

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4期 2024年6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。



建筑工程 | ARCHITECTURAL ENGINEERING

- | | | |
|-----|---|--|
| 005 | 风景园林绿化工程现场施工与管理研究
Research on site construction and management
of landscape engineering | 曾津洪
Zeng Jinhong |
| 008 | 工程量全过程智慧化管理与应用研究
Intelligent management and application research of the whole process
of engineering quantity | 曾伟兴, 姚文森, 胡良彬, 张瑞
Zeng Weixing, Yao Wensen, Hu Liangbin, Zhang Rui |
| 012 | 野三关隧道历次突泥成因分析及经验教训
Cause analysis and lessons of past bursts
of muddy water in Yesanguan Tunnel | 陈吉沿, 陈广勋
Chen Jiyan, Chen Guangxun |
| 015 | 基于地表岩移监测数据的岩体力学
参数标定方法研究
Research on calibration method of rock mass mechanical
parameters based on surface rock movement
monitoring data | 李冲, 骆贞江, 纪海玉, 杨新锋, 宋震
Li Chong, Luo Zhenjiang, Ji Haiyu, Yang Xinfeng, Song Zhen |
| 018 | 钢结构节点设计中的应力集中现象及其控制方法
Stress concentration phenomenon and control method
in steel structure joint design | 刘志坚
Liu Zhijian |
| 021 | 市政工程施工管理中施工管理控制的应用研究
Research on the application of construction management control
in municipal engineering Management | 罗茹月, 陈章
Luo Ruyue, Chen Zhang |
| 024 | 新型绿色建筑工程造价预算与成本控制研究
Research on cost budget and cost control
of new green building project | 盛淑娇
Sheng Shujiao |
| 027 | 现代钢结构建筑的防火设计与材料创新研究
Research on fire protection design and material innovation
of modern steel structure buildings | 刘志坚
Liu Zhijian |
| 030 | 现代园艺管理技术在城市园林
绿化中的应用
Application of modern horticultural management technology
in urban landscaping | 王琪琪, 张俊苗, 宋堃, 徐思雨
Wang Qiqi, Zhang Junmiao, Song Kun, Xu Siyu |
| 033 | 可持续发展理念在现代建筑设计中的应用与挑战
The application and challenge of sustainable development concept
in modern architectural design | 熊鑫
Xiong Xin |
| 036 | 精益生产在润滑油生产管理中的应用实践
The application practice of lean production
in grease production management | 闫国印
Yan Guoyin |
| 039 | 历史街区改造中 AR 增强现实技术的保护更新策略
The protection and updating strategy of AR augmented reality technology
in the reconstruction of historical district | 周京蓉
Zhou Jingrong |
| 042 | 建筑学领域专利申请和
保护策略研究
Research on patent application and protection strategy in the field
of architecture | 周禹希, 旦帅男, 高芳, 王超, 姚鹏程
Zhou Yuxi, Dan Shuainan, Gao Fang, Wang Chao, Yao Pengcheng |

045	侗族风雨桥营造技艺文献综述研究 Review of Dong wind and rain bridge construction skills	杨丽文, 王玉博 Yang Liwen, Wang Yubo
049	隧道喷射混凝土施工的质量控制技术研究 Research on quality control technology of tunnel shotcrete construction	苟海鳌, 龙东宏, 何俊亨, 杨楷 Gou Haiao, Long Donghong, He Junheng, Yang Kai
053	MM 工程高边坡开挖工程施工工艺重点分析 Analysis on construction technology of MM high slope excavation engineering	张兴盛, 曾涛, 陈飞运, 何俊亨 Zhang Xingsheng, Zeng Tao, Chen Feiyun, He Junheng

材料工程 | MATERIALS ENGINEERING

057	石灰石－石膏湿法脱硫设备的技术特点及其优化 Technical characteristics and optimization of limestone-gypsum wet desulfurization equipment	冯子君 Feng Zijun
060	半导体可燃气体传感器的抗干扰气敏涂层及其制备方法、应用 Anti-interference gas-sensitive coating for semiconductor combustible gas sensor and preparation method thereof, application	黄泽广 Huang Zeguang
063	探析低碳广告材料的制作工艺的优化 Explore the optimization of the production technology of low-carbon advertising materials	李祖龙 Li Zulong

信息工程 | INFORMATION ENGINEERING

066	基于计算思维的人脸识别项目的实践探析 Practice analysis of face recognition project based on computational thinking	詹俊 Zhan Jun
069	智能工厂中的自动化生产线优化设计与应用 Optimization design and application of automatic production line in intelligent factory	张吉 Zhang Ji

能源工程 | ENERGY ENGINEERING

072	火电厂冷却塔土建施工中的质量管理体系优化研究 Study on the optimization of the quality management system in the civil construction of the cooling tower of the thermal power plant	高棒 Gao Bang
075	基于风险控制理论与风险评估的电力安全管理策略研究 Research on power safety management strategy based on risk control theory and risk assessment	芦鹏, 孔珺婷 Lu Peng, Kong Juntong
078	火电厂超超临界发电技术及其能效分析 Analysis of ultra-supercritical power generation technology and its energy efficiency in thermal power plants	石富强 Shi Fuqiang
081	综合物探技术在煤矿陷落柱中的探测应用分析 Analysis on the application of comprehensive geophysical exploration technology in the detection of coal mine collapse column	孙伟涛 Sun Weitao
085	基于红外传感器的教室节能控制系统设计 Design of classroom energy saving control system based on infrared sensor	杨艳霞 Yang Yanxia
088	基于风险评估的城燃工程安全管理策略 Safety management strategy of urban fuel engineering based on risk assessment	张力浩 Zhang Lihao

水利工程 | HYDRAULIC ENGINEERING

091	水利工程施工中控制混凝土裂缝的技术思考 Technical consideration of controlling concrete cracks in hydraulic engineering construction	黄伟 Huang Wei
094	合肥市塘西河水环境综合治理措施及成效分析 Analysis of comprehensive treatment measures and effectiveness of water environment in Tangxi River, Hefei City	李娜娜 Li Nana
097	水利工程质量和安全管理监督管理存在的问题及对策 Problems and countermeasures in the supervision and management of water conservancy project quality and safety	谢海南 Xie Hainan

风景园林绿化工程现场施工与管理研究

曾津洪

广州华苑园林股份有限公司，广东 广州 510000

摘 要： 随着我国经济、社会的迅速发展，城市建设也随之迅猛发展，其中对环境的污染问题尤为突出。风景园林绿化工程不但可以净化城市的大气环境，而且可以维持城市的生态平衡。在风景园林的绿化工程施工中，相关部门要做好现场施工与管理工作，根据实际情况，制订一套科学的施工计划，充分体现风景园林的生态环境价值，提升居民的生活体验和居住体验。因此，本文对风景园林绿化工程的现场施工和管理进行了详细探讨，仅供参考。

关 键 词： 风景园林；绿化工程；施工管理

Research on site construction and management of landscape engineering

Zeng Jinhong

Guangzhou Huayuan Landscape Co., Ltd. Guangzhou, Guangdong 510000

Abstract： With the rapid economic and social development in China, urban construction has also developed rapidly, and the environmental pollution problem is particularly prominent. Landscape engineering can not only purify the urban atmospheric environment but also maintain the ecological balance of the city. In the construction of landscape greening projects, relevant departments should do a good job in on-site construction and management, formulate a scientific construction plan based on the actual situation, fully reflect the ecological and environmental value of landscape architecture, and improve residents' living and residential experience. Therefore, this article discusses the on-site construction and management of landscape greening projects in detail for reference only.

Keywords： landscape architecture; greening project; construction management

引言

风景园林绿化是一项很有意义的工程，它对城市生态环境的改善起到了很大的作用。风景园林绿化工程是促进我国生态城市建设的重要组成部分，也是各房地产开发企业提升自身竞争能力、提升整体实力的重要途径。在风景园林绿化工程的施工过程中，现场施工的质量直接关系到后期园区的使用以及带来的经济效益等诸多因素。因此，在解决现场施工和管理过程中出现的问题时，各个部门要加强合作，以质量为核心，促进现代化园林工程的发展，确保它满足城市化的根本需要。

一、风景园林绿化工程概述

在绿色可持续发展的理念逐步深入的推动下，我国的社会和经济都朝着更加环保的方向发展，园林绿化工程是为了满足人们对绿色园林的基本需要。这样的绿化工程是一项很专业的工作，它要求相关人员运用科学、合理的方法对其进行规划，使整座城市的美感得到提高。

新型的园林绿化工程，是对传统的园林绿化的创新和创造，既要满足人民群众对园林绿化的基本要求，又要把优良的园林景观加以扩展和延伸，使园林绿化与城市的经济发展和城市生态相结合，从而促进城市的绿色、生态文明建设，同时也能满足人们对园林的观赏要求。目前，风景园林绿化工程已可以与城市的可持续发展同步，并考虑到了人们的绿色发展和环保需求等因素，

因此，需要将园林绿化工程中存在的特定问题和相应的解决办法提到日程上来，对园林绿化工程的建设质量管理也要给予足够的重视^[1]。

二、风景园林绿化工程现场施工管理的意义

在风景园林绿化工程中，现场施工工艺是施工质量的重要保障，要根据自身的特点，开展各种施工管理工作，并按照规划的内容，一步一步地完善具体的设计，从而营造出一个更优美的风景园林。城市必须抛弃过去缺乏规划设计知识和管理经验的建筑实践方式，主动探索更加科学和有针对性的城市园林绿化设计方案，把它贯彻到城市建设的全过程。另外，建设单位还应应对工程建设现场的某些具体状况和存在的问题进行深入的调研和分析，

并采用相应的办法和措施，对工程进行有效的治理和优化，才能取得最好的建设效果。在园林绿化工程建设中，如何使施工现场井然有序，是一项十分重要的工作。同时，风景园林也成为许多城市建设中不可缺少的一环，它通过增加绿化面积和增加绿化密度来改善整个城市的生态环境^[2]。

三、风景园林绿化工程的特点

（一）不间断性

风景园林绿化工程包含了大量的绿色植物，在整个栽种过程结束后，后续的养护也非常关键，风景园林绿化工程是一项长期的工作，没有固定的结束时间，在这样的高持续条件下，必须有效地保证植物的使用寿命，在四季交替的情况下，高效地生存下来。因此，在工程完工后，后续的养护工作就显得尤为重要。

（二）综合性

风景园林绿化工程的一个重要特点就是综合性，它包括了许多的工程，涉及了很多的行业，对一些特殊的领域也有了更高的要求。在进行园林绿化工程的设计时，很多的工程都是一起参与到了施工管理的设计当中，但是因为涉及的范围比较广，所以整体的施工管理变得非常的复杂。为了切实提升绿化工程的施工质量和施工效率，管理者必须采用规范化的措施，全面推进整个施工现场的实施，严格遵循规范的程序和程序，才能更好地为我国的园林绿化工程建设服务，在满足人们日常生活中的美观性需要的同时，使城市与自然和谐共生。

四、风景园林绿化工程现场施工与管理的现存问题

（一）缺少有力的监管

风景园林绿化工程项目和其他类型的工程有很多共同之处，那就是必须对其进行统一的管理和控制。目前，我国大部分的投资公司和建设单位都是联合起来，在多个城市开展工程，并且参与到了工程的实际建设当中，所以其中所涉及的部门和施工步骤都非常繁琐，导致了在施工现场的施工与管理中，很可能会出现管理不到位或者完全不受控制的情况，造成了施工现场的秩序较为混乱。此外，在项目管理过程中，由于缺少统一的监管体系，各建设阶段缺乏可供参照的依据，往往会造成人为延误或意外事件，从某种意义上来说，制约着整个项目建设的质量与品质^[3]。

（二）忽视了后期的养护和管理

风景园林施工后的养护管理一直是建筑工程和城市园林规划中的重点。其养护管理既要有丰富的经验，又要有专业的养护人员。但是，在实践中，有许多养护管理工作没有按照养护规范和规定进行，存在着浇水、施肥、修剪等养护管理不到位的情况。此外，建设单位的管理者也存在着“重施工轻养护”的问题，这也极大地影响了绿化植物的正常生长。

（三）园林绿植的选择缺乏科学性

风景园林绿化工程具有自身的特殊性与专业化，因此，必须对其进行科学、合理的选用，以确保其高成活率，以满足景观要

求。绿化植物在园林中的应用越来越多，尽管其设计方案能够迅速地展现出视觉效果，但也难免会暴露出某些问题。绿色植物的设计和布置方案对移栽技术和环境的要求很高，在后期的管理和养护工作中也要把这个因素考虑进去，哪怕是微小的疏忽，都可能损害到植物的生长，严重时甚至会造成植株的死亡，如果选用的绿色植物品种不适应当地的气候和环境，将会带来巨大的经济损失。

五、风景园林绿化工程现场施工与管理的对策

（一）提高园林设计的科学性

园林规划与设计需要设计者将自然地形、山水地貌、周边建筑的风格和功能、经济条件、艺术美学等多个方面进行充分的考虑，为市民创造出一种自然风光与人文气息交融的休闲空间，从而提高城市的总体美感和生活质量。

第一，设计者要对所要建设的周边环境做一个详尽的考察和调研，其中就包含了对周边建筑物的风格、构造、使用功能和交通走向等方面的详尽了解。从而保证了施工计划能够更好地满足工程的实际情况，从而避免了设计太过理想化而不能实现的局面。第二，设计者在进行规划前，要对当地地区的人文环境进行充分的调查，并以此来确立其主题理念。同时，应该按照生态原则进行设计，以保证园林的规划和设计能够充分反映当地的人文特征和生态平衡。另外，要加强各部门间的交流与沟通，保证设计方案的可操作性与执行的有效性，并保证建设单位能够正确地认识和掌握园林设计的主题理念。第三，设计者要对整个工程实施过程进行不间断的追踪与监控，以便对工程中存在的问题与偏差进行及时的修正。有了这种追踪监督，能有效地增强园林规划设计的科学性与实用性，保证设计理念的精确执行。这种方式既保证了园林的实用性、美感和生态性，又兼顾了经济上的需求，为建设具有多功能的现代园林打下了良好的基础^[4]。

（二）做好施工前的准备工作

前期的施工准备工作能够保证后续的施工能够依照程序进行，保证整个工作都在正常的流程状态中，在准备工作中，要保证设计、调查等工作都要按规范进行。

第一，施工人员要对整份设计图有完整的了解，特别是要弄清楚各个工序之间的关系，还要看图纸是否合理，是否可行。第二，对特定地点进行考察分析，将所搜集到的资料与规划方案相对照，保证两者统一，如果发现与实际情况不符的地方，要进行探讨、分析，并提出改进建议，以增强整体设计方案的实用性。第三，土壤检测也是很重要的一环，因为土壤是植物生存的根本，只有土壤的稳定性和足够肥沃，才能保证植物长得更好。因此，相关人员要根据土质的酸碱度和肥沃度，对土壤进行检测，保证植物能够在自然的环境中生长。第四，施工前要做好技术交底，对施工作业人员要进行培训、学习，要对整体设计方案进行深入的研究，同时要不断地提高自身的技术能力。另外，还要对施工现场的具体情况进行分析，特别是要对有可能出现安全隐患的因素进行分析和验证，操作人员必须及时与设计者进行交

流,指出图纸中与实际不符的部分,由双方协商解决。第五,进行定位检测时要做好定点放线,采取科学、合理的方法,保证植株在等距离分布时得到足够的日照,从而提升总体种植效果与品质。

（三）完善现场管理制度

要确保工程的顺利、安全、优质,施工现场的管理是必不可少的。要想实现高效的现场管理,就必须建立一个健全的管理制度,这就要求对不同类型的建设工人的工作内容和工作进行标准化。风景园林是园林绿化工程中最重要的一环,它是一个比较复杂的系统,它要求各部门之间相互配合和沟通。现场管理要求每位员工严格遵守规范的操作规程,做好各施工班组的协调和协作。在制定现场管理体系的时候,管理者要从项目的目标、施工条件、周围环境等方面对项目进行全面的评估,要对施工工序进行详细的划分,并在这个基础上对每个施工班组的进场和离场时间进行设计。这种管理体系既可以保证工程按进度进行,又可以最大限度地降低工程成本,提高施工现场的有序与安全。

（四）合理分配资源

植物的选择、运输、栽植及养护是风景园林绿化施工的重要环节。首先,在施工之前,相关部门需要对项目周围的水文地质环境等进行全方位的勘察,根据园林环境、土壤条件、周围的交通情况,认真选择适宜的植物品种。其次,在植物的起苗、包装和运输期间,要保证植株能够快速、安全的运送到现场。最后,在种植过程中,精确定位,挖坑,栽植,然后定期浇水、施肥、修剪、防治病虫害,保持植株的健康生长,从而创造一个生态宜居,美观耐看的风景园林。

从生态角度来说,不同种类的植物对环境的要求不尽相同,不适宜的组合将对其生存与生长产生不利的影响。为此,需要工程管理人员进行全程的跟踪和督导,以保证植物组合的科学性。在施工中,需要对各种植物的生长特性有一定的认识,尽量把具有相似习性的植物组合在一起,以方便后期养护。另外,在与植物进行搭配时,还要注意颜色的协调,这样才能保证植物的成活率,增强园林的美观性。在栽种前,设计者要做好详细的规划,确定每一种植物的位置。在设计时,要充分利用植物的形态、色彩、生长习性等要素,才能保证绿化资源的合理配置,体现出风景园林的特色。

（五）做好养护工作

由于绿化工程施工周期很长,所以施工期间,施工人员应注意对施工中的植物进行养护。施工人员应针对其品种和生长习性采取相应的养护方法。施工过程中,管理人员要对施工进度进行实时监控,并采取相应的养护技术。养护的质量是决定植物是否健康成长的重要因素。相关人员的栽植技巧是植株生长的根本,养护的质量对于植株的生长至关重要,工作人员要根据设计的理念来进行养护,把养护工作融入绿化工程的质量管理系统中,从而提升植株的成活率,从而提升绿化工程的质量。

此外,园林绿化工程所包含的植物种类很多,而且每种植物的生长习性也各不相同,要做好养护管理工作,就必须遵循因地制宜的原则,对每种植物进行适当的养护,进行科学的养护,定期修剪,防止病虫害等灾害的出现。另外,应强化养护人员的专业技术培训,充实他们的养护经验,使养护管理工作更加严谨有效^[5]。

（六）增强施工人员的专业能力

由于植物栽植对整个工程来说是非常重要的,因此在整个风景园林绿化工程中,施工人员的栽植技术是非常重要的。施工人员的技术水平与工程的总体效果有着直接的关系。为保证风景园林绿化工程质量,应优先聘用具有职业资质的人员。在招聘时,要对应聘人员的资格进行审核,包括专业背景、技能证书和工作经历等。这样,就可以保证建设队伍的总体质量,从而提高风景园林绿化工程的成功率。另外,企业还要对施工人员进行定期的专业化培训,使其持续提高自身的操作能力,掌握新技术,使其在风景园林绿化工程中达到最优操作,保证绿化工程的持续发展。

六、结语

总的来说,在现代化的风景园林工程建设中,必须对施工与管理工作给予足够的关注,并且要从不同的方面进行管理,建立一个健全的管理模式,提高整个工程建设的质量,促进风景园林绿化工程的有序开展,保证风景园林绿化工程在生态城市中能起到更好的作用,从而为特色城市建设提供保障。

参考文献

- [1] 丁伟. 风景园林绿化工程的现场施工与管理分析[J]. 江西农业, 2022(2):66-67.
- [2] 张莉. 风景园林绿化工程施工与养护管理存在问题及对策[J]. 花卉, 2022(6):67-69.
- [3] 黄敏祖. 探析风景园林绿化工程项目管理的应用[J]. 花卉, 2024(2):97-99.
- [4] 朱怡. 探析风景园林绿化工程项目管理的应用[J]. 现代工程项目管理, 2024,3(10).
- [5] 汶小伟, 辛磊, 林新华, 等. 园林绿化工程施工总承包管理[J]. 中国园林, 2023,39(22):51-56.

工程量全过程智慧化管理与应用研究

曾伟兴, 姚文森, 胡良彬, 张瑞

广东省建筑工程集团股份有限公司, 广东 广州 510630

摘 要 : 在公路建设项目设计文件编制过程中, 由于设计承担者不同, 设计文件展现的工程量数据及信息, 从顺序编排、工程量名称到数量表的形式, 均存在较大差异性, 反映出设计工程量信息深浅不一、归类不一、统计口径各异, 难以充分利用计算机信息技术进行数据的批量采集, 造成工程量计算工效低, 设计信息难以在建设期有效应用。因此, 在信息技术高度发达的今天, 需要一个快速云算量的工具, 来解决“从图纸源头计算”的难题, 它能着重解决工程开工准备阶段的三个重点工作: 单位、分部、分项工程划分; 工程量复核; 工程量清单分解形成0#台账。工程从业者可以通过云算量工具, 实现将这三个工作量巨大、需要多部门、多专业协作的工作进行整合, 还大大提高了算量和施工图纸复核的准确性。以此为基础, 它可以广泛应用到工程管理的图纸复核、投标报价优化、对下计量、施工材料管理、质量管理、进度管理、资金计划管理、安全管理、完善企业内部定额、企业内部考核和工程建设项目资产证券化等诸多方面。

关 键 词 : 公路建设; 工程管理; 智慧化工程管理

Intelligent management and application research of the whole process of engineering quantity

Zeng Weixing, Yao Wensen, Hu Liangbin, Zhang Rui

Guangdong Provincial Architectural Engineering Group Corporation, Guangzhou, Guangdong 510630

Abstract : In the process of highway construction project design documents, due to the different design undertaker, design documents show quantity data and information, from the sequence arrangement, quantity name to quantity table form, there are large differences, reflect the design quantity information of different depth, different classification, statistical caliber, difficult to make full use of computer information technology for data collection, engineering efficiency is low, design information is difficult to effective application in the construction period. Therefore, in today's highly developed information technology, we need a fast cloud calculation tool to solve the problem of "calculation from the drawing source", it can focus on solving the three key work in the project preparation stage: unit, division, project division; quantity review; bill of quantities decomposition to form 0 # ledger. Through cloud calculation tools, engineering practitioners can realize the integration of these three huge workload, requiring multi-department and multi-professional cooperation, and greatly improve the accuracy of calculation and construction drawing review. On this basis, it can be widely used in the drawing review of project management, bid price optimization, lower measurement, construction material management, quality management, progress management, fund plan management, safety management, improvement of enterprise internal quota, enterprise internal assessment and engineering construction project asset securitization and many other aspects.

Keywords : highway construction; project management; smart engineering management

引言

大型基建工程快速云协同算量, 就是要解决工程管理的基础数据问题, 后续开展的质量、进度、费用和安全等一切工作, 都是建立在这个基础上的, 它在工程管理工作, 核心作用体现在以下三个方面:

1. 精细化: 通过清单和材料细化, 逐级分解至分部、分项工程, 甚至到最小单元工序级, 钢筋细化至图纸中的每一根钢筋, 可一一绑定关联图纸, 实现工程项目的精细化管控。
2. 标准化: 通过信息化手段, 在快速云算量工具中内置最新工程划分的标准模板和实例模板, 保证所有人的划分标准、统一, 为工程结构划分标准化、规范化提供基础依据, 减少工程结构划分的个体差异性。
3. 便捷性: 快速云算量工具以通用构件和清单分解模板为核心, 将施工图纸的工程量清单复核和清单分解转化为模板化作业, 从而能更快的应付多变工程建设过程和管理行为, 进而提升工作效率。

一、快速云协同算量的基本原理

协同算量从根本上解决了手工算量工作带来的因工作量巨大而不能精细化算量的问题，所有数量从图纸原始几何尺寸算起，可以真实意义上复核出图纸的错误。首先，在快速云算量工具内植入最新公路工程规范和工程划分模板，以此为基础，按步骤操作即可实现快速云算量。



> 图：快速算量基本原理

● WBS 划分

利用系统内置标准模板引导式操作，规范化的快速划分。

● 工程量复核及材料分解

以通用构件模型为基础，做到批量、快速算量；以 SAAS 云服务技术为基础，做到多层级多人异地协同算量^[1]。

● 工程量清单分解

以工程量复核结果为基础，利用系统内置清单 - 工程量转换规则，自动计算输出 0# 台账。

公路工程造价算量，是从工程识图、工程定额算量、公路工程预算定额套用、公路工程预算表格填写等工作开始^[2]，始终是以算量为基石开展工作的，算量是工程管理的灵魂。

施工企业工程数据的标准化和规范化管理，形成企业内部分散的各个业务管理系统提供统一的数据源，形成可通过数据中台进行数据交换的施工企业工程业务管理主数据^[3]。而这些数据，就是整个工程管理包括图纸会审、核对工程量、分项开工申请、清单分解、对下计量、施工主材成本管控、项目内部考核、进度管理、质量评定和投资控制^[4]的基础。涉及的数据都是贯穿工程施工阶段全过程最基础、最核心的数据，工程数据中心的建立将对集成各内部系统产生积极的决定性意义，并对企业几乎所有的管理活动产生极大提升，是企业规范化和标准化管理的必由之路。

快速云协同工程算量的出发点，是现阶段设计院的施工图纸存在大量错误的，需要分解工程量和图纸勘误。其实现的核心目标如下：

1. 工程结构划分

通过标准（质量评定标准）模板控制单位、分部、分项层级关系，可选择增加、快速划分；设置编码规则，直接生成划分编码。

（1）标准模板：模板有行业标准规范中的模板 - WBS 模板^[5]；历史项目中实际划分转化而来的 - 实例模板。

（2）划分编码：统一设置编码规则，同时完成划分及编码，可根据现场对接要求灵活变动编码规则。

（3）输出报表：快速导出带编编码的工程工程分部、分项划分报表。

2. 按清单算量

选中每个清单查看关联的所有工程部位从清单维度再复核工程量，并检查正向图纸复核的工程量与清单总量对比。从图纸中

查询工程量（正向算量），通过清单检查（反向算量）复核。

3. 通用构件

算量工作模型化处理，公式编辑一次多次利用，不同构件录入不同尺寸参数，批量计算。图纸中使用同一个大样图，或者有相同的计算逻辑关系的构件，就可以做一个有参数公式的通用算量模型。

（1）制作通用构件：选择模型、添加清单、关联材料（直接关系、简介关系、无关系）、编辑公式。

（2）关联结构部位：关联工程结构划分、录入各个部位尺寸参数、自主编辑参数名称。

（3）快速计算全部关联部位：可一键计算关联的所有部位，快速、准确。

4. 统计分析

展示复核的数据对比、构件个数统计、清单总额预览和智能分析算量结果，查看工程量复核的过程或结果的数据。

（1）查看复核比例

（2）材料核算增量

（3）统计结构物数量

（4）清单总览

（5）主材核算增减量

（6）空部位、空清单和大差异清单统计等智能算量分析

以施工图纸为基础，通过清单、划分、建模、参数、计算输出和按清单复核，实现设计图纸快速清单分解与图纸复核。数据复核后多维度展示复核后的数据，导出不同类型报表，具体包括：导出整个项目 0# 台账；清单、材料复核勘误的统计表；某若干部位的材料总量；某个部位钢筋明细；不同划分层级工程清单及材料台账和合同清单的对比数量台账等。通过结构树逐级汇总复核的工程量及材料，根据选中部位生成对应的清单 - 工程量台账、结构部位 - 材料台账；实现导出清单勘误汇总、按章节勘误细表、按工程部位排序台账、按清单排序台账。

二、建立施工企业工程数据中心

项目的核心和基础在施工企业，施工企业的管理核心在项目部，项目部工程管理的重点在各部门协同，协同的基础在各部门共享的源数据，源数据管理的根本在标准化。作为施工企业，应通过快速云算量工具为手段和依托，通过项目的不断实践，培养自己的快速算量人才队伍，结合人才接续机制，从而建立起企业的高效率算量力量^[6]。

在企业层级建立工程管理基础数据中心，使数据充分共享，实现标准化管理，避免各个业务系统在核心数据上的冲突，成为企业层级提供集成化、标准化、精细化和高效的长期解决工程管理问题源动力。工程数据中心的建立将对集成各内部系统产生重要意义，并对施工企业几乎所有的管理效率产生极大提升。同时，它也是企业数字化转型中数字底座的重要组成部分。

工程数据中心的建立，为施工企业算量人员无经验者的以时间换经验，培养周期长，经验丰富者的专业单一，知识面需要拓

宽的矛盾。它为企业的各级管理带来的价值。

●业务层（专业工程师、计量工程师）

快速算量云工具承载了知识的传递作用，普通工程师可以通过更少的项目，快速学习更多的工作技术，无需以时间来换取经验；减少工作量和劳动强度，节约工作时间，利用节余的时间，可以去做其它更多的事。

●项目管理层（项目经理、总工程师）

提高项目部人员的整体业务水平，特别是在人手不足的情况下，仍然可以完成计划的工作甚至完成得更好；可以真正找出施工图纸中有误的地方，对施工资源的准备和控制对上、对下结算的风险；可以有效控制施工成本。

●分公司或集团公司

可以快速培养人才，使企业核心数据标准化，整合各个信息系统的核心主数据，实现标准化、精细化企业成本管控；形成更完善的企业内部定额和项目考核机制；项目管理更到位，在同行中更有市场竞争力。施工企业基础数据中心是定位企业层级、为工程建设企业级提供工程结构部位、工程量清单、工程量、材料数量等工程核心数据的标准化解决方案，为企业内部分散的各个管理系统提供集成所需的统一数据源，从而实现数据充分共享、统一各部门管理口径的开放式 SAAS 管理平台。

大型基建工程管理信息转型的最高目标，就是以信息流指导和控制物质流^[7]，快速算量结果形成的数据中心在整个工程管理中的地位和作用是如此重要。因此，无论是建设单位，还是施工单位，都应高度重视项目的算量基础工作。大型基建工程管理信息化做到项目的全过程、全业务、全组织和全信息系统的集成，结合主数据标准和数据交换中心，实现各业务间的数据互联互通，最终实现业务数据化、数据资产化、资产价值化的企业数字化转型。

三、快速云协同算量与智慧化管理

快速云协同算量工具，可以广泛应用到工程管理中，下面重点列举，浅析以供探讨。

1. 标前算量：工程项目投标活动的核心是投标策略的选择和运用^[8]。在大型工程建设项目的投标工作中，具有高价盈利投标报价策略、低价亏损策略、微利保本策略等，其中不平衡报价法是一个非常重要的方法，通过招标文件快速算量，即可在招标规定的有限时间内快速实现准确的平衡报价。

2. 资金计划与对下计量：通过精细的工程量清单分解，实现清楚明晰的对下分包计量控制，规避不利于项目本身的计量发生。

3. 施工主材节超控制：工程划分与材料计划对应，结合手机端 APP 的应用，实现施工主材应耗量与实耗量的对比，让施工企业可以有效控制主材的平均消耗水平，从而有效的控制企业的施工成本，提高施工管控水平。

4. 工程的质量、进度、费用和安全管控：以算量成果为基础实现精细化管理，质量与计量挂钩，工程实体质量实行评分制，

依据工程实体的质量评分，做到按质支付，以及资金流向清晰，对审计和成本核算，都有重要的帮助。结合手机 APP 端的应用，现场施工技术人员在手机端根据当天的实际完成工作量，在 APP 上勾选工程量清单并报送，有效控制工程进度和合理控制施工资源消耗；依据进度计划，可快速制定安全管控计划，安全人员可根据风险源分部情况，制定有效和可靠的安全风险管控措施，以及控制现场的安全管理执行到位，预防安全事故。

5. 完善企业内部定额：以算量成果为基础实现的精细化管理，可以协助施工企业把控各种类型工程结构物的平均资源消耗情况，施工企业管理者清楚自己内部的管理水平和施工水平，从而建立和完善内部的企业定额^[9]。

6. 企业内部考核：施工企业依据完善的企业内部定额，通过“五算”对比，可具备更加有效的手段考核每个项目的项目经理、副经理和总工程师等项目管理者，妥善执行奖惩制度，有效评判每个管理者的业务能力和工作业绩。

7. 资产证券化：构建大型工程资产核算的政府财务会计体系，完善大型工程资产核算的政府预算会计体系，在揭示双体系之间内在关联的基础上，实现大型工程资产核算的财务会计系统与预算会计系统的协调并重，有助于为权责发生制政府综合财务报告编制奠定坚实基础^[10]。大型工程资产的重新评估，需要计算庞大工程组成的每一个结构物的造价变化情况。因此，如果项目建设期有明晰的工程算量基础，就可以大大减轻这个计算的工作过程，提高资产证券化的效率和进度。

8. 全过程工程量智慧化管理：从项目全周期管理的各维度出发，对设计文件工程结构进行分解，构建工程组合编码体系，搭建设计工程对象与编码的映射关系，做到 WBS、PBS 与 EBS 的自动关联映射，建立纵向贯穿、横向联结的全业务一体化应用。打通从设计阶段、实施阶段乃至交竣工阶段的信息互通，基于“一数一源，一源多用”的数据溯源基本原理，做到工程结构部位、设计数量、招标工程量清单和计量支付的全过程一体化管理。

全过程智慧化工程量管理体系以 PBS 为基础，联结以设计数量表标准化为基础的自动采集数据，形成总控指标；在过程控制上，采用以 WBS 和质量划分为基础的结构化数据，形成局部分解指标；在微观方面，采用以图纸设计参数和交投大数据构件库为基础的精细化数据，形成动态数据，将三者贯穿一线，并最终形成公路建设项目全过程智慧化管理体系。

四、总结与展望

1. 总结

快速云算量工具，是工程数据中心的基石，是整个工程造价和管理的基础，同时也是施工企业内部成本控制的源泉。当前，计算机和互联网+技术日新月异，计算机在合并、汇总、协同工作中起了巨大的作用，比传统的人工计算有了长足和巨大的进步，它在减轻工程和合约人员工作量的同时也减少了人为工作不可避免的错误。因此，快速云协同算量的运用，是非常必要的。

2. 展望

2015年后，人工智能如雨后春笋般崛起，OCR 识别图纸，成功率越来越高，可以逐步应用到快速云算量工具中。从中交、中铁、中铁建、中电建、中建和保利长大等大型央企的企业工程管理实践中，就可以看到对工程算量的无比重视，广泛应用。通过智能 OCR 识别技术让抄图出量效率提升10倍以上，精准 BIM

模型算量解决桥梁复杂构件，土方算量难的问题；AI 提量，通过工具快速算完工程量以后，用大约1天时间即可快速完成“0# 台账”“对下计量台账”“物资应耗台账”。工程快速云算量逐渐会全面普及，快速云算量工具本身，也会与人工智能 AI 与计算机技术紧密结合，不断更新迭代，必将会出现更为方便快捷的新一代智能化产品，乃工程人之幸，工程管理之幸！

参考文献

[1] 《云攻略》马克·贝尼奥夫卡莱尔·阿德勒主编 海天出版社2010年8月出版。
[2] 《公路工程造价算量一例通》张国栋、铁怀民主编 中国建筑工业出版社2017年4月1日出版。
[3] 《数据中台架构：企业数据化最佳实践》张旭、戴丽、阎赛华主编 电子工业出版社2020年5月出版。
[4] 《建设工程投资控制》陈健玲等编著 黄河水利出版社2011年1月1日出版。
[5] 《工作分解结构 WBS 实施标准》美国项目管理协会主编 电子工业出版社2021年出版。
[6] 《工程建设企业管理信息化实用案例精选》鲁贵卿主编 中国建筑工业出版社2019年出版。
[7] 《广东省清（远）连（州）一级公路升级改造（高速）公路项目总控管理》杨海主编 人民交通出版社2008年7月出版。
[8] 《工程项目投标策略》何增勤主编 天津大学出版社2004年5月1日出版。
[9] 《企业定额编制原理与实务》袁建新主编 中国建筑工业出版社2003年12月1日出版。
[10] 《公路资产核算与报告规则研究》陈志斌著 东南大学出版社2018年3月出版。

野三关隧道历次突泥成因分析及经验教训

陈吉沿¹, 陈广勋^{2*}

1. 中铁第五勘察设计院集团有限公司, 北京 102627

2. 汉巴南城际铁路有限责任公司, 四川 南充 637600

摘 要 : 野三关隧道曾发生多次突泥, 成因各异, 有事前预见的, 也有突发性的, 为类似隧道施工提供经验教训。
关 键 词 : 溶腔; 成因分析; 经验教训

Cause analysis and lessons of past bursts of muddy water in Yesanguan Tunnel

Chen Jiyan¹, Chen Guangxun^{2*}

1.China Railway Fifth Survey and Design Institute Group Co., Ltd. Beijing 102627

2.Hanbanan Intercity Railway Co., Ltd. Nanchong, Sichuan 637600

Abstract : Several mud flush experience has appeared during the construction of Yesanguan Tunnel and the causes varied. Some has been predicted correctly, while others happened without any hint. The experience discussed in this paper could guide the similar engineering.

Keywords : karst caves; causes; lessons

一、概况

野三关隧道坐落于巴东县野三关镇, 介于碗口河与支井河之间, 铁路里程标记为 DK116+203至 DK130+049, 总长度达到 13.846 公里, 是宜万铁路中最长的隧道, 同时作为全线的关键控制性工程。该隧道的最大埋深为 684 米, 且具有人字形的坡度^[1]。

在地质条件方面, 隧道穿越的地层极为复杂, 广泛分布着岩溶、断层破碎带、瓦斯、高地应力和沥青等不良地质现象, 这使得在施工过程中极有可能面临大规模至特大规模的突水突泥事件、大规模塌方、围岩的严重变形甚至失稳等重大地质灾害。鉴于这些风险, 野三关隧道被项目业主确定为全线中八座一级高风险隧道之一, 需要给予特别关注和监督。

二、DK124+583 突泥

(一) 预防措施

DK124+583 揭示前, 根据超前地质预报成果资料, 判释掌子面前方 1.5m 位置即遇溶腔, 溶腔内充填物以砂粘土为主, 溶腔水位、水压低, 揭示后有发生突泥的可能, 但不能预估揭示后什么时候会突泥, 根据四方会商决定如下:

1. 对视频监控系统进行检查、维护, 确保正常启动;
2. 揭示前野三关隧道出口、进口所有人员撤离出洞。
3. 爆破后是否出碴及人员何时进洞由四方根据现场情况决定。
4. 编制专项爆破方案, 报监理审批后实施。
5. 爆破后值班人员加强视频观察。
6. 四方决定恢复作业后, 该面边出碴, 边观察, 部分出碴后, 当晚该面作业需暂停, 留置观察。

该面于 2008 年 11 月 23 日 10 时爆破成功, 14:00 人员进洞, 其他作业面施工恢复^[2]。

(二) 判断和揭示后的实际情况

2008 年 11 月 24 日凌晨 3 点该作业面突泥, I 线突泥淤积长度 200m, II 线淤积长度 150m, 以泥和砂为主, 夹杂大石块, 无人员伤亡, 揭示后地质情况与揭示前判断基本一致, 如下图。



(三) 突泥成因分析

该作业面爆破后未立即突泥 (16h 后突泥), 应与在溶腔无水的状况下, 充填物具有一定的自稳能力有关, 但其自稳能力有限, 在某个时间段过后, 超过其自稳能力限制, 故发生突泥。

DK124+583 溶腔与已知的 602 溶腔在隧底虽未发生直接关联, 但岩溶隧道裂隙发育, 两溶腔在隧道上方某个位置应发生必然联系, 加之 602 溶腔与暗河联通, 602 溶腔水压通过裂隙传递至 583 溶腔充填物, 并将其击溃, 583 面突泥带水, 即是一佐证^[3]。

DK124+580 爆破后, DK124+583 面充填物失去了应有的支撑体, 形成临空面, 虽然充填物有一定时间的自稳能力, 但超过其临界时间之后, 临空面附近充填物坍塌, 上方充填物顺势下压, 冲击临近充填物, 形成突泥。

(四) 经验教训

DK124+583 溶腔位于深埋地层中, 溶腔内主要充填物为砂粘土。在这种砂粘土地层中, 存在渗水、流水、突水 (砂) 的风险。根据 DK124+583 溶腔的施工经验, 可以总结出以下施工步骤

作者简介:

1. 陈吉沿 (1998.05-), 男, 助理工程师, 本科, 土木专业毕业, 研究方向: 隧道与地下工程设计;

2. 陈广勋 (1971.05-), 男, 高级工程师, 本科, 土木专业毕业, 研究方向: 工程建设管理、隧道及桥梁工程的施工及施工监理, 邮箱: cgx1314@126.com。

和方案：

超前探孔：通过超前探孔技术，判定水流方向，测算总涌水量，确定裂隙发育段和裂隙发育度。这有助于分析前方地层在开挖后是否能够自稳，是否存在大量涌水、涌砂的可能，以及涌出水量是否会对施工造成重大影响。

控制涌水量：在开挖施工完成后，必须确保能够对涌水量进行有效控制，以防止施工过程中出现不可控的水流和泥砂涌入。

预防措施：当前方为淤泥或粉细砂层等充填性溶洞时，即使存在少量流水（例如每小时3至5立方米），也可能导致开挖后掌子面失稳，增加坍塌、涌泥、涌砂等灾害的风险。因此，在这种情况下，不宜采取直接开挖的方案，而应采取超前预支护的方式，以确保施工安全。

通过这些措施，可以有效降低施工过程中突水突泥的风险，确保隧道施工的安全和顺利进行^[4]。

三、DK124+587突石

（一）应对措施

泄水支洞释能降压成功后，经过四方会商，决定对DK124+580掌子面淤积段进行清淤工作，打开602溶腔正反2个工作面，以快速通过602溶腔，同时为防止隧底突出，采取如下应对措施：

1. 清淤：DK124+583面留置10m，清理部分淤泥后反压硬碴；

2. 超前支护：采用小导管或自进式锚杆，具体由施工单位现场决定。

3. 判断和揭示后的实际情况

部分清淤后该面向前压炮至DK124+587，爆破后，未有异常情况发生，出碴至该面线右时，上方石块突出，石块突出速度较慢，前期以大石块为主，后期大小石块交替突出，后反复清淤，反复突出，大小几十次，后停止清淤，每次突出物在100~400m³左右，如下图^[6]。



该面前期防灾重点集中于隧底，对掌子面周边突出估计不足。

4. 突出成因分析

在清淤过程中，经过观察，DK124+587面上方有一空腔，直立，高度、面积不详（光线较暗），该溶腔本身内有充填物，

出碴后，充填物坡脚被破坏，因其直立，故没有自稳能力，突出后，又形成坡脚堆挡，故不再突出，再清再突，如此反复^[5]。

根据602溶腔判释图，该溶腔较大，呈漏斗形，上大下小，内含充填物数量巨大；另溶腔壁坍塌也是一大因素。

5. 经验教训

DK124+587溶腔内充填物为石块，不能在某个部位自然形成较强的承重拱，因而遇此类溶腔采取反复清淤的方式不可行，另外即时清淤成功，溶腔壁也存在坍塌的可能，有落石现象，钢架支护作业人员安全也不能得到保障^[7]。

因此遇此类溶腔，还是应以超前预支护的形式通过。

四、DK124+602突水突泥

（一）预防措施

在DK124+604位置进行爆破后，掌子面推进至DK124+602，两个作业面均显示出较为完整的灰岩层，未观察到异常迹象。通过综合分析TSP203、地质雷达和超前探孔（包括超长炮孔）的数据，我们推断I线从DK124+600至DK124+630的地质状况与后方区域（DK124+630至DK124+670）相似。该区域的岩层主要由P1m+q厚层灰岩构成，存在发育的岩溶裂隙，这些裂隙与隧道近乎垂直或以大角度相交，贯穿I线和II线，主要沿着岩层的走向延伸，周围岩体相对稳定，没有发现异常现象^[9]。

鉴于现场地质状况和综合超前地质预报均显示该区域属于正常地质段，因此我们没有在该作业面采取额外的辅助预防措施。

（二）实际情况与预测后的结果

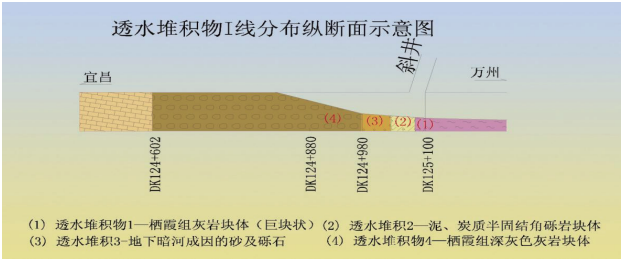
然而，在2007年8月5日凌晨0:57分，当出碴工作接近完成时，工作面右侧突然出现向上涌水现象，水势汹涌，迅速上涨，导致装载机被冲走，发生了突水突泥事件，如下示意图所示。



> 突出的石块

> 被洪水冲走毁坏的50装载机

突发性透水事件伴随着大量泥沙和石块的喷发。在最初的30分钟内,涌出的水量高达151,000立方米,同时伴随着约53,500立方米的泥沙和石块,其冲击力足以将I线进口方向的一台9米长的衬砌台车(重约65吨)、一台120型号的挖掘机(约32吨)、两台斯太尔品牌的自卸车(每台约21吨)、一台沃尔沃品牌的装载机(约25吨)以及一台50型号的装载机(约21吨)冲至大约500米之外,导致这些机械设备严重损坏。一小时后,水流量有所下降,并且出现了周期性变化,大约每半小时水位就会上升或下降3至5厘米。石块堆积导致隧道约400米的长度受到影响,特别是在掌子面附近,隧道的横断面几乎被完全堵塞。



(1) 灰岩块石(巨块状);(2) 泥、炭质半胶结角砾岩块体;(3) 砂、砾石及灰岩角砾;(4) 灰岩块石

> 透水堆积物 I 线分布纵断面示意图

由于缺乏预示透水的征兆,且瞬间涌水量巨大,导致斜井工区的I线和II线上的5个作业面施工人员未能及时避险,结果有52人被困。尽管进行了紧急救援,但不幸仍有10人遇难,此次事故造成了高达6965万元的损失。

(三) 突水突泥成因分析

1. 结合初步勘察、透水后的补充勘探以及现场调查资料,我们认为此次事故的直接原因是高水压导致地下水沿隐蔽的富水构造传递压力,进而压裂了隧道临空面的完整围岩。这引发了隧道左侧的大规模崩塌,崩塌的岩体与隧道上方的岩溶管道相连,最终导致了与3号地下暗河的贯通,形成了一种复合成因的重大崩塌、突泥、突石透水事故。

2. 宜万铁路野三关隧道的参建各方对于该地区复杂的岩溶地

质结构认识不足,面对可能发生的复合成因崩塌、突泥、突石透水灾害,由于国内缺乏相关经验,导致在理论探索和工程实践中存在一定的滞后^[8]。

3. 国内现行的地质勘察规范和规程对岩溶的勘察和勘探仅作了一般性规定,对于深部复合成因的大型高压透水(泥、石)隐伏地质构造的勘探缺乏具体规定。特别是对于隧道上下方及两侧围岩的超前探测,缺乏明确的相关规定,导致在综合分析和解释相关数据时,缺乏统一的量化标准。

4. 在宜万铁路这样地质构造复杂的区域进行隧道施工时,现有的安全管理、技术手段和设备设施与工程实际需求之间存在不适应之处,需要进一步的改进和提升。

(四) 经验教训

尽管野三关隧道“8.5”重大透水事故是由自然灾害引起的安全事故,但其中的经验教训仍然具有重要的反思价值。

1. 提升对复杂成因透水灾害的认识

我们需要增强对隧道在高水压条件下可能遭遇的复杂成因崩塌、突泥、突石透水灾害的认识,并加大勘探力度。应综合运用多种勘测技术,以明确富水构造的分布范围、具体位置和水压力等关键特性。

2. 建立铁路隧道施工地质规范

我们需要进一步明确和细化隧道周边实时探测的技术要求、操作流程和方法。在规范中,应详细规定隧道施工超前预测和预报的方法与要求,强化对隧道掌子面前方及周围区域的探测工作,确保隧道周边的探测深度超过10米。

五、结语

由于国内地质预报技术手段有限,不能详细、准确探明溶腔规模,溶腔施工存在极高的安全风险,如何安全、有效通过溶腔需进一步摸索。

参考文献

- [1] 韩小敏. 宜万铁路野三关隧道高压富水岩溶治理技术[J]. 山西建筑, 2014, 40(02): 176-177.
- [2] 李忠. 在建铁路隧道水砂混合物突涌灾害的形成机制、预报及防治[D]. 中国矿业大学, 2009.
- [3] 孙国庆, 高广义, 肖盛能. 野三关隧道溶腔溃口处理技术[J]. 中国工程科学, 2009, 11(12): 77-81.
- [4] 陈礼彪. 山岭隧道施工期安全风险评价方法研究[D]. 武汉大学, 2014.
- [5] 张民庆, 孙国庆, 彭峰. 圆梁山隧道高压富水区径向注浆技术研究及应用[J]. 隧道建设, 2004, (05): 21-27.
- [6] 谢衍光, 陈广勋, 黄德川. 化解复杂岩溶隧道突水突泥风险应用技术研究[J]. 铁道工程学报, 2009, 26(09): 73-77.
- [7] 杨有福. 超前地质预报在高风险岩溶隧道中的应用[J]. 四川地质学报, 2014(z2): 150-154.
- [8] 杜永昌, 王武现. 宜万铁路大支坪隧道高压富水岩溶处理技术[J]. 铁道建筑, 2011, 51(03): 66-69.
- [9] 陈广勋. TSP超前地质预报法在隧道工程中的应用[J]. 路基工程, 2009, (01): 185-187.
- [10] 陈广勋, 郑志勇, 张培元. 地质条件误判导致山岭隧道二衬开裂及对策[J]. 路基工程, 2008, (06): 191-192.

基于地表岩移监测数据的岩体力学参数标定方法研究

李冲¹, 骆贞江², 纪海玉¹, 杨新锋³, 宋震^{3,4*}

1 刚波夫矿业股份有限公司, 利卡西 加丹加省 999059

2 中国瑞林工程技术股份有限公司, 江西 南昌 330000

3 长沙迪迈科技股份有限公司, 湖南 长沙 410000

4 西南石油大学, 四川 成都 610000

摘要： 本文提出了一种基于地表岩移监测数据的岩体力学参数标定方法，并通过数值模拟进行验证。通过对井下矿石开采过程中不同时期的地表岩移监测数据进行分析，利用有限元分析模型对岩体力学参数进行了标定。研究表明，该方法能够有效提高岩体力学参数的准确性，并对矿山稳定性评估提供可靠支持。

关键词： 岩体力学参数；地表岩移监测；数值模拟

Research on calibration method of rock mass mechanical parameters based on surface rock movement monitoring data

Li Chong¹, Luo Zhenjiang², Ji Haiyu¹, Yang Xinfeng³, Song Zhen^{3,4*}

1. Gambov Mining Co., LTD., Likasigatanga Province 999059

2. China Rulin Engineering Technology Co., LTD. Nanchang, Jiangxi 330000

3. Changsha Dimai Technology Co., LTD. Changsha, Hunan 410000

4. Southwest Petroleum University, Chengdu, Sichuan 610000

Abstract： In this paper, a rock mass mechanical parameter calibration method based on surface rock movement monitoring data is proposed and verified by numerical simulation. Through analyzing the monitoring data of surface rock movement in different periods of underground ore mining, the finite element analysis model is used to calibrate the mechanical parameters of rock mass. The results show that this method can effectively improve the accuracy of rock mass mechanical parameters and provide reliable support for mine stability assessment.

Keywords： rock mass mechanical parameters; surface rock movement monitoring; numerical simulation

引言

随着全球矿产资源的不断开发，井下采矿作业引发的地表岩移问题逐渐受到重视。岩移监测数据在矿山工程中不仅用于预测地表沉降，还可以用于反演岩体的力学参数。这些参数在矿山设计、稳定性分析及风险评估中起着关键作用。然而，由于地下岩体的非均质性 & 复杂的应力环境，如何通过有效的方法精确标定岩体的力学参数一直是一个挑战。

近年来，数值模拟方法，特别是有限元分析，在岩土工程中得到了广泛应用。通过将实测数据与数值模型相结合，研究者们能够更加精确地反演出岩体的力学参数。因此，本文基于有限元数值模拟方法，提出了一种结合地表岩移监测数据的岩体力学参数标定方法，并通过实际案例验证了其有效性。

一、准则综述

莫尔-库仑准则是岩土力学中最流行的标准，制定于 Tresca 和 von Mises 准则之前。该标准指出，当作用在材料中任何元素上的剪切应力和法向应力满足以下方程时，就会发生失效。

$$|\tau| + \sigma \tan \phi - c = 0$$

其中， τ 为剪应力， c 为内聚力， ϕ 为内摩擦角。

借助莫尔圆，该标准可以写成

$$\frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_3) + \frac{1}{2}(\sigma_1 + \sigma_3) \sin \phi - c \cos \phi = 0$$

当主应力按 $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$ 排序时，莫尔-库仑标准可以用不变量 I_1 和 J_2 以及洛德角 $0 \leq \theta \leq \pi/3$ [1][2] 来表示。屈服函数则为

$$F_y = \frac{1}{3} I_1 \sin \phi + \sqrt{\frac{J_2}{3}} \left((1 + \sin \phi) \cos \theta - (1 - \sin \phi) \cos \left(\theta + \frac{2\pi}{3} \right) \right) - c \cos \phi = 0$$

项目信息：面向无人装载机的自主引导及铲装控制技术研究，四川省国际科技创新合作项目，四川省科学技术厅，项目编号：2025YFHZ0104。

作者简介：李冲（1983—），男，汉族，黑龙江省青冈人，硕士研究生，高级工程师，采矿工程专业，主要从事矿山生产、矿山技术、工程管理及安全管理。通讯邮箱：zhen.song@rwth-aachen.de。

当 $\theta = 0$ 时定义为拉伸子午线，当 $\theta = \pi/3$ 时定义为压缩子午线。

重新排列各项，莫尔 - 库仑标准如下

$$F_y = \sqrt{J_2} m(\theta) + \alpha I_1 - k = 0$$

其中，

$$m(\theta) = \sqrt{\frac{1}{3}} \left((1 + \sin \phi) \cos \theta - (1 - \sin \phi) \cos \left(\theta + \frac{2\pi}{3} \right) \right)$$

$$\alpha = \sin \phi / 3$$

$$k = c \cos \phi$$

在无摩擦材料的特殊情况下 ($\phi = 0$, $\alpha = 0$, $k = c$)，莫尔 - 库仑标准简化为特雷斯卡最大剪应力标准，($\sigma_1 - \sigma_3$) = 2k 或等效于

$$F_y = \sqrt{J_2} \cos \left(\theta - \frac{\pi}{6} \right) - k = 0$$

莫尔 - 库仑标准在主应力空间中定义了一个不规则六角锥体，这会在屈服函数的导数中产生奇异性，处理屈服面角部的塑性流动时会造成数值困难。德鲁克 - 普拉格模型^{[1][3]}忽略了应力洛德角引入的应力张量第三不变量 J_3 对屈服面横截面形状的影响，通过基于应力张量第一不变量 I_1 和应力张量第二不变量 J_2 以及两个材料常数（可与莫尔 - 库仑系数相关）的平滑函数来近似莫尔 - 库仑准则。该标准有时也称为 von Mises 扩展准则，因为当设置 $\alpha = 0$ 时，它等同于 von Mises 准则。

Drucker-Prager 模型中的系数与 Mohr-Coulomb 标准中的内聚力 c 和内摩擦角 ϕ 的关系为

$$\frac{\alpha}{k} = \frac{\tan \phi}{3c}$$

Drucker-Prager 模型中的系数可以通过以下公式与 Mohr-Coulomb 标准中的系数匹配^[1]

$$\alpha = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \frac{\sin \phi}{(3 \pm \sin \phi)}$$

$$k = \frac{2\sqrt{3}c \cos \phi}{(3 \pm \sin \phi)}$$

在无摩擦材料的特殊情况下 ($\phi = 0$, $\alpha = 0$, $k = 2c/\sqrt{3}$)，Drucker-Prager 准则简化为 von Mises 准则

$$\sqrt{J_2} = 2c/\sqrt{3}$$

二、行业方法

数值模拟方法在岩土工程中的应用已有数十年的历史，其中有限元分析 (FEM) 是应用最为广泛的一种方法。Potts 和 Zdravkovic(2001) 在《Finite Element Analysis in Geotechnical Engineering》中详细阐述了有限元分析在地基承载力、隧道开挖和边坡稳定性等领域的应用。他们指出，有限元分析能够有效模拟复杂的地质条件和边界条件，是研究岩土工程问题的强有力工具^[4]。

基准测试在岩土工程中用于验证和比较不同数值模型的性能，以确保模拟结果的准确性和可靠性。H.F.Schweiger(2002) 在其技术报告《Benchmarking in Geotechnics 1》中介绍了基准测

试的原理和应用，特别是在数值模拟中的作用^[5]。Schweiger 在随后的研究中 (Schweiger, 2002) 展示了多个数值基准测试案例，为岩土工程数值模拟提供了有力的验证工具^[6]。

国内也有学者聚焦于地下开采诱发的地表岩移问题，从演化规律、稳定性分析、监测技术、数值模拟等多个角度进行了深入研究，旨在为矿山开采过程中地表岩移的预测、控制提供理论依据和技术支持^[7-10]。

岩体力学参数的标定是地下工程设计中至关重要的步骤。传统的方法包括实验室试验和现场测试，但这些方法通常成本高且耗时。近年来，数值模拟结合反演分析成为了一种有效的替代方法，通过优化算法结合监测数据，可以在较短时间内获得较为准确的岩体参数。

三、案例研究

(一) 研究区域概述

本文以刚果某矿山为研究对象。该矿山位于刚果 (金) 南东部的加丹加高原，多为低山丘陵地貌，海拔标高在 1340m-1465m 之间，地表切割强烈。该矿山分为三个矿体。1963 年该矿山进入地下开采，地下开采期间起始中段标高 1320 米，主井深度 -617 米 (标高 777)，最大采深 -505 米 (标高 889)，主要的矿体于 2021 年投产，其它 2 个矿体尚未投产。

该矿山自开采以来一直面临地表沉降问题。矿山位于一个地质构造复杂的地区，岩体具有明显的非均质性。为了确保矿山的安全开采，自矿山投入运营以来，部署了多个地表监测点，以获取岩移数据。

(二) 地表岩移监测数据的获取与处理

地表岩移监测数据是岩体力学参数标定的基础。本研究利用了从矿山不同采矿时期获取的地表沉降数据，这些数据包括监测点的水平位移和垂直位移。数据处理步骤包括：剔除异常数据、噪声过滤、以及基于时间序列的分析，以确保数据的可靠性。

(三) 数值模拟模型构建

基于研究区域的地质勘查数据，构建二维有限元模型。边界条件设置为上边界基于实际地形和采矿范围的自由边界条件，两侧边界为水平方向固定边界，下边界为全向固定边界。初始力学参数根据已有文献和矿山勘探报告给出，包括岩体的弹性模量、泊松比、内摩擦角和黏聚力等。

名称	数值	单位
密度	2820	kg/m ³
杨氏模量	6.99E9	Pa
泊松比	0.31	1
黏聚力	5.61E6	Pa
内摩擦角	0.41574	rad

进一步设定岩土材料为弹塑性材料，其具有独特的弹性状态，其中变形可恢复且与路径无关。当应力超过一定水平时，将出现屈服极限，即永久塑性应变。屈服准则用于定义塑性变形发生的应力条件。屈服面内的应力路径导致纯可恢复变形，即弹性应变，而与

屈服面相交的路径则产生可恢复和永久变形，即塑性应变。

一般的，屈服面可以描述为 $F = f(\sigma) - f_c = 0$

其中 f_c 为常数（对于完全塑性材料），也可以是应变硬化材料的变量。屈服面 F 是主应力空间中的一个表面，其中封闭了弹性区域（ $F \leq 0$ ）。对于脆性材料，屈服面代表破坏面，即材料崩溃而不是塑性变形的应力水平。

对于岩土材料中各向同性部分，塑性势 Q_p 可用柯西应力张量的三个不变量来表示

$$Q_p(\sigma) = Q_p(I_1(\sigma), J_2(\sigma), J_3(\sigma))$$

从而塑性应变张量的增量 $\dot{\epsilon}_p$ 可以分解为

$$\dot{\epsilon}_p = \lambda \frac{\partial Q_p}{\partial \sigma} = \lambda \left(\frac{\partial Q_p}{\partial I_1} \frac{\partial I_1}{\partial \sigma} + \frac{\partial Q_p}{\partial J_2} \frac{\partial J_2}{\partial \sigma} + \frac{\partial Q_p}{\partial J_3} \frac{\partial J_3}{\partial \sigma} \right)$$

塑性应变张量的增量 $\dot{\epsilon}_p$ 一般包括偏量和体积部分，呈现对称。增量塑性应变张量的迹线，为体积塑性应变率。Tresca 准则中金属体积塑性应变率始终为零。实验中观察到金属中存在不可压缩塑性变形，但大多数岩土工程应用中弹塑性岩土模型中常使用非零体积塑性应变。

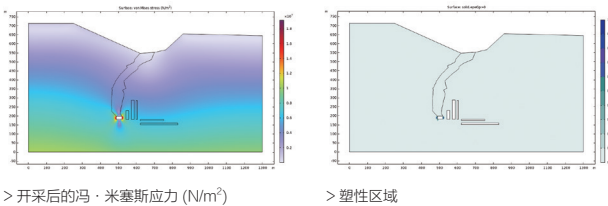
对全域进行完整网格精细划分，网格顶点6610个，三角形（即元素数量）12844个，边缘元素399个，顶点元素25个，元素面积比0.22362，网格面积0.8062km²，最大元素尺寸13m，最小元素尺寸0.026m，曲率因子0.2，联合使用直接法和常数牛顿法分别进行线性求解和非线性求解，容差系数0.001时迭代终止。

四、结果与讨论

（一）数值模拟结果

通过有限元分析，获得了不同开采阶段下的地表位移场。与实际监测数据相比，初始模拟结果显示出一一定的偏差，这主要是

由于初始参数设置中的不确定性。经过多次迭代优化后，模拟结果与实测数据之间的差异逐渐缩小，最终标定出的参数包括岩体的弹性模量和黏聚力等。



（二）模型标定与反演分析

通过有限元模拟得到的地表位移与实测数据进行对比，并利用优化算法逐步调整模型参数，直至模拟结果与监测数据吻合。在优化过程中，采用了基准测试技术，确保每次调整后模型的稳定性和准确性。最终标定出的岩体力学参数将用于矿山稳定性评估和进一步的设计优化。

（三）模型验证与应用

为了验证标定参数的准确性，将其应用于其他时期的矿山开采模拟中。结果表明，使用标定参数进行的模拟能够准确预测地表位移，这表明标定方法的有效性。此外，通过基准测试方法验证了数值模型在不同条件下的适用性，进一步证明了模型的可靠性。

五、结论

本文提出了一种基于地表岩移监测数据的岩体力学参数标定方法，并通过数值模拟验证了其有效性。研究表明，利用有限元分析结合监测数据，可以有效地标定岩体力学参数，为矿山设计和稳定性评估提供可靠的参考。未来的研究应继续探索更为复杂的岩体模型和更高效的优化算法，以进一步提高标定精度。

参考文献：

- [1] W.F. Chen and E. Mizuno, Nonlinear Analysis in Soil Mechanics: Theory and Implementation (Developments in Geotechnical Engineering), 3rd ed., Elsevier Science, 1990.
- [2] A.J. Abbo and S.W. Sloan, "A Smooth Hyperbolic Approximation to the Mohr-Coulomb Yield Criterion," Computers and Structures, vol. 54, no. 3, pp. 427 - 441, 1995.
- [3] D. Drucker and W. Prager, "Soil Mechanics and Plastic Analysis or Limit Design," Quarterly of Applied Mathematics, vol. 10, no. 2, pp. 157 - 165. 1952.
- [4] D. Potts and L. Zdravkovic, Finite Element Analysis in Geotechnical Engineering, Thomas Telford Publishing, 2001.
- [5] H.F. Schweiger, Benchmarking in Geotechnics 1. Technical Report CGG IR006 2002, Institute for Soil Mechanics and Foundation Engineering, Graz University of Technology, Austria.
- [6] H. Schweiger, Results from Numerical Benchmark Exercises in Geotechnics, Proc. 5th European Conference on Numerical Methods in Geotechnical Engineering, pp. 305 - 314, 2002.
- [7] 崔轩, 杨胜利. 地下开采诱发的地表岩移演化规律及稳定性分析 [J]. 矿业研究与开发, 2023, 43(08):78-83.DOI:10.13827/j.cnki.kyyk.2023.08.027.
- [8] 王荣军. 北洛河铁矿地表岩移特性与控制技术 [J]. 黄金, 2022, 43(12):39-43.
- [9] 赵淑霞. 段村-雷沟矿区地表岩移监测技术研究 [J]. 中国矿业, 2015, 24(S1):403-405.
- [10] 陈小康, 王雷鸣. 基于数值模拟的深井开采地表岩移范围圈定 [J]. 有色冶金设计与研究, 2023, 44(06):1-4.

钢结构节点设计中的应力集中现象及其控制方法

刘志坚

江西同济建设项目管理股份有限公司, 江西 南昌 330000

摘 要： 钢结构节点设计中普遍存在应力集中现象，主要表现为焊缝处、翼缘连接部位、加劲肋端部等区域应力显著放大。通过对 H 型钢梁柱节点、箱型柱-梁节点等典型节点的应力分布规律分析，揭示了几何尺寸、构造形式、连接方式等设计参数与应力集中的关系。针对不同类型的应力集中现象，系统提出了节点优化设计、局部加劲、构造细节改进等控制方法。工程应用验证表明，采用相应控制方法后节点应力集中系数显著降低，最大应力降幅达 35%–50%。

关 键 词： 钢结构节点；应力集中现象；控制方法；节点设计；应力分布

Stress concentration phenomenon and control method in steel structure joint design

Liu Zhijian

Jiangxi Tongji Construction Project Management Co., Ltd. Nanchang, Jiangxi 330000

Abstract： The stress concentration phenomenon is common in the design of steel structure joints, which is mainly manifested in the significant amplification of stress at welds, flange joints, and stiffener ends. Through the analysis of the stress distribution law of typical joints such as H-shaped steel beam-column joints and box-shaped column-beam joints, the relationship between design parameters such as geometric size, structural form, connection mode and stress concentration is revealed. In view of different types of stress concentration phenomena, control methods such as joint optimization design, local stiffener, and structural detail improvement are proposed. The engineering application verification shows that the stress concentration coefficient of the node is significantly reduced after the corresponding control method is adopted, and the maximum stress reduction is 35%–50%.

Keywords： steel structure joints; stress concentration phenomenon; control methods; node design; stress distribution

引言

钢结构节点设计中的应力集中问题长期困扰工程界，其产生机理复杂，影响因素众多。深入研究应力集中现象的特征规律并提出有效的控制方法，对确保节点设计安全性和可靠性具有重要意义。

一、钢结构节点设计中应力集中现象分析

（一）应力集中的表现形式

钢结构节点设计中的应力集中现象主要表现为局部区域应力值显著高于名义应力。在梁柱节点中，应力集中系数可达 2.5–3.5，严重影响节点承载性能。焊接 H 型钢节点的应力集中现象表现为焊趾区应力突变，应变硬化明显，易导致局部屈服。箱型柱与 H 型钢梁连接节点在翼缘板与柱壁交接处产生显著应力集中，其特征值往往超过材料屈服强度。型钢连接板节点在螺栓孔周边形成应力集中环，应力分布呈非线性特征。钢管节点在相贯线处因截面突变引发应力集中，且应力分布极不均匀。实测结果表明，应力集中区往往伴随材料塑性变形和残余应力叠加效应，加剧了节点性能劣化^[1]。

（二）应力集中区域分布特征

钢结构节点应力集中区域呈现出显著的规律性分布特征。焊接节点的应力集中区主要分布于焊缝热影响区，应力梯度陡峭，在焊趾和焊跟处形成应力峰值点。H 型钢节点的应力集中区位于梁翼缘与柱翼缘连接处，应力等值线呈椭圆形分布，随着距离连接界面距离增加而迅速衰减。箱型柱节点的应力集中区集中于开孔边缘和加劲肋端部，应力分布表现出明显的三维效应。螺栓连接节点的应力集中区环绕螺栓孔分布，在垂直于外力方向的截面上应力值最大。应力集中区的空间分布特征与节点几何构造、荷载传递路径密切相关^[2]。

（三）应力集中产生的力学机理

钢结构节点应力集中现象产生的力学机理可归因于几何突变效应、荷载传递不连续性和材料性能变异。截面形状突变导致应

力流线发生偏转，在局部区域形成应力密集带。构件连接处的刚度突变引发应力重分布，促使应力在高刚度区域集中。焊接接头处材料组织的异质性改变了局部应变能分布，加剧了应力集中效应。外力传递路径的突变和偏心效应诱发附加弯矩，使得节点局部承受复杂应力状态^[3]。节点约束条件的变化引起变形协调性降低，加重了应力集中程度。力学机理分析揭示，应力集中是多种因素耦合作用的结果^[4]。

二、影响应力集中的设计因素研究

（一）节点构造形式的影响

节点构造形式对应力集中的影响表现为构件布置、受力传递路径和局部约束条件的综合作用。刚接节点与铰接节点在应力分布特征上存在差异，刚接节点因传递弯矩而在连接区形成高应力带。箱型柱-H型钢梁节点由于柱壁局部变形，在梁翼缘焊接位置产生应力集中，其应力集中系数可达3.8。合理的节点构造形式应确保应力传递连续、平稳，避免应力流线的突变。实测数据表明，节点构造的复杂程度与应力集中强度呈正相关，简化的节点构造往往表现出较好的受力性能^[5]。

（二）连接方式的影响

连接方式作为节点设计的关键因素，对应力集中现象有决定性影响。全熔透焊接连接在接头处形成冶金结合，应力集中主要出现在焊趾和焊根过渡区域，热影响区的材料性能变化加剧了应力集中效应。栓焊混合连接中，焊缝与螺栓的协同工作性显著影响应力分布，应力集中发生在焊缝端部和螺栓孔周边。摩擦型高强螺栓连接通过预紧力和摩擦力传递荷载，螺栓孔壁承压产生的局部应力集中较为显著。搭板式连接因偏心效应导致附加弯矩，使连接板与构件交界处产生复杂应力状态。长螺栓连接中应力分布的非均匀性与连接长度、螺栓排距等参数密切相关^[6]。

（三）几何参数的影响

几何参数作为应力集中的内在控制因素，其影响机制体现在应力流线分布和局部变形特性方面。节点翼缘板厚度比对应力集中系数影响显著，较大的厚度差异导致刚度突变，引发应力集中。开孔直径与边距比值影响应力分布的均匀性，合理的几何尺寸配比可降低应力集中程度。参数化分析表明，几何尺寸的优化设计可使节点应力集中系数降低20%~35%^[7]。实践证实，基于应力流线理论优化的几何参数组合能有效改善节点受力性能^[8]。

三、应力集中的控制方法

（一）基于节点构造的控制方法

基于节点构造的应力集中控制着眼于优化整体布局形式与受力传递路径。曲线化节点构造设计通过引入平滑过渡，改善应力流线分布，有效降低局部应力集中程度。实践表明，采用弧形翼缘过渡构造可使节点应力集中系数降低25%以上。箱型柱-H型钢梁节点采用内隔板加强构造，显著改善了应力集中状态，提高了节点承载力。深入研究表明，节点构造优化设计中应充分考虑

构件间的协同变形能力，合理确定刚度比和强度比，构造细节应遵循最小应力集中原则。数值模拟结果显示，基于拓扑优化的节点构造设计方法能够实现应力流线的最优分布。

（二）基于加劲措施的控制方法

基于加劲措施的控制方法通过局部构造加强实现应力重分布。三角形加劲肋布置能有效扩大应力传递面积，降低应力峰值。水平加劲板与垂直加劲板的组合布置形成多向加强体系，显著提升节点刚度。双向加劲措施通过构造协同作用，实现应力均匀扩散。参数化分析揭示，加劲措施的布置方式与几何尺寸对控制效果影响显著，需进行系统优化设计。试验结果证实，采用渐变式加劲构造可有效改善应力传递机制^[9]。

（三）基于连接细节的控制方法

基于连接细节的控制方法注重局部构造改进与精细化设计。焊接节点通过优化焊缝过渡圆弧，调整坡口形式，改善焊趾应力状态。研究表明，合理的焊接工艺参数与焊缝轮廓设计可使应力集中系数降低20%~30%。高强螺栓连接采用渐变垫片技术，改善了螺栓孔周边应力分布。研究发现，连接细节的优化设计应重点关注应力传递的连续性，应用新型连接技术如摩擦阻尼连接、自适应连接等创新方案，可进一步提升控制效果。力学分析表明，合理的连接细节设计能有效降低应力集中敏感性^[10]。

四、控制方法的应用与验证

（一）控制方法的工程实施

应力集中控制方法在大型钢结构工程中得到广泛应用和实践检验。某超高层钢结构建筑采用优化节点构造与加劲措施相结合的控制方案，在框架柱-梁连接节点处引入渐变截面设计，配合双向加劲肋布置，有效改善了应力分布状态。大跨度钢结构桁架采用改进型焊接球节点，通过优化焊缝过渡圆弧和局部加强措施，显著降低了应力集中程度。钢管混凝土框架结构应用创新型环形加劲构造，结合精细化连接设计，实现了应力的均匀传递。深入研究表明，控制方法的工程实施应建立完善的质量控制体系，确保设计意图的准确落实。

（二）应力集中控制效果

控制效果评估基于应力测试数据和性能指标分析。应用光弹实验与数字散斑技术对优化后节点进行应力场测试，结果表明应力集中系数显著降低，最大应力降幅达35%~50%。有限元分析结果验证，节点局部应力分布趋于均匀，应力梯度明显减小。荷载-变形曲线分析表明，节点刚度与承载力得到显著提升，结构整体性能优化效果明显。力学性能测试结果证实，优化设计显著提高了节点的抗震性能与使用可靠性。

（三）控制方法的适用性分析

控制方法的适用性研究着重评估其不同工程条件下的应用效果。参数敏感性分析表明，节点构造优化方法对大跨度钢结构最为有效，应力控制效果随跨度增大而提升。加劲措施在高层建筑框架节点中表现出优异的适用性，特别适合承受复杂应力状态的关键节点。连接细节改进方法对各类节点均具有普遍适用性，

但在小型节点中性价比相对较低。适用性评估结果显示,控制方法的选择需综合考虑结构类型、荷载特征、施工条件等因素。经济性分析证实,优化设计增加的工程造价能通过结构性能提升和使用寿命延长得到有效补偿。

五、结语

研究系统阐述了钢结构节点设计中应力集中现象的特征及其

产生机理,提出了相应的控制方法体系。通过理论分析、数值模拟和试验验证,深入揭示了节点构造形式、连接方式和几何参数对应力集中的影响规律,建立了基于节点构造优化、加劲措施设计和连接细节改进的控制方法体系。研究成果为钢结构节点的设计实践提供了理论指导和技术支撑,对提高节点设计水平具有重要价值。建议在今后研究中进一步探索新型控制技术,完善设计理论体系,推动钢结构节点设计向标准化、智能化方向发展。

参考文献

[1] 张建劼. 减震装置对高层钢结构焊接节点抗风疲劳性能的影响研究 [D]. 江苏: 东南大学, 2019.

[2] 管品武, 杨晓鑫, 梁岩. 大跨复杂斜撑钢结构铸钢节点力学性能分析 [J]. 结构工程师, 2019, 35(5): 32-38.

[3] 徐志聪, 张志成. 钢网架结构节点抗震性能试验 [J]. 土木工程与管理学报, 2017, 34(5): 90-95.

[4] 李帼昌, 宋呈希, 杨志坚. 新型装配式楼板与钢梁连接节点的承载性能有限元分析 [J]. 工业建筑, 2020, 50(12): 126-134.

[5] 王秀丽, 张虎跃, 张强, 等. 方钢管桁架垂直相贯缺陷节点的加固方法 [J]. 兰州理工大学学报, 2018, 44(2): 128-134.

[6] 刘嫒嫒. 新型装配式人工鱼礁力学性能分析 [J]. 中国建筑金属结构, 2024, 23(1): 10-12.

[7] 舒兴平, 袁智深, 卢信嵘, 等. 折线形钢箱柱节点受力性能试验研究 [J]. 建筑结构学报, 2011, 32(1): 117-123.

[8] 姜封国, 潘亚豪, 郑重远. 荷载比对短 T 型钢连接件抗火性能的影响 [J]. 黑龙江科技大学学报, 2017, 27(5): 526-530.

[9] 隋伟宁, 张信龙, 李帼昌. 垫板加强 T 型圆钢管相贯节点抗弯承载力有限元分析 [J]. 沈阳建筑大学学报 (自然科学版), 2012, 28(2): 269-274.

[10] 赵中伟, 陈志华, 刘红波, 等. 基于多尺度模型的大跨度钢结构弹塑性动力响应研究 [J]. 地震工程与工程振动, 2016, 36(2): 165-172.

市政工程施工管理控制的应用研究

罗茹月¹, 陈章²

1. 西南交通大学希望学院, 四川 成都 610400

2. 中国五冶集团有限公司, 四川 成都 610000

摘 要： 随着城镇化进程的不断推进，市政工程作为城镇基建与环境优化的基石，面临施工周期性多变、施工技术复杂、施工主体人员复杂等挑战，其建设过程还涉及到大量的土地利用、道桥、绿化、照明等工作，这需要一个完整的施工管控体系来支撑。施工管理控制是市政工程建设的核心，它能够确保进度、质量和成本的有效管理，保障工程顺利实施与质量达标。本文通过分析市政工程施工管理控制的必要性，梳理出市政工程中施工管理控制的基本方法，并借助实际工程的剖析，进一步揭露市政工程建设中存在的施工管理控制问题，从而提出相应的解决措施，提高市政工程建设的质量和效率。

关 键 词： 市政工程；工程管理；施工管理控制

Research on the application of construction management control in municipal engineering Management

Luo Ruyue¹, Chen Zhang²

1. Hope College, Southwest Jiaotong University, Chengdu, Sichuan 610400

2. China MCC5 Group Co., Ltd., Chengdu, Sichuan 610000

Abstract： with the continuous advancement of urbanization, municipal engineering as the cornerstone of urban infrastructure and environment optimization, faces challenges such as variable construction cycles, complex construction technologies, and complex construction personnel. The construction process also involves a large amount of land use, roads and bridges, greening, lighting, such as work, which requires a complete construction control system to support. Construction management control is the core of municipal engineering construction, which can ensure the effective management of progress, quality and cost, and guarantee the smooth implementation and quality compliance of the project. This paper analyzes the necessity of construction management control of municipal engineering, sorts out the basic methods of construction management control in municipal engineering, and further exposes the construction management control problems in municipal engineering construction through the analysis of actual projects, and puts forward the corresponding solutions, in order to improve the quality and efficiency of municipal engineering construction.

Keywords： municipal engineering; project management; construction management and control

引言

目前，建筑行业挑战重重，市政工程领域竞争尤甚，若无过硬竞争力，极易在市场浪潮中被淘汰。优质管理不但能有效防范风险，保障工程经济效益，增强工程管理规范性，精准把控投资成本，还有助于提升施工效率，稳固工程质量。随着城市化的快速发展，市政工程规模与数量俱增，施工管理复杂度攀升^[1]。这既涵盖跨部门大型基建项目，又因市政工程工期紧、环境杂、资源缺等特性，致使施工管理控制面临重重困难。因此，市政工程各环节皆需强化管控，保证工程高质量与实用性^[2]，并通过深入探究市政工程施工管理控制的应用，为提升效率、优化资源配置和降低风险提供有力支持，从而推动城镇可持续发展。

一、市政工程施工管理控制的必要性

面对市政工程投资项目激增与建设步伐提速的新常态，工程项目规模呈扩张态势，随之而来的是施工周期紧迫与质量管控之间冲突的加剧。为了赢得市场竞争优势，市政施工单位亟需全面

升级施工管理体系，强化全员的施工管理质量意识，在确保工期的同时坚守工程质量与安全红线，有效防范成本超支和进度延误风险，保障项目顺利推进并达成预期目标^[3]。但市政工程施工过程复杂、人员和资源投入巨大、且存在诸多不确定因素，这无疑大大增加了施工管理的难度和复杂性。因此，施工管理控制

作者简介：罗茹月（1993.05-），女，四川省，汉族，讲师，硕士，研究方向：大土木。

的必要性不言而喻。

首先，施工管理控制有助于项目团队精准把控项目计划和进度，这是市政工程项目成功落地的基石，对资源的优化配置、任务的合理安排和项目进程的实时监控至关重要。通过施工管理控制，可以确保项目团队按照预定的时间节点完成各项工作，避免延误和滞后，提高项目的整体效率和质量。其次，施工管理控制能够对项目成本和资源进行科学管理与严格控制。市政工程通常涉及巨额的人力、物力和财力投入，若缺乏有效的管控措施，极易导致资源浪费和成本失控。通过施工管理控制，可实现项目资源的合理调配和高效利用，有效遏制资源浪费和成本超支现象，显著提升项目的经济效益^[4]。此外，施工管理控制还对质量和安全管理起到重要作用。通过施工管理控制，可以构建完善的质量管理体系和安全防控措施，确保施工质量达标，最大限度降低安全风险，保障项目顺利推进和公众利益不受损害。最后，施工管理控制正成为塑造企业竞争优势的有力杠杆。实施严谨的施工管控，乃是护航市政项目依循蓝图与预设轨迹稳步前行的核心机制，对工程品控、时序把控、经费节制以及安全防范等方面发挥着举足轻重的影响。为此，承建单位应依据项目特点构建系统的监管体系，确保工程任按时、高质量交付，提升品牌影响力和行业地位，在激烈的市场竞争中占据领先地位^[5]。

二、施工管理控制的基本办法

市政工程中施工管理控制是通过在施工期间对施工活动进行有效的计划、监控和改进，以确保工程项目的质量、进度、成本、安全等达到预期目标的管理方法。其基本方法主要包括以下几个方面：

（一）计划管理和进度控制

项目计划编制和进度控制是市政工程施工中必不可少的环节。通过制定详细的项目计划，并且合理安排资源和工期，可以有效地控制施工进度，避免延误和浪费。同时，利用进度控制方法和工具，如甘特图和里程碑法，可以及时发现并解决进度偏差，保证项目按时完成。

（二）资源管理与成本控制

市政工程施工涉及大量的人力、物力和财力资源。有效的资源管理可以确保资源的合理配置和利用，提高施工效率和降低成本。同时，成本控制也是非常重要的，通过制定预算、监控成本支出和进行成本分析，可以防止成本超支和资源浪费，确保项目的经济可行性^[6]。

（三）质量管理与安全控制

市政工程施工的质量问题和安全隐患可能会对项目造成严重影响。因此，质量管理和安全控制是不可或缺的管理措施。通过建立质量管理体系，制定标准和流程，并进行质量检查和验收，可以确保施工质量符合要求。同时，采取安全措施和培训工人的安全意识，可以降低事故发生率，保障工人的生命安全。

（四）风险管理与问题解决

市政工程施工中存在各种风险和问题，如自然灾害、材料供

应延迟等。通过风险管理的方法，如风险评估和风险规避策略的制定，可以预先识别和降低潜在风险的影响。同时，及时解决施工中出现的问题也是至关重要的，通过有效的沟通和协调，采取适当的解决措施，可以避免问题扩大化，并保持项目的顺利进行。

三、案例分析

（一）案例概况

本案例为成都大运会主会场周边基础设施建设项目—环湖南路、环湖南路延伸段及A5线，位于成都市龙泉驿区，为新建道路，涉及的子项目包括道路、隧道、桥梁、电气、交安、景观等。

（二）施工管理控制存在的问题

本工程作为大运会的配套项目，具有时间紧、任务重、站位高等特点。从进场到项目结束，其中存在的施工管理控制问题值得我们去归纳总结和思考。

1. 缺乏主观能动性

尽管合同明确约定建设方向施工方提供“三通一平”，但实际操作中往往难以完全落实。其中，拆迁难题首当其冲，例如某高压电线因建设方协调不力未及时拆除，致使隧道工程进度滞后，甚至拖到了雨季。针对此类问题，施工方作为一线执行者，应主动联合业主与政府部门化解问题，摒弃“等靠要”观念，全力排除施工障碍。通过有效施压，促使建设方及政府部门提升紧迫感，从而保障施工顺利推进，确保问题高效解决。

2. 缺乏流程管理

此问题主要针对两点：一是现场地质情况与设计及地勘资料存在差异；二是因上级领导检查，需对现场进行整改优化（尤其在景观专业方面）。此类问题极易给施工方造成损失，例如：五方主体在现场协商出解决方案后，施工方未及时形成纸质资料，亦或建设方“甜言蜜语”先施工后认量，当后期依据现场实际情况补充完善资料时，建设方或其他各方会站在各自立场规避风险，最终导致施工方做了部分甚至全部的“公益事业”。

3. 施工监管机制不健全

随意过度压缩施工工期和设计周期，导致工程设计陷入模块化、套路化的误区，忽视了工程的独特性。一味追求进度而罔顾实际情况，严重牺牲了工序质量，致使返工现象屡见不鲜。例如：道路工程的路基超挖超填，不按规范翻晒、压实，最终导致路面开裂、沉降，只能返工重修；前后施工没有协调，反复开挖，甚至破坏已完成的部分。同时，施工管理既缺乏完善的规章制度，又未建立有效的评估与监控制度。在此情形下，部分承包商为追逐短期利益，对建设中的不规范行为视而不见，甚至企图蒙混过关，这些都成为引发工程缺陷和安全隐患的关键因素^[6]。

4. 现场施工管理较为混乱

市政建设项目管理受诸多变数交互影响，任何管理上的疏忽皆可能波及工程实体质量和推进速度。此类项目多为线型施工，战线绵延，易出现管理覆盖不全面的问题，导致现场作业人员违规操作频发，例如：土方回填未按照30cm分层压实，部分沟槽开挖未按设计或方案放坡等。建筑材料和施工机械作为工程项目关

键资源，在施工现场占据较大空间，却常陷入堆放无序、设备维护不善的困境。特别是市政建设中，物料种类繁多，各施工节点对材料要求各异，故精细化物资管理势在必行。然而现实中，在各种因素干扰下，物资分类常流于形式，随意堆放成常态，加之设备存放与检修失当，故障频发，不知不觉中延误了施工进度，影响项目整体效益与质量。

（三）问题解决措施

1. 增强施工人员主观能动性

在市政工程施工过程中，施工方应恪守安全、质量与进度并重之原则，于保障安全和质量的根基上力求缩短工期。这就要求施工人员具备高度的主观能动性，担当好牵头、推进与督促之角色，摒弃“等靠要”的消极思想，提前介入、协调各方、把控全程、积极推动，将现存及潜在问题及时化解，保障施工进度不受影响。

清单化管理则是施工人员主观能动性的具体体现之一。针对现场状况的勘查、问题的梳理以及对应解决方案，均应编制成清单，于各层级和部门间汇总呈递。同时明确责任与协调人员，设定问题解决时限，在确保不逾期的情况下，充分激发责任人的主观能动性，在协调人的协助下，按时按质解决问题。需注意，单个问题常涉及多个部门，应全力促进各部门间的协同联动。例如：一个基坑换填的超宽超深问题，一般来说五方确定方案，技术部完善方案资料，工程部按方案施工，经营部按实际施工收方，且保证各方签字盖章及时，绝不拖延到后期从而造成不必要的成本。

2. 建立完善的施工管理制度

在市政建设项目管理体系中，构建完备的施工准则体系是驱动管理模式创新、提升行业管理水平的关键。其一，基于对现行管理流程的洞察与工程特性的精准把握，优化规章制度。其二，实施多元安全保障措施，筑牢施工工程安全壁垒。如运用数字化技术搭建集成式安全管理系统，结合固定摄像头与无人机航拍巡查现场，及时察觉隐患，防范事故^[7]。其三，设立岗位责任制，将施工管理要求细化至每位人员，明确职责分工，形成有效约束，促使人员规范作业，保障工程质量^[8]。

3. 加强施工材料和设备的管理

首先，强化施工物资监管力度，鉴于建材品质直接关乎施工质量，严控材料质量实为保障工程品质、提升企业经济收益之要诀^[9]。采购环节须遵循合约预算，甄选优质原材料，严格审核质检证明，杜绝劣质材料混入工地。同时，合理规划现场仓储条件，保障物资完好，动用前，管理人员应复查物料状况，确认无虞方可使用，防范以次充好、私自偷换等违规行径。此外，物资管理应配套详尽的文档记录，精准把控项目物资的动态流向，以便于后续审计工作的开展，有力提升材料管理的合规性；其次，优化施工机械监管体制，鉴于其直接影响工期进度，故施工管控中应强化设备的运行、维护。由于机械耐用年限参差不齐，应定期对其开展保养作业，保持设备高效运行状态，并同步创建档案资料，其内容涵盖但不限于机械服役时长、操作守则、养护指南及维修方法等关键信息。同时，每当公司引入新型设备，管理人员需携手技术骨干更新档案库，确保数据实时准确。

四、市政工程施工管理控制的改进与展望

市政工程施工兼具复杂性和专业性，有效管控施工过程，能够提升工程质量、加快进度、削减成本、保障安全，进而助力企业经济效益增长。但在实际应用中，市政工程施工管理控制面临诸多挑战，亟待改进优化。

（一）提高施工管理人员的专业素质和能力

施工管理人员需要具备扎实的技术知识和丰富的实践经验，能够熟练运用各种管理方法和工具，如施工计划编制、资源调配、进度控制、质量监督等，以及解决施工过程中遇到的各种问题和突发情况的能力。只有通过不断提升施工管理人员的素质和能力，才能更好地应对市政工程施工管理控制的挑战，确保项目顺利进行^[10]。

（二）引入先进技术和管理理念，提升管理水平

随着科技的不断进步，市政工程施工管理也需要不断引入先进技术和管理理念，以提升整体的管理水平。例如，可以采用信息化管理系统，实现施工过程的全程监控和数据分析，从而及时发现问题并做出相应的调整。此外，还可以借助建筑信息模型（BIM）技术，实现施工图纸的数字化管理和三维模拟，提高施工效率和质量控制。同时，还可以引入精益施工、敏捷管理等先进的管理理念，通过优化流程和提升团队协作能力，进一步提高施工管理的效果。

（三）加强与相关部门和企业合作，促进施工管理控制的创新与发展

市政工程的施工管理涉及众多政府部门，如规划、环保、交通等。加强与这些部门的合作，可以及时获取政策法规的变化和要求，确保施工过程符合相关标准。市政工程往往还需要多个企业参与，如建筑公司、材料供应商等。加强与这些企业的合作，可以共同制定施工计划和控制措施，确保施工进度和质量的有效控制。

通过与相关部门和企业的合作，可以共同研究和探索新的施工管理模式。例如，引入信息化技术，实现施工过程的数字化监控和管理；采用 BIM（建筑信息模型）技术，实现施工过程的三维可视化和协同管理。这些创新的施工管理模式有助于提高施工效率和质量，同时也为市政工程的可持续发展提供了新的思路和方法。

参考文献

- [1] 曾欢. 市政工程施工管理现状及改进措施[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2023, (19): 175-177.
- [2] 崔明. 市政工程施工中管理措施的探讨[J]. 住宅与房地产, 2021(22): 149-150.
- [3] 张群. 市政工程施工管理现状及优化措施[J]. 智能城市, 2021, 7(03): 73-74.
- [4] 葛晓超. 浅析如何有效提高建筑工程施工技术管理水平[J]. 中华建设, 2023(12).
- [5] 王斌. 建筑工程管理中施工管理控制的应用研究[J]. 内江科技, 2022, 43(08): 1-2.
- [6] 丁正兵. 市政工程施工中质量的影响因素和项目质量控制[J]. 中国建筑装饰装修, 2021, (10): 160-161.
- [7] 曾涛. 市政工程建设管理存在的问题及对策研究[J]. 砖瓦, 2022, (06): 123-125.
- [8] 常新. 市政工程施工现场管理存在的问题与对策[J]. 工程技术研究, 2021, 6(1): 2.
- [9] 周杨. 探析市政工程施工安全管理现状及优化对策[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2022, (27): 132-134.
- [10] 刘财旺. 关于加强市政工程施工现场管理措施的探讨[J]. 工程设计与设计, 2021.02.293.

新型绿色建筑工程造价预算与成本控制研究

盛淑娇

中国二十冶集团有限公司，上海 201900

摘 要： 建筑产业在全球范围的能源耗用以及温室气体排放层面，有着至关重要的影响力，因此，推动其向绿色发展转型是实现可持续发展的重要路径。绿色建筑的关键宗旨是借助资源的优化整合、能源消耗的降低以及对环境负面影响的削减，引领行业朝着更具持续性的方向前行。处在绿色建筑项目之中，精准的成本预估与管控措施，不但能够实现资金的合理调配，防止资源被无端耗费，而且还能改良资本架构，增强市场竞争力，进而促使项目获取更多的经济收益。为此，本文提出了一种创新性的绿色建筑成本预算与管理方案。

关 键 词： 绿色建筑工程；造价预算；成本控制

Research on cost budget and cost control of new green building project

Sheng Shujiao

China 20 MCC Group Co., LTD. Shanghai 201900

Abstract： The construction industry has a vital influence on global energy consumption and greenhouse gas emissions. Therefore, promoting its transformation to green development is an important path to achieve sustainable development. The key tenet of green building is to lead the industry in a more sustainable direction through the optimal integration of resources, the reduction of energy consumption and the reduction of negative environmental impact. In the green building project, accurate cost estimation and control measures can not only realize the reasonable allocation of funds and prevent the gratuitous consumption of resources, but also improve the capital structure, enhance the market competitiveness, and promote the project to obtain more economic benefits. Therefore, this paper proposes an innovative green building cost budget and management scheme.

Keywords： green building project; cost budget; cost control

引言

随着绿色建筑理念的兴起，节能环保成为建筑行业的重要发展方向。现代绿色建筑不仅注重生态效益，还着力于造价预算与成本控制的优化。然而，由于绿色建筑在设计、材料和施工过程中具有特殊性，如何平衡环保性能与经济成本成为行业面临的关键问题。

一、新型绿色建筑工程造价预算编制与审核

整合项目涉及的各类必备资料，涵盖设计图纸、施工方案、原料开销、人力投入等，保证所采集的信息确凿、精准且完整^[1]。针对当下绿色建筑项目展开市场考察，洞悉市场走向，剖析原料价位、设备租用成本以及人工费用，为预算规划构筑稳固的数据根基。依据项目需求，择取契合绿色建筑准则的材料与施工工艺。

首先，要保障当代绿色建筑项目平稳开展，就得凭借设计图纸与施工规划实施精准的工程量测定^[2]。在项目核算进程中，需着重留意绿色建筑的独特需求，像是挑选环保型材料、选用提升能源效率的技术策略，还有遵循绿色建筑关联标准之类的关键要素。随后，依照所获的工程量，选定适配的预算规范展开成本核算。经由运用相应的预算标准，逐一推算各类花销，涵盖人力成

本、物料开支、设备费用等等。最后，按照各项开支的总计，算出项目的总体成本。具体的运算公式呈现如下：

$$A=Q*P \quad (1)$$

$$B=A*r \quad (2)$$

$$C=(A+B)*s \quad (3)$$

$$D=(A+B+C)*t \quad (4)$$

$$E=A+B+C+D \quad (5)$$

在公式(1)至(5)中，在公式(1)至(5)中，A意味着项目的直接开销，Q象征工程量，P为每项工作的费用单价，B是间接开销，r为间接费用所占比例，C是项目的盈利，s为盈利比率，D代表应缴税费，t为税收比例，E则为项目的总成本预估^[3]。最终，将所有计算结果进行统计，并编制预算报告，明确各项费用的分配及具体用处。

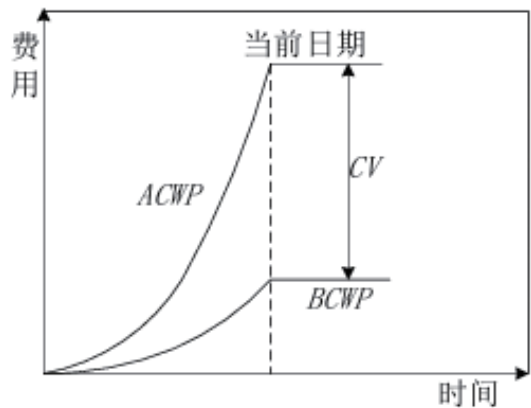
二、新型绿色建筑项目成本全程精益管控

在完成成本控制的变因模型搭建后，下一步是实施贯穿全程的成本管控，主要包括六个关键步骤。首先是前期筹备阶段，需精准划定绿色建筑标准，涵盖节能、环保和资源利用等方面。根据项目规模与建设标准，进行原材料、器械、人力资源等的摸底排查和初步成本估算，设定实际目标成本并拆解为各子工程的具体成本指标^[6]。依据工程进度，制定详细预算，结合市场动态变化，确定合理的定额基准，确保成本控制。规划设计阶段需与建设方紧密协作，拟定绿色建筑设计规范，确保设计既能满足功能需求、遵循绿色建筑标准，又不超出预算。通过对设计方案的对比分析，筛选出性价比最优的方案，同时搭建设计变更管控机制，确保变更不超出目标成本。在采购阶段，优先选择符合环保标准的建筑材料，并兼顾性价比。通过集中采购提高效率，与供应商谈判降低采购成本。施工阶段要求严格执行绿色施工标准，减少能耗并降低对环境的影响。实时监控施工成本，及时调整超支情况，优化质量与安全管理，避免因返工或修复产生额外开支。竣工阶段，按照绿色建筑标准进行终极验收，确保项目达成预期目标，并对费用进行结算，复盘成本管控流程，总结经验并提出改进建议^[7]。最后，在运营和维护阶段，推行节能措施减少运营能耗，定期巡检和维护设备，及时更换损坏部件，确保绿色建筑稳定高效运行。

在此基础上，收集各阶段的成本数据，计算项目建设过程中的成本差异。计算公式如下：

$$CV=BCWP-ACWP \quad (6)$$

在公式（6）中，BCWP 表示在项目执行过程中，某一特定时刻已完成工作的预算成本；而 ACWP 则代表已完成工作的实际支出成本，下图3为 BCWP 与 ACWP 二者之间的曲线图。



> 图3BCWP 与 ACWP 关系曲线示意图

当费用差异（CV）大于0时，表示项目实际支出低于预算，处于节约状态；当 CV 小于0时，则表明项目成本超出预算。根据费用差异的分析结果，可对各阶段的成本控制策略进行相应调整。接下来，将进一步评估项目的费用执行情况，并计算费用执行指标，公式如下：

$$CPI=\frac{BCWP}{ACWP} \quad (7)$$

凭借公式（7），能够评判项目的费用落实状况。倘若 CPI

< 1，意味着现实开支突破了预算限定，显示出项目推进期间成本管控出现了偏离，这极有可能给项目的盈利潜能以及总体预算造成负面影响；要是 $CPI > 1$ ，代表着现实开支大幅低于预算，体现出在物料采购、施工规划抉择以及劳动力成本改良等范畴斩获了突出成效，达成了成本的有效掌控；当 $CPI = 1$ 时，预示着现实成本跟预算精准吻合，意味着项目依循规划稳步前行，有望达成预设目的。

基于前文对费用偏差以及执行状况的剖析可知，应当构建常态化的成本监测系统，随时追踪各施工阶段成本的起伏变化。依据监测所获数据，迅速调适成本管控策略，保障项目自始至终的成本管理都维持在高效、精准的状态。

三、应用分析

在把前述预算及成本管控方案推行至现实建筑工程之前，务必要对其可操作性以及成本把控成效展开全方位评定，力求达成预设的工程造价目的。有鉴于此，本文选定 M 生态住宅小区绿色建筑项目当作示例，进行具体分析。

（一）项目概况

M 生态住宅小区是一个结合绿色建筑技术和节能环保材料的创新项目，总造价预算为8650万元，具体包括：建筑设计费用100万元，建筑材料费用2000万元（其中节能环保材料800万元），建筑工程费用5000万元，可再生能源系统300万元，水资源管理250万元，绿化景观设计350万元，智能化管理系统500万元，杂项费用150万元。

（二）成本控制评估

在 M 生态住宅小区绿色建筑项目中，设定了诸多具有标志性的关键施工节点，凭借这些重要节点对工程推进的速度以及耗费的成本予以实时监测与把控。本篇着重剖析了项目开展到第六个月时的施工动态，考量了该项目在第六个月来临之前的施工速率与费用情形。汇总得出的结果呈现出 M 生态住宅小区绿色建筑项目在成本管控这一领域所达成的实际成效，详细的数据见表1。

表1 工程造价成本控制收敛

第六个月节点前的工序标号	已完成工作量	已完成工作量对应的成本预算 BCWP/ 万元	已完成工作量对应的实际成本 ACWP/ 万元
01	100%	210	205
02	100%	440	430
03	100%	320	310
04	100%	1200	1140
05	50%	650	630
06	60%	840	800
07	0	500	460
08	30%	280	260

由表1所呈现的工程造价成本管控走向能够看出，在项目开展的前六个月时段内，各个施工阶段的现实花销一直低于预先规划的预算成本。运用公式（7）加以运算后，得出8个工序的 CPI 值

全都大于1，这意味着各工序所施行的成本管控手段成效斐然，项目得以平稳推进，并且达成了预先期望的经济回报。鉴于此种情形，本篇文稿针对 M 生态住宅小区绿色建筑项目施工全程里的一切关键节点实施了不间断的成本监测与管控，力求保障各个节点的成本处于预算限定范围之内^[8]。

四、新型绿色建筑的成本控制建议

（一）精确把控设计阶段

设计阶段的任何疏忽或遗漏都可能导致项目的严重损失，尤其是在绿色建筑领域，其影响往往更加广泛和深远。因此，必须对设计环节进行严格把关。在绿色建筑的成本控制中，设计同样占据了至关重要的地位。设计人员应与施工单位、业主等各方进行全面而深入的沟通，确保建筑材料、外观造型等细节精准明确，从而在施工过程中清晰把握主要成本构成，避免不必要的资金浪费^[9]。通过设计阶段对成本的前瞻性管控，可以显著节省资金，降低成本波动，从而有效达成预期的预算目标。

（二）加强施工过程中的成本管控

在绿色建筑施工阶段，必须加强对每一环节的细致管理，避免因施工不当引发的额外费用。同时，需严格控制施工成本，

确保工程按期完成，避免不可预见的突发情况^[10]。例如，建筑材料浪费、施工设备的维护或更换、人工费用以及管理成本等，都会增加额外支出，因此要通过科学的管理措施，减少这些潜在的费用风险。

（三）竣工验收环节的费用把控

当工程临近尾声进入竣工阶段时，成本支出的把控依然不可松懈。建筑企业需依照合同约定来支付竣工款项，故而，合同的拟定务必审慎周密，保障其中条款不存在瑕疵或矛盾之处。清晰界定竣工款项的支付数额，且保证合同内容精准无差，这对于规避因合同纠纷而引发的额外成本支出具有重要意义。

五、结束语

本文探讨了新型绿色建筑项目中造价预算与成本控制的关键问题，我们提出了从设计、预算编制、施工到竣工各阶段的精细化管理方法，并构建了科学的成本控制模型。在此基础上，绿色建筑的经济效益和社会效益能够得到有效保障。未来，随着绿色建筑技术和管理手段的不断发展，成本控制将更加精准，推动建筑行业向可持续发展迈进。

参考文献

[1] 谭忍花. 绿色建筑工程造价预算与成本控制对策探讨 [J]. 陶瓷, 2023,(08):176-178.
[2] 门宏顺. 新型绿色建筑工程造价预算与成本控制 [J]. 中国招标, 2023,(07):87-88+97.
[3] 吴俊明. 新型绿色住宅建筑工程造价预算与成本控制策略分析 [J]. 居舍, 2023,(18):158-160.
[4] 王苗. 新型绿色建筑工程造价预算与成本控制 [J]. 商业 2.0,2023,(16):74-76.
[5] 谢颖. 绿色建筑工程造价预算与成本控制研究 [J]. 环渤海经济瞭望, 2023,(05):135-137.
[6] 高倩. 基于全过程管理的绿色建筑工程造价控制方法 [J]. 陶瓷, 2023 (07): 155-157.
[7] 郭小昆, 李刚. 绿色建筑施工项目成本控制中价值工程应用研究 [J]. 价值工程, 2023 (18): 118-120.
[8] 季秋媛, 陈文建. 基于改进遗传算法绿色建筑成本控制模型的研究 [J]. 四川职业技术学院学报, 2023 (03): 154-159.
[9] 陈铭凯, 沈巍. 基于“双碳”目标背景下绿色建筑造价管理研究 [J]. 中国建筑金属结构, 2023 (05): 172-174.
[10] 张东霞. 新型绿色建筑工程造价预算与成本控制策略分析 [J]. 陶瓷, 2023 (01): 164-166.

现代钢结构建筑的防火设计与材料创新研究

刘志坚

江西同济建设项目管理股份有限公司, 江西 南昌 330000

摘 要： 针对现代钢结构建筑在火灾下耐火性能不足的问题，通过分析钢材在高温环境下的力学性能退化规律，提出了基于性能化的防火设计方法。研究开发了新型防火涂料配方及其制备工艺，创新性地将纳米材料引入防火涂料体系，显著提升了防火保护效果。试验结果表明，改性后的防火涂料在 1000℃ 高温下可延长钢结构承载力维持时间 40% 以上，涂层膨胀倍率提升 30%。通过工程实践验证，优化后的防火设计方案与创新材料的综合应用，为现代钢结构建筑的防火安全提供了可靠的技术支撑。

关 键 词： 钢结构建筑；防火设计；防火涂料；耐火性能；材料创新

Research on fire protection design and material innovation of modern steel structure buildings

Liu Zhijian

Jiangxi Tongji Construction Project Management Co., Ltd. Nanchang, Jiangxi 330000

Abstract： In order to solve the problem of insufficient fire resistance of modern steel structure buildings under fire, a performance-based fire protection design method is proposed by analyzing the degradation law of mechanical properties of steel in high temperature environment. A new type of fire-retardant coating formula and its preparation process have been researched and developed, and nanomaterials have been innovatively introduced into the fire-retardant coating system, which has significantly improved the fire protection effect. The test results show that the modified fireproof coating can prolong the bearing capacity of the steel structure by more than 40% at a high temperature of 1000 °C, and the expansion rate of the coating can be increased by 30%. Through the verification of engineering practice, the optimized fire protection design scheme and the comprehensive application of innovative materials provide reliable technical support for the fire safety of modern steel structure buildings.

Keywords： steel structure building; fireproof design; fire-retardant coatings; fire resistance; material innovation

引言

现代钢结构建筑因其构件标准化程度高、施工周期短、抗震性能好等优势被广泛应用。然而，钢材导热性强、临界温度低，在火灾下强度和刚度迅速下降，严重威胁建筑安全。传统的防火设计方法和材料已难以满足现代钢结构建筑的防火需求，需要开展防火设计创新和材料升级研究。

一、现代钢结构建筑防火设计理论与方法

（一）钢结构火灾温度场与应力场耦合分析

火灾工况下，钢结构温度场分布呈现显著的非均匀性特征，导致结构内部产生复杂的热应力状态。通过有限元法建立温度场-应力场耦合模型，采用 ANSYS 软件进行数值模拟，发现钢结构构件在标准火灾曲线作用下，截面温度梯度随火灾时间呈非线性增长。应力场分析结果显示，热应力与外荷载耦合作用导致构件应力重分布，局部区域应力集中系数达到 1.8，远超常温设计值^[1]。温度-应力耦合效应对钢结构承载力衰减过程具有显著影响，为防火设计提供了重要理论依据。

（二）结构构件临界温度确定方法

基于钢材力学性能随温度变化规律，建立钢结构构件临界温度预测模型。引入荷载利用系数 λ ，结合构件稳定性理论，推导临界温度计算公式。通过试验验证，轴心受压构件临界温度与长细比之间存在幂函数关系，相关系数 R^2 达 0.95^[2]。考虑钢材屈服强度影响，Q345 钢临界温度较 Q235 钢提高约 35℃。临界温度确定方法为防火保护设计奠定了基础，实现了防火设计的精细化与合理性。

（三）防火保护层厚度优化设计

运用传热学原理，结合防火材料导热系数随温度变化特性，构建保护层传热数学模型。采用遗传算法优化防火保护层厚度分

布，建立以造价最小为目标，满足耐火极限要求的多目标优化函数。计算结果表明，应力水平较高部位适当增加保护层厚度，可使整体用量降低12%。防火保护层厚度优化设计方法破解了传统均匀涂装造成的材料浪费问题，切实提高了防火设计的经济性^[3]。

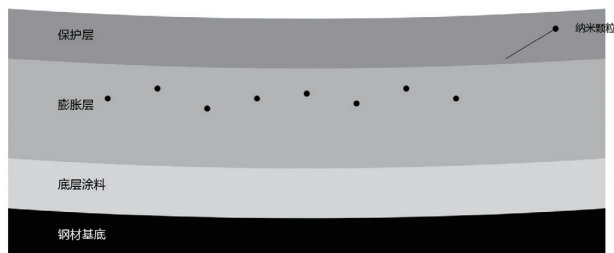
（四）基于性能化的防火设计新方法

性能化防火设计采用概率风险评估方法，综合考虑火灾荷载特征、结构响应和疏散时间需求。建立火灾情景库，运用蒙特卡罗模拟技术进行风险量化分析。研究表明，采用性能化设计方法，可使防火保护投入较规范设计降低15%，同时满足安全可靠度要求^[4]。引入结构冗余度概念，建立防火设计可靠度评价体系。通过风险评估确定关键构件防火保护等级，实现防火设计的差异化与科学化。

二、创新防火材料研发与性能评价

（一）纳米改性防火涂料配方设计

纳米改性防火涂料的配方设计采用正交试验方法，系统研究了纳米氧化铝、纳米二氧化硅与膨胀型阻燃剂的协同作用机制。通过引入表面改性的纳米氧化铝（粒径50–100nm），显著提升了涂层的机械强度与附着力。实验结果表明，纳米氧化铝的质量分数在3%时，涂层抗冲击强度提高45%，附着力达到1级标准。选用硅烷偶联剂KH-550对纳米粒子进行表面改性，有效解决了团聚问题^[5]。优化后的配方中，磷酸铵类膨胀阻燃剂、聚磷酸铵与三聚氰胺的质量比为2:2:1，纳米氧化物总含量控制在5%以内。如图1所示，纳米粒子在涂层中呈均匀分布状态，形成了微观复合结构。



> 图1 纳米改性防火涂料微观结构示意图

（二）防火涂料高温膨胀机理研究

针对防火涂料在高温下的膨胀行为，运用热重分析（TGA）、差示扫描量热（DSC）等测试手段，揭示了涂层膨胀过程的热化学反应机理。热分析结果显示，改性后的涂料在400℃时重量损失率降低15%，成炭率提高至42%^[6]。扫描电镜观察发现，膨胀后的炭层呈蜂窝状多孔结构，孔径分布均匀，气孔率达到85%，具有优异的隔热性能^[7]。纳米粒子的存在促进了陶瓷化反应，提高了炭层强度与结构稳定性。

（三）新型防火材料制备工艺优化

防火涂料的制备工艺采用高速剪切分散与超声复合分散相结合的方法。首先将纳米粒子与偶联剂在有机溶剂中超声分散30min，制备纳米分散液。随后采用高速分散机将树脂、膨胀剂等组分依次加入，控制转速为3000r/min，分散温度40℃。通过

响应面法优化工艺参数，确定最佳分散时间为45min。为提高涂料的施工性能，引入触变剂调节流变性能，控制施工粘度在90–110KU范围内。涂料配制完成后，采用3μm滤网过滤，静置24h后进行灌装。工艺优化显著提升了涂料的稳定性，沉降值小于2%/28d，贮存期达到12个月以上。研究证实，分散工艺对纳米粒子的分散效果和涂料性能具有决定性影响^[8]。

（四）材料耐火性能测试与评价

依据GB/T 14907标准，采用电阻炉法对防火涂料进行耐火性能测试。试验采用300×300×10mm规格的H型钢试件，涂层厚度为2.0mm。在标准火灾升温曲线下，测试钢材背面温度随时间的变化规律。结果表明，改性防火涂料在60min时，钢材背面温度仅为538℃，较未改性涂料降低了85℃。通过盐雾试验和浸水试验，证实涂层具有良好的防腐性能和耐水性^[9]。

三、防火设计与材料应用集成技术

（一）防火材料与钢结构构件适配性研究

防火材料与钢结构构件的适配性直接影响防火保护效果。研究通过剪切黏结强度试验和热循环试验，系统评价了不同类型防火材料与钢结构表面的相容性。针对H型钢、箱型钢等不同截面形式，建立了涂层应力分布有限元模型。分析结果显示，箱型钢构件棱角处应力集中系数达1.6，易产生涂层开裂。通过优化涂层配方，提高了涂层柔韧性，应力集中区域的抗裂性能提升40%。

（二）不同部位防火保护层设计方法

基于钢结构建筑各部位的火灾暴露风险和受力特征，建立了分区差异化防火保护设计方法。采用火灾动力学数值模拟技术，分析了建筑不同区域的火灾温度场分布规律。研究表明，顶层钢梁较标准层温度高15%，外围护结构火灾温度分布呈显著非均匀性^[10]。引入构件重要性系数概念，结合结构可靠度理论，建立了防火保护层厚度分区计算模型。计算结果显示，关键受力构件防火保护层厚度应较一般构件增加25%，而次要构件可适当降低保护层厚度。差异化设计方法在保证防火安全的前提下，实现了防火保护的经济性优化。

（三）构造节点防火处理技术

钢结构节点区域因其构造复杂性，常成为防火保护的薄弱环节。针对螺栓连接、焊接连接等不同节点形式，开发了系统的防火处理技术方案。通过高温受力试验研究发现，节点区域涂层开裂主要源于热应力集中和构件变形不协调。创新性地采用弹性防火密封胶嵌缝技术，有效解决了节点变形引起的涂层开裂问题。bolt箱型柱与H型钢梁连接节点采用防火封堵与涂层复合防护技术，实现了节点区域180min的防火极限要求。

（四）施工工艺标准与质量控制

防火保护工程的施工质量直接决定防火设计效果的实现。基于大量工程实践，制定了完整的施工工艺标准体系。涂料施工采用无气喷涂技术，通过优化喷涂参数（压力15MPa，喷距350mm，喷嘴角度75°），显著提高了涂层的平整度和致密度。现场施工采用分段分层喷涂方式，单层厚度控制在0.5mm以内，

层间间隔时间4h。建立了涂层厚度、附着力、表观质量等关键指标的检测评定方法。引入三维激光扫描技术进行涂层厚度检测，测量精度达 $\pm 0.1\text{mm}$ 。开发了基于图像识别的涂层外观质量检测系统，实现了施工质量的数字化管理。

四、工程应用效果评估

（一）防火设计方案实施效果

防火设计方案在上海某450米超高层钢结构建筑中进行实践应用。该工程采用巨型框架-核心筒结构体系，外框柱最大截面尺寸达 $2500\text{mm}\times 3000\text{mm}$ ，钢材用量84000吨。通过建立精细化有限元模型，模拟分析局部火灾工况下结构响应特性。实测数据显示，巨型柱采用120min防火保护后，火灾工况下最高温度控制在 520°C 以内。防火保护层厚度优化设计使材料用量较常规设计减少18%，特别是在外框柱区域，通过精确计算，将防火涂料厚度由 3.2mm 优化至 2.6mm 。结构关键节点区域采用防火涂料与防火板材复合防护技术，现场检测表明节点处防护层完整性良好。

（二）创新材料现场应用性能

新型纳米改性防火涂料在北京某大型会展中心钢结构工程中得到应用，建筑面积28万平方米，单跨最大跨度126米。现场应用过程中，涂料表现出优异的施工性能， 25°C 环境下稠度保持时间达4小时。采用红外热像仪对防火保护层检测，涂层厚度均匀性偏差控制在 $\pm 5\%$ 范围内。实际火灾工况模拟试验证实，涂层在

1000°C 高温下膨胀倍率达40倍，形成均匀致密的炭层结构。

（三）防火保护系统耐久性评价

针对防火保护系统的长期使用性能，开展系统的耐久性评价研究。选取运行5年以上的多个工程案例，通过现场取样与实验室测试相结合的方法，评估防火保护层性能衰减规律。通过加速老化试验建立性能衰减预测模型，计算结果显示，在正常使用条件下，防火保护系统可保持15年以上的使用寿命。

（四）工程造价与经济性分析

通过对10个典型工程案例的统计分析，评估创新防火设计与材料应用的经济效益。数据显示，采用优化设计方案后，防火工程造价较传统方案平均降低22.5元/平方米。其中，防火材料费用下降15%，施工成本降低12%，后期维护成本降低25%。计算结果表明，创新防火技术在15年使用周期内可节约成本约180万元/万平方米。

五、结语

通过系统研究现代钢结构建筑防火设计方法，开发新型防火材料，建立了完整的设计理论体系和材料评价标准。研究成果在实际工程中的应用表明，创新的防火设计方案与新型防火材料的结合应用，能够显著提升钢结构建筑的耐火性能，对推动钢结构建筑防火技术进步具有重要的工程价值。

参考文献

- [1] 陆宏江. 性能设计方法在钢结构建筑防火设计中的应用分析[J]. 消防界(电子版), 2023, 9(17): 88-90.
- [2] 黄兆赫, 黄鑫, 阙强等. 基于烟气羽流分析模拟的大型会展中心建筑钢结构防火设计研究[J]. 南开大学学报(自然科学版), 2023, 56(5): 90-93, 112.
- [3] 陶晓明, 周群. 钢结构建筑防火设计浅析[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2011(23).
- [4] 庞豹, 盘红玉. 建筑钢结构防火设计及保护方法研究[J]. 城市建筑, 2023, 20(4): 158-161.
- [5] 方奎, 徐伟良. 建筑钢结构中钢构件的防火性能与抗火设计研究[J]. 火灾科学, 2011, 20(3): 146-151.
- [6] 曹紫菲. 建筑钢结构防火设计方法综述[J]. 建筑工程技术与设计, 2020(14): 782.
- [7] 夏洪浪. BSBS 钢结构的防火设计及构件耐火性能研究[J]. 建筑技术开发, 2023, 50(10): 29-31.
- [8] 陈京. 煤化工钢结构防腐蚀与防火设计应用[C]//2015年全国海洋工程腐蚀与防护技术研讨会论文集. 2015: 209-222.
- [9] 胡伦基. 《建筑钢结构防腐蚀技术规程》设计使用介绍[J]. 建筑结构, 2012, 42(3): 144-151.
- [10] 孙硕科, 付素娟, 董苏然, 等. 装配式钢结构建筑防火方案及选用建议[J]. 新型建筑材料, 2022, 49(7): 88-91.

现代园艺管理技术在城市园林绿化中的应用

王琪琪¹, 张俊苗¹, 宋堃², 徐思雨¹

1. 吐鲁番职业技术学院, 新疆 吐鲁番 838000

2. 高昌区林业和草原局, 新疆 吐鲁番 838000

摘 要 : 随着城市化的快速发展, 城市园林绿化在改善生态环境、提升城市形象、促进生物多样性保护等方面扮演着越来越重要的角色。现代园艺管理技术的应用, 不仅提高了城市园林绿化的效率和质量, 也为城市可持续发展提供了新的思路。本文将探讨这些技术的重要性、应用现状以及面临的挑战, 并提出相应的对策, 希望为城市园林绿化的现代化管理提供参考和指导。

关 键 词 : 现代园艺管理技术; 城市园林; 绿化; 应用

Application of modern horticultural management technology in urban landscaping

Wang Qiqi¹, Zhang Junmiao¹, Song Kun², Xu Siyu¹

1. Tulufan Vocational Technical College, Turpan, Xinjiang 838000

2. Forestry and Grassland Bureau of Gaochang District, Turpan, Xinjiang 838000

Abstract : With the rapid development of urbanization, urban landscaping plays an increasingly important role in improving ecological environment, enhancing city image and promoting biodiversity protection. The application of modern horticultural management technology not only improves the efficiency and quality of urban landscaping, but also provides a new idea for urban sustainable development. This paper will discuss the importance, application status and challenges of these technologies, and put forward corresponding countermeasures, hoping to provide reference and guidance for the modern management of urban landscaping.

Keywords : modern horticultural management technology; urban garden; greening; apply

引言

城市, 作为人类文明的集中体现, 承载着人们的生活、工作与梦想。然而, 随着城市化进程的加速, 一系列环境问题也接踵而至, 如热岛效应、空气污染、生物栖息地减少等^[1]。

一、城市园林绿化的重要性

(一) 生态平衡与环境保护

绿色植物通过光合作用, 吸收二氧化碳并释放氧气, 有效调节城市空气中的碳氧平衡。在城市中, 工业生产、交通运输等人类活动排放大量二氧化碳, 若没有足够的绿化植被, 空气质量将急剧恶化^[2]。城市园林中的树木、草地等就像一个个天然的空气净化器, 持续不断地为城市居民提供清新的空气。植物的叶片和枝干能够吸附空气中的灰尘、烟雾和有害气体, 如二氧化硫、氮氧化物等。它们通过物理吸附和化学吸收的方式, 减少这些污染物在空气中的浓度, 降低雾霾天气的发生频率, 改善城市的大气环境^[3]。同时, 城市绿地还具有降低噪音的功能。当声波遇到植被时, 部分声波被吸收、反射或散射, 从而有效地减弱噪音对城市居民生活和工作的干扰。

(二) 生物多样性保护

在城市中, 尽管自然环境受到了较大程度的破坏, 但园林绿

地可以成为许多动植物的避难所。城市公园、植物园、自然保护区等绿地类型中, 有着丰富的植物群落, 这些植物为昆虫、鸟类、小型哺乳动物等提供了栖息和觅食的环境^[4]。不同种类的植物吸引着不同的昆虫, 而昆虫又是鸟类等其他动物的食物来源。例如, 花朵盛开的植物能够吸引蜜蜂、蝴蝶等传粉昆虫, 这些昆虫在采集花蜜的同时, 也帮助植物完成授粉过程, 促进了植物的繁殖。而以昆虫为食的鸟类则在园林中找到了充足的食物, 它们在树枝上筑巢、繁衍后代。一些小型哺乳动物, 如松鼠等, 也依赖城市园林中的树木和植被获取食物和栖息地^[5]。

(三) 社会 and 经济效益

从社会角度来看, 城市园林是居民休闲娱乐的重要场所。公园、广场等绿地为人们提供了散步、健身、游玩、社交等活动的空间。在紧张忙碌的城市生活中, 人们可以在园林中放松身心, 缓解压力^[6]。城市园林中的景观设计、文化设施等也丰富了居民的精神文化生活。例如, 一些历史悠久的园林中蕴含着丰富的文化内涵, 通过园林景观、建筑、碑刻等形式传承和展示, 成为城市

文化的重要载体。从经济效益方面来看，城市园林绿化能够提升周边土地和房产的价值。环境优美、绿化良好的区域往往更受人们青睐，房价和地价相对较高。同时，城市园林绿化也有利于促进旅游业的发展。一些著名的城市园林景点吸引了大量的游客，带动了当地的餐饮、住宿、交通等相关产业的发展^[7]。

二、现代园艺管理技术在城市园林绿化中的应用

（一）应用智能灌溉系统提高水资源利用效率

传统的灌溉方式往往存在着水资源浪费、灌溉不均匀等问题。而智能灌溉系统利用传感器技术、自动控制技术等，可以根据土壤湿度、植物需水情况等因素精确地控制灌溉水量和灌溉时间^[8]。在城市园林中，不同种类的植物对水分的需求各不相同。智能灌溉系统中的土壤湿度传感器可以实时监测土壤中的水分含量，当土壤湿度低于植物生长所需的适宜湿度时，控制系统会自动启动灌溉设备。同时，系统可以根据不同植物的需水特性，设置不同的灌溉参数。例如，对于耐旱植物，灌溉的频率和水量可以相对较低；而对于喜湿植物，则可以适当增加灌溉量。智能灌溉系统还可以结合气象数据进行灌溉决策，通过与气象站的数据连接，系统可以获取温度、湿度、降雨量等信息。在下雨天或空气湿度较高的情况下，系统可以自动减少或暂停灌溉，避免过度灌溉造成的水资源浪费。

（二）利用植物生长调控技术优化植物生长环境

植物激素的应用例如生长素可以促进植物细胞的伸长和分裂，在园林植物的扦插繁殖过程中，可以使用生长素类似物来促进插条生根，提高扦插的成活率。对于一些生长缓慢的植物，适量使用细胞分裂素可以刺激细胞分裂，加快植物的生长速度，使园林植物更快地达到预期的景观效果^[9]。温度调控也是植物生长调控技术的重要内容，在城市园林的温室栽培或育苗过程中，可以通过温控设备精确控制温度，为植物提供最适宜的生长温度。对于一些对温度要求较高的花卉或热带植物，在寒冷的季节可以通过加热设备保持温室内部的温度，防止植物受到冻害。相反，在炎热的夏季，可以通过遮阳、通风、降温等措施降低温度，避免植物因高温而生长不良。光照调控同样对植物生长有着重要影响，在城市园林中，对于一些喜阴植物，可以通过遮阳网等设施降低光照强度，为它们创造适宜的生长环境。而对于需要充足光照的植物，如向日葵等，可以通过调整种植位置或使用反光板等手段增加光照面积和强度。

（三）应用生态育苗技术提高绿化苗木的质量

在生态育苗过程中，基质的选择至关重要。采用环保、可再生的基质材料，如椰糠、泥炭土、珍珠岩等按一定比例混合，可以为苗木根系提供良好的生长环境^[10]。这些基质具有良好的透气性、保水性和肥力，有利于根系的发育。与传统的土壤育苗相比，它们可以更好地控制病虫害的传播，减少土壤中病原菌和害虫对苗木的侵害。生物防治技术在生态育苗中得到广泛应用，通过引入有益生物来控制病虫害，减少化学农药的使用。例如，在育苗区域释放捕食性昆虫，如瓢虫来捕食蚜虫，可以有效地控制

蚜虫的数量，防止其对苗木叶片的损害。同时，利用寄生性昆虫，如赤眼蜂可以寄生在害虫的卵内，破坏害虫的繁殖，从而达到防治病虫害的目的。此外，一些有益微生物，如芽孢杆菌等可以抑制病原菌的生长，增强苗木的抗病能力。在生态育苗中，还注重苗木的自然驯化。尽量模拟自然环境条件，让苗木在相对自然的光照、温度、湿度等环境中生长。这样培育出来的苗木在移栽到城市园林后，能够更好地适应环境，提高成活率和生长质量。

（四）采用绿地维护与管理技术保持城市园林景观的美观

定期修剪草坪可以保持草坪的平整度和整齐度，同时促进草坪草的分蘖和生长。根据草坪的种类和生长季节，合理确定修剪高度和频率。例如，对于足球场等运动场地的草坪，修剪高度一般较低，以保证草坪的平整度和弹性，满足体育运动的需求；而对于观赏草坪，可以根据景观设计要求，保持适当的高度，形成优美的视觉效果^[11]。植被整形也是绿地维护的重要环节，对于园林中的灌木、乔木等植物，通过整形修剪可以塑造出各种美观的造型，如球形、圆锥形、绿篱等。整形修剪不仅可以提高植物的观赏性，还可以调整植物的生长方向和空间分布，促进植物的健康生长。例如，对于绿篱植物，定期修剪可以保持其整齐的边缘和形状，防止其过度生长而影响景观效果。除了修剪，杂草控制也是绿地维护的关键。杂草会与园林植物争夺水分、养分和光照，影响园林植物的生长和景观效果。采用物理除草、化学除草和生物除草相结合的方法，可以有效地控制杂草。

（五）采用园艺养护技术维护城市园林植物健康

病虫害防治是其中的核心内容，定期对园林植物进行病虫害监测，及时发现病虫害的早期迹象。可以通过观察植物的叶片、枝干、花朵等部位是否有变色、变形、斑点、孔洞等异常现象来判断病虫害的发生情况。对于病虫害的防治，要坚持预防为主、综合治理的原则。在园林植物的种植设计阶段，合理搭配植物种类，避免单一植物大面积种植，以减少病虫害的传播和爆发。例如，避免将易感染同一种病虫害的植物种植在一起，增加植物群落的多样性，提高其对病虫害的抵抗力。当病虫害发生时，要根据病虫害的种类和严重程度选择合适的防治方法。化学防治是一种常用的手段，但要注意选择低毒、高效、环保的农药，并严格按照规定的剂量和安全间隔期使用，以减少农药对环境和人体的危害。同时，生物防治和物理防治也具有重要作用。物理防治可以采用诱虫灯、防虫网等设备，诱捕或阻隔害虫。

三、现代园艺管理技术在城市园林绿化中的挑战与对策

（一）技术普及与推广的难题

部分园林管理部门和从业者对新技术的认识不足，由于长期以来习惯了传统的园艺管理方法，他们对智能灌溉、植物生长调控等新技术缺乏了解，没有意识到这些新技术能够带来的巨大效益。这种观念上的局限导致他们对新技术的接受意愿较低。新技术的成本问题也是影响其普及的重要因素，智能灌溉系统、温室

环境调控设备等现代园艺管理技术设备往往需要较高的前期投资。对于一些资金有限的城市园林项目或小型园林企业来说,购买这些设备可能会带来较大的经济压力。针对这些问题,需要加强对现代园艺管理技术的宣传和教育。通过举办技术讲座、培训班、现场演示等活动,向园林管理部门和从业者介绍新技术的优势和应用案例,提高他们对新技术的认识和接受程度。同时,政府和相关部门可以通过财政补贴、税收优惠等政策,降低园林企业采用新技术的成本。

(二) 人才培养与人力资源问题

在人才培养方面,高校和职业院校的园艺相关专业课程设置可能存在滞后性。部分院校的教学内容仍然侧重于传统园艺知识和技能,对现代园艺管理技术,如智能控制技术、生态育苗技术等涉及较少,导致培养出来的学生无法满足市场对现代园艺管理技术人才的需求。而且,实践教学环节在园艺专业教育中往往不够重视。园艺管理是一门实践性很强的学科,学生需要在实践中掌握植物栽培、设备操作、病虫害防治等技能。然而,一些院校由于实践基地建设不完善、实践教学资源有限等原因,学生的实践机会较少,无法将理论知识与实践很好地结合起来。为了解决这些问题,高校和职业院校应及时更新园艺专业的课程设置,增加现代园艺管理技术相关课程的比重,并加强实践教学环节。建立与园林企业合作的实践教学基地,让学生有更多的机会参与实际项目,提高他们的实践能力。同时,园林企业应改善工作环境,提高工资待遇,建立合理的人才激励机制,吸引和留住专业人才。

(三) 政策支持与资金投入问题

政策支持和资金投入是现代园艺管理技术在城市园林绿化中

广泛应用的重要保障,但目前在这方面存在一些不足。从政策角度来看,虽然政府对城市园林绿化有一定的重视,但对于现代园艺管理技术的针对性政策还不够完善。例如,在新技术的推广应用方面,缺乏明确的指导意见和扶持政策,使得园林企业在采用新技术时存在一定的盲目性。在资金投入方面,城市园林绿化项目的资金来源相对单一,主要依赖政府财政拨款。然而,政府财政资金有限,无法满足城市园林绿化对现代园艺管理技术应用的全部需求。对于一些大型的智能灌溉系统、温室设施等建设,需要大量的资金投入,仅靠政府财政难以支撑。针对这些问题,政府应制定更加完善的政策,对现代园艺管理技术的应用给予明确的指导和扶持。例如,制定技术标准和规范,引导园林企业正确采用新技术;对采用新技术的园林项目给予一定的奖励或补贴,提高企业的积极性。同时,要拓宽城市园林绿化的资金来源渠道。可以通过发行专项债券、采用 PPP 模式(公私合营模式)等方式,吸引社会资本参与城市园林绿化项目,为现代园艺管理技术的应用提供充足的资金保障。对于 PPP 模式,政府可以与有实力的企业合作,明确双方在项目中的权利和义务,例如在项目建设、运营和维护等阶段的责任划分。

四、结语

现代园艺管理技术为城市园林绿化带来了革命性的变化,不仅提升了城市生态质量,也促进了可持续发展。面对挑战,需要不断探索和实践,加强技术普及、人才培养和政策支持,以实现城市园林绿化的绿色、高效和可持续发展。

参考文献

- [1] 于春雷,金迪. 现代园艺中无土花卉的栽培技术[J]. 现代园艺, 2023,46(17):81-83.
- [2] 齐西婷,胡晓辉. 现代园艺创新型人才培养模式探索与实践[J]. 大学, 2023,(19):86-89.
- [3] 马立,李雄军,张玉信,等. 基于校企命运共同体“五共三融合”园艺技术专业人才培养模式探索与实践[J]. 创新创业理论与实践, 2023,6(08):130-133.
- [4] 王亮. 现代园艺技术与园林景观设计融合分析[J]. 佛山陶瓷, 2023,33(01):164-166.
- [5] “现代园艺教育范式创新”课题组. 耕读修业:现代园艺教育范式迭代创新[J]. 湖南农业大学学报(社会科学版),2022,23(05):94-100.
- [6] 郝亚微. 现代园艺技术与园林景观设计融合探讨[J]. 现代园艺, 2022,45(18):97-99.
- [7] 汪朝森. 乡村振兴背景下的园林景观设计与现代园艺技术的结合[J]. 现代园艺, 2022,45(12):80-81+84.
- [8] 杜宙飞,李宇宏. 园艺技术与园林景观设计的结合探讨[J]. 居舍, 2022,(15):92-94.
- [9] 王万成. 现代园艺技术与园林景观设计的整合探析[J]. 新农业, 2022,(08):86-88.
- [10] 唐健元. 花卉栽培在现代园艺中的运用[J]. 农业技术与装备, 2022,(03):110-112.
- [11] 付淇,李吉. 现代园艺技术与园林景观设计探析[J]. 美与时代(城市版),2022,(02):77-79.

可持续发展理念在现代建筑设计中的应用与挑战

熊鑫

随州市投资审计中心，湖北 随州 441300

摘 要： 随着全球环境问题的日益严峻，可持续发展理念已深入现代建筑设计领域。本论文旨在探讨可持续发展理念在现代建筑设计中的多方面应用，包括能源利用、材料选择、空间布局与环境融合等，并分析其面临的挑战，如技术成本、观念转变、政策法规协调等，通过研究提出应对挑战的策略与建议，以期为推动现代建筑设计的可持续发展提供理论依据与实践参考，促进建筑行业在环境保护与资源利用方面发挥更为积极的作用。

关 键 词： 可持续发展；现代建筑设计；能源效率；绿色材料；环境融合

The application and challenge of sustainable development concept in modern architectural design

Xiong Xin

Suizhou investment audit center, Suizhou, Hubei 441300

Abstract： As global environmental problems are becoming increasingly severe, the concept of sustainable development has deeply penetrated into the field of modern architectural design. This paper aims to explore the various applications of the concept of sustainable development in modern architectural design, including energy utilization, material selection, spatial layout and integration with the environment, etc. It also analyzes the challenges it faces, such as technological costs, the transformation of concepts, and the coordination of policies and regulations. Through research, strategies and suggestions for dealing with these challenges are put forward, hoping to provide theoretical basis and practical references for promoting the sustainable development of modern architectural design and facilitating the construction industry to play a more active role in environmental protection and resource utilization.

Keywords： sustainable development; modern architectural design; energy efficiency; green materials; environmental integration

引言

（一）研究目的与意义

本研究目的在于全面深入地剖析可持续发展理念在现代建筑设计中的应用形式、实践困境与突破路径。理论上，能完善建筑设计领域的可持续发展理论架构，丰富建筑环境科学等相关理论内涵。实践中，可助力建筑设计师精准把握可持续设计要点，创作出更优质的建筑作品；引导建筑企业认识到可持续建筑的经济与社会效益，积极投入实践；还能提升公众对可持续建筑的认知与接纳度，推动整个社会向可持续发展转型，营造更宜人、环保且资源高效利用的建筑环境与城市空间。

（二）国内外研究现状综述

国外在可持续建筑设计研究方面较为领先，已建立如美国 LEED、英国 BREEAM 等完善的建筑可持续性评估体系，从多维度量化评估建筑^[1]。在能源应用上深入探索可再生能源集成技术，材料研究聚焦绿色环保材料开发与应用，在建筑与环境融合方面注重生态设计实践与理论研究。国内研究起步稍晚但发展迅速，积极借鉴国外经验并结合国情创新。政策上出台多部鼓励绿色建筑发展文件，学术研究在节能技术智能化、地方特色绿色材料应用、高密度城市建筑生态化等方面有一定成果。然而，国内在关键技术自主研发、标准国际化接轨、公众意识深度普及等方面仍有不足，有待进一步探索与完善，这也凸显了本研究的必要性价值。

一、可持续发展理念概述

（一）可持续发展的内涵

可持续发展的内涵丰富且深刻，强调在发展进程中实现经

济、社会与环境的和谐共生。经济上，追求高效、创新与资源的循环利用，并非单纯的数量增长，而是注重质量与长远效益，如采用新型节能技术降低建筑运营成本并催生新的经济增长点。社会层面，以保障人类福祉为核心，确保建筑空间能满足人们不同

的生活、工作及社交需求，促进社区的凝聚力与包容性，提升居住者的生活品质与健康水平。环境方面，秉持尊重自然、保护生态的原则，减少建筑活动对自然资源的过度索取和对生态系统的破坏，维护生物多样性与生态平衡，例如合理规划建筑用地以保护周边自然栖息地。

（二）可持续发展理念在建筑领域的起源与发展历程

20 世纪 60 年代起，随着全球环境意识的觉醒，建筑领域开始反思传统模式。70 年代能源危机爆发，促使建筑节能成为焦点，初步的节能设计理念开始形成。80 年代，绿色建筑概念兴起，一些先锋建筑师尝试将可再生能源利用、自然材料使用等融入设计。90 年代，国际上陆续推出如英国 BREEAM 等绿色建筑评估体系，为可持续建筑提供量化标准与规范引导。进入 21 世纪，可持续发展理念全面融入建筑全生命周期，从规划设计到拆除回收，各国大力推广绿色建筑实践，相关技术与材料不断创新，且城市层面的可持续规划也日益受到重视，推动建筑与城市、环境协同发展。

二、可持续发展理念在现代建筑设计中的应用

（一）能源利用方面的应用

在能源利用上，现代建筑积极采用可再生能源。太阳能方面，于屋顶或建筑外立面安装光伏板，将太阳能转化为电能，为建筑照明、电器设备运行等提供电力支持，部分建筑还配备太阳能热水器满足热水需求。风能利用则通过在建筑高处或空旷区域设置小型风力发电机，在风力条件适宜地区有效补充建筑能源消耗。同时，建筑注重提升能源效率，采用高效保温隔热材料构建墙体与门窗，减少热量传递，降低冬季取暖与夏季制冷的能耗。智能能源管理系统也被广泛应用，实时监测能源使用状况，自动调节设备运行，如根据室内人员数量与光线强度调控照明亮度与空调温度，实现能源的精准分配与高效利用^[2]。

（二）材料选择方面的应用

材料选择上优先考量绿色环保材料。可回收材料如钢材、玻璃等在建筑结构与装饰部分广泛应用，其回收再利用特性可减少资源浪费与废弃物排放。低能耗材料如新型水泥、环保木材等因生产过程中能耗低、污染小而备受青睐^[3]。此外，大力推广本地材料，因其运输距离短，可降低运输过程中的碳排放，且能更好地与当地气候、文化相融合，如利用本地石材打造具有地域特色的建筑外观，既体现文化传承又契合可持续发展要求。

（三）空间布局与环境融合方面的应用

空间布局与环境融合旨在打造舒适且生态友好的建筑空间。自然采光通过合理设计窗户位置、大小与朝向，以及采用采光井、中庭等形式，让阳光充分照入室内，减少人工照明使用。通风设计借助通风廊道、可开启窗户与自然通风装置，促进室内外空气流通，改善空气质量^[4]。绿色空间营造上，屋顶花园与垂直绿化不仅美化建筑外观，还能隔热降温、滞留雨水、净化空气与吸收噪音。建筑与周边生态系统协调方面，充分考虑周边地形、水系与动植物栖息地，设计时尽量减少对自然生态的破坏，甚至通过构建生态湿地、绿色缓冲带等为生物提供生存空间，促进生物多样性发展。

三、可持续发展理念在现代建筑设计中面临的挑战

（一）技术与成本挑战

在技术层面，许多新型可持续技术仍处于研发或初期应用阶段，尚未完全成熟。例如，高效的能源存储技术难以满足建筑大规模储能需求，导致可再生能源的间歇性供应问题无法有效解决；一些新型环保材料的性能稳定性和耐久性仍有待提高，其生产工艺复杂且成本高昂，限制了在建筑中的广泛应用。从成本角度来看，可持续建筑往往在初期建设投资上显著高于传统建筑。先进的节能设备、环保材料以及复杂的生态系统构建都需要大量资金投入，此外，后期维护成本也因技术复杂性而增加，一旦设备出现故障或需要更新，高额的维修与更换费用成为一大负担。

（二）观念与认知挑战

建筑设计师方面，部分设计师对可持续发展理念的理解不够深入全面，在设计过程中仅简单添加一些绿色元素，未能将其系统性地融入整体设计理念与流程，导致建筑的可持续性大打折扣。公众对可持续建筑的认知和接受程度也较低，许多人认为可持续建筑会牺牲建筑的美观性、舒适性和实用性，对其功能与价值存在误解^[5]。

（三）政策法规与标准挑战

政策法规方面，虽然国家和地方出台了一些鼓励可持续发展的政策，但在实际执行过程中，激励力度不足且缺乏有效的监管机制。比如，对绿色建筑的补贴政策可能因申请流程繁琐、补贴金额有限等原因，无法充分调动开发商的积极性；而对于未达标的建筑项目，处罚力度不够，难以形成有力的约束。在标准体系上，现有的建筑行业标准与可持续发展要求的适配性存在问题。部分标准对建筑可持续性的评估指标不够完善，缺乏对全生命周期的综合考量，导致一些建筑虽符合现有标准，但实际的可持续性表现不佳。同时，不同地区的标准差异较大，缺乏统一协调，给跨地区的建筑项目带来困扰，也不利于行业的整体规范与发展。

四、应对可持续发展理念在现代建筑设计中挑战的策略

（一）技术创新与成本控制策略

加大对可持续建筑技术研发的投入，建立政府、企业、科研机构多方合作的创新机制。例如，政府可设立专项科研基金，鼓励企业与科研院校联合开展项目攻关，重点突破能源高效转换与存储技术、绿色材料性能优化技术等难题^[6]。同时，积极推动技术成果的转化与应用，构建技术共享平台，加速新技术在建筑行业的普及。在成本控制方面，采用全生命周期成本分析方法，综合考量建筑从规划设计到运营维护乃至拆除的全过程成本。在设计初期，通过精准的能耗模拟与效益评估，优化建筑方案，避免过度设计导致的成本增加。

（二）观念转变与教育推广策略

在建筑设计专业教育中强化可持续发展理念的培养，将其贯穿于课程体系的各个环节。从基础理论课程到专业设计实践课程，均设置相关教学内容与课题训练，培养学生的可持续设计思维与能力。同时定期组织专业设计师参加可持续建筑设计的培训

与学术交流活动中，邀请国内外专家分享前沿案例与实践经验，促进设计师观念的更新与提升。针对公众，开展多渠道、全方位的教育宣传活动。利用电视、网络等媒体平台，制作科普节目与短视频，介绍可持续建筑的优势与特点；举办可持续建筑展览与公众开放日活动，让公众亲身感受绿色建筑的魅力；在社区开展宣传讲座与互动活动，解答公众对可持续建筑的疑虑，提高公众的认知度与接受度，形成全社会支持可持续建筑发展的良好氛围^[7]。

（三）政策法规完善与标准制定策略

政府应进一步完善可持续建筑的政策法规体系，加大激励政策的力度与覆盖面。例如，提高对绿色建筑项目的财政补贴比例，简化补贴申请流程；给予可持续建筑开发商税收优惠、土地优先供应等政策支持，提高其投资积极性。同时，加强监管执法力度，建立严格的建筑项目环境影响评估与审批制度，对未达标的建筑项目依法进行处罚，确保政策法规的有效执行^[8]。在标准制定方面，修订现有的建筑行业标准，构建一套全面、科学、可操作的可持续建筑标准体系。增加对建筑全生命周期环境影响、能源效率、资源循环利用等方面的评估指标，明确不同类型建筑的可持续性要求。加强与国际标准组织的交流与合作，积极借鉴国际先进标准，推动我国可持续建筑标准的国际化进程，促进建筑行业的规范化与国际化发展。

五、结论

（一）研究总结

本研究深入探讨了可持续发展理念在现代建筑设计中的应用

与挑战。在应用方面，能源利用上积极采用太阳能、风能等可再生能源并结合智能能源管理系统提升能效；材料选择注重绿色环保材料与本地材料以减少资源消耗与环境影响；空间布局与环境融合通过优化采光通风、营造绿色空间以及协调建筑与周边生态达成^[9]。然而，这一过程面临诸多挑战，技术与成本方面，新技术不成熟、建设与维护成本高阻碍了可持续建筑的大规模推广；观念与认知层面，设计师理解偏差以及公众误解限制了其发展；政策法规与标准领域，激励不足、监管不力以及标准适配性问题有待解决。针对这些挑战提出了相应策略，包括技术创新与成本控制的多方合作与全生命周期成本分析，观念转变与教育推广的专业教育强化与公众宣传活动开展，政策法规完善与标准制定的激励政策优化与标准体系国际化构建等。

（二）研究展望

未来，随着科技的持续进步，如新型能源技术的突破、高性能环保材料的研发，将为可持续建筑设计带来更多机遇。在数字化与智能化浪潮下，建筑设计有望借助大数据分析、人工智能等技术实现更精准的能源管理与环境模拟优化，进一步提升建筑的可持续性。社会对环保和可持续发展的关注度不断提高，将促使更多的利益相关者积极参与到可持续建筑的推广与实践中，包括政府加大政策支持力度、企业增强社会责任感、公众提高绿色消费意识等^[10]。国际间的交流合作也将日益频繁，不同国家和地区在可持续建筑设计方面的经验分享与技术转移，有助于形成全球统一的可持续建筑发展标准与规范，推动建筑行业在全球范围内实现深度的可持续转型，为人类创造更加环保、舒适、健康的建筑环境与城市空间奠定坚实基础。

参考文献

- [1] 饶理. 现代建筑设计中节能环保理念的整合与运用 [J]. 工程建设与设计, 2024, (04): 29-31.
- [2] 韩慧香, 宋海运. 斗拱元素在现代建筑设计中的应用与融入 [J]. 大观, 2020, (05): 62-63.
- [3] 高丽. 中国传统建筑装饰语言在现代设计中的应用 [J]. 门窗, 2014, (01): 396.
- [4] 董志国, 徐菁. 绿色建筑理念在现代建筑工程中的实践应用 [J]. 湖州职业技术学院学报, 2023, 21(02): 81-84.
- [5] 吴良镛. 广义建筑学 [M]. 清华大学出版社, 1989.
- [6] 周若祁. 绿色建筑体系与黄土高原基本聚居模式 [M]. 中国建筑工业出版社, 2007.
- [7] 王有为. 当前国内绿色建筑发展若干问题探讨 [J]. 施工技术, 2009, 38(2): 1-4.
- [8] 托马斯·赫尔佐格. 太阳能建筑 [M]. 中国建筑工业出版社, 2009.
- [9] 姜鹏, 王秀秀. 木文化在现代建筑空间设计中的语意表达 [J]. 建筑与文化, 2021, (07): 215-216.
- [10] 梁伟, 陈利伟. 当代生态理念下现代城市园林景观设计的的重要性 [J]. 匠心, 2023, (02): 136-138.

精益生产在润滑脂生产管理中的应用实践

闫国印

河北泰航润滑科技有限公司，河北 邯郸 057350

摘 要：精益生产是一种旨在通过消除浪费、提高效率 and 产品质量、优化资源配置来实现企业竞争力提升的生产管理理念。本文探讨了精益生产在润滑脂生产管理中的具体应用，重点分析了价值流分析、拉动生产、持续改进、库存管理优化、设备维护以及员工培训等关键策略对提升生产效率、降低成本及提高产品质量的作用。通过与传统生产方式的对比，本文还探讨了精益生产在润滑脂生产中的具体实践与成效，提出了风险评估与应对策略。

关 键 词：精益生产；润滑脂生产；价值流分析；拉动生产；持续改善

The application practice of lean production in grease production management

Yan Guoyin

Hebei Taihang Lubricants Technology Co., LTD. Handan, Hebei 057350

Abstract：Lean production is a kind of production management concept that aims to improve the competitiveness of enterprises by eliminating waste, improving efficiency and product quality, and optimizing resource allocation. This paper discusses the specific application of lean production in grease production management, focusing on the role of value flow analysis, production driving, continuous improvement, inventory management optimization, equipment maintenance, and staff training in improving production efficiency, cost reduction, and product quality. By comparing with the traditional production methods, this paper also discusses the specific practice and effectiveness of lean production in grease production, and puts forward the risk assessment and coping strategies.

Keywords：lean production; grease production; value flow analysis; pull production; continuous improvement

引言

在全球制造业竞争日益激烈的背景下，企业更加注重生产管理的高效与优质。精益生产这一先进生产管理理念的核心是通过消除浪费提高生产效率与产品质量，进而提升企业在市场中的竞争力。润滑脂是工业生产过程中必不可少的物质，优化润滑脂生产管理对提高整条生产链效率、降低成本有着至关重要的作用。

一、精益生产的基本概念和核心思想

（一）精益生产的定义

精益生产作为一种生产方式与管理理念，其宗旨在于实现顾客价值最大化、浪费最小化，其目的在于通过降低各种非增值活动、促进生产效率的提高来实现企业综合竞争力提升^[1]。精益生产的概念起源于日本的丰田汽车公司，它最初被命名为丰田生产方式（TPS）。其核心思想是优化资源分配、简化生产流程、增强生产的灵活性和反应速度，以确保生产过程既高效又低成本。精益生产注重持续改进、崇尚团队协作、主张生产过程的各个环节要准确和高效、各项工作要有清晰的价值导向。

（二）精益生产的核心原则

精益生产核心原则包括价值定义、价值流分析、流动、拉动生产和持续改进。精益生产强调明确客户价值，优化生产流程，

消除非增值活动，确保每个环节都为提升客户价值而服务。价值流分析就是对非增值环节进行鉴别和剔除，旨在通过流程优化来减少浪费^[2]。流动原则要求物料、信息和产品在生产过程中的畅通无阻，避免瓶颈的产生。拉动生产则要求根据实际需求进行资源配置，避免过度生产和库存积压。持续改进强调通过不断的小步改进，逐步提升生产效率和产品质量，从而达到精益生产这一长远目标。

（三）精益生产与传统生产方式的对比

精益生产和传统生产方式之间存在着明显区别。传统的生产模式往往强调提前安排生产计划，过多地依靠批量生产可能造成库存积压，资源浪费以及生产效率不高等问题。但精益生产通过综合分析生产流程，注重过程的各个环节，争取在每一步提升客户价值的前提下剔除一切没有价值提升的部分^[3]。比如传统的生产可能依赖于大量的库存以及过度的生产，精益生产则采取的是一

种拉动生产的模式，需要根据实际的需要进行生产以降低库存积压。传统生产也许会忽略员工参与并不断改进，精益生产注重员工参与，团队合作以及问题解决等持续性。

二、价值流分析在润滑脂生产管理中的应用

在润滑脂生产中，价值流分析（Value Stream Mapping, VSM）是精益生产的一项核心工具，能够帮助企业识别生产流程中的增值与非增值环节。生产全过程的可视化展示，可以使企业更清楚地了解从原材料采购，生产加工直至最后成品交付等各个环节。具体地说，润滑脂在生产管理所涉及的每一个环节，诸如原料配比、混合、筛选、精制、包装与贮存等等，都常常会出现时间浪费，资源消耗过多和信息流通不畅的问题。价值流分析通过对非增值活动的识别，有助于企业确定哪些过程中没有必要，可合并或者精简的环节，以达到成本削减与效率提升的目的^[4]。比如，从生产过程等待时间、运输环节时间以及库存量等方面进行分析，就能使企业清楚地认识到哪一个环节出现了瓶颈并进一步落实优化措施。对润滑脂生产来说，缩短无效等待时间，提高生产线平衡性及优化原料购买与存储均可有效提高生产效率。

三、拉动生产方式的实施

拉动生产方式（Pull Production System）的核心目标是降低库存量、缩减生产时间并优化生产效益。它的核心思想是只有当顾客的需求产生的时候才会产生生产，这样就可以避免过度生产、库存积压等问题。在润滑脂的生产过程中，拉动生产方式能够通过对接市场需求及库存状况进行实时监测来对生产计划进行灵活调整，使其能够适应市场实际要求。推行拉动生产方式，关键是要建立有效的生产调度系统与销售、采购等部门密切配合，保证订单能及时传递到生产线上^[5]。同时生产线须具有高度柔性及响应速度快、能迅速调节产量及生产内容来满足市场需求波动等特点。如润滑脂生产中原料供应链，生产线容量和包装工艺均需随着用户需求变化而动态调整。另外，拉动生产需要企业加强与供应商合作，保证原材料供应及时稳定。对润滑脂这种化工产品来说，其原材料采购与储备通常会涉及很长一段供应链，所以通过刺激生产系统对库存进行优化管理，本发明能够减少原材料浪费和提升整个供应链运作效率。

四、持续改善的策略与方法

持续改善（Kaizen）强调通过逐步的小步改进不断优化生产流程。就润滑脂生产管理而言，持续改善可从多方面着手，具体地说，润滑脂生产企业可采取定期举办质量改善会议等形式，约请一线职工提出在实际生产过程中所碰到的各种问题，通过头脑风暴、小组讨论等形式共同寻找解决方法。这样，职工的参与感、责任感就会提高，改进措施就会更切合实际需要。一个典型

的持续改善方法是 PDCA 循环（计划 - 执行 - 检查 - 行动），这一方法强调在每一个生产周期中都进行改进，经过不断的反馈与调整最终使生产过程达到整体优化^[6]。以润滑脂配料为例，如果发现部分原料配比太过复杂而易出现错误，企业可采取简化配比，优化操作流程或者引进自动化设备等措施以降低人为失误并促进生产效率的提高。同时润滑脂在生产过程中可能会涉及高温、高压的复杂工况，所以通过不断地进行技术与工艺创新才能使产品质量与性能得到不断提高。

五、库存管理的优化

就润滑脂生产管理而言，优化库存管理是提高效益、降低成本的关键。精益生产倡导的准时制生产（Just-in-Time, JIT）模式要求企业根据实际生产需求进行资源调配，尽量减少库存积压。润滑脂生产企业可通过准确的需求预测及供应链管理达到此目的。优化库存管理要求准确地分析生产、销售数据，掌握市场需求变化趋势。这就决定了润滑脂生产企业必须和用户保持紧密的联系，在制定生产计划时充分考虑季节性需求的变化^[7]。企业引进先进需求预测系统及自动化库存管理工具后，能够保证生产不会因为库存不到位而耽误交付，同时维持较低的库存水平。此外，润滑脂生产过程中涉及的多种原料（例如基础油、增稠剂以及添加剂等）往往来自不同的供应商，因此与供应商的合作关系至关重要。优化库存管理的同时也要注重库存周转率，并通过对库存进行合理控制与仓储管理来降低库存成本。润滑脂生产企业可运用现代化仓储管理系统对库存变化进行实时追踪并对原材料进行合理采购和仓储安排，以保证库存处于最优状态，不引起生产中断或库存过剩导致成本上升。

六、设备管理和维护的策略

润滑脂生产过程中设备稳定高效对保证生产线正常运行具有重要意义^[8]。润滑脂生产企业要想提高设备可靠性，延长设备使用寿命，就必须建立一套完整的设备管理系统，该系统由预防性维护、定期检查与保养等举措组成。企业通过预防性维护的实施，可以及时发现设备可能出现的故障风险、避免设备出现大的故障、缩短停机时间、保证生产线连续运转。另外，润滑脂生产设备结构复杂，技术要求高，决定设备维修困难。为提升设备维护效率，各企业可利用现代化设备监控系统对其运行状况进行实时监测，并通过数据分析对其故障进行提前预报。设备管理中还有一个重点就是对于操作人员进行培训以及技能的提高，操作人员只有熟练掌握正确操作规程才能够有效地避免设备故障。所以定期对设备进行管理与操作培训以提高员工专业水平是保证设备高效运行的必要手段。

七、人员培训和意识提升

精益生产要想顺利推行就必须依靠职工的参与和支持，所以

人员培训及意识提升就显得尤为重要。润滑脂生产企业有必要通过系统培训来提升员工对于精益生产理念与方法的认识，让他们了解精益生产核心思想，并将之落到实处。企业应为员工提供全面的精益生产培训，包括精益生产的基本概念、核心工具（例如，价值流分析、5S、拉动生产等等）和实际操作技能。企业要增强职工持续改进意识、激励职工提改进建议、奖励优秀改进成果。通过促进职工精益生产意识的提高，使企业能够在全体职工中营造出一种共同促进生产效率提高、降低成本的良好局面。

八、实施计划和监控

推行精益生产需要有清晰的规划与监控机制来保证各项举措能顺利实施，达到预期效果。企业进行润滑脂生产时，要制定周密的精益生产执行计划，确定每个环节的目标及时间节点。规划要包含生产流程优化，设备改造和人员培训^[9]。企业要建立健全监控机制，并通过定期检查与追踪来保证执行进度与质量。在监测过程中，要重视对资料的采集与分析，并通过生产资料、质量资料、成本资料等资料对实施效果进行评价。如果发现在执行中出现偏差时，企业要及时进行措施调整，以保证精益生产目标得以落实。

九、风险评估和应对策略

润滑脂生产管理过程中风险评估及应对策略对保障生产安全、稳定和高效至关重要。风险评估的目的是通过系统地识别与分析生产过程潜在的风险，预先防范潜在的安全事故或者质量问题^[10]。润滑脂在生产中所涉及的每一个环节都要有详细的风险辨识，其中包括原料采购、生产设备、环境变化和操作人员安全。通过构建风险矩阵对各风险发生的概率及可能造成的影响进行评价以确定其优先级。根据不同级别风险采取相应对策。对设备故障或者原料质量问题等高风险领域要通过引进预防性维护、严格

原料质量控制体系等措施减少风险出现的概率。并对风险小的部分可采取常规管理及员工培训等措施加以控制。另外，风险应对策略包括定期开展应急演练，建立风险管理档案和强化供应链管理，以确保润滑脂生产过程顺利实施并避免突发事件造成生产中断或者质量波动。如表1所示

表1：润滑脂生产管理中各环节浪费识别与分析表

生产环节	浪费类型	浪费现象描述	影响	程度
原料采购	等待浪费	供应商交货不及时或库存管理问题	生产延误，计划滞后	高
原料配比	等待浪费	人员配比不精确，需调整	材料浪费，周期延长	中
混合	过量浪费	配比过度或工艺缺陷，设备效率低	效率低，能耗高	中
筛选	过度浪费	设备不精确，需多次筛选	时间增加，效率低	中
精制	等待与运输	生产线延误，工序不匹配	停滞、成本增加	高
包装与存储	库存浪费	预测不准，库存积压或短缺	资金占用，风险增加	中
信息流通	信息延迟浪费	信息传递或系统不畅	调整延迟，决策失误	中

十、结束语

总之，本文以精益生产对润滑脂生产管理的实践为研究对象，从价值流分析，拉动生产方式，持续改善策略和库存管理优化等方面进行研究、设备管理维护和人员培训的手段能够显著提升生产效率与产品质量并减少资源浪费。推行精益生产，既要认真分析优化生产流程，又要全员参与并不断完善。企业通过高效地实施计划与监控、潜在风险评估与应对策略等措施，能够保证生产过程不断地得到改善与优化，使其能够在竞争激烈的市场上处于领先地位。

参考文献

[1] 曹文峰. 基于精益生产管理的工厂 MES 系统研究 [J]. 智慧中国, 2023, (06): 70-71.
[2] 邱为周. 精益生产在企业管理中的应用与优化 [J]. 华章, 2023, (06): 105-107.
[3] 李书锋. 卷烟工业企业精益生产管理体系构建研究 [J]. 科技创新与生产力, 2023, (03): 78-80+83.
[4] 唐旭. 精益生产在企业管理中的应用 [J]. 价值工程, 2020, 39 (21): 26-27.
[5] 吕军辉. 基于精益生产的航空制造企业生产管理研究 [J]. 企业科技与发展, 2020, (05): 233-234.
[6] 夏芳. 企业管理中精益生产管理的应用分析 [J]. 建材世界, 2019, 40 (01): 106-108.
[7] 李光伟. 浅谈精益生产在润滑油生产管理中的应用 [J]. 化工管理, 2019, (01): 17-18.
[8] 吕定平. 作业标准化在企业精益生产管理中的运用 [J]. 中国集体经济, 2018, (20): 33-34.
[9] 白书雅. 精益生产在存货管理中的应用 [J]. 全国流通经济, 2018, (04): 22-24.
[10] 孟得志. 新能源汽车企业精益生产管理体系的研究与应用 [J]. 科技创新与应用, 2017, (33): 133-134.

历史街区改造中 AR 增强现实技术的保护更新策略

周京蓉

西安培华学院, 陕西 西安 710125

摘 要： 背景：历史街区作为城市文化遗产的重要组成部分，传统保护方式在文化传承和公众互动方面存在不足，难以满足现代社会需求。目的：探讨 AR 增强现实技术在历史街区保护更新中的应用策略，为实现文化保护与现代功能结合提供技术支持。方法：通过分析 AR 技术的特点与优势，结合国内外实践案例，提出具体技术实施路径和多方协作模式。结果：AR 技术在历史场景复原、互动体验设计和虚实导览中表现突出，能够提高文化传播力与公众参与度，实现保护与更新的协调发展。结论：AR 增强现实技术为历史街区保护提供了创新手段，未来需通过智能化发展、多平台兼容与技术标准化进一步提升其应用成效。

关 键 词： 历史街区；增强现实技术；保护更新；文化传承

The protection and updating strategy of AR augmented reality technology in the reconstruction of historical district

Zhou Jingrong

Xi'an Peihua University, Xi'an, Shaanxi 710125

Abstract： Background: As an important part of urban cultural heritage, the traditional protection methods of historical blocks have shortcomings in cultural inheritance and public interaction, which is difficult to meet the needs of modern society. Objective: To explore the application strategy of augmented reality technology in the conservation and updating of historical blocks, and to provide technical support for the combination of cultural protection and modern functions. Methods: By analyzing the characteristics and advantages of AR technology, combined with domestic and foreign practice cases, the specific technology implementation path and multi-party cooperation model were proposed. Results: AR technology has outstanding performance in historical scene restoration, interactive experience design and virtual and real tour, which can improve cultural communication and public participation, and realize the coordinated development of protection and renewal. Conclusion: Augmented reality (AR) technology provides innovative means for historic district protection, and its application effectiveness should be further improved through intelligent development, multi-platform compatibility and technical standardization in the future.

Keywords： historic district; augmented reality; protection and renewal; cultural inheritance

历史街区是城市文化遗产的重要组成部分，承载着丰富的历史记忆、建筑风貌与社会文化价值。传统的保护手段主要局限于对物理空间的修缮，忽视了文化的动态传承与公众参与，难以适应现代社会对文化体验与传播的多样化需求。随着信息技术的飞速发展，AR（增强现实）技术以三维建模、虚实叠加和实时交互为核心优势，为历史街区保护与更新提供了全新的技术路径。本文通过分析 AR 技术在历史街区保护中的特点与应用，结合国内外实践案例，探讨具体的实施策略与多方协作模式，旨在为实现文化遗产的可视化、互动化和可持续发展提供技术支持与理论参考。

一、历史街区保护与更新的背景与意义

（一）历史街区的文化价值与技术需求分析

历史街区是城市文化遗产的重要载体，承载着独特的历史记忆、建筑风貌和社会功能，在现代城市发展中具有不可替代的文化意义^[1]。传统保护方式往往局限于物理修缮，忽视了文化的动态传承与公众参与，难以满足当代多元化的文化需求。AR 增强现实技术凭借三维建模、虚实叠加与实时交互等优势，弥补了传统

保护的不足，推动了技术与文化保护的深度融合^[2]。通过 AR 技术，文化价值不仅能实现动态传承，还能通过互动体验增强公众参与，助力历史街区保护与现代社会发展的有机结合。

（二）数字化技术在历史街区保护中的必要性

数字化技术的发展为历史街区的精准保护和高效管理提供了重要工具。AR 增强现实技术通过虚拟信息叠加、互动体验和实时渲染，突破了传统保护在数据获取和文化传播中的局限^[3]。其优势在于复原历史场景，直观呈现街区风貌与文化细节；通过沉浸

式体验拉近公众与遗产的距离，并支持内容实时更新与个性化展示。这不仅增强了文化的传播力，也吸引了更多公众参与保护工作，为历史街区的可持续发展注入了现代化动力，助力文化遗产的多元化表达。

二、AR 增强现实技术在历史街区保护中的技术应用分析

（一）AR 技术的核心特点及技术框架

AR（增强现实）技术以实时性、沉浸感和互动性为核心，突破了传统保护方式的局限，为历史街区保护与更新提供了创新手段。其技术框架包括三维建模、实时追踪、虚拟信息叠加和动态渲染。三维建模实现历史街区的精准数字化复原；实时追踪确保虚拟内容与现实场景的精确匹配；虚拟信息叠加展现丰富文化内涵；动态渲染则让历史场景更生动逼真^[4]。通过云计算与边缘计算，AR 技术可动态更新内容，适应复杂多变的街区环境。这一框架既支撑了文化数字化呈现，也为公众提供了创新的文化体验，强化了文化传播的广度与深度。

（二）AR 在历史街区互动设计中的技术实现

AR 技术结合多媒体与互动设计，将历史街区从静态观光转变为动态沉浸体验。其虚拟导览、语音解说与场景模拟功能，可直观展示建筑历史、街区故事及文化背景。手势识别技术使用户能够自然操控虚拟内容，增强参与感^[5]。多感官刺激设计（视觉、听觉、触觉结合）显著提升沉浸体验。通过实时交互，AR 还可融入游戏化体验（如虚拟寻宝、解锁历史任务），让用户在探索中学习历史文化。这种技术不仅提升了文化传播的趣味性，也吸引更多公众尤其年轻群体参与到历史街区的保护与体验中。

AR技术在互动体验中的角色



> 图1 AR 技术在互动体验中的角色与效果

（三）AR 技术在街区复原与空间规划中的技术支持

AR 技术在历史街区的复原与空间规划中发挥重要作用，为保护与更新提供精准支持。在街区复原方面，AR 通过三维建模与历史数据整合，结合点云数据采集和纹理映射，还原不同时期街区风貌，直观展现历史文化^[6]。在空间规划中，AR 的动态叠加和沉

浸式展示技术，可实时呈现修缮或改造方案效果，帮助规划者和公众更直观地理解设计变化^[7]。结合 BIM（建筑信息建模）与 GIS（地理信息系统），AR 还能实现动态模拟，包括交通优化、建筑功能分布及景观协调，提升规划的科学性与透明度，并促进历史文化与现代功能的融合，为决策者提供高效的视觉化工具。

三、AR 增强现实技术在历史街区改造中的具体技术策略

（一）历史场景复原的技术实施路径

历史场景复原是 AR 技术在历史街区保护中的核心应用，依托三维建模、图像处理和动态叠加技术，结合历史资料数字化重建逼真的历史场景。通过点云数据采集与纹理映射技术，AR 可再现消失的建筑结构与街区形态，营造沉浸式历史文化氛围^[8]。复原路径分为四个阶段：数据采集通过文献、图片和测绘获取参考资料；模型构建完成三维场景重建；虚拟叠加借助 AR 设备精准融合虚拟与现实；交互设计加入动态元素，提升沉浸感与趣味性。动态渲染算法灵活复现不同时间节点，让用户通过移动设备或 AR 眼镜探索历史文化，为街区保护提供创新传播工具。

（二）虚实结合的街区导览技术

虚实结合导览是 AR 技术的核心应用，通过位置感知、实时渲染和内容触发点设计，将虚拟文化信息与现实街区无缝融合，打造沉浸式体验。当用户扫描触发点，导览系统利用定位与识别技术即时呈现建筑历史、文化故事和导览路径，实现深度互动^[9]。基于 AR 内容管理平台，导览系统支持动态更新与多设备兼容（移动设备或 AR 眼镜）。结合语音解说、全景展示与多感官刺激，显著增强用户体验与互动性，同时通过数字档案功能记录街区数据，为未来修缮与规划提供支持。这一方式不仅提升街区可访问性，也吸引更多公众关注历史文化的保护与传承。

表2 AR 技术在历史街区改造中的核心策略与技术支持

技术策略	实现形式	核心技术支持	预期效果
历史场景复原	3D 建模、动态叠加	点云数据、渲染算法	再现历史场景，增强文化的可视化与传播
虚实结合导览	实时触发点设计、语音导览	位置感知、动态渲染	提升用户参与度与街区可访问性
多方资源整合	数字档案共享、政策协调	数据标准化、技术互通	优化资源分配，推动保护与更新协同发展

（三）多方协作中的技术资源整合方案

多方协作是 AR 技术在历史街区保护中发挥作用的关键，通过政府、技术企业和社区居民的资源整合实现分工协作。政府作为政策引导与资金协调者，提供财政支持与制度保障；技术企业负责硬件开发、算法设计和平台优化；社区居民参与历史资料收集、文化验证及内容反馈，确保信息真实性与完整性^[10]。核心是构建共享数字档案平台，整合数据、模型和技术资源，制定标准化与兼容性规范，提升应用效率。这种模式不仅优化了资源利用率，还通过多主体协作实现街区保护与开发的科学性与可持续性，促进文化价值与现代功能的和谐统一。

四、AR 增强现实技术在历史街区保护更新中的实践案例

（一）国内外 AR 技术实践与技术启示

国内外 AR 技术在历史街区保护中的应用为文化遗产的数字化更新提供了重要参考。国内如杭州南宋御街通过 AR 复原街区繁华景象，并结合动态导览，让游客沉浸式体验南宋文化；平遥古城则借助智能化导览平台，将 AR 技术与文旅产业深度融合，提升文化传播力与经济效益^[1]。国外如意大利庞贝古城利用 AR 还原居民生活细节，让参观者感受古罗马社会的真实面貌；美国波士顿自由之路通过 AR 展示历史事件，以互动方式激发游客的历史兴趣。这些实践表明，成功的 AR 应用需结合本地文化特色与用户需求，同时注重技术适配性与内容趣味性，为历史街区保护提供更丰富的传播方式与用户体验，也展示了 AR 技术在教育、旅游及文化传播领域的潜力。

表3 国内外 AR 技术在历史街区保护中的应用实践对比

实践案例	核心技术应用	显著成效	启示
杭州南宋御街（中国）	AR 虚拟复原、动态叠加展示	提升历史文化传播力，吸引游客参与	结合本地文化特色，增强内容个性化设计
平遥古城（中国）	智能化导览、动态内容呈现	文旅融合，增强公众互动体验	构建开放平台，吸引更多用户参与
庞贝古城（意大利）	AR 日常生活场景复原	强化教育功能，传递文化内涵	强化教育属性，设计更趣味化场景
波士顿自由之路（美国）	AR 历史节点展示	提升互动性与文化认知	结合大数据分析，优化用户体验

（二）未来发展趋势与技术改进方向

未来，AR 技术将向智能化、多平台兼容和高互动性方向发展。结合人工智能技术，AR 内容将实现智能生成与个性化定制，提供精准体验；大数据分析将提升场景适配度，增强文化传播效率。跨平台兼容技术将支持 AR 内容在多设备（如手机、平板、AR 眼镜）上无缝运行，降低技术门槛，吸引更多用户。互动性设计将突破性提升，如增加实时协作功能，支持多用户同步参与虚拟互动；多感官刺激（触觉、嗅觉）将进一步增强沉浸感。5G 网络等基础设施建设和技术标准化将成为重点，通过统一内容规范与高效传输确保稳定运行。未来，AR 将推动历史街区保护走向智能化与多样化，为文化遗产保护注入持续动力。

五、结论

AR 增强现实技术为历史街区的保护与更新提供了创新手段，有效弥补了传统保护方式的不足。通过历史场景复原、虚实结合导览以及多方资源整合，AR 技术实现了文化遗产的动态传承、互动展示与高效管理，提升了文化传播力与公众参与度。未来，AR 技术需进一步向智能化发展，借助人工智能与大数据分析，实现内容的个性化适配与跨平台兼容，降低应用门槛。加强技术标准与基础设施建设，将推动 AR 在历史街区保护中的广泛应用。通过文化与技术的深度融合，AR 将成为历史街区保护与现代化发展的重要推动力，实现文化价值与经济功能的协调统一，为文化遗产的可持续保护贡献新思路与新动力。

参考文献

[1] 崔楠, 陈全, 徐岚, 等. 当历史文创产品遇上 AR: 增强现实技术产品展示对消费者历史文创产品评价的影响 [J]. 南开管理评论, 2021, 24(6):50-61.

[2] 任莉萍. 增强现实技术 (AR) 在中小学教育中的应用现状述评与展望 [J]. 电脑知识与技术, 2023, 19(05): 118-120+129.

[3] 刘威, 张珈铭. 浅谈增强现实技术在平面设计中的应用 [J]. 视界观, 2020, 000(019):P.1-1.

[4] 黄佳. 增强现实技术 (Augmented Reality) 在非遗瓷窑瓷器课堂中的教学实践探索 [C] // 中国陶行知研究会 2023 年学术年会论文集 (一). 2023.

[5] 李倩雯. 基于增强现实 AR 技术的洛阳古代艺术博物馆改良设计研究 [J]. 美与时代: 创意 (上), 2022(7):3.

[6] 唐金娟. 增强现实的 AR 技术在上甘棠村全域旅游中的应用研究 [J]. 风景名胜, 2020(011):0383-0383.

[7] 汪元. 基于增强现实技术 AR 的文化平台 [J]. 电脑编程技巧与维护, 2020.

[8] 林雅南, 陈婉清, 郑世珏, 等. AR 技术在中国历史典故展示中的应用研究 [J]. 计算机工程与应用, 2021, 57(14):6.

[9] 温也. AR 介入历史街区更新的探讨——以贡院片区为例 [C] // 中国城市规划学会, 成都市人民政府. 面向高质量发展的空间治理——2021 中国城市规划年会论文集 (02 城市更新). 华中科技大学 ;, 2021: 11.

[10] 何苗, 张蕴. AR 增强技术在展示历史遗迹中的设计与实现——以唐大明宫为例 [J]. 现代信息科技, 2020, 004(004):P.83-87.

[11] 艾之, 汪海鸥. 基于 VR 虚拟现实技术和 AR 增强现实技术的建筑改造——以鞍山伪满时期遗留的建筑为例 [J]. 居业, 2020(3):2.

建筑学领域专利申请和保护策略研究

周禹希, 旦帅男, 高芳, 王超, 姚鹏程

北京国序知识产权代理有限公司, 北京 100037

摘 要 : 建筑业是我国重要的经济支柱产业, 近年来总体保持增长态势。国家支持技术创新和产业结构调整, 各项智能化、智慧化建筑施工技术等广泛推进, 绿色建筑理念和材料技术的应用也愈加广泛。在建筑业专利申请和保护方面, 国家对于装配式建筑的新生产技术和工艺等较为支持, 并加强知识产权保护, 全面支持智能建造, 以建筑项目管理系统、人工智能、物联网技术的施工管理系统成为目前专利申请的重要建筑成果。

关 键 词 : 建筑学领域; 专利申请; 专利保护; 策略

Research on patent application and protection strategy in the field of architecture

Zhou Yuxi, Dan Shuainan, Gao Fang, Wang Chao, Yao Pengcheng

Beijing Guoxu Intellectual Property Agency Co., LTD. Beijing 100037

Abstract : The construction industry is an important economic pillar industry in China, and it has maintained an overall growth trend in recent years. The state supports technological innovation and industrial structure adjustment, various intelligent and intelligent building construction technologies have been widely promoted, and the application of green building concept and material technology has become more extensive. In terms of patent application and protection in the construction industry, the state supports the new production technology and process of prefabricated buildings, strengthens the protection of intellectual property rights, and fully supports intelligent construction. The construction management system of construction project management system, artificial intelligence and Internet of Things technology has become the important construction achievements of patent application at present.

Keywords : architecture; patent application; patent protection; strategy

引言

现阶段, 国家对建筑业的规划要求其深入转型, 实现机械化、数字化、绿色化创新发展。同时, 还对装配式建筑、智能建筑等新型建造方式的发展给予大力支持, 通过相关数据得知, 我国建筑业专利数量逐步上升, 尤其在智能建造领域和绿色技能领域的专利申请数量增长近50%。建筑企业的专利保护意识不断增强, 国家完善了相关的知识产权保护政策, 加快推进建筑领域转型发展。

近年来, 各行业发展中愈加重视知识产权保护, 无论是企业创新技术产业、设备, 还是专利持有人, 在申请专利权后, 都拥有绝对的独有权。我国建筑领域不乏优秀的专家、学者或技术人员, 强化建筑学领域的专利申请和保护, 能够有效促进建筑行业科技成果转化、建筑理念和技术的发展, 并且可以使我国建筑领域迈入新的辉煌, 以下是具体策略:

一、提升专利申请产权保护认识程度

我国建筑学领域对专利的申请与保护虽然逐步得到了重视, 但是经过分析了解到, 设计单位、施工单位等对专利申请的重视程度不够, 认知较为薄弱, 主要是由于这些单位对专利申请产权保护的认识存在局限性, 没有意识到企业具有自主专利产权的价值和意义。很多企业对专利成果转化以及增加经济效益的认识较为滞后, 还有一些企业由于为了节约专利申请支出, 或者由于专利申请周期较长等, 造成专利申请积极性不够或者产权保护工作落实不到位。反观国外, 很多知名企业对专利申请产权保护的重视

视程度高于我国同行企业, 然而这体现了国外一些企业对这一方面的认识较高。

在当前市场发展形势下, 同行企业之间的竞争日趋激烈, 尤其是建筑学领域如果能重视专利申请产权保护, 那么可以使企业掌握核心专利技术, 处在行业较高的地位, 同时可以增强建筑企业的市场竞争能力。因此, 提升对专利申请产权保护的认识程度, 无论是新技术的研发还是在新产品的生产、利用等方面, 都应加强重视相关专利申请产权保护工作, 保障企业研究创新的成果不被侵占和窃取。

同时, 提升专利申请产权保护认识还应体现到重视培养研究专

利技术、掌握专利技术的人才，辅助提升其对专利技术内容编写和优化的能力。在对专利申请的工作进行分析，了解到往往存在专利申请由于内容编写质量不达标要求，或者对专利申请要求解读产生偏差，再或者对专利申请相关法律法规的理解不到位等，造成不能顺利进行专利的申请，更难以使专利技术和相关产品得到有力保护。主要是由于我国专利相关法律法规体系建立较晚，有关的内容还不够完善，而且建筑企业对相关人才的培养和储备重视程度欠缺，直接影响到专利申请产权保护工作的顺利有效进行^[1]。

因此，应注重对专利知识产权有关法律法规的深入学习以及深度解读，强化对有关规定的宣传和普及，使建筑学领域从业者对有关的法律法规条款有全面的了解和掌握，确定可以申请专利的研究成果或者可以进行转化的研究成果等，在此基础上树立形成知识产权观念。建筑学领域对成果的研究与创新应得到行业人员或者社会人员的关注和重视以及尊重和保护，使从业者意识到知识产权是自身所拥有的无形固定资产，对知识产权的保护则是保障自身权益和利益的重要方面，应改变传统对知识产权认识停留于形式的认识，将专利申请、知识产权保护工作有效落实。

二、基于数量增加落实专利部署工作

在当前社会发展形势下，我国建筑学领域对专利申请的积极性在逐渐提升，而对专利的申请与保护是保障并促进行业发展的重要工作。专利申请数量是体现行业发展技术水平的关键指标，对专利申请数量进行分析，了解到与一些发达国家相比我国申请数量明显较少，因此应注重对专利申请数量的有效增加，科学落实专利相关部署相关工作。

因此，应注重对建筑学领域从业者相关能力的培养，建立科学完善的专利管理体系是重要的工作内容。建筑企业与研究机构要积极参与专利管理部门的设立，了解建筑企业发展需要以及专利技术优势特点和行业发展需求，在此基础上科学制定并执行专利管理措施，注重对专利相关数据信息的收集、整理、分析和应用，把握建筑行业发展形势以及竞争对手的具体情况，以此可以有目的地调整专利管理策略。

另外，应积极与专利专业机构加强深度交流和长期合作，与专业机构进行合作可以得到专业专利知识、技术、经验的支持，保证专利申请的成功率，也确保专利成果的转化取得理想效果，满足建筑企业现代化发展、稳定性发展和可持续发展需要。

在考虑到当下全球经济一体化发展背景下，专利合作条约体系作为我国专利申请的重要基础和依据起到了关键的作用，也产生了重要影响。对国际专利申请程序进行了简化并统一了审查标准，使我国建筑企业与海外企业进行竞争，使我国在专利申请产权保护方面得到了有力的工具支持，也获得了强有力的保障^[2]。

所以，我国建筑企业应积极扩展到海外进行专利申请以及产权保护，扩大专利申请行业范畴，增加专利申请数量，在此基础上对专利相关的数据信息进行分析，可以使企业掌握技术薄弱点、技术缺陷和弊端，同时也能了解到专利技术的发展方向，为建筑企业在专利成果转化方面提供了政策和决策支持。建筑企业

结合专利技术的实施，对专利相关信息进行深入分析以及实时追踪并得到相关的反馈信息。在参考对比专利申请相关数据信息的前提下，了解全球专利技术发展的现状以及趋势，提升对专利技术重大变化的了解程度，从而可以保障专利技术产生经济效益。

三、明确建筑学领域专利申请入手方向

建筑的基本元素由建筑材料、房屋设备、节能减排、电能、水资源等组成，所以对建筑的元素设计理念需要进行多元化的研究和探索，并非单纯地寻找建筑之“美”，更是建筑灵魂与现代科技相碰撞的学科领域。分析和了解我国制定和实行的专利法及其相关审查准则可以认识到，能够得到专利申请的发明创造项目，要求其本身技术成熟并能解决现实的应用问题。所以，两者之间建立连接枢纽的源头则是其中具备的技术特点。

分析我国专利申请技术的分布和密集程度以及建筑学方向科目内容的分布情况可以发现，专利申请的项目内容主要覆盖建筑遗产保护、建筑构造、建筑结构、建筑设备、建筑物理、建筑防火六个方面。从我国历年来专利申请的数据分析来看，建筑物理和建筑构造相关的专利项目申报较多，特别是其中建筑构造的数目占比，根据相关的专利申请数据内容，建筑构造占比总建筑专利申报数量的半数以上，建筑物理中的分支占比由建筑声学的专利填报高居榜首，其他分支中的建筑光学和建筑热力学的专利填报所占比例较低。除了上述的内容之外，建筑设备和建筑结构同样占有较高的专利申报份额，并且两者的专利申报比例较为相似；剩下的两个建筑防火和建筑遗产保护所占专利申报比例较低^[3]。

所以，相关的传统建筑学科在构造设计和研究的过程中，可以参考上述的专利申报比例占比，找到占比较高的研究分支进行专利申报并体现专利技术的多样性和兼容性，将技术运用到不同建筑项目的研究进程中，拓宽专利技术的应用场景。

此外，对建筑学领域专利申请入手工作的进行还要重视对专利申请内容的创新和优化，可以对建筑学领域中建筑结构、建筑造型、功能优化进行创新。比如，以设计具有独特审美效果并具备丰富完善功能分区的建筑作为专利申请的关键点和切入点，对相关的创新元素进行深入挖掘，使得专利申请方向更加明确、目标更为清晰。

在此基础上还要考虑到，建筑学领域中建筑材料、建筑技术的应用同样可以作为专利申请的重要元素，这是由于当前科学技术快速发展，一些新型建筑材料、先进建筑技术的出现促进了建筑行业的突破性发展，将绿色可再生材料、智能化技术和数字化技术应用到建筑工程项目的开发中，可以为建筑学领域申请专利提供重要的资源。建筑行业应考虑到建筑学领域发展现状以及建筑体实际情况，积极发挥想象创意设计专利申请的有效方案，着手进行专利的申请，对建筑行业的发展起到重要作用^[4]。

四、明确专利申报和发明的关联与差异

建筑学领域专利的申请和保护应得到从业人员的关注和重

视,对专利申请和保护应深入挖掘具有社会价值专题研究发明的切入点,对专利申请和保护要积累经验,发挥专业知识和专业技术的作用和优势,而对专利申报和发明的异同点应给予重视。

具体而言,专利申请人通过深度研究和探索而发明专利技术,拥有申报专利的资格,涉及在真实情境下的技术难题、技术内容和技术成果三个方面。通常情况下建筑的技术专利申报可以在实用新型专利和申请发明两者间自由申报,但是要注意的是实用新型专利和申请发明之间存在明显的差异性,首先二者的保护对象存在差异,发明专利不仅保护专利的产品内容也保护专利的技术技巧,对应的实用新型专利不保护技术方法,只提供产品内容的保护。

其次,实用新型专利和发明之间的委托周期和审查机制存在明显差异,发明专利申报方案运用实质审查方法,其覆盖的审查周期时间线较长,通常为两年,而对应的实用新型专利申报使用初步审查方法,其持续的调查间隔时间较短,通常在审查六个月后出现结果。同样实用新型专利和发明专利的保护期限不一样,实用新型专利权的保护年限为10年,发明专利机制的权限保护为20年,两者的保护权限都是从申报之日开始计时。因此,相关的发明者除了方法发明之外,可以选择实用新型专利和申请发明专利的一同申报,从而得到实用新型的保护机制内容,如果发明的申报成功再研究是否放弃实用新型专利^[5]。

另外,在建筑学领域专利申报与发明存在关联和差异,还表现在技术应用方面。在建筑物结构的设计中,发明更加注重结构的功能性特点,而在建筑外观的设计中发明更加强调外观的艺术性、美观性等。所以,在专利申报时应考虑到技术应用的范围、场景以及价值和意义,进而可以保证专利申报的成功率。

五、重视绿色建筑专利申请

对建筑学领域专利的申请和保护,需要加强重视绿色建筑专

利申请。首先,政府层面应加强对绿色建筑发展的关注,并在建筑行业发展中发挥职能作用,包括主导、扶持和推进作用,主要包括在政策法规、发展平台、资金等方面,为绿色建筑专利成果的转化提供大力支持。例如,我国一些省份搭建了建筑行业技术信息管理平台,将绿色建筑专利申请作为专利评审的重要组成部分,使一些企业对专利研究、专利申请以及成果转化产生了浓厚的兴趣。其次,应强化产教融合。在当前在建筑学发展中,对高等教育和研究工作对绿色建筑专利申请投入不足的情况,政府层面应鼓励高校和研究机构共同致力于建立合作平台^[6]。

另外,对一些绿色建筑专利申请较为薄弱的地区要注重树立优秀典型,支持并鼓励建筑行业积极推进绿色建筑专利申请和成果转化,需要政府根据地方建筑行业发展现状辅助对绿色建筑专利深入研究。

从绿色建筑专利申请单位角度分析,应加强同行之间的合作,扩充合作形式,扩大合作模式,保证合作的质量与效果。在此基础上突破传统合作模式的局限,科学甄选合作对象,比如与电力企业、高等学府等进行深度合作。在抓住合作切入点的基础上促进产学研合作,支持并鼓励建筑单位与通信行业、文化产业加强交流协作,达到绿色建筑专利技术水平的提高,促进专利成果得到高效率、高质量的转化,推进我国建筑行业的可持续发展。

六、结语

在获得具有利用价值的专利研究成果基础上,将成果进行科学有效转化,为建筑学领域的发展提供充足动力和技术支持,为建筑技术的交流、应用以及建筑行业从业人员沟通和合作创造了有利条件,奠定了坚实基础,保障了建筑行业经济效益的增加,提高了建筑行业市场地位,促进了建筑学领域实现高效率、高质量的发展。

参考文献

- [1] 翟浩博,任宝双,陈洪敏,等. 房建施工机器人的应用及展望[J]. 施工技术(中英文),2023,52(23):20-26.
- [2] 马妮娅. 智能建筑施工中的通病与监管管控方式[J]. 大众标准化,2023,(04):172-174.
- [3] 常春光,董慧. 基于云模型的装配式建筑施工安全风险评价[J]. 沈阳建筑大学学报(社会科学版),2023,25(03):286-293.
- [4] 陈翀,李星,邱志强,等. 建筑施工机器人研究进展[J]. 建筑科学与工程学报,2022,39(04):58-70.
- [5] 周磊,李俊杰. 基于可视化分析的装配式建筑发展前沿专利信息研究[J]. 聊城市建筑,2023(5):012-019.
- [6] 王腊银,傅越,李苹. 中国建筑企业装配式专利创新驱动组态研究——基于激励政策及其示范效应视角[J]. 科技管理研究,2023(9):125-131.

侗族风雨桥营造技艺文献综述研究

杨丽文, 王玉博*

广西师范大学设计学院, 广西 桂林 541000

摘要： 文章对中国知网期刊数据库中与侗族风雨桥营造技艺研究主题相关的中文文献进行检索和梳理，以侗族风雨桥的历史演变、营造技艺为议题进行归纳和总结。研究方法包括比较分析法、归纳总结法。文章综合建筑学、社会学等多学科的视角，对侗族风雨桥的起源和发展，营建流程、建筑结构、关键技术、装饰技艺分别进行阐述，提出总结与展望。未来侗族风雨桥营造技艺应借助跨学科的研究方法，拓展以技艺、工匠、风雨桥、环境为基础的框架研究。

关键词： 侗族；风雨桥；营造技艺；文献综述

Review of Dong wind and rain bridge construction skills

Yang Liwen, Wang Yubo*

School of Design, Guangxi Normal University, Guilin, Guangxi 541000

Abstract： This paper searches and sorts out the Chinese literature related to the research topic of Dong wind and rain bridge construction skills in the CNKI journal database, and summarizes the historical evolution, construction skills and functional implication of Dong wind and rain bridge as the topics. The research methods include comparative analysis method and inductive summary method. From the perspective of architecture and sociology, this paper expounds the origin and development of the Dong wind and rain bridge, the construction process, building structure, key technologies and decoration techniques of Dong respectively, and puts forward a summary and prospect. In the future, the construction skills of dong wind and rain bridge should expand the framework research based on skills, craftsmen, wind and rain bridge and environment.

Keywords： Dong; wind and rain bridge; construction skills; literature review

引言

中国传统建筑从属“营造匠学”，中国建筑史是“营造”的历史，也是依靠匠人薪火相传活态地演进至今的历史^[1]。营造是一种兼具艺术性、技术性、民俗性、组织性的活动，营造技艺包含“营”（设计）和“造”（建造）双重含义^[2]。2006年广西三江侗族自治县的“侗族木构建筑营造技艺”被列入国家级非物质文化遗产名录。侗族是中国南方地区最古老的民族之一，主要聚居在湘、桂、黔交界地区。侗族没有自己的文字，却创造了鼓楼、风雨桥等一大批不用钉卯，只采用榫卯的纯木构建筑。风雨桥是侗族最具特色的建筑之一，凝聚了千百年来匠人的智慧，是侗族文化的重要标识，高度体现了建筑“技”与“艺”的统一。国家级重点文物评审专家高度评价了风雨桥的建造技术是中国桥梁建造最后的、极为罕见的“活化石”，这一评价引起了学术界的广泛关注。风雨桥的发展与鼓楼紧密相连，两者在技艺传承和功能价值上存在诸多相似之处，因而经常被一同探讨。尽管鼓楼与风雨桥的研究文献丰富，但专门针对风雨桥进行系统性研究的文献却相对较少。学者们在研究中注意到了这一点，并强调了风雨桥独立研究的必要性^[3]。本文通过梳理侗族风雨桥营造技艺相关文献，深入探索风雨桥营造技艺和文化内涵，为保护与传承这一宝贵的非物质文化遗产提供有力支持。

一、历史演变

学界对风雨桥历史演变的研究主要有以下几个说法：侗族早期以独木桥、石桥为主，在唐宋时期，随着汉族桥梁营造技术的传入，侗族人民采用中国传统的穿斗式木构架与汉族宫殿建筑和南方民族“干栏式”建筑融合，形成独具侗民族特点的桥梁建筑

工艺^[4]。潘世雄认为风雨桥的产生受到北宋中晚期佛教文化的影响，发展于明清时代，并从建筑名称、桥址选定、建筑特点、桥亭神位等多个方面对风雨桥的产生进行论证^[5]。随着汉族的廊桥文化、营造技艺以及营造仪式文化的不断涌入使得明清、民国时期风雨桥的规模越来越大，造型也越来越精彩，桥面亭阁的构思更加精巧^[6]。

基金项目：2024年广西哲学社会科学年度课题“广西古镇古村民居建筑视觉图谱的搜集、整理与数据库建设研究”（项目编号：24SHF002）；2024年广西研究生教育创新计划项目“基于场域理论的侗族聚落仪式空间营造研究”（项目编号：YCSW2024170）。

作者简介：杨丽文（1977-），江西宜春，硕士，广西师范大学设计学院副教授，研究方向：空间美学研究、聚落保护与乡土建筑研究、城市更新与社会服务设计；

通信作者：王玉博（1993-），广西玉林，广西师范大学设计学院在读硕士研究生，风景园林助理工程师，研究方向：聚落保护与乡土建筑研究、建筑文化遗产研究。

学者们对风雨桥名称也各有说法。因风雨桥有遮风避雨的作用,故民间习惯称其为“风雨桥”。郭沫若同志为程阳桥题诗:“艳说林溪风雨桥,桥长四层高”以后,“风雨桥”也因此广为流传^[7]。李雪梅^[8]则在文中提出风雨桥被侗族称为“福桥”,而不是世人所谓之“风雨桥”。有人又称之为“凉桥”“风水桥”,前者因桥面置栏干坐凳,可供人歇息纳凉,后者有保风水挡龙脉之意^[9]。又因整座桥雕梁画栋,极尽妆饰之能事,如花般俊美又称“花桥”。吴能夫^[10]在关于风雨桥名称涵义的研究中,指出“风雨桥”和“凉桥”非侗语名称,侗语名称为“WUC JIUC”,汉译应为“福桥”,既是本名亦是通名。“福桥”这一名称是侗族人民依托廊桥表达对美好生活的向往。蓝勇^[11]主编的《西南历史文化地理》一书中提到风雨桥因有“桥如长龙,屹立水上,水至回环,护卫村寨”之意,又有“回龙桥”之称。贵州侗族地区往往称为“风雨桥”“花桥”“回龙桥”,既从功能,又从形态、装饰、内涵意义方面进行了命名。

二、营造技艺

(一) 营造流程

风雨桥的建造受到自然环境、风水观念和灵魂观念的影响。侗族先民认为风雨桥具有“堵风水,拦村寨”的作用^[12],因此,侗族人民在建设风雨桥之际,严格遵循着一套独特的营造流程。学术界的大部分学者们通过田野调查认为营造流程都具有选址、平地、准备材料、立架等。其中,对风雨桥的选址尤其讲究,一般位于水出口,即村寨下游尾寨,为了让风雨桥能够起到“回龙”和“锁财物”的作用。有的建在村头入水口,具有关卡重镇保平安的作用^[13]。刘洪波^[14]以广西三江龙吉风雨桥为研究案例,将其营造流程分为择日起工、置办喜梁、祭溪祈佑、上梁喝彩、取币赏众、踏桥开走、上喜梁福字、圆桥福礼8个步骤。在开工仪式前,选定吉时、吉方位并开始祭祀鲁班仪式。符合“天时地利人合”的观念时才会开工,也正印证了《荀子·王霸篇》中夫朴力而寡能,则上不失天时,下不失地利,中得人和而百废。”蒋卫平^[15]将营造流程分为选址和择吉日、动工架马、桥墩、扎排竖楼、上喜梁等程序。蒋凌霞^[16]则将风雨桥营造流程总结为占卜、伐梁、开工奠基、上梁、踏桥等。李雪梅^[8]又将营造流程分为发墨、立架、升金梁和踩桥仪式。

(二) 建筑结构

侗族风雨桥是侗族传统建筑中集社交、生产、娱乐等重要功能为一体的公共建筑,风雨桥的结构由下、中、上三部分组成,分别对应桥基、桥跨、桥身(桥廊和桥亭),复杂的在桥两端还设有桥门。桥基,包含桥墩和桥台,桥墩通常为六面柱体。石墩外壳用青石筑成,石墩内部以料石填心,竖向以3%收分,为减少河水的冲击力迎背水处均为锐角。桥台竖向以8%收分,迎背水面处均为68°锐角,以减少洪水的冲击^[17]。桥跨,分为单向伸臂和双向伸臂两种方式^[18](见图1)。其中,单向伸臂以桥端岸壁为基点,用若干层木梁,每层伸出伸臂,逐渐向桥心靠拢,每两层伸臂木枋之间的横木起到联系分配受力到诸伸臂木的作用。双向伸

臂,是在河心墩顶叠架木梁,木梁与桥面平行向两边平衡地伸出墩外,与相邻的桥墩叠架木梁逐渐聚拢,形成多孔连续的伸臂桥梁。《中国古建筑术语辞典》^[19]一书中提到双向伸臂桥始于简支梁桥的柱顶托木。双向伸臂桥采用的桥墩墩面宽大,托木便形成平衡伸臂梁,层层挑出承托承重主梁,使得跨度很大的主梁,变为有刚性和弹性支点的多支点连续梁,因此,双向伸臂桥多为多孔长桥。单向伸臂和双向伸臂的选择受到自然环境以及人文环境的影响,不同地域,不同民族间有着不同桥跨方式的选择。



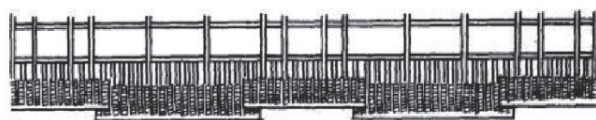
(a) 单向伸臂桥 (b) 双向伸臂桥

>图1: 伸臂木梁桥示意图

桥身,桥身通常由桥屋、桥廊两个部分组成(见图2)。从桥屋屋顶形式来看,唐国安^[20]将其分为重檐歇山、重檐四角攒尖、重檐六角攒尖等。陆中午^[21]将其分为歇山式的殿形、六角攒尖和八角攒尖的塔形以及殿形和塔形的混合形。桥廊的桥面用密布式悬壁托架简支梁体系,全为木构架,由于托弯强度的限制,一般梁的跨度不超过10米,这种体系减少了大梁跨度以适应木料有限的截面。桥屋,采用抬梁式结构。桥屋和桥廊是采用榫卯结合的梁柱体系联成整体。在桥台、桥墩上建楼亭,则起到固定简支梁的支座,减少简支梁的弯矩,使桥的各部分受力趋于平衡的作用。桥墩与桥台之间没有任何铆固措施,只凭桥台和桥墩起着架空的承抬作用,桥身就放在桥墩上面。廊亭木柱间设有座凳栏杆,栏外挑出一层风雨檐,增加桥的整体性及稳定性^[21]。



(a) 桥屋部分



(b) 桥廊部分

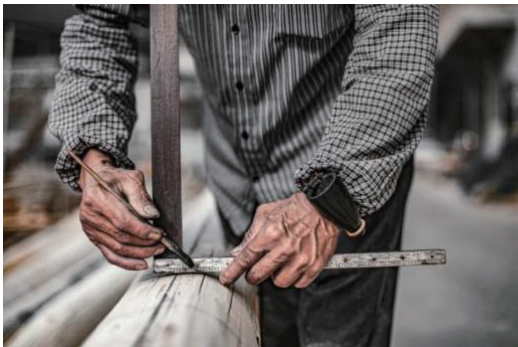
>图2: 桥身结构示意图

(三) 关键技术

侗族地形多为山地、丘陵、盆地等,属于亚热带季风气候,盛产林木。在建造桥梁时就地取材,以石料砌筑桥台、桥墩,以杉木组建桥跨及其上部的建筑。因此,侗族风雨桥的建筑材料主要为大青石、木、青瓦^[22]。侗族风雨桥从设计到完成,无需图纸,统一由掌墨师利用墨斗、丈杆、竹签等传统工具在木材上留下标记,进行建造。覃彩鉴^[23]主编的《壮侗民族建筑文化》中提到风雨桥的建造由工匠运用穿斗构造方法和力学中的杠杆、拉力、应力等原理,在各立柱之上开设卯眼,插入纵横的穿枋、矮柱、廊梁等,使桥体上梁木及各立柱、矮柱、穿木和梁木相互衔接,环环相扣。

侗族有一套用于卯榫位置的确定以及详细尺寸的工匠度量系

统，是以工匠大师身体的尺度为参照物而制作，由鲁班脚尺、匠杆、榫卯竹片尺三种基本的工匠尺构成^[8]。其中最重要的就是丈杆（匠杆）、竹签以及墨师文^[24]。丈杆，侗语“xangc ganh”，是基于工匠鲁班脚尺制成的（见图3），杨毅^[25]将其称为“香杆”，李雪梅^[8]将制作匠杆的过程称为“排匠杆”。丈杆是侗族风雨桥营造技艺中的一种传统测量工具，由木材制成，具有一定的长度，丈杆上刻有详细的尺度标记，由风雨桥营造的组织者和指挥者来测量和定位榫架、柱子、梁枋等构件的位置和长度，确保每个部分都能精确对接。竹签，侗语“xeenp”，是墨师文主要载体形式，也是核心度量工具（见图4），是进一步完善构件的依据。用来辅助风雨桥设计和施工过程中的定位、测量、计算以及记录的工具。工匠们会使用竹签来记录特定的信息、标记风雨桥的关键位置、估算和调整风雨桥构件的尺寸、传授风雨桥营造技艺等等^[26]。墨师文，是掌墨师最核心的技术（见图5），掌墨师通过墨师文符号构成侗族营造技艺的标识系统。这些墨师文符号如同掌墨师的指纹，独特而富有内涵，它们将侗族营造技艺的精髓凝聚于每一根梁、柱之间。在建设过程中，掌墨师与木匠、瓦匠、漆匠等各匠师紧密协作，共同使用墨师文符号将想象中的风雨桥转化为现实。每一处墨师文标记，都是对传统工艺的尊重和风雨桥精神的传承^[27]。



> 图3：丈杆



> 图4：竹签

方位	上	后	左	右	上	中	下
含义	(前)	(后)	(左)	(右)	(上)	(中)	(下)
构件	吊	吊	吊	吊	吊	吊	吊
含义	(穿)	(枋)	(挂)	(柱)	(吊)	(排)	(梁)

> 图5：墨师文

综上所述，侗族木构建筑丈杆和竹签的使用既是一种实用的实物记录手段，又是一种建造实尺的重要手段，实现了对木材天然特性的处理^[28]。结合掌墨师的墨师文，建立一套无需图样的精节点构造标识系统，这不仅保障了整个建筑的稳定和美观，还突显了侗族木构建筑营造方法的灵活性和适应性。

（四）装饰技艺

风雨桥装饰技艺精湛、装饰用色淡雅与瑰丽并存，是侗族文化对自然环境、民族、生活习惯、宗教信仰等在装饰技艺上的综合表现。侗族多聚居于山川要塞、溪流峡谷之间，有着浓重的蛇鸟崇拜、迷信占卜原始巫术信仰。所以他们把蛇、鸟、龙、凤、鹤等或画或塑于风雨桥上，使其受到人的尊崇与敬畏^[29]。侗族风雨桥装饰技艺包含外部的灰雕以及内部木雕和彩绘。灰塑，以石灰为主要塑形材料，其的表面会释放一层碳酸钙，能让木构件防虫防蛀的同时起到加固收口的作用。在技艺上，由掌墨师傅或泥瓦匠先用铁制作基本形态，加以竹钉、碎石、瓦片等材料作为骨架，使用灰匙工具对加入纤维麻袋和糯米浆的石灰塑造成飞禽走兽或人物。在内容上，主要有双龙抢宝、铜钱图案、葫芦、牛角等。灰塑装饰常在风雨桥的翼角、亭顶的檐角屋脊和檐下塑造飞禽走兽、神话人物和历史传说故事。木雕，雕刻工艺的使用不多，主要在童柱、垂柱、梁枋以及梁、柱相接构件上，在内容上，以童柱以波浪形为主，垂柱以荷花、莲花为主，梁枋则是以龙头、龙身和鱼尾状的图形为主。彩绘，主要绘画在桥廊的廊柱之间上部的幅板。在内容上，龙凤、宝剑、八卦图、人物山水、花草、善类等为主，在色彩中，以绿色及蓝色居多，黄色次之，再杂以其他色彩，代表学者有程霏^[30]、阙跃平^[31]等。有些地区的色彩具有鲜明的民间艺术特色，也有些地区则追求素雅和谐的艺术效果。由于掌墨师或泥瓦匠的偏好不一，在承袭过程中会逐渐形成不同的装饰色彩风格^[32]。

三、总结与展望

文章通过对相关文献的梳理和研究，发现针对侗族风雨桥营造技艺的探讨以建筑学、人类学、民俗学、美学为主。这些学科领域的综合研究，揭示了侗族风雨桥营造技艺在建筑结构、装饰技艺等方面的独特价值。建筑学视角下的研究，侧重于分析风雨桥的构造原理、空间形态以及结构安全等；人类学偏重于探讨风雨桥的起源、隐喻等；民俗学则关注风雨桥营造建中的仪式、习俗等；而美学研究则聚焦于风雨桥造型、装饰美学特征及其所反映的侗族审美观念。这种多学科的研究方法，为我们全面理解侗族风雨桥营造技艺提供了多维度的视角和深厚的理论基础。

随着非物质文化遗产保护意识的增强和跨学科研究方法的深入，近年来对于侗族风雨桥营造技艺的研究逐渐深入。尽管如此，侗族风雨桥营造技艺的研究仍存在一定的局限性：学术界对侗族风雨桥营造技艺本体的关注并不深入，且该领域内的文献记载较少，跨学科深度、数字化不足；对建筑深层特征规律的定量研究不足；跨高校、跨地域合作较弱，开创性和创新型研究成果较少^[33]。未来风雨桥营造技艺研究大致从以下两个层面进行

探讨。

实践层面：其一，系统数据库建立，针对湘、桂、黔三省的代表性侗族风雨桥，利用无人机、三维点云技术等方式建造的精确测量、装饰细部的虚拟再现等建立数据库，实施全面的系统化管理。其二，工匠信息采集，对于民间散落的大木作、小木作等各类匠师进行访谈、追踪，并将信息登记入册，对其技术手段通过多种方式进行记录。其三，动捕技术运用，利用动捕技术记录风雨桥营建的各个环节、进行营造流程的3D动态模拟、教学与传播，以此推动侗族风雨桥营造技艺的数字化保护和创新发展。通

过以上措施实现建筑、技艺、工匠，“三位一体”的整体式保护。理论层面：与中国传统营造技艺的研究相比，侗族风雨桥营造技艺的研究多是在营建流程、仪式、建筑装饰等视角进行，然而在技艺保护评估体系、活态传承、技艺与工匠的关系等方面的研究较为不足，未来可以从以上方向进行研究。完善侗族风雨桥营造技艺的保护体系，为侗族文化的持续发展和传承提供新的视角和动力。此外，后续相关研究可关注少数民族民居的现代适应性改造、传统村落连片保护与发展、少数民族聚落空间活化等问题。

参考文献

[1]. 赵辰. 关于“土木/营造”之“现代性”的思考[J]. 建筑师, 2012(4):17-22.

[2]. 张欣. 非物质文化遗产视野中的传统建筑营造技艺[J]. 中国文化遗产, 2013, (3):48-54.

[3]. 赵巧艳. 中国侗族传统建筑研究综述[J]. 贵州民族研究, 2011, 32(04):101-109.

[4]. 吴浩. 中国侗族建筑瑰宝: 鼓楼·风雨桥[M]. 南宁: 广西民族出版社, 2008.

[5]. 潘世雄. 侗族鼓楼和风雨桥建筑的缘起[J]. 广西民族研究, 1995, (03):86-97.

[6]. 刘洪波. 清中晚期广西三江地区侗族风雨桥建筑造型演变探析[J]. 山西档案, 2016, (04):131-134.

[7]. 蔡凌. 侗族建筑遗产保护与发展研究[M]. 北京: 科学出版社, 2018.9, 37-39

[8]. 李雪梅, 肖大威, 肯德拉·史密斯, 等. 匠杆、仪式和生命的桥: 侗族风雨桥的营造及其文化内涵[J]. 建筑学报, 2018, (S1):105-108.

[9]. 杨保恩. 谈谈侗寨建筑艺术[J]. 广西民族学院学报(社会科学版), 1982, (02):100-103.

[10]. 吴能夫. 浅谈侗乡福桥的名称涵义及其特殊功能[J]. 贵州民族研究, 1993, (1).

[11]. 蓝勇: 《西南历史文化地理》, 西南师范大学出版社1997年版, 第439页。

[12]. 石开忠. 侗族风雨桥成因的人类学探析[J]. 贵州民族学院学报, 2010, (4).

[13]. 凌恺, 韦玉姣. 广西侗族传统风雨桥的基本建筑形制浅析[J]. 古建园林技术, 2019, (01):15-18.

[14]. 刘洪波. 侗族风雨桥建造仪式——以广西三江侗族自治县龙吉风雨桥建造为例[J]. 文化学刊, 2016, (01):174-177.

[15]. 蒋卫平. 侗族风雨桥装饰艺术探析[J]. 贵州民族研究, 2017, 38(12):136-139.

[16]. 蒋凌霞. 广西侗族地区风雨桥的建造习俗[J]. 嘉应文学, 2024, (06):143-145.

[17]. 刘彦才. 广西侗族建筑的明珠——侗团风雨桥[J]. 建筑学报, 1984, (08):62-63+51-84.

[18]. 陈功, 肖坤泽华, 李光宇. 湘桂边区域伸臂式风雨桥建筑形制及文化特征分析[J]. 室内设计与装修, 2024, (10):114-116.

[19]. 王效青, 中国古建筑术语辞典[M]. 太原: 山西人民出版社, 1996:8

[20]. 唐国安. 风雨桥建筑与侗族传统文化初探[J]. 华中建筑, 1990, (02):70-75.

[21]. 陆中午, 吴炳升. 建筑大观[M]. 北京: 民族出版社, 2004.90-91

[22]. 邓玲玲. 韦玉姣, 韦立林. 试论侗族风雨桥的环境特色[J]. 华中建筑, 2002, (03):97-99.

[23]. 覃彩鉴, 黄厚恩, 韦熙强, 李桐《壮侗民族建筑文化》. 南宁: 广西民族出版社, 2006.12

[24]. 蔡凌, 李欣瑜, 邓毅. 侗族木构建筑的实尺营造[J]. 建筑师, 2020, (04):46-52.

[25]. 杨毅. 试论侗族风雨桥的多重文化意蕴[J]. 原生态民族文化学刊, 2013, 5(02):111-114.

[26]. 刘芊芊, 莫敷建. 探析广西侗族木构建筑营造技艺与文化遗产[J]. 文化创新比较研究, 2023, 7(32):98-102.

[27]. 蒋凌霞. 掌墨师: 侗族木构建筑营造密码的解码人[J]. 文化学刊, 2019, (01):153-155.

[28]. 原琛淦, 吴腾睿, 刘洪波, 等. 人类学视角下侗族民居大木作营造解析[J]. 装饰, 2024, (01):110-117. 王玲. 侗族风雨桥的文化特性[J]. 黔西南民族师范高等专科学校学报, 2005, (01):74-76.

[29]. 王玲. 侗族风雨桥的文化特性[J]. 黔西南民族师范高等专科学校学报, 2005, (01):74-76.

[30]. 程霏, 肖东. 闽浙贯木拱廊桥与湘桂侗族风雨桥比较研究[J]. 古建园林技术, 2017, (02):22-27.

[31]. 阙跃平. 民族学视野下的侗族风雨桥[D]. 中央民族大学, 2007.

[32]. 蒋卫平. 侗族风雨桥装饰艺术探析[J]. 贵州民族研究, 2017, 38(12):136-139.

[33]. 张勇, 白洁, 李晓宁, 等. 侗族木构建筑营造技艺研究现状与趋势——基于CNKI数据的可视化研究[J]. 湖南包装, 2023, 38(02):51-55+148.

隧道喷射混凝土施工的质量控制技术研究

苟海鳌, 龙东宏, 何俊亨, 杨楷

中铁五局集团成都工程有限责任公司, 四川 成都 610031

摘 要 : 随着交通建设的快速发展, 隧道工程的质量和安全性越来越受到关注。喷射混凝土施工是隧道工程中常用的技术之一, 其质量控制对于确保隧道结构的稳定性和安全性具有重要意义。本文以 MM 工程为例探讨隧道喷射混凝土施工的质量控制技术, 包括材料选择、配合比设计、施工操作和后期养护等方面, 以期为提高隧道工程质量和安全性提供技术支持和理论依据。

关 键 词 : 喷射混凝土; 质量; 控制要点; 控制数据

Research on quality control technology of tunnel shotcrete construction

Gou Haiao, Long Donghong, He Junheng, Yang Kai

China Railway No. 5 Engineering Group Chengdu Engineering Co., LTD. Chengdu, Sichuan 610031

Abstract : With the rapid development of traffic construction, the quality and safety of tunnel engineering have been paid more and more attention. Shotcrete construction is one of the common techniques in tunnel engineering, and its quality control is of great significance to ensure the stability and safety of tunnel structure. Taking MM project as an example, this paper discusses the quality control technology of tunnel shotcrete construction, including material selection, mix ratio design, construction operation and later maintenance, in order to provide technical support and theoretical basis for improving the quality and safety of tunnel engineering.

Keywords : shotcrete; quality; control points; control data

引言

隧道工程是交通建设中的重要组成部分, 而喷射混凝土施工技术则是隧道施工中的关键环节。喷射混凝土以其快速、经济、高效的特性, 在隧道支护结构中得到了广泛应用。然而, 隧道喷射混凝土施工质量控制技术的优劣直接关系到隧道工程的安全性和使用寿命。因此, 深入研究隧道喷射混凝土施工的质量控制技术, 对于提高隧道工程质量、保障行车安全具有重要意义。隧道喷射混凝土施工质量控制涉及多个方面, 包括材料选择、配合比设计、施工工艺控制、养护措施等。在实际施工过程中, 由于施工环境复杂多变、施工人员技术水平参差不齐等因素, 往往会导致喷射混凝土出现开裂、脱落、强度不足等质量问题。因此, 需要通过科学的技术手段和方法, 对隧道喷射混凝土施工进行全过程的质量控制, 确保喷射混凝土的性能稳定可靠, 满足隧道工程的要求。

一、相关概念

(一) 喷射混凝土施工

喷射混凝土施工是一种使用压力喷枪喷涂灌筑细石混凝土的施工方法。它常用于灌筑隧道内衬、墙壁、天棚等薄壁结构或其他结构的衬里以及钢结构的保护层。在喷射混凝土施工过程中, 将预先配好的水泥、砂、石子、水和一定数量的外加剂装入喷射机, 利用高压空气将其送到喷头和速凝剂混合后, 以很高的速度喷向岩石或混凝土的表面而形成。^[1]

喷射混凝土施工可以分为干法和湿法两种。干法是将水泥、砂、石在干燥状态下拌合均匀, 用压缩空气将其和速凝剂送至喷嘴并与压力水混合后进行喷灌。而湿法则是将原材料预先加水拌和后喷射。^[2] 在实际施工中, 一般多采用湿法进行喷射混凝土作

业, 因为这种方法混凝土回弹量少, 质量易于控制。

(二) 隧道施工中混凝土喷射施工的特点

隧道施工中混凝土喷射施工的特点主要体现在其高性能结构特性、经济高效、施工速度快以及优异的物理性能等方面。

高性能结构特性: 喷射混凝土具有较高的结构密度, 抗渗性优良, 黏结强度高, 且凝固速度快。这些特性使得喷射混凝土能够显著增强公路隧道工程围岩结构的整体性, 并与围岩共同作用, 有效固化围岩岩面的松动和风化区域, 从而保障隧道结构的长期稳定性和安全性。^[3]

经济高效: 喷射混凝土的施工工艺流畅, 无需模板, 显著减少了施工中的复杂性和成本。特别是在软弱围岩的公路隧道施工中, 与传统的模注混凝土相比, 喷射混凝土可以节省5%~10%的施工成本, 有效地提高了工程的经济效益。

施工速度快：喷射混凝土的施工工艺简便快捷，终凝时间通常在几分钟到几十分钟内，具体取决于材料成分和环境条件。^[4] 其强度发展迅速，通常在喷射后的几小时内开始显著增长。虽然具体的强度增长数值可能因工程要求和材料配方而异，但喷射混凝土在24小时内通常可以达到相当高的结构强度。这种快速硬化的特性，使得喷射混凝土在需要快速支护的隧道施工场景中尤为适用。它不仅能够快速形成稳定的支护层，还能有效应对隧道施工中可能出现的各种地质变化和挑战。因此，喷射混凝土在隧道施工中以其高效、快捷和适应性强的特点，成为一种重要的施工方法。

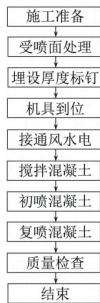
优异的物理性能：与模注混凝土相比，喷射混凝土具有更高的抗压强度、抗疲劳强度和抗渗能力。这些物理性能的提升使得喷射混凝土在隧道施工中能够更好地抵抗外部荷载、疲劳效应和渗透作用，从而延长隧道的使用寿命。

（三）隧道施工中混凝土湿法喷射施工工艺及优缺点

湿法喷射（湿喷工艺）是一种高效且重要的隧道支护施工方法。在此工艺中，按照精确比例将水泥、水和骨料混合，通过湿式喷射机充分搅拌和压送混凝土混合料。^[5] 在喷头处，加入速凝剂，使混凝土能在短时间内达到所需强度，并以高速喷射至隧道围岩岩面，形成致密的支护层。湿喷工艺的优点在于混凝土回弹量小，材料利用率高，且施工质量的控制相对容易，从而保证了施工质量。然而，该工艺也存在一些缺点，如喷射故障处理可能较为困难，机械设备清理相对不便，这可能会在一定程度上影响施工效率。^[6] 在本项目中，采用了阿里瓦湿喷机这款先进的设备。阿里瓦湿喷机以其高效、稳定、易操作的特点，确保了混凝土混合料的均匀搅拌和高速喷射。该设备采用了先进的技术和设计，不仅使混凝土能在短时间内达到所需强度，还显著减少了混凝土回弹量，提高了材料利用率。此外，阿里瓦湿喷机的维护和保养相对简便，这大大减少了施工过程中的故障和停机时间，从而提高了施工效率。通过采用这款先进的湿喷设备，不仅保证了施工质量，还降低了施工成本和维护难度，为项目的顺利推进提供了坚实的技术支持。

（四）隧道喷射混凝土施工流程

近年来，大量的新材料、新工艺、新设备被应用在隧道工程中。作为隧道施工应用技术之一的锚喷构筑法取得长足发展，其特点是：1. 速度快，支护及时、支护质量较好，强度高，密实度好；2. 省工且操作简单，支护工作量大大减少；3. 施工灵活性高，容易根据需要分次追加喷射混凝土以增加厚度。喷射混凝土施工流程见图1。



> 图1 施工流程

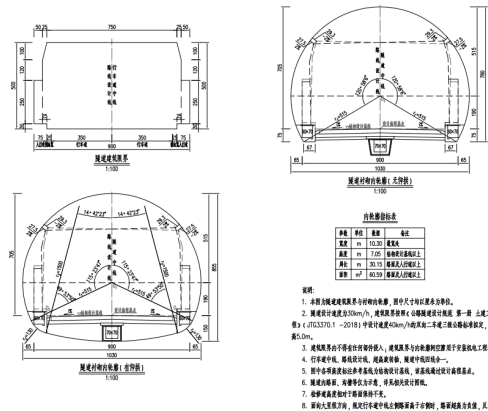
二、MM 工程隧道概况

本隧道工程位于喜马拉雅山脉，全长约9540米，设计为单洞双向两车道三级公路标准。工程地形、地质、气候条件极为复杂，涵盖积雪冰冻区、泥石流堆积扇、围岩破碎区等多种极端环境。主要岩性包括片麻岩、韧性剪切带糜棱岩和多雄拉混合岩，这些岩石类型给施工带来了高地应力、高地温、涌突水、冰冻积雪、危岩落石等多重不良地质挑战。^[7]

隧道进口段高程约3458米，出口高程约3183米，最大埋深约1300米。为确保施工安全和质量，喷射混凝土施工技术被广泛应用于隧道衬砌结构中。该技术涉及材料选择、配合比设计、施工操作、后期养护等多个环节的质量控制，每个环节都需严格控制，以确保喷射混凝土的质量和性能满足设计要求。

然而，喜马拉雅山脉的特殊地质条件使得隧道喷射混凝土施工面临诸多难题。例如，隧道进口段覆盖层厚、基岩破碎，自稳能力差，需特别加强支护和防排水措施。隧道出口则受危岩落石、崩塌和岩屑坡等多重地质因素影响，围岩稳定性极差，开挖时易发生掉块和坍塌。这些复杂的地质条件要求在施工过程中必须高度重视超前地质预报工作，并根据实际情况灵活调整施工方案。^[8]

为确保隧道喷射混凝土施工的质量和安​​全，已采取一系列质量控制措施。包括优化材料选择、严格控制配合比设计、提高施工操作的规范性和精度、加强后期养护等。同时，还引入了新技术、新材料和新工艺，以提高施工效率和质量。



三、MM 工程隧道施工中混凝土喷射施工质量控制

（一）MM 工程隧道工程喷射混凝土材料及机械质量控制

1. 原材料质量控制

在MM工程的喷射混凝土施工过程中，原材料的质量控制是确保整体工程质量和安全性的关键环节。为确保喷射混凝土的支护强度、减少回弹量，并防止管道堵塞，对各类原材料进行了严格筛选和控制。

首先，作为粗骨料的卵石或碎石，其粒径被严格控制在15mm以下。这一选择不仅有助于保证喷射混凝土的均匀性和密实性，还能有效减少回弹量，提高支护效果。其次，在水泥的选择上，

根据工程的具体需求, 选用了矿渣硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥。特别是在软弱围岩施工中, 为了确保混凝土的早期强度, 特别选用了标号等级 ≥ 42.5 级的早强水泥。此外, 对于细骨料的选择, 注重其含水量和细度模数的控制。选用含水量适中、细度模数高的中、粗砂, 不仅可以提升喷射混凝土的结构强度, 还能有效减少施工过程中的粉尘产生, 改善施工环境。在使用外加剂如速凝剂时, 进行了严格的相容性和凝结效果试验。^[9] 这一步骤确保了外加剂与水泥之间的良好相容性, 并控制了喷射混凝土的终凝和初凝时间在规定范围内, 从而保证了混凝土的性能和稳定性。最后, 对于施工用水, 进行了严格的质量控制。严禁使用含硫酸盐量超标或 pH 值过低的酸性水, 以确保喷射混凝土的结构稳定和强度发展。

2. 配合比质量控制

在 MM 公路隧道的喷射混凝土施工过程中, 配合比的质量控制是确保混凝土性能至关重要的环节。配合比的合理性直接关系到喷射混凝土的支护强度、回弹量、凝结时间以及工程整体的安全性。

首先, 针对含砂率这一关键参数, 严格控制在 45%~55% 之间。过高的含砂率会导致混凝土收缩性增强, 强度不足; 而过低的含砂率则会引起混凝土回弹量增大, 增加喷射管堵塞的风险。因此, 在 MM 工程中, 根据施工条件和设计要求, 精确调整含砂率, 确保其在合理范围内。其次, 水灰比的选择也是至关重要的。经过多次试验和实践验证, 确定在 MM 工程中, 当水灰比在 0.40~0.45 之间时, 喷射混凝土的回弹量最小, 强度达到最优。这一比例的确定, 既保证了混凝土的流动性, 又确保了其力学性能的稳定性。此外, 砂石与水泥的干集料重量比以及水泥的用量也是影响混凝土性能的重要因素。在 MM 工程中, 严格控制干集料重量比在 1 : 4~1 : 4.5 之间, 同时确保水泥的用量在 375~400kg/m³ 左右。这些措施有效地控制了混凝土的回弹量, 提高了喷射效率。最后, 针对速凝剂的掺和量, 根据公路隧道的不同区域进行了精细化的控制。在边墙区域, 速凝剂的掺和量控制在 2%~4% 之间, 以确保混凝土能够快速凝结, 满足支护要求; 在拱部区域, 同样采用这一掺和量范围, 以保证混凝土的均匀性和稳定性。^[10]

3. 施工机具性能质量控制

在 MM 工程的喷射混凝土施工过程中, 确保相关机具的性能稳定是保障施工质量和效率的关键环节。为确保机具的完好性和高效性, 进行了全面的性能质量控制。首先, 所有参与喷射混凝土施工的机具都经过了严格的气密性和水密性检查, 确保不漏气、不漏水。这是保证混凝土施工质量的基础, 能有效防止因机具问题导致的施工中断和质量问题。其次, 对于干混合料的生产能力, 要求机具的生产能力必须达到 3~5m³/h 的标准。这一要求确保了施工过程中的连续性和高效性, 满足了工程对混凝土供应速度和量的需求。同时, 为了保证喷射混凝土的均匀性和密实性, 对骨料的最大粒径进行了严格控制, 确保其小于 25mm。这一措施有助于减少混凝土中的空隙和缺陷, 提高整体结构的强度和耐久性。在输送距离方面, 根据机具的性能和混凝土的特性, 合

理限制了水平与垂直方向的输送距离。水平输送距离控制在 100m 以内, 垂直输送距离则限制在 30m 以内。这些措施确保了混凝土在输送过程中的稳定性和连续性, 减少了因输送距离过长而导致的混凝土损失和质量问题。此外, 供水设施也是喷射混凝土施工中不可或缺的一环。对供水设施进行了精确调节, 确保喷射混凝土喷头处的水压在 0.15~0.2MPa 之间。这一水压范围既能保证混凝土的充分湿润和混合, 又能避免因水压过高或过低而对喷射效果产生不良影响。

4. 平整度的控制

平整度是评价喷射混凝土支护质量的重要指标之一, 它直接关系到隧道衬砌的稳定性和使用寿命。因此, 在施工过程中, 必须采取一系列有效的质量控制措施来确保喷射混凝土的平整度。

首先, 施工前的准备工作是确保平整度的基础。这包括准确测量和标定隧道轮廓线, 确保喷射混凝土的基准面准确无误。同时, 还要检查喷射设备的性能和喷射参数的设置, 确保设备处于良好的工作状态, 并根据工程要求调整喷射压力和速度等参数。其次, 在施工过程中, 要严格控制混凝土混合料的制备质量。确保水泥、骨料和水等原材料的质量符合规范要求, 按照设计比例准确计量和搅拌。此外, 还要定期检查混凝土混合料的均匀性和流动性, 及时调整配合比, 以保证喷射混凝土的质量稳定。另外, 喷射操作过程中的技术控制也是关键。操作人员应熟练掌握喷射技巧, 确保喷射过程中混凝土均匀覆盖在隧道岩面上, 避免出现凹凸不平的情况。同时, 要根据喷射混凝土的硬化情况及时调整喷射角度和距离, 确保混凝土能够充分密实并与岩面紧密结合。此外, 施工过程中还要进行定期的质量检测和评估。通过采用专业的检测工具和方法, 对喷射混凝土的平整度进行实时监测和记录。一旦发现平整度不符合要求的情况, 要及时采取措施进行修正, 确保施工质量符合要求。最后, 施工后的养护和维护也是保证平整度的重要环节。喷射混凝土完成后, 要及时进行养护和保湿, 防止混凝土出现干裂和收缩等情况。同时, 还要定期对喷射混凝土进行检查和维护, 及时修复和处理可能出现的缺陷和问题, 确保隧道支护的平整度和稳定性。

(二) 隧道工程喷射混凝土厚度控制

在 MM 工程的隧道施工中, 喷射混凝土的厚度控制是确保隧道支护结构质量和安全性的关键环节。针对 C30 喷射混凝土, 根据不同的设计要求, 厚度存在 23cm、25cm 和 27cm 三种形式。为确保施工质量和效率, 采取了分层喷射的施工方法。

对于 23cm 厚的 C30 喷射混凝土, 采用了两次分层喷射的策略。首先, 喷射约 12cm 厚的混凝土层, 待其充分硬化并达到一定的强度后, 再进行第二次喷射, 增加至总厚度 23cm。这种策略确保了每层混凝土的均匀性和密实性, 减少了内部空洞和裂缝的产生, 从而提高了支护结构的整体稳定性。

对于 25cm 和 27cm 厚的 C30 喷射混凝土, 则采用了三次分层喷射的方法。首先, 喷射约 8cm 或 9cm 厚的混凝土层, 待其硬化并达到一定强度后, 进行第二次喷射, 增加至总厚度的三分之二左右。最后, 再进行第三次喷射, 达到最终的 25cm 或 27cm 厚度。这种施工方法不仅提高了混凝土的均匀性和密实性, 还确保

了支护结构的整体性能。

在实施分层喷射的过程中，严格控制了每次喷射的厚度和均匀性，确保混凝土能够紧密贴合岩面，避免出现喷射痕迹或凹凸不平的情况。同时，还根据具体情况调整了喷射压力和速度，以确保混凝土能够充分密实。此外，喷射完成后，及时进行了养护和保湿工作，以防止混凝土出现干裂和收缩等问题。通过这一系列的质量控制措施和技术手段，成功地实现了 MM 工程隧道工程中 C30 喷射混凝土的厚度控制，确保了隧道支护结构的质量和安全性。

（三）隧道工程喷射混凝土回弹量质量控制

在 MM 工程的隧道施工中，喷射混凝土的回弹量控制是确保混凝土质量的核心环节。回弹量过大不仅意味着混凝土强度可能不足，还增加了裂缝等质量问题的风险，从而影响隧道的安全性和耐久性。

为了有效控制回弹量，的技术人员根据现场的具体情况，对水压进行了精确的计算和调整。确保在喷射混凝土过程中，水压稳定且适中，从而避免回弹量的不必要增加。同时，也特别关注水灰比的控制。将水灰比调整至 0.45-0.50 的范围内，有助于改善混凝土的流动性和粘聚性，进一步减少回弹。

除了水压和水灰比的控制，还严格把关砂石材料的质量。确保砂石材料的粒径和级配符合规范要求，以提高混凝土的均匀性和密实性。选择湿喷工艺进行施工，该工艺能够更好地控制混凝土的喷射速度和均匀性，从而减少回弹。

在隧道工程喷射混凝土回弹量质量控制中，为确保喷射混凝土的强度和均匀性，提高隧道的安全性和耐久性，在施工过程中实施了一系列质量控制措施。这些措施不仅包括定期清理围岩表面的粉尘和保持受喷面与喷头垂直，还通过控制喷射混凝土的间隔距离和倾角，以及合理设定分层喷射间隔时间和喷层厚度来进一步减少回弹量。此外，结合喷浆工艺的具体操作要点，施工人员应采取以下措施：在开始喷浆前，确保喷射设备处于良好状态，检查喷头、输送管道和计量装置等部件的完整性和准确性。在喷浆过程中，遵循自下而上的原则进行喷射。这意味着先喷射隧道底部，然后逐渐向上移动，确保每一层喷射的混凝土都能充分覆盖前一层，减少空隙和回弹量。控制喷射速度和角度，使混凝土能够均匀分布在受喷面上。避免喷射速度过快或过慢，以及喷射角度过大或过小，这些都可能导致混凝土回弹量增加。在喷射过程中，密切关注混凝土的回弹情况。如果发现回弹量较大，

应及时调整喷射参数，如减小喷射压力、调整喷射角度或增加分层喷射的间隔时间。在每层喷射完成后，及时检查喷射质量，确保混凝土表面平整、无空鼓和裂缝等缺陷。如有需要，应及时进行修补和处理。

通过以上措施的实施，可以有效控制隧道工程喷射混凝土的回弹量，提高喷射混凝土的强度和均匀性，从而确保隧道工程的安全性和耐久性。同时，这些措施也有助于提高施工效率和质量，降低工程成本和维护成本。

（四）隧道工程喷射混凝土养护质量控制

在 MM 工程的隧道施工中，喷射混凝土的养护质量控制是确保混凝土性能与耐久性的重要环节。由于隧道施工现场环境的特殊性，如高温、低湿度等不利条件，容易导致混凝土在养护过程中出现水分蒸发过快、水泥水化程度降低等问题，进而引发混凝土裂缝，破坏其抗渗性和稳固性。

为确保混凝土的质量，MM 工程在喷射混凝土的养护工作中采取了多项有效措施。首先，定期对混凝土表面进行洒水保湿处理，以减缓水分蒸发速度，保持混凝土表面的湿润状态。这不仅为水泥水化反应提供了必要条件，还有助于提高混凝土的强度和耐久性。

在养护期间，还持续监测隧道内部的环境条件，包括温度和湿度等参数。根据这些环境信息，科学制定养护计划，调整单次洒水量和洒水养护的频率，以适应不同的施工情况。这种灵活的养护策略确保了混凝土在不同环境条件下都能得到充分的养护。当混凝土出现裂缝等质量问题时，及时采取有效的处理措施。对于混凝土表面形成的微小裂缝，首先清理裂缝表面，确保裂缝内无杂物和灰尘。然后，均匀涂刷环氧树脂胶泥来封闭裂缝，以防止问题进一步恶化。这种快速响应和精准处理的方式确保了混凝土结构的完整性和安全性。

四、结语

隧道喷射混凝土施工的质量控制技术研究至关重要，因为喷射混凝土施工技术的合理应用直接关系到隧道衬砌结构的受力情况和实际使用寿命。为确保工程质量达标和技术优势充分发挥，企业需积极采取质量控制措施，如材料选择、配合比设计、施工操作和后期养护等环节的严格监管，并不断创新和优化施工技术。只有这样，才能确保隧道工程的安全性、稳定性和经济性，为地下交通建设做出更大的贡献。

参考文献

- [1] 田伟宇，柏春林，姜嘉男. 隧道工程混凝土施工质量控制措施 [J]. 四川水泥, 2022(2):196-197
- [2] 张杰，蔡维山，陈诚，等. 基于正交试验的固液耦合相似材料研究 [J]. 水利水电技术, 2020, 51(5):174-182.
- [3] 胡晓东，黄俊友，於林，等. 胶凝材料粒径分布及粉煤灰掺量对混凝土耐盐腐蚀能力影响的差异性分析 [J]. 水利水电技术, 2012, 43(3):95-98.
- [4] 张静，左双英，张彦召，等. 岩质相似材料配比的正交试验研究 [J]. 水利水电技术, 2019, 50(3):161-168.
- [5] 杨永民. 配合比参数对喷射混凝土回弹率的影响研究 [J]. 人民珠江, 2021, 42(2):57-60.
- [6] 郭永忠. 隧道湿喷混凝土回弹率影响因素及施工工艺研究 [J]. 科技研究, 2021(3):18-21,178
- [7] 高雪. 长大铁路隧道多工区多工作面施工组织管理技术研究 [D]. 四川: 西南交通大学, 2019.
- [8] 张伟. 山岭隧道开挖灾害预防与控制技术研究 [D]. 湖南: 中南大学, 2008.
- [9] 全明威. 滇中引水洞Ⅳ类水平层状围岩爆破超挖机理及控制技术研究 [D]. 北京: 北京交通大学, 2023.
- [10] 张明. 湿喷稠流混凝土技术研究 [D]. 北京: 中国地质大学 (北京), 2003.

MM 工程高边坡开挖工程施工工艺重点分析

张兴盛¹, 曾涛², 陈飞运¹, 何俊亨¹

1. 中铁五局集团成都工程有限责任公司, 四川 成都 610031

2. 中国中铁股份有限公司总承包分公司, 广东 广州 510335

摘 要： 本文聚焦于工程高边坡开挖施工技术的改进与创新研究。运用南方 Cass9.0 软件，对 MM 工程的高边坡实测地形数据进行了深入剖析，精确确定了边坡上口线位置，并进行了道路横断面分析。在地质勘察资料的基础上，我们优化了施工方法，确保了施工的安全性和质量。研究结果表明，通过充分利用现代科技手段进行地形分析和施工方法优化，结合实时监测，我们实现了工程的高效、精确施工。这一成果对于提升类似工程的施工质量和技术水平具有重要意义，为工程领域的持续发展提供了有力支撑。

关 键 词： 高边坡；南方 Cass9.0；坡度控制；精准

Analysis on construction technology of MM high slope excavation engineering

Zhang Xingsheng¹, Zeng Tao², Chen Feiyun¹, He Junheng¹

1: China Railway No. 5 Engineering Group Chengdu Engineering Co., LTD. Chengdu, Sichuan 610031

2: General Contracting Branch of China Railway Group Limited, Guangzhou, Guangdong 510335

Abstract： This paper focuses on the improvement and innovation of construction technology of high slope excavation. By using Cass9.0 software in the South, the measured topographic data of the high slope in MM project are analyzed deeply, the position of the upper edge of the slope is precisely determined, and the road cross section is analyzed. On the basis of geological survey data, we optimized the construction method to ensure the safety and quality of construction. The results show that by making full use of modern scientific and technological means for terrain analysis and construction method optimization, combined with real-time monitoring, we achieve efficient and accurate construction of the project. This achievement is of great significance for improving the construction quality and technical level of similar projects, and provides a strong support for the sustainable development of the engineering field.

Keywords： high slope; south Cass9.0; slope control; precision

引言

公路边坡施工中，高边坡的安全与稳定问题一直备受关注。传统的单坡渐进法、精确剖面法等方法，虽简便但难以满足高边坡放样的精度需求，导致施工效率低下。纵、横剖面曲线法虽精度较高，却增加了复测工作的时间成本。同时，传统的高边坡开挖方式存在诸多不足，如忽视复杂地形地貌、计算方法简单等，这不仅影响施工效率，还带来安全风险。鉴于此，本文旨在解决传统方法在高边坡开挖中的技术空白。以 MM 工程为例，引入了新技术、新工艺和新设备，对传统施工方法进行了全面改进。这一创新方案不仅实现了高边坡的精确开挖，还显著提升了施工效率与安全性。通过本研究，我们验证了新方法的合理性和有效性，为未来的高边坡开挖施工技术提供了宝贵的经验和建议。这一探索不仅有助于推动工程领域的技术进步，也为类似工程提供了有力的技术支撑。

一、相关概念

（一）高边坡

高边坡是指土质边坡高度大于 20m 且小于 100m，或岩质边坡高度大于 30m 且小于 100m 的边坡。这些边坡的高度因素对其稳定性产生重要作用和影响，因此在边坡稳定性分析和防护加固

工程设计时，需要进行个别或特别的设计计算。这些边坡因其特殊的高度范围而被定义为高边坡，需要特别的工程关注和处理。^[1]

（二）高边坡开挖施工原则

高边坡开挖施工应遵循一系列严格的原则和要求。在开挖与支护过程中，需确保各工序间的精确衔接与配合，以保持整体稳定性，并禁止一次性开挖后再支护。同时，应持续观察地质条

作者简介：

张兴盛（1987.11-），男，汉族，陕西西安，副经理/工程师，本科，中铁五局成都工程有限责任公司，研究方向：公路路桥；

曾涛（1986.04-），汉族，四川省遂宁市蓬溪县，中国中铁西藏 XY 工程指挥部工程部副部长/工程师，本科，中国中铁股份有限公司总承包分公司；

陈飞运，中铁五局成都工程有限公司；

何俊亨，中铁五局成都工程有限公司。

件,核实与勘察报告的一致性,并在发现不符或异常情况时立即暂停施工。施工场地应实行封闭管理,设置规范围挡和警示标志,确保施工环境的安全与秩序。施工人员需遵守规章制度,规范操作,并佩戴劳保防护用品,以确保个人安全。在施工过程中,应保持对环境的高度警惕,避免在开挖区域不必要停留。^[2]此外,应设置醒目的警示标志和夜间照明,定期检查和维修。为保障施工人员的身体健康,应定期组织体检,并及时调整不适合岗位的人员。材料应有序存放,工具应妥善管理,禁止抛掷传递。在暴雨、暴雪、大风等极端天气下,应暂停施工以确保安全。最后,为防止边坡被雨水冲刷,应修筑排水沟进行截流排水,并在每级边坡成型后及时复核坡率,迅速施工锚索框架梁防护,确保边坡的稳定性和施工安全。

(三) 高边坡开挖施工顺序

高边坡的开挖工序要严格,必须先经过精密的勘测,才能确定出开挖的路线及开挖的深度。然后修建道路,方便机器和人员的出入。施工前,先将绿化植物、障碍物、居民住宅等清理干净,然后再进行排洪、清淤。然后,利用挖掘机等机械设备,按照设计的深度、坡度,逐层开挖,并保证各层的开挖深度。在开挖后,需要对坡面进行人工修整,以满足设计的坡度、平面度。在一层开挖、修整完毕后,立即对边坡进行锚杆、锚索、框架梁等支护工程。当基坑支护结束后,才能继续下一层的土方,直到基坑开挖、支护结束为止。施工期间,要密切关注工程地质情况,保证勘察结果符合设计要求,施工与支护配合;保证了边坡的稳定,保证了施工的安全性。在此过程中,要注重员工的行为规范,劳动保护,材料的存放,工具的管理,才能保证工程的安全与质量。^[3]

(四) 高边坡开挖稳定性影响因素

1. 外在因素

高边坡开挖的稳定性受到多重外在因素的影响,包括自然环境和人类活动两个方面。自然环境如降水、地震和风化作用等,对边坡稳定性具有重要影响。其中,降水通过提高地下水位和改变渗流场来影响边坡,而地震则能瞬间改变边坡应力状态,产生破坏。风化作用则通过改变边坡形态和整体性来降低岩石强度。此外,植被的破坏也可能加剧雨水冲刷,影响边坡稳定。人类活动如开挖卸荷、坡顶加载、地下开挖、爆破振动等也会对边坡稳定性产生显著影响。不合理的施工工艺和施工方法,以及盲目抽水等行为都可能加剧边坡的不稳定性。因此,在边坡开挖工程中,需要综合考虑这些外在因素,采取相应的预防和控制措施,以确保边坡的稳定性和工程的安全。^[4]

2. 内在因素

高边坡开挖的稳定性受到多重内在因素的影响,这些因素主要涉及地质构造、岩土体性质以及边坡内在应力。

(1) 地质结构是影响边坡稳定的一个重要因素。结构面与结构体是斜坡稳定性与强度的重要组成部分。节理、裂隙、软弱面等结构面的存在,不仅降低了岩石的整体性、强度,而且还会改变岩石的非均质性、各向异性及非连续性。岩层倾向也是斜坡稳定的主要因素,岩层方向不同,斜坡的安全系数也不同。

地层倾向对边坡稳定也具有重要影响。边坡地层有三种情况:顺坡向、逆坡向和水平,如图1所示。对于三种情况,在其他条件都相同时,边坡安全系数大小关系为 $K_2 > K_3 > K_1$ 。



> 图1 边坡地层倾向示意图

(2) 岩土体性质是决定边坡稳定性的物质基础。这包括岩土体的矿物成分、强度以及成因类型等。岩土体的力学参数,如重度、粘聚力和内摩擦角等,会直接影响其抗风化能力、抗软化能力以及强度特性。岩石的颗粒成分、矿物成分和结构构造决定了其力学性质,而这些因素又受到岩石成因和历史过程的影响。

(3) 边坡内在应力是控制边坡稳定性的另一个关键因素。内在应力能够影响岩土体内的节理、裂隙等结构面的发育过程。水平向地应力尤其重要,因为它能够影响边坡的剪应力和拉应力。地应力的大小与重力、构造运动和人类活动密切相关。边坡岩土体内的应力分布是不均匀的,且随深度增加而增大。^[5]

二、MM 工程高边坡开挖工程施工工艺重点分析

(一) 工程概况

MM 工程位于中国西藏,该项目主要涉及道路沿线的开挖工作,旨在构建和完善区域内的交通网络。目前,道路沿线部分已进行了开挖,但大部分区域尚未开挖到位。该道路的设计路基宽度7.5米,道路两侧分别设有边沟和排水沟等排水系统,以确保排水畅通,维护道路的正常使用。

从线路走向来看,拟建线路由西向东,山体位于南北方向,线路处于高山峡谷地貌,高程在2950 ~ 3400m 之间,线路边坡最大高度达到32.8米,主要地层为 <4-1-2> 可塑状砂质黏土、<8-4-1> 松散-稍密卵石土、<8-4-2> 中密卵石土和 <8-4-3> 密实卵石土,透水性较强,地表植被发育,开挖过程对边坡的防护要求较高。为了确保边坡的稳定性和安全性,在边坡设计中采用了坡率法,即从道路外边偏移3米,以1 : 1的比例向上放坡开挖,边坡分级高度为8米,平台宽度均为2米,这种方法可以有效减少边坡滑坡和崩塌的风险,保证道路施工和使用过程中的安全。^[6]

(二) 高边坡上口线的确定

在MM 工程的高边坡开挖工程中,确定边坡上口线的位置和准确性是至关重要的一环。这项工作的繁琐程度与重要性并存,因为它直接关系到土方开挖的成本、边坡的安全性和整体工程质量。为了确保上口线确定的精准性,采用了南方 Cass9.0软件,并结合现场实测的地形图进行计算。

1. 委托测绘工程师使用全站仪对场区进行详细的地形测量,并据此绘制出现场实际的地形图。这一步骤确保了所有地形数据都是基于实地测量,为后续的边坡开挖计算提供了准确的基础。^[7]

2. 利用南方 Cass9.0 软件, 根据开挖前现场实测的地形数据, 进行边坡土方开挖计算。具体操作是, 在 Cass9.0 的“工程应用”选项卡中选择“DTM 土方计算”, 然后根据坐标文件选择已经绘制好的道路及坡底开挖范围。再选择实测的地形数据文件, 并在弹出的“DTM 土方计算参数设置”对话框中填写相应参数, 特别关注边坡设置参数的填写。这些参数将直接影响边坡上口线的计算结果。

3. 计算完成后, 根据生成的 dtmtf.log 文件及边坡开挖计算结果, 使用 Cass9.0 软件绘制边坡开挖上口线。这一步骤是关键, 因为它将直接指导后续的土方开挖工作。为了确保上口线的准确性, 采用了尽可能小的采样间距, 以确保与现场实际地形的高度一致性。^[9]

4. 根据绘制的边坡开挖上口线, 使用 Cass9.0 提取坐标数据, 并使用全站仪进行测设。这一步骤确保了上口线的精确测设, 为后续的土方开挖工作提供了准确的指导。

(三) 施工方法的优化

该项目所处的斜坡从上到下都是以淤泥质粘土为主, 这一段的施工比较容易。但由于该边坡中段下部多为中风化泥页岩, 因此施工难度较大。在常规的做法中, 通常是在坡顶开挖维修坡, 然后向下抛土, 由位于坡下的挖掘机负责将土方从后方向后方安全地卸到翻斗车上。该方案是可行的, 但是其工作效率不高, 而且还会带来一些潜在的风险。^[9] 为进一步提升隧道的建设速度, 保证隧道的安全性, 项目对隧道剖面进行了详细的研究, 目的是寻求一种更加有效、更加安全的隧道开挖方案。

1. 道路横断面图分析

(1) 绘制道路横断面图

使用南方 Cass9.0 软件绘制出道路横断面图。具体步骤如下: 数据准备: 首先, 需要准备相关的道路设计数据, 包括道路的中心线、横坡、纵坡、设计宽度等信息。绘制中心线: 在 Cass9.0 中, 首先绘制出道路的中心线。添加横断面设计: 基于中心线, 添加每个横断面的设计数据, 包括横坡、纵坡等。生成横断面图: 使用 Cass9.0 的横断面分析功能, 自动生成横断面图。

(2) K0+140 ~ K0+220 道路横断面图分析

本文以该工程 K0+140 ~ K0+220 道路横断面图进行分析如下: 开挖区域明确: 阴影部分标识了需要开挖的区域, 这些区域从道路外边开始, 向外扩展 3m, 并以 45° 的角度放坡。开挖形状特点: 从图中可以看出, 每个道路剖面的开挖部分都呈现出“上面较窄, 下面较宽, 中间宽度大致一样”的特点。这种开挖形状有利于确保边坡的稳定性和施工的安全性。^[10] 开挖宽度范围: 中间的开挖宽度大致在 8 ~ 10m 之间, 这为施工提供了明确的参考范围。

2. 边坡开挖施工方法

(1) 施工方法概述

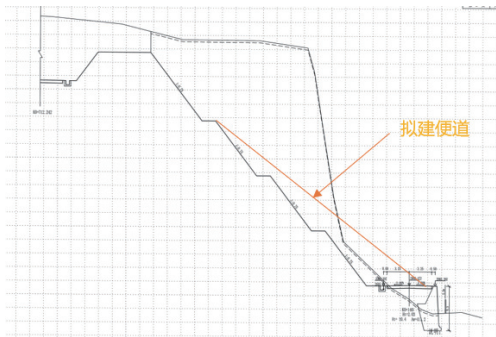
在边坡开挖工程中, 为了确保施工效率、安全性和成本效益, 我们采用了一种科学的开挖方法: 分层分段、由上而下进行。此方法将边坡按高度划分为若干开挖层, 每完成一层的开挖, 立即修建一层平台, 为挖机和渣土车提供安全作业空间。这

种逐层开挖的方式不仅简化了施工流程, 降低了施工难度, 还显著提高了施工效率。同时, 每层平台的及时修建确保了施工人员的安全, 有效避免了因地质条件变化导致的施工中断。此外, 通过合理规划每层的高度和平台位置, 我们减少了土方开挖量和渣土运输量, 从而显著降低了施工成本。这种分层分段的开挖方法不仅体现了我们对工程质量的追求, 也展示了我们在成本控制和环境保护方面的重视, 确保了边坡开挖工程的高效、安全和经济性。

(2) 具体施工步骤

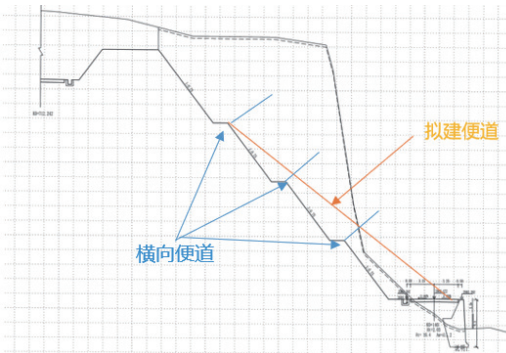
分层分段开挖: 从上至下逐层开挖, 每层高度根据地质条件和机械性能确定, 以边坡分级高度 8 米为每级标注。每开挖一层, 立即修建一层平台, 确保挖机和渣土车的作业安全。

设计出土道路: 在 K0+140 ~ K0+220 段, 设计一条坡度约为 10% 的出土道路, 从坡底延伸至边坡中部, 供渣土车和挖掘机上下山坡。挖掘机从 K0+140 开始, 由北向南、由下往上开挖一条宽 6m 的双车道上坡路。



修建平台和行车路: 挖掘机在边坡中部 (高程为 2958m 附近) 开始, 从上坡口线往下一层一层开挖, 同时修建贯穿南北、宽度为 6m 的平台。每挖一层即修建一层平台, 渣土车行进至 10% 上坡路段时, 需遵循交通规则, 上坡车让下坡车先行, 确保行车安全。安排专人负责车辆调度, 确保施工现场的交通秩序。

山体开挖与平台修建: 在 K0+140 ~ K0+220 路段, 挖机从 0+140 处开始, 开挖一条坡度为 10%、宽度大于 6m 的上坡行车路后, 在每级台阶处修建一条宽度大于 5m 的平台, 然后分层开挖边坡, 每开挖一层即修建一层平台, 直至挖机臂长能够触及坡底所修平台。挖机在坡脚从最后所修平台处直接修坡至设计位置, 完成边坡开挖。



在五级边坡的分层施工中, 将整个边坡按照其高度和稳定性要求划分为五个不同的层级, 每个层级都有不同的开挖深度和相

应的施工要求。首先,从最顶层开始,即第一级边坡,这里的开挖深度相对较浅,主要目的是为了初步形成边坡的轮廓,并为后续施工提供稳定的基础。随着施工的进行,逐渐向下进行第二级、第三级边坡的开挖。每一级的开挖都要确保边坡的稳定性,因此在开挖过程中会进行必要的边坡支护和加固工作,如设置挡土墙、打设锚杆等。当进行到第四级和第五级边坡时,由于开挖深度逐渐增加,地质条件可能变得更加复杂,因此施工难度也会相应增大。在这个阶段,需要更加严格地控制开挖进度,加强边坡监测,确保施工过程中的安全。同时,为了进一步提高边坡的稳定性,可能会采用更加先进的支护技术,如预应力锚索、喷射混凝土等。五级边坡的分层施工是一个逐步深入、层层递进的过程。通过合理的分层开挖和边坡支护措施,我们可以确保边坡的稳定性和施工安全,同时提高施工效率,降低施工成本。这种方法不仅体现了我们对工程质量的追求,也展示了我们在技术创新和环境保护方面的重视。

三、道路高边坡开挖施工中坡度的控制

在道路高边坡开挖施工中,坡度的控制是确保工程安全和质量的关键环节。通过实施一系列科学有效的控制措施,能够精确掌握开挖面的坡度,从而避免少挖、超挖等问题的发生。

(一) 开挖过程中的坡度控制

在开挖每一层时,采用坡度测量仪指导挖机每隔5m 做一个标准开挖面。这一措施确保了开挖面的准确性和规范性。随后,以这些标准开挖面为参照,进行后续的开挖工作。每层开挖完成后,利用全站仪对边坡坡度进行精确检查,确保其处于合理范围内。如果发现边坡坡度存在较大偏差,会立即进行修正,从而确保边坡的稳定性和安全性。

(二) 优化坡度测量尺的应用

鉴于市面上常规的坡度测量尺长度较短,无法满足高边坡施工的需求,进行了相应的优化。通过在工程检测尺上安装坡度测量仪,制作了一个长度约为2m 的坡度测量尺。这一创新工具能够在开挖每一层时,为挖机提供45° 的标准开挖面指导。这不仅提高了施工效率,还确保了开挖面的准确性和稳定性。

(三) 单片机坡度测量仪的研发与应用

为了进一步提高施工安全性和效率,工程监管人员自行研发了单片机坡度测量仪。这一测量仪由数据收集整理模块和数据接收显示模块构成,实现了对开挖坡度的实时检测。在挖机工作范围内进行测量工作时,测量人员无需亲自上阵,从而大大降低了安全风险。

(四) 技术细节与数据支持

所采用的单片机 IC 芯片为 STC89C52RC-40I-PDIP40 直插型集成电路,数据采集使用 ADXL345 传感器,数据的发送则依赖 nRF24L01 无线接口模块。这些先进技术的结合,确保了数据的准确性和实时性。同时,为了保护测量模块免受挖机工作过程中的土石碰撞损坏,在元器件外侧焊接了保护装置。

在数据显示方面,采用 LCD1602 显示屏,能够直观地显示

度数和字符,为施工人员提供了清晰、形象的视觉信息。此外,数据的接收同样使用 nRF24L01 无线接口模块,实现了数据的快速、稳定传输。

四、结语

在 MM 工程中,针对传统施工方法进行了创新性的改进,显著提升了工程质量与效率。通过运用南方 Cass9.0 软件精准定位边坡上口线,确保了开挖的精确性;结合地质勘察资料优化施工方法,进一步增强了施工的安全性和稳定性;而在挖机上安装自制的单片机坡度测量仪,则实现了对开挖坡度的实时检测,大幅减少了人工复核的工作量。具体来说,新工艺的应用在成本降低方面取得了显著成效。通过优化施工方法、提高施工效率,新工艺减少了人力和物力的投入,从而降低了施工成本。此外,新工艺还通过提高原材料的利用率和减少能源消耗等方式,进一步降低了成本。根据初步估算,新工艺应用后,相比传统方法,成本降低了约 35%。这些改进措施不仅在本项目中取得了显著成效,得到了监理、设计、业主等各方的一致好评,同时对于类似的高边坡工程施工也具有重要的参考价值。它们共同证明了技术创新在提升工程质量和效率方面的巨大潜力。

然而,也意识到目前的技术仍有待进一步改进。例如,自制单片机坡度测量仪虽然能够测量坡度,但仍无法采集坐标数据,这在一定程度上限制了其应用范围。为了彻底解决这个问题,相信,随着技术的不断进步和创新,一定能够找到解决这一问题的最佳方案。

综上所述,高边坡开挖工程施工工艺的改进是一个持续不断的过程。需要不断地探索新的技术和方法,不断地优化和完善施工流程,以确保工程的安全、质量和效率。同时,也期待与更多的同行和专家进行交流与合作,共同推动高边坡开挖工程施工技术的进步和发展。

参考文献

- [1] 高文静. 高速公路改扩建路段岩质高边坡稳定性分析 [D]. 西安:长安大学,2017.
- [2] 黄举松,卿翠贵,姚文杰. 浅析已运营高速公路高边坡安全风险防控工作研究 [J]. 西部资源,2017(2):123-125.
- [3] 宋子东. 高边坡施工的精确放样技术 [J]. 海岸工程,2020,23(2):3337.
- [4] 张宁宁. 高速公路高边坡防护预应力锚索施工技术研究 [J]. 交通世界,2022(11):96-97.
- [5] 王永学,张强. 公路高边坡防护工程中预应力锚索技术的具体应用 [J]. 低碳世界,2021,11(6):247-248.
- [6] 罗大会,徐炳生. 大孔径光面爆破技术在高边坡岩体开挖中的应用 [J]. 长江科学院院报,1999,16(4):53-55.
- [7] 黄正镔. 重庆茶涪路高边坡开挖对侧下方隧道安全性影响研究 [D]. 重庆:重庆交通大学,2020.
- [8] 陈绪春,周绍武. 三峡工程双线五级船闸高边坡深层岩体变形监测 [J]. 大坝与安全,2004(4):8-10.
- [9] 屈建军. 裂隙砂岩渗流场与应力场耦合的试验研究及其工程应用 [D]. 湖北:三峡大学,2010.
- [10] 孙书伟. 顺层高边坡开挖松动区研究及微型桩加固边坡的内力计算 [D]. 中国铁道科学研究院,2006.

石灰石 - 石膏湿法脱硫设备的技术特点及其优化

冯子君

华电滕州新源热电有限公司, 山东 滕州 277500

摘 要： 石灰石 - 石膏湿法脱硫技术是一种高效的脱硫方法，具有高脱硫效率、副产品利用价值高和环境友好等优点。本文首先介绍了石灰石 - 石膏湿法脱硫技术的原理及工艺流程，然后分析了脱硫设备的技术特点，包括设备组成、技术优势及存在问题。最后，针对设备存在的问题，提出了设备结构、流体力学和控制系统优化的策略，旨在提高脱硫效率，降低能耗，减少设备腐蚀和堵塞。

关 键 词： 石灰石 - 石膏；湿法脱硫；设备

Technical characteristics and optimization of limestone-gypsum wet desulfurization equipment

Feng Zijun

Huadian Tengzhou Xinyuan Thermal Power Co., LTD. Tengzhou, Shandong 277500

Abstract： Limestone-gypsum wet desulfurization technology is an efficient desulfurization method, which has the advantages of high desulfurization efficiency, high utilization value of by-products and environmental friendliness. This paper first introduces the principle and process of limestone-gypsum wet desulfurization technology, and then analyzes the technical characteristics of desulfurization equipment, including equipment composition, technical advantages and existing problems. Finally, according to the existing problems of the equipment, the equipment structure, fluid mechanics and control system optimization strategies are proposed to improve the desulfurization efficiency, reduce energy consumption, and reduce the equipment corrosion and blockage.

Keywords： limestone-gypsum; wet desulfurization; equipment

引言

随着环保意识的不断提高，火电厂等工业排放源的脱硫技术受到广泛关注。石灰石 - 石膏湿法脱硫技术作为目前应用最广泛的脱硫方法，具有显著的环保效果。然而，在运行过程中，设备能耗高、腐蚀和堵塞等问题也日益突出。因此，本文将针对石灰石 - 石膏湿法脱硫设备的技术特点及其优化进行探讨。

一、石灰石 - 石膏湿法脱硫技术原理

（一）脱硫原理

石灰石 - 石膏湿法脱硫技术是基于石灰石（主要成分是碳酸钙）作为脱硫剂，与烟气中的二氧化硫（SO₂）发生化学反应，从而去除烟气中的 SO₂。脱硫过程通常在一个称为脱硫塔的设备中进行^[1]。当烟气进入脱硫塔时，它会与喷淋系统喷洒的石灰石浆液接触。石灰石浆液中的 CaCO₃与 SO₂发生化学反应，生成亚硫酸钙（CaSO₃）和二氧化碳（CO₂）。随后，亚硫酸钙在氧化空气的作用下被氧化成硫酸钙（CaSO₄），即石膏。石膏是一种有用的工业副产品，可以用于建筑材料或土壤改良等。通过这一过程，烟气中的 SO₂被有效去除，减少了环境污染。

（二）反应机理

烟气中的 SO₂溶解在喷淋浆液中，与水分子结合形成亚硫酸（H₂SO₃）。亚硫酸在浆液中进一步分解，释放出 SO₂和 H₂SO₄。SO₂与浆液中的 CaCO₃反应，生成 CaSO₃和 CO₂。在氧化空气的

作用下，CaSO₃被氧化成 CaSO₄。CaSO₄与浆液中的水分结合，形成石膏晶体^[1]。

（三）工艺流程

烟气首先经过预处理，如除尘和冷却，以满足脱硫条件。预处理后的烟气进入脱硫塔，与喷淋的石灰石浆液接触，发生脱硫反应。脱硫后的浆液进入氧化池，在氧化空气的作用下，亚硫酸钙被氧化成硫酸钙。氧化后的石膏浆液通过脱水系统进行处理，得到干燥的石膏产品。脱硫后的烟气经过除雾器去除水分，然后排放到大气中^[2]。生成的石膏可以作为建筑材料或土壤改良剂等，实现资源化利用。

二、石灰石 - 石膏湿法脱硫设备的技术特点

（一）设备组成

1. 脱硫塔

脱硫塔是石灰石 - 石膏湿法脱硫系统的核心部件，它的设计和

工作效率直接关系到脱硫效果。脱硫塔通常由塔体、喷淋系统、脱硫剂循环系统、氧化空气系统、除雾器等组成。塔体通常采用耐腐蚀的材料制造,以承受浆液的冲刷和化学侵蚀。喷淋系统负责将石灰石浆液均匀喷洒在烟气中,以充分接触和反应。脱硫剂循环系统确保脱硫剂的连续供应和循环使用。氧化空气系统为亚硫酸钙的氧化提供必要的氧气^[2]。除雾器则用于去除烟气中的水分和雾滴,减少排放的污染物。脱硫塔的设计需考虑气液接触效果、压力损失、塔内件的布局等因素,以保证高效的脱硫性能。

2. 石灰石制备系统

石灰石制备系统负责将石灰石原料转化为适合脱硫的浆液。系统包括石灰石的破碎、磨粉、浆液制备和输送等环节。破碎和磨粉是为了将石灰石颗粒减小到适当的尺寸,以增加其与SO₂的反应面积。浆液制备是通过将磨细的石灰石与水混合,形成一定浓度的浆液。输送系统则将浆液输送到脱硫塔中^[3]。石灰石制备系统的关键在于保证浆液的稳定性和质量,以确保脱硫效率。

3. 石膏脱水系统

石膏脱水系统是脱硫工艺的后处理部分,它将脱硫过程中生成的石膏浆液转化为干燥的石膏产品。脱水系统通常包括真空过滤机、压滤机或离心机等设备。这些设备通过物理或机械方法去除石膏浆液中的水分,得到含水量较低的石膏。石膏脱水系统的效率直接影响石膏的质量和副产品的价值。此外,脱水过程产生的滤液需要经过处理,以去除其中的污染物,然后才能排放或循环使用^[4]。石膏脱水系统的设计需要考虑脱水效率、能耗、自动化程度等因素。

(二) 技术优势

1. 脱硫效率高

石灰石浆液能够充分与烟气中的SO₂接触,通过液相和气相之间的质量传递,实现高效的SO₂吸收。脱硫塔内部通常设计有多个喷淋层和填料层,增加了气液接触面积,提高了SO₂的去除率。此外,氧化过程确保了亚硫酸钙完全转化为硫酸钙,减少了SO₂的逃逸^[4]。在现代脱硫塔中,脱硫效率可达到90%以上,甚至在某些优化的系统设计中,效率可以超过95%,显著降低了SO₂排放量,符合严格的环保标准。

2. 副产品利用价值高

石灰石-石膏湿法脱硫技术产生的副产品石膏具有很高的利用价值。石膏是建筑材料的重要原料,可用于生产石膏板、石膏砌块等,同时还可以作为土壤改良剂、水泥缓凝剂等。由于石膏的纯净度和质量较高,其在市场上的需求量大,经济价值显著。这不仅为企业创造了额外的经济效益,而且实现了资源的循环利用,减少了废物的排放,有助于形成可持续发展的循环经济模式。

3. 环境友好

石灰石-石膏湿法脱硫技术具有显著的环境友好特性。可以有效减少SO₂的排放,减轻酸雨和空气污染对环境的影响。通过回收利用石膏,减少废物的堆放和处理,降低环境污染。脱硫过程中产生的废水经过处理后可以循环使用,减少对水资源的消耗和废水的排放。脱硫塔的设计和运行也考虑了噪声和振动控制,减少了对周边环境的影响^[5]。因此,石灰石-石膏湿法脱硫技术不仅符合环保要求,而且在实际应用中对环境的整体影响较小。

(三) 存在问题

1. 能耗较高

脱硫塔的喷淋系统需要大量的泵送能量,以保证石灰石浆液的循环和均匀分布。氧化过程需要大量的氧化空气,这也增加了能耗。石膏脱水系统中的设备如真空过滤机和压滤机等,也需要较大的动力消耗。此外,为保证脱硫效率和石膏质量,系统中的浆液循环和净化处理也需要不断消耗能源^[6]。这些因素综合起来,使得整个脱硫系统的能耗较高,不仅增加了运行成本,也限制了其在某些条件下的应用。

2. 设备腐蚀

在石灰石-石膏湿法脱硫过程中,设备腐蚀是一个常见问题。脱硫剂浆液中含有酸性物质,如亚硫酸和硫酸,这些物质对金属设备有较强的腐蚀性。脱硫过程中产生的石膏浆液也会对设备造成腐蚀。长时间的腐蚀会导致设备壁厚减薄、结构强度下降,甚至发生泄漏,影响系统的稳定运行和脱硫效率^[6]。腐蚀不仅会增加维修和更换设备的成本,还可能对环境和操作人员的安全构成威胁。

3. 设备堵塞

堵塞主要发生在脱硫塔的喷淋系统和石膏脱水系统。在喷淋系统中,石灰石浆液的颗粒可能会积累在喷嘴和管道中,导致喷嘴堵塞,影响浆液的均匀分布和脱硫效率。在石膏脱水系统中,滤布和滤室可能会因为石膏颗粒的积累而堵塞,影响脱水效率和石膏质量^[6]。设备堵塞需要定期清理和维护,这不仅增加了工作量,也可能导致系统停机,影响正常的生产和排放控制。

三、石灰石-石膏湿法脱硫设备的优化

(一) 设备结构优化

1. 脱硫塔结构优化

改进塔体设计,采用更高效的填料层或喷淋层结构,以增加气液接触面积,提高SO₂的吸收效率。优化喷淋系统的布局,确保石灰石浆液能够均匀分布在塔内,减少死区,提高脱硫效果^[7]。采用耐腐蚀和抗磨的材料,可以提高塔体结构的稳定性和耐用性。还可以通过增加脱硫塔的高度或直径来提高处理能力,同时考虑减轻塔体的重量和风阻,降低能耗。

2. 喷淋系统优化

改进喷嘴设计,使用高效的喷嘴,以增加喷淋覆盖面积和浆液雾化效果,提高脱硫剂与烟气的接触效率。优化喷淋层的布置,减少层间距,增加喷淋层数量,以提供更多的脱硫反应机会。采用可调节的喷淋系统,可以根据烟气中SO₂的浓度实时调整喷淋量,实现精确控制,减少能耗^[7]。同时,考虑喷淋系统的自清洁能力,减少堵塞和维护需求。

3. 除雾器优化

除雾器是脱硫塔后部的重要设备,用于去除烟气中的雾滴,防止石膏浆液随烟气排放。改进除雾器的结构设计,采用高效的除雾器材料,如玻璃钢或聚丙烯,以提高除雾效率。优化除雾器的布置,增加除雾器的叶片数量或间距,以提高雾滴的捕获率。采用可冲洗的除雾器,可以定期清洗除雾器表面,防止堵塞和腐

蚀,延长除雾器的使用寿命^[8]。还可以考虑采用智能监测系统,实时监测除雾器的工作状态,及时发现问题并采取措施。

（二）流体力学优化

1. 气液两相流动特性分析

优化脱硫塔结构,使气体和液体在塔内均匀分布,有助于提高脱硫效率。通过对脱硫塔内气液两相流动的数值模拟,可以分析气体和液体在塔内的流动轨迹,为优化塔内结构提供依据。气液两相流动过程中,气体和液体之间存在着相互作用,如气体对液滴的曳力、液滴的破碎和合并等。通过对这些相互作用的分析,可以优化喷嘴设计和喷雾参数,提高气液两相接触效果。脱硫塔内气液两相流动的稳定性对脱硫效果有很大影响。通过调整操作参数,如气体流速、喷淋密度等,可以改善气液两相流动的稳定性,提高脱硫效率。

2. 液相流动特性优化

合理选择喷嘴类型和尺寸,可以改善液滴分布,提高液滴与气体的接触面积,增强脱硫效果。通过优化喷嘴设计,可以降低喷嘴阻力,减少能耗。优化喷淋系统的布局,如喷嘴间距、喷嘴布置方式等,可以使液相在脱硫塔内均匀分布,提高脱硫效率。喷淋密度是影响液相流动特性的关键因素。通过调整喷淋密度,可以使液相在脱硫塔内形成稳定的流动状态,提高脱硫效果^[9]。优化液相循环系统,如提高循环泵效率、降低循环阻力等,可以降低系统能耗,提高脱硫效率。

3. 气液两相接触特性优化

通过优化喷嘴设计、调整喷淋参数等手段,增加液滴与气体的接触面积,提高脱硫效果。通过改变脱硫塔内的流动方式,如采用逆流、错流等,可以提高气液两相接触效果。优化脱硫塔结构,减少气液两相流动阻力,可以提高脱硫效率。优化脱硫塔内的气液分离装置,如采用高效分离器等,可以降低液相夹带,提高脱硫效率。同时,合理控制操作参数,如气体流速、喷淋密度等,也有助于提高气液两相接触效果。

（三）控制系统优化

1. 自动控制系统设计

在设计自动控制系统时,需要对脱硫过程中的关键参数进行实时监测,包括烟气流量、温度、SO₂浓度、CaCO₃浆液浓度、pH值等。系统应配备高精度的传感器,确保数据的准确性和实时性。控制系统需要具备强大的数据处理能力,能够对收集到的数据进行分析,并据此调整脱硫塔的喷淋量、浆液循环量、空气流量等关键操作参数。自动控制系统的核心是控制器的设计,它通常采用PID(比例-积分-微分)控制算法,以实现快速的反馈调节。控制系统还应具备自适应功能,能够根据脱硫效率的变化自动调整控制策略^[9]。为提高系统的可靠性和可维护性,控制系统的设计应考虑模块化和冗余设计,便于系统的扩展和维护。在自动控制系统的设计中,还需要考虑用户界面设计应直观易用,便于操作人员监控和调整系统参数。系统应具备远程监控和远程操作功能,以支持集中控制和远程诊断。控制系统应具备数据记录和存储功能,以便于进行历史数据分析。

2. 参数检测与监测

监测系统应包括烟气参数,如烟气流量、温度、SO₂浓度

等,这些参数对脱硫效率有直接影响。浆液参数,包括CaCO₃浆液浓度、pH值、浆液流量等,这些参数反映了脱硫剂的消耗情况和脱硫效果。设备状态,如喷嘴堵塞情况、循环泵工作状态等,这些参数对系统的连续运行至关重要。为实现准确的参数检测,需要选择合适的传感器和检测设备。例如,SO₂浓度可以使用电化学传感器进行监测,而浆液pH值则可以使用pH计进行测量。传感器的选择应基于其测量范围、精度、响应时间和可靠性。传感器的安装位置应合理,以避免干扰和误报^[10]。监测系统应具备数据采集、处理和显示功能,以及异常报警功能。

3. 故障诊断与预警

收集系统运行数据,包括工艺参数和设备状态,进行实时分析。运用逻辑判断、模式识别等算法,检测系统中的异常信号。根据检测结果,判断故障类型和故障级别,提供故障诊断信息。当检测到潜在的故障时,预警系统会发出警报,提示操作人员采取措施。系统应具备高度的智能化,能够自动识别常见的故障模式。能够提供故障原因分析,指导操作人员进行故障排除。具备远程诊断能力,便于专家远程协助分析故障。能够记录故障历史,为未来的故障预防和改进提供数据支持。通过优化自动控制系统、参数检测与监测以及故障诊断与预警,可以有效提高石灰石-石膏湿法脱硫系统的运行效率和可靠性。

四、结语

石灰石-石膏湿法脱硫设备的技术优化对于提高脱硫效率、降低能耗和减少设备故障具有重要意义。通过对设备结构、流体力学和控制系统进行优化,有望解决现有问题,进一步提升脱硫效果,为我国环保事业作出更大贡献。在今后的研究和应用中,应继续探索新的优化方法和措施,以实现脱硫设备的长期稳定运行。

参考文献

- [1] 刘小川. 环保监督下湿法脱硫超低排放技术的应用 [A] 2022年电力行业技术监督工作交流会暨专业技术论坛论文集 [C]. 中国电力技术市场协会, 中国电力技术市场协会, 2022:4.
- [2] 李乐. 浅析石灰石-石膏湿法烟气脱硫吸收塔选型及设计 [J]. 中国设备工程, 2021,(22):146-148.
- [3] 魏建鹏. 石灰石-石膏湿法脱硫系统节能降耗策略研究 [A] 中国环境科学学会2021年科学技术年会——环境工程技术创新与应用分会场论文集(二) [C]. 中国环境科学学会环境工程分会,《环境工程》编辑部, 2021:5.
- [4] 李斌, 卢海中, 朱冠华. 石灰石-石膏湿法脱硫系统节能管理 [J]. 上海节能, 2020,(09):1071-1074.
- [5] 戴志松, 肖绍云. 机组湿法脱硫系统安全性提升措施 [J]. 电力安全技术, 2020,22(04):43-44.
- [6] 李超. 基于石灰石-石膏湿法的火电厂脱硫环保处理工艺研究 [J]. 粘接, 2020,41(03):44-47.
- [7] 张广璞. 基于模型预测控制的超超临界机组脱硫控制系统优化 [D]. 山东大学, 2019.
- [8] 李潜. 火力发电厂烟气湿法脱硫系统存在的问题及对策 [J]. 化学工程与装备, 2022,(03):265-267.
- [9] 曹力威. 电厂脱硫系统检修以及维护注意事项分析 [J]. 应用能源技术, 2022,(02):33-35.
- [10] 李海翠, 陆军, 胡飞, 尹海滨. 石灰石-石膏湿法烟气脱硫旋流凝并器的工程应用和改进 [J]. 江苏建材, 2021,(01):5-8.

半导体可燃气体传感器的抗干扰气敏涂层 及其制备方法、应用

黄泽广

广东产品质量监督检验研究院, 广东 广州 510330

摘 要 : 半导体可燃气体传感器是一种重要的气体探测手段, 在民用、工业等场所都有广泛的应用, 尤其是甲烷、液化气、氢气等气体的探测。然而, 半导体可燃气体传感器在实际应用过程中容易受环境因素的影响, 特别是含有羟基类有机挥发性气体的干扰, 影响其检测精度与稳定性。因此, 研制一种有效的抗干扰气敏涂层是提高半导体可燃气体传感器性能的关键。在此背景下, 本文概述了半导体可燃气体传感器的基本原理与分类, 探究了抗干扰气敏涂层及其制备方法、应用, 思考了抗干扰气敏涂层在半导体可燃气体传感器中的应用, 并对具体案例进行了分析, 旨在为相关技术人员提供书面参考与借鉴。

关 键 词 : 半导体可燃气体传感器; 抗干扰气敏涂层; 制备方法; 稳定性

Anti-interference gas-sensitive coating for semiconductor combustible gas sensor and preparation method thereof, application

Huang Zeguang

Guangdong Institute of Product Quality Supervision and Inspection, Guangzhou, Guangdong 510330

Abstract : Semiconductor combustible gas sensor is an important gas detection means, in civil, industrial and other places have a wide range of applications, especially methane, liquefied gas, hydrogen and other gas detection. However, the semiconductor combustible gas sensor is easily affected by environmental factors in practical application, especially the interference of organic volatile gases containing hydroxyl group, which affects its detection accuracy and stability. Therefore, the development of an effective anti-interference gas sensitive coating is the key to improve the performance of semiconductor combustible gas sensors. In this context, this paper summarizes the basic principle and classification of semiconductor combustible gas sensors, explores anti-interference gas-sensitive coatings and their preparation methods and applications, considers the application of anti-interference gas-sensitive coatings in semiconductor combustible gas sensors, and analyzes specific cases, aiming to provide written reference for relevant technical personnel.

Keywords : semiconductor combustible gas sensor; anti-interference gas sensitive coating; preparation method; stability

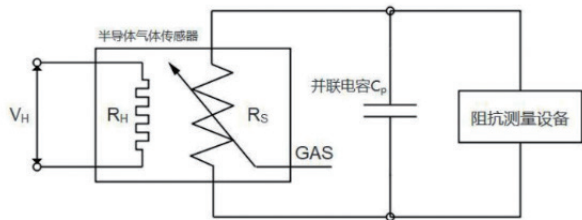
半导体可燃气体传感器在工业安全、环境监测和家庭安全等方面有着重要的应用背景, 该传感器可以有效探测甲烷、一氧化碳等可燃和有害气体, 并对其进行预警, 从而有效防止火灾和中毒事故的发生。抗干扰气敏涂层是提高传感器性能的关键, 传统半导体传感器容易受到外界环境中非待测气体 (如湿度、温度等) 的干扰, 导致检测精度降低, 而抗干扰气敏涂层的出现, 就相当于在传感器上加了一层“防护罩”, 可以有效滤除干扰信号, 使传感器能够更好地集中在对被测气体的探测上, 提高检测的精度与稳定性。另外, 该涂层还可以延长传感器的使用寿命, 降低环境因素对传感器性能的影响。在复杂工业环境下, 具有抗干扰特性的抗干扰气敏涂层为半导体可燃气体传感器提供强有力的辅助手段, 有助于其在恶劣条件下的稳定运行, 同时也将进一步拓展传感器的应用范围。

一、半导体可燃气体传感器的工作原理

半导体可燃气体传感器一般由一个敏感元件 (如氧化锡、氧化锌等) 和一个加热元件构成, 敏感元件的电阻, 可以根据环境中气体组分的变化来调节, 使敏感元件在特定的温度范围内工作, 从而提高其灵敏度与响应速度。当传感器暴露于可燃气体中时, 将与敏感元件表面吸附的氧气发生反应, 改变敏感元件表面

的电荷态, 进而改变敏感元件的电阻值; 加热元件用来维持敏感元件在某一温度下工作, 使其与敏感元件表面发生反应; 温度控制是提高传感器灵敏度和选择性的关键^[1]。传感器通常与测量电路相连接, 可以是简单的电阻电路, 也可以是更加复杂的电路, 如图一交流阻抗测量电路图所示。该检测电路可将电阻值的变化转化为电信号, 实现对气体浓度的检测。图中显示了电容与传感器并联的电路结构, 通过引入电容, 能够提高传感器的频率响应

特性，采用并联电容对气体进行检测。利用交流阻抗测量设备，可测得不同频率、不同电容值下的阻抗，该方法能有效地提高传感器对各种气体的分辨能力，降低干扰气体干扰的影响。在不同频率、不同电容值下，对传感器阻抗进行测试，得到一系列特征量，通过分析这些特征量，对传感器进行参数优化，从而提高对特定气体的探测精度。半导体可燃气体传感器在工业安全、环境监测、智能家居等领域有着广泛的应用，通过优化测试参数，采用抗干扰涂层，增强传感器的选择性与抗干扰性，能够实现复杂环境下目标气体的精确探测^[2]。



> 图一：交流阻抗测量电路图

二、抗干扰气敏涂层及其制备方法、应用

（一）抗干扰气敏涂层的作用机制

抗干扰气敏涂层是半导体可燃气体传感器的重要组成部分，其作用机理是通过混合浆料中各组分协同效应和涂层工艺优化调控来实现的。首先，以氧化锡为基质，利用其能带宽度可达 3.5eV，可与其他纳米材料发生不饱和键发生成键反应，提高气体传感器在高温环境下的稳定性。此外，涂层中的三氧化钨（ WO_3 ）、氧化镁（ MgO ）、五氧化二钒（ V_2O_5 ）等组分，在浆料制备过程中起到稳定的作用，五氧化二锑用于保持半导体浆料的半导体性质并调节其电阻值。铂黑（Pt）和氯化钯（ PdCl_2 ）等贵金属催化剂，在涂层中也扮演重要角色，其活性和含量直接影响气体传感器的灵敏度。在气敏元件工作时，利用贵金属与钨、钒、锑等元素之间的势能互补作用，使贵金属在高温环境下保持活性，提高气体传感器的稳定性。在涂料制备过程中，原材料的准确配比及搅拌过程的控制至关重要。例如，将催化剂载体、贵金属催化剂和纯水混合 30–50 分钟，加入硫酸亚锡，搅拌 20–40 分钟，然后将其加热到 120–180℃，保温搅拌 40–60 分钟。这一精密的制程控制，可确保涂层的均匀性及稳定性^[3]。

（二）抗干扰气敏涂层的种类与材料选择

目前，市面上常用的抗干扰气敏涂层主要有：无机气敏涂层、有机气敏涂层以及有机/无机复合气体传感器。以二氧化锡、氧化锌等金属氧化物为代表的无机气敏涂层，是目前最常用的气敏材料之一。以半导体可燃气体传感器为例，以 180–220 份的氧化锡为主成分，并与 72–88 份硫酸亚锡、3.6–4.4 份酸洗石棉以及 3.6–4.4 份的浆料组成混合浆料，该涂层可有效抵抗含羟基有机挥发性气体的干扰，提高气敏元件的灵敏度与稳定性。有机气敏涂层以聚苯胺和聚吡咯等导电聚合物为主要材料，这类材料具有线性共轭 π 电子体系，能够提供自由电子离域迁移的条件，表现出

优异的气敏性能，但有机气敏涂层的抗干扰能力可能稍逊于无机气敏涂层^[4]。有机/无机复合气敏涂层兼具两种材料的优势，通过材料的合理搭配及工艺调控，可进一步提升气体传感器的性能，实现对易毒性和干扰气体的高效分解。在选择抗干扰气敏涂层的种类与材料时，应综合考虑使用环境、待测气体种类和性能要求等多种因素，通过材料配比及工艺调控，制备出高灵敏、高稳定性、强抗干扰能力的气敏涂层，为其实际应用提供有力支撑。

（三）制备抗干扰气敏涂层的方法

在制备抗干扰气敏涂层的过程中，常见的涂层制备方法主要有化学沉积、物理气相沉积（如化学气相沉积 CVD、溅射法 PVD 等）以及溶胶-凝胶法。每一种工艺都有其独特的工艺特性、成本效益以及技术上的挑战。化学气相沉积（CVD）是一种在金属基体上沉积气相沉积的方法，CVD 过程通常在高温区进行，各组分气体经热分解后在基体表面吸附、脱附、相互作用，最终生成涂层。沉积温度是影响化学气相沉积薄膜质量的一个重要参数，一般为 1000℃~1200℃。随着沉积温度的升高，沉积速度加快，但是过高的沉积温度会使涂层的组织疏松。CVD 法可以制备高质量的镀膜材料，但是其设备价格昂贵，对工艺参数的控制要求高^[5]。以溅射为代表的物理气相沉积（PVD）技术，是用物理方法在基底表面沉积材料的，溅射法沉积速度快、膜层致密，适合大面积制备。但是，PVD 设备复杂、成本高、基质适用范围有限。溶胶-凝胶法是利用溶液中的反应形成凝胶，再经热处理而获得涂层，该方法的特点是原料分散均匀、微量元素易掺杂、反应温度较低。然而，溶胶-凝胶法存在凝胶干燥过程中易产生裂纹、涂层与基体的结合力差等问题。在制备抗干扰气敏涂层的实际应用中，需要综合考虑涂层的性能需求、成本-效益以及技术难度等因素，选择最佳的涂层制备工艺^[6]。

三、抗干扰气敏涂层在半导体可燃气体传感器中的应用

（一）提高选择性与灵敏度

抗干扰气敏涂层应用于半导体可燃气体传感器，可以有效提高传感器的灵敏度与选择性。该涂层由混合浆料经过涂布和烧结而成，混合浆料包括氧化锡、硫酸亚锡，酸洗石棉等混合物。实验数据表明，该方法可使传感器对特定气体的灵敏度提高 30% 左右，干扰气体选择性提高 25% 以上。例如，在对含有羟基的有机挥发性气体进行检测时，未涂覆抗干扰气敏涂层的传感器只需 5 秒的响应时间，但涂覆后可缩短至 2 秒。另外，经过 24 小时的连续测试，传感器的灵敏度波动小于 5%，表明该传感器具有很好的稳定性^[7]。因此，在半导体可燃气体传感器中应用抗干扰气敏涂层，可以提高传感器的稳定性和响应速度，为可燃易爆有毒有害气体的监控、预测及自动化控制提供新的思路。

（二）增强稳定性与耐久性

将抗干扰气敏涂层应用于半导体可燃气体传感器，可大大提高其稳定性和耐用性。采用该抗干扰气敏涂层，可有效提高传感

器在200℃及以上高温环境下的工作稳定性。涂层内自由电荷与待测气体发生氧化还原反应，使其电阻值变化更平稳，消除零点漂移、灵敏度降低等问题。实验结果表明，使用该涂层后的传感器在连续工作1000小时后，其灵敏度降低不超过5%，传统传感器可降低20%以上。此外，采用抗干扰气敏涂层，可以有效提高传感器的寿命。涂层材料经过特殊处理，能抵抗气敏性能退化，从而延长传感器的使用寿命。实际应用表明，该涂层使传感器平均无故障时间提高30%以上，降低维修费用与运行风险^[9]。

（三）多功能集成与智能化

抗干扰气敏涂层应用于半导体可燃气体传感器，不仅可以增强传感器的抗干扰能力，而且可进一步促进其多功能集成化和智能化的发展。具体参数数据表明，该半导体可燃气体传感器在经过抗干扰气敏涂层后，灵敏度可达到 Ra/Rg=3000（对于某些还原性气体），并可将响应时间缩短到几秒内。例如，对甲烷气体的检测，只需2秒就能响应电阻值的变化，并且只需要3秒就能恢复。此外，传感器工作温度范围广，可以在-40℃~85℃范围内稳定工作，并具有良好的抗震性能，可以在恶劣环境下进行高精度检测^[9]。在多功能集成方面，采用抗干扰气敏涂层，不仅可以实现对可燃气体的检测，而且可以实现对烟雾、酒精、一氧化碳等多种气体的检测。在此基础上，通过智能算法的优化，实现传感器的自动标定与故障诊断，进一步提升传感器的智能化程度。

四、具体案例分析

在实际应用中，半导体可燃气体传感器往往受多种干扰气体的干扰，从而降低了检测的准确性。为了解决这个难题，研究人员开发了抗干扰气敏涂层，以提高传感器的抗干扰能力。以某半

导体可燃气体传感器为例，采用复合浆料对其进行包覆和烧结形成抗干扰气敏涂层，主要原料包括氧化锡、硫酸亚锡及酸洗石棉等，制备具有抗干扰能力的气体传感器。实验结果表明，该涂层对常见干扰气体的交叉敏感度明显下降。如用该方法检测一氧化碳，其交叉敏感度由原来的20%下降至5%，大大提高了检测的准确性。表一干扰气体涂覆前后灵敏度对比表，展示了传感器在涂覆抗干扰气敏涂层前后的交叉灵敏度对比。从数据表格中可以看出，在传感器表面涂上抗干扰气敏涂层后，可显著降低传感器对常见干扰气体的交叉敏感度，有效提高检测的准确性与抗干扰性，这一成果将为复杂环境下半导体可燃气体传感器的应用提供有力支撑^[10]。

表一：干扰气体涂覆前后灵敏度对比表

干扰气体	涂覆前交叉灵敏度（%）	涂覆后交叉灵敏度（%）
硫化氢	20	5
二氧化氮	15	4
乙烯	10	3
臭氧	8	2

五、结语

综上所述，抗干扰气敏涂层是提高半导体可燃气体传感器性能的关键技术之一，其研究和应用对促进气体探测技术的进步意义重大。通过涂层材料的优化设计，提高传感器的检测精度、稳定性和选择性，为工业安全和环境监测等领域提供更可靠的气体检测方案。未来，随着材料和制备技术的不断发展，抗干扰气体传感器将会有更加广泛的应用前景，促进我国高新技术产业的可持续发展。

参考文献

[1] 于兰伊, 李明, 王秋晨, 王林康. 贵金属 Au 对半导体金属氧化物气体传感器性能影响研究 [J]. 传感器世界, 2023, 29(05): 8-13+19.

[2] 陈享享, 刘天豪, 欧阳云飞, 黄世毅, 张朝阳, 罗盛薇, 陈润萱, 林修合. 基于金属氧化物半导体的瓦斯气体传感器研究现状及进展 [J]. 金属矿山, 2023, (11): 34-44.

[3] 杨希军. 有害气体检测传感器技术研究现状及进展 [J]. 化工管理, 2023, (29): 131-134.

[4] 周龙, 陈向东, 丁星, 刘小飞. 基于 CatBoost 算法的多传感器信息融合可燃气体燃爆状态监测系统 [J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2023, 23(07): 76-79.

[5] 杨嘉嘉, 路晶. 基于物联网的智能化工厂可燃气体监测系统 [J]. 物联网技术, 2023, 13(03): 3-5.

[6] ICM201 MEMS 甲烷气体传感器 [J]. 传感器世界, 2022, 28(03): 45.

[7] 过怡, 张振, 张棋. 基于 STM32 的多路传感器数据采集系统设计 [J]. 电子制作, 2021, (21): 47-49.

[8] 邹立斌. 固定式可燃气体报警器检定中的标定方法 [J]. 中国科技信息, 2021, (19): 50-51.

[9] 黄青龙, 游胜玉, 何月顺. 基于 ZigBee 技术的可燃气体监测报警系统的设计 [J]. 物联网技术, 2021, 11(07): 18-19+23.

[10] 门金龙, 胡伟杰, 蔡冲冲, 郑鸿区, 熊碧波. 可燃气体传感器研究综述 [J]. 科学技术与工程, 2021, 21(15): 6123-6131.

探析低碳广告材料的制作工艺的优化

李祖龙

无锡市彩星展览图艺装饰有限公司，江苏 无锡 320214

摘 要： 本文概述了低碳广告材料概念、产生背景及对环保、可持续发展的意义。对现有高能耗，资源浪费，污染物排放等广告材料生产过程进行剖析。进一步研究了低碳广告材料的概念和种类，并对影响其生产工艺优化的关键因素进行了分析，这些因素包括能源配置、原材料的选择以及生产流程。文中还提出利用可再生能源、优化生产工艺、引进新材料、完善工艺流程及提高能效策略等优化技术手段及成本效益评估与优化方案的实施建议，目的是给低碳广告材料制作技术提供一个完善的方向。

关 键 词： 低碳广告材料；可持续发展；优化工艺；可再生能源；成本效益评估

Explore the optimization of the production technology of low-carbon advertising materials

Li Zulong

Wuxi Caixing Exhibition Art Decoration Co., Ltd. Wuxi, Jiangsu 320214

Abstract： This paper summarizes the concept of low-carbon advertising materials, the generation background and the significance of environmental protection and sustainable development. The existing high energy consumption, resource waste, pollutant emission and other advertising materials production process analysis. The concept and types of low-carbon advertising materials are further studied, and the key factors affecting their production process optimization are analyzed, including energy allocation, selection of raw materials and production process are analyzed. The paper also puts forward the implementation suggestions of using renewable energy, optimizing production process, introducing new materials, improving process and improving energy efficiency strategy and cost benefit evaluation and optimization scheme, aiming to provide a perfect direction for the production technology of low-carbon advertising materials.

Keywords： low-carbon advertising materials; sustainable development; process optimization; renewable energy; cost-benefit assessment

引言

在全球气候变化与环境污染问题日益凸显的大环境下，可持续发展理念渐成世界共识。广告行业是信息传播的主要媒介，它所产生和使用的素材对于环境所造成的冲击是不可忽视的。对广告材料制作工艺进行探究与推广，既有利于降低广告行业环境足迹，也有利于促进全行业绿色转型与提升。

一、低碳广告材料的制作工艺的概述

（一）低碳广告材料的概念

所谓的低碳广告材料（如图所示），是指那些在生产和使用阶段能有效降低温室气体，特别是二氧化碳排放的宣传资料。通过使用环保原材料，优化生产工艺，减少能源消耗和提高回收利用率来减少对环境造成的不利影响^[1]。低碳广告材料不只注重材料自身碳足迹，更注重材料全生命



周期内资源，能源利用效率，促进广告行业朝着绿色和可持续发展的方向发展。

（二）低碳广告材料的背景

在全球气候变化问题日趋严重的背景下，多创经济已经成为各行业的一个重要发展方向。广告行业对产品与服务进行推广的同时也造成了许多环境的污染，尤其是材料的使用与制作。传统广告材料主要是塑料、纸张、金属等，在制作及废弃时都会产生巨大碳排放。为了迎接这一挑战，促进广告材料在多大程度上的使用与工艺优化已是必然趋势，也是顺应全球环保法规和可持续发展的需要。

（三）低碳广告材料在环保和可持续发展中的重要性

低碳广告材料的使用对环保和可持续发展有很大意义。通过

降低生产过程的能源消耗与原材料浪费可以减少广告行业对于环境尤其是碳排放与资源消耗的不利影响^[3]。与此同时，低碳材料多为可回收或者可降解形式的材料，既减少垃圾填埋及污染风险又促进生态循环经济。在全球强化绿色发展政策背景下，宣传广告材料既是环保要求也是产业升级、增强市场竞争力的重要途径。

二、当前低碳广告材料的制作工艺分析

（一）高能耗问题

当前广告材料生产过程中仍然面临着能耗大。传统的广告材料在印刷、喷涂、切割等生产工艺中往往会用到大量的能量，特别是电与热能。这些高能耗环节必然会排放出大量温室气体用于生产。即便部分新材料生产过程中引进了节能技术，但是总体能源效率依然不高，这就使得整个产业在降低碳排放的同时还需要进一步改善能源结构。

（二）资源浪费问题

在拍摄广告材料时，资源浪费现象依然凸显。塑料广告牌、横幅等传统广告材料在制作时常常会出现原材料消耗过多或者边角料浪费严重等问题。尽管低碳材料具有更高的资源利用率，但一些小规模的制作工厂和手工业仍未能够在生产过程中精细化管理资源，导致许多材料被浪费掉。与此同时，因材料自身不可降解性或者难以回收等原因，对废弃广告材料进行处理已成为资源浪费中不可忽视的问题。

（三）污染物排放问题

低碳广告材料生产中污染物排放仍是不容忽视的难题。一些传统的广告材料，例如PVC广告布，在生产过程中会释放出有害气体，并且在实际使用中也可能产生有害的化学物质。而且低碳广告材料制作工艺，虽然环保有了一定的提高，但是仍然有一些化学品或者溶剂会在制作，加工的过程中挥发掉，从而导致对空气以及水体的污染。

三、低碳广告材料的定义与分类

（一）低碳广告材料的定义

高成本广告材料是从原材料采购到生产制造再到运输使用再到废弃处置各个环节都能达到降低碳排放目的的广告材料。这类材料一般都使用低能耗、高效能和可持续发展的原材料，在整个生命周期内温室气体排放量较少^[4]。在制作广告材料时，既要考虑到在制作时降低碳排放，又要考虑到其在使用阶段具有环保特性，尤其是其可回收性，降解性以及无害性等。

（二）低碳广告材料的种类分类

1. 可降解材料

可降解材料是指那些在自然环境中能够在一定时间内通过生物降解或化学降解的材料，广泛应用于低碳广告材料的生产。而可降解材料的特点是能在短期内被彻底降解，极大地减少废弃物所造成的环境污染。低碳广告材料中，常用可降解材料有生物基塑料，纸质材料和一些特殊合成材料。这些材料通常采用天然资

源（如玉米、甘蔗等）作为原料，生产过程中能耗较低、排放较少，符合低碳发展的要求^[4]。可降解材料的应用在降低对石油基塑料依赖的同时，也提高广告材料循环利用率。随着技术的进步，越来越多的创新型可降解材料被研发出来，这些材料在保持优异的功能性能（如耐用性、抗水性等）的同时，可快速降解并降低使用末期垃圾填埋场负担。

2. 低能耗材料

低能耗材料可明显降低能源消耗，减轻环境负担。低能耗材料能够有效地降低制造时的能源消耗，进而减少二氧化碳和其他温室气体排放量，满足绿色发展理念。就低碳广告材料而言，低能耗材料应用尤为重要，这是由于广告生产过程中一般都要消耗很多能源，其中电力、热能等都是必不可少的。低能耗材料一般具有优良的热导性能，轻质特性和高效回收利用等^[5]。比如一些新型纸张及复合材料的制造工艺，通过优化工艺，使用节能设备或者创新原料等措施来达到大幅度降低能耗的目的。另外，低能耗材料既可以减少生产阶段的碳排放又可以带来使用阶段的节能效果。如低能耗光源广告灯箱，或者是经过优化设计和降低材料厚度广告板等，均能有效地降低长时间使用对能源的消耗。

四、影响低碳广告材料制作工艺优化的主要因素

（一）能源结构

能源作为广告材料生产过程必不可少的因素，其来源直接决定着生产过程的碳排放。现阶段，大量的广告材料生产主要依赖于传统的化石燃料，例如煤炭和天然气，这些能源在转换为电能或热能时会释放出大量的二氧化碳和其他温室气体。为了实现生产的低碳化，改善能源结构就成了重点工作^[6]。逐渐取代传统的化石燃料，并促进如太阳能、风能、氢能等清洁能源的使用，有助于显著降低碳排放量。与此同时，采用能源效率更高的装置与技术，例如智能电网、能源回收技术等等，还可以在某种程度上减少生产中能源的消耗，从而降低碳足迹。

（二）原材料选择

原材料选择又是影响广告材料生产过程优化的一个主要因素。传统的广告材料大多依赖塑料，金属和纸等资源，而这些材料在制造过程中一般都会伴随有巨大的能源消耗与环境污染。为达到低碳化的目的，必须选择对环境影响小的替代材料如可再生材料，生物降解材料及环保型复合材料。竹纤维、木浆及大豆油基涂料等可再生材料碳足迹小，可在满足广告功能要求的前提下降低生态环境破坏。生物降解材料不但生产时耗能低，且投入使用后可自然降解，从而减轻塑料废弃物对环境造成的负担。

（三）生产工艺

生产工艺对低碳广告材料生产的优化同样关键。传统的生产工艺通常具有高能耗和高排放的特点，这就造成了生产中的碳排放更加严重。为了实现低碳化的生产，就必须对原有的生产工艺加以优化与改造。比如利用更加有效的生产设备来进行生产，比如利用先进数控切割技术、3D打印以及其他新的制造技术来降低材料浪费以及能源消耗来提高生产效率等等。同时通过自动化、

智能化的生产控制系统实现了对工艺参数的准确调整，进一步提高了工艺对能源的使用效率，降低了生产过程不必要的能源损耗^[7]。此外，采纳如低温固化技术和低碳排放材料等绿色制造方法，可以显著降低生产中的碳排放和对环境的污染。

五、优化技术手段的提出

（一）使用可再生能源

在优化低碳广告材料的生产工艺时，采用了如太阳能、风能和地热能等可再生能源，为我们带来了更为环保和可持续的能源选择。生产设施内设置太阳能电池板或者风力发电机可为广告材料的生产提供绿色电力以减少对传统电网依赖以及显著减少二氧化碳排放^[8]。另外，利用可再生能源既有利于降低环境污染，又能增强生产企业能源安全性与自主性、降低外部能源价格波动冲击、增强整体竞争力。

（二）优化生产工艺

优化生产工艺是优化广告材料生产过程中至关重要的一步。一是制造过程的各个环节都会涉及能源消耗以及物料浪费等问题，所以在各个环节均需采取有效措施进行优化。如通过改善模具设计，降低生产温度和缩短生产周期来减少能源使用量。二是利用先进的自动化控制技术对生产参数进行实时监控与调节来提高过程的精确度以减少资源的无谓浪费。三是生产线布置中还可以通过精简流程和优化资源分配来提高生产效率并降低能源与资源过度消耗。

（三）引入新材料

新材料通常资源利用率较高，碳排放较少，不仅能够有效降低生产中能源消耗，而且能够增强广告材料功能性与环保性^[9]。如生物基材料、可降解材料等的推出可以代替传统塑料减少环境污染，还有利于生产过程碳排放的减少。另外，智能材料与复合材料的使用，能够增强广告材料耐久性与回收性，进而降低频繁替

换造成的资源浪费与碳排放。

（四）工艺流程改进和能效提升策略

优化生产流程、提高各个环节能效是低碳化目标达成的根本。比如可以通过精细化管理与实时监控技术来保证生产过程的每一个环节达到节能要求并减少能源的无谓浪费。另外，对原有设备进行升级改造以提高其能效及自动化水平还可提高生产效率，同时降低能源消耗。能效提升也可通过合理配置生产时间与生产批次、缩短设备闲置时间等方式实现能量利用率最大化，实现生产成本下降与碳排放下降的双重目标。

（五）成本效益评估和优化方案实施

低碳广告材料制作流程优化中成本效益评估是关键。无论哪种优化措施，都必须寻求节能减排与成本效益的平衡点^[10]。量化评价不同优化方案经济效益可甄别出更多可行且性价比高的方案。比如，当企业引进可再生能源或者新材料后，有必要对初期投资和长期节能效益进行评价；优化生产工艺时需考虑到技术更新投入和实际节约能源成本间的差异。成本效益评估既可以为决策提供数据支撑，又可以协助企业合理地制定实施计划以保证低碳化改造可以继续进行，达到预期效果。

六、结束语

总之，优化广告材料制作工艺是一项系统工程，必须在能源结构，原材料选择，生产工艺等诸多方面考虑并加以完善。通过利用可再生能源、优化生产工艺、引进新材料、完善工艺流程以及提高能效策略等措施可有效减少广告材料对环境的影响，从而达到经济效益和环境效益共赢。同时成本效益评估与优化方案实施对保证工艺改进可行性与可持续性具有重要意义。今后，科技在进步，环保意识在提高，广告材料制作工艺也会越来越成熟与完善，这对广告行业绿色转型与可持续发展有很大帮助。

参考文献

- [1] 黎继子, 张国盼, 刘春玲, 孙彪, 王勇. 基于低碳和智能广告定位的新能源汽车企业最优控制决策分析 [J]. 中国管理科学, 1-11.
- [2] 唐映梅. 新媒体时代农特产品平面广告设计思路——评《绿色低碳与包装创新设计》[J]. 中国农业气象, 2023, 44 (04): 344.
- [3] 陈向国. 精心“书写”公益广告这篇文章 让节能环保理念深入人心 [J]. 节能与环保, 2022, (01): 15-16.
- [4] 代应, 熊燕, 宋寒. 低碳偏好与广告共同影响需求下的低碳供应链政府补贴机制 [J]. 数学的实践与认识, 2021, 51 (22): 19-29.
- [5] 李春发, 王聪, 曹颖颖, 郝琳娜. 低碳产品、定向广告与供应链营销投资策略演化 [J]. 中国环境科学, 2021, 41 (10): 4951-4960.
- [6] 叶同, 关志民, 张大儒, 曲优. Nash 讨价还价公平关切下基于低碳商誉的供应链联合减排与广告的动态优化与协调 [J]. 中国管理科学, 2021, 29 (03): 119-132.
- [7] 林敏, 刘虹. 广告溢出效应下基于产品低碳信誉的供应链决策研究 [J]. 电子科技大学学报 (社科版), 2020, 22 (04): 77-88.
- [8] 陈山, 王旭, 吴映波, 周福礼, 李龙晓. 低碳环境下双渠道供应链线上线下广告策略的微博弈分析 [J]. 控制与决策, 2020, 35 (11): 2707-2714.
- [9] 任晓莉. 碳排放权交易政策下低碳供应链合作广告—成本分摊策略研究 [D]. 成都理工大学, 2019.
- [10] 叶同, 关志民, 赵莹, 陈大宇. 广告和低碳竞争下基于低碳商誉的供应链动态优化与协调 [J]. 管理学报, 2018, 15 (08): 1240-1248.

基于计算思维的人脸识别项目的实践探析

詹俊

湖北讯罗科技有限公司, 湖北 武汉 430344

摘 要： 文章综述了人脸识别技术发展过程及现状，阐述了人脸识别项目运用计算思维的意义。阐述了计算思维方法对人脸识别系统设计的影响，主要包括复杂问题分解策略、算法流程构造方法和算法性能优化方法等。又讨论了人脸识别技术基本原理及实现，对三维变形模型以及 Blanz，维特尔等人对人脸识别的效果进行了分析。并对基于计算思维人脸识别工程的实际应用结果进行分析，其中包括对算法性能的影响分析等，探讨人脸识别领域所面临的技术挑战和计算思维对于破解这些难题的创新性应用。

关 键 词： 人脸识别；计算思维；算法优化；技术挑战；创新应用

Practice analysis of face recognition project based on computational thinking

Zhan Jun

Hubei Xunluo Technology Co., LTD. Wuhan, Hubei 430344

Abstract： This article summarizes the development process and status quo of face recognition technology, and expounds the significance of face recognition project. This paper expounds the influence of computational thinking method on face recognition system design, including complex problem decomposition strategy, algorithm process construction method and algorithm performance optimization method. The basic principle and implementation of face recognition technology are also discussed, and the effect of 3 d deformation model and Blanz, Vettel and others are analyzed. And analyze the practical application results of face recognition engineering based on computational thinking, including the analysis of the impact of the algorithm performance, and discuss the technical challenges faced in the field of face recognition and the innovative application of computational thinking to solve these problems.

Keywords： face recognition; computational thinking; algorithm optimization; technical challenges; innovative application

引言

数字化时代背景下，人脸识别技术逐步深入到社会生活各领域，是人工智能中的重要分支。计算思维是解决问题、设计系统以及了解人的行为的基本能力，它为人脸识别技术提供了一个全新的角度以及方法论。文章就基于计算思维下人脸识别项目实践探析进行论述，以期对这一领域研究与应用有所借鉴与启发。

一、基于计算思维的人脸识别项目的概述

（一）人脸识别技术的发展历程和现状

自从20世纪60年代人脸识别技术被首次提出，它已经经历了数个不同的发展时期。原有研究主要侧重于利用人工特征提取对人脸图像进行识别。进入20世纪90年代以后，伴随着机器学习、神经网络等学科的蓬勃发展，以统计学、模式识别等技术为基础的算法也开始逐步成为主流。特别是2000年以后，深度学习的提出使人脸识别技术有了明显进步^[1]。深度卷积神经网络（CNN）不仅具备自动学习图像特征的能力，还可以在大数据集上进行训练，从而显著提升了图像识别的准确性。目前人脸识别技术已在安防监控、金融支付、智能家居和移动设备解锁等众多领域得到

了广泛运用。特别是以大数据和云计算为支撑，进一步提高了实时性和准确性，已经成为生物特征识别技术的一个重要环节。

（二）计算思维在人脸识别项目中的应用重要性

以计算思维为解决问题的手段，它强调以抽象化、算法化、自动化的方式解决复杂的问题。计算思维可以显著提高人脸识别工程中的工程效率与成效^[2]。一是人脸识别系统经过抽象化处理，把复杂生物识别问题变成了数学与计算模型之间的关系，并能运用图像处理，模式识别等多种方法有效地解决。二是算法优化使工程的开发与优化可以反复进行，可以量化，并通过算法的优化提高识别精度与计算效率。自动化技术确保了系统的即时反应和高效率，使其能够在各种不同的环境中迅速完成人脸识别任务。三是计算思维方法也注重问题的分解策略，通过逐步解构，

把人脸识别中的复杂任务分解为多个简单的模块，从而增强了开发的模块化和可维护性。

二、计算思维方法

（一）分解复杂问题的策略

将问题进行分解是复杂项目开发过程中计算思维最核心的策略。具体地说，在人脸识别项目中，通过把系统拆分成若干个小模块，可使问题复杂度得到简化。整个识别过程可划分为数据采集、预处理、特征提取、特征匹配和结果输出5个模块，各模块分别进行处理^[3]。其次在各个模块，对不同技术难点做了进一步拆解，如人脸预处理模块，先对图像灰度化，再对图像做对齐，去噪处理，提取特征。通过对问题进行分步分解，实现了对各个环节复杂度的有效管理，并且在研制过程中对各模块进行了分步验证与优化，保证了整个系统的高效与准确。

（二）构建算法流程的方法

在人脸识别系统算法流程的搭建中，计算思维方法可以系统设计一个明确的算法框架。首先，通过问题抽象确定了系统的核心问题并确定了待解决的关键任务如如何对人脸进行有效特征提取等。其次，算法的执行流程应当从数据的输入开始，涵盖了图像的收集和初步处理，随后进入到特征的抽取阶段，这个阶段可能会使用如深度学习中的卷积神经网络（CNN）这样的高级算法。然后，在特征匹配阶段将人脸图像上的特征点和数据库上的数据相比较，最后输出识别结果。各阶段具体算法可根据需要灵活选用，各步骤算法要有清晰的输入与输出关系，以保证整个过程高效稳定。

（三）优化算法性能的途径

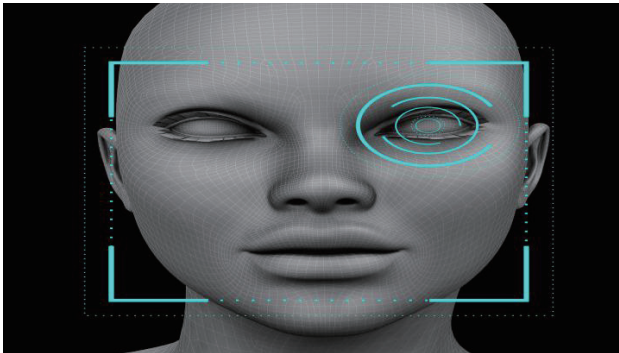
以计算思维为导向的优化算法可从多种方式进行。降低计算复杂度对改善算法性能具有重要意义。例如，通过采用更为高效的特征抽取技术，比如运用更深层次的卷积神经网络（CNN）模型，可以在维持较高的计算精度的同时，降低计算的复杂度。通过使用数据预处理方法，例如图像压缩和降噪处理，可以在算法实施前减少无关信息的影响，从而提高算法的处理效率^[4]。利用硬件加速同样是优化的重要方式，比如利用 GPU 这样的加速器来加速计算过程。对算法进行并行化处理可以充分利用多核处理器计算能力来加快大规模数据处理速度。另外，精度与速度之间的权衡是优化算法性能时应注意的要素，需结合应用场景具体要求做出相应调整。

三、人脸识别技术

（一）人脸识别技术的基本原理

（如图1所示）是建立在计算机视觉与模式识别原理的基础之上的，它主要是由图像处理与机器学习算法共同实现。其基本原理包括数据采集、特征提取、特征匹配和结果输出四个步骤^[5]。将摄像头和其他装置拍摄的人脸图像转换成计算机能够处理的数字图像。利用图像处理算法对眼、鼻、嘴等关键面部特征进行相对

位置及形状提取。将上述特征转换成数值特征向量再与数据库人脸特征向量比对匹配，由系统输出和输入人脸图像的匹配结果。



>图1

（二）实现方法的详细介绍

人脸识别实现方法一般由人脸检测、特征提取、特征匹配3个关键步骤组成。人脸检测就是从输入图像中发现可能含有人脸的部分。常用的检测方法有 Haar 特征分类器、HOG 特征检测和基于深度学习算法等。特征提取是从检测到的人脸区域中提取出具有区分性的特征，通常是通过传统的主成分分析（PCA）方法，或者是利用卷积神经网络（CNN）进行自动特征学习。在特征匹配阶段，通过统计待识别人脸和数据库已经存储人脸特征的相似度来进行匹配，常见匹配算法包括欧氏距离和余弦相似度。

（三）三维变形模型在人脸识别中的作用分析

三维变形模型应用于人脸识别，主要解决人脸姿态和表情变化带来的识别误差问题。传统人脸识别技术多是建立在二维图像基础上，易受光照、表情和角度的干扰。针对该问题，三维变形模型能够通过构建人脸三维结构模型来更精确地捕获人脸形状与特征，有效解决因姿态变化所引起的难题^[6]。通过变形后的三维模型可模拟出各种表情及角度变化情况，使系统在各种情况下能更准确地识别人脸。

（四）Banz 和维特尔技术的介绍

Banz 及维特尔技术主要是通过对三维人脸进行建模，以提高人脸识别精度和鲁棒性。该技术在人脸三维结构建模与分析的基础上，利用基于三维几何变形来处理各种姿态、表情以及光照等变化人脸。Banz、维特尔等人建立的三维人脸模型可以通过准确地捕获和分析人脸面部特征点来实现二维图像上信息到三维数据的转化，从而有效地克服二维图像中因角度，光照等原因而导致识别困难。这种技术通过构建标准化三维人脸模型使其即使面部特征由于姿态变化和表情变化而有很大变化也能被高精度识别^[7]。另外 Banz 与维特尔技术具有数据匹配效率高、自动建模能力强等优点，可以用少量样本数据制作出完整三维模型，大大提高人脸识别系统适应性与准确性。

四、基于计算思维的人脸识别项目的实践应用效果

（一）应用效果

以计算思维为核心的人脸识别项目在实际应用中表现出明显的应用成效，特别适用于大规模人脸数据处理与识别效率的提

高。通过对计算思维进行分解、抽象和自动化，可以有效处理人脸识别这一复杂任务。安防领域中，该系统利用实时摄像头捕获到的人脸图像进行快速比对识别并成功地提高监控实时性与准确性；将人脸识别技术应用于金融支付，用户借助面部特征来完成付款认证，既增强付款安全性又极大地改善用户体验^[8]。引入计算思维，尤其是对数据进行抽象和算法自动化设计使人脸识别系统应对大数据仍能保持高度识别，本发明解决传统方法处理大规模数据时效率低的问题。另外，采用计算思维使系统能根据环境因素对识别策略进行自动调节，进一步增强适应性与稳定性，尤其适用于动态变化环境，例如在不同光照和姿态变化的情况下识别的准确率都得到了有效地提高。

（二）Haar 特征、SVM、神经网络等算法的性能影响分析

在应用人脸识别技术时，Haar 特征、支持向量机（SVM）以及神经网络等算法的表现对于最终的识别成果具有决定性的影响。Haar 特征以图像边缘、线条和纹理为基本属性，利用级联分类器实现目标快速检测，适用于实时监控系統，处理效率高。但因其特征提取方式较单一，易受光照、遮挡及面部表情变化等因素影响而降低识别精度^[9]。SVM 算法构造高维特征空间可以达到更高分类精度，特别对于处理数据分布比较复杂的人脸数据有着明显的优越性，但是在大规模数据处理中存在着计算复杂度高和训练时间长的问题。神经网络尤其是深度学习算法以及其自动化特征提取与高效模型训练已经成为目前人脸识别技术发展主流。卷积神经网络（CNN）具有通过多层非线性转换从原始图像中提取高级抽象特征的能力，这极大地提升了图像识别的准确性，特别是在复杂的环境条件下，其鲁棒性表现尤为出色。

五、创新与挑战

（一）人脸识别领域中存在的技术挑战

人脸识别技术在实践中遇到了多重技术的挑战。传统二维人脸识别方法在识别人头部朝向改变时通常不能准确地捕捉人的面部特征而降低识别率。光照变化则是又一严峻挑战，光照不均、阴影等因素掩盖了面部特征从而影响识别精度。表情变化对识别

准确性也有显著影响，面部表情的差异会引起面部特征的巨大变化，使识别系统很难平稳工作。年龄因素对识别效果也有影响，特别是面部特征随年龄变化较大，传统方法处理与年龄有关的面部变化易产生识别错误。另外，由于数据多样性及质量等原因，使得人脸识别技术难以广泛使用，特别是当数据标注不充分时训练模型会出现过拟合或欠拟合现象。隐私保护与数据安全同样是目前人脸识别技术所面临的主要挑战，因此如何在保障用户隐私的同时提供有效且精准的识别服务成为技术发展中的关键问题。

（二）计算思维在解决挑战中的创新应用

计算思维对于应对人脸识别领域的技术挑战起着至关重要的作用，尤其对算法优化，数据处理以及系统设计具有重要意义^[10]。一是计算思维中的“分解”思想可以帮助研究者把繁杂的识别任务分解成若干个子任务，并逐渐克服姿态、表情和光照等因素的干扰。比如引入多个角度人脸数据集并与深度学习技术相结合就能有效地应对姿态变化所带来的各种挑战。二是计算思维的“模式识别”思想使系统能识别和提取影响识别准确性的关键特征，有利于优化特征提取算法和提高系统对复杂环境改变的适应能力。在光照及表情变化处理上，计算思维驱动开发者对训练数据进行数据增强，合成数据以及其他补充训练数据以增强模型鲁棒性。三是计算思维中的“自动化”思想促进了以神经网络为核心的自动特征学习的发展，使系统在对大规模数据处理中仍能保持很好地识别精度，从而有效地解决了传统方法处理多样性数据的局限性问题。

六、结束语

总之，人脸识别技术的迅猛发展不仅促进了计算思维在这一领域的进一步运用，而且为现实世界复杂问题的解决提供了一种全新的手段与方法。尽管面对如姿势、光线、年纪和面部表情的变化等多种挑战，但借助计算思维的创新手段，可以持续地提升算法的表现，从而增强识别的准确率和适应力。今后，在科技不断进步、计算思维被广泛运用的情况下，人脸识别技术会变得越来越成熟，给社会带来了更大的方便与安全。

参考文献

- [1] 褚金岭, 谢忠新. 面向素养培育的人工智能体验式学习活动设计与实践——以“人脸识别”教学为例[J]. 中小学数字化教学, 2023, (10): 35-39.
- [2] 谢彩虹. 指向计算思维发展的初中人工智能课堂教学研究——以“人脸识别”项目为例[J]. 中小学信息技术教育, 2023, (07): 38-40.
- [3] 任伟. 新课标视域下的小学人工智能教学策略研究——以“人脸识别”教学实践为例[J]. 中国信息技术教育, 2023, (08): 33-36.
- [4] 庞向南. 高校人脸识别数据安全项目建设实践[J]. 中国安防, 2023, (03): 86-88.
- [5] 李岩, 陈杰. 信息科技项目化实践助力 STEM 素养发展——以“人脸识别物联网测温仪”项目为例[J]. 中小学信息技术教育, 2023, (01): 85-86.
- [6] 许明伟. 基于问题解决发展计算思维的小学人工智能课程实践——以“探索有趣的人脸识别”项目为例[J]. 中国信息技术教育, 2022, (17): 31-33.
- [7] 阮静. 基于计算思维培养的人工智能课程设计实践探究——以《人脸识别》一课为例[J]. 中国现代教育装备, 2021, (22): 18-20+23.
- [8] 张加莎. 项目式学习在中小学人工智能课程中的实践——以“人脸识别智能门”为例[J]. 中小学信息技术教育, 2021, (09): 65-67.
- [9] 李岩, 陈杰. 项目化实践助推学生 STEM 素养发展——以“人脸识别物联网测温仪”项目为例[J]. 江苏教育, 2021, (17): 25-27.
- [10] 李昀, 陈建, 唐怀坤. 人脸识别的技术分析及项目实践[J]. 中国通信业, 2019, (05): 24-27.

智能工厂中的自动化生产线优化设计与应用

张吉

苏州弗朗自动化技术有限公司，江苏 苏州 215000

摘 要： 随着全球制造业的快速发展，智能工厂已成为工业4.0时代的核心组成部分。自动化生产线作为智能工厂的关键环节，其优化设计对于提升生产效率、降低成本、增强市场竞争力具有重要意义。本文首先介绍了智能工厂及自动化生产线的概念与发展背景，分析了当前自动化生产线面临的挑战与机遇。随后，从生产线布局优化、设备选型与集成、控制系统设计、信息化与智能化升级等方面，详细探讨了智能工厂中自动化生产线的优化设计方法。接着，本文阐述了自动化生产线在智能工厂中的实际应用案例，并进行了效果评估。最后，总结了自动化生产线优化设计的关键要素，并对未来智能工厂中自动化生产线的发展趋势进行了展望。

关 键 词： 智能工厂；自动化生产线；优化设计；精益生产；智能制造

Optimization design and application of automatic production line in intelligent factory

Zhang Ji

Suzhou French Automation Technology Co., Ltd. Suzhou, Jiangsu 215000

Abstract： With the rapid development of the global manufacturing industry, the smart factory has become the core component of the industry 4.0 era. As the key link of intelligent factory, the optimal design of automatic production line is of great significance for improving production efficiency, reducing cost and enhancing market competitiveness. This paper first introduces the concept and development background of intelligent factory and automatic production line, and analyzes the challenges and opportunities facing the current automatic production line. Subsequently, the optimization design method of automatic production line in intelligent factories was discussed in detail, from the aspects of production line layout optimization, equipment selection and integration, control system design, information and intelligent upgrade. Then, this paper expounds the practical application case of automatic production line in intelligent factory, and evaluates the effect. Finally, we summarize the key elements of automatic production line optimization design, and prospect the development trend of automatic production line in intelligent factory in the future.

Keywords： intelligent factory; automated production line; optimized design; lean production; intelligent manufacturing

引言

在21世纪的全球化经济中，制造业作为国民经济的支柱产业，其发展水平直接关系到国家的综合实力和国际竞争力。随着信息技术的飞速发展和互联网的广泛普及，制造业正经历着前所未有的变革。从传统的机械化、自动化生产模式，向智能化、网络化、服务化方向转型，已成为制造业发展的必然趋势。智能工厂作为工业4.0的核心概念之一，以其高度的灵活性、可重构性和自适应性，成为未来制造业发展的重要方向。^[1]

本文旨在探讨智能工厂中自动化生产线的优化设计方法及其应用。通过对自动化生产线的基本概念、发展历程及现状进行深入分析，结合智能工厂的特点和需求，提出了一系列针对自动化生产线的优化设计策略。这些策略涵盖了生产线布局优化、设备选型与集成、控制系统设计、信息化与智能化升级等多个方面，旨在全面提升自动化生产线的综合性能，为智能工厂的建设和发展提供有力支持。^[2]

一、智能工厂及自动化生产线概述

（一）智能工厂的定义与特点

智能工厂是工业4.0时代制造业转型升级的重要方向，是数字化、网络化、智能化技术在制造领域的深度融合与应用。它利用

物联网、大数据、云计算、人工智能等先进技术，实现生产过程的实时监控、智能调度、自主优化和协同管理，形成高度灵活、高效、可持续的生产体系。智能工厂具有以下几个显著特点：

（1）高度信息化：智能工厂通过构建统一的信息平台，实现生产数据、设备状态、物料信息等全要素的数字化和网络化，为

智能化决策提供数据支持。(2) 高度自动化: 智能工厂中的生产线采用先进的自动化设备和技术, 实现生产过程的自动化控制和无人化操作, 提高生产效率和产品质量。(3) 高度智能化: 智能工厂利用人工智能、机器学习等技术, 对生产数据进行深度挖掘和分析, 实现生产过程的智能预测、智能调度和智能优化, 提升生产系统的自适应性和灵活性。

(二) 自动化生产线的概念与发展

自动化生产线是指由一系列自动化设备和辅助装置组成, 能够按照预定的工艺顺序和节拍, 自动完成产品加工、组装、检测等生产任务的连续作业线。自动化生产线的发展经历了从简单到复杂、从单一到集成、从机械化到智能化的演变过程。

早期的自动化生产线主要采用机械传动和电气控制技术, 实现生产过程的自动化控制。随着计算机技术的引入, 自动化生产线开始具备数据处理和监控功能。近年来, 随着物联网、大数据、人工智能等技术的快速发展, 自动化生产线向智能化方向迈进, 实现了生产过程的实时监控、智能调度和自主优化。

自动化生产线具有生产效率高、产品质量稳定、生产周期短、占地面积小等优点, 是现代制造业中不可或缺的重要组成部分。然而, 随着市场需求的多样化、个性化以及生产环境的复杂化, 传统自动化生产线面临着诸多挑战, 如生产灵活性不足、设备利用率低、能耗高等问题。因此, 优化自动化生产线的设计, 提升其综合性能, 成为当前制造业研究的热点问题。^[3]

(三) 智能工厂中自动化生产线的作用

在智能工厂中, 自动化生产线作为连接原材料、半成品和成品的桥梁, 是实现高效、稳定、高质量生产的关键环节。自动化生产线在智能工厂中的作用主要体现在以下几个方面:

(1) 提高生产效率, 自动化生产线采用先进的自动化设备和控制技术, 能够大幅提高生产速度和节拍, 缩短产品生产周期, 提升整体生产效率。(2) 保证产品质量, 自动化生产线通过精确的工艺控制和在线检测设备, 能够实现对产品质量的实时监控和严格把关, 确保产品质量符合标准要求。(3) 降低生产成本, 自动化生产线通过优化生产流程、减少人工干预和降低能耗等方式, 能够显著降低生产成本, 提高企业的盈利能力。(4) 增强生产灵活性, 自动化生产线通过采用模块化设计、可重构技术和智能调度算法等, 能够实现对不同产品、不同批次生产的快速切换和灵活调整, 满足市场需求的多样化、个性化要求。(5) 推动智能化升级, 自动化生产线作为智能工厂的重要组成部分, 其智能化水平的提升将直接带动整个工厂的智能化升级, 推动制造业向更高层次发展。^[4]

二、智能工厂中自动化生产线的优化设计

(一) 生产线布局优化

生产线布局是自动化生产线设计的基础, 直接影响生产线的生产效率、物料流动、人员操作和设备利用率等方面。在智能工厂中, 生产线布局优化应遵循以下原则:

(1) 流程优化原则: 根据产品工艺特点和生产流程要求, 合理规划生产区域和工位, 减少物料搬运和等待时间, 提高生产效

率。(2) 物料流动原则: 优化物料流动路径, 减少物料搬运次数和距离, 降低物流成本。同时, 考虑物料的存储和供应方式, 确保物料供应的及时性和准确性。(3) 人员操作原则: 合理布局操作岗位和休息区, 降低操作人员的工作强度和疲劳度。同时, 考虑操作人员的安全和舒适性, 确保生产过程的顺利进行。(4) 设备利用率原则: 根据设备性能和生产需求, 合理配置设备数量和类型, 提高设备利用率和生产效率。同时, 考虑设备的维护和保养要求, 确保设备的长期稳定运行。(5) 智能化升级原则: 在生产线布局设计中, 预留智能化升级的空间和接口, 便于后续引入先进的自动化设备和智能化系统, 提升生产线的智能化水平。

在具体实践中, 可采用仿真技术、精益生产等方法对生产线布局进行优化设计。通过构建生产线仿真模型, 模拟不同布局方案下的生产流程、物料流动和人员操作情况, 评估各方案的优劣并进行优化调整。同时, 结合精益生产理念, 消除生产过程中的浪费和瓶颈环节, 提高生产线的整体性能。

(二) 设备选型与集成

设备选型与集成是自动化生产线设计的关键环节, 直接影响生产线的生产效率、产品质量和成本等方面。在智能工厂中, 设备选型与集成应遵循以下原则:

(1) 适用性原则: 根据产品工艺特点和生产需求, 选择适用的自动化设备和辅助装置。同时, 考虑设备的性能参数、精度要求、可靠性等方面, 确保设备能够满足生产要求。(2) 标准化原则: 优先选择符合国际标准和行业规范的自动化设备, 便于设备的安装、调试和维护。同时, 考虑设备的兼容性和可扩展性, 为后续的设备升级和扩展提供便利。(3) 经济性原则: 在保证设备性能和质量的前提下, 综合考虑设备的价格、维护成本和使用寿命等因素, 选择性价比高的设备。同时, 考虑设备的能效和环保性能, 降低生产成本和环境负担。(4) 集成性原则: 注重自动化设备之间的集成和协同, 实现设备之间的信息共享和协同控制。通过构建统一的控制系统和信息平台, 实现设备的远程监控、智能调度和自主优化, 提高生产线的整体性能和智能化水平。

在具体实践中, 可采用设备选型评估方法、系统集成技术等手段对设备进行选型与集成。通过对不同设备进行比较分析, 评估各设备的性能、价格、维护成本等方面, 选择最优的设备组合。同时, 采用先进的系统集成技术, 实现设备之间的无缝连接和高效协同, 提高生产线的整体性能和智能化水平。

(三) 控制系统设计

控制系统是自动化生产线的核心部分, 负责实现生产过程的自动化控制和智能调度。在智能工厂中, 控制系统设计应遵循以下原则:

(1) 实时性原则: 控制系统应具备实时采集、处理和分析生产数据的能力, 实现对生产过程的实时监控和智能调度。同时, 考虑控制系统的响应速度和稳定性, 确保生产过程的顺利进行。(2) 可靠性原则: 控制系统应采用高可靠性的硬件和软件平台, 确保系统的稳定运行和数据的安全性。同时, 考虑系统的冗余设计和故障恢复能力, 提高系统的可靠性和稳定性。(3) 开放性原则: 控制系统应采用开放式的架构和接口标准, 便于与其他系统和设备进行连

接和集成。同时，考虑系统的可扩展性和灵活性，为后续的功能扩展和升级提供便利。（4）智能化原则：控制系统应集成先进的人工智能算法和机器学习技术，实现对生产数据的深度挖掘和分析，为智能化决策提供数据支持。同时，考虑系统的自适应性和自学习能力，提高系统的智能化水平和自适应能力。

在具体实践中，可采用先进的控制技术、网络通信技术和人工智能算法等手段对控制系统进行设计。通过构建实时数据采集与处理系统、智能调度算法和决策支持系统等，实现对生产过程的实时监控、智能调度和自主优化。同时，采用先进的网络通信技术和信息安全技术，确保控制系统的数据安全性和稳定性。

（四）信息化与智能化升级

信息化与智能化升级是提升自动化生产线综合性能的重要手段。在智能工厂中，应注重信息化与智能化技术的融合应用，推动自动化生产线的智能化升级。具体可从以下几个方面入手：

（1）构建信息化平台：构建统一的信息化平台，实现生产数据、设备状态、物料信息等全要素的数字化和网络化。通过数据采集、处理和分析，为智能化决策提供数据支持。同时，利用云计算、大数据等技术手段，实现对生产数据的深度挖掘和预测分析，提高生产线的智能化水平。（2）引入人工智能技术：将人工智能技术引入自动化生产线，实现对生产过程的智能预测、智能调度和智能优化。通过机器学习算法，对生产数据进行训练和学习，建立生产过程的预测模型和优化策略。同时，利用人工智能技术实现对设备故障的智能诊断和预警，提高设备利用率和生产效率。（3）推广物联网技术：物联网技术是实现设备互联、信息共享和协同控制的重要手段。在自动化生产线中，应推广物联网技术的应用，实现设备之间的无缝连接和高效协同。通过构建物联网平台，实现设备状态的实时监控和远程控制，提高生产线的灵活性和响应速度。^[5]

三、智能工厂中自动化生产线的实际应用

（一）汽车制造行业

在汽车制造行业中，自动化生产线已得到广泛应用。通过引入先进的自动化设备和技术，汽车制造企业实现了生产过程的自动化控制和无人化操作。例如，在冲压、焊接、涂装和总装等生产环节中，采用机器人、自动化输送线和智能检测设备等自动化设备，实现了生产过程的连续化和高效化。

（二）电子制造行业

在电子制造行业中，自动化生产线同样发挥着重要作用。电子产品的生产过程涉及多个环节，如贴片、插件、测试、组装等。通过引入自动化设备和生产线技术，电子制造企业实现了生产过程的自动化控制和智能化管理。例如，在贴片环节中，采用

自动贴片机和激光定位技术等自动化设备，实现了元件的精确贴装和高效生产。

（三）食品加工行业

在食品加工行业中，自动化生产线同样具有广阔的应用前景。食品加工过程涉及多个环节，如原料处理、加工成型、包装和储存等。通过引入自动化设备和生产线技术，食品加工企业实现了生产过程的自动化控制和智能化管理。例如，在包装环节中，采用自动包装机和智能检测设备等自动化设备，实现了包装的精确控制和高效生产。

四、自动化生产线优化设计的关键要素

（一）技术选型与集成

在自动化生产线的优化设计中，技术选型与集成是关键要素之一。应根据产品工艺特点和生产需求，选择适用的自动化设备和辅助装置，并注重设备之间的集成和协同。通过采用先进的系统集成技术和通信技术，实现设备之间的无缝连接和高效协同，提高生产线的整体性能和智能化水平。

（二）数据驱动与智能化

数据驱动与智能化是自动化生产线优化设计的另一重要要素。通过构建信息化平台和引入人工智能技术，实现对生产数据的实时监控和分析。利用大数据、云计算等技术手段，对生产数据进行深度挖掘和预测分析，为智能化决策提供数据支持。同时，利用人工智能技术实现对生产过程的智能预测、智能调度和智能优化，提高生产线的智能化水平和自适应能力。

（三）精益生产与持续改进

精益生产与持续改进是提升自动化生产线综合性能的重要手段。应实施精益生产策略，消除生产过程中的浪费和瓶颈环节，提高生产效率和产品质量。同时，建立持续改进机制，定期对生产线进行评估和优化。通过引入新的技术和管理理念，不断完善生产线的设计和优化方案，提升生产线的综合性能和竞争力。

五、结束语

综上所述，智能工厂中的自动化生产线优化设计是提升制造业竞争力的重要手段之一。通过综合运用多种方法和手段，可以显著提升自动化生产线的综合性能和生产效率。未来，随着技术的不断进步和制造业的不断发展，自动化生产线的优化设计将更加注重智能化、柔性化和可持续性发展等方面。同时，加强技术创新、人才培养和政策引导等方面的努力也将为推动制造业转型升级和智能化发展提供有力的支持和保障。

参考文献

- [1] 刘丹. 对工厂电气自动化系统接地问题的探讨[J]. 科技视界, 2018(25):30-31.
- [2] 王建华. 工厂电气自动化控制技术在生产工作中的应用[J]. 中国设备工程, 2018(08):174-175.
- [3] 张益民, 孙柏林, 宋晓东. 电气自动化在现代工厂中的运用[J]. 现代制造技术与装备, 2017(12):172-173.
- [4] 蔡朝辉, 黄德松. 工厂电气自动化系统的设计及应用[J]. 广东化工, 2017, 44(14):232-233+257.
- [5] 柳溪. 工厂电气自动化控制技术在生产工作中的应用[J]. 中小企业管理与科技(下旬刊), 2017(07):130-131.

火电厂冷却塔土建施工中的质量管理体系优化研究

高棒

湖南华电平江发电有限公司，湖南 岳阳 410400

摘 要： 本论文围绕火电厂冷却塔土建施工质量管理体系展开优化探究，主张借助系统剖析当下施工质量管理的实际状况并联系具体的施工环节拟定优化策略。该优化策略涵盖健全质量管理组织架构、增强关键环节把控、运用信息化技术手段、增强施工人员的质量观念等方面致力于提高冷却塔施工的质量水平、推进施工进度以及保障施工安全性。借由实施效果的评估及改进举措保证施工质量契合设计标准，增进工程的整体性能与外观成效。

关 键 词： 冷却塔；土建施工；质量管理；优化方案；信息化技术

Study on the optimization of the quality management system in the civil construction of the cooling tower of the thermal power plant

Gao Bang

Hunan Huadian Pingjiang Power Generation Co., LTD. Yueyang, Hunan 410400

Abstract： This paper focuses on the optimization of the civil construction quality management system of the cooling towers of thermal power plants, and advocates analyzing the actual situation of the current construction quality management with the help of the system, and proposes the optimization strategy in connection with the specific construction links. The optimization strategy covers the aspects of improving the organization of quality management structure, enhancing the control of key links, using the means of information technology, and enhancing the quality concept of construction personnel to improve the quality level of cooling tower construction, promote the construction progress and ensure the construction safety. Through the evaluation of the implementation effect and improvement measures to ensure that the construction quality meets the design standards, improve the overall performance and appearance of the project.

Keywords： cooling tower; civil construction; quality management; optimization scheme; information technology

引言

火电厂的冷却塔身为电力系统的关键构成部分，其土建施工的质量直接关乎电厂的整体运作成效与安全性。伴随火电厂建设规模的持续拓展以及施工技术的逐步提升，质量管理已然变成确保施工质量以及工程顺利开展的重要要素。

一、火电厂冷却塔土建施工质量管理体系现状分析

（一）现行质量管理体系的构成

火电厂冷却塔土建施工质量管理体系一般涵盖多个层级与环节，包含施工组织规划、技术交底、人员素养提高、项目管理、材料质量把控等方面。施工组织规划在项目施行程中发挥着规划与控制的效用保证施工计划和实际操作的相符性。技术交底借助书面及口头的形式保证施工人员知悉施工要求降低操作偏差。人员素养提高则依靠培训与激励机制增进施工人员的技术水准和质量观念进而保障施工质量。项目管理通过针对“第一”“重点”“临界”项目展开质量检查保证关键环节受到充分把控^[1]。

（二）当前施工质量管理中存在的问题

首先一部分施工人员对于法律法规和行业标准不够熟知，在

施工时常常出现降低标准进行操作的情况致使质量缺陷难以切实得到解决。其次责任观念淡薄特别是在关键环节诸如混凝土浇筑以及钢筋绑扎等方面，缺少有效的监督质量问题难以及时被发觉和矫正。此外一部分施工单位存有以劣充好的情况，为削减成本而运用低质量材料导致施工质量不符合标准^[2-3]。

二、火电厂冷却塔土建施工质量管理体系优化策略

（一）完善质量管理组织结构

首先质量管理组织的层级需明晰职责要确切，一般来讲在大型项目里项目经理承担着全面的质量把控工作，而质量经理则主管具体的质量施行与监管事宜。就火电厂冷却塔的土建施工项目而言除去常规的项目经理、施工员、质检员，提议构建专门的质

量管理机构，用以对施工质量展开全程的监督与审查。与此同时成立专项质量小组针对不同的施工阶段以及关键部位实施专项的质量控制与技术支持，保证各个环节的质量不存在疏漏之处。组织结构的完备要依据项目的实际状况不但涵盖常规的施工质量查验，还应当结合项目的技术复杂性和施工风险，拟定详尽的岗位职责以及质量控制流程^[4]。

在某火电厂冷却塔土建施工项目里项目管理团队借助优化质量管理组织结构，顺利提高了施工质量与效率。此项目的质量管理组织结构涵盖了项目经理、质量经理、工长、质检员以及技术支持小组。在项目初始阶段项目经理和质量经理一同拟定了质量管理规划，明晰了各施工环节的质量准则并组建了多个质量专项小组，分别负责基础施工、塔筒施工以及钢筋混凝土施工等关键流程。在施工进程中每个工序的质量查验均由专门的质检员和技术人员担当，保障施工依照预定标准开展。具体于冷却塔基础施工阶段而言为了保障混凝土浇筑质量，项目质量小组构建了专门的监控体系实时监控混凝土的浇筑流程。每次浇筑之前质检员会查验混凝土的配比、钢筋位置、模板的稳固程度，并向施工队伍进行技术交底保证施工工人确切领会技术要求。同时，为深刻汲取“11.24”丰城事件，某火电厂在冷却塔筒壁施工过程中，严格执行模板拆除申请制度。即下模筒壁模板拆除前，需在业主、监理、施工单位三方共同见证下试压拟拆除模板上一模筒壁砼同条件养护试块，在强度达标后方可签批模板拆除申请令，并批准拆模，该措施有力保障了砼实体质量可控。

（二）强化质量控制流程与标准

在项目设计时期务必针对施工流程予以全方位的筹划，拟定详尽的质量控制规划保障每个工序、每个环节具备明晰的标准。在施工期间质量管控人员需要深入到现场，施行过程监督，保证施工人员切实执行操作规范。特别是在混凝土浇灌、钢筋装设、模板支撑等关键工序之中，要展开严苛的质量核查保证每一环节均与标准要求相符。施工完结以后应当开展全面的验收工作特别是牵涉到外观要求的方面，像清水混凝土的色泽一致性、表面的光滑程度、曲线的精准程度等，一定要进行严格的质量检测确保施工成果契合设计以及使用标准。

在某火电厂冷却塔项目的施工作业期间，项目团队针对质量控制流程实施了严苛的管理并且借助详尽的标准与规范保障了项目的高品质竣工。起初在施工进程中鉴于冷却塔的风筒部分并非一次性浇筑而成，而是运用分模浇筑的办法所以维持混凝土的色泽均匀性变成了一项艰巨的挑战。正因如此项目团队凭借精准把控每次浇筑的混凝土配合比例，保证每一批次的混凝土成分相同。在浇筑期间项目人员针对每次浇筑的材料占比展开了严格的查验，保证沙、石、水泥的质量契合预定标准，同时对每个浇筑单元进行了细致的记录以便回溯和监管。

此外为保障冷却塔外观的几何精准度，项目团队于曲线控制层面拟定了严苛的标准。譬如在双曲线冷却塔的施工作业中，项目尤为注重曲率半径的把控。在施工初始阶段，项目团队对模板实施了多次调适，保证模板的平整度与曲率精准无误。特别是结合实际经验，在喉部以下的内倾段偏差必须控制在+10mm以内；

而喉部以上的外仰段，偏差则需控制在-10mm以内。该举措较大程度上平衡了冷却塔筒壁砼浇筑过程中由于自重原因引起的模板变形，保障了筒壁整体曲线美观。项目团队在每个节点均做了详尽记录，凭借这种高精度的管理举措，保障了冷却塔的外形契合设计需求并且未曾出现不符合标准的质量问题。为进一步稳固清水混凝土的外观质量，项目推行了“样板引路、样板先行”的质量把控方式。在施工前期项目团队依照实际比例制作了1:1的支墩样板，通过多次工艺调整以及混凝土水灰比的优化，最终明确了最佳的混凝土配合比。在完成样板后项目团队通过样板的实际成效对每个施工环节进行了严厉的复核，保证所有施工工艺都能够复制到实际操作当中^[5]。



> 图1：冷却塔支墩及人字柱

（三）信息化技术在质量管理中的应用

借助信息化质量管理体系能够针对施工全流程展开实时监控以及精准管理，大幅提高施工管理水平与决策效率。信息化技术于质量管理里涵盖了众多重要环节包含施工组织设计、技术交底、材料设备管理、施工过程监控以及质量验收等模块。这些模块的集成化运用让施工管理人员能够实时获取各类施工数据，及时察觉问题并展开调整和改进。比方说通过施工组织设计模块项目管理人员能够动态调节施工计划，保证施工进度与实际操作的一致性。

在实际运用当中某火电厂冷却塔项目借助信息化技术顺利地提高了质量管理水平，该项目运用了信息化管理系统达成了对施工全程的全方位监控和数据分析。在施工准备阶段项目管理团队凭借系统对材料的采购和检验展开全程追踪，并通过信息系统进行实时数据采集与分析保证所采购的材料契合设计要求。施工过程中尤其是在混凝土浇筑、钢筋安装等关键工序上，项目组经由智能监控系统实时跟进施工进度和质量及时调节施工方案，规避了常见的施工问题例如混凝土浇筑不均或者钢筋位置偏差等。为保障混凝土的密实度和强度项目还于关键部位运用了超声波检测技术，针对混凝土实施无损检测并实时把检测数据传送至质量管理体系予以分析。当发觉混凝土强度未达到设计标准时，系统会自动提醒相关人员展开整改进而阻止了质量问题的扩大^[6]。

（四）提升施工人员的质量意识与培训

施工质量不单依赖于规范化的施工工艺和精准的技术标准，

还极大程度地依赖于每位施工人员的质量责任感和操作技能。故而质量意识教育和技能培训变成提升施工质量的基础环节。首先质量意识教育需要贯穿于施工的整个过程，借助定期的培训、宣传和案例分析等形式让施工人员充分知晓质量在工程里的核心地位。

在实际操作当中某火电厂冷却塔项目借助系统化的质量意识教育和技能培训，明显提升了施工人员的质量水平。项目在施工初期组织了多次质量意识提升培训，内容包含了从材料选购到施工工艺、从质量事故分析到现场安全管理等各个方面。尤其在观看质量事故案例视频时施工人员通过剖析一些过去施工过程中因忽视质量管理而造成的严重后果，深切认识到质量问题的潜在风险和严重性。为了进一步提升技术水平项目组还为不同岗位的施工人员举行了专项技能培训。

三、质量管理体系优化实施方案

（一）优化方案的制定与目标设定

优化冷却塔土建施工质量管理体系的方案起初要明晰其核心目标，也就是提升施工质量保证工程的安全性、可靠性和美观性。优化方案应当针对施工过程中现存的问题展开深度剖析，制订具体可行的施行步骤。目标设定方面要确切借由优化质量管理体系降低施工过程中的质量问题，保证混凝土结构的强度与稳定性提高固定构件的精度，优化塔壁钢筋的施工质量并确保外观效果符合标准进而提升冷却塔的整体性能^[7]。

（二）施工阶段质量管理的具体实施步骤

施工前阶段最初要开展详尽的施工组织设计包含进度规划、资源配置、施工方案等，确保每一个环节都能够有序施行。在进行技术交底时要采用书面和口头相结合的形式保证施工人员充分理解施工要求与技术标准。另外要严格把控材料质量从选购到运输都要保证符合标准。在施工进程中注重进度与质量的双重管理

控，及时调整施工进度并加强对关键工序的质量把控如钢筋、混凝土、模板等。施工结束后进行全面的质量验收保证所有指标符合设计和规范要求，并对施工过程中的质量问题进行整改^[8]。

（三）质量控制的关键环节与技术要求

针对冷却塔清水砼工艺以及支墩和人字柱施工存有较大难度这一特性，质量把控的重点环节涵盖清水砼的配比规划与施工工艺的掌控。为保障清水砼的外观色泽优美项目推行了“样板引领、样板前置”的举措，依照严格的1:1比例打造支墩样板，并且经过多次施工工艺及砼水灰比的调节保证砼表面平齐、色泽统一。另外在支墩和人字柱的施工进程里，严密把控混凝土的浇筑厚度、均匀程度以及养护温度，防止由于施工工艺失当造成的色差或者裂缝问题，强化对各个环节的技术交底与现场监管保证清水砼的施工成效符合预期准则^[9]。

（四）实施效果评估与改进措施

质量管理体系的优化成果需从多个维度予以评估包含质量指标、进度指标、成本把控以及安全管理等方面。通过质量检测数据判断工程是否符合设计标准进度有无按照规划推进，成本有无超出预算以及施工过程中是否存在安全风险。针对出现的质量状况应进行根源探究即刻整改并加强过程中的质量监控。进度和成本超支的状况则需要调整进度规划与资源安排提升施工效率。并且要加强安全管理确保施工现场的各类安全举措落实到位，防范和降低安全事故的发生^[10]。

四、结语

对火电厂冷却塔土木建筑质量管理体系进行了深入分析，并在实施中给出了优化措施，并根据实际情况进行了论述。优化的实施对建设质量和工作效率有很大的促进作用，尤其是在质量控制、技术培训以及激励机制方面。经研究发现，科学合理的质量管理制度，使建设风险得到有效降低，整体工程成效得到增强。

参考文献

- [1] 燕海泉, 尚明明, 王凯. 装配式建筑项目施工质量控制影响因素研究 [J]. 中国房地产业, 2023:156-159.
- [2] 翟焕民. 浅析火力发电厂绿色环保改造工程的安全生产管理 [J]. 电力设备管理, 2023(15):219-221.
- [3] 神龙. 火力发电厂环保设备的管理思路探究 [J]. 中文科技期刊数据库 (全文版) 工程技术, 2021(12):2.
- [4] 昌永辉. 火电厂工程建设 EPC 总承包项目管理体系研究 [J]. 建材与装饰, 2020(17):2.
- [5] 梁郝安. 论建筑工程土建施工现场管理的优化策略 [J]. 百科论坛电子杂志, 2019,000(004):240.
- [6] 王栋. 关于建筑工程土建施工现场管理的优化策略研讨 [J]. 中国科技期刊数据库 工业 A, 2022(5):3.
- [7] 谭安. 建筑工程 EPC 总承包项目风险管理研究 [J]. 冶金丛刊, 2021,006(003):153-154.
- [8] 赵保强. 基于 EPC 总承包模式的工程项目进度风险管理体系研究 [J]. 铁路采购与物流, 2022(9):36-39,55.
- [9] 刘磊, 孙玮康. 基于 EPC 总承包模式下火电建设项目大安全管理 [J]. 大众标准化, 2022(14):69-71.
- [10] 王敏. 影响装配式建筑施工质量的关键因素及控制措施分析 [J]. 建筑工程与管理, 2021(6):118-119.

基于风险控制理论与风险评估的电力安全管理策略研究

芦鹏, 孔珺婷

国网银川供电公司, 宁夏 银川 750001

摘 要 : 在我国电力网络系统建设规模不断扩大的背景下, 电力生产能力不断提升、电力网络覆盖范围不断扩大, 同时对于电力安全管理工作提出许多新的要求。在当前社会, 电力作为现代社会运转的核心能源, 其安全稳定供给关系到经济发展和社会稳定, 甚至关系到人们日常生活的各个方面。随着电网规模的不断扩大, 发电、输电、变电、配电等各个领域的电网结构日趋复杂, 任何一个阶段存在的隐患都会给电网带来巨大的危害。对此, 本文对基于风险控制理论与风险评估的电力安全管理策略作出研究。

关 键 词 : 风险控制理论; 风险评估; 电力安全管理; 措施分析

Research on power safety management strategy based on risk control theory and risk assessment

Lu Peng, Kong Juntong

State Grid Yinchuan Power Supply Company, Yinchuan, Ningxia 750001

Abstract : Under the background of the continuous expansion of the construction scale of China's electric power network system, the power production capacity has been continuously improved, the coverage of the electric power network has been continuously expanded, and many new requirements have been put forward for the safety management of electric power. In the current society, electricity is the core energy of modern society, and its safe and stable supply is related to economic development and social stability, and even to all aspects of People's Daily life. With the continuous expansion of the scale of the power grid, the power grid structure in various fields such as power generation, transmission, transformation and distribution is becoming increasingly complex, and the hidden dangers existing at any stage will bring great harm to the power grid. In this paper, the power safety management strategy based on risk control theory and risk assessment is studied.

Keywords : risk control theory; risk assessment; power safety management; measure analysis

近几年, 世界各地相继爆发了电网坍塌、变电站火灾、输电线路故障等重大安全事件, 对社会生产和人民生活都产生了极大的冲击。特别是随着国家能源局《电网安全风险管控办法》的制定与实施, 其中提到: “为了有效防范电网大面积停电风险, 要建立以科学防范为导向、流程管理为手段、全过程闭环监管为支撑的电网安全风险管控机制, 保障新型电力系统安全高质量发展”。在此背景下, 构建一套系统化和科学化的安全管理理论和技术手段, 对电网的安全运行进行精确辨识、有效评估和合理调控, 可以有效保障电网的安全运行。风险控制理论为电力安全管理提供了新的理论框架和方法论。通过对电网运行过程中的各种风险因素进行分析, 找出电网运行过程中存在的各种隐患, 并进行相应的风险管理。这一过程不仅涉及到技术层面的考量, 还包括管理、经济和法律等多个方面的综合问题。

一、现有电力安全管理理论的局限性

以往的电力安全管理理论集中在事件后的应对和分析上, 较少考虑风险的预防和预警机制的建立。在动态多变的电网环境下, 传统的“被动应对”方式很难对可能出现的风险进行预测和防范, 严重影响了电网安全管理的时效性和前瞻性。还有就是智能电网、大数据、人工智能等技术的飞速发展, 电网运行管理模式正在发生着巨大的变化。但现有的一些安全管理制度并没有及

时跟进, 无法很好地运用新技术来提高监测预警、风险评估与应急响应能力, 导致电力安全管理方法比较落后^[1]。此外, 已有的电力安全管理理论在跨领域和跨部门的协作方面还存在不足。电力安全管理工作涉及到发电、输电、配电和用电等多个环节, 以及政府监管、企业经营和用户安全等各个方面, 因此, 各部门之间的密切配合是必不可少的。然而, 在实际操作过程中, 行业内部存在着职责模糊和信息共享不及时等问题, 导致部门间协作的有效性不高, 从而降低了安全管理整体效益。

二、分析电力系统运行中的固有风险

（一）设备老化

电气设备中的绝缘材料会逐渐老化，从而降低设备绝缘性能。这不但会引起漏电、短路等故障，而且会引起器件发热，严重时会引起火灾。如在高压输电线中，若绝缘子老化程度严重，将引起短路、接地故障等事故，从而影响电网的稳定运行。而机器零件的损耗也是一种明显的老化现象。电机、轴承和齿轮等机械零件经过长时间的运行，会发生磨损或松动，从而引起运行不稳定，振动加剧，严重时还会产生噪声和损坏。这些故障不但严重降低了设备的使用性能，而且还会危及到周边环境及人身安全。另外，由于设备老化，也会造成控制及防护元件灵敏度降低。在电网正常运行中，各类安全设备及控制设备扮演着极其重要的角色。但是，由于器件的性能退化，其响应时间和精度都会下降，一旦出现问题，就不能进行有效的防护，进而使事故的规模增大，危害更加严重。

（二）自然灾害

在电网的正常运行过程中，不可避免地会受到各种自然灾害的影响，其中包括设备的损坏、供电中断，甚至电网崩溃等严重后果。其中，地震、洪水、台风、雷击是危害电网安全的四大常见自然灾害。地震时，剧烈震动会造成输电线路断裂、变电站设备移动和损坏，从而引起大范围停电事故。洪水会导致变电站及输电线路淹没，损坏设施，严重时还会让电线飘离地面，引发人身安全事故。2017年，我国广东湛江遭遇超强台风“天鸽”袭击，大量电力设施受损，数万用户停电^[2]。雷击可能会直接击中输电线路和变电站，导致设备失效或起火。另外，雷击也会引起电气设备的过压，对电力系统运行的稳定性造成严重影响。

（三）电网结构问题

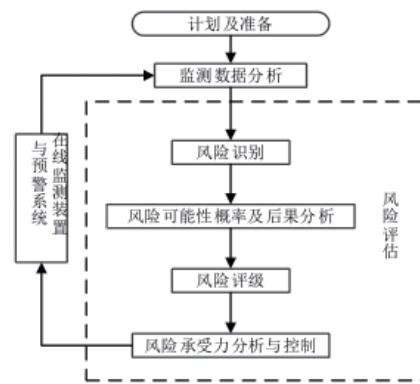
电网结构是否合理，将对电力输送的有效性和安全性产生重要影响。比如，在某些区域，因为历史原因或规划限制，电网布局会比较紧密或零散，造成线路之间的互联程度很低，当一条线路发生故障时，很容易造成大范围的停电事故。另外，在电力系统中，供电节点和负载节点的匹配程度也非常重要。如果电源分布不均匀，则必然会发生远距离的电力传输，这样不但会增大电能损耗，而且还会因线路老化和过载发生事故。另外，电网结构的可扩展性和灵活性也是必须要考虑的因素。我国城镇化的快速发展，市场对电力需求越来越高，这也对电网的扩容改造提出了更高的要求^[3]。但是，现有的电力系统中存在着容量不足、结构灵活性差等问题，严重制约了电力系统的升级和发展。

三、基于风险控制理论与风险评估的电力安全管理策略

（一）基于综合性风险评估方法，识别电力运营中的潜在风险点

首先要构建一个全面的风险识别模型，以风险管控理论和风险评估为基础，结合历史数据，通过对已有的事故案例进行统计

和分析，找出由于设备老化引起的短路、过载等共同的危险因素，并对其进行诊断。通过聘请业内高级管理人员，利用专业经验，为风险识别提供新的视角。而实地考察则是另外一项关键步骤。要做到这一点，必须要有专职的安全主管，通过对生产流程的观察和与生产一线工人进行沟通，及时掌握生产过程中存在的问题和隐患^[4]。在此基础上，进行风险性评估，根据已识别的风险点，进行量化和定性分析，对危险性等级进行划分。例如，采用故障树分析法对复杂系统进行分解，确定引发重大事故的主要原因和发生的可能性。也可以使用安全性评估（SLR）对设备和工艺的安全性进行评估。这些方法有助于管理者理解风险的轻重缓急，以便确定紧急情况下的应对措施，并为其配置相应的资源，如图1：



> 图1：风险评估工作流程

（二）结合国际安全管理标准，构建以风险控制为核心的安全管理体系框架

在建立以风险控制为核心的安全管理体系框架中，必须以ISO 45001等相关的国际安全管理规范为基础，使安全管理体系框架与国际接轨，并与企业实践相结合。从风险辨识、风险评估、风险控制到风险监测等方面进行全面的风险控制。

在风险辨识方面，运用作业安全性分析（JSA）、危险与可操作性（HAZOP）等系统性的技术手段，对电网运行过程中存在的设备故障、人为差错、外部环境变化等多种风险进行综合辨识。通过对风险列表进行周期性的回顾与修订，保证对风险进行及时、准确的辨识。在风险评估方面，通过风险矩阵和安全案例分析等定性和量化手段，对风险进行等级划分，并对风险发生的可能性和产生的冲击进行评估^[5]。这个程序需要对现存的各种管制行动的效果进行评估，这样才能精确地判定所能承受的危险程度。

然后，在风险管控环节，根据风险评估的结论，制订和执行有目标的风险管控对策。包含但不仅局限以下方面：强化装备保养、改进自动化程度，以降低人工干涉；编制突发事件应对方案，提升突发事件处置的水平；加强对员工的安全知识和技术的训练；建设企业安全文化，激励职工积极举报危险源，等等。在考虑成本效益原则的基础上，确保控制措施的经济性和可行性。在风险管控方面，通过安全巡查、事故记录分析、人员反馈等方式，对管控行动的执行情况进行追踪^[6]。针对新出现或者是升级的风险，要及时调整管理措施，实现闭环管理。在此基础上，综合运用大数据分析、物联网等信息技术，提高风险管理的有效性与

精确性。

（三）建立基于数据的决策支持系统，实现风险管理的动态调整

为了建立一种有效的、自适应性强的电力安全管理策略，需要将电网运行中的风险控制理论和风险评估有机地结合起来，着重运用大数据和人工智能等技术，建立基于数据的决策支持系统。该系统不仅能够对电网运行状态、设备运行状态、环境因素和人为作业等多维信息进行收集，还能利用多种算法建模方法，辨识出可能存在的安全隐患和风险趋势，为管理人员提供具有前瞻性的风险预警和对策建议^[7]。

为了保证从变电站到输电线路的每一个阶段都能得到很好的监测和控制。基于物联网（IoT）技术，传感器、智能仪器等终端设备能够将重要信息不断地向云计算或数据中心（如设备温度、负载、绝缘状况等）传输，进行实时分析，以发现是否存在异常或超过安全阈值^[8]。通过大数据分析，系统可以实现对风险的自动化评估，通过机器学习算法对未来某一时间的失效和故障可能性进行预报，同时还可以生成风险热力图，将风险分布和发展趋势显示出来。一旦发现高风险情况，就会启动警报系统，提醒有关人员进行防范^[9]。同时，系统还支持动态调整，即提高巡检频率、应急资源的临时部署等。

（四）强调全员参与，提升员工的风险意识与责任感

企业要从上到下，建立起“防患于未然，安全至上”的风险文化。高层管理者需要用自己的实际行动展示出对安全管理的关注，比如参加安全会议、亲自审查风险评估报告等，鼓励员工主动参与风险管理。定期开展安全教育和培训，包括基本的电力作业安全规范、风险识别技能、应急处理方法等，使每个职工都明白自己在安全管理工作中的职责和角色^[10]。通过案例分析、模拟演习等方式加强培训的互动性与实用性，实现理论与实践的密切联系，如图2：



> 图2：人员安全管理培训

此外，要鼓励员工在日常工作中主动识别潜在的安全风险，通过工作安全性分析（JSA）、危险与可操作性分析（HAZOP）等方法，对已发现的危险因素进行系统评估，判断其风险等级及可能性，从而提出相应的防控对策。企业管理层应该根据员工的反馈，对所发现的问题作出相应的分析，并根据实际情况对安全管理战略作出相应调整。通过 PDCA（计划-执行-检查-行动）循环，不断迭代优化安全管理流程。

四、结束语

综上所述，风险控制理论作为电力安全管理的科学决策依据和方法，通过风险辨识、风险评估及风险管控措施，可以有效地对电力系统各类风险进行防范与管控。因此，管理人员要从多个角度出发不断完善安全管理体系，做好风险控制和风险评估工作，最大限度的降低风险隐患的不利影响。将安全管理工作常态化、有序化、规范化，通过提高安全管理和风险识别整体水平，推动电厂电力生产的稳定有序进行。

参考文献

- [1] 荆俊婷. 风险评估与控制在电力企业安全管理中的应用[J]. 企业改革与管理, 2023,(15):17-18.
- [2] 张雷, 惠超. 风险控制在电力安全生产管理中的应用研究[J]. 江西电力职业技术学院学报, 2022,35(08):9-11.
- [3] 李蓉, 周帆, 贺牧, 等. 风险控制和风险评估背景下电力安全管理的策略探讨[J]. 电力设备管理, 2021,(02):89-91.
- [4] 张蕾琼, 胡宝祥, 金亮亮. 电力系统的安全管理对策分析[J]. 集成电路应用, 2022,39(05):234-235.
- [5] 王跃. 基于风险控制和风险评估的电力安全管理策略[J]. 集成电路应用, 2019,36(10):76-77.
- [6] 张德强. 基于风险控制和风险评估的电力安全管理策略[J]. 百科论坛电子杂志, 2020(23):3794.
- [7] 王寒玉. 基于风险控制和风险评估的电力安全管理策略[J]. 百科论坛电子杂志, 2020(13):1561.
- [8] 陈道勇. 风险控制在电力安全生产管理中的应用研究[J]. 中国设备工程, 2021(2):31-32.
- [9] 王晓东. 基于风险控制理论与风险评估的电力安全管理对策研究[J]. 电力系统装备, 2022(5):161-163.
- [10] 毛莉, 毛颖莹. 风险控制和风险评估背景下电力安全管理的策略探讨[J]. 电脑爱好者(普及版)(电子刊), 2020(1):1646-1647.

火电厂超超临界发电技术及其能效分析

石富强

国家能源集团内蒙古东胜热电有限公司，内蒙古 鄂尔多斯 017000

摘 要： 本文对火电厂超超临界发电技术进行了全面的概述与能效分析。首先介绍了超超临界发电技术的原理与特点，以及其优势与不足，随后详细阐述了火电厂超超临界发电系统的构成，包括锅炉系统、汽轮机系统和发电机系统的结构及工作原理。在此基础上，文章分析了超超临界发电技术的能效指标，如燃料利用率、蒸汽循环效率和排烟温度，并探讨了影响其能效的因素。最后，提出了超超临界发电技术的节能措施，旨在为提高火电厂的能源利用效率提供参考。

关 键 词： 火电厂；超超临界；发电；能效

Analysis of ultra-supercritical power generation technology and its energy efficiency in thermal power plants

Shi Fuqiang

National Energy Group Inner Mongolia Dongsheng Thermal Power Co., LTD. Ordos, Inner Mongolia 017000

Abstract： This paper gives a comprehensive overview and energy efficiency analysis of ultra-supercritical power generation technology in thermal power plants. First, the principles and characteristics of ultra-supercritical power generation technology are introduced, as well as its advantages and disadvantages, and then the composition of ultra-supercritical power generation system in thermal power plant is elaborated in detail, including the structure and working principle of boiler system, steam turbine system and generator system. On this basis, the paper analyzes the energy efficiency indicators of ultra-supercritical power generation technology, such as fuel utilization rate, steam cycle efficiency and smoke exhaust temperature, and discusses the factors affecting its energy efficiency. Finally, the energy saving measures for ultra-supercritical power generation technology are proposed to provide a reference for improving the energy efficiency of thermal power plants.

Keywords： thermal power plant; ultra-supercritical; power generation; energy efficiency

引言

随着能源需求的不断增长和环境保护意识的加强，火电厂超超临界发电技术因其高效率 and 低污染排放成为我国能源结构调整的重要方向。本文旨在通过对火电厂超超临界发电技术的原理、系统构成和能效分析，探讨其在我国电力行业中的应用前景，为推动火电厂技术进步和能效提升提供理论支持。

一、火电厂超超临界发电技术概述

（一）超超临界发电技术的原理与特点

超超临界发电技术是一种先进的火力发电技术，基于超临界和超超临界水蒸气循环的原理。在常规的火力发电中，水在锅炉中被加热至沸点，转化为蒸汽，然后推动汽轮机旋转，进而驱动发电机发电。当蒸汽的压力和温度超过临界点（水的临界点为374℃和22.1MPa），就进入了超临界状态^[1]。而超超临界发电技术则是在此基础上，进一步提高蒸汽的压力和温度，使其达到超超临界参数，通常压力超过28MPa，温度超过600℃。超超临界发电技术的核心特点在于其高效的能量转换能力。由于蒸汽的压力和温度的提高，热力学循环的效率也随之提升，这意味着在相同的燃料消耗下，可以产生更多的电能。高温高压的蒸汽循环可

以提高燃料的热值利用效率，减少能源浪费^[1]。由于燃烧更加充分，排放的氮氧化物和其他污染物相对较少。超超临界锅炉和汽轮机的设计使得设备在高温高压下运行更加稳定，延长了设备的使用寿命。

（二）超超临界发电技术的优势与不足

超超临界参数的蒸汽循环具有较高的热效率，能够减少热能损失，提高整体发电效率。由于效率的提高，相同发电量的情况下，可以减少燃料消耗，从而减少二氧化碳和其他污染物的排放。经过多年的发展和应用，超超临界发电技术已经相对成熟，能够稳定运行。超超临界锅炉和汽轮机的制造和安装成本较传统设备要高，增加了初始投资^[2]。对材料的要求非常高，需要使用特殊的高温合金材料。由于运行参数的高温高压特性，超超临界发电系统的运行维护更为复杂，需要专业的技术人员和严格的操作

程序。对燃料的适应性有一定的限制，不是所有类型的燃料都适用于超超临界锅炉。

二、火电厂超超临界发电系统的构成与工作原理

（一）锅炉系统

1. 锅炉本体结构

超超临界锅炉本体结构主要由燃烧室、水冷壁、过热器、再热器、省煤器、空气预热器等部分组成。燃烧室是锅炉的核心部分，燃料在这里进行燃烧，释放热量。水冷壁紧贴燃烧室四周，由水管组成，冷却燃烧室的同时，吸收燃烧产生的热量，生成蒸汽。过热器用于将饱和蒸汽加热成过热蒸汽，提高蒸汽的温度。再热器则用于对汽轮机做功后的蒸汽进行再加热，以恢复其温度和压力，提高循环效率^[3]。省煤器则利用烟气余热，预热给水，提高锅炉效率。空气预热器通过回收烟气余热来预热燃烧用空气，既提高燃烧效率，也减少烟气中的氮氧化物排放。这些组成部分的设计和材料选择都必须适应高温高压的工作环境，因此通常采用特殊的高温合金材料，以确保锅炉在超超临界条件下的安全稳定运行。

2. 锅炉燃烧方式

超超临界锅炉的燃烧方式通常为悬浮燃烧。在燃烧室内，燃料和空气以一定的比例混合，形成可燃混合物，通过燃烧器喷入燃烧室。燃烧器的设计保证燃料和空气的充分混合，使得燃烧更加充分。悬浮燃烧允许燃料颗粒在燃烧室内自由运动，增加燃料与空气接触的机会，提高了燃烧效率。为满足超超临界锅炉对高温高压蒸汽的需求，燃烧过程中需要严格控制燃烧温度和氧气浓度，避免产生过多的氮氧化物等污染物。随着环保要求的提高，锅炉燃烧方式也在不断优化，如采用低氮燃烧技术，以减少氮氧化物的排放。

3. 锅炉传热方式

超超临界锅炉的传热方式主要包括对流和辐射两种。在对流传热过程中，热流体（如烟气）与冷流体（如水或蒸汽）通过管道或散热片进行热量交换。在辐射传热中，热能以电磁波的形式从高温物体（如燃烧火焰）传递到低温物体（如水冷壁）。在锅炉中，水冷壁通过辐射吸收燃烧室内的热量，将水转化为蒸汽。过热器和再热器则通过对流方式，利用烟气的热量加热蒸汽。省煤器也是通过对流方式预热给水^[3]。锅炉的设计要确保热量能够高效地从烟气传递到水或蒸汽中，同时也要防止设备因高温而损坏。传热效率的高低直接影响到锅炉的运行效率和燃料的利用率，因此在锅炉设计和运行过程中，要对传热方式进行优化。

（二）汽轮机系统

1. 汽轮机本体结构

汽轮机本体结构主要由高压缸、中压缸和低压缸三部分组成，它们按照蒸汽的压力和温度不同而被区分。高压缸接收来自锅炉的过热蒸汽，进行初步膨胀做功；中压缸接收高压缸排出的蒸汽，继续进行膨胀做功；低压缸则是最后一级膨胀，将蒸汽的剩余能量转化为机械能。每个汽缸内部都装有若干级叶片，蒸汽

流经这些叶片时，叶片将蒸汽的热能转换为旋转的机械能。汽轮机的设计要求能够承受高温高压的工作环境，因此通常采用耐高温、高压的合金材料^[4]。此外，汽轮机还包括喷嘴、叶片、轴承、联轴器等关键部件，这些部件的精密制造和装配保证了汽轮机的高效率和稳定运行。

2. 汽轮机工作原理

汽轮机的工作原理是基于蒸汽的热能转换为机械能的过程。当高温高压的蒸汽从锅炉进入汽轮机的高压缸时，蒸汽在喷嘴中膨胀加速，其热能转化为动能。随后，蒸汽以高速流过叶片，叶片受到蒸汽的冲击而旋转，将蒸汽的动能转换为叶片的机械能。蒸汽在汽轮机中的膨胀过程是逐级进行的，每经过一级叶片，蒸汽的压力和温度都会降低，直到最后排出汽轮机^[4]。汽轮机的效率取决于蒸汽的膨胀程度和叶片的设计。高效的汽轮机能够在蒸汽膨胀过程中最大限度地转换为机械能，从而提高整体发电效率。

3. 汽轮机调节系统

汽轮机调节系统确保汽轮机稳定运行和适应负荷变化。主要由调节阀、调节器、执行机构和控制系统组成。调节阀控制进入汽轮机的蒸汽流量，以适应不同的负荷需求。调节器根据发电机负荷的变化，自动调节调节阀的开度，以保持汽轮机的转速稳定。执行机构负责接收控制信号，并驱动调节阀进行相应的动作。控制系统则通过监测汽轮机和发电机的运行参数，如转速、负荷、温度等，来控制调节器的动作。汽轮机调节系统的设计要求快速响应负荷变化，同时保证汽轮机的安全运行。现代汽轮机调节系统通常采用计算机控制，可以实现精确控制和快速响应，从而提高汽轮机在不同工况下都能高效稳定地运行。

（三）发电机系统

1. 发电机本体结构

发电机本体结构主要由定子、转子、轴承、励磁系统和冷却系统等部分组成。定子是发电机的静止部分，内部含有线圈，用于产生电能。定子的线圈通常由绝缘的铜线或铝线绕制而成，嵌套在铁心中。转子是发电机的旋转部分，它由励磁线圈和铁心组成，通过旋转产生磁场。轴承则支撑着转子的旋转，保持其稳定^[4]。励磁系统负责为转子提供直流电流，以产生必要的磁场。发电机的设计要求能够在高温、高压和高速旋转的环境下稳定运行，因此其结构和材料的选择都必须能够承受这些极端条件。在超超临界发电厂中，发电机通常采用更加耐高温和高压的材料，以及更加精细的制造工艺。

2. 发电机工作原理

发电机的工作原理是基于法拉第电磁感应定律。当转子在定子的线圈中旋转时，转子上的励磁线圈产生的磁场与定子的线圈相互作用，使得定子线圈中产生交流电动势（EMF）。电动势会驱动流经定子线圈的电流，从而将转子的机械能转换为电能^[5]。在发电机运行过程中，转子与定子之间的间隙越小，电磁转换效率越高。因此，发电机制造时需要精确控制转子与定子之间的间隙，以确保高效能量转换。

3. 发电机冷却方式

常见的发电机冷却方式包括空气冷却、水冷却和氢气冷却

等。空气冷却方式是利用风扇将空气吹过定子和转子线圈，吸收热量并带走。空气冷却方式结构简单，成本较低，但冷却效率有限。水冷却方式则是通过循环水流动来吸收热量，这种方式冷却效率较高，但需要复杂的水处理系统和防腐蚀措施^[6]。氢气冷却方式利用氢气的高热导率来进行冷却。氢气冷却系统包括氢气循环泵、冷却器、密封装置等。氢气的冷却效果远优于空气，且在高温下不易燃，安全性较高。然而，氢气冷却系统复杂，成本较高，对维护技术要求也较高。在选择冷却方式时，需要综合考虑发电机的容量、效率、成本和安全等因素。

三、火电厂超超临界发电技术能效分析

（一）超超临界发电技术的能效指标

1. 燃料利用率

燃料利用率指燃料中化学能量被有效转化为电能的比例。在超超临界发电技术中，由于蒸汽参数的提高，燃料的燃烧更加充分，热值的利用效率也相应提高。高温高压的蒸汽循环可以减少热能损失，提高燃料利用率。超超临界锅炉的热效率可以达到40%以上，而常规火电机组的热效率通常在30%~35%之间^[7]。在相同的发电量下，超超临界发电技术可以节省更多的燃料。此外，超超临界技术还可以通过优化燃烧过程和减少未完全燃烧的燃料损失来进一步提高燃料利用率。

2. 蒸汽循环效率

蒸汽循环效率指蒸汽在锅炉和汽轮机之间循环过程中能量转换的效率。在超超临界发电技术中，蒸汽循环效率的提高主要得益于更高的蒸汽参数和更优化的循环设计。超超临界参数的蒸汽具有较高的热焓值，在汽轮机中可以产生更多的机械能。同时，超超临界发电技术通常采用再热循环，即汽轮机中的蒸汽在做功后会被再次加热，这样可以提高蒸汽的循环效率^[8]。再热循环可以显著提高汽轮机的热效率，减少热能损失，从而提高整个蒸汽循环的效率。

3. 排烟温度

在理想的锅炉运行条件下，排烟温度应该尽可能低，以最大限度地利用燃料中的热量。在超超临界发电技术中，由于采用了高效的传热方式和优化的燃烧过程，排烟温度相对较低。锅炉能够更有效地吸收燃料燃烧产生的热量，减少热量损失。低排烟温

度还有助于减少大气污染物的排放，因为较低的温度可以减少氮氧化物等污染物的生成。通过不断的技术创新和设备优化，超超临界锅炉的排烟温度可以控制在较低水平，从而提高整体的能效表现。

（二）影响超超临界发电技术能效的因素

锅炉效率的高低直接影响到燃料的燃烧效率和热能的利用效率。提高锅炉效率可以减少热能损失，增加蒸汽的产生量，从而提高整体发电效率。汽轮机效率的高低决定了蒸汽转化为机械能的效率。提高汽轮机效率可以通过优化叶片设计、降低摩擦损失、提高蒸汽参数等方法实现。超超临界发电技术中的循环参数，如压力、温度等，对能效有着重要影响。通过合理调整循环参数，可以优化热力循环的效率，提高能效。燃料质量的好坏直接影响燃烧效率和热能的产生。选用优质燃料可以保证燃烧的充分和稳定，提高能效^[9]。设备的维护和管理对能效有着重要影响。定期对设备进行检查、清洁和维护，确保设备的正常运行，可以减少故障和能量损失。

（三）超超临界发电技术的节能措施

采用高效燃烧技术和先进的传热材料，优化锅炉结构，减少热能损失，提高锅炉效率。采用先进的叶片设计，减少汽轮机内部流动损失，提高汽轮机效率。通过合理调整循环参数，优化热力循环的效率，提高能效。采用先进的燃烧技术和设备，提高燃料的燃烧效率，减少未完全燃烧的损失^[10]。定期对设备进行检查、清洁和维护，确保设备的正常运行，减少故障和能量损失。通过以上节能措施的实施，可以显著提高超超临界发电技术的能效，降低能源消耗，减少对环境的影响。

四、结语

火电厂超超临界发电技术以其高效的能源转换和良好的环境效益，在我国电力行业中占据着重要地位。通过对超超临界发电技术的深入研究，本文揭示了其在提高能效和节能减排方面的潜力。未来，随着技术的进一步发展和优化，超超临界发电技术将为我国能源结构的优化和环境保护工作作出更大贡献。同时，也应关注其在运行管理、维护保养等方面的问题，以确保其长期稳定高效运行。

参考文献

- [1] 余惠敏. 超超临界发电有什么超能力 [N]. 经济日报, 2022-06-12(005).
- [2] 李雁争. 科技部部长数次提到“超超临界高效发电技术” [N]. 上海证券报, 2022-06-07(001).
- [3] 刘国栋, 孙振国, 刘进海. 超(超)临界发电机组锅炉加氧处理技术 [J]. 设备管理与维修, 2021, (17): 93-94.
- [4] 杨伟明. 超超临界发电机组耦合飞轮储能调频技术研究 [D]. 华北电力大学(北京), 2021.
- [5] 王倩, 王卫良, 刘敏, 吕俊复, 刘吉臻, 岳光溪. 超(超)临界燃煤发电技术发展及展望 [J]. 热力发电, 2021, 50(02): 1-9.
- [6] 郭馨, 黄蓉, 殷亚宁, 苏宏亮, 王婷, 王禹朋. 630 ~ 650℃更高等级超超临界锅炉关键技术探讨 [J]. 锅炉制造, 2020, (03): 9-11+20.
- [7] 李少华, 刘利, 彭红文. 超超临界发电技术在中国的发展现状 [J]. 煤炭加工与综合利用, 2020, (02): 65-70+74+4.
- [8] 何维, 朱骅, 刘宇钢, 易广宙, 潘绍成. 超超临界发电技术展望 [J]. 能源与环保, 2019, 41(06): 77-81.
- [9] 许杨杨, 尹朝强, 刘宇钢, 易泽中, 熊鹏, 黎懋亮. 超超临界煤气锅炉发电技术研究 [J]. 冶金能源, 2023, 42(01): 45-48.
- [10] 张佳星. 让燃煤发电技术领先一代 [N]. 科技日报, 2022-11-07(001).

综合物探技术在煤矿陷落柱中的探测应用分析

孙伟涛

中国煤炭地质总局一二九勘探队, 河北 邯郸 056004

摘 要 : 煤矿作为能源开采的重要领域, 其安全生产始终是国家关注的重点。在复杂的地下开采过程中, 陷落柱作为一种常见的地质灾害现象, 其存在不仅极大程度上破坏了煤层的连续性和完整性, 还极易成为矿井突水、顶板冒落等安全事故的诱因, 直接威胁到矿工的生命安全及企业的正常运营。传统的物探方法, 如地震勘探、电法勘探等, 虽在一定程度上能够揭示地下构造信息, 但在探测陷落柱时, 往往受限于探测深度、分辨率及环境干扰等因素, 难以全面、精确地刻画陷落柱的空间分布、形态特征及富水性等关键信息。鉴于此, 本文深入探讨了综合物探技术在煤矿陷落柱探测中的创新应用。综合物探技术通过整合多种物探手段 (如瞬变电磁法、高密度电阻率成像、三维地震勘探、地面穿透雷达等), 充分发挥各自技术优势, 实现数据互补与融合, 有效克服了单一物探方法的局限性。该技术不仅能够更精确地定位陷落柱的位置, 还能深入解析其内部结构、规模大小及富水状况, 为煤矿安全生产提供更为全面、可靠的地质依据。文中详细分析了综合物探技术在陷落柱探测中的优势, 包括提高探测精度、扩大探测范围、增强抗干扰能力等, 并通过具体实例展示了该技术在不同的地质条件下的应用效果, 验证了其在实际操作中的可靠性和准确性。这些研究成果对于提升煤矿地质灾害防治水平、保障矿井安全高效生产具有重要意义。

关 键 词 : 综合物探技术; 煤矿陷落柱; 探测

Analysis on the application of comprehensive geophysical exploration technology in the detection of coal mine collapse column

Sun Weitao

129th Prospecting Team of China Coal Geology Administration, Handan, Hebei 056004

Abstract : Coal mine as an important field of energy mining, its safety production has always been the focus of national attention. In the complex underground mining process, as a common geological disaster phenomenon, collapse column not only destroys the continuity and integrity of coal seam to a great extent, but also easily becomes the incentive of mine water inrush, roof caving and other safety accidents, which directly threatens the life safety of miners and the normal operation of enterprises. Although the traditional geophysical exploration methods, such as seismic exploration and electrical exploration, can reveal the information of underground structure to a certain extent, it is difficult to describe the spatial distribution, morphological characteristics and water richness of the collapsed column comprehensively and accurately due to the factors such as detection depth, resolution and environmental interference. In view of this, this paper deeply discusses the innovative application of comprehensive geophysical exploration technology in coal mine collapse column detection. By integrating various geophysical methods (such as transient electromagnetic method, high-density resistivity imaging, three-dimensional seismic exploration, ground penetrating radar, etc.), integrated geophysical exploration technology gives full play to their respective technical advantages, realizes data complementarity and fusion, and effectively overcomes the limitations of a single geophysical exploration method. This technology can not only locate the position of the collapse column more accurately, but also analyze its internal structure, scale and water rich status in depth, providing a more comprehensive and reliable geological basis for coal mine safety production. In this paper, the advantages of comprehensive geophysical exploration technology in collapse column detection are analyzed in detail, including improving detection accuracy, expanding detection range, enhancing anti-interference ability, etc., and the application effect of this technology in different geological conditions is demonstrated by concrete examples, and its reliability and accuracy in practical operation are verified. These research results are of great significance for improving the level of coal mine geological disaster prevention and control and ensuring mine safety and efficient production.

Keywords : integrated geophysical exploration technology; coal mine collapse column; probe

煤矿开采是一项高度依赖地质条件的系统工程，而地质构造的复杂性往往给开采活动带来诸多不确定性。其中，陷落柱作为一种典型的隐蔽性地质灾害，其形成过程漫长且机理复杂，涉及地下水循环、岩石力学性质变化等多个方面。由于陷落柱内部往往填充有破碎岩石和泥沙，甚至可能富含地下水，这使得其在煤矿开采过程中极易成为水患的源头，威胁矿井安全。因此，准确、及时地探测陷落柱的位置、规模及其富水性，成为煤矿地质勘查和灾害防治的重要任务^[1]。传统的物探技术由于各自存在的局限性，难以满足这一需求。随着科技的不断进步，综合物探技术应运而生，它集合了多种物探方法的优点，通过综合运用、数据处理与解释技术的提升，实现了对陷落柱更为全面、深入的探测。这不仅提高了地质勘查的精度和效率，也为煤矿企业的安全生产决策提供了强有力的技术支撑。

一、综合物探技术概述

综合物探技术，作为现代地质勘探领域的一项尖端成就，其深度整合与广泛应用的特性，彻底革新了我们对地球内部结构的探索方式。该技术体系的核心竞争力在于其无与伦比的综合性与兼容性，它巧妙地将诸如电阻率法、磁法勘探、地震勘探、重力勘探、放射性勘探等多种地球物理勘探手段融为一体，形成一套高效协同的勘探系统^[2]。这一系统不仅能够针对地下介质复杂多变的物理特性（如电阻率差异、磁化率变化、岩石弹性响应、天然放射性强度等）进行全方位、多角度的数据采集，还能通过先进的数据处理与分析技术，深入挖掘这些数据背后的地质信息，从而构建出地下三维地质结构的精细模型。在煤矿这一特殊领域，综合物探技术更是成为了保障安全生产不可或缺的技术支撑。面对煤矿开采过程中频发的地质灾害，尤其是由陷落柱引起的安全隐患，该技术展现出了独特的优势。陷落柱作为煤矿中隐蔽性高、危害性大的地质异常体，其精确探测与评估是预防煤矿事故的关键。综合物探技术通过综合应用多种勘探手段，能够有效区分陷落柱与周围正常岩层的物理属性差异，如电阻率突变、磁性异常、地震波速减慢等特征，进而实现对陷落柱边界的清晰界定和空间位置的精确定位。在实际操作中，综合物探技术的实施通常包括以下几个关键步骤：首先，根据煤矿区域的地质背景资料，制定针对性的勘探方案，选择合适的勘探方法和仪器；其次，在煤矿现场进行实地测量，采集大量、高质量的地球物理数据；然后，利用先进的计算机技术和专业软件，对数据进行处理、分析和解释，提取有关陷落柱的关键信息；最后，根据解释结果绘制出陷落柱的分布图，为煤矿的开采规划和安全措施制定提供科学依据^[3]。

二、综合物探技术在煤矿陷落柱中的探测应用

（一）地震勘探

地震勘探作为地质勘探领域的一项先进技术，其核心在于通过人工方式在地表或浅部地层中激发地震波。这些地震波随后在地下岩层中传播，遇到不同岩性界面或地质构造时会发生反射、折射和透射等现象。通过在地面布设的密集地震检波器阵列接收这些反射回来的地震波信号，并利用高精度的数据处理技术进行

分析，地震勘探能够揭示地下复杂的地质结构^[4]。

在陷落柱的探测中，地震勘探技术发挥着关键作用。它能够清晰地描绘出地下岩层的分层情况，包括不同岩层的厚度、岩性变化以及潜在的断裂构造等。这些信息对于评估陷落柱的几何形态、分布范围及其与周围地层的空间关系至关重要。然而，值得注意的是，由于陷落柱内部填充物的复杂性（如松散岩石、泥土及可能的水体）以及含水量的变化，单一的地震勘探方法有时难以全面、精确地反映其内部特性和动态变化。因此，在实际应用中，往往需要结合其他物探手段进行综合分析和解释。

（二）瞬变电磁探测

瞬变电磁探测（TEM）技术则是一种基于电磁感应原理的地球物理勘探方法。该方法通过在地表或井下布设不接地回线或接地电极作为发射源，向地下发送一次强大的脉冲电磁场。当这个脉冲电磁场遇到地下介质时，会激发产生二次电磁场，这些二次场会随时间发生变化并传播到地表^[5]。通过观测和分析这些二次场的变化特征，可以推断出地下介质的电性分布、结构特征以及含水性等信息。

对于陷落柱的探测而言，瞬变电磁探测技术具有独特的优势。由于陷落柱内部往往富含水体或具有较低的电阻率，这使得它们对电磁场的变化尤为敏感。因此，通过瞬变电磁探测技术可以准确地识别出陷落柱的富水性特征，包括其空间分布、规模大小以及水体的动态变化等。这些信息对于评估陷落柱的稳定性、潜在的灾害风险以及指导工程实践具有重要意义。

（三）可控源音频大地电磁探测（CSAMT）

可控源音频大地电磁探测（CSAMT）是一种结合了主动源电磁法和音频大地电磁法优点的先进勘探技术。该技术通过在地表布设可控的人工场源（如电偶极子或磁偶极子）来激发一定频率范围内的电磁场，并观测由该电磁场在地下介质中传播时产生的不同频率响应。通过对这些响应数据的分析和处理，可以反演出地下介质的电阻率分布、地质构造特征以及可能的矿产资源信息等^[6]。

在陷落柱的探测中，CSAMT 技术凭借其探测深度大、分辨率高的特点展现出了强大的应用潜力。通过选择合适的场源参数和观测频率范围，CSAMT 技术能够有效地穿透覆盖层和浅部地层，直接探测到地下深部的地质构造和陷落柱等异常体。同时，

该技术还能够提供丰富的电阻率信息，有助于进一步揭示陷落柱的内部结构和含水状况。因此，CSAMT 技术在陷落柱探测领域具有广阔的应用前景和研究价值。

三、综合物探技术在煤矿陷落柱中的探测注意事项

（一）环境噪声控制

在煤矿井下进行物探作业时，环境噪声是影响探测精度的关键因素之一。环境噪声主要包括机械振动（如矿车运行、采煤机作业等产生的震动）、电磁干扰（井下电器设备、无线通信等发出的电磁波）以及自然噪声（如地下水流动声、岩石裂隙声等）。为减少这些噪声对探测信号的干扰，避开生产高峰期进行物探作业，减少机械振动等人为噪声的影响。对于电磁干扰，可采用电磁屏蔽装置或选择电磁环境相对较好的时段进行作业^[7]。在数据采集后，运用滤波、去噪等信号处理技术，进一步提高信噪比，削弱噪声对探测结果的影响。

（二）数据采集质量

高质量的数据是确保探测结果准确性的基础。在数据采集过程中，所有参与人员需经过专业培训，熟悉设备操作规程，确保数据采集过程的标准化和规范化。确保每个测点的数据采集完整无遗漏，避免因数据缺失导致的信息不全面。详细记录作业现场的天气状况、温度、湿度等环境参数，以及设备工作状态、测点位置等信息，为后续数据处理提供全面、准确的背景资料。实施数据质量监控机制，对采集的数据进行初步检查，及时发现并处理异常数据，确保数据的准确性和代表性。

（三）多方法综合验证

鉴于煤矿地质条件的复杂性和多变性，单一物探方法往往难以全面揭示陷落柱的特征。因此，采用多种物探方法进行综合验证，是提高探测结果可靠性和准确性的有效途径。根据煤矿的具体地质条件和探测需求，合理选择地震勘探、电法勘探、磁法勘探、重力勘探等多种物探方法^[8]。利用先进的数据处理软件和技术，将不同方法获取的数据进行有效融合，提取出共同的、有价值的信息。结合地质、采矿等专业知识，对融合后的数据进行深入分析，揭示陷落柱的空间分布、形态、规模等特征，为煤矿开采提供科学依据。

（四）安全作业

安全是煤矿生产的永恒主题，也是物探作业中不可忽视的重要环节。在井下进行物探作业时，必须严格遵守安全生产规定，确保探测人员的人身安全。所有参与物探作业的人员必须接受严格的安全培训，掌握井下作业的基本安全知识和技能。作业前应对所有设备进行全面检查，确保设备性能良好、安全可靠。特别是通风、照明和通讯设备，必须保持畅通无阻，以应对紧急情况。

应急准备：制定详细的应急预案，明确应急逃生路线和救援措施。同时，加强应急演练，提高全体人员的应急反应能力^[9]。设立专门的安全监督员，对作业现场进行全程监管，及时发现并纠正违章行为，确保作业过程的安全有序。

四、综合物探技术在陷落柱探测中的应用

（一）探测原理

综合物探技术在陷落柱探测中的应用，是一种高度集成与互补的地球物理勘探策略，其核心在于精准把握不同地球物理场在地下介质中的传播与响应特性。这些物理场包括地震波、电磁场等，它们对地下岩层的岩性、密度、导电性、磁性等物理特性的变化具有不同的敏感性。

地震勘探：作为综合物探的重要组成部分，地震勘探通过在地表激发人工地震波，并观测其在地下岩层中的传播、反射与折射现象，从而反演地下地质结构。对于陷落柱的探测，地震波在遇到陷落柱形成的空洞或破碎带时，会产生明显的反射或绕射现象，进而在地震记录上形成特征波形，帮助研究人员识别陷落柱的存在位置及其边界。

瞬变电磁探测：该方法利用电磁感应原理，通过向地下发送一次脉冲磁场，观测由地下介质导电性差异引起的二次电磁场变化。对于陷落柱而言，其内部可能充满水体或泥质物，这些物质的导电性通常高于周围岩石，因此在瞬变电磁探测中会显示为低电阻率异常区，从而有效指示陷落柱的富水性^[10]。

CSAMT（可控源音频大地电磁测深）：此方法结合了可控源电磁法与音频大地电磁法的优点，能够提供更深层、更精细的地质电阻率结构信息。在陷落柱探测中，CSAMT 不仅能验证地震勘探和瞬变电磁探测的结果，还能进一步细化陷落柱的垂向分布、规模及形态特征，为后续的采矿规划与安全评估提供重要依据。

（二）实例分析

以某煤矿为例，面对矿区内复杂的地质条件及多个潜在的陷落柱威胁，研究团队精心设计了综合物探技术方案。

首先，通过地震勘探的高分辨率成像能力，团队详细描绘了矿区的地下岩层分布，特别是断裂构造的走向与规模。这些断裂构造往往是陷落柱形成的重要因素，它们的精确识别为后续的陷落柱探测奠定了坚实基础。

随后，利用瞬变电磁探测的高效性与敏感性，研究团队对疑似陷落柱区域进行了重点扫描。通过对比不同区域的电磁响应特征，团队成功圈定了富水性较强的异常区域，初步确认了陷落柱的位置与范围。

最后，为了获得更全面的陷落柱信息，研究团队采用了 CSAMT 方法进行深入探测。CSAMT 不仅验证了地震与瞬变电磁的探测结果，还揭示了陷落柱在垂向上的详细结构，包括其顶底界深度、形状变化及可能的充水情况等。这一系列的探测成果，为煤矿后续的开采方案调整、安全隐患排查及防治水工作提供了有力的技术支持。

通过对比综合物探技术的探测结果与后续钻探验证，两者高度一致，充分证明了综合物探技术在陷落柱探测中的可靠性、高效性和准确性。这一成功案例不仅展示了现代地球物理勘探技术的强大潜力，也为类似地质条件下的陷落柱探测提供了宝贵的经验与参考。

五、总结

综合物探技术在煤矿陷落柱探测中具有显著优势，能够全面揭示地下地质结构，准确确定陷落柱的位置、规模及其富水性。

通过实例分析可以看出，综合物探技术在实际应用中取得了良好的效果，为煤矿安全生产提供了有力保障。未来，随着技术的不断进步和完善，综合物探技术在煤矿陷落柱探测中的应用将更加广泛和深入。

参考文献

[1] 李旭. 综合物探技术在煤矿防治水中的应用 [J]. 能源与节能, 2023(2):216-218.
[2] 郭璋怡. 综合物探技术在煤矿水治理中的运用 [J]. 矿业装备, 2023(12):121-123.
[3] 王名贺, 郝少辉. 综合物探技术在煤矿防治水中的应用 [J]. 内蒙古煤炭经济, 2023(15):169-171.
[4] 刘玮. 综合物探技术在煤矿采空区探测中的应用研究 [J]. 能源与节能, 2023(5):193-195,211.
[5] 刘斌. 综合物探技术在煤矿防治水中的应用研究 [J]. 煤炭工程, 2019, 51(z1):84-86.
[6] 潘远. 综合物探技术在煤矿水害防治中的应用 [J]. 内蒙古煤炭经济, 2019(15):185-186.
[7] 郭艳春. 综合物探技术在煤矿防治水中的运用探析 [J]. 当代化工研究, 2020(6):96-97.
[8] 刘超, 刘昊. 综合物探技术在煤矿防治水中的运用分析 [J]. 内蒙古煤炭经济, 2020(15):179-180.
[9] 乔秋雁. 综合物探技术在煤矿采区地质勘探中的应用 [J]. 中外交流, 2020(12):148.
[10] 胡光斌. 综合物探技术在煤矿地质水文勘探中的运用分析 [J]. 矿业装备, 2021(6):80-81.

基于红外传感器的教室节能控制系统设计

杨艳霞

西安工商学院, 陕西 西安 710061

摘 要 : 本文介绍了基于红外传感器的教室节能照明控制系统的设计与实现。随着能源问题的日益突出, 教室照明节能成为一个重要的研究课题。该系统以 STC89C52 单片机为核心, 结合红外传感器、光照检测电路等硬件模块以及相应的软件设计, 实现了教室照明的自动控制, 达到节能的目的。文中阐述了系统的整体方案、硬件设计、调试过程, 并对研究结果进行了总结和展望。

关 键 词 : STC89C52; 红外传感器; 照明控制; 节能控制; 光敏电阻

Design of classroom energy saving control system based on infrared sensor

Yang Yanxia

Xi'an Technology and Business College, Xi'an, Shaanxi 710061

Abstract : This paper introduces the design and implementation of classroom energy-saving lighting control system based on infrared sensor. With the increasingly prominent energy problems, classroom lighting energy saving has become an important research topic. The system takes STC89C52 single chip microcomputer as the core, combines infrared sensor, light detection circuit and other hardware modules and corresponding software design, realizes the automatic control of classroom lighting, and achieves the purpose of energy saving. In this paper, the overall scheme, hardware design and debugging process of the system are described, and the research results are summarized and prospected.

Keywords : STC89C52; infrared sensor; lighting control; energy saving control; photoresistor

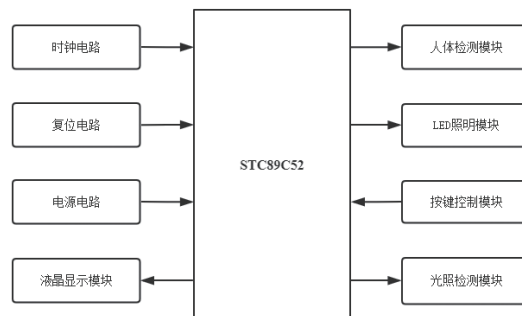
引言

在学校的日常运营中, 教室照明用电浪费现象较为严重。许多教室在无人使用时灯仍然亮着, 这不仅造成了能源的浪费, 还增加了学校的运营成本。据统计, 照明用电在学校总用电量中占比较大。因此, 设计一款能够根据教室实际使用情况自动控制照明的系统具有重要的现实意义^[1]。

一、系统整体设计方案

该系统使用 STC89C52 单片机作为教室内的主控元件, 用热释电红外传感器技术来实时判断一个教室内环境中是否存在人员和物体, 同时可以利用 ADC0832 芯片和光敏电阻器等技术来对环境中的光信号进行实时采集和分析判断, 在根据环境中教室光照状态和情况, 来自动地打开或者停止教室内的灯光, 使得教室内照明监控系统的各种智能化和安全控制功能得以实现, 从而减少教室资源浪费的情况^{[2][3]}。

系统主要由 8 个模块组成, 分别为 STC89C52 单片机主控模块、时钟电路、电源电路、复位电路、人体检测模块、光照检测模块、LED 照明模块、按键控制模块。这些模块协同工作, 共同完成整个系统的运行。



> 图 1 系统整体框图

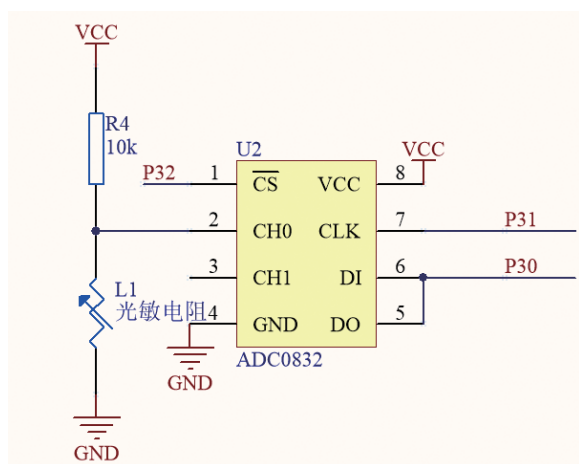
通过采用 LED 照明, 提高电能利用率, 利用传感器检测, 微处理器控制, 实现 LED 灯的自动开关操作。智能人体感应, 就是通过红外探测是否有在灯照射的范围内有人存在来确定是否把灯

打开。当人进入时，红外感应到，然后开灯；当人离开时，灯自动熄灭。

二、系统主要硬件设计

（一）光照检测电路

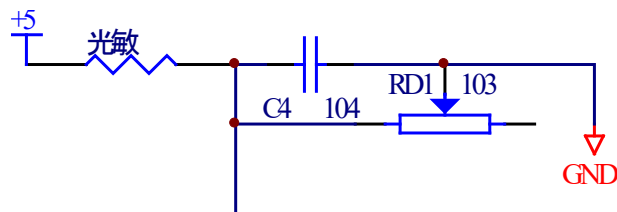
本设计利用光敏电阻和电阻的变化来划分电压，并将电压值转换为 ADC0832 从而进行模数转换。光限值可通过 10K 可调电阻调节。最后，将信号送到单片机中进行处理。光照检测电路如图 2 所示^{[6][7]}。



> 图2光照检测电路

（二）光敏电路

光敏振动电阻器主要用途是一种用于利用电子半导体光电效应原理来设计制成的光敏电阻器，其光敏电阻值的数值长度会因入射光的振动频率和入射强度而发生变化；其中的光敏电阻值长度会因入射光频率强度的缓慢加快而逐渐略微减小，并且强度会因入射光频率强度的缓慢加快而逐渐略微增大。光刻胶通常被广泛应用于光强度测量，光亮度控制等各种光电电子信号的角度转换（把光的不同角度变化转换成了光电的不同）。光敏监测的电路图如图 3 所示^{[4][5]}。



> 图3 光敏检测电路

（三）红外传感器电路

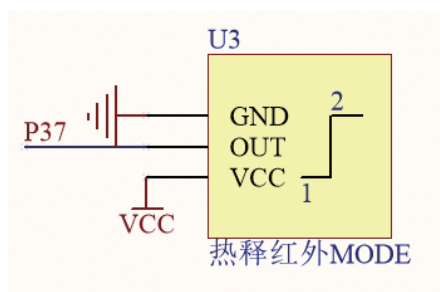
热释放红外激光传感器控制系统主要原理是由红外传感器、光学控制系统及红外检测控制电路三个大部分共同作用组成。传感器由红外敏感性材料元件（红外热释放电子材料元件 pzt）、场效应晶体管（主要就是用于控制阻抗电压变换）、高功率电阻元件 rg（用于释放放在栅极上的电荷而使场效应晶体管安全可靠地正常工作）和红外滤波器（有效地用于防止和有效抑制无线电灯及对太阳光的辐射影响）四个大部分共同组成，选择了位于人体的两个红外线荧光辐射；在两个热释放电

式红外传感器前面分别设置了一个菲涅耳透镜，从而可以直接使外部的两个红外线荧光辐射元件能够通过。但透镜只是将发射光线分别聚焦反射到一个位于传感器的两个元件上，产生的两个光谱滤波信号并没有使其发生任何偏移，也就是增加了对该两个传感器的信号检测控制距离；在作者可以进行检测所达到的温度范围内，传感器元件输出的光谱信号滤波频率大约为 0.1-10hz，检测控制电路主要包括信号检测、放大、比较控制电路、延时信号控制电路及开关驱动信号控制电路四个大部分^[8]。

技术参数：

- 工作电压：DC6 ~ 9V；
- 电平输出：和电源电压相同；
- 感应角度：水平：90 ~ 110度；垂直：70度；
- 静态电流：通常小于 750 μ A；
- 无信号输出：0V；
- 感应距离：0.5 ~ 8米。

人体检测电路如图 4。

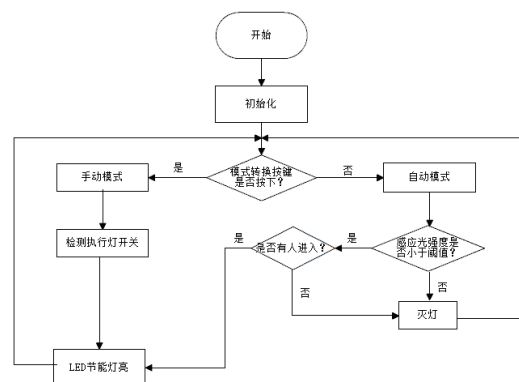


> 图4人体检测电路

三、系统软件设计

系统初始化开始工作，可以按下模式转换按键选择自动模式还是手动模式。

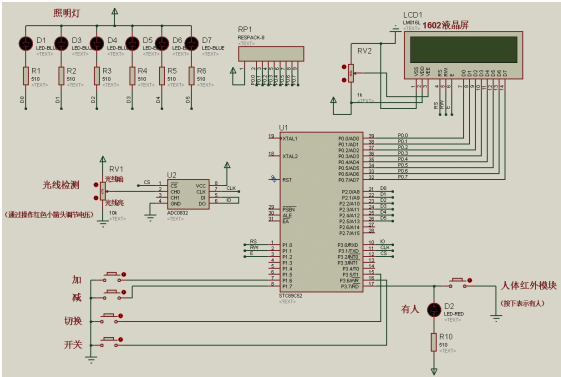
首先系统初始化后系统进入自动模式，会自动感应此时教室光的强度，当光强大于阈值时，教室灭灯；当光强小于阈值时，就会继续判断是否有人进入。若无人进入，教室依然会灭灯；若人进入，教室才会开灯。而且其中光照强度阈值可以通过按键控制增减。若想切换为手动模式，可以通过模式转换按键来改变其控制状态，手动模式下可以直接控制灯的开关。程序流程图如图 5 所示^[9-10]。



> 图5 系统主程序流程图

四、仿真测试

使用 ISIS 7 Professional 软件搭建仿真系统，需要注意系统中有部分元件可能在软件中没有，需下载相关元件库。按照原理图搭建仿真系统，包括主控制模块、人体红外模块、光线检测模块、LED 照明灯模块和显示模块等。



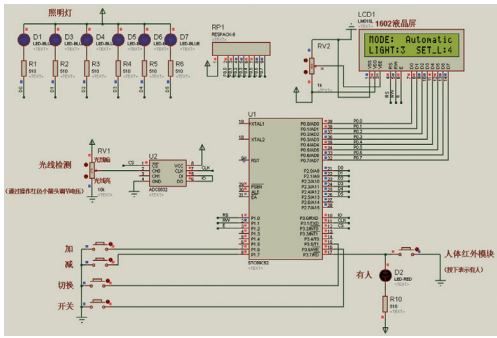
> 图6 仿真系统搭建

控制模块主要使用 STC89C52 单片机作为整个系统的控制中枢，它的功能是负责数据的处理和传输，向其它各个模块下达相关的操作指令。人体红外模块是整个系统重要的组成部分，主要是依靠它来感应教室是否有人存在，它的原理是人具有体温温度能够被红外传感器感应出来。光线检测模块它决定系统每天什么时候运行，在白天的时候它可以检测到光线，当太阳光为教室提供了足够的照明，它会将检测到的信息传回单片机，此时不管教室是否有人都不会下发照明指令。只有在晚上或者光线不足的时候，它向单片机传输相关的指令，单片机才会进一步根据教室有没有人来决定是否开启照明。LED 照明灯模块在本系统中可以最为直观的让人观察到系统的功能是否实现，当满足条件时照明灯点亮为教室提供照明。显示模块是直接观察整个系统运行状态和向外传从信息的窗口，它能够显示系统检测的结果和运行状态，例如当前教室的光照强度以及满足照明条件的光照阈值，直观的来判断当前系统是否正常运行。

仿真系统开始运行前，需要把提前设计好的程序在 keil 里编译生成 .hex 文件。然后将生成的 .hex 文件导入到单片机中。

当外界光照大于阈值时，照明灯不亮；当外界光照小于阈值时，照明灯亮，如图 7 所示。

符合系统设计的预期要求。



> 图7 照明灯亮

五、实际调试过程中遇到的问题及解决方法

（一）传感器灵敏度问题

红外传感器和光敏电阻的灵敏度可能会受到环境因素的影响，如温度、湿度等。通过对传感器进行校准和调整，以及优化软件算法，提高了传感器的灵敏度和准确性。

（二）系统稳定性问题

在系统运行过程中，可能会出现程序死机或运行不稳定的情况。通过对硬件电路进行检查和优化，如检查电源稳定性、电路连接是否良好等，同时对软件进行调试和优化，如增加错误处理机制和程序优化算法，提高了系统的稳定性。

六、结束语

本论文设计的基于红外传感器的教室节能照明控制系统，通过合理的系统整体方案设计、硬件电路设计以及软件设计和调试，实现了教室照明的智能控制和节能目标。系统能够根据教室是否有人以及光照强度自动控制照明灯具的开关，具有一定的实用价值。

系统在一些复杂环境下的性能可能会受到影响，如强光干扰、多人频繁进出教室等情况。此外，系统的存储功能还有待完善，在前期的准备工作中，对采集到的温度进行存储的功能没有实现。

后期会进一步优化系统的性能，提高传感器的抗干扰能力和系统的稳定性。同时，可以考虑增加更多的功能，如远程控制功能、与学校的教学管理系统集成等，以满足不同用户的需求。还可以进一步研究和应用更先进的节能技术和智能控制算法，提高教室照明的节能效果和智能化水平。

参考文献

[1] 陈明炎. 8051 单片机课程设计实训教材 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2018.
[2] 张毅刚. MCS-51 单片机应用设计 [M]. 哈尔滨工业大学出版社, 2019.
[3] 徐新艳. 单片机原理、应用与实践 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2017.
[4] 赵建平. 国内外照明节能标准的介绍 [J]. 室外照明专业委员会 2006 年年会. 2006.
[5] 张振昭. 许锦标. 楼宇智能化技术 [M]. 北京: 机械工业出版社. 2018.
[6] 马小军. 智能照明控制系统 [M]. 东南大学出版社. 2019.
[7] 卢斌. 基于单片机的光电双向计数器 [J]. 制造业自动化. 2012.
[8] 谢宜仁. 单片机实用技术问答 [M]. 北京: 人民邮电出版社. 2003,6.
[9] 卢建刚. 基于智能检测技术的室内照明系统 [J]. 机电工程技术. 2008, 37(5):53-55.
[10] 郭奇. 智能家居控制平台的设计与实现 [J]. 沈阳理工大学. 2012.

基于风险评估的城燃工程安全管理策略

张力浩

深圳市燃气集团股份有限公司，广东 深圳 518000

摘 要： 随着燃气在能源结构中的比例不断上升，在各行各业中的应用日益广泛，对人们的生产生活带来极大便利的同时，越来越多的人关注燃气安全，对燃气安全给予高度关注。在此背景之下，城燃企业应当树立风险防范意识，加快构建燃气工程安全防范机制。本文基于风险评估视角，结合城燃工程安全管理现状，探究城燃工程安全管理工作的有效展开，并提出相应的管理策略，以加快构建高水平、高安全性的城燃工程安全管理体系。

关 键 词： 风险评估；城燃工程；安全管理；管理策略

Safety management strategy of urban fuel engineering based on risk assessment

Zhang Lihao

Shenzhen Gas Group Co. LTD. Shenzhen, Guangdong 518000

Abstract： As the proportion of gas in the energy structure continues to rise, the application of gas in all walks of life is increasingly extensive, while bringing great convenience to people's production and life, more and more people pay attention to gas safety. Under this background, urban fuel enterprises should establish risk prevention awareness and speed up the construction of gas engineering safety prevention mechanism. Based on the perspective of risk assessment, combined with the current situation of urban fuel engineering safety management, this paper explores the effective development of urban fuel engineering safety management, and puts forward corresponding management strategies to accelerate the construction of a high-level and high-safety urban fuel engineering safety management system.

Keywords： risk assessment; urban fire engineering; safety management; management strategy

引言

近些年来，一些燃气安全事故的发生，引发了公众对城燃安全性的担忧，城燃工程关系到千家万户的用气安全，更影响着社会经济的发展。作为新时代的城燃企业，理应勇担时代使命，溯源而上，构建科学的、规范的城燃工程施工体系，以高标准、高质量的建设要求，建设符合人民群众、社会需要的城燃工程。在推进城燃工程安全施工的进程中，城燃企业理应通过风险评估的方式，对城燃工程中存在的问题进行分析，找到城燃工程安全施工的影响因素，进而采取对应的施工措施，以增强城燃工程施工建设的安全性^[1]。

一、提升城燃工程安全管理的必要性

（一）提升城燃工程安全管理的科学性与规范性

基于风险评估的方式所开展的城燃工程安全管理工作，不再是笼统的安全管理工作，而是在结合城燃工程施工建设风险案例的基础之上，结合城燃工程施工建设的具体情况，通过引入风险评估的方法，将城燃工程所面临的风险，以具体的数字标准量化，确定城燃工程建设、施工的风险系数，对各施工项目做出具体的风险评估，分析其在施工建设过程中面临的风险项目，并根据施工建设的难度、施工设备的使用情况、施工人员的素质等，给予其相应的风险评估分数，让城燃工程管理部门从整体上把握城燃工程的风险系数，并根据风险系数，对各施工项目制定具有针对性的风险防范方案，并对相关施工人员进行安全培训，提升

施工人员的安全防范意识；由安全员按照城燃工程的风险防范方案，在其职责范围内开展相应的安全管理工作，从而使城燃工程有序进行，从而有效的提升了城燃工程安全管理的科学性与规范性^[2]。

（二）提升城燃工程安全管理信息化水平

在风险评估的基础之上开展的城燃工程安全管理工作，还有助于提升城燃工程安全管理的信息化水平。通过对城燃工程建设项目的风险评估，构建城燃工程风险评估模型，将城燃工程存在的各类安全风险输入到其中，能够明晰城燃工程施工建设过程中存在的安全痛点和难点，在城燃工程安全管理部门的协调之下，组织专家对影响到城燃工程施工的痛点和难点，制定具体的施工建设方案，以规避可能出现的风险，从而大幅度的提升了城燃工程施工建设的安全性。在执行施工安全方案的过程中，为了加强

张力浩（1994.02-），男，汉族，广东揭西，本科学历，初级工程师、二级建造师，研究方向：城镇燃气工程管理。

对一线施工的监督，城燃工程安全管理部门会通过一些信息化的设备，通过在施工现场安装监控摄像头、传感器，详细了解城燃工程施工建设的进度，并从中分析其是否将安全工作执行到位，由此实现动态化的风险防范与管理，提升了城燃工程安全管理的信息化水平。

二、城燃工程安全管理中存在的问题

（一）思想松懈，轻视安全管理的重要性

在城燃工程安全管理工作中，首先，在城燃工程的安全管理期间。管理人员思想麻痹，轻视安全管理重要性，漠视安全管理的实施过程。现代城燃工程从项目立项到施工建设、验收等环节，均需要依照法律法规的相关要求进行，建设单位、施工单位、监理单位等单位共同参与到其中，对城燃工程进行全面而细致的监管，从整体上把控城燃工程的建设质量与施工管理。在此背景之下，一些管理人员认为项目建设不会出问题，对待自己的本职工作缺乏必要的责任感，仅仅按照上级部门的要求开展工作，而没有深入到城燃工程的施工一线，对城燃工程的施工情况进行详细的了解，并根据所了解的情况对城燃工程的施工进行及时的管理，由此埋下安全隐患。因部分城燃工程安全管理人员思想上的松懈、麻痹大意，必然会导致施工人员思想松懈，犹如连锁反应一般，往往在不可能出问题的地方出现一些小问题，最终威胁到城燃工程的施工建设。其次，在城燃工程的施工阶段。部分城燃工程的承建单位，为了能够在规定时间内交工，甚至是提前完工，不断向施工单位施加施工压力，施工单位为了赶工期，必然会忽视城燃工程施工建设中的一些安全隐患，导致安全隐患不断累计，最终有可能演变成重大安全事故，威胁到城燃工程的整体建设^[3]。

（二）权责不明，安全责任落实不到位

城燃工程在施工期间所构建的自上而下的安全管理人员体系，由城燃工程安全部门经理、主管、班组长、安全员等组成，共同参与到城燃工程安全管理工作之中。虽然参与到城燃工程安全管理的人员众多，但众多人员之间的工作界限不明、权责不分。如在城燃工程的建设期间，负责施工安全管理的班组长和安全员的工作内容有一定的重叠，部分班组长将一些职责不够分明的工作内容交安全员负责，导致安全员工作繁杂。而班组长则可以规避一些安全管理工作，致使部分安全管理工作存在监管漏洞。因而，在城燃工程的安全管理工作之中，存在着权责不明，安全责任落实不到位，各级主管部门脱离实际的情况，未能深入到安全管理工作之中，针对安全管理工作构建真正有效的安全管理体系统。

（三）安全风险评估模型不健全

在城燃工程的安全施工期间内，借助信息化技术是提升其管理有效性的保障，但一些城燃工程的施工单位受限于管理理念的缺失、经济成本的限制，所构建的城燃工程安全风险评估模型不够完善，未能全面覆盖城燃工程安全施工管理的各项工作之中，导致所构建的安全风险评估模型所能发挥的作用有限，不足以支

撑城燃工程安全风险评估与防范工作的开展。

三、提升城燃工程安全管理有效性的对策

（一）构建安全风险评估模型

城燃工程的安全风险评估体系是由风险评估模型、数据库、大数据、人工智能等组成，在构建安全风险评估体系的过程中，城燃工程需要根据项目建设的实际需要，投入必要的人力和物力，以构建符合城燃工程安全管理实际需要的安全风险评估体系。首先，在城燃工程的风险评估模型方面，城燃工程的安全管理部门应将风险评估模型分为城市燃气工程和乡村燃气工程两大类，针对城市与乡村的燃气工程建设的差异，分别制定适合城市与乡村的风险评估模型。其中，城市地区因市政工程项目众多，在构建城市燃气工程安全风险评估模型时，需要得到市政部门的支持，由市政部门牵头与其他部门进行业务方面的衔接，了解其他市政工程建设与布局，规避其他市政工程项目，降低城燃工程对其他市政工程项目的干扰，防止多个施工项目共同施工建设带来的风险。对于城市中众多的管网，所构建的城燃工程安全风险评估模型，应当将管网纳入到其中，借助现代信息技术构建3D模型，从多个视角详细观察城燃工程与管网之间的联系，秉持提早预防、科学规划的原则，避开众多管网对城燃工程建设的影响。通过所构建的3D模型，对城燃工程的各项施工项目进行整体上的把控，以此保障其施工质量。其次，在所构建的城燃工程风险评估模型之中，需要具有风险识别、风险分析、风险评价功能，其中风险识别是能够根据城燃工程的施工项目，对其项目施工期间因人员、设备、施工材料等，以及内外环境的变化所引发的风险因素进行识别，并根据识别的水平高低赋予相应的分值，也可以用颜色进行表示，按照风险等级分为红色、蓝色、白色等，从而对城燃工程的整个施工项目进行全面的风险监控与识别，增强对风险因素的识别能力，为城燃工程的施工管理部门的决策提供必要的支持。风险分析需要借助信息化工具进行，如云计算、大数据分析等，对所识别到的风险因素进行详细的分析，判断风险因素产生的源头、引发的原因，可能产生的动向、风险发生的位置与时间等，并以详细的报告传送给城燃工程安全管理部门，让城燃工程安全管理部门根据风险分析的结果，及时的采取相对应的对策，对风险因素予以监控、消除，保障城燃工程建设的安全进行。风险评价则是对整个城燃工程风险识别、分析的评价，还涉及到经理、主管、安全员等人的评价，通过对上述因素的评价，提升城燃工程风险评估模型应对风险因素的能力，不断提升其自主应对风险因素的能力^[4]。

（二）完善城燃工程风险评估体系的软硬件建设

在推进城燃工程风险评估体系的建设过程中，需要根据城燃工程风险评估的需要，在软件与硬件建设方面予以人力和物力方面的保障。首先，要构建城燃工程风险评估数据库。城燃工程安全管理部门应当购置数据库所需要的硬件设施，如数据存储设备、管理软件、安全保障设备等，从而建立规范的城燃工程风险评估数据库。由经理牵头，主管主责，安全员负责构建自上而下

信息收集体系,深入到城燃工程施工现场,通过对城燃工程施工现场的安全排查,将存在的安全隐患,输入到城燃工程风险评估数据库之中,为城燃工程风险评估模型进行数据分析与评价提供数据支持。在数据收集的过程中,安全员应当秉承公平公正、真实可靠的原则,对城燃工程的施工现场存在的安全隐患进行详细记录,要有求真务实的责任心,对可能引发安全隐患的因素进行简单排查,并输入到城燃工程风险评估数据库之中,在通过大量的数据分析以后,便能够使城燃工程风险评估模型做出更为科学的论断,从而推动城燃工程风险评估体系的建立。其次,城燃工程安全管理部门应积极引入先进技术,如大数据技术、云计算技术、人工智能技术,将这些先进的技术运用于城燃工程风险评估之中。如人工智能技术在城燃工程风险评估中的运用,便能够发挥人工智能技术智能化、自动化的优点,对城燃工程施工现场进行全面的监测,将存在的安全隐患找出,并自动将所搜集的数据交由城燃工程风险评估模型进行分析,加快了城燃工程风险评估模型分析风险因素的速度。因此,城燃工程安全管理部门应当加大资金投入,积极运用信息技术,尤其是人工智能技术在城燃工程施工现场的运用。

(三) 强化对城燃工程风险管理的力度

基于风险评估需要加强对城燃工程风险的管理力度,具体细分为源头管理、施工管理、应急管理三个方面,首先,在源头管理方面,主要是在城燃工程施工之前,对建设单位、承建单位、监理单位的资质进行详细的排查,必须由具有相应资质与合格证明的单位负责建设,以此规避一些无资质单位,从源头处控制城燃工程的安全风险。在源头管理中,对建设单位和施工单位提交的城燃工程施工建设计划,应交由设计院详细审核,经建设单位、施工单位、监理单位共同审核,查找其中存在的安全风险,并就所发现的安全风险给出具体的解决方案,以此来消除城燃工程施工建设方案中存在的风险因素。其次,在城燃工程的施工过

程中,应当由城燃工程安全管理部门对城燃工程的施工过程进行全面的监督,对进驻到城燃工程施工现场的人员、设备、建筑材料等,要进行全面的排查,对施工人员进行安全施工方面的培训,所有施工人员必须在经过安全测试以后方能上岗。每隔一段时间,便对施工人员、管理人员进行安全方面的培训,并在培训结束以后进行测试,测试不合格的不允许进入到城燃工程施工现场施工。对于机械设备,尤其是大型机械设备,应当对其性能进行每日检测,并形成检测记录,以防止因机械设备损耗引发的安全事故。对于建筑材料,必须出具合格监测证明,并进行现场随机抽检,确定没有质量问题以后,才能够进入到城燃工程的施工现场用于施工建设。此外,还应应对城燃工程施工现场的重点区域进行重点监控和检查,通过布置传感器自动收集数据,减轻安全员的工作负担,让安全员能够有更多的时间去对重点区域进行重点监督。最后,要提升城燃工程安全管理部门的应急管理能力,面对突发的安全事故、意外情况,城燃工程安全管理部门要做到快速应对、及时消除,避免二次事故和重大事故的发生。为此,城燃工程安全管理部门要定期组织相关人员参加应急演练,提高应对突发事件的反应速度与处理能力;加快构建一支高素质的应急队伍,能够快速介入到突发事件之中,并做好后续的处理工作^[5]。

四、结语

在本文的研究中,基于风险评估就城燃工程安全管理工作的的重要性进行分析,指出其中存在的问题,并在分析问题的基础上提出了一些对策,以推动城燃工程安全管理部门做好安全防范工作,提高城燃工程的施工安全性和有效性,降低因风险因素导致的城燃工程安全工作失效。

参考文献

- [1] 姚广辉. JS 高压燃气项目施工风险管理研究 [D]. 山东大学, 2023.D.
- [2] 侯龙飞, 李润婉, 朱丽榕, 等. 燃气管网泄漏对危化企业的风险研究 [J]. 科学技术创新, 2021, (13): 63-65.
- [3] 周阳, 唐佃涛. 城市燃气工程施工及安全生产运营管理 [J]. 中国设备工程, 2019, (14): 24-25.
- [4] 陈毓飞, 金跃辉, 杨谈. 一种基于 LSTM 的燃气管道施工破坏风险预测模型 [J]. 网络新媒体技术, 2019, 8(01): 24-29.
- [5] 乔珩, 申粤, 章峰, 等. 燃气管网设计、施工及运行管理过程中安全风险评估案例分析 [C]// 中国城市燃气协会安全管理工作委员会. 城市燃气 2.5 兆帕以上压力燃气管道设计、施工、管理研讨会论文集. 杭州天然气有限公司; 杭州市城乡建设设计院有限公司; 浙江省安全科学研究院; 浙江大学化工机械研究所, 2012: 9.

水利工程施工中控制混凝土裂缝的技术思考

黄伟

北京海策工程咨询公司，北京 100000

摘 要： 现代化工程项目建设领域中，混凝土往往是至关重要的施工材料，其材料品质直接会对工程项目最终建设成效造成巨大影响。在实际工程项目建设施工过程中，凝土施工质量问题种类愈发多样化，尤其是混凝土裂缝病害通常较为普遍。为此，工程项目施工单位技术人员需对混凝土裂缝病害作出有效防治，深入分析引发水利工程混凝土裂缝病害的形成因素，采取恰当合理的混凝土裂缝控制技术与措施，降低混凝土裂缝病害对于最终工程建设品质的影响，发挥水利工程的应有作用，为民生保障以及社会经济发展带来支持和动力。

关 键 词： 水利工程；混凝土裂缝；温度；湿度；施工技术

Technical consideration of controlling concrete cracks in hydraulic engineering construction

Huang Wei

Beijing Haice Engineering Consulting Company, Beijing 100000

Abstract： In the field of modern engineering project construction, concrete is often a crucial construction material, and its material quality will directly affect the final construction effect of the project. In the process of actual project construction, the types of concrete construction quality problems are more and more diversified, especially the concrete crack disease is usually more common. To this end, the technical personnel of the project construction unit should make effective prevention and control of concrete crack diseases, deeply analyze the formation factors that cause concrete crack diseases in hydraulic engineering, adopt appropriate and reasonable concrete crack control technologies and measures, reduce the impact of concrete crack diseases on the final construction quality, and play the due role of hydraulic engineering. It will provide support and impetus for people's livelihood and social and economic development.

Keywords： water conservancy project; concrete cracks; temperature; humidity; construction technique

引言

一直以来，水利工程与社会民生以及经济发展都存在着明显联系。通过水利工程项目建设，能够更加合理利用水资源，缓解洪涝灾害对于人们正常生活的不良影响，若水利工程项目建设存在质量风险，那么就会引发无法预估的严重后果。而水利工程项目建设施工过程中，混凝土往往是不可或缺的关键施工材料，其混凝土材料品质直接会对项目建设整体成效造成较大影响。结合以往水利工程混凝土施工案例能够发现，裂缝病害屡见不鲜，不但会对水利工程项目主体结构完整性造成破坏，工程项目综合耐久性还会大大下滑。为进一步强化水利工程项目综合质量水平，工作人员需对混凝土裂缝做出有效管控，深入探究引发混凝土裂缝的具体因素，着重针对地基结构沉降、混凝土温度应力、湿度变化、结构荷载、材料因素以及施工过程中错误操作等做出把控，采取恰当合理的技术优化措施，为我国水利工程建设事业的不断发展有效保障。

一、水利工程混凝土裂缝病害形成因素

（一）环境温度因素

结合以往水利工程混凝土施工案例进行分析能够发现，结构施工过程中极易受到周围环境温度因素的巨大影响，进而形成温差裂缝以及季节性裂缝。其中温差裂缝往往是由混凝土浇筑施工处理不当所造成的，混凝土内外结构以及不同层次结构存在明显温差，进而让各部分结构体系收缩幅度存在明显差别，进而让混

凝土结构表面出现较大张力，就会形成结构表面裂缝病害。而季节性裂缝大多集中出现在季节交替时期，这是由于外部环境温度下降过快，而混凝土内部结构收缩力度也在持续增加，进而让混凝土内部高温区域由内向外逐步膨胀，使混凝土结构内部出现明显应力，进而引发混凝土结构的裂缝病害。^[1]

（二）环境湿度因素

我国不同地区空气湿度往往存在明显差距，例如在我国北方地区空气湿度相对较低，而南方沿海地区则空气湿度相对更大。

不同区域水利工程项目混凝土施工需对环境湿度做出合理控制，其常见混凝土结构裂缝与空气中的水分数值以及干燥系数息息相关。与此同时，水利工程混凝土浇筑施工完毕之后，还要依据空气湿度制定详细养护计划，如空气过于干燥却未能及时进行养护，那么混凝土结构就会快速收缩，进而出现收缩裂缝病害。而外部环境湿度过大时，混凝土结构内部水分无法快速挥发，在遭遇冷空气时便会逐步膨胀，进而引发混凝土结构的裂缝病害。

（三）主体结构荷载因素

现代化水利工程整体结构规模相对更大，其各部分结构往往存在明显荷载，技术人员可将其详细划分为永久作用型荷载、可变作用型荷载以及偶然作用型荷载，在这当中可变作用型荷载较为常见，在水利工程主体结构各个区域都存在明显可变作用型荷载，并且会对混凝土结构产生持续性影响。若混凝土主体结构支撑体系不够完善、部分结构部件配置不够科学，混凝土主体结构投入运转之后就会受到不良荷载因素的影响，让混凝土结构出现裂缝病害。与此同时，水利工程混凝土结构自身重量较大，在重量因素影响下部分构件便会受力弯曲，再加上支撑力度不够充足，混凝土结构长期受到重力因素影响便会出现解封问题。除此之外，水利工程持续运转过程中，时常会应用大型机械设备、工程上方会通行车辆，在振动等多方面因素影响下也会出现裂缝问题，其结构内部的已有裂缝还会进一步扩大，让水利工程承载能力受到巨大不良影响。

（四）水利工程材料以及施工不良因素

水利工程项目建设施工过程中，时常会应用到多种不同类型的施工材料，其中混凝土材料质量水平与使用性能，与水利工程项目裂缝病害发生概率息息相关。结合以往水利工程项目建设施工案例进行分析能够发现，混凝土材料性能品质未达标问题屡见不鲜，这部分性能品质问题主要集中在混凝土材料配置比例不科学、应用标准不够严格、实际拌和操作存在错误等等，这些问题让水利工程混凝土结构出现明显质量问题。再加上后续水利工程主体结构承载力度过大，其内部结构裂缝便会愈发严重。除此之外，水利工程混凝土施工过程中存在技术不足，也会引发混凝土裂缝病害。例如在混凝土拌和、运输、浇筑、振捣等操作过程中存在明显技术缺陷，例如运输时间过长、浇注速度过快、振捣操作密实度不足，便会导致水利工程混凝土结构质量水平大打折扣。^[2]

二、水利工程施工中混凝土裂缝控制技术

（一）针对混凝土温度裂缝做出有效控制

在水利工程项目建设施工领域中，针对混凝土施工温度控制往往存在较高技术难度，同时环境温度也是影响混凝土结构出现裂缝病害的核心重要因素，相关技术人员必须严格把控细节提高混凝土温度裂缝控制水平。首先，技术人员需充分掌握水泥特性，明确水泥水化热反应机理，水化热反应过程中混凝土结构内部会快速上升，让混凝土结构内部温度与周围环境温度存在明显差别。为有效把控水泥水化热反应所造成的温差，工作人员需结

合技术标准选用低水化热型水泥材料，材料搅拌配置过程中提前应用冷水冲洗碎石，使其温度得到大幅度降低。随后制定一套完整水利工程混凝土施工开展方案，合理调配施工时间。水利工程混凝土施工时间可控制在早7:00到10:00，下午则需控制在13:00到18:00，这两部分时间段室外温度较为稳定，对于温度控制较为有利。其次，混凝土浇筑施工过程中还要布置散热体系，引入较为常用的分层浇筑施工法，从以下几个方面进行细节裂缝控制。第一，工作人员需科学恰当选用水泥材料，尽可能运用低水化热矿渣水泥以及粉煤灰水泥，并对水泥的配置量进行严格控制，实际水泥用量需控制在450 kg/m³范围以内。第二，针对水利工程混凝土水灰比例进行严格控制，尽可能保持在0.6水平以下。第三，合理把控材料配置方案，在拌合料当中添加一部分粉煤灰减水剂，以此来缓解水化热反应所造成的不良影响。除此之外，混凝土结构浇筑施工完成之后，工作人员需对混凝土结构的具体温度做出动态化监测，需结合自然环境温度进行实时动态化控制，以此来降低温度裂缝病害的发生概率。^[3]

（二）针对混凝土湿度裂缝做出有效控制

由于工程项目施工区域环境湿度过大，导致混凝土结构内部水分无法有效排出，让混凝土结构出现明显收缩或者膨胀，致使混凝土结构出现裂缝病害。工作人员须对水利工程湿度裂缝做出有效防治，并采取恰当合理的裂缝控制技术，避免裂缝规格的进一步扩大，否则水利工程投入运营之后就会出现明显安全风险问题。水利工程项目建设施工过程中，工作人员需积极开展混凝土裂缝修复工作，一旦发现裂缝就要及时进行修补，避免裂缝规格的进一步扩大。第一，相关技术人员需结合混凝土施工性能标准要求，严格把控水灰配置比例，还可添加一部分外加剂，有效缓解水泥的添加量。第二，工作人员可对水利工程主体结构配筋率作出科学调配，让主体结构的配筋设计更为恰当合理，让整体结构的稳固性以及荷载能力进一步强化，有效抵御应力从而造成裂缝或者是避免裂缝的进一步扩大。第三，严谨认真开展混凝土浇筑施工成果养护操作，充分考量影响混凝土结构各方面因素，制定较为详细的结构养护周期，有效落实各项养护措施。^[4]

（三）针对混凝土荷载裂缝做出控制

水利工程项目建设过程中，若主体结构荷载系数较大，外部荷载超出混凝土结构的最大承受水平，那么主体结构便会逐步出现裂缝状态。因此，针对水利工程混凝土主体结构荷载裂缝进行控制，有效提升水利工程主体结构的荷载能力，还要科学分散主体结构的荷载硬度，避免施工操作对于混凝土结构的不良影响。水利工程施工方案设计过程期间，工作人员需科学规划主体结构的荷载分散路线，依据工程综合基础调整主体结构以及支撑体系，避免水利工程某个区域出现较大或持续性荷载应力。除此之外，水利工程混凝土主体结构施工操作过程期间，技术人员需采取预应力技术，让主体结构部分外部荷载得到有效承接，必要时可进行加筋处理，适当增加钢筋用量，让水利工程综合结构抗拉强度以及承载能力进一步提高。^[5]

（四）科学调配混凝土配置比例

在水利工程项目混凝土施工操作正式开展之前，相关技术人

员需根据施工现场温度与湿度、混凝土原材料材质等级要求、水利工程主体结构建造标准等各方面因素，制定更为科学针对性的混凝土原材料比例配置方案。随后，依据配置方案进行原材料采购，并制备少量样品进行检验，若样品检验结果未能达到水利工程项目建造标准要求，那么还要结合实际状况做出有效调整，合理把控最为科学恰当的原材料配置数值。通常情况下，水利工程混凝土原材料水胶比控制在0.5以下，含沙率需控制在35%~42%，每立方混凝土用水量不可超过175千克。与此同时，工作人员还要针对粉煤灰等多种矿物混合料掺加比例进行严格控制，添加上限需控制在总交凝材料的60%范围以内。混凝土制作完毕之后，工作人员就要立即将其运输到施工现场进行应用，应用之前还要再次进行材料性能检测，确定符合标准要求之后才能正式投入应用。若检测结果性能指标未能达到标准要求，那么这一批质量问题原材料就要彻底废弃，同时还要对后续混凝土材料品质进行检查。^[6]

（五）加大水利工程混凝土施工过程监管力度

水利工程项目混凝土施工操作过程期间，施工单位要全面落实施工现场管理监测机制，借此来强化工程项目的综合施工品质。在水利工程混凝土裂缝管控过程期间，技术人员需对混凝土环境温度、湿度因素以及结构温度做出充分了解，同时还要提前组织开展荷载试验，及时发现水利工程混凝土施工所存在的潜在风险与问题，明确裂缝病害的形成因素。例如，工作人员在全面落实监测机制过程中，发现混凝土主体结构温度异常上升，那么工作人员需要及时对混凝土结构进行降温或遮盖处理。除此之外，为保障水利工程混凝土结构荷载水平达到要求，工作人员先完成混凝土浇筑砌块施工，随后再进行荷载试验，确定荷载水平达标之后便可开展施工。整个监测过程所获取的数据信息要全面汇总分析，依据分析结果调整施工方案，提高裂缝控制能力并加快施工作业整体效率。^[7]

（六）落实执行结构维护以及裂缝修复操作

水利工程项目建造过程中，混凝土结构裂缝在各个阶段都有着较高的发生概率。全面落实实施裂缝控制措施过程中，技术人

员须充分明确裂缝病害发生之后的维护修复技术方法。工作人员需定期对施工现场进行监测与检查工作，及时发现混凝土裂缝，并采取当前较为先进的修复技术手段。例如，工作人员须对防水层及时进行检查，避免混凝土结构内部出现水源渗入，还要涂刷防腐涂料，提升混凝土结构的防水抗腐蚀能力，尤其是处于长期潮湿环境当中，这能大大提高工程项目的综合稳定效果。^[8]

三、案例分析

我国南部某地区组织开展了水利工程项目建设工作，浇注时间为该年的9月15日，直到次年4月16日全面完成浇筑施工，施工过程期间环境温度最高达到28℃，而最低温度保持在15℃，最高与最低昼夜温差为12与6.8℃。相关技术人员对混凝土浇筑施工过程进行了深入分析，其温度数值始终控制在技术可接受范围以内，但仍旧存在明显的温度波动问题，致使混凝土结构出现裂缝病害，后续施工操作也依据分析结果制定了相应的控制措施，合理防控裂缝病害的进一步扩大。^[9]

后续施工操作过程期间，工作人员针对受温度应力影响较大施工环节进行严格管控，使用了低水化热类型水泥，并对混凝土温度变化状况进行动态化监测。若施工温度快速上升，工作人员便可采取降温措施避免水分过度蒸发，施工操作完毕之后还有效制定好保温防护措施。随时记录养护监测数据结果，在保温保湿操作的过程中提升养护施工的有效性，既让本次水利工程混凝土施工成果较为理想，并及时通过工程项目验收。^[10]

四、总结

水利工程利国利民，若项目建设存在质量问题，那么就会引发无法估量的一系列严重后果。水利工程建设施工中裂缝病害屡见不鲜，工作人员需分析混凝土裂缝病害的形成因素，采取恰当的裂缝控制技术，提升水利工程项目建造综合质量成效，为我国社会经济建设带来支持与保障。

参考文献

[1] 岳长永. 关于水利工程施工中控制混凝土裂缝技术的研究 [J]. 中文科技期刊数据库 (文摘版) 工程技术, 2022, 13(7): 39-41.
[2] 张剑. 水利工程施工中控制混凝土裂缝的技术研究 [J]. 工程与建设, 2023, 37(6): 175-177.
[3] 徐亚萍. 水利工程施工中混凝土裂缝的控制技术 [J]. 数字农业与智能农机, 2022, 19(10): 33-35.
[4] 王帆. 水利工程施工中混凝土裂缝的控制技术探究 [J]. 水电水利, 2022(6): 146-148.
[5] 余方方, 朱宏松. 水利工程施工中混凝土裂缝控制技术分析 [J]. 治淮. 2022, (2): 41-42.
[6] 张东峰. 水利工程施工中如何对混凝土裂缝进行有效控制 [J]. 建筑与预算. 2022, (2).
[7] 袁月丽. 水利工程施工混凝土裂缝成因分析及控制措施 [J]. 黑龙江水利科技. 2022, 50(7).
[8] 张井军. 水利工程混凝土裂缝问题分析与控制措施 [J]. 黑龙江水利科技. 2022, 50(1).
[9] 尹雪保. 水利工程施工中混凝土裂缝的控制技术探究 [J]. 居舍. 2022, (16): 53-56.
[10] 王凤彬. 水利工程施工中控制混凝土裂缝的技术 [J]. 河南水利与南水北调. 2020, (7).

合肥市塘西河水环境综合治理措施及成效分析

李娜娜

中节能国祯环保科技股份有限公司，安徽 合肥 230000

摘 要： 随着城市化的快速推进，城市内河的水环境问题日益突出，对城市生态系统和居民生活质量产生了重要影响。本文以合肥市塘西河流域为例，围绕河道面临的主要问题、综合治理措施、管理模式及其效果进行深入分析。^[1] 本文表明，综合治理措施能够显著改善城市内河水质，提升水生态系统健康水平。本文为城市内河水环境治理提供了科学依据和实践指导。

关 键 词： 城市内河道；综合治理措施；生态修复；治理成效；流域管理

Analysis of comprehensive treatment measures and effectiveness of water environment in Tangxi River, Hefei City

Li Nana

China Energy Conservation Guozhen Environmental Protection Technology Co., LTD. Hefei, Anhui 230000

Abstract： With the rapid advancement of urbanization, the water environment of urban inland rivers has become increasingly prominent, which has an important impact on the urban ecosystem and the quality of life of residents. Taking the Tangxi River basin of Hefei City as an example, this paper analyzes the main problems, comprehensive management measures, management models and their effects. This paper shows that comprehensive treatment measures can significantly improve the water quality of urban inland rivers and improve the health level of water ecosystem. This paper provides scientific basis and practical guidance for urban river water environmental management.

Keywords： urban river; comprehensive treatment measures; ecological restoration; governance effectiveness; watershed management

引言

随着经济社会的发展，人民群众对城市环境的要求越来越高，城市内河作为城市生态系统的重要组成部分，承担着维持城市生态平衡、提供景观价值以及防洪排涝等多重功能，城市内河的治理与保护显得尤为重要和紧迫。

为加强河湖保护管理，推动绿色发展，合肥市从2013年开始探索实行河长制，通过编制河湖分级目录，强化“一河一策”的管理原则，并实施环巢湖地区生态保护与修复工程。塘西河作为合肥市重要的城市内河，在城市内河综合治理措施中，注重流域水质治理的同时，兼顾流域生态环境的改善，将水生态、水景观及“人水和谐”理念有机的结合起来。通过近年来的综合治理，塘西河已经成为合肥市重要的生态景观廊道。

一、流域环境概况

（一）流域概况

塘西河位于安徽省合肥市，是巢湖水系的一条支流，由西北向东南流经合肥市经济技术开发区和滨湖新区，在义城镇附近汇入巢湖，流域面积50km²。塘西河自南艳湖至入湖口全长12.7km，现状河底高程6.5 ~ 18.2m，河底宽3 ~ 10m。塘西河横埠以上为丘陵岗地区，以下为圩区^[2]。塘西河是一条雨源性河流，常年无自然径流补偿，却接纳两岸的雨污水，河道弯曲狭窄。

（二）水质情况

根据水质监测结果得知：治理前塘西河水质整体属于地表劣

V类水体，河面不洁，水体呈浑绿色，溶解氧和透明度较低，部分区域呈黑臭状。

2017年1月水质检测结果（mg/L）

样品名称	COD _{Cr}	氨氮	TN	TP
徽州大道（下游）	28.4	6.13	11.8	0.49
紫云路（橡胶坝中游）	40.7	5.29	8.53	0.47
宿松路（橡胶坝上游）	17.1	2.04	6.17	0.03

（三）主要环境问题

1. 外源污染致使河道水质恶化

塘西河属于雨源性河流，自然条件下常年旱季水量较少，沿岸存在14处排口，其中2处污水管道，5处雨污合流管，汇入的污

染物总量超出了河道本身的水环境容量，导致水体出现恶化，水体爆发蓝藻现象，水体为劣Ⅴ类水标准，主要表现为总氮和总磷超标，导致夏季易出现严重富营养化现象。

2. 内源污染严重

塘西河地表径流面积较大，约8.78km²，雨水携带大量的泥沙进入明渠，增加了河道底泥厚度^[3]。此外，河道近几年未清淤，伴随残枝烂叶和生活垃圾进入水中沉积于底泥中，存在严重的内源污染，日积月累，塘西河淤泥沉积较厚，内源污染较严重。

3. 水生生态系统脆弱

塘西河整体生态系统脆弱，除了部分边坡长有少量挺水植物外，河道内水生植物极少。由于存在富营养化现象，导致水体溶解氧和透明度较低，河底难以生长沉水植物。未发现鱼类与底栖生物，水体生物多样性较差，生物链较为脆弱，水生生态系统不完善，河道整体自净能力较差。

4. 景观功能较差

河段两岸有约5-20m宽的绿化缓冲带，种有乔木和草坪，在河道东侧建有人行道和亲水栈道，但是栈道出现破损，驳岸有待修复。夏季易出现水体富营养化现象，水华泛滥，水体透明度和溶解氧极低，局部出现黑臭现象，严重影响河道水质和环境景观。

二、治理思路

以城市生态文明建设理论为指导，坚持生态治理的优先原则，采用“外源减排、内源清淤、清水补给、水质净化、生态恢复”的综合治理思路，综合治理塘西河的水体水质和生态环境。

三、综合治理措施

（一）清淤工程

对塘西河河段进行清淤，塘西河地处市区段，居民活动较为密集，对于清淤过程污染的要求相对较高，同时淤积底泥的清除也要彻底，采用排水后的干挖清淤^[4]。清淤河道长度约为1.5km，河道平均宽度约为28m，淤泥断面深度0.3m，河道底泥清淤约12600m³，挖掘的污泥通过自卸车外运至污水处理厂，进行脱水处理。

（二）截污工程

截污纳管是黑臭水体整治最直接有效的工程措施，也是采取其他技术措施的前提。为解决塘西河流域的污染问题、根治与修复恶化的水环境和水景观，应首先截污。塘西河有两处污水直排量较大，即玉龙路桥东侧截流井和徽州大道桥东侧截流井，存在大量生活污水直排现象，水体产生恶臭味，大大增加入河污染负荷，影响塘西河水质。对现有截流井进行维修，维修截流井为8座，旱季时将生活污水截流至污水管网，将降雨初期5-10分钟的雨水截流至雨水管道汇集塘西河初期雨水调蓄池进行处理，降低塘西河的入河污染负荷。

四、水生态系统构建工程

（一）地形构建

对塘西河河床地形的重新塑造，在河底再构建一条蜿蜒的生态沟槽，沟宽约10m，沟深约0.3-0.4m，水体在流经河道时，会通过宽窄不同的水面，水流时缓时急，有利于提升河道水动力，加强污染物的扩散与降解^[5]。生态沟塑造后，将改造生态沟所挖的土方堆至河道两岸，在河道两岸部分区域建立挺水植物种植平台，宽度约1.0m，构建高度为常水位以下0.5-1.0m之间。

（二）底质改良

对塘西河河道地形构建后，在种植水生植物前，对河道池底进行预处理，在河床抛洒地质改良剂。地质改良作用：

1. 中和底泥中的各种有机酸，改变酸性环境，减少有机质含量；
2. 快速提高河底氧化性，降低有害物质（NH₄⁺-N、NO₂⁻-N等）的含量；
3. 稳定水底pH值，从而可以起到除害杀菌、改善底质的作用。

（三）水生植物构建

塘西河现状的水生态系统缺失较多，生物群落单一，生物多样性低，且底泥疏浚后，河床原有的种子库也将消失，因此，需要采取措施对水生生态系统进行恢复^[6]。根据合肥气候、塘西河水质特征及水生植物本底调查，选取本土物种为主，采用沉水植物、浮叶植物及挺水植物搭配的生态修复模式，营造水清境美的生态河道，恢复水体生态自净能力。

1. 种植沉水植物80000m²，种植沉水植物种类有：矮生耐寒苦草、黑藻、刺苦草、狐尾藻、菹草及眼子菜等；
 2. 在治理河段的软质斜坡岸边种植1m宽挺水植物，总长度约3600m，根据现场实际情况，合理配比种植，形成环境优美的河道岸线，种植挺水植物种类有：千屈菜、黄菖蒲、美人蕉、再力花、旱伞草、香蒲；
 3. 浮叶植物构建
- 种植适量睡莲对河道进行景观点缀，布置于水深1m以浅的区域范围内，提升河道的景观功能。

（四）浮动湿地构建

本项目在徽州大道桥至徽州大道闸坝之间的河段设置浮动湿地，共1200m²，浮岛湿地种植挺水植物^[7]。浮动湿地对水质净化最主要的功效是利用植物的根系吸收水中的富营养化物质，例如总磷、氨氮、有机物等，使得水体的营养得到转移，减轻水体由于封闭或自循环不足带来的水体腥臭、富营养化现象。浮岛湿地在净化水质的同时，提升河道景观功能。

（五）高性能接触材料净化床构建

在塘西河雨水排口区域设置高性能接触材料净化床，用于对雨后排口区域水质净化处理，高性能接触材料净化床是由新型的接触氧化材料——生态弹性填料成林立状态设置在框架中制成，污水流经时进行接触氧化，水流与生物绳相接触，使微生物附着在生物绳上形成生物膜，使污水中的有机物逐渐被分解氧化，从

而使水质净化。

（六）水生动物系统调控

当沉水植物群落得到恢复后，通过引入水生动物构建食物链，食物链结构构建主要包括肉食性鱼类、滤食性鱼类、腐食性鱼类、植食性浮游动物、浮游植物、细菌等构件的重建与优化，使其成为促进清水态生态系统形成与维持稳定的食物网结构，完善水生态系统，同时也提高了水体的自我净化能力和生态系统的稳定性。

五、活水、补水工程

（一）曝气充氧工程

塘西河治理段水体黑臭的根本原因是河道过量纳污导致水体耗氧速度远大于复氧速度，对塘西河进行人工曝气增氧，针对塘西河水质现状及景观要求，采用喷泉曝气及推流曝气技术，设立10台功率为1.5kw的喷泉曝气机和10台功率为2.2kw的推流曝气机，提高塘西河水体溶解氧。

（二）生态补水工程

塘西河生态补水工程对巢湖源水进行净化处理后，作为清洁水源补给塘西河，补水量 $30000\text{m}^3/\text{d}^{[8]}$ 。生态补水是城市水环境修复的重要措施。它通过向城市水系补充清洁水，一方面可以提供维持水系生态系统健康所需的水量，另一方面可以增加水系的自净能力，改善水质。

六、流域管理

（一）高位推进，完善组织体系

为推深做实河湖长制，所在区成立了河湖长制工作领导小组，区委、区政府主要负责同志任河湖长制工作领导小组组长，各相关职能部门为成员单位，全力推进河湖长制纵深发展。逐步完善区、街镇、居村三级河长网格体系，三级河湖长带头履职，

层层压实管水治水责任^[9]。

（二）夯实基础，完善体制机制

先后出台河湖长制六大基础制度，探索建立河湖联合执法机制，建立以水行政执法为主的联合执法队伍，开展日常执法工作；开展“河长+警长”和“河长+检察长”执法联动，加强水行政执法与刑事司法的有效衔接，增强执法震慑力；建立跨界河流联防联控机制，与跨界河流地区签订联合河湖长制协议，共同推进跨界河流管护；广泛发动群众参与河湖管护，充分发挥群众在河湖治理方面的社会监督作用。

（三）建设智慧系统创新河湖管护模式

依托安徽省河长制决策支持系统，深化河湖智能管理，建设包河区“智慧河长”管理系统，设立2个水质监控站，新建60处视频监控，凭借大数据平台，打破园林、水务、环保、各街镇等部门数据壁垒，率先实现巡河监管可视化、河长管理网格化、信息获取扁平化，为全区河湖管理提供技术支撑，提升河湖管理工作的高效性、便捷性、长效性和实时性。

（四）创新河湖管护企业模式

委托国有企业对塘西河进行专业化管理，组建河道巡护队、专业管养队、设备工程队，制定《日常河道巡查制度》，实现塘西河管护全方位覆盖、无缝隙对接、一体化管理。

七、治理成效

河流综合整治后，塘西河水质已稳定达到地表水Ⅳ类，水体透明度 $>1.2\text{m}$ ，河流四季都有绿色的水生植物，形成了优美的水下景观，完善的水体生态系统食物链，达到了全面稳定的生态平衡。2021年入选水利部“幸福河湖”，2023年入选安徽省生态环境厅“省级美丽河湖优秀案例”^[10]。如今的塘西河已成为一道靓丽的城市景观河道，河水碧波荡漾，水域岸线整洁干净，为城区雨源性河道综合治理提供了借鉴。

参考文献

- [1] 江山. 城市水环境的修复及综合治理建议[J]. 中国高科技, 2021(21): 38—39.
- [2] 王青颖, 陈卫东, 孙颖, 等. 流域水环境污染生态修复技术研究[J]. 环境科学与管理, 2022, 47(2): 155—159, 168.
- [3] 刘杰. 我国水环境风险管理进展、挑战与战略对策分析[J]. 工程建设与设计, 2022(4): 216—218.
- [4] 张超, 赵仔轩, 张盈秋, 等. 九江市十里河流域水环境综合治理措施及成效[J]. 中国给水排水, 2022, 38(4): 17—22.
- [5] 范勇. 城市内河道综合整治案例分析[J]. 城市道桥与防洪, 2018(2): 105—108.
- [6] 黎嘉辉. 河道整治存在的问题及应对措施分析[J]. 企业技术开发, 2016, 17(11): 132—133.
- [7] 杨飞. 流域水污染治理技术及水质综合改善方案的研究[J]. 皮革制作与环保科技, 2021, 2(4): 64—65.
- [8] 孙大超. 流域水污染治理技术及水质综合改善方案研究[J]. 幸福生活指南, 2020(10): 116.
- [9] 韩吉. 流域水污染治理技术及水质综合改善方案的研究[J]. 低碳世界, 2022, 12(2): 59—61.
- [10] 黄飞云, 鄢楷. 水生态文明理念下流域综合规划探究[J]. 低碳世界, 2020(9): 13—14.

水利工程质量 and 安全管理监督管理存在的问题及对策

谢海南

北京海策工程咨询有限公司, 北京 100000

摘 要： 一直以来, 在社会经济发展历程中水利工程发挥了至关重要的作用, 不但能够实现水资源的恰当合理利用, 才能够为防洪抗涝、水资源调度带来良好的支持与帮助, 在社会经济体系中水利基础设施占据着重要地位。但在实际水利工程项目建设过程中, 管理部门需着重关注工程项目建设质量与安全的管控力度, 及时发现并辨识各类潜在风险隐患, 避免风险隐患对于水利工程项目建设的不良影响。为此, 相关管理人员需逐步总结以往水利工程项目建设质量控制与安全管理不足, 结合质量缺陷与安全风险问题的形成因素提出恰当合理的解决策略与控制措施, 在提高水利工程项目建设质量同时, 维护一线工作人员的生命财产安全, 为我国社会经济持续稳定发展带来支持与动力。

关 键 词： 水利工程; 施工质量控制; 安全管理

Problems and countermeasures in the supervision and management of water conservancy project quality and safety

Xie Hainan

Beijing Haice Engineering Consulting Co., LTD. Beijing 100000

Abstract： Water conservancy projects have always played a vital role in the course of social and economic development, which not only can realize the proper and reasonable utilization of water resources, but also can bring good support and help for flood control and flood control and water resource scheduling. Water conservancy infrastructure occupies an important position in the social and economic system. However, in the actual process of water conservancy project construction, the management department should focus on the control of the construction quality and safety of the project, timely discover and identify various potential risks and hidden dangers, and avoid the adverse impact of risks and hidden dangers on the construction of water conservancy project. To this end, relevant managers should gradually summarize the deficiencies of quality control and safety management in the construction of water conservancy projects in the past, and put forward appropriate and reasonable solution strategies and control measures combined with the formation factors of quality defects and safety risks, so as to improve the construction quality of water conservancy projects and maintain the safety of life and property of front-line workers. Bring support and power for our country's social economy to keep developing steadily.

Keywords： water conservancy project; construction quality control; safety management

引言

伴随着我国现代社会发展规模的愈发壮大, 各类基础设施建设水平也在不断提高, 相应的工程项目建设标准也愈发严格, 尤其是水利工程项目安全管理以及质量控制, 其管控工作尤为重要。通过水利工程项目建设安全管理以及质量控制, 可有效消除各类安全风险隐患, 合力把控项目建设质量问题的出现, 能创建更为理想的工程项目施工环境, 辅助施工人员推动项目建设施工的有效落实和开展。因此, 相关管理部门须充分明确水利工程项目建设安全管理与质量控制的意义与价值, 基于水利工程项目建设主要特点, 制定详细水利工程安全管理以及质量控制措施, 为水利工程项目建设施工安全有序开展带来保障。

一、水利工程施工质量控制与安全管理的意义

(一) 带动水利工程项目施工工作的有效落实与推进

现代化水利工程项目建设施工过程愈发烦琐复杂, 项目建设工期较为漫长, 这进一步提高了水利工程质量控制与安全管理工作的整体难度, 需要在各个项目建设环节中严格落实质量控制与

安全管理措施, 才能准确辨识各类质量风险以及安全威胁, 将风险问题扼杀在萌芽阶段, 采取有效措施进行防治。水利工程项目各项技术应用, 其管控目的也是为了推动质量管理与安全控制工作的切实执行, 针对潜在风险隐患进行有效防范, 精准把控各类安全风险元素, 加快工程项目开展进度, 让各部分施工工作依照目标稳步推进。

（二）进一步延长水利工程项目运转寿命

水利工程与广大人民群众的生产生活息息相关，需充分保障水利工程项目建设的耐久性与综合质量水平，进而为人民群众的生产生活提供助力，并为防洪抗涝事业作出贡献。在此过程中，相关管理部门须确保水利工程项目施工各类技术的规范性与安全性，加大质量与安全的管控力度，提前落实实施安全风险应对措施，确保工程项目施工工作安全有序开展，让各项现场施工操作更加科学恰当，并制定个性化与针对性的维护措施。实际水利工程项目建设施工过程中，一旦现场管理人员发现安全风险问题，就要即刻采用科学恰当方法进行处置，以此来获得较为理想的管控结果^[1]。

（三）激发水利工程项目建设综合效益水平

针对现代化水利工程项目建设开展控制与安全管理工作的，必须加大安全监管力度，确保整个工程项目施工工作能够高效顺利开展，并对项目建设施工各类资源作出合理分配，自然强化水利工程各个施工环节的综合收益，避免项目建设施工资源的不必要浪费与消耗。整个工程建设施工环节，需全面落实执行施工现场质量与安全管控计划，切实达成工程项目建设质量标准规范，维护一线施工人员的生命财产安全。除此之外，在有效落实质量控制与安全管理工作中，也能激发管理部门工作人员的积极主动性，使其逐步树立良好的安全管理岗位责任意识，及时发现项目建设施工的隐蔽性风险，进而将风险问题扼杀在萌芽阶段。

二、当前水利工程建设施工质量控制在安全管理所存在的问题

（一）水利工程项目建设成本投入过度

当今现代化水利工程项目建设整体规模愈发庞大，实际建设施工操作愈发烦琐复杂，施工过程中往往会涉及诸多部门以及多个领域的专业技术，资源以及资金的消耗总量不断增大。若是工程项目建设过程期间，未能采用科学恰当技术手段，针对资源与资金做出合理分配，就会导致资源出现严重消耗问题。各类工程项目施工企业在项目规划与施工工作开展之前，未能提前制定详细施工计划，也未能筹备充足建设施工资金与资源，统筹规划整个项目建设施工流程。进而在实际建设施工过程中，资金与资源浪费问题将频繁出现，对工程建设企业的综合效益造成严重打击，还会引发不必要的项目建设安全风险。

（二）工程项目施工单位管理制度存在漏洞与不足

当前水利工程项目建设质量控制与安全管理重心，往往会放在项目建设施工期限、项目建设总体成果以及项目建设经济效益等方面。在实际项目建设施工过程中，管理部门对于整个项目调研以及评估工作不够充分，并未对工程项目建设施工需求制定相应的管理制度管理规范，进而在实际施工操作过程中存在明显错误，安全风险问题，让整个工程项目施工管理成效大打折扣。除此之外，工程项目施工现场安全管理规章制度存在明显漏洞，一线员工管理成效较为低下，施工人员的个性操作无法做出快速调整，让施工技术应用过于随意，致使安全风险问题频发^[2]。水利工

程项目施工现场，一旦存在安全管控工作不严格不及时等状况，施工设备以及工作人员配置水平不高，那么工程项目的整体质量以及施工操作的安全性将会大打折扣。

（三）影响工程项目施工安全的各类风险因素过于复杂

在组织开展水利工程项目建设过程中，其项目建设周围环境往往较为复杂，大多会处于较为偏远的地带，周围环境还会伴随着项目建设施工的不断开展出现巨大变化。对比其他类型的工程项目建设，水利工程所受到的风险因素干扰往往较为强烈。结合以往水利工程项目建设案例能够发现，在工程项目建设规模持续扩大的同时，其占地面积也在进一步扩展，大量施工设备以及施工人员会贯穿于项目建设的整个过程中。虽然受到地理环境因素、自然气候因素、自然灾害因素以及交通基础设施因素的影响，大大提高了水利工程项目施工安全管理工作的复杂性。对于大型水利工程项目建设，相应的质量控制与安全管理工作中不可或缺，其过于复杂烦琐的施工现场操作、愈发多样化的施工对象，都会为工程项目管理带来巨大的挑战。

三、水利工程建设施工质量控制在安全管理策略

（一）水利工程建设施工质量控制在安全管理策略

1. 结合水利工程建设特点运用无损检测技术

鉴于现代化水利工程项目建设施工工作较高技术难度，极易受到施工现场以及周围环境因素的影响与干扰。一阶段工程项目建设施工工作完毕之后，相关技术部门就要组织开展质量检测工作，获取详细准确工程项目质量数据信息，这就需要采用无损检测技术，确保工程项目建设成果的整体状况以及物理化学特性达到质量标准的要求。当前主流无损检测技术以超声波检测法为主，超声波检测技术发射特殊声波，声波在水利工程主体结构当中持续传播，遭遇差异声阻力物体时便会折射或者反射，让声波出现明显衰减，即使获取这部分衰减的信息，再运用专业软件进行分析与计算，便可评判水利工程建设成果主体构造所存在的缺陷与不足问题，从而做出切实整改。以下是超声波检测技术详细检测步骤。

首先，工作人员应用专业探测器放入的水利工程项目建设成果区域当中，发射超音频信号。

其次，对这部分信号进行有效收集，随后采用信号增强器进行处理。

最后，将增强完毕的信号与专业设备进行结合。通常情况下，信号会在显示屏当中呈现出较为明显的正弦波，如果正弦波变化不够平衡，或在某一位置突然消散，那么便代表着这一信号受到了明显影响，该监控区域出现结构缺陷与不足。工作人员在搭配专业的处理软件以及计算机设备，可结合信号强度变化及时定位故障的具体位置，制定针对性的缺陷修补措施，进而保障工程项目综合现实质量。

2. 水利工程施工现场环境控制措施

针对水利工程项目建设施工质量进行合理控制，首先就要对现场环境因素进行严格把控，施工工作开展之前就要全面掌握施

工现场的实际,进而制定一套详细完整施工现场管控计划。项目建设开展过程期间,加大现场环境管控力度,例如在建设活动正式启动之前需提前准备各类施工材料以及工具设备,同时还要对施工现场道路基础设施进行充分完善,进而推动各类物资的快速运输,保障各类施工机械设备能够安全运转^[3]。实际项目建设施工过程中,还要结合周围自然气候参数信息以及建设位置地势地形状况,提前创建防洪抗涝体系,确保周围河流以及水系能够相互连通,让项目建设过程中的水源能够及时排出。工程项目建成完毕之后,施工区域周围的杂物以及废弃物要及时处理,土壤以及植被也要尽可能恢复。一部分水利工程建设施工临时建筑,需依照监理工程师的计划有序拆除,施工现场的整平以及清洁工作必不可少。

（二）水利工程建设施工中安全管理策略

1. 制定前、中、后三阶段安全管理体系

对比普通工程项目建设,水利工程建设施工核心工作内容极为烦琐复杂,不但要对项目建设自身质量进行严格把控,还要对周围自然生态环境进行持续化监测。因此,在水利工程项目建设过程中,需设定前、中、后三阶段的安全管理体系,项目建设团队以及施工单位要打造充分完善施工质量以及安全管理策略,让各个阶段的施工成果都能符合安全管控规范。与此同时,管理部门需基于全面预算管理体系等参数信息,对项目建设施工所需原材料、施工设备以及人力资源进行严格把控,对费用支出进行准确估算,避免出现资源与财产的不必要浪费。

2. 加大建筑施工成本管控力度

大规模水利工程项目建设施工往往会应用到海量施工材料、机械设备以及人力资源,对项目建设施工过程成本控制至关重要。水利工程项目建设施工开展之前,需对各部分施工技术进行全面交底,充分掌握施工现场地理环境状况、自然环境水平以及特殊施工步骤的个性化需求^[4]。依据施工计划以及规范标准,明确工程项目材料数量、人员配置数量以及整体工程数量,让水利工程项目建设资金支出更加准确有效,加大工程项目建设成本管控水平,为工程项目建设与施工单位创造更为丰厚的经济效益。

造价管理部门需结合当前工程项目施工状况、资源分配方

案、材料以及机械设备的应用成效,对工程造价成本支出进行充分评估,进而从整体上优化项目建设施工计划,各项投入都能发挥良好作用,最大程度上提高资金的应用价值。

3. 为第三方监理创造良好环境

在现代化水利工程项目建设过程中,保障质量控制与安全管理工作有序开展,往往会聘用第三方专业监督部门,提升质量控制水平加大安全管理力度。整个水利工程项目建设过程期间,各个项目建设施工环节都要得到动态化审查^[5],及时发现项目建设施工操作所存在的安全问题,维护工程项目建设综合质量。对于一部分大型工程项目,其主要负责人必须真正意识到监管工作的重要意义,全力投入项目现场监管以及质量审核工作中。^[6-7]但当前大多水利工程建设项目会交由水务以及工业部门监管,对于工程建设实际状况了解水平不佳,以及监管与审查工作大多不够充分及时,监督管理人员也并不具备充足权限进行现场管控。^[8-10]针对这类问题,水利工程项目建设要严格落实执行安全管理策略,时刻保持严谨认真监管态度为,第三方监理工作人员创造良好环境,有效防范并解决施工现场的质量问题,提高现场综合安全管控水平。

四、总结

在现代化社会经济发展历程中,水利工程项目所发挥的作用得到了进一步凸显,不但能够合理利用水利资源,为农业灌溉以及水力发电事业作出支持,还能在防洪抗涝、洪水治理工作中发挥强大作用。实际水利工程建设过程中,相关管理工作需集中在质量控制与安全管理方面。其中质量控制需保障工程项目建设施工品质达到规范要求,维护项目建设综合质量水平,还要同步开展项目建设造价成本控制以及周围生态环境保护工作。而安全风险需对各类安全风险元素进行预防与消除,维护一线施工人员的生命财产安全。质量控制与安全管理工作存在紧密联系,在相互协同配合过程中,确保水利工程项目建设品质与安全稳定,进而推动水利工程项目建设高效稳定开展,为我国社会经济建设带来支持与保障。

参考文献

- [1] 刘寿辉. 探析水利工程施工中的安全与质量控制[J]. 水上安全, 2023(13):158-160.
- [2] 刘水连. 社会经济发展背景下水利工程施工中的质量控制与安全隐患管理[J]. 水上安全, 2023(4):161-163.
- [3] 马占友, 白磊. 水利工程隧洞开挖施工技术与质量控制[J]. 门窗, 2023(11):79-81.
- [4] 禹晓霞. 水利工程施工中的质量控制与安全隐患管理[J]. 农家参谋, 2022(14):168-170.
- [5] 王日新. 水利工程施工中的质量控制与安全管理探讨[J]. 工程技术研究, 2021, 6(13):178-179.
- [6] 齐士强. 水利工程质量监督存在的主要问题及对策研究[J]. 黑龙江水利科技, 2019, 47(07):232-234.
- [7] 赵志杰, 李星. 浅析水利工程质量监督管理工作中的问题及对策[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2019(09):178+165.
- [8] 董卫红. 水利工程安全与质量监督管理体系问题分析与对策研究[J]. 中国设备工程, 2021(11):258-259.
- [9] 李驰. 水利工程质量监督存在的主要问题及对策研究[J]. 科技风, 2020(06):186-187.
- [10] 陈丽, 栾媛, 凌莉. 水利工程建设质量与安全监督管理体系探究[J]. 科技风, 2020(25):130-131.

