

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5期 2024年7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。



机械工程 | MECHANICAL ENGINEERING

- 005 新型矿用刮板输送机紧链机构设计与性能优化研究 刘少兵
Research on Design and Performance Optimization of a New Type of Chain
Tensioning Mechanism for Mining Scraper Conveyors Liu Shaobing
- 008 一种5-LeadTO-263封装加速度传感器 艾希飞, 张雪姣, 程德帅, 向圆
工艺攻关研究 Research on the Process of 5-LeadTO-263 Encapsulated Acceleration
Sensor Ai Xifei, Zhang Xuejiao, Cheng Deshuai, Xiang Yuan
- 011 基于5G的高铁列车超视距行车辅助预警系统 安东, 郭宇宇
的研究与设计 Research and Design of 5G-Based Over-the-Horizon Train
Auxiliary Warning System for High-Speed Trains An Dong, Guo Yuyu
- 014 浅析巴南高铁工程线运输及施工安全管理 陈广勋, 陈鹏
Analysis of Engineering Line Transportation and Construction Safety Management
of Bazhong-Nanchong High-speed Railway Chen Guangxun, Chen Peng
- 017 机械传动中的振动与噪声控制技术研究 李东峰
Research on Vibration and Noise Control Technology in
Mechanical Transmission Li Dongfeng
- 020 三维扫描技术在复杂曲面机械零件测量中的应用 马晓晨
The Application of 3D Scanning Technology in the Measurement of
Complex Curved Surface Mechanical Parts Ma Xiaochen
- 023 大型机械设备的智能故障诊断 赵希富, 靳育树, 石来发, 丁瑞军, 胡靖熠
与预测性维护技术 Intelligent Fault Diagnosis and Predictive Maintenance Technology for Large
Mechanical Equipment Zhao Xifu, Jin Yushu, Shi Laifa, Ding Ruijun, Hu Yongyi
- 026 高速铁路连续梁悬臂灌注法安全施工控制 蒋嘉骐, 陈广勋
The Continuous Beam Cantilever Casting Method for High-speed
Railway Safety Construction Control Jiang Jiayi, Chen Guangxun

土木工程 | CIVIL ENGINEERING

- 029 土地测绘技术在土地开发整理中运用 战晓桦
Application of land Surveying And Mapping Technology in Land
Development and Consolidation Zhan Xiaohua
- 032 试探园林空间的电影性——以网师园为例 丁方一, 张琰彬
Test the Film of Garden Space — Take the Net Teacher Garden as an Example Ding Fangyi, Zhang Yanbin
- 035 地质灾害隐患问题与研究 宋文辉
Hidden Problems and Research of Geological Disasters Song Wenhui
- 038 浅谈老旧小区改造施工中出现的阻碍及建议 杨索
Talk About the Obstacles and Suggestions in the Reconstruction of Old
Residential Areas Yang Suo
- 042 土木工程结构设计与住宅地基加固技术研究 杨孝
Research on Civil Engineering Structure Design and Residential Foundation
Reinforcement Technology Yang Xiao

045	公路波纹管涵洞研究和应用进展 Research and Application Progress of Highway Steel Bellows Culvert	聂骁隼 Nie Xiaojun
048	新时代房屋建筑主体工程施工工艺研究 Research on the Construction Technology of the Main Project of Housing Building in the New Era	夏资舜 Xia Zishun
051	手绘墙艺术在旧城改造中的社区认同构建研究 Research on Community Identity Construction of Hand-Painted Wall Art in the Reconstruction of Old City	李雅婧 Li Yajing
054	市政工程水泥混凝土沥青化改造施工技术分析 Technical Analysis of the Construction Technology for the Asphalt Conversion of Cement Concrete in Municipal Engineering	田智源 Tian Zhiyuan

信息工程 | INFORMATION ENGINEERING

057	海洋测绘中综合性测量技术的运用 Application of Comprehensive Survey Technology in Marine Surveying and Mapping	张启明 Zhang Qiming
060	区域差异下工业物联网资源分配策略研究 Research on the Resource Allocation Strategy Of Industrial Internet Of Things under Regional Differences	孙旆伟, 宋金华 Sun Yiwei, Song Jinhua
063	研究微机监测技术在铁路信号维护中的应用 Research on the Application of Microcomputer Monitoring Technology in Railway Signal Maintenance	王诚 Wang Cheng
066	低空无人机测绘技术在输电通道巡检中的应用 Application of Low-Altitude UAV Mapping Technology In Transmission Channel Inspection	吴贵先 Wu Guixian

能源工程 | ENERGY ENGINEERING

069	猪厂保育舍粪污发酵与生物降解系统 Fermentation and Biodegradation System for Manure in Piglet Nurseries	夏娟, 张花哲, 徐小杰, 张炳超 Xia Juan, Zhang Huazhe, Xu Xiaojie, Zhang Bingchao
072	论区域内新能源就地优先消纳的法律机制构建 On the Construction of the Legal Mechanism for the Local Priority Consumption of New Energy in the Region	陈明凤 Chen Mingfeng
075	光伏电池抗老化技术及寿命延长策略研究 Research on Anti-Aging Technology and Life Extension Strategy of Photovoltaic Cells	丁源源 Ding Yuanyuan
078	林业生态修复与生态保护工程技术研究 Research on Forestry Ecological Restoration and Ecological Protection Engineering Technology	黄勇, 邓玉 Huang Yong, Deng Yu
081	电力施工绿色项目管理体系优化探讨 Discussion on Optimization of Green Project Management System of Electric Power Construction	孙校 Sun Xiao
084	解析三恒科技系统 Analysis of Sanheng Technology System	晏旺, 陈颖 Yan Wang, Chen Ying
087	猪厂育肥舍智能化垫料处理与环境调控系统 Intelligent Padding Processing and Environmental Control System for Pig Fattening House	夏娟, 张花哲, 徐小杰, 张炳超 Xia Juan, Zhang Huazhe, Xu Xiaojie, Zhang Bingchao

新型矿用刮板输送机紧链机构设计与性能优化研究

刘少兵

山西潞安煤炭技术装备有限责任公司, 山西 长治 046204

摘 要： 本文聚焦新型矿用刮板输送机紧链机构，针对现有刮板输送机紧链机构调节不便等问题展开分析。经过分析，设计的新型紧链机构由传送座、传送紧链座等构成，紧链调节座通过多种滑移结构和传动丝杆实现精准紧链调节，传动座及辅助机构协同保障设备运行。本文为矿用刮板输送机紧链机构的升级改进提供了有效方案，有助于提高矿山生产效率与设备可靠性。

关 键 词： 矿用刮板输送机；紧链机构；性能优化；结构设计

Research on Design and Performance Optimization of a New Type of Chain Tensioning Mechanism for Mining Scraper Conveyors

Liu Shaobing

Shanxi Lu'an Coal Technology and Equipment Co., Ltd. Changzhi, Shanxi 046204

Abstract： This paper focuses on the new type of chain tensioning mechanism for mining scraper conveyors and analyzes the inconvenience of adjusting the existing chain tensioning mechanisms. Through analysis, the designed new chain tensioning mechanism consists of a transmission seat, a transmission chain tensioning seat, etc. The chain tensioning adjustment seat achieves precise chain tensioning adjustment through various sliding structures and transmission screw rods, and the transmission seat and auxiliary mechanisms work together to ensure equipment operation. This paper provides an effective solution for the upgrade and improvement of the chain tensioning mechanism of mining scraper conveyors, which helps to improve mine production efficiency and equipment reliability.

Keywords： mining scraper conveyor; chain tensioning mechanism; performance optimization; structural design

引言

矿用刮板输送机作为煤炭开采及井下运输系统的关键设备，在整个矿山生产流程中占据着不可替代的重要地位。现有的刮板输送机机尾与张紧机构一体化的设计存在诸多弊端，开展新型矿用刮板输送机紧链机构设计与性能优化的研究具有重要的现实意义。通过对紧链机构的创新设计，能够有效解决现有设备在紧链操作方面存在的难题，提高紧链调节的便捷性与精准度；而对其性能进行深入优化，则有助于提升设备整体的稳定性、可靠性以及使用寿命，降低设备的维护成本与运行能耗，从而为矿山企业实现高效、安全的生产目标提供有力的技术支持，推动整个矿山行业的可持续发展。

一、新型紧链机构设计原理

（一）整体结构组成

相较于其他矿用输送机，矿用刮板输送机之所以可以在煤矿综采工作面中得到广泛应用，主要是由于矿用刮板输送机具有结构坚固、机身较矮、结构简单、运输能力强等特点^[1]。新型矿用刮板输送机的整体结构主要由传送座、传送紧链座等构成。传送座呈上端开口的方形槽状，沿前后方向延伸，其内侧中部设有运输平台，用于承载和输送物料，如图1-1。传送座后端连接传送紧链座，传送紧链座又分为下侧的紧链调节座和上侧的传动座。传动座上固定安装两个左右对称的传动电机，电机连接传动箱，

两个传动箱之间设置传动轴。传动轴外侧套接组合转轴，组合转轴两端固定传动

凸轮，传动凸轮

外侧套接连接链

条，两副连接链

条间设有连接刮

板，连接链条和

连接刮板延伸至传送座内部，实现物料的传输功能^[2]。

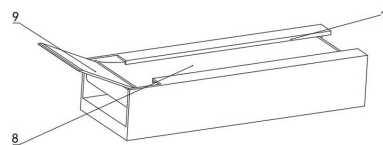


图 1-1 传送座立体示意图

（二）紧链调节座设计

紧链调节座包含第一紧链板和第二紧链板，第一紧链板滑动设置在第二紧链板上方，如图1-2。在第二紧链板左右两侧端面，

各设有一个沿前后方向延伸的第一滑移槽，与之对应的是，第一紧链板左右两侧端面上分别固定一个第一滑移块，第一滑移块可在第一滑移槽内滑动。同时第二紧链板上端面设置两条左右对称的第二滑移槽，第一紧链板下端面则有两个与之配合的第二滑移块，这种双重滑移结构设计，使得第一紧链板能稳定地在第二紧链板上沿前后方向滑动，如图1-3。第二紧链板上端面中部的第三滑移槽内转动安装着传动丝杆，传动丝杆前端固定第一锥齿轮^[3]。第一紧链

板下端面中部的第三滑移块带有螺纹槽，它插在第三滑移槽内并与传动丝杆螺接，参考图1-2和1-3。在第二紧链板前端边缘内侧，转动设置

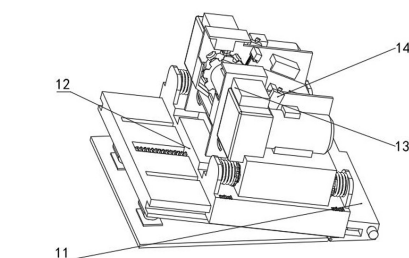


图1-2 传动座与第一紧链板、第二紧链板之间的连接示意图

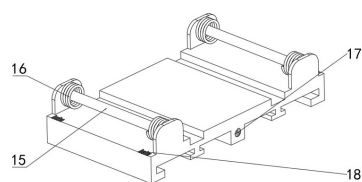


图1-3 第一紧链板的立体示意图

着沿左右方向的旋钮连轴，旋钮连轴一端伸出并固定第一调节旋钮，另一端固定第二锥齿轮，第一锥齿轮与第二

锥齿轮相互啮合。通过转动第一调节旋钮，带动旋钮连轴转动，进而使第一锥齿轮和第二锥齿轮传动，实现传动丝杆的转动，最终带动第一紧链板在第二紧链板上前后滑动，完成链条的紧链调节操作。

（三）传动座及相关部件设计

传动座作为动力传输和链条传动的关键部分，安装有两个左右对称的传动电机，电机的输出轴与传动箱的输入轴固定连接。传动箱输出轴再与沿左右方向水平设置的传动轴两端相连，为传动轴提供动力使其转动。组合转轴由两个半圆筒状结构通过螺栓和螺母拼接成两端开口的圆筒状，紧密套接在传动轴外侧中部^[4]。组合转轴外侧两端固定的传动凸轮，其特殊的结构设计使得连接链条能够稳定地套接在外侧。当传动轴转动时，带动组合转轴及传动凸轮同步转动，进而驱动连接链条运动，实现刮板输送机对物料的输送功能。

二、紧链机构性能分析

（一）紧链调节性能

新型紧链机构通过传动丝杆与螺纹槽的配合实现紧链调节，在第二紧链板的第三滑移槽内转动设置传动丝杆，第一紧链板的第三滑移块螺接于传动丝杆外侧。当转动第一调节旋钮时，旋钮连轴带动与之啮合的第一锥齿轮和第二锥齿轮转动，从而使传动丝杆旋转。由于螺纹连接的特性，第一紧链板能够沿着第二紧链

板精确地前后滑动，这种机械结构设计保证了紧链调节的高精度。第一滑移槽与第一滑移块、第二滑移槽与第二滑移块的双重导向结构，进一步增强了第一紧链板滑动的稳定性，使得在调节过程中不易出现偏移或卡顿现象，提高了紧链调节的可靠性^[5]。

第一弹簧与观测刻度在紧链调节量控制方面发挥了重要作用，两个导向柱分别固定在第一紧链板上端面左右两端上方，传动座滑动套接在导向柱外侧，第一弹簧套接在导向柱上，其两端分别与固定板和调节套接触。通过转动调节套，可以调整第一弹簧的压缩量和回弹力，进而调控传动座的前后位置^[6]。同时在第一紧链板的上端面左右两侧边缘设置观测刻度，传动座的左右两侧端面延伸至观测刻度处。操作人员在调节调节套时，能够直观地观察传动座与观测刻度的对应情况，实现对传动座前后位置的定量调整，确保链条的张紧度处于合适范围，避免因链条过紧或过松带来的不良影响。

（二）链条清洁与润滑性能

夹持清洁机构对链条的清洁效果显著，清洁座固定在固定侧板上，内部转动设置双向丝杆，双向丝杆的转动由第二调节旋钮控制。两个清洁刷分别与双向丝杆的两端螺接，并在清洁座的连通槽内滑动，其另一端延伸至连接链条的上下两侧且与链条接触。当转动第二调节旋钮时，双向丝杆带动清洁刷相互靠近或远离，从而实现对连接链条的夹紧和松开。在链条运行过程中，清洁刷能够有效地清除链条表面附着的杂质，如煤渣、灰尘等^[7]。这种可调节的夹持清洁方式，确保了清洁刷与链条始终保持良好的接触，提高了清洁效果，减少了杂质对链条和传动轴的磨损，延长了设备的使用寿命。

冷却液涂抹机构为链条和传动轴提供了良好的润滑保护。蓄液盒固定在固定侧板上，内部灌注冷却液，储棉盒位于连接链条上方，通过导液棉条与蓄液盒相连。导液棉条将蓄液盒中的冷却液引导至储棉盒下端的抹油凸棉上，抹油凸棉与连接链条接触，从而将冷却液均匀地涂抹在链条上。冷却液能够在链条与传动轴之间形成一层润滑膜，降低两者之间的摩擦系数，减少摩擦产生的热量。这不仅提高了链条传动的效率，还降低了因高温导致的链条和传动轴的损坏风险，进一步延长了设备的使用寿命。

（三）设备稳定性与可靠性

限位凸板和限位凸块对链条的限位作用极大地提升了设备运行的稳定性。在传送座的上端开口左右两侧固定设置限位凸板，两块固定侧板相互靠近的一端侧面分别固定设置限位凸块。在链条运行过程中，限位凸板和限位凸块分别与连接链条接触，限制链条的横向移动和跳动。这使得连接刮板在运输物料时能够保持稳定的滑移，避免因负载偏差导致连接刮板偏斜，保证了物料输送的平稳性。同时对链条位置的有效限定还能减轻链条绷链时对设备造成的破坏，提高设备的可靠性。

液压千斤顶和铰接支撑板的配合能够调整传动座的整体角度，增强设备的稳定性。在第二紧链板的下端面后侧设置铰接槽，铰接支撑板安装在铰接槽内，其前端边缘与铰接槽前侧内壁铰接。液压千斤顶的缸底一端与铰接槽顶面后侧边缘连接，活塞杆一端通过支撑顶块与铰接支撑板上端面后侧边缘的防护垫接

触。当需要调整传动座角度时，通过控制液压千斤顶活塞杆的伸缩，改变铰接支撑板与第二紧链板之间的角度，进而调整传动座的倾斜度^[8]。这种设计使得设备在不同的工作场景下，如将物料放入不同高度的货箱时，能够保持良好的稳定性，确保设备正常运行。

三、性能优化策略

（一）结构参数优化

运用数值模拟软件，如 ANSYS 等，建立矿用刮板输送机紧链机构的模型。针对紧链调节座，改变第一紧链板和第二紧链板的长度、宽度以及厚度等尺寸参数进行模拟分析，发现适当增加第一紧链板和第二紧链板的长度，可增大其滑动行程，使紧链调节范围更广，能更好地适应不同工况下链条的张紧需求^[9]。同时合理调整两者的厚度，能增强紧链调节座的结构强度，减少在紧链操作过程中因受力而产生的变形，提高紧链调节的精度和稳定性。

导向柱的位置对传动座的运动稳定性和紧链效果有重要影响。通过模拟不同导向柱位置下传动座的受力情况和运动轨迹，发现将导向柱向传动座的中心位置适当靠近，可以减小传动座在运动过程中的晃动幅度。这是因为导向柱位置的改变，调整了传动座所受的支撑力分布，使其在沿导向柱滑动时更加平稳。在实际应用中，根据模拟结果对导向柱位置进行优化调整后，设备运行时传动座的振动幅度明显降低，有效减少了因振动对链条和其他部件造成的磨损，提高了设备的整体稳定性和可靠性。

（二）材料选择优化

现有的刮板输送机链条在长期使用过程中，容易受到磨损和拉伸，影响其使用寿命和传输效率。考虑选用高强度、高耐磨的合金钢材料，如 35CrMo 合金钢，这种材料具有良好的综合机械性能，其抗拉强度和屈服强度较高，能够承受更大的拉力，减少链条在运行过程中因受力而被拉长或断裂的风险，同时它的耐磨性也优于普通钢材，能有效降低链条与链轮、导轨之间的摩擦磨损，延长链条的使用寿命。

清洁刷的材料直接影响其清洁效果和使用寿命。传统的清洁刷材料可能在清洁过程中容易磨损，导致清洁效果下降。选用新型的耐磨且具有良好柔韧性的橡胶复合材料作为清洁刷材料。这种材料不仅能够有效地清除链条表面的杂质，还能在与链条接触时更好地贴合链条表面的形状，提高清洁的全面性^[10]。同时其良

好的柔韧性可以减少清洁刷对链条的损伤，避免因清洁刷过硬而刮伤链条表面。实际使用中，采用该橡胶复合材料清洁刷后，链条表面的杂质残留量明显减少，清洁效果提升了约 30%，且清洁刷的更换频率降低了约 50%。

对于冷却液涂抹机构中的蓄液盒、储棉盒等部件，选择耐腐蚀、耐化学性好的塑料材料，如聚丙烯（PP）。PP 材料具有良好的化学稳定性，能有效抵抗冷却液的腐蚀，保证部件的使用寿命。而且 PP 材料密度较低，质量较轻，便于设备的安装和维护。在导液棉条的选择上，采用吸水性强、耐水性好的合成纤维材料，能够更高效地将冷却液引导至抹油凸棉上，确保冷却液均匀涂抹在链条上。使用优化后的材料制作冷却液涂抹部件后，冷却液的泄漏问题得到有效解决，涂抹效果更加稳定，延长了冷却液涂抹机构的维护周期。

（三）控制策略优化

在刮板输送机的紧链机构中安装张力传感器，实时监测链条的张紧力。当传感器检测到链条张紧力低于或高于预设的合理范围时，自动触发控制系统。控制系统根据传感器反馈的信号，控制电机驱动传动丝杆转动，实现对链条张紧度的自动调节。

在夹持清洁机构和冷却液涂抹机构中引入智能控制模块。通过在链条表面安装杂质传感器，检测链条表面的杂质含量。当杂质含量超过设定阈值时，智能控制模块自动启动夹持清洁机构，控制双向丝杆转动，使清洁刷夹紧链条进行清洁。同时在冷却液涂抹机构中设置液位传感器和温度传感器，液位传感器监测蓄液盒内冷却液的液位，温度传感器监测链条和传动轴的温度。当液位过低时，系统发出警报提示添加冷却液；当温度过高时，自动增加冷却液的涂抹量，确保链条和传动轴始终处于良好的润滑和散热状态。

四、结束语

本文聚焦新型矿用刮板输送机紧链机构，详细阐述其设计原理。整体结构涵盖传送座、传送紧链座等，紧链调节座采用独特双重滑移结构与传动丝杆配合实现紧链调节。传动座及辅助机构如夹持清洁、冷却液涂抹机构等设计精巧，保障设备运行。性能分析表明，该紧链机构在紧链调节、链条清洁润滑及设备稳定性方面表现出色。

参考文献

- [1] 李玉霞. 基于 ANSYS 的矿用刮板输送机驱动链轮优化仿真 [J]. 江西煤炭科技, 2023, (01): 205-207.
- [2] 高红伟, 尚鹏, 王鹏. 矿用刮板输送机链轮磨损与刮卡故障分析研究 [J]. 价值工程, 2023, 42(17): 70-73.
- [3] 刘建伟, 李政, 张召贤. 矿用刮板输送机用动力部无线监测系统 [J]. 新疆有色金属, 2023, 46(02): 27-28. DOI: 10.16206/j.cnki.65-1136/tg.2023.02.009.
- [4] 樊俊杰. 煤矿用刮板输送机中部槽耐磨优化与应用 [J]. 自动化应用, 2023, 64(18): 169-171.
- [5] 郭建军, 王鹏. 浅谈矿用刮板输送机链轮报废及维修标准 [J]. 煤矿机械, 2023, 44(11): 151-154. DOI: 10.13436/j.mkjx.202311044.
- [6] 郭倩. 矿用刮板输送机链条故障及预防措施 [J]. 机械管理开发, 2022, 37(08): 345-346. DOI: 10.16525/j.cnki.cn14-1134/th.2022.08.147.
- [7] 盛松梅. 矿用刮板输送机变频驱动优化设计与应用研究 [J]. 能源与环保, 2022, 44(06): 237-242. DOI: 10.19389/j.cnki.1003-0506.2022.06.037.
- [8] 魏强. 矿用刮板输送机断链故障原因分析及处理 [J]. 煤炭与化工, 2021, 44(S1): 75-77. DOI: 10.19286/j.cnki.cci.2021.S1.029.
- [9] 王润. 矿用刮板输送机常见故障及解决措施 [J]. 机械管理开发, 2021, 36(05): 290-292. DOI: 10.16525/j.cnki.cn14-1134/th.2021.05.124.
- [10] 全伟国. 矿用刮板输送机刮板磨损机理及优化改进 [J]. 山东煤炭科技, 2021, 39(01): 130-132.

一种5-LeadTO-263封装加速度传感器工艺攻关研究

艾希飞, 张雪姣, 程德帅, 向圆

中国兵器工业第二一四研究所, 安徽 蚌埠 233030

摘 要 : 本文针对一种5-LeadTO-263封装外形加速度传感器在封装过程中存在的封装问题, 如内部孔洞、模流冲丝、芯片分层等产品可靠性问题, 通过粘片应力、注塑模流和注塑应力工艺过程仿真, 并根据仿真结果优化工艺参数, 固定工艺流程, 对产品良率提升、可靠性提升提供借鉴意义。

关 键 词 : 5-LeadTO-263封装; 工艺过程仿真; 高可靠塑封技术

Research on the Process of 5-LeadTO-263 Encapsulated Acceleration Sensor

Ai Xifei, Zhang Xuejiao, Cheng Deshuai, Xiang Yuan

China Ordnance Industry No. 214 Research Institute, Bengbu, Anhui 233030

Abstract : This article focuses on the packaging problems of a 5-LeadTO-263 packaged external acceleration sensor during the packaging process, such as internal holes, mold flow punching, chip delamination, and other product reliability issues. Through the simulation of adhesive stress, injection mold flow, and injection stress process, the process parameters are optimized and the process flow is fixed based on the simulation results, providing reference for improving product yield and reliability.

Keywords : 5-LeadTO-263 encapsulation; process simulation; high reliability plastic sealing technology

引言

近年来, 消费类电子产品不断向智能化、信息化方向发展, 生活中 IC 芯片应用的种类增长很快, 功能变得越来越复杂多样, 作为低成本高可靠的 IC 塑封技术显得越发重要。IC 塑封技术是电子产品制造中不可或缺的重要环节, 发展历程也是伴随着电子产品的不断更新而不断发展, 高可靠塑封技术的发展不仅设计到产品的性能、可靠性等诸多方面, 而且还涉及到生产成本、良率、生产周期等实际问题^[1]。TO 系列是 IC 塑封技术中一种重要的封装形式, TO 系列塑封应用非常广泛, 关于 TO 系列封装良率提升及可靠性提升具有非常重要意义。目前, 5-LeadTO-263封装问题主要体现在封装体内部孔洞、胶体模流冲丝、芯片分层、可靠性不高等方面, 为了改善现状, 提升封装良率、提高产品可靠性至关重要^[2]。

一、研究内容

针对以上5-LeadTO-263封装过程中出现的问题, 攻关方向可以从以下4方面入手, 主要研究内容为:

1. 粘片、塑封工艺过程优化: 通过粘片胶与芯片及基座的接触面剪切应力仿真和塑封工艺过程残余应力最大剪切应力仿真, 通过力学仿真结果优化粘片和塑封工艺, 改善因应力不匹配导致的产品分层情况。

2. 模具改善: 通过模流仿真对注塑模具流道排气、表面镀层、注胶口大小等位置改进, 针对性优化模具修改, 减少因模具不匹配导致塑封产品出现质量问题。

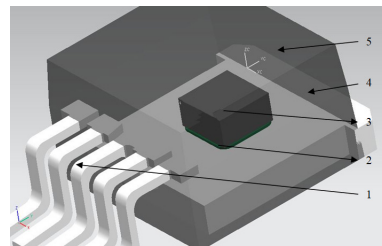
3. 原材料匹配: 塑封产品可靠性提高主要表现在胶体与框架、胶体与芯片、芯片与框架结合面的粘接程度。粘接程度好坏在塑封中主要表现在塑封过程胶体脱模是否顺畅, 注塑前框架表

面洁净度(氧化问题)、粗糙度和环氧树脂胶体 CTE 与框架 CTE 匹配程度, 结合封装体外形要求, 选择 CTE 相匹配的塑封材料。

4. 制定标准化作业流程: 封装流程管控对产品可靠性影响也至关重要, 主要表象在作业时效性、过程一致性、过程异常处理等等。

二、封装过程阐述

对加速度传感器在不同温度载荷工况下的力学性能进行仿真分析, 评估粘片工艺过程中粘片胶剪切应力情况, 以及评估塑封工艺



> 图1 加速度传感器模型

作者简介: 艾希飞, 男, 汉族, 山东青岛人, 本科, 工程师, 技能带头人, 研究方向: 高可靠塑封方向。

过程中塑封料残余应力情况，评估热膨胀及热应力强度。^[3]

加速度传感器模型见图1。图中结构1为引脚，材料为KFC铜；结构2为粘片胶，材料为环氧树脂；结构3为芯片，材料为硅；结构4为基座，材料为KFC铜；结构5为塑封料，材料为环氧树脂。加速度传感器载荷情况，芯片3与基座4通过粘片胶2连接，通过塑封料5将结构2，结构3，结构4形成的整体包裹起来，通过建立加速度传感器的数值仿真物理模型，完成模型的精细网格划分，加速度传感器在使用环境中的温度、受力与变形情况包括2个工况，从而评估加速度传感器的强度是否满足设计要求。

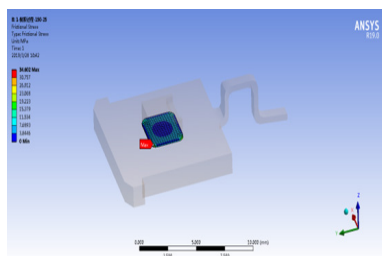
1.粘片工艺过程：加速度传感器从室温升到150℃自然冷却到25℃，环境温度恒定25℃，对流方式为空气常规对流，传感器放置在桌面上，整个过程持续30分钟左右。

2.塑封工艺过程：加速度传感器从室温升到180℃冷却到25℃，环境温度恒定25℃，对流方式为空气常规对流，不考虑压力，传感器放置在桌面上；整个过程持续30分钟左右。

三、粘片工艺过程优化

结合粘片工艺过程实际情况进行数值仿真分析，分析结果如下：

1.粘片胶与芯片及基座的接触面剪切应力分布如图2所示，最大剪切应力34.6MPa，出现在粘片胶边缘，可能引起粘片胶边缘开裂。

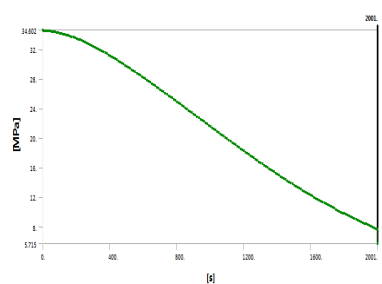


> 图2 剪切应力分布

2.芯片接触面最大剪切应力随时间变化曲线如图3所示。

从以上分析结果可以看到，粘接面的剪切应力在整个时间过程中呈现非线性变化。

芯片粘接到封装基座上后，传感器芯片的敏感结构、粘片胶与封装基座形成了复合材料结构。封装基座材料的



> 图3 粘接面剪切应力-时间变化曲线

热膨胀系数与敏感结构材料的热膨胀系数通常有较大差异，这将导致传感器芯片的敏感结构产生热应力和热变形，即封装效应，封装效应会导致传感器芯片与基座之间出现应力匹配失差，在后期使用过程中或可靠性试验时出现分层现象。根据上述情况，从粘片胶特性、施胶位置、施胶大小（施胶面积）和厚度等方面开展优化，降低应力传导，提高传感器芯片封装后的可靠性和环境适应能力。^[4-5]

粘片胶厚度与施胶面积对于应力的影响试验；以敏感结构直径为8mm为基准（依据芯片大小），对不同施胶厚度、施胶面积对器件应力影响进行试验分析。

通过试验发现，粘片胶厚度与粘接应力成反比如图4所示，即

施胶厚度越大则应力越小。粘片胶和芯片的重叠比例与粘接应力成非正态分布如图5所示，当施胶面积小于传感器芯片面积时，施胶面积与粘接应力明显呈正比，即面积越小则应力越小，在施胶面积与器件面积相等时，应力值最大，之后会逐渐缓慢呈微弱下降趋势。^[6]

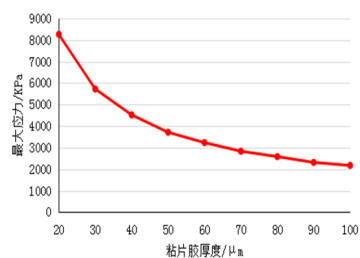
通过上述仿真分析，需要对以下几个方面进行优化：

1.优化粘片工艺参数，控制粘片胶溢胶

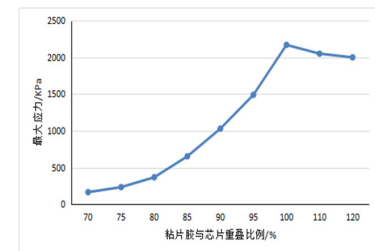
量，减小施胶面积，增加施胶厚度，控制施胶厚度一致性问题，降低粘接过程中芯片与基座之间的应力残余，以防芯片与基座之间发生分层。

2.控制粘片精度，使芯片处于基座中心位置，减少因位置偏移所带来的其他影响因素。

3.优化粘片胶水，降低粘片胶与芯片之间的膨胀系数差，尽量降低粘片过程中芯片与粘片胶之间的残余应力，以防粘片胶与芯片与基座之间发生分层。



> 图4 施胶厚度对应力的影响

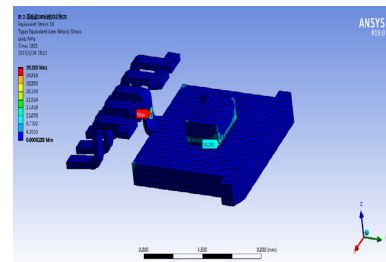


> 图5 施胶面积对应力的影响

四、塑封工艺过程优化

结合塑封工艺过程实际情况进行数值仿真分析，分析结果如下：

1.塑封工艺过程残余应力最大剪切应力如图6所示，残余应力为39.283MPa，出现在基座拐弯位置，可能引起塑封料与引脚出现分层。

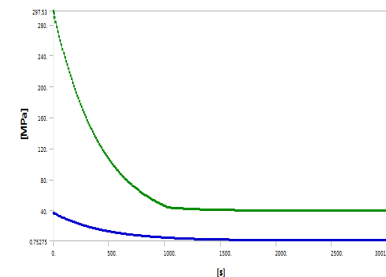


> 图6 残余应力分布

2.传感器最大应力-时间的变化曲线如图7所示。

从以上分析结果可以看到，粘接面的剪切应力在整个时间过程中呈现非线性变化。

对加速度传感器充填过程中不同时间的波前边界位置，利用模流



> 图7 最大应力-时间变化曲线

仿真流动波前资料可以检查充填保压过程的流动情形，检查是否发生充填不饱和（短射）的问题，找出可能的缝合线位置，找出可能的包封位置，检视不同浇口大小、位置对流动的贡献以平衡流

道设计，找出较佳之浇口位置以平衡胶体流动并消除缝合线。[7-8]

通过图8模拟仿真结果分析，需要对以下几个方面进行优化：

1. 优化塑封注塑工艺参数，减少塑封注塑过程中环氧树脂流动对框架引脚拐弯位置所产生的冲击，选用低应力塑封料，降低塑封料与芯片之间的膨胀系数差，尽量降低塑封过程中芯片与塑封料之间的残余应力，以防止塑封料与芯片之间发生分层现象。

2. 优化模具注胶口、流道排气、表面镀层，降低或减少包气和缝合线。通过图8可以看出，电路在注塑过程中存在包气和塑封料与框架之间有缝合线存在。

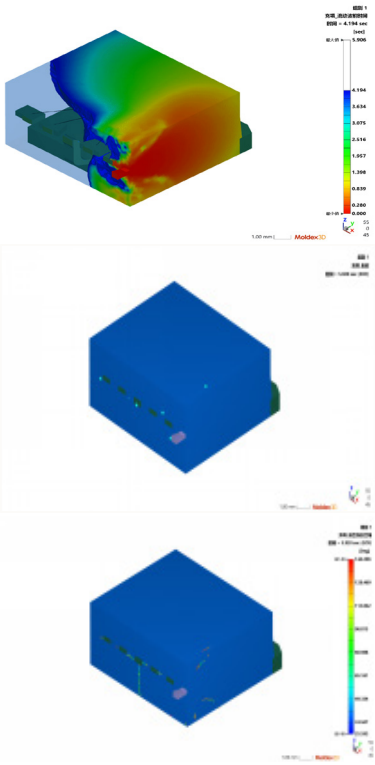


图8 模拟仿真分析结果

五、综述

通过上述力学仿真分析，粘片工艺和塑封工艺都需要进一步优化来提升封装良率、提高产品可靠性。[9]

粘片通过 DOE 实验及工装改善，设计专用粘片电木吸嘴，保证芯片拾取和粘片精度，确保每只芯片的粘片 X/Y 方向的偏移量保证在 20um 以内，角度保持在 $\pm 1.0^\circ$ ，粘片胶厚度 BLT (um) 稳定在 $35\mu\text{m} \pm 5$ 以内，粘片倾斜角度 Die tilt (um) 在 5um 以内，胶水爬胶高度在芯片厚度的 20% 左右，粘片胶水总空洞率降为 0%，通过稳定以上工艺来优化粘片工艺能力，提升封装可靠性。[10]

塑封通过 DOE 实验及模具设计优化，使其减少包气和塑封料与框架之间缝合线的存在，模具浇口深度设计受型腔深度的限制对于塑封体较薄产品的浇口深度要小于型腔深度的 2/5。如图 9 所示， $A < (\frac{1}{5}) B$ 。宽度一般设计 0.9mm，胶口宽度跟产品尺寸有关，产品越大浇口宽度越大，产品约小等比减少，胶口位置需根据框架预留口设计来确定。

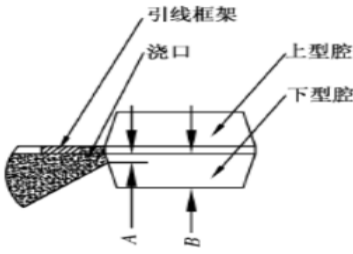


图9 胶口深度

制定引线框架处理措施，避免引线框架上镀银区域氧化，通常使用等离子清洗技术清理框架表面氧化层，针对引线框架易分层位置，对引线框架做特殊处理（增大表面粗糙度、增加锁料孔），其目的增加框架与环氧树脂接触面积，以防塑封料与引线框架之间发生分层，提高塑封可靠性，从而使封装电路达到最佳理想状态。

参考文献

[1] 李冬, 陈钊亿. 系统级封装可靠性研究 [J]. 电子产品可靠性与环境试验, 2024.

[2] 曹华东, 罗璜璜. 塑封模拟 IC 器件的可靠性提升方法 [J]. 电子工艺技术, 2024.

[3] 李泱. 塑封器件使用风险与应对措施分析 [J]. 集成电路应用, 2024.

[4] 郭涛, 徐雁, 李平. MEMS 高 g 加速度传感器封装贴片技术研究 [J]. 化工自动化及仪表, 2011.

[5] 杨雨君. MEMS 高 g 值双轴压阻式加速度传感器研究 [D]. 陕西理工大学, 2023.

[6] 张怡. 功率器件塑封过程中引脚压伤问题研究 [J]. 电子与封装, 2023, 23(08): 17-21.

[7] 杨丽. 高密度模块封装模流仿真技术研究 [D]. 南京邮电大学, 2023.

[8] 李永正, 党伟, 李昕昕, 等. 声学扫描技术在高可靠领域塑封器件检测中的应用 [J]. 电子器件, 2018, 41(01): 19-24.

[9] 陈俭春. 基于物联网的系列发酵物制品制备装置及工艺过程虚拟仿真开发与应用. 河南省, 河南莱帕克化工设备制造有限公司, 2023-08-25.

[10] 舒吉平. 压铸工艺过程与模具设计虚拟仿真实验及数字孪生平台搭建 [D]. 重庆交通大学, 2023.

基于5G的高铁列车超视距行车辅助预警系统 的研究与设计

安东, 郭宇宇

陕西科技大学镐京学院, 陕西 西安 710000

摘 要 : 文章研究目的为基于5G技术开发一款超视距高铁列车行车辅助预警系统, 以解决高铁驾驶员无法提前预知前方危情的弊端。研究期间, 以5G作为核心传输技术, 融合线路沿线摄像头、关键区域监测设备、列车车载显示系统等硬件结合对程序的设计, 实现高铁列车运行阶段对前方危情的超视距感知, 以便列车员与调度中心可提前制定风险应对策略, 提升列车运行稳定、安全性。

关 键 词 : 5G技术; 超视距; 预警系统; 危情视频传输

Research and Design of 5G-Based Over-the-Horizon Train Auxiliary Warning System for High-Speed Trains

An Dong, Guo Yuyu

Haojing College, Shaanxi University of Science and Technology, Xi'an, Shaanxi 710000

Abstract : The purpose of this paper is to develop an over-the-horizon high-speed train auxiliary warning system based on 5G technology, so as to solve the problem that high-speed train drivers cannot predict the danger ahead in advance. During the research period, 5G is taken as the core transmission technology, and hardware such as cameras along the line, monitoring equipment in key areas, and on-board display system of trains are integrated with program design to realize over-the-horizon perception of the danger ahead in the running stage of high-speed trains, so that the train crew and dispatching center can formulate risk response strategies in advance and improve the stability and safety of train operation.

Keywords : 5G technology; beyond visual range; early warning system; emergency video transmission

高铁行车过程中, 由于其高速运行的特点, 仅凭列车人员的视距不足以及及时发现前方可能的潜在风险, 即便发现, 高达300km/h的行驶速度也将导致其无法有效实施风险的应对, 故而设计一款超视距行车辅助预警系统, 对于高铁的安全运行具有重要意义。5G技术, 以其高带宽、低延迟、高可靠性的特征, 让远程感知、实时数据传输的融合成为可能。通过实时整合前方轨道状况、天气变化、周边环境等多源信息, 系统可以在远超人眼视距的范围内实现全面监测、快速预警。与此同时, 5G网络技术的低时延特性, 可以保证预警信息实现及时传递, 让高铁驾驶员、调度中心可以迅速获取准确风险信息^[1]。综合而言, 基于5G技术设计的超视距行车辅助预警系统, 对于高铁今后的安全、稳定运行而言具有不言而喻的价值。

一、高铁列车运行阶段常见风险分析

(一) 铁路异物与人员入侵

铁路异物、人员入侵为高铁运行中的重要风险之一。在铁路沿线, 特别是人口密集、管理薄弱区域, 自我国铁路系统运行以来就出现人员误入轨道、故意侵入轨道等情况, 导致列车必须紧急刹车、临时停车。此外, 自然、人为因素导致异物进入轨道, 如掉落的树枝、跌落广告牌等, 也可能造成列车出轨甚至是出现翻覆。这类事件通常由于安全防护设施不完善、公众安全意识不

足等所形成。传统列车可采取紧急停车等措施, 然而高铁列车运行速度高达250 ~ 350km/h, 即便列车人员发现情况也无法采取停车、急刹车形式规避风险。

(二) 隧道落石

隧道落石作为一种同地质因素密切相关的风险, 其引发原因可能是由于地壳运动、降水侵蚀或是温差变化所导致, 上述极端条件下, 隧道内壁可能发生石块松动、掉落, 对快速行驶中的列车造成极大安全隐患, 可能导致列车本身损毁、影响隧道结构的完整性甚至是导致铁路长时间修复、封闭以及人员伤亡事故。

（三）山体滑坡

山体滑坡作为自然灾害，常发生于多雨、地质活动频繁的山区、丘陵地带。长期的降雨、大幅度温度波动、地震等自然现象将加剧土壤饱和度、不稳定性提升，继而导致山体滑坡^[2]。一旦铁路周边山体出现滑坡，大量泥石土壤会堆积到铁路上，若高铁列车无法停止将引发灾难性事故，如撞击、出轨，继而带来严重的人身伤害、财产损失，并且引发铁路线路长时间中断通车。

二、以5G为核心技术的列车超视距行车辅助预警系统设计研究

（一）设计目的

针对高铁列车运行阶段可能出现的各类风险，以5G为核心技术，设计一款列车超视距行车辅助预警系统（简称超视距预警系统），以5G网络将铁路前方沿线的视频画面快速向高铁列车驾驶室内传输，以实现高铁司机视线眼神的目标。特别是针对铁路线路重点区段，可实现风险快速识别、报警，一旦出现危情，高铁列车司机将快速基于报警提前进行应对策略制定^[3]。同时，对于前方高风险区域，系统可语音提醒司机注意安全驾驶。

（二）系统架构设计

本次面向高铁列车的超视距预警系统采取四层设计形式，即感知、传输、数据、应用四层架构。表1为不同层功能基础介绍：

表1 基于5G技术的超视距预警系统四层架构

序列	层	功能简述
1	感知层	险情预警、重点区段视频展示、视频共享、行车提示
2	传输层	5G网络、铁路生产网、铁路局安全平台
3	数据层	视频数据、危情数据、列车寻位数据
4	应用层	铁路沿线视频采集、重点区段视频采集、智能传感器数据采集

如表1所示，感知层，主要依赖智能传感、边缘计算技术对高铁铁路沿线、重点区段进行视频采集，且一并覆盖传感器数据采集功能。传输层，以5G技术为核心数据传输网络。数据层，则负责铁路沿线视频数据、危情数据、列车寻位数据的存储与预处理，实现危情与视频数据向应用层推送。应用层，则主要面向高铁列车驾驶员展示各类场景视频、危情视频以及安全行车引导，且一并将视频共享至调度中心技术平台^[4]。

（三）车载与地面设备

本次超视距预警系统硬件方面，包含车载设备与地面设备。

1. 车载设备

车载设备部分，包括5G传输设备、车载显示设备、车载DMS系统。其中，车载5G传输设备为超视距预警系统核心模块，负责保障列车同地面信息实现实时互通，在列车行驶过程中，实现大规模数据快速传输，让列车能够实时获取前方轨道的信息。车载显示设备为数据的人机交互界面，负责将分析后的预警信息及时呈现给高铁列车驾驶员。显示设备，应具备高分辨率以及高度友好的用户界面，确保在短时间内便可让高铁列车驾驶员直观了解前方路况、潜在风险，减少了信息传递的延迟同时提升驾驶人员的响应速度、决策准确性。车载DMS动态监测系统，负责对

驾驶员状态开展实时监测，通过摄像头、传感器监测驾驶员的注意力、疲劳程度等一系列关键参数^[5]。若列车高速运行阶段驾驶员状态不佳，该系统立即发出警报，提醒驾驶员调整状态，或是将控制权转移给列车自带的辅助系统，保证长时间、高速驾驶行为始终处于安全状态，提升驾驶员持续警觉、安全意识。

2. 地面设备

地面设备，由铁路沿线视频采集设备、重点区域监测设备、视频云平台模块联合组成。铁路沿线视频采集设备包括沿铁路线路安装的多台高精度摄像机，该部分负责实时捕捉轨道周围环境变化情况，识别出潜在风险因素，如异物入侵、人员靠近等，随后基于5G网络即时将影像数据传输至调度中心实现进一步分析。重点区域监测设备，包括雷达、传感器、高清摄像头，负责全面感知环境的变化与异常情况，如雷达、传感器负责检测微小的地质活动、环境变化，摄像头负责提供视觉维度的确认。特别是在恶劣天气、复杂地形条件下，雷达的穿透能力、多普勒效应，可显著提升风险的早期探测能力。视频云平台方面，所有地面采集到的数据会集成至视频云平台进行统一管理、分析^[6]。平台会利用大数据算法、神经网络算法对列车行驶阶段前方风险进行评估、预测，并生成实时预警信息。视频云平台的分析结果，同样基于5G网络即时反馈给车载系统，确保高铁列车运行阶段驾驶员可始终了解前方路线安全情况。此外，这一过程下，铁路沿线视频、重点区域监测信息会一并共享给调度中心，除了让高铁列车驾驶员了解情况，一并向调度人员掌握列车运行状态、前方危情，以便在系统发出预警期间可以快速与列车驾驶员商议紧急处理策略。

（四）系统程序设计

1. 初始化程序

高铁列车启动期间，车载5G传输设备自动开启，同铁路沿线基站建立连接，随后进行网络环境的检测，保证通信信号的强度、稳定性满足要求。其次，车载系统对主要硬件设备如显示设备、DMS动态监测系统开展自检，确认其是否处于正常工作状态^[7]。与此同时，地面视频采集设备、重点区域的雷达、传感器、摄像头并行启动自检程序，检查其连接状态、功能完好性是否满足要求。一旦所有设备通过自检，车载系统、地面系统进行对接数据同步，包括当前列车位置、速度等一系列基本参数。最后，初始化程序启动视频云平台，确保所有采集的数据能够实时上传、存储，为后续的视频分析、危情预警提供基础保障。整个初始化结束后，超视距预警系统进入正常工作状态^[8]。

2. 路线前方危情视频传输程序

路线前方危情视频传输程序设计阶段，沿线布置的高精度摄像头进入持续工作状态，实时捕捉轨道周边动态影像。采集到视频数据后，利用5G网络即时传输至地面视频云平台。这一过程下，视频云平台以先进的数据压缩、传输技术来保证列车高速移动、网络波动情况下视频信号仍旧满足清晰度、传输稳定性要求。这一过程主要依赖于边缘计算技术，初步过滤正常无危情的数据，减轻服务器压力。完成上述步骤后，被沿线摄像头以及重点区域传感器等设备采集到的数据会在视频云平台得到全面分

析,借助图像识别算法、深度学习模型快速检测出可能存在的隐藏危情以及已经出现的危情,如轨旁异物、人员闯入轨道。检测结果同原视频,将被快速传输到列车驾驶室车载显示设备,驾驶员此刻可实时看到前方路线危情,做好应对准备^[9]。

3. 危情警报程序设计

在视频云平台、沿线传感器发现异常情况,这一信息会基于5G网络快速传输至视频云平台,随后在数据经过快速分析后快速传输至高铁列车驾驶室车载显示设备。这一过程下,首先,平台会收到的危情数据进行多层次判断、优先级分类,计算危险发生可能性、紧急程度。其次,确认危情信息后,远程触发车载DMS动态监测系统的优先级警报机制,界面上会显示具体的危情种类,如“前方有异物”、“人员闯入轨道”等,同时伴有声光提示,

以引起驾驶员的注意。与此同时,地面调度中心一并发收到警报信息,调度人员可快速启动预先部署的应急方案^[10]。

三、结语

如上分析,本文针对高铁列车运行阶段可能遭遇的安全风险,以5G网络技术为核心设计了一款超视距预警系统,以有效解决列车员对前方路况、风险缺少预知的问题。系统运行阶段,一旦线路沿途摄像头、重要区域传感器与雷达等设备检测到异常,数秒内列车驾驶员便可收到声光警报,并通过显示界面了解前方危情实际情况,提前应对,保证高铁列车始终处于安全运行状态,规避位置风险带来的危害。

参考文献

[1]赵涛.高速铁路行车事件应急救援进度预警模型研究[D].兰州交通大学,2022.
[2]杨小江,何先文,朱春山,等.南山矿铁路运输行车安全预警系统建设与应用[J].现代矿业,2023,39(10):174-177.
[3]刘佳佳.面向智能高铁场景的隐私保护研究[D].北京交通大学,2022.001139.
[4]陈建译.基于5G的高铁列车超视距行车辅助预警系统[J].铁道通信信号,2022,58(02):49-55.
[5]钟尖,万月亚.高铁工务作业监控管理系统的设计及应用[J].价值工程,2020,39(32):170-171.
[6]张妍君,赵耀.5G在铁路信息系统中的应用[J].中国铁路,2023,(05):13-20.
[7]柳青红,赵颖,罗浩,等.基于5G公网的高速铁路运营线路列车超视距应用系统试验方案研究[J].铁路计算机应用,2023,32(06):62-70.
[8]王瑞.高速铁路灾害及超限监测关键技术研究[D].中国铁道科学研究院,2022.000007.
[9]何理旭.5G无线信号穿透高铁车厢的信道特性研究[D].上海大学,2023.000634.
[10]张存涛.5G C/U分离架构下高铁移动网络切换性能增强方法[D].北京交通大学,2023.001927.

浅析巴南高铁工程线运输及施工安全管理

陈广勋, 陈鹏

汉巴南城际铁路有限责任公司, 四川 南充 637600

摘 要： 高速铁路建设的迅猛发展凸显了工程线运输及施工安全管理的重要性。巴南高铁作为中国西南地区的关键铁路干线，其工程线运输及施工安全管理不仅关乎工程的顺利推进，更直接关联着施工人员的生命安全和铁路运营的可靠性。本文深入剖析了巴南高铁工程线运输及施工安全管理的标准化建设情况，探讨了其在保障施工安全、提升工程质量、维护既有线运营安全等方面的实践与成效，并针对存在的问题提出了切实可行的改进建议，旨在为未来类似铁路工程提供有益参考。

关 键 词： 巴南高铁；工程线运输；施工安全管理；标准化建设

Analysis of Engineering Line Transportation and Construction Safety Management of Bazhong-Nanchong High-speed Railway

Chen Guangxun, Chen Peng

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

Abstract： The rapid development of high-speed railway construction highlights the importance of engineering line transportation and construction safety management. As a key railway trunk line in the southwestern region of China, the engineering line transportation and construction safety management of the Bazhong-Nanchong High-speed Railway not only affects the smooth progress of the project but also directly relates to the life safety of construction workers and the reliability of railway operation. This paper deeply analyzes the standardization construction of engineering line transportation and construction safety management of the Bazhong-Nanchong High-speed Railway, explores its practice and effectiveness in ensuring construction safety, improving project quality, and maintaining the safety of existing line operation, and proposes practical improvement suggestions for the existing problems, aiming to provide useful references for similar railway projects in the future.

Keywords： Bazhong-Nanchong High-speed Railway; engineering line transportation; construction safety management; standardization construction

引言

高速铁路工程线运输及施工安全管理是确保铁路建设安全、高效进行的核心环节。巴南高铁工程已经对安全管理执行了一套规范的策略，包括构筑体系、推动科技革新以及对工作人员的教育培养等各个环节，从而大幅度地增强了其管理能力。但是，在具体的管理流程上，巴南高铁工程线的管理依旧存在许多问题，例如，对于安全管理的认知还需要加强，工作人员的安全教育还需要更深入的研究，以及对于紧急情况的处理计划的完备性还不够。为应对这些问题，本文提出了一系列改进建议，包括加强安全教育培训、完善应急预案、提升科技兴安水平、强化现场监管等，以期进一步提升巴南高铁工程线运输及施工安全管理的效能^[1]。

一、巴南高铁工程线安全管理现状

（一）组织架构与职责明晰

巴南高速铁路已经构筑了一个专注于工程线路施工的安全管理团队，该团队的主要负责人是企业的高级领导，并且有相应的

部门和施工单位的项目经理共同参与。团队内还有一个办公室，主要处理日常的管理任务。此外，工程线路的调度指挥中心是由经验丰富的专家构成的，他们的主要职能是对工程线路的运营进行组织和管理，以及对施工和运营的计划进行协调和审核。各参建单位也依据自身职责，成立了相应的安全管理机构，明确了安全责任人和

作者简介：

陈广勋（1971.05-），男，高级工程师，本科学历，毕业于土木专业，长期深耕于工程建设管理、隧道及桥梁工程的施工及施工监理领域，致力于推动铁路工程建设的安全与高效发展。电子邮箱：cgx1314@126.com

陈鹏（1997.02-），男，工程师，本科学历，攀枝花学院工程管理专业，长期从事铁路建设及现场管理工作。

安全管理人员，构建起一套较为完备的组织管理体系^[2]。

（二）规章制度日臻完善

巴南高铁为了提升工程线路的运输和施工安全管理，精心设计了一系列的规章制度，例如《汉巴南城际铁路工程线施工安全管理办法》《汉巴南城际铁路有限责任公司关于进一步加强营业线、邻近营业线、工程线安全管控的通知》等。同时，他们还定期举行工程线路运输和施工安全专题会议，并将会议纪要整理出来。这些办法和纪要全面覆盖了工程线施工的各个层面，从施工计划管理到施工防护，从行车安全管理到临时道口管理，为施工安全管理提供了清晰的依据和详尽的指导。各参建单位也结合自身实际情况，制定了相应的实施细则和操作规程，进一步细化了安全管理要求，确保各项规定能够精准落地。

（三）安全培训与教育持续强化

巴南高铁将施工人员的安全培训与教育工作置于重要位置，明确规定所有参与工程线施工的人员必须经过严格的岗前安全培训，全面熟悉工程线施工运输特点以及制定的各项行车办法，经严格考试合格后方可持证上岗。公司定期组织安全知识讲座、事故案例分析等活动，通过生动的案例和深入浅出的讲解，不断提升施工人员的安全意识和自我保护能力。对于特殊工种和关键岗位人员，如驻站联络员、防护员、带班人员和工班长等，更是开展了专项培训和考核，确保他们具备过硬的业务能力和出色的安全管理水平，为工程线运输及施工安全筑牢人才根基^[3]。

（四）信息化手段赋能安全管理

巴南高铁积极拥抱智能化、数字可视化的安全管理技术，为施工现场配置了具备实时传输功能的视频监控装置，将施工现场的实时信息精准传输至工程线调度指挥中心。借助这些先进的信息化手段，管理人员能够及时、全面地掌握施工现场的动态情况，实现对施工过程的实时监控和精细化管理，第一时间发现并处理安全隐患，显著提升了安全管理的效率和效果，为工程线运输及施工安全保驾护航。

二、巴南高铁工程线运输及施工安全管理面临的挑战

（一）施工环境复杂多变

巴南高铁工程线穿越了山区、丘陵、河流等多种复杂的地形地貌，施工环境极为恶劣。在这些地区施工，不仅要应对暴雨、洪水、山体滑坡、泥石流等自然灾害的威胁，这些自然灾害随时可能对工程线造成破坏，严重影响施工安全；而且工程线沿线还分布着众多既有铁路、公路、桥梁、隧道等基础设施，施工过程中需要频繁与这些设施进行交叉作业，协调难度极大，安全风险也随之攀升，给工程线运输及施工安全管理带来了严峻考验^[4]。

（二）施工队伍素质参差不齐

巴南高铁工程规模宏大、工期紧迫，吸引了众多参建单位，导致施工队伍的素质存在较大差异。部分施工队伍安全管理意识淡薄，安全管理制度形同虚设，施工人员缺乏必要的安全培训和教育，安全操作技能严重不足。在施工过程中，一些施工人员违章作业、冒险蛮干的现象时有发生，如不按规定佩戴安全帽、反

光背心，不遵守施工计划和调度指令，擅自改变施工方案等，这些违规行为如同定时炸弹，严重威胁着工程线运输及施工安全，一旦引爆，后果不堪设想。

（三）施工机具和设备管理漏洞频现

工程线施工中大量使用了铺轨机、运架梁车、轨道车、架线车等施工机具和设备。然而，在实际施工中，部分施工单位对施工机具和设备的管理却不够严格，存在诸多问题。例如，部分设备因老化、故障等问题带病作业，却未得到及时有效的维修和保养；一些施工机具和设备的停放不符合安全要求，随意停放导致侵入铁路建筑限界，严重干扰行车安全；还有部分施工单位对施工机具和设备的操作人员管理不善，未严格执行持证上岗制度，致使操作不当引发安全事故，给工程线运输及施工安全带来巨大隐患^[5]。

（四）施工计划执行不力

尽管巴南高铁制定了详尽的施工计划管理制度，但在实际执行环节，仍暴露出诸多问题。部分施工单位未能严格按照批准的施工计划组织施工，无计划施工、超计划施工、擅自变更施工方案等现象屡禁不止。这些违规行为不仅打乱了工程线的正常运输秩序，还大幅增加了施工安全风险。此外，施工计划的协调和沟通机制也存在缺陷，各参建单位之间信息传递不及时、不准确，导致施工计划执行过程中冲突不断、矛盾重重，严重影响了施工效率和安全，成为工程线运输及施工安全管理的一大顽疾。

（五）应急救援能力亟待提升

虽然巴南高铁制定了应急预案，但在实际应急救援工作中，仍存在诸多薄弱环节。部分施工单位对应急预案的重视程度严重不足，未定期组织应急演练，致使施工人员对应急预案内容知之甚少，应急处置能力严重欠缺。在安全事故突发时，不能迅速、有效地组织救援，往往延误救援时机，导致事故损失进一步扩大。此外，应急救援物资和设备的储备也不尽如人意，数量不足、种类不全，无法满足应急救援的实际需求，严重影响了应急救援工作的顺利开展，亟待加以改进和完善^[6]。

三、强化巴南高铁工程线运输及施工安全管理的策略

（一）加强施工环境监测与预警

针对巴南高铁工程线施工环境复杂的特点，应着手建立一套完善的环境监测与预警系统。加大对气象、水文、地质等自然因素的监测力度，实时掌握天气变化、降雨量、河流水位、山体稳定性等关键信息，提前发布精准预警信息，为施工安排提供科学、可靠的依据。在施工过程中，依据预警信息及时调整施工计划和方案，果断采取暂停施工、转移人员和设备等防范措施，有效规避自然灾害对工程线运输及施工安全的潜在威胁。同时，加强与沿线既有铁路、公路等基础设施管理部门的沟通与协作，建立联合监测和预警机制，携手应对可能出现的安全风险，形成安全管控的强大合力^[7]。

（二）全面提升施工队伍素质

加强对施工队伍的全方位管理，严格施工队伍准入制度，精

心筛选具有良好信誉和卓越安全业绩的施工队伍参与巴南高铁工程建设。持续加大对施工人员的安全培训与教育投入,除了扎实开展常规的岗前培训外,还应定期组织在岗培训和继续教育,不断更新施工人员的安全知识和操作技能。特别是对于新工艺、新技术、新设备的应用,要及时组织专项培训,确保施工人员能够熟练掌握并正确使用,切实提升施工队伍的整体素质。同时,建立健全施工队伍考核与评价体系,将施工安全作为核心考核指标,对安全管理不善、事故频发的施工队伍进行严肃处理,情节严重的坚决清退出场,以儆效尤,倒逼施工队伍强化安全管理,提升安全水平。

（三）强化施工机具和设备管理

建立健全施工机具和设备管理制度,实现对施工机具和设备采购、租赁、使用、维护、保养等全生命周期的严格管控。定期组织专业人员对施工机具和设备进行全面检查和维护,及时发现并处理设备故障,确保设备始终处于良好运行状态,杜绝带病作业现象。加强对施工机具和设备停放的规范管理,科学划定专门的停放区域,设置醒目的警示标志,严防设备侵入铁路建筑限界,保障行车安全畅通无阻。严格施工机具和设备操作人员的管理,坚决执行持证上岗制度,加强对操作人员的安全培训和教育,定期组织技能考核,不断提升其安全操作技能和应急处置能力,从源头上防范操作不当引发的安全事故^[8]。

（四）严格施工计划执行

进一步优化施工计划管理制度,强化对施工计划执行情况的监督检查力度。建立施工计划执行情况的日报、周报和月报制度,实时跟踪各参建单位施工计划的执行进度,对执行过程中出现的问题及时进行协调和处理,确保施工计划稳步推进。加强施工计划的协调和沟通机制建设,定期组织各参建单位召开施工计划协调会,及时解决施工计划执行过程中出现的冲突和矛盾,保障施工计划的顺利实施。同时,加大对无计划施工、超计划施工、擅自变更施工方案等违规行为的处罚力度,提高施工计划的

严肃性和权威性,维护工程线运输及施工秩序的稳定^[9]。

（五）提升应急救援能力

持续加强应急预案的修订和完善工作,紧密结合巴南高铁工程线运输及施工安全管理的实际情况,进一步细化应急预案的内容和流程,提高应急预案的针对性、实用性和可操作性,确保应急预案能够在关键时刻发挥关键作用。定期组织形式多样的应急演练,模拟各类可能发生的事故场景,全面检验应急预案的有效性以及施工人员的应急处置能力,及时发现并解决演练过程中暴露出的问题,不断优化应急预案,提升应急救援的实战水平。加大应急救援物资和设备的储备力度,建立专门的应急物资和设备储备库,配备充足的应急救援物资和设备,如救援车辆、抢险工具、医疗设备、消防器材等,并定期对物资和设备进行检查和维护,确保其始终处于良好状态,随时能够投入使用。此外,加强与当地应急救援部门的沟通与协作,建立紧密的应急联动机制,实现资源共享、协同作战,共同应对可能出现的突发事件,最大限度地降低事故损失,保障工程线运输及施工安全^[10]。

四、结论

巴南高铁工程线运输及施工安全管理是一项极具挑战性且至关重要的工作,涉及多个参建单位和众多施工人员。通过对巴南高铁工程线安全管理现状的深入分析以及对存在问题的精准剖析,本文提出了一系列切实可行的改进措施。在后续的工程建设征程中,应持续强化安全管理意识,不断完善规章制度体系,全方位提升施工队伍素质,从严从实强化施工机具和设备管理,严格执行施工计划,全力提升应急救援能力,多措并举确保巴南高铁工程线运输及施工安全,为工程的顺利推进筑牢坚实的安全防线。通过不断的实践探索与改进创新,巴南高铁工程线管理必将为我国铁路建设安全管理领域积累宝贵经验,引领行业安全管理水平迈向新台阶。

参考文献

[1]王川.高速铁路信号系统联调联试计划编制[J].铁路技术创新,2021,(03):62-66.
[2]孟涛.高速铁路调度指挥安全与应急系统研究[D].中国铁道科学研究院,2014.
[3]崔雪波.试论中等城市新建高铁车站周边配套交通方案[J].江西建材,2021,(06).
[4]顾成权.河源断裂带对京九高速铁路工程安全影响研究[J].铁道工程学报,2016,33(06).
[5]任正康.铁路工程线行车事故成因分析与对策研究[D].兰州交通大学,2020.
[6]曹德志,孙柏辉.《铁路轨道工程施工安全技术规程》修订技术要点[J].铁道标准设计,2010,(S1):17-21.
[7]铁路轨道工程施工安全技术规程:TB 10305-2009[S].2009.
[8]阮强.涉铁工程施工安全管理方法的探讨与实践[J].上海铁道科技,2013,(04):3-4+2.
[9]黄敬毅.CD法下穿高铁立交通道工程施工安全管理[J].福建建材,2013,(01):104-106.
[10]周益江.涉铁工程施工安全管理的创新与实践[J].上海铁道科技,2017,(04):40-42+10.

机械传动中的振动与噪声控制技术研究

李东锋

陕西东方之星传动科技有限公司, 陕西 西安 710000

摘要：机械传动系统中的振动与噪声是影响设备性能、可靠性和使用寿命的重要因素。本文深入探讨了机械传动中振动与噪声的产生机理、控制技术及其研究进展。通过分析振动与噪声的来源，提出了优化设计、材料选择、制造工艺改进、润滑与冷却以及主动与被动控制等多种技术手段。这些技术旨在降低机械传动中的振动与噪声水平，提高设备的运行稳定性和可靠性。本文还展望了机械传动中振动与噪声控制技术的研究方向和发展趋势，为相关领域的研究和实践提供了有益的参考。

关键词：机械传动；振动控制；噪声控制；优化设计；制造工艺；润滑技术

Research on Vibration and Noise Control Technology in Mechanical Transmission

Li Dongfeng

Shaanxi Oriental Star Transmission Technology Co., LTD. Xi'an, Shaanxi 710000

Abstract： Vibration and noise in the mechanical transmission system are the important factors affecting the performance, reliability and service life of the equipment. This paper discusses the generation mechanism, control technology and research progress of vibration and noise in mechanical transmission. By analyzing the sources of vibration and noise, optimization design, material selection, manufacturing process improvement, lubrication and cooling, and active and passive control are proposed. These technologies are designed to reduce the vibration and noise levels in the mechanical transmission and improve the operation stability and reliability of the equipment. This paper also discusses the research direction and development trend of vibration and noise control technology in mechanical transmission, which provides a useful reference for the research and practice in related fields.

Keywords： mechanical transmission; vibration control; noise control; optimized design; manufacturing process; lubrication technology

引言

机械传动是工业领域中不可或缺的一部分，它通过各种传动装置将动力和运动从一个部件传递到另一个部件。然而，在机械传动过程中，振动与噪声问题一直困扰着工程师们。振动不仅会影响设备的稳定性和精度，还会加速部件的磨损和疲劳，缩短设备的使用寿命。而噪声则会对操作人员的身心健康产生负面影响，严重时甚至会影响设备的正常运行。因此，对机械传动中的振动与噪声控制技术进行深入研究，具有重要的理论意义和实际应用价值。

近年来，随着制造业的快速发展和人们对环境质量要求的提高，机械传动中的振动与噪声问题日益受到重视。国内外学者在这一领域进行了大量的研究，提出了许多有效的控制技术和方法^[1]。然而，由于机械传动系统的复杂性和多样性，现有的控制技术仍存在一定的局限性和不足。因此，本文旨在综合探讨机械传动中的振动与噪声控制技术，分析各种方法的优缺点，并提出未来的研究方向和发展趋势。

一、机械传动中振动与噪声的产生机理

机械传动中的振动与噪声问题，其根源在于多种因素的相互作用。了解这些因素的产生机理，是制定有效控制策略的前提。

（一）振动的产生机理

不平衡，机械传动中的旋转部件，如轴、齿轮等，若存在质量分布不均或安装不当，会导致旋转时产生离心力，进而引发振

动。这种不平衡振动是机械传动中最常见的振动形式之一。

啮合误差，齿轮传动中，由于齿轮的加工误差、安装误差或磨损，会导致齿轮啮合时的冲击和振动。这种振动不仅影响齿轮的传动精度，还会加速齿轮的磨损。

轴承问题，轴承作为机械传动中的重要部件，其性能直接影响传动系统的稳定性。若轴承存在磨损、松动或润滑不良等问题，会引发轴承振动，进而影响整个传动系统的性能。

结构共振，机械传动系统的结构在特定频率下会发生共振，导致振幅显著增大。这种共振现象不仅会影响设备的正常运行，还可能对设备造成损坏。

（二）噪声的产生机理

机械噪声，机械噪声主要由机械部件之间的摩擦、撞击和振动产生。在机械传动中，齿轮、轴承、轴等部件的摩擦和撞击会产生噪声，同时振动也会通过空气传播形成噪声。

流体噪声，在液压传动中，液压泵、阀等液压元件在工作过程中会产生流体噪声。这种噪声主要由流体流动时的湍流、涡流和喷射等现象引起。

电磁噪声，电磁噪声主要由电动机、变压器等电磁设备在工作过程中产生的磁场和电场变化引起。这种噪声通常表现为低频嗡嗡声或高频啸叫声。

二、机械传动中振动与噪声的控制技术

针对机械传动中的振动与噪声问题，国内外学者和工程师们提出了多种有效的控制技术。这些技术涵盖了优化设计、材料选择、制造工艺改进、润滑与冷却以及主动与被动控制等多个方面。

（一）优化设计

结构优化设计，通过优化机械传动系统的结构，可以降低振动和噪声的产生。例如，采用对称结构、增加支撑点、优化齿轮参数等措施，可以减少不平衡和啮合误差引起的振动。同时，通过合理设计传动系统的固有频率，可以避免共振现象的发生。

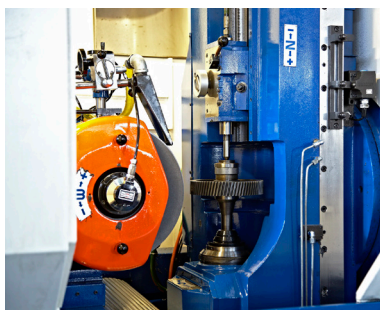
动态性能分析，利用有限元分析、模态分析等动态性能分析方法，可以对机械传动系统进行建模和仿真，预测系统的振动和噪声特性。通过调整系统的结构参数和边界条件，可以优化系统的动态性能，降低振动和噪声水平。

（二）材料选择

高阻尼材料，选择具有高阻尼性能的材料作为机械传动部件的制造材料，可以有效地吸收和耗散振动能量，降低系统的振动水平。常见的高阻尼材料包括橡胶、聚氨酯、阻尼合金等。

轻质高强度材料，采用轻质高强度材料可以降低机械传动系统的质量，从而降低系统的固有频率和振动响应。同时，轻质材料还可以减少噪声的传播和反射，降低噪声水平。常见的轻质高强度材料包括铝合金、钛合金、复合材料等。

耐磨材料，选择耐磨性能好的材料作为机械传动部件的表面涂层或摩擦副材料，可以减少摩擦和磨损，降低噪声的产生。常见的耐磨材料包括碳化硅、氮化硅、陶瓷等。



> 图1 砂轮蜗杆磨齿机

（三）制造工艺改进

精密加工技术，采用精密加工技术可以提高机械传动部件的加工精度和表面质量，从而减少制造误差和装配误差对传动性能的影响。常见的精密加工技术包括磨削、研磨、珩磨等。

热处理技术，热处理技术可以改变材料的组织和性能，提高

机械传动部件的硬度和耐磨性。通过合理的热处理工艺，可以延长部件的使用寿命，减少因磨损而产生的噪声。

装配工艺优化，优化机械传动部件的装配工艺，确保部件之间的正确配合和紧密连接，可以降低装配误差对传动性能的影响。例如，采用预紧力控制、同轴度调整等措施，可以提高传动系统的稳定性和精度。^[2]

（四）润滑与冷却

选择合适的润滑剂，润滑剂在机械传动中起着减小摩擦、降低磨损和冷却部件的作用。选择合适的润滑剂可以降低机械传动中的振动和噪声水平。例如，对于齿轮传动，可以选择具有极压抗磨性能的齿轮油；对于轴承传动，可以选择具有抗磨和防锈性能的润滑脂。

优化润滑方式，优化润滑方式可以提高润滑效果，降低机械传动中的振动和噪声水平。例如，采用飞溅润滑或压力润滑方式，可以确保润滑剂均匀地分布在传动部件之间；采用油雾润滑方式，可以减少润滑剂对环境的污染。^[3]

加强冷却措施，对于高温工作环境下的机械传动系统，需要加强冷却措施以降低部件的温度。通过合理的冷却方式（如风冷、水冷等），可以减少因热膨胀和变形而引起的振动和噪声。

（五）主动与被动控制技术

主动控制技术。主动控制技术通过传感器实时监测机械传动系统的振动和噪声信号，并根据控制算法生成控制指令，通过执行器对系统进行实时调整和控制。这种技术可以实现对机械传动系统的精确控制，降低振动和噪声水平。常见的主动控制技术包括振动主动控制、噪声主动消声等。

振动主动控制，通过传感器监测机械传动系统的振动信号，利用控制算法计算出控制力或控制力矩，通过执行器施加到系统上，以抑制或消除振动。这种技术可以实现对振动信号的实时跟踪和补偿，具有高效、灵活和可控性好的优点。

噪声主动消声，通过噪声传感器监测环境中的噪声信号，并利用主动噪声控制算法生成与噪声信号相位相反、振幅相等的控制信号。将控制信号通过扬声器播放，与噪声信号相互抵消，从而降低噪声水平。这种技术可以针对特定频率的噪声进行消声处理，适用于需要精确控制噪声的应用场景。

被动控制技术。被动控制技术主要通过在机械传动系统中添加隔振器、减振器、阻尼器等被动元件来降低振动和噪声水平。这些被动元件可以吸收、耗散或隔离振动和噪声能量，从而实现对机械传动系统的控制。^[4]

隔振与减振，通过在机械传动系统与基础之间设置隔振器或减振器，可以隔离或吸收振动能量，降低振动对周围环境和设备的影响。常见的隔振器包括橡胶隔振器、弹簧隔振器等，它们能够根据需要提供不同的刚度和阻尼性能。

阻尼处理，在机械传动部件的表面或内部添加阻尼材料，如阻尼涂层、阻尼橡胶等，可以提高部件的阻尼性能。阻尼材料能够吸收和耗散振动能量，从而降低系统的振动水平。同时，阻尼处理还可以减少噪声的传播和反射，降低噪声水平。

三、机械传动中振动与噪声控制技术的进展与挑战

随着科技的进步和制造业的发展，机械传动中的振动与噪声

控制技术取得了显著的进展。然而，仍面临一些挑战和问题需要解决。

（一）技术进展

智能控制技术。智能控制技术的发展为机械传动中的振动与噪声控制提供了新的手段。通过引入人工智能、机器学习等先进技术，可以实现对机械传动系统的智能监测和控制。例如，利用神经网络算法对振动和噪声信号进行识别和分析，可以实现对故障的预测和诊断；利用模糊控制算法对系统进行实时调整和控制，可以实现更加精确和高效的振动与噪声控制。

新型材料的应用。新型材料的出现为机械传动中的振动与噪声控制提供了新的选择。例如，纳米材料、智能材料等具有优异的力学性能和阻尼性能，可以有效地降低机械传动中的振动和噪声水平。同时，这些新型材料还可以实现自适应调节和智能控制等功能，为机械传动系统的优化设计和控制提供了新的思路。

多学科交叉融合。机械传动中的振动与噪声控制问题涉及多个学科领域的知识和技术。近年来，随着多学科交叉融合的发展趋势，越来越多的学者和工程师开始从力学、声学、材料科学、控制理论等多个角度综合研究机械传动中的振动与噪声控制问题。这种跨学科的研究方法有助于发现新的控制策略和手段，提高机械传动系统的性能和可靠性。^[5]

（二）面临挑战

复杂性与多样性。机械传动系统具有复杂性和多样性的特点，不同传动形式和工况下的振动与噪声问题各不相同。因此，如何针对不同类型的机械传动系统制定有效的控制策略，是当前面临的重要挑战之一。

实时监测与控制难度。在机械传动过程中，振动与噪声信号往往具有时变性和非线性等特点，难以实现实时监测和精确控制。此外，由于传动系统的复杂性和干扰因素的存在，控制算法的稳定性和鲁棒性也面临挑战。

成本控制与可持续性。在实际应用中，振动与噪声控制技术的成本往往较高，且可能对环境产生一定的影响。如何在保证控制效果的同时降低成本、实现可持续发展，是当前需要解决的问题之一。

四、机械传动中振动与噪声控制技术的未来发展方向

针对当前面临的挑战和问题，机械传动中振动与噪声控制技术的未来发展方向将主要围绕以下几个方面展开：

（一）高精度实时监测技术

随着传感器技术和信号处理技术的不断发展，高精度实时监测

技术将成为机械传动中振动与噪声控制的重要手段。通过引入高精度传感器和先进的信号处理算法，可以实现对机械传动系统振动和噪声信号的实时监测和分析，为控制策略的制定提供有力支持。

（二）智能自适应控制技术

智能自适应控制技术将根据机械传动系统的实时状态和需求，自动调整控制策略和参数，实现对振动和噪声的精确控制。这种技术将结合人工智能、机器学习等先进技术，提高控制算法的稳定性和鲁棒性，降低控制成本 and 环境影响。

（三）新型功能材料的应用

新型功能材料如纳米材料、智能材料等具有优异的力学性能和阻尼性能，将为机械传动中的振动与噪声控制提供新的选择。通过研究和开发具有自适应调节和智能控制功能的新型材料，可以进一步提高机械传动系统的性能和可靠性。

（四）多学科交叉融合与协同创新

机械传动中的振动与噪声控制问题涉及多个学科领域的知识和技术。未来，将加强力学、声学、材料科学、控制理论等多学科之间的交叉融合与协同创新，共同推动机械传动中振动与噪声控制技术的发展和應用。

五、结束语

机械传动中的振动与噪声控制是一个复杂而重要的问题，涉及多个学科领域的知识和技术。通过深入研究机械传动系统的振动与噪声产生机理，并采取有效的控制技术，可以降低系统的振动和噪声水平，提高设备的稳定性和可靠性。本文综述了机械传动中振动与噪声控制技术的最新进展和未来发展方向，并探讨了优化设计、材料选择、制造工艺改进、润滑与冷却以及主动与被动控制等多种技术手段的应用。这些技术手段为机械传动中的振动与噪声控制提供了有力的支持，有助于推动相关领域的快速发展。然而，随着科技的进步和制造业的发展，机械传动中的振动与噪声控制问题仍面临诸多挑战和问题需要解决。因此，我们需要继续关注这一领域的研究进展和技术创新，不断探索新的控制策略和手段，为机械传动系统的优化设计和控制提供更加全面和有效的支持。同时，我们也需要加强跨学科合作，整合力学、声学、材料科学、控制理论、信息技术等多个领域的知识和技术，共同攻克机械传动中振动与噪声控制的难题。通过多学科交叉融合，我们可以更深入地理解机械传动系统的动态行为和振动噪声产生机制，从而提出更加精准和高效的控制策略。

参考文献

- [1] 张英华. 液压系统振动与噪声的原因分析 [J]. 才智, 2009(9): 1.
- [2] 刘劲涛. 反共振振动机械的关键技术研究 [D]. 东北大学, 2011.
- [3] 卓兴成. 动力机械传动装置振动信号分析与诊断技术研究 [D]. 南京理工大学, 2018.
- [4] 李俊华. 工程机械齿轮传动噪声的产生及其控制 [J]. 科学技术与工程, 2006, 6(18): 3.
- [5] 钟延涛. 重型齿轮传动轮体振动与减振技术研究 [D]. 哈尔滨工业大学, 2012.

三维扫描技术在复杂曲面机械零件测量中的应用

马晓晨

上海科世达 - 华阳汽车电器有限公司, 上海 201814

摘要： 本文深入介绍了三维扫描技术的原理和优势，通过数据采集、点云预处理、曲面重建和比对检测等步骤，三维扫描技术能够快速获取零件表面的几何数据，生成高精度的三维模型。本文结合三维扫描技术在复杂曲面机械零件测量中的应用案例，指出三维扫描技术不仅提高了测量效率和精度，还能显著降低了生产成本，为复杂曲面零件的制造提供了有力支持。随着技术的不断发展，三维扫描技术将在更多领域得到广泛应用，推动制造业向高精度、高效率、智能化方向发展。

关键词： 三维扫描技术；复杂曲面机械零件；测量方法；案例分析

The Application of 3D Scanning Technology in the Measurement of Complex Curved Surface Mechanical Parts

Ma Xiaochen

Shanghai Koshida-Huayang Auto Electric Appliance Co., LTD. Shanghai 201814

Abstract： This paper thoroughly explains the principles and advantages of 3D scanning technology. By data collection, point cloud preprocessing, surface reconstruction, and comparison detection, it rapidly captures part surface geometric data and generates high – precision 3D models. Combined with application cases in complex curved mechanical part measurement, this technology not only boosts measurement efficiency and accuracy but also significantly cuts production costs, strongly supporting complex curved part manufacturing. As technology advances, 3D scanning technology will be applied in more fields, propelling the manufacturing industry towards higher precision, efficiency, and intelligence.

Keywords： 3D scanning technology; complex curved mechanical parts; measurement method; case analysis

引言

机械零件测量是制造业中的不可或缺的一个环节，测量的精度直接影响产品的质量、性能和可靠性。随着现代工业对零件精度要求的不断提高，传统的测量方法已逐渐暴露出其局限性。复杂曲面零件，如汽车车身曲面、模具型腔、航空发动机叶片等，具有形状不规则、曲率变化大、表面细节丰富等特点，传统的接触式测量方法不仅效率低下，还难以捕捉曲面的细微特征，甚至可能因接触力导致零件表面损伤。三维扫描技术凭借其高精度、高效率、全面性等优势，正逐渐成为复杂曲面零件测量的重要工具。通过结构光投影、激光测距等技术，三维扫描能够快速获取零件表面的几何数据，生成高精度的三维模型，为复杂曲面的检测、逆向工程、质量控制等提供了强有力的支持^[1]。随着智能制造和工业4.0的推进，三维扫描技术将在复杂曲面零件的测量中发挥更加重要的作用。

一、三维扫描技术的基本原理和优势分析

（一）三维技术的定义和基本原理

三维扫描技术借助光学传感装置与激光测距系统，采用非接触式测量手段捕获物体表面几何信息。其核心技术流程包含多视点云对齐、三角剖分算法及NURBS曲面重构等环节，通过点云配准将离散坐标数据转化为拓扑结构完整地数字化模型。物体表面的空间坐标数据经由扫描设备系统采集后，基于光栅投影原理进行相位解算，并应用迭代最近点算法完成多视角数据融合。值

得关注地是，该技术体系在文化遗产数字化保护领域展现出独特优势，其非破坏性特征使其在文物三维建档、古迹修复方案模拟等方面具有不可替代性^[2]。在工程实践层面，该技术已渗透至逆向设计开发、精密制造工艺优化、医学假体定制等多个交叉学科领域，特别是在市政设施三维可视化方面，通过点云与BIM技术的集成应用显著提升了城市管理地智能化水平。

三维扫描技术的达成依托于多元物理原理与技术手段。其一，结构光投影技术借助投射特定的光纹或编码结构光至目标物体表面，凭借相机或传感器捕捉反射光图案。经由分析光图案的

形变，能够推算出物体表面各点地三维坐标。该技术具备高精度、高速度的特性，契合复杂曲面的测量需求。其二，激光测距技术运用激光束对目标物体予以扫描，通过测定激光束从发射至反射回传感器的时间间隔，抑或通过三角测量法算出激光束地反射角度，进而明确物体表面各点地距离。此技术拥有高精度与快速扫描的长处，适用于大范围、高精度的测量任务。相位测量技术基于光的干涉原理，通过对比被测物体表面与参考平面之间地相位差，推导出物体表面地三维形状信息。该技术能够达成亚微米级别地测量精度，适用于高精度要求地复杂曲面测量。摄影测量技术通过从多个角度拍摄目标物体地图像，利用图像匹配和几何计算，构建出物体的三维模型。此技术适用于大尺寸物体的测量，且具有非接触、高效率地特点。

（二）三维扫描技术的优势分析

首先是非接触性和全面性。三维扫描技术可以避免直接接触索要测试的零部件而获得该物体表面的几何数据和内部结构信息，这一定程度上可以避免对物体产生影响，特别是当复杂曲面机械零件比较容易变形或异常珍贵。以车身曲面为例，三维扫描技术能够获得其表面的几乎数据和内部的结构信息，在此基础上获得全面的三维模型，从而支持故障诊断、质量控制或者逆向工程。

其次是高精度和高效率的优势。测量的核心要求之一就是准确。三维扫描技术能够利用先进的光学传感器和数据算法，准确的捕捉零部件的表面细节，测量误差控制在亚毫米级别，满足高精度的复杂曲面零件测量的严苛要求。与传统的测量方法比较，三维扫描技术的高效率也是非常显著的，哪怕对于复杂曲面机械零件，很短的时间内就能获得表面形状和内部结构完整的三维模型，大大的提高测量效率。

再次是数据可视化与后处理的优势。生成的三维模型数据便于可视化展示和后续处理。用户可直观查看、旋转和缩放模型，深入了解零件形状和细节，并进行模型比较、尺寸和形状特征分析、曲线或曲面拟合等操作，提升质量控制、产品设计和制造过程的效率和质量。

最后要强调的是三维扫描技术非常适用于复杂曲面测量。通过结构光投影、激光测距等技术，快速获取复杂曲面的几何数据，生成高精度三维模型，支持航空航天、汽车制造、模具设计等领域对复杂曲面零件的测量需求。

二、三维扫描技术在复杂曲面机械零件测量中的应用

利用所构建的基于三维扫描的复杂曲面测量系统，进行复杂曲面机械零件的数据采集、点云处理与比对检测，完成复杂曲面的测量^[3]。

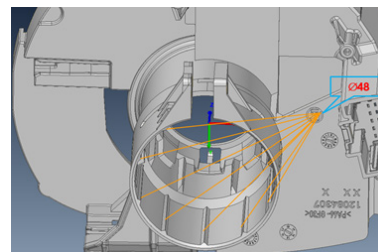
（一）数据采集

数据采集是三维扫描技术的关键步骤，其质量直接影响后续处理和分析的准确性。在复杂曲面机械零件的测量中，数据采集的流程和方法需要特别注意，以确保获取的数据既全面又精确。在三维扫描技术中，常用的扫描设备包括结构光扫描仪、激光扫描仪和摄影测量系统。采集数据通常首先要选择合适的扫描设备，根据零件的尺寸、材质、表面特性以及所需的测量精度，选择合适的扫描设备。其次是设置扫描参数，根据零件的尺寸和细节要

求，设置扫描分辨率和扫描速度。扫描分辨率决定了点云的密度，通常根据零件的尺寸和细节要求选择合适的分辨率。然后控制扫描环境，在稳定的环境中进行扫描，避免外界干扰。环境光、温度、湿度等都会影响扫描结果，需要在扫描前进行控制。最后就是执行扫描，从多个角度进行扫描，确保全面覆盖零件的各个表面。特别是复杂曲面零件，能需要从多个角度进行扫描，避免遮挡和遗漏。

（二）点云预处理

众多的点云数据之中，存有一些诸如杂点、离散点以及噪声点等偏离模型地无效之点。故而，需借助第三方软件来针对点云数据予以预处理，以为曲线拟合、曲面构建等逆向建模进程做好筹备。点云预处理属于三维扫描数据处理地关键环节，其宗旨在于清除噪声、填补缺失数据、优化数据架构，给后续的曲面重建与比对检测提供高品质的数据基石。就复杂曲面地扫描而言，鉴于零件表面地不规则、相互遮挡、细小孔洞等要素，极有可能存在一些难以测量地点云。当扫描获取一组点云数据，在展开逆向还原时会由于点云的缺失，致使还原地曲面出现漏洞，这就需要缺失的点云进行修补。笔者于 KOSTAL 北美 Lucid SCCM 转向柱壳体基准直径测量项目里，遭遇了一个特殊地直径特征，即由数个尖角筋条构成的最大内切圆，三坐标和投影仪皆无法测量。通过 3D 扫描获取零件 STL 数据，并最终凭借 Polyworks 三维测量软件展开特殊方法计算，得到基准圆的直径。于点云预处理进程中，恰是利用 Polyworks 软件地拟合特征功能，顺利化解了传统测量方式无法满足需求的难题，保证了测量任务地顺利施行。



> 图1 北美 Lucid SCCM 转向柱壳体

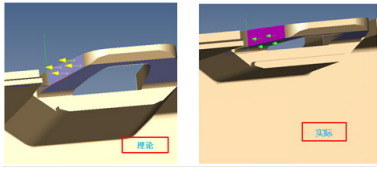
（三）曲面重建

曲面重建是将离散的点云数据转化为连续的、结构化的三维模型。这一过程不仅需要高精度的算法支持，还需要根据具体的工程需求进行优化和调整。在复杂曲面机械零件的测量中，曲面重构是需要不断分析面的光顺性，不断修正拟合参数。更具最小二乘法公式，拟合都是通过点进行拟合计算，所以曲面重构的方式有两种，一种是通过提取特征点进行拟合光顺曲线再拟合出参数面，这种重建的点驱动线带动曲面的变化，其设计逻辑性强，后期的修型方便；还有一种是直接点云数据中选择点进行拟合出曲面，这种方式的曲面重构效率较高，但少了特征线驱动，这样会造成后期修型困难^[4]。通过曲面重建，成功生成了高精度的三维模型，为后续的比对检测和分析提供了准确的数据基础。该方法不仅提高了测量效率，还确保了测量结果的准确性和可靠性。

（四）比对检测

复杂曲面机械构件的三维形貌检测中，模型比对技术发挥着关键作用。该技术通过点云配准方法实现扫描数据与理论模型的差异分析，其核心在于运用微分几何原理构建空间映射关系。工业检测领域普遍采用 ICP 迭代算法结合最小二乘拟合地复合方案，通过多轮刚体变换实现最优匹配，最终生成三维形貌误差云

图以量化制造偏差。在奥迪 DZM 壳体模具验证项目中，针对测量系统频繁出现的测针失位问题，工程团队采用增设基准定位点的策略。



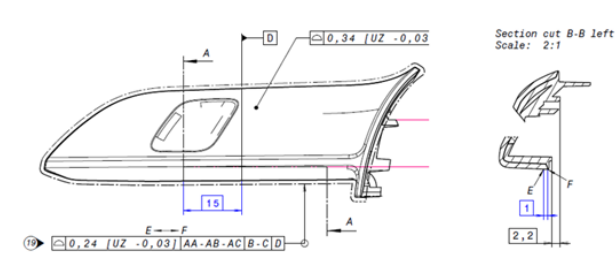
> 图2 奥迪 DZM 壳体模具验证项目比对检测

通过构建局部坐标系补偿方案，将形变补偿精度提升至 $\pm 0.03\text{mm}$ 级别，在确保测量安全性的同时使数据采集效率提升 42%。这种改进方案不仅优化了传统特征匹配法的鲁棒性，更为复杂曲面的在线检测提供了新的技术路径。

三、案例分析

（一）案例背景

戴姆勒 MRA2 LSF SWS 项目中的按键开关塑料件的特殊轮廓度测量是一个关键的技术问题。该零件具有复杂的曲面特征，某些区域存在遮挡，导致测量数据不完整，另外零件的精度要求高，需要高精度的测量方法。为了确保测量质量，笔者所在团队采用了三维扫描技术进行测量。



> 图3 戴姆勒 MRA2 LSF SWS 项目中的按键开关塑料件

（二）实施步骤

首先采用结构光扫描仪对零件进行扫描，获取其点云数据。扫描过程中，确保扫描设备的精度和稳定性，避免外界干扰。然后点云预处理，使用 Polyworks 软件对点云数据进行预处理，去除噪声点和填补缺失数据。通过泊松重建方法，填补扫描数据

中的缺失区域，确保数据的完整性。接着进行曲面重建，使用 NURBS 拟合方法对点云数据进行曲面重建，生成高精度的三维模型。通过调整拟合参数，优化曲面模型的精度和光滑度。最后比对检测，将重建的曲面模型与设计模型进行比对，计算出误差分布。通过 ICP 算法和最小二乘法，确保扫描数据与设计模型的坐标系一致。生成详细的检测报告，包括误差统计、图表和文字说明。

（三）取得成效

依托三维扫描系统的引入，戴姆勒 MRA2 LSF SWS 项目成功攻克了按键开关塑料件特殊轮廓度的检测瓶颈。检测精度方面，通过多尺度配准算法地优化实施，仪器测得数据波动幅度被严格控制，在 $\pm 0.0015\text{mm}$ 区间内，这一技术突破使得关键尺寸的复现性误差较传统方法降低约 65%。作业效率维度，基于非接触式扫描路径地智能规划，单件产品的全尺寸检测周期从传统方法的 42 分钟缩减至 7 分钟，效率提升幅度达 83%。数据完备性保障层面，依托逆向工程软件平台，构建了包含噪声滤波、特征提取、拓扑优化的点云数据预处理流程，经曲面重建后的三维模型与实物样本本地形态吻合度达到 99.2%，为后续工艺验证建立了可靠的数字孪生基础。

四、结论

复杂曲面机械零件的测量在制造业中的重要性不言而喻，特别是笔者从从事的汽车零部件测量中深有体会，测量的精度直接影响到汽车的整体性能和安全性。相较于传统的测量方式，三维扫描技术在提高测量精度、效率和可靠性等方面有显著优势。特别是精度方面，三维扫描技术通过高精度的点云数据采集、有效的点云预处理、精确的曲面重建和准确的比对检测，为复杂曲面零件的测量提供了一种高效、可靠的解决方案。在实际应用中，该技术不仅解决了传统测量方法难以克服的难题，还显著提升了测量的精度和效率，为制造业的智能化发展提供了有力支持^[5]。未来，随着技术的不断进步，三维扫描技术将在更多领域得到广泛应用，推动制造业向更高精度、更高效率的方向发展。

参考文献

- [1]程漠方. 基于激光扫描的三维复杂曲面测量技术 [D]. 长春理工大学, 2015.
- [2]刘勇, 郭晨, 赖啸, 等. 3D 逆向技术在复杂曲面产品反求设计中的应用 [J]. 模具制造, 2016, 16(12):4.
- [3]闫玉蕾. 基于三维扫描的复杂曲面在机测量系统的研究 [J]. 机械工程师, 2017(7):105-107.
- [4]肖宏涛, 杨振国, 刘璇. 基于三维激光扫描与复杂曲面重构技术赋能产品开发创新设计 [J]. 机电工程技术, 2022(004):051.
- [5]陈末峰. 基于三维扫描技术的高精度数控加工工艺研究 [J]. 黑龙江科学, 2024(9):78-81.

大型机械设备的智能故障诊断与预测性维护技术

赵希富，靳育树，石来发，丁瑞军，胡墉熠
石河子工程职业技术学院，新疆 石河子 832000

摘要： 伴随着工业4.0时代的来临，大型机器装备的重要性日益凸显。由于其复杂度高、价格昂贵，因此，一旦发生失效，将会造成巨大的经济损失与安全隐患。常规的设备故障诊断与维修方法主要依靠常规的设备维修或维修，效率低下，费用高，容易出现漏检现象。通过将物联网、大数据分析、人工智能等前沿技术相融合，可以实时监测装备的运行状况、早期故障预警、优化维修策略，提升装备的可靠性和生产率。为了提高装备的可靠性，减少维修费用，采用智能化的故障诊断和预测维修方法是十分必要的。本课题以大型机械装备为研究对象，对其进行智能化故障诊断与预测维修，并结合实例进行实证研究。

关键词： 大型机械设备；智能故障诊断；预测性维护；数据分析

Intelligent Fault Diagnosis and Predictive Maintenance Technology for Large Mechanical Equipment

Zhao Xifu, Jin Yushu, Shi Laifa, Ding Ruijun, Hu Yongyi
Shihezi Engineering Technical College, Shihezi, Xinjiang 832000

Abstract: With the advent of Industry 4.0 era, the importance of large machinery and equipment has become increasingly prominent. Because of its high complexity and high price, once failure occurs, it will cause huge economic losses and security risks. Conventional equipment fault diagnosis and maintenance methods mainly rely on conventional equipment maintenance or maintenance, low efficiency, high cost, easy to appear missing detection phenomenon. Through the integration of cutting-edge technologies such as the Internet of Things, big data analysis, and artificial intelligence, it is possible to monitor the operating status of equipment in real time, early fault warning, optimize maintenance strategies, and improve the reliability and productivity of equipment. In order to improve the reliability of equipment and reduce maintenance costs, it is necessary to adopt intelligent fault diagnosis and predictive maintenance methods. This topic takes large machinery and equipment as the research object, carries on intelligent fault diagnosis and predictive maintenance, and carries on empirical research with examples.

Keywords: large machinery and equipment; intelligent fault diagnosis; predictive maintenance; data analysis

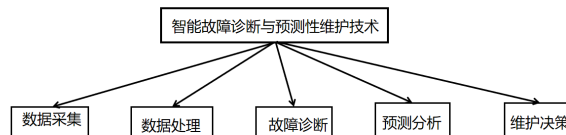
引言

大型机械设备，如重型机床、发电设备、矿山机械等，是现代工业生产的核心。其工作状况的好坏，直接关系到企业的生产效率及产品质量。由于其设备复杂、工作环境多变，很难避免发生故障。传统的故障诊断与维修手段主要依靠人工经验与周期性维修，效率低，且无法对其进行精确的预测与防范。为此，提出了一种智能化的故障诊断和预测维护方法^[1-3]。

一、技术框架

智能故障诊断与预测性维护技术的核心框架包括数据采集、数据处理、故障诊断、预测分析和维护决策五个主要环节（如图1所示）。

数据收集：该部分采用先进的传感技术及物联网设备，可实时、准确地获取各种工业装备的操作信息。振动频率、温度、压力等参数包含了装备的振动频率、温度、压力等重要参数，是掌



> 图1 智能故障诊断与预测性维护技术框架

握装备健康状况、及时检测故障的重要依据。传感器及物联网终

端的高精度、实时性，保证了数据获取的准确、及时，为后续分析打下了良好的基础。

资料整理：包含资料清理，剔除重复的，错误的，不相干的资料，以保证资料的正确与一致；资料去噪，采用过滤等方法降低资料中的噪音，改善资料的信噪比；神经网络的故障诊断方法。进一步提高了数据的质量，为下一步的研究提供了更可靠、更有效的数据支撑。

以机器学习，深度学习等先进算法为基础，对装备数据进行深度挖掘，是故障诊断的核心。该方法可以对数据中存在的异常模式进行自动辨识，并将其与已有的失效模式相匹配，进而精确地判断出设备的异常状况及故障种类。在此基础上，提出了一种基于神经网络的故障诊断新方法。

预测分析部分：通过对生产过程中的历史与实际资料进行全面的分析，对生产过程中所蕴含的信息进行深入的挖掘。基于神经网络的多目标优化设计方法，实现对装备剩余寿命、失效概率和失效时间的精确预测。该预报功能可以为维修人员提前进行维修工作，使维修人员可以在事故发生之前就进行防范，以防止或降低因事故造成的损失^[4]。

维护决策：维修决策阶段的首要工作就是在维修决策过程中，通过对维修方案的分析，确定最佳维修方案。这一步要从设备的实际情况，维修费用，生产要求等方面进行综合分析，确定一套符合成本效益的维修计划。提出一种新的维修方法，并对其进行了改进。多源异构信息融合的智能制造系统，通过对多源异构数据的分析的新方法。

二、关键技术

（一）数据采集与传输

传感器技术：高精度传感器是现代工业和智能化监控体系中必不可少的一环。其中，振动、温度等传感器在各种机器设备中得到了广泛的应用。振动传感器是一种能准确获取装备运行过程中振动幅值、频率、相位等重要物理量，对装备运行状态进行准确评价和预警具有重要意义。采用温度传感器对其工作温度进行实时监控，以保证其在合适的工作环境中工作，防止因过热、过冷而造成的性能退化和损伤。高精度传感器的使用为设备监控提供了有力的保障。

物联网（IoT）：随着物联网技术的发展，设备监控向智能化、高效率方向发展。各种类型的传感器通过无线网络将所收集到的数据实时地上传到云服务器或者边缘计算设备上。云计算具有高效的数据处理与存储功能，可实现对海量数据的深层次分析与长时存储，为故障诊断、预测分析及维修决策等提供强有力的支撑。而边缘计算作为数据源，可以快速地对数据进行处理与分析，降低数据传输时延，提升系统的实时性。随着物联网技术的发展，不仅可以实现数据的实时传递与存储，而且可以更大范围地利用和共享，给设备的智能管理与维护提供了空前的方便^[5]。

（二）数据处理与特征提取

数据清洗是一项重要的工作，它的主要目标就是剔除噪音和离群点，以提高数据质量。噪声一般是由于传感器误差、环境干扰等引起的随机误差，而离群点是由设备故障、人为失误或数据获取等引起的极值数据。通过对数据进行清理，以减少干扰，从而保证数据的准确、可靠。

特征抽取其目的在于从复杂的数据中提取出与设备运行状况

紧密相关的特征。其中，振动信号的频谱特性（如频谱分布、主频等）与时间特性（均值、方差、峰值等）的时间特性是一个重要的研究课题。频谱特性可以反映出装备的振动特性，对诊断装备故障的种类、程度有很大的帮助；同时，时域特征量可以反映设备在时域内的振动信号的统计性质，对评价装备的工作状况具有重要的指导意义。本项目提出了一种新的研究思路，即将高维数据转换成低维向量，并对其进行更准确、更高效的描述。

降维是基于特征抽取对数据进行降维处理的一种方法。主元分析（PCA）是目前应用最广泛的方法之一。主成分分析法是对原数据进行线性转换，使其在新坐标系（也就是主分量）上的变化达到最大，这样才能最大程度地保持数据的主要信息。该方法首先选取最重要的主元作为新的特征矢量，从而有效地缩减了数据维数，并降低了对内存的要求。高维数据的高维数据降维方法，它可以有效地解决高维数据的学习问题，并有效地改善了算法的泛化性能^[6]。

（三）故障诊断算法

机器学习是一种极具应用前景的设备状态监控和故障诊断方法。利用 SVM、随机森林等方法，建立了一种基于机器学习的设备状态识别方法。支撑向量机是一种能从高维空间中找到最佳超平面的方法，它能有效地识别各种类型的数据，尤其适合于小样本、高维数据的情形。而随机森林技术通过构造多棵树，融合多棵树的输出，可以处理复杂的非线性关系，避免过度学习，从而提升分类精度和稳健性。该方法的成功实施，实现了对设备运行状态的自动辨识与分类，极大地提高了系统的运行效率与精度^[7]。

深度学习是一种新兴的机器学习方法，其在复杂故障识别中的应用已经取得了长足的发展。卷积神经网络（CNN）、循环神经网络（RNN）在特征抽取、模式识别等方面都有很好的应用前景。卷积神经网络利用卷积层、池化层等结构对图像或信号进行局部特征的自动抽取，尤其是对含有空间结构的信息，比如振动频谱。然而，循环神经网络可以有效地处理时序数据的时序相关性，适合对时序数据进行演化分析。本项目拟采用深度学习方法，实现对复杂故障的准确、有效识别，为智能化装备故障诊断开辟新思路。

专家系统是领域知识与规则库相结合的辅助诊断方法。专家系统能够综合考虑多种因素和设备的历史数据，为故障诊断提供全面的分析和建议。通过与机器学习或深度学习模型的结合，可以进一步提升诊断的准确性和可靠性，为设备维护决策提供有力的支持。这些技术的综合运用，推动了设备状态监测与故障诊断领域的智能化发展。

（四）预测性分析

在装备维修管理中，对装备的剩余寿命进行精确预测，是进行装备维修规划、预防故障发生的基础。为此，本项目拟利用时间序列分析、回归模型和深度神经网络等多种方法进行研究。时间序列的装备故障诊断方法。基于回归分析，即通过对装备运行状态和运行状态进行建模，从而实现对装备使用寿命的预测。近年来，由于深度学习具有较强的非线性拟合特性，在剩余寿命预测方面表现出极大的潜力。利用长时记忆网络、卷积神经网络等深度神经网络，从设备数据中挖掘出深层特征，实现设备剩余寿命的精确预测。研究成果可为装备维修管理工作提供可靠的数据支撑，对制定预防维修与最优维修策略具有重要意义。

故障预测：故障预报是装备维修管理中的又一重要内容，其目的是通过对装备运行过程中的各种状态信息进行分析，及时地

识别出可能出现的故障征兆，并对其进行及时、准确的判断。在此基础上，提出了一种基于数据挖掘，机器学习，深度学习的方法来进行故障预测。通过对装备数据的预处理、特征提取以及模型训练等手段，构建装备的故障预报模型，实现对装备工作状态的实时监控，并对可能出现的故障进行预测。该预报结果可用于应急计划的制定，缩短停机时间，减少维修费用。对提高企业的经济效益具有重要意义^[8]。

（五）维护决策优化

维护策略优化：在装备维修管理过程中，为了保证装备的高效、稳定运行，需要对维修策略进行优化。为维修方案的制定提供了依据。预防维修战略是指在设备失效前，对其进行常规的检测与维修，以预防可能出现的问题。而条件维修是指依据设备的实际工作状况与预测结果，对维修的时机与内容进行灵活的调整，以保证当设备的性能恶化或濒临失效时能够及时介入。将两种维修策略有机地结合起来，通过对设备运行历史、实时监控等信息的分析，得出最佳维修方案，使设备的使用寿命最大化，降低非正常停机次数，提升装备的可靠性与生产率。

资源调度：为了减少维修费用，减少维修费用，提高维修效率，对提高维修效率具有重要意义。资源调配包括维修人员、备品备件、工装等多种资源的调配与协调。通过对设备进行合理的资源调配，保证了维修人员的调配、维修、维修等工作的正常进行。同时，对设备维修要求进行预测，并预先计划好维修时间，从而减少维修时间的浪费与不足，从而提高维修效率。同时，也可以考虑运用物联网、大数据分析等现代信息技术手段，对资源进行智能管理与最优调度，进而减少维修费用，提高企业的竞争能力。在保证设备维修正常运行的前提下，对企业进行科学的资源调配，取得最大的经济效益^[9]。

三、应用案例

（一）风力发电机组的智能维护

风力发电机组通常运行在恶劣环境中，传统维护方式成本高且效率低。通过部署智能故障诊断与预测性维护系统，可以实现对风机叶片、齿轮箱等关键部件的实时监控和故障预警。例如，利用振动传感器采集齿轮箱的运行数据，通过深度学习模型识别早期故障，并结合预测分析优化维护计划。如图2。

（二）工程机械的预测性维护

在工程机械领域，智能故障诊断与预测性维护技术可以显著提高设备的可靠性和使用寿命。例如，在挖掘机中部署温度、压力和振动传感器，实时监测液压系统和发动机的运行状态，通过机器学习算法预测潜在故障，并提前安排维护。



图2 风力发电机组的智能维护

四、技术优势与挑战

优势：

提高设备可靠性：通过实时监控和早期预警，减少突发故障的发生。

降低维护成本：优化维护策略，减少不必要的定期检修。

延长设备寿命：通过预测性维护，延缓设备老化，延长使用寿命。

提高生产效率：减少停机时间，提高设备的运行效率。

挑战：

数据质量：传感器数据的噪声和缺失可能影响诊断和预测的准确性。

算法复杂性：深度学习模型的训练和优化需要大量的计算资源。

领域知识融合：如何将领域知识与 AI 算法有效结合，仍是研究的难点^[10]。

五、未来发展趋势

边缘计算：将数据处理和分析任务下沉至边缘设备，减少数据传输延迟。

数字孪生：通过构建设备的数字孪生模型，实现更精准的故障诊断和预测。

自适应学习：开发自适应学习算法，使系统能够根据设备运行状态动态调整模型参数。

六、结论

大型机械设备的智能故障诊断与预测性维护技术是工业智能化的重要方向。通过结合物联网、大数据分析和人工智能技术，可以实现对设备运行状态的实时监控、故障的早期预警以及维护策略的优化，从而显著提高设备的可靠性和生产效率。未来，随着技术的不断进步，智能故障诊断与预测性维护将在更多领域得到广泛应用。

参考文献

- [1] 郝军, 吴伟, 杨杨. 改进 D-S 算法在船舶汽轮机故障诊断中的应用研究 [J]. 航海工程, 2007, (03): 49-51.
- [2] 张晓东. 基于信息融合的船舶机电设备故障诊断 [J]. 船舶工程 2007 (3): 44-46.
- [3] 张化勋. 一种机械系统振动故障检测方法 [J]. 长春大学学报 2008 (3): 43-45.
- [4] 于海岳. 港口大型装卸机械设备运行状态智能监测技术探讨 [J]. 现代工业经济和信息化, 2023, 13(04): 129-131.
- [5] 张寅, 李斌, 杨冬. 基于物联网技术的大型机械设备智能管理系统开发 [J]. 中国仪器仪表, 2023, (02): 53-58.
- [6] 彭文勇, 李娟娟, 郑梁, 等. 大型建筑施工起重机械设备智能管控系统应用研究 [J]. 山西建筑, 2023, 49(04): 183-186.
- [7] 程雪利, 刘刚. 大型机械设备分布式智能润滑控制系统研究 [J]. 河南工学院学报, 2021, 29(04): 1-4+9.
- [8] 王斌. 基于 WSNs 的大型机械设备远程监控系统设计 [J]. 机床与液压, 2021, 49(12): 87-92.
- [9] 林永森, 杨宁祥. 人工智能在大型桥门式起重机械运行监测中的应用 [J]. 特种设备安全技术, 2021, (02): 31-33.
- [10] 余智林. 大型机械设备振动系统故障诊断分析 [J]. 中国金属通报, 2019, (12): 68+70.

高速铁路连续梁悬臂灌注法安全施工控制

蒋嘉映¹, 陈广勋²

1. 四川川交路桥有限责任公司, 四川 广汉 618300

2. 汉巴南城际铁路有限责任公司, 四川 南充 637100

摘 要 : 高速铁路连续梁悬臂灌注法作为一种尖端的桥梁建设方法, 在诸如山谷、河流等大型桥梁的建造过程中得到了广泛的运用。这种方式在施工速度上表现出色, 对地形的适应性也很强, 但同时也面临着高空作业和设备复杂等安全问题。本文从挂篮施工、模板加固、混凝土浇筑、预应力张拉及压浆等关键环节入手, 详细探讨了高速铁路连续梁悬臂灌注法的安全施工控制要点, 旨在为施工人员提供参考, 确保施工安全, 提高施工质量, 促进高速铁路桥梁建设的顺利进行。

关 键 词 : 高速铁路; 连续梁; 悬臂灌注法; 安全施工; 挂篮; 预应力

The Continuous Beam Cantilever Casting Method for High-speed Railway Safety Construction Control

Jiang Jiayi¹, Chen Guangxun²

1. Sichuan Chuanjiao Road & Bridge Co., Ltd. Guanghan, Sichuan 618300

2. Hanbanan Intercity Railway Co., Ltd. Nanchong, Sichuan 637100

Abstract : The cantilever casting method for continuous beams in high-speed railways is an advanced bridge construction technology widely used in the construction of large-span across valleys, rivers, etc. This method has advantages such as fast construction speed and strong adaptability to terrain, but it also faces safety challenges such as highitude work and complex equipment. The aim of this paper is to provide construction personnel with a benchmark, guarantee safety, improve the quality of construction, and promote the smooth progress of high-speed railway bridge construction. It will delve into the key stages of hanging basket construction, formwork reinforcement, concrete pouring, prestressing and grouting, as well as the safety control points of the cantilever casting method for continuous beams in high-speed railways.

Keywords : high-speed railway; continuous beam; cantilever casting method; safe construction; cantilever; prestress

引言

随着我国高速铁路网络的快速发展, 桥梁作为连接不同地形的重要结构, 其施工技术的选择至关重要。连续梁悬臂灌注法因其独特的施工优势, 成为大跨度桥梁建设的首选方法之一。尽管如此, 建筑活动的安全性是绝对需要注意的。如果出现了任何的安全隐患, 那么这将导致项目进度的推迟、费用的提高, 甚至有可能危及到建筑工作者的生命。所以, 强化高速铁路连续梁悬臂灌注法的安全建设管理, 对于我们来说, 是非常关键的。

一、挂篮施工安全控制

挂篮是连续梁悬臂灌注法施工的核心设备, 其安全性直接关系到整个施工过程的安全。挂篮施工安全控制主要包括以下几个方面:

(一) 挂篮设计与制造

挂篮的设计应充分考虑施工荷载、结构强度、稳定性以及施

工操作的便捷性等因素。设计时应采用先进的设计理念和计算方法, 确保挂篮的结构合理、受力均匀。在挂篮制造过程中, 应严格控制制造精度和质量, 确保各部件的尺寸、形状和连接方式符合设计要求。同时, 应选择优质的材料, 提高挂篮的耐久性和可靠性。例如, 对于挂篮的主桁架、吊杆等关键部件, 应采用高强度钢材, 并进行严格的焊接质量控制, 确保焊缝的强度和稳定性^[1]。

作者简介:

蒋嘉映 (1999.10-), 女, 助理工程师, 本科, 西南交通大学土木专业毕业, 工程施工管理;

陈广勋 (1971.05-), 男, 高级工程师, 本科, 中南大学土木专业毕业, 长期从事工程建设管理、隧道及桥梁工程的施工及施工监理工作, 邮箱: cgx1314@126.com

（二）挂篮安装与验收

挂篮安装前，应对其进行全面的检查，包括焊接质量、螺栓连接、吊点设置等，确保挂篮完好无损。安装过程中，应严格按照设计图纸和施工方案进行操作，确保挂篮的定位准确、固定牢固。安装完成后，应组织相关人员进行验收，重点检查挂篮的承载能力、稳定性以及与墩身的连接情况等，确保挂篮满足施工要求。例如，对于挂篮的后锚系统，应进行详细的检查，确保后锚的锚固深度、锚固角度以及锚固力符合设计要求，防止挂篮在施工过程中发生滑移或倾覆。

（三）挂篮使用与维护

挂篮的运作需要定期的审核与保养，以便能够即刻察觉并解决可能出现的问题。检查内容包括挂篮的变形情况、连接件的松动情况、吊点的磨损情况等。对于发现的问题，应及时采取措施进行处理，如更换损坏的部件、重新紧固连接件等，确保挂篮的正常使用。同时，应加强对挂篮操作人员的培训，提高其安全意识和操作技能，确保挂篮的安全使用。例如，对于挂篮的行走系统，应定期检查其行走轨道、行走轮等部件，确保其运行平稳、无卡滞现象，并对操作人员进行模拟挂篮行走的培训，使其熟练掌握挂篮行走的操作要领和注意事项^[2]。

二、模板加固及钢筋绑扎安全控制

模板加固及钢筋绑扎是连续梁悬臂灌注法施工中的重要环节，其安全性直接关系到混凝土结构的质量和施工人员的安全^[3]。模板加固及钢筋绑扎安全控制主要包括以下几个方面：

（一）模板加固

模板的加固应根据施工荷载和结构特点进行设计，确保模板具有足够的强度和刚度。加固时应采用可靠的连接方式，如螺栓连接、焊接等，确保模板与挂篮、梁体等结构连接牢固。同时，应加强对模板的支撑，防止模板在浇筑混凝土过程中发生变形或倒塌。在模板加固过程中，还应注意模板的平整度和尺寸精度，确保混凝土结构的外观质量和尺寸符合设计要求。例如，对于箱梁的底模和侧模，应采用高强度的支撑体系进行加固，并在模板与梁体之间设置可靠的连接件，防止模板在浇筑混凝土时发生位移或变形。

（二）钢筋绑扎

在开始捆绑钢筋之前，必须对它的品质做出审核，这涵盖了钢筋的尺寸、类别、表面品质等方面，以便确保它满足设计与标准的需求。绑扎过程中，应严格按照设计图纸和施工方案进行操作，确保钢筋的间距、位置、弯曲形状等符合设计要求。此外，我们需要增强对于钢筋的稳定性，以避免其在施工混凝土的过程中出现偏移或者扭曲。一旦钢筋捆绑结束，就需要安排有关的专业人士来检查，以便 ACK 其品质是否达到建设标准。比如，针对箱梁的底部钢筋，我们需要使用捆绑和焊接的技术来加以稳固，同时，我们还需要在钢筋和模具之间安装防护垫片，以便保证防护层的厚度满足设计规格^[4]。

三、混凝土浇筑安全控制

混凝土浇筑是连续梁悬臂灌注法施工的关键环节，其安全性直接关系到混凝土结构的质量和施工人员的安全。混凝土浇筑安全控制主要包括以下几个方面^[5]：

（一）浇筑前的准备

浇筑前应应对挂篮、模板、钢筋等进行全面的检查，确保其符合施工要求。同时，应对混凝土的配合比、原材料质量等进行严格控制，确保混凝土的质量符合设计和规范要求。此外，还应制定详细的浇筑方案，明确浇筑的顺序、方法和注意事项等，为施工人员提供明确的指导。例如，在浇筑前应应对挂篮的后锚、主构架、吊带等关键部位进行详细的检查，确保其连接牢固、无损坏现象，并根据混凝土的配合比和施工环境，合理确定混凝土的坍落度和初凝时间，以满足浇筑施工的要求。

（二）浇筑过程中的控制

浇筑过程中应严格控制混凝土的浇筑速度和浇筑量，防止混凝土对模板和挂篮产生过大的冲击力，导致模板变形或挂篮失稳。此外，我们需要增强对混凝土的搅拌力，以保证其紧密程度和平衡性。在浇筑过程中，还应加强对施工人员的安全防护，如设置安全网、防护栏杆等，防止施工人员坠落或被混凝土砸伤。比如，当我们需要对箱梁的底部和顶部的混凝土进行浇筑时，我们需要使用等量的分级施工，每一级的施工厚度都要控制在30cm左右，同时，我们还需要安排专门的工作人员来进行搅拌，这样才能保证混凝土的紧凑与平衡。

（三）浇筑后的养护

在混凝土浇筑完毕后，应立即对其进行保养，确保其表面湿润，避免出现干缩裂缝。保养手段包括喷水保养、覆盖保养等，具体的操作步骤应依照建筑环境以及混凝土的属性来决定。此外，我们需要增强对于混凝土的温度管理，以避免出现温度裂痕。比如，在夏季的高温条件下，我们需要使用遮阳网来覆盖混凝土的表面，同时定时喷水降低温度，以维护混凝土表面的湿润状态。在冬季的寒冷气候中，我们需要使用保暖材料来覆盖混凝土的表面，同时实施加热方法，以维持混凝土的温度，避免其受到冻害。

四、预应力张拉及压浆安全控制

预应力张拉及压浆是连续梁悬臂灌注法施工中的重要环节，其安全性直接关系到预应力混凝土结构的质量和施工人员的安全。预应力张拉及压浆安全控制主要包括以下几个方面^[6]：

（一）张拉设备与操作

应当挑选出性能稳定、操作方便的张拉设备，并且要定时进行检测和保养，以保证设备的顺利运转。张拉操作人员应经过专业培训，掌握张拉设备的操作方法和注意事项，严格按照施工方案进行操作。在张拉过程中，应加强对张拉设备的监控，防止设备故障导致安全事故的发生。例如，对于张拉千斤顶，应定期进行校准和维护，确保其张拉力准确、稳定，并对操作人员进行张

拉设备的操作培训，使其熟练掌握张拉设备的操作要领和注意事项。

（二）张拉过程中的控制

张拉过程中应严格控制张拉力和张拉速度，防止张拉力过大或张拉速度过快导致预应力筋断裂或锚具损坏。同时，应加强对预应力筋的检查，确保其质量符合设计和规范要求。在张拉过程中，还应加强对施工人员的安全防护，如设置安全网、防护栏杆等，防止施工人员被预应力筋或锚具击伤。例如，在张拉过程中，应采用分级张拉的方法，先进行初张拉，再进行终张拉，并在每级张拉后进行锚具的检查和调整，确保预应力筋的张拉力和锚具的锚固力符合设计要求。

（三）压浆过程中的控制

压浆过程中应严格控制浆体的配合比和稠度，确保浆体的质量符合设计和规范要求。同时，应加强对压浆设备的检查和维护，确保设备的正常运行。在压浆过程中，应加强对施工人员的安全防护，如佩戴防护眼镜、手套等，防止浆体对施工人员造成伤害。例如，在压浆过程中，应采用连续压浆的方法，确保浆体的连续性和均匀性，并在出浆口设置塑料桶和海绵垫，及时收集浆体，防止浆体洒落至路面上，造成环境污染和安全隐患。

五、合拢阶段安全控制

合拢阶段是连续梁悬臂灌注法施工的最后阶段，其安全性直接关系到整个桥梁结构的质量和施工人员的安全。合拢阶段安全控制主要包括以下几个方面：

（一）合拢前的准备

合拢前应应对挂篮、模板、钢筋等进行全面的检查，确保其符合施工要求^[7]。此外，我们需要对接合部分的混凝土实施维护，以便使其强度满足规定的标准。此外，还应制定详细的合拢方案，明确合拢的顺序、方法和注意事项等，为施工人员提供明确的指导。例如，在合拢前应应对挂篮的定位和锚固系统进行详细的检查，确保其满足合拢施工的要求，并根据合拢段的长度和混凝土

土强度，合理确定合拢的时间和方法，以确保合拢施工的顺利进行。

（二）合拢过程中的控制

合拢过程中应严格控制合拢段的混凝土浇筑速度和浇筑量，防止混凝土对模板和挂篮产生过大的冲击力，导致模板变形或挂篮失稳。同时，应加强对合拢段的监测，如测量合拢段的标高、轴线偏差等，确保合拢段的施工质量符合设计要求。在合拢过程中，还应加强对施工人员的安全防护，如设置安全网、防护栏杆等，防止施工人员坠落或被混凝土砸伤。比如，当我们开始整合时，我们需要使用对称的施工技术，每一层的施工厚度都需要被限定在30cm之内，同时，我们还需要安排一个专门的工作人员来监督这个过程，以便确保整合部分的高度与轴向的误差都能满足设计的需求^[8]。

（三）合拢后的检查与验收

合拢完成后，应及时对合拢段进行检查和验收，重点检查合拢段的混凝土质量、预应力筋的张拉情况、锚具的锚固情况等，确保合拢段的施工质量符合设计和规范要求。同时，还应对整个桥梁结构进行检查，如测量桥梁的标高、轴线偏差、跨径等，确保桥梁结构的整体质量符合设计要求。例如，在合拢后应对合拢段的混凝土进行钻芯取样，检测其强度和密实度，并对预应力筋的张拉力和锚具的锚固力进行复测，确保其符合设计要求^[9]。

六、结论

高速铁路连续梁悬臂灌注法是一种先进的桥梁施工技术，其安全施工控制是确保施工质量和施工人员安全的重要保障。通过加强挂篮施工、模板加固、混凝土浇筑、预应力张拉及压浆等关键环节的安全控制，可以有效降低施工安全风险，提高施工质量，促进高速铁路桥梁建设的顺利进行。建筑工人需要持续增强安全观念和实践技巧，严格遵循建筑计划执行，以保障建筑的安全。此外，建筑公司需要增进对于工作人员的安全教导与训练，构筑完善的安全控制体系，以确保施工的安全性^[10]。

参考文献

- [1] 孙健家, 张修和, 王立广, 等. 青弋江大跨度四线高速铁路预应力混凝土连续梁施工关键技术研究 [Z]. 宁安铁路有限责任公司. 2016.
- [2] 徐韬. 高速铁路连续梁桥的施工技术及其质量控制研究 [J]. 工程机械与维修, 2024, (02): 200-202.
- [3] 段世强. 桥梁伸缩缝施工工艺的应用研究 [J]. 黑龙江交通科技, 2019, 42(08): 106-107. DOI: 10.16402/j.cnki.issn1008-3383.2019.08.056.
- [4] 黄玮. 路桥工程现场施工管理难点和应对策略 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2024, (21): 173-175. DOI: 10.19569/j.cnki.cn119313/tu.202421058.
- [5] 翟文静. 预应力钢-混凝土叠合梁的施工工艺及关键技术 [J]. 交通标准化, 2010, (01): 133-136.
- [6] 汪碧云, 杨君. 大体积混凝土温度控制措施在桥梁施工中的应用 [J]. 四川建材, 2017, 43(11): 25-26+30.
- [7] 陈光辉. 建筑主体结构工程施工核心技术 [J]. 工程建设与设计, 2023, (12): 203-205.
- [8] 袁凤袁凤. 水泥混凝土路面早期断板的预防措施 [J]. 新西部 (下半月), 2007, (04): 232+243.
- [9] 许三平. 京沪高速铁路特殊桥梁施工方法研究 [J]. 铁道标准设计, 2013, (06): 68-72.
- [10] 赵常煜. 京沪高速铁路大跨连续梁施工关键技术 [J]. 铁道建筑, 2012, (05): 20-22.

土地测绘技术在土地开发整理中运用

战晓烨

河北九华勘测测绘有限责任公司, 河北 保定 071051

摘 要： 随着计算机、多媒体、人工智能等现代科技的飞速发展, 传统的测量方法已经进入了数字化的过程。数字制图是一种把测量结果转换为数字要素、把测量对象和测量结果进行数字化的方法, 它对测量的操作方式和工作效率产生了巨大的影响。利用数字化测图方法, 可以有效地提升勘测资料的精度与安全度, 整体上提升工作效率, 减少造价, 提升国土资源利用与规划管理的效能, 适应国家经济的发展需求。

关 键 词： 土地; 测绘技术; 土地开发; 整理

Application of land Surveying And Mapping Technology in Land Development and Consolidation

Zhan Xiaoye

Hebei Jiuhua surveying and mapping Co., Ltd. Baoding , Hebei 071051

Abstract： With the rapid development of computer, multimedia, artificial intelligence and other modern technologies, the traditional measurement methods have entered the process of digitization. Digital mapping is a method of converting measurement results into digital elements and digitizing measurement objects and results. It has a great impact on the operation mode and work efficiency of measurement. The use of digital mapping method can effectively improve the accuracy and security of survey data, improve work efficiency as a whole, reduce cost, improve the efficiency of land and resources utilization and planning management, and meet the needs of national economic development.

Keywords： land; surveying and mapping technology; land development; arrange

一、土地测绘技术、土地开发整理的相关概述

(一) 土地测绘技术的定义

土地测绘是通过对土地空间特征的测量和记录, 获取土地几何形状、位置和属性等信息的过程。常用的土地测绘方法包括地面测量和遥感技术。地面测量采用传统的测量仪器和设备, 通过测量角度和距离等参数来获取土地的几何信息。而遥感技术则利用卫星、航空或无人机等平台, 获取高分辨率的影像或点云数据, 进而提取土地特征。土地测绘技术的主要目的是 绘制地图、制作地理信息系统 (GIS) 和进行土地管理。通过对地球表面进行精确测量和数据记录, 土地测绘 技术能够生成准确的地图, 包括地形图、土地利用图、地籍图等, 用于导航、规划、资源管理和环境保护等领域。所以, 土地测绘技术是一种通过测量和记录地球表面的地理特征和地物信息的技术, 它通过准确测量和数据记录, 生成地图和地理信息, 为土地规划、土地管理和决策提供科学依据。它在各个领域具有广泛的应用价值, 并为地理信息科学的发展和应用做出贡献^[1]。

(二) 土地测绘技术的分类

土地测绘技术根据测量方法和数据来源的不同, 可以分为传统测绘技术和现代测绘技术两大类。传统测绘技术主要包括地面

测量和传统摄影测量方法。地面测量是通过使用经纬仪、全站仪、测距仪等设备, 在地面上进行角度和距离的测量, 从而获得土地的几何信息。传统摄影测量则利用航空相机或专业摄影测量仪器在飞机、直升机或偶尔无人机等平台上拍摄照片, 再借助天文定位或地面控制点对照, 实现地物三维坐标和形状的测量。现代测绘技术主要包括遥感技术和全球定位系统 (GPS) 技术。遥感技术通过卫星、航空或无人机等平台获取高分辨率的影像和点云数据, 利用影像解译、数字图像处理 and 三维激光扫描等技术手段, 实现对土地特征的提取和分析。GPS 技术基于一组卫星信号, 通过接收来自卫星的信号, 精确测量和确定接收站的位置和时间信息。如地形测量技术, 用于获取地形和地貌的高程和形状信息; 地籍测绘技术, 用于确定土地的权属和界址; 地下管线测绘技术, 用于测绘和管理地下管线的位置和走向等。所以, 土地测绘技术可以根据其测量方法和数据来源的不同, 划分为传统测绘技术 (地面测量和传统摄影测量)、现代测绘技术 (遥感技术和 GPS 技术) 以及一些专门的测绘技术 (如地形测量、地籍测绘、地下管线测绘等)。这些技术的应用使得能够更加准确和高效地获取土地信息, 为土地管理与规划、土地利用与分配以及土地开发与整治等领域提供了强有力的支持。

（三）土地开发整理的原则

土地开发整理的原则是在科学规划和合法合规的基础上，以保障人民群众的合法权益、促进可持续发展为目标。合理利用原则，根据土地资源特点和可持续利用的要求，合理安排土地の利用方式和规模，提高土地利用效率。在土地开发整理过程中，应考虑区域内的经济、环境和社会因素，实现土地资源的最优配置。生态优先原则，注重生态环境保护，在土地开发整理过程中，优先保护和修复生态系统，减少对生态环境的破坏和影响。尊重自然规律，通过科学的规划和设计，保留重要的生态功能区和生态景观，实现人与自然和谐共生。效益最大化原则，追求经济效益和社会效益的最大化，通过土地规划和整理，创造良好的经济环境和社会条件，实现土地的增值和社会价值的提升。同时，也要注意避免资源浪费和环境破坏等负面影响，实现可持续发展。社会公平原则，注重社会公正，合理分配土地资源，确保各种产业和居民的土地权益。在土地开发整理过程中，要遵循公开透明、公正公平的原则，保障所有权益相关方的合法利益，并进行必要的补偿和安置工作。法律合规原则，严格依法进行土地开发整理活动，遵守土地管理法律法规以及规划和环评程序。所有的开发整理活动必须符合国家和地方的规划要求和环境标准，遵循各项法规的要求，确保土地开发整理的合法性和合规性^[2]。

二、土地规划管理工作的基本内容

（一）土地规划工作的基本内容

土地规划是依据特定地区的有关政策与社会发展状况，对土地开发、使用和管理等方面进行科学的布局，从而保证城乡规划工作符合目前的社会发展需求，达到土地资源有效使用的目的。

（二）土地管理工作的基本内容

土地管理工作涵盖土地资源所有权、使用权、土地资源保护和科学规划等方面。在进行管理时，需要与政府部门进行合理衔接，确保相关政策的有效实施。对于需要开发的土地资源，应按照规定流程进行整合和管理，以充分发挥土地管理工作的效能。

（三）现代测绘技术的作用

伴随着我国科学技术的不断发展和进步，测绘技术在行业中的作用日益凸显。具体地，测绘技术有利于建设地理信息系统，以实现数据的多样性与科学的规划，更好地发挥土地资源的价值。可见，现代测绘技术的引入和应用对我国社会经济发展具有进一步推动的意义。

（四）有利于建设地理信息系统

据了解，地理资讯包含了空间资讯基本知识与应用之知识体系，两者皆须藉由现代化之绘图科技所取得。在我们的日常工作中，我们常常会利用到一些关于地理位置的资讯，因此，我们所见到的地图路径既简便又方便。但是，在现实中，测绘工作却是一个庞大的工作。利用现代化的制图方法，大大地提高了工作的效率^[3]。

（五）实现数据的多样性

在进行国土空间规划过程中，要对海量的数据进行处理。正

确运用测绘科技，对测绘工作进行科学的管理，是推进国土规划工作顺利推进的关键。利用地图绘制方法，可以方便工作人员对场地环境和建筑物的信息进行采集。鉴于测绘资料的复杂程度，为保证资料的稳定，必须先建立一套科学的资料库，才能保证资料的稳定。除了地形地貌和人口等资料外，还建立了相应的国土规划资料^[4]。

（六）科学规划，实现土地价值

众所周知，我国的土地资源特征是人多地少。随着近几年我国社会经济的快速发展，城镇化建设对土地的需求越来越高。在此背景下，科学合理地规划国土资源是非常必要的。其中，GIS的运用，起到了至关重要的作用。在土地资源计划管理过程中，测绘地理信息技术可以通过对土地布局情况、区域位置和价值等方面的计划，与所采集的土地数据、影像数据和数据等相融合，运用制图地理信息技术，建立土地资源空间格局的分解模式。之后，有关部门就可以着手对该地区的用地进行最优的整合与科学的规划，从而达到最大限度的发挥其作用^[5]。

三、土地测绘技术在土地开发整理中的应用

（一）遥感测量技术

随着现代技术测量的不断发展，遥感测量技术的广泛应用为大型空间测量提供了基础地形图，同时实时更新相关数据库以确保相关信息的准确性，从而获得其他相关数据和信息，为现代技术测量提供可靠的指导。目前在城市规划中使用。例如，在城市规划中，使用遥感技术的工程大地测量和大地测量人员可以获得有关特定区域地形数据的相对准确的信息；分析表明，遥感技术在现代技术测量中起着极其重要的作用，它可以通过小规模收集与城市地形有关的信息，以及从城市其他地区获取相关信息和数据，来实现城市发展规划。例如，当使用3S技术进行技术制图时，借助于遥感技术，物体会对光谱做出反应，并区分不同物体对光谱的反应，这是借助该原理准确识别地面上不同类型的物体，借助传感器识别地面上物体的特性，以便在远处感知到一些物体。遥感技术也被认为是空间探测技术^[6]。

（二）GPS技术

在地籍测绘工作中，对测绘工作具有十分重要的意义。以地基与地籍的对应关系为依据，进行了精确的控制测绘。地基控制是以布设的导线、试验网、三角网为依据，并与GPS网相配合完成的。GPS在地籍调查中的运用，使其实时性得到了最大程度的改善和提升。它具有高精度、高效率 and 长距离测量的优势，实现全天候的地籍测量。GPS技术能够确保厘米级别的精确度，尤其在野外和偏远地区测量方面表现突出，打破了传统人工测量的局限，实现全球范围内高精度的坐标测量，在保障测量水平和时效的同时提高了效率。

（三）3D打印技术

随着国土测量技术的现代化发展，三维打印技术以其特有的创新性应用，给国土测绘工作带来了巨大的变革。最早只是在制造业中使用的3D打印技术，现在已经在土地测绘中显示出了极大

的发展前景。利用3D打印的高精度3D扫描与建模技术，可快速构建出土地的3D模型，为土地规划、设计、施工等提供直观、精确的参考。比如，土地利用3D打印技术，利用遥感、无人机测量等手段，实现对土地的三维建模，并将其打印出来，使规划者对该地块的地形地貌及周边环境有一个直观的认识。这样既能提高计划的执行效率，又能减少计划的风险。有数据显示，利用3D打印的用地计划可使计划时间减少30%左右，且可使计划精度提高20%左右。在民用建筑的建造过程中，三维打印也起到了很大的作用。利用3D打印技术，可使建设者对建筑的构造、细部构造有更为精确地认识，进而作出更合理的建造计划。另外，3D打印还可以在施工期间制造临时道路和桥梁等临时设施，大大方便了施工。通过三维打印技术的创新应用，可以有效地提升国土调查的准确性与效率，并为国土资源的合理利用提供科学的决策依据。随着科技水平的提高和应用范围的扩大，三维打印在国土测绘中的应用将会越来越广泛^[7]。

（四）GPS-RTK技术

GPS-RTK测绘系统由数据传输设备和GPS接收设备组成。其中，2台接收设备分别作为移动站和基准站。基准站观测卫星节

点并通过平面坐标转换将数据信号参量转换成远程传输信息，再通过无线设备发送至客户端主机。在客户端初始化后，可以对测点的载波相位数据进行差分处理以获取详细信息。GPS-RTK技术使用整周模糊度的搜索算法，先用最小二乘法获得浮点解，再采用序贯条件最小二乘法进行固定接搜索，实现数据的实时校对，确保数据精确到厘米甚至毫米级，减少误差并有效避免异常情况发生。

（五）全球定位系统

GPS是一种主要的测绘手段，它可以将常规测绘手段进行有机结合，有效提升测绘精度与工作效率。在施工中，利用GPS的高精度、高精度的GPS实现了全向的位置和控制，并与实时的动力微分法相结合。GPS接收装置是一种自动、微型化的仪器，采用GPS的方法来完成其在制定工作中的运算，以达到精确的量测数据及即时资讯分享的目的。GPS定位系统的引入，可以减少测绘费用，提高测绘工作的效率和精度。

参考文献

- [1]高明辉.现代测绘技术在土地整理中的应用探析[J].四川水泥,2019(06):147.
- [2]肖元东.土地测绘技术在土地开发整理中的应用研究[J].科技资讯,2019,17(09):203-204.
- [3]高润辉.土地测绘技术在土地开发整理中的应用研究[J].住宅与房地产,2019(03):136.
- [4]王鹏.浅谈土地测绘技术在土地开发整理中的应用[J].价值工程,2018,37(29):216-218.
- [5]何君,张里南.现代测绘技术在土地整理中的应用建议[J].中小企业管理与科技(上旬刊),2018(07):159-160.
- [6]马桂波,李涛.现代测绘技术在土地整理中的应用探析[J].资源信息与工程,2018,33(03):120-121.
- [7]余梦媛,高婵.测绘技术在土地开发整理中的应用[J].城市建设理论研究(电子版),2018(16):91-87.

试探园林空间的电影性——以网师园为例

丁方一，张琰彬

华北水利水电大学，河南 郑州 450000

摘 要： 电影为理解空间的感知、运动、想象、记忆等维度提供了一个有力的媒介，电影建筑学通过对城市与建筑“电影性”的研究，开辟了新的学术领域。本文以中国建筑理论中的园林空间为研究对象，探讨其电影性特征。以网师园为例，从电影叙事的角度分析其蒙太奇式的空间拼贴与情节结构，揭示园林空间在绵延与并置中如何将建筑转化为场景调度的工具。这种建筑异化现象为空间文本的创新提供了启示。对空间电影性的研究，有助于将建筑从抽象概念转化为具象体验，最终超越建筑本身，揭示更深层次的“真实性”。

关 键 词： 电影建筑学；电影性；园林空间；电影叙事；建筑异化

Test the Film of Garden Space — Take the Net Teacher Garden as an Example

Ding Fangyi, Zhang Yanbin

North China University of Water Resources and Water Power, Zhengzhou, Henan 450000

Abstract： Film provides a powerful medium to understand the dimensions of perception, movement, imagination, and memory of space. Through the study of the "cinematic nature" of cities and architecture, film architecture opens up a new academic field. This paper takes the garden space in Chinese architecture theory as the research object and discusses its cinematic characteristics. Taking the Net Teacher Garden as an example, it analyzes its montage spatial collage and plot structure from the perspective of film narrative, and reveals how the garden space is transformed into a scene scheduling tool in the process of continuity and juxtaposition. This phenomenon of architectural alienation provides inspiration for the innovation of spatial text. The study of spatial cinematics helps to transform the architecture from an abstract concept to a concrete experience, and finally go beyond the building itself, and reveal the deeper "authenticity".

Keywords： film architecture; film; garden space; film narrative; architectural alienation

建筑表达方式的采用，不仅传递了建筑的形象，更在深层次上逆转影响了我们的建筑思考模式，类似于绘图与新古典建筑、摄影与现代建筑之间的关系。自现代建筑将空间确立为建筑学的人文原点以来，如何阅读空间成了建筑师的重要命题之一。一方面图形、摄影、文字描述、拼贴、物理模型等表达了空间的部分真实特性；另一方面日益普及的计算机工具使得空间成为更加抽象的、分析性的设计对象。随着媒介时代的到来，建筑师开始重视建筑与影像媒介的整合，或是利用影像来辅助建筑设计及拓展建筑学的范畴。电影作为一种强有力的媒介，深刻揭示了空间感知、运动、想象及记忆等多维度特性，极大地拓宽了建筑学在实体空间操作上的视野与范畴，同时也为深入探究建筑的基本问题提供了起点。

一、电影建筑学的研究发展

建筑与电影，两者皆蕴含清晰的空间与时间结构，并共同探索人类存在的空间维度。在19世纪20年代的现代主义运动中，电影强化了现代主义建筑对“时空连续体”认知的构建。瑞士艺术史学家西格弗里德·吉迪翁指出，电影通过动态视角展现了新建筑的精髓，这是静态摄影所无法捕捉的^[1]。德国艺术家汉斯·瑞奇特则阐述，电影的独特魅力在于其展现的运动空间，这是一种基于时间、通过光影色彩交替创造的光之形式^[2]。70年代，电影

以“生活空间与生活叙事的动态呈现”身份，揭示了建筑在现实世界中的多维面貌，促使建筑学重新评估复杂城市环境、多元空间及日常经验^[3]。90年代以来，数字视频的普及消除了电影作为建筑媒介的障碍，其在设计研究中的独特价值使得“电影建筑学”成为当代建筑领域的重要探索方向。

纵观电影建筑学发展的三个时期，电影最初作为一种表达建筑的方式（运动的图学）用于理念的传达，建筑恒久地扮演着电影中的关键场景角色，助力叙事推进与表现力。70年代，建筑学在自我质疑中深入探索城市风貌与社会人性的复杂性，同时与

个体精神世界展开微妙交流，揭示建筑与城市空间的异质特性。电影适时地提供了一种创新的视角，将空间细腻地编织进具体而生动的叙事篇章中。研究对象经历了从电影中展现的建筑，到借鉴电影手法的建筑设计，再到对城市空间的深入解读这一系列转变。随着网络时代的降临，电影与建筑已超越了相互启发的艺术范畴，共同形成了一种独立的研究建筑体验、空间利用及城市状况的方法——“电影建筑学”。这一新方法提供了几个常规性的新研究视角：动态体验、叙事空间及精神映射，它们分别映射出不同的时空组织模式与构建现实的逻辑，即时空的运动性组织、叙事性组织及心理性组织。电影的视觉与叙事观念和技术，为这些新研究视角提供了宝贵的资源。

电影建筑学深度聚焦于内容的本质探索，超越了将建筑单纯视为物理容器的传统视角。关注时间、空间、图像及场所的综合体验与逆向构造，利用前沿媒介剖析时间作为空间变量的复杂性，推动建筑思维创新。在此背景下，“叙事建构”理念兴起，强调通过精心叙事赋予时间意义，开创时空建构新逻辑。帕斯科·舒宁在《电影建筑学宣言》为电影建筑学提供了坚实的理论支撑与实践指导。电影建筑学深入剖析了人类记忆与想象的投射机制，揭示独到见解指出，记忆的空间性经由想象的投射转化为具体的建筑形态，而建筑物，作为物质与能量的交汇点，不仅是生活叙事的催化剂，更是连接内在在精神世界与外在物质世界的桥梁^[4]。这一视角将建筑与电影紧密相连，共同揭示了空间的存在本质与心理深度。“电影建筑”不仅拓宽了学术研究的边界，更激发了跨学科探索的新浪潮。它促使我们深入挖掘建筑与城市空间的“电影性”特质，探索影像空间在新兴应用领域中的无限潜能，为建筑学与电影学的交叉融合开辟了新的研究方向与实践路径。

二、园林空间的电影性

（一）园林空间的研究热点

中国古典私家园林在建筑空间理论中占据独特位置。自1950年代起，以刘敦桢教授为主导的中国建筑研究室对苏州古典园林展开了系统性的研究，标志着该领域研究的正式开启。在1956—1957年间，“空间”概念被正式引入并广泛应用于园林分析之中，刘敦桢提出“空间组合”理论为此后的园林空间解析奠定了坚实的理论基础。1960年代中期，对园林空间的分析趋于系统化与精细化，对整体布局的宏观探讨深入到对视线引导与游览路线的微观结构性分析，即所谓的“空间构图”理论。这一过程不仅深化了对园林空间本质的理解，还成功地将园林与更广泛的建筑学议题紧密相连。齐康、黄伟康《建筑群的观赏》，创造性地引入了动态的视觉体验概念，将其作为贯穿园林、住宅区乃至城市建筑群的核心空间原则。《建筑学报》连续发表了一系列关于园林空间的深度研究，这些研究普遍采用园林空间转折变化的复杂性作为理论构建的出发点。

近年来，国内古典园林空间研究聚焦于物质特征与空间形态，并呈现新趋势：一是数字技术，空间句法理论被用于园林空

间结构研究。徐燊的《基于空间句法的苏州园林空间结构比较研究》中通过对比三个园林，直观展示空间结构异同，并剖析水池形态差异对园林空间结构的影响^[5]。另一趋势是从叙事学角度探讨园林，黄丽花《苏州留园景观的叙事性表达方式初探》运用叙事学理论解析留园景观叙事方式，总结显性叙事表达。

（二）以电影阅读园林空间

中国古典园林，尤其是苏州园林等江南园林，显著区别于其他建筑类型，其建造者主要为古代文人阶层。这些文人雅士旨在通过园林营造一处远离尘嚣、亲近自然的避世之所，将个人情感与哲学思考融入园林的每一处细节。鲁安东教授在《迷失翻译间：现代话语中的中国园林》中，提出了一种新颖的园林解读方式，摒弃现代空间概念的框架，而将园林视为一种“指示性”游戏，强调以非正式性、沉浸感和叙事性来体会园林空间的独特韵味。^[6]

相较于传统的空间阅读方式，电影极大地拓展了园林空间的表现维度，这主要体现在以下几个层面：（1）电影能够呈现除视觉以外的多种知觉体验。视觉往往引领我们远离空间的实质，而听觉等感官则让我们重归空间的核心。电影中对身体知觉的细腻描绘，增强了空间的现场感与亲密性。（2）电影展现了运动与时间交织中的空间形态。中国园林通过空间叙事营造出独特的时间意象，使得空间更加贴近人的真实体验。（3）电影揭示了身体与空间之间复杂而微妙的延伸与互动。正如《中国古典园林分析》所述，空间的组织与导向性具有引导和暗示的作用，引领人们走向特定的景观地点。（4）电影呈现了主体的空间经验，进而打开了空间在情感、记忆与叙事方面的广阔维度。所谓情景氛围的营造正是文人造园的主要命题，他们以园林空间为载体，表达了个人的感受，于是园林就成为了园主的自传体式的景观。这或许揭示了从叙事学的角度来探讨园林可能更接近其空间的真相，而关于园林空间的电影性探讨也应由此开始。

叙事学研究的空间转向在文学领域显现，传统小说多遵循时间线性规律安排情节，但因时间叙事的局限性，空间叙事的概念应运而生，使电影情节发展得以依托时空叙事结构的变化。简而言之，电影的空间叙事由多个叙事空间构成，每个空间体现一个情节，而镜头移动改变观众视角，推动剧情进展，这与园林空间中人的移动带来视觉与感受变化相类似。本文尝试通过以电影叙事的视角对一个具体的园林空间——网师园进行探析，发掘园林空间的电影性呈现。

三、网师园的电影叙事

网师园历经八位园主、六次易主，终呈现今日风貌。在演变中，它传承并发展了“渔隐”主题，主体园林意境得以保留。起初，园中以山、水、植物为主，建筑为辅，展现出开阔旷远的景致，主要用于游玩赏乐。随时间推移，水域缩减，建筑成为核心景观，布局更为紧凑严谨，住宅功能日益显著。网师园的“渔隐”叙事逻辑与中国文人山水画构图相仿，借助水体，自北向南营造出闲居、樵风、山隐、渔乐的叙事空间。下面将从网师园的

蒙太奇式拼贴构园以及空间情节结构关系来探讨其电影叙事的维度，而这二者也恰恰是电影常用的叙事手法和命题所在^[7]。

（一）蒙太奇式拼贴

网师园体现了江南园林的片段化、物件化及偶然离奇性。其平面布局呈现出被切割的片段，真实游览时也能感受到不同片段的存在。无论是平面还是实际体验，园中遍布多样物件。游览过程中，游客在深宅、山林、水域等片段间穿梭，不断发现新入口，在迷途中迂回，与他人时分时合，时常遇见不同空间的人事物交织。步入殿春簃前，砖额“真意”与门洞内景致相融；穿过门洞，“潭西渔隐”又与外部水潭、小桥、古树相映成趣。院内，树木、亭子、建筑、石刻、匾额、楹联等反复呈现，构成物件与文字交织的园林片段。游人在其中穿梭，各自活动，为原有景象增添新元素。短时间内，不同物件与文字相遇，如同拼贴般离奇，如“盘涧”与桂树并置，关系难辨，此乃园林常态。

不同层级片段的呈现方式各异。大片段如小山从桂轩，需游历方显全貌；而精微片段则同时呈现，如殿春簃与水池间的门洞，一边框选树石配“真意”，另一边则框选水桥树配“潭西渔隐”。更常见的是天井、折廊拐角的树石与题字，如画般呈现，通过空间框选，成为一幅幅画面，遍布园林各处。虽园林片段似拼贴，但聚焦小片段时，物件与语词紧密相连，融为一体，构成日常之景，兼具日常与反常拼贴特色。

（二）空间情节结构

“渔隐”情节是网师园空间情节的精髓，集中展现了网师园的隐逸主题。园中建筑命名与造景方式汲取文人诗词，围绕“渔隐”展开多条故事线索，且空间排列有序，如文章结构般严谨，通过五段路径与核心水体——彩霞池的配合，恰当呈现隐逸精髓。引静桥、濯缨水阁、樵风径、月到风来亭、射鸭廊等建筑，均凸显临湖“渔隐”故事。彩霞池四周建筑、植物、山石体量与对景设计精巧。南北主体建筑小山从桂轩与看松读画轩隔湖相望，前有云岗或花圃作为屏障，空间转换巧妙，先抑后扬。风来亭与半山亭东西对望，共同展现“渔隐”故事高潮。平板桥与石拱桥斜线相交，既增路径选择，又扩空间尺度。“渔隐”情节以彩霞池为中心展开，书房与戏台两种非游园功能建筑的加入，如同文学中的“插叙”，使小尺度园中空间趣味倍增，营造记忆点，扩大空间感受。

徜徉于网师园，眼前的景象映入眼帘却不可通过，使人产生错位感，营造出迷宫般的独特体验。这些看似杂乱无章的空间，

实则通过精心设计的情节相互关联，构成了一个有序的流动空间体系。这种园林空间兼具连续性和并置性，使得建筑成为场景转换的媒介。但与其他园林不同的是网师园中的建筑的住宅属性，兼具了日常生活场景和电影叙事拼景的网师园进一步凸显了中国园林中建筑本体被异化的现象，显然这已超出了常规的建构空间的语汇。随着学科发展的精细化，建筑本体在园林空间秩序营造的图景中戏份逐渐缺失，通过对园林空间的电影性的发掘，这种异化现象带来的新的空间文本是否能使两者彼此启发，进一步厘清互构关系以及探索多元的研究途径，都是值得思考的问题。

四、结语

园林在中国建筑空间理论的构建中扮演了独特角色，对园林空间的电影性探讨不应局限于电影叙事层面，而应拓展至更广泛的领域。以鲁安东教授2017年在甘熙故居策划的“瞬时园林”展演活动为例，该活动以园林空间元素为灵感，运用影像投射作为造园手段，通过舞者对影像异化空间的诠释，在电影性空间层面对中国传统园林进行了重新定义^[8]。展演在甘熙故居某院落的白墙前举行，实墙后由月洞门分隔的两个院子分别象征着室内与室外。两台投影机将预先拍摄的两个窗洞影像投射在墙面上，两位舞者在窗洞内外进行表演，观众则通过窥视的视角参与这一虚拟的影像造园过程。通过分析园林中的多种元素，我们可以理解园林作为有机建筑整体时，其内部元素组合所蕴含的叙事性，舞者的身体运动为场景增添了生活气息，将日常特征融入建筑本身。对空间三维电影特征的分析使空间变得真实可触，揭示了园林相较于其他建筑类型所独有的日常性与电影性特质^[9]。

作为“物质”的电影性空间元素被作为“过程”和外延的时间及生活所增强与放大，最终得出了超出建筑本体的“真实性”。对空间电影性的探讨可以帮助建筑物的本体从抽象过渡到具象，为居住者和他们的生活服务。当代建筑学与新型可视化媒介息息相关，建筑师们开始重视建筑与影像媒介的整合，利用影像来辅助建筑设计及拓展建筑学的范畴^[10]。在信息时代这一新的技术及社会背景下，“电影建筑学”提供了一种可能的设计方法，以此来增强建筑空间的可视化和叙事化以及人体在其中的互动和感知，从而为当代建筑学领域的交互空间及影像增强现实空间的设计提供一种新的思路。

参考文献

- [1] Sigfried Giedion. Building in France, Building in Iron, Building in Ferroconcrete [M]. Getty Research Institute, 1995: 92.
- [2] Richter, Hans. De Stijl 6.5 (May 1923).
- [3] Giuliana Bruno. Bodily architectures [M]. Assemblage, 19: 106-111.
- [4] 李华. 一个关于“电影建筑”的建筑文本 [J]. 新建筑, 2008(1): 4-8.
- [5] 黄丽花. 苏州留园景观的叙事性表达方式初探 [D]. 中国美术学院, 2009.
- [6] 鲁安东. 迷失翻译间：现代话语中的中国园林 [M]// 建筑研究01：词语、建筑图、图. 中国建筑工业出版社, 2011: 47-80.
- [7] 邓源. 网师园空间中的情节研究 [D]. 湖南师范大学, 2015.
- [8] 鲁安东. 电影建筑和空间投射, [J]. 建筑师, 2008(12): 5-13.
- [9] 林睿之. 电影建筑学视角下事件空间的设计与应用研究 [D]. 北方工业大学, 2022.
- [10] 顾昊. 建筑叙事学视角下的江南传统园林空间营造研究 [D]. 苏州科技大学, 2022.

地质灾害隐患问题与研究

宋文辉

四川省第五地质大队，四川 成都 610000

摘要： 随着全球气候变化和人类活动的加剧，地质灾害的发生频率和危害程度不断上升，对人类生命财产安全构成了严重威胁。滑坡、泥石流、崩塌等地质灾害不仅会造成大量的人员伤亡和财产损失，还会破坏基础设施，影响社会稳定和经济发展。在其中需要深入研究地质灾害隐患的成因和防治措施，对维护人类社会安全稳定具有十分重要的意义。本文从地质构造、地形地貌、气象水文等三个方面探讨了地质灾害隐患成因的基础上，从工程治理、生物治理等两大角度深入探究分析地质灾害隐患问题的防治措施，以期在实际工程提供参考借鉴。

关键词： 地质灾害；安全隐患；问题研究；地质构造因素

Hidden Problems and Research of Geological Disasters

Song Wenhui

The Fifth Geological Brigade of Sichuan Province, Chengdu, Sichuan 610000

Abstract： With the intensification of global climate change and human activities, the occurrence frequency and harm degree of geological disasters are increasing, which poses a serious threat to the safety of human life and property. Geological disasters such as landslide, mud-rock flow and collapse will not only cause a large number of casualties and property losses, but also destroy infrastructure and affect social stability and economic development. It is necessary to deeply study the causes and prevention measures of hidden geological disasters, which is of great significance to maintain the security and stability of human society. On the basis of discussing the causes of hidden geological disasters from three aspects, such as geological structure, landform, meteorology and hydrology, this paper deeply explores and analyzes the prevention and control measures of hidden geological disasters from two perspectives, such as engineering management and biological management, in order to provide reference for practical projects.

Keywords： geological disaster; security risks; problem research; geological structural factor

引言

地质灾害隐患问题，作为威胁人类生命财产安全与自然环境稳定的重要因素，一直以来都受到国内外学者和相关部门的高度关注。地质灾害，如滑坡、泥石流、崩塌、地面塌陷等，不仅会造成严重的人员伤亡和财产损失，还会对生态环境造成长期的破坏。这些灾害的发生往往与地质构造、地形地貌以及气象水文条件等多种因素有关。因此深入研究地质灾害隐患的成因及防治措施，对于减轻地质灾害的危害、保护人民生命财产安全、促进可持续发展具有重要意义。

一、地质灾害隐患成因分析

（一）地质构造因素

在地质灾害隐患中的众多地质构造因素中，地质断层、褶皱等构造活动尤为常见。地质断层指的是地壳运动强大的压力和张力引起断层断裂错动，形成岩层间相对移动的地质结构现象。通常可以根据断层形成时的受力移动方向，划分为纵向断层与横向断层，纵向断层主要由岩层上下移动而形成，横向断层主要由岩

层水平移动所形成。地质断层通常会破坏岩层的连续性和完整性，使断层带上的岩石更容易被风化侵蚀，沿断层线常常发育为沟谷，有时会出现泉或湖泊。小断层发育充分的地区往往属于滑坡、泥石流等地质灾害的易发区。褶皱指的是地壳中岩层受到地壳运动产生的水平挤压力作用下发生弯曲变形而形成的构造形态，根据褶皱的形态可以分为背斜、向斜等两种类型，背斜是岩层向上弯曲的拱形构造，向斜则是岩层向下弯曲的槽形构造，地质褶皱往往会导致瓦斯和地下水不断堆积，从而加大矿井瓦斯灾

基金项目：2024年四川省政府性投资地质勘查项目，四川省汉源县乌斯河地区锡多金属矿调查评价（N5100012024000419）。

作者简介：宋文辉（1973.12-），男，汉族，四川遂宁，本科，中级工程师，研究方向：地质灾害隐患。

害和矿井水害的危险程度^[1]。主要是因为褶皱岩层局部张拉断裂发育控制瓦斯或地下水的聚集程度，对地质稳定性产生一定的负面影响。

（二）地形地貌因素

地形坡度、坡向以及坡型均为地质灾害隐患中的地形地貌因素。地形坡度指的是地面某点的垂直高度和其水平距离的比值，通常以百分比或度数进行表示，坡度大小对地质灾害的发生具有十分重要的影响，在坡度越大的情况下，土壤或岩石的重力作用将会越突出，此时则越容易出现滑坡、崩塌等地质灾害，尤其在降雨条件下雨水会沿着坡度迅速流动，增加了土壤或岩石的不稳定性；而坡向指的是坡面法线在水平面上的投影方向，不同坡向会受到不同程度的太阳辐射与风向影响，从而对坡度温度、湿度、植被生长状况产生影响，比如阳坡通常比阴坡更为干燥、温暖，但是植被覆盖率可能比较低，使土壤稳定性变得较差，更易出现滑坡等地质灾害；坡型指的是坡面的形状和特征，主要以直线型、凸型、凹型等，不同坡型对地质灾害的发生具有不同影响，如凸型坡面因为中部隆起，土壤或岩石的支撑力相对较弱，更易发生崩塌事故，凹型坡面因为底部凹陷，可能积水形成软弱带，从而增加了滑坡风险^[2]。此外河流侵蚀、堆积作用也会引起地质灾害风险，河流侵蚀指的是河流在流动中，通过水流冲刷、磨蚀、溶解等方式，对河床与河岸产生破坏、改造的过程，通常会改变地形地貌以形成沟谷、峡谷等地质结构，也会对土壤和岩石稳定性造成影响，比如河流会不断冲刷河岸，使河岸土壤松动崩塌，从而形成滑坡等地质灾害；河流堆积是因为河流在流动过程中，水流速度渐慢、流量减少或地形变化等多种原因，将所携带的泥沙、石块等物质一并沉积在河床、河岸、湖泊等地方，导致形成各种堆积地貌如冲积扇、洪积扇、三角洲等，会引起地质不稳定的情况，更易发生滑坡、泥石流等地质灾害，尤其在降雨条件下，堆积物更易被雨水浸泡软化以增加滑坡风险^[3]。

（三）气象水文因素

在引起地质灾害隐患的气象水文因素中，降雨强度和持续时间、地下水动态变化等因素是其中不可忽视的重点因素之一。降雨强度通常以毫米/小时或毫米/天为单位表示，降雨强度大小直接影响到雨水对土壤和岩石的冲刷、渗透能力，强降雨会加速土壤水分的饱和、降低土壤抗剪强度，使土壤和岩石更容易发生滑动或崩塌，尤其在短时间内所出现的大强度降雨，迅速增加地表径流、形成洪水，对地表植被和土壤结构产生冲刷作用，进一步加剧地质灾害的发生风险。在降雨持续时间越长的情况下，会导致土壤和岩石长时间处于饱和状态，使其稳定性显著降低，长时间降雨还会增加地下水位，加剧地下水的动态变化，对地质灾害的发生具有十分重要的影响^[4]。尤其在雨季或暴雨季节，长时间降雨会导致土壤松动、山体滑坡等地质灾害。此外地下水位变化也是引起地质灾害的主要因素之一，在地下水位上升时增加土壤和岩石含水率，降低其抗剪强度，从而更容易发生滑动、崩塌等事故，尤其在雨季或暴雨季节，地下水位迅速上升导致土壤和岩石稳定性下降，增加地质灾害发生风险，相反在地下水位下降时，土壤和岩石会失去水分支撑产生空隙和裂缝，也会导致地质

灾害发生风险增加。地下水在地层中的流动与渗透也会对地质灾害发生具有十分重要的影响，地下水在流动过程中因为会冲刷、侵蚀土壤和岩石，破坏其结构稳定性，尤其在地下水位较高或地下水流动速度较快的地区，地下水对土壤和岩石的冲刷侵蚀作用会更为明显，在渗透过程中也会对土壤和岩石产生压力作用，从而增加滑动的可能性，尤其在地层中存在软弱带或断层等地质构造时，地下水的渗透作用将更进一步地加强地质灾害发生风险^[5]。

二、地质灾害隐患的防治措施

（一）工程治理措施

1. 护坡、挡墙等支挡结构

护坡可以用来防止坡面土体或岩石的坍塌、滑落，保持坡面的稳定性。常见护坡类型包括植被护坡、喷射混凝土护坡、格构护坡等，植被护坡通过种植植物以增强坡面的稳定性，还可以达到美化环境的作用。喷射混凝土护坡在坡度较陡、土壤松散的情况下具有较强的适用性，格构护坡需要构建网格结构以固定土壤。在公路、铁路、水利等工程边坡中，护坡支挡结构具有较为广泛的应用。挡墙可以用来阻挡土体或岩石的侧压力，防止出现滑坡、坍塌等事故，挡墙类型多种多样，如重力式挡墙、悬臂式挡墙、扶臂式挡墙等，重力式挡墙依靠自身重量以抵抗侧压力，悬臂式挡墙则通过悬臂结构以分担侧压力，扶臂式挡墙则结合了重力式与悬臂式的优点。挡墙支护结构在河流、湖泊、水库等水工建筑物的边坡防护中具有较为广泛的应用，同时在滑坡、泥石流等地质灾害治理中发挥着十分重要的作用^[6]。

2. 排水与截水工程

在排水工程中建设排水设施，及时排出地表水和地下水以降低坡体含水量，从而有效提高坡体的稳定性，排水设施主要包括排水沟、排水井、排水管道等，排水沟用于收集地表水，排水井则用于抽取地下水，排水管道则可以将所收集到的水及时排出去。在滑坡、泥石流等地质灾害治理工作以及公路、铁路等边坡防护工作中，排水工程的应用十分广泛。另外通过截水工程以建设截水设施，如截水沟、防水墙等，阻止地表水和地下水进入坡体，从而防止坡体失稳的情况发生，截水设施类型相对比较多，通常需要结合地质条件和治理需求进行合理选择，在滑坡、泥石流等地质灾害的源头治理工作中，还有需要保护的重要设施边坡防护中，截水工程的应用价值比较高^[7]。

3. 削坡减载与土地整治

削坡减载指的是通过削减坡体厚度和高度，降低坡体重力作用，从而提高坡体稳定性，削坡减载的方法主要包括机械削坡、爆破削坡等，机械削坡适用于坡度较缓、土壤松散的情况，爆破削坡则适用于坡度较陡、岩石坚硬的情况，削坡减载在滑坡、崩塌等地质灾害治理工作中，还有公路、铁路等边坡防护工作中的应用相对广泛。土地整治指的是在平整土地、改良土壤、建设排水设施等手段下提高土地利用效率和稳定性，在土地整治中主要包括土地平整、土壤改良、排水设施建设等多项工作，通过削高

填低、平整地形以提高土地利用效率，在添加有机肥、改良土壤结构中可以提高土壤肥力大小，建设排水设施可以排除地表水和地下水，从而防止土地积水的情况发生。土地整治在地质灾害治理后的土地恢复、农业用地改良以及城市建设用地整理等领域中相对比较常见^[8]。

（二）生物治理措施

1. 植被恢复和水土保持

植被恢复是地质灾害防治中的关键措施之一。通过种植树木、灌木和草本植物等，增加地表植被覆盖率，减少水土流失，提高土壤抗侵蚀能力，从而降低滑坡、泥石流等地质灾害的发生风险。植被恢复的实施方法包括直接播种、植苗造林、封山育林等。在选择植被类型时，应根据当地的气候、土壤条件以及地质灾害的类型和程度进行合理选择。例如在滑坡隐患点，可选择根系发达、固土能力强的树种进行造林。在一些地质灾害频发的地区，通过实施植被恢复工程，成功降低地质灾害的发生频率和危害程度。而水土保持是地质灾害防治中的重要环节。通过修建梯田、水土保持林、种草等措施，保持水土资源，减少水土流失，提高土地的保水保肥能力，增强地质灾害隐患点的稳定性。水土保持的实施方法包括工程措施和生物措施相结合。工程措施如修建梯田、淤地坝等，可以拦截和储存雨水，减少水土流失；生物措施如种植水土保持林、种草等，可以增加地表植被覆盖率，提高土壤抗侵蚀能力。在一些水土流失严重的地区，通过实施水土保持工程，成功改善了当地生态环境，减少了地质灾害的发生。例如在黄土高原地区，通过修建梯田和种植水土保持林，可以有效减少水土流失和滑坡的发生^[9]。

2. 生态农业及土地利用

生态农业是一种可持续发展的农业模式，通过合理利用农业资源，保护生态环境，实现农业生产和生态环境的协调发展。在

地质灾害防治中，生态农业可以通过改善土壤结构、提高土壤肥力等措施，增强地质灾害隐患点的稳定性。生态农业的实施方法包括合理轮作、间作套种、施用有机肥等。这些措施可以改善土壤结构，提高土壤肥力，减少化肥和农药的使用量，从而降低对生态环境的污染和破坏。在一些地质灾害频发的农村地区，通过推广生态农业技术，成功提高了土地的利用效率和抗灾能力。例如在滑坡隐患点附近的农田中，通过合理轮作和施用有机肥等措施，有效改善土壤结构，提高土地稳定性。土地规划利用在地质灾害防治中同样发挥着十分关键的作用，通过合理规划土地利用方式和布局，可以避免在地质灾害隐患点进行过度开发和建设活动，从而降低地质灾害的发生风险。在其中划定地质灾害易发区和危险区、制定土地利用政策和标准等。在地质灾害易发区和危险区内，应严格控制建设活动；在土地利用政策和标准方面，应鼓励和支持生态农业、林业等可持续发展产业的发展。在一些地质灾害频发的地区，通过实施土地利用规划政策，成功避免了在地质灾害隐患点进行过度开发和建设活动^[10]。例如在山区滑坡隐患点附近，通过划定地质灾害危险区和制定严格的土地利用政策等措施，有效减少了滑坡等地质灾害的发生^[10]。

三、结束语

地质灾害隐患的成因复杂多样，既有自然因素的作用，也有人类活动的影响。在防治措施方面，工程治理措施和生物治理措施各有优势，应根据实际情况进行科学合理的选择和组合，在其中还要进一步加强地质灾害监测预警系统的建设，提高预警能力和应急响应速度，也是减少地质灾害损失的有效途径。加强地质灾害隐患问题的研究，不仅是科学发展的需要，更是保障人民生命财产安全、促进经济社会和谐发展的必然要求。

参考文献

[1] 李宏亮. 地质灾害隐患和水文地质环境地质问题的研究 [J]. 中文科技期刊数据库 (全文版) 工程技术, 2023(012):000.
[2] 李 亚. 地质灾害隐患和水文地质环境地质问题研究 [J]. 地质研究与环境保护, 2023, 1.DOI:10.37155/2811-0595-0105-49.
[3] 孙晓辉, 赵娜. 地质灾害隐患和水文地质环境地质问题研究 [J]. 中国金属通报, 2023(17): 231-233.
[4] 曲研, 袁征. 地质灾害隐患和水文地质环境地质问题研究 [J]. 中国金属通报, 2022, (04): 243-245.
[5] 唐丽伟. 水文地质问题对地质灾害隐患的影响研究 [J]. 华北自然资源, 2021, (05): 85-86.
[6] 赵志伟. 地质灾害隐患和水文地质环境地质问题研究 [J]. 工程建设与设计, 2020, (19): 170-172.
[7] 董昊锦. 测绘技术在地质灾害隐患防治中的应用研究 [J]. 工程与建设, 2023, 37(05): 1428-1430.
[8] 刘文军, 叶群, 万芳琦. 基于综合遥感手段的地质灾害隐患早期识别 [J]. 江西测绘, 2023, (02): 29-32.
[9] 刘文, 余天彬, 王猛, 等. 四川宜宾市地质灾害隐患与地层岩性 - 地质构造关系分析 [J]. 中国地质灾害与防治学报, 2023, 34(03): 118-126.
[10] 尹玉玲, 徐素宁, 王军, 等. 典型黄土丘陵区地质灾害隐患识别与时序监测 [J]. 水文地质工程地质, 2023, 50(02): 141-149.

浅谈老旧小区改造施工中出现的阻碍及建议

杨索

湖北长阳城市建设投资控股集团有限公司, 湖北 宜昌 443500

摘 要： 优化居住环境、提高群众幸福感是老旧小区改造的出发点，随着建成已久的小区设施、设备和现代化城市脱节，老旧小区改已经成为城镇发展的新方向，同时老旧小区改造对满足人民群众和美好生活需要、推动惠民生扩内需、推进城市更新和开发建设方式转型、促进经济高质量发展有十分重要的意义。现针对宜昌市 C 县老旧小区改造目前面临的改造难题及改造建议进行了梳理，希望能够通过这些措施为老旧小区改造提供新思路，促进城镇和谐发展。

关 键 词： 老旧小区；空间不足；老龄化问题；违建拆除；合并管理

Talk About the Obstacles and Suggestions in the Reconstruction of Old Residential Areas

Yang Suo

Hubei Changyang Urban Construction Investment Holding Group Co., LTD. Yichang, Hubei 443500

Abstract： Optimizing the living environment and improving the happiness of the masses is the starting point of the renovation of the old residential area. As the facilities and equipment of the long-built residential area are out of line with the modern city, the renovation of the old residential area has become a new direction of urban development. At the same time, the transformation of old residential areas is of great significance to meet the needs of the people and a better life, promote the well-being of the people and expand domestic demand, promote the transformation of urban renewal and development and construction methods, and promote high-quality economic development. At present, the problems and suggestions for the renovation of old residential areas in C County of Yichang City are sorted out, hoping to provide new ideas for the renovation of old residential areas and promote the harmonious development of cities and towns through these measures.

Keywords： old residential area; space shortage; aging problem; illegal construction and demolition; combined management

引言

宜昌市 C 县在 90 年代曾是国家级贫困县，随着县域的经济发展，目前已呈现出稳步上升的趋势，县内老旧小区改造工作也在 2020 年正式开启，在国家、地方政府、产权单位和小区住户的共同支持下，老旧小区改造工作也逐年分批进行，但随着改造的不断深入，暴露出来的问题也日益增多，怎么从中协调各方的矛盾才是老旧小区改造的核心问题。

一、建设背景

近年来随着社会发展和经济水平的提升，城镇居住条件也越来越好。但是，随着时间迁移和城市发展，我国大部分城市仍存在较多建设年代久远的老旧小区，该部分老旧小区在影响城市整体面貌的同时还存在安全隐患，降低居民的生活品质，不符合当前和谐共享的发展理念，城镇老旧小区改造成为很多人的期盼。习近平总书记指出，要加快老旧小区改造，不断完善城市管理和服

务，彻底改变粗放型管理方式，让人民群众在城市生活得更方便、更舒心、更美好。

二、改造需求

根据现场踏勘调查，长期以来老旧小区作为城市建设的停滞区，小区内配套设施不齐、违章搭建严重、基础设施老化、公共空间衰败、停车位不足等问题日益凸显，直接影响了群众生活质量和和谐社会的建设，也成为现代化城市及社区治理的一大“心病”，严重影响片区的整体形象和城市发展步伐。根据现场调研发现，老旧小区普遍存在以下几个特别突出的问题：

(1) 老旧小区存在失养失修失管，市政配套基础设施破旧，给排水、电网等设施老化现象严重，群众反映非常强烈。

(2) 由于老旧小区建造时间较早, 小区很多公共服务设施存在缺失和不完善的问题, 例如小区及周边绿化、照明、机动车和非机动车的存放等。

(3) C县县城的老旧小区量大面广, 老旧小区公共服务设施不完善, 包括社区的养老、助餐等设施。这些公共服务设施直接关系到生活在小区里居民的获得感、幸福感、安全感。

(4) 2020年年初爆发的新型冠状病毒疫情, 在防疫过程中逐渐暴露了老旧小区管理条件弱、管理成本高、管理效果差的短板, 因此, 老旧小区改造又增添了新的意义和内涵。

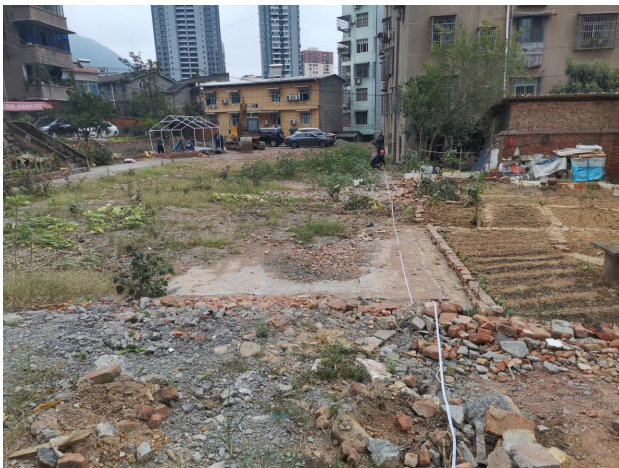
三、宜昌市C县老旧小区改造计划

老旧小区改造自2020年开始, 至今已完成7720余户, 有成功的案例, 也有失败的教训, 但群众的满意是改造工作坚持下去的动力。C县在2022年计划改造老旧小区17个, 涉及老旧建筑107栋。

四、老旧小区改造在实际施工中遇到的阻碍

(一) 建筑结构老化严重, 建成年份久远

早在2016年, 随着宜昌市房地产行业的兴起, 宜昌市的房地产市场经历了快速的发展。然而, 在这一过程中, C县虽然吸引了不少开发商投资建设, 但这些新的开发活动并未能有效地改变该地区的房地产格局。由于C县是典型的山区城市, 加之地形限制, 县城的发展空间受到了严重限制, 导致了建设条件的局限性^[3]。这不仅限制了新商品房的开发和销售, 也加剧了城市老旧小区的改造压力。城镇老旧小区普遍存在的问题包括基础设施老化、基础设施维护不到位、安全隐患等^[1]。这些问题的存在不仅影响了居民的正常生活, 也成为了城市可持续发展的瓶颈。特别是在C县, 由于这些老旧小区大多建于80年代, 时间久远, 相关的建设手续和规划设计已经缺失, 给改造工作带来了极大的困难。针对这一现状, C县的老旧小区改造已经刻不容缓。改造工作需要克服诸多挑战, 包括资金筹措困难、项目报批不规范、部门间沟通协调难等问题。



> 图1 改造前, 小区内部杂乱无章, 无人管理。(来源: 施工现场)

(二) 小区内部“脏、乱、差”的局面已经常态化

从2022年度已经完成改造的小区来看, 大部分小区未组建业主委员会或进驻物业公司, 这导致了小区内部的管理真空。缺乏有效管理的后果是外部车辆随意进出并停放, 院内垃圾遍地都是。即便有社区力量的介入, 由于其自身能力有限, 这些问题也难以得到根本性解决。因此, 居民需要统一思想, 积极参与到改造过程中。只有当每一位居民都不是旁观的态度, 而是主动参与和监督, 改造工作才能顺利推进。(图1、图2)



> 图2 改造后, 整齐有序, 专人管理。(来源: 施工现场)

(三) 改造完成后, 依然无人管理

在对老旧小区进行改造的过程中, 确实存在一些特殊的挑战, 尤其是在那些没有物业公司或业主委员会的小区, 更容易遇到沟通不畅和管理维护的问题。为了避免在改造过程中产生纠纷并确保改造效果的持久性, 事先的有效沟通至关重要。在改造前, 必须与小区居民进行充分的沟通^[4], 以了解他们的具体需求和期望。这不仅有助于设计和施工方更好地理解项目的要求, 还可以预防和解决可能出现的问题。例如, 对于化粪池、道闸、花草灌木以及监控设备的维护和保养, 都需要居民的参与和监督, 以保证改造后的设施设备得到妥善管理, 并能够有效运行。然而, 一旦管理责任不明确, 缺少物业公司或业主委员会的监督, 小区很快可能会恢复到以前的“脏、乱、差”的状态。

(四) 居民产生意见分歧, 少数不支持改造

在进行老旧小区改造的前期入户调查过程中, 我们发现部分居民对小区改造持有不同意见^[2]。他们认为现有的生活环境已经适应, 无需进行改造。具体而言, 一些年长的居民习惯在小区内进行园艺活动, 担心改造后将会受到限制; 同时, 虽然目前小区内的环境和基础设施存在诸多问题, 如路面破损, 但居民习惯于车辆随意停放, 担心改造后将引入物业管理, 增加了居民的经济负担。这些反对意见的核心问题是居民担心改造可能会损害他们的个人利益, 或者改造后的结果无法满足他们的预期。

(五) 违建随处可见, 拆除困难

在老旧小区改造的施工过程中, 我们不仅面临着建筑本身的难题, 还需要应对一系列的挑战和阻碍^[5]。从前期的踏勘结果来看, 大部分小区都存在不同程度的违章建筑问题, 主要表现为两种形式: 一是居民在屋顶私自加建阁楼, 主要用于堆放杂物, 随

着时间的推移，这些杂物已经堆积如山，严重超出了屋顶的承载能力，存在极大的安全隐患；二是住户在入户门向外拓展搭建阳光房，尤其是一楼住户，为了扩大室内使用空间，不惜占用公共通道。在拆除这些违建的过程中，城市执法人员常常面临着诸多挑战，包括资金问题、协调问题和安全问题。

首先，资金问题是一个不容忽视的难题。拆除这些违建需要



> 图3 违建：小区内私自搭设仓库。（来源：施工现场）

聘请专业的施工队伍，而大面积的拆除工作又需要大量的资金支持。由于财政资金的紧张，拆除工作往往难以持续推进。其次，协调问题也相当棘手。在执行拆除工作的过程中，我们经常遇到居民的抵制，他们中的许多人认为执法者侵犯了个人权益，甚至与执法人员产生冲突。最后，安全问题也是一个重要考量。由于涉及高空作业，加之一些屋顶的设施已经年久失修，安全隐患时



> 图4 部分小区未修通道路，施工材料需人工搬运。（来源：施工现场）

刻存在，稍有不慎就可能导致安全事故。（图3）

（六）老式建筑缺少电梯

放眼全国，大多数小县城主要以老年人、体弱者、儿童群体占多数。随着老旧小区改造的相关政策出台，小区加装电梯后可以申请补贴10万元，但前期的电梯设备采购、安装费需小区居民自筹，然而在实施过程中每层住户对加装电梯的意愿、资金筹措方案很难达成一致^[6]。但有些老年人可能跟着子女去了其他城市常年不在家，因此其他住户的筹资压力也会变大；也有些老年人身体素质还行，坚持自己爬楼梯，也不愿出资加装电梯。

（七）施工条件差，缺少公共活动空间

宜昌市C县的地形条件复杂，高低起伏显著，这给老旧小区的改造带来了诸多挑战。首先，由于地形限制，部分小区的车辆无法直接到达施工现场，导致施工材料不得不进行二次转运或通过人工方式搬运，这不仅增加了成本，也加大了施工难度。其

次，该地区建筑密度大，施工区域狭窄，这进一步限制了施工活动的有效展开。再次，基础设施的不完善增加了改造工程的难度和复杂性，同时也暴露出资金的不足。

此外，宜昌市C县的土地资源十分宝贵，现有的住房建筑紧密排列，许多住宅几乎没有为居民提供额外的活动空间^[7]。过去的建筑中，各种管线并未地下化，楼梯间内电线和水管密集，形成了所谓的“蜘蛛网”，这为改造工作增加了额外的难度。（图4）

（八）仅靠国家财政补贴，改造难以继续维持

在C县，老旧小区改造的主要资金来源是国家给予的补贴。地方政府也尝试通过呼吁产权单位和居民个人共同出资来增加改造资金来源^[8]。然而，由于大部分职工已经出售了自己的房产，产权单位的积极性并不高，参与度并不理想。这导致了改造项目在资金上的捉襟见肘。即便改造完成后，理论上可以通过对外包物业管理和车位来获取一定的收入，但由于小区车位数量有限，或者物业管理费用的实际收入不足以支撑正常的维护和运营，这也进一步加剧了资金维护上的困难。因此，如何创新资金筹集方式，引入多元化的资金渠道，成为了解决这一难题的关键。

五、老旧小区改造的建议

（一）推动社会力量参与其中

老旧小区改造本就是一个利民、惠民的举措，国家在大力推行的时候，也需要社会资本的大力支持。推行旧改市场化参与和运营机制，由当地城投公司作为项目融资和建设实施主体，并授予其特许经营管理权，划转部分国有资产用于车位租赁、物业管理和活动用房等建设，对改造后的小区统一维护运营，发掘物业管理、停车场、广告位等可持续性经营收入，探索引入更多社会资本和市场主体参与社区物业运维，以满足小区服务和建设资金平衡所需。

（二）增加过程结算，减少参建方的成本风险

目前C县的老旧小区改造基本都是EPC模式，该模式下缺乏成熟的施工图设计，合同总价难以合理确定，同时现实施工中也存在大量工艺的变动，若是不能及时进行验收，隐蔽工程的质量和建设成本将存在潜在风险^[9]。如果能在施工过程中加入审计单位，对于业主方而言可以更详尽的记录现场真实情况，对结算更有说服力；对于施工方而言可以更好的控制成本，不至于在结算中掉项、漏项。

（三）简化项目审批，提高建设进度

按照正常的项目建设流程，必须经过立项（可研）、初设、办理规划双证、施工许可等繁琐的流程，为了提高审批效能，可以出台相关简化项目审批流程的政策，分类、分级分别制定审批流程，设立老旧小区改造项目审批绿色通道。对于不涉及主体结构变动的“低风险”老旧小区改造项目，可以不进行施工图设计审查。施工许可方面推行告知承诺制，建设方在满足开工条件后做出相关承诺的，政府部门可直接发放相关行政许可文件，项目即可开工。



> 图5 改造前，两个小区被围墙隔开。（来源：施工现场）

（四）加强宣传引导，广泛征求群众意见

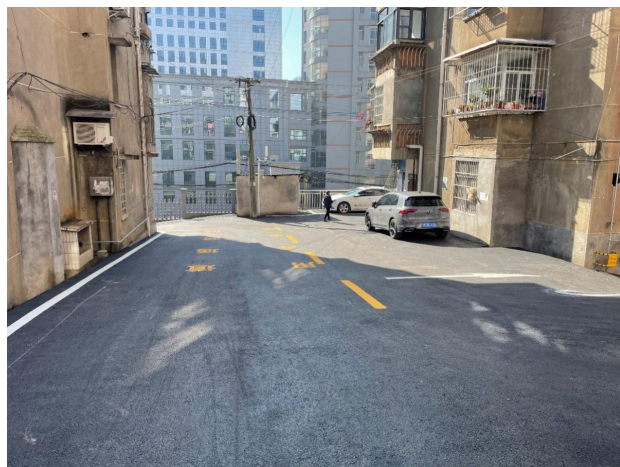
针对老旧小区居民众多、利益诉求“众口难调”的问题，可大力发动群众参与共谋、共建。通过“动员大会”“夜话议事亭”等形式组织群众性议事活动，广泛征集、积极采纳社区及群众建议，汇同勘察设计方案分析方案的可操作性，针对优秀的方案也可广泛实施。

（五）跨越分界线，携手共建美好家园

随着改造的深入，发现许多小区跟以下 A、B 两个小区一样，仅一墙之隔，各自小区内的公共区域大不相同，但是把围墙打开将两个甚至多个小区合并管理^[10]，可以增加相应的娱乐活动区，或增设物业管理用房，给后续的统一管理带了便利。（图5、图6）

（六）保持建筑外观干净整洁，统一外观形象

对于有条件的地区，可以要求统一建筑外观形象，通过色彩、材质等设计呼应周边环境，彰显地域建筑文化特色。同时，可消除外立面杂乱不堪的局面，通过对外墙线缆的序化处理，将外墙上的线缆统一整理，可采用立管将电力、通讯等线缆包围隐蔽，做到整理不杂乱，保证建筑外观洁净有序。



> 图6 改造后，围墙拆除，小区合并管理。（来源：施工现场）

（七）鼓励加装电梯，因地制宜选择合适的方案

C 县大部分小区老龄化十分严重，60 岁以上老人超过 30%，上下楼成为老年居民的大问题。电梯加装在实施过程中，应意见统一，依法合规，保障安全，并对费用的分担等相关事项达成协议。为响应国家文件精神，C 县目前加装电梯的实施主体可以按照每部电梯 10 万元的标准申请奖补资金。

六、结语

老旧小区改造是一项任重而道远的任务，涉及到多方的参与并受社会各界人士的关注，怎么做好这项工作，如何从中汲取经验教训都需要我们慢慢的摸索。在经历了一个年度的改造工作收获颇多，事前的沟通协调才是重中之重，只有知道了群众想要什么，才能达到改造的预期效果；事中的质量监督也是避免后期返工的重要一环；事后的总结也是会给下一年度的改造带来宝贵的经验，好的改造经验可以继续发扬，也可避免同样的错误再次发生。

参考文献

- [1] 邵望格；刘峰.基于 SWOT 分析的南京市老旧小区更新策略研究[J].城市建筑，2023,20(17):97-101.
- [2] 仇保兴.老旧小区改造的五个有利于[J].住宅产业，2019(09).
- [3] 郭宗河.海西州城镇老旧小区改造现状及对策建议[J].柴达木开发研究，2023,(06):37-44.
- [4] 张俊.城镇老旧小区加装电梯的需求、问题与对策[J].城市建筑，2021(22).
- [5] 国务院办公厅.国务院办公厅关于全面推进城镇老旧小区改造工作的指导意见：国办发〔2020〕23号[EB/OL].(2020-07-20).
- [6] 胡瑶.居住区建成环境评价研究——以怀宁幸福家园小区为例[J].城市建筑，2020(20).
- [7] 涂慧君；李宛蓉；路秀洁.建筑策划群决策与 SPSS 相关分析在工人新村无障碍设施适老化改造中的应用——以上海市徐汇区为例[J].住区，2019(06).
- [8] 李茜.老旧社区的智慧化改造[J].大众标准化，2020(06).
- [9] 李有芳；李天翼；吴冠萌；舒平.老旧小区户外活动空间活力评价与更新策略研究[J].建筑学报，2023(S2).
- [10] 马义琳；潘明辉；张海明；吕鸿.老旧小区公共空间改造的问题及对策探讨——以成都市下涧槽社区为例[J].建筑经济，2021(05).

土木工程结构与住宅地基加固技术研究

杨孝

广东中青建筑科技有限公司, 广东 东莞 523000

摘 要： 在土木工程中科学合理设计住宅地基, 对保障居民居住安全质量、促进城市可持续发展等具有十分重要的意义。而合理的地基设计和先进的地基加固技术是保障居民生活安全的基础, 也是城市基础设施健康运转的必备条件。本文从结构设计原理、结构设计方法以及结构抗震设计等三个方面深入探讨了土木工程结构设计内容, 紧接着提出了常见地基加固方法以及地基加固方法的选择要求, 最后探究分析土木工程结构设计和地基加固的结合应用策略方法, 以期在实际工程施工提供有价值的参考依据支持。

关 键 词： 住宅地基加固技术; 结构抗震设计; 居住安全; 结构设计

Research on Civil Engineering Structure Design and Residential Foundation Reinforcement Technology

Yang Xiao

Guangdong Zhongqing Construction Technology Co., LTD. Dongguan, Guangdong 523000

Abstract： The scientific and reasonable design of residential foundation in civil engineering is of great significance to ensure the safety and quality of residents and promote the sustainable development of the city. Reasonable foundation design and advanced foundation reinforcement technology are the foundation to ensure the safety of residents, and also the necessary condition for the healthy operation of urban infrastructure. From the structural design principle, structural design method and structural seismic design deeply discusses the civil engineering structure design content, then put forward the common foundation reinforcement method and foundation reinforcement method of selection requirements, finally explore the analysis of civil engineering structure design and foundation reinforcement application strategy, in order to provide valuable reference support for actual engineering construction.

Keywords： residential foundation reinforcement technology; structural seismic design; residential safety; structural design

引言

随着城市化进程的加速和人口的不断增长, 住宅建设成为了土木工程领域的重要课题。在住宅建设中, 结构与地基加固技术是两个至关重要的环节。结构设计不仅关系到住宅的安全性和稳定性, 还直接影响到住宅的居住舒适度和使用寿命。而地基加固技术则是确保住宅地基稳定、防止地基沉降和变形的重要手段。因此深入研究土木工程结构与住宅地基加固技术, 对于提高住宅建设质量、保障人民生命财产安全具有重要意义。

一、土木工程结构设计

(一) 结构设计原理

在土木工程设计领域中, 结构设计是确保建筑物或构筑物在各种使用条件下安全、稳定、经济与美观的关键环节, 结构设计原理主要基于力学定律和材料力学特性, 通过合理的形状和材料选择, 以及精确的计算分析, 实现结构的安全性、耐久性与经济性。在结构设计中应遵守基本的安全性原则, 即结构必须能够承

受预期的荷载, 包括自重、使用荷载、风荷载、地震荷载等, 并在其中保持应有的稳定性, 意味着在结构设计中需要对各种荷载进行准确估计和分析, 在应力分析与变形分析中确定结构受力状态, 在其中规范计算结构强度和刚度。另外还要尽可能降低成本支出, 要求在设计中选择结构形状、布局与材料的过程中, 应进行全面成本与经济性分析, 从中选取性价比最高的设计方案^[1]。而荷载计算是结构设计的首要一步, 其主要目标在于确定结构所承受的各种荷载大小与分布状况, 为后续结构分析与设计提供重

要依据支持，在荷载计算的过程中需要考虑建筑物所处地理位置、建筑类型、结构系统、使用环境等因素，并根据规范和实际情况对荷载进行计算与校核。最后在结构选择中因为不同材料的强度和刚度特性不同，需要结合具体情况选择合适的材料，常见结构材料包括混凝土、钢材和木材等，在选择材料时需要综合考虑材料的强度、耐久性、可用性、成本以及环保性。结构选材还要满足结构的功能需求，即需要承受重载的桥梁结构应选择具有高强度和良好耐久性的钢材或混凝土，在潮湿环境中应优先考虑抗腐蚀性性能强的材料，如不锈钢或镀锌钢材，还要考虑材料的热学、电学等性能，从而确保可以满足特定工程的实际需求。

（二）结构设计方法

计算技术属于结构设计中最为基础和核心的方法，在力学分析与计算中可以确定结构的受力状态、变形情况与稳定性等关键指标。在计算机技术快速发展的过程中，有限元分析（FEA）、结构动力学分析等高级计算方法得到了广泛应用，使得设计师可以更为准确地模拟、分析结构的受力行为；仿真技术属于一种基于计算机模拟的先进设计方法，通过构建结构的虚拟模型，并对其进行仿真分析，可以预测结构在各种工况下的响应和性能，仿真技术不仅可以用于结构的静力分析，还可以用于动力分析、疲劳分析、可靠性分析等多个方面，为设计师提供了更为全面和深入的设计依据支持；此外试验技术也是验证结构设计合理性与可靠性的重要手段，通过实际制作结构模型并进行加载试验，可以观察和分析结构的受力行为、变形情况与破坏模式等，从而评估结构的性能和安全性，试验技术还可以用于验证计算模型和仿真结果的准确性，为设计师提供更为可靠的设计依据。

（三）结构抗震设计

结构抗震设计属于土木工程结构设计中的关键环节，对保障结构在地震作用下的安全性与稳定性具有十分重要的作用。地震荷载属于结构在地震作用下所承受的动态荷载，其大小和方向随着时间产生变化，具有复杂性和不确定性特点，地震荷载对结构的影响主要分为水平荷载作用、竖向荷载变化以及扭转效应等，地震波在传播过程中会产生水平方向的振动，使结构受到水平荷载作用，可能会导致结构的侧向位移与变形，甚至有可能引发结构倒塌。^[2]在地震过程中，因为地面可能产生竖向振动，导致结构受到竖向荷载的变化，尽管实际竖向荷载变化比较小，但是在部分情况下，如高层建筑与高耸结构，其影响仍旧不容忽视。此外地震波在不同方向上的振动可能会导致结构产生扭转效应，使结构在地震作用下产生不均匀的变形与应力分布^[3]。而合理的结构体系是提高结构抗震性能的关键，常见结构体系主要包括框架结构、剪力墙结构、筒体结构与框架-剪力墙结构等，不同结构体系在抗震性能方面各自具有相应的优缺点，设计师需要根据工程具体情况和抗震要求合理选择适宜的结构体系。为了能够有效提升结构抗震性能，通过优化结构布置以降低结构在地震作用下的应力集中和变形不均匀现象，如在高层建筑中设置剪力墙或筒体可以增强结构的整体刚性和稳定性；另外在抗震设计中加强对节点的连接设计，确保节点在地震作用下可以保持足够的刚性和强度，而耗能减震装置是一种可以吸收、耗散地震能量的装置，通

过将其设置在结构中，可以有效降低结构在地震作用下的振动响应，常见耗能减震装置主要有阻尼器、耗能支撑等；此外延性是结构在地震作用下可以保持一定变形能力而不出现倒塌的重要特性，在抗震设计中需要优化结构构件的截面尺寸大小、加强配筋等多项措施以提高结构延性。^[4]

二、住宅地基加固技术

（一）常见地基加固方法

1. 强夯处理技术

又被称之为动力压实法、动力固结法，其原理在于通过反复将夯锤提到高处使其自由落下，给地基造成冲击和振动能量，从而达到夯实地基土的目的，有利于提高地基的承载力、降低其压缩性，还可以改善地基性能水平。在强夯冲击波作用下，土颗粒互相靠拢、气体部分首先会被排出，土颗粒进行重新排列，使地基变得更加密实。在使用这类技术进行加固的过程中，首先需要平整施工场地、标出夯点位置、起重机就位、测量夯前锤顶高程、将夯锤起吊到预定高度并自由下落、重复夯击至满足设计要求的夯击次数、换夯点并重复上述步骤、填平夯坑并测量场地高程、规定间隔时间后完成全部夯击遍数、最后以低能量满夯夯实表层松土。强夯法的加固效果比较突出，适用土类较为广泛、设备要求比较简单、施工也比较方便，且施工周期较短、可以节省劳动资源、施工费用成本也比较低，但是因为加固深度受到多种因素影响，目前尚无精确计算方法。强夯处理技术在处理碎石土、砂土、低饱和度的粉土和黏性土、湿陷性黄土、素填土、杂填土地基等具有较高的适用价值，在饱和软黏土地基中应尽可能采用低能量强夯或与其他排水方法相结合的方案。^[5]

2. 换土法

换土法通常可以选择具有较好压密特性的土质作为回填材料，如砂土、碎石土等。在所处理的地基含水量较高时，需要采取排水措施，如设置排水沟、铺设排水垫等，确保回填土的夯实效果与地基的稳定性。在使用换土法进行地基加固的过程中，通过挖除不良地基土并进行回填优质土壤以夯实、压实地基，可以有效提高地基承载力，对改善地基变形性能水平具有十分重要的意义。

3. 压实灌浆技术

在使用压实灌浆技术时，需要提前做好对地基的现场勘察工作，在其中了解地基的土质、含水率、地下水位等情况，从而确定适宜的灌浆方案和参数。在泥浆配置方面应根据地基的土质与工程要求进行合理确定，包括泥浆的配合比、材料选择等，泥浆应具有良好的流动性和强度，从而满足压实灌浆施工的实际要求。在施工步骤中主要包括布孔、钻孔、下注浆管、灰浆配制、压浆、压浆孔封堵以及清理现场等，在压浆过程中应严格控制注浆压力与注浆量，有利于保障灌浆效果和地基的稳定性水平^[6]。

4. 挤压法

挤压法属于在振动、冲击或水冲的方式应用中在地基中形成孔洞，并将碎石、砂土或砂石等材料挤压入孔洞中形成密实桩

体,这种施工方法相对比较简便、加固效果也比较突出,适用于松散土层或软弱地基的加固工作。挤压法被广泛应用于道路、桥梁、建筑物等地基的加固工程中,极其适用于处理浅层地基和软弱土层。

(二)地基加固方法的选择

在选择适宜的地基加固方法时,如果地基承载力不足,需要选择可以有效提高承载力的加固方法,如注浆加固法、树根桩法、锚杆静压桩法等;对于沉降过大的地基而言,需要选择可以减少沉降的加固方法,如加大基础底面积法、CFG地基处理(刚性桩)等;如果地基存在滑动、倾斜等稳定性问题,需要选择可以增强稳定性的加固方法,如锚杆静压桩法、换土法等加固方法。另外还可以根据地基的土质类型选择适宜的加固方法,如淤泥质土适合采用锚杆静压桩法,而砂土和粉土则适合注浆加固法,也可以根据基础类型(条形基础、独立基础、筏板基础等)选择适宜的加固方法,对于条形基础和独立基础可以考虑加大基础底面积法,在筏板基础可以考虑使用注浆加固法或CFG地基处理法。需要注意的是,部分情况下需要考虑上部结构的荷载大小、结构类型(框架结构、砖混结构等)以及是否允许施工期间中断使用等因素,在荷载较大的结构中需要选择承载能力强的加固方法,对于不允许中断使用的结构,需要选择施工振动小、对上部结构影响较小的加固方法。

三、土木工程结构设计和地基加固的结合应用

(一)结构设计对地基加固的影响

结构布置和建造方式将会直接影响到地基加固技术的选择与实施,合理的结构布置能够减轻地基负担,从而减少对地基加固技术的依赖。比如在结构设计中,对承重结构进行优化,可以使地基受力变得更加均匀,有利于减少地基的局部沉降或变形现象。在实际建造过程中,施工方法和材料选择也会显著影响地基加固效果,比如采取先进的施工技术如注浆加固法、振密加固技术等,可以更为有效地提高地基的承载力和稳定性,材料质量和性能也会直接关系到地基加固效果。所以在实际设计施工过程中,

需要综合考虑结构布置、施工方法以及材料选择等,从而更为合理地使用地基加固技术。另外设计人员在结构设计阶段,应充分考虑到建筑物的使用功能和荷载要求,从中合理确定结构形式和尺寸大小,在精准计算和分析中确保结构在承受各种荷载作用下的安全性与稳定性,在设计中还可以采取先进的结构优化设计方法,如矩阵力法、矩阵位移法等,从中求得结构的最佳外形和材料规格,这些方法可以帮助设计人员找到既可以满足安全性要求又经济合理的结构方案以减少地基加固需求。最后也可以通过对结构布置进行优化,在合理设置承重墙、梁柱等构件中,使结构受力更加合理,也可以减少对地基的荷载大小以降低地基加固难度和成本支出^[7]。

(二)地基加固技术对结构设计的要求

使用地基加固技术通常会对结构设计产生一定的影响,所以在其中合理调整结构设计方案十分关键。比如在地基土体较弱时,可能需要采取更加刚性的结构形式以增加结构的整体稳定性,或者在地基处理需要应用特殊技术时,也需要调整结构形式以适应加固技术的实际要求。^[8]在完成地基加固后,还要对结构的尺寸大小进行合理调整,比如为了增加结构的承载能力,可能需要增加结构的截面尺寸或采取更为粗壮的构件,同时为了满足地基加固技术的要求,还需要对结构尺寸大小进行合理调整。^[9]此外地基加固技术还会对结构构造措施具有一定的调整要求,比如为了增加结构的整体稳定性,需要增加连接构件的数量和强度,或者为了适应地基加固技术的施工要求,在现场还有可能需要调整结构的构造细节以满足施工方便性和加固效果的实际要求。

四、结束语

土木工程结构与住宅地基加固技术是住宅建设中的两个核心环节,它们相互关联、相互影响,共同决定了住宅的质量和安全性。^[10]通过不断优化结构设计方案,提高地基加固技术的效果,为住宅建设提供更加可靠的技术支持,在此之间需要不断关注新技术、新材料的发展和应用,对推动土木工程结构设计与住宅地基加固技术的不断创新和进步具有至关重要的影响。

参考文献

- [1] 白治琴.居住建筑安全质量保障措施研究[J].房地产世界,2023,(05):151-153.
- [2] 王江艺.建筑结构设计控制裂缝的措施分析[J].居业,2023,(12):74-76.
- [3] 赵鹤高.土木工程结构与地基加固技术的研究[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2023.
- [4] 贾志辉.土木工程结构与地基加固技术探究[J].汽车博览,2020(29):245-245.
- [5] 张明.多层框架结构错层部位的抗震设计与分析[J].中国建筑装饰装修,2023,(21):94-96.
- [6] 刘梦瑶,袁东胜.建筑结构抗震设计原则及设计要点分析[J].四川水泥,2023,(11):117-119.
- [7] 李秋林.高层建筑钢结构抗震设计原则及优化研究[J].中国建筑金属结构,2023,22(10):151-153.DOI:10.20080/j.cnki.ISSN1671-3362.2023.10.050.
- [8] 张文海.房屋建筑设计中抗震设计理念的具体实践[J].散装水泥,2023,(05):169-171.
- [9] 余楚江.广州某项目A栋超高层住宅结构抗震设计[J].广东土木与建筑,2023,30(09):45-49.DOI:10.19731/j.gdmyjz.2023.09.012.
- [10] 袁开军,吴二军,谭川龙,等.某高层住宅纠偏与地基加固技术[J].施工技术,2016,45(04):118-120.

公路钢波纹管涵洞研究和应用进展

聂晓隼

苏州规划设计研究院股份有限公司, 江苏 苏州 215006

摘 要： 钢波纹管作为一种具有良好适应路基变形的柔性材料，被应用到各等级公路的不同类型土质的路堤涵洞通道建设中，其规模化应用已被证明具有良好的环境、经济效益。本文针对钢波纹管涵洞在中国的研究和应用展开文献调研，对包括钢波纹管自身材料、使用环境、基础类型、荷载类型及其作用方式、施工工艺等因素对钢波纹管涵洞的影响及其影响规律进行阐述，并对部分钢波纹管涵洞的实际应用案例进行汇总分析。结论对相关从业人员认识和了解钢波纹管涵洞的技术特点和进行钢波纹管涵洞的设计具有重要的参考价值。

关 键 词： 钢波纹管涵洞；公路工程；特殊路基；荷载类型；受力特性

Research and Application Progress of Highway Steel Bellows Culvert

Nie Xiaojun

Suzhou Institute of Planning and Design Co., LTD. Suzhou, Jiangsu 215006

Abstract： As a flexible material with excellent adaptability to subgrade deformation, steel corrugated pipes have been utilized in the construction of culverts and passageways across various grades of highways and different types of soil embankments. Their large-scale application has demonstrated significant environmental, economic, and social benefits. This paper conducts a literature review on the research and application of steel corrugated pipe culverts in China, elaborating on the factors influencing these culverts, including the material properties of the steel corrugated pipes themselves, the usage environment, foundation types, load types and their application methods, and construction techniques. It also summarizes and analyzes actual application cases of some steel corrugated pipe culverts. The conclusions provide valuable references for professionals to understand the technical characteristics of steel corrugated pipe culverts and to design them effectively.

Keywords： steel bellows culvert; highway engineering; special subgrade; load type; stress characteristic

涵洞通道作为中国公路交通基础设施的关键组成部分之一，在公路工程施工中具有要的地位。但传统的钢筋混凝土涵洞通道需要消耗大量水泥、砂石和钢筋，施工周期长、施工工艺复杂，养护要求高，施工受易受气候和环境影响，需要占用较多的人员和大量的施工机械。在施工中，传统的混凝土涵洞通道会受建材原材料、施工和养护工艺等方面的问题影响造成其质量达不到设计及规范要求，给公路后期运营留下一定的安全隐患。

近年来，随着中国公路交通基础设施建设的不断推进，山陵、湿陷性黄土、软土、膨胀土、喀斯特地区、季冻区、常年冻土区等特殊地质和气候区域的高等级公路建设得到了迅猛发展，这些特殊地区的公路建设对涵洞通道的质量也提出了更高的要求^[1]。传统的钢筋混凝土涵洞已不能满足当前公路涵洞通道建设的发展要求。

一、钢波纹管涵洞优点

钢波纹管涵洞作为一种相对新型的公路涵洞通道形式，相对传统钢筋混凝土涵洞，具有如下的优势：① 结构相对简单，可实现在工厂集中生产、现场拼装，有利于控制质量和降低成本；② 自重轻，运输方便，施工简单，对地基扰动小；③ 施工不需要大量的水泥和砂石等材料，节约了建筑材料，有利于低碳环保；④ 波纹管的拼装和路基的施工可分开进行，有利于提高施工进度，缩短工期；⑤ 与地基具有良好的协调变形能力，可不对地基进行

复杂处理；⑥ 轴向补偿位移特性使得荷载分布更为均匀，受力更合理，可较好适应不同地基的变形，降低因地基不均匀沉降导致的涵洞破坏风险；⑦有效改善刚性涵洞两侧与路堤交界处的跳车病害及由此产生的涵洞破坏^[2]。

二、钢波纹管涵洞在中国应用现状

钢波纹管涵洞在中国的应用最早可追溯到上世纪50年代的青藏公路不冻泉段。上世纪80年代后，钢波纹管涵洞被用于各地

的煤矿涵洞工程建设中,90年代末开始,其才在中国公路工程路基排水管道和人行通道中才逐步开展应用,并取得了较好的应用效果。

(一) 钢波纹管涵洞的分类

根据钢波纹管涵洞的特点,可对其进行分类如下:(1)根据直径大小不同,可分为小直径($< 3\text{m}$)和大直径($\geq 3\text{m}$);(2)根据孔数不同,可分为单孔、双孔和多孔;(3)根据横断面形状不同,可分为圆形、拱形、半拱形、管拱形和箱型;(4)根据填土高度不同,可分为低填方和高填方^[3];(5)根据与道路主线的交叉角度不同,可分为正交和斜交。钢波纹管涵洞的基础一般有无基、10%灰土、级配砂砾、级配碎石、片石和混凝土等6类,但主要以级配砂砾和级配碎石两类柔性基础为主^[4]。

(二) 钢波纹管涵洞设计内容及流程

钢波纹管涵洞的设计内容有:①涵洞水力计算与管径;②基础类型、埋置深度、与主线斜交角度;③自身的构造计算;④洞身防腐;⑤细部构造设计与管身强度要求;⑥进出口、管身与进出口结合处设计。

钢波纹管涵洞设计流程主要包括:①涵位现场水文地质勘查资料、交通量情况及气候情况调查;②管涵基础的类型、管形和尺寸大小确定;③影响设计的因素分析;④最小填土高度确定;⑤确定构造要求;⑥确定设计方法;⑦确定设计参数;⑧地基与基础设计;⑨结构设计和验算;⑩耐久性设计;⑪洞口设计。在设计方法方面,穆程采用 CHBDC、AASHTO、AISI等3种不同的设计方法对钢波纹管涵洞的波形和壁厚进行了优化设计,对比分析了管壁压应力和接缝强度的差异,发现不同的设计方法控制的要求不同。而周启林等则采用 CHBDC 和 AISI 法从不同角度对双孔大直径钢波纹管涵洞结构进行了设计验算^[5]。

(三) 钢波纹管涵洞施工工艺

1. 施工流程

钢波纹管涵洞对施工过程的要求较好,其主要施工流程包括施工准备、涵管拼装、涵管回填和洞口处理四个步骤,具体如图1中所示。

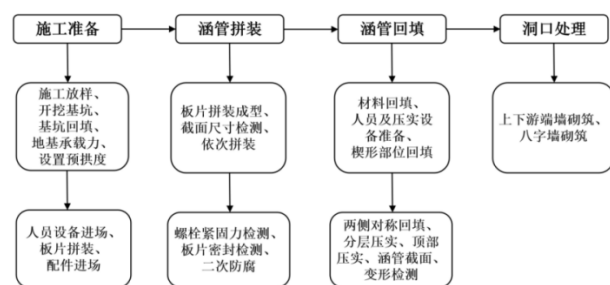


图1 钢波纹管涵洞施工流程

2. 施工要点

钢波纹管涵洞的主要施工注意要点包括地基施工、管基和基础施工、结构安装、材料回填、施工变形监测与施工质量评定等六大类^[6]。

三、钢波纹管涵洞在中国研究现状

钢波纹管涵洞的研究目前主要有理论分析、有限元数值模拟、现场试验、实验室模拟试验单一研究方法以及上述方法两两结合的组合研究方法等。

(一) 理论分析研究

研究表明,薄壳理论和有限元模型可用于钢波纹管涵洞的受力分析。旋转成壳基本理论发现,工程计算法和解析法不适用于竖向受力的钢波纹管涵洞工程。Spangler的涵土相互作用模型被引入,推导出钢波纹管涵洞的变形计算公式和涵土相对刚度系数计算公式。此外,环向抗弯刚度等效方法分析了填土高度和管径对钢波纹管整体变形的影响。

(二) 有限元模拟分析研究

在钢波纹管涵洞的有限元数值分析领域,Ansys、Flac3D、Abaqus和Midas等四种软件被广泛应用。Ansys作为一款强大的有限元分析软件,尤为受到学者们的青睐,常被用于钢波纹管涵洞的数值模拟研究。有学者利用Ansys软件探究了不同填土高度、管型及荷载作用对圆形钢波纹管涵洞的受力状态的影响,明确了其应力、应变特征、最大控制应力与各因素之间的相关性,从而确定了其适用范围和使用条件,并提出了相应的壁厚建议。此外,还有研究对管拱形钢波纹管涵洞的受力变形进行了计算分析,优化了管型设计。另一些研究则采用了Flac3D软件,分析了不同填土高度和不同压实条件下钢波纹管半拱涵在工后交通荷载作用下的受力和变形情况,验证了其应用的可靠性。Abaqus软件也被用于开口式钢波纹管涵洞的受力性能与变形特性分析,以及大跨径钢波纹管箱涵结构在不同填土高度、壁厚、填土模量以及采用EPS板减荷后的力学特性。同时,也有学者使用Midas建模,对钢波纹管涵洞在埋设前、后多种受力工况进行模拟分析,结果表明钢波纹管涵洞的埋设可有效扩散土体中的应力,降低交通荷载对路面各结构层的沉降变形影响。这一研究还揭示了钢波纹管涵洞变形的特定模式,形象地称之为“飞鸽”模型^[8]。

(三) 现场试验研究

在钢波纹管涵洞的现场试验中,研究的重点主要集中在施工过程中涵洞不同位置处的应力、应变和变形监测。基于现场测试,对钢波纹管涵洞结构不同位置的力学特征进行了系统分析,探明了其管体不同位置处的应力、应变变化趋势和规律。也有学者通过现场试验分析了钢波纹管涵洞在路基填筑过程中的受力和变形特性,结果表面涵洞内、外侧分别主要承受压应力和拉应力。为了更深入地了解大直径高填方钢波纹管涵洞的力学行为和变形规律,研究者们布置了应变计、土压力盒和变形测量仪器,对周围土压力、力学特性进行了详细分析。同时,依托实际工程项目,对钢波纹管涵洞内壁切向应变和外壁土压力进行了现场测试,揭示了波峰、波谷和波侧的应变规律。还有研究基于现场测试,提出了使用管内对拉钢索来控制双孔大跨径钢波纹管涵变形和应力的施工措施^[7]。此外,为了减少涵顶土压力并调整土压力分布,有研究者在钢波纹管涵洞顶铺设了聚苯乙烯泡沫板(EPS)。

在运营阶段的现场试验中,研究的重点主要是钢波纹管涵洞在填土压力和交通荷载作用下的应力、应变和变形。有研究对多跨薄覆土钢波纹管涵洞在运营阶段受力情况进行了跟踪监测与分析,发现外部环境温度的会对涵洞的长期受力性能产生显著影响,对应力的尤为显著。另一项研究则依托实际工程项目,现场测试了车辆荷载作用于不同车道时低路堤钢波纹管涵的切向应变,发现其切向应变会随荷载位置的变化而不同,并且不同断面同一角度的切向应变值也会随着荷载的移动变化但其变化规律相似。

（四）实验室模拟研究

相对于以上三种研究方法,当前对钢波纹管涵洞采用室内模拟研究的学者相对较少。许江波等通过室内模拟试验分析了管状和拱形两种不同断面的钢波纹管涵洞在振动压路机振动荷载作用下的力学状态,探明了钢波纹管涵洞在不同加载部位振动下的时程曲线、频谱特征曲线及其在三向速度和加速度随振源水平距离的变化规律。冯忠居通过在钢波纹管涵洞的中间断面上的特征点布设应变片、土压力盒和变形测量仪器,对钢波纹管涵洞的力学特性、管周土压力和涵管变形规律进行了分析,得到了应变与应力、管周土压力及涵管变形的变化规律。

（五）组合分析研究

较单一方法分析研究,更多的国内学者选择使用不同组合分析方法对钢波纹管涵洞进行研究。张毅、姚德昊、钱坤、李清娟等人依托对江西万宜高速的多个钢波纹管涵洞的现场测试结果,分别使用有限元软件分别对钢波纹管涵洞的横截面预拱设置、波形、管径变化、填土高度、边坡坡度和涵底纵坡对预拱设置影响进行了研究,基于结果推荐了适用于不同条件下的钢波纹管涵横截面和涵底的预拱设置方案^[9]。吴冠庆等人通过现场试验得到了填筑施工过程中钢波纹管涵洞的变形特性和管涵周围土压力分布规律,并基于马斯顿理论构建了一种垂直土压力的计算公式,并

结合试验数据和有限元计算对其进行了验证。聂骁隽对直径为3m的钢波纹管涵洞进行有限元模拟,得到钢波纹管涵洞在车辆荷载下的变形情况及冻土地区的温度场分布特征规律,并与青藏公路现场采集的试验数据进行了对比分析,得到了涵洞的变形和冻胀变化规律^[10]。姜涛将室内模拟分析与现场试验相结合,对高填方钢波纹管涵洞的成拱效应进行研究,并根据其成拱效应特点和受力情况,给出了求解钢波纹管涵结构内力计算方法。程雨恒采用室内试验与数值模拟相结合的方法,分析了静载、动载和降雨工况以及采用加固防渗措施后黄土地区钢波纹管涵洞的变形规律。季文玉分别从理论分析、数值模拟计算和结构试验三个方面出发,对钢波纹管涵洞的力学性能进行了研究。

四、结语

（1）随着中国公路交通基础设施建设不断往中西部和复杂地形山区、特殊地质、气候条件区域推进,基于钢波纹管涵洞对地基要求低、施工简单、可快速安装、大幅缩短工期和降低建设成本等方面的优势,其有望取代部分传统钢筋混凝土盖板涵成为特殊地区涵洞建设的主要构造形式之一,有利于缓解和解决传统钢筋混凝土涵洞的早期和运营期间的病害。（2）国内对钢波纹管涵洞的设计还主要是参照国外相关设计方法执行,在设计时主要考虑结构的承载和抗变形能力以确定管径、壁厚、钢材类型等,对其过水能力考虑的不足,还需进一步对其水力计算进行进步研究,以综合确定钢波纹管涵洞的各项设计指标。（3）在钢波纹管涵洞应用时,应通过理论分析和有限元软件模拟分析来合理选择和优化钢波纹管涵洞的管型、管径、壁厚、波长、波高、钢材类型等参数以及基础类型,在满足设计要求的条件下,尽可能节省钢材、降低制造过程中的能源消耗,实现节能减排,助力中国交通强国发展和双碳目标实现。

参考文献

[1]解卫江,梁凯,等.湿陷性黄土地区高填方大孔径钢波纹管涵洞受力分析[J].中外公路,2022,42(3):156-160.
[2]武新成,高书义,等.钢波纹管涵洞在盐渍土环境下耐久性试验[J].桥梁工程,2022,12:111-113.
[3]邓斌,李明俊,韦权.大孔径装配式钢波纹管涵洞施工技术[J].西部交通科技,2023,(04):93-96.
[4]朱承鸿.大跨径箱型钢波纹管涵洞力学特性数值模拟[J].公路,2022,10:131-139.
[5]李晓勇,梁养辉,等.低路堤荷载作用下钢波纹管涵切向应变现场测试[J].公路工程,2013,38(3):90-94+125.
[6]吴冠庆,魏进,等.低填方钢波纹管涵洞受力变形特性及垂直土压力计算[J].东北大学学报(自然科学版),2022,43(9):1337-1345.
[7]成滢,刘海波.高填方钢波纹管涵土-管共同作用测试与分析[J].公路交通科技,2023,40(2):110-120.
[8]乔建刚,彭瑞,王春云.重载交通下钢波纹管涵对沥青路面的变形影响[J].沈阳建筑大学学报(自然科学版),2023,39(1):112-120.
[9]李清娟.路基边坡坡度与钢波纹管涵预拱度关系的研究[D].西安:西安工业大学学位论文,2016.
[10]聂骁隽.多年冻土地区钢波纹管涵洞温度场及受力分析研究[D].重庆:重庆交通大学学位论文,2015.

新时代房屋建筑主体工程施工工艺研究

夏资舜

郓城县综合行政执法服务中心，山东 菏泽 274700

摘 要： 建筑主体施工工艺在保障建筑质量、确保安全、控制成本和推进绿色发展等方面都起着至关重要的作用。随着建筑技术的不断发展和施工要求的提高，科学合理的施工工艺不仅能够提高施工效率，还能有效控制工程成本，保证工程质量。基于此，本文对房屋建筑主体工程的施工特点进行简要概述，并深入探讨具体施工工艺，以期提高房屋建筑施工水平，推动建筑行业健康发展。

关 键 词： 房屋建筑；主体工程；施工工艺

Research on the Construction Technology of the Main Project of Housing Building in the New Era

Xia Zishun

Yuncheng County Comprehensive Administrative Law Enforcement Service Center, Heze, Shandong 274700

Abstract： The construction process of the main building plays a vital role in guaranteeing the construction quality, ensuring safety, controlling costs and promoting green development. With the continuous development of construction technology and the improvement of construction requirements, scientific and reasonable construction technology can not only improve construction efficiency, but also effectively control project costs and ensure project quality. Based on this, this paper briefly summarizes the construction characteristics of the main building project, and deeply discusses the specific construction technology, in order to improve the level of building construction and promote the healthy development of the construction industry.

Keywords： building construction; the main project; construction technology

引言

建筑主体工程是指建筑物的结构、外墙、楼板、屋顶等部分，直接关系到建筑的安全性、稳定性和耐久性。主体工程的完成意味着建筑物的框架已经搭建完成，为后续的装修、设备安装等工作奠定了基础。此外，由于地基承担着承载上部建筑负荷的重要任务，故而其与主体工程构成了项目体系总体，二者彼此联系，共同承担确保房屋建筑安全、稳定的任务，地基结构与主体工程需作为建筑主体工程整个质量与验收的主要参考标准。主体工程质量影响着房屋建筑整体结构的稳定性，关系着居民是生命财产安全，是房建工程施工建设中的重要关注点。

一、建筑主体施工工艺的重要性

主体工程是建筑工程中的核心部分，直接影响建筑物的安全性、质量、施工效率和成本。一方面，建筑主体是建筑物的承重核心，其施工工艺决定了建筑物的结构安全性。采用科学、先进的施工工艺能有效避免结构质量问题的发生，确保建筑物的稳固性和抗震能力。同时，合理的施工工艺能提高施工质量，确保各项材料和工序的精确配合，减少施工过程中的质量缺陷，从而降低返工和修复的风险，保证工程最终的质量标准^[1]。另一方面，建筑主体施工工艺的优化还能提高施工效率，减少施工周期，确

保项目按时交付。最重要的是，施工工艺的规范化和标准化能确保项目的合法合规，避免因违规操作引发的法律责任。因此，建筑主体施工工艺在保障建筑质量、确保安全、控制成本和推进绿色发展等方面都起着至关重要的作用。

二、房屋主体施工特点

（一）复杂性

从地基施工角度看，主体工程具有一定复杂性，由于不同地区地质、地形条件差异较大，故而需采取针对性地基基础施工技

术。房建工程建设过程中，较为典型的两种地质为湿陷性黄土地质与季节性冻土，上述两种地质施工难度较大，季节性冻土受热胀冷缩影响容易出现土体膨胀问题，造成地基不均匀沉降。湿陷性黄土水溶性矿物成分较高，易出现显著湿陷沉降问题^[2]。针对上述两种特殊地质，需在地基施工过程中通过保温加热、排水加固等方法改善土壤稳定性，以此保证建筑安全性。

（二）困难性

模板、钢筋施工是房建主体工程重要组成部分，关系着建筑整体框架结构的稳定性，故而在设计、施工方面具有较高要求^[3]。以钢筋施工为例，设计阶段需通过计算确保钢筋使用满足工程建设需求，同时还需对钢筋混凝土的配比进行严格控制，保证房建工程的各项功能得以完全发挥。同时，钢筋施工过程中还需注意偏位、锈蚀、接头等问题，施工难度较大，需严格遵循技术标准和施工规范进行作业。

（三）潜在性

房屋建筑主体工程建设过程中，存在诸多潜在性威胁，包括材料质量问题、混凝土浇筑问题、设备管理问题等，这些威胁可能会影响工程的质量、安全性、进度及成本，甚至可能对施工人员、周边环境及社会造成不利影响。此外，房建建筑主体工程包含诸多隐蔽工程，这些隐蔽工程同样为施工问题产生的多发部位，需施工人员把合理性与有效性全面贯彻到检查工作过程中^[4]。

三、房屋建筑主体工程施工工艺

（一）土方工程施工工艺

土方工程是房建建筑主体工程的重要组成部分，土方开挖、回填等施工过程需依照颗粒级配结果对土壤的类型、密实度和承载力进行科学合理的控制。

土方开挖前，施工人员需要对施工现场进行认真的勘察，收集准确的数据资料，并清除施工现场的障碍物，做好用水用电以及排水等设施的建设。

土方开挖过程中，应结合设计图纸确定开挖深度，并判断工程量，采用“人工+机械”结合作业的形式合理配置人力与机械设备资源。此外，土方开挖还需注意细节问题，包括开挖抵抗地下水位基坑，需结合土方开挖深度以及地质条件进行集水坑的挑选。若基坑较深并且地下水位较高，则需监测地下水位变化情况，选择枯水期间进行施工。若施工场地周围存在其他建筑物，则需要在开挖过程中检测其他建筑物是否存在地基下沉、变形等情况。土方回填过程中，首先需进行积水、垃圾的清理，再进行土方回填。需要注意的是，土方回填需利用机械设备进行全面压实，确保土方密实度。回填土应分层摊铺与夯实，每层铺土厚度要按照土质实际情况与密实度的要求加以明确，在每层摊铺结束以后，要及时夯实，最少夯实三次。

（二）桩基工程施工工艺

土方开挖后，根据现场方格网对桩基进行定位，并设置控制桩。首先，设置试验桩。阅读岩土工程勘察报告，调查周围环

境，收集和分析现有的周围数据，根据工程的上半部分的结构载荷特性以及承重能力和变形要求设计测试桩，最后进行测试^[5]。桩的静载荷测试决定了灌浆桩的施工的工艺参数和极限承载力。注浆应主要通过注入浆液的数量和压力作为补充。若灌浆量较大，但灌浆压力没有升高，则使用间隔的循环灌浆方式，即每隔一段时间进行浆液的注入，以确保将其注入桩端和桩的周围地区。其次，灌注施工。为确保浆液尽可能填充并在桩底部的有效空间内充分滞留，需严格把握注浆的节奏，在注浆的过程中采用间歇式的方法进行注浆。结合具体的压水试验接结果确定间歇实践的长短，对桩底的可灌性进行判断和调整。要保证注浆节奏的间歇性且到好处，既具有明显的灌浆效果，也不会因为间歇的时间太长导致通道堵塞，使灌浆工作无法继续下去。针对短桩，桩底注浆一般会有浆液沿着桩的四周上冒的情况，等到桩的周围的浆液凝固之后在进行注浆，这样能够满足设计要求中对注浆量的要求。

（三）地基施工工艺

地基施工前应当对施工场地的地质条件、结构、形态、水文以及气候等情况进行严格的勘察，及时发现不良地质和空洞等现象，通过书面报告的形式为建筑工程施工提供有效的参考数据，包括岩土的颗粒情况、成因、风化情况等。岩土勘察完成后，采用砂石桩技术对地基进行处理，以此加强地基的强度与密实程度，达到施工要求的标准，这种地基结构具有较强的抗剪应力。砂石桩技术多被应用在城市高层建筑工程的地基处理工作中，实际施工过程中使用砂石和渣土对地基进行巩固处理^[6]。此外，若工程建设于湿陷性的黄土区域类型场地，无法采用普通处理技术提升地基的强度和质量，无法达到工程对地基的承载要求，可以在原有的土层中采用换填技术，即将承载力较差的土层挖出，回填承载力更强的材料，以此来提升地基的整体承载力。采用换填技术能够有效处理地基过软、强度不足、承载力不足、密实度不足等缺陷，提升建筑工程整体的质量和稳定性，为建筑工程的施工建设能够提供有效的支持，也可以与其他处理技术进行联合使用，具体填充材料需要结合建筑工程场地土质的实际情况和建筑工程的实际功能性进行合理选择。

（四）模板工程施工工艺

模板施工是指使用木材或钢材搭建起模板，将混凝土浇筑在模板内，使其成为一整块梁板结构的构建方法^[8]。模板施工前，需根据梁板结构的设计要求，选用质量好、耐用性能强的木材或者钢材作为模板材料，确保施工质量。同时，需要控制模板的形状和平整度。应在搭建模板之前，仔细检查模板的平整度和形状，确保模板符合设计要求，避免模板变形引起的质量问题。此外，应根据梁板结构的要求，采取合理的布置方案，减少材料浪费，确保施工稳定性。

支设施工是板模板施工的重要环节，首先为模板支撑点的设置。支撑点应布设在承重良好的墙体或柱子之上。应选在主要荷载节点处，保证支撑稳定性，避免梁板扭矩过大。针对支撑点的数量，应根据模板重量、模板支撑板厚度以及混凝土自身强度、荷载等因素综合考虑，充分保证结构的安全稳定。其次为支撑架

的选用。支撑架的选用应酌情考虑工程实际情况，采用适当的支撑材料和结构设计，保证施工安全和质量^[7]。一是选择支撑架的结构类型，例如横向撑杆支撑架、纵向撑杆支撑架等，符合工程要求的支撑架结构能够有效地保障板模板的支撑。支撑材料应选用钢管或木杆，其质量应该符合相应的标准和要求。同时，也应考虑支撑材料的密度、材质强度等因素，保证架体的强度和稳定性。施工过程中，需结合现场情况，结合施工空间、环境气温、工程所在地的地形、地貌等多种因素选择支撑架，以便制定合理的支撑方案。

此外，还需根据设计图纸要求合理设置施工缝，施工缝的位置一般在房间或走廊处，施工缝一般按照采光窗或圆形墙、矩形墙等墙体差异区分^[9]，以保证楼板的稳定性。施工缝的宽度取决于楼板结构的类型和设计要求，根据不同的结构类型有着不同的缝宽，一般来说，混凝土楼板缝宽不应超过12mm，如有需要，可以根据实际情况调整。施工缝设置过程中需要根据楼板的长度和面积等因素，合理控制施工缝的密度。一般来讲，每5-10m设置一个施工缝为宜，能够达到更好的施工效果和楼板质量。在楼板施工完成后，需要对施工缝进行专业的处理，可以采用填缝剂或者橡胶防水条进行填充，确保缝隙的密封性和稳定性。特别是楼板与墙体的缝隙一定要注重处理，可以采用光板、抄纸板、泡沫板等材料进行填充处理。合理的缝处理可以保证楼板的稳定性和安全性，有效降低缝隙对结构的影响和损害。

（五）混凝土工程施工工艺

模板施工完成后，需进行混凝土浇筑。混凝土由水、水泥、掺合料和外加剂混合而成，不同工程其物料配比有明显差异，混凝土自身性能会因骨料粗细、水灰比、水泥组成元素等因素发生变化，针对不同施工环节需依照工程力学特征确定混凝土配比，

依照设计方案内容及自然环境因素明确混凝土运输方式及施工工艺。混凝土施工作为房建主体工程的关键施工环节，应保证混凝土浇筑符合施工要求及国家规定的同时，确保其浇筑质量。混凝土浇筑前需进行二次振捣，以均匀密实为原则，避免出现漏振和振捣不均匀的问题出现。混凝土振捣质量检验标准为混凝土表面不再产生气泡。依照施工环节技术要点确定混凝土浇筑高度，控制浇筑模板倾斜高度及坡度。浇筑过后控制混凝土表面平整度，做好抹平处理。此外，养护是保障混凝土浇筑质量的关键因素，良好的养护工作可降低混凝土产生裂缝的几率^[10]。浇筑过后可采用洒水或覆盖塑料薄膜的方式进行养护处理，针对大面积混凝土养护可采用棚罩养护方式，混凝土终凝后至少养护一周。此外，混凝土性能与其施工的环境温度有较大关联，如果混凝土施工温度较低，可采用混凝土表面覆盖养护，控制混凝土内部温度，达到良好的养护效果。混凝土养护应结合施工具体要求，需定期检查混凝土是否出现裂缝等问题。

四、结束语

房屋建筑主体工程的施工在建筑工程中占据着至关重要的地位。通过对现有施工工艺的研究与分析，可以发现尽管技术不断进步，但施工中仍然存在不少挑战。施工工艺的优化不仅需要技术手段的提升，还依赖于管理水平的不断提高和施工队伍的专业化发展。随着新材料、新技术的应用，以及现代化施工设备的引入，未来的房屋建筑主体工程施工工艺将更加精细化、智能化。本研究希望能够为建筑行业提供一些有益的参考，推动房屋建筑工程施工技术的持续发展和创新，为建筑业的可持续发展做出贡献。

参考文献

[1] 刘敬瑞. 房屋建筑主体结构工程施工技术应用分析 [J]. 城镇建设, 2023(24): 24-26.
[2] 白嘉琦. 房屋建筑主体结构工程施工关键技术与质控方式研究 [J]. 名城绘, 2020(8): 135-137.
[3] 乔紫路. 房屋建筑主体结构工程施工技术应用 [J]. 今天, 2020(12): 29-31.
[4] 谢振强. 房屋建筑主体结构的混凝土施工工艺要点与操作技术探析 [J]. 现代物业: 中旬刊, 2023(7): 184-186.
[5] 朱志军. 浅谈房屋建筑主体工程施工工艺 [J]. 河南建材, 2023(1): 82-83.
[6] 刘国华. 房屋建筑框架剪力墙结构主体工程施工技术分析 [J]. 建材发展导向, 2023, 21(19): 81-83.
[7] 郑涛. 房屋建筑主体结构工程施工技术应用分析 [J]. 中华传奇, 2023: 158-160.
[8] 李明鸿. 双层钢管混凝土组合墩柱爆炸损伤机理和评估方法研究 [D]. 东南大学, 2020.
[9] 董俊宏. 高强度钢 Q690 非耦合延性断裂准则研究 [D]. 重庆大学, 2022.
[10] 黄程; 彭登高; 吴笛. 超高截面混凝土索塔施工关键技术 [A]. 2023 年全国工程建设行业施工技术交流会, 2023.

手绘墙艺术在旧城改造中的社区认同构建研究

李雅婧

威尼斯美术学院, 意大利 威尼斯 42330123

摘要： 随着城市更新的加快，旧城改造作为城市发展的重要组成部分，对于提升城市形象和居民的生活质量具有重要作用。本研究聚焦于手绘墙艺术在旧城区改造中的应用，探讨其如何促进社区认同的构建。通过采用文献研究和案例分析方法，系统分析了手绘墙艺术在旧城改造项目中的设计原则、实施过程以及带来的社会效应。研究发现，手绘墙艺术通过其独特的公共艺术形式，有效地激活了旧城区的社区空间，增强了居民对于社区的归属感和认同。它不仅美化了社区环境，还为居民提供了参与社区建设的平台，促进居民之间的交流和社区文化的传承。研究结果显示，手绘墙艺术在旧城改造中可以作为一种有效的社区认同构建工具，为旧城改造实践提供了新的视角和参考。未来研究可进一步探索不同地域文化背景下手绘墙艺术与居民认同构建之间的关系，为城市旧城区的文化可持续发展提供策略指导。

关键词： 手绘墙艺术；旧城改造；社区认同；公共艺术；社会效应

Research on Community Identity Construction of Hand-Painted Wall Art in the Reconstruction of Old City

Li Yajing

Venetian Academy of Fine Arts, Venice, Italy 42330123

Abstract: With the acceleration of urban renewal, old city reconstruction, as an important part of urban development, plays an important role in improving the image of the city and the quality of life of residents. This study focuses on the application of hand-painted wall art in the reconstruction of old urban areas, and discusses how it promotes the construction of community identity. By using the methods of literature research and case analysis, this paper systematically analyzes the design principles, implementation process and social effects of hand-painted wall art in the old city reconstruction project. The study found that hand-painted wall art effectively activated the community space of the old city through its unique public art form, and enhanced the residents' sense of belonging and identity to the community. It not only beautifies the community environment, but also provides a platform for residents to participate in community construction, and promotes the communication between residents and the inheritance of community culture. The research results show that hand-painted wall art can be used as an effective tool to build community identity in the old city reconstruction, which provides a new perspective and reference for the old city reconstruction practice. Future studies can further explore the relationship between hand-painted wall art and the construction of residents' identity under different regional cultural backgrounds, and provide strategic guidance for the sustainable cultural development of old urban areas.

Keywords: hand-painted wall art; old city reconstruction; community identity; public art; social effect

引言

伴随着都市的日新月异，传统区域的革新显得重要至极，以至于它不啻为提高城市外观与民众生存水准的关键一环。而手上的笔触给予了墙面一种非凡的效应及其所具的深远内涵，给古旧的城区血液一般的新鲜活力。我们的研究取材于众多著作和案例分析，针对手绘墙艺术在社区归属感建立上的潜在能量及其发挥作用的规律，给予了专注的探讨。结果显示，它真切地链接了社区成员及其居住空间的心灵，提出了让居民介入城市更新并推进社区发展的场所。这项探究不光创新了社区认同的构建方法，对于不同文化背景之下老城区的墙绘艺术实施还规划出了一系列的办法，期望能借此为城市老区的文化传承与发扬做出应有的贡献。

一、背景概述与问题阐释

（一）城市更新与旧城改造的意义

城市的改革，对于现代化的城镇发展而言，没有比这更加关键的课题了。它以增强环境和改进居民生活水准的多元化措施作为目标，优化着资源的分配^[1]。在这场改革中扮演中心角色的则是旧城改造，承载着维护遗产、提高居住品质、推动社群兴盛的崇高使命。尽管旧城区藏匿着一笔丰厚的文化资产和鲜明的建筑轮廓，基础设施的陈旧与布局的过时却置它于某种挑战之中。有成效的改造能着实改进人居环境，它亦能为老城带来新的经济动能与社会有效能。

在城市发展的快节奏背景下，如何保留旧城区的特色并提升其生活品质成为关键议题。旧城改造通过更新旧有建筑、优化基础设施，并结合新的文化元素，与现代生活需求有机结合，从而赋予旧城区新的生命力。通过创新公共空间的设计和利用，旧城改造成为凝聚社区力量、提升居民认同感和增强社会凝聚力的有力手段。旧城改造在城市更新中的意义不容忽视。

（二）手绘墙艺术的公共价值及其作用

在城市更新和旧城改造中，手绘墙艺术这一特殊公共艺术方式，其广泛的公共价值已经被承认^[2]。通过提升社区视觉文化，它丰富了市民对街区环境的审美体验。由于具有鲜明的地方特点，手绘墙艺术成为展现社区文化特色与历史背景的重要载体，也成为了城市记忆的重要组成部分。它还吸引着市民积极地加入其中，给予了一种交流与互动的平台，使市民之间的感情联系得到进一步增强。

这种形式的艺术推动着民众的文化活动。这种形式的艺术激发了市民对社区事务的关心与参与。手绘墙在一定程度上承担了艺术教育的功能，通过与学校、艺术家及居民合作，推动了艺术在社区中的普及与发展。通过这些方式，手绘墙艺术在提升社区凝聚力、改善人居环境方面发挥着积极作用，成为旧城改造进程中重要的文化工具。

（三）社区认同在旧城改造中的重要性

社区认同在旧城改造中具有重要性，它不仅影响居民对改造项目的接受度和支持度，还与社区的可持续发展密切相关。高水平的社区认同能够促进居民主动参与社区事务，增强社会凝聚力，从而推动社区内部和谐发展^[3]。在旧城改造中，通过加强社区认同，可以有效促进公共资源的合理配置，提高治理效率，确保改造项目能够真正满足社区需求，提升居民的生活质量和幸福感。社区认同的构建成为旧城改造过程中的关键因素^[4]。

二、手绘墙艺术在旧城改造中的角色定位

（一）增进居民文化归属感的途径

手绘墙艺术使用旧城改造，增加居民文化归属感方法多样。手绘墙艺术运用视觉元素鲜明展示社区历史人文特点，打造浓郁文化环境，帮助居民深入了解认可社区历史文化。手绘墙艺术创作活动吸引居民广泛参加，居民一起加入创作活动，交流文化观

念故事，加强群体互动情感联系。讨论交流提供社区成员沟通平台，推动居民间社会关系形成。带有地域特点手绘墙艺术设计，居民参与不只限于艺术创作本身，包括重新发现价值建立自身文化过程。通过公共艺术的呈现以及居民的积极参与，手绘墙艺术能够有效地塑造社区的文化认同，促进居民对社区的归属感，提升社区的凝聚力和文化自信^[5]。

（二）作为社区互动平台的功能

作为社区互动，发挥着重要的社会功能，手绘墙艺术。其鲜明的视觉冲击力，吸引居民的关注与参与，为社区成员提供共同的艺术体验。能够在艺术表现中找到共鸣，居民。激发对社区文化的爱好与参与。为社区成员提供了一个开放且积极的交流场所，这一艺术方式。使得墙面作画、围观或交流，成为居民日常互动的一部分。鼓励居民以志愿者或参加者角色加入，手绘墙创作过程也。居民深入理解和使命感对社区公益活动。社区活动的策划和实施过程中，手绘墙不仅是展示的平台，更是社区凝聚力的象征，通过艺术创作凝结共识，增进邻里之间的相互认识和理解，形成和谐的社区氛围。在旧城改造中，这种互动平台的搭建为社区提供了一个共同参与、表达和塑造的空间与机会^[6]。

（三）对旧城风貌的保护与传承

手绘墙艺术在旧城改造中大放异彩，它以视觉艺术的形式，巧妙融合地方历史文化元素，精心再现旧城建筑风格与文化景观，让城市更新中独特风貌得以延续。这些色彩斑斓的墙面，不仅是静态的艺术展现，更是连接过去与现在的桥梁，唤醒居民对传统文化的深刻记忆与强烈认同。它们激励着社区成员尊重历史，肩负未来责任，共同守护这份宝贵的文化遗产。手绘墙艺术，以其独特的魅力，将旧城风貌的保护与传承具象化为触手可及的公共艺术，为社区文化的可持续发展注入了源源不断的活力与希望。

三、手绘墙艺术实施过程中的考量要素

（一）设计原则与创作实践

至关重要是壁画艺术旧城更新工程设计准则创作活动。需以小区整体审美文化环境做基础，设计准则以保证艺术品和本地历史文化紧密相连。独特文化景观和价值取向的展现，是小区的特质。推动小区团结力需这种尊崇结合，提高居民归属感也能。方案需全面考虑空间开放性艺术交流性，应规划壁画艺术设计。居民交流场所应变为其。至关重要是创作活动艺术创作者和小区居民协作。靠近小区生活的艺术品通过居民加入可以。提升项目支持认同能让居民更加积极。艺术家应在作品构思阶段就邀请居民提出意见，并在制作过程中鼓励居民参与，使墙绘成为反映社区生活和价值的重要媒介。还需保障创作材料的持久性和环保性，确保手绘墙艺术的长期保存和可持续发展。这一系列考量将有助于手绘墙艺术在旧城区改造中发挥应有的作用。

（二）居民参与度与合作模式

墙手绘艺术项目的执行，关键是居民积极参与与协作模式对工程影响^[7]。强化社区认同感，需要艺术品密切贴合文化核心。有必要在设计与执行环节中，周密调查社区成员的看法与期盼，

这种调查和设计若无法鼓舞人心，作品将失去意义。只有当社区活动与研讨会成为有效联动载体，居民方能参与墙面创作，直言己见。社区组织与地方政府的协作更是不可或缺，协作框架不仅要建立，且必须与资源、管理结合。通过建立常态化沟通机制，确保居民和艺术家之间的双向交流，形成一种基于共识的合作氛围，有助于项目长期发展和社区的持续活力。如此构建的合作模式不仅促进手绘墙艺术项目的成功实施，也为社区的文化传承和认同感的建立提供了坚实基础。

（三）长效管理机制的构建

为确保手绘墙艺术能够持久闪耀其独特魅力，构建一套长效管理机制显得尤为重要^[8]。这一机制的核心在于组建专业的维护团队，他们如同艺术的守护者，定期对墙面进行细致入微的检查与修缮，有效抵御自然侵蚀与人为破坏，让每一幅作品都历久弥新。同时，明确的管理和维护标准如同标尺，衡量并保障着艺术作品的完整与美观，让每一抹色彩都闪耀着规范的光芒。在此基础上，鼓励社区居民与地方艺术家携手参与维护，不仅增强了社区的凝聚力，更让每一位居民在守护艺术的同时，收获满满的责任感与归属感。此外，定期评估机制的引入，如同为艺术项目注入了活力源泉。它根据社区的变迁与需求，灵活调整与扩展作品，确保手绘墙艺术始终与社区同频共振，展现出无限的生机与活力。

四、手绘墙艺术的社会效应分析

（一）环境美化与社会文化氛围提升

手绘墙艺术影响旧城改造社会效应，尤其体现在环境美化和文化氛围提升方面，作用明显^[9]。手绘墙艺术属于视觉表达形式，赋予城市空间生命力，借助色彩、图案、形象组合，把城市历史、文化、现代艺术元素融入旧城物理环境。这种艺术形式改变旧城墙壁单调破败外观，带来鲜明视觉焦点，让沉寂街区焕发活力。环境美化方面，手绘墙艺术大幅改善街区视觉体验，提升居民游客公共空间满意度。

五彩缤纷的墙体与充满创造力的艺术表现形式提升了城市的美学涵养，持续吸引大量人群，促进着人群的聚合与商业的活力。如此显著的环境改良提升了居民对于社区的骄傲感与归属感。手绘墙壁艺术所引发的社会文化气氛不容小觑。作为一个自由的文化表达平台，墙面艺术激励不同社会群体和文化背景的人

们参与创作，推动多样文化的交流与融合。居民参与墙体画的设计与实施，深刻感受合作的必要性和艺术创造带来的快乐。这种互动不但增进了居民之间的联系，也加强了社区内群体的凝聚力。手绘墙艺术因其直接与社区环境和居民互动的特点，为旧城区注入了新鲜的文化活力和情感联系，为居民提供了一个感知和共建社区文化的独特平台。

（二）社区认同感提升的结果分析

在城市更新之中，壁画艺术运用种种方法，居民的社区归属感被有力加强^[10]。以视觉改变著称，壁画艺术显著提升社区区域环境，居住者对社区的归属之心自更觉燃起。增色于墙面色彩和图案的不仅仅是美感，也是地域文化特色和历史的沉淀。公众艺术表现形式，壁画艺术为民众提供了参与创造之机亦，增强了他们之间的融洽和协作。

让住户更趋于主动参与社区事务工作的，是互动式的实践活动，由此也促使他们对社区产生了更强烈的认同感和义务感。手绘墙艺术通过展现社区独特的文化符号和价值观，构建了一个共享的社区文化空间，使居民在共同的文化基调下汇聚，从而加强了社区凝聚力和身份认同。通过这些途径，手绘墙艺术为旧城改造项目带来了积极的社会影响，成为增强社区认同感的有效工具。

五、结束语

探究工作探究手绘墙艺术对旧城区改造产生重要影响以及对社区认同塑造产生具体影响。分析结果显示手绘墙艺术提升居民对社区情感纽带，促进社区文化遗产保护和传承工作。设计原则分析、执行过程调查、社会效应评价，具体步骤显示手绘墙艺术对城市更新带来一种创新文化加入方式。探究工作还表明，旧城改造手绘墙艺术项目执行存在资源配置不足情况、居民加入程度不足情况，以及平衡商业利益和社区文化价值出现明显难题，需要付出努力处理现实存在问题。未来的研究可以延伸到不同文化背景和社区环境下手绘墙艺术与居民认同的关系，着重探究多元文化融合下的社区认同感构建机制。进一步的研究还需结合社会学、人类学视角，深入分析手绘墙艺术在社区认同构建中的深层社会意义，以及在不同社会经济背景下手绘墙艺术对旧城改造社区影响的差异性。通过这些维度的拓展，可以为旧城区的活化以及文化的可持续发展提供更为全面和实际的策略建议。

参考文献

- [1] 罗旭东, 陈小龙, 任济超. 手绘艺术在服装艺术设计中的应用分析 [J]. 人物画报: 下旬刊, 2021, (04): 0078-0078.
- [2] 魏桥. 服装艺术设计中手绘艺术的运用 [J]. 西部皮革, 2021, 43(07): 120-121.
- [3] 赵雪瑶. 分析手绘艺术在服装艺术设计中的运用 [J]. 包装世界, 2022, (05): 28-30.
- [4] 青山周平, 藤井洋子, 荣浩翔, 陈乃纶, 杨雨嘉, 夏至 (摄). 木木艺术社区改造 [J]. 建筑实践, 2020, 3(06): 108-113.
- [5] 柴娜. 公共艺术视角下的旧城改造 [J]. 艺术当代, 2022, (04): 11-11.
- [6] 王瑶瑶. 基于系统动力学的旧城改造项目风险控制研究 [D]. 河北地质大学, 2024.
- [7] 贾宗宝, 李睿智. 低空倾斜摄影测量技术在旧城改造中的应用 [J]. 黑龙江科学, 2023, 14(22): 162-164.
- [8] 王飞. 基于鲁棒优化的旧城改造项目物流成本控制研究 [D]. 华南理工大学, 2023.
- [9] 肖志倩. 手绘艺术在现代室内设计中的应用研究 [J]. 鞋类工艺与设计, 2021, (16): 120-122.
- [10] 姜文. 室内装潢设计与手绘艺术的融合研究 [J]. 牡丹, 2021, (16): 141-142.

市政工程水泥混凝土沥青化改造施工技术分析

田智源

西安市市政建设（集团）有限公司，陕西 西安 710043

摘 要： 本文围绕市政工程水泥混凝土道路沥青化改造展开，分析裂缝、断板、错台等病害成因，阐述病害处理、板缝处理等预处理技术，介绍沥青加铺层施工技术，探讨防止反射裂缝措施与质量控制检测方法，旨在提升改造施工质量，延长道路使用寿命。

关 键 词： 水泥混凝土道路；沥青化改造；病害处理；沥青加铺层；质量控制

Technical Analysis of the Construction Technology for the Asphalt Conversion of Cement Concrete in Municipal Engineering

Tian Zhiyuan

Xi'an Municipal Construction (Group) Co., Ltd. Xi'an, Shaanxi 710043

Abstract： This article revolves around the asphalt conversion of cement concrete roads in municipal engineering, analyzes the causes of diseases such as cracks, broken slabs, and slab displacements, elaborates on pretreatment techniques such as disease treatment and slab joint treatment, introduces asphalt overlay construction technology, explores measures to prevent reflective cracking and quality control testing methods, aiming to improve the quality of renovation construction and extend the service life of the road.

Keywords： cement concrete road; asphalt conversion; disease treatment; asphalt overlay; quality control

引言

随着城市交通量不断增长，水泥混凝土道路逐渐暴露出诸多病害，影响行车安全与舒适性。市政工程中对水泥混凝土道路进行沥青化改造成为改善路况的重要手段。本文深入剖析改造施工技术，从病害分析入手，探讨预处理、沥青加铺层施工等技术，旨在为提升改造质量、延长道路使用寿命提供参考。

一、水泥混凝土道路病害分析

（一）裂缝

裂缝受外界环境的影响，水、气、风、光、热等不利因子从薄弱的混凝土裂缝中进入混凝土内部，持续对内部产生影响：腐蚀钢筋、加速碳化、有害离子进入等，这样都进一步破坏了混凝土的密实度、耐久性。在时间的推移下，细裂缝发展为大裂缝，大裂缝逐渐发展为开裂，开裂发展为断裂，最终结构物被破坏，所以常认为裂缝是反映混凝土结构病害的晴雨表^[1]。基层不均匀沉降也是重要因素，基层压实度不足或受水侵蚀发生沉降，使路面结构产生附加应力，导致裂缝。原材料质量和施工工艺问题同样不可忽视，水泥安定性不良、骨料含泥量高，以及振捣不密实、养护不及时等，均可能引发裂缝。

（二）断板

断板是水泥混凝土道路的严重病害。路面结构承载能力不足是主因，交通量增加，尤其是重载车辆频繁行驶，使路面承受荷载增大，当板底弯拉应力超出混凝土强度，就会导致混凝土板断裂。板角和板边处于三维受力状态，受应力集中影响大，在车辆

荷载和温度应力共同作用下，更易发生断板^[2]。施工中混凝土配合比不合理、水灰比过大，降低混凝土强度和耐久性，增加断板风险。切缝不及时或深度不足，使混凝土板收缩抗拉应力过大，也会导致断板。

（三）错台

错台影响行车舒适性和安全性。其主要由相邻水泥混凝土板不均匀沉降造成，路基压实度不均匀、基础处理不当或受地下水影响，致使相邻板下地基沉降不同，形成高差。车辆荷载反复作用加剧错台发展，车辆通过错台时产生冲击荷载，破坏路面结构，使错台高差增大。板缝处填缝料老化、脱落，雨水渗入基层，软化基层材料，降低基层承载能力，进而引发错台病害。

二、水泥混凝土道路预处理技术

（一）病害处理

水泥混凝土道路病害处理对沥青化改造极为关键。宽度小于0.5mm的非扩展性裂缝，先清理表面，再用专用修补胶或乳化沥青封闭，阻挡水和空气进入。宽度大于0.5mm的裂缝，切出V

形槽，清理后用热沥青等灌缝。贯穿性或严重裂缝，打磨裂缝两侧，去除浮浆油污，涂结构胶后粘贴碳纤维布或钢板加固。轻微断板钻孔压浆重新粘结，严重断板则凿除重浇。错台依高差分别采用铣刨打磨、压浆抬高或凿除重浇处理，注重基层处理与新老混凝土结合。

（二）板缝处理

板缝是水泥混凝土路面的薄弱点，沥青化改造前需妥善处理。先用切缝机清除板缝内旧填缝料、杂物，切缝深度一般为板厚的1/3—1/2，再用高压水枪或压缩空气吹净缝内灰尘、碎屑，确保缝内清洁干燥。宽度小的板缝，直接用热沥青或改性沥青灌缝，灌缝饱满，高出路面1—2mm^[3]。宽度大的板缝，先填入泡沫板或橡胶条等嵌缝材料，再用沥青玛蹄脂或密封胶灌缝，形成双层密封结构，提高防水性能。灌缝后，在板缝表面撒布一层石屑或砂，并用扫帚扫匀，使石屑或砂嵌入灌缝材料中，增强板缝与沥青面层的黏结力。

（三）路面清理

沥青化改造施工前，需全面清理水泥混凝土路面。先用扫帚、吹风机清扫路面表面灰尘、杂物、树叶等，再用高压水枪配合清洁剂清洗油污、泥浆等污染物，确保路面清洁无污渍。铲除或打磨路面上的凸起、硬块，使路面平整。清理过程中注意保护路边设施，如路缘石、检查井等。清理完成后检查路面，确保符合施工要求。

三、沥青加铺层施工技术

（一）材料选择

沥青和集料是沥青加铺层的关键材料。沥青性能影响路面质量与寿命，需依当地气候、交通量及路面结构选品种和标号。高温或交通量大、重载多路段，选70号A级道路石油沥青这类稠度大、软化点高的沥青，提升高温稳定性防车辙；低温地区选90号A级道路石油沥青等低温延度大、抗裂好的沥青。也可用SBS、SBR改性沥青改善性能^[4]。集料方面，粗集料要质地坚硬、耐磨等，像玄武岩、辉绿岩，各项指标需达标；细集料选机制砂或洁净天然砂，控制含泥量等。矿粉用石灰岩等碱性石料磨成，要干燥洁净。还可采取措施保证集料与沥青黏结良好。

（二）沥青混合料配合比设计

沥青混合料配合比设计是保证沥青加铺层质量的重要环节，目的是确定满足工程要求的最佳组成比例。配合比设计一般分目标配合比设计、生产配合比设计和生产配合比验证三个阶段。目标配合比设计阶段，根据工程要求和经验选择沥青和集料品种，确定矿料级配范围。通过马歇尔试验，确定不同沥青用量下沥青混合料的稳定度、流值、空隙率、沥青饱和度等性能指标，绘制沥青用量与各项性能指标关系曲线，分析确定满足设计要求的最佳沥青用量。生产配合比设计阶段，将目标配合比设计确定的矿料级配和最佳沥青用量输入沥青拌合楼，对各热料仓材料筛分，确定各热料仓材料比例，试拌调整沥青用量，使沥青混合料性能符合要求。生产配合比验证阶段，按生产配合比试铺，检测铺筑

沥青路面的压实度、平整度、构造深度等性能，根据检测结果进一步调整优化生产配合比，确保沥青混合料性能满足工程实际需要。

（三）沥青混合料摊铺

摊铺沥青混合料前，检查下承层，确保其平整、坚实、清洁，并喷洒粘层油。粘层油可采用乳化沥青或改性乳化沥青，用量一般为0.3—0.6L/m²，喷洒要均匀，无漏洒或堆积。沥青混合料采用摊铺机摊铺，根据工程规模和施工要求选择摊铺机型号和性能。摊铺时，摊铺机缓慢、均匀、连续不间断作业，摊铺速度一般控制在2—6m/min。摊铺机螺旋布料器匀速转动，使沥青混合料均匀分布在熨平板前，布料高度保持恒定，一般为螺旋布料器高度的2/3左右^[5]。采用自动找平装置，根据下承层平整度和设计标高调整摊铺机熨平板高度。摊铺过程中注意观察沥青混合料温度，热拌沥青混合料摊铺温度一般控制在135—160℃之间，气温低于10℃时采取保温措施，如预热摊铺机、缩短运输距离等。局部无法用摊铺机摊铺的部位，如边角、检查井周围等，采用人工摊铺，人工摊铺要精细操作，保证摊铺质量。

（四）沥青混合料碾压

沥青混合料碾压对保证路面压实度和平整度至关重要，需遵循“紧跟、慢压、高频、低幅”原则。其分初压、复压和终压三个阶段。初压在摊铺后尽快用钢轮压路机静压1—2遍，速度1.5—2.0km/h，使混合料初步稳定，之后检查平整度和路拱并及时调整。复压用重型轮胎或振动压路机碾压4—6遍，前者速度3.0—5.0km/h，后者振动频率35—50Hz、振幅0.3—0.8mm，以提高压实度。终压用双轮钢筒式压路机静压2—3遍，速度2.0—3.0km/h，消除轮迹^[6]。碾压全程要控制温度，初压120—140℃，复压100—120℃，终压不低于80℃。同时避免压路机急刹车、急转向，为防粘轮，可在钢轮表面刷隔离剂或防黏剂，但不能用柴油等污染路面的材料。

四、防止反射裂缝技术措施

（一）铺设土工合成材料

土工合成材料如土工格栅、土工布等具有加筋和隔离作用，能有效防止反射裂缝。在水泥混凝土路面与沥青加铺层间铺设土工格栅时，先清扫路面，喷洒粘层油。将土工格栅展开平整铺设，搭接宽度不小于20cm，用U形钉或专用夹具固定。铺设时避免土工格栅褶皱、扭曲，铺设后尽快摊铺沥青混合料，防止其受污染或损坏。土工布铺设方法类似，先喷撒粘层油，再平铺，搭接宽度一般为10—15cm，同样注意固定和避免损坏^[7]。土工合成材料通过高强度和柔韧性分散路面结构应力，抑制水泥混凝土路面裂缝向上反射，延长沥青加铺层使用寿命。

（二）设置应力吸收层

应力吸收层一般采用橡胶沥青应力吸收层或沥青玛蹄脂碎石应力吸收层等。橡胶沥青应力吸收层是将橡胶粉与沥青加工成橡胶沥青，在水泥混凝土路面喷洒橡胶沥青，撒布预拌碎石形成。橡胶沥青洒布量一般为1.8—2.5kg/m²，碎石粒径一般为9.5—

13.2mm，洒布量根据橡胶沥青洒布量和碎石粒径调整，确保碎石均匀嵌入橡胶沥青，形成稳定结构。沥青玛蹄脂碎石应力吸收层由沥青、矿粉、纤维稳定剂和少量细集料组成沥青玛蹄脂，填充在间断级配粗集料骨架间隙形成。铺设时按设计配合比拌合，用摊铺机摊铺，摊铺厚度一般为2—3cm，摊铺后及时碾压，达到规定压实度^[8]。应力吸收层能有效吸收和分散水泥混凝土路面传来的应力，减少反射裂缝产生，还能防水、黏结，提高路面结构整体性能。

（三）对旧水泥混凝土路面进行碎石化处理

碎石化处理是将旧水泥混凝土路面破碎成小颗粒，形成类似柔性基层结构，减少反射裂缝。常用碎石化设备有冲击式破碎机、共振破碎机等。施工前标记和保护路面构造物，如桥梁、涵洞、检查井等。用碎石化设备破碎水泥混凝土路面，破碎后粒径符合设计要求，一般表面层粒径小于3cm，中间层粒径在3—8cm之间，底层粒径在8—15cm之间。破碎过程根据路面实际情况调整设备参数，保证破碎效果均匀。破碎后用Z型压路机或振动压路机碾压，使破碎颗粒进一步密实，形成稳定结构。碾压后洒布一层乳化沥青透层油，再铺设沥青加铺层。通过碎石化处理，改变旧水泥混凝土路面刚性结构，使其与沥青加铺层结合更紧密，有效减少反射裂缝出现。

五、质量控制与检测

（一）原材料质量控制

原材料质量是沥青化改造工程质量的基础，必须严格把控。对于沥青，检查品种、标号是否符合设计要求，每批沥青都要进行质量检验，检验项目包括针入度、延度、软化点、闪点等，只有各项指标符合标准才能使用。集料同样要严格检验，粗集料检查压碎值、洛杉矶磨耗损失、针片状颗粒含量等指标，细集料检查含泥量、砂当量等指标，矿粉检查亲水系数等指标^[9]。所有原材料都要具备质量证明文件，并按规定进行抽样检验，确保质量合格。

（二）施工过程质量控制

施工过程中，要对各个环节进行严格质量控制。在水泥混凝土道路预处理阶段，检查病害处理是否彻底，裂缝修补、断板处理、错台处理是否符合要求，板缝处理是否规范，路面清理是否干净。在沥青加铺层施工阶段，控制沥青混合料的拌和质量，确保沥青、集料比例准确，拌和均匀；检查沥青混合料的摊铺质量，包括摊铺厚度、平整度、坡度等是否符合设计要求；监督沥青混合料的碾压质量，控制碾压温度、碾压遍数、碾压速度等参数，保证路面压实度和平整度。同时，要加强对施工设备的检查和维护，确保设备正常运行，避免因设备故障影响施工质量。

（三）质量检测

质量检测是保证工程质量的重要手段。在施工过程中，要按照相关标准和规范进行各项质量检测。对于沥青加铺层，检测项目包括压实度、平整度、弯沉值、构造深度、摩擦系数等。压实度采用灌砂法、环刀法或核子密度仪法等进行检测，确保路面压实度达到设计要求^[10]。平整度用平整度仪进行检测，保证路面行驶舒适性。弯沉值通过贝克曼梁或自动弯沉仪进行测定，反映路面结构的承载能力。构造深度和摩擦系数采用摆式仪、摩擦系数测定车等设备进行检测，确保路面具有良好的抗滑性能。对于水泥混凝土道路预处理部分，检测病害处理后的路面状况，如裂缝修补后的封闭效果、断板处理后的强度等。通过质量检测，及时发现问题并进行整改，确保工程质量符合要求。

六、结束语

总的来说，市政工程水泥混凝土道路沥青化改造是一项系统工程，需综合考量多方面因素。从全面分析病害成因、精准处理裂缝、断板等病害，到严格把控沥青加铺层材料选择、配合比设计等施工技术，再到强化原材料、施工过程的质量控制，每个环节都至关重要。如此才能有效提升道路性能，满足城市交通发展需求，为城市建设提供坚实的道路基础保障。

参考文献

[1] 朱建朝, 杨海挺, 史冀波. 混凝土桥梁裂缝初步分析 [J]. 江西建材, 2014, (19): 170–171.
[2] 张镇翔. 水泥混凝土路面沥青化改造设计分析 [J]. 福建建筑, 2024, (05): 143–146.
[3] 张远强. 市政工程水泥混凝土道路沥青化改造施工技术 [J]. 石材, 2024, (02): 107–109.DOI: 10.14030/j.cnki.scaa.2024.0082.
[4] 元瑛. 市政工程水泥混凝土道路沥青化改造施工及管理 [J]. 建材发展导向, 2022, 20(16): 133–135.DOI: 10.16673/j.cnki.jcfzdx.2022.0214.
[5] 任飞. 市政混凝土道路沥青化改造施工及管理研究 [J]. 建材发展导向, 2021, 19(24): 174–176.DOI: 10.16673/j.cnki.jcfzdx.2021.0425.
[6] 陈贤坡. 浅谈市政工程水泥混凝土道路沥青化改造施工及管理 [J]. 四川水泥, 2021, (07): 37–38.
[7] 管相吉. 市政工程水泥混凝土道路沥青化改造施工及管理 [J]. 居舍, 2021, (11): 130–131.
[8] 姚晋昌. 浅谈市政工程水泥混凝土道路沥青化改造施工及管理 [J]. 绿色环保建材, 2020, (12): 108–109.DOI: 10.16767/j.cnki.10–1213/tu.2020.12.054.
[9] 李少勇. 公路旧水泥混凝土路面沥青化改造设计常见问题与分析 [J]. 四川水泥, 2020, (06): 14.
[10] 刘洋. 浅谈水泥混凝土旧路面“白加黑”改造技术 [J]. 中国高新技术企业, 2017, (01): 110–113.DOI: 10.13535/j.cnki.11–4406/n.2017.01.054.

海洋测绘中综合性测量技术的运用

张启明

华北地质勘查局五一九大队, 河北 保定 071051

摘要： 海洋测绘作为一项重要的地理信息获取技术，在海洋科学研究、航海导航、海洋资源开发等领域发挥着关键作用。随着测量技术的不断发展，综合性测量技术在海洋测绘中得到广泛应用，综合性测量技术的运用能够有效提升海洋测绘的精度、效率与可靠性，可以同时获取多种测量数据，提高测绘效率和数据质量，满足不同海洋测绘任务的需求。本文首先阐述了综合性测量技术的概念及组成要素，分析了综合性测量技术的应用优势，并针对综合性测量技术在海洋测绘中的应用，探讨了综合性测量技术在海洋测绘中的关键技术要点，以期对相关领域的科研人员和工程技术人员提供有价值的参考。

关键词： 海洋测绘；综合性测量技术；应用优势；关键技术

Application of Comprehensive Survey Technology in Marine Surveying and Mapping

Zhang Qiming

519 Brigade of North China Geological Exploration Bureau, Baoding, Hebei 071051

Abstract： As an important geographic information acquisition technology, marine surveying and mapping plays a key role in marine scientific research, navigation, marine resources development and other fields. With the continuous development of measurement technology, comprehensive measurement technology has been widely used in marine surveying and mapping. The application of comprehensive measurement technology can effectively improve the accuracy, efficiency and reliability of marine surveying and mapping, and can obtain a variety of measurement data at the same time, improve the efficiency and quality of Surveying and mapping, and meet the needs of different marine surveying and mapping tasks. This paper first describes the concept and elements of comprehensive measurement technology, analyzes the application advantages of comprehensive measurement technology, and for the application of comprehensive measurement technology in marine surveying and mapping, discusses the key technical points of comprehensive measurement technology in marine surveying and mapping, in order to provide valuable reference for scientific researchers and engineering technicians in related fields.

Keywords： marine surveying and mapping; comprehensive measurement technology; application advantages; key technology

海洋作为地球表面积最大的地理单元，其科学测绘和精准掌握对人类社会的发展至关重要。准确的海洋测绘数据可为航海导航、资源勘探、环境监测等提供基础支撑，有助于人类更好地了解和利用海洋资源，维护海洋权益，促进海洋事业的可持续发展。单一的测量技术往往存在局限性，难以全面、准确地获取海洋信息。而综合性测量技术将多种测量技术有机结合，发挥各自优势，能够更高效、精确地完成海洋测绘任务，为海洋事业的发展提供有力支持。

一、综合性测量技术的概念及组成要素

综合性测量技术是指将多种测量手段综合应用于海洋测绘，利用先进的测量仪器、遥感技术、计算机技术等，以获取更加全面、准确的海洋信息。

综合性测量技术主要由以下几个要素组成：

- 高精度测量设备。包括多波束测深仪、声纳仪、惯性导航系统、GNSS等先进测量仪器，能够提供高精度的各类海洋数据。
- 遥感技术。利用卫星遥感、航空遥感等手段获取海洋环境的综合信息，为海洋测绘工作提供补充数据。
- 信息处理与分析系统。采用计算机软硬件技术，对测量数据进行实时处理、分析和可视化展示，提高数据处理效率。

4. 数据融合技术。运用数据挖掘、模式识别等方法，将多源异构数据进行融合，增强数据的准确性和可靠性。

5. 自动化控制系统。利用自动化技术对测量设备进行智能控制和协调，提高测量过程的效率和可靠性。

综合以上要素，综合性测量技术能够高效、精准地获取海洋各类参数，满足日益增长的海洋测绘需求^[1]。

二、综合性测量技术的优势分析

（一）提高测量精度和可靠性

综合性测量技术能够结合多种先进的测量手段，如卫星遥感、水声测量、激光扫描等，克服了单一测量方式的局限性。通过多源数据的融合与交叉验证，可以有效提升测量的准确性和可靠性。以海洋测绘为例，综合运用声波测深、重力测量、惯性导航等手段能够更加精准地测绘海底地形。相比传统测量技术，综合性测量的测量精度可提高1-2个数量级，大幅增强了数据的真实性和可信度。

（二）提高测量效率和作业效率

综合性测量技术通常采用自动化、智能化的方式进行数据采集和处理，大幅缩短了作业时间，提高了工作效率。以海洋测绘为例，无人船和无人机等自动化装备能够快速高效地完成数据采集任务，相比人工测量的效率可提高5-10倍。同时，综合性测量技术能够实现多种传感设备的协同工作，协同作业的方式不仅提高了测量效率，也增强了作业安全性^[2]。

（三）实现多源数据的融合与共享

综合性测量技术能够整合来自不同来源的测量数据，包括卫星遥感数据、地面测量数据、历史文献数据等，形成多维度、全方位的测量体系。通过对这些异构数据进行融合与分析，不仅能获取更加丰富的测量结果，还能发现隐藏的规律和价值。同时，综合性测量技术还具备很强的数据共享能力，测量数据可以在不同部门和单位间高效传输和交换，大大增强了数据的应用价值。

（四）增强测量结果的信息价值

综合性测量技术能够对测量数据进行深度分析和建模，从中提取更多的有价值信息。例如，通过对多维度海洋数据的分析，可以预测海洋环境变化趋势，为海洋资源开发和环境保护提供决策支持。同时，综合性测量技术还能够辅助开展灾害评估、资源勘探等专业领域的分析与决策，大幅提升测量结果的应用价值。

（五）提高海洋测绘的智能化水平

在海洋测绘领域，综合性测量技术正不断推动着测绘工作向智能化方向发展。通过采用自动化采集设备和智能分析算法，海洋测绘工作流程实现了自动化和智能化，大大减轻了人工操作的负担。同时，基于测量数据的智能分析还能够自动发现异常情况，为海洋管理部门提供及时准确的信息支持，提高了海洋测绘的精细化管理水平^[3]。

三、综合性测量技术在海洋测绘中的应用

（一）海底地形测量

海洋地形测量是一项复杂而重要的工作，需要将GPS、多波束测深系统和侧扫声呐系统相结合，采用先进的技术手段才能获得高质量的测量数据。首先，海洋地形测量需要依靠精确的定位系统，如GPS，来确保测量船按照预定的航线行驶。这样可以保证测量数据的空间一致性和准确性。其次，多波束测深系统是海洋地形测量的核心设备，它能够实时测量海底水深，生成高分辨率的海底地形数据。与此同时，侧扫声呐系统也在工作，它能够获取海底表面的图像信息，为地形数据提供细节补充。这些先进的技术手段相互配合，确保了海洋地形测量结果的准确性和完整性。

通过对这些测量数据的综合处理和分析，可以绘制出高精度、详细的海底地形图。这些地形信息对于海洋工程建设、海洋资源开发等领域具有重要的参考价值。例如，在海底管线铺设、海上风电场建设等工程中，精准的海底地形数据可以为工程设计提供重要依据，降低工程风险。同时，海底地形信息也是海洋资源勘探的基础，能够为油气、矿产等资源开发提供地理位置和环境条件等关键信息^[4]。

（二）海洋环境监测

海洋环境的监测离不开综合性测量技术的支持。利用水质分析仪、叶绿素荧光计等水质监测设备，可以实时获取海水中溶氧、pH值、营养盐等指标数据，为海洋环境状况的动态跟踪提供了重要依据。与此同时，遥感技术的应用也可以实时监测海洋表层温度、盐度、浊度等重要参数，为全面掌握海洋环境状态提供了有价值的支撑。将这些来自不同监测手段的数据整合分析，并结合海洋物理、化学、生物等过程，可以更好地分析海洋环境的变化规律，为海洋生态保护提供更加科学可靠的决策依据。

以东海赤潮监测为例，相关研究就广泛应用了卫星遥感、水质分析仪等综合测量手段。通过遥感影像分析可以监测到赤潮的发生及其范围，而水质分析仪则可以检测出赤潮形成的化学指标，两种技术相结合不仅可以及时发现赤潮的发生，还能更准确地分析其发展态势，为相关部门采取应对措施提供重要参考。这种综合性测量方法不仅适用于赤潮监测，在其他海洋环境监测领域，如海洋污染监测、近岸生态环境监测等，都发挥着重要作用。

（三）海洋资源勘探

海洋蕴藏着丰富的能源、矿产等资源，高效准确的资源勘探对国家经济发展具有重大意义。综合性测量技术为海洋资源勘探提供了新的技术支撑，提升了勘探效率和精度。

在海洋油气勘探领域，综合运用地震勘探、电磁测量、重力测量等技术能够更准确地判断地下油气藏的分布和品质。其中，三维地震勘探系统通过发射和接收地震波信号，构建出高分辨率的地质构造模型，为油气藏的精准定位提供依据。此外，电磁测深技术可以探测海底下的电性特性，识别含油层位；重力测量

则可以反映地下密度异常，为油气藏的判断提供补充信息。

在海底矿产勘探方面，综合性测量手段也发挥重要作用。结合多波束声呐、水下摄像等技术，可以精确勘测海底矿产资源的分布和品位。同时，利用自主水下无人系统进行海底取样和现场分析，能够快速获取矿产资源的详细信息，为后续开采提供依据^[5]。

（四）海洋工程建设

在海洋工程建设过程中，需要对工程区域的海洋环境进行全面的测绘。综合性测量技术能够满足这一需求。利用 GPS 进行工程区域的精确定位和测量控制点的建立；多波束测深系统测量海底地形，确定海底的平整度和地质条件，为基础设计提供依据；侧扫声呐系统探测并排查海底障碍物，确保施工安全。在工程建设中，还可以采用综合性测量技术对工程设施进行实时监测，保障工程的稳定性和安全性^[6]。

（五）海洋航道测量

海洋航道测量同样需要依靠综合性测量技术。利用多波束回声测深系统可以精确测绘航道水深，测量结果可直接应用于航道图的编制。配合 DGPS 等定位设备，还可以准确获取航道中障碍物的位置信息。此外，还可以运用声学成像系统、侧扫声呐等手段在航道两侧勘察水下地形，为航道的合理设计和维护提供依据。同时，结合气象遥感数据，还能对航道附近的环境变化进行监测预警，为航行安全提供保障。

四、综合性测量技术在海洋测绘中的关键技术要点

（一）数据处理与融合技术

综合性测量技术在海洋测绘中的应用，需要对获取的多源数据进行处理和融合，以提高数据的可靠性和有效性。首先，需要对各类传感器获取的原始数据进行预处理，包括去噪、校正、坐标转换等，消除测量过程中的系统和随机误差。其次，将不同传感器获取的数据进行融合，利用数据融合技术实现数据的有机结合。常用的数据融合方法包括基于加权的融合、基于模糊理论的融合、基于神经网络的融合等。通过数据融合，可以充分利用各类传感器的优势，提高最终数据的精度和可靠性。最后，还需要

对融合后的数据进行进一步处理，如三维重构、空间分析、数据可视化等，以满足海洋测绘的各种应用需求^[7]。

（二）测量精度评定方法

综合性测量技术在海洋测绘中的应用，需要针对不同传感器的性能特点，采用适当的测量精度评定方法，确保测量数据的质量。首先，需要建立完善的精度评价指标体系，包括绝对精度、相对精度、重复性等指标，全面反映测量结果的精度水平。其次，可以利用实验室标准品或现场控制点等手段，开展精度验证试验，测试各类传感器在不同工作环境下的实际测量精度。此外，还可以采用数值模拟的方法，基于传感器的技术指标和工作环境参数，预测其测量精度。通过系统的精度评定，可以为综合性测量系统的设计优化和测量结果的合理应用提供依据。

（三）系统集成与应用

综合性测量技术在海洋测绘中的应用，需要将多种传感器和数据处理单元集成为一个完整的测量系统，实现全面的数据采集和处理。首先，需要根据测绘任务的具体要求，合理选择各类传感器，如多波束测深仪、水声测量设备、激光扫描仪等，并优化其安装位置，确保各传感器之间的协调配合。其次，需要研究不同传感器数据的接口协议和数据格式，开发数据采集与融合软件，实现数据的高效集成。最后，将集成后的测量系统应用于实际的海洋测绘任务中，如海底地形测量、海洋环境监测、水下目标探测等，验证系统的综合性能。通过系统集成与应用，可以充分发挥综合性测量技术在海洋测绘中的优势，提高测绘效率和数据质量^[8]。

五、结束语

综上所述，综合性测量技术在海洋地形测量、环境监测、资源勘探等众多海洋测绘应用领域发挥着不可或缺的作用。通过将 GPS、多波束测深系统、侧扫声呐系统等多种测量技术有机结合，不仅提高了测绘工作的效率和精度，也为海洋开发利用提供了重要的信息支撑。随着新技术的不断涌现，综合性测量技术必将在海洋测绘中发挥更加重要的作用，为海洋经济社会发展做出更大贡献。

参考文献

- [1] 孟森. 综合性测量技术在海洋测绘中的应用 [J]. 工程技术研究, 2018, (03): 71-72.
- [2] 刘文龙. 侧扫声呐技术在海洋测绘中的应用 [J]. 珠江水运, 2024, (15): 16-18.
- [3] 杨晓彬. 遥感技术及其在海洋测绘领域中的应用 [J]. 科技创新与应用, 2023, 13(14): 185-188.
- [4] 刘楚源. 侧扫声呐技术在海洋测绘中的探索与实践 [J]. 中国高新科技, 2024, (14): 42-44.
- [5] 张兴强, 龙英胜, 李有福. 侧扫声呐技术在海上风电场施工中的应用 [J]. 港口科技, 2020, (01): 34-40.
- [6] 曹兰杰, 陈小华. 声呐与多波束测深技术在海底管道检测中的应用 [J]. 现代测绘, 2022, 45(06): 57-60.
- [7] 徐乐, 王艺聪. 侧扫声呐技术及其在海洋测绘中的应用探讨 [J]. 中小企业管理与科技 (中旬刊), 2017, (12): 150-151.
- [8] 林海文, 蚁群川, 方杰. 几种探测方法在海洋地形测绘中的应用 [J]. 测绘与空间地理信息, 2023, 46(06): 188-190+194.

区域差异下工业物联网资源分配策略研究

孙旂伟, 宋金华

河北科技学院, 河北 唐山 063200

摘 要：工业物联网（IIoT）作为推动区域经济发展的重要驱动力，其资源分配策略的优化对区域经济均衡发展具有重要意义。然而，区域间在经济、技术、政策和基础设施等方面的差异，导致 IIoT 资源分配存在显著不均衡现象。本文通过分析区域差异对 IIoT 资源分配的影响，构建基于多维度区域差异的 IIoT 资源分配模型，并提出了针对不同区域特征的资源分配策略。经济发达区域应注重技术创新，经济欠发达区域应优先完善基础设施；技术先进区域应推动技术扩散，技术落后区域应加强技术引进；政策支持力度大的区域应发挥政策引导作用，政策支持力度小的区域应优化政策环境；基础设施完善区域应优化资源配置，基础设施薄弱区域应加强基础设施建设。

关 键 词：区域差异；工业；物联网；资源分配

Research on the Resource Allocation Strategy Of Industrial Internet Of Things under Regional Differences

Sun Yiwei, Song Jinhua

Hebei University of Science and Technology, Tangshan, Hebei 063200

Abstract：As the industrial Internet of Things (IIoT) is an important driving force for regional IoT development, the optimization of its resource allocation strategy is of great significance to the balanced development of regional economy. However, the regional differences in economy, technology, policy and infrastructure lead to a significant imbalance in the allocation of IIoT resources., this paper analyzes the influence of regional differences on IIoT resource allocation, constructs an IIoT resource allocation model based on multi-dimensional regional differences, and proposes resource allocation strategies for different regional characteristics. Economically developed areas should pay attention to technological innovation; economically underdeveloped areas should give priority to infrastructure improvement; areas with advanced technology should promote technology diffusion and backward areas should strengthen technology introduction; areas with strong policy support should play policy guidance role; areas with small policy support should optimize policy environment; areas with perfect infrastructure construction should optimize resource allocation, and weak infrastructure should strengthen infrastructure construction.

Keywords：regional differences; industry; Internet of Things; resource allocation

引言

在工业 4.0 蓬勃发展的时代背景下，工业物联网（IIoT）已然成为驱动制造业向高端化转型以及拉动区域经济增长的关键动力。IIoT 借助传感器、网络技术与数据分析技术的深度交融，达成了生产流程的智能化、高效化以及精准化目标，为企业与社会创造出了极为可观的经济价值^[1]。然而，由于各区域在经济基础、技术水平、政策导向以及基础设施建设等层面存在显著差异，致使 IIoT 资源的分配呈现出明显的不均衡态势。这种不均衡状况不仅对 IIoT 的大规模推广应用形成阻碍，还进一步加剧了区域经济发展的失衡局面^[2]。现阶段，有关 IIoT 资源分配的研究，大多聚焦于技术落地与经济效益评估等方面，而对区域差异所产生的影响关注度相对较低。事实上，区域差异作为影响 IIoT 资源分配的核心要素之一，其内在作用机理以及相应的优化策略，至今尚未得到全面且系统的研究。为此，本文将深入探究区域差异对 IIoT 资源分配的具体影响，并据此提出具有针对性的资源分配策略，以期科学优化 IIoT 资源分配、推动区域经济的协调均衡发展，提供坚实的理论支撑与切实可行的实践指引。

作者简介：

孙旂伟（2002—），男，汉族，河北保定人，本科，研究方向：物联网工程；

宋金华（1999—），女，汉族，河北衡水人，本科，初级职称，研究方向：思想政治教育。

一、区域差异对工业物联网资源分配的影响

区域间的差异在工业物联网（IIoT）资源分配方面呈现出多维度的影响，具体涉及经济、技术、政策以及基础设施等诸多层面^[3]。经济层面，经济繁荣地区具备更为雄厚的资源投入实力与庞大的需求规模，其资源配置通常聚焦于高端技术的研发及应用推广；反观经济相对落后地区，在资源分配上更多地仰仗外部支援，且主要集中于基础设施搭建以及初级技术的应用。技术维度，技术领先地区凭借强劲的研发能力与丰富的技术储备，能够实现资源的高效配置并有力推动技术扩散；而技术滞后地区则主要依赖技术引进与基础性应用。在政策方面，政策扶持力度大且稳定的地区，能够为 IIoT 建设提供充裕的资金与政策保障，进而使资源分配更具高效性与可持续性；政策支持匮乏的地区，资源分配则面临诸多不确定性。从基础设施角度看，基础设施完备的地区可为 IIoT 提供稳定的网络、能源及物流支撑，促使资源分配高效进行；而基础设施薄弱地区的资源分配更多地围绕基础设施建设展开，难以充分挖掘 IIoT 的潜在价值。鉴于此，欲优化 IIoT 资源分配策略，必须全面考量区域差异，制定具有针对性的资源配置方案，以此达成区域经济的均衡发展。

二、工业物联网资源分配模型构建

在考虑区域差异的基础上，构建适用于工业物联网（IIoT）的资源分配模型，可实现对有限资源的科学、合理配置，进而促使整体效益达到最大化。此模型通过明确的假设条件界定了研究的基本前提，借助构建的框架提供了结构化的分析路径，依靠精准的变量定义保证了模型的严谨性，凭借特定的求解方法给出了具体的实施步骤。该模型不仅为 IIoT 资源分配奠定了坚实的理论基础，还提供了切实可行的实践指引，对推动区域经济的均衡发展具有重要意义。

（一）模型假设

在构建契合区域差异背景的工业物联网（IIoT）资源分配模型进程中，首要任务是清晰界定一系列基本假设及前提条件。第一，不同区域于经济、技术、政策以及基础设施等层面呈现出显著的差异化特征，且这些差异将对 IIoT 资源分配产生直接作用^[4]。第二，IIoT 资源涵盖资金、技术、设备、人才等多个方面，其总量具有有限性，因而必须在不同区域间实施合理配置。第三，资源分配旨在实现 IIoT 整体效益的最大化，同时充分考量区域的均衡发展^[5]。第四，资源投入与产出之间呈现线性关联，即随着资源投入的增加，相应效益亦会随之提升。第五，诸如区域经济指标、技术水平、政策支持力度、基础设施状况等相关数据具备可获取性，且拥有较高的准确性与可靠性。上述假设为该模型的构建奠定了坚实的理论基石与现实支撑。

（二）模型框架

基于前述假设，搭建起适用于区域差异情境下的工业物联网（IIoT）资源分配模型架构。此架构涵盖五大关键模块：（1）输入模块。其职责在于采集各区域经济状况、技术水平、政策导向以及基础设施等多方面数据，这些数据构成资源分配的基石；（2）权重计算模块。该模块依据区域间存在的差异，精准计算各区域于资源分配进程中的权重数值，此权重体现了区域对 IIoT 资源需求的优先程度；（3）资源分配模块。该模块以权重计算结果

与资源总量为依据，将 IIoT 资源合理分配至各个区域，力求达成资源分配的最优化状态；（4）效益评估模块。主要对资源分配后所产生的整体效益展开评估，其中涵盖经济效益、技术效益以及社会效益等多个维度；（5）反馈优化模块。此模块依据效益评估的结果，对资源分配策略予以调整，从而实现动态优化的目标。这一架构为 IIoT 资源分配提供了一套体系化的分析路径与方法。

（三）变量定义

该模型所涉及的变量包括区域集合、资源总量、区域权重、资源分配量、效益函数、目标函数及约束条件^[6]。区域集合代表所有分析区域的综合体，每一地区视作一个独立的研究单位；资源总量则指可用于工业互联网（IIoT）建设的总资源；区域权重体现了各区域在资源分配中的优先程度，其权重由经济、技术、政策和基础设施等多个因素综合评估确定；资源分配量则是指分配到各个区域的具体资源数量；效益函数则描述了在特定资源分配下各区域所获得的效益，包括经济、技术及社会等多个方面的收益；目标函数设定了资源分配的最终目标，即最大化整体效益；约束条件则确保资源的总体分配不超出可用资源的总量。这些变量共同为模型的建立及其求解过程奠定了坚实的量化基础。

（四）模型求解

模型求解过程涵盖一系列关键环节，具体有数据收集及预处理、权重计算、资源分配优化、效益评估与反馈优化。第一步，对各区域在经济、技术、政策以及基础设施等方面的数据展开全面收集，随之实施标准化操作，以保障数据具备可对比性。第二步，运用层次分析法（AHP）或者熵值法，基于区域间的特性差异来算出各区域的权重。第三步，搭建目标函数以及约束条件，借助线性规划或者动态规划方式求解得到最优的资源分配数量。第四步，依据资源分配的实际成果，测算各区域所获效益，并对整体效益加以评估。第五步，按照评估结论，对权重或者资源分配策略进行调整，重新对模型求解，达成动态优化的目的。该求解流程有效保证了资源分配在科学性与合理性方面的要求。

三、区域差异下工业物联网资源分配策略

在工业物联网（IIoT）的发展过程中，各区域在经济、技术、政策以及基础设施等方面呈现出的差异，致使资源分配面临多样化需求。以区域差异为导向构建的 IIoT 资源分配策略，可切实回应此类差异，达成资源的合理布局与高效运用。借由精准制定契合区域特性的策略，能够有力推动区域间的协同共进，助力 IIoT 技术更为广泛地渗透应用，加速产业升级步伐，进而促使区域经济迈向均衡发展之境，并最大限度地提升整体效益。

（一）基于经济差异的策略

经济层面的差异，在工业物联网（IIoT）资源配置影响因素体系中占据核心地位。各个区域因经济发展程度的不同，在技术需求与应用能力方面呈现出显著差异。基于经济差异所构建的策略，借助对诸如 GDP、人均收入、产业结构以及企业数量等多项指标的评估，将不同区域划分为经济发达地区与欠发达地区。在经济发达地区，由于其具备较高的经济发展水平，对技术有着强烈的需求。因此，该地区资源分配重点集中于高端技术的研发创新、创新性应用的推广普及以及产业链的优化升级。具体举措涵盖设立专项基金，用于支持 5G、人工智能与 IIoT 的融合性应用，大力推动智能制造、智慧物流等前沿领域的进步。同时，通过政策引导以及市场机制的双重作用，激励企业增加研发资金投入，

促使产业链朝着高端化、智能化方向迈进。而对于经济欠发达地区,因其经济发展水平相对较低,技术应用能力存在一定局限。故而,资源分配的主要目标设定在基础设施的建设完善、基础技术的应用推广以及专业人才的培养储备上。具体实施方案包括运用政府补贴或者 PPP 模式,完善网络覆盖、能源供应以及物流体系等基础设施,并引入成熟的 IIoT 技术,推进设备监控、生产管理等基础应用的落地。此外,积极鼓励经济发达地区向欠发达地区进行技术转移,构建资源共享机制,以此推动区域间产业的协同发展,逐步缩小区域经济差距,最终达成 IIoT 技术的广泛应用以及区域经济的均衡发展。

（二）基于技术差异的策略

技术差异是反映区域间工业物联网（IIoT）发展水平的关键指标,直接影响资源配置的优先顺序与取向。基于这一差异,制定相应的策略,通过对研发支出、专利数量、技术企业的密度以及技术应用程度等多维指标的评估,将地区划分为技术领先区和技术滞后区。在技术领先区,其技术能力相对较强,资源投放的重心则倾向于推动技术的深度发展与广泛传播,致力于支持尖端技术的研究与标准制定。具体措施包括促进 5G、人工智能与 IIoT 的深度融合,强化技术外溢能力,通过技术合作项目及服务平台,将先进技术引入其他地区。同时,鼓励企业参与全球技术竞争,加快技术标准的倡导与国际化进程。相对而言,技术滞后区的整体技术能力较弱,资源配置的战略则应主要集中在技术的引进与基础应用层面。对此,通过技术合作,获取成熟的 IIoT 解决方案,开展技能提升培训,搭建技术服务平台,以增强区域的应用能力。同时,倡导技术领先区向落后区域进行技术转移,构建资源共享机制,促进各区域间的技术协同发展,缩小技术差距,实现广泛的 IIoT 技术应用和区域经济的协调发展。

（三）基于政策差异的策略

政策扶持是促进工业物联网（IIoT）发展的关键推动力,然而,各区域在政策实施力度及稳定性方面呈现出明显的不同。基于这种政策上的差异,相应策略需对 IIoT 相关政策的数量、资金投入额度、政策稳定性等多项指标展开评估,进而将区域划分为政策扶持力度强劲且稳定的区域,以及扶持力度欠缺的区域。在政策扶持力度较大的区域,其政策环境具备显著优势,资源配置主要围绕规模化应用与产业生态构建这两个核心目标。具体措施涵盖借助政策导向吸引企业进行投资并鼓励技术创新,同时支持产业链整合以及产业集群的建设工作。此外,积极鼓励地方政府制定契合本地实际情况的 IIoT 发展政策,推进政策试点工作的开展,构建政策评估机制,以此确保政策能够有效性与可持续性。针对政策扶持力度不足的区域,其政策环境相对薄弱,资源配置的重点则放在获取外部支持与完善市场化机制上。具体方案包含通过政府间的合作来引入外部政策支持,吸引社会资本的投入,大力推动市场化机制的形成,从而弥补政策支持方面的短板。与此同时,同样鼓励地方政府结合本地实情制定适宜的 IIoT

发展政策,推动政策试点进程,建立政策评估体系,保障政策的有效实施与持续发展,最终达成 IIoT 技术在区域内的广泛应用以及区域经济的均衡发展。

（四）基于基础设施差异的策略

基础设施是工业物联网（IIoT）发展的关键基础,不同地区的基础设施水平对其技术应用能力产生直接影响。基于基础设施的差异性,相关策略通过对网络覆盖、能源供给、物流系统以及工业互联网平台建设等要素进行评估,将各地区划分为基础设施完备与薄弱两类。对于基础设施完备的地区,其条件相对优越,因此资源配置的重点应放在技术的应用与优化提升上。具体措施包括支持智能工厂、工业互联网平台和智慧物流等高端应用的推行,以促进基础设施的升级改造。此外,应鼓励企业加大在智能化和高效化基础设施方面的技术投入。相较之下,基础设施薄弱的地区面临条件不足,因此其资源配置应侧重于基础设施的建设与提升。为此,建议采取政府投资或公私合营（PPP）模式,以加强网络覆盖、能源供应和物流体系,进而提高地区的基础设施水平。同时,须推动区域间基础设施的互联互通,鼓励经济发达地区向欠发达地区提供技术援助,构建资源优化配置机制,以实现工业物联网技术的普遍应用与区域经济的协调发展。

（五）实施与优化

当完成基于经济、技术、政策以及基础设施等方面差异而制定的资源配置策略后,重点便落在如何对其进行有效实施与动态优化。在实施环节,需依据既定方案将资源合理配置至各个区域,并构建监督机制,定时对资源使用状况展开检查,以此保障资源分配具备科学性与有效性。借助技术效益、经济效益以及社会效益等多项指标,对资源分配的成效加以评估,依据评估结论对策略予以调整,进而建立起动态优化机制。这一进程不仅能够切实保障资源得以高效利用,而且还能有力推动区域间的协同共进,最终达成 IIoT 技术的广泛应用以及区域经济的均衡发展目标。此外,应积极鼓励地方政府与企业参与到资源分配的监督与评估工作当中,促进资源分配朝着透明化、公平化方向发展,再次确保资源分配的科学与有效性,助力实现 IIoT 技术的广泛应用以及区域经济的均衡发展。

四、结束语

本研究通过分析区域差异对工业物联网（IIoT）资源分配的影响,构建了基于多维度区域差异的 IIoT 资源分配模型,并提出了针对不同区域特征的资源分配策略。区域差异对 IIoT 资源分配具有显著影响,优化资源分配策略需要充分考虑区域的经济、技术、政策和基础设施特征。未来研究可以进一步结合动态区域差异分析,探索多区域协同资源分配策略,以期对 IIoT 资源分配的优化提供更加全面的理论支持和实践指导。

参考文献

- [1] 丘航丁,林瑞全,刘佳鑫,等.基于深度强化学习的认知物联网资源分配的策略研究[J].信息安全与通信保密,2023(3):82-92.
- [2] 王婷婷,甘臣权,张祖凡.面向工业物联网的移动边缘计算研究综述[J].计算机应用与软件,2023,40(1):1-10.
- [3] 李松,张继钰,陈瑞瑞.面向工业物联网的短包安全通信资源智能分配算法[J].南京邮电大学学报(自然科学版),2023,43(2):11-17.
- [4] 周鹏,徐金城,杨博.工业物联网中基于边缘计算的跨域计算资源分配与任务卸载[J].物联网学报,2020(2):9.
- [5] 杨萌.多区域协调调度下的物联网异构数据源资源配置方法[J].广州航海学院学报,2023,31(2):64-69.
- [6] 李斌,沈渊,汪谢萌.面向工业物联网的边缘计算卸载方法研究[J].无线互联科技,2023,20(1):156-158.

研究微机监测技术在铁路信号维护中的应用

王诚

国能朔黄铁路发展有限责任公司原平分公司，山西 原平 034100

摘 要： 随着铁路运输的快速发展，传统的信号维护方式已难以满足现代铁路系统的需求。微机监测技术作为一种先进的监测手段，为铁路信号维护带来了革命性的变革。本研究首先介绍了铁路信号系统的组成、微机监测技术的基本原理，随后详细分析了该技术在铁路信号设备状态监测、故障诊断和预测性维护中的应用，以期对相关从业人员提供有益参考。

关 键 词： 微机监测技术；铁路；信号维护

Research on the Application of Microcomputer Monitoring Technology in Railway Signal Maintenance

Wang Cheng

Original Ping Branch of Guoneng Shuohuang Railway Development Co., Ltd. Yuanping, Shanxi 034100

Abstract： With the rapid development of railway transportation, the traditional signal maintenance methods have been difficult to meet the needs of modern railway systems. As an advanced monitoring means, microcomputer monitoring technology has brought revolutionary changes to railway signal maintenance. This study first introduces the composition of the railway signal system and the basic principles of microcomputer monitoring technology. Subsequently, it analyzes in detail the application of this technology in the condition monitoring, fault diagnosis, and predictive maintenance of railway signal equipment. Through practical cases, the specific application effects of microcomputer monitoring technology in railway signal maintenance are discussed, aiming to provide useful references for relevant practitioners.

Keywords： microcomputer monitoring technology; railway; signal maintenance

引言

在科技持续进步的当下，微机监测技术在铁路运营体系里实现了大规模普及与应用。铁路系统在日常运转期间，信号系统发挥着关键且不可或缺的作用。为了确保铁路系统有条不紊地运行，一方面，需要周期性地对信号设备开展检测与维护工作，防止设备出现故障；另一方面，要大力引入微计算机监测技术，以此提升系统检测的效率，进而全方位保障铁路信号系统安全、平稳地运行。

一、铁路信号基础设备的组成

铁路信号系统作为确保列车安全、高效运行的重要保障，其基础设备的组成涵盖了多个关键部分。主要包括信号灯、道岔控制装置、轨道传感器、车载信号设备、控制中心及通信系统等。这些设备共同协作，实现了列车的调度、运行监控和安全保障功能。首先，信号灯是最为基础的设备，主要用于显示列车行进的状态，指示列车是否可以继续前进。信号灯一般有红、绿、黄等颜色，通过不同的信号组合，提示驾驶员前方的交通情况，例如红灯表示停车，绿灯表示可以前行，黄灯表示注意减速或准备停车。其次，道岔控制装置负责列车轨道的切换。道岔控制系统通过信号系统实现远程控制，确保列车按照预定路线行驶。道岔的

控制准确性直接影响到列车运行的安全，尤其在繁忙线路上，道岔的可靠性和灵活性至关重要。轨道传感器则用于监测列车经过的实时状态，如车速、车重、位置等信息，确保列车与信号系统之间的互动实时有效^[1]。这些传感器通常安装在轨道或车上，通过数据传输给控制系统，为调度员提供准确的列车运行数据。此外，车载信号设备是现代列车上必备的设备之一，通常用于接收和发送信号信息，确保列车与轨道信号设备的配合。车载信号设备还可以实时向驾驶员提供行车信息，如车速限制、前方障碍等。最后，控制中心与通信系统为整个信号系统的指挥与协调提供支持。通过高速通信网络，信号系统可以实现数据的即时传输和处理，确保调度员能够快速响应突发情况，保证铁路运输的安全和高效运行。

二、微机监测技术概述

微机监测技术是一种基于计算机和传感器网络的先进监测方法，它通过实时采集、处理和分析设备运行数据，实现对设备状态的全面监控。该技术的基本原理是利用各种传感器采集设备的运行参数，如电压、电流、温度等，然后将这些数据传输到计算机系统进行分析处理，从而实现对设备运行状态的实时监测和故障诊断。

三、微机监测技术在铁路信号维护中的应用

（一）监测并记录系统情况

在铁路信号系统的运作过程中，微机监测技术能够快速识别潜在的故障，保障信号系统的高效管理与监测。虽然在运营过程中完全避免故障是难以实现的，但为了确保系统稳定运行，应尽早发现并处理较小的故障问题。对于更为复杂的故障，首先必须准确定位故障源，这一过程可能需要较长的时间，并且修复成本较高。而在处理复杂故障时，可能需要大规模的维修和处理工作，且修复过程也相对耗时。只有在明确确定故障根本原因后，才能采取有效的修复措施。微机监测技术不仅可以监控铁路运行状态，还能对交通信号系统进行全天候、实时监控，从而确保系统得到有效的管理。通过及时识别和解决系统中的异常数据与故障问题，采取有效的措施进行故障排除，从而缩短系统恢复时间，确保系统尽快恢复正常状态。

（二）避免道岔故障的产生

道岔故障是铁路信号系统中常见的故障类型，若未能及时发现和修复，可能会导致列车运行偏离轨道、发生碰撞等严重事故。微机监测技术在道岔故障的预防和处理方面起到了关键作用。首先，微机监测技术通过安装在道岔处的传感器和监控设备，能够实时检测道岔的工作状态和机械运动情况。当道岔的切换操作出现异常时，监测系统能够迅速发出警报，并将相关故障信息传输至控制中心。这样，控制中心能够第一时间对故障进行定位和处理，避免了道岔故障对列车安全造成威胁。此外，微机监测系统不仅能检测道岔的即时状态，还能够对其工作环境进行长期数据积累与分析^[2]。例如，通过对道岔工作频率、使用寿命等数据的监控，微机监测技术能够预测道岔设备的潜在故障风险，并提前做出维修或更换的计划。通过这样的预测性维护，能够有效减少道岔故障的发生频率，提升铁路运行的安全性。在实际应用中，微机监测技术还结合了故障诊断和数据分析算法，对出现的异常进行智能判定。当检测到道岔存在异常时，系统不仅能报警，还能根据故障类型自动选择合适的修复方案，为工作人员提供清晰的操作指导，从而提高修复效率，减少停运时间。

（三）监测信号系统设备电气状态

微机监测技术还能够全面监测信号系统设备的电气状态。通过安装在设备上的传感器，系统能够实时采集电压、电流、电阻等电气参数，并将这些数据传输到中央计算机系统进行分析。通过对这些数据的分析，系统能够判断设备的电气状态是否正常，

是否存在潜在的故障风险^[3]。例如，当信号机的电压波动超过允许范围时，系统会立即发出警报，提醒维护人员检查电源线路或设备内部电路。此外，系统还可以监测设备的接地电阻，确保设备在雷雨天气下的安全运行。这种全面的电气状态监测不仅能够提高设备的运行可靠性，还能为设备的维护和保养提供科学依据。例如，通过分析设备的电流曲线，维护人员可以判断是否存在接触不良或短路问题，从而采取针对性的维护措施。通过这种精细化的监测，微机监测技术为信号设备的稳定运行提供了有力保障。

（四）建立数据库便于分析信息

铁路信号设施是铁路安全运行的关键要素，其中信号机更是重中之重，它在列车行驶全程都发挥着不可替代的作用，指引列车安全抵达站点，保障列车行驶安全。为达成这一目标，铁路职工务必始终确保信号系统稳定且精准。信号机宛如铁路交通的“指挥官”，有力保障列车沿预定轨道平稳前行。为提高信号监测水平，大力研发和创新信号设备检测技术迫在眉睫。借助实时数据采集技术，信号机能够精准获取铁路运行时的各类数据，这些数据对保障信号设备稳定、高效运行意义重大。与此同时，微机监测技术可实时监管各类信号设备，完成数据存储与传输，还能依照用户需求灵活搭建数据库。系统能迅速处理、分析采集到的数据，精准识别潜在隐患，为信号设备维护提供极具价值的参考数据^[4]。计算机监控中心采集、处理数据后，将其整理成逻辑清晰的表格，便于技术人员日后维护设备。通过对比分析信号设备的工作状态，系统直观呈现出技术支持内容，为后续维护工作提供切实有效的依据。

四、应用微机监测加强铁路信号设备维护的有效手段

（一）提高准备工作的准确性

在铁路信号设备的维护中，准备工作的准确性直接关系到维护效率和质量。微机监测技术通过实时采集设备的运行数据，如电压、电流、温度等关键参数，为维护人员提供了全面、准确的信息支持。例如，在进行设备检修前，系统可以生成设备的运行状态报告，包括当前运行参数、历史数据趋势以及潜在故障预警。维护人员可以根据这些数据制定详细的检修计划，明确需要检查的重点部位和可能存在的问题。此外，系统还可以提供设备的标准运行参数范围，帮助维护人员快速判断设备是否处于正常状态。这种基于数据的准备工作不仅能够提高维护的针对性，还能避免因信息不准确而导致的重复检修或遗漏关键问题，从而显著减少检修时间和成本。同时，系统还可以记录每次检修的过程和结果，形成完整的维护档案，为后续工作提供参考依据。

（二）重视微机监测设备的日常检查维护

在铁路信号系统的实际运转过程中，我们不难发现，细致入微且全面系统的日常维护，能够有效延缓硬件设备的老化进程，显著降低其性能衰退的速率。因而为保障铁路信号安全无虞地运行，相关责任主体需精心制定科学合理的日常维护计划，并对维护工作的落实情况进行严格把控^[5]。针对道岔，轨道电路，信号

机，连锁系统等关键设备与零部件，务必构建详实完备的管理规范，让维护人员对各项检查与维修的时间节点、具体操作流程了然于心，杜绝设备管理环节出现任何差错，以及未能按时提交每日检查报告的情况发生。另外，日常维护管理工作还应聚焦于提升工作效率，同时尽可能削减资源损耗与成本开支。^[6]在此前提下，拟定连锁设备的使用班次安排以及维修周期报告尤为关键。这类工作需要依据系统的实际运行模式，对人员与资源进行优化配置，合理有序地部署维护任务。例如，部分铁路企业采用设备轮换机制，定期对暂时停用的设备展开维护保养，并且充分借助计算机系统的自我监测功能。^[7]基于此，增设了多种传感器用于实时监测电流和温度的动态变化，进而使计算机连锁系统得以实现信号的精准控制与自动调节。

（三）加强微机监测技术人员的培训

公司应制定系统的培训计划，定期组织技术人员参加培训课程。培训内容应涵盖微机监测技术的基本原理、系统架构、传感器的工作原理以及数据分析方法等基础知识。同时，还需要结合实际操作，培训技术人员如何正确安装和调试传感器、如何配置和操作监测系统、如何分析和解读监测数据等实用技能。^[8]此外，培训还应包括故障诊断和处理的专项课程，帮助技术人员掌握常见故障的判断方法和处理流程。例如，通过模拟故障场景，让技术人员在实际操作中学习如何快速定位问题并采取有效措施。为了确保培训效果，可以引入考核机制，对技术人员的理论知识和实际操作能力进行定期评估。^[9]同时，培训还能增强技术人员的故障处理能力，确保在设备出现故障时能够迅速响应和处理，最大限度地减少故障对铁路运行的影响。

（四）加强微机监测与数据分析结合，提升故障预测能力

微机监测技术不仅能够实时采集设备运行数据，还能通过数据分析技术进行深度处理，从而大大提升铁路信号设备的故障预

测能力。通过对设备长期运行数据的积累与分析，微机监测系统可以识别出设备的异常模式，并结合大数据技术，对设备的健康状况进行准确评估。首先，微机监测系统能够持续跟踪设备运行时的电压、电流、温度等关键参数，通过数据波动和趋势分析，可以提前发现潜在故障的征兆。^[10]例如，温度的剧烈波动、电流的异常波动等，可能是设备内部存在故障的先兆。系统可以通过设定阈值，在设备达到一定异常水平时发出预警信号，提醒维修人员提前进行检查和干预，从而减少故障发生的概率。此外，微机监测系统能够进行历史数据的对比与分析，通过分析设备的长期运行趋势，识别设备老化或损耗的规律，为设备的更新换代提供数据支持。比如，通过对道岔的控制频率、信号机的使用时长等数据进行监测，能够准确预测设备的使用寿命，确保在设备性能下降之前进行及时的维护或更换。结合预测性维护模型，微机监测技术能够帮助铁路部门制定更加科学的维修计划，降低突发性故障的发生。因此，通过将微机监测与数据分析相结合，不仅能提高铁路信号设备的故障预测能力，还能显著提高设备维护的精准度和效率。

五、结束语

在我国经济迅猛腾飞的大背景下，铁路领域紧跟时代步伐，正处于蓬勃发展的黄金时期。把微机监控系统大规模运用到铁路信号设备的维护作业中，极大地增强了系统的安全性与稳定性，显著降低了系统信号设备的故障发生率，并且朝着故障零发生的目标稳步迈进。从长远来看，这种智能化的监控体系不仅保障了铁路信号系统的可靠运行，还推动了铁路运输效率的提高，为我国铁路行业迈向更高水平的发展奠定了坚实基础。

参考文献

- [1] 高帅. 铁路信号智能实训系统中检测模块的设计与实现 [D]. 兰州交通大学, 2024.
- [2] 禄占林. 微机监测技术在铁路信号维护中的应用 [J]. 设备管理与维修, 2023, (18): 176-177.
- [3] 刘臻. 微机监测技术在铁路信号设备维护中的应用研究 [J]. 中国新通信, 2021, 23 (04): 121-122.
- [4] 时磊. 关于信号微机监测技术在铁路信号系统应用的研讨 [J]. 中国设备工程, 2020, (24): 165-167.
- [5] 乔丽平. 大数据分析技术在铁路信号微机监测管理中的研究与应用. 河北省, 邢台职业技术学院, 2020-01-13.
- [6] 刘海潮. 铁路信号设备维护微机监测技术应用 [J]. 中文科技期刊数据库 (全文版) 工程技术, 2024(002):000.
- [7] 常怿. 如何利用微机监测系统分析和处理铁路信号设备故障 [J]. 信息系统工程, 2023(4):83-85.
- [8] 那岚. 基于循环神经网络的无绝缘移频轨道电路故障预测研究 [D]. 北京交通大学, 2023.
- [9] 刘朋洁. 如何利用微机监测系统分析和处理铁路信号设备故障 [J]. 电脑校园, 2023:4037-4038.
- [10] 李传建. 城市轨道交通信号智能运维系统的设计与应用 [J]. 设备管理与维修, 2023(8):10-13.DOI:10.16621/j.cnki.issn1001-0599.2023.04D.05.

低空无人机测绘技术在输电通道巡检中的应用

吴贵先

维坤智能科技（上海）有限公司，上海 200030

摘要：随着电力网络覆盖范围的持续扩展，传统输电线路巡检方式在作业效率、安全风险及区域覆盖等方面面临多重挑战。本研究聚焦低空无人机数字摄影测量技术创新应用，针对输电通道巡检需求开展系统性研究。通过优化无人机型选策略、改进航摄流程设计、研发全景影像无控拼接算法等技术路径，构建了适应复杂地形环境的智能测绘作业体系。实证研究表明，基于全自动航线规划算法与多源数据融合处理技术，可实现巡检作业安全系数提升42%，缺陷识别精度达到毫米级，为电网设施全生命周期管理提供了动态监测手段与智能决策依据，有效推动了新型电力系统运维模式的数字化转型。

关键词：低空；无人机测绘；输电通道巡检

Application of Low-Altitude UAV Mapping Technology In Transmission Channel Inspection

Wu Guixian

Weikun Intelligent Technology (Shanghai) Co., Ltd. Shanghai 200030

Abstract： With the continuous expansion of the power network coverage, the traditional transmission line inspection method faces multiple challenges in terms of operation efficiency, security risk and regional coverage. This study focuses on the innovative application of digital photogrammetry technology of low-altitude UAV, and carries out systematic research on the inspection needs of transmission channels. By optimizing the uav selection strategy, improving the aerial photography process design, developing and developing the panoramic image uncontrolled splicing algorithm and other technical paths, the intelligent mapping operation system adapted to the complex terrain environment is constructed. Empirical studies show that based on automatic route planning algorithm and multi-source data fusion processing technology, can realize inspection operation safety factor increased by 42%, defect identification accuracy to millimeter level, full life cycle management for power grid facilities provides dynamic monitoring means and intelligent decision basis, effectively promote the digital transformation of the new mode of power system operations.

Keywords： low altitude; UAV mapping; transmission channel inspection

前言

近年来，随着特高压输电工程的快速发展，架空输电线路空间分布广、地理环境复杂、人工巡检成本高等问题日益凸显。传统人工巡检方式受限于地形可达性、观测视角与作业效率，难以满足现代电网对通道安全的全天候、全覆盖监测需求。低空无人机测绘技术凭借其灵活机动、高分辨率影像采集等优势，为突破输电通道巡检技术瓶颈提供了新思路。当前研究多集中于设备选型与基础测绘，但在航线智能规划、多源数据融合等关键技术环节仍存在优化空间。本文聚焦输电通道巡检场景，从系统架构设计到影像处理全链条开展技术研究，通过对比分析人工操控与自动化作业模式的技术特性，构建适应复杂工况的无人机测绘技术体系，旨在为电力行业数字化转型提供理论参考与实践指导。

一、低空无人机数字摄影测量的概述

（一）系统组成架构

低空航测系统由多个功能模块协同构成，主要包含飞行平

台、地面控制单元、任务载荷设备、指挥控制链路及数据处理单元五大部分。飞行平台作为核心组成部分，集成高精度定位模块，如卫星定位系统、实时动态差分技术及动态后处理技术。该系统搭载可见光相机、多光谱传感器、热成像设备、三维激光雷

达等多种遥感设备执行数据采集，根据实际需求可灵活选配不同设备组合。

航测系统需通过专业测绘软件实现航拍数据的几何校正、特征点匹配及地形图绘制，系统核心模块主要涉及数字图像处理技术、空中三角测量解算、正射投影转换及专题地图制图等核心技术。在开展大面积地理空间信息采集时，依托高精度影像配准技术完成多源遥感数据的空间校正与智能融合，从而保证最终测绘数据的完整性和高精度。

（二）无人机选型原则

无人机选型应基于测绘任务需求、作业环境特征及设备性能指标进行系统分析。电力线路巡检需重点考虑线路总长度、地形起伏程度、光照强度限制及成像精度要求。实际作业中采取分级配置策略：对于视距良好的短距离航测任务，推荐配置 RTK 多旋翼无人机实现厘米级定位；针对信号遮挡的长距离巡检区域，建议选用 PPK 固定翼无人机，同步布设 GNSS 基准站和地面校准标志点。

（三）无人机类型选定

无人机选型需综合考虑测绘对象、区域范围、作业时段及设备性能特征。根据线路长度、区域环境特征、作业时间窗口与成图精度要求确定机型及载荷配置。短距离输电通道且通信条件良好时，通常选用配备 RTK 模块的多旋翼无人机执行低空航拍任务，适用于高精度成像需求^[1]。对于长距离输电通道或存在通信限制区域，复杂环境条件下优先采用搭载 PPK 系统的固定翼无人机开展低空航测，需在适当地面区域布设基准站、移动站及地面控制点。

二、低空无人机测绘技术在输电通道巡检中的应用价值

低空无人机测绘技术在输电通道巡检中的应用价值显著，其核心在于通过高精度空间数据采集与智能化处理，构建输电走廊三维数字孪生体系，实现从传统人工抽样检测向全域数字化监测的范式升级。该技术依托无人机平台搭载多光谱相机、激光雷达等传感器，结合北斗 RTK/PPK 差分定位技术（定位精度达厘米级），可快速获取通道走廊的正射影像、激光点云及红外热力数据^[2]。例如，四川泸州供电公司通过“北斗+5G+AI”系统，实现无人机自动规划巡检航线、实时回传 4K 影像，单次作业即可覆盖 0.24 平方公里区域，相较人工巡检效率提升 40 倍。其价值具体体现在两方面：一是突破复杂地形限制，在山区、沼泽等人工难以抵达区域，无人机可快速完成杆塔倾斜度测量（精度 $\pm 0.1^\circ$ ）、导线弧垂计算（误差 $< 5\text{cm}$ ）及植被净空距离分析；二是构建通道隐患数据库，通过 AI 识别模型自动标记违章建筑、超高树木等 13 类风险，使隐患识别准确率从 68% 提升至 92%，大幅降低外力破坏事故率^[3]。

技术创新层面，多源数据融合与云边协同计算成为关键突破。基于 DJI Phantom 4 RTK 无人机获取的 2000 万像素影像，结合深度学习算法可实现输电设备缺陷的实时动态识别，如绝缘子破损识别准确率达 89%、金具锈蚀检测响应时间缩短至 3 秒。云南电网的实践表明，通过激光点云建模可生成通道三维数字孪生体，精准测算线路交跨距离（误差 $< 0.3\text{m}$ ），指导清障作业效率

提升 60%。同时，5G 专网保障了巡检数据的安全传输，带宽峰值达 1Gbps，使百公里级输电通道的全景影像拼接耗时从 8 小时压缩至 1.5 小时。这些技术进步推动电力巡检从“被动抢修”转向“主动防御”，据国网数据显示，应用该技术后线路非计划停运次数同比下降 47%，年均节约运维成本约 120 万元/千公里^[4]。

三、低空无人机测绘技术在输电通道巡检中的应用方法

（一）低空无人机测绘方案试验设计

1. 研究目标

本研究基于实证分析方法，验证输电通道巡检系统中无人机装备与测绘工具的协同效能。研究重点包括以下技术参数：

（1）飞行控制系统的操作响应效率与自主导航算法的稳定性验证

（2）航测影像处理时效性及几何/辐射校正的技术可行性评估

（3）测绘软件生成的数字表面模型（DSM）精度验证，重点验证平面坐标与高程数据的精度误差是否满足行业标准

（4）构建人工控制与智能航测双模式下的影像质量评价体系，开展空间分辨率与几何畸变率的对比测试

2. 试验范围

本次试验选取某区域 220 kV 同塔双回输电线路交叉跨越区作为研究对象（试验区呈带状分布，长 880 米、宽 270 米，总面积约 0.25 平方公里）。该区域涵盖高速公路、国道等重要交通干线，输电走廊及周边分布有建筑物、高大植被和施工场地，同时包含多电压等级电力线路及通信线路。跨越段两端铁塔均位于山顶位置，形成典型山区输电通道特征。

3. 无人机平台选型

经综合比选，选用操作便捷、高度集成的 DJI Phantom 4 RTK 无人机平台及配套地面站系统。该系统集成 RTK 定位模块和 2000 万像素可见光相机，支持全自动航线规划与测绘作业，具备高精度定位能力，集成自动避障功能，并支持图像位置补偿技术。

（二）低空数字影像的获取

1. 常规测绘流程

无人机测绘作业可划分为外业数据采集与内业数据处理两大阶段。外业阶段包含现场踏勘与航测规划两大模块，涵盖地形勘察、飞行参数计算、地面控制点布设、RTK 定位系统校准等核心环节。内业阶段负责数据建模与产品生成，重点开展影像空三加密、三维建模及 DLG（数字线划图）、DEM（数字高程模型）、DOM（数字正射影像图）等地理信息产品制作，同步实施全景影像快速拼接等专项处理。

2. 航摄作业流程

本工程采用智能化航摄系统，通过地面站完成航测任务初始化，包含参数配置、航线智能规划及数据传输联调。系统具备全自动作业能力，无人机即可自主执行航摄任务，任务完成后自动返航并精准降落，实现全流程闭环作业。

3. 航摄参数技术指标

为确保影像拼接质量符合技术标准，航向重叠度应控制在

60%–65%区间。单点最小值不得低于56%，极值上限不超过75%。项目区域地貌特征呈现中部平原地形与东西两侧山体相间分布，基于地形特征采用主航线80%重复率与相邻航线60%重叠率的配置方案，同步实施航线角度优化算法。飞行器作业参数设定为：航高140米，航速7米/秒，影像分辨率4厘米，曝光间隔3秒。

4. 航线规划技术策略

航迹规划系统完成地面控制站航点布设后，依托自动化航迹生成模块构建往复式巡航路径。基于影像采集效能最大化原则，建议采用匀速巡航模式，通过强化航线几何形态规整性实现飞行稳定性控制。具体实施策略包括：采用蛇形路径拓扑结构降低航向变换频率，实施机动冗余度压缩算法减少非必要转向操作。

5. 全自动航摄作业系统

飞行器采用全自主导航飞行模式，抵近预设任务空域后，集成式光电传感器自动执行测绘采集程序。飞行控制链路支持地面监控系统实时追踪飞行器六维状态参数（三维坐标、俯仰/偏航/滚转姿态、通联质量），同步显示剩余航时等关键指标。航摄流程实施全自动化闭环控制，操作人员仅需执行系统状态监视职能。采集数据通过机载固态硬盘实现本地化存储，并依托高速数据链路完成至地面处理终端的无损传输。单航次作业周期控制在20分钟内完成。

（三）数字全景影像拼接和数字正射影像制作

1. 全景影像无控拼接技术方案

基于特征向量匹配算法实现同名像点自动提取，无需地面控制点即可完成全景影像构建。采用 PTGui 专业拼接平台执行空三加密处理，其具备：①内方位参数自动解析模块，精确解算影像像素空间关系；②自适应控制点网格生成系统，实现多视影像最优配准；③全景映射引擎支持柱面/球面/立方体等多投影模型转换。系统提供人工干预控制点布设功能，通过误差椭圆可视化工具优化区域网平差精度。标准处理流程遵循：数据导入→特征自动配准→全景模型构建→成果输出。

2. 数字正射影像生产技术流程

基于 PhotoScan 平台的正射影像处理系统采用多视影像三维重建技术，实现全自动化的地理空间数据处理。该系统无需预设初始参数或相机标定，通过 GPU 并行计算架构显著提升运算效率，支持从数据对齐到成果输出的完整 workflow，包含影像配准、密集匹配、三维建模及正射校正等六个核心模块。

处理效率受硬件配置与精度等级双重影响：高性能图形工作站处理高精度数据（0.01–0.1米分辨率）需20–40小时；中精度处理（0.1–0.5米）可缩短至40–60分钟；快速预览模式（0.5–2米）在8–15分钟内即可完成。系统输出成果包含数字表面模型、

三维点云及正射影像产品，同时支持使用标尺工具进行空间尺度量测。

该平台突破传统摄影测量对专业技能的依赖，通过智能算法实现：1）自动空三解算；2）自适应点云密度控制；3）多分辨率纹理映射。经实验验证，其平面精度可达1–3个像素单位，满足1:500比例尺制图需求，生成的标准化的摄影测量成果可直接导入GIS系统进行空间分析。

（四）影像成图效果对比

1. 人工操控无人机与自动化测绘技术对比分析

手动飞行模式下的无人机测绘作业易受操作人员技术水平制约，具体表现为飞行轨迹偏移、空间定位精度不足、拍摄高度及角度调控不精准等问题。此类操作缺陷会导致后期影像处理过程中出现地物接边错位、色差明显、分辨率不足等技术缺陷，同时因比例尺不统一导致制图数据失效。实践表明，人工操控获取的影像数据通常不具备制图应用价值，即便完成成图作业也难以作为有效参考依据，其技术局限性较为显著。

2. 数字全景影像与正射影像技术特性解析

基于多源影像拼接生成的全景图在应急制图场景中具备时效优势，支持通过移动图形工作站实现航摄数据快速处理。其生成过程不依赖投影几何模型，导致相邻图幅存在接缝偏差，易产生地物位移与影像叠合异常，此类影像缺陷难以满足输电巡检坐标定位需求，需通过专业软件进行数据校验以确认正射影像重叠参数适配性。

正射影像技术融合了地理空间坐标体系与遥感影像特征，通过微分纠正有效消除倾斜畸变与投影差。其采用严格几何校正流程实现无缝拼接，规避了色彩突变与地物错位现象，生成成果兼具测绘精度与视觉真实性，在工程应用中具有更高数据可信度。

四、结语

本研究通过全流程技术验证，证实了无人机低空测绘在电力线路巡检中的实用价值。研究团队创新性整合飞行平台适配、航测参数调控与影像智能解析技术方案，成功克服了山地、丘陵等复杂地貌的数据采集瓶颈。实验数据表明，革新后的自动化测绘体系较传统人工巡检模式，在作业效能提升与成果标准化方面实现突破性进展，特别是基于正射影像与全景融合的新型建模方法，为输电设施三维数字化提供了创新解决方案。后续研究应聚焦多源传感数据融合机制与轻量化边缘计算框架的协同创新，同步攻关极端天气条件下的自主避障与航迹规划算法，着力构建具备全天候作业能力的智能巡检技术体系。

参考文献

- [1] 刘志伟, 段毅, 王纪元, 张勇, 石盼. 黄土地区架空输电线路岩土勘测要点与标准编制 [J]. 电力勘测设计, 2024, (08): 94–98.
- [2] 黄玉林, 刘龙飞, 祖为国, 谭金石. 无人机 LiDAR 在输电线路平面测绘中的应用 [J]. 测绘通报, 2024, (01): 131–135.
- [3] 戴永东, 王永强, 高超, 蔡焕青, 曹世鹏, 范侨. 电力输电线路无人机巡检航线智能规划方法 [J]. 重庆理工大学学报 (自然科学), 2023, 37(09): 253–260.
- [4] 陈明耀, 黄锦标. 先进测绘技术在输电线路中的融合应用 [J]. 电气技术与经济, 2023, (06): 121–122+128.

猪厂保育舍粪污发酵与生物降解系统

夏娟¹, 张花哲¹, 徐小杰¹, 张炳超^{2*}

1. 广州商学院 信息技术与工程学院, 广东 广州 511363

2. 广东省现代农业装备研究院, 广东 广州 510630

摘 要： 本研究针对高床养猪保育舍的粪污处理需求，设计并优化了一种智能化发酵车间控制系统。该系统采用自动化硬件设备，包括刮粪机、立式搅拌机、潜污泵、液体猪粪搅拌布料机、液压滚筒翻堆机及高压漩涡风机，实现粪污的收集、混合、喷洒、翻堆及曝气全过程的自动控制。软件控制系统结合 PLC 编程和物联网技术，精确调节各设备运行状态，并实时监测发酵槽内物料的水分、温度和含氧量。数据通过云端存储与分析，优化处理策略，提高粪污降解效率。在多个不同规模的养猪场进行测试后，系统表现出良好的稳定性，各设备无故障运行率超过 90%，有效提升了猪舍环境质量，为智能化养殖提供了技术支撑。

关 键 词： 高床养猪；保育舍；发酵车间；物联网

Fermentation and Biodegradation System for Manure in Piglet Nurseries

Xia Juan¹, Zhang Huazhe¹, Xu Xiaojie¹, Zhang Bingchao^{2*}

1. School of Information Technology and Engineering, Guangzhou College of Commerce, Guangzhou, Guangdong 511363

2. Guangdong Provincial Academy of Modern Agricultural Equipment, Guangzhou, Guangdong 510630

Abstract： In response to the manure treatment needs of high-bed pig farming nurseries, this study designed and optimized an intelligent fermentation workshop control system. The system employs automated hardware equipment, including a manure scraper, vertical mixer, submersible sewage pump, liquid pig manure mixing and spreading machine, hydraulic roller compost turner, and high-pressure vortex blower. This allows for automatic control of the entire process of manure collection, mixing, spraying, compost turning, and aeration. The software control system combines PLC programming and IoT technology to precisely adjust the operating status of each device and monitor the moisture, temperature, and oxygen content of the material in the fermentation tank in real-time. Data is stored and analyzed via the cloud, optimizing treatment strategies and improving manure degradation efficiency. After testing at several pig farms of different scales, the system demonstrated good stability, with a trouble-free operation rate of over 90% for all equipment. This effectively improved the environmental quality of the pig houses and provided technical support for intelligent farming.

Keywords： high-bed pig farming; nursery; fermentation workshop; Internet of Things

引言

随着畜牧业生产规模的不断扩大，粪污处理问题成为行业面临的重大挑战之一。特别是在集约化养猪模式下，粪污管理的效率不仅影响环境保护，也直接关系到养殖效益和可持续发展^[1-4]。传统的粪污处理方式多依赖人工操作和简单机械设备，不仅劳动强度大、处理效率低，还可能导致环境污染问题难以有效控制^[5-6]。

近年来，智能化技术的应用为畜禽粪污处理提供了新的解决方案。物联网、大数据分析、人工智能等新兴技术的引入，使得粪污处理系统能够实现自动化、精细化和智能化管理。基于智能控制系统的粪污处理方案可以精准调节温湿度、氧气含量等环境参数，优化发酵过程，提高粪污分解效率。此外，数据分析技术能够对历史运行数据进行优化，动态调整系统参数，以适应不同的养殖环境^[7-11]。

针对上述需求，本研究提出了一种基于物联网和智能控制技术的高床养猪保育舍发酵车间控制系统。该系统集成软硬件方案，实现粪污的高效收集、自动翻堆、曝气调控等功能，以提高粪污处理效率，减少环境污染，并优化猪舍内部生态环境。通过该系统的推广应用，可为规模化、集约化养殖场提供高效、环保的粪污处理解决方案，推动畜牧业向绿色可持续方向发展。

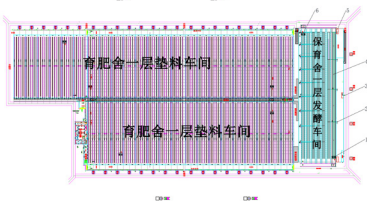
基金项目：广东省普通高校青年创新人才类项目 (2021KQNCX121) 项目名称：基于物联网的畜禽高床养殖粪污综合处理系统。

作者简介：夏娟 (1992-)，女，湖北武汉人，讲师，硕士研究生；

通讯作者：张炳超 (1989-)，男，山东东营人，高级工程师，硕士生导师。邮箱：8856121.hi@163.com

一、一层保育舍发酵车间智能管理方案

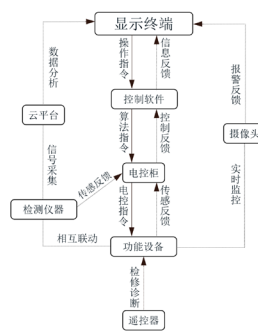
为顺应现代农业发展要求，并结合广东省区域特点，本研究选取河源市某食品集团的养猪场作为示范基地，联合多所科研院校，在长期探索、实验和实践的基础上，构建了一种高床发酵型生态养殖“零排放”模式。本研究围绕保育舍发酵车间的粪污处理展开，旨在提高粪污资源化利



> 图1 一层保育舍发酵车间布局图

用率，同时降低环境污染，如图1所示。

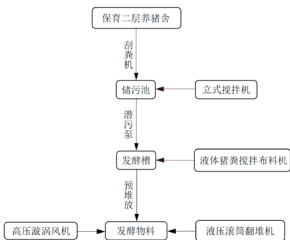
本系统的核心控制单元主要负责保育舍一层发酵车间的自动化管理。系统利用物联网和智能监测设备，对粪污的收集、处理、发酵等环节进行精准控制。在猪舍和发酵车间的各个关键位置均安装了智能监控设备，并通过有线或无线网络实现远程数据传输，使管理人员能够通过移动终端实时查看粪污处理状态。整个系统的运行状态也可在控制中心大屏幕上动态展示，确保管理者能够及时掌握设备运作情况并进行调整，如图2所示。



> 图2 保育舍发酵车间系统工作原理图

二、保育舍一层发酵车间处理系统设计

系统的主要运行流程包括：刮粪机收集二层保育猪的粪尿，随后立式搅拌机和潜污泵对粪污进行均匀混合并输送至液体猪粪搅拌布料机，该设备沿轨道均匀喷洒粪污至发酵槽内。接着，液压滚筒翻堆机翻抛槽内物料，促进发酵和有机物分解，同时高压漩涡风机提供充足氧气，提升好氧发酵效率。保育舍一层发酵车间作业流程，如图3所示。通过智能物联网平台，所有设备可进行远程监控与操作，系统根据实时数据调整运行参数，提高粪污降解效果。该系统的实施不仅提升了养殖场粪污处理的智能化水平，同时降低了运营成本，为养殖企业提供了绿色环保的粪污管理方案。



> 图3 保育舍一层发酵车间作业流程图

（一）发酵车间智能控制系统硬件设计

发酵车间的控制系统由多个功能模块组成，以确保各个环节的稳定运行。第一部分包括刮粪机、立式搅拌机、潜污泵及高压漩涡风机等设备，这些设备通过控制电柜统一管理。其中，刮粪机由机械限位开关与时间继电器协同控制，确保粪污按计划清

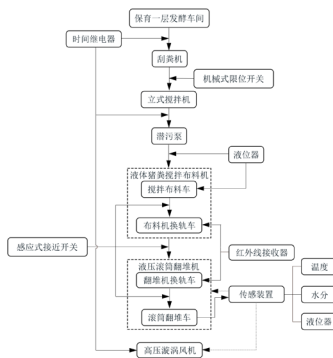
理；立式搅拌机和潜污泵的启停则由液体猪粪搅拌布料机的液位感应装置控制；高压漩涡风机采用时间继电器进行周期性调节，以优化曝气时间和风量。第二部分是液体猪粪搅拌布料机的移动控制系统，该系统由布料机换轨车和搅拌布料车组成，二者通过液位感应器和接近开关联动控制，确保粪污均匀喷洒至发酵槽内。第三部分是翻堆系统，由翻堆机换轨车和滚筒翻堆机组成。滚筒翻堆机配备传感器，可检测物料的水分、温度及氧气含量，并根据检测数据调整翻堆深度和位置。

液体猪粪搅拌布料机和翻堆系统均配备卷缆器供电，同时安装无线遥控设备，支持远程手动操作。布料机换轨车和翻堆机换轨车配有电动推杆及红外感应接收器，确保自动换槽操作的顺利进行。所有控制柜均安装报警指示灯，并通过PLC控制设备运行逻辑及故障诊断。

（二）发酵车间智能控制系统软件设计

系统软件通过多种自动化控制方式，实现对发酵车间各设备的协调运行。刮粪机的运动轨迹和清理周期由机械限位开关和时间继电器设定，同时检测是否存在异物堵塞轨道或钢丝绳断裂等故障。液体猪粪搅拌布料机启动时，触发储污池旁的限位开关，依次激活立式搅拌机与潜污泵，将液体粪污输送至布料箱体。布料箱体内的液位器监测液体粪污的存储情况，并在达到设定上限时停止泵送。布料机换轨车在接收到信号后进行水平移动，红外线接收器感应到信号后，控制电动推杆将换轨车与发酵槽墙轨道精准对接。随后，搅拌布料车沿发酵槽轨道均匀喷洒粪污，完成后退回至起点，并重复该过程，直至所有发酵槽布料完毕。

当发酵槽末端的接近开关感应到搅拌布料车信号后，翻堆机换轨车随即移动，红外线感应触发电动推杆，使换轨车与轨道对接。随后，滚筒翻堆车按照设定路线翻抛槽内物料，并在翻抛过程中通过传感装置检测多个位置的水分、温度及氧气含量。翻堆机换轨车逐步移动至下一发酵槽，直至所有翻堆作业完成，相关数据上传至云端，形成可视化分析报告。翻堆作业完成后，高压漩涡风机根据传感数据反馈，智能调整曝气时间、频率及位置，优化好氧发酵条



> 图4 保育舍一层发酵车间系统软件控制流程图

件。系统具备自动诊断功能，如在运行过程中出现设备脱轨、滑动、电机过载等异常情况，便会触发报警，并允许操作人员通过无线遥控器手动调整设备状态，确保系统稳定运行。保育舍一层发酵车间系统软件控制流程，如图4所示。

三、保育舍发酵车间系统测试与优化

为验证高床养猪保育舍发酵车间控制系统的有效性，选取某食品集团旗下三个不同规模的养猪场作为测试基地。测试内容包括对粪污处理设备的硬件配置和软件系统升级，并进行1个月的试

运行，记录各设备的稳定性、功能执行成功率及系统适配性。

（一）发酵车间设备运行情况分

设备测试覆盖16个、12个和7个保育单元的三个养殖场，分别安装了刮粪机、立式搅拌机、潜污泵、液体猪粪搅拌布料机、液压滚筒翻堆机和高压漩涡风机等设备。各养殖场设备配置如下：

1号猪场（16保育单元）：刮粪机32台，立式搅拌机2台，潜污泵2台，液体猪粪搅拌布料机2台，液压滚筒翻堆机2台，高压漩涡风机12台。

2号猪场（12保育单元）：刮粪机24台，立式搅拌机2台，潜污泵2台，液体猪粪搅拌布料机2台，液压滚筒翻堆机2台，高压漩涡风机8台。

3号猪场（7保育单元）：刮粪机14台，立式搅拌机1台，潜污泵1台，液体猪粪搅拌布料机1台，液压滚筒翻堆机1台，高压漩涡风机5台。

检测结果显示，各设备的运行无故障率均超过90%，具体数据如表1所示。

表1 保育舍发酵车间设备运行无故障率（%）

猪场	刮粪机	立式搅拌机	潜污泵	液体猪粪搅拌布料机	液压滚筒翻堆机	高压漩涡风机
1号	92.7	90.0	90.8	90.5	90.0	98.2
2号	94.4	91.7	91.7	92.5	94.2	98.5
3号	95.2	93.3	91.0	91.7	92.7	98.4

（二）系统优化与改进

测试过程中，通过系统自动诊断和人工现场排查，发现部分问题涉及硬件安装、线路布局不合理及软件算法优化等方面。此外，部分场地条件限制和操作人员培训不足也对系统的稳定运行产生一定影响。

针对这些问题，系统优化措施包括：调整感应开关位置，优化翻堆机的感知精度，提高翻抛作业的准确性；优化控制算法，增强高压漩涡风机和翻堆机的联动性，提高曝气效果；加强设备维护培训，对刮粪机钢丝绳进行定期润滑和检修，降低设备故障率。

四、结论

本研究基于物联网、大数据和智能控制技术，构建了高床养猪保育舍发酵车间控制系统。系统采用传感设备和智能控制算法，实现对粪污处理过程的精准监测和远程管理。测试结果表明，该系统能够有效提高粪污处理效率，优化猪舍环境，并在智能化、规模化养殖场推广应用。随着系统优化的不断推进，该方案将在未来进一步提升粪污资源化利用效率，为现代畜牧业的可持续发展提供重要支持。

参考文献

[1] 张学汉, 陈彩芬. 畜禽粪污处理与资源化利用技术推广 [J]. 畜牧兽医科技信息, 2024, (06): 27-29.

[2] 宋美艳, 胡兴邦. 规模化畜禽养殖粪污资源化利用分析 [J]. 吉林畜牧兽医, 2022, 43(06): 127-128.

[3] 陈宏锐. 南方畜禽粪污资源化利用技术应用浅析 [J]. 广西畜牧兽医, 2024, 40(03): 132-133.

[4] 徐剑蓉. 畜禽粪污治理及资源化利用的实践与思考 [J]. 现代畜牧科技, 2024, (03): 105-107.

[5] 曲军. 畜禽粪污处理中的新兴技术和创新解决方案 [J]. 中国动物保健, 2024, 26(05): 113-114.

[6] 张士纯. 规模化畜禽养殖粪水分离装置设计与试验 [D]. 河北科技师范学院, 2024.

[7] 冯汝祥. 生猪规模化高效养殖与粪污资源化利用技术研究 [J]. 畜牧业环境, 2024, (03): 40-41.

[8] 余芳, 陈贞. 小型气象站在畜禽粪污资源化利用中的应用 [J]. 福建畜牧兽医, 2024, 46(05): 89-90.

[9] 付晓, 魏晓莉, 严士超, 等. 畜禽养殖环境智能监控研究现状及展望 [J]. 华南农业大学学报, 2024, 45(05): 672-684.

[10] 周昕, 冯钧哲, 徐杏, 等. 猪舍环境精准控制模型及其优化算法 [J]. 中国猪业, 2024, 19(03): 24-33.

[11] 曾庆东, 韦建吉, 杨浩君. 槽式发酵车间物料流动的自动化系统——基于链板式翻堆机的堆肥发酵系统 [J]. 现代农业装备, 2016(5): 37-40.

论区域内新能源就地优先消纳的法律机制构建

陈明凤

西南石油大学法学院, 四川 成都 610500

摘 要 : 为缓解新能源消纳压力, 近年来, 甘肃、内蒙古等地陆续进行了新能源就地优先消纳试点, 进一步对新能源就地优先消纳进行制度构建显得极为必要。然而, 通过梳理和分析发现, 统领性的《能源法》迟迟没有出台, 导致一些政策缺乏立法依据, 法律制度间的依从性有待加强, 部分部门规章与法律规定存在矛盾, 新能源就地优先消纳仍是鼓励性表述, 缺乏法律保障。因此, 需要以“双碳”目标实现为终极目的, 在绿色发展理念指引下, 遵循风险预防原则, 建构新能源就地优先消纳法律机制。具体而言, 推动《能源法》尽快出台, 并将已检验行之有效的政策纳入其中, 体系化设计新能源消纳有关法律制度, 理顺法律制度之间的关系, 明确政府、市场、用户的义务, 保障各类主体广泛参与, 促进新能源健康有序发展。

关 键 词 : 新能源; 就地消纳; 法律机制

On the Construction of the Legal Mechanism for the Local Priority Consumption of New Energy in the Region

Chen Mingfeng

Law School of Southwest Petroleum University, Chengdu, Sichuan 610500

Abstract : In order to relieve the pressure of new energy consumption, in recent years, Gansu, Inner Mongolia and other places have successively carried out the pilot of new energy local priority consumption, and it is extremely necessary to further build the system of local priority consumption of new energy. However, through sorting and analysis, it is found that the leading Energy Law has not been issued, leading to the lack of legislative basis for some policies, the compliance between legal systems to be strengthened, there are contradictions between some departmental regulations and legal regulations, and the local priority consumption of new energy is still an encouraging expression, lack of legal guarantee. Therefore, it is necessary to take the realization of the "double-carbon" goal as the ultimate goal, under the guidance of the concept of green development, follow the principle of risk prevention, and construct a legal mechanism for the local priority consumption of new energy. To be specific, we will promote the promulgation of the Energy Law as soon as possible, and include the effective policies that have been tested, systematically design the relevant legal systems for the consumption of new energy, straighten out the relationship between the legal systems, clarify the obligations of the government, the market and users, ensure the extensive participation of various subjects, and promote the healthy and orderly development of new energy.

Keywords : new energy; local consumption; legal mechanism

引言

由于新能源功率随机波动性和间歇性, 以及通过电力电子并网带来的电网稳定性的降低, 使新能源并网消纳问题越来越尖锐, 特别对于西部地区沙戈荒大基地, 新能源需要大规模接入电网, 给当地电网功率调节、安全支撑带来了更大的挑战。由于西部地区电力负荷以及调节性、支撑性资源的增长, 远远落后于新能源开发建设进度, 带来严重的消纳难题。直流特高压建设时序滞后, 以及其输送新能源能力不及预期, 使大基地并网消纳押宝特高压外送, 既是远水难救近火, 也有杯水车薪之感。因此, 构建新能源就地优先消纳的法律机制, 完善就地消纳模式, 对于促进新能源更大规模发展, 以及推进工业、交通等领域的深度脱碳意义重大。

一、构建新能源消纳就地优先消纳法律机制的必要性

（一）新能源并网消纳机制难以回应新能源消纳难题

在“十三五”初，新能源装机容量快速增长曾一度导致弃风、弃光率上升至较高水平。得益于政策推动及落实，以及特高压、灵活性改造以及新能源交易市场等落地，2021年，我国弃风/弃光率已分别下降至3.1%/2%。2021年12月，国家能源局下发《电力并网运行管理规定》以进一步提升可再生能源消纳水平，但在新能源并网方面仍存在一些亟待解决的难题。^[1]第一，未来几十年里会有大规模光伏、风电等新能源电站纳入电力系统，交流电力系统稳定问题将长期存在。第二，局部电网接入能力不足。风电场大多处于电网末梢，大规模接入后，风电大发期大量上网，电网输送潮流加大，重载运行线路增多，热稳定问题逐渐突出。第三，加剧了电网运行的风险。风电的间歇性、随机性增加了电网稳定运行的潜在风险。

在2022年全国整体新能源消纳尚可的情况，较2021年弃风率已经出现边际上升。分地区对比来看，2022年部分新能源大基地所在地区消纳率较低，内蒙古、甘肃、青海是新能源大基地的重点建设地区，但目前风电消纳率均已远低于《清洁能源消纳行动计划（2018-2020年）》要求水平。因此，试图通过新能源并网的方式完全解决新能源消纳问题仍旧困难重重。

（二）有助于缓解弃风弃光现象与用电荒现象并存的局面

从短期来看，新能源消纳体系不完善导致弃风弃光现象与用电荒现象并存。从长期来看，新能源建设不断提速，电网调峰压力随之增加，新能源消纳体系建设刻不容缓。破解这些问题的关键是鼓励就地就近消纳，加快健全完善新能源就地优先消纳体系，提高新能源发电的利用率，也符合新能源发电建设的原则。

（三）有助于减轻电网调峰压力，配合新能源建设提速步伐

中东部省份是我国的电力负荷中心，其在发展高比例“风光”发电时面临两种开发模式：大规模远距离输送、就地开发与消纳。中国工程院院士余贻鑫指出，“供电经济性比较”是制定相关战略决策的重要依据。“风光”发电具有强烈的间歇性、多变性和不确定性，它们不能独立向负荷地区供电。所以，在对两种开发模式开展经济性比较时，正确的评估方法应该从全社会成本的角度开展对比分析，需要综合打捆电源的成本、电能的过网费差异、网络损耗的差异等多种要素。余贻鑫院士还提出，“风光”就地开发与消纳可以降低中东部省份的电能对外依存度，“电从身边来”是提高电力系统韧性、保障供电安全的根本保证。若采用大规模远距离输电模式，当输电线路出现故障或遭到破坏时，送端和受端系统都会遭受严重冲击，极有可能引发长时间、大范围的电力中断。^[2]

二、新能源就地优先消纳法律机制现状及问题

（一）新能源就地优先消纳法律机制的现状

我国新能源消纳法律制度经历了从政策保障向市场机制的过渡。2005年颁布的《可再生能源法》第十九条、二十二条规定了

可再生能源实行固定电价政策；2016首次提出配额制和绿证交易机制，并于次年1月开始试行绿色电力证书制度；2019年5月，国家发改委、国家能源局印发《关于建立健全可再生能源电力消纳保障机制的通知》，次年5月印发了《关于印发各省级行政区域2020年可再生能源电力消纳责任权重的通知》，实质上正式推出了配额制，并建立了与绿证交易的联动机制。

（二）新能源就地优先消纳法律机制存在的问题

1. 法律体系有待完善

目前我国关于新能源就地优先消纳的规定大部分来源于各地的政策性文件及少部分低位阶的法律法规，整个法律体系尚不完善。一方面，作为主导的《能源法》未出台。我国规定可再生能源消纳机制的法律主要是《可再生能源法》，但统领性的《能源法》迟迟没有出台。另一方面，法律制度间的依从性有待加强。部分部门规章与法律规定存在矛盾。在电力市场化路径下，未来越来越多用户有自主选择“绿电”和“非绿电”的权利，如果仍然延续目前“指标到省”的可再生能源消纳保障制度，绿证、碳交易成本可能无法在电力交易市场的出清价格上体现，不同电源发电成本和售电价格将发生扭曲，最终用户按低成本原则选择的电源类型可能并不符合低碳绿色方向。

2. 新能源就地优先消纳缺乏具体性指引

法律法规是市场规范运作的基础，制度缺乏将导致实际执行困难重重，一是市场主体活力无法充分发挥，各类能源企业只能在现有的模式下进行动作，难以进行新的尝试和探索，新能源就地优先消纳模式难以结合本地区实际情况得到新的发展和突破；二是政府在进行指引时也难以提供具体的实践引导，需求侧和供应侧的平衡完全靠市场自主维系；三是仅仅通过政策性指引，各企业及用户难以发挥自主能动性对现有消纳模式进行改变，必须通过权利、义务、责任完整的制度设计作出明确规定，赋予其一定的法律强制力。因此，我们必须改变目前以政策性规定为主的框架模式，结合实践中已行之有效的方法，借鉴学习其他国家，逐步构建符合我国国情的新能源就地优先消纳法律制度。

三、能源就地优先消纳法律机制构建逻辑

（一）以绿色发展为价值遵循

在绿色发展指引下构建新能源就地消纳制度，必须要处理好以下几个问题，一是要处理好能源高速发展与能源利用率的关系，能源利用率涉及到能源安全问题，要始终保持对能源利用率的高度重视。二是处理好短期安排和中长期发展战略的关系。^[3]能源绿色低碳发展是一项长期性艰巨性的任务，既要立足当下，又要放眼长远，坚定以绿色发展理念为引导的大方向，遵循事物发展的科学逻辑，统筹谋划与布局。三是处理好政府引导和市场主导的关系，政府对于新能源就地消纳要始终发挥好政策引领和指导作用，充分发挥市场在资源配置中的决定性作用，激发市场活力，以市场化的方式倒逼能源就地优先消纳。^[4]

（二）以“双碳”目标为理念指引

中国是世界上能源消耗最大的国家。东部和北部地区日照条

件好，可以发展光伏。西部12个省（区、市）的水电资源约占全国的30%。80%以上的水电可以开发；西北和沿海地区风力资源丰富，可以开发风能。这些可再生能源的开发利用能够帮助实现能源领域深度脱碳，但达成此愿景的基石在于确保能源的高效利用与吸收。为了有效推进碳达峰与碳中和的双重目标，我国已将能源减排作为核心战场，而电力行业的减排则扮演着先锋角色。^[3]电网，作为这一先锋队队伍中的领头羊，其低碳转型对于中国的双碳战略具有深远影响，是推动可再生能源发电发展的决定性因素。新能源就地优先消纳能够促进能源产业进一步优化升级、能源利用率也大大提高，通过电网负荷精细调控与清洁能源有效整合，优化负荷资源管理，为电网的稳定运行提供有力的支持服务。通过电网负荷的精细调控与清洁能源的有效整合，我们能够优化负荷资源的管理，进而为电网的稳定运行提供有力的支持服务。

四、新能源就地优先消纳法律机制构建路径

（一）健全新能源就地优先消纳的法律体系

首先，整合目前已有《电力法》《节约能源法》《可再生能源法》等单行法以及部门规章等，总结已试点、经检验可行的新能源就地消纳机制，纳入《能源法》并推动尽快出台。其次，体系化设计新能源消纳有关法律制度，可考虑将配额制考核向用户侧倾斜，推广可精确计量新能源上网电量的绿色电力交易，替代现有绿证交易，通过绿色电力交易实现配额指标，理顺配额制、绿证和绿电交易的关系；以电网调度系统为枢纽建立电碳耦合平台，将用户新能源用电量折算为碳减排量，理顺碳排放权市场和电力市场的关系；推进建立市场化的电价形成机制，使碳价成本传导到电价，逐步体现可再生能源发电的价格优势，培养用户的节能意识。^[4]最后，既要做好权利义务的规定，也要设计与之相匹配的责任承担方式。在责任设置上，既要对积极履行义务，完成就地消纳额的能源企业给予相应的奖励或者政策优惠措施，也要对多次未能达标的设置相应的惩罚措施。

（二）制定具体的新能源就地优先消纳的激励型措施

我国目前对于新能源消纳这一领域尚缺乏一些实践经验，因此，我们可以借鉴其他国家行之有效的方式，结合我国实际情况，引入到我国新能源就地优先消纳法律机制构建中。^[7]

首先是新能源快速发展下的电价补贴机制，溢价补贴是采用市场电价或参照常规电源上网电价的情况下，给予新能源额外的度电补贴，溢价补贴的资金来自电价附加费。差价合约制度的代表是英国，其提出的容量市场和差价合同相结合制度，容量市场的目的是保证电力供应的安全，差价合约的目的则是保障新能源电厂获得较为稳定的收益。^[8]如果发电厂售出的电价高于执行价，发电厂需要向政府返还差价，如果低于执行价，则政府需要补偿差价。市场机制下的消费侧配额机制，随着国外电力市场日趋成熟，对新能源的电价补贴逐步向完全市场定价方向转变。电价放开初期，由于新能源发电成本依然高于传统电源，为了保障新能源消纳，许多国家提出强制配额制度，由政府强制规定售电企业售出的电量必须包含一定比例的可再生能源。最后是售电企业购买绿色电力证书（简称“绿证”）实现配额，绿色电力证书收益是可再生能源发电企业收益的一部分。^[9]此外，将碳交易市场的碳价传导至电价，也可以抬高传统能源发电成本，使新能源发电价格在电力市场上更有竞争力。维持电网稳定运行的法律制度，高比例可再生能源并网会对电力系统的平衡和稳定运行产生诸多影响，各国也从发电侧、电网侧、用户侧设计了不同的法律制度以维持电网稳定运行。发电侧主要是规定了新能源发电厂的电力系统平衡义务。电网侧，一是以立法形式推动建设跨国电网。二是规定了各国电网企业的跨国互联的电量。三是加强跨区域电网规划，推动电动汽车、智能电网和储能等新技术的应用。^[10]

法律法规是市场规范运作的基础，需进一步健全新能源消纳法律体系，以前瞻性视角明确各市场主体在电力系统平衡中的法定义务，保障以新能源为主体的新型电力系统建设顺利推进，保障新能源产业健康有序发展。

参考文献

- [1] 施红明, 单雨, 郭佳. 新能源并网全过程管理机制研究 [J]. 华北电力大学学报 (社会科学版), 2023, (05): 69-77.
- [2] 既要大规模开发也要高水平消纳让新能源发得出供得上用得好 [J]. 广西节能, 2022, (04): 30-31.
- [3] 赵国涛, 钱国明, 王盛等. “双碳”目标下火电企业绿色低碳转型的对策分析 [J]. 华电技术, 2021, 43(10): 11-21.
- [4] 赵紫原. 中国工程院院士余贻鑫: 新能源更适合就地开发与消纳 [N]. 中国能源报, 2021-07-05(002).
- [5] 王若谷. 可再生能源消纳法律制度的权利结构展开 [J]. 法大研究生, 2020, (01): 316-333.
- [6] 我国新能源法律制度的完善与创新研究 [M]. 龚向前. 法律出版社. 2017.
- [7] 张沈习, 王丹阳, 程浩忠等. 双碳目标下低碳综合能源系统规划关键技术及挑战 [J]. 电力系统自动化, 2022, 46(08): 189-207.
- [8] 董睿. 清洁能源就地消纳助力“双碳”战略落地 [J]. 农村电工, 2022, 30(01): 28. DOI: 10.16642/j.cnki.ncdg.2022.01.033
- [9] 许成娅. 国际环境法中的风险预防原则 [J]. 黑龙江环境通报, 2023, 36(05): 138-140.
- [10] 张璐. “双碳”背景下能源安全的理性认知与法律回应 [J]. 政法论丛, 2022, (05): 43-54.

光伏电池抗老化技术及寿命延长策略研究

丁源源

石河子工程职业技术学院，新疆 石河子 832000

摘 要： 本文深入研究了光伏电池抗老化技术及寿命延长策略。通过解析光伏电池的老化机理，提出了先进的抗老化技术体系，包括材料防护、结构优化与表面工程技术。同时，结合电气优化方案和再生技术突破，显著延长了光伏组件的使用寿命。实证研究验证了技术的有效性，为光伏产业的绿色发展提供了科学依据和技术支持。

关 键 词： 光伏电池；抗老化；寿命延长；技术；策略

Research on Anti-Aging Technology and Life Extension Strategy of Photovoltaic Cells

Ding Yuanyuan

Shihezi Engineering Technical College, Shihezi, Xinjiang 832000

Abstract： In this paper, anti-aging technology and life extension strategy of photovoltaic cells were studied. By analyzing the aging mechanism of photovoltaic cells, advanced anti-aging technology system including material protection, structure optimization and surface engineering technology is proposed. At the same time, combined with electrical optimization schemes and regeneration technology breakthroughs, the service life of photovoltaic modules has been significantly extended. The empirical research verifies the effectiveness of the technology and provides scientific basis and technical support for the green development of the photovoltaic industry.

Keywords： photovoltaic cell; anti-aging; extended life span; technology; tactics

引言

随着全球能源需求的不断增长和环境保护意识的日益增强，光伏电池作为可再生能源的重要组成部分，其性能和寿命成为制约光伏产业发展的关键因素。然而，光伏电池在长期运行过程中会面临多种老化问题，导致效率和功率显著下降。因此，深入研究光伏电池抗老化技术及寿命延长策略具有重要意义。本文旨在通过综合分析光伏电池的老化机理，提出有效的抗老化技术体系，并结合实证研究验证其有效性，为光伏产业的可持续发展提供技术支撑。

一、光伏电池老化机理深度解析

（一）物理老化机制

首先，热应力裂纹的形成源于材料间的热膨胀系数（CTE）失配。在温度循环过程中，电池片与封装材料因CTE差异产生应力集中，导致界面微裂纹的生成与扩展。研究表明，硅片（ $CTE=2.6 \times 10^{-6}/^{\circ}C$ ）与EVA（ $CTE=300 \times 10^{-6}/^{\circ}C$ ）的CTE差异可达两个数量级，这种失配在 $-40^{\circ}C$ 至 $85^{\circ}C$ 的温度循环中尤为显著，最终引发电池效率的不可逆衰减。其次，紫外辐照导致EVA封装材料发生光氧化反应，分子链断裂生成羰基等发色团，表现为材料黄变。实验表明，在累计紫外辐照量达到 $15 \text{ kWh}/\text{m}^2$ 时，EVA透光率可下降8%–12%，直接导致组件短路电流降低。最后，PID效应源于钠离子在玻璃–封装材料界面的迁移。在负偏压作用下，玻璃中的钠离子沿电场方向扩散至电池表面，形成复合中心，导致载流子寿命下降^[1]。微观分析证实，钠离子迁移

路径主要沿EVA与玻璃的界面缺陷处进行，迁移速率与湿度呈指数关系，在85%RH条件下，72小时内可导致组件功率衰减超过30%。

（二）化学老化路径

首先，在湿热环境下，封装材料的水汽透过率（WVTR）直接影响金属栅线的腐蚀速率。水分子渗透至电池表面后，在电场作用下形成电解液膜，引发银栅线的电化学腐蚀，其动力学过程符合Butler–Volmer方程，腐蚀速率随相对湿度呈指数增长。其次，背板材料的水解反应主要受温度驱动，其反应速率可通过Arrhenius方程定量描述，典型PET背板在 $85^{\circ}C$ /85%RH条件下，水解反应速率常数k值可达 10^{-4} s^{-1} 量级，导致机械强度显著下降。最后，PID效应源于电池表面与封装材料界面处的电化学反应，钠离子在电势差驱动下迁移至p-n结区域，形成局部漏电流通道，其界面反应机理涉及 SiO_2/Si 界面态密度变化，可通过暗I–V特性曲线表征其退化程度^[2]。

（三）环境耦合效应

在湿热循环条件下，基于 Arrhenius 方程建立加速因子计算模型，考虑温度、湿度及其交互作用对封装材料水解速率的影响，实验表明 85°C /85%RH 条件下材料性能衰减速率较常温环境提升约 8–12 倍。针对冰雹冲击效应，采用有限元方法构建多尺度应力分布模型，通过 Johnson–Cook 本构方程描述 EVA 层在动态载荷下的力学响应，模拟结果显示 25mm 直径冰雹以 23m/s 速度冲击时，电池表面最大应力可达 280MPa，接近硅片断裂强度^[3]。沙尘磨损过程则可通过离散元方法建立粒子动能模型，考虑粒径分布、冲击角度及风速等因素，研究表明粒径 >100 μm 的沙粒在 10m/s 风速下对减反射层的磨损率可达 0.12%/年，且表面粗糙度增加导致光反射损失提升 1.8%。

二、先进抗老化技术体系

（一）材料防护技术

材料级防护技术是提升光伏电池耐久性的核心途径。原子层沉积（ALD）钝化技术通过精确控制 Al₂O₃/SiN_x 叠层厚度（典型值：5–10nm），在界面处形成致密钝化层，可将表面复合速率降低至 20cm/s 以下，同时提升抗 PID 性能达 95% 以上。石墨烯增强背板采用化学气相沉积法制备，通过优化石墨烯片层取向和界面耦合，实现面内导热系数提升至 35W/(m·K) 以上，较传统背板提升超过 35%，有效降低热斑效应风险。自修复封装材料基于微胶囊技术，将含有乙烯基硅氧烷的微胶囊（直径 10–50 μm）均匀分散在 EVA 基体中，当材料出现裂纹时，微胶囊破裂释放修复剂，在 80°C 下可实现 95% 以上的裂纹自修复率，显著延长封装材料使用寿命。这些创新材料技术从不同维度提升了光伏组件的环境适应性和长期可靠性^[4]。

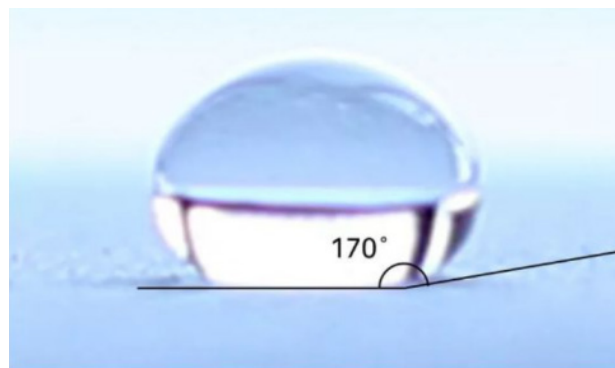
（二）结构优化创新

结构优化创新是提升光伏电池抗老化性能的关键途径。针对双玻组件，采用有限元仿真技术优化应力分布，通过调整玻璃厚度（2.5mm+2.5mm）和 EVA 层厚度（0.45mm），使组件在 -40°C 至 85°C 热循环下的最大应力降低 37%，显著减少微裂纹产生。智能接线盒热管理方面，开发基于模糊 PID 控制的温度场调节算法，实时监测 12 个温度节点，将热点温度波动控制在 ±2°C 以内，使接线盒工作温度稳定在 65°C 以下，有效延长使用寿命。在抗 PID 电池结构设计中，对比分析 n 型 TOPCon 与 PERC 电池的性能差异，TOPCon 电池由于采用超薄隧穿氧化层（1.2nm）和掺杂多晶硅层，在 85°C /85%RH 条件下 96 小时 PID 测试中功率衰减率仅为 0.8%，显著优于 PERC 电池的 12.5%。这些结构优化方案为光伏组件可靠性提升提供了重要技术支撑。

（三）表面工程技术

表面工程技术的应用涵盖光学、环境防护等多个领域。等离子体纹理化减反射层技术通过精确调控表面微观结构，显著降低材料表面的光反射率，从而提升光陷阱效率。该技术不仅提高了太阳能电池的光电转换效率，还在光学器件和显示技术中展现了广泛应用潜力。如图 1 所示，超疏水自清洁涂层技术通过构建特殊

微观形貌，使水滴接触角超过 170°，实现自清洁功能。



> 图 1 超疏水自清洁涂层解释图

这种涂层在建筑玻璃、汽车挡风玻璃及户外设备中应用广泛，可有效降低清洁维护成本并延长材料使用寿命^[5]。抗紫外纳米复合膜技术通过调控纳米材料组成与结构，实现对紫外光的有效截止。该技术在保护塑料、涂料及纺织品免受紫外线降解方面表现优异，延长了材料使用寿命并维持其外观与性能稳定性。这些表面工程技术不仅提升了材料性能，还推动了相关行业的可持续发展，具有重要的科研与工业应用价值。

三、系统寿命延长策略

（一）电气优化方案

首先，动态 MPPT 补偿策略通过实时监测光伏组件的老化程度和环境变化，动态调整最大功率点跟踪（MPPT）算法，以补偿因老化导致的效率下降。该策略结合了机器学习技术，能够预测组件的性能衰减趋势，并优化 MPPT 参数，确保系统在长期运行中保持高效。其次，智能 PID 恢复装置采用夜间反向偏压技术，有效缓解电势诱导衰减（PID）现象。该装置在夜间向光伏组件施加反向电压，中和因 PID 效应积累的电荷，从而恢复组件的输出性能。该技术不仅延长了组件的使用寿命，还显著提升了系统的长期稳定性。最后，模块级电力电子（MLPE）失配补偿技术通过在每个光伏模块上集成微型逆变器或优化器，解决因阴影、污垢或组件老化导致的功率失配问题。MLPE 技术能够独立调节每个模块的输出，最大化系统的整体发电效率，同时降低热斑效应的风险^[6]。

（二）再生技术突破

激光划片修复技术通过高精度激光切割，实现了对受损电池片的高效修复，功率恢复率超过 92%。该技术利用激光的非接触特性，避免了机械应力对电池片的二次损伤，同时通过优化激光参数，确保了修复区域的电学性能与原始区域高度一致。EVA 层压再生工艺则通过温度–压力耦合控制，实现了对老化 EVA 胶膜的高效再生。该工艺在特定温度和压力条件下，使 EVA 分子链重新交联，恢复其粘接性能和透光性，显著延长了组件的使用寿命。实验表明，再生后的 EVA 层在剥离强度和透光率方面均接近新材料的性能水平。银浆回收提纯技术通过化学溶解和电化学沉积相结合的方法，实现了对废旧银浆的高效回收，回收率超过

98%。该技术不仅降低了银浆的生产成本，还减少了对稀有金属资源的依赖，具有显著的经济和环境效益。这些技术的突破为光伏组件的可持续利用提供了有力支持，推动了光伏产业的绿色发展^[7]。

四、实证研究与技术经济分析

（一）典型气候区对比研究

本文基于某湿热环境下光伏组件近5年的实证数据，对其性能衰减特性进行了系统分析。表1给出了相应的数据结果。

表1 某湿热环境下光伏组件近5年的实证数据结果

年份	效率衰减率（%）	功率输出（%）	主要故障现象
2020	0.53	99.5	无
2021	0.61	98.9	无
2022	0.68	98.2	轻微 EVA 黄变
2023	0.82	97.4	轻微 EVA 黄变
2024	0.93	96.5	背板轻微开裂

该地区年均温度高、湿度大、紫外线辐射强，属于典型湿热气候区，对光伏组件的耐久性提出了严峻挑战。本文选取了多晶硅、单晶硅和薄膜三种类型组件，对其年衰减率进行了对比分析。结果表明，多晶硅组件的平均年衰减率为0.68%，单晶硅组件为0.54%，薄膜组件为0.82%。其中，多晶硅组件在高温高湿环境下表现出较好的稳定性，而薄膜组件由于材料特性，衰减率相对较高。进一步分析发现，湿热环境对组件性能的影响主要体现在 EVA 胶膜黄变、背板老化和电极腐蚀等方面。EVA 胶膜黄变导致透光率下降，是功率衰减的主要因素之一。背板老化则加剧了水汽渗透，进一步加速了组件性能的衰退。此外，高温高湿环境还导致了电极材料的腐蚀，增加了串联电阻，降低了填充因子。

研究结果为湿热气候区光伏组件的选型和优化设计提供了重要参考，同时也为制定针对性的维护策略提供了数据支持^[8]。

（二）LCOE 模型验证

在光伏电站的经济性评估中，LCOE（平准化度电成本）模型的验证至关重要。本文通过抗老化技术投入与发电增益平衡点分析、25年生命周期成本测算以及 IRR（内部收益率）提升幅度的实证，对 LCOE 模型进行了系统性验证。首先，抗老化技术投入与发电增益平衡点分析表明，当抗老化技术的投入成本与因组件性能衰减减少的发电损失达到平衡时，LCOE 可降低约 8.5%。这一平衡点的确定为技术选型提供了量化依据^[9]。其次，基于 25 年生命周期的成本测算显示，采用抗老化技术后，电站的运维成本显著降低，年均降幅达 12%，而发电量衰减率从 0.8% 降至 0.5%，使得 LCOE 从 0.35 元 /kWh 降至 0.31 元 /kWh。最后，以某 100MW 电站为例，IRR 提升幅度的实证研究表明，引入抗老化技术后，IRR 从 6.8% 提升至 8.2%，增幅达 20.6%。这一结果验证了 LCOE 模型的准确性，同时为光伏电站的长期经济性优化提供了重要参考^[10]。

五、结论

本文通过对光伏电池老化机理的深度解析，提出了包括材料防护、结构优化、表面工程在内的先进抗老化技术体系，并结合电气优化及再生技术，实现了光伏组件寿命的显著延长。实证研究结果显示，所提技术策略有效降低了光伏组件的性能衰减，为光伏产业的绿色发展提供了有力支持。展望未来，我们将继续探索更高效的光伏电池抗老化技术，以推动光伏产业的持续发展和创新。

参考文献

- [1] 章文龙. 光伏阵列发电特性、最大功率跟踪以及老化故障研究 [D]. 南昌航空大学, 2022.
- [2] 肖文波, 章文龙, 李欣蕊. 光伏电池及阵列的老化故障研究 [J]. 实验室研究与探索, 2024, 43(02): 60-64+131.
- [3] 钱兵, 何飞, 陈如意, 等. 光伏焊带对光伏组件输出功率及老化可靠性的影响研究 [J]. 太阳能, 2023, (08): 50-57.
- [4] 崔兵兵. 光伏电池自然环境加速老化系统设计及参数辨识算法研究 [D]. 重庆大学, 2023.
- [5] 郭腾腾, 张恩亨, 张宝峰, 等. 电站现场光伏组件老化失效研究 [J]. 河南科技, 2020, 39(29): 138-142.
- [6] 陈彩云. 光伏电池在室内光照条件下的电性能测量方法研究 [J]. 计量与测试技术, 2024, 51(03): 32-35+38.
- [7] 王菲. 太阳能光伏组件的效能分析及性能优化 [J]. 光源与照明, 2024, (03): 122-124.
- [8] 余洋, 王卜潇, 吴玉威, 等. 面向光伏平抑考虑 SOH 与 SOC 的电池储能系统功率分配方法 [J]. 太阳能学报, 2024, 45(03): 377-388.
- [9] 姜倩, 唐兰兰, 王琪. 高辐照度对高效光伏组件性能影响的研究 [J]. 太阳能, 2024, (03): 54-61.
- [10] 吴树朋. 太阳能光伏发电技术在市政照明中的应用探究 [J]. 灯与照明, 2024, 48(01): 30-33.

林业生态修复与生态保护工程技术研究

黄勇, 邓玉

安源林业发展服务中心, 江西 萍乡 337000

摘要： 林业生态修复与生态保护工程是环境保护与生态建设的核心任务。本研究依托全国各大森林区及自然保护区，运用系统分析与实地调研方法，深入探索林业生态修复及生态保护工程技术。研究发现，采用自然林生态恢复技术，如种植多样性、结构复杂性和功能复杂性的提升，能有效推动林业生态恢复。同时，实施生态工程技术，包括建设生态防护林设施、草本植物的生态工程植建及湿地生态修复等，可显著改善和保护环境。这些技术在实践中对提高森林覆盖率、优化土壤质量、维护生物多样性和应对气候变化等方面展现出显著成效。本研究成果为优化和发展我国林业生态修复与生态保护工程技术提供了技术策略和理论支持，增强了林业生态保护工程的科学性和实效性。

关键词： 林业生态修复；生态保护工程；自然林生态恢复；生态防护林设施；森林覆盖率

Research on Forestry Ecological Restoration and Ecological Protection Engineering Technology

Huang Yong, Deng Yu

Anyuan Forestry Development Service Center, Pingxiang, Jiangxi 337000

Abstract： Forestry ecological restoration and ecological protection project is the core task of environmental protection and ecological construction. This study relies on the major forest areas and nature reserves in the country, the use of systematic analysis and field investigation methods, in-depth exploration of forestry ecological restoration and ecological protection engineering technology. It is found that the use of natural forest ecological restoration technology, such as the improvement of planting diversity, structural complexity and functional complexity, can effectively promote forest ecological restoration. At the same time, the implementation of ecological engineering technologies, including the construction of ecological shelter forest facilities, the ecological engineering planting of herbaceous plants and the ecological restoration of wetlands, can significantly improve and protect the environment. In practice, these technologies have shown remarkable results in improving forest coverage, optimizing soil quality, maintaining biodiversity and addressing climate change. The research results provide technical strategy and theoretical support for optimizing and developing forestry ecological restoration and ecological protection engineering technology in China, and enhance the scientificity and effectiveness of forestry ecological protection engineering.

Keywords： forestry ecological restoration; ecological protection project; natural forest ecological restoration; ecological protection forest facilities; forest coverage rate

引言

在全球气候变化加剧的背景下，森林作为地球的“肺”，其保护与恢复的重要性愈发凸显。林业生态修复与生态保护工程成为解决当前环保及生态建设问题的关键。这些工程不仅关乎林业发展，更对人类和地球的未来具有深远影响。全国各大森林区及自然保护区是我国国土的重要组成部分，其健康状况直接影响着我国乃至全球的生态环境质量。因此，深入研究林业生态修复与生态保护工程技术，探索适合我国国情的解决方案，对于保护国内生态环境、提升森林覆盖率、改善土壤质量及保护生物多样性具有重大意义。本研究旨在全面深入地探讨此领域，为我国相关工作提供理论支撑和实践参考。

一、林业生态修复技术研究

（一）种植多样性在林业生态修复中的应用

种植多样性是林业生态修复中的一项重要技术^[1]。该技术借

鉴了自然森林的种植模式，以多样性的方式种植各种树种，增加了森林生态系统的复杂性和稳定性。种植多样性不仅可以增强森林对病虫害和自然灾害的抗逆能力，提高森林生态系统的自我修复能力，更有助于土壤微生物群落的多样性和稳定性，从而改善

土壤质量，提高森林生态系统的功能。于此种植多样性在为林业生态修复提供物种基础上，还可以有效提升生物多样性，增进森林生态系统的健康和活力。研究显示，树种多样性适度提高，可明显增强森林对环境变化的适应能力，从而促进林业生态灾后恢复。种植多样性在林业生态修复中发挥着重要作用，是提高生态修复质量和效率的关键手段。

（二）结构复杂性在林业生态修复中的影响

结构复杂性在林业生态修复中起着重要作用。结构复杂性与林体生物多样性密切相关，其能增强生态系统稳定性并提升抵抗力。丰富的林下植被、层次鲜明的林体结构以及灌木和小型植物的存在均可以显著增加林地的生态保育价值，促进生物种群的增殖与发展。结构复杂性还影响土壤的保水、保肥功效。例如，多层次林与单层次林相比，其更有效地保持土壤中的养分，减轻水土流失。结构复杂性对于提升林业生态服务功能具有不可忽视的作用，尤其在维护水土的稳定、减轻气候变化的影响以及优化景观质量等方面表现出独特优势。在林业生态修复中，应广泛采用提升森林结构复杂性的恢复手段，使林地赋予更多元的生态功能，显著提升其生态效益^[2]。

（三）功能复杂性的自然林生态恢复技术

自然林生态恢复是林业修复的重要手段，其中功能复杂性是关键因素。该技术通过复杂多变的功能组合和工程方式，利用不同植物的生态功能，恢复林地生态平衡。主要包括面向生态功能集成的多样性种植、树种选择与配置的多元化，以及植被恢复多层次与价值优化等应用。这些策略能有效提升林业生态的恢复能力，促进林地生态的健康稳定，为林业生态修复提供有力支持，有助于实现生态、经济和社会效益的全面提升。

二、生态保护工程技术应用

（一）生态防护林设施的建设策略

生态防护林设施的建设策略在生态保护工程技术应用中占有重要位置。首要目标就是提高防护林的生态功能。这需要科学设计防护林的种植结构，如应用本地优势树种，以提升防护林的生物多样性和复原能力。树种选择应考虑生态类型、生理特性、地区特性以及环境适应性。设置合理的植树密度和植树模式也十分关键，它们影响防护林的生长和持久性。

除此之外，养护管理也是生态防护林设施建设策略的重要内容。防护林的养护管理主要包括正确的疏伐和中耕管理等措施，以保持森林健康，提高其抵御自然灾害的能力。针对不同阶段的防护林，有针对性地进行养护管理，从而最大限度地发挥其生态服务功能。

生态防护林设施建设策略需要结合地域特性和社区需求进行优化，不同地区应采取不同建设策略，终极目标是实现与环境的和谐共生，最大化其生态效益^[3]。

（二）草本植物生态工程技术的应用

草本植物生态工程技术在生态保护中至关重要。其种类多样、生长快、适应性强，是生态修复的优选。在侵蚀地块，种植

适应环境的草本植物能改善土壤结构，减轻水土流失。草本植物还能美化景观，提升环保意识。且因其病虫害少、管理简单，背景养护方便。此外，它还能促进生态链恢复，为动物提供食物和栖息地，增加生物多样性。实践中，科学选择草本植物种类，合理搭配种植，精细管理，能更好发挥其在林业生态修复和生态保护中的效果，为生态恢复贡献力量。

（三）湿地生态修复的实施方案

湿地生态修复的实施方案主要为湿地的植被恢复和水体保护两部分。植被恢复主要通过选择适应湿地环境的植物种类进行植树造林或人工引种，恢复植被覆盖，实现湿地生态修复的初步目标。在种植过程中，应考虑到植物的物种多样性、植被结构和功能性，从而建立健康、稳定的湿地生态系统。

水体保护则着眼于控制污染源，保护湿地水质。通过定期监测水质，发现并解决现有的水污染问题。也可以通过水资源管理，控制湿地的水位和水流，维持湿地的水生生物多样性和水生生态系统的健康。两者结合，构成了湿地生态修复的全面实施方案。在操作过程中，也应依托科学研究，根据各地湿地的自然条件和社会经济状况，制定并实施具有地方特色的湿地修复方案，以取得更好的修复效果。

三、林业生态修复与生态保护工程技术实践成效分析

（一）森林覆盖率的提高情况

林业生态修复与生态保护工程技术显著提升森林覆盖率。全国森林区及自然保护区数据显示，实施相关技术后，覆盖率明显上升。这些技术注重种植多样性和结构、功能复杂性，推动农耕模式向自然林转变，树种丰富度增加。荒芜退化土地经生态保护工程操作后，逐渐恢复生机，森林重生。生态防护林、草本植物生态工程及湿地修复方案等，不仅改善土地生态，更大幅提升森林覆盖率。

（二）土壤质量改善程度分析

全国各大森林区和自然保护区实施的林业生态修复与生态保护工程技术，显著改善了土壤质量。通过提高土壤自我修复和再生能力，改善土壤化学、物理和生物属性，土壤环境得到美化。数据显示，实施技术后，土壤有机质、养分含量、微生物和复合酶活性显著提升，修复效果良好。生态防护林和湿地修复方案在恶劣条件下也显著改善土壤。这表明，林业生态修复与保护工程技术在土壤质量改善方面作用显著，为恢复土壤健康提供了有效途径，为更科学、精细、持续的修复工作提供了实践依据。

（三）生物多样性保护的有效性研究

生物多样性保护是衡量林业生态修复与生态保护工程技术有效性的一个重要指标之一。在此次研究中，通过对不同区域、不同实施技术的生物多样性变化进行分析，结果揭示出技术应用后，生物多样性有显著提升。在具体数据上，种植多样性和结构复杂性的提升，带动了自然林中生物种类的增多以及生态系统稳定性的提高。例如，在应用生态防护林设施建设策略以及草本植物生态工程技术后，相关区域内，昆虫、鸟类等生物种群数量增加，生态系统食物

链更为丰富。生物多样性改善还促进了生态系统的恢复速度和对外部环境变化的适应性，表现为生态系统抵抗能力的增强，从而进一步证实了林业生态修复与生态保护工程技术的有效性。

四、林业生态修复与生态保护工程对气候变化的影响

（一）林业生态修复对减缓气候变化的贡献

林业生态修复对减缓气候变化有重大贡献。从碳汇的视角，修复与重建的森林优于退化和破碎的环境，因为它们能够吸收和存储更多的二氧化碳。健康的森林生态系统通过蒸散作用能够改变地方和区域的水文周期，减轻局地的高温现象，从而对抗气候变化。林业生态修复还有助于维持土壤质量和土壤碳库，抑制甲烷和氮氧化物这两种温室气体的排放。在较大的空间尺度上，林业生态修复将森林连通起来，构建生态走廊，提升生物的适应性和抵御气候变化的能力。这些都证明了，林业生态修复在减缓气候变化，阻止全球变暖过程中起着关键作用。

（二）生态保护工程对调节气候的影响

生态保护工程对调节气候产生明显影响。其一，生态保护工程能够改善土壤水分条件，影响地表反照率，从而缓解地表温度的日照增温效应，对于土壤温度和气温有明显的调控效果^[4]。其二，生态保护工程常通过种植大量植物以修复环境，这些植物通过光合作用，大量吸收二氧化碳，并释放氧气，有效降低大气中的二氧化碳含量，对减缓全球变暖起到一定的抑制作用^[5]。其三，生态保护工程的实施增加了植被的覆盖面，这些植被可以提供生态屏障，减少风速，降低水分蒸发，有助于保证地区的水分平衡，对于稳定气候具有积极的意义。生态保护工程在调节气候方面发挥了重要作用，未来其在气候调控方面的作用值得进一步研究和发展。

（三）技术优化对增强气候稳定性的作用

技术优化对增强气候稳定性的作用表现在以下几个方面：其一，在林业生态修复方面，通过种植多样性、结构复杂性以及功能复杂性的自然林生态恢复技术优化，能有效促进碳汇的提高，从而对抗二氧化碳浓度升高带来的气候变暖效应。其二，在生态保护工程方面，通过恰当的生态防护林设施建设策略以及湿地生态修复方案，可以显著改善和保护生态环境，帮助降低气候对林业生态系统的影响^[6]。其三，技术优化还可能帮助应对由气候变化引发的灾害，例如，优质的防护林设施能抵御因气候变化带来的风灾和水灾^[7]。在未来，通过持续的技术优化和创新，应能进

一步提升技术在增强气候稳定性方面的作用，助力我国的气候适应和缓解措施。

五、林业生态修复与生态保护工程技术的优化与发展

（一）现有技术的优势与不足

林业生态修复与生态保护工程技术优势显著，能提升森林覆盖率，改良土壤，保护生物多样性，并应对气候变化^[8]。然而，这些技术也存在不足。部分生态恢复技术耗时较长，初期经济投入大。此外，特定地理或气候条件下，技术效果可能不佳，甚至引发其他环境问题，如湿地保护工程可能影响地下水位，改变周边环境。面对这些问题，需持续研发和实践，寻找更优解决方案，以充分发挥技术优势，规避不足，推动林业生态修复与生态保护工程技术不断进步。

（二）新技术的研发与应用

在林业生态修复与保护中，新技术研发应用至关重要^[9]。面对全球环境挑战，彻底恢复生态系统愈发困难，需探索新技术以实现高效持久修复。生物技术如微生物菌根技术、基因工程等，可改善土壤质量、提升植物适应性，显著提高修复效率。蓝绿基础设施如生态廊道、生物滤水池等，有效应对自然灾害、改善环境，提供基础设施服务^[10]。尊重自然规律的林业生态修复与保护技术，是应对环境变化、人类活动干扰，实现生态环境持久发展的重要途径，对提升工程可持续性意义重大。

六、结束语

本研究基于国内森林区和自然保护区，深入探索林业生态修复与保护技术。我们发现，自然林生态恢复及生态工程技术能显著提升森林覆盖率、改善土壤、保护生物多样性和减缓气候变化。基于此，提出优化技术策略和理论支撑，旨在提升林业生态修复与保护工程的科学性和有效性。但需注意，每种研究方法和技术均有其局限性和适应性。未来研究需进一步探究其在不同环境和区域的应用效果，以制定更合适的林业修复和保护策略。随着科技发展和社会需求变化，未来研究应更关注林业生态修复与保护技术在实操中的应用效果，将理论研究转化为实践应用，以更好地服务于我国森林保护和林业生态建设。这将有助于实现生态环境改善，促进可持续发展。

参考文献

[1] 金跃. 林业生态保护修复工程研究 [J]. 区域治理, 2020, (52): 0129-0129.
[2] 唐菊秀. 浅谈林业生态保护修复工程 [J]. 农民致富之友, 2021, (27): 210-210.
[3] 王俊芬. 浅谈林业生态保护修复工程 [J]. 农家参谋, 2021, (13): 149-150.
[4] 郭彩虹. 林业生态保护修复方法研究 [J]. 区域治理, 2021, (17): 0197-0198.
[5] 翟功. 林业生态保护与修复工作研究 [J]. 农村百事通, 2021, (33): 118-119.
[6] 马祥东. 林业生态保护与修复工作浅析 [J]. 农家参谋, 2021, (16): 169-170.
[7] 刘占平. 浅谈林业生态保护修复工程 [J]. 农业科技与信息, 2020, (18): 71-72.
[8] 许志辉. 加强生态修复保护 共创美丽宜居鹿城 [J]. 内蒙古林业, 2020, (06): 8-12.
[9] 冯伟, 何少伟. 安徽省林业生态建设存在的问题与对策 [J]. 安徽农业科学, 2019, 47 (16): 142-143+215.
[10] 王铁军. 省林业和草原局做客河北新闻网阳光理政 [J]. 河北林业, 2019, (03): 17.

电力施工绿色项目管理体系优化探讨

孙校

河南百川畅银环保能源股份有限公司, 河南 郑州 450001

摘要： 本文探讨了电力施工绿色项目管理体系的重要性，分析了在南美地区实施该体系时面临的环境法规执行难题、技术创新与应用挑战以及社会责任与公众参与的难题。针对这些难题，提出了优化策略，包括加强环境法规与政策的适应性与执行力、推动绿色技术创新与成本效益分析、强化社会责任与公众参与机制。通过这些措施，旨在实现电力施工项目的环境友好、经济高效和社会责任的和谐统一。

关键词： 电力施工；绿色项目管理；环境法规

Discussion on Optimization of Green Project Management System of Electric Power Construction

Sun Xiao

Henan BCCY Environmental Energy Co.,Ltd. Zhengzhou, Henan 450001

Abstract： This paper discusses the importance of a green project management system for power construction, and analyzes the challenges of environmental regulation enforcement, technological innovation and application, and social responsibility and public participation in the implementation of this system in South America. To solve these problems, optimization strategies are proposed, including strengthening the adaptability and enforcement of environmental regulations and policies, promoting green technology innovation and cost-benefit analysis, and strengthening social responsibility and public participation mechanisms. Through these measures, the aim is to achieve the harmony and unity of environmental friendliness, economic efficiency and social responsibility of power construction projects.

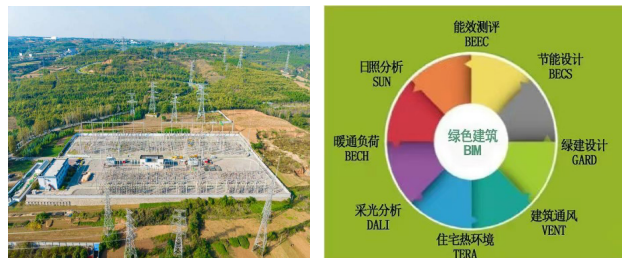
Keywords： power construction; green project management; environmental laws and regulations

引言

在全球气候变化以及环境问题不断加剧的大环境中，电力施工行业是我国能源基础设施建设中非常重要的一个部分，如何建设和优化电力施工行业绿色项目管理体系就变得格外关键。南美地区电力施工项目追求经济效益，但面临环境法规落实不够，绿色技术应用的挑战以及社会责任和公众参与度低等诸多困境。为此，文章旨在论述绿色项目管理体系在电力施工中的重要意义，并且就以上困境提出了相关优化策略，希望能够为电力施工行业的可持续发展提供管理路径。

一、电力施工绿色项目管理体系的重要性

绿色项目管理既能保证建设期间环境影响最小化，又能实现资源消耗与废物排放的有效管控，使环境，经济与社会效益兼



> 图1 电力施工绿色项目管理图

顾。随着世界范围内对于气候变化关注程度的不断提高，电力施工项目所面对的环境法规及标准也越来越苛刻，建立并优化绿色项目管理体系已成为适应时代发展要求的一项重要措施。另外，绿色管理体系还可以帮助企业从竞争激烈的市场中崭露头角，提升社会责任感，提升公众形象。如图1所示。

二、电力施工绿色项目管理体系优化难题

(一) 环境法规与政策执行难题

1. 南美地区环境法规的复杂性与执行力度不足

南美区域环境法规纷繁复杂，种类繁多，主要来源于不同国

家经济发展阶段，环境保护意识和法律体系成熟度等方面的不同。以巴西、哥伦比亚为例，虽然这几个国家对环境保护方面都有严格的规定，但是因为地方政府实施力度不同，使得规定在实践中的运用结果也是良莠不齐。这一复杂性，使电力施工企业项目管理面临着极大的合规挑战。特别是偏远地区环境监管实施效果往往不理想，对企业实施绿色管理造成较大不确定性^[1]。另外，一些南美国家环境法规相对宽松，但是受国际市场冲击，也面临与国际环保标准趋同的压力，使企业需要从合规性上迎接多重标准检验。

2. 项目管理中环境合规性与成本控制的平衡问题

随着环保法规越来越严，按照规定执行的费用越来越高，尤其是南美地区垃圾填埋气发电项目及光伏项目，环境合规性通常需要企业对污染控制与资源管理采取更严厉的措施，无疑会加大工程的运营成本。同时，南美地区电力市场竞争激烈，项目成本提高可能会弱化企业市场竞争力甚至会影响其经济可行性。所以，管理团队进行项目决策时往往会遇到两难抉择：一方面要保证严格遵守环境法规、另一方面要对成本进行控制来保证项目盈利。这一矛盾常常会使项目团队在实践中产生权衡与折衷，从而使环境保护和经济效益的权衡很难达成。

（二）技术创新与应用难题

1. 绿色技术在南美电力施工中的应用现状与挑战

南美地区基础设施相对滞后，很多电力项目对绿色技术没有足够的认识与了解，使得建设过程严重依赖传统技术。特别是在填埋气发电工程中，填埋气体如何高效捕获与利用这一技术难点一直没有被普遍解决。另外，区域内对技术研发投入力度不够，很多绿色技术引进与应用本土化适应性不强，导致技术在实践中成效大大降低。南美地区能源市场发展不成熟，市场机制还未充分形成，致使绿色技术推广受限^[2]。在此背景下，企业应用绿色技术通常会面临着较大的成本压力，尤其对中小企业来说，资金短缺、技术资源不足等问题使其难以承担绿色技术所带来的昂贵费用，继而影响到电力施工过程中对这些技术的广泛运用。

2. 技术创新与项目成本、效率之间的矛盾

随着世界范围内环保要求越来越高，公司将新技术引进到工程中的压力也越来越大，但技术创新通常伴随有昂贵的研发成本与实施费用，特别是南美地区的公司资金压力更甚。尽管新技术能够在某种程度上提高施工效率，降低对环境的影响，但是短时间内的巨额投入可能会对工程的经济效益产生不利影响。另外技术创新也会使施工过程变得复杂，加大工程的管理难度及不确定性。对需要在短时间内完工的工程而言，技术创新的提出常常会使工程周期加长、施工成本提高，进而影响工程整体经济效益。同时，快速的技术迭代使企业面临着项目管理的抉择难题：新技术应用虽有利于促进项目长期可持续，但是随之而来的是高风险、高成本等问题，需要企业对效率提升和成本控制进行艰难取舍。这一矛盾既影响电力施工技术创新的普及，又制约绿色项目管理体系向纵深发展^[3]。

（三）社会责任与公众参与难题

1. 提升公众环保意识与参与度的挑战

尽管环保问题在全球范围内日益受到关注，但南美地区由于

教育水平、经济发展和文化背景的差异，公众对环保的认知仍然相对滞后。很多本地居民对于绿色能源项目了解有限，更多地把注意力集中在工程可能会给自己生活带来的直接效果上，而不是长远环境效益上。另外，地方政府对环保宣传、教育等方面投入的不足也造成了公众对环保活动缺乏热情。垃圾填埋气发电工程及光伏工程中公众环保意识与参与度直接关系到工程推进速度与实施效果。如公众支持不足会使工程在建设时遇到阻力，加大工程社会成本与风险等^[4]。另外，部分项目中公众参与机制存在缺陷，造成信息缺乏透明性和交流不畅性，进一步降低了公众参与的积极性。

2. 项目与当地社区关系的协调与管理

电力施工期间，工程与地方社区之间关系的协调及管理是一个非常具有挑战性的任务，特别是南美地区由于社会文化多样性以及经济发展水平不同，使项目管理团队面对许多复杂的社区关系。很多小区对于兴建大型电力项目心存疑虑，害怕工程实施后会造成环境污染，资源占用以及生活质量降低等问题，从而影响到小区长远可持续发展。这种不信任通常会造社区和项目团队间对立情绪的增加，对项目正常进展造成不必要的阻碍。在某些区域，社会对该项目的潜在经济利益抱有过高的预期，希望公司能提供巨大的就业机会或者其他直接的经济收益，如果这些预期没有得到满足，社区有可能采取抗议和抵制行动，这进一步增加了项目管理困难程度^[5]。

三、电力施工绿色项目管理体系优化策略

（一）加强环境法规与政策的适应性与执行力

1. 建立与南美地区环境法规相适应的管理体系

南美地区电力施工项目通常面临着多样化和动态变化环境法规的挑战，对企业管理体系适应性要求苛刻。针对这些纷繁复杂的法规要求，公司有必要建设适合南美地区环境法规的管理体系。企业应深入学习所在国家法律框架以保证对环境法规核心内容及其实施细则有全面了解。各国、各地区法律要求有明显区别，各企业需要在管理体系上制定法规遵从标准过程，定期进行更新，体现法规最新变化。该管理体系要灵活多变，满足不同项目类型与规模的需求，保证项目全生命周期合规性。另外，企业需要与当地政府、法律顾问等密切协作，了解最新政策信息，提供专业指导。这一协作有助于企业更深入地了解法规的本质，以便对项目规划与执行进行相应的调整^[6]。

2. 通过政策激励与培训提高项目团队的环境合规意识

为保证项目团队能严格按照环境法规执行，企业要通过政策激励与培训等措施全面提高团队成员合规意识。政策激励对于激励团队成员积极遵守规则具有重要意义。企业可通过建立环境合规绩效考核指标来实现团队成员环境合规表现与绩效评估和奖励分配之间的直接联系。该激励机制既能加强团队成员对于合规问题的关注，又能激励团队成员积极地学习并遵守日常工作中的有关规定。系统化培训对增强项目团队环境合规意识也很关键。企业应定期举办培训，特别要对南美地区复杂多样的环境法规开展

专门培训。培训内容要覆盖最新法规要求，合规操作流程及实际操作常见问题与应对策略等。另外，训练中还将结合实际案例帮助团队成员深入了解法规实际适用场景及具体操作要求^[7]。这样实践和理论结合起来，团队成员既可以把握法规要求又可以在实践中灵活应用，降低违规风险。

（二）推动绿色技术创新与成本效益分析

1. 鼓励采用先进的绿色技术并进行成本效益分析

南美地区电力施工绿色项目管理推进过程中绿色技术应用与创新非常关键。企业要想寻求环保和经济效益的均衡，就需要在综合成本效益分析的前提下，鼓励使用先进绿色技术。企业应积极引进和尝试运用最新绿色技术，这通常对减少环境污染、降低资源消耗有明显优势。如将先进的气体收集与处理技术引入到垃圾填埋气体发电工程中能够显著降低温室气体的排放量并提高能源回收效率。类似地，光伏发电项目采用高效能光伏组件及智能控制系统既可提高发电效率又可减少长期运营成本。但先进技术昂贵的初始投入往往是阻碍企业应用的一大因素。所以对成本效益进行综合分析具有重要意义。企业要对绿色技术进行细致的经济分析来评价项目全生命周期内的经济性^[8]。

2. 通过技术创新降低项目成本，提高施工效率

电力施工项目绿色管理既需要降低对环境的影响，又要考虑到经济效益的达成。企业通过技术创新能够有效地降低项目成本和达到绿色管理的目的，同时提高施工效率。技术创新能够通过优化施工流程，采用更加有效的设备，减少资源浪费，降低施工成本。以光伏发电工程为例，模块化设计与预制装配技术的应用既可缩短工期，又可减小现场作业时对周围环境的扰动，进而降低施工成本。另外，智能化施工管理系统的运用，能够实现资源与人的精细化管理并进一步提升施工效率。但技术创新通常伴随着高研发投入与实施风险。为将上述风险降至最低，企业应采用渐进式创新策略。在工程初期，新技术可通过试点工程进行试验与评价，判断实际效果与可行性。在保证技术经济稳定之后，又逐渐向较大工程推广^[9]。

（三）强化社会责任与公众参与机制

1. 建立有效的公众参与和沟通机制，提升项目透明度

在南美地区电力施工项目推进过程中，构建高效的公众参与与沟通机制是关键，既可以增加工程透明度，又可以加强公众对工程的信任度与支持率。企业要积极主动地进行公众咨询与交流，以保证社区居民在项目前期对项目细节有所了解。其中包括以举行公开会议，发表新闻稿以及在社区公告板上贴出资料的形式向住户介绍该项目的背景、对象、实施计划以及可能产生的影响。这些资料要涉及工程环境影响评估，施工进度，重大环保措施，保证资料全面透明。企业要建立社区热线、在线反馈平台、公众信息中心等公众参与与交流的专用平台，为社区居民提供便捷提问与建议。

2. 通过社会责任项目增强与当地社区的联系与合作

在项目规划阶段，企业要深入了解本地社区实际需要，有针对性地开展社会责任项目。其中可包括：教育援助，医疗支持，基础设施建设和环保项目。以垃圾填埋气发电项目执行期间为例，公司可出资支持本地学校改善教育条件或免费举办环保知识讲座等，以协助提升社区居民环保意识与技巧。企业要鼓励社区居民共同参与策划与执行社会责任项目，保证其真正符合社区需要。其途径可包括举办社区讨论会和建立社区代表对项目决策的参与。社区居民参与既能促进工程实施效果，又能提高居民认同与支持程度^[10]。另外，企业还应该定期对社会 responsibility 项目执行效果进行评价，结合社区反馈信息进行调整与优化。这一持续改进机制能够保证项目长期效益和促进企业和社区合作。

四、结束语

电力施工绿色项目管理体系的优化是一个系统工程，需要从法规政策、技术创新、社会责任等多方面入手，综合考虑环境、经济和社会效益。通过加强环境法规的适应性与执行力、推动绿色技术创新与成本效益分析、强化社会责任与公众参与机制，可以有效提升电力施工项目的绿色管理水平，促进电力行业的可持续发展。

参考文献

- [1] 薛冰, 许超, 王辰. 电力施工绿色项目管理体系优化探讨 [J]. 电站系统工程, 2022, 38(01): 73-74.
- [2] 杨进华. 从电力施工履约视角浅析如何提升企业信用 [J]. 水电站机电技术, 2021, 44(09): 148-151.
- [3] 王云博, 张锐, 张文. 复杂环境下电力隧道浅埋暗挖施工技术 [J]. 建筑技术开发, 2021, 48(23): 49-50.
- [4] 夏商周. 电力顶管隧道施工对周边环境的影响 [J]. 工程技术研究, 2023, 8(23): 17-19.
- [5] 赵旭光, 杨林霏. 电力企业建设施工环境合规问题研究——以电力企业中的光伏产业为切入点 [J]. 华北电力大学学报 (社会科学版), 2024, (01): 24-33.
- [6] 王定. 安全技术管理在电力工程施工中的应用分析 [J]. 居业, 2023, (08): 35-37.
- [7] 王平. 林地高压电力线路绿色施工管理与环境保护 [J]. 机电信息, 2019, (32): 172-173.
- [8] 周群, 金红. 电力工程施工中的安全管理分析 [J]. 黑龙江科学, 2021, 12(08): 140-141.
- [9] 杨成, 曾智. 复杂电力施工环境下无人机动力系统可靠性分析 [J]. 环境技术, 2022, (S1): 56-61.
- [10] 文提. 电力工程绿色节能施工技术应用探微 [J]. 建材与装饰, 2018, (01): 231-232.

解析三恒科技系统

晏旺¹, 陈颖²

1. 上海朗绿建筑科技有限公司, 四川 成都 610051

2. 西南交通大学希望学院, 四川 成都 610400

摘 要 : 在推进双碳和探索地产行业新模式的背景下, 在住宅的舒适度、健康、节能环保及高要求的个性化需求得到了更多关注, 三恒科技系统作为满足市场需求的优秀产品, 本文从系统的定义、分类、设计思路、造价、能耗及市场表现等方面对其进行了解析。

关 键 词 : 三恒科技系统; 毛细辐射; 置换新风; 温湿度独立控制; 能耗

Analysis of Sanheng Technology System

Yan Wang¹, Chen Ying²

1. Shanghai Langlv Building Technology Co., Ltd. Chengdu, Sichuan 610051

2. Hope College of Southwest Jiaotong University, Chengdu, Sichuan 610400

Abstract : Against the backdrop of promoting dual carbon and exploring new models in the real estate industry, more attention has been paid to the personalized needs of residential comfort, health, energy conservation and environmental protection, as well as high requirements. As an excellent product that meets market demand, Sanheng Technology System is analyzed in this article from the aspects of system definition, classification, design ideas, cost, energy consumption and market performance.

Keywords : Sanheng technology system; capillary radiation; replace fresh air; temperature and humidity independent control; energy consumption

引言

在碳达峰、碳中和积极快速推进及探索构建地产行业发展新模式的背景下, 人们对住宅的关注点由原有的投资属性逐渐更多向居住属性转移, 除了从地段、配套、装修、物业等传统意义上的“好”去衡量外, 还对住宅的舒适度、健康环保、节能及个性化的需求提出了更高的要求。地产商为打造品牌、提高溢价, 从满足市场需求的角度推出差异化的空调产品——三恒科技系统。

一、发展历程

20世纪70年代, 欧洲发生了两次严重的能源危机。瑞士盖林格 (Geilinger) 公司决定研发新型的低能耗建筑产品。布鲁诺·凯乐教授负责研究并申请了新型的健康舒适节能建筑产品的专利。

20世纪80年代, 德国人发明毛细管辐射系统。1991年, 第一座成熟应用辐射空调技术的办公楼在瑞士建成。

2001年, 布鲁诺·凯乐教授承接了“北京锋尚国际公寓”项目的设计。于2003年落成, 标志着国内第一个应用三恒科技系统的住宅项目正式交付。

2004年, 布鲁诺·凯乐教授为朗诗打造的第一个科技住宅项目南京朗诗国际街区正式公开。随后, 快速向长三角、武汉、成都、西安等地布局, 被广泛认可。

2014年, 金茂以项目广渠门金茂府开始正式推出“府系”三恒科技系统产品。

至今, 国内已经出现了朗绿科技、金茂绿建等三恒科技系统产品服务商, 以及一些号称三恒产品的“二联供”“全空气”等空调产品, 可见市场之火热。

二、系统综述

三恒科技系统指的是“恒温、恒湿、恒氧”的空调系统, 根据宣传策略的不同, 市场上有五恒 (恒温、恒湿、恒氧、恒洁、恒静)、六恒 (恒温、恒湿、恒氧、恒洁、恒静、恒智) 甚至九恒的名称, 核心是三恒, 其它均属于三恒的延伸, 可看作营销术语。

三恒科技系统属于温湿度独立控制空调系统, 末端由辐射系

统处理温度、新风系统处理湿度，温度、湿度分别独立控制，有别于传统空调系统的温湿度耦合处理^[1]。

三、系统分类

按照空气处理设备的设置情况可分为集中式、半集中式、户式。

集中式系统采用集中能源站、集中新风系统和集中辐射系统，需占用机房、管井等空间，统一开关、户内可调范围小，需专业团队驻场运维，一般按面积收费，户内无设备带来的噪音。

半集中式系统采用集中能源站、户式新风、户式辐射系统，需占用机房、管井等空间，可分户分室控制、远程操控、丰俭由人，需专业团队驻场运维，一般按使用流量收费，户内设备产权到户。

户式系统采用户式空气源热泵机组、户式新风机、户式辐射系统，每户独立设置一套完整三恒系统，产权独立到户，需设置主机设备平台，可分户分室控制、远程操控、丰俭自由，系统只需定时保养即可，采用用电缴费的方式。

四、系统设计思路

三恒科技系统是高舒适度的空调系统，通过与建筑、结构、设备和装修各专业高度配合、协同和系统集成化，该系统可采用各种形式的冷热源，依托于节能建筑，采取土建预留、装修密切配合的设计思路，结合以水为媒介的辐射系统，保证室内达到辐射空调的舒适性效果；新风采用置换送风的方式，经独立的新风机处理后的新风由地面架空层不间断送入室内，通过厨卫的排风口排至室外，由此形成的气流组织方式使得室内获得较好的空气品质^[2]。

（一）恒温

传统空调系统出风口温度低，风速大，温度场、风速场极不均匀，导致空调吹风感强烈，夏季冷气刺冷，冬季热气燥热，人体舒适度极差。夏季≤26℃、冬季≥20℃、垂直温差控制在2℃以内。温度范围稳定，水平、垂直方向温度均匀，人体和空间的热交换主要是辐射的形式进行，从头到脚都感受一样的温度，这一静态制冷

及自然温暖的环境使人体感到非常舒适。参照上海朗绿建筑科技有限公司的模拟结

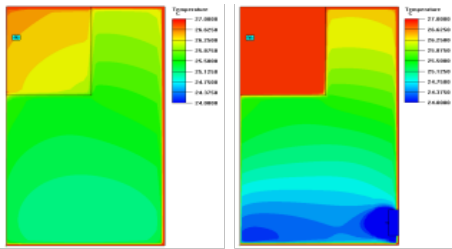


图1 三恒科技系统与风盘或VRV空调系统温度场

系统与传统风盘或VRV空调系统温度场对比如图1。

（二）恒湿

国内大部分气候区域，夏季皮肤湿黏，秋冬季干燥，皮肤紧绷，阴雨天衣物和房间容易发霉，潮湿的环境容易滋生细菌和螨

虫，影响人体舒适度和居住体验。三恒新风系统内含除湿加湿模块，保证夏季室内相对湿度为45%~65%，凉爽舒适，不会有憋闷感，冬季室内相对湿度为35%~60%，温暖湿润。夏季新风除湿后经内置再热盘管，可实现送风温度可调，防止出风温度过低造成的人体不舒适；冬季加湿，舒适滋润。

（三）恒氧、恒洁

主要功能房间新风换气次数≥1次/h，保证室内空气的清新，CO2浓度小于700PPM。空气中含氧量越高，越有利于头脑清醒、注意力集中，可减少疾病的产生，少犯呼吸系统疾病。

新风系统采用超洁净新风技术，采集室外新鲜空气，经G4初效、H12高效过滤净化，PM2.5的理论过滤效率达98%以上，再通过独立的封闭管道送入室内，以保证室内新风健康。同时，系统配置空气质量传感器，稳定、准确地反馈室内的二氧化碳、PM2.5、PM10等参数^[3]。

（四）恒静、恒智

科技系统室内没有内机，无电机、压缩机等传动设备，无空调设备噪声，有别于传统空调系统噪声对人居环境的影响^[4]。

控制系统实现包括但不限于：模式切换（制冷、制热、加湿、通风）、温度设定与调节、温度及湿度实时显示、空气质量参数的实时显示，同时具备结合可视对讲、智能家居等扩展功能，一屏智能控制整屋设备，包括科技系统、智能家居（灯光、窗帘）。

（五）毛细辐射管网^[5]

温度控制系统一般采用毛细管席、辐射板、埋管等辐射换热形式，以毛细管席应用最多。毛细管网敷设于石膏吊顶下表面或墙体内部表面，主要靠辐射传热给建筑物供冷或供热，柔和散热制冷，避免了常规空调末端形式带来的吹风感和室内不同位置的温差，室内温度分布均衡。经实践表明，辐射是舒适性最高的传热方式。与风机盘管相比没有凝结水系统，不会发生排水不畅及造成滴水等现象。

（六）置换新风系统

采用下送上排的气流组织方式，送风采用地板送风，新风送风从墙角地面以很小的风速送入室内，在地面蔓延形成新风湖，遇到人体等室内发热体加热后自然上升包裹人体，使人体始终吸入的是新鲜空气，而人体呼出的废气亦随上升气流带走，排风采用上排，在各封闭的房间门头正上方安装平衡式通风器，从厨房、卫生间等顶部的排风口排出室外。新风系统让人始终处在健康的新风环境中。

五、系统造价

根据各区域市场项目调研，集中式三恒科技系统的造价在700~900元/㎡，半集中式三恒科技系统的造价在900~1100元/㎡，户式三恒科技系统的造价在800~1000元/㎡。与传统住宅项目VRV（多联机）+地暖+新风的常规空调相比，有300~600元/㎡的成本增量。

六、系统能耗分析

根据大量既有项目运行能耗数据，与传统空调系统能耗相比有明显优势，尤其是在同一项目、同等舒适度、同等使用时间

下，更能体现三恒科技系统在低碳节能环保方面的优越性。本文选择以夏热冬冷地区（如成都）的150 m²套四户型为例，通过对户式化三恒科技系统与最常见的组合“VRV（多联机）+地暖（壁挂炉）+单向直流常规新风”进行能耗对比，详见下表：

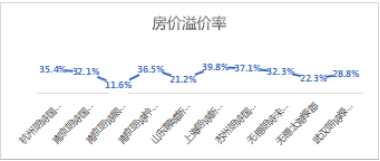
系统	制冷量 / 功率 / KW	制热量 / 功率 / KW	月份									年能耗费 / 元
			5	6	7	8	9	11	12	1	2	
A	18/5.4	14/4.1	583	777	1360	1069	777	443	738	885	590	7225
B	24/7.2		308	411	719	565	411	1440	1800	1800	1440	8895
说明	1.表中A为三恒科技系统，B为VRV（多联机）+地暖（壁挂炉）+单向直流常规新风系统，下文以系统A、系统B代来表达； 2.系统A供暖/供冷均采用毛细管辐射+新风系统，使用季系统按24小时运行测算；系统B冬季供暖采用燃气地暖+单向流新风系统按24小时运行测算，夏季供冷采用VRV多联机，每天开启率按12小时测算； 3.平均用电单价按0.5元/度电估算； 4.建筑外围护参照住宅65%节能率 ^[9] 对负荷进行估算，地暖月度费用按既有项目能耗统计数据估算。											

从上表可以看出，即使按照夏季使用时间不同进行测算，系统B仍比系统A的全年能耗高18.7%，主要在于燃气壁挂炉锅炉地暖系统集成度低、调节手段单一、分布式系统能效偏低、地暖供水温度偏高等原因造成在冬季使用费用高。在冬季系统A表现出明显的能耗优势，有利于双碳的推进和为打造高端住宅引入“又好又省”的产品。

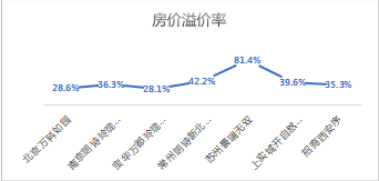
在上海、北京、南京、广州、西安、成都等一二线城市迅速增长，从目前的项目来看，无论朗诗系列、金茂府系列居住的客户都是有一定社会地位、素质较高、注重生活品质的人士。从房价上看，新房价、二手房价与周边同类型对标项目均价相比，均有一定的溢价，参照上海朗绿建筑科技有限公司服务项目的新房价格分析，详见图2、图3。

七、市场表现

从市场角度看，房地产市场已经进入下半场，客户需求出现明显分化，以满足基本居住需求的经济适用类常规住宅产品呈过剩状态，而追求高品质的客户群体仅是面积大、装修好已无法满足其多样化、专业化、个性化的舒适、健康人居的需求。各大开发商面对常规过剩、高端不足得市场格局，纷纷下场、各展神通，为向高端市场拓展选择三恒科技系统产品无疑是一个不错的亮点。



> 图2 集中式三恒科技系统房价溢价率



> 图3 户式三恒科技系统房价溢价率

八、结语

三恒科技系统满足了人们对人居环境的高舒适度、健康环保、节能及个性化的需求，也为地产商打造品牌、提高溢价、从满足市场需求的角度推出差异化产品提供了一个非常不错的解决方案。随着绿建技术的不断发展，在解决三恒科技系统中对使用习惯的限制、能源的分配、系统能效、防结露控制^[8]、装修匹配^[9]、施工工艺等方面提出了新的思路，期待能通过不断迭代、优化，为市场提供一款更好的产品，助力双碳的持续推进和地产新模式持续探索、高品质住宅的不断发展^[10]。

参考文献

- [1] 王玮，梁江，张碧婷. 温湿度独立控制空调系统除湿方式简析 [J]. 洁净与空调技术，2019(2):102-105.
- [2] 宋灿华，杨陶毅. 高档住宅恒温恒湿净化新风系统的设计 [J]. 建筑热能通风空调，2015(2): 96-99.
- [3] GB/T18883-2022 室内空气质量标准 [S]. 北京：中国建筑工业出版社，2022.
- [4] GB 55016-2021 建筑环境通用规范 [S]. 北京：中国建筑工业出版社，2022.
- [5] 杨冰，刘畅，李妍，等. 毛细管网辐射系统在某被动式办公建筑中的运行情况 [J]. 制冷与空调，2021，21(1):61-65+70.
- [6] GB 55015-2021 建筑节能与可再生能源利用通用规范 [S]. 北京：中国建筑工业出版社，2022.
- [7] 赵太新. 变频调速在中央空调系统节能中的应用 [J]. 节能技术，200826(1): 60-63.
- [8] 袁玉，隋学敏，侯博. 辐射供冷空调防结露机理及相关技术分析 [J]. 建筑热能通风空调，2016(4):51-55.
- [9] 殷晶晶，王昊. 解析三恒系统科技住宅 [J]. 绿色建筑，2018，10(5):54-56.
- [10] 高品质住宅的发展方向——“三恒科技住宅”的技术构成与市场发展 [J]. 中国住宅设施，2014(7):64-71.

猪厂育肥舍智能化垫料处理与环境调控系统

夏娟¹, 张花哲¹, 徐小杰¹, 张炳超^{2*}

1. 广州商学院 信息技术与工程学院, 广东 广州 511363

2. 广东省现代农业装备研究院, 广东 广州 510630

摘 要： 本研究围绕高床养猪育肥舍的垫料车间粪污处理环节，构建了一套智能化控制系统。系统依托先进的物联网、大数据分析 & 智能传感技术，实现了粪污收集、固液分离、翻堆发酵及气体调控等全过程自动化管理。核心设备包括高床滚筒翻堆机、大流量鼓风机、固液分离机及环控除臭系统，结合 PLC 编程及远程监测功能，优化垫料发酵过程，提高粪污资源化利用效率。经过不同规模养猪场的测试，系统整体运行稳定，各设备无故障率达 90% 以上，为现代化养殖提供了高效、环保的粪污管理方案。

关 键 词： 高床养猪；粪污处理；育肥舍；垫料车间；物联网

Intelligent Padding Processing and Environmental Control System for Pig Fattening House

Xia Juan¹, Zhang Huazhe¹, Xu Xiaojie¹, Zhang Bingchao^{2*}

1. School of Information Technology and Engineering, Guangzhou College of Commerce,
Guangzhou, Guangdong 511363

2. Guangdong Provincial Academy of Modern Agricultural Equipment, Guangzhou, Guangdong 510630

Abstract： This study constructs an intelligent control system focusing on the manure treatment link in the padding workshop of the high-bed pig fattening house. Relying on advanced Internet of Things, big data analysis, and intelligent sensing technology, the system achieves automatic management of the entire process of manure collection, solid-liquid separation, compost turning, and fermentation, and gas regulation. The core equipment includes a high-bed roller compost turner, a high-volume blower, a solid-liquid separator, and an environmental control and deodorization system. Combined with PLC programming and remote monitoring functions, the system optimizes the padding fermentation process and improves the utilization efficiency of manure resources. After testing in pig farms of different scales, the overall operation of the system is stable, and the trouble-free rate of each device is over 90%, providing an efficient and environmentally friendly manure management solution for modern aquaculture.

Keywords： shigh-bed pig farming; manure treatment; fattening house; padding workshop; Internet of Things

引言

养殖业的集约化和规模化发展，使得粪污管理成为提升养殖效益和减少环境污染的关键环节^[1-5]。特别是在育肥猪饲养阶段，由于猪只体重增加和饲料消耗量提升，粪污排放量显著增加，传统的粪污处理方式已难以满足环保和资源利用的需求。如果粪污管理不当，不仅会导致养殖场恶臭气体积累，影响猪群健康，还可能通过渗透和排放污染水源和土壤，对生态环境造成不良影响^[6-7]。

近年来，智能化技术的引入为粪污处理提供了新的思路。物联网、大数据分析、自动化控制和环境监测技术逐步应用于现代畜牧业，能够实现粪污处理的精细化调控，提高处理效率，降低环境污染。通过实时监测垫料湿度、温度和氧气含量，并结合自动化翻抛、曝气和固液分离等技术，粪污处理可以更加高效、可持续^[8-12]。

针对育肥舍垫料车间的粪污处理特点，本研究构建了一种基于智能控制的高床养猪粪污育肥舍垫料车间管理系统。该系统整合软硬件设施，利用智能监测与控制算法，实现粪污资源化、自动化处理，并优化养殖环境。本研究的目标是通过该系统的推广，提升粪污处理效率，降低环境污染，为规模化、现代化养殖提供高效的粪污管理方案。

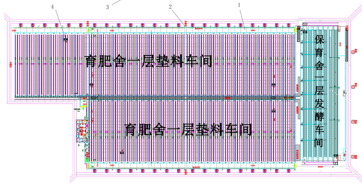
基金项目：广东省普通高校青年创新人才类项目 (2021KQNCX121) 项目名称：基于物联网的畜禽高床养殖粪污综合处理系统

作者简介：夏娟 (1992-)，女，湖北武汉人，讲师，硕士研究生；

通讯作者：张炳超 (1989-)，男，山东东营人，高级工程师，硕士生导师，邮箱：8856121.hi@163.com

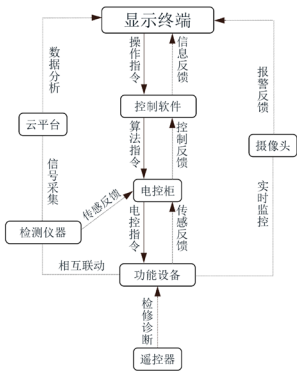
一、育肥舍一层垫料车间智能管理方案

为适应现代农业可持续发展需求，并结合广东地区的养殖特点，本研究选取河源市某食品集团的养猪场作为示范基地，联合多所科研机构，经过长期探索与试验，形成了一套适用于育肥舍的智能粪污处理模式。该模式基于高床发酵生态养殖理念，旨在通过智



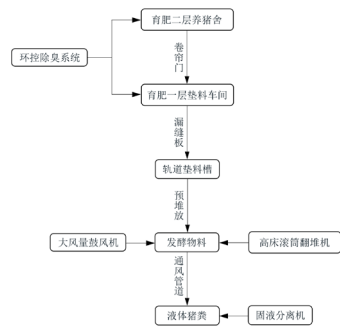
能控制优化粪污分解、资源化利用及环境调控，最终实现粪污“零排放”目标。本研究围绕育肥舍垫料车间的粪污处理展开，如图1所示。

本系统涵盖育肥舍一层垫料车间的智能化管理，涵盖粪污收集、固液分离、翻堆发酵及空气质量调控等环节。猪舍及车间各功能区均安装了智能传感设备，并通过无线或有线网络实现远程监控，使管理人员能够实时掌握粪污处理状态。数据可同步传输至云端，通过大数据分析优化操作参数，提高管理精度，如图2



二、育肥舍一层垫料车间处理系统设计

育肥舍采用双层结构，二层猪舍的排泄物通过全漏缝水泥板直接进入一层预设的垫料区域。粪污在垫料中分解发酵，同时利用高床滚筒翻堆机实现物料翻抛，使粪污与垫料充分混合。系统结合大风量鼓风机进行定时曝气，促进好氧发酵过程，提高粪污降解速率。多余液体粪污沿预设管道流入污水暂存池，并通过固液分离系统处



（一）设备集成与自动化控制

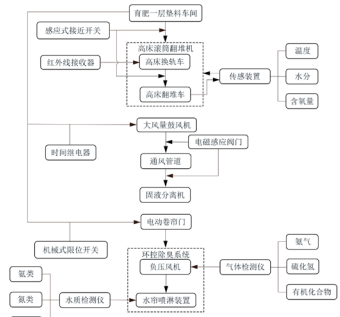
育肥舍垫料车间的硬件控制系统涵盖多个核心功能模块，旨

在优化粪污的处理效率，降低环境污染，并提升养殖环境质量。首先，高床滚筒翻堆机配备了一整套智能传感装置，可实时监测垫料的温湿度、氧气浓度及其他关键参数。该设备结合菌液喷洒系统，在翻抛过程中精准控制发酵环境，促进粪污快速降解并优化垫料质量。其次，通风与固液分离系统相互联动，通过大风量鼓风机提供定时曝气，使垫料内的有机物充分分解，同时利用液位探针及时间继电器精准控制污水流向固液分离设备。该分离系统能够高效去除液体中的固体杂质，确保污水处理更加高效。此外，空气质量优化模块通过负压风机和水帘喷淋系统协同工作，依据气体传感器反馈数据，动态调节风机转速及喷雾量，保障育肥舍空气质量。所有设备均由PLC系统进行统一调度，并配备远程监控及自动报警系统，确保运行稳定性和智能化管理。

（二）智能监测与远程调控

育肥舍垫料车间的软件系统集成智能监测与自动控制功能，能够对粪污处理各环节进行精准调节。首先，在智能翻抛作业方面，换轨车到达指定垫料槽后，红外感应系统会自动触发翻堆机启动，对垫料进行均匀翻抛。整个过程中，传感器持续采集温湿度及氧含量等关键数据，并根据实时反馈调整翻抛深度与翻堆路径，以确保粪污的充分分解。

在曝气与菌液管理方面，系统根据检测到的环境数据智能调节鼓风机的运行时长及风量分配，并同步控制菌液喷洒装置，对需要额外促进发酵的区域进行精准施肥。针对污水管理，固液分离系统能够检测污水储



池液位，并依据设定的触发阈值自动启停分离设备，提高水资源利用率，减少环境污染。

空气质量调控方面，负压风机与喷雾系统根据气体传感器反馈的氨气、硫化氢等污染物浓度数据，自动调节排风速度和喷雾量，以确保车间空气质量符合环保要求。所有数据均可存储至云端，并支持历史数据分析，以便后续优化粪污处理策略。如图4所示。

三、运行测试与系统优化

为评估本系统的稳定性与适用性，本研究选取了不同规模的养殖场进行测试。通过与食品集团下属三家不同规模的养殖场合作，对各猪场的粪污处理设备进行了硬件升级与软件优化，完成系统安装与调试后，进行了为期一个月的试运行测试，重点检测设备的运行稳定性、功能适配性及系统自动化水平。

（一）育肥舍垫料车间设备性能评估

本次测试选取的三个养殖场分别包含40个、28个和18个育肥单元，每个养殖场均配备了高床滚筒翻堆机、大风量鼓风机、固液分离机及环控除臭系统。测试结果显示，各设备运行无故障

率均超过 90%，具体数据如表 1 所示。

表 1 育肥舍一层垫料车间控制设备运行无故障率（%）

猪场	高床滚筒翻堆机	大风量鼓风机	固液分离机	环控除臭系统
1 号	92.9	98.5	95.8	91.7
2 号	94.0	98.9	96.7	93.8
3 号	93.3	99.0	95.0	92.5

（二）运行分析与系统优化措施

测试结果表明，系统能够满足日常粪污处理需求，但仍存在若干可优化的环节。通过分析设备自动故障诊断数据与现场运行情况，发现部分问题主要源于以下方面：设备安装与硬件适配，部分翻堆机的接近感应开关位置需要进一步调整，以确保翻抛深

度均匀；控制算法优化，改进大风量鼓风机与固液分离机的联动逻辑，提高污水分离效率；维护与管理优化，加强操作人员培训，包括定期对刮粪机卷绕钢丝绳进行润滑维护，减少因设备磨损导致的故障率。后续将继续优化调整，提升系统运行的稳定性和处理效率，进一步提高粪污资源化利用水平。

四、结论

高床养猪育肥舍垫料车间控制系统依托智能化技术，实现粪污管理的自动化与精细化，优化粪污降解过程，提高环保性能。系统测试表明，该方案能够有效提升粪污资源化利用率，改善养殖环境，为规模化养殖提供高效、环保的粪污处理方案，同时具有良好的推广应用前景。

参考文献

[1] 张学汉, 陈彩芬. 畜禽粪污处理与资源化利用技术推广 [J]. 畜牧兽医科技信息, 2024, (06): 27-29.

[2] 肖思敏, 崔霞. 规模养殖场畜禽粪污处理和资源化利用的现状分析 [J]. 畜牧业环境, 2024, (02): 39-40.

[3] 谭显贵. 规模养殖场畜禽粪污处理和资源化利用现状分析 [J]. 畜牧业环境, 2023, (02): 53-55.

[4] 王吉根, 杨会国, 张云生, 等. 微生物菌剂在畜禽粪污好氧堆肥中的应用效果研究 [J]. 中国沼气, 2024, 42(06): 27-33.

[5] 杨鼎文, 周恒. 规模养殖场畜禽粪污处理和资源化利用的现状分析 [J]. 畜牧业环境, 2023, (20): 30-31.

[6] 孙文, 刘春生, 陈海林, 等. 畜禽养殖废弃物生产有机肥发酵技术及设备研究现状 [J]. 农业工程, 2024, 14(04): 9-13.

[7] 陈海林, 孙文, 刘春生, 等. 畜禽粪污卧式发酵滚筒设计与试验 [J]. 智能化农业装备学报 (中英文), 2024, 5(01): 64-70.

[8] 刘秋琳. 畜禽粪污收储运网络模型及试点研究 [D]. 清华大学, 2017.

[9] 张勇. 智能养猪数字化设备技术应用与推广探究 [J]. 猪业观察, 2024, (03): 52-54.

[10] 任道渠. 智能化环境控制在现代化养猪场中的应用 [J]. 猪业观察, 2024, (03): 55-57.

[11] 王兴家, 张霞, 穆元杰, 等. 基于物联网的猪舍环境监测系统 [J]. 现代农业装备, 2024, 45(3): 54-62.

[12] 曾庆东, 徐伟, 刘开红, 等. 规模养殖业的清洁生产——高床发酵型生态养猪技术研究 [J]. 现代农业装备, 2021, 42(1): 61-64.

