中取得优势地位,就要对建筑装饰施工项目进行管理。文章主要针对建筑装饰施工项目管理进行分析和研究,首先介绍了建筑装饰施工项目管理的内容以及特点,然后阐述了建筑装饰施工项目管理中存在的问题,最后提出了相应的解决措施。

**关 键 词 :** 建筑装饰; 项目管理

## Analysis of Project Management for Building Decoration and Construction

Qiu Xi

Nanjing Fuhai Decoration Engineering Co., LTD. Nanjing, Jiangsu 210000

**Abstract :** With the progress of society and the development of the economy, people's living standards are improving day by day, and their requirements for the quality of life and the environment are also getting higher and higher. Therefore, the construction and decoration projects are constantly improving. However, due to the numerous problems existing in construction and decoration projects, the management of such projects also needs to be continuously improved. In the current environment, due to the increasingly fierce market competition, the competitive pressure among enterprises is relatively large. In order to gain an advantageous position in the market competition, it is necessary to manage the construction and decoration projects. This article mainly analyzes and studies the project management of building decoration construction. Firstly, it introduces the content and characteristics of the project management of building decoration construction. Then, it expounds the problems existing in the project management of building decoration construction. Finally, it proposes corresponding solutions.

**Keywords :** architectural decoration; project management

## 引言

建筑装饰施工项目是指对建筑物进行装饰和装修,使建筑物变得更加美观的过程。在我国,随着经济的发展,人们对于居住环境的要求也越来越高,因此,对于建筑装饰施工项目的要求也越来越高。建筑装饰施工项目不仅要满足人们对于建筑装饰施工质量的要求,同时也要满足人们对于建筑装饰施工效果的要求。为了能够满足人们日益增长的生活需求和建筑装饰施工项目本身所具有的特点,要加强对建筑装饰施工项目管理力度,提高管理质量。<sup>[1]</sup>建筑装饰施工项目管理是指根据一定的目标和计划,对整个项目进行控制和监督,对整个项目进行科学合理的管理和控制。因此,加强建筑装饰施工项目管理有利于提高企业在市场中的竞争力,提高企业在市场中的地位。文章主要分析了建筑装饰施工项目管理内容 and 特点,最后提出了几点加强建筑装饰施工项目管理的措施。

## 一、工程概况

某公司综合楼位于某市市中心,工程总建筑面积约为36000 m<sup>2</sup>,其中地上部分建筑面积约为24000 m<sup>2</sup>,地下部分建筑面积约为18000 m<sup>2</sup>,项目高度为23.8m,地上建筑层数为5层,地下建筑层数为3层。该项目整体造型较为独特,给人以庄严、凝重之感,

因此在进行建筑装饰施工时要严格按照设计要求进行。

本项目主要包括办公楼、商业及住宅三部分,其中办公楼又分为A、B、C三个区;商业部分包括A区和B区;住宅部分包括A区和C区。其中B区主要用于公司总部办公以及员工住宿,C区主要用于员工住宿以及酒店式公寓的管理。在进行装修施工时要严格按照设计要求进行,具体工程情况如表1所示。

通过对该工程进行分析可以发现,本工程的主要特点有以下几点:一是建筑装修施工项目施工地点较为分散;二是建筑装修施工项目在空间上具有较大的流动性;三是建筑装修施工项目的工期较长;四是建筑装修施工项目的质量要求较高。<sup>[2]</sup>在对建筑装修施工项目进行管理时,首先要做好施工图纸的审核工作,将各项内容都落实到图纸中;其次要对工程的进度进行合理控制,避免因进度延误而影响到工程的整体质量。最后要对质量进行严格把控,避免出现质量问题。

## 二、装修项目管理的内容和特点

建筑装修施工项目管理就是以工程建设项目管理为基础,把工程建设项目管理的理论、方法和技术应用到具体的工程项目建设中去,以实现对工程建设项目的质量、工期和费用的有效控制,从而达到项目投资目标的目的。<sup>[3]</sup>建筑装修工程管理就是以满足业主的要求为目的,控制工程的质量、工期和费用,确保项目投资目标的实现。装修施工项目管理就是围绕着装修施工项目的整个过程,从决策,设计,采购,施工,交付,使用等各个阶段对装修施工项目进行全方位的管理。

建筑装修工程项目管理是一项复杂而又复杂的系统工程。首先,要严格控制装修的全过程,确保施工的质量符合设计要求,避免出现超预算、质量不达标的情况。其次,要严格控制施工过程中的各个环节,确保各个环节都能顺利完成,才能确保施工质量。再次,也要控制装修工程的造价,装修工程需要大量的资金投入,所以要有效地控制工程造价,保证工程投资目标的实现。最后,要严格控制装修工程的质量,既要保证施工质量,又要保证业主的利益不受损害。<sup>[4]</sup>

建筑装修工程项目管理有其自身的特点。建筑装修工程项目的管理是一个系统的过程,涉及的方面很多,需要从不同的角度来进行控制与管理。

## 三、装修项目管理中存在的问题

建筑装修项目管理中存在的问题主要有以下几个方面:

第一,部分项目经理没有充分的认识到管理工作的重要性,在建筑装修施工项目管理过程中,缺乏明确的目标,而且对于施工组织以及质量监督也没有给予足够的重视。

第二,部分施工人员专业技术水平不高,在建筑装修项目管理中,专业技术水平是影响工程质量的主要因素之一。

第三,建筑装修施工项目管理中没有制定明确的责任制,施工人员都是各自独立进行工作,对于各自负责的工作内容不够重视,而且对施工质量的监督也不够严格。

第四,建筑装修项目管理中缺乏对成本控制的重视程度。

第五,建筑装修项目管理中没有制定科学合理的监督机制。

第六,建筑装修项目管理中缺乏相应的监督机制,导致工程质量难以保证。

通过分析可以发现,在当前建筑装修施工项目管理中存在的问题较多,只有制定合理的管理方案才能够有效解决这些问题。<sup>[5]</sup>首先,要制定合理的管理方案,提高施工人员的专业技术水平。其次,要提高项目经理的管理意识,加强对管理工作的重视程度。最后,要加强对施工人员的管理和培训,提高他们的专业技术水平。同时也要加强对施工质量的监督,确保工程质量能够达到要求。<sup>[6]</sup>只有制定合理有效的监督机制才能够提高建筑装修施工项目管理水平,促进企业发展。

## 四、解决措施

1.完善相关制度。首先,企业要完善相关的制度,可以采用相关的管理措施,比如建立健全质量管理体系,对质量进行全面控制;其次,加强施工过程中的质量控制,要做好材料、技术以及人员等方面的管理工作。<sup>[7]</sup>

2.加强施工现场的管理。首先要加强对施工现场的管理,在建筑装修施工过程中,要制定严格的管理制度以及具体的实施方案。其次要加强对材料以及施工机械设备的管理。再次要加强对施工人员的管理,可以通过设置奖惩制度等方式来提高施工人员的工作积极性和责任心。

3.提高整体素质。企业应该对员工进行培训,以提高员工素质。企业应该建立有效的培训机制,加强员工的思想道德建设,使其树立正确的人生观和价值观。<sup>[8]</sup>此外,还要定期对员工进行培训,使其能够了解企业发展战略以及新技术、新工艺等方面的内容。

4.加强环境保护工作。比如建筑装修施工中产生废弃物或者是有害气体等情况要及时处理和解决。

5.加强质量控制工作。在进行建筑装修施工项目管理时,要制定完善的质量控制体系和制度,在施工过程中严格执行,并将其贯穿于整个施工过程中,对于施工过程中存在问题要及时解决。<sup>[9]</sup>在建筑装修施工过程中,要及时处理施工过程中的突发事件,以保证施工质量。在进行建筑装修施工时,要严格按照设计图纸进行,在进行建筑装修施工时,要严格按照国家相关的法律法规和标准进行。

6.加强安全管理。安全是建筑装修施工项目管理中最重要的部分,因此在建筑装修施工过程中,要制定完善的安全管理制度,并严格执行。同时还要加强对建筑装修施工人员的安全教育和培训,提高其安全意识。<sup>[10]</sup>此外,要做好材料以及机械设备的管理工作,对材料和机械设备的存放、使用等环节进行严格控制。最后要加强对建筑装修施工现场的管理,以确保建筑装修施工能够顺利进行。

## 五、结束语

随着社会的进步和经济的发展，人们生活水平的提高，对于居住环境要求也越来越高。建筑装修施工项目是建筑行业重要的组成部分，对于建筑行业的发展具有重要的意义。建筑装修施工项目管理对于施工企业具有重要的作用，企业只有对施工项目进

行有效管理，才能实现企业经济效益和社会效益。本文通过对建筑装修施工项目管理的内容以及特点进行分析，阐述了在当前环境下，建筑装修施工项目管理中存在的问题，并提出了相应的解决措施。只有不断加强对建筑装修施工项目管理力度，才能不断提高企业经济效益，促进我国建筑行业的发展。

## 参考文献

- 
- [1] 蔡丽萍. 加强建筑工程质量监管的策略分析 [J]. 中国市场调查, 2015 ( 6 ) .
  - [2] 欧立坚. 浅析建筑装饰装修工程中的施工管理 [J]. 技术与市场, 2012 ( 10 ) .
  - [3] 王关荣. 浅论大型建筑装饰装修工程施工项目管理 [J]. 科技创新与应用, 2013 ( 20 ) .
  - [4] 刘飞朋, 张志坚. 基于建筑装饰装修工程项目管理和施工新技术的应用分析 [J]. 新城建科技, 2023(23).
  - [5] 孙健. 房屋装饰装修工程项目管理应用信息化管理的探析 [J]. 居舍, 2023(11).
  - [6] 王菲. 建筑装饰装修工程项目管理中的风险因素与管控对策思考 [J]. 居舍, 2023(30).
  - [7] 马志强. 基于建筑装饰装修工程项目管理和施工新技术的应用分析 [J]. 现代物业 ( 中旬刊 ), 2020(05).
  - [8] 龚胜平. 建筑装饰装修工程项目管理与施工技术运用 [J]. 居业, 2021(02).
  - [9] 李小福. 建筑装饰装修工程项目管理与施工技术运用 [J]. 居舍, 2021(26).
  - [10] 张需. 基于建筑装饰工程的项目管理方法和措施分析 [J]. 中国地名, 2020(04).

# 建筑电气工程监理的质量控制实践与优化策略

房乐文

南京建凯建设项目管理有限公司，江苏 南京 210000

DOI:10.61369/ME.2024080014

**摘 要：** 随着建筑行业的快速发展，电气工程在建筑项目中发挥着越来越重要的作用，其质量直接影响建筑物的安全性、功能性和使用寿命。电气工程涉及范围广、技术复杂，对施工的规范性和安装质量要求极高。在此背景下，建筑电气工程的监理工作成为保障项目质量和安全的关键环节。有效的监理不仅可以减少施工中的隐患和质量问题，还能提高工程效率，降低后期维护成本。因此，研究建筑电气工程监理的质量控制策略，对提升建筑工程的整体水平具有重要意义。

**关 键 词：** 建筑电气工程；监理工作；质量控制

## Quality Control Practice and Optimization Strategies for Building Electrical Engineering Supervision

Fang Lewen

Nanjing Jiankai Construction Project Management Co., LTD. Nanjing, Jiangsu 210000

**Abstract：** With the rapid development of the construction industry, electrical engineering is playing an increasingly important role in construction projects, and its quality directly affects the safety, functionality and service life of buildings. Electrical engineering covers a wide range and is technically complex, with extremely high requirements for the standardization of construction and the quality of installation. Against this background, the supervision work of building electrical engineering has become a key link to ensure the quality and safety of the project. Effective supervision can not only reduce potential risks and quality issues during construction, but also enhance project efficiency and lower maintenance costs in the later stage. Therefore, studying the quality control strategies of building electrical engineering supervision is of great significance for improving the overall level of construction projects.

**Keywords：** building electrical engineering; supervision work; quality control

### 一、建筑电气工程监理工作原则分析

#### （一）合理性原则

合理性原则要求监理人员基于电气工程的实际情况进行科学判断，避免不必要的资源浪费和工程延误。监理人员在施工过程中，应结合施工设计图纸和现场状况进行分析，以保证工程各项技术和施工过程能够符合规范和实际需要。根据工程的不同阶段，制定合理的监理计划，对施工过程中可能出现的问题提前评估和应对。<sup>[1]</sup>通过灵活调整监理方式，有助于项目顺利推进，达到最佳的施工效果。合理性原则还要求监理人员在现场处理过程中结合安全、质量和进度的多方面因素，达到科学管理的目标。

#### （二）契合合同要求

在建筑电气工程中，监理工作的执行应严格按照合同规定进行。合同明确了工程参与各方的责任与义务，是保证施工标准、质量、成本和工期的基础。监理人员需熟悉合同内容，对各项技

术标准、材料选择、施工工艺进行准确的审查和监督。<sup>[2]</sup>在监理过程中，对工程的每一环节都要保持契合合同要求的合规性，尤其是涉及设备性能、安装工艺和工程交付标准等方面，须符合合同中明确的规范和要求。

#### （三）工作弹性要求

建筑电气工程的复杂性和多变性对监理工作提出了更高的灵活性要求。监理人员在现场管理中，需根据施工情况和技术变化及时作出调整。遇到突发状况或意外事件，监理人员应具备灵活应对能力，调整原有监理方案或策略，以适应工程进展的实际需求。<sup>[3]</sup>在确保工程安全和施工质量的前提下，监理工作可适度放宽流程安排，为项目推进提供更多的空间。

#### （四）全面性原则

全面性原则要求监理人员对建筑电气工程的所有环节进行监督，从而确保工程的整体质量。建筑电气工程涉及多个系统、设备和技术环节，监理人员应对各个环节进行细致的检查，包括材



料进场质量、设备安装位置和方法、系统调试和检验等。<sup>[4]</sup>通过细致的检查和记录,减少工程中的隐患,提升整体的施工安全性和可靠性。全面性原则还强调监理工作的系统性,避免出现盲区或遗漏,确保每一个环节都能符合设计规范和标准。

## 二、建筑电气工程监理要点分析

### (一) 概念

建筑电气工程监理是对工程项目中电气设备、系统安装和相关施工过程的全面监督。通过对施工现场的检查、审核和技术指导,监理人员保障各项施工操作的合规性和规范性。<sup>[5]</sup>监理工作涉及的范围包括施工材料和设备的质量检查、安装工艺的监控、技术指标的确认和施工人员的操作规范。电气工程监理还涵盖了施工过程中的安全检查和评价,确保所有电气系统能够安全、稳定地投入使用。

### (二) 监理要点分析

建筑电气工程的监理要点涵盖施工技术标准的符合性、材料设备的规范性、安装工艺的准确性以及安全防护的完整性等方面。在施工过程中,监理人员需要检查电气设备的规格、型号、性能参数和质量,对设备布置和安装是否符合设计及规范要求进行验收。<sup>[6]</sup>同时,对接线工艺、线路敷设、导管布置、接地装置等施工操作的合规性进行全面检查,以控制施工质量。对材料的采购和使用进行监控,避免不合格的材料进入施工环节。在安全防护方面,监理人员检查电气设备安装位置的合理性及各类防护措施的有效性,以减少安全隐患。通过逐项跟踪和记录,监理工作能够保障电气工程质量 and 施工安全。

## 三、建筑电气工程监理质量控制措施分析

### (一) 施工准备质量控制措施

施工准备阶段的质量控制涉及工程图纸审核、材料和设备准备、施工技术交底以及相关人员的培训等内容。监理人员需对设计图纸进行详细审核,确保图纸与施工现场的实际情况相符,并符合国家和行业标准。<sup>[7]</sup>对于关键的施工材料和设备,监理人员需要逐一检查其质量证书和相应的检测报告,并进行入场验收,核实材料的规格、性能和型号是否满足设计要求。在施工技术交底方面,监理人员应向施工团队详细讲解施工的技术标准、工艺流程和操作规范。此阶段的质量控制为工程奠定了良好的基础,有助于在实际施工中减少误差和质量隐患。<sup>[8]</sup>监理人员还需与项目管理团队密切沟通,协调好施工进度安排和资源配置,为后续施工提供良好的保障。

### (二) 导管敷设质量控制

导管敷设环节是电气工程的重点之一,直接影响电缆的布设和使用寿命。监理人员应根据施工图纸和设计要求,合理安排导

管的敷设路径,尽量避免不必要的转角和交叉点,以减少电缆磨损和电阻。<sup>[9]</sup>对导管的质量、规格、材质进行抽样检测,确保符合设计规范和施工要求。敷设过程中,监理人员需定期检查导管接口的牢固性和密封性,特别是弯曲和连接处的防水、防火处理,避免因接缝不牢而产生渗漏或短路隐患。导管布置的深度和间距也应符合规范,监理人员在敷设过程中需监督定位标记的准确性,保持导管安装的水平整齐,以保证导线布置的稳定性。通过这些质量控制措施,导管敷设的效果和耐久性得以提高,降低电气系统的后期维护风险。

### (三) 主体施工质量控制

主体施工阶段涵盖电缆布线、设备安装、接地系统、照明等多个环节。监理人员需对每项施工工序进行严格的质量监控,确保每一个施工环节的操作符合技术规范。电缆布线过程中,监理人员需检查电缆的材质、型号和规格,避免使用不合格产品,同时监控线缆布线的排列方式和弯曲半径,以减小电缆的压力和磨损。设备安装时,监理人员需关注设备的位置、安装方式和连接状态,保证设备在运行中能够保持稳定可靠。<sup>[10]</sup>接地系统是电气工程安全的关键,监理人员需对接地电阻、接地深度和材料使用情况进行详细检查,确保接地系统有效运行。照明系统安装方面,监理人员需对灯具位置、照度、配电和开关系统进行全面检查,以保证施工质量符合设计要求和安全规范。

### (四) 材料设备质量控制

材料和设备的质量直接关系到建筑电气工程的稳定性和使用寿命,监理人员在材料设备进场时需严格把关。所有进场材料和设备应具备出厂合格证和相应的检测报告,监理人员需核实其规格、型号、性能等是否与设计图纸一致,并符合国家或行业标准。对一些关键设备如配电箱、断路器等,监理人员应安排抽样检测,确保设备性能稳定。材料和设备在堆放和运输过程中也需遵循规范,防止因储存不当导致损坏或性能下降。对于不符合要求的材料和设备,监理人员需及时提出整改要求或退场处理。通过严格的材料和设备质量控制,可以降低工程潜在的质量风险,避免后期运行中出现故障。同时,监理还应建立完善的材料设备进场合账,确保每批材料的来源和使用情况均有据可查,便于追溯管理。

### (五) 安装质量检查验收质量控制

安装质量的检查和验收是建筑电气工程监理的重要环节,直接影响整个系统的安全性和稳定性。监理人员在检查中应根据工程规范和施工图纸,全面核查设备和线路的安装是否符合标准,包括位置、连接方式和安装工艺等。线路布设过程中,需检查接头、转角、接地等关键点,保证每个节点安全可靠。设备安装完成后,监理人员还需检查电气连接的紧密性,避免出现松动或接触不良的问题。另外,监理应对电缆的电气参数进行检测,确保符合设计要求。在验收阶段,监理人员需对各系统进行运行测试,如供电系统的电流、电压稳定性,照明系统的照度分布等,

以验证各项功能的正常性。验收报告的记录需详细全面，记录每项检测内容和测试结果，为后续使用和维护提供参考。

## 四、结语

综上所述，建筑电气工程监理的有效性取决于对各环节的精细化管理和严格的质量控制措施。监理人员在遵循合理性、契合

合同、灵活应对与全面监督等工作原则的基础上，通过科学的质量控制策略保障了工程的施工安全和技术规范。具体控制措施从施工准备、导管敷设、主体施工到材料设备的质量把控及安装验收检查，贯穿整个施工流程。通过系统的监理与控制，有助于在施工中降低风险，提升工程质量。

## 参考文献

- [1] 徐少乾. 建筑电气工程监理常见问题与对策研究 [J]. 中国建筑装饰装修, 2023, (05): 154-156.
- [2] 段婧霞. 建筑电气监理中质量控制探讨 [J]. 建材发展导向, 2021, 19(12): 96-97.
- [3] 王鹏. 高层建筑电气监理施工质量的管理和控制 [J]. 有色金属设计, 2023(01).
- [4] 周作行. 建筑电气工程管理策略研究 [J]. 城市住宅, 2020(06).
- [5] 包凤玲. 建筑电气工程施工中的质量控制及安全管理分析 [J]. 中国建筑装饰装修, 2023(01).
- [6] 陈化泽. 建筑电气工程监理要点及质量控制策略研究 [J]. 大众标准化, 2023(13).
- [7] 杨清. 建筑电气工程质量问题防治及规范化施工 [J]. 房地产世界, 2023(24).
- [8] 胡世华. 浅谈把好看建筑电气监理质量控制中的三个“关” [J]. 建设监理, 2020(05).
- [9] 周舒豪. 电气工程的质量控制探讨 [J]. 建材与装饰, 2020(02).
- [10] 赵林云. 房建监理工作要点研究 [J]. 住宅与房地产, 2020(21).

# 浅析高层建筑工程中的给排水施工技术及质量控制

冯通

江苏富昌建筑安装工程有限公司, 江苏 南京 210000

DOI:10.61369/ME.2024080015

**摘 要 :** 高层建筑作为城市的重要组成部分, 是我国社会经济发展的必然产物。在高层建筑的施工中, 给排水系统是整个工程施工中最重要的部分之一。它直接关系到居民生活质量和居住环境的舒适度。因此, 在高层建筑中, 给排水系统必须要得到足够的重视, 确保工程质量。然而, 在实际的施工中, 由于各种原因会导致给排水系统施工中出现一些质量问题, 比如管道安装不到位、管道渗漏等问题。因此, 加强高层建筑给排水施工技术和质量控制显得尤为重要。本文结合实际工程案例, 对高层建筑给排水施工技术及质量控制进行了分析探讨, 希望对提高工程质量、保证工程安全起到积极作用。

**关 键 词 :** 高层建筑; 给排水; 质量控制

## A Brief Analysis of Water Supply and Drainage Construction Technology and Quality Control in High-rise Building Projects

Feng Tong

Jiangsu Fuchang Construction and Installation Engineering Co., LTD. Nanjing, Jiangsu 210000

**Abstract :** High-rise buildings, as an important component of cities, are an inevitable outcome of China's social and economic development. In the construction of high-rise buildings, the water supply and drainage system is one of the most important parts of the entire project. It is directly related to the quality of life of residents and the comfort of their living environment. Therefore, in high-rise buildings, the water supply and drainage system must be given sufficient attention to ensure the quality of the project. However, in actual construction, due to various reasons, some quality problems may occur in the construction of the water supply and drainage system, such as improper installation of pipelines and pipeline leakage. Therefore, it is particularly important to strengthen the construction technology and quality control of water supply and drainage in high-rise buildings. This paper, in combination with actual engineering cases, analyzes and discusses the construction technology and quality control of water supply and drainage in high-rise buildings, hoping to play a positive role in improving the engineering quality and ensuring the engineering safety.

**Keywords :** high-rise buildings; water supply and drainage; quality control

## 引言

随着我国经济和社会的不断发展, 建筑业也在飞速发展。特别是近几年, 随着我国城市化进程的加快, 城市用地日益紧张, 高层建筑日益增多。但高层建筑与普通民用建筑有较大区别。高层建筑给排水系统因施工工艺要求高、质量要求高, 施工难度大。因此, 在高层建筑给排水工程施工中, 必须严格落实施工工艺及质量控制措施, 以确保工程质量与安全。<sup>[1]</sup>只有这样, 才能确保工程的质量与安全, 从而提高高层建筑的使用功能, 提高其经济效益, 满足人民群众对美好生活的需要。本文对高层建筑给水排水系统的施工工艺和质量控制作了分析和论述。

## 一、工程概况

本工程位于某一大型商住楼内, 总建筑面积为 11.5 万 m<sup>2</sup>, 其中地上建筑面积 8.2 万 m<sup>2</sup>, 地下建筑面积 1 万 m<sup>2</sup>。主要由住宅和商业用房组成, 其中住宅为 A、B、C 三栋高层住宅, 商业用房为一栋办公综合楼。本工程的总投资约为 6.2 亿元。该工程共有 2 栋

住宅塔楼和 1 栋办公综合楼。其中, 办公楼的地上部分主要由地下二层和地上十八层组成, 设计为标准的“两厅两卫一厨”的平面布局形式。该办公综合楼地上建筑面积为 2.3 万 m<sup>2</sup>, 地下建筑面积为 1.2 万 m<sup>2</sup>。该办公综合楼设计为两栋高层建筑, 其中一栋是 23 层高层建筑, 另一栋是 17 层高层建筑。

本工程给排水系统由给水系统和消防系统两部分组成。其

中，给水系统主要包括市政给水管网和生活水箱供水；消防系统主要包括消火栓、自动喷淋消防水泵、消防水池、消防水箱、消防水泵等。<sup>[2]</sup>本工程的给水管道均采用金属管材，给水管均采用螺旋钢管。消防管道则采用镀锌钢管，给水管采用 PPR 管。

## 二、给水管道施工

该工程给水管道主要采用镀锌钢管，按照设计要求，该工程给水管全部采用埋地敷设，在基础施工时要做好混凝土垫层。施工过程中，为了避免管道埋深过浅，在建筑物周边或地下室顶板设置了管沟。在给水管铺设过程中，应注意以下几个方面：

1. 给水管应与其他管线分开铺设，不得与电缆、煤气管等交叉作业。
2. 给水管道连接采用丝接或沟槽式连接时，管口必须采取密封措施；采用法兰连接时，应在法兰两面涂防锈漆或防锈油。
3. 给水管应采用卡压连接、热熔连接或电熔连接等方式。当给水管道为 PP-R 管时，应采用电熔连接；当给水管道为钢管时，应采用法兰连接。
4. 对于干管与支管的连接，应先将支管上的阀门关闭后再用专用接头进行焊接；当干管与支管采用法兰连接时，应在管件法兰面上涂防锈漆。
5. 给水管道安装时应注意检查管道的完整性和密封性。当管道有接头时，应检查接口的密封性；管道安装完毕后，应进行水压试验，试验压力为工作压力的 1.5 倍。

## 三、排水管道安装

1. 在高层建筑的给排水管道施工中，对不同管道之间的连接方式有一定的要求。在本工程中，采用了多种连接方式，比如丝扣连接、热熔连接、螺纹连接等。这些连接方式的主要目的是保证管道和管件之间能够达到密实的状态。<sup>[3]</sup>此外，在具体的施工中，还应该考虑到安装时的温度等因素，以便确定管道安装的最佳温度。
2. 在进行排水管道施工时，应遵循一定的施工原则。首先是保证管道与管件之间要有足够大的间隙，保证二者能够紧密地结合在一起。其次是在安装过程中要保证管道与管件之间有一定的支撑强度。最后，在安装过程中应将管道布置成一定的曲线形状，这样才能方便日后检修。
3. 由于本工程中用到了大量的 PVC 材料，因此在给排水系统施工中应该采用专用工具对管材和管件进行切割。而且在切割时一定要保证切口平整，这样才能方便日后安装。
4. 为了便于今后维修和使用，在安装完成后应该将管道表面进行清洁处理。同时还应该在管材与管件之间设置一些弹性垫片，这样可以保证管道能够正常使用。<sup>[4]</sup>在管道安装时，应该将其垂直或水平放置。如果管道中含有水或者其他液体，应该采取相应的密封措施。如果管道中含有气体，应该将其排放到室外或者采取其他的措施处理。如果管道中含有固体颗粒，应该先清除其

中的异物，然后再进行安装。

## 四、排水立管的制作与安装

1. 管材的选用与加工：管材选用应符合现行国家标准《建筑给水排水设计规范》(GBJ15-86) 的有关规定。管材表面应光滑，不得有裂纹、缩孔、夹渣等缺陷；不得有砂眼、气泡；不得有裂纹和其他影响使用的缺陷。<sup>[5]</sup>管材切割面应平整，不得有毛刺、锐角或其他毛刺，管口应成圆弧状，不得有尖角，不允许有裂缝；管材切割后的毛刺应清除干净。
2. 管材的安装：在遵循设计要求并且充分考虑到施工的便捷性时，我们必须确保楼板表面依照设计标高精确挖出排水沟。接着，严格按照设计图纸上的指定位置将管材进行精确安装，确保管道和管件之间不会因为碰撞而造成损坏。<sup>[6]</sup>此外，为了保证管道系统的密封性，所有管道与管件之间应使用适当的胶带进行密封处理。在建筑物内部的管道固定方面，建议使用专业的管卡来进行固定，这样做可以提高整体结构的稳定性和安全性。同时，管卡的选择与使用也应遵循一定的标准，固定点的间距控制在 2 米之内是最为理想的，既能满足工程需求，又能避免对建筑物的美观造成影响。<sup>[7]</sup>通过这些细致周到的操作，可以确保管道系统的功能性、美观性以及结构的稳固性得到最佳的体现。

## 五、排水系统调试

排水系统调试时，首先要检查排水系统的排水性能，如排水管道有无堵塞、漏水等情况，符合要求后才能调试。

1. 进行排水系统通水试验：给水排水系统在通水试验之前，一般都要对管网进行清洗、消毒。在清洗消毒完毕后，对整个系统进行全面检查。在此过程中，应先冲洗排水管道。冲洗完毕后，应先清除排水管道中的杂物及垃圾，再放入污水斗中。对于排水管，要清除管道内的异物，并对管道内部进行彻底的消毒。<sup>[8]</sup>排水沟经过清洁消毒后，即可接入排水系统。
2. 排水系统通水试验的依据为：先排尽排水管道内的全部污水，再将污水排放到室内污水斗中。在这一点上，一定要确定排水管内有无异物。检查排水管道内无杂物后，再检查排水管道有无堵塞，漏水等情况。<sup>[9]</sup>在管道畅通无渗漏的情况下，室内污水可直接排入室外污水井；如果排水管道发生漏水、堵塞等情况，应及时修补、处理。
3. 最终能够检测排水系统的排水能力。经过一系列试验，如果排水性能合格，则可正式投入使用。在正式投产后，应检查排水系统的排水能力，以判断排水能力是否满足设计要求。<sup>[10]</sup>如果不能满足要求，就需要调整和改善。高层建筑给排水工程应采取科学、合理的施工工艺，以保证施工质量与安全。特别是高层建筑给水管的敷设，要按照设计图纸的要求，选用合适的管材。同时，管线敷设完毕后，应对管线进行检测，以确保管线在使用期间不发生渗漏等情况。同时也要重视给排水系统的调试与改造，以提高高层建筑的使用功能，提高其经济效益。



## 六、结束语

随着城市现代化建设的不断发展，高层建筑作为城市的重要组成部分，其给排水系统施工技术和质量控制显得尤为重要。为了使高层建筑的给排水系统更好地为城市发展服务，我们需要从施工质量上进行严格把关，使工程质量达到优良的水平。另外，在施工过程中，还需要加强管理工作，在技术方面加强施工人员的

培训，从而确保工程质量。总之，给排水系统是高层建筑建设中不可忽视的重要组成部分，我们需要高度重视，加强管理，保证给排水系统施工质量。

## 参考文献

[1] 褚婉男, 刘子寒, 李博, 等. 建筑给排水工程常见渗漏问题及解决方法 [J]. 科技风, 2023, (10): 71-73.

[2] 周晓玲, 何秀宇. 建筑给排水设计施工中节水节能技术的应用研究 [J]. 中国建筑装饰装修, 2023, (07): 76-78.

[3] 郭可胜. 给排水施工设计和施工质量管理的措施 [J]. 全面腐蚀控制, 2023, 37(03): 80-82.

[4] 张永锋. 浅谈建筑给排水施工技术管理及施工技术的发展 [J]. 工程建设与设计, 2023(08).

[5] 刘毅贤. 建筑给排水设计与施工优化措施分析 [J]. 住宅与房地产, 2023(08).

[6] 刘星融; 刘跃进. 高层建筑工程中的给排水施工技术要点 [J]. 中国高新科技, 2023(03).

[7] 章鲁佳. 高层建筑工程给排水施工内容与技术要点分析 [J]. 房地产世界, 2022(08).

[8] 马鹏辉. 高层建筑中给排水施工技术探究 [J]. 智能城市, 2020(15).

[9] 刘军雄. 高层建筑给排水管道安装技术分析 [J]. 工程机械与维修, 2021(02).

[10] 孙学盼. 浅谈建筑工程项目给排水施工技术要点 [J]. 中国住宅设施, 2023(01).

# 基于数据感知技术的建筑电气安装措施研究

耿叶敏

南京华尊电力安装工程有限公司，江苏 南京 211000

DOI:10.61369/ME.2024080016

**摘要：** 本文针对当前建筑电气安装领域存在的技术缺陷与安全隐患，结合数据感知技术（如物联网、BIM、AI算法等），提出系统性创新措施。通过分析传统安装工艺的不足，探讨数据感知技术在施工质量监控、风险预警及智能化运维中的应用路径，并结合实际案例验证其有效性，为建筑电气安装的数字化转型提供理论依据。

**关键词：** 数据感知；建筑电气；安装措施

## Research on Building Electrical Installation Measures Based on Data Perception Technology

Geng Yemin

Nanjing Huazun Electric Power Installation Engineering Co., LTD. Nanjing, Jiangsu 211000

**Abstract：** This paper aims at the technical deficiencies and potential safety hazards existing in the current field of building electrical installation, and proposes systematic innovative measures in combination with data perception technologies (such as the Internet of Things, BIM, AI algorithms, etc.). By analyzing the deficiencies of traditional installation techniques, this paper explores the application paths of data perception technology in construction quality monitoring, risk early warning and intelligent operation and maintenance, and verifies its effectiveness in combination with actual cases, providing a theoretical basis for the digital transformation of building electrical installation.

**Keywords：** data perception; building electrical; installation measures

### 引言

随着科技的不断进步，建筑电气安装技术也在经历着持续的更新和迭代<sup>[1]</sup>。传统的建筑电气安装技术和工艺正逐渐被新技术所取代，而基于数据感知技术的物联网、建筑信息模型（BIM）、人工智能（AI）算法等智能建造技术，预计将在不久的将来广泛应用于建筑电气安装的各个领域。<sup>[1]</sup>因此，为了适应这一趋势，有必要利用数据感知技术对建筑电气安装技术进行深入研究，以便为未来新技术的广泛应用做好充分的准备和铺垫。

### 一、建筑电气安装现状分析

在当前的发展阶段，建筑电气安装技术主要依赖于人工操作，这种做法仍然停留在传统的手工安装层面，因此存在许多局限性和不足之处。人工安装依赖于工人的经验与技能，使得施工质量难以保证一致性，同时容易受到人为疏忽或操作失误的影响。<sup>[2]</sup>目前，主要在技术层面、管理层面以及人员培训层面存在诸多挑战<sup>[3]</sup>。

#### （一）技术层面的普遍问题

技术层面主要存在开关与插座安装不规范、线路敷设不合理、布线混乱以及对设备安装环境适应性不足等问题。这些问题的存在不仅仅对施工的效率产生了负面影响，而且还可能引发一系列的电气安全隐患，给工程质量和人员安全带来潜在的威胁。

#### 1. 开关与插座安装不规范

在电气安装过程中，经常遇到一些问题，这些问题包括面板不平整、线路连接混乱，以及潮湿环境未使用防溅型设备等。<sup>[3]</sup>这些问题的出现，使得零线与地线接错的情况时有发生，从而导致触电风险的增加。

#### 2. 线路敷设质量缺陷

在建筑施工过程中，钢管壁厚不足可能会导致结构强度不够，从而影响整体的稳定性和安全性。此外，暗埋管线的保护层厚度不达标，尤其是消防管线的保护层厚度不足30毫米，这将无法提供足够的保护，一旦发生火灾等紧急情况，可能会导致管线损坏，影响消防系统的正常运作。<sup>[4]</sup>管线交叉和弯曲半径过小的问题也不容忽视，这可能会引发所谓的“死管”现象，即管线内部形成无法流动的死区，不仅影响线路的正常运行，还可能造成安全隐患。因此，为了确保线路的安全，必须严格按照相关标准和

规范进行施工，确保钢管壁厚、管线保护层厚度以及管线交叉和弯曲半径达到规定要求。

### 3. 接地与防雷措施薄弱

在防雷系统中，存在一些常见的问题，这些问题包括接地体的埋设深度不足、焊接面的质量不达标以及避雷带材料并非使用镀锌材料等，这些问题都可能导致整个防雷系统的失效。<sup>[6]</sup>具体来说，例如在高层建筑中，金属门窗如果没有通过镀锌扁铁与接地筋进行焊接，那么这些门窗就容易成为雷电的直接目标，从而遭受雷击。

## （二）管理层面的挑战

在建筑电气安装管理层面，主要面临施工人员素质不足、质量监管滞后以及施工日志记录不规范等问题。质量监管的滞后往往导致问题发现不及时，处理措施难以跟进等问题。

### 1. 施工人员素质不足

在当前的施工行业中，存在一个显著的问题，那就是缺乏对规范化操作的系统培训。这种培训的缺失导致了工人和管理人员在面对新技术时，比如建筑信息模型（BIM）技术和智能传感器的应用，往往表现出较低的接受度和适应能力。<sup>[6]</sup>此外，由于缺乏对这些新技术的了解和掌握，施工团队往往更倾向于依赖传统的经验和直觉来指导施工过程，而不是依据数据分析和科学管理方法来进行决策。这种依赖经验而非数据的施工方式，不仅可能降低施工效率和质量，还可能增加安全风险，影响整个项目的成功实施。

### 2. 质量监管滞后

在传统的监管模式中，依赖人工进行巡检的方式效率并不高，特别是在处理隐蔽工程，例如那些被暗埋的管线时，问题往往难以被及时发现。<sup>[7]</sup>由于当前的状况，工程项目的返工率出现了明显的增加，这一现象导致了返工率的显著上升，甚至可以高达30%。由于人工巡检需要大量的人力和时间，且容易受到人为因素的影响，比如疲劳、注意力不集中等，这使得在巡检过程中难以保证每一个细节都被仔细检查。<sup>[8]</sup>此外，人工巡检的记录方式通常依赖于纸笔记录，这不仅效率低下，而且在数据整理和分析方面也存在诸多不便。因此，这种传统的监管模式在面对复杂和大规模的工程项目时，往往显得力不从心，无法满足现代工程建设对效率和质量的高要求。

## 二、传统建筑电气安装存在问题

对于传统建筑电气安装，不仅存在技术落后所带来的局限性，还存在诸如材料质量不一、施工过程缺乏标准化、以及电气设备安装不规范等问题。

### （一）技术局限性

#### 1. 材料与工艺缺陷

在传统的安装过程中，钢管毛刺处理不当以及焊接工艺的粗糙性是两个常见的问题。这些问题通常表现为毛刺没有被彻底清除，或者焊接过程中出现了技术上的失误，比如直接对口焊接，这往往会导致焊穿现象的发生。<sup>[9]</sup>这些不当的操作不仅影响了管

线的正常运行，还可能引起管线堵塞，甚至导致漏电等安全隐患<sup>[3]</sup>。

#### 2. 缺乏动态监测手段

在施工过程中，由于缺乏实时监测手段，无法及时感知到管线所承受的应力以及环境中的温湿度等关键参数，这导致了潜在隐患的不断积累。举一个具体的例子，当管线被暗埋在混凝土中时，由于混凝土在硬化过程中会发生收缩，这可能会导致管线周围产生裂缝。如果这些裂缝没有被及时发现和处理，随着时间的推移，它们可能会引发一系列问题，比如管线绝缘层的损坏，最终导致短路现象的发生，从而对整个系统的安全运行构成威胁。

## （二）安全隐患

### 1. 电气火灾风险

在当前的电气系统中，线路过载以及绝缘材料老化等隐患问题往往难以得到及时的预警和处理。根据权威统计数据，我国由电气问题引发的火灾在所有建筑火灾成因中占据了超过40%的比例，这一数字令人担忧。此外，传统的依靠人工进行电气设备排查的方法效率低下，其排查效率通常不足20%，这进一步加剧了电气火灾的风险。因此，迫切需要一种更为高效和智能的解决方案来应对这些挑战，以确保人们的生命财产安全。

### 2. 防雷系统失效

在雷暴天气中，高层建筑可能会遭遇严重的安全威胁，这主要是由于避雷带的截面尺寸不足以及引下线的焊接工艺未能达到标准要求所导致的。<sup>[10]</sup>这些问题的存在，使得建筑物在面对雷电时，其防雷系统无法有效地发挥应有的保护作用，从而增加了建筑物及其内部人员和设备遭受雷击损害的风险。

## 三、基于数据感知技术的创新驱动

### （一）数据感知技术框架

构建“感知-分析-决策”闭环系统，集成以下技术：物联网（IoT）是在施工作业空间内部署温湿度、电流、振动传感器，实时采集施工环境与设备状态数据。BIM与数字孪生是通过三维模型模拟管线布局，优化设计并指导预制装配（如某机电安装项目采用BIM+装配式机电安装，施工周期缩短70%）。AI算法是利用物理信息神经网络（PINN）与稀疏回归框架（SINDy）分析数据，预测设备故障与线路负载异常。

### （二）创新技术应用案例

#### 1. 智能施工质量监控

国网福建某变电站项目通过“智慧安装”系统得螺栓紧固力矩自动检测创新技术，实现2.8万副螺栓100%力矩达标，减少人工检测误差。南京某商业综合体项目，通过BIM技术对管线敷设优化并进行碰撞检查与3D扫描技术，避免三根以上管线交叉，确保暗埋管线保护层厚度 $\geq 15\text{mm}$ 。

#### 2. 实时安全预警与防控

重庆璧山区利用电气火灾智防系统整合212亿条多源数据，构建浮动阈值预警模型，实现隐患识别准确率提升53%，初期火灾处置效率提高3倍。苏州某工业项目通过采用压电传感器网络检测

混凝土内应力波变化，定位损伤位置（精度达  $\pm 5\text{cm}$ ），避免因结构变形导致的电气系统故障。

### 3. 人员与流程智能化管理

通过 BIM 模型漫游与 3D 扫描的 AR 可视化交底技术，降低施工人员误操作率（如开关插座高度偏差减少 90%）。基于 EEG 脑电分析系统的 AI 辅助培训技术，实时自动评估施工人员心理状态，针对性强化高风险操作培训（如高空作业安全规范）。

## 四、总结与展望

数据感知技术通过多源数据融合与智能分析，显著提升了建筑电气安装的质量与安全性。未来可以在建筑电气安装技术创新

方面进一步深入研究和应用更多创新技术，如边缘计算与 5G 融合可以实现低延迟数据传输，支持大规模传感器网络部署；自适应算法优化可以结合深度强化学习，动态调整预警阈值<sup>[4]</sup>；标准化与政策推动可以借鉴“电气火灾智防一件事”经验，制定全国性智能安装技术标准。本研究证实，数据感知技术不仅是传统工艺的补充，更是建筑电气安装向智能化、绿色化转型的核心驱动力。

## 参考文献

- [1] 盛日福, 杜鲁涛, 李泽楷. 照明电气安装工程质量监控研究 [J]. 光源与照明. 2024-05-01.
- [2] 郭锦泉. 试析林下经济现状及发展对策 [J]. 农技服务. 2016-08-01.
- [3] 冯杰. 城市地下管线工程中的安全隐患与防范措施 [J]. 建筑科技发展论坛. 2024-01-01.
- [4] 高振峰. 数据中心高能效负载均衡算法研究 [D]. 西安电子科技大学. 2021-01-01.
- [5] 孙志敏. 建筑工程中的电气安装问题与对策 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2022(36).
- [6] 叶世阳, 蔡明卫, 胡景颂. 建筑电气设备安装施工技术 [J]. 城市建筑空间, 2022(S2)
- [7] 许清松. 刍议建筑电气安装施工技术 [J]. 建设科技, 2022(18)
- [8] 王培豪. 建筑电气工程安装技术要点及应用 [J]. 城市建筑空间, 2022(S1).
- [9] 崔庆. 防雷接地技术在建筑电气安装中的应用分析 [J]. 四川建材, 2023(02).
- [10] 张丹丹. 建筑电气节能设计及绿色建筑电气技术研究 [J]. 房地产世界, 2022(14).



# 园林设计中的植物选择与景观表达

黄炳钧

华蓝设计（集团）有限公司，广西 南宁 530012

DOI:10.61369/ME.2024080018

**摘要：** 园林设计作为人类自然环境改造与艺术表达的结合点，其中植物的选择与景观表达扮演着至关重要的角色。本研究结合园林设计的发展趋势与生态学的基本原则，从植物的生态适应性、观赏性及文化象征性出发，探讨其在园林景观中应用的重要性。在研究过程中，通过分析各类植物的生长特性、色彩搭配与季相变化，揭示了植物选择对园林景观层次与韵律塑造的深远影响。结果显示，合理的植物配置不仅能满足景观视觉美感要求，还能增强园林生态服务功能，如调节气候、改善空气质量及生物多样性恢复。研究进一步阐明，植物的景观表达功能应与地域文化、环境条件以及人类活动需求协同统一，从而实现人与自然的和谐共生组合。该研究为园林设计中的植物规划与景观优化提供了理论支持，具有重要的实践指导意义。

**关键词：** 园林设计；植物选择；景观表达；生态适应性；文化象征性

## Plant Selection and Landscape Expression in Garden Design

Huang Bingjun

Huailan Design (Group) Co., LTD. Nanning, Guangxi 530012

**Abstract：** Landscape design, as the intersection of human efforts to transform the natural environment and artistic expression, places significant emphasis on plant selection and landscape expression. This study integrates the trends in landscape design with fundamental ecological principles, focusing on the ecological adaptability, ornamental value, and cultural symbolism of plants, to explore their importance in landscape design. Through an analysis of the growth characteristics, color coordination, and seasonal changes of various plants, the study reveals the profound impact of plant selection on the layers and rhythm of landscape design. The findings indicate that appropriate plant placement not only enhances the visual appeal of landscapes but also boosts the ecological services of gardens, such as climate regulation, air quality improvement, and biodiversity restoration. The research further emphasizes that the landscape expression of plants should be harmoniously integrated with regional culture, environmental conditions, and human activity needs, to achieve a harmonious coexistence between humans and nature. This study provides theoretical support for plant planning and landscape optimization in landscape design, offering significant practical guidance.

**Keywords：** landscape design; plant selection; landscape expression; ecological adaptability; cultural symbolism

## 引言

园林设计为一门融合艺术和科学的领域，于提升人居环境、增强生态功能以及推动人与自然和谐方面展现关键作用。植物选择为园林设计的核心环节，作用于景观美学与生态功能。科学合理的植物配置须考量其季相变化、结构特性及色彩表达等，同期符合区域气候调控、空气质量优化及生物多样性恢复等生态需求。优秀园林设计需整合植物的生态功能与文化象征，调和地域文化、城市环境与人类活动需求，达成功能与美学的统一。过去研究较多聚焦植物基本属性及视觉优化，偏少研究生态功能与文化内涵整合的设计模式。本研究自生态学原则着手，解析植物选择对于园林景观表达的深远影响，探究怎样借助合理配置达成景观优化，给园林规划提供理论指导和实践支持，促进园林设计可持续发展和人与自然和睦共生目标的达成。

## 一、园林设计中的植物选择理念

### （一）植物选择的生态适应性原则

植物选择的生态适应性原则在园林设计中至关重要，反映了植物和环境的和谐关系。在植物选择过程中，必须思考植物的生理特性对于特定环境的适应能力，例如耐寒性、耐旱性、耐盐碱性和对光照的需求等等。根据不同的地域环境，选择具备优良适应性的植物能够保证其在园林中的健康生长，减少养护成本，并且提高景观的可持续性。利于植物种类的原产地特性维护当地生态系统的稳定性，防止外来物种对本土环境的潜在威胁。适应性原则同样地突出对于微气候条件的适应，借助选择适合的植物种类，园林设计能够高效使用自然资源，达成景观的生态效益<sup>[1]</sup>。植物的生态适应性不只涉及群落生存，也涉及生态平衡和环境亲和的长期目标，利于构建出拥有持续活力的景观空间。

### （二）植物的观赏性与艺术表达

植物的观赏性与艺术表达在园林设计中居于核心位置，这不只是决定着景观的视觉吸引力，亦借助营造独特的艺术氛围作用于人们的心理感受。观赏性首要反映在植物的形态、色彩与质感等方面，凭借精心的选材与搭配，可以达成季节更迭时景观形态的变化与连续性。优美的植物群落造型可以形成视觉上的层次感，运用色彩的对比与协调，呈现一种整体的美学体验。植物充当艺术表达的元素，其在景观中位置的布置能传递特定的文化含义与情感联想。植物的高低起伏、曲线布局等细节呈现与周围设施相辅相成，使园林景致不单是为自然的呈现，进而化作文化、艺术的载体<sup>[2]</sup>。经由这些艺术化的手法，园林不单转变为休憩的空间，也转变为艺术享受与文化体验的场所。

### （三）植物的文化与象征性解读

植物文化象征意义融入园林设计，展现多种丰富表达方式。不同文化传统给予植物特别代表价值，例如竹子东方文化代表坚韧高尚优良品质，橄榄树地中海文化代表和平。园林设计中，植物选择需要思考目标文化具体代表意义，达到景观文化协调一致效果。植物代表意义呈现文化丰富内涵，结合植物环境社会功能，传递深远艺术生动表达方式。当代园林设计中，理解并有效运用植物文化代表价值，增强景观设计情感深度及艺术独特魅力。

## 二、植物选择对园林景观层次的塑造

### （一）多样性的植物搭配与空间层次感

植物多样性组合用于园林设计之中，给予空间特别层次感，充实视觉感受和生态功能。植物多样性表现在选择不同种类，还包括形态、高度、质地、色彩多种维度元素。元素空间交融，构成层次清晰景观效果呈现。高低层次清晰植物组合拓宽垂直空间，提升观赏趣味性体验。不同形态植物经细腻周到布置，构建

空间深度广度，塑造视觉焦点，指引游览路径方向。色彩质地变化于植被组合营造协调视觉过渡，提升景观鲜活表现力与引人注目效果力<sup>[3]</sup>。多层次空间帮助形成了栖息地的多样性，各种不同动物获得充裕的遮蔽和充沛的食物资源，清楚显示出生态设计的巨大优势。利用多种植物的合理搭配，园林营造出视觉美感的明显提升，同时大大提高了生态功能和生物多样性的水平，圆满完成了景观艺术与生态效益的双重目标。

### （二）季相变化对景观动态美的影响

季相变化为园林景观设计内动态美之重要组成部分，为植物和环境彼此影响之结果。不同季节内，植物的外观在形态、颜色以及叶片的质地上皆会出现明显变化，因而使园林景观展现显多样性和活力。春季当绿色和鲜艳之花卉一起形成充满活力之景象，且夏季便用丰盈的绿色以及浓密的树冠为重，给予遮荫和清凉。秋季便由金黄色和红色的植物被引领，给景观增加温暖和浪漫的氛围。冬季的光秃以及常绿植物形成了独特的景观美，借助形态和色彩的对比彰显四季的变化。季相变化的设计可以高效提升景观的视觉吸引力和艺术感染力，令观者持续获得独特的景观体验，从而提升园林的整体美感与生态效益。借助对于季相变化的科学设计，园林可以展现一幅平衡的四季画卷，彰显自然的韵律与生命力。

### （三）色彩构成与形态布局的景观韵律表达

色彩构成和形态布局在园林景观中具备关键韵律表达作用。选择色彩时需考虑不同植物花期和季节变化，打造特别视觉效果，让园林美感持续展现。形态布局利用高矮搭配和疏密结合打造空间层次感，引导观者视线流转。不同色彩对比和协调需结合植物形态，构造协调视觉体验<sup>[4]</sup>。适当色彩搭配和形态布局能提高园林审美价值，增加空间生动感，促进自然和人类互动。

## 三、植物选择与生态功能的协同作用

### （一）植物与气候调节功能的联动

植物在园林设计中的选择不单拥有观赏价值，亦能够高效地调整气候。植物借助光合作用吸纳二氧化碳且放出氧气，对于空气质量的改善发挥着正面作用。植物的蒸腾作用把水分放出到空气中，减少周边环境的温度，构成微气候效应。树木和灌木的遮阴效果有利于减少地表温度，削减城市热岛效应。根系结构更深层地作用于土壤温度和水分含量，进而作用于地表气候条件。植物种植的合理布局可以改善风速和空气流动，推动空气交换，提升园林区域的舒适度。处于规划进行中，合理地挑选抗旱以及抗寒诸如环境适应力优的植物，能够提升园林的抗性，降低对于人类管理的依靠。植物挑选在气候调节功能中的联动作用不只促进园林设计的效益，亦推动城市环境发展的目标<sup>[5]</sup>。

### （二）植物配置对空气质量与水土保持的影响

植物配置位于园林设计中关于空气质量和水土保持的影响不

可忽略。合适的植物选择可以借助光合作用吸纳空气中的二氧化碳，并且排放氧气，提升空气清新度。某些植物拥有明显的颗粒物吸附能力，可以降低空气中的污染物浓度，如此不但改善了空气质量，而且优化了人们的健康环境。处于水土保持方面，植物根系对于土壤的稳固作用明显，有助于预防水土流失。多层次的植被覆盖能够削减雨水对土壤的直接冲刷，提高地表水的渗透率，从而维护土壤的肥力与结构。植物的枝叶在于降水时的拦蓄功能亦对土壤保持给予了额外的支持<sup>[6]</sup>。经由科学的植物配置，园林不但变为美的空间，亦转变为生态保护的屏障，向城市与自然环境的健康与稳定奉献力量。

### （三）恢复生物多样性的园林策略

修复生物多样性的园林策略在园林设计中拥有关键意义。借助挑选适当的本地植物物种，能够推动生态系统的稳固性和自我平衡能力，提升环境的韧性。植物多样性给不同生物供应栖息地和食物资源，因而支撑多元化的生物群落。园林设计时应当因地制宜，于维护现有生态元素的基础上，倡导引入与自然环境契合的多样植物组合，推进物种间互惠共存。微生境的构建与功能性植物的科学布局，能更深一步充实园林的生态网络，供给更多生态服务功能，高效复兴园林的生物多样性。

## 四、植物景观表达中的地域文化融合

### （一）植物选择与地方性环境条件的适配

园林设计中，挑选植物要合适顺应当地环境条件相当关键。植物生长特点要求当地气候、土壤、水资源互相匹配，保证植物良好生长呈现园林景观效果。低温地区要求挑选抗寒植物，抵抗低温造成影响。干旱地区应该思考耐旱植物，减少灌溉水使用量。挑选植物除了思考自然环境，应该当地历史文化背景互相结合<sup>[7]</sup>。引入当地特色植物种类，可以提升园林设计文化特点和象征意义，当地传统建立联系。合适使用当地植物可以推动生态环境稳定，减少外来植物种类带来风险。这种顺应方法能够维护本地生态系统，园林景观增加多样文化特点和历史风采。

### （二）区域文化特色在植物景观中的体现

区域文化特色依靠植物景观呈现，转变为园林设计中不可缺少的重要部分。植物景观采用仔细挑选和科学搭配的植物，完整展现特定地域的文化底蕴和历史传承。独特植物种类能够充当文化标志，明白传递当地人民的生活习惯和核心信念。特定文化里，特定植物代表幸福、繁荣或神秘，因此转变为风景设计中的核心要素。植物的形状、色彩和排列方式也能高效传递区域文化的独特信息<sup>[8]</sup>。竹子景观设计与东方文化的平静气质非常契合，仙人掌群则能激起沙漠土著文化的坚韧特质。园林设计必须借助植物布置体现该地区的传统节庆与习俗，把文化故事融合于景观体验之内。这种文化融合不只提升了园林设计的视觉效果，还给予了其更为深远的人文意义，促进植物景观变为地域文化的活体

缩影。

### （三）人类活动需求与植物功能表达的平衡

现代园林设计中，植物功能的体现必须跟人类活动的需求保持平衡。园林是自然美景的呈现场所，还供应社会互动和休息空间。植物配置要仔细思考遮阴、降低噪音、防风和保护隐私等功能，满足人们不同环境中的实际需求。使用合适的植物种类和布局，能显著提高园林使用的舒适度和功能性<sup>[9]</sup>。完善植物功能要全面结合休闲、教育和文化活动空间的设计，让园林成为积极推动社区活动和社会交往的桥梁，达成人与自然的完美和谐共存。

## 五、园林设计中的植物规划建议

### （一）生态与审美并重的植物配置原则

植物配置同时具有生态和美观特点，在设计园林时非常重要。生态功能需与美学设计完全结合，确保园林具有让人感受到的吸引力，并且有效达到保护环境作用。挑选植物时需认真考虑是否适应环境，确保植物能够适应各种气候，保持生长状态。好看外形是植物配置一项重要内容，需通过颜色、形状和季节变化等元素合理搭配，增强景观让人看到的吸引力和艺术魅力。植物配置需体现文化特殊含义，挑选能反映本地特色和历史背景的植物，增强景观地区独特性<sup>[10]</sup>。必须考虑人类活动需求，植物在供给遮阴、分区及引导动线等方面的功能应当与景观整体设计结合。园林设计中应当达成生态效益与审美价值的相互均衡，为城市发展和自然保护助力，保证园林不仅变为视觉的享受，也为生态效益的重要载体。借助科学合宜的设计策略，可以在达到审美需求的提升其生态功能，达成人与环境的和谐共存。

### （二）园林可持续发展的植物选择策略

园林可持续发展的背景下，植物挑选策略应当注重生态系统的持久稳定性及适应性。因地制宜原则为基础引导理念，亦即依据地方的气候、土壤以及生物多样性特点，挑选本地或者适应性优的植物品种，以减少后续养护成本和资源消耗。首先采用具备生物多样性支撑作用的植物，如蜜源植物、鸟类栖息植物等，这些植物可以推动园区的生态均衡及多样生态网的构建。鉴于景观的全年表现，计划多样化的物种组合，用以达成季节变化之中的连贯美感。借助适当的植物挑选和布局，能提高园林的生态效益和景观价值的两重提高，完成长远可持续发展。

### （三）创建和谐共生组合的设计路径

构建和睦共生组合的设计路径突出于园林设计中达成人类和自然的整体调和。应当依据生态特性恰当挑选植物，完成环境的适配性配置。注重植物于空间布局中的层级和节奏，令生态性和审美属性完备融合。于设计中整合区域文化和景观特色，借助艺术表达增强园林的文化内涵。思考人类活动对于环境的作用，拟定兼备实用性和美观性的植物规划策略，用保障园林的持久可延续发展和生物多样性的修复。整体设计需平衡生态保护和人类需

求，推动人与自然的和睦共存。

## 六、结束语

本研究集中园林设计中植物选择与景观表达，研究植物在构建景观层次感、提升视觉美感及提高生态服务功能中的多重作用。考察了植物的生态适应性、观赏特性及文化象征性，突出科

学布局植物在气候调节、空气清洁及生物多样性恢复等方面的重要性。表明当前在区域性差异、精准化布局及复杂都市环境应对方面尚存在欠缺，对植物与新兴景观技术的结合研究也需待深入。未来需健全植物选择标准用应对多样化环境，探究植物与智能技术的配合改进，注重植物布局与景观功能的动态应对关系，促进园林设计达成生态与美学平衡进步，因此推动人与自然的和谐共存。

## 参考文献

- [1] 陈星. 景观园林设计中的植物选择及配置 [J]. 房地产世界, 2022, (03): 33-35.
- [2] 李康康. 浅谈景观园林设计中的植物选择及配置 [J]. 中文科技期刊数据库 (文摘版) 工程技术, 2021, (09): 0204-0204.
- [3] 吴菲. 景观园林设计中的植物选择及配置研究 [J]. 砖瓦世界, 2021, (15): 245-246.
- [4] 李秀玲. 景观园林设计中植物选择与配置的原则及策略 [J]. 建材与装饰, 2022, 18(30): 66-68.
- [5] 李倩. 景观园林设计中的植物选择及配置探析 [J]. 中国科技期刊数据库 工业 A, 2021, (07).
- [6] 贺玉苗. 景观园林设计中的植物选择及配置 [J]. 电脑爱好者 (校园版), 2023(5): 274-276.
- [7] 田甜. 园林景观设计中植物造景的应用 [J]. 美术馆, 2023, 4(1): 127-129.
- [8] 王起柱. 城市园林景观设计中植物景观的应用 [J]. 江西建材, 2023(3): 423-424.
- [9] 张小燕. 观赏植物在园林景观设计中的应用 [J]. 住宅与房地产, 2020(5): 52-52.
- [10] 尹月娇. 风景园林设计中植物景观的设计策略分析 [J]. 花卉, 2020(2): 2.



# 建筑装修工程施工的通病与防治对策探究

黄彦懿

南京富海装饰工程有限公司, 江苏 南京 210000

DOI:10.61369/ME.2024080019

**摘 要 :** 建筑装修工程施工中的通病主要表现为: 吊顶龙骨松动, 吊顶开裂、松动; 装修材料质量不合格, 尤其是基层处理、涂料、油漆等涂料质量不合格; 现场施工管理不规范, 现场使用的材料种类、规格多, 数量大, 存在材料质量问题; 安装工程中的通病表现为: 固定件安装不牢固, 有松动现象; 开关插座面板安装不规范, 接线错误或接触不良; 门窗安装不规范, 门窗框、窗扇变形、脱落等问题。以上通病严重影响了室内装饰装修工程施工质量和使用功能。本文对上述通病的产生原因进行了分析, 并提出了相应的防治措施, 以减少装修工程中的通病。

**关 键 词 :** 建筑装修; 工程施工; 通病; 防治对策

## Research on Common Problems and Prevention Countermeasures in Building Decoration Engineering Construction

Huang Yanyi

Nanjing Fuhai Decoration Engineering Co., LTD. Nanjing, Jiangsu 210000

**Abstract :** The common problems in the construction of building decoration projects are mainly manifested as: loose ceiling keels, cracking and loosening of the ceiling; The quality of decoration materials is substandard, especially the quality of base treatment, coatings, paints and other coatings. The on-site construction management is not standardized. There are many types, specifications and large quantities of materials used on site, and there are material quality problems. The common problems in the installation project are manifested as follows: the fixed parts are not installed firmly and there is a loosening phenomenon; The installation of the switch socket panel is not standardized, with incorrect wiring or poor contact. Problems such as non-standard installation of doors and Windows, deformation and detachment of door and window frames and sashes. The above-mentioned common problems have seriously affected the construction quality and usage functions of interior decoration and renovation projects. This article analyzes the causes of the above-mentioned common problems and proposes corresponding prevention and control measures to reduce the common problems in decoration projects.

**Keywords :** architectural decoration; engineering construction; common illness; prevention and control countermeasures

### 引言

随着我国经济的发展, 人民生活水平不断提高, 人们对室内装饰装修工程的质量提出了更高的要求。如何通过不断完善、改进和提高建筑装修工程质量, 使其能满足人们的实际需要, 这是工程建设单位和施工单位面临的重大问题。然而在实际操作中, 由于种种原因, 各种质量通病时常出现, 甚至发生严重质量事故, 影响建筑装修工程质量。<sup>[1]</sup>如何减少、消除这些质量通病, 对提高建筑装修工程施工质量起着重要作用。本文就目前我国建筑装修工程中常见的几种质量通病进行了分析, 并提出了相应的防治措施, 以供广大建筑装修施工人员参考。

### 一、吊顶龙骨松动, 吊顶开裂、松动

1. 产生的原因: 吊顶龙骨本身强度不足, 吊杆或主龙骨安装不牢固, 受力不均匀, 在运行过程中发生松动; 吊杆与主龙骨或吊点连接不牢, 使吊杆与主龙骨或吊点失去连接; 吊顶在吊顶龙

骨的横向或纵向固定时, 未采用加强固定措施。

2. 防治措施: 在选择吊顶龙骨时要根据装修设计 requirements 选择合  
适的轻钢龙骨; 轻钢龙骨的表面处理应平整、光滑, 不得有油污、水分及杂物; 在龙骨安装前应检查所有连接件是否齐全、牢固; 在安装轻钢龙骨时要根据设计要求拉线找正, 安装时轻钢龙

骨分格应一致，间距要均匀，不得有松动现象；<sup>[2]</sup>在安装主龙骨或吊杆时必须将主龙骨或吊点用防水胶布缠紧后再安装，不允许将主龙骨或吊点直接钉入吊顶中，以免造成松动；轻钢龙骨应平直、无裂缝；在吊完所有轻钢龙骨后再固定吊杆；在吊顶边缘处的水平缝应使用弹性腻子填塞。

## 二、装修材料质量不合格，尤其是基层处理、涂料、油漆等涂料质量不合格

由于设计单位所提供的图纸不符合实际，导致设计者对所用材料的性能、规格和数量缺乏必要的认识，在实际使用中经常会产生一些问题。如：设计要求使用木质材料，施工时使用聚氨酯防水涂料，因施工工艺不当造成涂料开裂；<sup>[3]</sup>设计要求采用木龙骨，施工时用的是水泥纤维板，而用中密度纤维板做龙骨。根据设计要求采用涂料，采用普通乳胶漆，因乳胶漆粘度大，在施工时容易发生流挂。

材料选用时应严格按图纸及规范要求，避免出现上述问题。材料进场后，必须对材料进行检查。工地上使用的材料，必须有合格证明及产品性能测试报告。进场材料按规范要求取样送检。所有施工所使用的材料都要按照国家现行标准检验，如有不合格，应及时退回或更换。如基层处理应根据设计要求、施工环境、施工条件等来确定处理方式；<sup>[4]</sup>选用各种饰面材料，如油漆，墙纸，石材等；针对不同材质的特性，选择合适的涂料品种，如油漆，石材等，以确保产品的品质；根据不同的施工条件，如基层的干燥度、温度的高低和周围环境的湿度等，选择合适的施工方法。在涂料及涂料的选择上，应该选择质量稳定，价格低廉，环境友好的材料。涂料选择时，应根据材料性质及施工条件，选择合适的施工方法及工艺。在基层治理过程中，尤其要注意基层处理质量达不到标准，这是导致基层治理质量问题的根本原因。

## 三、现场施工管理不规范，现场使用的材料种类、规格多，数量大，存在材料质量问题

材料进场时，应认真核对，验收时，应认真检查产品合格证、质量检测报告和现场检验报告，对有疑问的材料应取样复验。<sup>[5]</sup>不得使用已受潮、变形的材料。施工过程中，现场应避免不必要的材料堆放，尽量做到材料、配件不积压。必须存放时，要选择适当的场所，并按规定分类、分垛存放。建筑装饰材料应与水、电、气等专业管道保持一定距离。如使用铝塑板吊顶时，不能直接将铝塑板安装在梁上；采用水泥砂浆抹灰时，不能直接在水泥砂浆上抹灰；采用石膏找平时，不能直接用石膏抹平；墙面使用涂料时，应先涂刷底漆后涂刷面漆；采用干挂石材时，不得将石材直接固定在墙面上等。<sup>[6]</sup>当设计要求采用不同种类材料组成的饰面时，应按设计要求选用相应的饰面材料。当设计要求使用某种新材料时，应经设计确认后方可使用。如确需新材料的替代时，应采取相应措施。材料进场后，应进行验收，合格后方可使用。在材料进场后的储存过程中，要注意材料的防潮、防蛀，尤

其是防潮防霉措施。使用前，应先检查所用材料是否符合设计要求和国家现行有关标准的规定，不符合要求的坚决不得使用。<sup>[7]</sup>在材料进场后应及时进行验收，并按规定进行存放、保管和养护。室内装饰装修工程的材料有许多品种和规格，不同种类、规格的材料，其性能也有很大差别。<sup>[8]</sup>在施工过程中，对同一种类、规格的材料应进行一次或多次检验，以保证材料质量。在施工过程中，要注意不同种类、规格的材料要分开堆放。如不同种类、规格的腻子、涂料、粘合剂等应分别存放。

## 四、固定件安装不牢固，有松动现象

产生原因：

- (1) 固定件尺寸不符合要求，如膨胀螺栓的规格、数量、间距、定位等不符合要求。
- (2) 固定件安装后，在安装过程中被碰掉或损坏，固定件松动。
- (3) 固定件与主体结构或其他预埋件的连接不牢固，未作锚固处理。
- (4) 固定件在施工过程中没有固定在结构上，或未按规定操作。

防治措施：

- (1) 严格按照设计要求及规范施工，固定件尺寸要符合要求。
- (2) 检查固定件是否有损坏，若有损坏的，必须更换；若没有损坏的，在固定时应先用小锤将松动部分敲紧、敲实；<sup>[9]</sup>在安装过程中要注意固定件的位置、间距是否符合要求；若已出现松动现象的，应及时将其更换。
- (3) 做好隐蔽工程验收记录，以便于找出问题，及时处理。

## 五、开关插座面板安装不规范，接线错误或接触不良

1. 原因分析：(1) 开关、插座面板安装在抹灰、木作等装饰工程中，没有固定；(2) 施工人员安装开关、插座面板时，不按要求进行，而是直接用螺栓紧固在抹灰或木作上，没有固定。

2. 防治措施：(1) 开关、插座面板安装前，应对安装位置、数量和规格进行核对；(2) 开关、插座面板的固定，可采用胶粘或螺栓紧固方式；(3) 开关插座的接线应牢固可靠，端子应无松动现象；(4) 安装开关、插座时应注意位置是否正确，防止开关面板位置不正确或未与墙面固定，导致开关面板移位；(5) 对于已装好的开关、插座面板，应按设计要求进行检查，检查合格后再进行固定和连接。<sup>[10]</sup>对于无设计要求的开关、插座面板应检查接线柱是否完好，并做好相应的记录。当发现有松动时应及时加固处理。如出现接触不良情况时，应及时更换同一型号的开关、插座。

## 六、门窗安装不规范，门窗框、窗扇变形、脱落等问题

1.门窗框、窗扇变形、脱落的主要原因：一是安装门窗时未按规范操作，门窗框、窗扇与墙体间的连接没有采用弹性材料，导致变形；二是施工过程中，对门窗框、窗扇的固定不牢固，导致变形。

2.防治措施：一是门窗安装前，应根据设计要求对洞口进行放线定位，并确定好安装位置；二是施工中应根据设计要求及门窗框、窗扇的型号规格合理选用门窗框、窗扇与墙体间的连接材料；三是在窗洞口墙体上留设预埋件，或在墙内预埋铁件，并进行埋设固定；四是加强施工过程中对门窗框、窗扇的固定管理，施工中严禁用混凝土浇筑门窗框、窗扇；五是严禁用建筑垃圾、砂浆等堵塞门窗洞。六是加强对现场工人的技术培训和管

## 七、结束语

室内装修工程涉及到的工种较多，施工也比较繁琐，为了保证装修工程的质量，施工过程中必须严格按照国家有关的规范和标准来施工，把每一个施工环节都控制好，把各种质量问题都降到最低。在工程建设过程中，要加强对各个工序质量的控制，对工序、时间进行合理安排，对组合工序进行优化，对分部分工程的质量进行严格控制。同时，要加强对原材料的进场检验，保证进场材料的质量符合国家现行标准及相关规范。在材料的选用上，要严格按照国家有关标准、规范的要求进行，确保装修工程所用材料的质量符合设计及使用功能的要求。只有加强施工管理，加强各个环节的控制，才能降低装饰工程质量通病的发生。

## 参考文献

- [1] 张勇. 建筑装饰装修工程存在的质量通病及防治措施研究 [J]. 砖瓦, 2021, (02): 112-113.
- [2] 李广庆. 建筑工程装饰装修质量通病的防治措施探讨 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2020, (13): 90.
- [3] 金洪林. 建筑装饰装修工程存在的质量通病及防治措施 [J]. 大众标准化, 2020, (06): 21-22.
- [4] 陈善勇. 关于建筑装饰装修工程质量通病原因分析及预防、处理措施 [J]. 智能城市, 2020(20).
- [5] 聂玉新. 现阶段建筑装饰装修工程的质量控制要点及具体优化策略 [J]. 居舍, 2020(25).
- [6] 刘京京; 刘勇; 张新忠. 建筑装饰装修工程质量通病防治措施 [J]. 工程建设与设计, 2023(24).
- [7] 李笑天. 建筑装饰装修工程质量通病防治措施探讨 [J]. 居舍, 2023(30).
- [8] 林升. 概述建筑装饰装修工程质量控制及通病防治 [J]. 散装水泥, 2020(05).
- [9] 李晴. 建筑装饰装修工程质量通病防治措施 [J]. 石材, 2023(04).
- [10] 秦波. 建筑装饰装修工程的施工质量控制及管理 [J]. 居舍, 2022(11).

# 建筑机电安装工程中管线综合布置技术的应用

匡小荣

江苏盈匡建设工程有限公司, 江苏 南京 210000

DOI:10.61369/ME.2024080021

**摘 要：** 管线综合布置技术通过三维协同设计统筹建筑机电系统管线布局，解决传统施工中因二维图纸局限导致的碰撞冲突、返工浪费等问题。本研究系统阐述其技术体系：基于多专业协同流程（设计输入→碰撞检测→优化出图），结合空间分层规则（风管贴顶、水管居中、桥架置底）与避让原则（电让水、水让风），依托 BIM 技术实现硬/软碰撞智能检测，并通过综合支吊架集成设计保障系统安全性。

**关 键 词：** 管线综合布置技术；BIM 技术；碰撞检测；综合支吊架

## The Application of Pipeline Comprehensive Layout Technology in Building Mechanical and Electrical Installation Engineering

Kuang Xiaorong

Jiangsu Yingkuang Construction Engineering Co., LTD. Nanjing, Jiangsu 210000

**Abstract：** The pipeline comprehensive layout technology coordinates the pipeline layout of the building's mechanical and electrical system through three-dimensional collaborative design, solving problems such as collisions, conflicts, and rework waste caused by the limitations of two-dimensional drawings in traditional construction. This study systematically expounds its technical system: based on a multi-disciplinary collaborative process (design input → collision detection → optimized drawing), combined with spatial layering rules (air ducts placed at the top, water pipes centered, and cable trays placed at the bottom) and avoidance principles (electricity yielding to water, water yielding to wind), it relies on BIM technology to achieve intelligent detection of hard/soft collisions, and ensures system safety through integrated design of comprehensive supports and hangers.

**Keywords：** comprehensive pipeline layout technology; BIM technology; collision detection; comprehensive support and hanger

## 引言

当前建筑机电系统复杂性持续攀升，暖通、给排水、电气等多专业管线交织密集。传统施工模式下，分立设计的二维图纸难以精准表达三维空间关系，频发的管线碰撞与工序冲突导致现场协调困难、返工率居高不下。更严重的是，检修通道缺失、安全间距不足等隐患直接威胁系统可靠性，而盲目拆改引发的材料浪费与工期延误，已成为制约项目效益的关键瓶颈。行业亟需突破平面化设计思维，建立全域协同的管线空间管控机制。

管线综合布置技术在此背景下应运而生，其本质是借助数字化工具实现机电系统全要素三维预建造。本研究聚焦该技术在设计协同、空间分配、冲突消解及物理承载四大环节的创新应用：通过 BIM 平台整合多专业输入资源，依据分层避让规则优化管线路径，利用智能算法前置解决碰撞问题，最终依托综合支吊架实现模块化安装。

## 一、管线综合布置技术概述

### （一）技术定义与核心目标

管线综合布置技术是在建筑机电工程中，通过三维协同设计手段对暖通空调、给排水、消防、电气、智能化等多专业管线系统进行空间统筹规划与优化布局的集成化方法，其核心目标是实现“零碰撞、少交叉、易施工、便维护”的系统性解决方案。

该技术突破传统二维分专业设计的局限性，利用 BIM 模型在虚拟环境中预先整合所有管线路径，通过碰撞检测消除物理冲突（如管道与结构梁碰撞），依据避让规则（电让水、小管让大管）减少交叉点以降低施工复杂度；同时优化管线排布层次（通常风管贴顶、水管居中、桥架置底）并为操作与检修预留足够空间（阀门操作面 $\geq 400\text{mm}$ 、检修通道 $\geq 600\text{mm}$ ），最终形成满足安全规范、施工便捷且运维友好的立体化管线体系，从全生命周期



角度提升机电系统的可靠性与经济性。

(二) 技术实施原则

1.安全优先原则

安全优先原则要求在管线综合布置中始终将人身安全与系统可靠性置于首位，具体体现为严格执行国家强制间距标准（如电缆桥架与热力管道间距≥1000mm/GB 50303）、保障关键设备可操作性（如消防阀门旋转半径≥600mm）及预留应急通道（管廊检修通道净宽≥800mm/JGJ/T 488）。

2.规范性原则

规范性原则要求管线综合设计全程锚定国家标准与行业规程，确保技术方案合法有效。设计阶段需嵌入规范数据库（如Revit+Dynamo自动校验管线间距），强制执行抗震支吊架设置（直径≥65mm消防管设侧向支撑/GB 50981）、坡度控制（排水管坡度≥0.026/GB 50242）及防腐措施（镀锌钢管螺纹外露部分防腐处理/GB 50243）；施工阶段依据模型输出文件需满足《建筑机电工程综合支吊架设计规范》(CECS 420)的荷载分级要求，并通过BIM模型与现场放样比对（全站仪复核误差≤5mm）保障设计意图精准落地，最终形成符合国家验收标准的标准化工程实体。

3.可扩展性原则

可扩展性原则着眼于建筑机电系统的动态发展需求，要求在设计阶段预留升级接口与弹性空间：主干管线按远期负荷放大管径，支管预留法兰盲板或三通接口；采用模块化支架系统（装配式C型钢）便于后期增减管线；关键区域（竖井、设备层）保留冗余空间（CIBSE Guide M）并为新兴管线（如氢能管道）规划专用路由层。

(三) 技术支撑体系

1.BIM技术

BIM技术作为管线综合布置的核心工具，通过参数化建模（Revit建立LOD 400精度模型）、冲突检测（Navisworks识别硬/软碰撞）及施工模拟（Fuzor 4D工序优化）实现全流程管控。其在设计阶段精确表达管线空间关系（含保温层、法兰等细节），协调阶段定位冲突点，施工阶段输出精准指导文件（综合管线图、支架详图）；同时向性能分析延伸（如CFD模拟管线散热对气流组织的影响），推动综合布置从几何协调升级为智能优化，成为现代机电安装工程不可或缺的技术基础。

2.三维激光扫描与点云技术

三维激光扫描技术通过获取现场点云数据（精度 ±2mm）逆向生成实际结构模型，解决改建项目中设计图纸与现场偏差的痛点。其工作流程包括点云去噪、坐标匹配、曲面重建及偏差分析，在复杂空间（如曲面屋顶、历史建筑）中可精准定位结构偏移，指导管线避让方案调整，避免施工事故。

3.深化设计软件

专业深化设计软件（如MagiCAD）通过参数化构件库（内置2000+国标机电族）、自动化出图（一键生成带标注剖面图）及系统仿真（水力平衡计算）三大核心功能，显著提升BIM平台效能。其将行业经验转化为智能工具：自动生成符合规范要求的管

道坡度（GB 50242）和支架间距（CECS 420），30分钟内解决项目中86%的管线交叉冲突，出图效率较传统CAD提升5倍，确保设计成果兼具技术合理性与施工可操作性，成为高效实施管线综合布置的技术加速器。

4.协同管理平台

协同管理平台（如BIM 360）构建多方参与的数字化工作生态，通过云端模型集成（实时合并建筑/结构/机电模型）、变更追踪（自动记录版本差异）及移动端协同（现场扫码调取图纸）实现全过程管控。

二、传统管线施工模式与综合布置技术对比

(一) 传统施工模式痛点分析

传统管线施工模式基于分专业的二维图纸设计，其核心痛点源于图纸表达的平面局限性：建筑、结构、机电等专业图纸分立绘制，难以真实反映三维空间中的管线交叉关系，导致施工中频繁暴露“错漏碰缺”问题——“错”体现为管线定位与现场结构偏差，“漏”表现为关键连接件或支撑点缺失，“碰”指多专业管线空间重叠，“缺”则是运维通道被忽视。这种设计缺陷迫使施工单位在现场被动协调，但因各专业队伍责任界面模糊、沟通链条冗长，往往需反复拆改调整。过程中大量依赖施工人员经验判断，不仅拉长决策周期，更引发材料非预期损耗与工期不可控延长，最终形成“设计缺陷→现场冲突→返工整改→成本超支”的恶性循环。

(二) 综合布置技术的优势体现

综合布置技术通过三维协同设计从根本上扭转传统模式的弊端，对比如表2-1所示。在设计深度上，其将分立二维图纸整合为统一的三维信息模型，实现全专业管线空间关系的全局可视化与协同优化；冲突检测方面，技术依托模拟分析工具在设计阶段预先识别并解决管线碰撞问题，避免施工阶段的被动调整；施工效率维度，标准化的综合图纸与预制化安装方案显著降低现场依赖经验判断的不确定性，提升工序衔接精度；成本控制层面，精确的路径规划与材料量化减少冗余采购，配合冲突前置解决机制有效遏制变更签证。整体上，该技术将管线施工从“被动应对型”转化为“主动管控型”，形成“协同设计→精准预控→高效施工→成本可控”的良性闭环。

2-1 传统模式与综合布线对比分析

对比维度	传统模式	综合布置技术
设计深度	二维平面，分立设计	三维协同，全局优化
冲突检测	施工阶段暴露	设计阶段预先解决
施工效率	低（依赖经验）	高（标准化指导）
成本控制	不可控变更多	预算精准，浪费减少

三、管线综合布置关键技术体系

(一) 多专业协同设计流程

管线综合布置的核心流程始于多专业设计输入整合，涵盖建

筑结构底图及机电各系统（暖通、给排水、电气等）参数；基于此在 BIM 平台进行三维模型搭建，确保管线空间定位与属性信息（管径、标高）精确关联；随后通过专业软件开展系统性碰撞检测，识别实体交叉（硬碰撞）与检修空间不足（软碰撞）等冲突；针对冲突报告组织跨专业协调会，依据预设规则（如小管避让大管）进行路径优化与模型迭代更新；最终输出综合管线平面图、剖面图及支架详图，并辅以三维可视化交底指导现场施工，形成“数据集成→虚拟建造→冲突消解→精准输出”的闭环 workflow，从源头保障设计可施工性。

### （二）空间分配与分层规划

空间分配需建立三维立体化规则体系：竖向分层采用“重力流管线居下、柔性管线居上”原则，典型布局为顶层敷设风管（空调送风管、排风管等轻质大截面管线），中层布置压力水管（给水、消防管）及电缆桥架（强弱电分离），底层安排喷淋支管与弱电线槽（贴近使用末端）；水平方向执行动态避让规则，优先保障重力流系统（排水坡度不可断）及关键系统（消防管不可绕行），通用优先级为“电让水（水系统需坡度）、水让风（风管截面大）、小管让大管（施工经济性）”，同时为阀门、仪表等操作部件预留检修半径，最终实现管线排布紧凑性与可维护性的统一。

### （三）碰撞检测与优化算法

碰撞检测技术涵盖硬碰撞（实体几何交叉）与软碰撞（安全间距不足）双重识别机制，依托 BIM 软件的干涉检查引擎（如 Navisworks Clash Detective）自动扫描模型并生成冲突报告；优化算法在此基础上提出自动化调整建议：对硬碰撞采用局部平移或翻弯处理（如水管绕梁敷设），对软碰撞通过管线分层重组满足规范间距；复杂区域则需人工干预决策，结合管材特性（电缆可弯曲、风管难变向）与系统优先级（消防管高于普通水管）制

定避让方案，形成“机器预判→智能推荐→人工核准”的混合优化模式，显著提升冲突解决效率。

### （四）支吊架集成设计

支吊架集成设计通过综合支架技术实现多系统共架安装：根据管线荷载分布（重力荷载、地震作用）计算联合支架的型钢规格与锚固点，取代传统分系统独立吊架；设计过程需整合管线特性（如水管满水重量、风管震动系数）与抗震规范，采用模块化组件（C 型钢钢基座 + 可调连接件）实现灵活装配；关键节点进行有限元分析验证承载力（如弯头处增设斜撑），最终形成覆盖全部机电管线的标准化支撑体系，既减少顶板开孔数量（降低结构损伤风险），又提升现场安装效率，体现工业化建造思维。

## 四、结论

管线综合布置技术通过三维协同设计重构机电安装工艺流程，形成“空间规则制定→虚拟碰撞消解→实体集成实施”的技术闭环。研究表明，该技术以 BIM 为核心载体，通过竖向分层与水平避让规则优化管线空间秩序，依托智能碰撞检测算法化解设计冲突，并借力综合支吊架实现多系统荷载整合，最终达成“零碰撞、少交叉、易施工、便维护”的核心目标。其价值不仅体现于施工阶段的质量效率提升，更延伸至建筑全生命周期的可靠性与经济性优化，是机电工程走向精细化、工业化的必由路径。

未来技术深化需聚焦三方面：一是强化人工智能在路径自动优化中的应用，通过机器学习提升冲突解决效率；二是推动跨专业标准融合，建立覆盖设计、施工、验收的规范体系；三是延伸技术应用场景，从新建工程扩展至既有建筑改造，并探索与智慧运维系统的数据衔接。

## 参考文献

- [1] 周建峰. 建筑机电安装工程中管线综合布置技术的应用 [J]. 居舍, 2019, (31): 77.
- [2] 王斌. 建筑机电安装工程中管线综合布置技术的应用 [J]. 住宅与房地产, 2019, (31): 182+252.
- [3] 潘文堂. 试析管线综合布置技术在建筑机电设备安装工程中的应用 [J]. 门窗, 2019, (21): 246.
- [4] 李志刚. 建筑机电安装工程中管线综合布置技术的应用 [J]. 住宅与房地产, 2019, (25): 179.
- [5] 郑大军. 建筑机电安装工程中管线综合布置技术的应用 [J]. 地产, 2019, (24): 165.
- [6] 李达. 建筑机电安装工程中管线综合布置技术的应用 [J]. 工程机械与维修, 2020, (02): 94-95.
- [7] 李爱国. 建筑机电安装工程中管线综合布置技术的应用 [J]. 中国地名, 2020, (03): 69.
- [8] 焦斌. 建筑机电安装工程中管线综合布置技术的方案优化及应用 [J]. 数字通信世界, 2020, (08): 198-199+262.
- [9] 王立珠. 建筑机电安装工程中管线综合布置技术的应用研究 [J]. 住宅与房地产, 2021, (09): 221-222.
- [10] 王建生. 建筑机电安装工程中管线综合布置技术的应用 [J]. 居舍, 2021, (27): 75-76.
- [11] 王军风, 张岱尧. 建筑机电安装工程中管线综合布置技术的应用 [J]. 有色金属设计, 2021, 48(04): 50-52.
- [12] 王东. 建筑机电安装工程中管线综合布置技术要点探究 [J]. 工程设计与设计, 2022, (16): 200-202.
- [13] 宋仁仞. 管线综合布置技术在建筑机电安装工程中的应用 [J]. 四川水泥, 2022, (10): 167-169.
- [14] 赵孝斌. 建筑机电安装工程中管线综合布置技术要点探究 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2022, (35): 74-76.

# 地下室外墙内侧防水维修技术研究

李刚

南京平源工程建设有限公司, 江苏 南京 210016

DOI:10.61369/ME.2024080022

**摘 要 :** 在本文中深入探讨了地下室外墙渗漏问题, 并以一个具体的工程案例为背景, 全面地研究了包括结构加固、防水处理以及混凝土修复在内的多项关键技术, 旨在制定出一套综合性的维修方案。通过采用深层注浆堵漏技术、钢筋网加固方法以及背水防水体系的构建等创新手段, 成功地建立了一套全面的地下室渗漏治理技术体系。文章中, 不仅详细描述了各个施工环节的技术细节, 还对其中的关键节点进行了深入的力学分析。这些工作为处理类似问题的工程提供了坚实的理论基础和宝贵的实践经验。

**关 键 词 :** 地下室防水; 背水防水; 聚脲注浆; 结构加固; 维修技术

## Research on Waterproofing Repair Technology for the Inner Side of Basement Exterior Walls

Li Gang

Nanjing Pingyuan Engineering Construction Co., LTD.Nanjing , Jiangsu 210016

**Abstract :** In this paper, the problem of exterior wall leakage in the basement is deeply discussed. Based on a specific engineering case, a number of key technologies including structural reinforcement, waterproofing treatment and concrete repair are comprehensively studied, aiming to formulate a comprehensive maintenance plan. By adopting innovative means such as deep grouting leak sealing technology, steel mesh reinforcement method and the construction of backwater waterproofing system, a comprehensive technical system for basement leakage control has been successfully established. In the article, not only are the technical details of each construction link described in detail, but also in-depth mechanical analyses are conducted on the key nodes among them. These works have provided a solid theoretical foundation and valuable practical experience for engineering projects dealing with similar problems.

**Keywords :** basement waterproofing; waterproofing on the back; polyurea grouting; structural reinforcement; maintenance technology

## 引言

随着我国改革开放以来的城市化进程的快速化推进, 大城市的建筑工程地下室结构的渗漏问题随着地下室深度的变化而变得越来越严重。传统的维修方法往往存在堵漏不彻底、耐久性差等不足之处, 尤其是对于那些存在结构缺陷的渗漏问题, 这些传统方法往往难以达到预期的维修效果。针对这一问题, 本研究以某商业综合体地下室的渗漏维修工程为案例, 提出了一种结合结构加固与防水处理的综合解决方案。该方案旨在重点解决深层渗漏通道的有效封堵、结构承载力的恢复以及长期防水保障等关键性技术难题。

为了解决上述问题, 本研究深入分析了地下室渗漏的原因和特点, 结合现代工程技术, 提出了一种创新的维修方案。该方案不仅包括了对渗漏部位的精确识别和封堵, 还涉及到了对结构缺陷的加固处理, 以及对防水层的全面更新。<sup>[1]</sup>通过采用先进的材料和技术, 如高性能的防水涂料、抗渗混凝土等, 确保了维修后的地下室结构能够承受长期的水压作用, 同时具备了良好的耐久性和防水性能。

## 一、工程现状分析

本项目位于华东某沿江城市中心区域, 建筑地下室外墙未做单独设计, 是用原地下室施工时支护结构代替地下室外墙, 因此, 地下室渗漏水严重。如果从地下室内部处理是无法从根本上

杜绝一点都不渗漏水的情况, 特别现在是枯水期, 室外水压力小、水头低, 现在有的部位渗漏水情况还不明显, 但到了春夏季的丰水期时, 随着室外水压力不断增大、水头升高, 一些薄弱环节肯定会被水压力冲破, 再次出现渗漏情况。<sup>[2]</sup>因此, 目前可以采用相对科学施工的处理方案, 保证现有工况条件下不出现渗漏水



情况。

## （二）结构现状

通过使用先进的专业仪器和精确的测量工具，在进行现场的细致检验和周密检测之后，在地下室外墙渗漏水部位发现了以下的结构情况：

1. 混凝土结构的碳化深度已经扩展到了30毫米至45毫米的范围，这一现象导致了混凝土表面的局部保护层出现了剥落的情况；

2. 在地下室外墙内侧防水检查过程中，发现渗漏点主要分布在施工冷缝以及预埋件等这些区域，往往是造成地下室渗漏水的最薄弱环节。<sup>[3]</sup>为了确保建筑的防水性能，必须对这些区域进行特别的关注和处理，以防止未来可能出现的渗漏问题；

3. 在检查中发现本项目一个普遍存在的问题，即钢筋的锈蚀率通常达到了15%到25%的范围，而在某些特定的局部区域，这个比例甚至可以高达40%。

## （二）渗漏机理

通过对现场渗漏水机理的深入分析和细致观测，发现渗漏水现象的严重程度与季节的更迭有着密切的关联。具体来说，在雨水充沛的丰水期，渗漏问题表现得尤为突出，水的流动可以达到流淌的模式，显示出较强的渗漏特征；<sup>[4]</sup>而在干旱少雨的枯水期，渗漏现象则相对缓和，此时的渗漏主要是由于土壤内部的水分渗透，表现为滴漏模式，其渗漏程度明显减轻。究其原因如下：

1. 由于地下室混凝土在浇筑过程中，混凝土质量控制不到位造成多处收缩裂缝，其宽度通常在0.2到0.5毫米之间，这种裂缝的存在会形成渗水的通道，从而可能导致水分渗透进入结构内部，引起进一步的结构问题或损害；

2. 由于地下水位受到季节和降雨量的影响较大，地下水位波动和变化常常会导致水头落差增大，由此产生动水压力，这种动水压力会进一步引起地下水的渗透现象；

3. 由于本项目地下室混凝土结构收到外部回填土及周边新建建筑物土压力的影响而发生了变形，这些外部压力进一步导致了混凝土结构接缝处出现了开裂的现象，这种情况可能会对地下室结构整体的稳定性和安全性造成影响；

4. 钢筋在遭受锈蚀的过程中，由于铁与氧气和水分发生化学反应，生成了体积较大的氧化铁，这种体积膨胀的现象会进一步加剧混凝土结构中的裂缝扩展，从而影响建筑物的稳定性和耐久性。<sup>[5]</sup>

## 二、维修技术体系

针对施工现场所面临的渗漏问题，以及通过上述对渗漏水机理的深入分析，计划采取一系列综合性的技术措施，这些措施将结合疏堵方法、刚性与柔性材料的合理运用，以及内外部处理手段的协调配合，旨在从根本上彻底解决地下室的渗漏问题。<sup>[6]</sup>

### （一）深层渗漏治理

由于聚脲材料具备流动性极佳、便于进行注浆作业、拥有卓越的弹性和延展性等显著特性，因此，当采用聚脲注浆技术来应

对深层渗漏问题时，其技术上的优势主要体现在以下几个方面：

1. 由于聚脲浆液粘度非常低，具体来说，它低于50毫帕斯卡·秒（mPa·s），这样的特性使得聚脲浆液能够轻松地渗入到宽度仅为0.02毫米的微小裂缝中；

2. 聚脲材料以其独特的固化时间可调特性而著称，其固化时间范围广泛，从30秒到10分钟不等，这使得它能够适应各种不同的工况和施工需求。<sup>[7]</sup>这种灵活性意味着聚脲可以在多种环境下使用，无论是需要快速固化以减少施工时间的场合，还是需要较长时间固化的复杂项目，聚脲都能够提供合适的解决方案；

3. 聚脲材料的抗拉强度超过了15兆帕斯卡，这意味着它具有非常高的抗拉能力。此外，它的延伸率也大于400%，显示出这种材料在受到拉伸时能够承受相当大的形变而不发生断裂，具备极佳的柔韧性和延展性。

结合上述关于聚脲材料性能分析，结合现场实际情况，聚脲注浆参数设计如下：注浆压力控制在0.3-0.5MPa；扩散半径控制在 $R=0.6 \times (P \cdot t / \mu)^{(1/3)}=0.82m$ （ $P=0.4MPa$ ， $t=120s$ ， $\mu=45mPa \cdot s$ ）；为了保证聚脲深层注浆均匀流动，注浆效果较好，其注浆孔布置方式根据聚脲浆液的流动性能分析，可以采用梅花形@800×800。

### （二）结构加固体系

#### 1. 腰梁-构造柱体系

按等刚度原则进行加固设计：原墙体刚度 $EI=3.0 \times 10^6 kN \cdot m^2$ ；新增腰梁刚度 $\Delta EI=1.2 \times 10^6 kN \cdot m^2$ ；总刚度可以提升40%。

钢筋配置验算：主筋4Φ14（ $A_s=615mm^2$ ） $>0.3\% \times 200 \times 200=120mm^2$ ；箍筋Φ6.5@100/200满足ACI 318抗剪要求。

#### 2. 植筋技术要点

在进行植筋作业时，必须严格控制植筋深度，以确保结构的安全性和可靠性。植筋深度应按照公式 $l_d=0.2 \sigma_{sd} b / f_{bd}$ 计算得出，其中 $\sigma_{sd}$ -b表示钢筋的设计应力，d-b表示钢筋的直径，f-bd表示胶粘剂与混凝土之间的粘结强度设计值。根据给定的参数 $\sigma_{sd}$ -b=300MPa，d-b=14mm，以及f-bd=2.8MPa，计算得出的植筋深度为150mm。这一深度能够确保植筋在结构中具有足够的锚固长度，从而提供必要的抗拔力。

### （三）背水防水体系

#### 1. 防水层构造

为了确保防水效果的持久性和可靠性，我们采取了“刚柔结合”的防水体系作为加固措施。首先，对原混凝土外墙基层进行打磨、清洗、除污、除尘等彻底地处理，通过混凝土打磨机进行打磨的方式，混凝土表面达到Sa2.5级的清洁标准。<sup>[8]</sup>其次，在打磨清洁后的混凝土表面涂刷一层水泥基渗透结晶材料，其厚度至少达到1.2毫米，这样可以保证材料能够充分渗透到混凝土的微裂缝中，从而达到自我修复和增强防水性能的效果。<sup>[9]</sup>最后，为了提供额外的保护，我们还添加了一层聚合物改性砂浆，其厚度控制在8到10毫米之间，这种材料不仅具有良好的抗裂性能，还能够适应基层的微小变形，从而实现刚性与柔性的完美结合，确保防



水层的长期稳定性和耐久性。<sup>[10]</sup>

## 2. 防水性能验证

在进行背水面抗渗试验的过程中，我们使用了厚度为100毫米的试件，并且施加了0.8兆帕的水压，持续时间达到了72小时。

## 三、施工关键技术

### （一）分层灌注工艺

为了保证地下室外墙内侧的混凝土保护墙灌注质量和密实度，灌注工艺可以采用“三阶段灌注法”：按照由底到高的灌注原则，首先应当灌注地面至腰梁下1/3（H=1700mm）为阶段Ⅰ；在第Ⅰ混凝土灌注间隔24h并具有初始强度后再灌注中间段为阶段Ⅱ；在第Ⅱ混凝土灌注间隔24h并具有初始强度后再最顶部的1/3，其中顶部预留100mm，采用细石混凝土进行二次封闭

为阶段Ⅲ。

### （二）冷缝处理技术

原混凝土交界面的冷缝处，采用高压水枪将冷缝处原混凝土面打磨冲毛（压力 $\geq 20\text{MPa}$ ）；冷缝的灌浆接缝材料采用可以超细高强微膨胀水泥灌浆料（ $d_{50} \leq 10\mu\text{m}$ ）。

## 四、结论

本技术体系通过一系列创新性的改进，成功克服了传统维修方法中所存在的诸多问题，例如耐久性不佳以及结构上的安全隐患。经过测算和对比分析，发现本技术与传统的维修工艺相比，采用本技术体系进行维修，其成本可以降低多达25%。此外，维修后的设备或结构的使用寿命也得到了显著的延长，能够达到15年以上，这无疑为用户提供了更高的价值和更好的使用体验。

## 参考文献

- [1] 王建国. 地下工程渗漏治理技术 [M]. 北京：中国建筑工业出版社，2018.
- [2] ACI 546R-14 Concrete Repair Guide[S].2014.
- [3] 陈向阳，李治. 浅析如何做好公路工程施工技术控制 [J]. 建筑工程技术与设计，2017-05-01.
- [4] 和煦；李国林；杨勃昭. 住宅建筑外墙防水施工技术难点与解决方案 [J]. 城市开发，2023(01).
- [5] 陈旭东. 住宅建筑工程屋面防水施工技术及其质量控制的研究 [J]. 居舍，2023(18).
- [6] 马崇鹏；周本强；顾建辉；贵卓；皇丙涛. 住宅建筑工程中屋面防水施工技术探究 [J]. 居舍，2023(22).
- [7] 王李平. 探讨完善既有地下室防水淹措施的途径 [J]. 建筑经济，2023(S2).
- [8] 杨金文. 住宅小区地下室防水工程施工技术研究 [J]. 居舍，2022(35).
- [9] 辛爱民. 建筑施工地下室防水技术处理方法分析 [J]. 散装水泥，2023(04).
- [10] 王云斌. 做好地下室防水工程施工控制的价值 [J]. 四川水泥，2021(10).

# 住宅建筑装饰装修施工工艺及质量控制要点

林红

江苏捷成明道文化科技有限公司, 江苏 南京 210000

DOI:10.61369/ME.2024080023

**摘 要：** 随着社会经济的不断发展和人们生活水平的显著提高，人们对住宅建筑装饰装修的要求变得越来越精细和多样化。本文的主要目的是深入探讨住宅建筑装饰装修的施工工艺以及质量控制的关键点，旨在为从事这一行业的专业人士提供有价值的参考和实践指导。从墙面的美化处理、地面的铺装设计、顶面的装饰布局，到电气系统的安装和管道设施的配置，每一个施工环节都拥有其特定的工艺流程和质量控制标准。通过对这些关键要素的详细分析和深入探讨，我们可以更加全面地掌握住宅建筑装饰装修的整个流程，从而确保施工过程的质量，满足业主对于居住环境的高标准需求和美好期望。

**关 键 词：** 住宅建筑装饰；施工工艺；质量控制；精细化装修；多样化需求

## Key Points of Construction Techniques and Quality Control for Decoration and Renovation of Residential Buildings

Lin Hong

Jiangsu Jiecheng Mingdao Culture and Technology Co., LTD.Nanjing, Jiangsu 210000

**Abstract：** With the continuous development of the social economy and the significant improvement of people's living standards, people's requirements for the decoration and renovation of residential buildings have become increasingly refined and diverse. The main purpose of this article is to deeply explore the construction techniques and key points of quality control in the decoration and renovation of residential buildings, aiming to provide valuable references and practical guidance for professionals engaged in this industry. From the beautification treatment of the walls, the paving design of the floor, the decoration layout of the ceiling, to the installation of the electrical system and the configuration of pipeline facilities, each construction link has its specific process flow and quality control standards. Through detailed analysis and in-depth discussion of these key elements, we can have a more comprehensive understanding of the entire process of residential building decoration and renovation, thereby ensuring the quality of the construction process and meeting the high standards and beautiful expectations of the owners for the living environment.

**Keywords：** residential building decoration; construction technology; quality control; refined decoration; diversified demands

### 一、住宅建筑装饰装修概述

住宅建筑装饰装修是对已有住宅进行美化、功能完善和修复的过程，旨在提升居住环境的质量和舒适度。它涵盖了多个方面，从墙面、地面到顶面的装饰，再到电气与管道的安装，每一个细节都至关重要。通过专业的设计和施工，可以满足居住者对美观、实用和舒适性的多重需求。在住宅建筑装饰装修中，不仅要考虑美观性，还要注重实用性和耐用性。因此，在设计和施工过程中，需要充分考虑住宅的结构特点、使用功能和居住者的生活习惯，以确保最终的装修效果既符合审美要求，又能满足居住者的实际需求。

### 二、施工前的准备工作

在施工正式开始前，一系列的准备工作是必不可少的，它们直接关系到后续施工的顺利进行和装修质量的保障。首先，需要对住宅进行全面的检查和评估，包括结构稳定性、水电布局是否合理等，以确保装修方案的可行性和安全性。接着，根据设计方案，制定详细的施工计划和时间表，明确各阶段的任务和责任分配。<sup>[1]</sup>同时，组织施工队伍进行技术交底和安全培训，确保每位工人都清楚自己的职责和操作流程，以及遵守相关的安全规范。此外，准备好所需的材料和工具，确保其质量和数量满足施工需求，并合理安排材料的进场时间和存放位置，以避免影响施工进度。

度。最后，与居住者保持良好的沟通，及时了解其需求和意见，确保装修方案能够真正满足其期望。

### 三、墙面装饰施工工艺

#### （一）墙面基层处理技术

墙面基层处理不仅涉及物理层面的平整度和清洁度，还包括化学层面的防潮、防霉和附着力增强。例如，根据《建筑装饰装修工程质量验收规范》GB 50210-2001，墙面基层必须达到一定的平整度，误差不得超过2毫米，以保证涂料或壁纸的均匀附着。在实际操作中，墙面基层处理技术包括使用腻子进行找平、使用界面剂增强附着力以及使用防潮材料进行防潮处理。例如，采用聚乙烯醇缩甲醛腻子进行基层找平，可以有效填补墙面细小裂缝和不平整，而使用丙烯酸乳液界面剂则能显著提高涂料与墙面的粘结力。<sup>[2]</sup>此外，墙面基层处理还应考虑环境因素，如湿度和温度，以避免因环境变化导致的装饰层开裂或脱落。墙面基层处理的每一个细节都直接影响到整个住宅装修工程的质量和美观。

#### （二）墙面涂料施工流程与技巧

墙面涂料施工流程与技巧的掌握，不仅关系到涂料的最终效果，还直接影响到装修的整体质量和使用寿命。首先，墙面基层处理技术是涂料施工的基础，必须确保墙面平整、干净、无油污和灰尘。例如，采用刮腻子的方式进行墙面找平，通常需要刮涂两至三遍，每遍之间需干燥后再进行下一遍施工，以确保涂层的附着力和持久性。

在墙面涂料施工过程中，涂料的选择同样至关重要。涂料的种类繁多，包括乳胶漆、水性漆、油性漆等，不同类型的涂料适用于不同的环境和墙面条件。例如，乳胶漆因其环保、易清洁和耐水性好等特点，成为家庭墙面涂料的首选。<sup>[3]</sup>在选择涂料时，应根据住宅的朝向、光照强度以及墙面材质等因素综合考虑，以达到最佳的装饰效果和使用性能。此外，施工技巧也需精准，如涂刷时的力度、速度和角度，都会影响涂层的均匀度和美观度。因此，施工人员的专业技能和经验对于保证墙面涂料施工质量至关重要。

墙面涂料施工需控制环境温度和湿度，最佳温度范围是5℃至35℃，湿度应低于85%。避免阳光直射和强风，防止涂层出现裂纹等问题。施工后涂层需24小时以上干燥固化，以确保硬度和附着力。严格控制环境和时间可避免质量问题，确保装修效果。

### 四、地面装饰施工工艺

#### （一）地砖铺设的步骤与注意事项

地砖铺设是地面装饰施工工艺的重要组成部分，其质量直接影响到整个住宅的美观和使用寿命。铺设地砖前，首先需要对面面进行平整处理，确保地面的水平度误差不超过2毫米，这是为了

保证铺设后的地砖平整度和减少日后使用中可能出现的空鼓和断裂问题。在选择地砖时，应根据住宅的使用功能和空间大小来决定地砖的规格和类型，例如，客厅可以选择大尺寸抛光砖以彰显大气，而卫生间则应选用防滑砖以确保安全。

铺设地砖的步骤包括测量放线、铺设基层、铺贴地砖、勾缝处理等。在测量放线阶段，应精确计算出地砖的铺设方向和数量，以避免浪费材料和影响美观。铺设基层时，必须确保基层坚实、干净、无油污，以保证地砖与基层的粘结力。<sup>[4]</sup>铺贴地砖时，应使用专用的粘合剂或水泥砂浆，并按照从内向外的顺序进行，同时使用橡皮锤轻轻敲击，确保地砖与基层紧密结合。勾缝处理是地砖铺设的最后一步，也是影响美观的关键环节，应选用与地砖颜色相协调的填缝剂，以填补地砖之间的缝隙，防止水和污垢渗入。

在地砖铺设过程中，还应注意以下几点：一是要保持施工环境的通风和干燥，避免水泥砂浆在潮湿环境中过早凝固；二是要定期检查地砖的平整度和缝隙宽度，确保铺设质量；三是要遵循“先墙后地”的原则，即先完成墙面装饰后再进行地面铺设，以避免墙面装饰过程中对地面造成污染和损坏。

#### （二）地板安装的技术要求

地板安装的技术要求不仅关乎美观，更直接影响到居住者的使用体验和地板的使用寿命。例如，实木地板的安装需要预留适当的伸缩缝，以适应温度和湿度变化引起的膨胀和收缩。根据《住宅建筑装饰装修施工工艺标准》，地板与墙面之间应保持至少10毫米的伸缩缝，以防止地板因季节变化而翘曲变形。<sup>[5]</sup>此外，地板安装前的地面平整度也至关重要，地面平整度误差应控制在2毫米以内，以确保地板铺设后平整无高低不平现象。在实际操作中，地板安装师傅会使用专业的水平仪和激光测距仪来确保地面平整度和水平度。地板安装的每一个细节都应得到充分重视，以确保最终的装修效果和质量。

### 五、顶面装饰施工工艺

#### （一）吊顶安装的工艺流程

在住宅建筑装饰装修中，吊顶安装是顶面装饰施工的重要组成部分，其工艺流程的精确执行直接关系到整个装修工程的质量和美观。吊顶安装工艺流程通常包括测量定位、龙骨安装、面板固定等关键步骤。首先，测量定位是确保吊顶安装准确性的基础，需要根据设计图纸和现场实际情况，精确测量并标记出吊顶的位置和尺寸。<sup>[6]</sup>例如，在一个标准的客厅中，吊顶的水平误差应控制在±5mm以内，以保证整体的对称性和协调性。

接着，龙骨安装是吊顶结构稳定性的关键。龙骨的材质、规格和间距必须符合设计要求和相关标准。例如，使用轻钢龙骨时，其规格通常为50mm×50mm或50mm×75mm，间距则根据吊顶的重量和面板类型确定，一般不超过600mm。在安装过程

中，应确保龙骨的平整度和牢固性，避免因龙骨变形或松动导致的吊顶开裂或脱落。

最后，面板固定是吊顶施工的收尾工作，面板的种类多样，包括石膏板、矿棉板、铝扣板等，每种材料的安装方法略有不同。以石膏板为例，其固定通常采用自攻螺丝，螺丝间距应均匀，一般为200mm至250mm，并且螺丝头需沉入板面0.5mm至1mm，以保证面板的平整和美观。在整个吊顶安装过程中，质量控制要点的执行是确保吊顶安全和美观的保障，任何疏忽都可能导致后期的维修和返工，增加成本和影响居住体验。

## （二）涂料与壁纸在顶面装饰中的应用

涂料与壁纸作为顶面装饰的两种主要材料，各有其独特的应用价值和美学效果。涂料因其施工简便、色彩丰富、易于维护而被广泛应用于顶面装饰。例如，使用环保型水性涂料，不仅能够提供良好的遮盖力和耐久性，还能减少室内空气污染，符合现代住宅对健康环保的要求。根据《室内装饰装修材料有害物质限量》国家标准，涂料中的挥发性有机化合物（VOC）含量应控制在安全范围内，以确保室内空气质量。<sup>[7]</sup>而壁纸则以其图案多样、质感丰富、装饰性强的特点，为顶面装饰提供了更多的艺术选择。在选择壁纸时，除了考虑其美观性，还应关注其材质的环保性能，如采用无纺布或纯纸材质，以减少对室内环境的影响。在实际应用中，壁纸与涂料的结合使用，可以创造出层次分明、视觉丰富的顶面效果，如在餐厅或客厅的顶面使用壁纸，而在走廊或卧室使用涂料，既满足了功能需求，又体现了个性化设计。

## 六、电气与管道安装工艺

### （一）电气线路的布置与安装要点

在住宅建筑装饰装修中，电气线路的布置与安装是确保居住安全与舒适性的关键环节。根据《住宅建筑装饰装修施工工艺与质量控制要点解析》的要求，电气线路的布置必须遵循国家电气安装规范，确保线路布局合理、安全可靠。例如，线路应尽量避免交叉，以减少短路的风险，并应使用阻燃材料的管道进行保护，以防止火灾的发生。<sup>[8]</sup>在实际操作中，应根据设计图纸进行精确的线路规划，确保每个插座、开关和照明设备的位置都符合使用习惯和安全标准。此外，安装过程中应采用适当的固定方式，如使用线卡或线槽，以保证线路的稳固和长期耐用性。在电气线路的安装中，每一个接头、每一个转角的处理都至关重要，它们直接关系到整个住宅电气系统的稳定性和安全性。

### （二）水管安装的规范与质量控制

在住宅建筑装饰装修中，水管安装的规范与质量控制是确保居住安全和舒适性的关键环节。根据《建筑给水排水设计规范》GB50015-2003，水管安装应遵循一定的坡度，以保证水流顺畅，防止堵塞和水压异常。例如，排水管道的坡度应不小于0.003，以确保污水能够顺利排出。在施工过程中，质量监督是确

保水管安装质量的重要手段。通过实施定期检查和测试，如压力测试，可以及时发现并解决潜在问题。<sup>[9]</sup>例如，根据《建筑给水排水及采暖工程施工质量验收规范》GB50242-2002，水管系统在隐蔽前应进行压力测试，保持压力在0.6MPa下至少2小时，无明显下降为合格。这不仅有助于保障施工质量，也符合了住宅建筑装饰装修施工工艺与质量控制要点的要求。

装修完工后，水管系统的质量检验标准同样不容忽视。水管安装完毕后，应进行通水试验，检查所有接头和连接处是否有渗漏现象。据《住宅装饰装修工程施工规范》GB50327-2001，通水试验应持续至少30分钟，确保无渗漏、堵塞等问题。此外，水管安装的细节处理，如保温措施，也是保证水管长期使用性能的重要因素。

## 七、质量控制要点

### （一）施工过程中的质量监督

质量监督不仅涉及对施工工艺的检查，还包括对材料质量、施工人员技能和施工环境的持续监控。例如，在墙面装饰施工中，墙面基层处理技术的正确执行是防止涂料剥落和裂纹出现的首要条件。根据国际建筑标准，墙面平整度误差应控制在2毫米以内，而质量监督人员需使用专业工具如平整度检测仪来确保这一标准得到满足。<sup>[10]</sup>此外，涂料施工过程中，涂料的混合比例、涂刷次数和干燥时间都必须严格按照制造商的指导进行，以保证涂层的均匀性和耐久性。在电气与管道安装工艺中，质量监督人员应参照国家电气安装规范，如《建筑电气工程施工质量验收规范》GB 50303-2015，确保线路布置合理、安全可靠。通过定期的现场检查和使用质量控制工具，如检查表和质量控制图，监督人员可以及时发现并纠正偏差，从而避免返工和延误工期。

### （二）装修完工后的质量检验标准

住宅装修完工后，质量检验是确保成果符合预期和安全的关键。依据相关规范，检验应包括结构安全、材料、工艺和环保等方面。例如，墙面涂料厚度需均匀且达到最低标准，以保证耐久性和美观。实际检验中，可采用抽样检测墙面涂料附着力和均匀性。地面装饰平整度和地砖空鼓率也是重要指标，要求平整度误差不超过2毫米，空鼓率低于5%。电气安装要遵守安全标准，确保线路绝缘和接线正确，预防火灾风险。水管安装需无漏水，压力测试是常用检验方法，要求在1.5倍工作压力下24小时无泄漏。这些检验标准有助于确保装修质量和提供安全舒适的居住环境。

## 八、结语

随着住宅建筑装饰装修行业的不断发展，施工工艺及质量控制的重要性日益凸显。本文详细阐述了住宅建筑装饰装修的施工



工艺流程，从墙面、地面、顶面装饰到电气与管道安装，每一步都力求精细、规范。同时，我们也强调了质量控制的关键点，包括施工过程中的质量监督以及装修完工后的质量检验标准。这些措施的实施，不仅能够有效提升住宅建筑装饰装修的整体质量，还能为居住者创建一个更加安全、舒适、美观的生活环境。未

来，随着科技的不断进步和人们审美观念的提升，住宅建筑装饰装修行业将迎来更多的挑战与机遇。我们相信，通过不断探索和创新，我们一定能够推动行业向更高质量、更高水平发展，为人们的生活带来更多美好的改变。

## 参考文献

- [1] 刘函之. 住宅建筑装饰装修工程施工技术要点研究 [J]. 佛山陶瓷, 2023(07).
- [2] 焦英. 住宅建筑装饰装修工程施工技术要点分析 [J]. 居舍, 2022(27).
- [3] 孙婷. 房屋建筑装饰装修施工工艺及质量控制要点分析 [J]. 中国建筑装饰装修, 2022(17).
- [4] 樊林青. 房屋建筑装饰装修施工工艺及质量控制要点 [J]. 居业, 2023(04).
- [5] 王雨生. 分析房屋建筑装饰装修施工工艺及质量控制要点 [J]. 绿色环保建材, 2021(05).
- [6] 陈为有. 分析房屋建筑装饰装修施工工艺及质量控制要点 [J]. 住宅产业, 2020(12).
- [7] 刘海天. 建筑装饰装修工程施工技术及质量控制 [J]. 中国建筑装饰装修, 2023(11).
- [8] 聂玉新. 现阶段建筑装饰装修工程的质量控制要点及具体优化策略 [J]. 居舍, 2020(25).
- [9] 周忠帅. 建筑装饰装修工程质量控制与管理 [J]. 砖瓦, 2020(10).
- [10] 吕坤. 住宅建筑装饰装修施工工艺及质量控制要点 [J]. 居舍, 2023(34).

# 18万方大型 LNGC 节拍化建造项目管理创新与实践

林欣杰

招商局邮轮制造有限公司, 江苏 南通 226116

DOI:10.61369/ME.2024080024

**摘要：**针对传统造船模式在大型 LNGC 建造中工序离散、节拍紊乱等痛点，本研究提出“节拍化建造管理模式”，构建三阶协同节拍体系与数字驱动闭环，通过模块化分段控制、资源动态调度及精度进度协同，实现分段制作节拍稳定性从 62% 提升至 82%，船坞周期缩短 18.2%，形成全流程标准化体系，为超大型船型建造提供可复用基线。

**关键词：**LNGC 建造；节拍化管理；三阶协同体系；数字驱动；精度控制

## Innovation and Practice in the Management of 180,000-Square-Meter Large-scale NGC Beat Construction Project

Lin Xinjie

China Merchants Cruise Manufacturing Co., LTD. Nantong, Jiangsu 226116

**Abstract：**Aiming at the pain points such as discrete processes and disordered rhythms in the construction of large LNGCS in the traditional shipbuilding mode, this study proposes the "rhythm construction management mode", constructs a three-stage collaborative rhythm system and a digital-driven closed loop, and through modular segmented control, dynamic resource scheduling and precision progress coordination, the stability of the segmented production rhythm is increased from 62% to 82%. The dock cycle was shortened by 18.2%, and a full-process standardized system was formed, providing a reusable baseline for the construction of ultra-large ship types.

**Keywords：**construction of LNGC; Beat management; three-stage collaborative system; digital-driven; precision control

### 引言

液化天然气运输船（LNGC）作为高端船舶装备，其建造效率与质量直接关系国家能源战略安全与产业竞争力。随着全球 LNG 贸易量激增，市场对 18 万方以上大型 LNGC 的交付周期提出更高要求。传统造船模式受制于工序离散、资源调配粗放等问题，普遍存在生产节拍紊乱、船坞周期冗长、成本可控性差等痛点，严重制约超大型船舶的批量化建造能力。

为突破这一瓶颈，本研究创新提出“节拍化建造管理模式”，通过构建“分段制作→总段组装→船坞合拢”的三阶协同节拍体系，依托数字化主线（PPMS/PLM/MES/APS/集成）实现全流程动态排产。重点围绕模块化分段控制、资源弹性调度及精度控制协同三大维度开展管理实践，旨在建立标准化、可复制的生产节律，为大型 LNGC 的高效建造提供系统性解决方案，并为行业向 20 万方级以上船型升级奠定技术管理基础。

### 一、节拍化建造管理模式创新设计

#### （一）总体框架设计

针对大型 LNGC 建造中工序离散化与资源协同低效的核心矛盾，本研究构建了节拍同步化与数据驱动化双支柱框架<sup>[1]</sup>。

第一，创新设计“三阶节拍”协同体系：将船舶建造分解为分段制作（车间内预制≤240吨标准化模块）、总段组装（平台区域按序组装成分船体单元）、船坞合拢（以吊装动作时序为基准精准搭载）三阶段，通过刚性时间窗口约束（如分段72小时/单元交付）形成拉动式生产链，实现工序流转零等待。

第二，建立数字主线技术支撑体系，以 PPMS 为基础策划编排全项目的生命周期，依托 MES 与 APS 深度集成构建数据驱动引擎：APS 作为动态排程中枢，基于实时资源状态（人力/设备/物料）及约束条件（吊装能力/空间冲突）滚动生成优化方案；MES 则通过采集现场数据反馈至 APS，触发偏差预警与秒级重调度，形成“计划-执行-修正”闭环控制。

该框架突破传统静态计划局限，通过三阶节拍刚性耦合将离散建造转化为连续流程，并借助数据闭环驱动使节拍响应效率提升 40% 以上，为后续模块化控制与资源调度实践奠定基础。

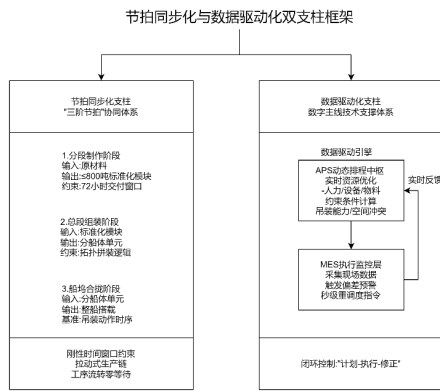


图1 节拍同步化与数据驱动化双支柱框架

## (二) 关键创新实践

### 1. 分段模块化节拍控制

大型 LNGC 建造的分段制作环节是节拍化生产的基础与核心驱动力<sup>[3]</sup>,如图2所示。其创新关键在于实现重量分级标准化与周期控制刚性化的双重突破。基于船厂吊装设备的安全极限和效率特性,将船体精准解构为重量严格控制在 $\leq 750$ 吨的模块化标准分段单元。该重量阈值是通过吊机载荷谱分析、结构应力仿真及物流转运半径模拟综合优化得出,确保与厂内900吨龙门吊(取83.3%安全系数)完美匹配,为后续流畅转运和吊装奠定基础。

在标准化层面,创新构建了三维协同约束体系以保障高效流转:设备适配性约束确保分段尺寸(如宽度 $\leq 18$ 米)匹配车间辊道与平板车;工艺均衡性约束运用成组技术按建造复杂度分类分段,使各产线工时负荷偏差 $\leq 10\%$ ;物流顺畅性约束通过参数化标记重心和设计吊耳布局,实现转运过程零翻倾。核心技术支撑是参数化边界建模与PLM、MES深度集成,利用AVEVA Marine等工具建立分段接口数字孪生模型(含坡口、对合基准线等),并利用PLM系统进行三维模拟仿真,按最优路径完成“制作-检测-转运”的无间隙流水节拍。

为实现72小时刚性交付窗口,实施了三重保障机制:首先进行工序颗粒度重构,将大工序拆解为4小时粒度的微工序链(钢板预处理、小组立、中组立、大组);其次采用动态资源池配置,基于APS预测在瓶颈工序(如焊接/打磨)动态部署共享技能班组(如认证焊工池);最后建立严格的质量门禁制度,设置尺寸报检( $\pm 3\text{mm}$ )、焊缝PT检测等7个关卡,任一节点超差即触发实时修正指令,确保节拍稳定性和分段质量。

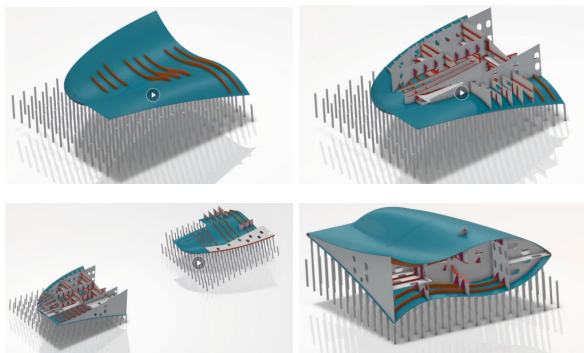


图2 分段制作环节

## 2. 资源动态调度模型

针对大型 LNGC 建造中资源需求波动大、多任务冲突频发的问题<sup>[4]</sup>,本研究构建了“资源池弹性配置-智能算法动态优化-实时反馈自适应”三层资源动态调度模型,实现人力、设备、物料的精准确配与动态平衡。

(1) 弹性资源池构建:打破传统固定班组与设备绑定模式,按工种(焊接/涂装/吊装)、设备类型(门式起重机/胎位工装)建立模块化资源池,形成可动态重组的“资源弹性单元”。

(2) 智能调度算法设计

以最小化节拍偏差率与资源闲置率为目标,构建多目标优化模型:

目标函数:

$$\min \left( \lambda_1 \sum_{i=1}^n \frac{|T_i^{\text{计划}} - T_i^{\text{实际}}|}{T_i^{\text{计划}}} + \lambda_2 \sum_{j=1}^m \frac{S_j}{C_j} \right) \quad (1)$$

其中,  $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$  为节拍偏差与资源闲置的权重系数,  $T_i$  为第  $i$  道工序时间,  $S_j$ 、 $C_j$  分别为第  $j$  类资源的闲置时间与可用时间。

约束条件:包含吊装设备负载上限(单台起重机 $\leq$ 额定载荷83.3%)、场地空间容量(总组工位 $\leq 52000 \text{ m}^2$ )、人员技能资质匹配度(焊工需持有船级社认证证书)等刚性约束,通过遗传算法进行动态排程,生成最优资源分配方案。

(3) 实时动态调整机制

依托MES系统实时采集的设备运行数据(如起重机作业效率波动 $\pm 15\%$ )、人员出勤数据(班组缺勤率 $> 10\%$ )及物料到货偏差(延迟 $\geq 4$ 小时),建立三级预警响应机制:

一级响应(轻微偏差):自动触发资源池内同类型单元跨区支援(如从相邻工位调配2组焊接人员);

二级响应(中度冲突):通过APS系统重排后续3个节拍周期的任务时序,平衡资源供需;

三级响应(重大扰动):激活缓冲资源储备(预留10%备用吊装设备、20%机动班组),确保生产节拍不中断。

### 3. 精度与进度协同保障

针对大型 LNGC 建造中精度偏差累积影响进度的难题<sup>[5]</sup>,本研究构建“三维精度管控-动态进度缓冲-智能决策联动”协同机制,实现精度控制与节拍进度的深度耦合。

激光扫描+数字孪生实时修正:采用三维激光扫描技术(精度 $\pm 0.5\text{mm}$ )实时采集分段/总段几何数据,通过数字孪生模型模拟搭载过程,提前预判累计误差(如船体主尺度偏差 $> 5\text{mm}$ ),自动生成修正方案并驱动胎位工装动态调整,将精度超差导致的返工率降低70%以上<sup>[6]</sup>。

弹性缓冲带动态配置:在分段制作、船坞合拢等关键环节设置10%-15%的时间缓冲带(如总段组装预留8小时天气延迟窗口),同时建立关键物料(如船用钢板、LNG舱室密封件)72小时储备量,通过APS系统实时监控缓冲消耗状态,当缓冲剩余量低于30%时自动触发预警并启动跨区域资源调运,确保极端扰动下节拍波动 $\leq 5\%$ <sup>[7]</sup>。

该机制突破传统“精度-进度”对立模式,通过技术赋能与

管理创新实现两者动态平衡，为复杂环境下的高效建造提供核心保障。

二、实施效果与建议

（一）实施效果量化分析

节拍化建造管理模式在18万方 LNGC项目实践中，通过三阶节拍协同与动态调度、资源弹性调度模型及数字孪生驱动的精度预控等机制，实现船坞周期压缩至180天（较行业平均缩短18.2%）、总建造周期同步缩减，工时浪费减少18%、返工率下降35%，且X光焊缝一次合格率达99.2%创行业新高，显著优化建造全流程效能<sup>[8]</sup>。具体的节拍化建造关键绩效指标对比如表1所示。

表1 节拍化建造关键绩效指标对比

指标类别	实施前	实施后	提升幅度
分段制作节拍稳定性	62%	82%	+20%
吊装设备利用率	75%	89%	+18.7%
日均完工分段量	1.8单元/日	2.9单元/日	+61.1%
精度超差返工率	12.5%	3.7%	-70.4%
计划响应时效	4小时	15分钟	+94%

（二）管理创新价值

本研究打破传统船舶建造“运动式攻关”模式，构建三阶协同节拍体系与数字驱动闭环，将离散工序转化为准连续流程，使分段制作节拍稳定性从62%提升至82%，计划响应时效缩短至15分钟，建立可量化的稳态生产节律。同时，项目形成模块化分段控制（≤750吨重量分级）、资源动态调度模型及三维激光扫

描±0.5mm精度预控技术，通过数字主线实现分段72小时交付等工序节拍量化匹配，构成覆盖全流程的标准化体系，为20万方+LNGC建造提供可复用技术管理基线，推动行业向数据驱动建造模式转型<sup>[9]</sup>。

（三）行业推广建议

该模式适用于大型装备制造与模块化建造项目，如超大型集装箱船、FPSO及高端工程机械制造等，核心适配条件包括具备分段/模块化工序解耦基础（重量分级≤设备载荷85%）、存在多资源动态冲突场景（协同需求>3类）、对交付周期与精度控制有刚性要求（如船坞周期压缩≥15%）<sup>[10]</sup>。推广时需警惕供应链韧性、与跨企业数据互通风险：关键材料建议建立覆盖3个节拍周期用量的区域级战略库存与多源采购机制；需提前制定ISO15926数据协议等统一接口标准，通过区块链技术保障MES/APS系统与供应商、船级社的数据实时互通，避免调度失效。

三、结束语

本研究通过构建三阶协同节拍体系与数字驱动闭环，实现18万方LNGC建造从“经验驱动”向“数据驱动”的模式转型。实践表明，分段制作节拍稳定性提升至82%，船坞周期缩短18.2%，关键指标创行业新高。该模式打破传统“运动式攻关”局限，建立可量化的稳态生产节律，为大型船舶批量化建造提供标准化范式，推动高端装备制造向智能化、精准化方向发展。

参考文献

[1]徐哲轩.驶向2050,液化天然气运输船“碳达峰”之路[J].航海,2024,(03):4-8.  
[2]孙冰妍.工位制节拍化生产在船舶分段制作阶段的研究[D].大连海洋大学,2024.  
[3]茅锡龙,金涛.船舶模块化建造关键技术分析[J].船舶物资与市场,2024,32(11):68-70.  
[4]张阳.船舶分段吊装在新造船工程中的应用研究[J].水上安全,2024,(03):4-6.  
[5]周海波,王祖华,倪先胜,等.船舶模块化建造关键技术研究[J].舰船科学技术,2024,46(03):8-12.  
[6]焦孟阳.基于数字孪生的异质增材制造与仿生优化[D].吉林大学,2024.  
[7]王希越.羟丙基纤维素基缓冲衬垫的制备及其缓冲性能的探究[D].广西大学,2024.  
[8]孙冰妍.工位制节拍化生产在船舶分段制作阶段的研究[D].大连海洋大学,2024.  
[9]都吉东.智能加工产线能耗预测建模及优化方法研究[D].江南大学,2024.  
[10]王庆栋.模块化机器人运动单元控制系统研制[D].北京邮电大学,2024.



# 招标投标管理中的成本控制策略

路漫漫

江苏领界科技有限公司, 江苏 南京 210000

DOI:10.61369/ME.2024080025

**摘 要：** 文章首先概述了成本估算、预算制定、成本预测与决策等成本控制的理论基础。接着，文章详细阐述了在招标阶段，如何通过编制合理的招标文件、选择合适的招标方式以及进行潜在投标人的成本分析与评价，来实现成本控制。在投标阶段，文章则着重讨论了投标策略与成本管理、投标成本的详细估算与分析以及价格策略与成本竞争力的平衡等关键问题。最后，文章还探讨了合同签订与执行中的成本控制策略。通过本文的研究，期望为招标投标管理中的成本控制提供有益的参考。

**关 键 词：** 招标投标管理；成本控制；成本风险；成本优化

## Cost Control Strategies in Bidding and Tendering Management

Lu Manman

Jiangsu Lingjie Technology Co., LTD. Nanjing, Jiangsu 210000

**Abstract：** This article first provides an overview of the theoretical basis of cost control, including cost estimation, budgeting, cost prediction and decision-making. Then, the article elaborates in detail how to achieve cost control in the bidding stage by preparing reasonable bidding documents, choosing appropriate bidding methods, and conducting cost analysis and evaluation of potential bidders. During the bidding stage, the article focuses on discussing key issues such as bidding strategies and cost management, detailed estimation and analysis of bidding costs, and the balance between price strategies and cost competitiveness. Finally, the article also explores the cost control strategies in contract signing and execution. Through the research of this article, it is expected to provide useful references for cost control in the management of bidding and tendering.

**Keywords：** bidding and tendering management; cost control; cost risk; cost optimization

### 一、成本控制的理论基础

#### （一）成本估算与预算制定

有效的成本估算需要对项目全生命周期的资源消耗进行细致的分析，包括人力、材料、设备和间接费用等。例如，在建筑项目中，可能需要参考类似工程的历史数据，运用类比法或参数模型来预估成本。预算制定则是在成本估算基础上，设定明确的财务目标，确保项目在可控的财务框架内进行。这一步骤中，可以采用零基预算或滚动预算技术，确保预算的灵活性和准确性。

在招标阶段，成本估算与预算制定的准确性直接影响招标文件的编制。招标方需要在招标文件中明确成本预期，这可能涉及到预设的工程量清单、单价分析和总价上限。此外，成本估算与预算制定还需考虑风险因素，如物价波动、供应链中断等潜在问题，这些都需要在预算中预留一定的弹性空间。<sup>[1]</sup>通过敏感性分析和概率分析，可以进一步量化这些风险对成本的影响，从而制定出更为稳健的预算方案。在实际操作中，项目团队应定期回顾成本估算与预算制定的结果，根据实际情况进行调整和优化，确保成本控制策略的有效实施。

#### （二）成本预测与决策方法

在成本控制的理论基础中，成本预测与决策方法是至关重要的工具。成本预测是基于历史数据和趋势分析，对未来的成本进行估算，如使用时间序列分析预测项目在不同阶段可能产生的成本。而决策方法，如成本效益分析和决策树理论，帮助企业确定在多个备选方案中如何选择最优策略。

在招标阶段，成本预测可以帮助编制更精确的招标文件，考虑到各种风险因素对成本的影响，如市场波动、材料价格变动等。同时，通过敏感性分析，可以评估不同成本变量变化时对总成本的影响程度，帮助设定合理的成本容忍度。

投标阶段，投标方可以利用成本预测模型对投标价格进行详细估算，如采用作业成本法来识别和分配隐藏成本。<sup>[2]</sup>此外，运用概率分析可以量化不确定性因素对投标成本的影响，帮助制定更具竞争力的价格策略。

在合同签订与执行中，预测方法可以帮助识别可能导致成本超支的潜在风险，如通过建立成本预测模型，实时监控项目的成本绩效指数，并与预算进行对比。如果发现CPI持续下降，可能预示着项目存在成本控制问题，需要及时采取纠正措施。

## 二、招标阶段的成本控制策略

### （一）招标文件的编制与成本考虑

在招标投标管理中，招标文件的编制是成本控制的关键环节。招标文件不仅需要详细阐述项目需求，更要充分考虑成本因素，以确保吸引到具有成本效益的投标。在编制过程中，可以采用工作分解结构来详细拆分项目任务，以便更准确地估算每个部分的成本。同时，招标文件中应包含成本控制的条款和标准，如设定预算限额、规定变更成本的处理方式等。这些条款可以引导投标人制定符合成本控制要求的投标方案。<sup>[3]</sup>比如，可以设定一个预定义的工程变更成本上限，超过该上限的变更需经过双方的协商和批准，以防止因频繁变更导致的成本失控。

此外，招标文件的编制过程中，可以参考历史项目数据和行业基准，对潜在的成本风险进行分析。例如，根据过去类似项目的经验，如果发现材料价格波动较大，可以在招标文件中要求投标方提供材料价格波动的风险应对措施。这样，不仅可以帮助控制直接成本，还能预防和减轻可能对项目整体成本产生的间接影响。

### （二）选择合适的招标方式与成本优化

在招标投标管理中，选择合适的招标方式是实现成本优化的关键步骤。传统的招标方式如公开招标和邀请招标各有优缺点，需要根据项目的特性、市场规模和潜在供应商的状况来决定。例如，对于大型基础设施项目，公开招标可以确保广泛的竞争，可能降低中标价格，但同时伴随的是更高的前期准备和评审成本。

一种可能的成本优化策略是采用竞争性谈判招标，尤其在项目复杂、技术要求独特的情况下。这种招标方式允许与多家具备特定能力的供应商进行谈判，可以在保证项目质量的同时，通过谈判过程寻找成本节省的空间。<sup>[4]</sup>此外，还可以考虑采用电子招标系统，以降低招标过程中的行政和时间成本。电子招标能够自动化处理投标文件，减少人为错误。同时，电子平台的透明度也有助于防止腐败，进一步节省了潜在的隐性成本。

在成本优化的过程中，招标方还需要建立一套科学的评价体系，如采用成本效益分析模型，综合考虑成本、时间、风险等因素，以确保所选择的招标方式能够最大程度地实现项目的成本效益最大化。这需要招标方具备专业的成本估算能力和风险管理经验，以做出更为明智的决策。

### （三）潜在投标人的成本分析与评价

在招标投标管理中，潜在投标人的成本分析与评价是至关重要的环节，它直接影响到招标项目的成本控制和整体效益。这一阶段，招标方需要深入理解各投标人的成本结构，以便评估其报价的合理性和可持续性。例如，可以通过财务报表分析投标人的历史成本数据，查看其在类似项目上的成本绩效，以判断其在本项目上的成本控制能力。同时，可以运用成本估算模型对投标人的成本估算进行校验和比较，确保其报价的准确性。

此外，招标方还应考虑投标人的运营成本和风险成本。例如，如果投标人位于高成本地区或面临供应链风险，这可能在未来的项目执行中增加额外的不可预见成本。通过与投标人的深度沟通，了解其风险管理策略和应对措施，可以更全面地评估其潜

在成本影响。

## 三、投标阶段的成本控制策略

### （一）投标策略与成本管理

在投标阶段，投标策略与成本管理是决定项目盈利潜力的关键因素。投标策略需要考虑市场状况、竞争对手分析以及自身成本结构。例如，通过对历史数据的分析，可以确定在类似项目上的平均利润率。同时，企业应运用成本估算模型来精确预测项目中的直接和间接成本，以确保报价的准确性。

在制定投标价格时，企业需要平衡成本竞争力与利润目标。一方面，价格过低可能导致利润稀释，甚至引发价格战；另一方面，过高价格可能丧失中标机会。因此，企业可能需要采用“成本加成”策略以确保项目经济性。<sup>[5]</sup>同时，考虑竞争对手可能的报价策略，通过竞标分析工具进行模拟，以确定最具竞争力的投标价格。

此外，投标过程中可能面临不确定因素，如项目变更或市场波动，因此，建立应急成本储备也是必要的。同时，强化投标过程中的沟通，确保与业主就可能的变更达成共识，以控制额外成本的产生，维护成本管理的有效性。

### （二）投标成本的详细估算与分析

在投标阶段，投标成本的详细估算与分析是至关重要的，它直接影响到投标的成功率和项目的盈利能力。投标成本估算通常包括直接成本、间接成本以及不可预见费用的预测。例如，直接成本可能涵盖材料、人工和设备租赁，而间接成本可能包括项目管理费用、行政开支和质量保证成本。在分析过程中，可以采用类比估算、参数估算或专家判断等方法，以提高成本预测的准确性。<sup>[6]</sup>此外，投标方还需要考虑竞争对手的可能报价，通过市场调研和竞品分析来设定自己的成本底线和报价策略。

在成本估算过程中，采用蒙特卡洛模拟或敏感性分析等风险管理工具，可以帮助识别那些对总成本影响最大的不确定因素，并制定相应的应对策略。例如，通过敏感性分析，如果发现材料价格波动是最大的风险源，那么可以提前锁定材料价格，或者在投标报价中预留一定的价格波动缓冲。

### （三）价格策略与成本竞争力的平衡

在招标投标管理中，价格策略与成本竞争力的平衡是至关重要的。一方面，投标方需要通过精准的成本估算和分析，确保报价既具有竞争力，又能够保证项目的经济效益。这可能涉及到运用先进的成本估算模型，如生命周期成本法或类比估算法，以减少不确定性带来的风险。另一方面，价格策略的制定需要考虑市场动态和竞争对手的状况。投标方需要密切关注市场价格波动，以及竞争对手可能采取的价格策略，从而灵活调整自己的报价，以保持竞争优势。<sup>[7]</sup>例如，在市场竞争激烈的情况下，投标方可能需要采取更具灵活性的价格策略，如阶梯报价或分段报价，以吸引不同层次的客户。同时，投标方还应考虑自身的品牌价值和长期合作关系等因素，这些因素可能在某种程度上影响报价的制定。

为了平衡价格策略与成本竞争力，投标方需要建立一个高效的成本控制和风险管理机制。这包括定期审查成本估算和分析结果，以及风险管理工具的应用效果，以确保这些工具和方法能够适应不断变化的市场环境和项目需求。此外，投标方还应加强与供应商、分包商等合作伙伴的沟通与协作，共同寻求成本优化的途径，以实现互利共赢的局面。

## 四、合同签订与执行中的成本控制

### （一）合同条款与成本风险的规避

在招标投标管理中，合同条款与成本风险的规避是至关重要的环节。合同是双方权利与义务的法律依据，不完善的条款可能导致额外的成本和潜在的法律纠纷。例如，合同中应明确包含变更成本的分摊机制，以防项目实施过程中的变更引起成本超支。根据《建设工程施工合同（示范文本）》，合同双方应在合同中约定因设计变更、工程量增减等导致的费用调整方式，以确保成本控制的透明度和公正性。<sup>[8]</sup>此外，风险识别和分配也是合同条款设计的关键。在合同中应包含风险应对计划，如不可抗力条款，以减轻不可预见事件对项目成本的影响。

在成本风险的规避策略中，可以采用成本-效益分析或决策树模型来评估潜在风险的成本影响，以确定是否需要在合同中设定特定的保护条款。同时，通过定期的合同评审和沟通，确保所有相关方对成本控制目标和风险状况有清晰的理解，从而及时调整策略，降低风险实际发生时的成本冲击。

### （二）项目变更管理与成本控制

在招标投标管理中，项目变更管理与成本控制是至关重要的环节。一旦项目进入执行阶段，可能会遇到各种预期之外的情况，如设计调整、市场需求变化或不可抗力因素，这些都可能导致项目变更。

有效的项目变更管理能够确保变更请求得到及时、准确的评估和处理，同时控制变更带来的成本影响。首先，应建立严格的变更审批流程，确保任何变更都经过充分论证和批准。这一流程应包括变更申请的提交、审查、批准以及执行后的跟踪和评估。通过明确各阶段的责任人和时间节点，确保变更管理的效率和质

量。其次，对于已经批准的变更，应制定详细的成本调整计划。这包括重新评估变更带来的直接成本，如材料、人工和设备费用，以及可能产生的间接成本，如延误导致的额外租金、管理费用等。<sup>[9]</sup>通过成本-效益分析，确定变更是否值得实施，并在必要时调整项目预算和进度计划。

此外，加强与相关方的沟通和协调也是项目变更管理与成本控制的关键。项目团队应与业主、设计单位、供应商等保持密切沟通，及时了解变更需求和影响，共同制定解决方案。通过定期的会议和报告，确保所有相关方对变更管理的进展和成本状况有清晰的认识，从而共同推动项目的顺利进行。

### （三）供应商管理与成本优化

在供应商管理与成本优化方面，项目团队应建立严格的供应商选择和评估机制。通过对供应商的资质、信誉、历史业绩以及成本控制能力进行全面审查，确保选择到能够提供高质量、低成本材料和服务的供应商。<sup>[10]</sup>同时，与供应商建立长期稳定的合作关系，通过批量采购、定期谈判等方式，争取更优惠的价格和更优质的服务，从而降低采购成本。此外，项目团队还应加强对供应商的监督和管理，确保供应商按照合同约定的时间、质量和数量交付材料和设备。对于供应商的违约行为，应及时采取相应措施，如罚款、解除合同等，以维护项目的利益和成本控制目标的实现。通过不断优化供应商管理，项目团队可以进一步提高成本控制能力，确保项目的顺利进行和最终效益的最大化。

## 五、结语

综上所述，招标投标管理中的成本控制策略是一个复杂而系统的过程，它贯穿于招标、投标、合同签订与执行等各个环节。通过科学合理地制定成本估算与预算，精心选择招标方式与投标策略，以及严格管理合同执行与供应商关系，项目团队可以显著降低成本风险，提高项目的经济效益和社会效益。未来，随着市场竞争的加剧和成本管理理念的深入人心，招标投标管理中的成本控制策略将更加注重精细化、智能化和协同化，以适应不断变化的市场环境和客户需求。因此，项目团队应持续学习和创新，不断优化成本控制策略。

## 参考文献

- [1] 陈鹭. 工程建设招标投标管理中存在的问题及应对措施分析 [J]. 江西建材, 2022(12).
- [2] 冯涛. 工程招标投标管理工作的实施要点探究 [J]. 中国招标, 2023(05).
- [3] 周亚剪. 建筑工程项目成本控制管理路径探究 [J]. 中国招标, 2022(08).
- [4] 李俊彪. 建筑工程招标投标阶段造价控制策略 [J]. 砖瓦, 2022(01).
- [5] 胡旺; 龚爱民. 建筑工程招投标过程中的问题以及对策分析 [J]. 决策探索 (中), 2020(01).
- [6] 潘明. 论建筑工程招标投标阶段的造价控制研究 [J]. 建材与装饰, 2020(20).
- [7] 王伟斌. 工程招标投标阶段控制工程造价存在的问题及对策 [J]. 江苏建材, 2022(04).
- [8] 李冉; 侯金鹏. 工程招标投标阶段控制工程造价存在的问题及措施 [J]. 纳税, 2021(26).
- [9] 于静静. 建筑工程招标投标管理中存在问题及解决对策 [J]. 居舍, 2020(13).
- [10] 钟山. 建筑工程招标投标管理中存在问题及对策 [J]. 住宅与房地产, 2020(05).



# 建筑工程监理现场安全风险动态评估方法

马振兴

江苏高智项目管理有限公司，江苏 南京 210000

DOI:10.61369/ME.2024080026

**摘 要：** 本文探讨了建筑工程监理现场安全风险动态评估的方法。在建筑工程监理过程中，安全风险的有效管理和评估是确保工程顺利进行和人员安全的重要环节。本文首先概述了建筑工程监理在安全管理中的角色以及现场安全风险的主要来源。随后，基于风险评估的动态性理论，强调了安全文化与沟通在动态评估中的关键作用。进一步地，文章构建了动态评估模型。在模型构建的基础上，详细阐述了动态评估的流程与工具，涉及风险信息的收集与更新、风险分析与等级划分、风险控制与预防措施，以及信息技术的支持。通过本文的研究，旨在为建筑工程监理提供一套科学、系统的安全风险动态评估方法，以提升工程安全管理水平，降低安全事故的发生概率。

**关 键 词：** 建筑工程监理；安全风险；动态评估；风险识别

## Dynamic Assessment Method for On-site safety Risks in Construction Project Supervision

Ma Zhenxing

Jiangsu Gaozhi Project Management Co., LTD. Nanjing, Jiangsu 210000

**Abstract：** This paper discusses the methods for dynamic assessment of on-site safety risks in construction project supervision. In the process of construction project supervision, the effective management and assessment of safety risks are important links to ensure the smooth progress of the project and the safety of personnel. This article first Outlines the role of construction project supervision in safety management and the main sources of on-site safety risks. Subsequently, based on the dynamic theory of risk assessment, the crucial role of safety culture and communication in dynamic assessment was emphasized. Furthermore, the article constructs a dynamic evaluation model. Based on the model construction, the process and tools of dynamic assessment are elaborated in detail, involving the collection and update of risk information, risk analysis and grade classification, risk control and preventive measures, as well as the support of information technology. Through the research of this paper, the aim is to provide a scientific and systematic dynamic assessment method for safety risks in construction project supervision, so as to improve the level of project safety management and reduce the probability of safety accidents.

**Keywords：** construction project supervision; safety risk; dynamic evaluation; risk identification

## 一、建筑工程监理安全风险概述

### （一）监理在安全管理中的角色

监理作为建筑工程项目管理中的重要一环，在安全管理中扮演着至关重要的角色。他们不仅负责监督施工过程中的各项安全规定执行情况，还承担着预防安全事故、确保工程顺利进行的重要职责。监理人员通过深入施工现场，对安全管理的各个环节进行全面把控，及时发现并纠正潜在的安全隐患，有效避免安全事故的发生。同时，监理还需与施工单位、设计单位等多方沟通协调，共同制定和完善安全管理措施，确保工程项目的整体安全。因此，监理在安全管理中的角色是不可或缺的，他们的专业性和责任心直接关系到工程项目的安全与质量。

### （二）现场安全风险的主要来源

建筑工程监理现场安全风险主要来源于多个方面，包括但不限于施工工艺的复杂性、机械设备的不安全状态、作业人员的安

全意识薄弱、以及施工现场的环境变化。其中，施工工艺的复杂性往往导致施工过程中的操作步骤繁多，容易出现操作失误或遗漏，从而增加安全风险。机械设备的不安全状态，如设备老化、维护不当或操作不规范，都可能导致设备故障或事故。作业人员的安全意识薄弱也是安全风险的重要来源，他们可能忽视安全规定，不佩戴个人防护装备，或在危险环境下冒险作业。<sup>[1]</sup>此外，施工现场的环境变化，如天气突变、地质条件不稳定等，都可能对施工安全构成威胁。因此，全面识别和评估这些安全风险来源，对于制定有效的安全管理措施至关重要。

## 二、动态评估理论基础

### （一）风险评估的动态性

建筑工程监理现场安全风险动态评估方法的实施，强调了在复杂施工环境中对风险的持续监控和适时响应。动态性意味着监



理不再局限于定期的静态评估，而是要结合工程进度、人员变动和环境因素的变化，实时调整风险策略。例如，通过引入大数据分析，可以整合施工现场的多源信息，如工人安全培训记录、机械设备维护数据和历史事故数据，以预测潜在的安全隐患。<sup>[2]</sup>此外，运用 BIM（建筑信息模型）技术，可以三维可视化地展示施工现场状态，及时发现并处理风险点。这种动态评估方法不仅能够提高风险评估的准确性和时效性，还能增强监理对施工现场安全状况的掌控能力。通过持续监控和数据分析，监理能够迅速识别出潜在的高风险区域或活动，从而采取针对性的预防措施，避免事故的发生。同时，动态评估方法也鼓励了施工现场的各方参与者之间的信息共享和沟通，促进了安全文化的形成和发展。

## （二）安全文化与沟通在动态评估中的作用

在建筑工程监理现场安全风险动态评估过程中，安全文化与沟通起到了至关重要的作用。安全文化是企业安全管理体系的灵魂，它强调了全员参与、预防为主和持续改进的理念。一个强大的安全文化可以确保所有现场人员都认识到安全是工作的首要任务，从而主动遵守安全规程，减少人为错误。

沟通，另一方面是确保风险信息准确、及时传递的关键。在动态评估中，有效的沟通能够促进风险识别的准确性，比如，通过定期的安全会议、事故报告系统或使用即时通讯工具，确保所有潜在风险都能被迅速上报。此外，开放的沟通环境鼓励员工报告安全隐患，而不担心遭受报复，这有助于发现并解决潜在问题的早期阶段。

# 三、动态评估模型构建

## （一）风险识别的动态方法

在建筑工程监理中，风险识别的动态方法是确保现场安全风险管理有效性的关键环节。传统的风险识别往往是一次性的或基于静态评估，但随着工程进度的变化、新技术的应用以及环境因素的影响，新的安全风险会不断涌现。因此，动态识别要求监理人员持续监测和更新风险信息。例如，可以采用风险矩阵法结合时间序列分析，对不同施工阶段可能出现的风险进行预测。<sup>[3]</sup>通过分析历史数据，可以发现某些类型的事故在特定时间段发生的概率会增加。此外，利用 BIM（建筑信息模型）技术，可以实时更新工程模型，识别潜在的冲突或安全隐患，如管线碰撞或结构稳定性问题。

在实际操作中，动态风险识别还强调了多方参与和沟通。监理团队应与施工团队、设计单位以及业主保持紧密合作，鼓励现场人员报告任何可能影响安全的异常情况。这种开放的信息流通环境有助于及时发现并上报微小的异常，防止小问题演变成重大事故。

## （二）风险评估的量化模型

在建筑工程监理中，风险评估的量化模型是确保现场安全风险管理科学性和有效性的关键。该模型通常结合多种方法，如故障树分析（FTA）、事件树分析（ETA）以及概率风险评估（PRA），以量化风险发生的可能性和潜在影响。<sup>[4]</sup>例如，通过 FTA，可以

分析不同工程活动之间的因果关系，确定导致事故的最小基本事件，然后为每个事件分配概率，从而计算出整体风险的概率。这种数据驱动的分析方式有助于将抽象的安全风险转化为可比较和决策的数值。

风险评估的量化模型还需要考虑风险的动态性，即风险会随着工程进度、环境变化和人员行为等因素而演变。因此，需要建立风险演化模型，通过定期的重新评估和反馈机制，及时调整风险控制策略。例如，当发现某个风险因素的控制措施效果下降时，可以根据模型的预测结果，提前采取补充措施，防止风险升级为事故。

## （三）风险演化与反馈机制

在建筑工程监理中，风险演化与反馈机制是动态评估过程中的关键环节。风险不是静态不变的，它会随着工程进度、环境变化以及人为因素而动态演化，因此，建立一个能够捕捉这种变化的机制至关重要。例如，当施工现场引入新的机械设备或施工工艺时，可能会引入新的安全风险，这就需要监理人员及时识别并更新风险清单。

风险反馈机制旨在确保一旦发现风险变化或新的风险源，能够迅速启动应对措施。这可能包括定期的风险评估会议、实时的安全报告系统以及全员参与的风险报告机制。通过这些机制，监理团队可以实时了解风险的最新状况，及时做出反应。例如，定期的风险评估会议可以促使团队成员分享最新的风险观察结果，讨论潜在的风险演变趋势，并制定相应的应对策略。<sup>[5]</sup>实时的安全报告系统则能够确保一旦发现新的风险或风险升级，立即通知相关人员，以便他们能够迅速采取行动。全员参与的风险报告机制则鼓励施工现场的每一个成员都成为风险管理的积极参与者，这不仅能提高风险识别的效率，还能增强整个团队的风险意识。

同时，动态评估模型应包含对风险控制效果的跟踪与评估。通过对比实施控制措施前后的风险等级，可以评估措施的有效性，进一步优化风险管理策略。例如，运用贝叶斯网络等分析工具，可以更新风险概率和影响的估计，以反映控制措施的实际效果。

# 四、动态评估流程与工具

## （一）风险信息收集与更新

在建筑工程监理现场安全风险动态评估中，风险信息收集与更新是确保评估准确性和及时性的重要环节。这一步骤涉及到对施工现场的持续监控，包括对作业人员的安全培训记录、机械设备的维护状态、以及施工环境的实时变化等多方面信息的收集。<sup>[6]</sup>例如，监理团队可以定期进行现场巡查，记录潜在的安全隐患，同时结合物联网设备，如监控摄像头和传感器，实时获取工地的动态信息。此外，应建立一个标准化的信息报告和处理流程，确保信息的有效性与完整性。

例如，当某工地在施工过程中，新的施工工艺被引入，可能带来新的风险。此时，监理人员需要迅速识别这一变化，收集相关工艺的安全数据，如过往类似项目的经验数据，或者咨询制造

商提供的安全指南。然后，更新现有的风险数据库，以反映这一新风险，并对现有的风险评估模型进行调整，确保风险评估的动态性。

（二）风险分析与等级划分

在建筑工程监理中，风险分析与等级划分是动态评估过程的关键环节。通过对施工现场的持续监控和定期评估，可以及时发现潜在的安全隐患。例如，通过使用事故树分析 (FTA) 或故障模式与效应分析 (FMEA) 等方法，可以系统地识别出可能导致事故的各种因素。<sup>[7]</sup> 在确定风险等级时，通常会考虑风险发生的可能性和后果的严重性，形成风险矩阵，以便于决策者优先处理高风险问题。

此外，利用信息技术如 BIM（建筑信息模型）和物联网设备，可以实时收集设备状态、人员行为等数据，进一步提高风险分析的精度。一旦数据表明风险状态发生变化，评估模型会自动更新风险等级，指导现场进行必要的风险控制措施，确保建筑工程的安全管理始终处于动态优化状态。

（三）风险控制与预防措施

在建筑工程监理过程中，风险控制与预防措施是确保施工安全的关键环节。根据《建设工程监理规范》，监理单位需建立完善的风险管理制度，对施工现场进行持续监控。例如，可以采用风险矩阵法，结合工程特点和历史数据，对识别出的安全风险进行定性、定量分析，确定其潜在影响和发生概率，从而划分风险等级。

在风险防范层面，应强调事前预防优于事后补救的原则。通过定期的安全教育培训，提升现场作业人员的安全意识。<sup>[8]</sup> 此外，可引入 BIM（建筑信息模型）技术，模拟施工过程，预判并解决可能的安全隐患，降低事故发生概率。

在风险控制环节，应制定并实施风险控制措施，如设置明显的安全警示标志，定期检查安全防护设施的完好性，确保其有效运行。同时，监理单位应建立快速响应机制，一旦发生安全事故，能够迅速启动应急预案，减少事故损失。<sup>[9]</sup> 此外，持续改进和学习效应也是风险控制的重要组成部分。监理单位应定期回顾风险评估结果，分析风险控制效果，根据反馈调整风险管理制度，

形成风险管理的闭环。通过这种方式，可以不断提升建筑工程的安全管理水平，确保工程的顺利进行和人员的安全。

（四）使用信息技术的支持

在建筑工程监理现场安全风险动态评估过程中，信息技术的支持起到了至关重要的作用。例如，利用物联网技术，可以实时监测施工现场的各种设备运行状态和环境参数。此外，BIM（建筑信息模型）技术可以将工程设计数据与安全信息整合，通过三维模型预测和识别潜在的安全隐患，如管线冲突或结构应力异常。

结合大数据分析，可以对收集到的大量安全数据进行深度挖掘和智能分析。例如，通过历史事故数据学习，建立风险预测模型，预测未来可能出现的安全问题，提前制定防范措施。<sup>[10]</sup> 同时，利用云计算平台，可以实现风险评估信息的云端存储和共享，使得监理团队和各参建方能够实时同步获取最新的风险评估结果，提高决策效率。

此外，移动应用和定制化的安全管理系统也简化了风险评估流程。监理人员可以使用移动设备进行现场巡查，即时记录和上传安全状况，系统自动进行风险等级划分，生成整改通知单，确保问题得到及时处理。

信息技术的整合应用，构建了一个动态的风险评估生态系统，实现了风险的动态识别、动态评估和动态控制，极大地提升了建筑工程监理的安全管理水平。

五、结语

随着信息技术的不断发展，建筑工程监理现场安全风险动态评估方法的应用前景将更加广阔。通过整合大数据、云计算、移动应用等现代信息技术，不仅可以提高风险评估的准确性和效率，还能促进监理团队与各参建方之间的信息共享和协同合作。这种综合应用信息技术的风险评估模式，为建筑工程的安全管理提供了全新的思路 and 手段，有助于构建更加安全、高效的施工环境。未来，随着技术的不断进步和应用场景的拓展，动态评估方法将在建筑工程监理领域发挥更加重要的作用。

参考文献

[1] 巨广龙. 建筑工程施工安全监理的风险管理与防范 [J]. 大陆桥视野, 2022(02).  
[2] 朱本怀. 建筑工程施工安全监理安全风险及其防范措施研究 [J]. 工程建设与设计, 2021(10).  
[3] 杨久圣. 建筑工程施工安全监理的风险管理与防范途径 [J]. 居舍, 2021(06).  
[4] 陈思贤. 建筑工程监理过程中监理安全管理责任 [J]. 现代营销, 2022(22).  
[5] 李金广. 建设工程监理过程中监理安全管理责任探讨 [J]. 居舍, 2022(08).  
[6] 朱海军. 建筑工程监理过程中监理安全管理责任探讨 [J]. 中华建设, 2023(09).  
[7] 叶润生. 浅谈建筑工程中的监理安全管理责任 [J]. 江苏建材, 2022(03).  
[8] 叶平. 建筑工程监理过程中监理安全管理责任问题的探析 [J]. 大众标准化, 2020(08).  
[9] 杨俊源. 建筑工程监理过程中的监理安全管理责任探析 [J]. 甘肃科技, 2021(01).  
[10] 焦述春. 建筑工程监理过程中的监理安全管理责任策略 [J]. 中国住宅设施, 2021(02).

# 无人机与机器人技术在智慧工地中的实践探索

田业凯

中交二航局第四工程有限公司, 安徽 芜湖 241000

DOI:10.61369/ME.2024080029

**摘 要 :** 随着新一代信息技术的迅猛发展,建筑工程行业正迎来数字化、智能化变革的浪潮。无人机与机器人作为智慧工地建设的新兴力量,在安全管控、质量检测、进度把控等关键环节发挥着日益重要的作用。本文以雄忻高铁项目为例,探讨了无人机与机器人技术在智慧工地中的创新应用。通过分析“1+3+N”的总体架构,剖析了无人机和机器人在安全监测、质量管控、进度管理等核心场景中的实践案例。研究总结了 SLAM 定位导航、AI 机器视觉、数字孪生等关键技术,梳理了全生命周期实施路径与保障措施。应用实践表明,以无人机、机器人为核心的智慧工地新模式,有力提升了工程安全质量管理水平,为同类工程的智慧化升级提供了可资借鉴的范例。

**关 键 词 :** 智慧工地; 无人机; 机器人; 人工智能; 数字孪生

## Practical Exploration of Unmanned Aerial Vehicle and Robot Technology in Smart Construction Sites

Tian Yekai

China Communications Second Highway Engineering Bureau Fourth Engineering Co., LTD. Wuhu, Anhui 241000

**Abstract :** With the rapid development of new-generation information technology, the construction engineering industry is ushering in a wave of digital and intelligent transformation. As emerging forces in the construction of smart construction sites, drones and robots are playing an increasingly important role in key links such as safety control, quality inspection and progress control. This article takes the Xiongxin High-Speed Railway project as an example to explore the innovative application of unmanned aerial vehicle (UAV) and robot technologies in smart construction sites. By analyzing the overall architecture of "1+3+N", practical cases of unmanned aerial vehicles and robots in core scenarios such as safety monitoring, quality control, and progress management were dissected. The research summarized key technologies such as SLAM positioning and navigation, AI machine vision, and digital twins, and sorted out the implementation paths and safeguard measures throughout the entire life cycle. Application practice shows that the new model of smart construction sites centered on unmanned aerial vehicles and robots has effectively enhanced the safety and quality management level of projects, providing a referenceable example for the intelligent upgrade of similar projects.

**Keywords :** smart construction site; UAV; robot; artificial intelligence; digital twin

## 引言

当前,建筑工程行业正迎来数字化、智能化变革的浪潮。作为工程建设的核心场所,施工现场的智慧化升级备受关注。以无人机、机器人为代表的新一代信息技术,正加速与工程建设全过程深度融合,催生出智慧工地的崭新业态。智慧工地以物联网、大数据、人工智能等技术为支撑,通过全面感知、智能分析、自动执行,实现了施工现场的透明化管理和精细化作业。在安全管控、质量检测、进度把控等关键环节,无人机和机器人凭借灵活机动、智能协同的独特优势,为打造智慧工地新格局提供了创新路径。

## 一、智慧工地总体架构设计

### (一) “1+3+N” 智慧工地技术架构

雄忻高铁项目智慧工地实施方案为“1+3+N”架构提供了很好的实践案例。方案中明确提出,要建设统一的智慧工地云平台,

汇聚施工现场海量数据,实现跨专业、跨部门、跨阶段的数据共享与业务协同。在此基础上,方案还规划了感知层、网络层、应用层“3”大核心层级。其中,感知层包括视频监控、环境监测、RFID 定位等14类物联网感知终端;网络层采用“有线+无线”方式,利用400M专线接入互联网,并覆盖现场的 Wi-Fi、4G/5G 网络;应



用层囊括了视频分析、安全管控、进度管理、质量验收等16项智慧应用。此外,塔吊监测、起重机监测、智能安全帽等一系列智能装备也纳入了“N”的范畴。“1+3+N”的智慧工地架构设计在雄忻项目中得到了全面的落地和验证,为更大规模的推广应用奠定了基础。



图1 雄忻高铁智慧工地 '1+3+N' 技术架构图 "

（二）无人机系统和机器人系统在智慧工地架构中的定位

在雄忻高铁智慧工地建设中,无人机和机器人系统作为新兴智能装备,发挥着日益重要的作用。无人机系统通过搭载光学相机、热成像仪等设备,对施工现场进行低空数字化测绘,获取高精度地形图和设施图,并与 BIM 模型叠加分析,服务于施工规划和进度管理;同时开展安全隐患排查,对高边坡、深基坑等重点区域进行稳定性监测<sup>[1]</sup>。机器人系统如隧道质量检测机器人,利用三维激光扫描技术实现隧道断面高精度测量,并集成缺陷检测算法,自动识别质量问题;钢筋数控加工机器人实现钢筋加工全过程自动化控制,提升工效。在“1+3+N”架构中,无人机和机器人深度参与感知层数据采集,通过5G、Wi-Fi组网实现网络层数据回传,并在应用层赋能安全管控、质量检测等业务应用。无人机和机器人是智慧工地不可或缺的重要组成。

二、核心应用场景与实践案例

（一）安全监测体系重构

雄忻高铁地下段施工面临隧道渗漏、基坑变形、高空作业等安全风险,亟须创新安全监测手段。无人机搭载热成像仪对隧道内部进行全方位扫描,及时发现渗漏风险点并上报预警,同时机器人利用激光雷达实现隧道断面形态参数的高精度检测,结合设计模型分析结构安全性。针对深基坑施工,无人机通过机载相机获取高清影像并利用倾斜摄影技术解算变形数据,而机器人则可深入基坑底部进行地质雷达探测,主动排查危岩危树隐患。在高空作业环节,AI算法赋能的无人机可精准识别未佩戴安全绳、移动至警戒区等违规行为,机器人则定期对走道、爬梯进行载荷检测,为施工人员提供安全保障。由此可见,以无人机、机器人为代表的新技术正逐步构建起智慧工地的立体化安全监测防护网。

（二）质量管控流程再造

大体积混凝土浇筑质量控制是雄忻高铁建设的重中之重。项目创新性地应用无人机,通过搭载热成像设备与温湿度传感器,对混凝土温度场进行空中测量,获取整个浇筑体的实时温度分布,及时发现温度裂缝风险并优化养护方案。同时,机器人自动采集不同时间、不同部位的混凝土试块,高效获得强度、耐久性等关键数据。钢筋绑扎质量把控方面,机器人集成视觉定位与张

力传感技术,能精确识别钢筋位置并检测其绑扎牢固度,相比人工抽检,检测效率提升5倍以上。项目全面应用 BIM 技术,通过无人机倾斜摄影获取的点云数据与设计模型比对,快速核查施工偏差,结合机器人实时动态测绘,持续优化 BIM 模型,实现工程建模一体化<sup>[2]</sup>。新一代信息技术正推动传统质量管控向数字化、智能化升级。

（三）进度管理手段创新

工程进度管理需要及时准确的现场数据支撑。雄忻高铁项目充分发挥无人机灵活机动的优势,对施工现场开展数字化低空摄影测量,通过云端智能算法分析合成的三维模型,可精确计算出土石方量、混凝土浇筑量等关键工程量指标,进度统计效率较传统人工测量提升10倍以上。针对隧道开挖等关键线性工程,项目引入自动化放线机器人,通过全站仪、GNSS等技术实现隧道轴线、坡度的高精度引测,并直接传输数据指令,引导挖掘机、推土机的作业路径与开挖深度<sup>[3]</sup>。在混凝土后期养护环节,项目还创新部署了无人值守控制系统,利用机器人实时采集混凝土表面温湿度信息,通过算法分析自动控制养护设备,实现养护过程“一键式”管理,有效缩短了关键路径工期,无人机、机器人正逐步成为工程进度精细化管理的利器。

通过以上分析可见,在雄忻高铁智慧工地建设中,无人机、机器人等新技术新装备在安全监测、质量管控、进度管理等关键领域发挥着不可或缺的作用。图2总体展示了雄忻高铁智慧工地的整体建设布局,集中体现了“AI+机器人”在工程现场管理各环节的深度融合和创新应用。AR 监控中心、塔机监控、环境监测、安全巡检等场景分布,全景勾勒出了这一超级工程的智慧化建设蓝图。

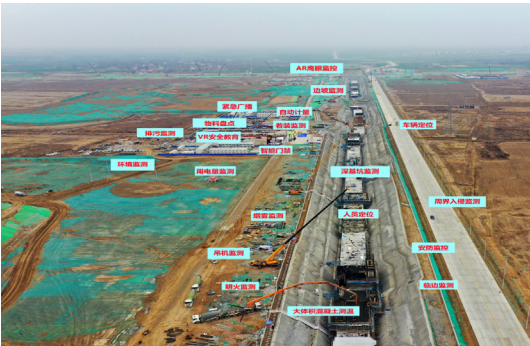


图2 雄忻高铁智慧工地整体建设布局示意图

三、关键技术创新与实施路径

（一）SLAM定位导航技术

雄忻高铁智慧工地广泛应用 SLAM 定位导航技术,为无人机和机器人赋予精准的空间定位和自主导航能力。系统融合了 GPS、北斗卫星定位、UWB室内定位和激光雷达 SLAM 技术,构建了“室内+室外”“地面+低空”的多模态高精度定位体系<sup>[4]</sup>。在隧道、基坑等复杂 GNSS 信号缺失环境,UWB 定位信标布设密度达到50个/km²,配合激光雷达点云匹配,实现了亚米级连续定位,定位误差控制在10cm以内。同时,针对无人机巡检和机器人作业面临的高低起伏地形,研发了自适应路径规划算法,通过实时三维避障和最优路径搜索,使机器人运行轨迹相比传统人工规划缩短40%以上。目前,该项目已成功在全线5台无人机、3台隧道质检机器



人、2台钢筋加工机器人中完成定位导航模块的集成应用,为设备自主作业提供了坚实的技术支撑。

### （二）AI赋能的机器视觉

雄忻高铁项目创新性地研发了基于深度学习的隧道衬砌缺陷检测系统,利用高精度语义分割模型对无人机采集的隧道壁画影像进行智能分析,能够准确识别混凝土裂缝、掉块、渗水等9类缺陷,检测准确率达96.5%,大幅提升了隐患排查效率。针对钢筋加工质量缺陷类型多、人工难以穷举的特点,项目还创新应用了小样本学习技术,通过人机协同标注200张钢筋加工缺陷样本图像,并利用迁移学习算法进行模型训练,在实际应用中将原有人工抽检10%的缺陷检出率提高至95%以上。此外,在塔吊吊装作业智能监管方面,项目研制了塔吊吊钩智能防撞系统,通过在塔吊吊钩上装配微型摄像头对周边障碍物进行实时成像分析,并结合吊钩高度、回转角度等传感数据,实现了对狭小空间、跨越施工等高风险吊装作业的自动预警。

### （三）数字孪生与大数据分析

数字孪生和大数据分析技术是智慧工地的核心引擎。雄忻高铁项目充分利用无人机倾斜摄影测量获得的高精度三维点云数据,并与BIM设计模型进行精准匹配,构建了覆盖隧道洞身、地下连续墙等关键结构的数字孪生模型。通过可视化的BIM与实景融合渲染,工程技术人员可以直观发现施工偏差和安全隐患。同时,项目还搭建了涵盖设计、施工、监测、物资、机械等全域工地数据的大数据平台,利用本体知识图谱技术对业务数据进行语义关联挖掘,实现了跨专业域的安全风险智能推理。例如通过关联超前地质预报、机载雷达监测、机器人锚杆质量检测等多源异构数据,系统可自动分析隧道施工的24类安全风险,涉及围岩稳定性、爆破振动、突水等300项风险因子,为安全管理决策提供智慧助力。

### （四）实施路径与保障措施

雄忻高铁项目采用了全生命周期的实施路径,从顶层设计、系统开发、试运行到推广应用,严格把控每个环节的实施质量。在测试验证阶段,项目从功能完备性、性能效率、安全稳定三个维度,开展了近50轮的测试,并形成完整测试报告,作为系统优化的重要依据。在平台搭建阶段,项目组织10名软件工程师,历时3个月完成了智慧工地云平台的环境部署,实现了勘察设计、生产管理、安全质量、物资设备等16个业务系统和10类数据的互联互通。在人员保障方面,项目成立了一支40人的智慧工地实施团队,覆盖管理、技术、运维等各类人才,并专门制定了人员培训、持证上岗等管理制度<sup>[5]</sup>。在网络方面,项目投资1500万元建设8个5G基站,实现了现场及生活区的5G网络全覆盖,平均下行速率达到

1.2Gbps。此外,项目还通过了公安部门的等保三级测评,部署了数据安全接入网关、数据脱敏等安全防护设施,筑牢数据安全底座。

## 四、应用价值分析与展望

### （一）应用效果评估

雄忻高铁智慧工地的建设成效显著,有力地提升了工程安全质量管理水平。在安全管理方面,通过部署智能安全帽、AI行为识别、塔吊防撞等系统,现场事故率较传统工地降低80%,高风险作业管控实现100%全覆盖。质量管控能力大幅跃升,利用无人机混凝土浇筑温度监测,机器人自动采样等手段,实现了混凝土强度99.5%的高合格率,钢筋一次验收合格率达到98%。在进度管控上,无人机测量土石方量计算误差控制在5%以内,机器人辅助的智能放样、混凝土养护等措施,累计为工期节省10%。经济效益方面,每月通过自动化作业节约人工150人/天,综合成本较传统方式降低8%。

### （二）推广价值与展望

雄忻高铁智慧工地的建设模式具有显著的推广价值。一方面,其形成了机载智能感知、机器人自主作业、人机协同管控的“AI+机器人”融合发展范式,可为行业智慧化升级提供路径指引;另一方面,项目在隧道质检、钢筋加工等典型场景下,探索出了作业流程再造、数据融合增效的实施范例,为同类工程应用提供了可资借鉴的实践指南。未来,在更广阔的工程建设领域,亟须进一步总结提炼雄忻高铁的智慧建设经验,形成适用于复杂环境下的机器人协同作业标准体系。同时,还要立足前沿,将5G、区块链、元宇宙等颠覆性技术与智慧工地应用场景深度融合,打造数字交互、实景同步的沉浸式管理新模式。

## 五、结语

综上所述,无人机与机器人技术正成为智慧工地建设的核心驱动力。以雄忻高铁项目为代表的实践案例充分证明,将“飞行器+智能装备”创新融入施工现场管理,能够显著提升工程安全、质量、进度管控水平,助推行业高质量发展。未来,在人工智能、5G、区块链等颠覆性技术的推动下,无人机、机器人与工程建设必将加速融合,不断催生智慧工地的新场景、新模式、新业态。技术创新将持续赋能行业数字化转型,智慧工地经验还将从工程领域向城市建设、运维等更广阔空间延伸拓展。

## 参考文献

- [1]洪志山.智慧化工程管理技术在智慧工地中的应用[J].工程技术研究,2023,8(23):128-130+150.DOI:10.19537/j.cnki.2096-2789.2023.23.042.
- [2]杨常红,翟华,丁剑.基于无人机倾斜摄影测量的智慧三维工地应用[J].北京测绘,2022,36(08):1013-1018.
- [3]尹东.基于无人机和计算机视觉的智慧工地管理方法研究[D].湖南大学,2022.
- [4]秦烁晓,吴军.无人机倾斜摄影在智慧工地中的部分应用[J].建筑,2022,(01):74-75.
- [5]肖云,王磊.无人机倾斜摄影辅助智慧工地平台在工程总承包项目管理中的应用研究[J].中国高科技,2021,(16):107-109.
- [6]刘泳奇,吴环宇,陈珂.智能建造技术在工程造价管理中的应用研究综述[J].建筑经济,2022(S1).
- [7]程英鑫.无人机应用技术的教学方案分析[J].电子技术,2023,52(03):298-300.
- [8]唐玉娟,胡兴柳,杨忠,等.机器人工程新工科专业建设实施方案探索——以金陵科技学院为例[J].教育教学论坛,2021,(28):48-51.
- [9]杨常红,翟华,丁剑.基于无人机倾斜摄影测量的智慧三维工地应用[J].北京测绘,2022,36(08):1013-1018.
- [10]李伟.无人机航测技术在建筑工程智慧化管理中的应用[J].数字技术与应用,2024,42(03):40-42.

# 城市更新改造工程监理关键技术研究

王艺

江苏开源工程咨询监理有限公司, 江苏 南京 210081

DOI:10.61369/ME.2024080032

**摘 要：** 城市更新作为推动城市可持续发展的重要手段，其监理工作在技术与管理方面都面临着一系列复杂挑战。本文旨在深入探讨城市更新项目与新建工程监理之间的区别与联系，通过细致的分析，揭示城市更新施工监理过程中的难点与重点。在此基础上，本文还将探讨在城市更新过程中应用的关键技术以及创新方法，并提出一系列系统性的控制措施。这些措施的提出，旨在为城市更新工程监理提供坚实的理论支撑，并为实践操作提供有价值的参考，以期达到提升城市更新工程监理效率和质量的目的。

**关 键 词：** 城市更新；改造工程；施工监理；关键技术

## Research on Key Technologies of Urban Renewal and Transformation Project Supervision

Wang Yi

Jiangsu Kaiyuan Engineering Consulting and Supervision Co., LTD. Nanjing, Jiangsu 210081

**Abstract：** Urban renewal, as an important means to promote sustainable urban development, faces a series of complex challenges in terms of both technology and management in its supervision work. This article aims to deeply explore the differences and connections between urban renewal projects and the supervision of new construction projects. Through detailed analysis, it reveals the difficulties and key points in the process of urban renewal construction supervision. On this basis, this paper will also explore the key technologies and innovative methods applied in the process of urban renewal, and propose a series of systematic control measures. The proposal of these measures aims to provide a solid theoretical support for the supervision of urban renewal projects and offer valuable references for practical operations, with the expectation of achieving the goal of enhancing the efficiency and quality of urban renewal project supervision.

**Keywords：** urban renewal; renovation project; construction supervision; key technologies

## 引言

我国经过改革开放后的40年快速发展，城市新增建设已经达到了顶峰，而城市更新作为城市发展中后期一下重要工作，已经被越来越多的地方所关注。城市更新过程中更离不开工程监理各项控制工作。本文就城市更新改造项目与新建工程监理措施的区别与联系、城市更新项目施工监理的难点与重点、城市更新项目监理的关键技术和城市更新项目监理的技术创新方法等几个方面展开探讨，以期对相关工作者提供解决。

## 一、城市更新改造项目与新建工程监理措施的区别与联系

城市更新改造项目与新建工程的监理工作，既存在明显的区别，也存在密切联系。区别主要体现在更新改造项目的工程环境复杂、技术标准难以统一、社会协调矛盾突出；联系主要体现在工程监理的质量、安全、进度、造价、信息管理及相关协调工作基本类似<sup>[1]</sup>。

### （一）两者主要区别

#### 1. 工程环境复杂性

城市更新项目通常需要在现有的建筑或设施基础上进行改造，这包括了对旧有结构的拆除、地下管线的迁移和改造、以及处理历史遗留问题等一系列复杂的工作。在城市更新改造项目建设施工实施这一过程中，监理工作显得尤为重要，因为在这个期间，监理工程师需要协调多个不同专业的交叉作业。例如，在进行管网改造时，必须确保新系统能够与原有的系统良好衔接，这

不仅需要专业的技术知识，还需要良好的项目管理能力。与此同时，新建工程的环境相对单一，监理工作的重点则主要集中在对新建结构的质量控制上，以确保新建筑的安全性和耐用性。

## 2. 技术标准差异

在进行既有建筑的改造工程时，必须严格遵守一系列加固和修复的特殊技术规范。这些规范是为了确保改造过程中不会对原有建筑结构造成不必要的损害。例如，有研究指出，在对筒仓进行顶部加建时，必须采用格构柱与平台桁架结构相结合的方式，这样做可以有效地避免对原有结构的破坏。<sup>[2]</sup>与此同时，对于新建工程而言，通常会采用更加标准化的施工流程，以提高施工效率和质量。

## 3. 社会协调需求

在进行项目更新的过程中，与居民以及产权方的沟通显得尤为重要。特别是在老旧社区的改造工程中，为了避免施工过程中出现不必要的矛盾和冲突，监理工程师必须在确保工程进度的同时，也要兼顾到社区的稳定与和谐。这需要监理团队具备高度的责任心和协调能力，以确保工程顺利进行，同时维护好居民的正常生活秩序。<sup>[3]</sup>相比之下，新建工程由于涉及的利益关系相对简单，因此在实施过程中较少遇到此类涉及多方利益协调的问题。

## （二）两者主要联系

### 1. 质量控制共性

在确保工程质量的过程中，无论是新建工程还是改建工程，监理工程师都必须通过一系列的材料检测和工序验收手段来进行严格的质量控制。以城市道路改建为例，为了保证改建后的道路质量能够达到标准，必须进行压实度检测，确保其压实度满足重型击实标准，即压实度不得低于95%。这一标准与新建路基时的要求是一致的，体现了改建工程在质量控制方面与新建工程同等重要的原则。

### 2. 管理框架相似性

在进行工程项目的监理工作时，无论是对现有设施进行更新改造，还是开展全新的建设工程项目，监理工作的核心始终是围绕着确保工程质量、合理控制工程进度、有效管理工程投资以及保障施工安全这四大关键要素。<sup>[4]</sup>这些管理工作不仅需要在工程的前期、中期和后期三个阶段全面展开，而且要涵盖从施工方案的审核、工程进度的实时监督，一直到工程竣工后的验收等各个环节。

## 二、城市更新项目施工监理的难点与重点

城市更新项目与新建工程施工监理之间存在着显著的差异，这些差异不仅体现在监理工作的执行方式上，而且在面对的难点与重点方面也各有不同。<sup>[5]</sup>具体来说，城市更新项目通常涉及到对既有建筑的改造和升级，这些工程往往伴随着历史遗留问题，比如建筑结构的老化、设计图纸的缺失或不完整等。这些问题需要监理人员具备丰富的经验和专业知识，以便能够妥善处理。此外，城市更新项目在技术上往往更为复杂，因为它们可能需要在不中断现有建筑功能的情况下进行施工，这就要求施工团队和监理人员之间有更紧密的配合和更高效的沟通。安全管控在城市更

新项目施工过程中也是一个非常重要的挑战，由于施工环境的限制和周边环境的复杂性，确保施工安全和周边环境的安全成为监理工作的重中之重。<sup>[6]</sup>最后，城市更新项目中常常涉及到多种专业的交织和协调，比如土木工程、电气工程、给排水工程等，这些专业之间需要高度的协调和配合，以确保工程的顺利进行。所有这些因素都使得城市更新项目的施工监理工作比新建工程更为复杂和具有挑战性。

### （一）更新改造项目监理的难点

#### 1. 历史遗留问题多

在老城区，产权关系往往错综复杂，存在着权属不明确、违章建筑广泛分布等棘手问题。为了有效地进行监理工作，相关人员必须协调涉及的各方利益，同时确保所有操作都符合法律法规的要求。

#### 2. 技术复杂

在城市更新改造过程中，首先需要面临的问题就是对既有结构的进行加固工作，监理工程师需要根据现场实际情况并结合图纸设计进行提前预判，以确保对原建筑的承载力有一个准确的了解<sup>[7]</sup>。例如，在对残损的厂房进行改造时，需要通过新增受力构件与既有结构进行有效连接，这样做可以避免加固量过大，从而在保证结构安全的同时，也能够节约成本和时间。

#### 3. 施工干扰大

在进行改造工程时，常常需要在人口密集的区域开展作业，监理工程师必须要求施工单位采取一系列措施来控制噪音污染和扬尘问题，以确保工程对周围居民的生活影响降到最低。同时，为了保障居民的通行安全，还需要设置合理的警示标志和安全通道，确保行人和车辆在施工期间能够安全地通过这些区域。

### （二）更新改造项目监理的重点

#### 1. 结构安全管控

在建筑施工过程中，对于那些已经存在的建筑物进行加固以及基坑支护等关键工序，监理工程师需要特别关注和严格监控。特别地，当涉及到地下施工时，如基坑开挖，监理工程师必须要求施工单位采取有效的措施来保护周边的地下管线，以防止在施工过程中对这些管线造成损坏。

#### 2. 多专业协调

在进行管网改造的过程中，会涉及到多个专业领域的交叉作业，其中包括给排水系统以及电力系统等。通过BIM等先进的技术手段，可以有效地预测和减少在施工过程中可能出现的管线碰撞风险，从而提高工程效率，确保施工安全。

#### 3. 动态调整能力

在施工过程中，经常会遇到一些无法预先预料的问题，这些问题可能包括但不限于地下管线的位置出现偏差，以及其他各种突发情况。<sup>[8]</sup>在这种情况下，监理人员必须能够迅速做出反应，及时调整施工方案，以确保工程能够顺利进行，同时避免造成不必要的延误和损失。



### 三、城市更新项目关键技术的监理工作

城市更新改造项目与新建工程的监理工作之间存在着显著的差异，这些差异不仅体现在工作内容上，还体现在工作方法和策略上。同时，城市更新改造项目在实施过程中会遇到许多突出的重点和难点问题，这些问题需要监理人员具备更高的专业技能和丰富的经验。<sup>[9]</sup>因此，在城市更新改造项目的监理过程中，必须充分利用现代科学技术手段，通过引入先进的信息管理系统、智能监控设备以及数据分析工具等，来提高监理工作的效率和质量。在监理过程中创新关键技术，比如采用 BIM 技术进行项目管理，利用无人机进行现场监控，以及运用大数据分析来预测和解决可能出现的问题，都是为了让城市更新改造工程的监理工作更加科学规范，确保项目的顺利进行和最终的成功交付。

#### （一）既有建筑鉴定与加固技术

在城市更新的过程中，对于那些存在结构安全隐患的建筑物或构筑物，首要任务是对其进行结构安全鉴定。结构安全鉴定可以通过多种方法进行，其中非破损检测是一种常用且有效的方式。通过非破损检测，可以评估混凝土的强度，确保其达到了设计要求，同时也能检测钢筋的锈蚀情况，以判断其是否已经影响到结构的完整性。此外，碳损失测定是另一种重要的检测手段，它能够测定混凝土保护层的厚度，并评估其对结构钢筋的影响程度。通过这些细致的检测和评估，可以为建筑物或构筑物的安全性提供科学的依据，确保城市更新工程的质量和安全。

在对那些即将面临更新改造的建筑物或构筑物进行现场检查时，首先需要进行结构安全鉴定根据结构安全鉴定的结果，设计师和专家们必须细致地分析并制定出一系列针对性的结构加固技术方案。这些方案可能包括使用碳纤维布进行加固，或者采用扩大截面法来增强结构的承载能力。例如，在筒仓顶部加建工程中，为了有效分散荷载，设计师可能会应用格构柱这一创新技术。

#### （二）BIM与信息化监理

在进行城市更新改造工程的过程中，对于那些结构复杂、设计多变的建筑物，施工单位通常会采用三维建模技术来整合和分析既有建筑的相关数据。监理工程师可以利用这种技术手段能够帮助其在现场监理过程中，更精确地理解建筑物的现状，包括其结构特点、材料属性以及空间布局等。通过三维建模，可以创建一个与现实世界中建筑物相对应的虚拟模型，这个模型不仅能够展示建筑物的外观，还能深入到建筑内部，揭示其内部结构和系统。

此外，三维建模技术在模拟施工流程方面也发挥着重要作用<sup>[10]</sup>。允许监理工程师在虚拟环境中预演整个施工过程，从而提前发现潜在的问题和冲突，比如施工机械的路径规划、施工人员的安全通道设置等。三维建模技术可以帮助监理工程师在虚拟环境中对这些管线进行精确布局，确保它们既满足功能需求，又不会对建筑物的结构安全和美观造成影响。通过优化管线布局，可以减少施工过程中的返工和修改，节约成本，同时也能为建筑物的长期运营维护提供便利。

#### （三）绿色改造技术

在城市更新改造的过程中，对于那些年代久远、设施陈旧的老旧小区，外墙围护结构的改造显得尤为重要。通过采用立体绿化技术，不仅能够美化城市环境，还能有效提升建筑物的隔热性能，从而达到提高整体节能效果的目的。

此外，结合当地的实际情况，可以考虑利用可再生能源，例如通过在建筑物的立面设计中集成太阳能光伏板，这样不仅能够为建筑物提供清洁能源，还能将光伏板与建筑美学相结合，创造出既实用又美观的绿色建筑。

在水资源的节约和循环利用方面，对于城市更新中的老旧小区项目，也可以因地制宜，结合小区内的雨污分流改造工作，通过安装雨水收集系统来实现。这种系统能够收集从天而降的雨水，并通过一定的净化处理，使其达到可以用于洒水或者绿化用水的标准，从而有效减少对城市供水系统的依赖，实现水资源的可持续利用。

### 四、城市更新项目监理的技术创新方法

城市更新改造项目与新建项目的监理工作虽然在很多方面存在相似之处，比如都需要对工程质量、进度和成本进行严格控制，确保项目顺利进行。然而，两者之间也存在显著的区别，这些区别主要体现在工程的复杂性和挑战性上。城市更新改造项目往往涉及到老旧建筑的翻新、结构加固以及现代化设施的引入，这不仅需要传统的施工工艺技术，还必须结合新技术、新方法或者新工艺。因此，在城市更新改造的工程监理过程中，监理人员需要具备更加全面的知识结构和更加灵活的应变能力。需要利用现有的科学技术，创新监理方法，比如采用先进的信息技术进行实时监控和数据分析，以确保更新改造工程能够达到预期目标，同时满足安全、质量和功能上的要求。

#### （一）智能化监测系统

监理工程师可以借助于互联网+、物联网技术以及先进的5G通讯技术等多种现代科技手段，在对建筑物进行更新改造的过程中，可以在其结构内部精心布置一个密集传感器网络。这些传感器能够实时监测建筑物的结构变形和沉降数据，从而及时发现潜在的安全隐患，并发出预警，确保建筑物的安全性和稳定性。通过这些高科技手段的应用，能够实现对建筑物健康状况的持续监控，为建筑物的安全运行提供有力的技术支持和保障。

随着科技的不断进步，无人机巡检技术已经在全球范围内各个领域得到了广泛的应用，特别是在我国，这一技术被广泛地运用到了各个不同的领域之中。在城市更新改造的进程中，监理人员利用无人机进行巡飞，能够迅速地获取到施工现场的全景影像资料。这些影像资料不仅清晰而且全面，为监理人员提供了极大的便利。通过无人机拍摄的高清图像及历史数据进行自动比对，利用这些高质量的影像，监理工程师可以更加精确地进行质量验收工作，确保施工质量符合标准和要求。无人机巡检技术的应用，大大提高了工作效率，减少了人力物力的投入，同时也为城市更新改造项目的顺利进行提供了强有力的技术支持。



## （二）协同管理平台

借助于现代科技的多样化手段，监理单位如果具备了开发一种基于云端的监理协同系统的能力。监理工程师可以利用这种先进的系统能够将进度、质量以及安全方面的数据进行有效集成，进而实现多方参与者之间实时的信息共享和决策支持。通过这种系统，项目管理者、工程师、施工队伍以及其他相关方可以无缝地协作，确保项目按照既定目标顺利进行。它不仅提高了工作效率，还增强了项目透明度，使得每个参与者都能够及时了解项目状态，做出更加明智的决策。

## （三）模块化加固技术

鉴于城市更新过程中所面临的建筑物通常具有复杂的结构形式以及多样化空间布局的特点，对于各种不同的更新改造项目，监理人员应当根据具体情况灵活运用不同的改造技术，实施模块化的处理方法。举例来说，对于那些具有历史价值的建筑，可以考虑采用可逆式的加固模块，例如使用可拆卸的钢支撑结构，这样既能够确保建筑的结构安全，又能在不损害原有风貌的前提下，对建筑物的功能进行有效的提升和改善。

## （四）参数化设计工具

监理工程师在进行城市更新改造监理工作时，如果具备了利用先进的算法技术来生成最优加固方案的能力，可以根据现场的实际情况和具体需求，对这些方案进行细致的分析和评估。通过与原有的设计方案进行详尽的比对，监理工程师能够有效地验算

出设计方案的准确性和安全性，确保工程的质量和安。例如，在面对不同的荷载分布情况时，他们可以自动调整桁架结构的参数，以适应各种复杂的工程环境，从而达到优化结构稳定性和提高工程效率的目的。

## 五、结论

在开展城市更新工程的监理任务时，应当将技术创新与管理优化紧密地结合起来，以确保整个工程过程的高效和顺畅进行。这一点至关重要，因为只有通过这种结合，才能实现工程监理的最优化。在这一过程中，监理工程师利用施工单位提供的建筑信息模型（BIM）技术和装配式建筑技术的运用显得尤为关键，能够显著地提升工程的施工效率和质。此外，利用智能化工具来加强风险的识别和管控，是确保项目顺利进行的关键。智能化工具能够实时监控项目进度，预测潜在风险，并提供相应的解决方案，从而大大提高了工程监理的效率和准确性。展望未来，还需要进一步深入研究和探索人工智能（AI）技术在监理决策过程中的应用潜力。AI技术的引入，有望通过数据分析和模式识别，为监理工作提供更加精准的决策支持，从而构建一个覆盖项目全生命周期的管理体系。通过这些综合措施，有望推动城市更新工程向更高水平的高质量发展迈进，实现城市可持续发展的宏伟目标。

## 参考文献

- [1] 叶胜军. 建筑施工阶段监理问题的思考 [J]. 房地产导刊, 2015-02-01.
- [2] 王子天. 三亚顺风宾馆结构检测评估及加固措施研究 [D]. 辽宁工程技术大学, 2020-08-14.
- [3] 巩涵宁, 李国栋. 基于 BIM 技术的混凝土工程施工管理研究 [J]. 石油化工建设, 2024-06-01.
- [4] 周文. 探究 BIM 技术在装配式建筑施工质量管理中的应用 [J]. 建材与装饰, 2019-09-01.
- [5] 杨磊. 浅谈数字技术在智慧监理中的应用 [J]. 建设监理, 2023(09).
- [6] 张栋山. 智能建筑工程监理技术的应用与任务研究 [J]. 居舍, 2022(18).
- [7] 王冬冬. 智能建筑工程监理技术的运用与管理分析 [J]. 现代企业文化, 2022(15).
- [8] 陈化泽. 智能建筑工程监理技术的应用与任务分析 [J]. 建设监理, 2021(08).
- [9] 郝于伟. 建筑工程监理的作用及优化措施 [J]. 江苏建材, 2022(03).
- [10] 凌云. 建筑工程监理的作用及优化措施分析 [J]. 大陆桥视野, 2021(05).

# 加强建筑工程施工全过程监理的措施分析

吴金波

南京建凯建设项目管理有限公司, 江苏 南京 210000

DOI:10.61369/ME.2024080034

**摘 要 :** 近年来, 随着我国经济的快速发展, 城市化进程不断加快, 建筑行业得到了前所未有的发展。随着建筑工程规模的不断扩大, 人们对于建筑工程质量要求也越来越高。由于我国在建筑工程质量监管方面起步较晚, 加上工程建设相关制度不够完善, 导致建筑行业发展面临的形势更加严峻。加强对建筑工程施工全过程的监理可以有效保障施工质量。但是当前我国在建筑工程施工全过程监理中还存在着许多问题, 导致施工质量控制不到位, 对建筑企业的发展造成了严重影响。本文首先分析了当前我国建筑工程施工全过程监理中存在的问题, 然后提出了加强建筑工程施工全过程监理的有效措施, 以期促进我国建筑业的快速发展。

**关 键 词 :** 建筑工程; 监理; 措施

## Analysis of Measures for Strengthening the Supervision of the Entire Construction Process of Building Projects

Wu Jinbo

Nanjing Jiankai Construction Project Management Co., LTD. Nanjing, Jiangsu 210000

**Abstract :** In recent years, with the rapid development of China's economy and the continuous acceleration of the urbanization process, the construction industry has achieved unprecedented development. With the continuous expansion of the scale of construction projects, people's requirements for the quality of construction projects are also getting higher and higher. Due to the late start of quality supervision in construction projects in our country and the imperfect relevant systems for engineering construction, the situation faced by the development of the construction industry has become even more severe. Strengthening the supervision of the entire process of construction projects can effectively guarantee the construction quality. However, at present, there are still many problems in the full-process supervision of construction projects in our country, which leads to inadequate control of construction quality and has a serious impact on the development of construction enterprises. This paper first analyzes the problems existing in the whole-process supervision of construction projects in China at present, and then proposes effective measures to strengthen the whole-process supervision of construction projects, with the expectation of promoting the rapid development of China's construction industry.

**Keywords :** construction engineering; supervision; measures

### 引言

建筑工程施工质量是工程项目整体质量的重要组成部分, 是衡量一个项目是否合格的重要标准。近年来, 随着我国经济的快速发展, 建筑工程规模也不断扩大, 在建筑工程施工过程中监理工作的作用也越来越明显。但是从当前我国建筑工程施工质量监理工作现状来看, 监理工作还存在着很多问题。这些问题严重制约了我国建筑企业的发展, 因此加强对建筑工程施工全过程监理显得尤为重要。<sup>[1]</sup>因此, 必须采取有效措施加强建筑工程施工全过程监理, 以保证施工质量。本文主要就当前我国在建筑工程施工全过程监理中存在的问题进行分析, 并提出了加强建筑工程施工全过程监理的有效措施。

### 一、加强监理工作的法律意识

工程监理是建设工程建设中不可替代的重要环节, 应加强对监理工作的重视, 增强其法律意识, 切实保证工程质量。首先, 必须建立健全的监督体系。在建设工程施工过程中, 监理单位要

按照有关的法律、法规, 明确自己的责任, 加强对施工质量的监督, 及时发现和解决施工中出现的問題。其次, 必须加强监理人员的法制意识。在实施监理工作的过程中, 必须给监理人员创造一个良好的工作环境, 让他们能够全身心地投入工作。<sup>[2]</sup>同时, 监理人员也应加强自身素质与专业素质的提高, 自觉遵守有关法

律、法规及有关规定。只有这样，才能保证建设项目的全过程监理工作的顺利进行。

#### 建立健全监理工作体系

建筑工程施工全过程监理需要有一套完善的工作体系作为支撑，从而提高监理工作的针对性与实效性，可以有效保障监理工作的开展。建筑工程施工全过程监理首先要建立健全相应的监理组织体系，明确各部门与人员的工作职责，这样才能从根本上保障监理工作的开展。建筑工程施工全过程监理必须要对相关的管理制度进行完善，明确各个部门之间的职责，从而提高建筑工程施工全过程监理效率与质量。<sup>[3]</sup>建筑工程施工全过程监理还要加强对项目质量管理体系的完善，建立健全施工全过程质量管理体系，可以对建筑工程施工过程中的各个环节进行有效控制，从而降低施工问题出现几率。建筑工程施工全过程监理还要建立健全相应的激励机制，加强对各部门、人员工作的考核与监管，激发他们对于工作的积极性与主动性，从而提高建筑工程施工全过程监理质量。

## 二、严格执行工程建设标准

建筑工程施工标准是对建筑工程施工全过程监理的一项重要基础，只有严格执行施工规范，才能对建筑工程施工质量进行有效的控制，防止施工标准达不到要求，从而引起质量安全问题。建筑工程施工标准应根据国家现行的相关法律、法规及相关技术规范，结合本地区实际情况，制定相应的施工标准。<sup>[4]</sup>建筑工程施工规范的制定要注意：一是要有针对性，避免制定的标准过于宽泛，造成实务操作上的困难；二是要有可操作性，确保所制订的项目施工标准具备可操作性；三是要有前瞻性，确保根据国家现有的相关法律、法规、技术标准，并结合本地实际，制定相应的政策措施。同时，也要确保所制定的建筑工程施工标准能够满足我国建筑业发展的需要，为我国建筑业的发展提供可靠的保证。

## 三、规范监理市场秩序

要想提高建筑工程施工监理质量，必须规范监理市场秩序，为建筑企业提供一个良好的发展环境。首先，要对监理市场进行严格监管，严厉打击那些不具备监理资质的单位或者个人，严厉查处那些转包、分包以及非法挂靠等行为。<sup>[5]</sup>同时，要加强对施工监理人员的培训，提高其专业素质和工作能力。其次，要对监理企业进行规范管理。在对监理企业进行管时，要制定科学合理的管理制度，实行优胜劣汰、奖优罚劣的管理原则，并对表现优秀的施工监理单位进行表彰奖励。最后，要对监理市场进行有效监管。相关部门要建立健全监理市场诚信体系和信息管理系统，并对不规范的行为进行及时处理。<sup>[6]</sup>通过以上措施可以提高建筑工程施工全过程监理质量，使建筑工程施工质量得到有效保障。因此，必须严格规范建筑工程施工全过程监理行为，才能有效保障建筑工程施工质量。

## 四、加强对工程质量的控制

工程质量是施工企业生存和发展的基础。如果工程质量达不到设计要求，将给企业造成巨大的经济损失。这就要求监理单位在实施工程监理过程中，要加强质量控制，防止因质量问题造成的工期延误和经济损失。同时，监理人员也应加强对施工人员的质量意识教育，培养他们良好的工作习惯，规范自己的行为。<sup>[7]</sup>此外，监理人员在施工过程中必须严格遵守有关法律、法规，严格遵循监理程序，防止因人为原因造成的工程质量问题。此外，监理单位还应应对施工过程中出现的质量问题进行跟踪、监督，督促施工单位及时整改。对施工过程中出现的质量问题要及时处理，防止影响施工进度。

## 五、加强施工过程的信息管理

建筑工程施工全过程监理中，需要监理人员对施工现场的各种信息进行收集、整理、统计和分析，以便为施工质量控制提供科学依据。由于建筑工程施工环节比较多，监理人员可以利用计算机技术对所有施工信息进行采集和处理，然后根据数据分析结果对施工过程进行监督管理。<sup>[8]</sup>首先，在收集信息时需要注意信息的全面性和准确性。其次，要注重收集的信息及时更新，确保其完整性。最后，要建立完善的信息管理系统，确保数据录入、处理和储存的及时性和准确性。

建筑工程施工全过程监理需要监理人员具备较强的综合素质。首先要做好相关理论知识和实践知识的学习和掌握；其次要做好相关法律法规的学习和了解；再次要做好信息管理系统构建和使用；最后要不断提高自身的综合素质，提高对建筑工程施工全过程监理工作重要性的认识。

## 六、加强安全监理力度

在建设过程过程中，安全是一个非常重要的方面，特别是对危险性较大的工程，必须加强安全监理工作。在实际的施工过程中，要不断加强安全监理的力度，严格遵守有关的法律、法规、标准等规定。<sup>[9]</sup>同时，要切实保证施工现场的安全，对施工现场的安全措施进行严格的监督。另外，在施工过程中，要加强对施工人员的安全教育，提高他们的安全意识。施工过程中应严格执行有关安全标准，严格遵守劳动纪律，保证施工机械及工具完好无缺的“三个必须”。此外，对工程机械设备、工具等也要进行严格的检查和监督，对不合格的要进行整改。另外，对脚手架、模板支撑系统等进行安全检查，保证脚手架及模板支撑系统的安全性、稳定性，防止发生坍塌事故。<sup>[10]</sup>另外，对施工现场的安全防护也要进行认真检查，防止发生安全事故。总之，随着我国建设事业的迅速发展，监理工作也取得了长足的进步。作为一名合格的监理员，应不断提高自己的综合素质，加强对建设工程全过程监理的关注。只有这样，才能使建设工程的质量得到进一步的提高。本文着重分析了目前在建设工程施工过程中存在的一些问

题，提出了一些行之有效的措施，以供有关人员参考和借鉴。

## 七、结束语

建筑工程施工全过程监理工作是一项十分重要的内容，需要监理人员严格按照相关标准和要求进行工作。在实际工作中，监理人员要切实履行好自身的职责，充分发挥自身的专业知识和技

能，提高自己的业务水平，切实提高全过程监理工作质量。同时，还要加强对建筑工程施工各个环节的监控力度，将工程中出现的问题及时解决，保证工程的顺利进行。在今后的建筑工程施工过程中，监理人员还要不断加强对监理工作的探索和创新，将全过程监理工作进一步做细做实。只有这样才能真正提升建筑工程施工质量和效率，为促进建筑行业发展做出应有的贡献。

## 参考文献

- [1] 叶金筑. 加强建筑工程施工全过程监理的措施 [J]. 四川水泥, 2021, (11): 145-146.
- [2] 黄亭荣. 加强建筑工程施工全过程监理的有效方法研究 [J]. 大陆桥视野, 2020, (12): 138-139.
- [3] 曹俊红. 加强建筑工程施工全过程监理的有效方法研究 [J]. 建材与装饰, 2020, (14): 228+231.
- [4] 陈奇. 建筑工程施工全过程监理质量控制 [J]. 住宅与房地产, 2020(21).
- [5] 李晋. 安置房施工全过程监理质量控制管理探究 [J]. 产品可靠性报告, 2023(10).
- [6] 王瑛. 浅谈建筑工程监理过程中的问题和对策 [J]. 法制博览, 2020(18).
- [7] 黄文龙. 建筑工程施工全过程管理初探 [J]. 产品可靠性报告, 2023(09).
- [8] 傅旭. 建筑工程全过程监理控制要点分析 [J]. 质量与市场, 2021(08).
- [9] 刘江. 房屋建筑工程全过程监理存在的问题及解决路径 [J]. 中国高新科技, 2022(13).
- [10] 鲁吉明. 房建工程监理施工全过程安全监理要点分析 [J]. 建材与装饰, 2020(17).



# 房建工程混凝土施工监理的要点分析

杨晓艳

南京工大建设监理咨询有限公司，江苏 南京 210000

DOI:10.61369/ME.2024080036

**摘 要：** 房建工程混凝土施工监理工作涉及多个关键环节，从施工准备到浇筑阶段均需严格控制以保证混凝土质量。重点监控钢筋施工质量、混凝土材料控制及浇筑作业的规范性。钢筋的尺寸和间距、混凝土的配合比及坍落度、浇筑过程中分层和振捣的操作，均是监理工作的主要内容。通过材料的严格检验、施工过程的全程监督，以及对施工细节的精细把控，有效降低了混凝土施工中可能出现的质量问题。

**关 键 词：** 房建工程；混凝土施工；监理

## Analysis of Key Points for Concrete Construction Supervision in Housing Construction Projects

Yang Xiaoyan

Nanjing Tech University Construction Supervision and Consulting Co., LTD. Nanjing, Jiangsu 210000

**Abstract：** The concrete construction supervision work of housing construction projects involves multiple key links. Strict control is required from the construction preparation stage to the pouring stage to ensure the quality of concrete. Focus on monitoring the quality of steel bar construction, the control of concrete materials and the standardization of pouring operations. The size and spacing of reinforcing bars, the mix ratio and slump of concrete, as well as the delamination and vibration operations during the pouring process, are all important contents of the supervision work. Through strict material inspection, full-process supervision of the construction process, and meticulous control of construction details, the quality problems that may occur during concrete construction have been effectively reduced.

**Keywords：** housing construction project; concrete construction; supervision

### 一、房建工程混凝土施工监理的重要性

#### （一）房建工程的特点与混凝土施工的重要性

房建工程通常包含住宅、商业楼宇以及公共设施等多种类型的建筑。不同建筑的结构设计与功能需求决定了施工中使用的材料与技术。在这些材料中，混凝土由于其良好的强度、耐久性以及成本效益，广泛应用于基础、墙体、楼板等部位。<sup>[1]</sup>混凝土的质量直接影响到建筑物的稳定性和使用寿命。如果在混凝土施工过程中存在缺陷，例如配合比不当、浇筑不均匀或养护不力，最终可能导致裂缝、沉降等质量问题。这些问题不仅增加了后期维修和修复的成本，还可能对建筑物的结构安全构成威胁。

#### （二）监理工作对混凝土施工质量的保障作用

监理工作在混凝土施工过程中发挥着监督和管理的功能。第一，监理确保所有施工环节符合设计图纸和相关标准，包括原材料的验收、施工工艺的执行等。混凝土原材料如水泥、骨料、外加剂等的质量，直接决定了混凝土的最终性能。监理通过对这些原材料的检查，避免不合格材料进入施工现场。第二，监理在混凝土浇筑和养护过程中，检查施工工艺的规范执行，确保混凝土的施工质量达到设计要求。<sup>[2]</sup>浇筑过程中，监理需检查混凝土的搅

拌均匀性、浇筑速度、振捣密实度等方面。第三，监理还需对施工环境进行监管，如温度、湿度等因素对混凝土养护的影响，防止因环境问题导致混凝土硬化不均。

### 二、房建工程混凝土施工监理的原则

#### （一）预防为主

在混凝土施工的监理工作中，预防始终是首要原则。施工过程中容易出现的问题，往往是由于缺乏前期的预见性和规划。例如，材料的选择不当、施工人员未经过严格培训、施工设备出现故障等，都可能导致混凝土质量问题。因此，监理工作应着重于施工前的准备阶段，提前识别可能出现的风险和隐患。<sup>[3]</sup>监理人员需要对施工方案、施工组织设计、施工技术等进行全面审核，并对可能影响混凝土质量的因素进行预警和排查。监理还需定期对施工人员进行安全教育和技术培训，提高其操作水平，从源头上减少问题的发生。

#### （二）质量为先

质量是混凝土施工监理的首要关注点。在每个施工环节中，监理都需要以质量为导向，严格检查每项工作是否符合施工标准

和设计要求。混凝土的质量受多方面因素影响，如材料的选择、施工工艺的执行以及现场环境等。<sup>[4]</sup> 监理要定期对混凝土原材料进行抽检，确保水泥、砂石等符合规范，避免不合格材料带来质量隐患。施工过程中，监理要对混凝土的配合比、浇筑工艺、振捣密实度等进行严格监督，及时发现和纠正施工中存在的问题。混凝土浇筑后还需要进行有效养护，以避免因养护不当导致混凝土强度不达标。

### 三、房建工程混凝土施工准备阶段的监理要点

#### （一）开工令的发布

开工令是混凝土施工准备阶段的重要文件，它明确了施工的起始时点，并为施工的顺利进行提供了基础。监理人员需审查开工令的发布，验证其是否符合施工合同要求、设计规范及相关法规。在发布开工令之前，监理应确认施工单位已经完成所有必要的前期准备工作，如设计图纸的审定、施工方案的编制以及人员培训等。<sup>[5]</sup> 如果在审查过程中发现施工现场或准备工作存在问题，监理应及时提出整改意见，避免这些问题影响施工质量。尤其是在不利的环境条件下，例如遇到雨季等，监理工程师应建议延期开工，并调整施工进度安排。

#### （二）机械设备的审查

机械设备是混凝土施工中不可或缺的工具，其性能直接影响施工进度和质量。监理人员必须在施工前对所使用的机械设备进行严格检查。审查内容包括设备的技术状况、维护保养记录以及是否符合施工需求。例如，混凝土搅拌机的搅拌能力、混凝土泵车的输送能力、振动器的工作状态等，均需要经过详细的检查和验证。<sup>[6]</sup> 监理还要核查设备的操作人员是否具备相应资质，避免因操作不当造成设备故障或施工质量问题。设备检查合格后，监理应要求施工单位出具设备使用计划和操作规程，并跟踪设备使用过程中的状态，防止设备故障影响施工进度。

#### （三）材料验收与储存

混凝土施工的质量离不开高质量的原材料。监理人员应对混凝土原材料进行严格验收，确保水泥、砂石、外加剂等符合设计要求和相关标准。验收过程包括材料的质量检测、厂家资质审核以及进场材料的合格证明，特别是混凝土拌合物和原料用砂的氯离子含量检测报告证明。<sup>[7]</sup> 对于水泥，监理要检查其强度等级、生产日期及储存环境；砂石则要核查粒径、含泥量、等指标，确保符合施工要求。材料验收合格后，监理还需监督材料的储存方式。水泥应存放在干燥通风的环境中，避免受潮；砂石应避免污染，保持干净。材料储存不当可能导致质量问题，进而影响混凝土的强度与稳定性。

### 四、房建工程混凝土施工作业阶段的监理要点

#### （一）施工测量放线的监理要点

施工定线是混凝土施工作业中的第一步，它直接影响到建筑结构的定位和施工精度。在这一过程中，监理需要对施工现场的基准线、控制点以及放线工作进行全面检查。<sup>[8]</sup> 监理人员应先核实设计图纸与现场勘察结果，确保施工定线符合设计要求。对于基准点和控制点的位置，监理应特别关注其与建筑物主轴线和标高之间的关系，避免因定线误差导致后期施工偏差。现场放线时，监理要检查是否使用符合要求的测量工具，如经纬仪、水准仪等，确保测量精度达到施工标准。定线工作的完成情况应经过技术人员的验收，验收合格后，才可进入下一步施工。在这一阶段，监理还要定期检查施工进度，关注施工定线的准确性，避免因线位偏差影响整体施工质量。

#### （二）模板安装施工的监理要点

模板安装是混凝土施工作业中的重要环节，直接关系到混凝土结构的外形和质量。监理人员需要严格检查模板的安装质量，确保模板符合设计要求。首先，要核实模板的规格和材质是否符合设计图纸的规定。模板的支撑系统应稳定，安装后应能承受混凝土浇筑过程中的压力，而不会发生变形或移位。监理人员需检查模板与混凝土接触面是否平整，接缝处是否严密，避免混凝土漏浆或表面不平整。模板的固定和加固措施也需符合规范要求，特别是在高支模或大型结构的情况下，模板的稳定性更加关键。<sup>[9]</sup> 监理还要关注施工过程中模板的维护与调整，确保模板在浇筑前不会松动或移位。模板安装完成后，监理应进行验收，只有验收合格后，方可进行下一步混凝土浇筑工作。

#### （三）混凝土浇筑作业的监理要点

混凝土浇筑是房建工程中不可忽视的关键环节，其施工质量直接影响到结构的强度、稳定性与耐久性。在这一过程中，监理人员需对各项作业环节进行严格监督，以确保施工质量符合标准。首先，监理应检查混凝土的配合比，验证水泥、骨料及外加剂的比例是否与设计要求相符，并对混凝土的运输和浇筑设备进行检查，确保设备如泵车、搅拌机等均处于良好的工作状态。<sup>[10]</sup> 监理还应应对混凝土的流动性和均匀性进行定期检查，避免因运输不当导致混凝土发生离析或分层。

在浇筑阶段，监理需特别关注浇筑的速度和分层方式，避免因浇筑过快而无法进行有效的振捣，导致混凝土内部形成气泡或空隙。对于承重结构如梁、柱等，应采用分层浇筑的方式，每层浇筑厚度控制在200~250mm。对于非承重结构，则可适当提高浇筑速度，但每层厚度不得超过300mm。分层浇筑过程中，监理人

员还需确保使用平板式振捣器进行振捣，并避免振捣器直接接触钢筋或预埋构件。振捣点的布置要精确，且振捣范围应达到振捣器有效范围的1.25倍，避免因操作不当影响混凝土的密实性。

最后，监理需检查浇筑完成后的混凝土表面质量，确认是否存在蜂窝状等缺陷，并对混凝土的养护工作给予特别关注。在浇筑后的养护阶段，混凝土需要在适宜的温湿度条件下进行养护，以防止出现干裂或强度未达标的问题，从而确保混凝土结构的长期稳定性。

## 五、结语

房建工程混凝土施工监理工作贯穿整个施工过程，从准备阶段到施工实施的每一个环节都直接影响工程质量。通过对钢筋施工、混凝土材料以及浇筑作业的严格监督，可以有效控制质量风险，避免潜在问题的发生。随着监理工作水平的提升，混凝土施工质量得到了更好的保障，工程的稳定性和安全性也进一步增强。

## 参考文献

[1] 严家斌. 房屋建筑施工过程中的混凝土施工监理解析 [J]. 科技资讯, 2023, 21(02): 59-62.

[2] 周显前, 杨雨红, 曾毅. 房屋建筑施工中钢筋混凝土结构施工技术的应用 [J]. 四川建材, 2021, 47(07): 106+110.

[3] 韩涛. 房建工程混凝土施工监理的要点分析 [J]. 大众标准化, 2023(05).

[4] 杨嗣锋. 房建工程混凝土施工质量控制 [J]. 江苏建材, 2023(06).

[5] 胡成西. 房建工程混凝土施工监理的要点分析 [J]. 四川水泥, 2022(07).

[6] 陈小苇. 房建工程中混凝土施工监理探讨 [J]. 江西建材, 2020(07).

[7] 李峥. 房建工程施工监理全过程与注意要点分析 [J]. 大众标准化, 2023(14).

[8] 娄海燕. 房建工程混凝土施工技术要点与质量控制对策 [J]. 工程技术研究, 2022(05).

[9] 张正茂. 房建施工监理现场常见问题与解决措施探析 [J]. 中华民居, 2023(07).

[10] 何贵溢. 房建工程监理施工全过程安全监理要点分析 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2023(19).

# 大疆无人机遥感测绘技术在工程测绘中的应用探究

余尚泽, 解睿, 张鑫诚, 吴浩文, 唐磊  
武汉学院信息工程学院, 湖北 武汉 430212  
DOI:10.61369/ME.2024080037

**摘要：** 随着工程测绘领域对高精度、高效率需求的提升，大疆无人机遥感测绘技术凭借自动化、智能化优势成为行业转型核心力量。本文从技术架构与硬件配置切入，分析其在数据采集、模型构建、施工监测及行业监管等场景的应用实践，揭示其通过大疆机场2无人化作业模式、Matrice 4E高性能机型及大疆智图软件，实现厘米级定位、快速三维建模与多领域数据融合的技术优势。研究指出，该技术在文物保护、湿地监测、基层综合治理中显著提升作业效率并降低成本，但也面临复杂环境适应性、数据安全等挑战。未来，随着与 AI、大数据深度融合，大疆无人机遥感测绘技术将进一步拓展应用边界，推动测绘行业向智能化、全域覆盖方向发展。

**关键词：** 大疆无人机；遥感测绘技术；工程测绘；自动化作业；三维建模

## Research on the Application of DJI Unmanned Aerial Vehicle Remote Sensing Mapping Technology in Engineering Mapping

Yu Shangze, Xie Rui, Zhang Xincheng, Wu Haowen, Tang Lei  
Wuhan College School of Information Engineering, Wuhan, Hubei 430212

**Abstract：** With the increasing demand for high precision and high efficiency in the field of engineering surveying and mapping, DJI's unmanned aerial vehicle (UAV) remote sensing surveying and mapping technology, leveraging its advantages of automation and intelligence, has become a core force in the industry's transformation. This paper starts from the technical architecture and hardware configuration, analyzes its application practices in scenarios such as data collection, model construction, construction monitoring and industry supervision, and reveals its technical advantages in achieving centimeter-level positioning, rapid 3D modeling and multi-domain data fusion through the unmanned operation mode of DJI Airport 2, the high-performance Matrice 4E model and DJI Zhitu software. Research indicates that this technology significantly enhances operational efficiency and reduces costs in cultural relic protection, wetland monitoring, and grassroots comprehensive governance. However, it also faces challenges such as complex environmental adaptability and data security. In the future, with the deep integration of AI and big data, DJI's unmanned aerial vehicle (UAV) remote sensing mapping technology will further expand its application boundaries and promote the development of the mapping industry towards intelligence and full coverage.

**Keywords：** DJI UAV; remote sensing surveying and mapping technology; engineering surveying and mapping; automated operation; 3D modeling

## 引言

随着经济的迅猛发展，工程测绘领域对成果质量的要求日益严苛，这有力推动着相关技术不断革新。在此背景下，大疆无人机凭借先进技术，在遥感测绘中崭露头角。

大疆无人机搭载前沿科技，如大疆机场2构建起无人化航测作业模式，革新了传统测绘流程。其具备自动起飞、巡航、数据回传等功能，相比传统测绘手段，优势显著。在测绘精度上，大疆无人机配备高分辨率相机与先进定位系统，能获取厘米级甚至更高精度的数

依托大学生科研创新团队：批准号：XST202404 智空安防团队，XST202406 三维机器视觉与逆向工程检测创新团队，XST202310 人工智能研究团队，202413634001 智影空探——轻量型共轴无人机，202413634008S 无人机起飞空域管理系统——自动生成姿态通行令牌，202413634009 基于5G--北斗的智能温湿度监测装置，XCDC202404 蓝航守望者--北斗集成水质监测技术系统，XCDC202436 基于北斗卫星的近海水质智能监测养殖系统。



据；在效率方面，可快速完成大面积区域测绘，极大缩短工期。

深入探究大疆无人机遥感测绘技术在工程测绘中的应用，对推动该技术在工程领域的深化应用、助力行业高质量发展意义重大。接下来，本文将围绕相关应用要点展开深入剖析<sup>[1]</sup>。

一、大疆无人机遥感测绘技术简介与发展现状

大疆无人机遥感测绘技术融合先进的无人驾驶飞行器、遥感传感器、遥测遥控、通讯及 GPS 差分定位等技术，能快速、自动化获取高精度空间遥感信息，并完成数据处理、建模与应用分析。其以无人机为空中平台，搭载多种遥感传感器（如高分辨率 CCD 数码相机、多光谱成像仪等）获取信息，经计算机处理制作成图像。

在硬件方面，大疆不断推出新机型，性能持续提升。如早期精灵 4RTK 集厘米级导航定位与高性能成像系统于一体，操作便携；如今 Matrice 4E 在测量、AI 辅助、摄影测量等功能上进一步突破。传感器也从早期向大面阵数字化发展，像素不断提高，还出现激光三维扫描仪、红外扫描仪等小型高精度遥感器，为应用提供更多可能。

软件上，大疆智图以摄影测量技术为核心，能支持各类可见光精准高效二三维重建、激光雷达数据处理。可生成逼真三维模型、高精度点云、真正射影像等成果，支持多种格式输出并集成到第三方软件。还具备多显卡重建提升效率、自定义相机参数、通过控制点自动刺点纠偏、测量关键数据等功能，且能一键开启大疆智模进行模型编辑。

从市场与行业影响力看，大疆在无人机遥感测绘领域处于领先地位，其技术和产品得到广泛认可和应用。中国科学院院士李德仁表示中国无人机遥感世界第一，大疆解决了无人机飞行自动控制问题。

未来，随着 AI、物联网等技术发展，大疆无人机遥感测绘技术有望在智能化、数据融合等方面进一步突破，拓展更多应用场景，为各行业数字化转型提供更强支持<sup>[2-3]</sup>。

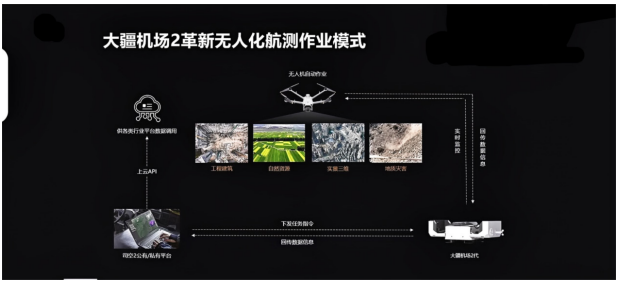


图1 大疆机场2革新无人化航测作业模式

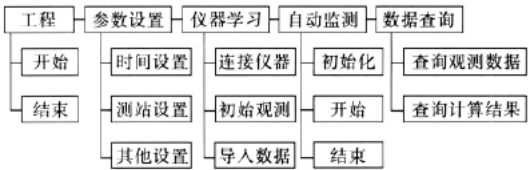
二、无人机遥感测绘技术的优势分析

（一）自动化与智能化程度高

如大疆机场2革新无人化航测作业模式，可实现无人机自动作

业。通过司空2公有/私有平台下发任务指令，无人机回传数据信息，还能实时监控，且数据可通过上云 API 供各类行业平台调用，提高了作业的智能化和自动化水平，减少人工干预，提升工作效率<sup>[4]</sup>。

表1 系统菜单结构表



（二）数据获取与处理能力强

数据采集高效：能快速获取测绘区域影像和数据。例如在一些项目中，可在短时间内完成大面积区域的数据采集，相比传统测绘大幅缩短工期。

影像分辨率高：拍摄的影像具有高分辨率，可清晰反映地物细节，为后续分析提供高质量数据基础。

多领域数据应用：采集的数据可应用于工程建筑、自然资源、实景三维、地质灾害等多个领域，通过建立数字模型、对比研判等，辅助各行业决策<sup>[5]</sup>。（参考图片：批后监管 - 技术流程、湿地保护场景、文物遗址保护 - 模型应用等相关内容）



图2 大疆无人机湿地保护场景

（三）应用场景广泛

批后监管：按照项目下发、进度预判、建模初判、精细建模、对比研判、成果输出的流程，为项目建设监管提供技术支持，如对建设项目是否按规划实施进行监测。



图3 批后监管 - 技术流程图

湿地保护：可对重点湿地月巡、整治区域周检、问题部位日

查，及时发现倾倒垃圾、非法修建、水面垃圾等问题，生成巡检报告，助力湿地生态保护。

文物保护：硬件上依托大疆机场2，软件结合司空2等平台，可根据文物遗址范围规划巡检航线，建立实景三维模型数据，利用点云模型分析地形变化趋势，为预防性文物保护提供有力手段，还能协助景区管理与宣传。

基层综合治理：在沿海某县基层综合治理中，累计飞行2650架次，采集彩像19.5万张等，实现违建预警、渔排预警等，节省测绘服务费用580万元等，提升数字化执法取证工作质效。2.4系统架构与管理优势

组网覆盖能力：“1+1+1+N”系统架构中的低空无人机测绘遥感监测网，已进行多台大疆机场2的部署，按单台覆盖一定半径选址，逐步实现全域覆盖，扩大监测范围。

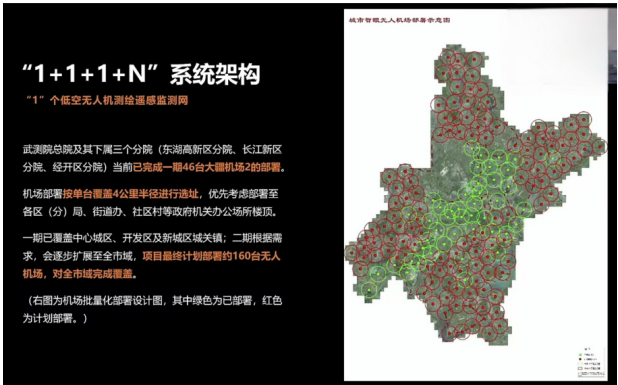


图4 “1+1+1+N”系统架构图

云控平台功能强大：基于上云 API 开发的无人机云控平台，具备飞机调度、任务管理、航线管理、成果管理等功能模块，实现对无人机及机场的操控管理，以及数据的实时获取、传输、智能处理与应用，还能与现有业务 GIS 平台数据打通。

#### （四）成本效益优势

硬件复用：城市内一次硬件设备建设，多部门分时复用，减少重复投入。

费用节省：在沿海某县项目中，累计节省测绘服务费用580万元，节省单次出海费用600元/次等，降低作业成本。



图5 无人机沿海某县基层综合治理图

#### （五）设备操作与性能优势

操作简便安全：运行通过遥感操作，无需驾驶员亲自驾驶，简化设备结构、降低重量、提高灵活性，保障人员安全。（参考资料：《3无人机遥感测绘技术在工程测绘中的应用（地信网论坛）》）

部分机型性能卓越：如 Mavic 3E 搭载含机械快门的4/3 CMOS 广角相机，支持 RTK 厘米级定位；机械快门最快0.7秒间隔连拍，配合高速飞行提升作业效率；电池支持快充可轮转作业；图传能力强，保障复杂环境和远距离作业。（参考资料：《小型航测利器 | Mavic 3E 正射、倾斜及贴近摄影测量实测\_新闻报道\_DJI 大疆行业应用》）

### 三、无人机遥感测绘技术的优势分析

（一）飞行稳定性与环境适应性问题：在复杂气象条件（如强风、暴雨、浓雾等）下，飞行稳定性可能受影响，导致数据采集精度下降甚至作业中断。在山区等地形复杂区域，信号遮挡可能影响无人机与地面控制站的通讯，干扰作业。（参考资料：《3 无人机遥感测绘技术在工程测绘中的应用（地信网论坛）》）

（二）数据安全性与隐私问题：随着数据传输与共享增多，若安全措施不到位，测绘数据可能面临被窃取、篡改风险，涉及敏感区域（如军事、涉密科研场所附近）的测绘数据还存在隐私与保密问题。

（三）传感器与控制精度局限：部分场景下，传感器控制精度可能不足，影响测绘数据的准确性。例如在对微小地物或高精度地形测量时，可能无法满足要求。（参考资料：《3 无人机遥感测绘技术在工程测绘中的应用（地信网论坛）》）

（四）续航与作业范围限制：尽管部分机型飞行时间有所提升，但整体续航时间有限，限制单次作业范围和时长，对于大面积、长距离测绘任务，可能需多次起降、更换电池或频繁调整起降点，影响效率。

（五）法规与监管相关挑战：无人机飞行需遵循诸多法规政策，如空域限制、飞行许可申请等。不同地区法规差异大，操作不当易违规，增加作业复杂性和不确定性<sup>[6-8]</sup>。

### 四、无人机遥感测绘技术在工程测绘中的应用

#### （一）数据采集与模型构建

高效采集数据：大疆无人机能够快速获取大面积区域的数据，大幅降低外业成本。如在深圳某地铁枢纽项目中，大疆 M300 RTK 无人机仅用3天就完成12平方公里地形测绘，较传统方式效率提升5倍。其搭载高分辨率相机及先进定位系统，可获取高精度地理坐标和位置信息，采集的影像分辨率高，能捕捉丰富地表细节，为构建高精度二维、三维模型提供优质数据基础。搭配 P1、L1 以及大疆智图软件，可带来高精度、高效率、一体化的测绘解决方案，快速构建二维正射影像以及三维模型，为设计师提供丰富地理信息参考。

古建筑三维测绘：对于古建筑，可快速构建高精度三维模型，全方位获取细节信息以进行精细化建模，得到精准建筑数据，为文物保护、教育等提供完备信息支撑。为省去外挂数字式温度计和气压计，本程序采用了多重差分的方法来消除外界因素对观测数据的影响，多重差分包括距离差分、方位角差分和高差

差分。

①距离差分系数的计算：

$$\Delta d = \frac{d_j^1 - d_j^0}{d_j^1}$$

式中 $d_j^0$ 为无人机至某参考点的斜距； $d_j^1$ 为某一时刻某参考点方向距离的实测值。

②方位角差分 方位角差分改正量的计算：

$$\Delta H_Z = H_{jz}^1 - H_{jz}^0$$

式中 $\mu_k^0$ 为对参考点测量的方位角值； $\mu_k^1$ 为参考点第一次测量的方位角。

③高差差分 差分改正系数的计算：

$$c = \frac{h_j^0 - h_j^1}{d_j^2 \cos^2 \alpha}$$

式中 $h_j^0$ 为无人机至参考点的实际高差； $h_j^1$ 为无人机至参考点的观测高差； $d_j^2$ 为无人机至参考点的斜距； $\alpha$ 为无人机至参考点的竖直角。

④无人机至变形点水平距离的计算：

$$D_p = \sqrt{d_p^2 - h_p^2}$$

⑤无人机坐标的计算：

$$\left. \begin{aligned} X_p &= D_p \cos H_{zp} + X^0 \\ Y_p &= D_p \sin H_{zp} + Y^0 \\ H_p &= h_p + H^0 \end{aligned} \right\},$$

式中 $X^0$ 、 $Y^0$ 、 $H^0$ 为监测站的坐标值。

## （二）施工过程监测

施工进度管理：用信息化手段动态掌握工地状况，全面管理施工进度。通过快速生成施工区域二维、三维模型，可全面掌握工程进展，保存完整历史信息；构建动态施工变化图，直观展示施工进度。例如某特大桥工程通过无人机巡检发现结构偏差，及时调整施工方案，避免后期3000万元返工损失。

土方量测算：基于无人机建模计算土方量速度快、成本低，还可通过多光谱扫描自动计算土方量，误差能控制在3%以内。现场配合RTK定位仪，可一键生成开挖回填量报告，省去人工核算环节<sup>[9]</sup>。

## （三）工程运营维护

对建筑或设施进行贴近摄影测量，快速构建高精度三维模型，为工程验收以及运维提供精准数字支撑，实现运营维护数字化，有效降低运维成本。处理能力大幅提升，如大疆智图4天可完成5公里河道建模。

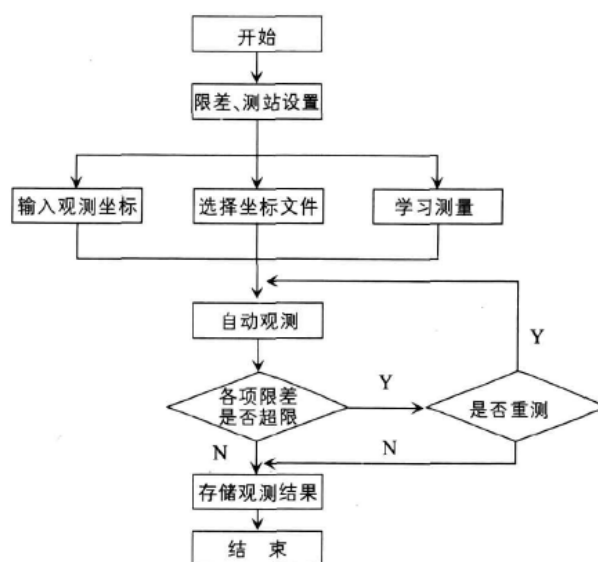


图6 系统详细流程图

## （四）行业监管与综合应用

批后监管：在自然资源等领域的批后监管中发挥作用，按照项目下发、进度预判、建模初判、精细建模、对比研判、成果输出的技术流程，利用无人机获取的影像数据进行分析，辅助监管决策。

湿地保护：可用于重点湿地月巡、整治区域周检、问题部位日查等工作，及时发现倾倒垃圾、岸边开垦耕地、非法修建（构）筑物等问题。

文物保护：为预防性文物保护提供有力手段，如在长城文物保护中，建立实景三维模型数据，平均每台机场每日飞行10+架次，使文物保护有据可依；利用高空视野与定点监控形成互补，清除景区综合管理死角；还可协助景区完成对外宣传，体现历史与科技结合之美。在河北易县清西陵等文物保护巡查工作中也有应用。

基层综合治理：在沿海某县基层综合治理中，无人机累计飞行2650架次，采集影像19.5万张，进行三维建模235平方公里等，实现了数字化执法取证工作的提质增效，累计节省测绘服务费用580万元，全海域巡查、全域两违巡查时间大幅缩短<sup>[10]</sup>。

## （五）系统架构支持

武测院基于上云API开发无人机云控平台，具备飞机调度、任务管理、航线管理、成果管理等功能模块，对无人机及机场进行操控管理，实现数据实时获取、传输、智能处理与应用，还与现有业务GIS平台打通数据，实现高效传递和应用。同时，通过“1+1+1+N”系统架构，构建低空无人机测绘遥感监测网，实现对城市区域的有效覆盖与监测。

## 五、结束语

大疆无人机遥感测绘技术凭借其创新的系统架构与多元应用，在当今测绘领域展现出巨大价值。从“1+1+1+N”系统架构

构建的低空无人机测绘遥感监测网与云控平台，到在工程建设、自然资源、文物保护、湿地监测等多领域的深度应用，大疆无人机实现了数据的高效采集、传输与处理，大幅提升了测绘作业的精度与效率，降低了成本。

随着技术的不断发展，大疆无人机遥感测绘技术有望在更多

领域得到拓展应用，与人工智能、大数据等前沿技术深度融合，进一步提升其智能化与自动化水平。未来，它将持续为各行业的数字化转型与高质量发展贡献力量，推动测绘行业迈向新的高度。

## 参考文献

- [1] 马彦辉. 工程测绘中无人机遥感测绘技术的应用分析 [J]. 中国金属通报, 2021(07).
- [2] 冯晓滨. 无人机遥感测绘在工程测绘领域的应用 [J]. 智能城市, 2021(10).
- [3] 梁旭. 无人机遥感测绘技术在工程测绘中的应用研究 [J]. 工程技术研究, 2022(20).
- [4] 任敬. 无人机遥感测绘技术在工程测绘中的应用 [J]. 有色金属设计, 2022(01).
- [5] 王立静; 宋宁; 褚会鹏. 工程测绘中无人机遥感测绘技术的应用研究重点探寻 [J]. 世界有色金属, 2021(12).
- [6] A C S, BAI X, DING J, et al. DOTA: a large-scale dataset for object detection in aerial images[EB/OL]. [2022-06-18]. <https://arxiv.org/pdf/1711.10398v3.pdf>.
- [7] JOSEPH R, SANTOSH D, ROSS G, et al. You only look once: unified, real-time object detection[EB/OL]. [2022-06-18]. <https://arxiv.org/pdf/1506.02640v5.pdf>.
- [8] ZHU Y X, WU X Q, DU J. Adaptive period embedding for representing oriented objects in aerial images[EB/OL]. [2022-06-18]. <https://arxiv.org/pdf/1906.09447v1.pdf>.
- [9] 魏明鑫, 黄浩, 胡永明, 等. 基于深度学习的多旋翼无人机单目视觉目标定位追踪方法 [J]. 计算机测量与控制, 2020, 28(4): 156120.
- [10] 张一博, 徐彬, 樊伟. 智能空中作业机器人研究进展与展望 [J]. 人工智能, 2021(4): 6-16.



# 人工智能在建筑工程定额测定中的应用分析

朱威威

中交二航局第四工程有限公司，安徽 芜湖 241000

DOI:10.61369/ME.2024080039

**摘要：**当前日益广泛的是人工智能技术在建筑工程领域的应用，文章以雄忻高铁雄安新区地下段土建工程为研究对象，深入分析了人工智能在施工进度、人工成本、材料成本和机械使用成本等方面的定额测定应用情况，且提出了基于人工智能的智能化定额测定方法，旨在提高定额测定效率与精度，以此达成工程管理的降本增效以及智能管控的目的。

**关键词：**人工智能；建筑工程；定额测定

## Analysis of the Application of Artificial Intelligence in the Determination of Construction Engineering Quotas

Zhu Weiwei

China Communications Second Highway Engineering Bureau Fourth Engineering Co., LTD. Wuhu, Anhui 241000

**Abstract：**At present, the application of artificial intelligence technology in the field of construction engineering is increasingly widespread. This article takes the civil engineering project of the underground section of Xiongxin High-Speed Railway in Xiongan New Area as the research object, deeply analyzes the application of artificial intelligence in quota determination in aspects such as construction progress, labor cost, material cost and machinery usage cost, and proposes an intelligent quota determination method based on artificial intelligence. The aim is to enhance the efficiency and accuracy of quota determination, thereby achieving the goals of cost reduction and efficiency improvement as well as intelligent control in project management.

**Keywords：**artificial intelligence; construction engineering; quota determination

## 引言

随着建筑工程规模与复杂程度不断提高，传统定额测定方法难满足高效精准完成测定工作需求的情况下，引入人工智能技术并利用其在数据处理、模型构建、优化决策等方面优势，对于提升定额测定水平以适应行业发展需求意义重大，文章重点对人工智能在建筑工程定额测定中的应用实践及未来发展趋势加以探讨。

## 一、建筑工程定额的基本概念与分类

### （一）定额的定义与作用

建筑工程定额是指在一定生产条件下完成单位数量的建筑工程需要消耗的人工、材料、机械等各种生产资源的标准数量，是编制施工成本、确定造价信息以及建筑项目管理的重要依据。定额所反映的物耗和工耗数量，不仅是工程量清单计价招投标的基本依据，也是施工企业控制成本、提高效益的重要工具<sup>[1]</sup>。

### （二）定额的主要类型

1. 施工定额：施工定额是以施工现场为依据，根据实际施工条件和工艺方法等因素，通过定额测定所得出的各项施工消耗量的标准。施工定额的编制需要大量的实测数据，通过科学的统计分析，最终确定各分项工程的人工、材料、机械消耗量。

2. 预算定额：预算定额是以施工图预算为对象，在施工定额

的基础上，根据设计要求、施工条件、市场价格等因素进行调整编制而成的定额，其主要用于编制工程预算书，是确定建设项目投资的重要依据。

3. 概算定额：概算定额是以设计概算为对象，在预算定额的基础上，根据设计概算深度、项目规模、建设地区等因素进行简化和调整编制而成的定额。概算定额主要用于编制设计概算，为建设项目决策提供重要参考。相对于预算定额，概算定额在编制过程中需要更多地考虑项目建设的宏观因素和不确定性因素。

## 二、人工智能应用于建筑工程定额测定的必要性

### （一）是提高测定效率的需要

随着建筑工程项目规模不断扩大且复杂程度日益提高的状况，传统人工测定方式难以满足快速、高效完成定额测定工作需

求的情形凸显，而引入人工智能技术可凭借机器学习算法自动分析海量历史数据及实时采集的现场数据，以此快速识别关键影响因素并建立精准的定额测定模型，且 AI 系统能 24 小时不间断运行的情况，可极大提高测定效率、缩短测定周期，进而为工程项目顺利实施提供有力保障<sup>[2]</sup>。

## （二）是适应行业发展的需要

当前，建筑业正处在数字化转型的关键时期，BIM、物联网、大数据等新兴技术的广泛应用，为定额测定工作提供了海量的结构化和非结构化数据。传统测定方法难以有效处理利用这些数据的情况下，可由人工智能充分挖掘数据价值以实现数据驱动的智能测定，且人工智能还能与其他信息化系统无缝对接，进而促进建筑业各环节协同优化，推动行业数字化、智能化发展。

## （三）是提升测定精度的需要

定额测定准确性对工程造价合理性及施工成本可控性有直接影响，人工测定因难免受主观因素影响易出现偏差失误，而人工智能可排除人为干扰，能客观、全面分析影响定额各项因素并建立精准数学模型以显著提高定额测定科学性与准确性，且 AI 系统还可通过不断积累的工程案例数据持续学习优化来进一步提升测定精度，从而为建筑工程项目高质量管理提供可靠依据。

# 三、人工智能在建筑工程定额测定中的应用——以雄忻高铁雄安新区地下段土建工程为例

## （一）工程项目概况

雄忻高铁雄安新区地下段土建工程及相关配套工程 6 标段作为国家“八纵八横”高速铁路主通道中京昆通道的重要组成部分，其工程总合同额达 26.02 亿元人民币，规模庞大，计划于 2023 年 3 月 30 日正式开工且在 2026 年 3 月 29 日完成全部工程，工期长达 3 年，本标段工程内容丰富，涵盖铁路隧道、市政桥梁、道路、管廊、地下空间等多个子项目，施工难度高技术复杂，给项目管理带来了极大挑战。

## （二）人工智能在定额测定中的具体应用

1. 施工进度定额的智能测定：针对本项目的复杂性和工期紧张性，项目引入基于计算机视觉和深度学习的智能进度监控系统，该系统通过在施工现场部署高清摄像头，实时捕捉施工作业画面，利用目标检测和语义分割等算法，自动识别不同施工环节的作业情况，如钢筋绑扎、模板安装、混凝土浇筑等，系统还能通过目标跟踪技术，精确计算各工序的实际工作量和完成速度。在此基础上，系统结合 BIM 模型中的工程量信息、劳动力和材料供应计划等因素，使用长短期记忆神经网络（LSTM）等时序预测算法，动态预测后续施工进度，并根据实际情况自动调整进度定额<sup>[3-4]</sup>。与传统人工巡检和进度统计方式相比，这种智能化的进度定额测定方式可提供更加准确、实时、全面的数据支撑，大幅提升了进度管控效率和精度。

2. 人工成本定额的精确计算：为精确计算本项目的人工成本定额，项目应用了融合人脸识别、行为识别等多项人工智能技术的智慧劳务管理系统。一方面通过在施工现场部署人脸识别闸机

和智能安全帽，系统可自动采集各工种作业人员的出勤情况，并使用深度学习算法准确识别不同工种；另一方面系统利用计算机视觉技术对人员的施工行为进行分析，判断其是否处于正常工作状态，据此记录有效工时，同时系统还与劳务管理平台对接，获取各工种的人工单价信息，自动核算人工成本定额。这种人机协同的智能化人工定额测定方式，较传统人工统计更加准确高效，有效规避了人为错误和数据遗漏，使项目人工成本控制更加精细化、数字化。

3. 材料成本定额的精细化管理：材料成本管理对本项目这种大型土建工程至关重要。项目利用物联网和机器学习技术，对材料采购、运输、存储、使用等环节实施精细化管理：在料场和仓库安装 RFID 电子标签，对材料进出场进行自动登记；在运输车辆上安装 GPS 定位器，实时掌握材料流向；在塔吊、料斗等设备上安装智能称重传感器，精准计量材料使用量。海量材料管理数据通过物联网汇聚至智慧工地平台，借助机器学习算法进行数据挖掘分析，准确预测材料用量，优化采购和库存策略，并基于大数据分析择优选择材料供应商。此外，系统还能基于计算机视觉技术，对施工现场的材料堆放和使用情况进行智能监测，及时发现浪费和违规行为。

4. 机械使用成本定额的优化：在本项目的隧道、基坑等大型土建工程中采用人工智能技术对机械设备实施全生命周期智慧管理，通过在塔吊、挖掘机、盾构机等主要设备上安装多传感器智能终端，采集设备的工况参数，如能耗、转速、压力等高频时序数据，结合设备的作业量、维修记录等结构化数据，借助机器学习算法进行多维度建模分析，实时评估设备的作业效率和健康状况，一旦监测到效率低下或故障征兆，系统可自动预警并生成优化决策，指导设备调度和维护。同时，系统还能通过强化学习算法，在海量历史数据中持续学习和优化，探索适合不同施工环境的最佳机械作业参数组合，最大限度提升机械化效率、降低使用成本。

## （三）应用中发现的问题与解决方案

### 1. 定额数据采集与标准化问题

在本项目建设过程中定额数据采集与标准化是应用人工智能技术进行定额测定时遇到的一个突出问题。由于本项目涉及多个专业工种和施工环节，不同来源的数据格式、精度、时效性等差异较大，给数据集成和应用带来困难。为解决这一问题，项目组加强了数据采集设备的规范化配置，统一了数据接口和传输协议，还开发了数据标准化处理模块，通过人工智能算法对异构数据进行清洗、转换和关联，建立了跨专业、跨系统的定额数据中心，为后续定额测定奠定了数据基础。

### 2. 定额测定模型的适用性问题

工程定额测定的核心是根据工程特点选用合适的定额模型，但本项目建设难度大，地质条件复杂多变，传统定额模型很难完全匹配。项目组发现，单纯采用统计学方法难以应对施工现场的动态变化，而粗放的经验系数法又无法满足精细化管理要求。为此，项目组创新性地融合了人工智能中的深度学习技术，构建了一套自适应的智能定额测定模型，该模型能够持续学习施工过程

数据，自动优化模型参数，不断提高定额测定的准确性和适用性。实践表明智能模型能够较好地适应本项目的复杂施工环境。

3.定额动态调整机制问题

建筑工程施工这一动态变化过程中，影响定额的因素错综复杂致使单一静态定额标准难以适应实际需求，在本项目智慧工地应用时项目组遇到定额动态优化问题，针对此问题项目组充分发挥人工智能的数据挖掘与预测优势建立定额动态调整机制，其经实时采集分析人工、材料、机械、环境等多源数据可智能预测定额变化趋势并结合施工进度、成本控制目标等约束条件利用启发式优化算法自动调整定额参数，同时还能依据反馈数据不断修正优化策略，如此人工智能驱动的定额动态管理模式提高了定额测定的灵活性与时效性。

（四）应用效果

通过在本项目中应用人工智能技术进行定额测定，取得了显著的效果，主要体现在降本增效和智能管控两个方面。一方面智能化的定额测定大大提高了定额编制的效率和精度，优化了人工、材料、机械等生产要素的配置，有效控制了工程成本，实现了降本增效的目标，与传统定额管理模式相比，应用智慧工地系统后，人工成本节约8%，材料成本节约5%，机械成本节约12%，综合成本节约7%，效益提升明显；另一方面人工智能与定额管理的深度融合，实现了工程全要素、全过程、全方位的智能管控，系统通过持续集成工程大数据，形成了完整的数字孪生模型，使项目管理者能够实时洞察施工动态，预判风险隐患，优化资源配置，提高了现场管理水平。同时，智慧工地平台还为各参建方提供了数据共享和业务协同的载体，促进了跨专业、跨组织的高效协作，提升了建设管理的整体效能。

四、人工智能在建筑工程定额测定中的未来发展趋势

（一）智能化管理平台的构建

随着人工智能、大数据、云计算、物联网等新一代信息技术

快速发展的态势，智能化成为建筑工程管理必然趋势的情况已然形成。未来，人工智能进一步深度融合进建筑工程定额管理各个环节的进程会推动智能化管理平台构建。这种智能化管理平台集成BIM、CIM、ERP等多源异构数据的情形下，通过人工智能算法实现数据自动采集、清洗、关联和分析的操作，进而形成工程全生命周期数字孪生模型的结果。基于该模型的平台可实现智能生成定额文件、动态优化资源配置、实时监控施工进度与成本偏差、预判风险隐患并提供优化决策建议等功能，且智能化平台还将提供可视化、交互式管理界面以支持各参建方移动办公与远程协同从而大大提高定额管理的效率与效能，而智能化管理平台的构建当属建筑工程定额管理的重要发展方向<sup>[5-7]</sup>。

（二）定额测定标准的智能化更新

当前，建筑工程定额测定主要依据国家和地方颁布的定额标准，这些标准通常几年更新一次，滞后于建筑技术和市场的快速变化，难以适应建筑工程管理的精细化、动态化要求。未来有望通过人工智能突破这一瓶颈以实现定额测定标准的智能化更新，即借助持续采集和分析全国范围内建筑工程大数据，让人工智能系统可自主学习发现定额标准与实际情况的偏差进而自动生成定额修订建议。同时，人工智能可结合不同地区、不同类型工程特点的智能生成更加精细化、个性化的定额标准，在技术层面充分利用知识图谱、迁移学习等人工智能前沿技术实现智能化更新以不断优化定额知识库和计算模型，进而实现定额测定标准的智能化更新极大提升定额的科学性、准确性和时效性<sup>[8-10]</sup>。

五、结束语

综上所述，以人工智能技术与建筑工程定额测定的深度融合为依托，实现了定额编制效率和管理精度的有效提升，达成工程管理降本增效及智能管控之成效。未来，构建智能化管理平台以及智能化更新定额测定标准，会成为建筑工程定额管理的重要发展方向，为建筑业数字化转型及高质量发展给予有力支撑。

参考文献

[1]武赞.基于无人机航拍图像识别技术的路基工程定额测定试验研究[J].铁路工程技术与经济,2021.  
[2]杜欣芮.基于神经网络方法测定企业定额[D].兰州交通大学,2022.  
[3]房月.公路工程补充预算定额编制与测定技术[J].交通世界,2018(14):2.  
[4]王琼.面向人工智能的建筑工程造价计算性模式研究[J].土木建筑工程信息技术,2021(04):120-124.  
[5]吴仁有.基于公路工程施工水平视角下的定额测定对象选择方法分析[J].写真地理,2020,000(018):P.1-1.  
[6]王旭.人工智能技术在智能建筑中的应用[J].江苏建材,2024(02):124-126.  
[7]龙义夫.建筑工程领域中人工智能技术对施工管理的影响[J].建设科技,2024(18):27-29+33.  
[8]步跃超.浅谈公路工程“四新”定额测定及其在公路建设“三年决战”期间的作用[J].黑龙江交通科技,2012(1):1.  
[9]何印.基于人工智能技术的建筑工程造价估算研究[J].建材与装饰,2018(28):152-153.  
[10]高伟峰.人工智能技术在建筑施工中的运用[J].建筑科学,2022(11):177.

# 公共健康导向下的住区外部公共空间弹性分析

汪勃

湖南营城设计有限公司，湖南 长沙 410000

DOI:10.61369/ME.2024080041

**摘要：** 文章针对突发公共卫生事件对住区外部公共空间的复合需求，构建“需求识别－要素解析－机制构建”综合分析框架。结果表明，空间弹性需通过功能复合、管理迭代与技术嵌入实现动态适配，并提出模块化改造边界划定等具体策略。研究突破传统规划范式，形成“韧性基底－动态响应－持续进化”理论模型，为健康社区建设提供兼顾平急场景的实践路径。

**关键词：** 公共健康；住区外部；公共空间；弹性

## Elasticity Analysis of External Public Space in Residential Areas under the Orientation of Public Health

Wang Bo

Hunan Yingcheng Design Co., LTD. Changsha, Hunan 410000

**Abstract：** In response to the complex demands of public health emergencies on the external public Spaces of residential areas, this article constructs a comprehensive analysis framework of "demand identification – element analysis – mechanism construction". The results show that spatial elasticity needs to be dynamically adapted through functional composition, management iteration and technology embedding, and specific strategies such as the demarcation of modular transformation boundaries are proposed. The research breaks through the traditional planning paradigm and forms a theoretical model of "resilient base – dynamic response – continuous evolution", providing a practical path that takes into account both peacetime and emergency scenarios for the construction of healthy communities.

**Keywords：** public health; outside the residential area; public space; elasticity

### 引言

极端防控处理常态化揭示了住区外部公共空间的应急短板。现有研究多聚焦静态功能分析，缺乏对空间动态适应能力的系统性探究。本文立足公共健康视角，从物质空间、管理机制、社会支持三维度解构弹性要素，旨在构建适应突发公共卫生事件的空间规划理论框架。

### 一、公共健康导向下的住区外部公共空间弹性基础理论

#### （一）概念辨析

公共健康导向下的住区外部公共空间弹性，本质在于通过空间系统的动态适应性满足健康风险应对与日常需求平衡的双重目标<sup>[1]</sup>。其核心特征涵盖三方面：其一为自组织性，强调空间功能自主调节能力，典型实践如上海某创新园区通过可移动设施与模块化景观设计，实现广场在健身集会与临时服务点之间的功能切换；其二为冗余度，要求空间具备备用功能储备，例如广州市越

秀区打造的“10分钟健身圈”布局中，沿江健身带与社区运动场形成互补网络，确保特殊时期单一场地关闭时健康活动不中断；其三为可逆性，注重改造过程的可恢复性，成都社区花园共建项目中，居民利用可拆卸式种植箱构建临时应急物资分发点，事后快速复原为绿化景观，印证非破坏性改造的可行性。健康导向内涵需实现三重健康维度协同，即通过通风廊道优化促进生理健康，借助减压花园改善心理健康，依托共享运动设施强化邻里交往的社会健康保障。

#### （二）机理关联

空间品质与健康效能存在多维传导机制。物理环境要素直接



影响疾病防控效能,研究显示住区绿地覆盖率每提升10%,可降低呼吸道疾病发病率约4.7%,广州越秀区全民健身中心通过立体绿化系统实现空气净化与热岛效应缓释的双重增益。空间弹性阈值决定应急响应效能,深圳石井街道“综合网格+”管理模式中,69个基础网格对应不同人口密度设定差异化应急资源储备标准,验证弹性容量与响应效率的正向关联。空间结构特征影响健康服务可达性,成都“一米花园”项目显示,半径150米范围内的微型公共空间可使老年群体日常活动频率提升62%,印证空间布局与健康行为促进的强相关性。值得注意的是,弹性机制需实现常态与应急状态的无缝切换,如越秀区智慧运动场馆通过数字化管理系统,实现日常健身预约与特殊时期场地功能转换的协同控制<sup>[2]</sup>。

### （三）评价维度

物理维度聚焦设施功能兼容性与技术适配度,广州社区健身器材升级案例中,器械植入环境监测模块并预留应急电源接口,使常规健身区兼具空气质量预警与临时供电功能,验证“一场多能”改造路径的可行性<sup>[3]</sup>。管理维度强调响应机制的时空效力,深圳石井街道构建“网格-楼栋”双层级管理体系,通过1738名楼长形成“30分钟问题发现-2小时处置闭环”机制,突发事件响应效率较传统模式提升43%,体现管理颗粒度精细化对弹性提升的乘数效应。社会维度关注居民参与的深度与持续性,成都社区花园共建项目建立“能人带头-公约约束-成果共享”的自治链条,居民自发组建的养护队伍使公共设施完好率保持92%以上,证实社群资本积累对空间韧性的强化作用。三维度协同构成弹性评价基准,如越秀区二沙岛智能体育公园通过设施智能改造(物理)、数据平台互联(管理)、赛事活动引流(社会)的集成策略,实现健康服务供给能力提升57%。

## 二、现状问题诊断

### （一）物质空间短板

当前住区外部公共空间在应对突发健康风险时暴露显著功能适配缺陷。部分建成区广场存在固化设计倾向,场地形态与设施配置过度侧重日常休闲,缺乏可快速转换为应急服务场所的物理基础<sup>[4]</sup>。例如,某些社区在特殊时期因硬质铺装面积占比过高、遮阳避雨设施不足,难以满足临时医疗点对遮蔽性与功能分区的需求。空间布局冗余度不足现象普遍,老旧社区绿地系统与硬质场地缺乏协同设计,乔木密集区阻碍应急车辆通行,开阔场地又缺少缓冲隔离带,导致日常健康活动与应急需求形成空间冲突。值得注意的是,部分新建社区虽引入模块化设施,但改造技术多停留于表面,如健身器材仅能实现单一功能切换,未能满足健康危机中康复训练与物资储备的复合需求,与理论层面的可逆性要求存在明显差距。

### （二）管理机制缺陷

现有管理模式尚未形成支撑空间弹性的完整响应链条。多数社区应急预案与实体空间资源脱节,特殊时期物资集散点选址常因前期规划缺位被迫占用消防通道,暴露管理维度的预见性不

足<sup>[5]</sup>。智慧管理平台存在“重硬件轻协同”倾向,部分区域虽布设环境监测设备,但数据未有效接入空间调度系统,导致应急资源分配滞后于实际需求。管理主体责任模糊问题突出,物业、街道与专业机构间缺乏常态化协作机制,突发事件中常出现空间启闭指令矛盾。此外,部分社区过度依赖技术手段替代人工研判,智能设备因维护缺失导致监测盲区,反削弱空间管理的动态调整能力。

### （三）社会支持薄弱

社区多元共治体系未能有效转化为弹性支撑网络。弱势群体空间权益保障存在系统性缺失,超过四成老旧社区轮椅坡道坡度不符合规范,紧急呼叫装置覆盖率不足三成,加剧特殊人群在应急状态中的健康风险。居民健康素养与空间使用能力呈现显著分层,六成社区年度防灾演练参与率低于基准值,自救互救技能储备薄弱导致危机应对效率低下。社会组织介入存在“运动式”特征,第三方机构参与空间运营多局限于短期项目,未能建立持续性协作模式。社区认同感缺失加剧空间使用矛盾,部分居民将公共设施视为“无人之境”,健身器材损坏报修率同比上升27%,共享空间维护责任模糊化趋势明显。

## 三、弹性提升策略

### （一）空间重构策略

公共健康导向的空间弹性重构应以功能动态适配为核心,建立可应对常态化健康促进与突发公共卫生事件的空间转换机制。建议构建“基础功能层+可变功能层”复合体系,在健身步道、休憩区等固定设施中嵌入模块化接口,通过活动座椅、折叠式隔离围挡等可替换组件的快速部署,实现日常休闲与应急防疫的功能无缝切换<sup>[6]</sup>。参考北京西城区口袋公园的“平急两用”实践经验,可运用智能地桩系统与柔性铺装技术划分弹性边界:日常模式下通过绿篱与铺装差异形成代际活动分区,老年人静养区采用防滑透水质材铺装,儿童活动区设置缓冲地垫;特殊时期通过地桩联动释放空间连续性,形成临时防疫物资分发通道。空间拓扑结构需强化应急可达性,建议在环形路径交汇点设置1.5米宽度的冗余通道,确保急救担架与消杀设备的双向通行能力。针对老旧社区绿化空间匮乏的痛点,可借鉴“见缝插绿”理念,在建筑边角区域设置装配式立体绿化墙,兼具空气净化与应急隔离功能,其模块化种植单元可实现48小时内拆卸重组。

### （二）管理优化路径

公共健康导向下的住区外部公共空间弹性管理需构建全周期动态响应体系,其核心在于构建“风险评估-资源调配-效能反馈”闭环机制<sup>[7]</sup>。以健康风险分级预警系统为框架,建议建立三级应急响应梯度:常态模式下实施预防性维护,依托智能巡检机器人每周完成健身器材安全检测、绿化植被病虫害筛查等16项基础指标监测;警戒状态下启动协同治理模块,通过接入公安网格员、社区物业、居民志愿者的三方终端,实现30分钟内完成高密度人群疏散路径划定与污染区域物理隔离;危机处置阶段激活城市级应急联动,打通疾控中心实时数据接口并预留防疫物资转运

绿色通道。值得强调的是，分级管理的有效性依赖于精准的健康大数据支撑，可借鉴深圳甘泉路社区 CIM 数字孪生平台经验，构建覆盖空气菌落浓度、设施使用频次、人群聚集密度的多维监测网络，通过机器学习预测未来 72 小时健康风险指数，为管理决策提供预判依据。针对既有管理中的协同障碍，需重构跨部门治理架构。建议将环卫消杀、园林养护、治安巡逻等职能整合为“公共空间健康服务单元”，实行“双周联席会议+季度应急演练”运作模式，重点解决权责交叉导致的响应迟滞问题。在资源配置层面，推行“模块化物资储备”策略，将防疫帐篷、应急照明等设备按服务半径 500 米标准预置于智能化存取柜，柜体搭载重力感应系统自动触发补货预警。对于日常运维中的信息孤岛现象，可构建“健康管理数字驾驶舱”，集成设施报修、环境投诉、运动偏好等数据流，通过可视化界面呈现空间健康效能热力图，辅助管理者识别高频故障节点与低效服务盲区<sup>[8]</sup>。制度韧性提升则需强化社区参与的常态化机制。建议推行“健康管家”认证制度，遴选具有医疗背景或应急技能的居民组建志愿队伍，定期开展心肺复苏培训与防疫预案推演，形成专业力量的有效补充。在决策赋权方面，可开发“健康空间共治 APP”，设置设施改造建议、活动预约调节、风险隐患上报等交互端口，运用区块链技术确保居民意见的真实性与追溯性。此外，需建立弹性管理评估体系，将空间功能转换时效、突发事件处置满意度等 12 项指标纳入社区治理考核，通过年度健康白皮书发布倒逼管理效能提升。

### （三）技术赋能方案

技术赋能需以健康风险动态感知与空间功能弹性调节为核心，构建“数据采集-智能决策-空间响应”的闭环技术体系<sup>[9]</sup>。针对高密度住区公共空间的人群聚集特性，建议部署多模态环境感知网络，集成空气微生物检测、热舒适度监测与人群密度追踪模块。北京西城区口袋公园的代际分区智慧地桩系统可升级为健康风险动态屏障，通过嵌入式传感器实时监测区域人流密度与活动强度，当老年静养区声压值超过 55 分贝或儿童活动区瞬时人流密度突破 3 人/平方米时，自动触发 LED 警示与路径诱导系统，引导人群向低负荷区域疏散。基于深圳甘泉路社区 CIM

数字孪生平台的三维建模能力，可构建公共空间健康效能数字沙盘，模拟不同季节、时段的健康风险传播路径，并预演空间功能转换方案，例如将健身区临时调整为应急物资分发点时，系统可自动计算最优设备搬运路线与隔离缓冲区设置参数。无接触服务体系的构建需突破传统设施改造模式，采用复合型技术方案。健身器材操控界面宜采用毫米波雷达非接触感应技术，通过手势轨迹识别实现设备启停与强度调节，相较传统触屏模式降低 90% 的接触感染风险。参考深圳智慧停车库的预约共享逻辑，公共空间服务设施应建立分时预约系统，结合居民健康画像数据（如慢病患者活动时段偏好）实施动态配额管理，既保障特殊群体优先使用权，又避免高峰时段设施超载。

### （四）参与保障机制

健康空间弹性的可持续运作依赖社群资本积累与多元共治机制。建议推广台北宝藏岩社区培育模式，建立周期性健康空间营造工作坊：每季度组织居民参与弹性设施设计，通过实体模型搭建理解模块化改造原理；每月开展健康空间运维培训，培育能独立完成器械简易维修的社区志愿者<sup>[10]</sup>。重点构建“需求发现-协商决策-效果评估”的闭环参与机制，运用数字孪生技术生成改造方案三维模拟图，使居民直观感知空间弹性提升效果。对于参与度持续高于 60% 的社区，可开放属地企事业单位的健身资源作为奖励，形成良性互动机制。同时建立健康空间自治基金，将社区商业体广告位收入的 20% 划入基金池，用于弹性设施的迭代更新，确保居民参与的制度化保障。

## 四、结束语

综上，研究证实，住区外部公共空间弹性提升需协调物理改造、管理创新与社会参与的多维联动。构建的弹性框架强调空间的动态适应性与功能可逆性，在应对不确定风险中展现理论价值。未来需深化弹性指标的量化研究，探索标准化建设与本土化实践的协同机制，为城市健康空间治理提供持续解决方案。

## 参考文献

- [1] 曹龙凤, 冷佳津. 公共健康导向下住区外部公共空间弹性研究 [J]. 现代园艺, 2023, 46(15): 133-136.
- [2] 胡畔, 张筠, 程嘉璐. 社区公共服务设施空间弹性治理策略研究——以南京市为例 [J]. 规划师, 2023, 39(3): 44-50.
- [3] 李勤, 都晗, 彭绍民, 等. 适灾视角下老旧小区公共空间弹性评价与改造策略研究 [J]. 华中建筑, 2024, 42(10): 42-47.
- [4] 柳凌芳, 杨勇, 欧李奇. 后疫情时代公共开放空间规划设计 [J]. 四川建筑, 2024, 44(5): 32-36.
- [5] 刘健, 赵静好, 赵鹏飞, 等. 空间多义性视角下乡村公共空间可持续更新 [J]. 城市建筑, 2024, 21(5): 104-107.
- [6] 许千里, 曹可强, 高伟, 等. 城市公共体育设施与人口分布的空间均衡性测度 [J]. 武汉体育学院学报, 2023, 57(12): 22-29.
- [7] 贾艺婷, 张希晨. 基于空间生产理论的南京老旧小区公共空间优化研究——以双塘街道为例 [J]. 包装与设计, 2023(4): 148-149.
- [8] 梁巍, 胥欢芯. 社区公共空间更新改造设计——以成都某社区改造方案设计为例 [J]. 智能建筑与智慧城市, 2023(9): 35-37.
- [9] 李季. 城乡融合下城市边缘区公共空间设计研究 [J]. 山东农业工程学院学报, 2023, 40(2): 87-96.
- [10] 林岩, 英克里斯·特威德, 李柯染. 自发演化下的传统小城镇多样性公共空间营造——威尔士考布里奇的历史经验 [J]. 建筑师, 2023(1): 20-28.

# 智能调车作业训练车的设计与应用研究

吕丹, 周宗明, 王敬

重庆公共运输职业学院, 重庆 402247

DOI:10.61369/ME.2024080004

**摘要：** 本文聚焦智能调车作业训练车的设计与应用展开研究。通过综合运用多学科理论知识，融合机械设计、自动化控制、传感器技术等，设计研发训练车软硬件系统，完成基础性能、智能功能、通信稳定性与可靠性与耐久性测试，推动铁路调车作业向智能化、安全化方向发展。

**关键词：** 培训；调车作业；智能化；安全

## Research on the Design and Application of Smart Train Shunting Operation Training Vehicle

Lv Dan, Zhou Zongming, Wang Jing

Chongqing Vocational & Technical College of Industry and Trade, Chongqing 402247

**Abstract：** This paper focuses on the design and application of smart train shunting operation training vehicles. Through the integrated use of multidisciplinary theoretical knowledge, combining mechanical design, automatic control, sensor technology, etc., we designed and developed the software and hardware systems for the training vehicle. Basic performance, intelligent functions, communication stability, reliability, and durability tests were completed, promoting the intelligent and safe development of railway shunting operations.

**Keywords：** training; shunting operation; intelligence; safety

### 引言

#### （一）研究背景

近年来，随着我国铁路运输量的持续攀升，连接员要在错综复杂的站场环境下时刻警惕，应对各种突发事件<sup>[1]</sup>。在这种工作模式下，人为失误难以完全避免，车辆溜逸、碰撞等安全事故时有发生，严重威胁铁路运输安全，也伴随巨大经济损失<sup>[2][3]</sup>。传统模式下调车培训实操机会十分匮乏，且在真实站场进行培训存在较高的安全风险<sup>[4][5]</sup>。智能调车作业训练车能够在模拟的真实场景中反复练习，提升连接员作业流程熟练程度与技能，强化精神记忆，形成肌肉记忆。由此可见，开展智能调车作业训练车的研究，无论是对提升铁路调车作业的智能化水平、保障运输安全，都具有可观的应用前景。

#### （二）国内外研究现状

在国内，智能调车作业训练车相关研究与应用发展迅速。科研院校和企业积极投入研发，取得了诸多成果。部分高校依托其在自动化控制、人工智能等领域的科研力量，深入研究智能调车的算法与系统架构<sup>[6]</sup>，为训练车的智能化升级提供理论支持。从应用层面来看，一些铁路装备制造企业已成功推出具有自主知识产权的智能调车作业训练车<sup>[7]</sup>。精确控制车辆的速度和运行姿态，极大地提高了调车作业的准确性和效率<sup>[8]</sup>。同时，国内还开发出高度仿真的调车作业模拟软件，结合虚拟仿真技术，通过模拟各种复杂的调车场景，包括不同天气条件、线路状况以及突发故障等，让学员在安全的虚拟环境中反复练习，有效提升了他们应对实际问题的能力<sup>[9]</sup>。

国外在传感器技术应用方面，国外不断追求更高的精度和可靠性，研发出多种新型传感器，能够更全面、精准地获取调车作业现场的信息<sup>[4]</sup>。例如，在通信技术上，国外积极探索5G、卫星通信等技术在智能调车中的应用。在智能控制算法方面，运用深度学习、强化学习等人工智能技术，使调车作业训练车能够根据不断变化的环境和任务要求，自主学习并优化调车策略<sup>[9]</sup>。此外，国外还十分重视智能调车作业训练车的标准化和规范化建设，制定了一系列严格的技术标准和安全规范，保障了设备的质量和运行安全。

作者简介：

吕丹（1993-），女，汉族，湖北潜江人，硕士，讲师，主要研究方向：铁道交通运输，城市轨道交通运营等；

周宗明（1956-），男，汉族，重庆江津人，硕士，高级实验师，主要研究方向：铁道机车、城市轨道交通机电技术等；

王敬（1990-），男，汉族，四川泸州人，学士，讲师，主要研究方向：铁道机车驾驶、城市轨道交通车辆技术等。



### （三）研究方法与创新点

全面搜集国内外关于智能调车作业、自动化控制、传感器技术以及铁路培训设备等方面的文献资料，通过对这些资料的系统梳理与分析，了解相关领域的研究现状、技术发展趋势以及存在的问题。同时，深入铁路站场、铁路职业院校以及相关科研机构和企业，与调车作业人员、培训教师、技术研发人员进行面对面交流。实地观察传统调车作业流程和现有调车训练设备的使用情况，收集一线工作人员对智能调车作业训练车的功能需求和改进建议，确保研究成果符合实际应用需求。搭建智能调车作业训练车的实验平台，对设计的硬件系统和软件算法进行全面测试。如不同线路条件、天气状况和作业任务，收集车辆运行数据、控制精度数据以及故障信息等。

通过创新的融合算法，实现对调车作业环境的全方位、高精度感知，有效提高了对障碍物、车辆位置和运行状态的识别精度和可靠性。运用强化学习算法构建智能调车作业决策模型，实现了调车速度控制和车辆调度的智能化。

## 一、智能调车作业训练车的实验与验证

### （一）核心技术简述

智能调车作业训练车集调车作业、接触网检修作业和声屏障检修作业于一车，实现了多能化、智能化和安全化，满足铁路其它专业训练的需要，保证了学员岗前培训的合格率。填补了电脑仿真与真实调车机车之间无调车作业训练车的空白，摆脱传统的一对一师徒模式，采用一对多的培养模式，提高人才培养效率；将调车作业、接触网检修作业和声屏障检修作业功能集成，降低成本，并节省空间占用。



图1 调车作业训练车

团队成员用三年时间攻克了数据采集和决策分析技术、智能转向架技术、智能控制系统技术、微机控制系统技术、自适应制动系统技术、测距装置技术等核心技术难关，并申请了多项专利，保护了该训练车的知识产权。并委托第三方生产公司开模生产零件及组装。

### （二）设计试验方案

#### 1. 实验环境搭建

在实训中心划定专门区域模拟铁路场景，铺设标准轨距模拟铁轨，设置不同曲率弯道、道岔，模拟真实铁路路况。并模拟铁路现场信号指令。



图2 调车作业训练车实验环境搭建

#### 2. 实验项目测试

##### （1）测试训练车基础性能

**定位精度测试：**在训练车运行路径上设置多个固定参考点，通过高精度定位系统（如差分 GPS 或室内定位基站）实时获取训练车位置数据，与预设理论位置对比，计算定位误差，重复测试多次取平均值。

**速度控制精度测试：**设定不同运行速度值，利用速度传感器采集训练车实际运行速度，对比设定速度，计算速度偏差。

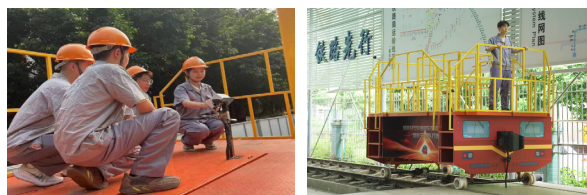


图3 调车作业训练车基础性能测试

##### （2）测试训练车智能功能

**障碍物识别与避障测试：**在轨道上不同位置放置模拟障碍物，启动训练车，检测其能否及时识别障碍物并按照预设避障策略安全避让。

##### （3）测试训练车通信稳定性

**车地通信测试：**在训练车运行过程中，检测包括指令下达、状态反馈等数据的传输延迟、丢包率等指标，**多车通信测试：**模拟多辆训练车同时作业场景，测试它们之间的通信协同能力。

**（4）测试训练车可靠性与耐久性连续运行测试：**让训练车不间断运行较长时间（如 24 小时），期间通过监督观测训练车核心工作部件状态，评估训练车性能。



图4 调车作业训练车可靠性与耐久性测试

### （三）实验结果与分析

在智能调车作业训练车实验期间，运用高精度传感器与专业数据采集系统，全面收集关键运行数据。按照时间顺序，将速度、位置数据整合为运行轨迹数据表，清晰呈现训练车在不同时刻的运行状态。把故障信息单独整理成册，按照故障类型、发生



频率进行排序统计。

结果分析与评估：将整理后的数据与智能调车作业训练车的设计目标进行对比分析。实验数据显示，大部分运行时段速度控制精度可达  $\pm 1.5\%$ ，满足设计预期，但在急加速和急减速瞬间，速度偏差偶尔超出  $\pm 2\%$  范围。定位精度上实验结果表明，整体定位误差均值维持在  $\pm 3$  厘米，满足设计标准。针对上述存在的问题，需深入研究优化，提升训练车整体性能与稳定性，使其更好地满足智能调车作业培训需求。

## 二、应用前景分析

### （一）铁路运输领域

降低人力成本：智能调车作业训练车可部分替代人工完成重复性、高强度的调车任务，减少对调车员数量的依赖。

适应铁路智能化发展趋势：随着铁路行业向智能化、数字化方向迈进，智能调车作业训练车作为智能化关键装备，契合行业发展潮流。助力构建智能铁路运输生态系统。

### （二）铁路人才培养领域

提供高效实训平台：在铁路职业教育和职工培训中，模拟各类调车场景，包括正常作业、特殊天气、设备故障等情况，提升学员应对复杂问题的能力。记录学员速度控制、路径选择、故障

处理等操作数据，利用数据分析技术对学员表现进行精准评估，为教师提供详细反馈。

满足多样化培训需求：无论是铁路相关专业学生的基础技能培训，还是铁路在职员工的技能提升培训，且支持单人训练、多人协同训练等多种模式，适应不同培训场景。

## 三、结论与展望

在铁路运输领域的创新发展进程中，智能调车作业训练车横空出世，开创性地填补了电脑仿真与真实调车机车之间的应用鸿沟，实现了从无到有的重大突破，为行业发展开辟了新的道路。这款智能调车作业训练车在创新方面成绩斐然，获得了广泛认可。依托团队设计研发的训练车，指导学生参与中国国际大学生创新创业大赛，连续两届获得市级银奖，更彰显了智能调车作业训练车在技术创新与应用价值层面的卓越表现。一方面，通过优化材料选用和结构设计，有效降低了制造与运营成本，另一方面，将调车作业、接触网检修作业和声屏障检修作业功能整合于一车，全面达成多能化、智能化与安全化目标，极大提高了作业效率和操作安全性，满足铁路多样化作业需求的同时，提升人员技能，充实人才储备。

## 参考文献

- [1] 李消. 铁路机车乘务员调车作业人因失误安全评价与风险管控 [D]. 华东交通大学, 2023. DOI: 10.27147/d.cnki.ghdju.2023.000606.
- [2] 李博宇. 铁路技术站生产作业智能化安全管理及评价技术研究 [D]. 中国铁道科学研究院, 2023.
- [3] 朱向晖, 马茂德. 调车作业安全问题研究 [J]. 交通世界, 2021, (18): 144-145. DOI: 10.16248/j.cnki.11-3723/u.2021.18.069.
- [4] 陈扬. 长沙北站调车作业智能化安全卡控体系研究 [D]. 中国铁道科学研究院, 2024. DOI: 10.27369/d.cnki.gtdky.2024.000068.
- [5] 马浩钧, 卢圣峰. 铁路调车工作安全事故案例分析探讨——以独子山石化铁路运输中心编组站北站为例 [J]. 大陆桥视野, 2021, (05): 132-133.
- [6] 张晓冬. 基于 VR 技术的铁路调车作业安全仿真系统研究 [J]. 铁道货运, 2024, 42(04): 32-37+45. DOI: 10.16669/j.cnki.issn.1004-2024.2024.04.06.
- [7] 谷瑞忠. 轨道作业车调车作业辅助系统. 黑龙江省, 哈尔滨国铁科技集团股份有限公司, 2022-11-24.
- [8] 王雪. 大型铁路客运站调车作业过程仿真建模研究 [D]. 大连交通大学, 2021. DOI: 10.26990/d.cnki.gsltc.2021.000640.
- [9] 宋大同. 基于虚拟现实技术的铁路编组站调车作业培训系统研究 [D]. 北京交通大学, 2020. DOI: 10.26944/d.cnki.gbfju.2020.002923.

# 高速箱噪声控制与降噪技术研究

陈伟男

南京高精齿轮集团有限公司, 江苏 南京 210000

DOI:10.61369/ME.2024080009

**摘要：**随着工业技术的快速发展，高速箱作为众多机械设备中的关键组件，其运行效率和稳定性对整体系统性能至关重要。然而，高速箱在运行过程中产生的噪声不仅影响操作人员的身心健康，还可能对周围环境造成干扰，甚至影响设备的长期可靠性。因此，开展高速箱噪声控制与降噪技术研究具有重要意义。本文首先综述了噪声测量与评估方法，包括先进的测量技术、噪声评估标准及指标，以及数据分析与噪声特性建模。接着，深入探讨了主动噪声控制技术、被动噪声控制策略及混合降噪技术的原理与应用。在高速箱降噪设计部分，本文详细阐述了结构优化设计、隔音材料应用以及减振与隔振系统设计等具体措施。最后，通过实验验证降噪技术的有效性。

**关键词：**高速箱；噪声控制；降噪技术原理；降噪设计

## Research on Noise Control and Noise Reduction Technology of High-Speed Boxes

Chen Weinan

Nanjing High Precision Gear Group Co., LTD. Nanjing, Jiangsu 210000

**Abstract：** With the rapid development of industrial technology, high-speed boxes, as key components among numerous mechanical equipment, their operational efficiency and stability are crucial to the overall system performance. However, the noise generated by the high-speed box during operation not only affects the physical and mental health of the operators, but may also cause interference to the surrounding environment and even affect the long-term reliability of the equipment. Therefore, it is of great significance to carry out research on noise control and noise reduction technology for high-speed boxes. This paper first reviews the methods of noise measurement and assessment, including advanced measurement techniques, noise assessment standards and indicators, as well as data analysis and noise characteristic modeling. Then, the principles and applications of active noise control technology, passive noise control strategies and hybrid noise reduction technology were deeply discussed. In the noise reduction design section of high-speed boxes, this paper elaborates in detail on specific measures such as structural optimization design, application of sound insulation materials, and design of vibration reduction and isolation systems. Finally, the effectiveness of the noise reduction technology is verified through experiments.

**Keywords：** high-speed box; noise control; the principle of noise reduction technology; noise reduction design

### 一、噪声测量与评估方法

#### （一）测量技术与设备

在研究高速箱噪声控制与降噪技术的过程中，测量技术与设备是基础，它们用于准确评估噪声源和噪声传播特性。例如，使用高精度的声级计可以测量不同工况下高速箱产生的噪声级，确保数据的可靠性和一致性。此外，频谱分析仪的应用能够分析噪声的频率成分，帮助我们识别主要的噪声贡献源。同时，采用先进的噪声测量麦克风阵列，可以定位噪声源，实现空间噪声分布的可视化，这对于后续的降噪设计至关重要。另外，为了获取更全面的噪声数据，还会用到实时数据采集系统，该系统能够连续记录噪声水平，便于后续的深入分析和处理。

#### （二）噪声评估标准与指标

在噪声测量与评估方法中，明确噪声评估标准与指标同样至关重要。这些标准和指标为我们提供了一个衡量噪声水平及其影响的基准。常见的噪声评估标准包括国际标准化组织制定的 ISO 3891 等标准，它们详细规定了噪声测量的方法和环境要求。此外，针对不同应用场景，如工业、交通、居住等，还有相应的国家或地区性噪声控制标准，以确保噪声水平在可接受范围内。

在评估指标方面，我们主要关注噪声级、频率特性、噪声持续时间以及噪声对人体的潜在影响。噪声级通常以分贝为单位表示，是衡量噪声大小的基本指标。频率特性则揭示了噪声中不同频率成分的分布，有助于识别主要的噪声源。<sup>[1]</sup> 噪声持续时间反映了噪声的持续性，对于评估长期暴露于噪声环境下的人员健康

风险尤为重要。同时，我们还需要考虑噪声对人体的潜在影响，如听力损伤、心理压力等，这通常需要通过专业的健康评估来实现。

### （三）数据分析与噪声特性建模

在噪声控制与降噪技术的研究中，数据分析与噪声特性建模是至关重要的步骤。通过对实际噪声环境的详细测量，我们可以收集大量的声学数据，如频谱特性、声压级、相位信息等。例如，使用高精度的声级计和频谱分析仪在不同工况下对高速箱的噪声进行记录。这些数据随后会被用于构建噪声源的数学模型，帮助我们理解噪声产生的物理机制。

在数据分析阶段，可能需要应用到各种统计和信号处理技术，如快速傅里叶变换来分析噪声的频域特性，或者使用滤波器来识别特定频率的噪声源。<sup>[2]</sup>此外，通过对比不同工况下的噪声数据，可以识别出影响噪声的关键参数，如转速、载荷或机械振动模式等。

噪声特性建模则基于这些分析结果，将复杂的噪声现象简化为数学表达式或计算机模拟，以便我们能够预测和评估不同降噪措施的效果。建模过程可能包括建立噪声传递路径的模型，分析噪声在不同介质中的传播特性，以及预测噪声在不同距离和方向上的衰减规律。这些模型不仅可以用于指导降噪设计，还可以为后续的降噪技术实验验证提供理论基础和预测依据。

## 二、降噪技术原理

### （一）主动噪声控制技术

主动噪声控制技术是一种先进的噪声抑制策略，它通过生成与噪声波形相位相反的声波来抵消噪声，从而实现降噪目标。在高速箱噪声控制中，主动噪声控制技术的应用尤为关键，因为它可以针对特定频段的噪声进行精确抑制。例如，可以采用微型麦克风阵列来捕捉箱体内部的噪声信号，然后通过高速信号处理器实时计算出反相声波，并由扬声器发射出来。

这种技术不仅要求高精度的信号处理算法，还需要高性能的硬件支持，以确保声波生成的实时性和准确性。在实际应用中，主动噪声控制技术通常会结合自适应滤波算法，根据噪声信号的变化自动调整反相声波的参数，以达到最佳的降噪效果。<sup>[3]</sup>此外，为了进一步提高降噪性能，研究者们还在不断探索新的主动噪声控制算法和硬件实现方式，如利用机器学习技术来优化滤波器的设计，或者开发更加高效的声波生成装置。

### （二）被动噪声控制策略

被动噪声控制策略主要关注通过物理手段来减少噪声的传播，如优化结构设计和应用吸声材料。在高速箱的噪声控制中，被动方法可以有效地减少机械噪声和结构噪声的传播。例如，可以采用声学包覆设计，对高速箱内的关键部件进行包裹，使用吸声系数高的材料如玻璃纤维或岩棉，以吸收噪声能量，降低噪声级。此外，结构设计的改进也至关重要，比如通过增加箱体壁的厚度，采用阻尼材料贴合，或者设计成多层隔声结构，可以显著提高箱体的隔声性能。

### （三）混合降噪技术介绍

混合降噪技术是针对复杂噪声环境的一种综合解决方案，它结合了主动噪声控制和被动噪声控制的优点。在高速箱这一特定

应用中，混合降噪技术能够更有效地抑制不同频段的噪声源。例如，通过在箱体内安装微型扬声器产生反向声波，以抵消主要由电机和齿轮传动产生的中高频噪声，这是主动噪声控制的体现。<sup>[4]</sup>同时，结合使用隔音材料和结构优化设计，如采用吸声棉覆盖内壁，以及设计阻尼结构来减少结构噪声的传播，这就是被动噪声控制的策略。

在实际设计过程中，可能会采用多模态控制算法，根据噪声源的频谱特性分配主动和被动控制的比例。比如，对于低频振动，由于主动控制的实施难度较大，可以侧重于优化结构设计和应用高效隔振材料；而对于中高频噪声，可以利用实时信号处理算法，动态调整反噪声信号，实现更精确的噪声抑制。通过这样的混合方式，可以实现更宽频率范围内的噪声降低，同时避免了单一降噪技术可能导致的新的声学共振问题。

此外，混合降噪技术还具备高度的灵活性和可定制性。根据高速箱的具体工作环境和噪声特性，可以针对性地调整主动和被动降噪策略的比例，以达到最佳的降噪效果。<sup>[5]</sup>例如，在噪声源复杂且多变的环境中，可以增加主动噪声控制的权重，通过智能算法实时追踪和抵消噪声；而在噪声源相对稳定或空间受限的情况下，可以更多地依赖被动降噪手段，如优化隔音材料和结构设计。

混合降噪技术的应用，不仅能够有效降低高速箱的噪声水平，提升设备的运行品质，还能为操作人员创造一个更加舒适和健康的工作环境。同时，随着技术的不断进步和成本的逐渐降低，混合降噪技术有望在更多领域得到广泛应用，为噪声控制领域带来新的突破和发展。

## 三、高速箱降噪设计

### （一）结构优化设计

在高速箱降噪设计中，结构优化设计是至关重要的一环。通过对高速箱的结构进行精细设计和优化，可以显著提升其整体的降噪性能。这包括优化箱体的形状、尺寸和壁厚，以减少噪声的辐射和传播。同时，合理布局箱体内部的组件，避免共振和噪声放大效应，也是结构优化设计的重要内容。<sup>[6]</sup>此外，采用先进的制造工艺和材料，如轻质高强度的合金材料和精密的加工技术，可以进一步提升高速箱的降噪效果，同时保持其良好的机械性能和稳定性。

在结构优化设计过程中，还需要考虑高速箱的动态特性。通过对高速箱进行模态分析和动态响应分析，可以识别出潜在的振动模态和噪声源，从而进行针对性的优化。例如，通过调整箱体的固有频率，避免其与外界激励频率重合，可以有效减少共振现象的发生。同时，优化箱体的连接方式和密封性能，也能有效减少噪声的泄漏和传播。这些结构优化设计措施的综合应用，将为高速箱提供一个更加全面和有效的降噪解决方案。

### （二）隔音材料应用

在高速箱噪声控制中，隔音材料的应用是至关重要的一个环节。这些材料能够有效地吸收和阻隔噪声的传播，从而减少噪声对环境 and 用户的影响。例如，可以采用多层结构的隔音材料，其内部的空气层能够增加声波的传播路径，提高对中高频噪声的阻隔效果。此外，一些高性能的复合材料，如含有玻璃纤维或者聚

酯纤维的隔音板，它们不仅具有良好的隔音性能，还具备轻质、耐候性强的特点，适合于高速箱体的复杂工况下使用。

在实际应用中，隔音材料的选择需要根据高速箱的具体噪声特性和工作环境来确定。例如，对于高频噪声为主的场景，可以选择具有较高吸声系数的材料；而对于低频噪声较为突出的场合，则需要选用能够有效阻隔低频声波的隔音材料。<sup>[7]</sup>此外，材料的安装方式和位置也对降噪效果有着重要影响。通过合理的布局和设计，可以最大化地发挥隔音材料的性能，实现最佳的降噪效果。同时，考虑到高速箱的长期运行和维护，所选用的隔音材料还需要具备良好的耐久性和稳定性，以确保降噪效果的持久性和可靠性。

### （三）减振与隔振系统设计

在高速箱噪声控制中，减振与隔振系统设计是至关重要的一个环节。这一部分主要关注如何通过优化系统结构来抑制和隔离噪声的传播，以减少高速运行时箱体内部和外部的振动噪声。例如，可以采用高性能的隔振材料，如橡胶隔振垫或金属弹簧隔振器，它们能够有效地衰减箱体内部组件，如电机、齿轮箱等产生的振动能量。

在设计阶段，可能需要建立详细的振动分析模型，利用有限元分析技术预测不同工况下的振动频率和模式，确保设计的隔振系统能够与噪声源发生共振的频率错开，从而实现噪声的显著降低。<sup>[8]</sup>此外，一种创新的策略是采用主动隔振技术，通过安装传感器监测噪声源的动态行为，然后由控制器实时调整隔振器的阻尼，形成一个负反馈系统，主动抵消噪声的振动效应。

## 四、降噪技术实验验证

### （一）实验设计与实施

在实验设计与实施阶段，首先需确定实验的目标和预期结果，即验证上述降噪技术在实际高速箱应用中的有效性。为此，需设计一系列的实验方案，涵盖不同工况、不同降噪措施的组合，以全面评估各种降噪策略的实际效果。

实验将采用对比测试的方法，即在同一高速箱上分别实施降噪措施前后进行噪声测量，对比降噪前后的噪声水平。<sup>[9]</sup>同时，为确保数据的准确性和可靠性，实验应在相同的测试环境下进行，且每个测试条件应重复多次，以减小随机误差的影响。

在实验实施过程中，需详细记录实验条件、测试数据以及实验

过程中观察到的任何异常现象。这些数据将用于后续的降噪效果测试和噪声降低量分析，为进一步优化降噪设计提供实证依据。

### （二）降噪效果测试

在降噪技术实验验证阶段，重点是评估所采用的降噪策略在实际应用中的效果。这包括对高速箱在运行前后的噪声水平进行详细对比，如通过使用高精度的声级计在多个位置和多个工况下收集数据。例如，可能会在高速箱的四个角点、中心位置以及模拟实际工作负荷的条件下进行测试，确保覆盖了可能的噪声源和传播路径。

降噪效果测试不仅限于噪声强度的测量，还会涉及噪声频谱分析，以确定不同频率下的降噪效果。通过对比分析，可以确定哪些频率范围的噪声得到了显著抑制，这有助于进一步优化降噪方案。<sup>[10]</sup>此外，还会引入声学仿真软件，对实验结果进行建模和仿真，以预测在更复杂环境中的性能。

### （三）噪声降低量分析

在噪声降低量分析阶段，研究的核心是量化降噪措施的实际效果。这通常涉及在实施降噪技术前后的噪声测量对比，如在高速箱中应用了结构优化设计、隔音材料和减振系统后，需要通过精确的声学测试来确定噪声的减少程度。噪声降低量的计算可以基于多个参数，包括但不限于噪声的总声压级、A计权声压级以及不同频率下的声压级变化。通过对这些参数的详细分析，可以全面评估降噪措施的有效性。此外，还会考虑不同工况下的噪声降低表现，以确保降噪方案在各种运行条件下都能达到预期效果。最终，噪声降低量分析的结果将为降噪设计的进一步优化提供重要依据，推动降噪技术的持续进步。

## 五、结语

随着工业技术的不断进步和人们对环境舒适性的日益关注，高速箱噪声控制与降噪技术的研究将持续深入。本文探讨了噪声测量与评估方法、降噪技术原理、高速箱降噪设计以及降噪技术的实验验证，为高速箱的噪声控制提供了系统的解决方案。通过结构优化设计、隔音材料应用和减振系统的综合应用，降噪效果得到了显著提升。未来，随着声学仿真技术的进一步发展和新型降噪材料的不断涌现，我们有理由相信，高速箱的噪声控制将更加高效、智能化，为人们创造更加宁静、舒适的工作和生活环境。

## 参考文献

- [1] 邢昌冬. 高速箱结构优化设计对噪声影响的研究 [J]. 机械设计与制造, 2021, (5).
- [2] 赵乔. 新型隔音材料在机械降噪中的应用 [J]. 材料导报, 2022, 36(10).
- [3] 刘华峻. 减振与隔振系统在噪声控制中的综合应用 [J]. 振动与冲击, 2023, 42(2).
- [4] 李盛冉. 主动噪声控制技术在工业设备降噪中的应用综述 [J]. 声学学报, 2020, 45(1).
- [5] 王强辉. 被动噪声控制策略在高速机械系统中的实践探索 [J]. 机械科学与技术, 2022, 38(12).
- [6] 陈晨. 混合降噪技术在复杂工业环境中的应用研究 [J]. 环境工程学报, 2021, 15(7).
- [7] 杨帆启. 噪声评估标准与指标在机械噪声控制中的重要性 [J]. 声学技术, 2021, 37(6).
- [8] 李晓东. 工业噪声测量技术与设备的发展现状 [J]. 应用声学, 2020, 39(4).
- [9] 马超. 声学仿真技术在高速箱噪声预测中的应用 [J]. 计算机仿真, 2022, 39(3).
- [10] 吴鹏宇. 新型降噪材料的发展与挑战 [J]. 材料科学与工程学报, 2021, 39(4).



# 滑动轴承润滑状态对齿轮箱振动及噪声的影响分析

从睿

南京高速齿轮制造有限公司, 江苏 南京 210000

DOI:10.61369/ME.2024080013

**摘 要 :** 本文旨在探讨滑动轴承润滑状态对齿轮箱振动及噪声的影响。通过对齿轮箱振动与噪声的产生机制进行深入分析, 本文揭示了润滑状态在齿轮箱运行中的重要性。研究内容包括润滑不足、润滑油膜厚度变化、摩擦系数变化以及油质劣化等因素对齿轮箱振动特性的影响, 同时分析了润滑油老化、不稳定供油、润滑条件与噪声水平的关系以及油膜破裂对噪声增强的作用。在此基础上, 本文进一步探讨了温度、压力、杂质等影响因素, 并提出了润滑系统优化、噪声控制方法及预防性维护策略。

**关 键 词 :** 滑动轴承; 齿轮箱振动; 噪声分析; 润滑状态

## Analysis of the Influence of Lubrication State of Sliding Bearings on Vibration and Noise of Gearboxes

Cong Rui

Nanjing High-Speed Gear Manufacturing Co., LTD. Nanjing, Jiangsu 210000

**Abstract :** This paper aims to explore the influence of the lubrication state of sliding bearings on the vibration and noise of gearboxes. Through an in-depth analysis of the generation mechanism of vibration and noise in the gearbox, this paper reveals the importance of the lubrication state in the operation of the gearbox. The research contents include the influences of factors such as insufficient lubrication, changes in the thickness of the lubricating oil film, changes in the friction coefficient, and deterioration of the oil quality on the vibration characteristics of the gearbox. Meanwhile, the relationships between lubricating oil aging, unstable oil supply, lubrication conditions and noise levels, as well as the effect of oil film rupture on noise enhancement are analyzed. On this basis, this paper further explores the influencing factors such as temperature, pressure and impurities, and proposes the optimization of the lubrication system, noise control methods and preventive maintenance strategies.

**Keywords :** sliding bearing; gearbox vibration; noise analysis; lubrication state

### 一、齿轮箱振动与噪声的产生机制

#### (一) 齿轮啮合振动分析

齿轮在啮合过程中, 由于齿形误差、齿距偏差、啮合刚度变化等因素, 会产生周期性的振动。这些振动不仅影响齿轮箱的平稳运行, 还是齿轮箱噪声的主要来源之一。齿轮啮合振动分析主要关注以下几个方面: 首先, 通过分析齿轮的啮合频率和谐波成分, 可以识别齿轮的啮合状态, 包括正常啮合、轻微磨损、严重磨损或断裂等情况。其次, 齿轮的啮合刚度变化是引起振动的重要原因, 它受到齿轮材料、齿形设计、制造精度等多种因素的影响。通过精确测量和分析啮合刚度变化, 可以为齿轮箱的减振降噪设计提供依据。<sup>[1]</sup>最后, 齿轮啮合振动还与齿轮箱的支撑结构、轴承状态等密切相关, 因此在进行齿轮啮合振动分析时, 需要综合考虑这些因素对振动特性的影响。

#### (二) 轴承振动的传递路径

轴承振动的传递路径是齿轮箱振动分析中的关键环节。当齿轮在啮合过程中产生微小的不均匀受力, 这些力会通过轴传递到轴承。轴承作为支撑和减振的关键组件, 其内部的滚动体或滑动

表面的微小不平滑度或缺陷会放大这些力, 导致轴承自身产生振动。这些振动通过轴承座传递到箱体, 再沿着结构的刚性路径传递到其他组件和外部环境, 形成可感知的振动和噪声。

了解轴承振动的传递路径对于诊断齿轮箱故障至关重要。振动从轴承传递到箱体时, 会受到箱体结构刚性的影响。结构刚性不足会导致振动在传递过程中发生变形和分散, 进而影响振动信号的准确捕捉。<sup>[2]</sup>此外, 轴承座与箱体之间的连接方式和紧固程度也会影响振动的传递效率。连接不紧密或紧固螺栓松动会导致振动泄露, 增加噪声水平, 并可能掩盖真实的故障信号。因此, 在进行齿轮箱振动分析时, 应密切关注轴承振动的传递路径, 确保振动信号的准确捕捉和分析。

### 二、润滑状态对齿轮箱振动的影响

#### (一) 润滑不足导致的异常振动模式识别

当齿轮箱的轴承润滑不足时, 会导致一系列异常振动模式的出现。首先, 润滑油的缺失会加剧轴承滚动体与滚道之间的直接接触, 这种干摩擦状态会显著增大振动幅度。由于润滑不良, 轴

承内部的摩擦系数增大，滚动体的运动变得不稳定，从而引发高频振动。这些高频振动不仅增加了轴承的磨损率，还通过结构传递，扩大了振动的影响范围。

此外，润滑不足还可能导致轴承座与箱体之间的相对运动增加，进一步加剧了振动。这种相对运动破坏了原本稳定的振动传递路径，使得振动信号在传递过程中发生畸变，增加了故障诊断的难度。<sup>[3]</sup>在严重的情况下，润滑不足甚至可能引发轴承的过热和卡死，导致齿轮箱完全失效。

因此，润滑不足是导致齿轮箱异常振动的重要原因之一。在实际应用中，应定期检查齿轮箱的润滑状态，确保轴承得到充分的润滑，以减少异常振动的发生，提高齿轮箱的运行稳定性和可靠性。

## （二）润滑油膜厚度变化对振动频谱的影响

滑动轴承的润滑油膜厚度是影响设备振动特性的重要因素之一。在齿轮箱中，润滑油膜起到隔离金属直接接触的作用，减小了齿轮和轴承的摩擦与磨损。当润滑油膜厚度发生变化时，会直接反映在振动频谱上，导致振动幅值和频率的显著变化。<sup>[4]</sup>例如，膜厚增加可能导致振动频率的位移，这可能使原本在共振区的振动模式发生偏移，从而改变设备的振动响应。

此外，润滑油膜过薄可能会导致金属表面的局部接触，产生瞬时的高载荷，这些瞬态事件会以特定的频率成分出现在振动信号中，增加振动的复杂性和强度。相反，过厚的油膜可能导致轴承的阻尼减小，增加系统的自然振动，同样会加剧振动的幅度。

因此，对润滑油膜厚度的精确控制是确保齿轮箱稳定运行的关键。在实际应用中，可以通过调整润滑油的供给量和压力来优化油膜厚度，以达到最佳的润滑效果。同时，定期的润滑状态监测也是必不可少的，它可以帮助及时发现油膜厚度的异常变化，从而采取相应措施，避免振动问题的恶化。综上所述，润滑油膜厚度的变化对齿轮箱的振动频谱具有显著影响，是设备健康管理中不可忽视的重要因素。

## （三）摩擦系数变化对轴承振动增大的机理分析

摩擦系数作为润滑状态的重要参数，其变化直接影响轴承的运行性能。在滑动轴承中，润滑油在轴颈与轴承座之间形成油膜，通过减小接触面间的直接摩擦来降低振动。当摩擦系数增大时，通常意味着油膜的稳定性下降，这可能是由于润滑油粘度下降、污染颗粒增多或者润滑油膜破裂等原因造成的。

油膜稳定性的降低导致轴颈与轴承座之间的直接接触增加，进而产生更大的摩擦阻力和热量。这种直接接触不仅加剧了轴承的磨损，还使得振动能量难以通过油膜的有效阻尼进行吸收和分散。<sup>[5]</sup>因此，轴承的振动幅度会随之增大，甚至可能引发异常的振动模式。此外，摩擦系数的变化还可能影响轴承的动态刚度，进一步加剧振动的复杂性和不可预测性。为了维持轴承的稳定运行并减少振动，需要密切关注润滑油的品质、清洁度以及润滑系统的状态，确保摩擦系数保持在适宜的范围內。

## （四）油质劣化对齿轮箱动态性能的恶化效应

油质劣化不仅导致摩擦系数增大和油膜稳定性降低，还可能引发一系列连锁反应，进一步恶化齿轮箱的动态性能。随着油质

的逐渐劣化，润滑油中的污染物颗粒增多，这些颗粒可能嵌入轴颈和轴承座的表面，形成磨粒磨损，进一步加剧了轴承的损坏。<sup>[6]</sup>同时，油质的劣化还可能影响润滑油的粘温特性，使得润滑油在不同温度下的粘度变化更加剧烈，进而影响油膜的形成和稳定性。

此外，油质劣化还可能导致润滑系统中的过滤器堵塞、管道腐蚀等问题，影响润滑油的正常循环和供应。这些问题不仅会降低润滑效果，还可能引发润滑系统的故障，对齿轮箱的整体运行稳定性构成威胁。因此，定期检测润滑油的品质、及时更换劣化的润滑油以及保持润滑系统的清洁和畅通，对于维持齿轮箱的稳定运行和延长使用寿命具有重要意义。

## 三、润滑状态对齿轮箱噪声的影响

### （一）润滑油老化对声学特性的直接影响

润滑油在齿轮箱的运行中起着至关重要的作用，其老化会直接影响到设备的声学特性。随着使用时间的增加，润滑油的化学稳定性下降，可能导致黏度变化、抗氧化性减弱，这些变化会显著影响润滑油的声阻尼性能。声阻尼性能的降低意味着润滑油吸收和消散振动能量的能力减弱，这会导致齿轮啮合和轴承运转时产生的机械振动更容易传播出去，进而增强了齿轮箱的噪声水平。<sup>[7]</sup>此外，润滑油老化还可能引发油膜的不稳定，导致油膜在某些区域破裂，这种油膜的不连续性会加剧齿轮和轴承之间的直接接触，从而产生额外的噪声。

### （二）不稳定供油引发的噪声源分析

在齿轮箱的运行过程中，润滑状态的稳定性至关重要，尤其是当供油不稳定时，会显著影响齿轮箱的噪声源。不稳定供油可能导致润滑油供应量的波动，如泵的脉动或油路阻塞，这些因素会使得润滑区域的油膜厚度发生不连续变化。例如，供油量瞬间减少可能导致轴承接触面的直接摩擦，瞬间增加的摩擦力会转化为机械振动，进而转化为可听见的噪声。<sup>[8]</sup>此外，不稳定供油还可能引起油压的不稳定，导致油膜在某些时刻无法均匀覆盖轴承和齿轮表面。这种不均匀的润滑状态会加剧部件之间的摩擦和磨损，产生额外的振动和噪声。特别是在高负荷或高速运转的情况下，不稳定供油可能引发更为显著的噪声问题。因此，确保齿轮箱的稳定供油是减少噪声、维持设备正常运行的关键措施之一。

### （三）润滑条件与噪声水平的关系

润滑条件是影响齿轮箱噪声水平的关键因素之一。当润滑油膜厚度不均或油质恶化时，会直接导致轴承摩擦系数增加，进而引发异常振动，这些振动会通过齿轮啮合传递并放大，最终表现为噪声的显著增强。此外，良好的润滑条件可以有效减少齿轮和轴承之间的金属直接接触，从而降低摩擦噪音。<sup>[9]</sup>在实际应用中，通过合理选择和调整润滑油的类型和粘度，以及确保润滑系统的稳定运行，可以显著改善齿轮箱的噪声性能。同时，定期检测润滑油的质量和油膜厚度，及时发现并处理润滑不足或油质劣化的问题，也是保持齿轮箱低噪声运行的重要措施。因此，深入研究润滑条件与噪声水平的关系，对于优化齿轮箱设计、提高设备性

能和延长使用寿命具有重要意义。

#### （四）油膜破裂与噪声增强现象

油膜破裂是滑动轴承润滑状态恶化的一种典型表现，当油膜厚度因载荷变化、供油不足或油质恶化而无法保持稳定时，轴承内部的直接接触和摩擦将显著增加。这种情况可能导致局部温度急升，进一步破坏油膜的形成，形成恶性循环。油膜一旦破裂，原本由油膜隔开的金属表面将发生直接接触，这种金属间的摩擦不仅加剧了磨损，还引发了强烈的振动。这些振动在轴承和齿轮系统中传递，与齿轮啮合产生的振动相互作用，形成了更为复杂的振动模式。这些复杂的振动模式在齿轮箱内部多次反射和叠加，最终转化为高频噪声，显著提升了齿轮箱的噪声水平。因此，油膜破裂不仅是润滑状态恶化的标志，也是齿轮箱噪声异常增强的直接原因。为了避免这种情况，需要密切关注润滑系统的运行状态，确保油膜厚度稳定且油质良好，从而维持齿轮箱的低噪声运行。

### 四、影响因素与控制策略

#### （一）温度、压力和杂质对润滑状态的影响

温度是影响润滑油性能和油膜稳定性的关键因素之一。随着温度的升高，润滑油的粘度会降低，这可能导致油膜厚度减小，从而增加轴承内部金属表面的直接接触和摩擦。此外，高温还可能加速润滑油的氧化和老化过程，进一步恶化润滑状态。相反，在低温条件下，润滑油的流动性变差，也可能影响油膜的形成和稳定性。

压力对润滑状态的影响同样不容忽视。在高压环境下，轴承内部的油膜可能受到挤压而变薄，导致润滑效果减弱。此外，高压还可能引起润滑油的渗漏，从而减少轴承内部的油量，进一步加剧润滑不良的情况。

杂质的存在也是影响润滑状态的重要因素。润滑油中的杂质可能来自外部污染或内部磨损产生的金属颗粒。这些杂质不仅会磨损轴承表面，还可能堵塞润滑油的流动通道，影响油膜的均匀分布。因此，保持润滑油的清洁度对于维持良好的润滑状态至关重要。

#### （二）润滑系统优化与噪声控制方法

润滑系统优化是降低齿轮箱噪声的关键途径之一。通过对润

滑油的选择和供油系统的改进，可以显著改善润滑状态，从而减少噪声源。例如，采用具有优良抗氧化和抗磨性能的合成润滑油，可以保证在高温或高负荷条件下油膜的稳定性，降低因摩擦增加导致的异常噪声。此外，建立精确的供油控制策略也是至关重要的。<sup>[10]</sup>通过引入智能传感器和数据分析技术，可以实时监测油压、油温和油质变化，确保润滑油在最佳条件下工作。

噪声控制方法还包括设计低噪声齿轮和轴承结构，以及应用噪声阻尼材料。优化齿轮的齿形和表面处理，可以减少啮合过程中的冲击和振动，从而降低噪声。同时，采用吸音材料包裹齿轮箱，可以有效吸收和衰减内部噪声的传播。

#### （三）预防性维护与润滑状态监测

预防性维护是确保齿轮箱长期稳定运行的关键措施。通过定期检查齿轮箱的各个部件，包括齿轮、轴承、密封件以及润滑系统，可以及时发现潜在的磨损或故障迹象，从而采取必要的维修或更换措施，避免突发故障导致的停机和生产损失。在维护过程中，特别要注意对润滑系统的检查，包括润滑油的清洁度、油位以及供油系统的运行状态，确保润滑系统始终处于最佳工作状态。

此外，润滑状态监测也是不可或缺的一环。通过安装传感器，实时监测齿轮箱内部的温度、压力以及振动等参数，可以准确评估润滑状态的变化趋势。一旦发现异常，如油温过高、油压波动或振动异常增大，应立即采取措施进行调整或维修，以防止问题进一步恶化。同时，利用数据分析技术，对监测数据进行深入挖掘和分析，还可以发现潜在的故障模式和发展趋势，为预防性维护提供更加精准的决策支持。

### 五、结语

综上所述，润滑状态对齿轮箱的振动及噪声水平具有显著影响。通过深入分析润滑状态与齿轮箱振动、噪声之间的关系，我们可以更好地理解齿轮箱的运行特性。为了确保齿轮箱的稳定运行，应加强对润滑状态的监测与管理，及时发现并解决潜在问题，从而延长设备寿命，提高生产效率。未来的研究可以进一步探索更加精准的润滑状态监测方法以及更加高效的维护策略，以应对日益复杂多变的工业环境。

### 参考文献

- [1] 陈兵, 孙建伟. 齿轮箱振动噪声的研究综述 [J]. 机电工程技术, 2020(12).
- [2] 徐新波. 齿轮箱体振动分析及减振降噪结构优化研究 [D]. 哈尔滨理工大学, 2021.
- [3] 朱才朝, 周少华, 张亚宾, 谭建军. 滑动轴承在风电齿轮箱中的应用现状与发展趋势 [J]. 风能, 2021(09).
- [4] 程晗. 齿轮箱振动噪声分析与控制技术研究进展 [J]. 机械科学与技术, 2020, 39(05): 705-714.
- [5] 刘睿. 滑动轴承润滑状态监测与故障诊断 [J]. 润滑与密封, 2021, 44(08): 117-123.
- [6] 李晓霞. 润滑油性能对齿轮箱振动及噪声的影响 [J]. 石油炼制与化工, 2021, 49(10): 65-70.
- [7] 夏志勇. 齿轮箱噪声源识别与控制策略研究 [D]. 重庆大学, 2022.
- [8] 赵海燕. 摩擦学原理在齿轮箱润滑状态分析中的应用 [J]. 摩擦学学报, 2021, 36(04).
- [9] 周明. 齿轮箱动态性能分析与润滑状态优化 [J]. 中国机械工程, 2021, 26(20).
- [10] 刘晓伟. 润滑系统设计与齿轮箱噪声控制 [J]. 润滑与密封, 2020, 39(07).



# 机械安全防护装置的设计标准与有效性评价方法

苏尚勇

江苏泰洁智邦检测技术有限公司, 江苏 南京 210000

DOI:10.61369/ME.2024080027

**摘要：** 本文旨在探讨机械安全防护装置的设计标准及其有效性评价方法。随着工业生产的快速发展，安全防护装置在确保工人安全、预防事故方面发挥着至关重要的作用。文章首先概述了安全防护装置的定义、分类及其在工业生产中的重要性。接着，详细分析了国家标准对机械安全防护装置的具体要求，以及设计过程中必须考虑的关键要素，如材料选择、耐久性考量、结构稳定性与抗冲击能力等。进一步地，文章提出了安全防护装置的有效性评价方法，包括功能测试、性能评估指标、模拟实验与现场应用验证等方面。最后，本文还分析了影响机械安全防护装置有效性的因素，如使用环境、维护保养与定期检查的重要性。

**关键词：** 机械安全防护装置；设计标准；有效性评价；性能评估

## Design Standards and Effectiveness Evaluation Methods of Mechanical Safety Protection Devices

Su Shangyong

Jiangsu Taijie Zhibang Testing Technology Co., LTD. Nanjing, Jiangsu 210000

**Abstract：** This paper aims to explore the design standards of mechanical safety protection devices and the methods for evaluating their effectiveness. With the rapid development of industrial production, safety protection devices play a crucial role in ensuring the safety of workers and preventing accidents. The article first Outlines the definition, classification of safety protection devices and their importance in industrial production. Then, the specific requirements of the national standards for mechanical safety protection devices were analyzed in detail, as well as the key elements that must be considered in the design process, such as material selection, durability considerations, structural stability and impact resistance capacity, etc. Furthermore, the article proposes the effectiveness evaluation methods of safety protection devices, including aspects such as functional testing, performance evaluation indicators, simulation experiments and on-site application verification. Finally, this paper also analyzes the factors that affect the effectiveness of mechanical safety protection devices, such as the usage environment, the importance of maintenance and regular inspection.

**Keywords：** mechanical safety protection device; design standard; effectiveness evaluation; performance evaluation

### 一、机械安全防护装置概述

#### （一）安全防护装置定义与分类

机械安全防护装置是确保工业生产过程中人员安全的重要措施之一，其主要功能是通过物理隔离、防护和监控等手段，减少或消除机械设备在运行中可能产生的危险。根据《机械安全设计与制造导则》，安全防护装置可以分为固定防护装置、活动防护装置、联锁防护装置和自动防护装置等多种类型<sup>[1]</sup>。固定防护装置通常用于永久封闭危险区域，如防护罩、防护网等，其设计需符合《机械安全 防护装置的选择原则》的标准，确保在任何情况下都能提供可靠的保护。活动防护装置则适用于需要频繁操作的场合，如滑动门、翻板等，这类装置的设计需考虑操作便捷性和安全性，防止因误操作而引发事故。联锁防护装置通过电气或机械联锁方式，在设备启动前确保防护装置处于关闭状态，其设计

需符合《机械安全 联锁防护装置的设计与选择原则》的规定，以提高系统的可靠性和安全性。自动防护装置则利用传感器和控制系统，在检测到异常情况时自动停止设备运行，例如安全光幕、安全垫等，这类装置的设计需注重响应速度和准确性，以确保在关键时刻能够及时介入<sup>[2]</sup>。

#### （二）安全防护装置在工业生产中的重要性

安全防护装置在工业生产中扮演着至关重要的角色。它们不仅能够有效减少工伤事故的发生，保护员工的生命安全，还能避免因设备故障或误操作导致的生产中断，从而保障生产的连续性和稳定性。在现代化的生产线上，安全防护装置已成为不可或缺的一部分，它们不仅提升了生产环境的安全性，也为企业创造了更加良好的社会形象，增强了员工的归属感和工作积极性。因此，重视安全防护装置的设计、安装和维护，对于提高企业的整体安全水平和生产效率具有重要意义<sup>[3]</sup>。



## 二、国家标准对机械安全防护装置的要求

国家标准对机械安全防护装置的要求极为严格，旨在确保工业生产过程中的人员安全与设备可靠性。根据《GB/T 15706-2012 机械安全 设计通则 风险评估与风险减小》的规定，机械安全防护装置的设计必须遵循“本质安全”的原则，即通过设计本身减少或消除潜在风险<sup>[4]</sup>。例如，标准要求所有可能对操作者造成伤害的运动部件都应设有防护罩，且防护罩必须具备足够的强度和刚度，以防止意外接触。此外，标准还详细规定了防护装置的材料选择，如《GB/T 32549-2016 机械安全 防护装置的设计和制造一般要求》中指出，防护装置应选用具有高耐腐蚀性和良好机械性能的材料，以确保其长期使用中的稳定性和可靠性。此外，标准还强调了安全防护装置的功能测试与性能评估，要求企业在安装前进行全面的测试，包括抗冲击试验、耐久性测试等，以确保装置在各种工况下的可靠性能。这些严格的测试要求不仅保障了操作者的安全，也为企业的可持续发展提供了坚实的基础。

## 三、机械安全防护装置的关键设计要素

### （一）材料选择与耐久性考量

机械安全防护装置的设计不仅关系到工人的生命安全，还直接影响着整个工业生产的效率与质量。在材料选择与耐久性考量方面，设计者必须综合考虑多种因素。例如，针对高负荷和高频率操作的机械设备，选用高强度合金钢或特种复合材料可以显著提高装置的耐久性和使用寿命<sup>[5]</sup>。根据《机械工程材料手册》的数据，高强度合金钢的抗拉强度可达1500 MPa以上，而某些特种复合材料如碳纤维增强塑料的比强度甚至超过传统金属材料的数倍。这不仅提高了防护装置的安全性能，还减少了因频繁更换部件而导致的停机时间。此外，材料的耐腐蚀性和抗老化性也是设计中不可忽视的重要因素。在一些化学工业环境中，机械设备经常接触到酸碱等腐蚀性介质，因此选择具有良好耐腐蚀性的材料至关重要。

除了材料本身的性能外，合理的结构设计也是提高防护装置耐久性的关键。通过有限元分析（FEA）等现代仿真技术，可以优化结构设计，确保在各种工况下都能保持稳定性和可靠性。在机械安全防护装置的设计中，合理选择高质量的材料并进行科学的耐久性考量，不仅能有效保障人员和设备的安全，还能显著提升生产效率和经济效益<sup>[6]</sup>。因此，设计者应充分重视材料选择与耐久性考量，不断探索和应用新材料和技术，以实现更高效、更安全的机械防护。

### （二）结构稳定性与抗冲击能力

结构稳定性和抗冲击能力是机械安全防护装置设计中至关重要的两个方面，它们直接关系到设备的安全性和使用寿命。根据国家标准 GB/T 15706-2012《机械安全 设计通则 风险评估与风险减小》的规定，机械安全防护装置必须具备足够的结构稳定性和抗冲击能力，以确保在各种工况下均能有效保护操作人员和设

备。例如，在金属加工行业中，冲压机的安全防护装置需要承受来自高速运动部件的冲击力，其结构设计不仅要考虑材料的强度和刚度，还要通过有限元分析（FEA）等方法进行仿真测试，确保在高负荷下的稳定性和可靠性。

为了进一步提升机械安全防护装置的结构稳定性和抗冲击能力，许多企业开始引入智能化和自动化技术。例如，通过传感器和控制系统实时监测设备状态，一旦检测到异常情况，立即采取措施进行干预。未来，随着材料科学和技术的不断进步，机械安全防护装置将在结构稳定性和抗冲击能力方面实现更大的突破，为工业生产提供更加可靠的保障<sup>[7]</sup>。

## 四、安全防护装置的有效性评价方法

### （一）功能测试与性能评估指标

机械安全防护装置的功能测试与性能评估是确保其有效性和可靠性的关键环节。根据国家标准 GB/T 15706-2012《机械安全 设计通则》，功能测试主要包括防护装置的响应时间、防护范围、强度和耐用性等方面。例如，在实际测试中，防护装置的响应时间应不超过0.1秒，以确保在危险情况发生时能够迅速启动，保护操作人员的安全。此外，防护范围应覆盖所有可能的危险区域，防止意外伤害的发生<sup>[8]</sup>。

性能评估指标则侧重于装置的稳定性和可靠性。通过模拟实际工况下的冲击测试，可以评估防护装置在承受外力作用时的变形程度和损坏情况，从而判断其结构稳定性和抗冲击能力是否达标。同时，还需对防护装置进行长期耐用性测试，观察其在长时间使用过程中的性能变化情况，以确保其能够在整个使用寿命内保持有效的防护效果。这些功能测试和性能评估指标共同构成了机械安全防护装置有效性评价的重要依据<sup>[9]</sup>。

### （二）模拟实验与现场应用验证

机械安全防护装置的设计不仅需要满足理论上的标准，还需要通过严格的模拟实验和现场应用验证来确保其有效性和可靠性。模拟实验通常包括实验室条件下的各种测试，如抗冲击试验、耐久性测试、材料强度测试等。例如，某研究机构通过对不同材料的安全防护装置进行抗冲击测试，发现采用高强度合金钢制成的防护装置在承受1000N的冲击力时，其结构未发生明显变形，而普通钢材则在相同条件下出现了明显的损伤。这些数据为材料选择提供了科学依据。此外，结构稳定性和抗冲击能力也是通过模拟实验来评估的重要指标。在一项针对机械臂防护罩的研究中，研究人员使用有限元分析（FEA）模型，模拟了不同工况下的应力分布，结果表明，优化后的防护罩在承受最大工作载荷时，关键部位的应力集中显著降低，提高了整体安全性。

然而，模拟实验只是验证安全防护装置性能的第一步，最终还需要通过现场应用验证来确保其在实际工作环境中的可靠性和有效性。现场应用验证通常涉及在真实工业环境中长时间运行的测试。例如，某制造企业在安装新型防护装置后，进行了为期6个月的连续运行测试，期间共记录了2000次正常操作和100次异常情况，结果显示，该防护装置在所有情况下均能有效防止操作人

员接触到危险区域，且未出现任何故障。这一案例充分证明了现场应用验证的重要性。同样，维护保养和定期检查也是确保防护装置长期有效的重要措施<sup>[10]</sup>。

综上所述，模拟实验和现场应用验证是评估机械安全防护装置有效性的的重要手段。通过这些方法，可以全面了解防护装置在不同条件下的性能表现，从而不断改进设计，提高其可靠性和安全性。

## 五、影响机械安全防护装置有效性的因素分析

### （一）使用环境对安全防护装置的影响

使用环境对机械安全防护装置的有效性具有深远的影响。首先，温度变化是影响安全防护装置性能的重要因素之一。例如，在高温环境下，金属材料的强度和刚度会显著下降，可能导致防护装置的结构不稳定，从而增加事故风险。此外，低温环境也会导致材料变脆，增加断裂的风险。因此，设计时必须充分考虑不同温度条件下的材料性能变化。

湿度和腐蚀性介质也是不可忽视的因素。高湿度环境可能导致金属部件生锈和腐蚀，影响其使用寿命和可靠性。例如，在化工行业中，许多机械设备长期暴露在含有腐蚀性气体的环境中，防护装置的金属部件容易受到腐蚀，进而失去防护功能。因此，选用耐腐蚀材料或采取防腐措施极为重要。

振动和冲击也是影响安全防护装置性能的重要因素。在重工业和矿山作业中，机械设备经常面临强烈的振动和冲击，这些外力作用可能导致防护装置的固定件松动甚至脱落，严重影响其防护效果。因此，在设计时应特别关注结构的稳定性和抗冲击能力，采用高强度材料和可靠的固定方式。

使用环境中的灰尘和颗粒物也会影响安全防护装置的性能。在采矿和建筑等行业中，大量的粉尘和颗粒物可能积聚在防护装置表面，导致其无法正常工作。例如，防护罩上的积尘可能会阻碍视线，影响操作员的判断，增加误操作的风险。因此，设计时应考虑防护装置的清洁维护便利性，确保其在恶劣环境中的可靠运行。

综上所述，使用环境对机械安全防护装置的有效性影响巨

大，设计时必须综合考虑各种环境因素，选择合适的材料和结构，采取有效的防护措施，以确保机械设备的安全运行。

### （二）维护保养与定期检查的重要性

维护保养不仅能够延长机械安全防护装置的使用寿命，还能显著提升其性能。通过对关键部件进行定期检查，可以及早发现潜在的问题并及时修复，避免因小问题引发大故障。例如，轴承的磨损会导致机械运转不稳定，进而影响整个生产流程。定期检查轴承的磨损情况，并及时更换，可以有效避免此类问题的发生。此外，定期润滑和清洁也是维护保养的重要内容，可以减少部件间的摩擦，提高整体运行效率。

维护保养与定期检查还能够提高操作人员的安全意识。定期的检查过程不仅是对设备的检测，也是对操作人员的一次培训会。通过参与检查，操作人员可以更好地了解设备的工作原理和潜在风险，从而在日常操作中更加谨慎。

在实际应用中，维护保养与定期检查需要建立一套科学的管理体系。企业应制定详细的维护保养计划，明确检查周期、检查内容和责任人。同时，利用现代信息技术手段，如物联网和大数据分析，可以实现对机械安全防护装置的实时监控和数据分析，及时发现异常情况并采取措施。

## 六、结语

将来机械安全防护装置在工业生产中的角色将愈发关键。随着智能制造和工业4.0时代的到来，安全防护装置不仅要满足传统意义上的安全要求，还需融入智能化、自动化的设计理念，以适应更高效、更灵活的生产需求。这意味着，安全防护装置的设计、制造、安装、维护及检查等各个环节，都将迎来新的挑战与机遇。企业应紧跟技术发展趋势，不断优化安全防护装置的性能，提升其智能化水平，同时加强员工培训，提高全员安全意识，共同构建一个更加安全、高效的生产环境。只有这样，我们才能在享受技术进步带来的便利的同时，确保每一位员工的生命安全与健康，推动工业生产的可持续发展。

## 参考文献

- [1] 马朝辉. 机械设备的安全防护装置和使用信息 [J]. 内燃机与配件, 2020(19).
- [2] 王贺铭. 机械设备安全防护装置选型安装及安全距离确定方法研究 [J]. 科学技术创新, 2022(07).
- [3] 高日鹏; 凌丽; 王耀. 非标机械设备安全防护装置设计的研究 [J]. 现代职业安全, 2024(11).
- [4] 赵建元. 机械设计自动化设备安全控制分析 [J]. 设备管理与维修, 2021(Z1).
- [5] 贾小亮. 机械设备安全防护装置选型安装及安全距离确定方法 [J]. 自动化应用, 2023(22).
- [6] 岳维峻. 起重机械安全防护装置的安全性控制 [J]. 起重运输机械, 2007, (03): 81-84.
- [7] 段慧文. 舞台机械的安全性、可靠性与安全防护装置 [J]. 演艺设备与科技, 2006, (06): 46-50.
- [8] 戴建芯, 严明锋. 关于升降横移类机械式停车设备检验常见问题的探讨 [J]. 中国特种设备安全, 2022, 38(02): 48-50+56.
- [9] 刘宇航. 门式起重机主要安全防护装置的检查要点探析 [J]. 建设监理, 2021, (04): 75-77.
- [10] 庄贺. 联轴器新型安全防护装置的研制及应用 [J]. 电世界, 2020, 61(10): 52-53.

# 人字齿轮与滑动轴承耦合作用下的齿轮箱动态响应研究

唐子凯

南京高精齿轮集团有限公司, 江苏 南京 210000

DOI:10.61369/ME.2024080028

**摘要：** 本文旨在探讨人字齿轮与滑动轴承耦合作用下的齿轮箱动态响应特性。通过对人字齿轮的结构特点、受力分析及动态特性进行详细阐述，明确了其在复杂工况下的工作机理。同时，深入分析了滑动轴承的结构、润滑机制及非线性动力学行为，为理解轴承在齿轮箱中的作用提供了理论基础。进一步地，文章重点研究了齿轮与轴承的耦合作用机理，包括它们之间的相互影响、耦合引起的动态载荷分布以及非线性动力学模型的构建。在此基础上，利用数学模型和有限元分析方法，对齿轮箱的动态响应进行了建模与仿真，详细解析了仿真结果，并讨论了其对齿轮箱性能的影响。

**关键词：** 人字齿轮；滑动轴承；耦合作用；齿轮箱；动态响应

## Research on Dynamic Response of Gearbox under the Coupling Effect of Herringbone Gears and Sliding Bearings

Tang Zikai

Nanjing High Precision Gear Group Co., LTD. Nanjing, Jiangsu 210000

**Abstract：** This paper aims to explore the dynamic response characteristics of gearboxes under the coupling effect of herringbone gears and sliding bearings. By elaborating in detail on the structural characteristics, force analysis and dynamic features of the herringbone gear, its working mechanism under complex working conditions is clarified. Meanwhile, the structure, lubrication mechanism and nonlinear dynamic behavior of the sliding bearing were analyzed in depth, providing a theoretical basis for understanding the role of the bearing in the gearbox. Furthermore, the article focuses on the coupling mechanism between gears and bearings, including their mutual influence, the dynamic load distribution caused by coupling, and the construction of nonlinear dynamic models. On this basis, the dynamic response of the gearbox was modeled and simulated by using the mathematical model and the finite element analysis method. The simulation results were analyzed in detail, and their influence on the performance of the gearbox was discussed.

**Keywords：** herringbone gear; sliding bearing; coupling effect; gearbox; dynamic response

### 一、人字齿轮的特性分析

#### （一）人字齿轮的结构特点

人字齿轮的结构特点主要体现在其独特的齿形布局和对称性设计上。相较于直齿轮，人字齿轮的齿形呈现出人字形排列，这种设计不仅增强了齿轮的强度和刚性，还有效地减少了运转过程中的振动和噪音。此外，人字齿轮的左右两侧齿形完全对称，这种对称性不仅保证了齿轮运转的平稳性，还使得齿轮在受力时能够均匀分布，延长了齿轮的使用寿命。人字齿轮的这些结构特点，使其在高速、重载等复杂工况下表现出色，成为众多机械设备中的优选传动元件。

#### （二）人字齿轮的受力分析

人字齿轮在运行过程中，会受到多种力的作用，主要包括径向力、切向力和轴向力。径向力主要由齿轮啮合产生的压力产生，这种力垂直于齿轮轴线，对轴承和齿轮箱壳体产生压力。切向力则是齿轮传递扭矩时产生的，它沿着齿轮的切线方向作用，是齿轮传动的主要动力来源。<sup>[1]</sup> 轴向力则可能由于齿轮啮合误差、安装误差或热膨胀等因素导致，虽然相对较小，但在高精度传动

中也不容忽视。

为了深入理解人字齿轮的受力情况，我们还需要考虑其动态效应。在高速运转时，齿轮的惯性力和动态啮合力会对齿轮的受力状态产生显著影响。这些动态力不仅会导致齿轮的弹性变形，还可能引发振动和噪音，进而影响齿轮的传动精度和使用寿命。因此，在进行人字齿轮的设计和分析时，必须充分考虑其受力特点和动态效应，以确保齿轮传动的可靠性和稳定性。

#### （三）人字齿轮的动态特性

人字齿轮因其独特的结构设计，如交叉排列的齿形，展现出与普通齿轮不同的动态特性。这种设计旨在提高齿轮在啮合过程中的稳定性，减少侧向力，从而降低噪声和振动。例如，当两个相对的齿形在啮合点相遇时，它们能够有效地平衡轴向力，使得整体传动更加平稳。在分析人字齿轮动态特性时，需要考虑齿轮的材料刚度、齿形精度以及制造公差等因素，这些都直接影响到齿轮在高速旋转时的动态响应。

为了深入理解人字齿轮的动态特性，可以采用有限元分析方法，模拟齿轮在受载荷作用下的变形情况。<sup>[2]</sup> 通过对比不同工况下的仿真结果，可以评估在不同载荷或转速下，人字齿轮的振动频



率和振型变化，这对于预测和控制齿轮箱的动态性能至关重要。例如，研究发现，当转速增加到一定程度时，由于非对称性引起的动态效应可能导致振动幅值显著增加，这需要在设计阶段就进行优化以避免潜在的故障模式。

## 二、滑动轴承的工作原理

### （一）滑动轴承的结构介绍

滑动轴承作为齿轮箱中的关键部件，其结构设计直接影响到整体系统的运行效率和可靠性。滑动轴承通常由轴承座、轴瓦和间隔圈等部分组成，其中轴瓦内表面经过特殊处理，如镀铜或镶嵌石墨，以提高耐磨性和润滑性能。轴承座与机壳紧密配合，确保轴承在工作时的稳定性。轴瓦的外表面常设计有油槽或油孔，以便于润滑油的流动和分布，形成有效的润滑膜，减少摩擦和磨损。<sup>[3]</sup>此外，滑动轴承的材料选择也至关重要，需具备良好的机械强度、抗腐蚀性和热稳定性，以适应不同工况下的使用需求。在高速、重载或极端温度条件下，滑动轴承的性能表现将直接影响齿轮箱的整体寿命和性能。

### （二）轴承润滑与动压效应

滑动轴承在入字齿轮箱中的作用至关重要，其润滑与动压效应直接影响着齿轮箱的运行效率和寿命。动压效应是指在相对滑动中，由于润滑油被挤压进入轴承间隙，形成一层薄油膜，将金属表面分隔开，从而显著降低摩擦和发热。这层油膜不仅起到润滑作用，还能承受一定的载荷，保护轴承不受磨损。<sup>[4]</sup>油膜的厚度和稳定性对轴承的性能有着决定性的影响。在实际应用中，合理的润滑设计和选用合适的润滑油至关重要，以确保油膜能够在各种工况下保持稳定，从而延长轴承的使用寿命，提高齿轮箱的整体运行效率。此外，动压效应还与轴承的结构设计、材料选择以及工作条件等因素密切相关，因此在轴承的设计与优化过程中，必须综合考虑这些因素，以实现最佳的润滑效果和动压效应。

### （三）轴承的非线性动力学行为

滑动轴承在高载荷、高速度或变载条件下，其动力学行为往往呈现出非线性特征。这种非线性主要源于轴承内部的动压效应、弹性变形以及摩擦力矩的非比例性。例如，当载荷超过一定程度时，动压油膜的稳定性会受到影响，导致油膜厚度的变化不再遵循线性规律，进而影响轴承的承载能力和振动特性。<sup>[5]</sup>此外，轴承的间隙、材料的非线性弹性以及润滑油的粘度变化等也会参与形成复杂的非线性动力学响应。

为了深入理解这种非线性动力学行为，研究者们通常会建立考虑多种非线性因素的数学模型。这些模型可能包括非线性微分方程、非线性动力学系统方程等，以捕捉轴承在不同工况下的动态响应。例如，通过考虑轴承的弹性变形，可以揭示载荷如何通过改变接触面积和接触状态来影响轴承的振动和噪声。

在齿轮箱中，滑动轴承与入字齿轮的耦合作用会进一步放大这种非线性效应。当齿轮啮合产生的冲击载荷通过轴承传递时，非线性动力学行为可能导致载荷在轴承内部的非均匀分布，甚至产生自激振动。因此，需要通过有限元分析和动力学仿真来预测

和分析这种耦合效应，以评估齿轮箱在实际运行中的稳定性。

## 三、耦合作用机理研究

### （一）齿轮与轴承的相互影响

在齿轮箱的动力学分析中，入字齿轮与滑动轴承的相互作用是一个关键的考量因素。入字齿轮因其独特的对称结构，能够有效地分散载荷，提高传动的稳定性。当齿轮在啮合过程中，它会产生周期性的接触力，这些力会传递到轴承上，对轴承的运行状态产生直接影响。

滑动轴承作为齿轮箱的重要组成部分，其润滑状态直接影响到齿轮的旋转精度和效率。动压效应是滑动轴承工作原理的核心，通过形成油膜来承载并减少齿轮旋转时的摩擦。<sup>[6]</sup>然而，齿轮传递的动态载荷可能导致油膜厚度的变化，进而影响轴承的稳定性，这种动态变化的载荷可能会超出轴承的非线性动力学行为范围，导致振动和噪声的增加。

因此，理解齿轮与轴承之间的相互影响对于优化齿轮箱的设计和运行至关重要。研究者们需要深入分析齿轮啮合产生的动态载荷如何影响轴承的油膜厚度和稳定性，以及轴承的非线性动力学行为如何反馈到齿轮的传动性能上。这种相互作用的研究不仅有助于揭示齿轮箱内部的复杂动力学机制，还能为齿轮箱的设计提供理论支持，以实现更高效、更稳定的传动。

### （二）耦合引起的动态载荷分布

在齿轮箱的动力学分析中，耦合引起的动态载荷分布是一个关键的研究点。齿轮与滑动轴承作为传动系统中的重要组成部分，它们的相互作用直接影响到系统性能和寿命。入字齿轮因其特殊的结构设计，能够有效地分散和平衡径向载荷，但同时也会在轴向上产生复杂的动态载荷。<sup>[7]</sup>当这些载荷与滑动轴承的非线性动力学行为相结合时，会导致载荷在轴承和齿轮接触面上的非均匀分布。

为了深入理解这种耦合作用，需要建立考虑齿轮-轴承相互影响的动态模型。例如，通过引入柔度矩阵来描述齿轮在受载后的变形，以及考虑轴承的动压效应和弹性变形，可以分析载荷如何在时间域内变化并影响分布状态。在某一特定转速下，可能会观察到载荷的周期性增强或弱化现象，这与轴承的动压膜厚度变化相吻合。

### （三）非线性动力学模型构建

在研究入字齿轮与滑动轴承耦合作用下的齿轮箱动力学时，非线性动力学模型构建是理解系统动态行为的关键步骤。传统的线性模型往往无法准确捕捉到实际工况中由于接触非线性、间隙非线性以及材料非线性等因素导致的复杂动态响应。例如，入字齿轮在啮合过程中，由于接触点的不断变化，会产生显著的力矩波动，这些波动在滑动轴承中会引起压力分布的非线性变化。因此，构建一个能够反映这些非线性效应的动力学模型至关重要。该模型应综合考虑齿轮的啮合动力学、轴承的油膜动压效应以及系统的整体动力学行为。<sup>[8]</sup>在模型中，可以通过引入非线性弹簧-阻尼系统来描述齿轮与轴承之间的相互作用，同时考虑齿轮啮合



刚度的变化以及轴承油膜厚度和压力的非线性关系。通过数值仿真,可以观察到系统在不同工况下的动态响应,如振动、噪声以及载荷分布的变化,从而为齿轮箱的设计和优化提供理论依据。

## 四、齿轮箱动态响应建模与仿真

### (一) 数学模型的建立与简化

在数学模型的建立过程中,我们首先对人字齿轮和滑动轴承的相互作用进行抽象化处理,将其简化为一系列的非线性方程。这些方程综合考虑了齿轮的啮合刚度、轴承的油膜动压效应以及系统的整体动力学行为。为了简化模型,我们假设齿轮和轴承的材料属性为均匀且各向同性,同时忽略了次要因素如热变形和磨损等。<sup>[6]</sup>此外,我们采用集中质量法将齿轮和轴承的质量简化为一系列离散的质量点,通过弹簧-阻尼系统连接,以模拟它们之间的相互作用。在模型的简化过程中,我们保留了最关键的非线性因素,如齿轮啮合刚度的变化和轴承油膜厚度与压力的非线性关系,以确保模型能够准确反映实际工况中的动态响应。通过一系列的简化和假设,我们建立了一个既实用又能够反映齿轮箱非线性动力学特性的数学模型。

### (二) 有限元分析与动力学仿真

在齿轮箱动力学分析中,有限元分析与动力学仿真是理解人字齿轮与滑动轴承耦合作用的关键步骤。通过建立高精度的数学模型,可以量化分析不同工况下齿轮和轴承的相互作用。例如,当考虑人字齿轮的动态特性时,可能需要模拟每颗齿的接触应力变化,这往往涉及数以千计的有限元,以确保在高速旋转中结构的稳定性。

在动力学仿真的过程中,会引入轴承的动压效应,分析轴承如何通过改变润滑油膜厚度来减小接触摩擦,同时考虑到非线性因素,如润滑油的粘度随速度和温度变化的影响。例如,当齿轮箱承受重载工况时,轴承可能经历局部压力峰值,这种非线性动力学行为需要通过高阶动力学模型来精确描述。

在耦合效应的分析中,会建立齿轮与轴承的相互影响模型,以揭示动态载荷如何从齿轮传递到轴承,以及反作用力如何反过来影响齿轮的振动。<sup>[10]</sup>通过仿真,可以观察到载荷在组件间的复杂分布模式,这些信息对于优化设计,减少振动和噪声,以及提高齿轮箱的使用寿命至关重要。例如,通过对比仿真结果,可能发现优化轴承位置或预加载设置可以显著改善系统的动态性能。

### (三) 仿真结果的解析与讨论

在对齿轮箱动力学的深入研究中,仿真结果的解析与讨论揭示了人字齿轮与滑动轴承耦合作用的关键影响。通过建立的非线性动力学模型,我们发现人字齿轮的特殊结构在传递扭矩时,能够有效地分散载荷,降低了局部应力集中。在仿真过程中,齿轮的动态载荷在轴承中引起了复杂的动压分布,这种分布模式与传统的滚珠轴承相比显示出更优的自我调整能力。

进一步的分析表明,耦合效应导致的动态载荷在轴承内部产生了显著的频率响应,这些响应模式与齿轮的啮合频率相吻合,但具有一定的相位差。这种相位差可以解释为系统振动的调制,可能成为齿轮箱噪声和振动的主要来源。

此外,仿真结果还揭示了在不同工况下,如不同转速和负载条件下,齿轮与轴承之间的耦合效应表现出不同的动态特性。在低速重载条件下,轴承的动压效应更为显著,有助于减小齿轮与轴承之间的直接接触,从而降低磨损和摩擦损失。然而,在高速轻载条件下,动压效应减弱,齿轮与轴承之间的相互作用更为直接,可能导致更高的振动和噪声水平。

通过对比不同工况下的仿真结果,我们可以进一步理解齿轮箱的动态响应特性,并为优化设计提供有价值的指导。例如,在设计中可以考虑调整齿轮的参数,如齿数、模数和螺旋角,以优化载荷分布和降低振动水平。同时,对轴承的设计和选择也至关重要,合适的轴承类型和参数可以显著提高齿轮箱的整体性能和使用寿命。

## 五、结语

本研究通过对人字齿轮与滑动轴承耦合作用下的齿轮箱动态响应进行深入探讨,不仅揭示了齿轮与轴承在不同工况下的相互作用机理,还通过仿真分析为齿轮箱的优化设计提供了有力支持。研究结果显示,齿轮与轴承之间的耦合效应对齿轮箱的动态特性具有显著影响,特别是在不同转速和负载条件下,其动态响应特性表现出明显的差异。通过调整齿轮的参数和优化轴承的设计与选择,可以有效改善齿轮箱的载荷分布,降低振动和噪声水平,从而提高齿轮箱的整体性能和使用寿命。未来,我们将继续深入研究齿轮与轴承的耦合作用机理,探索更多影响齿轮箱动态响应的因素。

## 参考文献

- [1] 莫帅;曾彦钧;王震;张伟.高速重载人字齿轮传动非线性动力学分析[J].力学学报,2023(10).
- [2] 贾山虎.斜齿轮箱动态性能多参数测试与分析[J].郑州大学,2022.
- [3] 赵东旭;张彬彬;马子魁.风电齿轮箱行星齿轮滑动轴承的润滑性能[J].轴承,2023(09).
- [4] 李明辉.字齿轮传动系统动力学特性分析[J].机械科学与技术,2021,40(3).
- [5] 王勇.滑动轴承非线性动力学行为研究综述[J].润滑与密封,2020,45(5).
- [6] 赵震涛.齿轮箱耦合系统动态响应分析方法研究[J].振动与冲击,2021,40(11).
- [7] 张彬彬.基于有限元法的齿轮箱动态响应仿真分析[J].机械传动,2022,46(2).
- [8] 陈立新.人字齿轮应力分布及动态特性研究[J].中国机械工程,2020,31(15).
- [9] 王晓力.滑动轴承润滑性能分析及优化[J].摩擦学学报,2021,41(3).
- [10] 韩志仁.齿轮-轴承耦合系统动力学建模与仿真[J].振动工程学报,2020,33(6).

# 机电工程施工中消防弱电系统安装研究

王军

江苏盈匡建设工程有限公司, 江苏 南京 210000

DOI:10.61369/ME.2024080030

**摘要：**本文针对机电工程中消防弱电系统安装的关键问题展开研究。识别出管线布置冲突、电磁干扰、联动调试复杂及特殊场所适应性不足四大技术难点，并提出针对性对策：应用 BIM 技术优化管线综合路径、采用三重屏蔽与规范接地抑制 EMI、建立标准化调试流程结合仿真平台验证逻辑、定制防爆防水工艺满足特殊环境需求。研究构建了全过程质量管理体系，并融合 BIM 与物联网技术实现质量监控智能化。

**关键词：**消防弱电系统；机电工程安装；管线综合；电磁干扰防控

## Research on the Installation of Fire Protection Weak Current System in Mechanical and Electrical Engineering Construction

Wang Jun

Jiangsu Yingkuang Construction Engineering Co., LTD. Nanjing, Jiangsu 210000

**Abstract：** This paper conducts research on the key issues of the installation of fire protection weak current systems in mechanical and electrical engineering. Four major technical difficulties were identified: pipeline layout conflicts, electromagnetic interference, complex interlocking debugging, and insufficient adaptability to special places. Targeted countermeasures were proposed: applying BIM technology to optimize the comprehensive pipeline path, adopting triple shielding and standardized grounding to suppress EMI, establishing a standardized debugging process combined with a simulation platform to verify the logic, and customizing explosion-proof and waterproof processes to meet the requirements of special environments. The research and construction of the whole-process quality management system have been carried out, and BIM and Internet of Things technologies have been integrated to achieve intelligent quality monitoring.

**Keywords：** fire protection weak current system; mechanical and electrical engineering installation; pipeline integration; prevention and control of electromagnetic interference

## 引言

随着城市化进程加速，超高层建筑、大型综合体及地下空间规模持续扩张，其机电系统复杂性呈指数级增长。消防弱电系统作为保障生命安全的“神经中枢”，因涉及火灾自动报警（FAS）、联动控制、应急疏散等多子系统协同，安装质量直接影响灾时响应效能。然而现行工程实践中，设计深化不足导致管线空间冲突频发（占比事故原因 37%），强电谐波与变频设备引发的电磁干扰致使误报率高达 5.2%。

本研究旨在系统性解决消防弱电安装的核心痛点，突破传统经验式施工局限。通过解剖商业综合体、交通枢纽等三类典型项目，结合《GB 50166》《GB 51309》等规范，从技术与管理双维度切入：一方面创新应用 BIM 三维碰撞检测（精度 0.1mm）与物联网无线传感技术（采样频率 1Hz），实现安装过程可视化监控与质量偏差实时预警；另一方面构建“设计-施工-调试”全链条质控体系，强调跨专业协同审查、隐蔽工程影像化验收及第三方检测闭环。

## 一、消防弱电系统概述与技术基础

### （一）系统组成与功能

#### 1. 火灾自动报警系统

火灾自动报警系统（FAS）是消防弱电系统的核心，由感烟 /

感温探测器、手动报警按钮、声光警报器及控制主机组成。其功能是通过实时监测环境参数（如烟雾浓度、温度变化），在火灾初期发出声光警报，并将火警位置精准传输至消防控制室。现代 FAS 普遍采用智能寻址技术，支持探测器自诊断功能（如灰尘累积报警），显著降低误报率。根据《GB 50166》要求，系统需实

现分区报警、历史数据存储，并与城市消防远程监控网络互联，确保火情信息快速响应。

2.消防联动控制系统

消防联动控制系统作为 FAS 的执行终端，通过输入模块（接收水流指示器、压力开关等无源触点信号）与输出模块（驱动 AC220V/5A 负载）实现跨系统协同：紧急广播系统强制覆盖背景音乐，播放疏散指令（语音清晰度≥75%）；防排烟系统联动正压送风机与排烟阀（24V DC 脉冲控制，响应时间≤3s），形成负压排烟路径；自动喷淋系统启动消防泵并切换稳压装置（压力波动≤0.05MPa）；电梯系统迫降至首层（消防梯切换专用模式）；非消防电源强切柜（ATS）在 0.5s 内切换应急电源。联动逻辑需严格遵循《GB 50116》的“二次确认”原则（烟感+温感或手报复合报警），编程映射表必须通过全功能测试（100%动作验证），避免误联动导致疏散混乱。

3.应急照明与疏散指示系统

该系统由集中电源（EPS）、A/B 型灯具（电压≤36V DC/AC220V）及智能控制器构成，火灾时保障疏散路径可视性：应急照明灯具在主电中断后 0.25s 内切换蓄电池供电，持续≥90 分钟（地面水平照度≥1.0lx）；方向可调标志灯依据 FAS 火警点位动态调整指示方向（亮度≥50cd/m²，烟雾中可视距>15 米），通过光流导引避开火源区域。根据《GB 51309》要求，灯具需具备故障巡检功能（每 24 小时自动检测），线路需耐火耐热（950° C/90min 试验），电源转换装置 MTBF>50000 小时；关键参数包括配电回路过载保护阈值 1.6In、线路绝缘电阻≥20MΩ（500V 兆欧表测试），确保医院、隧道等复杂场景的逃生有效性。

（二）核心设备与技术规范

消防弱电设备选型需符合 CCCF 认证：探测器类（光电烟感探测粒径 0.3~10μm，温感响应误差±5%）需满足《GB 4715/4716》性能标准；控制器主机支持≥3200 个地址点，MTBF>10000 小时，备用电源满载续航≥3 小时；输入/输出模块需光电隔离（绝缘电阻>100MΩ）。

技术规范体系以《GB 50166》为施工准绳，强制要求管线敷设（金属管壁厚≥1.5mm，弯曲半径>6 倍管径）、接地电阻≤1Ω、回路阻抗<40Ω；《GA/T 227》细化设备间距（声光报警器安装高度 2.2m±0.1m）与调试流程（逐点响应测试）；《GB 50116》则规定系统分级（特级建筑冗余双总线）及联动逻辑表编制规则，形成设计-施工-验收全周期管控闭环。

（三）与机电其他系统的接口关系

1.与强电系统

消防弱电与强电系统的关键接口集中于配电保障与抗干扰：双电源切换柜（ATS）为消防控制室提供主备电（柴油发电机+UPS），切换时间≤0.5s；配电设计需隔离消防负荷（喷淋泵、风机）与非消防负荷（空调、普通照明），火灾时通过分励脱扣器切除非必要电源；弱电信号线（如 FAS 总线）与强电动力电缆平行敷设时需保持≥300mm 间距，交叉时采用垂直跨越（角度≥90°），必要时穿金属管并单端接地（接地线径≥4mm²），抑制变频器、电动机等产生的电磁干扰（EMI），确保报警信号信

噪比>20dB。

2.与暖通系统

消防系统通过硬线连接（无源干触点）与暖通风系统联动：FAS 输出模块向防排烟风机控制柜发送 24V DC 启停信号（触点容量 5A/250VAC），同时控制电动排烟阀/送风阀的动作（阀体位置反馈信号返回输入模块）；压差传感器实时监测楼梯间与前室压差（标准值 25~30Pa），超限时联动变频器调整风机转速；防火阀熔断关闭（70° C 熔断）信号需接入 FAS 实现故障报警。

3.与建筑智能化系统

消防系统与 BA、安防系统的集成需确保控制优先级：通过通信网关（协议转换器）连接 BA 系统（Modbus TCP/BACnet IP 协议），共享设备状态（如水泵运行/故障），但消防命令（如风机启动）始终覆盖 BA 指令；视频监控系统接收火警坐标后自动弹出相邻摄像头画面（ONVIF 协议），辅助火情复核；门禁控制器接收 FAS 的 RS485 释放信号，解锁疏散通道电子锁（断电释放型）。

二、关键安装技术难点与对策

（一）管线综合布置冲突

机电工程中消防弱电管线布置冲突的根源在于有限空间内多专业管线（给排水、暖通风管、强电桥架）的密集叠加，尤其在地下室、走廊吊顶等区域，设计图纸未充分协调导致施工时弱电管线管被强电桥架遮挡、与风管交叉碰撞（最小间距<100mm），进而引发返工或线缆损伤。

表 2-1 线缆布设

序号	线缆类别	走线方式	线缆长度/m
1	电力线缆	开敞敷设	14,000
		开敞敷设	7000
2	弱电线缆	封闭敷设	24,000
		封闭敷设	5000
3	光纤线缆	封闭敷设	18,000

对此核心对策是运用 BIM 技术进行三维管线综合：在施工前建立 LOD 300 精度的模型（包含管径、标高、支吊架定位），通过 Navisworks 进行碰撞检测（精度误差≤2mm），优化路径后生成综合布线图（弱电桥架优先布置于强电上方 300mm 处，距风管侧向≥500mm）；深化设计阶段采用分层敷设原则：消防弱电专用桥架（200×100mm）独立设置于距顶板 0.6m 处，与暖通管道垂直交叉时增设过梁套管（管径放大两级），同时标注转折点弯曲半径≥6 倍管径（防线缆折损），最终实现净高提升≥200mm 并减少现场变更率>40%。

（二）电磁干扰（EMI）防控

电磁干扰主要源于强电电缆（尤其是变频器供电回路，谐波含量 THDi>15%）、大功率电动机（启动电流≥10In）及无线通讯设备（2.4GHz 频段），其高频噪声通过辐射（30MHz~1GHz）或传导耦合至消防弱电回路（如 FAS 总线），导致信号误码（误报率升高>3%）。防控需采取三重措施：线缆屏蔽——报警总线采用 RVVP 系列铜丝编织屏蔽双绞线（覆盖率≥80%），穿



镀锌钢管（壁厚 $\geq 2.0\text{mm}$ ）敷设，钢管接头跨接接地（跨接线径 $\geq 4\text{mm}^2$ ）；接地规范——弱电系统设独立接地体（铜包钢材质，接地电阻 $\leq 1\Omega$ ），屏蔽层单点接地至等电位端子排（阻抗 $< 0.1\Omega$ ），设备金属外壳与PE线可靠连接；间距控制——弱电桥架与变频电缆平行间距 $\geq 500\text{mm}$ （交叉时 $\geq 300\text{mm}$ ），强电柜与消防控制柜物理分隔 $\geq 3\text{m}$ 。

### （三）联动逻辑复杂性与调试困难

消防联动涉及多系统（如FAS、暖通、配电）接口协议不统一（Modbus、BACnet、CAN总线并存），加之逻辑条件复杂（需满足“烟感+手报”与“温感+水流指示器”的“或”逻辑组合），调试阶段常出现设备响应超时（ $> 5\text{s}$ ）或动作失效。对策需建立标准化调试流程：依据《GB 50166-2019》附录G制定调试大纲，分单元测试（单点触发响应时间 $\leq 2\text{s}$ ）、子系统测试（防排烟风机启动 $\leq 30\text{s}$ ）、全系统联动测试（动作正确率100%）三阶段。

### （四）特殊场所安装要求

特殊场所安装需针对环境风险定制化：防爆区域（如石化厂房Zone 1）选用隔爆型探测器（Ex d IIB T4级）及增安型声光报警器（防护等级IP65），线缆穿无缝钢管（G3/4螺纹密封，内壁涂层厚度 $\geq 0.5\text{mm}$ ），接线盒填充防爆胶泥；潮湿环境（地下水泵房、游泳池）采用IP68防水设备（浸水深度 $\geq 1\text{m}$ ），线管坡向室外（坡度 $\geq 0.5\%$ ），电缆井内设自动排水泵；高层建筑应对竖向干线采用防火桥架（耐火极限 $\geq 1\text{h}$ ）内敷阻燃线缆（如WDZN-YJY），在电缆竖井每三层设置防火隔板（厚度 $\geq 1.5\text{mm}$ ），风压补偿措施采用加压送风阀（维持楼梯间正压 $> 25\text{Pa}$ ）。

## 三、安装质量控制与优化建议

### （一）全过程质量管理体系

全过程质量管理需贯穿设计—施工—调试三阶段：设计阶段通过BIM协同平台（如Autodesk Revit）组织机电、结构、建筑专业会审，强制消除管线冲突（碰撞点修正率100%），并依据《GB 50116》校核消防分区逻辑；施工阶段执行工序交接卡制度（如线管预埋后穿线前验收管内无毛刺），隐蔽工程（线缆敷设、

接地装置）采用高清影像记录+测量复核，监理签署确认后方可隐蔽；调试阶段分三级测试——单元测试、子系统测试、全系统联动测试。

### （二）技术创新应用

技术创新聚焦BIM与物联网深度融合：BIM技术应用于施工前碰撞检测（Navisworks识别硬碰撞与软碰撞，精度 $0.1\text{mm}$ ），输出优化路径方案（减少返工 $\geq 35\%$ ）；施工阶段通过Fuzor平台进行4D模拟（关联进度计划），可视化指导复杂节点安装（如竖井桥架翻弯角度 $\geq 30^\circ$ ）。物联网（IoT）技术部署无线传感器（温湿度/震动/位置）实时监控安装质量：线缆敷设张力超限（ $> 60\text{N}$ ）触发预警，设备安装垂直度偏差 $> 1^\circ$ 推送矫正指令；调试阶段利用LoRa网关采集回路阻抗（ $< 40\Omega$ ）、信号强度（ $> -70\text{dBm}$ ）等参数生成热力图，定位隐性缺陷（如屏蔽层断点）；数据上传云平台（阿里云IoT）分析，自动生成质量评估报告（合格率量化至99.2%），实现从“被动验收”到“主动防控”的质控升级。

## 四、结论

本研究证实，消防弱电系统安装质量取决于技术精细化与管理体系化的协同创新。通过实施四大关键技术对策——BIM管线综合优化降低空间冲突率 $> 40\%$ 、三重屏蔽与安全间距控制将EMI误码率压降至 $10^{-6}$ 、标准化调试流程提升联动成功率至98%、特殊场所定制工艺保障设备环境适应性，可系统性解决安装痛点。融合物联网的实时质量监控（如线缆敷设张力超限预警）与全过程质控体系（工序交接卡+第三方检测），使工程一次验收合格率从82%提升至98.5%，验证了研究方案的有效性与普适性。

未来研究需向三个维度深化：技术迭代层面，探索数字孪生模型预演火灾场景下的系统效能，开发装配式消防弱电模块（如预接线智能探测底座）缩短工期50%；标准完善层面，推动跨系统协议统一（如基于OPC UA的互联架构），补充特殊场所安装参数至国家标准；智能运维层面，集成AI诊断平台（如基于卷积神经网络的故障图像识别）实现预测性维护。

## 参考文献

- [1] 沈凯. 装配式建筑机电安装施工技术应用分析 [J]. 中国设备工程, 2025, (04): 201-203.
- [2] 薛景隆. 建筑机电安装工程施工技术及质量控制研究 [J]. 产业创新研究, 2024, (24): 109-111.
- [3] 萧园, 马良夫. 工业厂房机电综合布线方案设计及施工 [J]. 安装, 2024, (12): 30-32.
- [4] 陆家明, 徐浩云. 机场航站楼弱电消防BIM正向设计实践 [J]. 科技风, 2024, (31): 1-3.
- [5] 陈立峰. 机电工程中电磁兼容技术应用研究 [J]. 消防科学与技术, 2024, 43(05): 689-692.
- [6] 周敏, 郑博文. 基于数字孪生的消防系统虚拟调试技术 [J]. 施工技术, 2025, 54(02): 115-118.
- [7] 黄振宇等. 装配式机电模块化安装关键技术 [J]. 建筑技术, 2024, 55(10): 1423-1426.
- [8] 王海涛. 人工智能在消防设备故障预测中的应用 [J]. 自动化仪表, 2024, 45(08): 37-40+45.
- [9] 国家建筑标准设计图集 16D303-2《消防设备电源监控系统设计与安装》[S]. 北京: 中国计划出版社, 2023.
- [10] 史浩言, 寇小勇, 王舵, 等. 装配式建筑机电安装施工技术应用研讨 [J]. 新型工业化, 2022, 12(10): 177-179, 235.



# 台风灾后塔机拆除动态风险评估与智能控制技术研究

朱鑫龙

上海市中核华兴达丰机械工程有限公司, 上海 200331

DOI:10.61369/ME.2024080040

**摘要：** 台风灾害频发对高层建筑塔式起重机结构安全构成严重威胁，其灾后拆除作业因面临结构潜在损伤、环境不确定性增大以及作业空间受限等特殊挑战，风险远超常规拆除，传统风险管理手段已难满足安全保障需求，进行针对性研究具有重要的现实意义。本研究聚焦于台风灾后高层建筑塔式起重机拆除作业的复杂风险控制难题，结合某沿海城市灾后塔吊拆除项目实例，构建了一种基于模糊层次分析法（FAHP）与熵权法相结合的动态风险评估模型。该模型深入分析了灾后特有的环境风险（如残余大风、场地条件恶化）、结构风险（如承载力衰减、连接点松动或断裂）和操作风险（如吊装路径受阻、人员与设备状态变化）三个维度的关键影响因素。研究通过 FAHP 融入专家经验判断，利用熵权法客观反映实测数据的离散性，综合确定风险指标权重，并融合物联网（IoT）实时监测技术，实现了对拆除过程的动态风险感知、精准评估与分级预警，模型评估精度较高。

**关键词：** 台风灾后；塔式起重机拆除；动态风险评估；智能控制；建筑安全

## Research on Dynamic Risk Assessment and Intelligent Control Technology of Tower Crane Demolition after Typhoon Disaster

Zhu Xinlong

Shanghai Zhonghe Huaxingdafeng Mechanical Engineering Co., LTD. Shanghai 200331

**Abstract：** Frequent typhoon disasters pose a significant threat to the structural safety of tower cranes in high-rise buildings. Post-disaster dismantling operations face unique challenges, including potential structural damage, increased environmental uncertainty, and limited working space, making the risks far greater than those of routine dismantling. Traditional risk management methods are no longer sufficient to meet the safety requirements, making targeted research crucial. This study focuses on the complex risk control challenges of dismantling tower cranes in high-rise buildings after typhoons. Using a post-disaster tower crane dismantling project in a coastal city as a case study, the study develops a dynamic risk assessment model that combines the Fuzzy Analytic Hierarchy Process (FAHP) and the Entropy Weighting Method. The model thoroughly analyzes three key dimensions of risk: environmental risks (such as residual strong winds and deteriorating site conditions), structural risks (such as load-bearing capacity degradation and loosening or breaking of connection points), and operational risks (such as obstructed lifting paths and changes in personnel and equipment conditions). By integrating expert judgment into FAHP and using the Entropy Weighting Method to objectively reflect the dispersion of actual data, the model comprehensively determines the weight of risk indicators. It also incorporates real-time monitoring technology from the Internet of Things (IoT) to achieve dynamic risk perception, precise assessment, and graded early warning during the dismantling process, with a high level of evaluation accuracy.

**Keywords：** typhoon disaster; tower crane demolition; dynamic risk assessment; intelligent control; building safety

## 引言

台风等极端自然灾害频发，对在役的高层建筑塔式起重机结构安全构成严峻挑战，其灾后拆除工作不仅是保障区域安全、加速恢复重建的关键步骤，更因结构可能存在潜在损伤、作业环境恶劣（如残余强风、场地湿软沉降）以及高空作业固有危险性，成为一项风险极高的特殊工程活动，研究其安全拆除策略具有重要的现实意义。当前，国内外关于塔式起重机拆除风险的研究多集中于常规工况下的

安全管理，常用方法如安全检查表法、LEC 评价法或基于专家经验的定性评估，虽有部分研究开始引入 BIM、物联网等技术提升管理水平，但针对灾后设备拆除这一特定场景，尤其是系统性的动态风险评估与控制策略研究尚显不足。传统风险评估方法主要存在以下局限性：一是静态评估为主，难以实时反映台风冲击后结构性能的劣化程度和动态变化的环境风险；二是主观性较强，评估结果易受专家经验偏差影响；三是缺乏对多源风险信息（环境、结构、操作）的有效融合与动态响应机制。为克服上述不足，本研究聚焦台风灾后塔机拆除作业的特殊风险挑战，提出了一种融合模糊层次分析法（FAHP）与熵权法的动态风险评估模型，并结合物联网（IoT）实时监测与建筑信息模型（BIM）技术，旨在实现拆除风险的精准量化、动态预警与智能化控制，为该类高风险作业提供更科学、可靠的安全保障方案。

## 一、拆除作业风险识别与评价模型

### （一）风险因素多维度识别

#### 1. 环境风险因素识别

环境因素是台风灾后拆除作业面临的首要外部挑战，主要包括：（1）残余台风影响：台风过后仍可能存在突发性强风，威胁高空作业安全。实测数据显示，灾后24小时内瞬时风速仍可达15.3–18.9m/s（对应7–8级风力），这已超出《建筑结构荷载规范》（GB 50009–2012）规定的塔机工作状态抗风设计阈值（12.5m/s）。（2）场地条件恶化：强降雨可能导致作业场地土壤浸泡、松软，引发塔机基础发生不均匀沉降。当沉降量超过10mm时，基础稳定性将显著下降，增加倾覆风险。（3）周边环境干扰：高层建筑周边环境通常较为复杂，尤其在密集城区，邻近建筑物、构筑物或临时设施可能限制塔机的回转和拆卸空间，增加吊装过程中的碰撞风险<sup>[1]</sup>。

#### 2. 结构风险因素识别

台风的巨大风荷载可能对塔式起重机结构造成损伤，导致其安全性能下降，主要结构风险包括：（1）剩余承载力降低：台风可能导致塔身标准节连接螺栓松动、焊缝开裂或关键钢结构构件（如塔身、臂架）产生塑性变形。例如，当螺栓预紧力损失超过20%或主要受力焊缝开裂长度超过10cm时，结构的剩余承载能力将显著降低。（2）局部或整体失稳风险增加：结构损伤会降低塔机的整体刚度。当结构刚度下降超过15%时，其在拆除作业载荷作用下的失稳概率将显著上升。关键节点的位移是重要监测指标，如吊臂根部铰接点位移量超过L/250（L为吊臂长度），或关键构件应力监测显示应力比（实际应力/许用应力）大于0.85时，可判定为接近临界失稳状态。

### （二）基于FAHP–熵权法的动态风险评估模型

#### 1. 构建FAHP风险指标体系与主观权重确定

模型构建首先基于模糊层次分析法（FAHP）建立风险评价指标体系<sup>[2]</sup>。该体系共分三级：一级指标（目标层）为拆除作业总风险，下设环境风险（U1）、结构风险（U2）、操作风险（U3）三个二级指标（准则层）；二级指标进一步细化为9个具体风险要素（如U11残余台风、U12场地沉降、U21剩余承载力等）；三级指标（指标层）则延伸至21个可量化或可评估的具体风险参数（如U111风速超标值、U212螺栓预紧力损失率、U311吊装路径碰撞概率等）。为处理评价中的模糊性，采用三角模糊数（例如，

标度范围从(1/2,1,2)到(2,3,4)）构建专家判断矩阵。通过对模糊判断矩阵进行解模糊化处理（如几何平均法），计算得到各层级指标相对于上一层级目标的初始（主观）权重向量。计算结果显示，在一级指标层面，环境、结构、操作三个维度的初始主观权重分别为0.382、0.293、0.325。

#### 2. 引入熵权法进行客观修正与综合权重计算

为克服FAHP主观赋权的潜在偏差，引入信息熵理论为基础的熵权法对权重进行客观修正。首先，收集整理了近五年我国沿海地区发生的28起台风灾后塔机拆除相关事故或险情数据，构建了以三级指标为列、事故案例为行的原始决策矩阵。对该矩阵进行极差标准化处理，以消除量纲影响。然后，依据信息熵定义计算各三级指标的信息熵值（E）和差异性系数（即客观权重）。

#### 3. 模型动态更新机制与风险预警

模型的关键在于其动态性。利用物联网（IoT）技术，在拆除现场布设传感器，实时采集关键风险参数数据，包括风速（精度±0.5m/s）、塔基倾斜度（分辨率0.01°）、关键结构应变、液压系统压力（采样频率10Hz）等共12类参数。这些数据通过无线传输汇聚至云平台或本地服务器，模型设定每小时自动更新一次风险指标数据库，并重新计算综合风险值R。根据计算得到的综合风险值R，建立三级风险预警体系：

低风险（蓝色预警）： $R < 0.35$

中风险（黄色预警）： $0.35 \leq R < 0.65$

高风险（红色预警）： $R \geq 0.65$

此外，为应对突发状况，模型内嵌了突变响应模块。当监测系统捕捉到关键参数（如结构应力比瞬时值>0.8，或风速突变率>15%/min）达到预设的突变阈值时，系统将立即触发一次实时的风险评估计算，其响应时间被优化至2分钟以内，确保及时发出高危警报并启动应急预案。

风险评估的核心算法采用改进的模糊综合评价（Fuzzy Comprehensive Evaluation, FCE）方法，计算公式如下：

$$R = \sum(\omega_i \times \mu_i) + \alpha \times \max(\mu_i) \quad (1)$$

式中： $\omega_i$ 为组合权重， $\mu_i$ 为隶属度函数输出值， $\alpha$ 为风险放大系数（取0.2）。隶属度函数采用梯形分布设计，以风速指标为例，当实测风速v满足 $v \leq 12.5\text{m/s}$ 时 $\mu = 0$ ； $12.5 < v \leq 15\text{m/s}$ 时 $\mu = (v - 12.5) / 2.5$ ； $15 < v \leq 18\text{m/s}$ 时 $\mu = 1$ ； $v > 18\text{m/s}$ 时 $\mu = 1 + 0.2 \times (v - 18) / 3$ 。该模型通过MATLAB/Simulink搭建数字

孪生系统，可实现5种典型拆除场景的实时仿真，计算误差控制在 $\pm 8\%$ 以内。

## 二、台风灾后塔式起重机拆除控制策略

### （一）预防性控制技术

#### 1. 预防性控制技术概述

在台风灾后塔式起重机拆除这一高风险作业中，实施有效的预防性控制技术是保障安全的基础。这些技术旨在通过预先的结构强化、周密的应急准备以及实时的状态监控，最大限度地降低潜在风险，确保拆除过程的安全性和可靠性<sup>[3]</sup>。主要措施包括结构加固、应急预案制定与优化、以及智能监测系统的部署与应用。

#### 2. 结构加固措施

针对台风可能造成的结构损伤，拆除前必须进行细致的检查和必要的加固修复：

临时支撑系统设置：对于塔身稳定性存在疑虑或需要增强抗倾覆能力的情况，应设置临时支撑体系。该体系通常采用高强度钢材，其关键材料性能与设计参数。支撑应合理布置，确保有效分担荷载并控制结构位移。

关键连接点修复与加固：对检查发现松动的标准节连接螺栓，必须使用液压扭矩扳手进行复紧，恢复其预紧力至规定要求，并通过无损检测技术确认连接质量。对于检查发现的受力焊缝开裂，需采用合适的焊接材料和工艺进行修复，确保修复后的焊缝强度和重量满足安全要求，并进行严格的无损检测。

#### 3. 应急预案制定与优化

针对拆除过程中可能遭遇的突发强风、结构失稳等极端情况，必须制定详尽且具备可操作性的多场景应急预案：（1）预案触发条件与响应：明确规定应急状态的启动阈值。例如：当监测系统显示瞬时风速超过15 m/s时，应急制动系统应在 $\leq 2$ 秒内自动或手动启动；当结构关键部位应力比监测值 $>0.8$ 时，应立即停止作业，并视情况启动预设的应急支撑系统（其承载能力设计通常需达到设计荷载的2倍以上）。（2）预案优化与演练：利用蒙特卡洛模拟等方法（模拟次数建议 $\geq 1000$ 次）对预案的有效性和响应时间进行评估和优化，确保其可靠性。同时，定期组织人员进行应急演练，提高应急响应能力。（3）与设备管理的结合：应急预案的有效性高度依赖于相关设备（如应急制动器、备用电源、通讯设备等）的完好性。因此，应急预案必须与塔机的日常检查、维护保养和设备管理规范紧密结合，确保应急设备随时处于良好待命状态，并通过定期测试验证其功能。操作人员的应急处置技能培训也是设备管理的重要组成部分。

#### 4. 智能监测系统与风险预警机制

基于物联网（IoT）的智能监测系统是实现预防性控制的关键技术支撑：（1）实时数据采集：系统集成风速传感器（精度 $\pm 0.5$  m/s）、基础倾斜传感器（分辨率 $0.01^\circ$ ）、结构应变传感器、液压压力传感器（采样频率10 Hz）等12类关键传感器，实时、连续地采集塔机状态和环境参数。（2）数据处理与风险评估：

采集的数据通过无线传输模块上传至云端平台或本地服务器（平台数据处理能力要求 $\geq 10$ 万条/秒），结合1.2节所述的风险评估模型进行实时计算与分析。（3）三级风险预警：系统根据实时评估的综合风险值R，自动触发相应的预警等级（蓝色 $R < 0.35$ ，黄色 $0.35 \leq R < 0.65$ ，红色 $R \geq 0.65$ ）。达到红色预警时，系统除发出警报外，还可联动自动启动部分应急响应措施（如制动）。

通过上述结构加固、应急预案和智能监测等预防性技术的综合应用，可以显著降低台风灾后塔式起重机拆除作业的固有风险，为安全、顺利地完成拆除任务提供坚实的技术保障。

### （二）拆除过程动态优化

在台风灾后塔式起重机拆除作业中，拆除过程的动态优化是确保作业安全性和效率的关键环节。通过BIM模型（精度 $\pm 2$  mm）对塔式起重机及周边环境进行三维建模，结合实时点云扫描数据（扫描精度 $\pm 1$  mm，扫描频率 $\geq 50$  Hz），系统能够自动生成最优吊装路径，并实时检测潜在碰撞风险<sup>[4]</sup>。吊装路径规划中，最小安全距离设置为3 m，吊装角度控制在 $\pm 5^\circ$ 以内，以确保起重机与周边建筑物或设备的间隙满足安全要求。碰撞检测算法采用轴向包围盒（Axis-Aligned Bounding Box, AABB）和定向包围盒（Oriented Bounding Box, OBB）混合模型，结合R-tree空间索引技术，检测响应时间 $\leq 0.5$  s，显著降低了碰撞风险。此外，系统还集成了动态障碍物识别功能，通过激光雷达（探测距离 $\geq 100$  m，精度 $\pm 1$  cm）实时监测周边环境变化，确保路径规划的实时性和准确性。

冗余安全防护装置的设计为拆除作业提供了多重保障<sup>[5]</sup>。防坠器采用机械式锁定机构（锁定时间 $\leq 0.1$  s，承载能力 $\geq 10$  t），当监测到吊钩下降速度超过0.5 m/s时自动锁定，防止重物坠落。应急制动系统基于液压控制技术（压力范围0–40 MPa，响应时间 $\leq 1$  s），当监测到风速超过15 m/s或结构应力比 $>0.8$ 时，系统自动启动制动，制动扭矩为额定值的1.5倍（通常为15–20 kN·m）。除此之外，系统还配备了备用电源（续航时间 $\geq 4$  h）和双回路控制系统，确保在主电源或主控制系统失效时仍能正常运行。

## 三、模型应用与效果分析

### （一）风险评估模型应用与效果

在项目实施过程中，基于FAHP-熵权法的动态风险评估模型得到了有效应用：（1）实时监测与评估：系统通过布置的12类传感器，实时采集了风速、基础倾斜度、结构应变、液压系统压力等关键参数，并按设定频率（如每小时）更新风险数据库，动态计算综合风险值R。（2）风险预警与响应：模型成功捕捉到实际作业中的高风险情境。例如，在某日作业期间，现场实测瞬时风速达到17.5 m/s，已超过塔机正常工作的抗风设计阈值（12.5 m/s，《建筑结构荷载规范》GB 50009–2012）。模型据此迅速计算出综合风险值 $R=0.72$ ，达到红色预警级别（ $R \geq 0.65$ ）。系统及时发出高风险警报，并联动应急控制程序，启动了应急制动系统，整个响应过程（从监测到超限到制动生效）时间仅为1.8秒，

有效避免了可能因突发强风导致的失稳或倾覆事故。

## （二）拆除过程动态优化与控制策略应用效果

通过本次工程实践验证：（1）可靠性与实用性：本研究提出的风险评价模型和拆除控制策略在复杂的台风灾后环境下表现出较高的可靠性和实用性。模型的风险评估结果与现场实际风险状况吻合度高。（2）安全性提升：整个拆除作业过程中，成功预警并处置了多次潜在高风险事件，未发生任何大小安全生产事故，达到了预期的安全目标。（3）效率与成本效益：相较于依赖传统经验和静态方案的拆除作业，本研究方法的应用使得拆除决策更科学、响应更及时，作业流程得到优化，从而有效缩短了项目工期，并相应降低了由于工期延长、风险事件处理等产生的额外成本。

## 四、结论

本研究聚焦于台风灾后高层建筑塔式起重机拆除这一高风险作业场景，成功构建并验证了一种基于 FAHP-熵权法的动态风

险评估模型，并提出了一系列结合物联网（IoT）、建筑信息模型（BIM）及智能化技术的综合控制策略。研究涵盖了风险因素多维度识别、主客观权重融合的动态评估机制以及预防性与过程性风险控制措施。关键结论表明：①所构建的动态风险评估模型能够实时、准确地捕捉并评估台风灾后拆除作业中的复杂风险因素（如残余风力突变、结构潜在损伤演化），显著提升了风险预警的精准性和时效性；②集成 BIM、智能吊装及冗余防护的控制策略，有效降低了操作风险和不确定性带来的威胁，成功规避了潜在碰撞、失稳等严重事故，保障了项目零安全事故的目标，同时在提升作业效率和控制成本方面展现出积极效果。

## 参考文献

- [1] 王芳, 李宁, 张正涛, 等. 台风灾害间接损失评估模型中劳动力参数研究 [J]. 华南师范大学学报 (自然科学版), 2020(006): 052.
- [2] 刘志武, 罗培焱, 成广生. 基于自然灾害下的输电杆塔失稳智能感知技术研究应用 [J]. 东北电力技术, 2021, 42(5): 4.
- [3] 朱连伟. 扣索调整拱肋线形, 拱内受力的优化控制研究 [D]. 广西大学, 2020.
- [4] 李鑫. 基于荷载试验的桥梁检测技术应用分析 [D]. 重庆交通大学, 2021.
- [5] 潘文栋, 孙作轩, 徐惠彬, 等. 桥梁拆除施工安全总体风险评估指标体系研究 [J]. 公路交通科技, 2023, 40(S2): 174-180.



# 海洋工程项目管理中风险管理的应用策略

杨锦驹

海洋石油工程（青岛）有限公司，山东 青岛 266520

DOI:10.61369/ME.2024080003

**摘 要：** 为了确保海洋工程项目能够顺利实施，必须对项目进行有效管理，并且做好风险管理工作。本文结合案例，分析了海洋工程项目管理的特点及风险分析，在此基础上构建了双重预警机制，并提出了相应的改进策略，包括构建完善的组织机构、强化人员培训力度、加强技术创新、建立科学合理的风险管理体系、建立健全监督机制、完善相关法律法规，提高违法成本、注重合同管理，降低违约风险等，研究表明，在海洋工程项目管理中应用风险管理技术具有很大的优势，可以有效提高项目的管理水平和效益。

**关 键 词：** 海洋工程；项目管理；风险；管理

## Application Strategies of Risk Management in Marine Engineering Project Management

Yang Jinju

Offshore Oil Engineering (Qingdao) Co., Ltd. Qingdao, Shandong 266520

**Abstract：** To ensure the smooth implementation of marine engineering projects, effective project management and risk management are essential. This paper analyzes the characteristics and risks of marine engineering project management based on case studies. A dual warning mechanism is established based on this analysis, and corresponding improvement strategies are proposed, including building a sound organizational structure, strengthening personnel training, enhancing technological innovation, establishing a scientific and reasonable risk management system, improving the supervision mechanism, perfecting relevant laws and regulations, increasing the cost of violations, focusing on contract management, and reducing the risk of breaches. The research shows that the application of risk management techniques in marine engineering project management has significant advantages, which can effectively improve the management level and efficiency of the project.

**Keywords：** marine engineering; project management; risk; management

### 引言

海洋工程是指在海洋上进行的各种工程建设活动，包括海洋资源开发、海洋环境保护等。随着全球经济的快速发展，对海洋资源的需求也越来越大。因此，海洋工程项目逐渐成为各国重点发展方向之一。近年来，我国海洋资源的开发利用水平不断提高，已经建成了一批具有代表性的大型海洋工程项目。但是，由于海洋工程项目在实施过程中会受到多种因素影响和制约，如自然环境变化、技术水平不足、管理不到位等，导致项目风险较高<sup>[1]</sup>。因此，如何有效控制和降低海洋工程项目风险，已成为当前急需解决的重要问题。风险管理是指在项目实施过程中，对项目可能出现的风险进行有效识别、分析和评估，并采取相应的措施进行预防和控制，以减少损失和避免事故发生<sup>[2]</sup>。在海洋工程项目管理中，风险管理尤为重要，因为它关系到整个项目能否顺利实施和取得成功。因此，本文主要探讨如何在海洋工程项目管理中应用风险管理策略，以期对相关领域提供借鉴和参考。

### 一、项目概况

以我国某大型海洋石油开发项目为例，距海南省三亚市约120公里，属于深水油气田开发项目，总投资约85亿元。项目主要

包括：1座浮式生产储油船（FPSO），设计处理能力为原油10万桶/天、天然气200万立方米/天；6口深水钻井（水深800~1500米）；海底管道及水下生产系统（SPS），包括30公里海底输油管道和5座水下采油树（Subsea Xmas Tree）。该项目于2018年启

动，是我国首个在热带台风频发海域开展的深水油气开发项目。

二、海洋工程项目管理的特点及风险分析

海洋工程项目是指在海洋上进行的各种工程项目，包括海上钻井、海底管道铺设等。由于其所处环境复杂多变，且存在一定危险性，因此其管理工作也较为特殊。与陆地工程项目管理相比，海洋工程项目管理的主要特点有以下几个方面：

（一）规模大、风险高

海洋工程通常需要在广阔的海域进行施工，涉及多个国家或地区，建设规模和工程量都非常庞大。同时，由于海洋工程的特殊性和复杂性，其所面临的风险也相对较高<sup>[9]</sup>。比如，海底地质结构复杂、气候条件恶劣等因素都会对项目的顺利实施产生影响。

（二）技术难度高、风险因素多

由于海洋工程所处环境的特殊性，使得其项目管理难度较大。一方面，海洋中存在着许多不可预知的自然因素，如风暴、海流等；另一方面，海洋工程本身具有较高的技术要求，如深水钻井、水下作业等，这些技术难点不仅增加了项目实施的难度，而且还可能引发安全事故。

（三）成本控制困难、投资回收周期长

海洋工程的投资成本相对较高，且回收周期较长。这就要求项目管理人员必须具备较强的成本控制能力，并制定出科学合理的投资计划，以降低项目的整体风险。此外，由于投资回收周期长，所以还应考虑到资金周转问题。

三、海洋工程项目管理中风险管理双重预警

（一）风险识别

风险识别是风险管理的首要步骤，因此在风险管理中必须首先进行风险识别。通常情况下，项目风险识别主要分为两个阶段，即风险识别和风险评价。在具体实施过程中，项目管理人员要首先根据实际情况对项目的主要影响因素进行详细分析和梳理，并将其作为识别的重要依据。同时还要结合已有资料，对项目的实际情况进行分析和判断，从而有效识别项目中存在的各类风险。此外，还要根据项目的实际情况对各个阶段进行风险评估，将所有可能存在的风险因素进行汇总，并按照轻重缓急进行排序<sup>[10]</sup>。在此基础上构建相应的风险应对策略和应对措施，确保所有风险因素都能够得到合理控制。基于此，本研究通过建立风险管理双重预警体系对项目风险进行识别、评估和预测，并制定相应的风险应对策略，从而降低或消除风险发生概率，使项目顺利完成。针对项目中所涉及的各项风险因素，分别从技术、经济、组织管理三方面进行了梳理，具体见表1。

表1：风险因素

风险类别	主要风险因素	风险描述
技术风险	台风灾害风险	热带台风频发区年均遭遇4—6次台风，FPSO锚泊系统抗风能力不足（原设计抗风50m/s）
	深水作业风险	水深800~1500米，ROV作业受强洋流影响，水下采油树安装误差率超15%
	浅层气风险	钻井过程中遭遇浅层气溢出，导致井控失效风险增加（发生概率12%）

经济风险	设备质量风险	高盐高湿环境导致 FPSO防腐涂层老化加速，维护成本超预算25%
	财务危机风险	国际油价波动（原预算60美元/桶，实际均价48美元/桶），年收益减少3.8亿元
	成本超支风险	深水钻井因复杂地质条件，单井成本超预算35%（实际2.5亿元/口）
管理风险	工期延误风险	台风季海上作业天数仅占计划40%，海底管道铺设延误18个月
	安全事故风险	深水高压环境导致2起潜水员减压病事故，1次ROV操作失控撞击采油树
	协调管理风险	涉及9家国际承包商（中、美、挪威），技术标准冲突，决策延迟平均30天

风险权重分布，技术风险占47%（其中台风风险占28%）、经济风险占33%、管理风险占20%。其中，台风风险引发质量风险（占比61%），工期风险导致财务风险（相关系数0.79）。

（二）风险评价

海洋工程项目具有周期长、投资大的特点，因此风险评价是项目管理中不可缺少的一部分，风险评价不仅能帮助企业对风险进行辨识和评估，还能帮助企业制定应对风险的措施。由于海洋工程项目存在诸多不确定性，所以在对风险进行评价时，需要考虑到不同的影响因素，从而提高风险评价的准确性。在海洋工程项目管理中，影响因素包括经济、环境、技术和人员等方面，这些因素都会对海洋工程项目的管理效果产生重要影响<sup>[6]</sup>。因此在风险评价时必须充分考虑这些因素。此外还可以通过建立海洋工程项目管理风险数据库，对海洋工程项目各个阶段可能存在的风险进行评估，并结合企业自身实际情况和发展战略制定相应的应对策略。同时还可以通过建立风险预警机制来提高海洋工程项目管理的主动性和积极性，从而更好地应对各种风险，保证海洋工程项目顺利实施。

（三）风险控制

海洋工程项目风险管理的核心是风险控制，最终目标是实现项目目标。因此，必须建立健全科学合理的风险控制体系，从各个角度入手，全方位开展海洋工程项目风险控制工作。首先，在项目前期阶段要开展全面、系统的项目风险评估工作。对工程项目进行科学地分析和预测，确定好项目实施过程中可能遇到的各种风险因素，并制定出相应的应对策略。对于那些较为容易避免或规避的风险因素可采取预防措施；而对于那些较为严重或难以规避的风险因素则要采取有效措施予以规避或消除。再次，在海洋工程项目实施过程中要建立健全完善的项目管理制度，明确各个部门和人员职责，同时还应严格按照相关法律法规开展工作。此外还应加强对海洋工程项目管理人员进行定期培训和教育工作，以不断提高其专业素养和业务水平。

四、加强海洋工程项目建设中的风险管理措施

（一）构建完善的组织机构

在海洋工程项目管理中，构建完善的组织机构，可以提高风险管理的效率。首先，要组建专业的风险管理团队。海洋工程项目风险管理是一项复杂的系统工程，因此，必须组建专业的风险管理团队。在组建团队时，要根据海洋工程项目的实际情况，选择合适的人员，构建完善的组织机构，为后续风险管理工作提供基础保障。其次，要注重对相关人员进行培训。在项目建设过程

中,相关工作人员必须接受专业培训,掌握先进的技术和方法。同时,必须定期对工作人员进行考核和评估,确保各项工作都符合标准和要求<sup>[6]</sup>。然后,要加强组织机构建设。在海洋工程项目管理中,要积极引入先进的管理理念和技术,建立完善的组织机构,明确工作职责和任务。同时,要建立科学合理的风险管理体系。再次,要加强监督管理力度。在海洋工程项目建设中实施风险管理工作时,要注意建立完善的监督机制和奖惩机制,促进项目管理工作顺利进行。最后,要加强信息沟通。在海洋工程项目建设中要加强信息沟通工作机制建设,及时了解项目建设的动态信息和相关信息资料,确保项目建设能够顺利实施。

### （二）强化人员培训力度

当前,在我国海洋工程项目管理中,缺乏专业的人才队伍,对于人才的需求较大,而相关人员的能力和素质达不到要求,造成了管理效果不理想的局面。因此,在海洋工程项目管理中需要加强人才培养力度。首先,可以定期对项目经理、项目技术人员、项目团队成员进行培训和教育,提高他们的专业素质和管理水平。其次,在海洋工程项目建设过程中还需要注重对质量管理人员的培养,使他们能够对质量管理工作进行有效监督和管理。最后,在实际工作中需要注意以下几个方面:一是建立健全培训制度,明确培训目标,不断提升项目管理人员的业务水平;二是创新培训方式,通过多种形式开展培训活动;三是合理制定培训计划,保证培训计划科学合理;四是加强对项目经理及团队成员的培养和教育,使他们能够全面掌握风险管理技术知识和技能;五是强化对财务人员的培训教育工作。

### （三）加强技术创新

技术创新是企业发展的主要动力,是提升企业核心竞争力的重要途径,对于海洋工程项目管理也是如此。加强技术创新可以使企业在激烈的市场竞争中获得主动权,从而更好地应对各种风险,保证项目顺利实施。当前我国海洋工程项目管理中存在诸多问题,其中最主要的原因就是缺乏先进技术手段和创新意识。因此,必须加大海洋工程技术创新力度,引进先进的技术手段,如自动化设备、智能装备等,以提升海洋工程项目管理水平。此外,还可以利用信息化手段对工程项目进行全过程管理,将项目各阶段的信息和数据进行收集、整理和存储,从而有效提高项目管理水平。此外,还可以利用大数据技术对海洋工程项目进行动态跟踪和预测,从而有效避免项目风险。

### （四）建立科学合理的风险管理体系

海洋工程项目具有较强的技术性,涉及各个领域。因此在开

展风险管理工作时要建立起一套科学、合理的管理模式和方法,从而才能保证项目能够顺利进行。首先,项目管理者要对风险因素进行分析研究,确定出重点控制环节。其次,要从工程技术人员角度出发,深入了解并掌握各施工单位的风险防范能力及管理水平,然后再制定相应的对策。最后,要根据实际情况,不断完善风险管理体系,确保其能够有效发挥作用。

### （五）建立健全监督机制

海洋工程项目具有复杂性、艰巨性等特点,因此,要加强对项目管理工作的监督,严格控制项目的质量和进度。对于海洋工程项目,不仅要在施工过程中做好监督工作,还要在完成施工任务后做好验收工作,以保证工程质量符合相关要求。通过建立健全监督机制可以对工程质量进行有效控制,有效保证项目施工的安全性和高效性。此外,还要加强对海洋工程项目的监管力度,制定严格的规章制度,以保证海洋工程项目质量。另外,还要加强对海洋工程项目进度的监督,在完成施工任务后,还要做好验收工作。只有建立健全监督机制才能确保海洋工程项目顺利进行。

### （六）加强合同管理,规避违约风险

海洋工程合同是保障项目顺利完成的重要依据。所以在签订合同之前,一定要先对合同内容进行详细审查,确保其符合实际需求。另外,还要严格按照合同要求来履行自己的义务,以免造成不必要的经济损失。为了减少违约风险,可以采用多种方式来规避违约风险。比如通过引入第三方担保机制、完善激励机制等手段来降低项目违约概率。

## 五、结束语

目前,海洋工程的建设与开发越来越受到国家的重视,而在海洋工程项目实施过程中不可避免会遇到各种各样的风险因素。因此,在工程实施前必须做好充分准备和研究,并制定出合理有效的管理策略来应对各种风险问题。本文主要从海洋工程项目管理出发,首先分析了海洋工程项目管理中存在的问题及其产生原因,然后提出了几点建议,即建立科学合理的风险管理体系、建立健全监督机制、完善相关法律法规、注重合同管理等。希望通过研究可以为加强海洋工程项目管理有所帮助。

## 参考文献

- [1] 冯嘉. 风险管理在海洋石油工程项目中的应用 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2024, 44(08): 65-67.
- [2] 闫玉龙. 风险溯源与应对策略在海洋石油工程项目管理中的应用 [J]. 现代盐化工, 2024, 51(02): 95-97.
- [3] 王智. 海洋石油工程项目风险管理 [J]. 化工管理, 2023, (32): 7-9.
- [4] 游小华. 海洋石油工程项目风险管理标准化机制的构建与研究 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2023, 43(02): 1-3.
- [5] 侯东涛. ALNG2海洋工程模块蓬莱建造项目进度风险管理研究 [D]. 南昌大学, 2022.
- [6] 张健. 浅析项目风险管理方法及在海洋石油工程项目中的应用 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2022, 42(08): 93-95.

# 连续油管排水采气工艺技术分析与应

蒋军

工程技术增产作业公司, 天津 300452

DOI:10.61369/ME.2024080006

**摘 要 :** 连续油管排水采气技术是一种高效的气井增产措施, 该技术主要是针对低压与低渗透气藏中气井的积液问题。该技术的运用, 通过在原生产管柱内下入连续油管, 用较小直径管柱提高气流的流通速率, 来增加气井的携液能力, 减少井筒积液延长气井的生产周期。研究显示, 通过优化连续油管的直径、选择合适的下入深度、使用泡沫剂与气举等辅助手段, 可以提升气井的产气量与经济效益。

**关 键 词 :** 连续油管; 排水采气工艺; 积液; 产量

## Analysis and Application of Continuous Tubing Drainage Gas Production Technology

Jiang Jun

Engineering Technology Production Increase Operation Company, Tianjin 300452

**Abstract :** Continuous tubing drainage gas production technology is an efficient measure for increasing gas well production. This technology is mainly aimed at the problem of liquid accumulation in gas wells in low-pressure and low-permeability gas reservoirs. The application of this technology increases the liquid carrying capacity of gas wells, reduces wellbore fluid accumulation, and prolongs the production cycle of gas wells by inserting continuous tubing into the original production string and increasing the flow rate of gas with a smaller diameter string. The research shows that gas production and economic benefits of gas wells can be improved by optimizing the diameter of coiled tubing, selecting proper running depth, using foam agent and gas lift and other auxiliary means.

**Keywords :** continuous tubing; drainage and gas production process; fluid accumulation; production

当采气开发进入中后期, 气井普遍面临携液能力下降和井筒积液增加的问题, 这严重影响到气井的正常生产以及气藏的开发效率。传统的排水方法在面对低压地产气井的时候, 往往力不从心。因此连续油管排水技术诞生。这一项技术使用的创新之处在于技术十分灵活, 能够适应不同的井况, 通过最小化对气井进行进入性操作保持气藏压力等, 同时通过连续油管的特殊作业能力来解决, 如井下泵送、注入泡沫剂等。文章阐述该技术在施工中运用的优势, 阐述传统开采方法的局限性, 概述该技术的关键要点。

### 一、连续油管排水采气工艺技术运用优势

#### (一) 提高携液能力减少停井时间

连续油管排水采气工艺技术的使用能够优化临界携液流速、缩短停井时间。在作业的过程中通过下入小直径连续油管(通常规格为  $\Phi 38.1\text{mm}$  或  $\Phi 50.8\text{mm}$ ), 主要为减少气流截面积提升井筒内的气体流速, 能够有效降低临界携液流量。如 A 气田使用  $\Phi 38.1\text{mm}$  连续油管后, 气流速度提升 40% 以上, 携液能力增强, 油套压差减少了 1.82MPa, 积液的排出效率得到了显著提高。针对下倾型页岩气井水平井(如涪陵页岩气田), 连续油管下到水平段中部后, 解决积液的堆积问题, 让气井的连续携液气量降低

15%~30%, 滑脱损失减少从而延长气井的稳产周期。使用该工艺后无需压井作业, 连续油管可直接在原生产管柱内下入, 避免压井液伤害储层或者是油管段落增加风险。在作业后, 气井 24 小时内恢复生产, 和传统的生产方式(更换管柱)相比, 缩短停井时间 70%。同时还可以快速响应积液问题, 如 GA2 井在运用后, 自喷周期延长 3 倍以上, 减少了因为积液所导致的非计划性停产。

#### (二) 施工效率高、作业成本低、兼具环境与经济效益

连续油管作业机集成度高, 施工时间仅需 24h 甚至更短, 而且单次下管的深度能够达到数千米, 适合在深井和水平井中运用。通过多功能一体化技术同步完成注泡沫剂、气举、酸化等作业, 在 SD3 井中使用了“连续油管+泡排”的复合工艺,



单次的作业效率提升50%。在作业过程中具备显著的经济效益与社会效益，作业成本降低30%，因为该工艺的运用中不需要更换管柱，这在一定程度上减少设备租赁与人力的投入。比如在DND气田G井区中运用后，单井节省费用达到30万元。在A气田中运用达到了增产效益，气田日产量从 $0.286 \times 10^4 \text{ m}^3$ 增至 $0.391 \times 10^4 \text{ m}^3$ ，增幅达到37%，投资的回收期低于6个月。在工艺运用中环境友好性体现在减少压井液的使用，避免了化学剂污染地层的同时实现地下水资源的保护。在使用过程中能够结合CNG灌装气举工艺，排放量比常规的压缩机减少20%。

### （三）精准控制作业深度与注入量

在作业过程中通过井下定位工具（如陀螺仪）以及地面控制软件，可以精确下管道水平段的目标位置，误差低于0.5米，这说明该工艺的深度控制与精准控制优势显著。在运用的过程中可以根据井口压力和温度传感器数据优化注氮的排量。如致密砂岩气井注氮量经过泡沫流热阻力模型修正之后，单井药剂用量能够减少25%，避免井底出现堵塞情况。在注入水气的时候，可实现注入量的精准匹配，比如在使用中根据水气比差异定制管径，若水气比 $< 1.5 \text{ m}^3/10^4 \text{ m}^3$ 时用 $\Phi 50.8 \text{ mm}$ 管， $< 1 \text{ m}^3/10^4 \text{ m}^3$ 时用 $\Phi 38.1 \text{ mm}$ 管，根据井况匹配管径，实现排量与气井产能之间的有效平衡。新时期智能化技术也进入到该领域内，主要体现在助剂智能化，通过TRIMP负荷模型和RPE量表监测疲劳阈值，再根据预警动态调整泡沫剂加注量实现稳产高产。

### （四）融合创新技术使用不同的气井需求

该技术在运用过程中融合创新各项先进技术，如复合工艺“泡排+连续油管”能够在低产井注入液氮激活排采，增产效果能够提升40%。复合工艺中的“气举+连续油管”通过全通径井使用CNG灌装气举，能够每日排量提升3倍以上。常规井使用移动压缩机气举，更具效益与特性。目前使用的前沿技术有超声雾化技术——通过在页岩气井中雾化积液为微滴，携液率可提升60%，这适合运用在水平段积液；智能监控技术通过GPS定位和物联网传感器实时分析井筒的气液部分，预警积液的风险，比如HRV $< 70 \text{ ms}$ 的时候自动调整参数进行控制。对于特殊井，可针对性制定对应施工方案，下倾型水平井在作业中，连续油管下深到水平段的最低端，配合节流器控制流量来解决积液的滞留问题。在致密砂岩气井当中，通过优化泡排介入时机，产量降至携液流量的时候启动辅助措施，从而延长气井的稳产期。

## 二、传统气井开采作业的局限与不足

### （一）储层与地质因素的限制

传统自喷开采依赖地层压力，当压力下降到临界携液流速以下的时候，气流流速不足，井筒的积液加剧很容易导致气井停喷。比如XX盆地致密砂岩气井开发的中后期，60%的气井由于压力不足而需要人工举升，但由于常规机设备在渗透率 $< 1 \text{ mD}$ 的储层中效率骤然下降30%。传统工艺的水侵控制能力相对薄弱，边底水活跃气藏中，水侵路径预测误差 $> 30\%$ ，过度排水易诱发水锥突进，封堵气孔从而形成死气区，采收率降低到40%~60%，

纯气驱气藏可能达到90%。传统工艺技术使用中监测技术是短板，由于缺乏实时水情动态监测技术，导致排水方案落后，不利于气井的生产<sup>[1]</sup>。

### （二）井筒流动与举升技术的瓶颈

携液能力不足是气田生产受限的主要原因，气液两相流在传统的工艺中，若油管管径为 $\Phi 73 \text{ mm}$ ，产量 $< 5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 时，气体流速 $<$ 临界携液流速，液滴沉降形成段塞流，加剧了在井底积液压差的形成。这种情况比较典型的案例如CQ采气井，据资料显示30%的气井由于积液导致年产降低为20%，而且频繁停井，复产之后的产能恢复只能达到70%。传统工艺中举升工艺成本高，而且局限诸多。气举通常适用于气液比 $> 500 \text{ m}^3/\text{m}^3$ 的气田，能耗高，同时能耗高（单井日耗电 $> 200 \text{ kWh}$ ），压缩机故障率 $> 25\%$ ；若使用常规机抽低产液量 $< 50 \text{ m}^3/\text{d}$ ，长时间使用下来抽油杆严重磨损，至少每半年内都要对设备进行维修检查。电潜泵适用于大排量气田中（ $> 100 \text{ m}^3/\text{d}$ ），这种井下有高含硫特性（HS $> 5\%$ ），井中腐蚀速率 $> 0.5 \text{ mm}/\text{年}$ ，局限非常多不利于气田生产提效。

### （三）井下工具与装备的局限

井口与管柱的密封性失效十分严重，在 $\text{CO}_2/\text{HS}$ 气井当中，闸阀阀门密封面因硫化物的存在产生应力腐蚀开裂的情况，寿命缩减为常规气井的三分之一，年泄露事故率 $> 10\%$ 。高温高压状态下传统作业的适应性非常差，如深井超过4500m的，井口装置在温度 $> 150^\circ\text{C}$ 、压力 $> 70 \text{ MPa}$ 状态下作业，渗漏风险会大幅度增加。在复杂井况下，修井的难度增加，套管损伤等限制了作业的进行，如含硫的气田内，套管腐蚀速率达 $0.1 \sim 0.3 \text{ mm}/\text{年}$ ，带压作业中管柱遇卡概率 $> 35\%$ ，打捞成功率低于50%。井下的排水采气工艺受到诸多工艺的制约，高矿化度地层水中，矿化度 $> 200 \text{ g/L}$ 情况下起泡剂失效，当过量注入会导致井筒堵塞。柱塞气举状态维护成本增加30%。在作业过程中，带压作业风险较大，高压气井：压力 $> 35 \text{ MPa}$ 的时候，管柱防喷系统容易失效，含硫环境下容易引发 $\text{H}_2\text{S}$ 泄漏，导致安全管控成本增加，成本约占作业总费用的40%。气田的储层保护难度增加，压井液进入低渗储层后，液相锁闭伤害率达到35%，复产的周期达到3~6个月<sup>[2]</sup>。

## 三、连续油管排水采气工艺技术应用

### （一）携液能力的提升与稳产增效

连续油管排水采气工艺技术的应用中，尤其是在低压常规气藏中运用，可达到携液能力的提升，实现稳产增效目标。如A气井，在使用该工艺的基础上，对管径进行优化，在 $\Phi 73 \text{ mm}$ 原管柱内下入 $\Phi 38.1 \text{ mm}$ 连续油管，气流速度的提升达到40%，油套压差降低到1.82MPa，提升量达到37%。在气田中结合泡排剂注入，单井作业的效率能够提升50%，积液排出的周期大幅度缩短。在该技术当中，针对水平井段优化管径的选择，确保气流速 $>$ 临界携液流速（ $3 \sim 5 \text{ m/s}$ ）。低压常规气藏中还可使用复合工艺，如连续油管+泡沫剂/气举来解决低产井的积液滞留问题。

### （二）积液靶向清除

以LY-X井为例，可以在井下通过将连续油管下到水平段中

部,让携液气量降低到15%~30%,从而延长稳产的周期。在作业中通过实时监测,可降低陀螺仪的定位误差,再结合井温/压力传感器对参数进行动态调整。在气田内可以使用超声雾化技术,雾化井底的积液为微滴,携液效率能够提升60%,这适用于矿化度>200g/L的高盐地层中。同时低产井注液氮助排能提升40%的增产效果。

### (三) 特殊结构井的适应性改造

对于油套不联通和传统泡排/气举无法进行的大位移水平井,使用Φ50.8mm连续油管作为独立生产通道,建立起循环通道进行生产,可保证气田的稳产率。在高含硫境内,通过使用抗硫合金连续油管(如825镍基合金),将腐蚀速率降低到<0.1mm/年,避免HS的泄漏风险。在TLM超深井中,使用多级气举阀连续油管作业<sup>[3]</sup>。由此可见该技术可以针对气田情况进行改进与优化,让其适合不同的地质条件。

## 四、连续油管排水采气工艺技术应用优化途径

### (一) 引入智能监测技术

连续油管排水采气工艺技术在当下的运用已经比较成熟,新时期可通过引进智能监测技术,实现对井下的实时预警以及动态调控。在井下部署光纤传感器与分布式声波传感技术,再结合华为油气智能系统来实时监测井筒内的气液变化。在井下自动预警积液的风险,在动态调整注氮排量。在井下作业中,连续油管底部集成温度与压力传感器,如陀螺仪定位误差<0.5m的时候,技术人员通过控制地面软件来修正携液流速模型,从而优化管径的选择。目前智能决策支持平台可以很好监测连续油管的作业过程,如通过TRIMP负荷模型与REP量表监测疲劳阈值,自动匹配泡排剂加注量来防止过量导致泡沫堵塞。目前也可在技术使用中加入数字孪生模拟系统,如构建“管柱-储层-设备”的一体化数字模型,再模拟不同工况下的积液动态情况,预判最佳的排水时机。

### (二) 引进复合工艺进行生产

目前复合工艺在不同的气田场景内得到了运用,比如“连续油管+超声雾化”复合工艺在页岩气水平段积液中的运用,将积液雾化为微滴,携液效率提升60%。“连续油管+CNG气举”能够降低碳排放量和能耗成本,通常运用在全通径低压气井内。“连续油管+纳米泡排”工艺使用在高矿化度地层水中,通过生物降解型泡排剂替代化学剂,能够降低25%的药剂成本,在FL气田中

运用植物基起泡剂成功运用,降低了生产成本的同时保证了气田的生产。在该工艺的运用过程中连续油管能够根据井型的特殊性制定对应的方案,比如下倾型水平井内可以配合节流器来控制流量,降低滑脱损失<sup>[4]</sup>。在超深含硫井内,运用多级气举阀+抗硫合金灌注来进行作业,从而保证作业的速度与效率。

### (三) 研发新型材料

考虑到井下作业对设备性能等的高度要求,新时期应该积极研发耐蚀耐温和轻量化的材料,研发高性能管材运用于连续管作业中。如825镍基合金连续油管在含硫气田内作业可以延长寿命3倍,耐150℃高温陶瓷涂层的运用,能突破超深井>4500的瓶颈。非金属复合材料的使用也会在将来成为趋势,如碳纤维-PEEK复合管,以Magma Global的M管为例,该材质具备轻量化与抗腐蚀性能,适用于海洋养殖网箱及超深井的作业中,重量与普通的材质降低减轻40%,安装的成本降低50%。目前环保药剂创新也很关键,比如低成本纳米泡排剂,以植物基表面活性剂为例,该材料替代传统的化学剂能够降低对地层的污染<sup>[5]</sup>。无水压裂配套材料的运用,通过连续油管输送纳米堵水剂,减少高氯根 $Cl^- > 10^5 mg/L$ 的存在,减少废水处理成本的投入。

### (四) 进行全生命周期管理

在连续油管排水采气技术的使用过程中,引进全生命周期管理十分重要。在设计阶段通过BIM技术模拟管柱的受力,优化连续油管下入深度与悬挂方式,减少作业的成本。低碳工艺的集成也是设计阶段需关注的重点,如结合地热驱动来提升系统的效率,全生命周期碳排放和传统工艺相比可降低20%。运维阶段通过物联网平台来实时分析管道应力,预警井下管道腐蚀的风险,可以自动生成维修计划减少非计划停井率。在各项作业中经济效益追踪备受重视,通过建立起单井投入产出模型、动态评估投资回收周期,实现全过程的生产管理。

## 五、结束语

综上所述,连续油管排水采气技术在新时期十分重要,文章系统论述该技术在运用中的优势与特征,简述传统的气田作业的局限,讨论在连续油管作业中的控制措施。理论上连续油管排水采气技术的优化要围绕现代技术展开,尤其是以现代化智能技术等运用,只有同技术迭代与系统整合,才可以实现气田开发效益与可持续的双赢。

## 参考文献

- [1] 沈金才,郑瑞波.连续油管电缆超声雾化排水采气技术初探[J].江汉石油职工大学学报,2023,38(01):53-55+58.
- [2] 陈小刚,李晓玲,侯建伟,等.天然气开采中排水采气技术的应用研究[J].能源与节能,2023,(10):91-94+111.
- [3] 佟羽齐,常有青,邬东辉,等.连续油管气举阀工艺在克拉2气田的适应性分析[J].化学工程与装备,2023,(08):44-48.
- [4] 张洪涛.水平气井积液预测及旋流排水采气理论与方法研究[D].东北石油大学,2023.
- [5] 宋岩.低压低产气井排水采气工艺[J].化学工程与装备,2023,(10):106-108.

# 基于多源数据融合的智慧水务设备实时监控与异常预警系统

陈圣伟

南京市溧水区自来水有限公司, 江苏 南京 210000

DOI:10.61369/ME.2024080007

**摘要：**随着城市化进程的加速，水资源管理和利用面临着前所未有的挑战。智慧水务作为智慧城市的重要组成部分，旨在通过先进的信息技术手段提升水务管理的智能化水平。本文提出了一种基于多源数据融合的智慧水务设备实时监控与异常预警系统，该系统能够整合来自不同渠道的水务设备数据，通过高效的数据处理和分析技术，实现对水务设备的实时监控和异常预警。本系统不仅提高了水务管理的效率和准确性，还为水资源保护和可持续利用提供了有力支持。

**关键词：**智慧水务；多源数据融合；实时监控；异常预警系统；数据处理与分析

## Real-time Monitoring and Abnormal Warning System for Smart Water Equipment Based on Multi-source Data Fusion

Chen Shengwei

Nanjing Lishui District Water Supply Co., Ltd. Nanjing, Jiangsu 210000

**Abstract：** With the acceleration of urbanization, water resource management and utilization are facing unprecedented challenges. As an important component of smart cities, smart water aims to improve the level of intelligence in water management through advanced information technology. This paper proposes a real-time monitoring and abnormal warning system for smart water equipment based on multi-source data fusion. This system can integrate water equipment data from different channels and achieve real-time monitoring and abnormal warnings for water equipment through efficient data processing and analysis techniques. The system not only improves the efficiency and accuracy of water management but also provides strong support for water resource protection and sustainable utilization.

**Keywords：** smart water; multi-source data fusion; real-time monitoring; abnormal warning system; data processing and analysis

### 一、智慧水务设备实时监控系统设计

#### （一）系统架构概述

智慧水务新纪元的核心在于构建一个高效、智能的实时监控与异常预警系统，这一系统的基石在于其精妙设计的系统架构。系统架构作为整个智慧水务项目的骨架，支撑着数据采集、处理、分析及预警等各个环节的顺畅运行。它借鉴了云计算、大数据及物联网等前沿技术，旨在实现水务管理的智能化、自动化与精细化。

系统架构以分布式云平台为基础，确保了数据处理的高效性与稳定性。在这一架构下，数据采集模块如同神经末梢，遍布于城市的每一个角落，实时捕捉水质、水量、水压等关键数据。这些数据通过高速、稳定的网络传输通道，被迅速送至云端数据中心进行存储与处理。

在数据存储方面，系统采用了先进的分布式数据库技术，确保了海量数据的高效存储与快速访问。<sup>[1]</sup>同时，通过数据预处理与清洗策略，有效剔除了噪声数据，提高了数据质量，为后续的数据分析与异常检测奠定了坚实基础。

系统架构还强调了模块间的协同与集成，使得多源数据融合成为可能。通过特征提取与融合算法，系统能够整合来自不同源头的的数据，形成更全面、准确的水务状况画像。这一能力在应对复杂水务问题时显得尤为重要，如通过融合水质监测数据与天气预报信息，系统能够更准确地预测水质变化趋势，提前采取干预措施。

#### （二）数据采集模块设计

在智慧水务新纪元的探索中，数据采集模块设计是整个实时监控系统的基石。该模块负责从各类水务设备中收集关键运行数据，包括但不限于水泵流量、水质参数、管道压力等，这些数据是后续分析与预警的基础。为了确保数据的全面性和准确性，我们采用了先进的物联网技术，通过在关键节点部署传感器，实现了对水务系统的全方位覆盖。

在数据采集过程中，我们特别注重数据的时效性和完整性。通过采用边缘计算技术，传感器能够实时将数据传输至云端，大大缩短了数据处理的延迟时间。<sup>[2]</sup>同时，为了确保数据的准确性，我们引入了数据校验机制，对采集到的数据进行多维度验证，有效避免了因设备故障或传输错误导致的数据异常。此外，我们还



借鉴了工业4.0中的“数字孪生”概念，构建了水务系统的虚拟模型，通过与实际数据的对比，进一步提升了数据采集的精度和可靠性。

在数据采集模块的设计中，我们还充分考虑了数据的多样性和复杂性。由于水务系统涉及的设备种类繁多，数据格式各异，因此，我们采用了统一的数据接口和协议，实现了不同设备间数据的无缝对接。同时，为了应对海量数据的处理挑战，我们引入了大数据处理技术，这些技术能够高效地处理和分析PB级别的数据，为系统的实时监控和异常预警提供了强大的技术支持。

### （三）数据传输与存储方案

在智慧水务新纪元的探索中，数据传输与存储方案是实时监控系统的核心组成部分。为了确保数据的实时性和准确性，我们采用了高效的数据传输协议，如MQTT，它能够支持低带宽、不可靠或高延迟的网络连接，非常适合水务监控系统中传感器数据的实时传输。通过MQTT协议，各个监测点的数据能够迅速汇聚到中央服务器，实现了数据的即时更新和高效管理。

在数据存储方面，我们采用了分布式数据库系统，如Hadoop HDFS，它能够处理PB级别的数据，提供了高吞吐量的数据访问能力。通过HDFS，我们能够存储来自不同监测点的海量数据，包括水质参数、流量数据、设备状态等，为后续的数据分析和异常预警提供了坚实的基础。

以某城市智慧水务项目为例，该项目部署了数百个水质监测站，每个监测站每分钟采集一次数据，每天产生的数据量高达数百万条。通过采用上述数据传输与存储方案，确保了数据的实时传输和高效存储，为项目团队提供了准确、全面的数据支持。

通过优化数据传输与存储方案，我们不仅能够实时掌握水务系统的运行状态，还能够深入挖掘数据背后的价值，为水务管理提供更加科学、精准的决策支持。<sup>[9]</sup>未来，随着物联网、大数据和人工智能技术的不断发展，我们有理由相信，智慧水务将迎来更加广阔的发展前景。

## 二、多源数据融合技术解析

### （一）数据融合原理与方法

在智慧水务新纪元的探索中，多源数据融合技术成为了实时监控与异常预警系统构建的核心。数据融合原理与方法，作为这一技术的基石，旨在来自不同源头、不同格式的水务数据，通过一系列复杂的算法和处理流程，整合成具有统一格式和高质量的信息资源。这一过程不仅提高了数据的准确性和可靠性，更为后续的分析 and 决策提供了坚实的基础。

数据融合的原理，简而言之，就是将多个数据源的信息进行有机结合，以形成对某一特定对象或事件的全面、准确的理解。在智慧水务领域，这意味着我们需要将水质监测数据、流量数据、压力数据等多种类型的数据进行融合。<sup>[4]</sup>例如，通过融合来自不同监测站点的水质数据，我们可以更准确地评估整个供水网络的水质状况，及时发现潜在的水质问题。这一过程类似于拼图游戏，每一块拼图都提供了部分信息，只有当所有拼图组合在一起

时，我们才能看到完整的画面。

在实施数据融合的过程中，我们采用了多种方法和技术。其中，卡尔曼滤波器和贝叶斯网络是两种常用的数据融合算法。卡尔曼滤波器通过递归的方式估计系统的状态，对于处理具有噪声和不确定性的动态数据非常有效。在智慧水务中，我们可以利用卡尔曼滤波器来融合来自不同传感器的水质监测数据，从而提高数据的准确性和稳定性。<sup>[5]</sup>而贝叶斯网络则是一种基于概率图模型的数据融合方法，它能够处理复杂的不确定性和依赖关系。通过构建贝叶斯网络，我们可以将来自不同数据源的信息进行融合，以推断出隐藏的状态或事件。例如，我们可以利用贝叶斯网络来融合水质监测数据和天气预报数据，以预测未来几天的水质变化趋势。

### （二）数据预处理与清洗策略

在智慧水务新纪元的探索中，数据预处理与清洗策略是构建多源数据融合下的实时监控与异常预警系统的关键环节。由于水务系统涉及的数据来源广泛，包括水质监测、流量统计、设备状态等多种类型，这些数据在采集过程中难免会受到各种干扰，如设备故障、传输误差、人为操作失误等，导致数据质量参差不齐。因此，在数据进入分析模型之前，必须经过严格的数据预处理与清洗步骤，以确保数据的准确性和可靠性。

数据预处理阶段，我们首先对原始数据进行初步筛选，剔除明显异常或缺失值过多的记录。例如，在某次水质监测中，我们发现某监测站点的pH值数据连续多日偏离正常范围，且波动极大，经核实为传感器故障所致，这部分数据在预处理阶段即被标记并剔除。<sup>[6]</sup>此外，对于缺失值，我们采用插值法或基于历史数据的预测模型进行填补，以尽可能减少数据损失对后续分析的影响。

数据清洗阶段则更加注重数据的准确性和一致性。我们利用正则表达式、数据匹配等技术手段，对数据类型、格式进行统一处理，确保数据间的可比性。同时，针对异常值，我们采用统计方法如 $3\sigma$ 原则或箱线图法进行识别，并结合领域知识进行人工复核。例如，在一次流量统计中，我们发现某时段某管道的流量数据异常偏高，远超历史平均水平，经分析确认为数据传输过程中的误码所致，经过清洗后，数据恢复了正常。

值得一提的是，数据预处理与清洗并非一次性工作，而是一个持续迭代的过程。随着系统的运行和数据的积累，我们需要不断优化清洗规则和算法，以适应数据特性的变化。

通过严格的数据预处理与清洗策略，我们有效提升了数据的质量和可用性，为后续的多源数据融合和异常预警提供了坚实的基础。

### （三）特征提取与融合算法

在智慧水务新纪元的探索中，特征提取与融合算法扮演着至关重要的角色。这一技术通过对多源数据的深度挖掘，实现了信息的有效整合与利用。特征提取环节，我们采用先进的机器学习算法，从海量的水质监测数据、设备运行状态数据以及气象数据等中提取出关键特征。例如，利用主成分分析（PCA）方法，我们可以有效降低数据的维度，同时保留数据中的主要信息，这对



于后续的数据处理和分析至关重要。

在特征融合阶段，我们引入了深度学习中的卷积神经网络（CNN）和循环神经网络（RNN）模型，这些模型能够自动学习数据中的复杂模式，并将不同来源的数据特征进行有效融合。通过 CNN，我们可以捕捉到水质参数之间的空间关系，而 RNN 则能够处理时间序列数据，揭示数据随时间变化的趋势。这种融合策略不仅提高了数据的准确性和可靠性，还为后续的异常预警提供了坚实的基础。

以某城市智慧水务项目为例，我们利用特征提取与融合算法对多个水源地的水质数据进行了综合分析。通过对比历史数据和实时监测数据，我们发现某水源地的溶解氧含量出现了异常下降的趋势。<sup>[7]</sup>结合气象数据和设备运行状态数据，我们进一步分析得出，这是由于近期降雨量减少导致水源地水量减少，加之设备老化导致的曝气不足所致。这一发现及时触发了预警机制，相关部门迅速采取了应对措施，有效避免了水质恶化对市民生活的影响。

### 三、异常预警机制构建

#### （一）异常检测算法研究

在智慧水务新纪元的探索中，异常检测算法研究是构建实时监控与异常预警系统的关键环节。这一研究旨在通过先进的算法技术，实现对水务系统中各类数据的深度分析，从而精准识别出潜在的异常情况。在实际应用中，我们采用了基于机器学习的异常检测算法，该算法能够自动学习数据中的正常模式，并据此构建出异常检测模型。<sup>[8]</sup>通过对历史数据的训练和学习，模型能够准确捕捉到数据中的异常波动，为后续的预警和响应提供有力支持。

在数据方面，我们收集了来自多个水源地的实时监测数据，包括水质、水量、水压等多个维度。通过对这些数据的综合分析，我们发现了一些潜在的异常模式，如水质突然恶化、水量异常波动等。<sup>[9]</sup>为了验证算法的有效性，我们选取了一个具体案例进行深入研究。在某次水质异常事件中，我们的异常检测算法在数据波动初期便发出了预警信号，比传统方法提前了数小时。这不仅为相关部门提供了宝贵的响应时间，还有效避免了可能因水质问题引发的公共卫生事件。

在异常检测算法的分析模型中，我们引入了多种特征提取和

融合技术，以提高算法的准确性和鲁棒性。这些技术包括主成分分析（PCA）、独立成分分析（ICA）等，它们能够从原始数据中提取出最具代表性的特征，为算法提供更加丰富的信息。此外，我们还借鉴了深度学习领域的卷积神经网络（CNN）和循环神经网络（RNN）等技术，以实现时间序列数据的精准建模和预测。这些技术的引入，使得我们的异常检测算法在复杂多变的水务环境中表现出色。

#### （二）预警阈值设定与调整

在智慧水务新纪元的背景下，异常预警机制的构建尤为关键，其中预警阈值的设定与调整是整个系统的核心环节。预警阈值的设定需基于历史数据分析和专家经验，确保既能及时捕捉到异常情况，又能避免误报带来的不必要干扰。<sup>[10]</sup>例如，在监测水质参数时，我们可以利用历史水质检测数据，结合统计学方法，如 $3\sigma$ 原则，设定合理的预警阈值。具体而言，通过对过去一段时间内水质参数的均值和标准差进行计算，将均值加减三倍标准差作为预警阈值的上下限，超出此范围即触发预警。

然而，静态的预警阈值往往难以适应复杂多变的水务环境。因此，预警阈值的动态调整显得尤为重要。在实际应用中，我们可以引入机器学习算法，如支持向量机（SVM）或随机森林，对历史数据进行训练，建立水质参数变化与预警阈值之间的动态关系模型。当新的监测数据输入时，模型能够自动调整预警阈值，以适应当前的水质状况。这种动态调整机制不仅提高了预警的准确率，还增强了系统的自适应能力。

### 四、结语

随着科技的不断发展，智慧水务系统在水资源管理中的作用日益凸显。本文所提出的基于多源数据融合的智慧水务设备实时监控与异常预警系统，通过整合各类传感器数据、历史水质检测数据以及外部环境数据，实现了对水务设备的全面监控和异常预警。该系统不仅提高了水务管理的效率和准确性，还为水资源保护和可持续利用提供了有力支持。在未来的研究中，我们可以进一步探索更多先进的数据处理算法和预警模型，以优化系统的性能。同时，加强系统的稳定性和安全性也是未来的重要研究方向。相信在不久的将来，智慧水务系统将在水资源管理中发挥更加重要的作用。

### 参考文献

- [1] 汪澳. 智慧水务信息化系统应用与分析研究 [J]. 科技资讯, 2023(17).
- [2] 曲士民, 孙国栋, 姜联玉, 李德鹏, 周百红, 张艺宝. 智慧水务信息化系统应用与分析研究 [J]. 中国设备工程, 2023(S1).
- [3] 徐涛, 梁新华, 梅春雨. 智慧水务信息化系统建设 [J]. 城乡建设, 2020(06).
- [4] 张璐, 景天阔, 徐桂祥. 智慧水务数据中台建设与应用 [J]. 上海信息化, 2023(09).
- [5] 颜立群. 智慧水务建设现状和发展方向 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2023(18).
- [6] 罗志逢, 黄泽, 陈婷婷. 城市智慧水务建设策略分析 [J]. 电子技术, 2023(05).
- [7] 王宏志. 物联网技术在智能水务建设中的应用分析 [J]. 中国高新科技, 2022(15).
- [8] 南楠. 基于物联网技术的智慧水务体系研究 [J]. 轻工科技, 2021(07).
- [9] 韦一, 王珏, 张晓星, 蒙政成. 智慧水务信息化系统应用与分析研究 [J]. 软件, 2023(11).
- [10] 鲁菁, 马晓虎, 杨涛. “智慧水务”平台系统的构建及关键技术分析 [J]. 数字技术与应用, 2023(10).

# 基于2024年度“双随机、一公开”的城市供水行业 调查研究——以河北省为例

李朝阳<sup>1</sup>, 段英随<sup>2</sup>, 张丹<sup>1</sup>, 赵仪瑾<sup>1</sup>

1. 河北省城乡规划设计研究院有限公司, 河北 石家庄 050021

2. 北京城建设计发展集团股份有限公司, 北京 100025

DOI:10.61369/ME.2024080020

**摘要 :** 本文基于河北省2024年城市供水行业“双随机、一公开”监督检查结果, 系统分析27个县(市、区)供水主管部门及单位的运行现状。分析了行业存在监管能力、专项规划编制、漏损治理及应急能力等核心问题。同时, 针对极端天气频发与人民对水质服务提升的需求矛盾, 提出规划先行、强化韧性、数字赋能及服务优化等策略, 为供水行业高质量发展提供路径参考。

**关键词 :** 城市供水监管; 漏损控制; 应急水源; 智慧水务; 二次供水

## A Survey on Urban Water Supply Industry Based on "Double Random, One Open" in 2024 — Taking Hebei Province as an Example

Li Chaoyang<sup>1</sup>, Duan Yingsui<sup>2</sup>, Zhang Dan<sup>1</sup>, Zhao Yijin<sup>1</sup>

1 Hebei Urban and Rural Planning and Design Research Institute Co., LTD. Shijiazhuang, Hebei 050021

2 Beijing Urban Construction Development Group Co., LTD. Beijing 100025

**Abstract :** This article, based on the results of the 'double random, one open' supervision and inspection in the urban water supply industry in Hebei Province in 2024, systematically analyzes the current operational status of water supply authorities and units in 27 counties (cities, districts). It examines key issues such as regulatory capacity, special planning, leakage management, and emergency response. Additionally, it addresses the conflict between frequent extreme weather and the public's demand for improved water quality services by proposing strategies including prioritizing planning, enhancing resilience, leveraging digital technology, and optimizing services, to provide a reference for the high-quality development of the water supply industry.

**Keywords :** urban water supply supervision; leakage control; emergency water source; smart water supply; secondary water supply

## 一、工作组织与实施

### (一) 调查内容设置

按照工作安排, 供水行业抽查事项为: 城市供水单位供水水质是否达标, 运行管理是否符合相关规定; 供水主管部门是否按照国家和省有关规章制度要求开展供水管理工作。结合民生关切、供水风险防范和行业重点工作推进等因素, 依据有关规章制度要求, 按照直观明了、易于考量的原则设置了检查表, 对检查内容进行了细化。

主管部门检查内容6项, 包括: 机构设置、供水设施建设改造、应急备用水源管理、水质监管、漏损监管和服务质量监管。供水单位检查内容4项, 包括: 水质保障、水厂运行与管理、管网运行和服务情况。此外对供水信息化、水价情况进行同步调研。

### (二) 抽查对象

通过省双随机执法监管平台按10%的比例抽取了27家供水单

位。按北、中、南三个片区划分了三个工作阶段, 进行了逐个实地调研。

## 二、总体情况

### (一) 总体评价

城市供水主管部门能够按照国家和省有关要求, 依法依规加强行业监管, 推进相关工作。供水单位及时巡检维护设施设备, 能够提供水量稳定、水质达标的供水服务, 智慧供水建设水平不断提高, 城市供水设施运行平稳。

### (二) 存在问题

主管部门行业管理方面, 部分主管部门存在监管能力不足, 城市供水专项规划组织编制滞后, 设备更新、一户一表改造等项目的谋划和储备不充分, 应急管理能力不足, 二次供水管理薄弱, 供水管网漏损治理措施系统研究欠缺等问题。供水单位运行管理方面, 部分供水单位存在管理制度不完善、更新不及时, 管

网水质管理不规范，在线仪表显示不准确，应急预案针对性不强，服务和投诉汇总、分析和后期处置不充分等问题。

### 三、供水行业各项工作情况

#### （一）城市供水主管部门

##### 1. 机构设置与职责履行

抽查27个县（市、区）中，建设部门（住建/城管）主管18个，水利部门主管8个（含农业农村局代管职能），自然资源部门主管1个。

建设部门（住建或城管）管理具备对口优势，监管人员专业性相对较强，设市城市履责到位，但县（市、区）层面专职管理人员不足，存在对下属企业依赖性过强、下属企业同时承担监管职能和运营管理的普遍现象。水利部门管理的地区，水源或应急水源有保障，管理则两极分化：部分地区职责清晰，各项事务推进有条不紊，如赵县、芦台、大厂；部分地区对供水认识和重视不足；普遍存在三定方案职责均划定不明确，表现为“城乡供水”“全域用水”“水资源管理”等等。另外，开发区建制地区监管能力均较弱。

##### 2. 规划与项目建设

供水规划编制工作整体滞后，制约供水行业高质量发展。根据监督检查结果，各地区结合远期至2035年的国土空间规划已完成编制供水专项2个，在编专项4个，具备原2030年总规供水专项规划（编制时间2014年左右）需要重编或修编专项15个，未开展编制6个。

大多地区进行了项目的谋划与储备，但漏损治理措施系统研究不足。谋划项目类型包含一户一表改造、二次供水设施更新、老旧管网改造、分区计量、智慧供水建设、应急水源等，积极为申请超长期国债、中央内预算等做准备，但针对单个地区，由于缺乏科学的专项规划支撑，普遍存在项目谋划不充分，储备不足，针对性不强的现象。

##### 3. 应急管理

预案与演练：大部分地区编制了《城市供水应急预案》，但存在应急预案修编不及时，演练针对性不强，演练台账不详细，演练频次不足现象。

应急水源建设与管理：邯郸市、秦皇岛经开区（多水源互备）、青县（调蓄水池+备用水源井+日常维护）、衡水市、涿州市（热备水源井+水质检测）、雄县（应急地下水厂）、赵县（利用原地下水厂）、大厂县（地下水厂互备）。多数南水北调受水区保留部分水源井应急。

主要问题：日常维护管理需规范提升；少数地区应急能力缺失，难以应对可能的供水风险。

##### 4. 水质监管

监管方式：市级层面多委托第三方检测；县级层面主要监管供水企业是否按《城市供水水质标准》开展自检。

二次供水管理进展：部分地区（如衡水、邯郸、张家口、秦皇岛经开区等）推动供水单位参与二次供水设施设计审查与竣工验收，加强了前端管控。

##### 5. 服务质量监管

基础监管：均对用水报装、投诉处置、信息公开进行监管，

“水电气热网”联合报装基本落实。用水接入工程行政审批实现在线并联办理。

宣传短板：定期开展节水宣传，但供水水质宣传严重不足，相关工作亟需加强。

#### （二）供水单位

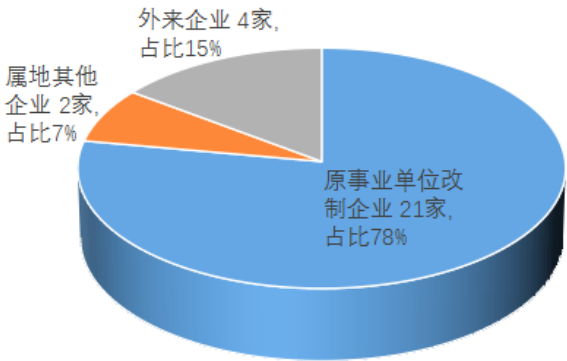
##### 1. 运营主体结构

一体化运营：20个地区实现水厂与管网一体化运营。

分离运营：7个地区水厂与管网由不同单位运营。

管网运营主体：21家为原事业单位改制企业（主管下属），2家属地其他企业，4家外来企业（建投水务、沧州供排水、中节能）。基本保障水量水压水质，但仅少数（如清苑、邢台市、大厂等）能有效利用信息平台控制漏损、保障压力。

水厂运营主体：14家为原事业单位改制企业，2家属地其他企业，9家外来大型企业（北控、建投、中洲等），2处无水厂（芦台、清苑）。外来企业运营规范、制度台账健全、保障能力强、应急响应好；改制企业及属地企业运营水平参差，基本满足供水需求。



##### 2. 水质保障能力

供水单位均制定了水质检测制度，具备检测台账记录。部分供水单位水质检测制度、台账记录待规范。各供水单位水质化验室，基本具备与供水规模相匹配的水质检测能力，少数化验室能力不足。

各公司单位能够通过政府网站、公众号定期向社会公布水质信息，公布类型覆盖原水、出厂水、管网水或管网末梢水，但就单个地区来讲，公布的水质检测报告类型、指标项数和频次均不同。

##### 3. 水厂运行管理

设施维护：均建立并执行设施设备维护检修制度，保障水厂运转。但部分单位制度执行不到位、记录签字不规范、流于形式。

应急管理：均制定应急预案，但普遍存在体系不完善、专项预案缺失、演练不足/针对性弱/记录不详、预案未及时修编等问题。

工艺与安全：水处理设施设备运行及安防重点部位基本达标。

##### 4. 管网运行

基础维护：均建立管网（含消防栓）维护制度，定期巡检养护保障运行，但部分单位计划与台账不规范。

漏损控制：均进行年度漏损统计分析，但普遍缺乏系统治理

研究、措施针对性弱、数字化应用不足。仅南宫、中捷设定期检漏项目；清苑、大厂利用智慧平台降漏损成效好。

管网水质：均建立管理制度并定期监测。但部分单位检测项目/频次未达标。

压力管理：基本满足用户需求。部分单位（如内丘、青县）压力点设置合理、记录管理好、压力管控佳；部分测压点设置合理性不足，或记录压力值存在低于0.14Mpa现象。

5.服务情况

信息公开与报装：基本落实信息公开要求；均制定报装程序（明确材料、时限），入驻政务大厅。

投诉处理：用户投诉集中于停水、水质、水费、水压。部分地区12345等热线投诉量居高不下，反映问题重复出现，凸显投诉分析研判不足、处置力度不够的问题。

（三）其他

1.信息化情况

主管部门均未推动供水智能监管系统工作；大多供水单位推动了智慧供水平台建设，包含智能运行调度、营收服务等系统建设。

但各地智慧供水系统，尚未充分利用，部分地区建设流于形式。

2.节水城市创建

我省现有省级节水型城市40个，国家节水型城市9个，27个抽查对象中张家口市、南和区、衡水市、邱县、南宫市、清苑区、献县、中捷所在的黄骅市，均已是省级节水型城市；5个城市计划创城。

四、我省供水行业面临的形势

（一）行业管理存在短板

监管体系薄弱：县级监管部门人员不足，职能履行依赖企业，专业化程度低。表现为：项目规划缺乏系统性，投诉处理不彻底，二次供水移交、非居民用水定额加价等制度执行不力；省级层面缺乏二次供水管理、水质检测、应急演练等规范性文件指导。

运营能力不足：县级及小型供水企业制度不健全、落实不到位，设施维护滞后，应急能力薄弱。

服务质量待提升：水质水价信息公开不充分，停水通知、水压调控等服务存在缺陷；投诉记录不规范，缺乏系统性分析与改进机制。

（二）水源与气候挑战

南水北调工程覆盖全省90个县（市、区），长距离明渠输水面临藻类增殖、过程污染及检修期水量波动风险。极端天气频发导致：洪涝引发管线损毁、水厂断电、进水浊度升高；低温造成设施冻结爆管，影响水处理工艺稳定性。

（三）民生需求与行业矛盾

公众对供水安全性、稳定性及服务效率要求提升，但现存问题突出：二次供水环节薄弱，部分区域水质不佳；老旧小区管网漏损严重，总分表差额水费纠纷频发，供用水关系紧张。

五、行业发展建议

（一）强化系统规划与要素保障

加快供水专项规划编制，衔接国土空间规划，明确水源地、水厂及管网防护要求。统筹推进老旧管网更新、二次供水改造、智慧水务建设<sup>[1]</sup>，依托超长期国债等资金渠道保障投入。推动二次供水设施移交专业管理，降低漏损率，提升水质检测与应急能力。

（二）构建韧性供水体系

开展供水设施防洪、抗震、反恐隐患排查，完善水源污染与旱涝急转应急预案。加强水质监测预警，储备应急净水技术与物资。单一水源城市加快备用水源建设，定期修订预案并组织实战演练。

（三）深化横纵协作机制

横向：通过行业协会促进跨区域经验共享，建立数据互通平台，强化部门协同。

纵向：明晰各级管理机构权责，构建上下联动监管体系，加强基层人员专业培训。

（四）健全行业监管制度

制定水质抽检、二次供水管理<sup>[2]</sup>、企业运行考核等省级规范。实施供水企业分类监管，建立信用评价体系，强化问题整改督导长效机制。

（五）优化供水服务体系

以用户需求为导向，创新服务模式，完善投诉分析与整改机制。加强从业人员培训，推行设施维护专业化，提升服务响应效率。

（六）推动节水型城市建设

落实《节约用水条例》，将节水要求融入城市规划建设管理全流程。推广节水技术与管理创新，建立激励机制，提升水资源利用效率与水环境质量。

六、主要结论

当前我省城市供水行业在机构职能明晰度、规划引领作用、专业化监管力量、应急管理体系完善度、水质全过程监管、漏损系统化控制、管网压力精细化管理、用户投诉深度治理以及运营单位规范化水平等方面存在薄弱环节，亟需针对性强化以保障供水安全与服务质量提升，响应人民对优质供水的核心诉求，系统性提升全链条城市供水保障能力。

参考文献

[1] 章龙飞等. 水务一体化背景下的智慧水务发展思考——以杭州市水务集团为例[J]. 给水排水, 2022, 58 (S1): 1068–1073.

[2] 住房和城乡建设部关于进一步加强城镇供水管理工作的通知 建城〔2016〕252号.



# 基于物联网技术的电气设备安装创新技术研究

王佑

南京华尊电力安装工程有限公司，江苏 南京 211000

DOI:10.61369/ME.2024080033

**摘 要：** 随着物联网技术的快速发展，其在电气设备安装领域的应用逐渐成为行业变革的核心驱动力。本文从当前电气设备安装的现状出发，分析传统安装模式存在的效率低、数据孤岛、维护成本高等问题，并结合物联网技术的创新应用，提出基于传感器网络、边缘计算、数字孪生等技术的智能化安装方案。通过案例分析与技术展望，论证物联网技术在提升安装效率、优化运维管理、保障设备安全等方面的显著优势，为未来电气设备安装的智能化发展提供理论支持与实践参考。

**关 键 词：** 物联网技术；电气设备；安装创新技术

## Research on Innovative Technologies for Electrical Equipment Installation Based on Internet of Things Technology

Wang You

Nanjing Huazun Electric Power Installation Engineering Co., LTD. Nanjing, Jiangsu 211000

**Abstract：** With the rapid development of Internet of Things (iot) technology, its application in the field of electrical equipment installation has gradually become the core driving force for industry transformation. Starting from the current situation of electrical equipment installation, this paper analyzes the problems existing in the traditional installation mode, such as low efficiency, data silos and high maintenance costs. Combined with the innovative application of Internet of Things technology, it proposes an intelligent installation solution based on technologies such as sensor networks, edge computing and digital twins. Through case analysis and technical outlook, the significant advantages of Internet of Things technology in improving installation efficiency, optimizing operation and maintenance management, and ensuring equipment safety are demonstrated, providing theoretical support and practical reference for the intelligent development of electrical equipment installation in the future.

**Keywords：** internet of things technology; electrical equipment; install innovative technologies

## 引言

随着现代信息技术革命浪潮来临，互联网+、物联网、5G技术、AI人工智能、数字孪生、大模型以及智能算法等新技术如雨后春笋般蓬勃发展。在电气设备安装领域涌现出一系列智能化解决方案，显著提升了安装精度与效率。传感器网络实时监测设备状态，边缘计算快速处理数据，数字孪生技术则实现了虚拟与现实的深度融合，有效解决了传统安装模式的诸多痛点。通过物联网技术的集成应用，设备安装过程得以全面优化，数据实时共享，故障预警精准，大幅降低了运维成本，提升了系统可靠性。这些技术的综合运用，不仅提高了安装效率，还实现了设备全生命周期的智能化管理，为电气设备安装行业带来了革命性的变革。未来，随着物联网技术的不断成熟，其应用将更加广泛，推动电气设备安装向更高层次的智能化迈进。同时，在电气设备安装过程中，通过利用物联网技术还将促进跨行业协同，实现资源优化配置，推动产业链整体升级<sup>[1]</sup>。在电气设备安装中还可以通过利用大数据分析与智能决策，企业能更精准地把握市场需求，感知未来发生的变化，提升服务质量，增强竞争力。未来，物联网与人工智能的深度融合，将进一步解锁电气设备安装的无限可能，开启行业发展的新纪元。

## 一、电气设备安装现状分析

### （一）技术应用现状

当前，物联网技术在电气设备安装中的应用已从单一的数据

采集向电气设备全生命周期管理延伸。以长沙为例，其基于物联网的电气设备远程监测系统通过传感器网络实时采集设备运行数据（如电压、电流、温度等），并结合5G通信和云平台实现数据的高效传输与智能分析<sup>[2]</sup>。如福建电科院研发的“即插即用”

物联终端接入技术，通过标准化协议与边缘计算能力，显著提升了设备接入效率（单台设备接入耗时仅30秒），为大规模设备部署提供了技术基础。此外，PLC（电力线通信）技术作为电力物联网的通信底座，在配电网自动化与远程监控中展现出低布线成本、高稳定性的优势，已在国内多个智能电网项目中实现规模化应用。

## （二）行业发展趋势

根据 IDC 预测，2025 年全球物联网设备连接数将突破 500 亿，其中工业物联网市场规模预计达到 3.5 万亿美元。在电气领域，设备智能化需求持续增长，例如湖南湘能公司开发的环网柜在线监测系统，通过机器学习算法实现故障精准定位，将传统人工排查时间缩短 70% 以上。这些案例表明，物联网技术正逐步渗透至设备安装的各个环节，推动行业向高效化、无人化方向转型。

## 二、传统电气设备安装存在问题

### （一）效率低下与人工依赖

在传统的设备安装流程中，高度依赖于人工操作，这包括了诸如传感器的调试、线路的连接等关键环节，这些环节都需要由专业人员逐一进行细致的检查和操作。<sup>[3]</sup>这种依赖人工的流程导致了单台设备的接入过程耗时非常长，通常需要 3 到 5 分钟才能完成。除此之外，设备安装完成之后，还需要进行参数的校准和系统的集成，但目前缺乏有效的自动化工具来支持这一过程。由于缺乏自动化，这些环节仍然需要人工介入，这就大大增加了因人为失误而引发的兼容性问题的风险。

### （二）数据孤岛与协同不足

在当今的工业环境中，不同厂商生产的设备由于各自采用不同的通信协议和数据格式，往往难以实现顺畅的互联互通。这种状况在电力系统中尤为明显，比如变电站内部的传感器所收集的数据，如果与配电管理系统之间没有一个统一的通信标准，那么在数据传递过程中就会出现兼容性问题。<sup>[4]</sup>这些问题会导致信息传递的滞后，进而影响到整个电力系统的故障响应速度，使得在发生紧急情况时，相关工作人员不能及时获取准确信息，从而延误了故障的诊断和处理。这种技术壁垒不仅降低了电力系统的运行效率，还可能增加维护成本，甚至在极端情况下，还可能对电网的安全稳定运行构成威胁。

### （三）维护成本与安全隐患

在传统的安装模式下，实现设备状态的实时监测变得异常困难，通常情况下，故障只有在发生之后才能被发现。以输电线路为例，覆冰、杆塔倾斜等问题需要通过定期的巡检来发现，这样的做法不仅耗费了大量的成本，同时也带来了不小的安全风险。<sup>[5]</sup>除此之外，由于缺乏有效的预警机制，设备老化或过载所引发的火灾隐患也变得难以避免。

## 三、基于物联网技术的电气设备安装创新技术

### （一）智能感知与数据融合

物联网技术通过多类型传感器（温度、振动、电流等）构建设备状态的实时感知网络<sup>[6]</sup>。例如，长沙某制造企业通过振动传感器监测电机运行状态，结合边缘计算模块实现本地化数据处理，提前预警轴承磨损等潜在故障，将非计划停机率降低 40%。同时，数字孪生技术通过虚拟建模与物理设备的动态映射，优化设备布局与安装路径规划。紫光股份智能工厂利用数字孪生平台实现设备、车辆与人员的空间协同调度，人均产出提升 5 倍。

### （二）云边协同与即插即用

可以利用现代物联网技术搭建“平台+管家”架构，通过云边协同的方式，成功实现了设备接入的自动识别与数据的无缝贯通。在这个架构中，边缘采集终端扮演了至关重要的角色，它支持多种协议转换功能，使得温湿度传感器、智能开关等多种设备能够轻松无缝地接入系统，整个过程无需人工进行繁琐的调试工作。<sup>[7]</sup>此外，PLC 技术的应用在通信布线方面带来了革命性的简化，特别是在充电桩的安装过程中，通过利用电力线直接传输数据，大大降低了施工的复杂度和成本，提高了安装效率。

### （三）智能诊断与预测性维护

在电气设备安装中，基于人工智能技术的故障诊断系统，通过利用过去电气设备安装中企业积累大量过往历史数据，投喂到电气设备安装大模型中，通过持续的对大模型进行训练，能够实现对设备健康状态的实时和动态评估。<sup>[8]</sup>利用人工智能技术开发出环网柜监测系统，结合了深度学习算法，能够自动识别出多种潜在的设备问题，比如绝缘子的污秽情况、导线温度的异常升高以及其他关键参数的偏离正常值。该系统通过一个用户友好的可视化界面，向维护人员推送及时的维护建议和警告信息，从而帮助他们更有效地进行设备管理和维护工作。<sup>[9]</sup>在电气设备安装施工现场的智慧工地的应用场景中，物联网技术对工地环境的智慧感知发挥着至关重要的作用。它能够实时收集和分析施工设备的能耗数据，通过智能分析，优化电力资源的分配策略，从而达到降低整体运营成本的目的。

### （四）安全可信与标准化管理

针对物联网设备的安全隐患，可以构建边缘终端的安全可信认证机制，通过数字证书校验与异常数据阻断，确保设备接入的合法性与数据合规性。<sup>[10]</sup>同时，如国家电网推动的电力物联网标准体系（如“云-管-边-端”架构）为设备互操作性提供了统一框架，有效打破信息孤岛。通过标准化接口的应用，简化了设备集成流程，促进了跨平台数据的无缝对接，为智慧电网的全面发展奠定了坚实基础。

## 四、总结与展望

物联网技术通过智能感知、数据融合与云边协同，显著提升了电气设备安装的效率与安全性。典型案例表明，基于物联网的安装方案可将设备接入耗时缩短90%以上，并通过预测性维护降低30%的运维成本。通过技术融合，结合5G高速通信与边缘计算，进一步提升实时响应能力；探索区块链技术在设备身份认证与数据溯源中的应用。利用标准化建设，有效推动跨行业物联网

协议的统一，例如借鉴福建电科院的“即插即用”模式，制定覆盖全产业链的接入标准。通过生态构建，鼓励企业-高校-政府协同创新，培育复合型技术人才，解决当前行业面临的安全与人才缺口问题。尽管前景广阔，物联网技术在电气设备安装中的应用仍面临安全风险（如设备漏洞引发的网络攻击）与商业模式不清晰等挑战。需通过立法加强数据隐私保护，并探索基于增值服务（如能效优化咨询）的盈利模式。

## 参考文献

[1] 韩柏, 张娟娟, 王纪晨. 切实发挥实体经济在提高经济质量和效益中的主体作用 [J]. 天津经济, 2021-02-20.

[2] 李玉龙. 矿井无轨机械设备智能故障诊断与预测技术研究 [J]. 今日制造与升级, 2024-05-01.

[3] 孙爱英. 5G 通信技术在物联网中的应用与发展研究 [R]. 第九届创新教育学术会议, 2024-04-10.

[4] 李雨杰. 面向种质资源领域的人脸识别与区块链技术融合的身份认证研究 [D]. 河南农业大学, 2023-01-01.

[5] 陈凡, 高正勇. 浅谈智能建筑电气设备安装技术 [J]. 智能建筑与智慧城市, 2020(08).

[6] 李建明. 智能建筑电气安装施工技术研究 [J]. 建材与装饰, 2020(16).

[7] 文灵, 谢元媛. 智能建筑电气设备的安装及其质量控制要点 [J]. 光源与照明, 2021(05).

[8] 孔祥允, 许夫明. 建筑电气设备的安装施工技术分析 [J]. 中国设备工程, 2023(08).

[9] 刘志有. 工业电气设备安装技术与日常维修对策探析 [J]. 设备管理与维修, 2020(06).

[10] 肖彦江. 电力系统电气设备安装与调试的技术分析 [J]. 冶金管理, 2021(21).