

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3期 2024年5月刊

主管 ART AND DESIGN PRESS INC.

主办 ART AND DESIGN PRESS INC.

编辑 《现代工程学》编辑部

ISSN(O): 2996-6981

ISSN(P): 2996-6973

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

网址: <https://www.artdesignp.com>

本刊说明:

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

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



建筑工程 | ARCHITECTURAL ENGINEERING

- | | | |
|-----|--|--|
| 005 | 建筑工程绿色施工技术与策略探究
Research on Green Construction Technology And Strategy
Of Building Engineering | 张希哲
Zhang Xizhe |
| 008 | 基于植物修复技术的城市污染土壤治理工程案例分
Case Analysis of Urban Polluted Soil Remediation Projects Based
on Phytoremediation Technology | 黄君怡 ¹ , 王冠 ²
Huang Junyi ¹ , Wang Guan ² |
| 011 | 浅论道路线形设计对交通安全的影响及改善措施
The Influence of Road Alignment Design on Traffic Safety
and its Improvement Measures are Briefly Discussed | 李文芳, 王留山
Li Wenfang, Wang Liushan |
| 014 | 森林康养理念在老年人旅游目的地规划中的
应用研究
Research on the Application of Forest Health Concept in Tourism Destination
Planning for the Elderly | 马培培, 陈丽敏, 何丽珊
Ma Peipei, Chen Limin, He Lishan |
| 017 | 现代建筑工程施工安全管理策略研究
Research on Construction Safety Management Strategy
of Modern Building Engineering | 张希哲
Zhang Xizhe |
| 020 | 高速公路养护中温拌超薄磨耗层的施工技术
Construction Technology of Warm Mix Ultra-Thin Wearing Layer
in Highway Maintenance | 唐海霞
Tang Haixia |
| 023 | 基于隧道工程的复合型衬砌施工技术的应用分析
Application Analysis of Composite Lining Construction Technology
Based on Tunnel Engineering | 吴涛, 兰智斌
Wu Tao, Lan Zhibin |
| 026 | 商业空间动线设计与顾客体验优化
Commercial Space Dynamic Line Design and Customer
Experience Optimization | 姚平
Yao Ping |
| 029 | 高速公路养护管理现状及发展趋势探讨
Discussion on the Current Status and Development Trend
of Expressway Maintenance Management | 易春燕
Yi Chunyan |
| 032 | 煤矿安全管理存在的问题及应对策略
Problems Existing In Coal Mine Safety Management
And Countermeasures | 尹耀辉
Yin Yaohui |
| 035 | 智能技术在公路工程设计中的应用
Application of Intelligent Technology
in Highway Engineering Design | 陈新平 ¹ , 陈长远 ²
Chen Xinping ¹ , Chen Changyuan ² |
| 038 | 肢体障碍者对城市公园无障碍设计需求分析
——以肇庆市碧莲湖公园为例
Analysis on the Needs of Disabled People for Barrier-Free Design
of Urban Parks -- A Case Study of Bilian Lake Park
in Zhaoqing City | 张彬, 张原原 [*]
Zhang Bin, Zhang Yuanyuan [*] |
| 042 | 数理概念下基于F-S曲线的城市口袋公园设计研究
——以肇庆市鼎湖博览中心棕地厂房改造为例
Design Research of Urban Pocket Park Based on F-S Curve under Mathematical
Concept-- Take Zhaoqing Dinghu Expo Center Brownfield
Factory Renovation as an Example | 覃娇芬
Qin Jiaofen |

机械工程 | MECHANICAL ENGINEERING

046	机电一体化技术在轨道交通车辆门控系统中的应用 Application of Mechatronics Technology in Gate Control System of Rail Transit Vehicles	刘丹 Liu Dan
049	用于 pVTt 的快速切换三通阀设计与验证 Design and Verification of a Fast Switching Three-Way Valve for pVTt Measurements	屠亲帅, 张文翰, 林天然, 周彬, 张高明, 徐志鹏 [*] Tu Qinshuai, Zhang Wenhan, Lin Tianran, Zhou Bin, Zhang Gaoming, Xu Zhipeng [*]
052	超临界机组设备故障预测与智能运维策略 Equipment Fault Prediction and Intelligent Operation and Maintenance Strategy for Supercritical Units	王猛, 潘作为, 范景扬, 李静平, 姚虎冬 Wang Meng, Pan Zuowei, Fan Jingyang, Li Jingping, Yao Hudong
055	手持 GNSS 接收机精度改进的一种有效方法 An Effective Method for Improving the Accuracy of Handheld GNSS Receivers	张晨艳 Zhang Chenyan
058	陆上风力发电机基础疲劳损伤全过程分析 Analysis of the Whole Process of Foundation Fatigue Damage of Onshore Wind Turbine	林旭亮 ¹ , 张元海 ² , 程才淑 ¹ , 颜鸿民 ¹ Lin Xuliang ¹ , Zhang Yuanhai ² , Cheng Caishu ¹ , Yan Hongmin ¹
061	化工自动化仪表检修与维护措施研究 Research on Maintenance and Repair Measures of Chemical Automation Instruments	赵鲁强 Zhao Luqiang
064	矩阵初等变换的一些探讨与教学体会 Some Discussion and Teaching Experience of Elementary Transformation of Matrix	姜德烁 Jiang Desuo

信息工程 | INFORMATION ENGINEERING

067	JavaScript 学生程序错误模式分析与自动修正框架构建 Javascript Student Program Error Mode Analysis and Automatic Correction Framework Construction	蔡文玉 Cai Wenyu
070	无人机在灾害评估与应急救援中的角色及其发展趋势 The Role and Development Trend of Drones in Disaster Assessment and Emergency Rescue	代蛟, 罗静东 Dai Jiao, Luo Jingdong
073	农民土地征收安置补偿措施的优化策略 Optimization Strategy of Compensation Measures for Farmers' Land Expropriation and Resettlement	周伟康 Zhou Weikang

能源工程 | ENERGY ENGINEERING

076	光伏新能源并网对继电保护的影响 The Impact of Photovoltaic New Energy Grid Connection on Relay Protection	蔺敬军 ¹ , 刘海成 ¹ , 何瑞睿 ² , 刘东 ¹ , 蒋青 ¹ , 王杰 ¹ , 陈文博 ¹ , 包小龙 ¹ Lin Jingjun ¹ , Liu Haicheng ¹ , He Ruirui ² , Liu Dong ¹ , Jiang Qing ¹ , Wang Jie ¹ , Chen Wenbo ¹ , Bao Xiaolong ¹
079	秦皇岛市零碳工厂建设路径研究 Study on the Construction Path of Zero-Carbon Factories in Qinhuangdao City	尼日特, 韩佳俊 Ni Rite, Han Jiajun
082	天然气长输管网优化建模及求解研究探讨 Research on Optimization Modeling and Solution of Natural Gas Long Distance Pipeline Network	任雨涵, 李映霏, 陈渝静 Ren Yuhan, Li Yingfei, Chen Yujing
085	大型电站锅炉燃烧优化技术及其节能效果分析 Analysis of Combustion Optimization Technology and Energy-Saving Effect of Large Power Station Boiler	孙麒 Sun Qi
088	石油钻井行业安全管理现状与探究 Status Quo and Research of Safety Management in Petroleum Drilling Industry	杨杰 Yang Jie
091	火力发电厂水循环控制系统关键部件性能优化研究 Research on Performance Optimization of Key Components of Water Cycle Control System in Thermal Power Plant	张一帆 Zhang Yifan
094	绿色供应链管理对企业可持续发展的影响研究 Study on the Influence of Green Supply Chain Management on the Sustainable Development of Enterprises	赵景豪 Zhao Jinghao
097	城市地下空间开发中电力线路迁改设计研究 Research on the Design of Power Line Relocation and Reconstruction in Urban Underground Space Development	罗先超 Luo Xianchao
100	10kV 供电系统设计中常见问题及解决措施 Common Problems and Solutions in 10kV Power Supply and Distribution System Design	潘章满 Pan Zhangman

建筑工程绿色施工技术与策略探究

张希哲

山东潍坊润丰化工股份有限公司, 山东 潍坊 261100

摘 要：随着我国经济的迅速增长和人们对环保的关注不断加深，绿色施工技术在建筑工程中的重要性变得越来越明显。本文详细讨论了建筑工程中的绿色施工技术，探究了其含义和在实践中的运用，同时提出了相关的执行方案。文章开篇说明绿色施工技术的概念及其与传统方式的不同之处，详细阐述这种技术在建筑工程中的实际运用，包括环保措施、节约材料方法、节水办法以及能效提升手段等，最后提出了加强绿色施工管理、推广绿色建筑材料、提高施工人员素质等实施策略，以期为建筑工程绿色施工提供参考和借鉴。

关 键 词： 建筑工程；绿色施工技术；环境保护；实施策略

Research on Green Construction Technology And Strategy Of Building Engineering

Zhang Xizhe

Shandong Weifang Runfeng Chemical Co., LTD. Weifang, Shandong 261100

Abstract： With the rapid growth of China's economy and the deepening of people's attention to environmental protection, the importance of green construction technology in construction engineering has become more and more obvious. This paper discusses the green construction technology in construction engineering in detail, probes into its meaning and application in practice, and puts forward the relevant implementation scheme. The paper begins by explaining the concept of green construction technology and its differences from traditional methods, and elaborates the practical application of this technology in construction projects, including environmental protection measures, material saving methods, water saving methods and energy efficiency improvement methods, and finally puts forward implementation strategies such as strengthening green construction management, promoting green building materials, and improving the quality of construction personnel. In order to provide reference and reference for the green construction of building engineering.

Keywords： construction engineering; green construction technology; environmental protection; implementation strategy

引言

（一）研究背景及意义

我国经济迅速发展带动了城市化进程的显著加快。作为国民经济关键部分，建筑行业的扩展规模和速度不断提升。然而，传统的建筑施工方式对环境造成了严重的负面影响，如资源消耗大、环境污染等问题日益突出。在这种背景下，绿色施工技术应运而生，成为建筑行业可持续发展的重要方向。首先，绿色施工技术有助于提高资源利用效率，缓解我国资源压力。据统计，建筑业是我国能源消耗和资源消耗的主要行业之一，通过推广绿色施工技术，可以有效降低资源浪费，提高资源利用效率^[1]。其次，采用绿色建筑技术可以减少对环境的污染，促进生态环境的改善。传统施工所带来的噪音、扬尘和废水等污染对周边环境和居民生活质量造成了严重影响。绿色施工技术的应用可以大幅度减少这些污染物的排放，改善生态环境。此外，绿色施工技术有助于推动建筑业的转型升级，提升行业竞争力。我国建筑业要想在国际市场上立足，就必须加快绿色施工技术的研发和应用，提升自身的竞争力。

（二）研究目的

研究目的在于深入理解和掌握绿色施工技术的内涵和外延，探讨其在建筑工程中的实际应用，并提出有效的实施策略，以促进建筑行业的绿色发展。首先，经过对绿色施工技术的深入研究，我们能够清楚地了解它在环保、节材、节水、节能等方面的具体应用，为建筑工程提供了技术上的支持。然后，该研究致力于促进建筑行业向绿色方向转变，通过采用环保施工方法，减少对环境的负面影响，实现经济、社会和环境效益的整合。

一、绿色施工技术概述

（一）绿色施工技术的概念

绿色施工技术是通过整个建筑项目的设计、建造、维护和拆除

过程中，采用可持续发展理念，采取各种措施和技术手段，以降低能耗、减少污染、保护生态环境、提高资源利用效率为目标的一种施工方式。它强调的是在整个建筑生命周期内对环境的最低影响和资源的最大化利用，从而实现建筑与自然环境的和谐共生。

具体来说，绿色施工技术包括但不限于以下几个方面：首先，它倡导使用可再生能源和节能材料，如太阳能、风能、地热能等，以及具有较高保温隔热性能的建筑材料，以减少建筑能耗；其次，它注重施工过程中的污染控制，如扬尘、噪音、废水等，通过采用先进的施工工艺和设备，有效减少对周边环境的影响；再次，它强调施工现场的废弃物管理，通过分类回收、资源化利用等手段，减少建筑垃圾的产生和处置压力^[2]；最后，它还包括对施工现场人员的健康和环境保护，提供良好的作业环境。

绿色施工技术的核心在于实现环境、社会和经济三方面的平衡发展，即在满足建筑功能和使用需求的同时，尽可能减少对环境的影响，提高资源的循环利用率，促进社会和谐与经济的可持续发展。通过实施绿色施工技术，可以有效提升建筑业的整体水平，推动建筑行业向更加环保、高效的方向发展。

（二）绿色施工技术与传统施工技术的区别

绿色施工技术与传统施工技术相比，存在着明显的差异和优势。传统施工技术往往以追求施工速度和经济效益为主要目标，而对环境保护、资源节约等方面的考虑相对较少。这种做法在短期内可能带来一定的经济效益，但长期来看，却会导致资源浪费、环境污染等问题，不利于社会的可持续发展^[3]。

相比之下，绿色施工技术具有以下特点：

环境友好性：绿色施工技术在施工过程中注重环境保护，通过采用环保材料和工艺，减少对周边环境的污染，保护生态环境。

全过程管理：绿色施工技术不仅关注施工阶段的环保和节能，还涉及到设计、运维、拆除等建筑全生命周期各个环节，实现全过程绿色管理。

技术创新：绿色施工技术需要不断进行技术创新，以适应不断变化的市场需求和环境标准，推动建筑业的科技进步。

二、建筑工程绿色施工技术的应用

（一）环境保护技术

在传统的建筑施工过程中，噪声、扬尘、废水等污染问题对周边环境和居民生活造成了不利影响。而在绿色施工中，通过采用一系列环境保护技术，可以有效减少这些负面影响，实现施工过程的环境友好。

首先，在噪声控制方面，绿色施工技术采取隔音、降噪措施，如使用低噪音的施工设备和工艺，合理规划施工时间，以减少对周围居民生活的影响。此外，施工现场还可以设置隔音屏或者采用隔音材料，进一步降低噪声传播。其次，扬尘控制是绿色施工技术的另一个重要环节。施工现场会采取湿法作业、设置围挡、定期洒水等措施，减少扬尘的产生和扩散。同时，对运输车辆进行封闭，避免运输过程中扬尘污染。在废水处理方面，绿色施工技术要求施工现场设立污水处理设施，对施工过程中产生的废水进行处理，达到排放标准后再进行排放^[4]。此外，施工现场还可以采用雨水收集和利用系统，减少对地下水和城市水资源的压力。此外，绿色施工还注重对施工现场周边生态环境的保护，如保护植被、防止土壤侵蚀、合理规划施工现场布局等。通过采取生态修复措施，可以在施工结束后对受损的生态环境进行恢复，

实现人与自然的和谐共生。

（二）节材技术

设计优化：在设计阶段，通过采用先进的建筑设计理念和计算机辅助设计（CAD）技术，可以优化建筑结构，减少不必要的材料使用。此外，采用模块化设计可以提高建筑部件的通用性和互换性，减少因设计变更导致的材料浪费。

材料选择：选择环保、可循环利用的建筑材料是节材技术的重要环节。同时，推广使用再生骨料、废渣等工业副产品作为建筑材料，可以减少对天然资源的需求。

施工管理：在施工过程中，通过精细化管理，合理安排施工进度和材料供应，可以减少材料的过度储备和浪费。同时，采用现代化施工工艺和设备，如预制构件、装配式建筑等，可以提高施工效率，减少现场材料损耗。

材料回收与循环利用：施工过程中产生的废料，如废钢筋、废模板、废砖等，应进行分类回收，通过再加工或者再生利用，转化为新的建筑材料或者产品，实现材料的循环使用。

施工工艺改进：改进施工工艺，如采用干作业代替湿作业，减少水的使用和水泥的消耗；使用高效率的施工设备，减少能源和材料的消耗。

（三）节水技术

节水技术是绿色施工技术在建筑工程中的另一个重要应用领域，它关注于在施工和建筑物使用过程中减少水资源的消耗，提高水资源的利用效率，同时减少对环境的影响^[5]。

以下是节水技术在建筑工程中的一些具体应用：

施工现场节水管理：在施工现场，通过采用节水型施工设备，如节水型喷枪、高效的洒水车等，减少施工过程中的水资源浪费。同时，对施工现场的废水进行收集和回收处理，用于施工现场的清洁、洒水等非饮用领域。

高效节水卫生器具：在建筑物内部，安装和使用节水型卫生器具，如节水型马桶、淋浴头等，可以有效减少日常生活中的水资源消耗。

智能化管理：运用智能化管理技术，如智能水表、自动控制系统等，对建筑物的用水进行实时监测和调控，以减少不必要的浪费。

绿色景观设计：在建筑物的景观设计中，采用耐旱型植物，减少草坪的面积，使用透水铺装材料，减少景观用水和避免水资源的径流损失。

（四）节能技术

节能技术是绿色施工技术在建筑工程中应用的重要方面，它涉及建筑物的设计、施工、运营和维护等多个环节，目的是减少建筑物在生命周期内的能源消耗，降低对环境的负面影响。

以下是节能技术在建筑工程中的一些具体应用：

高性能建筑外壳：通过使用高性能的保温隔热材料，如真空绝热板、聚氨酯泡沫等，以及采用双层或者三层玻璃窗户，减少建筑物的热损失，提高能源利用效率。

高效空调系统：采用变频空调、热泵技术、能源回收装置等高效空调系统，减少空调能耗，提高室内舒适度。

节能电梯：使用节能电梯技术，如能量回馈系统、高效电机等，减少电梯运行的能源消耗。

三、建筑工程绿色施工实施策略

（一）加强绿色施工管理

绿色施工管理涉及到施工过程中的各个环节，包括项目策划、施工准备、施工实施、竣工验收以及后续的运维管理。

完善管理体系：建立健全的绿色施工管理体系，制定相应的管理规范 and 操作流程，确保施工过程中各项绿色施工措施的落实。

提升管理水平：加强项目管理人员的绿色施工培训，提升他们的环保意识和专业技能，确保绿色施工理念在项目管理中得到有效实施。

优化施工方案：对施工方案进行优化，选择符合绿色施工标准的材料、设备和工艺，减少施工过程中的资源消耗和污染排放。

强化质量监督：加强对施工质量的监督和检查，确保绿色施工技术的要求得到满足，避免因质量问题导致的资源浪费和环境污染。

通过加强绿色施工管理，可以提高施工企业的绿色施工水平，推动建筑行业的绿色发展。同时，良好的施工管理还能够提高建筑物的质量，延长使用寿命，为用户创造更加健康、舒适的居住和工作环境。因此，绿色施工管理不仅是实现绿色施工目标的重要手段，也是提升建筑行业整体水平的重要途径。

（二）推广绿色建筑材料

推广绿色建筑材料是绿色施工技术实施的重要组成部分，它对于提高建筑物的环境性能、减少对环境的影响具有重要作用^[6]。

政策支持与标准制定：政府应出台相关政策，鼓励和支持绿色建筑材料的研究、生产和应用。同时，制定绿色建筑材料的评价标准，规范市场准入，确保绿色建筑材料的品质。

质量监督：加强对绿色建筑材料的质量监管，确保材料符合环保、健康、安全等标准，防止不合格材料流入市场。

通过推广绿色建筑材料，可以有效减少建筑材料的生产和运输过程中对环境的破坏，降低建筑物在使用过程中的能耗和维护成本，同时提供更加健康和舒适的居住环境^[7]。

（三）提高施工人员素质

提高施工人员素质是确保绿色施工技术得到有效实施的基础。施工人员是建筑工程的直接执行者，他们的技能水平、环保意识和对绿色施工技术的掌握程度，直接影响着绿色施工的质量和效果^[8]。

培训与认证：建立系统的施工人员培训体系，针对绿色施工的特点和要求，定期对施工人员进行专业培训。同时，推行施工人员资质认证制度，确保施工人员具备必要的专业知识和技能。

增强环保意识：通过教育培训，增强施工人员的环保意识，让他们认识到绿色施工的重要性，以及每个人在环境保护方面的责任和义务。

技能提升：针对绿色施工技术的应用，对施工人员进行专项技能培训，如节能技术的操作、绿色建筑材料的正确使用等，确保施工人员能够熟练掌握和运用绿色施工技术。

通过提高施工人员素质，可以确保绿色施工技术的正确实施，提高施工质量和效率，减少资源浪费和环境污染。高素质的施工人员是推动建筑行业绿色发展的关键因素，他们的专业素养和环保意识将直接影响建筑业的未来发展方向。因此，加强对施工人员的培训和激励，对于实现建筑业的可持续发展具有重要意义。

（四）建立完善的政策体系

建立和完善绿色施工技术标准体系是保障绿色施工技术推广和应用的基础。一个科学、系统的标准体系可以为绿色施工的实施提供明确的指导，帮助施工企业规范操作，提高施工质量，同时也有助于提高整个建筑行业的绿色发展水平^[9]。

制定标准规范：根据国家相关法律法规和行业政策，结合绿色施工的实际情况，制定一系列绿色施工的技术标准、规范 and 操作规程。

引入国际标准：借鉴国际上的成功经验和先进标准，结合国内实际情况，引入适合我国国情的绿色施工技术标准。

强化标准实施：加强对绿色施工技术标准的宣传和培训，确保施工企业和施工人员了解和掌握标准内容，提高标准的实施力度。

质量监督与评估：建立健全的质量监督机制，对施工过程中的绿色施工技术应用进行监督和评估，确保施工质量符合标准要求。

通过建立和完善绿色施工技术标准体系，可以规范绿色施工的市场行为，提高施工效率和质量，减少资源浪费和环境污染。此外，标准体系还能够为政府监管提供依据，为施工企业提供服务，为消费者提供保障，从而推动建筑行业的绿色发展和可持续发展^[10]。随着绿色建筑理念的深入推广，绿色施工技术标准体系将成为建筑行业不可或缺的技术支撑和保障。

四、结论

绿色施工技术在建筑工程中的应用，对于推动建筑行业的可持续发展，减少资源消耗和环境污染，提高建筑物的环境性能和居住舒适度，具有重要意义。通过环境保护技术、节材技术、节水技术和节能技术的综合应用，可以有效提升建筑物的绿色性能，实现经济、社会和环境三者的协调发展。同时，加强绿色施工管理，推广绿色建筑材料，提高施工人员素质，以及建立和完善绿色施工技术标准体系，是保障绿色施工技术有效实施的关键。这些措施不仅能够促进绿色施工技术的广泛应用，还能够提高建筑行业的整体水平，为建设资源节约型、环境友好型社会贡献力量。

参考文献

- [1] 刘建生, 公秀娟. 绿色建筑材料在建筑工程施工技术中的应用 [J]. 新城建科技, 2023, 32(24): 42-44.
- [2] 吴国明. 绿色节能技术在建筑工程施工中的应用分析 [J]. 新城建科技, 2023, 32(24): 57-59.
- [3] 孙祥霞. 房屋建筑工程施工中的绿色节能施工技术解析 [J]. 居舍, 2023, (35): 52-55.
- [4] 邢承喜. 建筑装饰装修工程施工中绿色施工技术 [J]. 中国住宅设施, 2022, (12): 141-143.
- [5] 刘全文. 建筑装饰装修工程中绿色施工技术研究 [J]. 居舍, 2022, (36): 96-98.
- [6] 张健. 绿色建筑施工技术在建筑工程中的应用 [J]. 居业, 2022, (12): 55-57.
- [7] 刘立辉. 绿色施工人员素质提升策略研究 [J]. 建筑管理, 2022 (1): 36-40.
- [8] 王庆伟. 绿色施工技术标准体系构建研究 [J]. 建筑科学, 2023 (2): 15-19.
- [9] 张佳晖. 绿色建筑施工技术在建筑工程中的应用研究 [J]. 建筑技术开发, 2023, 50(04): 34-36.
- [10] 陈小彬. 绿色节能施工技术在建筑工程中的应用探究 [J]. 建材与装饰, 2023(07): 34-36.

基于植物修复技术的城市污染土壤治理工程案例分析

黄君怡¹, 王冠²

1. 西安理工大学, 陕西 西安 710054

2. 西安财经大学行知学院, 陕西 西安 710038

摘 要： 城市化进程加快，城市土壤污染严重，威胁人类健康与生态环境，植物修复技术作为绿色可持续手段，在城市污染土壤治理中受重视。本文基于其原理与优势，分析实践案例，讨论适应性及效果，总结优势与限制，提出提高效率方向，典型案例分析，为城市污染土壤治理工程发展提供参考和指导，助力实现城市生态环境改善与可持续发展。

关 键 词： 城市土壤污染；植物修复；土壤治理；生态恢复；工程案例

Case Analysis of Urban Polluted Soil Remediation Projects Based on Phytoremediation Technology

Huang Junyi¹, Wang Guan²

1. Xi'an University of Technology, Xi'an, Shaanxi 710054

2. Xingzhi College of Xi'an University of Finance and Economics, Xi'an, Shaanxi 710038

Abstract： With the acceleration of urbanization, urban soil pollution has become a serious issue, posing threats to human health and the ecological environment. Phytoremediation technology, as a green and sustainable approach, has gained attention in the remediation of polluted urban soils. Based on its principles and advantages, this paper analyzes practical cases, discusses its adaptability and effectiveness, summarizes its strengths and limitations, proposes directions for improving efficiency, and presents typical case studies. It provides reference and guidance for the development of urban polluted soil remediation projects, contributing to the improvement and sustainable development of the urban ecological environment.

Keywords： urban soil pollution; phytoremediation; soil remediation; ecological restoration; engineering cases

引言

土壤污染威胁城市居民健康与生态稳定。工业发展和城市扩张致污染物在城市土壤累积，传统治理方式成本高且易二次污染，植物修复技术是新兴“绿色”治理方式，利用特定植物净化修复污染土壤，具成本低、环境友好优势，但面临效率低、适应性有限挑战，本文分析典型案例，探讨其实际应用效果及改进方向，为土壤污染治理提供生态可行方案。

一、城市土壤污染现状与治理需求

城市土壤污染，在现代城市化进程中无疑构成了一项极为严峻的挑战，其主要来源涵盖了工业废弃物的堆放、车辆尾气的排放、生活垃圾的填埋以及建筑工地的重金属泄漏等多个方面。伴随工业化进程的不断推进以及城市扩张的持续加剧，土壤中的有害物质逐步累积，主要污染物诸如重金属（镉、铅、汞等）、有机污染物（多环芳烃、氯代烃等）以及养分超标元素（氮、磷），已然对城市土壤带来了广泛的负面影响^[1]。这些污染物具备难以分解、易被吸附等特性，长期滞留在土壤中，难以实现自然恢复，对生态系统的平衡形成了极大的威胁，同时也严重影响了居民的

生活质量以及人类健康，尤其是在城市人口密集的区域。

面对如此严峻的土壤污染现状，城市土壤治理的需求愈发迫切，传统的物理、化学方法虽能够迅速清除污染物，然而往往成本高昂且操作复杂，还可能引发新的环境问题，诸如二次污染、土壤结构破坏等。寻觅一种绿色、可持续的污染治理方式已然成为当前的研究热点，植物修复技术的提出，为污染土壤治理带来了新的契机。植物修复充分利用植物的自然生理机制，经由植物对污染物的吸收、固定、转化、降解等过程，逐步降低土壤中有害物质的含量，不但能够达成生态恢复的目标，还兼具低成本以及无二次污染的优势，这种技术对于解决城市土壤污染问题具有显著的生态和社会效益。

课题信息：2023 年碑林区科技计划项目，GX2339；2024 年度西安市科技计划项目，24GXFW0065。

城市土壤污染的复杂性与多样性给治理工作带来了诸多挑战，不同类型的污染物、污染物浓度的差异以及土壤性质的多样性，都直接对植物修复的效果产生影响。城市土壤中的污染物通常以复合污染的形式存在，例如重金属与有机污染物共存，极大地增加了植物修复的技术难度^[2]。当前在城市土壤污染治理中亟需开展多角度的技术创新和工程实践，研究不同污染条件下适宜的植物种类和修复策略，以提高治理效果和效率，这些需求不仅推动了植物修复技术的创新发展，也为城市生态修复带来了新的研究方向和技术支持。

二、植物修复技术的原理及其在污染土壤治理中的优势

植物修复技术乃是一种以植物为核心的污染治理方法，其充分利用植物的吸收、降解、转化以及固定等生物功能，以实现减少土壤中有害污染物浓度目的。该技术以植物的生理代谢能力为基础，能够自土壤中吸收重金属、有机污染物等有害物质，借助植物体内的代谢过程将其转化或者固定，进而达成污染物的去除。植物根系能够将重金属或者其他污染物质吸附或者吸收至植物体内，在植物的根茎叶等组织中进行富集，最终达到净化土壤的目标^[3]。与化学和物理治理方法不同，植物修复利用了自然生态系统的自我净化能力，不破坏土壤结构，是一种生态友好、可持续的污染治理方式。

植物修复技术在污染土壤治理当中具备独特的优势，其成本相对较低，主要是因为该技术依赖于植物的自然生长过程，无需复杂的设备或者大量的化学试剂，所以特别适用于大面积的土壤污染治理。在植物修复的过程里，植物还能够蒸腾作用释放水分，进而调节土壤湿度，改善土壤结构，增强土壤的透气性以及持水能力。植物修复对环境的影响较小，成功避免了物理和化学方法所带来的二次污染，由于无需将污染土壤进行大规模移除或者处理，植物修复对原生生态系统的干扰较小，并且还能在一定程度上促进土壤微生物群落的恢复以及多样性的提升，而这对于城市生态环境具有长期的积极影响。

在实际应用中，植物修复还可以选择合适的植物种类来针对性地处理不同类型的污染^[4]。例如，某些超富集植物具备吸收和富集重金属的能力，故而适合被用于治理重金属污染土壤；而另外一些植物则具有分解有机污染物的能力，适用于处理有机污染土壤。科学地选择植物种类并且搭配不同的植物组合，能够显著提高修复效果，植物修复还拥有景观美化这一附加功能，能够将治理过程与城市绿化相结合，从而实现生态修复与美化环境的双重目标。植物修复技术在城市污染土壤治理中的应用前景极为广阔，为解决城市土壤污染问题提供了一种具备可持续性与生态效益的技术手段。

三、植物修复在城市污染土壤治理工程中的应用案例分析

植物修复在城市污染土壤治理工程中已然逐渐得到了广泛应

用，诸多实际案例充分展示了其显著的污染治理效果，在某些重工业城市当中，土壤普遍遭受重金属污染，尤其是铅、镉和锌等有毒元素的累积，对生态环境构成了严重威胁。在这些污染极为严重的区域，引入超富集植物，诸如蜈蚣草、芦苇等，能够有效地吸收并固定土壤中的重金属，从而避免其向周围环境进行迁移^[5]。超富集植物根系强大，对重金属具备良好的耐受性以及富集能力，经由几年甚至十几年的植物修复过程，土壤中的重金属含量显著下降，生态环境逐步得到恢复，为周围居民的健康以及区域的可持续发展创造了良好的基础条件。

在城市建筑工地、填埋场等区域的污染土壤治理当中，植物修复同样被广泛应用，建筑废弃物填埋过程中往往伴随大量的有机污染物和重金属排放，而这些污染物渗入土壤后，不但会污染土壤，还会对地下水安全构成威胁^[6]。针对这一问题，一些工程种植对重金属和有机物均具有吸附和降解能力的植物，诸如向日葵、柳树以及白花苜蓿，能够大幅降低土壤中的污染物浓度。这些植物在生长过程中会将污染物固定或者分解，进而形成长效治理效果，不但实现了污染治理，还增强了土壤的生态功能，实践表明，经过几年的治理，填埋场区域的土壤理化性质得到改善，污染物浓度显著降低，周边生态环境恢复良好。

植物修复技术还在城市绿地、公共园区等具有景观功能的土壤治理中得以应用，许多城市的公园和绿化带土壤中存在轻度重金属污染，尽管浓度较低，但长期累积可能对环境造成影响。种植观赏性强且具有一定重金属耐受能力的植物，例如金盏花、薰衣草等，可以在美化环境的同时逐步降低土壤污染水平，实现污染治理与景观生态的结合。这些植物不仅对环境具有修复功能，还能够为市民提供良好的休闲环境，随着植物修复在不同类型污染土壤中的应用经验逐渐积累，这一技术在城市污染土壤治理工程中的作用愈发重要，为未来的可持续城市发展提供了切实可行的解决方案。

四、影响植物修复效果的关键因素分析

影响植物修复效果的关键因素涵盖植物种类选择、土壤条件以及污染物特性等多方面的复杂因素，不同植物种类的修复能力存在显著差异，一些超富集植物对特定重金属具有较强的吸收和富集能力，例如向日葵对镉和铅的富集效果颇为良好，而白花苜蓿在降解有机污染物方面表现得尤为突出。植物修复效果取决于植物对污染物的耐受性和吸收能力，倘若选用的植物种类与污染物不相匹配，那么修复效果极有可能受到影响^[7]。在具体应用中需根据污染土壤的具体污染物类型来选择合适的植物种类，确保植物能够对污染物产生有效的修复作用。

土壤的物理和化学性质亦是影响植物修复效果的重要因素，土壤的pH值、养分含量、通透性以及有机质含量皆会影响植物对污染物的吸收和转化效率，例如，土壤的酸碱度对重金属的溶解性具有直接影响，过高或者过低的pH值或许会降低重金属的生物可利用性，进而影响植物对重金属的吸收。土壤中有有机质的含量会影响植物根系的发育以及对污染物的吸附过程，较高的有机质

含量通常有助于植物的生长，从而提高修复效率。为了提升植物修复效果，在实际工程当中常常对土壤进行适当的改良，例如调整 pH 值或者增加有机质含量，以优化土壤条件。

污染物的类型、浓度和分布也是植物修复效果的关键因素^[9]。不同的污染物于土壤中的存在形式以及迁移能力差异颇为显著，重金属污染物通常表现得较为稳定，难以实现迁移，而有机污染物则有可能在环境中发生降解与转化，甚至会产生毒性更强的中间产物。污染物的浓度过高将会对植物产生毒害作用，抑制植物的正常生长，进而影响修复效果，在某些情形下，有必要适当稀释或者运用辅助修复技术，诸如联合微生物修复等，以便降低污染物的毒性，提升植物修复的效果。针对污染物特性展开深入分析对于植物修复技术的有效应用而言至关重要，其能够助力工程人员依据污染物的具体特性来设计恰当的修复策略，确保污染土壤治理的有效性 with 持续性。

五、植物修复技术在城市污染治理中的发展趋势与挑战

植物修复技术于城市污染治理当中展现出极为显著的应用潜力以及发展趋势，伴随城市土壤污染问题的不断加剧，植物修复逐渐演变成为一种备受瞩目的绿色修复方法，研究者们正在积极探索借助基因工程手段对植物予以改良，促使其在重金属吸收、有机污染物降解等方面的能力获得显著增强。该基因工程技术凭借对植物基因的编辑与转化操作，提升植物的重金属耐受性以及吸收效率，以此来适应更为复杂的污染环境，进而进一步拓展了植物修复技术的应用范围^[10]。

尽管植物修复技术呈现出迅猛的发展态势，但其应用层面依旧面临着诸多挑战，污染物本身所具备的复杂性以及土壤环境呈现出的多样性，致使植物修复效果难以进行精准预测，不同污染类型、污染浓度以及土壤条件对于植物修复所产生的影响实难忽视。例如，在复合污染的条件下，重金属与有机污染物的共存状

况极有可能对植物产生颇为强烈的毒性作用，进而导致修复效果出现下降的情况。在高浓度污染的区域当中，植物的耐受性以及存活率或许会受到极大的限制，从而难以达成预期的修复效果，究竟该如何妥善应对复合污染、有效提高植物的抗性，已然成为植物修复技术发展进程中的重要课题。而要攻克这些挑战，就必须结合多学科领域的深入研究以及技术层面的创新举措，方能促使植物修复技术在城市土壤治理当中得以实现更为高效且广泛的应用。

政策支持以及公众意识的提升同样是植物修复技术未来发展的关键要素，伴随环保意识的日益增强以及可持续发展理念的广泛普及，政府及社会对于生态修复技术的重视程度正不断攀升。政府所出台的相关环保政策以及给予的资金支持，将会有力地推动植物修复技术在实际治理工作中的应用^[10]。植物修复作为一种进展相对迟缓的治理方式，其治理效果往往需历经数年乃至数十年方可呈现出来，故而极有可能遭遇短期成效不够显著的难题。在此种情形下，公众与政府所给予的长期支持在该技术的推广应用进程中便显得格外关键，借助政策加以引导、开展科普宣传活动以及推动公众积极参与，植物修复技术在城市污染治理方面的未来发展前景将会更为广阔，这不但会为污染土壤治理呈上更为可持续的技术手段，而且还能为城市生态环境的改良带来更为持久的积极影响。

六、结语

植物修复技术是生态友好的污染治理方法，在城市土壤污染治理中前景广阔，它利用植物自然作用去除污染物，具环境友好与成本优势。虽在复杂污染和高浓度情况下面临挑战，但随着技术创新、品种改良和政策支持加强，有望成为重要手段。合理选择植物和优化策略，能为城市生态改善和可持续发展持久贡献，是未来城市污染治理的重要方向一。

参考文献

- [1] 赖文佳. 我国土壤污染治理现状分析与对策 [J]. 新农业, 2022, (10): 71–72.
- [2] 汪峰. 有色金属矿业城市典型村镇土壤重金属污染特征及风险评估 [D]. 合肥工业大学, 2022.DOI: 10.27101/d.cnki.ghfgu.2022.001206.
- [3] 谭垚. 城市表层土壤重金属污染研究 [J]. 大众科技, 2022, 24(01): 28–31.
- [4] 胡振园, 赵卉, 闫宝兴. 植物生态修复技术在城市公园绿地重金属污染土壤中的应用研究 [J]. 环境科学与管理, 2023, 48(12): 139–142.
- [5] 樊小磊, 高柏. 重金属污染土壤的植物修复机理及其强化技术 [J]. 工业安全与环保, 2023, 49(11): 97–103.
- [6] 于海跃, 陈成, 郭一珂, 等. 土壤污染的植物修复及其强化技术专利文献分析 [J]. 自然资源情报, 2023, (11): 50–57.
- [7] 张建宇. 河道内水生植物曝气浮岛生态修复技术 [J]. 黑龙江生态工程职业学院学报, 2023, 36(05): 56–59+86.
- [8] 赵宇, 艾雯妍, 文思颖, 等. 微生物 – 植物联合修复镉污染农田土壤技术与应用 [J]. 生态毒理学报, 2022, 17(06): 144–162.
- [9] 周泽建, 邓利, 苏杰南. 污染场地植物修复技术课程教学改革与实践 [J]. 广西教育, 2022, (27): 142–144+161.
- [10] 朱国华. 植物修复技术在环境治理的应用 [J]. 山西化工, 2021, 41(03): 208–209+212.

浅论道路线形设计对交通安全的影响及改善措施

李文芳, 王留山

黄河交通学院, 河南 焦作 454950

摘 要 : 随着社会经济的快速发展, 车辆保有量逐渐增长, 导致道路交通日益拥堵。在此背景下, 有关部门需要设计良好的道路线形, 缓解城市交通压力, 保障车辆通行安全。基于此, 本文从道路线形设计与交通安全的相互关系出发, 深入探讨了道路线形设计对交通安全的影响, 并针对现存问题提出可行的优化策略, 以期为交管部门的公路设计和交通管理提供有益参考。

关 键 词 : 道路线形设计; 交通安全; 改善措施

The Influence of Road Alignment Design on Traffic Safety and its Improvement Measures are Briefly Discussed

Li Wenfang, Wang Liushan

Yellow River Transportation College, Jiaozuo, Henan 454950

Abstract : With the rapid development of social economy, the number of vehicles has gradually increased, resulting in increasingly congested road traffic. In this context, the relevant departments need to design good road alignment, relieve the pressure of urban traffic, and ensure the safety of vehicles. Based on this, starting from the relationship between road alignment design and traffic safety, this paper deeply discusses the impact of road alignment design on traffic safety, and puts forward feasible optimization strategies for existing problems, in order to provide useful references for highway design and traffic management departments.

Keywords : road alignment design; traffic safety; improvement measure

引言

近年来, 我国道路交通事故频发, 究其原因在于部分路段在规划时缺乏科学性, 道路线形设计存在不足。实际交通中, 不少公路存在弯道过急、坡度过陡问题, 导致车辆碰撞等交通事故频发。为了改善现状, 有关部门应加强对不同类型道路的交通流特征进行分析, 结合驾驶员视线特点, 优化道路转弯半径等关键参数, 提出合理的路线设计方案, 以构建安全高效的交通系统^[1]。

一、道路线形设计与交通安全的关系

道路线形设计与交通安全之间的关系密切, 其影响着车辆行驶的稳定性, 也影响着驾驶员的操作习惯。曲线半径的变化、坡度的平缓程度以及道路视距的连续性都会影响行驶过程中的方向感知, 进而影响驾驶员的判断。合理的线形设计科学, 道路流畅, 行驶顺畅, 能减少突发状况带来的反应压力, 从而降低交通事故的发生概率。相反, 若线形设计欠佳, 急转弯以及视距不良等情况则会加剧行驶中的不确定性, 导致驾驶员在速度方向控制上出现偏差, 增加交通事故的风险。视距在道路线形设计中起着预警作用, 视距良好, 道路环境清晰, 驾驶员更容易做出正确的判断, 保证行车安全。道路线形的连续性设计能够引导驾驶员顺利通过复杂路段, 不易造成操作失误。不合理的线形设计, 则使

车辆动力学特性无法得到充分发挥, 导致降低稳定性, 极端情况下可能出现失控^[2]。

二、道路线形设计对交通安全的影响

(一) 平面线形设计对交通安全的影响

1. 平曲线半径

平曲线半径对行车安全有直接影响, 较小的曲线半径会导致车辆在转弯时产生较大的侧向加速度, 增加操控难度, 车轮与路面的摩擦力难以抵抗侧向力, 行驶稳定性降低, 易发生侧滑或失控现象。驾驶员在行驶中若面对过小的曲线半径, 无法有效控制车辆速度, 转弯难度加大, 制动距离缩短, 反应时间减小, 行驶的安全性受到威胁。合理的平曲线半径有助于行驶路径平顺, 转

弯动作自然，车辆转向稳定，驾驶员操作压力减少，行驶状态维持平稳，交通安全得到有效保障^[3]。

2. 线形连续性

平面线形的连续性在很大程度上决定了车辆行驶的稳定性和线形设计流畅，车辆能够顺利行驶，操作动作连贯，突发情况明显减少，车辆的平稳性得以维持。线形若出现突变、断续或缺乏协调，驾驶员在行驶过程中难以准确掌握车辆的行驶轨迹，增加操控难度，行车不稳，加大突发制动的可能性，容易产生意外情况。流畅的线形设计为驾驶员提供明确的视觉引导，使行驶轨迹明确、路径清晰，车辆行驶状态平稳，从而有效降低事故发生的可能性，提高行车整体安全性^[4]。

（二）纵面线形设计对交通安全的影响

1. 纵坡大小坡长

纵坡大小坡长直接影响车辆的行驶稳定性，较大的坡度会使车辆在下坡时加速，制动距离延长，导致刹车难度增加，尤其在雨雪天气或湿滑路面，极易发生失控或滑行现象，安全风险陡增。上坡坡度过陡，动力性能受到影响，难以保持均衡速度，容易出现溜车或动力不足等不利情况，严重时甚至会影响道路通行。合理设置纵坡大小和坡长，避免过陡或过长坡度，能够保持车辆动力平衡，减小制动压力，提升行驶流畅性，使车辆在不同路况条件下都能保持稳定的行车状态，保证交通安全^[5]。

2. 竖曲线设计

曲线长度与半径大小决定驾驶员的视距范围，较小的竖曲线半径会造成视距缩短，增加判断前方路况的难度，容易导致操作不及时，影响行车安全。合理的竖曲线设计能够在上下坡过渡时提供清晰的视野，引导驾驶员顺利判断道路变化。竖曲线的平滑度也影响车辆在坡道变化区域的行驶状态，过于陡峭的设计易引发车辆在上下坡时的剧烈颠簸，导致速度突变，增加行驶的危险性。合理的竖曲线的半径、长度以及与坡度的衔接，能够保证车辆在不同坡道变化中的平稳过渡，使驾驶员在行驶过程中获得更好的操控感^[6]。

（三）平纵线形组合设计对交通安全的影响

1. 平纵协调

平曲线与纵坡的组合若存在不合理设计，驾驶员在视觉与操作上容易产生矛盾，视线会突然变化，驾驶员难以在短时间内对前方路况作出准确判断。纵坡变化较大时，车辆重心转移明显，加之平曲线转向的力学作用，容易使车辆在行驶过程中失去稳定性，增加打滑风险。视距不足会加剧驾驶员的反应压力，影响车辆的速度控制，增大行车的不确定性。协调平面与纵面线形，使道路整体线形流畅，坡度与平曲线的变化平稳，能够减小驾驶员操作难度，提高行驶的可预见性，提升安全行车水平，降低交通事故发生的概率^[7]。

2. 线形衔接

平面线形与纵面线形之间若过渡不顺畅，驾驶员在行驶时容易遇到操作上的突变，过渡段过于突兀会导致车辆在速度上的突然变化，行驶状态不稳，难以保持平滑驾驶。线形衔接不合理使车辆在转弯的过程中出现突然的加速，重心转移不均，容易引发

侧翻等意外情况，增加行车的不稳定性。合理的线形衔接设计，可以保持平缓的线形变化，减轻驾驶员的操作负担，使车辆在过渡区域保持平稳与一致的行驶状态，降低行驶的风险，提高驾驶舒适度，使道路交通流畅通行。

三、改善道路线形设计对交通安全影响的措施

（一）优化道路线形设计的策略

1. 合理控制曲线半径与纵坡

曲线半径设计需根据道路等级等因素综合考量，高等级道路需采用较大曲线半径，使车辆在高速行驶时能够平稳转弯，减少离心力产生的侧向加速度，保持稳定行驶。而低速支路可适当减小曲线半径，但必须满足最小半径的要求，避免曲率过小导致车辆转向过急。曲线半径与设计速度呈正相关关系，设计速度越高，所需曲线半径越大，采用渐变曲线形式过渡直线与圆曲线，保证车辆平滑转弯，避免操作突变。在曲线半径设计中，还需考虑加宽车道的问题。加宽车道可以增加驾驶员的操作空间，减少弯道带来的行驶难度。加宽方式一般采用外侧加宽，保证车辆能顺利转向而不影响其他车道，同时需要设置超高将曲线外侧抬高，以抵消车辆在转弯时产生的离心力，使车辆保持在车道中心行驶，避免发生侧翻。超高设计需与曲线半径匹配，超高值应随曲线变化而渐变，保证驾驶的安全性。纵坡设计应根据道路功能、地形和车辆行驶性能选择合理的坡度，避免过陡坡道对制动性能产生的不利影响。长下坡段需设置防冲坡道，以防止车辆因制动失效冲出道路。此外，在长上坡中可以设置缓坡段，缓坡段的作用在于分散车辆的动力负荷，使车辆能够以较小的动力损耗完成坡道行驶。为防止长下坡过度制动引发事故，坡道长度应进行严格控制，设置中间平坡段，缓解车辆下坡速度，减小制动负荷^[8]。

2. 提升线形的流畅性

合理的线形设计需要平面线形的优化，还需在纵面线形上实现协调。平纵组合线形需从整体上保证道路的连贯，避免突然变化，保持车辆在行驶过程中操作平稳，路径清晰。设计人员可以借助过渡曲线，将平面直线段与曲线段平滑连接，保证行车轨迹顺畅。常用的过渡曲线是缓和曲线，经由缓和曲线渐变，将直线与圆曲线自然衔接，避免车辆突然进入曲线时产生明显的离心力变化，减轻驾驶员操作难度，保持车辆行驶的平稳性。在平面线形的过渡设计中，曲线的曲率变化需保持均匀。缓和曲线的长度与曲线半径、车辆行驶速度成正比，设计时需综合考虑道路等级，确定合适的缓和曲线长度。缓和曲线设计后需与超过渡相协调，曲线段中将外侧抬高以抵消离心力，超高的起伏过程应随曲线变化平滑渐变，避免突变的超高调整，使车辆在行驶中保持连续的稳定状态。线形流畅性还需要在道路横断面设计中体现，车道宽度的合理控制能够增强车辆在曲线段中的行驶舒适性。道路宽度随线形变化调整，在曲线段适当加宽车道，保证车辆转向时具备足够的操作空间，避免因车道狭窄导致的安全隐患。横断面设计时，中央分隔带的宽度应与线形变化匹配，保持路段整体

宽度的连贯性,使驾驶员在视线与行驶空间上保持一致,减小不协调带来的操作压力^[9]。

3. 综合驾驶员视距需求

综合驾驶员视距需求在道路线形设计中要求针对不同的路段条件、行驶速度以及道路等级进行精细的设计。设计过程中,设计师必须充分考虑驾驶员在不同行驶状态下的视野范围,保证视距充足。在平面线形设计中,设计师需确定合理的最小曲线半径,使驾驶员能够在曲线段中保持足够的预见性。曲线半径应与设计速度成正比关系,设计速度越高,曲线半径越大,视距也需要相应增加。在曲线半径较小时,采用缓和曲线过渡,缓和曲线长度与设计速度和曲线半径相关,设计师需提供渐变的曲率变化,避免视距突然缩短。在纵面线形中,竖曲线位于坡度变化的过渡区域,设计师必须合理设计竖曲线半径保证驾驶员在上下坡时具备清晰的视野。竖曲线半径应满足行驶坡度变化的视距要求,使驾驶员能够及时发现前方路况并做出预判。横断面设计也与视距需求相关,设计师要根据路段的流量,适当调整车道宽度、路肩宽度以及中央分隔带宽度,使驾驶员在不同车道行驶时拥有较大的操作空间范围。在平面曲线段加宽车道,特别是外侧车道宽度,提高驾驶员在弯道中的操作舒适度。中央分隔带设置时,应考虑其对视距的影响,分隔带过高或路肩设置不当都会阻碍驾驶员的视线,设计师需保证中央分隔带高度与位置不干扰视距^[10]。

(二) 道路线形设计不合理时采取的措施

1. 改善路面防滑性能

改善路面防滑性能需要针对不同的路段特性和行车条件采取针对性的设计措施,以保证路面结构有效抵抗车辆行驶过程中产生的滑动力。施工人员需要选择合适的路面材料,增强路面的防滑功能。采用沥青混凝土与水泥混凝土是两种常用的路面材料,其中沥青混凝土因其良好的摩擦特性适合用于需要防滑性能较高的路段。施工人员可以添加聚合物改性剂,提高沥青混合料的防滑性能,保证车辆在行驶时轮胎与路面的摩擦力充足。在混凝土路面上,施工人员可以利用拉毛处理等技术提升表面摩擦系数,刻槽方向应与车辆行驶方向垂直,使水分能够快速排出,减少轮胎与路面的滑动风险。横坡设计在防滑中起到关键作用,横坡值直接影响路面排水效果,常规道路的横坡一般在1.5%~2.5%之间。合理设置横坡值可使雨水快速流入路边排水沟,避免积水对

行车稳定性的影响。排水系统设计也是防滑性能优化中的核心内容,在雨水较多区域,采用开放式排水系统,能够使水分迅速流入排水沟,保持路面干燥。封闭式排水系统适用于地下水位高的地区,借助管道将水引至指定排水点。排水沟的横截面形状需要与路面结构匹配,保证雨水排放迅速且不滞留于路面。排水沟材料的选择也需要考虑其耐磨性,以保证在高流速水流下的耐久性。

2. 设置安全防护设施

针对不同类型的路段,安全护栏等设施的设计需符合实际路况,以达到最佳防护效果。施工人员可采用波形钢护栏,放置于合适路段位置。波形钢护栏能够吸收撞击能量,引导车辆方向,有效提高道路安全防护。其立柱间距与护栏板的厚度是关键参数,通常立柱间距设置在2米至4米,使护栏在受到车辆撞击时能够逐步变形,吸收冲击力,减少对车内乘客的伤害。护栏板的材质一般采用Q235或Q345钢,厚度多为3~4毫米,以保证其吸能效果。护栏高度通常为600毫米至750毫米,保证车辆碰撞时护栏与车身接触,避免翻越。安装时立柱应牢固埋设,深度通常为1米至1.5米,以提供足够的稳定性。护栏末端可设置防撞缓冲段处理,减少车辆正面撞击产生的危险。在桥梁、陡坡或隧道入口等特殊路段,施工人员可以增设防撞墩,以加强车辆的防护能力。墩体高度一般设置在0.6米至1.2米,底部宽度根据路段情况与车辆冲击力设计,通常在0.8米至1.5米。墩体内部可设计成部分中空结构,中空结构内部可填充沙石或其他吸能材料,以更好地分散碰撞能量。墩体的形状多为圆柱形,能够减少车辆碰撞后的跳跃倾覆,提供稳定缓冲效果。墩体表面涂装高反光漆,增加可视性,顶部可安装LED警示灯,提高夜间的安全提醒作用。墩体间的间距根据路段宽度设置,保持1米至2米,形成有效的连续防护屏障。

四、结语

综上所述,道路线形设计对交通安全有着关键影响,科学合理的线形设计能够保证车辆行驶的稳定性,降低事故发生的风险。在交通压力日益增涨的背景下,持续优化道路线形设计与防护措施,将为交通系统的可持续发展奠定坚实基础。

参考文献

- [1] 缪鹏辉. 市政道路路线形设计要点分析[J]. 运输经理世界, 2023, (26): 61-63.
- [2] 石振华. 道路线形设计对交通安全的影响[J]. 运输经理世界, 2022, (23): 111-113.
- [3] 陶然. 道路线形设计指标选用及安全评价研究[J]. 智能建筑与智慧城市, 2022, (06): 156-158.
- [4] 叶妙宝. 道路线形设计对交通安全影响及改善措施[J]. 交通世界, 2020, (19): 27-29.
- [5] 邹健. 浅论道路线形设计对交通安全的影响及改善措施[J]. 公路, 2002, (06): 42-47.
- [6] 张波. 道路线形设计对交通安全的影响[J]. 四川建材, 2018, 44(07): 167-168.
- [7] 李绍鹏. 道路设计中线形对交通安全的影响分析[J]. 工程建设与设计, 2018, (06): 107-108.
- [8] 徐敏华. 公路线形设计对道路交通安全的影响[J]. 工程建设与设计, 2017, (15): 133-135.
- [9] 武二杰. 浅论道路线形设计对交通安全的影响及改善措施[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2016(6): 1932-1932.
- [10] 徐志峰. 浅析公路线形设计因素对交通安全的影响[J]. 建筑与装饰, 2019(21): 108.

森林康养理念在老年人旅游目的地规划中的应用研究

马培培, 陈丽敏, 何丽珊

广东理工学院, 广东 肇庆 526100

摘 要： 森林康养作为一种新兴的旅游理念，其通过自然环境的疗愈作用，有利于促进老年人的身心健康。然而，目前在旅游目的地的规划中，缺乏对老年人需求的充分考虑，存在相关设施适老化设计不足、服务水平不高和市场认知度低等问题。本文提出了一系列针对性的解决措施，包括优化旅游环境设计、提升服务质量和丰富旅游产品，以满足老年人的身体和心理健康需求，推动旅游的可持续发展。通过对森林康养理念的深入研究，有望改善老年人的旅游体验，提高生活质量，并为相关政策的制定提供参考。

关 键 词： 森林康养；老年人旅游；规划设计

Research on the Application of Forest Health Concept in Tourism Destination Planning for the Elderly

Ma Peipei, Chen Limin, He Lishan

Guangdong Institute of Technology, Zhaoqing, Guangdong 526100

Abstract： As a new tourism concept, forest health is conducive to promoting the physical and mental health of the elderly through the healing effect of the natural environment. However, at present, in the planning of tourist destinations, the needs of the elderly are not fully considered, and there are problems such as insufficient aging design of relevant facilities, low service level and low market awareness. This paper proposes a series of targeted solutions, including optimizing tourism environment design, improving service quality and enriching tourism products, so as to meet the physical and mental health needs of the elderly and promote the sustainable development of tourism. Through the in-depth study of the concept of forest health care, it is expected to improve the travel experience of the elderly, improve the quality of life, and provide references for the formulation of relevant policies.

Keywords： forest health; tourism for the elderly; planning and design

近年来，森林康养理念逐渐受到关注，它强调通过自然环境的疗愈特性来促进人们的身心健康。对于老年人而言，旅游不仅是放松心情的方式，更是改善健康、增强社交的途径。然而，当前的旅游目的地规划往往未能充分考虑老年人群体的特殊需求，导致旅游设施和服务存在诸多不足之处。森林环境的独特优势，为老年人提供了理想的康养空间，但在实际应用中仍面临诸多挑战。本文旨在深入分析森林康养理念在老年人旅游目的地规划中的具体应用，探讨现存问题并提出相应的解决策略，期望为未来的研究和实践提供参考。

一、森林康养理念的背景与老年人旅游的现状

（一）森林康养理念的起源与发展

森林康养理念起源于对自然环境与人类健康关系的探索。随着生活节奏的加快，现代人面临着各种心理和生理压力，尤其是老年人群体更容易受到健康问题的困扰。在这一背景下，森林作为天然的生态系统，呈现出其独特的康养价值。早在20世纪，许多国家就开始意识到自然环境对人类健康的积极影响。特别是日本，提出了“森林浴”的概念，强调通过接触自然、吸入植物释放的芬多精等方式，促进身心健康。随着研究的深入，森林康养逐渐成为一个综合性的健康管理理念。它不仅涉及生理健康，还关注心理状态的改善。^[1] 近年来，随着全球老龄化问题的加剧，森林康养理念的应用愈加广泛，许多国家开始在旅游规划中融入这

一理念。例如，我国多个地区开始建设森林康养基地，结合当地的自然资源，推出一系列健康旅游产品，以满足老年人群体的需求。森林康养理念的推广，不仅促进了旅游业的发展，也为老年人提供了更为丰富的康养选择。^[2]

（二）当前老年人旅游的现状

随着人口老龄化进程的加快，老年人旅游市场正逐渐成为旅游业的重要组成部分。根据统计数据，老年人已成为国内旅游的主要客群之一。许多老年人选择在退休后进行长途旅行，探访名胜古迹、体验自然风光。然而，尽管市场需求巨大，实际旅游产品和服务却常常无法完全满足老年人的需求。主要表现为老年人对安全、舒适和便捷的强烈需求，与现有的旅游服务提供不足之间，存在巨大的矛盾。老年人旅游的消费习惯也有其独特之处。他们更倾向于选择那些能够提供深度体验与健康收益的旅游项

目，尤其是在自然环境中进行的活动更受青睐。许多老年人希望通过旅行来改善健康状况，愉悦身心，这使得森林康养理念在老年人旅游中的推广是尤为重要的。^[3]此外，老年游客在旅游过程中对信息的获取、服务的响应速度，以及医疗保障等方面的要求较高。

（三）现有规划的不足

尽管森林康养理念在老年人旅游中展现出良好的发展潜力，然而，当前的旅游目的地规划在很多方面仍存在不足之处，亟需引起重视。首先，许多旅游项目的规划理念未能充分考虑老年人的特殊需求，导致产品与服务缺乏针对性。其次，旅游产品的同质化问题也日益凸显。当前市场上的很多旅游产品设计雷同，缺乏独特性，无法真正激发老年游客的兴趣。千篇一律的情况不仅降低了老年游客的旅游体验，也影响了市场的整体活力。因此，开发具备特色和创新的旅游产品，将有助于满足老年人多样化的需求。基础设施建设的不足同样是影响老年人出行便利性的关键因素之一。许多旅游目的地在基础设施方面仍显薄弱，缺乏无障碍设施、休息区，以及医疗救助点，导致老年游客在出行过程中面临诸多不便。基础设施薄弱，不仅影响了老年人的旅行体验，还在一定程度上带来了安全隐患。^[4]

二、森林康养理念在老年旅游目的地规划中的应用挑战

（一）老年人健康需求的多样性

老年人的健康需求呈现出多样化的特征，因而在旅游规划中需对其进行充分考虑。随着年龄的增长，老年人面临着一系列健康问题，包括慢性疾病、关节疼痛，以及心理健康问题等。因此，旅游活动不仅需要满足他们的休闲需求，更要关注其身体和心理的双重健康。同时，老年人群体对自然环境的感知和体验也有着独特的要求，他们更倾向于与自然亲密接触，通过散步、呼吸新鲜空气、聆听鸟鸣等方式来放松身心。此外，心理健康也是老年人重要的需求之一。随着退休后的生活节奏变化，许多老年人会经历孤独感和焦虑感。因此，旅游活动应当注重社交互动的设计，提供团体活动的机会，如集体健身课程、社区文化活动等，以帮助老年人建立社交联系。^[5]老年人需求的多样性要求旅游目的地在规划时，不仅要从事物空间的设计着手，还要融入对老年人健康全方位的关注与关怀，以此增强他们的旅游体验，满足其个性化、多样化的需求。

（二）旅游环境的适应性问题

尽管森林旅游环境具备良好的康养潜力，但目前许多森林旅游目的地在适应性方面仍存在不足之处。针对老年游客的特殊需求，许多景区的基础设施并不完善，环境设置的合理性有待提升。例如，步道的设计往往忽略了老年人的行走能力，存在坡度陡峭、路面不平等问题，这使得他们在游玩时面临一定的困难。在某些情况下，缺乏座椅、休息区和指示标识的情况也普遍存在，导致老年游客在游览过程中感到疲惫，影响整体体验。此外，景区内的安全措施同样需要加强。许多森林旅游目的地在设

计时未能充分考虑到老年人的安全需求，缺乏必要的护栏和警示标志，这可能造成老年游客在游览时出现心理负担。同时，卫生设施的不足，尤其是在偏远的森林区域，往往使老年人无法安心参与活动。^[6]

（三）市场导向与政策支持缺乏

在森林康养旅游市场中，市场导向和政策支持之间的不协调常常导致资源的浪费。虽然老年人旅游市场潜力巨大，但实际的产品和服务却未能充分对接这一需求，主要原因在于市场营销的策略不如人意。在许多情况下，旅游目的地在进行市场推广时，未能精准把握老年游客的需求特点和消费习惯。这使得推广活动未能引起足够的关注，导致许多老年游客对森林康养产品的认知度较低，未能有效吸引他们参与。政策支持的不足同样影响了森林康养理念的推广。虽然一些地方政府开始重视老年人旅游市场，但相关政策的实施和落实往往不够系统和全面。现实生活中，对森林康养项目的资金支持、宣传推广等方面，缺乏明确的政策引导，导致资源投入的效果难以显现。^[7]

（四）社会认知不足

社会对森林康养理念的认知度不高，限制了其在老年人旅游中的推广。尽管越来越多的人开始关注健康和生活质量，但仍有不少人对森林康养的具体内涵和实际益处缺乏了解。日常生活中，许多老年人对森林康养的相关信息获取途径有限，难以全面了解其潜在的健康益处，从而影响了他们的旅游选择，使他们错过了许多适合自身健康需求的优质旅游项目。为了提升社会对森林康养理念的认知，增强其在老年人旅游中的影响力，相关机构应加强宣传力度。例如，可以通过社区活动、讲座和线上线下结合的方式，向老年人及其家庭普及森林康养的相关知识和旅游产品。加大宣传不仅能提高老年人的参与积极性，还能促使家庭成员更加关注老年人的健康需求，支持他们参与康养旅游。^[8]

三、森林康养理念在老年人旅游目的地规划中的解决策略

（一）健康导向的规划理念

在旅游目的地的规划中，应当强调健康优先的设计理念。具体来说，在每一个规划阶段，都需要将老年人的身心健康放在首位。首先，森林康养理念应贯穿于环境设计、活动安排，以及游客服务中。例如，在活动安排中，应结合老年人的体力，设置适宜的活动强度，而在活动的间隙，应搭配对应的休息区，并预留足够的休憩时间，以便于老年人恢复体力。其次，增加生态园区的植物多样性，能够为游客提供更丰富的视觉和嗅觉体验，从而进一步促进身心的放松和健康。在活动安排上，适合老年人的康养活动应当成为主流。可以组织一些轻松的户外活动，如瑜伽、太极和健步走等，通过活动来帮助老年人保持身体的灵活性，促进社交互动。^[9]通过与自然亲密接触，老年人能够体验到心理上的愉悦和放松。总之，健康导向的规划理念，能够让老年游客在游览过程中获得更为深刻的身心享受，进而提高旅游目的地的吸引力。

（二）设施与服务的优化

提升旅游目的地无障碍设施和专业服务是满足老年人需求的一大关键策略。首先，无障碍设施的建设需要覆盖整个旅游区域，包括无障碍通道、坡道、轮椅租赁服务等。无障碍设施的设置不仅便利了行动不便的老年人，也使得所有老年游客在享受森林旅游时都能感受到关怀与便利。例如，台阶过高处，应将其改造为坡道，安装扶手，坡道面还应做成了凹凸面用于防滑，便于老年人群体通过。而提供休息区和医疗急救设施也是必不可少的，这能够在一定程度上缓解老年游客的焦虑感，让他们在游玩时更加安心。其次，在服务方面，专业的服务人员是提升老年游客体验的另一个重要节点。培训服务人员理解老年游客的需求，提供个性化的服务，将极大提高游客的满意度。个性化服务包括为老年游客提供详细的旅游信息、活动建议，以及在必要时的协助，确保他们的旅游体验流畅且愉快。最后，设立咨询热线和在线服务平台，能够为老年游客提供便利的信息获取渠道，使他们能够在出行前和旅途中都能获得及时的帮助。以上优化措施不仅有助于提升老年游客的旅游体验，还能提升旅游地的品牌形象和口碑。^[10]

（三）多样化的旅游产品开发

结合丰富的森林资源，开发个性化的康养旅游产品，是满足老年游客多样化需求的有效途径。老年游客通常对旅游产品的选择有着独特的偏好，他们更倾向于选择能够提供深度体验和健康收益的旅游项目。通过整合森林环境与健康理念，开发一些特别的康养项目，如森林瑜伽、疗愈徒步旅行、营养美食体验等，可以有效地吸引这一目标群体。同时，个性化的旅游产品设计还可以考虑老年游客的兴趣和习惯。比如，组织文化主题活动，如当地民俗文化体验、传统手工艺课程等，不仅能丰富老年游客的旅行体验，也让他们在参与过程中感受到身心的愉悦和满足。^[11] 此

外，考虑到老年游客的不同需求，提供多样化的住宿选择也是至关重要的，如设置适合家庭聚会的乡村民宿或独立的养生小屋，能够为老年游客提供更加舒适的住宿体验。多样化的产品开发，不仅能提升旅游目的地的竞争力，也能为老年游客创造更加丰富和有意义的旅行回忆。

（四）加强社会宣传与教育

提高公众对森林康养理念的认知，有助于推动其在旅游规划中的实施。首先，相关机构应利用各种媒介进行广泛的宣传活动，通过社区讲座、健康知识分享和线上推广等方式，让更多人了解森林康养的概念及其实际益处。宣传活动不仅能提升老年人及其家属对森林康养旅游的认知，也有助于打破传统旅游模式的局限，增强公众对健康旅游的关注。其次，结合地方特色，开发具有地方文化特色的宣传材料和活动，可以使森林康养理念更贴近当地社区。例如，举办森林康养节、亲子康养活动等，能够吸引家庭参与，增强社区的凝聚力。这不仅为老年人提供了良好的参与机会，也有助于提高他们的生活质量和幸福感。通过这种社会宣传和教育的增强，森林康养理念能够在更广泛的范围内获得认可，从而促进其在老年人旅游目的地规划中的深入实施。

四、结语

未来，随着老龄化社会的不断发展，适应老年人特点的森林康养旅游将愈发重要。森林康养旅游不仅为老年人提供了休闲和康复的机会，更有助于提升社会整体的幸福感与健康水平。通过不断优化与创新，森林康养理念将为老年人旅游带来更丰富的体验与深远的影响，推动可持续发展的旅游模式，最终实现人与自然的和谐共生。

参考文献

- [1] 邓小辉, 李雪芬, 彭于玲. 森林康养旅游产品开发研究 [J]. 江苏经贸职业技术学院学报, 2022, (01): 29-32.
- [2] 陈心仪. 我国森林康养产业发展现状与展望 [J]. 山西财经大学学报, 2021, 43(S1): 50-52.
- [3] 宋维明. 森林康养需求的系统探索对森林康养产业发展的有益借鉴——评《中国森林康养需求分析及需求导向的产业供给研究》[J]. 林业经济, 2021, 43(02): 2.
- [4] 李英, 韩强, 安颖. 城市居民森林康养意愿的影响因素 [J]. 东北林业大学学报, 2020, 48(12): 70-74.
- [5] 李松阳. 中老年群体需求视角下森林康养基地规划设计 [D]. 北京林业大学, 2020.
- [6] 贾晓刚. 管涔山林区森林康养旅游优势探讨 [J]. 山西林业, 2023, (06): 14-15.
- [7] 穆显鑫, 常改欣, 曹洪珍. 大连市森林康养旅游发展分析及营销策略 [J]. 延安职业技术学院学报, 2023, 37(06): 60-63.
- [8] 曹颖. 丽水白云国家森林公园康养旅游发展研究 [D]. 广西师范大学, 2022.
- [9] 李小明, 向丽, 黄金成, 等. 中国森林康养资源利用与产品开发 [J]. 世界林业研究, 2022, 35(06): 75-81.
- [10] 陈晓旭. 森林康养与体育旅游的融合发展——评《森林康养实务》[J]. 林业经济, 2022, 44(09): 103.
- [11] 发挥林业产业优势提供优质森林康养 [J]. 浙江林业, 2022, (09): 10-19.

现代建筑工程施工安全管理策略研究

张希哲

山东潍坊润丰化工股份有限公司, 山东 潍坊 261100

摘 要： 随着城市化进程的加快，现代建筑工程的施工安全管理面临着前所未有的挑战。本文旨在研究现代建筑工程施工安全管理策略，分析施工安全事故的类型、成因及后果，探讨现有安全管理模式的不足，并提出针对性的优化策略。文章首先阐述了施工安全管理的重要性，随后从建立健全安全管理体系、提高施工人员安全意识、应用信息技术提升安全管理效率和强化应急救援能力四个方面提出了具体的策略。通过案例分析，验证了所提策略的有效性，为我国建筑工程施工安全管理提供理论支持和实践指导。

关 键 词： 建筑工程；施工安全；安全管理；信息技术

Research on Construction Safety Management Strategy of Modern Building Engineering

Zhang Xizhe

Shandong Weifang Runfeng Chemical Co., LTD. Weifang, Shandong 261100

Abstract： With the acceleration of urbanization, the construction safety management of modern construction projects is facing unprecedented challenges. The purpose of this paper is to study the construction safety management strategy of modern construction engineering, analyze the types, causes and consequences of construction safety accidents, explore the shortcomings of the existing safety management mode, and put forward targeted optimization strategies. This paper first expounds the importance of construction safety management, and then puts forward specific strategies from four aspects: establishing and improving the safety management system, improving the safety awareness of construction personnel, applying information technology to enhance the safety management efficiency and strengthening the emergency rescue ability. Through the case analysis, the effectiveness of the proposed strategies is verified, which provides theoretical support and practical guidance for construction safety management in our country.

Keywords： construction engineering; construction safety; safety management; information technology

引言

（一）研究背景与意义

随着我国经济的快速发展，城市化进程不断加速，现代建筑工程如雨后春笋般涌现。这些工程项目不仅规模庞大、结构复杂，而且施工周期长、参与人员众多。在这样的背景下，施工安全管理成为了一个至关重要的问题。近年来，我国建筑工程施工安全事故频发，不仅造成了重大的人员伤亡和经济损失，还严重损害了企业形象和社会信誉。这些事故的发生，不仅暴露出施工安全管理中存在的一些问题，也凸显了加强施工安全管理的紧迫性和重要性。

本研究背景下的研究意义主要体现在以下几个方面：

首先，提高施工安全管理水平是保障人民群众生命财产安全的必然要求。通过研究施工安全事故的类型、成因及后果，可以为预防和减少安全事故提供理论支持，从而有效保障人民群众的生命财产安全^[1]。其次，加强施工安全管理是提升建筑工程质量的关键环节。施工安全管理不仅涉及到施工过程中的安全防护措施，还涉及到施工工艺、施工技术等方面。再次，本研究可以为政府相关部门制定建筑工程施工安全政策提供参考。通过分析现有安全管理模式的不足，提出针对性的优化策略，有助于政府相关部门制定出更加科学、合理的施工安全政策^[2]。最后，本研究对推动我国建筑工程施工安全管理理论与实践的发展具有重要意义。通过对施工安全管理的研究，可以丰富我国施工安全管理的理论体系，为实际工作提供有益的指导，促进施工安全管理水平的不断提升。

（二）研究内容

本研究主要围绕现代建筑工程施工安全管理策略展开，旨在通过对施工安全事故的深入分析，探讨施工安全管理的有效途径。以下是本文的研究内容与方法：

研究内容主要包括以下几个方面：

1. 施工安全事故分析：本文将对现代建筑工程中常见的施工安全事故类型进行梳理，分析这些事故的成因及其所带来的后果和影响。

2. 施工安全管理现状及问题：通过调查、访谈等手段，了解当前建筑工程施工安全管理的实际状况，识别存在的问题及其产生的原因。

3. 施工安全管理策略研究：结合实际案例和理论分析，提出针对性的施工安全管理策略，包括建立健全安全管理体系、提高施工人员安全意识、应用信息技术提升安全管理效率以及强化应急救援能力等方面。

一、建筑工程施工安全事故分析

（一）事故类型与成因

建筑工程施工安全事故的类型多种多样，根据事故发生的环节和原因，可以将其分为以下几种类型：一是高处坠落事故，这是建筑工地最常见的施工安全事故类型，主要是由于高处作业人员安全意识不强、防护设施不到位或操作不当等原因导致；二是物体打击事故，如吊装作业中的吊物坠落、工地上的物体滚落等；三是坍塌事故，包括基坑坍塌、模板支撑体系坍塌等；四是机械伤害事故，主要是由于机械操作不当或机械故障等原因导致；五是火灾事故，主要是由于施工现场电线短路、易燃物品未妥善管理等原因引起。

这些事故的成因主要可以从以下几个方面进行分析：首先，人的因素。包括施工人员的安全意识不强、操作技能不熟练、工作疲劳等；其次，物的因素。如施工设备老化、安全防护设施不完善等；再次，环境的因素。如施工现场的地理环境、气候条件等可能对施工安全产生影响的因素；最后，管理的因素。如施工安全管理不到位、安全规章制度不健全等。对于这些事故的预防，需要从源头抓起，加强对施工人员的安全教育和技能培训，提高其安全意识；定期检查和维护施工设备，确保其处于良好的工作状态；改善施工现场的环境条件；建立健全的施工安全管理制度，严格执行各项安全规章制度^[3]。只有这样，才能有效预防建筑工程施工安全事故的发生，保障施工现场的安全。

（二）事故后果与影响

首先，施工安全事故直接威胁到施工人员的生命安全，造成人员伤亡。这些悲剧性的后果不仅给死者家属带来无法弥补的伤痛，还可能引起社会舆论的关注和批评，影响建筑企业的社会形象和信誉。其次，施工安全事故还会导致巨大的经济损失。事故发生后，需要进行事故调查、善后处理和赔偿工作，这些都会产生额外的费用。同时，事故可能会导致工程停工或延期，影响工程进度，进而影响投资回报和经济效益^[4]。此外，施工安全事故还可能对环境造成污染。例如，火灾事故可能会导致有害气体和物质的排放，影响空气质量；坍塌事故可能会破坏周边的生态环境，影响土壤和水质。在社会层面上，频繁的施工安全事故可能会引起社会不安，影响社会稳定。公众对建筑工程安全的信心可能会受到影响，对建筑行业产生质疑。同时，政府可能会加强监管措施，对建筑企业施加更大的压力，这可能会增加企业的运营成本。

二、现代建筑工程施工安全管理现状及问题

（一）安全管理现状

首先，国家法律法规不断完善。近年来，国家和地方政府加

大了对建筑工程施工安全的监管力度，制定了一系列关于施工安全的法律法规和标准规范，为施工安全管理提供了法律依据。其次，施工企业安全意识逐渐提高。在政策的引导和市场压力下，施工企业逐渐认识到施工安全管理的重要性，开始加大安全投入，提升安全水平^[5]。第三，施工安全设施不断完善。随着科技的进步和施工安全意识的提高，施工现场的安全设施得到了明显改善。如安全防护网、安全帽、防护手套等个人防护用品的配备率明显提高，施工现场的安全防护设施也得到了加强。第五，施工安全管理手段多样化。除了传统的安全管理手段，如安全培训、安全检查等，现代建筑工程施工安全管理还开始运用信息技术手段，如安全监控系统、无人机巡检等，提高了安全管理效率。尽管我国建筑工程施工安全管理取得了一定的成绩，但仍然存在一些不足之处，如施工安全管理人员素质参差不齐，安全培训效果不佳；施工安全管理经费投入不足，安全设施不完善；施工现场安全监管不到位，安全隐患排查不彻底等。这些问题亟待解决，以提高我国建筑工程施工安全管理水平。

总之，我国建筑工程施工安全管理现状呈现出一定的积极趋势，但仍有很大改进空间。通过深入研究施工安全管理，探讨有效的管理策略，有望进一步提升我国建筑工程施工安全管理水平。

（二）存在问题及原因

在看到我国建筑工程施工安全管理取得的成绩的同时，必须清醒地认识到其中存在的问题及原因。以下是几个主要问题：

首先，安全管理人员素质参差不齐。一些施工企业的安全管理人员缺乏专业知识和实践经验，难以有效开展安全管理工作^[6]。其次，安全培训效果不佳。虽然施工企业普遍开展了安全培训，但培训内容单一、形式化严重，导致培训效果不佳。部分施工人员未经充分培训即上岗作业，安全意识薄弱，操作不规范。第三，施工安全管理经费投入不足。在一些施工项目中，安全管理经费投入不足，导致安全设施不完善，难以满足施工安全需求。第四，施工现场安全监管不到位。施工现场安全监管人员数量不足，难以覆盖到施工现场的每一个角落。同时，部分监管人员责任心不强，对安全隐患的排查和处理不及时。第五，安全管理制度不健全。部分施工企业虽然制定了安全管理制度，但缺乏具体的执行细则和考核机制，导致制度难以落实。

问题成因分析如下：

对施工安全管理的重要性认识不足。部分企业领导和管理人员对施工安全管理的重视程度不够，认为安全管理投入是一种负担，而非提升企业竞争力的必要投入。市场竞争压力。在激烈的市场竞争中，部分施工企业为了降低成本、缩短工期，忽视施工安全管理，导致安全事故频发。政府监管力度不够。虽然政府已经加大了对建筑工程施工安全的监管力度，但仍存在监管不力、执法不严的问题，给施工安全管理带来了一定的隐患。

三、现代建筑工程施工安全管理策略

（一）建立健全安全管理体系

首先，企业应设立专门的安全管理部门，配备足够数量且具备专业素质的安全管理人员，负责施工现场的日常安全监管和隐患排查。其次，建立安全管理人员责任制，确保他们能够全面履行职责，对施工现场的安全状况进行全面掌握^[7]。此外，企业应加大安全投入，完善安全设施，如防护栏杆、安全网、警示标志等，确保施工现场的安全环境。同时，运用现代科技手段，如安装监控摄像头、引入无人机巡检等，提高安全管理的智能化和科技化水平。最后，建立健全事故应急预案，通过模拟演练等方式，提高应急救援能力，确保在突发情况下能够迅速、有效地进行处置，减少事故造成的损失和影响。

通过这些措施，施工企业可以构建起一个系统化、科学化、规范化的安全管理体系，为施工安全提供有力的保障。

（二）提高施工人员安全意识

首先，企业应当将安全教育与培训作为日常工作的重要组成部分，通过入职培训、定期复训等形式，不断强化施工人员的安全意识。培训内容应包括安全生产法律法规、安全操作规程、事故案例分析等方面，旨在让施工人员深刻理解安全施工的重要性和紧迫性。其次，通过建立健全的安全激励与惩罚机制，对于严格遵守安全规定、积极参与安全管理活动的施工人员给予奖励，对于违反安全规定的行为进行严肃处理，以此激发施工人员自觉遵守安全规定的主观能动性^[8]。同时，企业还应注重施工人员心理健康，提供心理咨询服务，帮助施工人员缓解工作压力，提高他们在面对紧张施工环境时的心理承受能力。施工企业还应加强与施工人员的沟通，倾听他们在安全生产方面的意见和建议，通过民主管理的方式，让施工人员参与到安全管理中来，增强他们的责任感和归属感。

通过上述措施，施工人员的安全意识得到显著提升，他们在施工过程中的自我保护能力增强，不仅能够有效预防安全事故的发生，还能够为建筑工程的顺利进行提供坚实的安全保障。

（三）应用信息技术提升安全管理效率

应用信息技术提升安全管理效率是现代建筑工程施工安全管理的重要趋势。一方面，企业可以通过建立信息化安全管理系统，对施工现场的安全数据进行实时收集、分析和管理，从而实现对施工现场安全状况的快速反应和精准控制。利用物联网技术，企业可以安装传感器和监测设备，对施工现场的关键部位和重要设备进行实时监测，如高支模、脚手架、塔吊等，一旦监测到异常情况，系统会立即发出警报，及时通知管理人员采取相应的安全措施^[9]。另一方面，企业可以利用移动应用和社交媒体平台，向施工人员及时推送安全信息、安全知识和警示案例，提高安全信息的传播效率。

（四）强化应急救援能力

强化应急救援能力是保障现代建筑工程施工安全管理的重要环节。首先，施工企业需要制定完善的应急救援预案，预案应涵盖可能发生的各类安全事故，如火灾、坍塌、机械伤害等，明确救援流程、救援负责人和救援资源配备，确保在事故发生时能够迅速启

动救援机制。其次，企业应与附近的医疗机构、消防部门等建立联动机制，确保在紧急情况下能够迅速得到外部救援力量的支持。企业还应加强对施工人员的应急救援培训，使他们掌握基本的应急救援知识和技能，如心肺复苏、止血包扎、火灾逃生等，这样在事故发生时，施工人员能够迅速采取有效措施，自救互救，减少事故损失^[10]。此外，企业应建立健全的应急救援信息沟通机制，确保事故发生时，信息能够及时、准确地传达给相关救援人员，提高救援效率。最后，企业应加强对应急救援队伍的建设，选拔训练有素、责任心强、责任心强的施工人员加入应急救援队伍，并定期对其进行专业培训，提升应急救援队伍的专业水平和救援能力。

四、结论

本文通过深入分析现代建筑工程施工安全事故的类型、成因及后果，对当前施工安全管理的现状和存在的问题进行了探讨，并提出了一系列针对性的安全管理策略。研究发现，施工安全事故的预防与控制是一个系统工程，需要从多个层面综合施策。首先，建立健全安全管理体系是施工安全的基础，企业应制定详细的安全生产规章制度，设立专门的安全管理部门，并加大安全投入，完善安全设施。其次，提高施工人员的安全意识至关重要，通过安全教育和培训、安全文化活动以及激励与惩罚机制，可以有效提升施工人员的安全意识。应用信息技术提升安全管理效率是现代施工安全管理的必然趋势，通过物联网、大数据、云计算和虚拟现实等技术的应用，可以提高安全管理的科学性和预见性。最后，强化应急救援能力是降低事故损失的关键，企业应制定应急救援预案，定期组织演练，并配备必要的救援物资和设备。

总之，现代建筑工程施工安全管理需坚持以人为本、预防为主、综合治理的原则，通过多层次、全方位的策略实施，不断提升施工安全管理水平，为建筑工程的顺利进行提供坚实的安全保障。未来，随着科技的进步和管理的创新，施工安全管理将更加智能化、系统化，为我国建筑行业的健康发展贡献力量。

参考文献

- [1] 颜丙山. 现代建筑消防工程施工的安全管理分析[J]. 消防界(电子版), 2021,7(07):125-126.
- [2] 牛富强. 建筑工程施工现代安全管理[J]. 建材与装饰, 2020,(05):183-184.
- [3] 张喜红. 现代建筑中防水工程施工技术探析[J]. 四川建材, 2023,49(08):138-140.
- [4] 刘孝凤. 现代绿色节能技术在建筑工程施工中的应用探析[J]. 佛山陶瓷, 2023,33(05):55-57.
- [5] 于国志. 现代建筑工程施工管理的创新策略探析[J]. 大众标准化, 2023,(06):69-71.
- [6] 商建东. 浅析现代房屋建筑地基基础工程施工技术[J]. 中国住宅设施, 2023,(03):118-120.
- [7] 崔宝霞, 曾光. 现代绿色节能技术在建筑工程施工中的应用探析[J]. 上海节能, 2022,(11):1447-1451.
- [8] 唐辉. 现代建筑工程的信息化管理优化措施[J]. 技术与市场, 2022,29(02):191-193.
- [9] 许华. 建筑工程施工安全管理的探讨[J]. 智能城市, 2022,8(05):45-46.
- [10] 李敏. 建筑施工现场安全管理的创新与实践[J]. 城市建筑, 2022,13(07):27-30.

高速公路养护中温拌超薄磨耗层的施工技术

唐海霞

江西省交通投资集团有限责任公司吉安东管理中心, 江西 吉安 343000

摘 要： 高速公路在推动区域经济发展中发挥着关键性作用，也促进了各地区文化交流。在高速公路投入使用后，可能会受多种因素影响而出现一些质量问题，引发不同程度的安全事故，所以必须大力开展高速公路养护工作，以此来增强高速公路整体应用效果。在此背景下，施工单位要合理运用温拌超薄磨耗层技术，通过科学方式修补路面裂缝，防止病害扩大，改善高速公路路面所具有的抗滑性能，保证行驶安全。基于此，文章从高速公路养护工作重要性入手，分析温拌超薄磨耗层技术特点，总结施工技术要点，提出有效的质量控制措施，以期对相关工作人员提供有益参考。

关 键 词： 高速公路；公路养护；温拌超薄磨耗层；施工技术

Construction Technology of Warm Mix Ultra-Thin Wearing Layer in Highway Maintenance

Tang Haixia

Ji'an East Management Center, Jiangxi Provincial Transportation Investment Group Co., Ltd. Ji'an, Jiangxi 343000

Abstract： Highways play a key role in promoting regional economic development and also facilitate cultural exchanges between regions. However, after being put into use, highways may suffer from various quality issues due to multiple factors, leading to safety accidents of different degrees. Therefore, it is imperative to vigorously carry out highway maintenance work to enhance the overall application effect of highways. In this context, construction units should rationally utilize warm mix ultra-thin wearing layer technology to repair road cracks through scientific methods, prevent the expansion of diseases, improve the anti-skid performance of highway pavement, and ensure driving safety. Based on this, the article starts with the importance of highway maintenance work, analyzes the technical characteristics of the warm mix ultra-thin wearing layer, summarizes the key points of construction technology, and proposes effective quality control measures, aiming to provide useful references for relevant staff.

Keywords： highway; road maintenance; warm mix ultra-thin wearing layer; construction technology

近几年，高速公路建设规模越来越大，公路交通网络得以不断完善，推动社会经济的稳步发展，同时高速公路总里程大幅增加，必须保证高速公路正常与稳定运行，所以有必要开展高质量的养护工作。那么，在高速公路养护过程中，施工单位要结合现代交通运输发展需要，明确养护任务开展的重要性，选择使用工期短、成本低的温拌超薄磨耗层施工技术，快速矫正路面轻微病害，通过科学养护方式进一步提高高速公路养护质量。因此，对高速公路养护中温拌超薄磨耗层施工技术的探讨十分必要，具有一定现实意义。

一、高速公路预防性养护工作的重要性

高速公路预防性养护即通过定期勘察与数据分析，掌握沥青路面使用情况，根据沥青路面可能出现的各种病害问题，研究其出现原因，并且以解决与预防病害为目的，制定的具有预防性特点的养护措施。在预防性养护工作开展下，施工单位会选择使用预防性养护技术，而温拌超薄磨耗层技术的养护效果较好，可以将高速公路的使用寿命做到显著延长。这是因为温拌超薄磨耗层

技术能够有效处理路面位置的各种小裂缝，避免过多水分侵入内部，将路面结构损坏程度控制在最小范围内，不仅保证公路路面耐用性，也减少公路大修成本。此外，预防性养护工作可以在第一时间找出路面小破损，并且及时修复，改善路面不平整情况，为行车安全和人们出行安全带来有力保障。在预防性养护下，高速公路保持良好运行状态，使得行车环境更加舒适与安全，有利于公路服务水平的提升，为人们提供高质量、安全性的交通服务。^[1]

项目信息：江西省交通运输厅项目成果论文“基于物联网技术的高速公路养护作业安全管理系统”研究项目编号：2024YB017。

作者简介：唐海霞（1983.11-），女，汉族，江西武宁人，研究方向：高速公路养护。

二、高速公路养护中温拌超薄磨耗层技术特点

（一）厚度薄

温拌超薄磨耗层的实际铺装厚度在15—25mm左右，比传统沥青层面薄1/3-1/2，所以施工相对灵活，能够满足复杂路况养护需要。

（二）多功能性

温拌超薄磨耗层可以出色地完成旧路面表面功能的快速恢复，也可以应用在新建路面工程中，形成牢固的抗滑层，将路面轻微裂缝问题有效解决，还能够修复小于15mm的车辙，防止路面长时期渗水，减少表面贫油与过早老化等问题，所以凸显出多功能性。

（三）环保节能

由于温拌超薄磨耗层技术的应用对温度条件没有过高要求，可在低温状态下拌制养护所需的沥青混合料，既摆脱温度限制，也保证低温热拌的混合料性能。那么，在拌制过程中无须过多热量，加之摊铺厚度较薄，能源消耗量也随之减少，更避免出现过多有害气体，降低粉尘污染带来的各种影响程度，凸显出极强环保性、低碳性、绿色性。

（四）施工便捷

该技术施工极为简单，施工单位可以根据施工需要及环境条件选择同步、异步等摊铺方式，可用于车流量较大的高速公路养护工程，也能够满足路面性能要求高的预防性养护作业，此外复杂路况下也可以应用该技术处理中等程度的路面病害，解决路面过于光滑的问题。^[2]

三、高速公路养护中温拌超薄磨耗层施工技术要点

（一）施工前准备

在应用温拌超薄磨耗层施工技术时，施工单位要结合高速公路养护需要做好旧路面平整处理，改造公路路面排水系统，注意路面必须保持平整。如果高速公路路面上深度大于1cm的碾压痕迹，则需要施工单位做好相应的铣刨处理；如果凹痕实际深度已大于2cm时，施工单位要选择填充料完成科学填充。针对轻微开裂问题，施工单位要选择细沥青砂进行合理填充并压实。在完成旧路面平整处理后，施工单位应将路面所有垃圾与杂物进行认真清理，必要时使用清水大面积的冲洗需要养护的路面，也可以选择清洁工具，例如，选用压风机对较大杂物进行清除，也可以吹扫干净裂缝中的细小砂砾，保证清洁全面和彻底。若要进行后续修复，施工人员必须在完成晾干路面后再修复。^[3]

（二）混合料拌和技术

在拌和混合料时施工单位要考虑温拌超薄磨耗层技术应用要求，严格控制加热温度。以某高速公路养护施工为例，路面已出现轻微的车辙、裂缝等常见病害，考虑通过温拌超薄磨耗层技术进行养护，实际施工环境温度为15℃，同时运距较远，所以在制备沥青混合料时选择厂拌法，同时根据目标配比与环境条件，考虑提高出厂温度，将出厂温度控制在150-160℃左右。在加热沥青时温

度要保持在190℃，矿料加热温度为150-160℃。基于温度控制，施工单位还要重视拌和时间的控制，先持续干拌8s左右，再采用进行湿拌，并且注意湿拌时间为50s，拌和速度为90t·h⁻¹，上料速度为80t·h⁻¹。在拌和投料过程中施工人员要注意先投沥青材料，间隔5s后再放入温拌剂，避免过早发生反应，不仅减少料口烟雾，也成功提高拌和后的出料质量。^[4]

（三）混合料运输技术

在沥青混合料通过质量检测且达标后，需要运送至高速公路养护现场，便于开展养护施工。在混合料运输过程中，施工单位要避免混合料出现质量缺陷，具体如下：①装料前，作业人员要将油水混合液均匀涂刷于自卸车的地板、侧板等位置，避免混合料在运输过程中黏附于车辆内壁；②装料后，考虑混合料热量流失较快，提前准备好油布，将其覆盖于料斗上，避免混凝土料向外洒落，也减少粉尘并避免热量过快流失；③规划路线，选择道路平整、运距短的路线，同时考虑交通秩序是否良好，保证运输路线规划合理，而运输人员必须按照规划路线完成运输任务，不可随意改变运输路线。

（四）混合料摊铺技术

在摊铺作业开始前，现场作业人员要提前60min加热分料器、熨平板，将温度控制在100℃，为后续正式摊铺作业做好充分准备。在卸料时作业人员要考虑受料斗位置与大小，尽可能一次装满，减少集料过早离析问题，同时用最快速度将受料斗中的混合料放入分料室的两侧位置，保证混合料高度合理，再进行后续摊铺作业。在具体摊铺过程中，养护人员结合温拌超薄磨耗层技术应用要求，重点清除粘层、透层位置的杂质，清理干净铣刨产生的矿粉，还要提前检查好摊铺机，使其处于良好运行状态，例如，通过试运行方式来确定摊铺机状态，启动机械时选择距离相等的3个木块，将其放置于摊铺机下部位置，再安装配套的熨平板，之后坚持匀速原则进行摊铺，控制好摊铺速度，一般为3—5m/min，注意摊铺机必须匀速前行，不可随意刹车或者突然提速。由于沥青混合料摊铺机有可能出现降温问题，所以实际摊铺作业的温度必须高于设计温度值。如果摊铺时混合料出现离析，应考虑产生原因并及时解决，若出现明显波浪则要立即消除。此外，现场摊铺人员要注意边角位置的摊铺较特殊，应在机械摊铺基础上辅助使用人工方式摊铺，并且做好细料平整。^[5]

（五）混合料压实技术

在摊铺完成之后，施工人员要马上开展压实作业，保证在混合料温度下降过程中完成磨耗层压实。在具体碾压时，施工人员要提前进行混合料温度检测，保证其温度超过90℃，同时重点关注碾压速度与碾压力度，采用静压方式完成压实作业，以此来提高路面整体稳定性。在选择压实机械时，优先考虑钢筒压路机，提前将防黏结油均匀涂刷至压路机轮胎部位，为碾压的顺利进行带来保证。在碾压环节操作人员要保证一次压实成型，尽可能避免重复碾压，减少路面缝隙。除此之外，压路机应与摊铺机保持一定距离，并且匀速行进，同时完成摊铺与碾压。针对高速公路接缝位置要做好压实处理，提高磨耗层接缝处的衔接效果。例如，某高速公路全长10.4km，行车速度100km/h，部分路段长

期受行车荷载作用，已出现多处细微的裂缝和明显车辙，威胁到行车安全，所以选择使用温拌超薄磨耗层施工技术来养护高速公路。在压实环节前施工单位进行试验段施工，配备2台压路机，选择其中1台并采用静压方式完成初压、复压，共碾压4—6遍，再使用另一台压路机进行终压，碾压2遍。施工单位根据试验段数据，确定使用乳化沥青和摊铺混合料，选择超薄沥青摊铺压路机，采用10—13t双钢轮静压方式，摊铺温度150—170℃，控制碾压速度在4km/h内。针对接缝位置，要求接缝平顺、紧密、无离析，特别是上下两层纵缝要适当错开，如，热接缝错开150mm，冷接缝错开300—400mm。

（六）养护与交通管制

养护人员在温拌超薄磨耗层碾压作业完成后，根据设计内容与实际制定后续养护方案，明确养护时间、方法、流程等内容，采用湿润处理方式，及时喷水来保持养护路面的湿润度，坚持养护7d。与此同时，养护人员及时做好养护路段交通管制，例如，在养护区域竖立起明显警示牌，禁止任何车辆通行，待养护结束后开展养护效果检测，保证养护后的公路性能与设计符合要求，考虑有序开放交通。

四、温拌超薄磨耗层施工技术应用质量控制措施

（一）开展旧路面性能评估

为保证温拌超薄磨耗层施工技术应用的整体质量，施工单位要严格把控技术应用要点，组织全面的现场勘察，分析交通环境、气候特征、水文特点、环境条件，根据所获得的信息。在此前提下，施工单位要及时开展旧路面性能评估，选择钻芯法取样，再通过严格检测，精准了解旧路面的摩擦系数、车辙、材料性能、强度等物理性能，根据路面受损程度制定针对性养护施工方案。在旧路面评估时，评估人员要详细检查路面损坏严重性、评定路面区域裂缝、缺陷、不平整度等，判断高速公路是否达到使用温拌超薄磨耗层技术应用要求。^[6]

（二）合理选择材料与工艺

混合料是高速公路养护施工的重要物质基础，所以施工单位必须重视材料选择与混合料制备。针对材料选择，施工单位要适当加大材料质量控制力度，对比多个供应商的资质、材料质量、价格，筛选出质量优异、价格合理、售后能力强的材料供应商。针对混合料制备，施工单位关注出厂混合料温度，对保温工作做到全面落实，同时注意沥青温拌温度不可过高或者过低，还要通过试拌操作对各材料的实际用量进行精准确定。在具体拌和时，

作业人员要严控湿拌时间，保证混合料呈现出明显絮状，并且颗粒已均匀附着于沥青材料。在完成混合料拌和后，开展科学的质量试验，对需进场的混合物进行取样并且及时送至实验室检测，确保混合料的指标与设计相符合，提高油石比例科学性。例如，某高速公路的裂缝与车辙较轻微，养护人员提前对裂缝进行灌缝，再开展磨耗层施工，通过取料、筛分试验等方式确定油石比为7.5%，为全线施工提供可靠与精准的数据支持。除此之外，施工单位还要重视施工工艺的控制，关注隐蔽性工作，开展精细化管理与实时监控，若发现不规范施工时必须马上处理，若施工质量未达到规定标准则立即返工，待检测合格后组织开展下一施工作业，将潜在隐患与各种质量问题做到切实有效地减少。例如，在摊铺环节出现混合料意外掉落情况，作业人员必须通过人工方式进行针对性处理，以免影响技术应用效果。^[7]

（三）提升施工人员综合素质

在高速公路养护工程中，温拌超薄磨耗层施工技术的应用具有一定专业性，要求施工人员具备一定的技术水平与实践操作能力，还要保证操作连续性和规范性。因此，在养护作业开始之前，施工单位要总揽全局，及时组织岗位培训活动，其中涵盖温拌超薄磨耗层施工技术理论、技术要点、技术规范等内容，确保施工人员能够谨遵施工操作规程，按照科学流程应用温拌超薄磨耗层技术。与此同时，施工单位及相关管理人员要进一步强化施工作业人员所具有的责任意识与安全意识，严格监管施工各环节，对不规范、不合理、不恰当的施工行为要及时纠正。在此前提下建立起科学与有效的激励机制，及时奖励施工行为规范、施工效率高、工作认真负责的施工人员，将高速公路养护技术应用质量进一步提高。

五、结束语

高速公路是推动社会经济稳步与健康发展的基础设施，所以需要公路养护工作的开展来保证公路运营质量、效益、安全。那么，施工单位在养护过程中会根据实际情况，制定针对性的纠正性养护措施，合理选择与应用温拌超薄磨耗层技术，解决裂缝等病害问题，并通过预防性处理，从根本上提高高速公路整体质量，保证行车安全。在未来，施工单位要结合温拌超薄磨耗层技术应用原理与特点，紧抓技术应用要点，摆脱施工温度给技术应用带来的束缚，发挥出温拌超薄磨耗层技术真正作用，也达到节能降耗的目的，对预防性养护工作的创新有积极影响。

参考文献

- [1] 王宏涛. 高速公路预防性养护技术的应用研究[J]. 交通科技与管理, 2023(3):0120-0122.
- [2] 高燕. 高速公路养护中温拌超薄磨耗层的施工技术[J]. 交通世界, 2016(22):2.DOI: CNKI: SUN: JTSJ.0.2016-22-015.
- [3] 赵晓舒. 温拌超薄磨耗层的施工技术在高速公路养护中的作用[J]. 科学与财富, 2020, 000(017):322.
- [4] 杨光忠, 王旭东. 关于高速公路养护中温拌超薄磨耗层的施工技术[J]. 驾驶园, 2020, 000(007):78-79.
- [5] 高坤. 温拌超薄磨耗层施工技术在高速公路养护中的应用[J]. 科技资讯, 2023, 21(11):91-94.
- [6] 杨雪冰. 高速公路养护中温拌超薄磨耗层施工技术分析[J]. 江西建材, 2023, (05):334-336.
- [7] 翟江虹. 超薄磨耗层施工技术在高速公路养护中的应用分析[J]. 运输经理世界, 2022, (22):110-112.

基于隧道工程的复合型衬砌施工技术的应用分析

吴涛，兰智斌

浙江八咏公路工程集团有限公司，浙江 金华 321000

摘 要： 本文旨在探讨复合型衬砌施工技术在隧道工程中的应用，通过结合实例，对典型隧道项目的案例分析，综合评价该技术在提升隧道安全性、降低维护成本以及改善运营环境方面的优越性。文章首先阐述了复合型衬砌的基本概念，即一种将喷射混凝土初衬、防水隔离层及现浇混凝土二次衬砌相结合的多层复合结构体系，其次介绍了其设计原则与施工流程。随后，通过工程实例分析，阐述复合型衬砌施工工艺，分析其施工应用效果。最后，提出复合型衬砌施工技术的质量控制措施，希望能够为我国隧道工程发展提供有效参考。

关 键 词： 隧道工程；复合型衬砌；施工技术；应用分析

Application Analysis of Composite Lining Construction Technology Based on Tunnel Engineering

Wu Tao, Lan Zhibin

Zhejiang Bayong Highway Engineering Group Co., LTD. Jinhua, Zhejiang 321000

Abstract： This paper aims to explore the application of composite lining construction technology in tunnel engineering, and comprehensively evaluate the advantages of this technology in improving tunnel safety, reducing maintenance costs and improving operating environment by combining examples and analyzing typical tunnel projects. This paper first describes the basic concept of composite lining, that is, a multi-layer composite structure system which combines the primary lining of shotcrete, the waterproof isolation layer and the secondary lining of cast-in-place concrete, and then introduces its design principle and construction process. Then, through the analysis of engineering examples, the construction technology of composite lining is expounded and its construction application effect is analyzed. Finally, the quality control measures of complex lining construction technology are proposed, hoping to provide effective reference for the development of tunnel engineering in our country.

Keywords： tunnel engineering; composite lining; construction technology; application analysis

引言

隧道工程作为连接山地、水域等自然障碍的重要通道，在促进区域经济发展、改善交通网络布局方面发挥着不可替代的作用。然而，隧道建设往往面临复杂的地质环境挑战，如何确保结构安全与长期稳定性，一直是行业内外关注的焦点。传统的单一衬砌方案虽能满足一定时期的使用需求，但在面对复杂工况时暴露出抗变形能力不足、防水性能有限等问题。在此背景下，复合型衬砌技术应运而生，以其独特的多层次防护理念，不仅有效增强了隧道结构的稳固性，还大幅提高了防渗漏能力和耐久性，成为当前隧道工程领域的一大创新突破。本研究聚焦于复合型衬砌技术的实际应用，通过理论分析与工程实例相结合的方式，全面解析其技术特点、实施策略及经济效益，以期对相关领域的科研人员和工程师提供有益参考。

一、复合型衬砌施工技术

（一）技术概念

复合型衬砌施工技术在隧道工程中应用广泛，能够有效提升隧道的支护效果，这种创新的支护方法应用多种材料与技术，从结构层面对隧道整体进行性能提升，特别是面对复杂的地质条件，其搭建的多层衬砌体系能够更好的发挥其各层功能^[1]。

通常情况下，复合型衬砌包括以下几个组成部分：（1）初期

支护：作为直接接触围岩的第一道屏障，主要由喷射混凝土、锚杆及钢筋网组成。其作用是迅速稳定围岩表面，控制围岩变形，为后续作业创造安全环境；（2）防水隔离层：铺设于初期支护之上，旨在防止地下水及其他液体渗透，维持内部结构的干燥状态，降低腐蚀风险，延长隧道使用寿命。常用的防水材料包括防水板、土工织物、自粘防水卷材等；（3）二次衬砌：亦称永久衬砌，为最外侧的混凝土结构，具备高强度和刚性，不仅支撑重量，还加强整个衬砌系统的稳固性，同时提供平滑美观的内墙

面；（4）填充注浆：在特定条件下，会在初期支护与二次衬砌间实施注浆工序，填充空隙，增强结构的紧密性和稳定性^[2]。

（二）技术特点与优势

复合型衬砌施工的特点及其应用价值主要表现在以下几个方面：

（1）提升隧道结构稳定性与防护能力：复合型衬砌施工技术在一次衬砌基础上开展复合型衬砌施工，这不仅大幅提升了隧道结构的承载能力和抗变形能力，还能有效分散和转移来自隧道周围岩石的压力，减轻初次衬砌的负荷，避免隧道结构受损或失效^[3]。此外，复合型衬砌还提供了更佳的防水和防渗性能，有效抵御水分及腐蚀性物质对隧道结构的侵害，从而延长隧道的使用寿命。

（2）高度的施工灵活性与适应性：复合型衬砌施工是在初次衬砌完成后实施的，因此可以根据隧道内部的具体空间条件和实际需求进行灵活设计与施工。这种灵活性使得复合型衬砌施工技术能够很好地适应各种地质条件和不同的隧道结构形式，确保隧道的安全稳定运行。

（3）优良的经济效益与社会效益：通过科学合理地选择材料和控制施工工艺，复合型衬砌施工技术在早期施工成本与后期维护成本改善上效明显，能够进一步保证项目的经济收益，为企业带来良好的社会效益^[4]。

复合型衬砌施工技术的优势在于其高度的灵活性，能够针对不同地质条件调整各层材料的类型和厚度，从而实现最优的力学表现和经济效益。此外，该技术还表现出优异的抗震、防水和耐久性，适用于多种类型的隧道工程项目，包括但不限于公路隧道、地铁隧道以及特殊用途的水力发电隧洞等。

（三）技术应用价值

从多个维度分析，复合型衬砌施工技术展现出重要的应用价值：（1）运营效率的提升：通过优化隧道的通行能力和改善服务质量，例如，技术的应用不仅加快了车辆的通行速度，减少了交通拥堵现象，还提高了乘客的出行体验，工程项目运营水平逐渐提升，间接的推动了交通运营效率的提高^[5]；（2）工程安全性增强：复合型衬砌施工技术在工程原有的一次衬砌基础上增加了二次衬砌，分散了隧道所面临的地质压力，显著降低了因结构破坏而引发的安全风险，极大增强了隧道结构的整体稳定性和承载能力，为隧道的长期安全运营提供了坚实保障；（3）环境保护效果显著：采用复合型衬砌施工技术有助于减轻隧道施工对周围环境的负面影响。通过科学的施工方法和环保材料的选择，可以有效控制施工过程中产生的噪音、粉尘以及废水排放，减少对周边自然生态的干扰和破坏，实现工程建设与环境保护的和谐共生；（4）工程耐久性提升：在隧道工程建设中，应用复合型衬砌施工技术，能够对隧道内的地下水与各类腐蚀物进行阻挡，保护隧道具有足够的耐久性，还能够提升隧道使用寿命，降低维护成本。

二、工程概况及施工方案

（一）工程概况

某大型跨海隧道工程位于我国东南沿海地区，全长约15公

里，是连接两个重要经济中心的战略性交通纽带。该隧道穿越复杂多变的海底地质环境，包括硬岩层、软土地层以及高水压区域，施工难度极大，对施工技术提出了严峻考验。为了确保隧道的安全稳定运行，项目团队决定采用复合型衬砌施工技术，以适应复杂地质条件，强化隧道结构的整体性能。

（二）施工方案

该项目的复合型衬砌设计遵循“初期支护－防水隔离－二次衬砌”的基本原则，各节材料与技术严格挑选。一次衬砌施工采用液压式衬砌台车开展；初期支护阶段，运用高压喷射混凝土配合高强度锚杆，迅速形成了坚固的第一道防线；防水隔离层选用特制的防水膜，有效阻挡海水侵蚀；二次衬砌则采用C50高强度混凝土，确保了结构的持久稳定。在整个施工过程中，项目团队严格监控每一步骤的质量，通过精密测量仪器实时检测围岩压力、地下水位变化等因素，及时调整施工参数，保证衬砌质量符合高标准要求。

三、施工技术要点

（一）二衬混凝土灌注前的检查

在隧道工程施工中，开展二次衬砌前需要对台车高度进行检查，同时对台车仓内的尺寸进行检查。在台车检查时，还需要对检查车辆挡头模的牢固程度进行检查，检查脱模剂涂抹情况、模板缝隙紧密度、衬砌钢筋、防水板等安装情况。

（二）钢筋加工与绑扎

钢筋的加工与绑扎是复合型衬砌施工技术的关键环节，根据相关设计要求，本项目需在隧道洞内进行加工与安装，衬砌钢筋安装过程中应采取定位措施，环向受力筋与纵向分布筋每个节点应进行绑扎或焊接，环向受力筋的搭接应采用焊接或机械连接，相邻环向受力筋搭接位置应错开，错开距离不小于1000mm。在具体的绑扎过程中，需要保证钢筋纵向与横向节点的绑扎与焊接质量，同时焊接的长度与缝隙需要符合规定，针对连接节点在纵横筋交叉的箍筋连接点，要绑扎或焊接处理。

（四）灌注混凝土

在开展复合型衬砌施工技术时，需要在浇筑二衬混凝土前对隧道内基地与垃圾进行清理，保证坑内无积水与污物。按照施工配合比进行水泥搅拌，应采用混凝土输送泵送料入模、均匀布料。混凝土应从两侧边墙向拱顶、由下向上依次分层对称浇筑，两侧混凝土浇筑面高差不应大于1.0m，同一侧混凝土浇筑面高差不应大于0.5m。此外，还需要对浇筑速度进行把控，选择软管进行输送，保证混凝土的垂直落差在规定范围内，避免离析情况。

（五）拆模与养护

拆模时间的选择需要根据封顶混凝土而确定，通常情况下，隧道工程混凝土强度为5MPa时进行拆模操作。针对二衬施工时出现围岩变形的情况，则需要及时上报，并根据实际情况延长拆模时机。本跨海隧道工程洞内采用喷水养护，设置养护管，在拆模前需要对淋台模板进行喷淋，并对混凝土面进行喷淋。且工程项目洞内与洞外养护标准存在一定差异，洞口养护标准为100m范

围内开展14d，洞内则养护7d，贯通后养护时间为14d。

四、复合型衬砌施工质量控制措施

（一）搭建质量管理体系

质量管理体系在隧道工程衬砌施工中发挥着至关重要的作用，它不仅提供了清晰的指导方针、操作标准与流程，还保障了工程项目的安全性，有效的提升了隧道工程施工的稳定性。该体系的核心在于确立具体而切实可行的质量政策与目标，这些政策和目标应当基于国家和行业规范，并根据项目实际情况制定具有针对性的施工方案，确保所有相关方——如设计人员、施工单位、监理机构和业主——都能充分理解并达成一致。全面的质量管理计划和程序应当贯穿项目的全生命周期，涵盖从初步设计、采购原材料、施工执行直至后期保养的所有环节，明确规定每一阶段的质量基准、检验手段、职责分配及反馈渠道^[6]。为保证这些计划和程序得以有效执行，必须构建项目质量管理架构，同时在各施工环节配备专业技术人才进行专项管理与监督，一旦发现任何偏差或问题，须立即采取措施予以修正，防止对整体工程质量造成负面影响。

另外，构建一套完整且高效的反馈与修正系统同样是质量管理体系不可或缺的一部分。隧道工程施工中，依托这一反馈优化系统收集数据、整理分析数据，能够举一反三的评估工程项目质量管理水平，从而提升整体工程质量。

（二）提升质量监控与检测水平

在隧道工程中，施工现场的质量监控极为重要，高质量的质量监控工作能够为整个工程安全推进提供保障，其主要监控检测的内容包括施工团队操作情况、设备与材料情况，如出现不合规的情况，则立即进行整改。监测时通常会利用各类传感器与摄像机进行记录，对施工各环节进行全方面捕捉，并对施工进行分析，保证项目施工的质量。材料质量的检验则是保障整体工程质量的根本所在，对于进入工地的原材料，应实施随机抽查，并开展符合严格的混凝土测试与评估。此外，在监测时，可利用诸如光谱分析、超声波探测和电磁波检测等现代技术手段，更加精准地

判断材料是否符合设计要求，从而有效预防因材料不合格而引发的工程质量隐患^[7]。通过上述措施，不仅能够确保施工项目的高品质完成，也为后续的运营维护打下了坚实的基础。

（三）识别早期故障并进行调整

在隧道工程项目中，早期的风险识别与应对极为重要，识别缓慢将会影响到工程结构成本，进而增加后期的维修养护成本，故而，需要对识别人员开展针对性培训，提升其对不规范行为的敏感性。此外，隧道工程项目衬砌技术施工时，需要提前制定各类情况的应急策略，针对出现的问题采用相关策略，最大限度的减少早期风险影响到隧道工程全生命周期的发展。

（四）提升工程后期维护水平

在隧道工程完工后，面临的便是长期隧道的长期维护与保养问题，为了保证衬砌施工的质量，需要持续对其进行补救与维护。工程项目需要成立专业的后期检查团队，对裂缝、渗漏等情况进行全方位的检查，针对工程所显现的问题开展快速补救。针对常见的工程缺陷，比如裂缝，可以使用专门的注射剂或者封闭材料来进行修补；而对于渗漏问题，需要在工程衬砌结构内外进行防水补救工作。通过及时的发现与预防补救，能够进一步延长隧道工程施工寿命，提升其安全性。除了补救措施之外，还需要开展预防性措施，根具项目实际情况，进行隧道表面的长期清理，及时更换需要替换的构件，在危险来临之前消除危害。

五、结论

综上，隧道工程复合型衬砌施工技术在项目发挥极大作用，是保证隧道结构安全与功能正常使用的重要环节。本文以某跨海隧道为研究案例，对复合型衬砌施工技术进行分析，根据实际情况提出设计方案，并对复合型衬砌施工技术应用进行研究。能够明确，高质量的技术应用能够有效提升隧道工程质量，降低维护成本，从运营、经济效益、使用寿命等方面得到提升。此外，本文还提出了相关策略，从监管、早期维护等层面出发，为隧道施工质量提升提供帮助。

参考文献

- [1] 方坚涛. 隧道衬砌后期裂缝成因及处理施工技术研究 [J]. 散装水泥, 2023, (04): 26-28.
- [2] 张志恩, 雷军, 李利平, 等. 隧道衬砌施工缝抗渗性及影响因素室内试验研究 [J]. 隧道建设 (中英文), 2022, 44(08): 1609-1616.
- [3] 赵克坤. 隧道施工中的二次衬砌施工工艺与效果分析 [J]. 工程技术研究, 2020, 9(15): 81-83.
- [4] 李富强, 康波. 水利水电工程隧洞衬砌及喷锚支护加固施工技术研究 [J]. 中国高新科技, 2023, (14): 139-141.
- [5] 秦子强. 小断面隧洞不连续衬砌模板设计及施工技术 [J]. 河南水利与南水北调, 2023, 53(06): 39-40.
- [6] 李臻, 文涛, 钱斌. 水工隧洞转弯段混凝土高精度衬砌施工工艺 [J]. 人民黄河, 2023, 46(S1): 183-184.
- [7] 岳先龙. 高速铁路隧道衬砌施工质量控制关键技术研究 [J]. 工程建设与设计, 2023, (08): 184-186.

商业空间动线设计与顾客体验优化

姚平

四川国际标榜职业学院艺术与设计的学院，四川 成都 610000

摘 要：商业空间的动线设计不仅是空间布局的核心环节，更是优化顾客体验的重要手段之一。有效的动线设计可以通过提升顾客的空间感知、行进效率和购物便捷性，从而改善整体体验和商业效能。本文将从动线设计的四项基本原则出发，构建基于路径优化、视觉吸引和互动导向的顾客体验优化模型，并通过深入分析动态引导、空间心理和互动性体验策略，揭示其在提升顾客满意度和市场竞争力中的关键作用，旨在为商业空间的设计和管理提供系统化的理论支持和实践指导。

关 键 词：商业空间；动线设计；顾客体验

Commercial Space Dynamic Line Design and Customer Experience Optimization

Yao Ping

Sichuan International Vocational College of Art and Design, Chengdu, Sichuan 610000

Abstract： The moving line design of commercial space is not only the core link of spatial layout, but also one of the important means to optimize customer experience. Effective moving line design can improve the overall experience and business efficiency by improving customers' space perception, travel efficiency and shopping convenience. This paper will start from the four basic principles of line design, build customer experience optimization model based on path optimization, visual attraction and interactive orientation, and through in-depth analysis of dynamic guidance, spatial psychology and interactive experience strategy, reveals its key role in improving customer satisfaction and market competitiveness, aims to provide systematic theoretical support and practical guidance for the design and management of commercial space.

Keywords： commercial space; moving line design; customer experience

引言

商业空间是现代消费场景中至关重要的构成部分，其设计直接影响顾客的行为模式、消费决策及整体体验。其中，动线设计作为商业空间的规划核心，对顾客的行进路径、空间感知和行为选择具有直接影响。近年来，随着商业模式的变革和消费需求的升级，传统的静态导向设计已无法满足现代顾客对个性化、便捷性和情感化体验的需求。因此，探索如何通过优化动线设计与策略实施来提升顾客体验，成为商业空间研究中的一个重要课题。

一、动线设计与顾客体验优化模型的构建

（一）商业动线的基本设计原则

商业空间设计中，动线的优化直接影响顾客的行为模式与购物体验。作为商业空间规划的核心，动线的设计不仅关乎顾客的流动性，还决定了其在空间中的停留时间和行为选择。动线设计的有效性取决于四大关键原则：便利性、连续性、可预见性和导向性。

首先，便利性是动线设计的首要原则，它旨在缩短顾客行走的距离，降低不必要的体力和时间消耗。便利性通过合理的布局和路径设计，实现对顾客空间行为的正向引导。动线布局应尽量减少曲折和绕行，使顾客在进入商业空间时能够快速到达目标区域。这样不仅提升了购物效率，还增加了顾客的愉悦感，促使其在空间内的驻留时间更长。此外，便利性的体现不仅体现在路径的直观性，还包括了动线的宽度设计、入口与出口的位置设置等

方面，从而避免了因拥挤或不合理设计导致的顾客流失。

连续性原则强调顾客在商业空间中移动时的流畅性和无障碍感受^[1]。动线的连续性确保顾客从一个区域过渡到另一个区域时不被打断，从而保持对购物环境的关注和探索兴趣。具体而言，连续性的实现不仅需要无缝连接的路径设计，还包括视觉上的连贯性和空间的开放性。动线设计应避免过多的物理障碍（如台阶、窄道等），同时应通过一致的设计风格 and 布局逻辑来维持视觉上的顺畅感，使顾客在空间中感受到自然、舒适的移动节奏。

可预见性是动线设计中不可忽视的关键原则，它指的是顾客在商业空间内能够对下一步的路径走向和目标区域形成明确预期。这种预期感能够降低顾客的空间焦虑，增强对购物环境的信任和掌控感。在动线设计中，可预见性通过路径的直线性、明确的标识以及清晰的视觉焦点来实现。顾客在进入空间后，如果能够在短时间内直观地识别主要购物路径和关键节点，将有助于其

作者简介：姚平（1985.02-），女，汉族；江苏人，本科学历，职称：副教授。

迅速了解和适应购物环境，并有效提升空间的吸引力^[2]。

最后，导向性是动线设计中保证顾客顺利完成整个购物过程的核心原则。有效的导向性不仅帮助顾客快速识别当前所处位置和下一个目标区域，还通过明确的路径指示提升空间的导航性和功能性。导向性不仅体现在显性的标识系统中，还包括暗示性的空间设计元素，如灯光、色彩、地面纹理等。这种多层次的导向设计能够强化顾客对空间的识别感和方向感，使其在购物路径上感到更加自信和轻松。

（二）优化模型的构建

1. 路径优化

在商业空间中，路径优化是动线设计的核心环节，它不仅决定了顾客在空间内的移动效率，更直接影响其购物体验的整体质量。通过对顾客行为的精细分析，路径优化可实现更精准的空间规划，使得顾客在整个购物过程中能够顺畅、快速地到达目标地点，从而提高购物效率和体验的满意度^[3]。

路径优化的核心在于理解和回应顾客的行为模式与心理需求。顾客在商业空间中的路径选择通常受到空间结构、商品布局和视觉引导等多重因素的影响。因此，路径优化首先需要基于顾客的行为分析来合理规划动线，以确保路径的直观性和可达性^[4]。商业空间设计应最大限度地减少不必要的曲折和绕行，并通过简化路径来降低顾客的认知负担，使其能够轻松找到目标区域。这种优化不仅能够节省顾客的时间，还能有效提高其对空间的好感度，增强整体购物体验。同时，顾客在空间内的路径选择往往表现出一定的“最短路径偏好”，即倾向于选择视觉上最短、最明确的路线。因此，路径优化应注重视觉线索的强化，例如通过设计明确的通道、开放的视线以及直观的地面指引，来引导顾客沿最短路径前进。

此外，路径优化的另一个关键在于对不同类型顾客的行为特征进行细分分析。商业空间中的顾客具有多样化的动机和需求，比如目标明确型顾客通常希望以最快的速度到达特定区域，而探索型顾客则偏好随意浏览并被空间内的设计吸引。因此，路径优化需要结合顾客的行为偏好进行灵活设计。在入口处设置清晰的主干道有助于快速引导目标明确型顾客到达特定区域，而在主路径的交汇点和节点区域通过适当的视觉和体验设计，能够吸引探索型顾客的注意力，从而提高其驻留时间和消费兴趣。通过结合行为数据和心理因素的路径优化设计，商业空间不仅可以提高顾客的行进效率，还能有效地刺激其购买行为^[5]。

2. 视觉吸引设计

视觉元素的合理应用可以有效提升顾客对商业空间的兴趣和专注度，从而塑造积极的空间印象。通过在路径的关键节点引入视觉吸引元素，商业空间可以营造更为丰富、生动的购物氛围，进而激发顾客的探索欲望和消费行为。

视觉吸引设计的核心在于充分利用色彩、灯光和装饰品等视觉元素来强化路径节点的标识性和吸引力。这些元素不仅能够物理上指引顾客的行进方向，还能在心理上形成强烈的视觉印象，使顾客对空间布局和路径规划有更清晰的认知。色彩的运用应考虑色彩的心理效应，例如暖色调（如红色、橙色）通常能激发顾客的兴奋感和购物欲望，而冷色调（如蓝色、绿色）则有助于营造舒适、宁静的氛围，适合应用于休闲区或中转区。

灯光设计在视觉吸引中扮演着不可或缺的角色，它不仅能够突出路径的关键节点，还可以通过光影的变幻营造出动态的视觉效果，从而增强空间的视觉吸引力。灯光的亮度、色温以及投射角度的合理设计都将直接影响顾客的视觉体验和情绪反应。例如，高亮度的灯光可以在路径节点处形成明确的视觉焦点，引导顾客的行进方向；而柔和的灯光则能够在休息区和体验区营造出轻松、舒适的氛围，从而延长顾客的驻留时间^[6]。

装饰品作为视觉吸引设计的第三个重要元素，具有独特的装饰性和文化性功能，它不仅能够增添空间的视觉美感，还能通过特定的文化符号和艺术形式传达品牌价值和空间主题。在路径的关键节点设置装饰品，例如艺术装置、绿植墙、创意陈列等，能够有效吸引顾客的注意力，并促使其驻足欣赏。同时，装饰品应根据不同的商业定位和目标顾客群体进行差异化设计，以确保其符合目标顾客的审美偏好和心理需求。例如，高档奢侈品商场可以在路径节点处设置精美的艺术品或限量版陈列，以突出空间的高端定位；而家庭友好型购物中心则可以通过色彩鲜艳的卡通装饰和互动式装置来吸引亲子顾客的注意力。

3. 互动导向设计

随着智能化技术的广泛应用，互动导向设计不仅在物理层面上引导顾客的行进路线，还通过数字化手段增强顾客与空间的动态交互，进而提升购物体验的便捷性。

互动导向设计通过引入智能化设备，如触屏信息板、虚拟导购、室内导航应用等，使顾客能够在购物过程中主动获取所需信息。这种互动式导向标识打破了传统静态标识的局限，增加了信息传达的即时性和丰富性。例如，触屏信息板不仅可以展示详细的商场平面图、各商铺位置和实时促销信息，还可以根据顾客的需求提供个性化的路径规划建议。这种即时互动不仅有助于顾客快速了解和适应空间布局，还能有效减少因路径选择不清晰而带来的时间浪费，从而提高购物效率。同时，触屏信息板还能提供多语言服务、无障碍功能和语音指引，满足不同类型顾客的多元化需求。

虚拟导购是互动导向设计的另一重要组成部分，它通过语音识别、图像识别等人工智能技术，实现与顾客的高效互动。这类虚拟导购设备通常位于入口、主要过道或其他高流量区域，为顾客提供个性化的购物建议和路径指引。虚拟导购不仅能快速回答顾客的查询，还能通过机器学习分析顾客的需求偏好，提供更为精准的导航和推荐服务^[7]。

二、顾客体验优化策略

（一）动态引导策略

在商业空间中，动态引导策略是优化顾客体验和提升购物便捷性的关键措施。随着数字化技术的迅猛发展，传统的静态导向标识已逐渐被智能化、数字化的引导系统所替代，成为现代商业空间设计中不可或缺的一环。

在动态引导策略中，数字化引导系统扮演了重要角色。这类系统通常包括数字地图、室内导航应用和智能导向标识，通过与顾客的移动设备无缝对接，实现个性化、即时性的路径规划。数

字地图能够以直观的方式呈现商业空间的全貌，并为顾客提供便捷的定位功能，使其在空间中快速找到目标区域。室内导航应用进一步增强了这种体验，其基于蓝牙定位、Wi-Fi 信号和传感器技术，能够在顾客进入商场后自动定位，并生成最优路径。这种应用不仅具备动态调整功能，还可以根据顾客的实时位置变化提供路径更新，确保顾客始终行走在最便捷的路线。

智能导向标识是动态引导策略的另一重要组成部分。它们通常设置在商场入口、主干道交叉口和主要店铺外部等关键区域，通过实时变换的数字标识、动态信息屏和智能标识灯等方式，为顾客提供即时、准确的路径指引。相比传统静态标识，智能导向标识的优势在于其信息的可变性和交互性。它们能够根据顾客流量的变化、店铺的促销活动，甚至实时的空间拥堵情况，自动调整显示内容，从而在不同时段、不同条件下为顾客提供最优的路径指引。例如，智能标识灯可以通过色彩变换和闪烁提示，吸引顾客注意并引导其行进方向；而动态信息屏则可根据不同顾客的需求，显示特定区域的推荐路线和即时的商铺信息，从而提升顾客的路径选择能力和购物便捷性^[9]。

（二）空间心理优化策略

心理学研究表明，顾客在购物过程中不仅关注商品本身，还受到空间环境的深刻影响。光线、色彩和空间布局等因素，不仅能直接影响顾客的情绪反应，还能通过潜在的心理机制调节其购物欲望和行为模式。

光线作为空间心理优化的重要因素，不仅仅是视觉环境的基础，更是塑造顾客情绪和感受的有效手段。光线的强弱、色温和方向都能够显著影响顾客的空间感知和心理状态。柔和的光线有助于营造温暖、放松的氛围，从而缓解顾客在购物过程中可能产生的紧张情绪，促进其在空间内的停留与探索。研究表明，温暖的色调和低亮度的光线能够激发顾客的安全感和舒适感，使其更倾向于停留在购物空间中。而在产品陈列区域，则可以通过使用聚光灯和高亮度光源来增强产品的可见度和吸引力，从而刺激顾客的购买决策。

色彩是另一个在空间心理优化中扮演关键角色的设计元素。不同的色彩能够引发顾客截然不同的情绪反应和心理感知，从而影响其对商业空间的整体印象。暖色调如红色、橙色和黄色通常被认为是积极、活跃的色彩，能够激发顾客的兴奋感和参与感，适合用于促销区和新产品展示区，以便提升顾客的购物冲动。而冷色调如蓝色和绿色则有助于营造宁静、平和的氛围，更适合应用于休息区和过道区域，以缓解顾客的心理疲劳，增强空间的舒适性和吸引力^[10]。

空间布局是空间心理优化的第三个重要维度，它不仅决定了顾客的行进路线和视线流动，还直接影响其对空间的整体感受和心理反应。合理的空间布局应当兼顾空间的开放性和私密性，使顾客在购物过程中既能享受开放式的自由浏览，又能在特定区域获得相对的私密性和专注感。例如，开阔的通道设计能够增强顾客的安全感和方向感，而局部的小型展览区或座椅区则可以提供短暂的休息和放松，使顾客在长时间购物后得以缓解疲劳，重新激发购物兴趣。

（三）互动性体验策略

随着数字化和体验经济的快速发展，现代消费者对购物体验的需求已不再局限于商品本身，而是更注重在购物过程中的情感互动与个性化体验。通过在动线的关键节点设置互动体验设施，

商业空间可以有效延长顾客停留时间，增加互动频率，从而提升顾客的整体满意度和购物欲望。

在动线设计中，交叉口和主要过道是顾客流量最集中的区域，也是空间转换最频繁的节点。因此，这些位置具有较高的视觉曝光率和空间利用潜力，是进行互动性体验设计的理想场所。通过在动线节点引入 AR 体验屏、社交媒体互动墙、数字化镜面装置等互动设施，商业空间可以为顾客提供丰富的感官刺激和有趣的交互内容。例如，AR 体验屏可以利用增强现实技术，为顾客提供虚拟试衣、虚拟家居搭配等场景体验，不仅增加了顾客的娱乐性，还使其能够更加直观地感受商品的特性和效果^[11]。

社交媒体互动墙则是另一种常见的互动设施，它通过结合社交媒体平台的实时数据流和用户生成内容，鼓励顾客在购物过程中进行分享和互动。这种互动墙通常会展示顾客的实时评论、购物打卡和互动挑战等内容，营造出一种“现场参与感”和“社交互动感”，从而增强顾客与空间的情感连接。这种策略不仅增加了顾客在空间中的参与度，还利用社交分享的效应扩大了商业空间的品牌传播和顾客黏性。

三、结语

商业空间动线设计与顾客体验优化的研究揭示了二者在提升商业效能和顾客满意度方面的深层次关联。通过便利性、连续性、可预见性和导向性四大原则的贯彻，以及路径优化、视觉吸引和互动导向等设计手段的应用，商业空间不仅实现了动线的有效性，还在顾客体验上达到了全方位的优化效果。此外，动态引导、空间心理和互动性体验策略的综合实施，进一步增强了顾客的情感连接和品牌忠诚度。未来，随着数字化技术和体验经济的持续发展，商业空间设计应更加注重个性化、智能化和情感化的融合，以更好地满足顾客日益多样化的需求。

参考文献

- [1] 刘楠. 基于旅客行为动线的铁路车站空间无障碍设计策略研究——以大同南站为例[J]. 建设科技, 2023,(18):55-58.DOI:10.16116/j.cnki.jskj.2023.18.012.
- [2] 黄蕾, 郭歆, 王俊, 等. 两型探险邮轮空间布局及动线比较分析[J]. 船海工程, 2023,52(04):113-119.
- [3] 梁颖雯. 基于空间与行为交互关系的广州市机构养老设施公共空间设计研究[D]. 华南理工大学, 2023.DOI:10.27151/d.cnki.ghnl.2023.005640.
- [4] 卢爽. 基于儿童友好型幼儿园室内空间设计研究[D]. 西安建筑科技大学, 2023.DOI:10.27393/d.cnki.gxazu.2023.000091.
- [5] 葛效延. 西安市社区老年人全日照料设施照护服务空间设计策略研究[D]. 西安建筑科技大学, 2023.DOI:10.27393/d.cnki.gxazu.2023.000228.
- [6] 郭紫怡. 养老社区室内公共娱乐空间设计研究[D]. 中南林业科技大学, 2023.DOI:10.27662/d.cnki.gznlc.2023.000987.
- [7] 盛珮. 新时代乡村党群服务中心空间模式及设计研究[D]. 西安建筑科技大学, 2023.DOI:10.27393/d.cnki.gxazu.2023.000140.
- [8] 陈旭辉. 基于智能驾驶下的乘用车内部空间设计研究[D]. 南昌大学, 2023.DOI:10.27232/d.cnki.gnchu.2023.003669.
- [9] 王宁. 漆艺传承保护视域下懿唐工作室空间设计研究[D]. 天津师范大学, 2023.DOI:10.27363/d.cnki.gtsfu.2023.000710.
- [10] 张娜. 历史街区中商业空间设计研究[D]. 南京林业大学, 2023.DOI:10.27242/d.cnki.gniju.2023.000570.

高速公路养护管理现状及发展趋势探讨

易春燕

江西省交通投资集团有限责任公司吉安东管理中心，江西 吉安 343000

摘 要： 伴随着我国高速公路网的迅速扩张，其维护管理的重要性日益凸显。当前，在这一领域存在的问题主要包括对养护重要性的认识不足、相关管理制度不够完善以及专业技术人员短缺等，这些问题直接关系到道路的安全性能及其使用寿命。为了有效提升养护管理水平，亟需采取更加科学合理的优化措施。展望未来，预计该领域的进步方向将朝着智能化、体系化、精细化及可持续发展迈进。本文旨在全面分析高速公路维护管理的现有状况、探讨可行的改进策略，并预测其发展趋势。

关 键 词： 高速公路；养护管理；现状；发展趋势

Discussion on the Current Status and Development Trend of Expressway Maintenance Management

Yi Chunyan

Ji'an East Management Center, Jiangxi Provincial Communication Investment Group Co., Ltd. Ji'an, Jiangxi 343000

Abstract： With the rapid expansion of China's expressway network, the importance of its maintenance management has become increasingly prominent. Currently, the main problems in this field include insufficient understanding of the importance of maintenance, inadequate related management systems, and a shortage of professional and technical personnel. These issues directly affect the safety performance and service life of roads. To effectively improve the level of maintenance management, more scientific and reasonable optimization measures are urgently needed. Looking ahead, it is expected that progress in this field will move towards intelligence, systematization, refinement, and sustainable development. This article aims to comprehensively analyze the current status of expressway maintenance management, explore feasible improvement strategies, and predict its development trends.

Keywords： expressway; maintenance management; current status; development trend

引言

作为现代交通体系的关键环节，高速公路在确保行车安全与提高运输效能方面扮演着至关重要的角色。伴随着经济社会的迅速进步，高速公路承载的流量日益增长，这使得其维护管理工作显得更加不可或缺。尽管如此，我国当前在高速公路养护领域仍存在不少亟待解决的问题。因此，有必要对现有状况展开细致的研究，并寻求合理的改进措施，以此促进该领域管理工作的长远健康发展。

一、高速公路养护管理的现状

1. 养护管理理念薄弱

现阶段，高速公路的维护管理工作在理念层面仍存在不足之处，许多管理者对于维护工作的重要性缺乏足够的认识，这导致了对维护活动的关注度偏低。日常管理实践中，往往侧重于追求短期效益，而忽视了长远视角下的维护效果提升。此类缺乏远见的管理模式使得很多维护措施缺乏科学依据和系统规划，从而影响了维护工作的成效。此外，由于理论基础与实践经验的缺失，

维护作业常常处于一种被动应对的状态，难以有效满足日益增长且复杂的维护需求。

2. 养护管理制度较少

当前，高速公路维护管理体系的发展速度相对较慢，已有的管理规范数量有限且不够全面。不少区域缺少统一的维护标准与指导原则，使得各条高速公路在实际操作中的管理水平存在较大差异。此外，维护流程及其责任分配方面存在的模糊性，也导致了维护作业缺乏标准化。由于缺乏清晰明确的规章制度作为支撑，管理者难以有效地监督并评估维护工作的进展状况，这对维

项目课题：该文系：江西省交通运输厅项目成果论文“基于物联网技术的高速公路养护作业安全管理系统”研究项目编号：2024YB017。

作者简介：易春燕（1990，10-），女，汉族，江西武宁人，研究方向：高速公路养护。

护工作的品质及效率产生了不利影响。除此之外，制度上的空白还造成了维护资源利用不当的问题，未能构建起一个高效的管理循环体系。

3. 养护人员缺少专业性

养护管理专业水平的欠缺是导致高速公路维护效果不佳的关键原因之一。当前阶段，许多从事该领域工作的人员在专业知识和技能方面存在较大差异，并且普遍缺乏系统性的培训机会与职业成长路径。实际操作过程中，一些员工对于现代化维护技术及设备的理解和应用能力较弱，难以满足日益增长的专业需求。这种现象不仅妨碍了日常维护任务的有效执行，同时也限制了整个行业管理水平的进步。^[1]

二、高速公路养护管理的优化策略

1. 加大资金投入

为提高高速公路维护管理的现状，增加对维护资金的投资显得尤为关键。政府应当制定长期的资金投入策略，确保有稳定的资金来源，避免因资金不足而导致维护工作推迟或质量下滑的情况发生。同时，提议建立专门的维护资金账户，明确资金的具体用途和方向，从而提升资金使用的精准性和效率。另外，探索多种融资方式，鼓励私人资本参与到高速公路的维护工作中来，是增加资金投入的有效手段之一。通过采用公私合作（PPP）模式，不仅能够减轻公共财政负担，还能够充分利用企业的专业技术与管理经验，进而提升维护工作的质量和效率。除此之外，政府还可以考虑与金融机构协作，推出特定贷款项目或是补助政策，吸引更多的资金进入维护领域。为了进一步激发各方面的积极性，建议构建基于维护项目表现的激励机制，最大化资金利用效果。最终，需要建立完善的资金使用监管体系，保证资金使用的透明度和效率。定期公布维护资金的使用情况，并接受社会监督，确保每一笔钱都能被用在最需要的地方。^[2]

2. 引入先进技术

在高速公路的维护与管理过程中，技术的应用显得尤为关键。当前，诸如无人机巡视、传感监测及大数据分析等现代化维护手段已经成为提高工作效率和精准度的重要途径。利用无人机进行巡视，可以在较短时间内覆盖广阔的高速路网，并采集到高清晰度的图像资料，迅速识别出路面破损如裂缝或坑洼等问题。这种方法不仅减少了对人力资源的需求，而且显著提升了检查频次和精确性，确保了维护工作的时效性和科学依据。传感器技术的应用则能够即时搜集包括路况状态、车辆流动情况以及天气变化在内的多种信息，为制定更加合理的养护策略提供了坚实的数据支持。例如，智能传感设备可以测量路面的温湿度条件，帮助管理者评估道路材料的持久性能及其安全性，进而快速规划出有效的修复方案。而通过对大量历史数据的深度挖掘，大数据技术能够提炼出有关未来可能发生的维护需求的信息，合理调配资源，进一步增强运营效率。借助于机器学习算法的力量，我们可以从过往的经验中发现规律，从而更为准确地规划未来的维护活动。此外，云服务使得各类数据得以集中存储并实现跨部门间的

无障碍交流，增强了透明度和协同作业的效果。为了使一线工作人员能够充分利用上述先进工具和技术，有必要开展针对性的专业培训课程，提升其操作技能和数据分析能力。同时，建立一套反馈机制来持续追踪技术实施效果，并据此不断优化调整维护政策，这对于推动整个行业管理水平的进步具有重要意义，有助于保障公路网络的安全稳定运行。^[3]

3. 完善管理体系

改进高速公路的养护管理，核心在于构建更加完善的管理体系。首要任务是制定一套全面统一的养护标准与规范。这套体系应当详细规定从材料选取到施工技术乃至质量检查等各个环节的具体要求，确保每一项工作都有明确的操作指南，以此来增强工作的标准化程度及整体质量水平。同时，还需定期审视并适时调整这些标准，使之能够跟上科技进步的步伐，并满足不断变化的实际需求，保证其始终处于最新状态。另外，促进不同部门之间的合作与信息交流也是十分必要的。通过建立一个跨部门的信息共享平台，可以实现数据互通和即时沟通，有效防止信息孤岛现象的发生，进而提高决策过程中的科学性和准确性。比如，交通管理机构可向养护单位提供实时的车流统计数据，以便后者能更合理地规划维护活动，尽量减少对日常通行的影响。除此之外，成立专门负责高速公路养护事务的组织机构同样是提升管理效能的关键步骤之一。该机构需清晰界定内部各岗位的责任范围，承担起从计划编制到执行监督等一系列职责。这样做有助于避免因责任不清而导致的工作效率低下问题。此外，还应重视专业培训，不断提高工作人员的专业技能和执行力，以确保各项管理措施得到有效落实。^[4]

4. 建立绩效考核机制

构建绩效评价体系是增强高速公路维护管理水平的关键策略之一。首要步骤是依据高速公路日常维护的具体情况，确立一套既科学又合理的绩效评价标准。这套标准不仅应当关注维护工作的品质与进度，还需综合考量成本管理、服务对象满意度及安全管控等多方面因素，确保能够全方位体现维护工作的实际效果。定期对维护管理工作进行审查，有助于及时识别并解决问题。比如，可以设立季度或年度的考核机制，以此来分析维护任务的完成状况，识别出表现突出和存在短板的单位，并据此制定针对性的改进措施。此外，激励政策也是绩效评价体系中不可或缺的一部分，通过评估维护人员及其管理层的表现，可以激发他们更高的工作热情和责任感，营造积极向上的工作环境。同时，将绩效结果与资金分配和个人奖励相联系，能有效提升维护团队的积极性。对于那些成绩显著的团体或个人给予相应的财政支持和表彰，鼓励他们在后续工作中继续保持高水平的服务质量。为了进一步提高评价过程的公正性与有效性，建议邀请独立第三方机构参与定期审核，以保证评价结果的真实性和透明度。^[5]

三、高速公路养护管理的发展趋势

1. 智能化发展

高速公路养护管理的未来发展方向正逐渐转向智能化。这一

领域正在快速地朝着更加智能的方向前进。随着物联网、人工智能及大数据等先进技术的普及应用，智能养护管理系统已经成为该行业的新型标准。利用智能监控系统，管理人员能够即时掌握高速公路的运行状况与结构健康度，获取精确的数据，并通过深入分析来迅速识别并解决潜在的问题。这种基于实时数据支持的决策体系使养护工作变得更加前瞻，极大地提高了工作效率。智能化还体现在自动检查技术和无人机的应用上。无人机巡检技术可以高效覆盖广泛的高速路网区域，采集高质量图像和信息，运用 AI 算法进行处理后，能够自动辨识并评估路面损坏程度。此外，智能系统的使用减少了人工操作的需求，降低了由于人为因素导致错误的可能性，同时节约了人力资源成本，提升了作业效率。随着智能化科技的进步，未来的养护管理工作还将融合云计算技术，实现数据的集中管理和资源共享，促进跨部门合作。这不仅促进了养护管理工作的精细化与科学化发展，也为推进可持续发展战略奠定了坚实的基础。^[6]

2. 自动化施工

随着施工技术的迅猛发展，自动化技术在高速公路维护管理中的作用日益显著。现代机械设备，比如自动铺路机与修复机器人，极大地提升了施工过程的安全性和效率。例如，自动铺路机能够依据预设参数精确铺设，并且在施工过程中自主调节速度及材料比例，从而保证了路面的一致性和耐久性。这种高度精准的方法不仅减少了人工操作可能带来的误差，也大大提高了工作效率。另外，在处理道路损坏问题时，修复机器人以更快的速度和更准确的方式工作，减轻了施工对交通流量的影响。这些设备通过远程操控和智能管理系统，实现了修补流程的实时监控，可以迅速调整施工方案，确保工程的质量。引入自动化装备还能优化资源分配，减少物料浪费。传统作业方式中，由于人为因素造成的材料过剩或缺缺现象，在应用了自动化技术后可以通过实时数据分析来避免，实现物料使用的最优化。除此之外，自动化施工还有效降低了安全风险，减少了工人处于危险环境的时间，增强了安全性。

3. 数据驱动决策

随着施工技术的发展，自动化施工在高速公路维护管理中的作用越来越显著。利用先进的机械设备与机器人技术，能够极大地提高工作效率并增强安全性。目前，自动摊铺机和修补机器人是应用最为广泛的两类设备，它们能够在各种天气条件下实现快速且精准的操作。例如，自动摊铺机可以根据预设标准自动调整

混合材料的比例及铺设厚度，以确保路面既平整又耐久。这类工具不仅提升了工程品质，也大幅度减少了施工所需时间。此外，采用自动化手段还能减少由人工操作引起的潜在风险。在过去的手工作业中，工作人员往往需要在交通繁忙的环境中作业，这无疑增加了事故发生的可能性。而通过引入机器人参与施工，则可以将人员从高危环境中解脱出来，进而降低了安全事故的发生频率。更进一步地，自动化系统的运用使得整个建设流程实现了精细化管理。借助于即时监控与数据分析，项目管理者可根据实际情况灵活调整策略。这种方式有助于减少物资浪费，并使资源配置更加合理。^[7]

4. 可持续发展

随着全球范围内对环境保护意识的不断增强，高速公路维护管理的发展趋势预计将更加注重可持续性原则。未来的维护策略不仅将着眼于道路的功能性和安全性提升，还将致力于环境保护和资源的有效利用。推广绿色维护技术是实现这一发展目标的关键步骤之一。比如，使用再生沥青、低碳水泥等环保材料，既能减少施工期间产生的碳排放量，又能有效降低对自然资源的需求。另外，养护设备采用太阳能或风能作为动力源也预示着一个新的发展方向。在实施养护措施时，减轻对自然环境的影响至关重要。这可以通过改进施工方法以及控制噪音和粉尘污染来达到。同时，在考虑生态保护的前提下，维护工作应与周围环境的发展相协调。例如，在维护项目中合理保留并恢复生态绿地，有助于防止水土流失，并保护生物多样性。通过追求经济效益与生态效益之间的平衡，高速公路维护管理能够更好地服务于可持续发展的目标。这种创新的管理模式不仅能延长公路使用寿命，还对环境保护及社会经济持续健康发展做出了积极贡献。^[8]

四、结语

当前，高速公路的维护管理工作在理念构建、制度设计及专业水平等多个方面面临着一系列挑战，但同时也孕育着推动其向前发展的良机。通过增强对于养护管理的认识、优化相关规章制度、提高从业人员的专业能力等手段，能够显著提升维护工作的效率与成效。未来，预计智能化技术的应用、自动化流程的引入、基于数据分析的决策支持系统以及追求环境友好型的发展模式将成为该领域的主要发展方向。

参考文献

- [1] 王宏涛. 高速公路预防性养护技术的应用研究 [J]. 交通科技与管理, 2023(3):0120-0122.
- [2] 舒艳. 公路养护管理信息化的现状及发展趋势分析 [J]. 运输经理世界, 2023,(12):132-134.
- [3] 田月丰. 高速公路养护管理现状及发展趋势探讨 [J]. 工程建设与设计, 2021,(08):182-183.
- [4] 陈坚. 现代高速公路预防性养护的优势与措施 [J]. 人民交通, 2023(12):0045-0047.
- [5] 田国成. 高速公路养护管理现状及发展方向 [J]. 运输经理世界, 2020,(07):50-51.
- [6] 郭冰花. 高速公路养护管理现状及发展趋势 [J]. 城市建筑, 2019,16(09):175-176.
- [7] 刘含悦. 高速公路预防性养护技术研究 [J]. 中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术, 2023.
- [8] 王胜. 预防性养护在高速公路路面养护中的应用分析 [J]. 中文科技期刊数据库(全文版)工程技术, 2023.

煤矿安全管理存在的问题及应对策略

尹耀辉

神木市海鸿矿业有限公司, 陕西 神木 719300

摘 要： 随着工业化的快速发展，煤矿作为我国能源产业的重要组成部分，其安全管理问题日益凸显。煤矿作业环境复杂，存在诸多安全隐患，如瓦斯爆炸、透水事故等，严重威胁着矿工的生命安全和煤矿的稳定运行。然而，当前煤矿安全管理在制度执行、设备更新、人员培训等方面仍存在不少问题，亟待解决。因此，深入剖析煤矿安全管理中存在的问题，并提出切实可行的应对策略，对于提高煤矿安全生产水平、保障矿工生命安全具有重要意义。本文旨在探讨这些问题，并提出相应的解决思路，以期煤矿安全管理提供有益的参考。

关 键 词： 煤矿；安全管理；问题；策略

Problems Existing In Coal Mine Safety Management And Countermeasures

Yin Yaohui

Shenmu City Haihong Mining Co., LTD. Shenmu, Shaanxi 719300

Abstract： With the rapid development of industrialization, coal mine as the important part of our country's energy industry, its safety management problems become more and more prominent. Coal mine operation environment is complicated, there are many safety hazards, such as gas explosion, water leakage accident, etc., seriously threaten the safety of miners and the stable operation of coal mine. However, there are still many problems in the current coal mine safety management in the implementation of the system, equipment update, personnel training and so on, which need to be solved urgently. Therefore, in-depth analysis of the problems in coal mine safety management and put forward practical countermeasures are of great significance for improving the level of coal mine safety production and ensuring the life safety of miners. The purpose of this paper is to discuss these problems, and put forward the corresponding solutions, in order to provide useful reference for coal mine safety management.

Keywords： coal mine; safety management; question; tactics

前言

为了确保煤炭企业长期稳定发展，必须同时加强制度建设和引进先进的科学技术与管理理念。这两者相辅相成，是实现企业长治久安不可或缺的要素。安全高效生产不仅是企业追求的目标，更是企业最优质的经营方式。各煤矿企业应当深入剖析自身的实际情况，针对性地制定出一套切实可行的安全管理体系。这一体系应涵盖制度规范、科技创新、员工培训等多方面内容，以确保从源头上消除安全隐患，实现真正的标本兼治。只有这样，煤炭企业才能在保障员工生命安全的前提下，实现高效、稳定的生产经营，达到可持续发展的目标。安全高效生产不仅关乎企业的经济效益，更是企业履行社会责任、树立良好形象的重要体现。

一、煤矿安全管理的重要性

（一）保障员工生命安全

在煤矿这一高风险行业中，员工的生命安全是企业发展的基石，也是企业最宝贵的财富。首先，安全管理能够为员工提供坚实的安全屏障。通过制定科学的安全规程和严格的操作流程，煤矿企业能够规范员工的行为，减少因操作不当引发的安全事故。同时，安全管理制度的完善和执行，能够及时识别和消除潜在的安全隐患，从而降低事故发生的可能性^[1]。其次，安全管理能够提升员工的安全意识和自救能力。通过定期的安全培训和教育，员

工能够掌握必要的安全知识和技能，提高在紧急情况下的自救和互救能力。这种能力的提升，不仅有助于员工在事故中保护自己的生命安全，还能够减少因恐慌和无知而引发的次生事故。

（二）维护企业稳定运营

一个健全的安全管理体系不仅能够有效预防事故的发生，还能确保生产活动的顺利进行，从而保障企业的稳定运营。首先，安全管理能够降低事故风险，减少因事故导致的停产、整顿等不利影响。在煤矿生产中，一旦发生事故，往往会导致生产中断、设备损坏和人员伤亡等严重后果，给企业带来巨大的经济损失。通过加强安全管理，企业能够及时发现和消除安全隐患，降低事故发生的概

率，确保生产活动的连续性和稳定性^[2]。其次，安全管理能够提高企业的信誉度和市场竞争力。一个注重安全管理的企业往往能够获得员工、客户和合作伙伴的信任和认可，从而增强企业的品牌影响力和市场竞争力。这种信誉度和竞争力的提升，将为企业带来更多的商机和合作机会，进一步促进企业的稳定运营和持续发展。

（三）促进社会和谐稳定

煤矿安全管理在促进社会和谐稳定方面具有不可忽视的重要性。首先，煤矿作为重要的能源产业，其安全生产直接关系到广大人民群众的生命财产安全。通过加强煤矿安全管理，能够有效预防和减少煤矿事故的发生，保障人民群众的生命安全，减少社会恐慌和不安定因素，从而维护社会的和谐稳定。其次，煤矿安全管理还涉及到广大煤矿工人的切身利益^[3]。加强安全管理不仅能够保障工人的生命安全，还能提高他们的工作环境和待遇，增强工人的归属感和幸福感。这将有助于减少社会矛盾，增进社会团结，为社会的和谐稳定创造有利条件。此外，煤矿安全管理还能够促进企业与政府、社会之间的良好关系。通过加强安全管理，企业能够树立良好的社会形象，获得政府和社会的信任和支持。这将有助于企业更好地履行社会责任，与政府和社会形成良性互动，共同推动社会的和谐稳定发展^[4]。

二、煤矿安全管理的发展历程

在工业革命初期，煤矿作为能源供应的重要来源，其开采规模迅速扩大，但与此同时，煤矿事故也频繁发生，给煤矿工人的生命安全带来了严重威胁。为了应对这一严峻形势，人们开始认识到煤矿安全管理的重要性，并逐步制定了一系列煤矿安全法律和规章制度。这些法律和规章制度的出台，为煤矿安全管理提供了基本的法律框架和制度保障。随着时间的推移，各国政府逐渐意识到煤矿安全问题的严重性和紧迫性，纷纷加强了对煤矿安全的监管和管理。他们通过立法、制定标准、加强监察等手段，不断完善煤矿安全管理体系，提高煤矿安全管理水平。同时，煤矿企业也开始注重安全管理，加强安全培训，提高员工的安全意识和操作技能，以减少事故发生的可能性^[5]。

进入21世纪，随着科技的不断进步和煤矿生产规模的不断扩大，煤矿安全管理也迎来了新的发展机遇和挑战。在这一阶段，煤矿安全管理开始注重信息化、智能化和自动化的建设。通过应用先进的技术手段，煤矿企业能够实时监测煤矿生产过程中的安全状况，及时发现并处理安全隐患，提高煤矿安全管理的效率和水平。同时，各国政府也加强了国际合作和交流，共同研究和解决煤矿安全问题，推动煤矿安全管理的发展。

因此，煤矿安全管理的发展历程是一个不断探索、不断创新的过程。从最初的法规制定到现代化的管理体系建设，再到信息化、智能化和自动化的应用，煤矿安全管理不断适应时代发展的需要，为保障煤矿工人的生命安全和促进煤矿产业的可持续发展提供了坚实的支撑。未来，随着科技的进一步发展和煤矿产业的转型升级，煤矿安全管理将继续迎来新的挑战和机遇，需要我们不断创新和完善，以应对更加复杂多变的安全问题^[6]。

三、煤矿安全管理存在的问题

（一）安全管理制度不完善

在部分煤矿企业中，安全管理制度的漏洞和缺陷显著，严重制约了安全管理措施的有效实施。首先，安全操作规程的不明确是其中的一大问题。由于缺乏具体、详细且易于理解的操作规程，员工在作业过程中难以遵循标准化的流程，往往凭借经验或个人习惯进行作业，这无疑增加了误操作的风险，为事故的发生埋下了隐患。其次，责任划分的不清晰也是煤矿安全管理中的一大难题。在煤矿生产过程中，各个环节、各个岗位之间的责任边界模糊，导致在事故发生时难以迅速确定责任归属，进而影响了事故处理的及时性和有效性。这种责任不清的状况不仅降低了员工的安全意识，也削弱了安全管理制度的权威性。最后，监督检查的不严格更是加剧了问题的严重性。在煤矿安全管理中，监督检查是确保制度执行的关键环节。然而，部分煤矿企业由于监管力度不足、检查标准不一等原因，导致监督检查流于形式，未能及时发现和纠正存在的安全隐患。这种监管不力的状况使得安全管理制度的执行效果大打折扣，增加了事故发生的可能性^[7]。

（二）安全投入不足

在追求经济效益的驱动下，部分煤矿企业往往将成本控制和盈利作为首要目标，而安全投入则被视为可削减的开支。这种短视的做法导致了一系列安全隐患的累积。首先，安全设施的陈旧是安全投入不足的直观体现。由于缺乏必要的维护和更新，一些煤矿的安全设施已经无法满足现代安全生产的需要，存在严重的安全隐患。其次，安全培训的不到位也是安全投入不足的显著表现。缺乏必要的安全知识和技能培训，员工在面对紧急情况时往往手足无措，无法有效应对。最后，应急救援能力的不足更是加剧了事故的严重性和后果。由于安全投入不足，煤矿往往缺乏足够的应急救援设备和专业人员，导致在事故发生时无法迅速、有效地进行救援，加剧了事故带来的损失^[8]。

（三）员工安全意识薄弱

员工安全意识薄弱是煤矿安全生产中亟待解决的问题。在部分煤矿企业中，部分员工对安全管理制度和操作规程缺乏足够的重视，导致他们在工作中常常忽视安全警示，违规操作频发。这种心态和行为不仅是对自身生命安全的漠视，更是对煤矿整体安全生产的极大威胁。这些安全意识薄弱的员工往往缺乏必要的安全知识和技能，对于潜在的安全风险缺乏警觉和识别能力。他们可能忽视安全警示标识，不按规定佩戴安全防护用品，甚至违规操作设备，导致安全事故的发生。此外，员工安全意识薄弱还容易导致安全事故的连锁反应^[9]。一旦发生事故，这些员工可能无法及时采取正确的应急措施，加剧了事故的严重性和后果。

四、煤矿安全管理应对策略

（一）完善安全管理制度

在煤矿安全管理中，完善制度至关重要。首先，需要制定详尽且全面的安全操作规程，这些规程不仅要覆盖煤矿生产的各个

环节，还需用简明扼要的语言阐述，确保每位员工都能清晰理解并严格遵守。这不仅有助于减少误操作，还能提升整体作业效率。其次，明确各级管理人员和员工的安全责任至关重要。通过明确的责任划分，可以形成责任清晰、任务明确的安全管理体系。每个岗位、每个员工都清楚自己的安全职责，从而在日常工作中更加注重安全，减少潜在的安全风险。最后，加强安全监督检查是确保制度有效执行的关键。煤矿企业应建立健全的监督检查机制，定期对各项安全管理制度的执行情况进行检查，并对违规行为进行严肃处理。这不仅能及时发现问题并予以纠正，还能提高员工对安全管理制度的重视程度，从而确保煤矿安全生产的顺利进行。

（二）加大安全投入

为了保障煤矿的安全生产，必须加大安全投入，确保各项安全措施得到有效落实。首先，应增加对安全设施的投入，及时更新和维护老化设备，提升设备的安全性能。这不仅有助于减少因设备故障引发的事故，还能为员工提供更加安全、稳定的工作环境。其次，安全培训和教育也是不可或缺的一环。通过加强安全培训，可以提高员工的安全意识和操作技能，使他们能够熟练掌握安全规程和应急处置方法。这样，在面对突发事故时，员工能够迅速作出反应，有效应对，降低事故损失。最后，建立健全应急救援体系至关重要。通过完善应急救援预案、配备专业救援队伍和先进救援设备，可以提高煤矿的应急救援能力。一旦发生事故，能够迅速启动救援程序，确保救援工作的高效、有序进行，最大限度地减少事故带来的损失^[10]。

（三）提高员工安全意识

为了显著提高煤矿企业员工的安全意识，首先，我们加强了安全宣传的力度，通过举办安全知识讲座、制作安全宣传海报和播放安全教育视频等多种方式，将安全知识渗透到员工的日常工作

作和生活之中，使他们对安全工作的认识更加深入和全面。其次，我们注重安全教育的实效性，不仅定期组织员工进行安全培训，还结合煤矿生产的实际情况，开展针对性的安全演练和模拟操作，帮助员工熟练掌握安全操作技能，增强他们在面对突发事故时的应急处理能力。为了鼓励员工更积极地参与安全管理，我们特别设立了员工安全观察员制度。这些观察员由员工自愿担任，负责在日常工作中发现安全隐患并及时报告，他们的发现和报告将作为安全管理改进的重要依据。这一制度不仅让员工有了更多的参与感和归属感，还让他们成为了安全管理的重要力量。同时，我们还建立了健全的奖惩机制。对于在安全工作中表现突出的员工，我们将给予表彰和奖励，以激励他们继续保持和发扬好的安全习惯。而对于违反安全规定的员工，我们将进行严肃处理，让他们深刻认识到安全的重要性，从而自觉遵守安全规定。

五、结束语

总之，煤矿安全管理存在的问题是复杂且多样的，涉及到管理体制、人员素质、设备技术等多方面因素。尽管面临诸多挑战，但我们必须正视这些问题，并采取相应的应对策略来确保煤矿生产的安全。煤矿安全管理需要构建完善的管理体系，强化安全教育培训，提升员工的安全意识和操作技能。同时，加大科技投入，引进先进的设备和技术，提高煤矿生产的自动化和智能化水平。此外，加强监管力度，严格执法，对违法违规行为进行严厉打击，形成有效的震慑力。展望未来，煤矿安全管理仍需持续努力，不断创新和完善。只有通过全社会的共同努力，才能确保煤矿生产的安全，为社会和谐稳定贡献一份力量。我们坚信，在不断完善的管理策略和坚定的执行力下，煤矿安全管理将迎来更加美好的未来。

参考文献

- [1] 汪永芝，吴健斌. 浅析煤矿安全管理存在问题及应对策略[J]. 煤炭工程，2011(5):3.DOI:10.3969/j.issn.1671-0959.2011.05.052.
- [2] 高英才. 浅析煤矿安全管理存在问题及应对策略[J]. 工程技术：引文版，2016，000(006):00165-00165.
- [3] 马志斌. 煤矿机电安全管理存在问题及应对策略[J]. 管理观察，2010(23):2.DOI:10.3969/j.issn.1674-2877.2010.23.165.
- [4] 雷鸣. 浅析煤矿安全管理存在问题及应对策略[J]. 中小企业管理与科技（中旬刊），2015.DOI: CNKI: SUN: ZQGZ.0.2015-06-073.
- [5] 令狐龙飞. 煤矿安全管理存在的问题及应对策略[J]. 中国科技期刊数据库 工业 A，2023.
- [6] 吕红梅. 煤矿机电安全管理存在的问题及应对策略分析[J]. 科技风，2020，000(007):195.DOI: CNKI: SUN: KJFT.0.2020-07-186.
- [7] 牛广印，苗超. 煤矿井下智能化开采与安全管理体系构建策略[J]. 矿业装备，2023(2):64-66.
- [8] 李兵. 大数据技术在煤矿安全生产运营管理中的应用分析[J]. 数码 - 移动生活，2020(5):67.
- [9] 李紫韵，杨力. 基于数据包络分析的煤矿安全管理效率评价[J]. 华北科技学院学报，2021，18(4):93-100.
- [10] 高晶，赵良君，吕旭阳. 基于数据挖掘的煤矿安全管理大数据平台[J]. 煤矿安全，2022，53(6):121-125.

智能技术在公路工程设计中的应用

陈新平¹, 陈长远²

1. 云南平捷工程设计咨询有限公司赣州分公司, 江西 赣州 341000

2. 中铁城际规划建设有限公司江西分公司, 江西 赣州 341000

摘 要： 随着人工智能技术的发展，公路工程设计正经历着前所未有的变革。AI 技术可以识别数据中的异常模式和潜在风险，为设计决策提供支持并通过模拟不同施工和运营场景来测试设计方案。此外 AI 结合蒙特卡洛模拟等统计方法，对不确定性因素进行量化分析，提供全面的风险评估。智能技术与专家系统的结合进一步增强了风险评估的准确性。为推动智能技术在公路工程设计中的广泛应用，需加大研发投入、推动技术创新、加强人才培养、推动产业应用、完善政策法规并加强宣传推广。通过这些措施智能技术将为公路工程设计带来更高的效率、更优的质量和更强的竞争力，为社会经济发展提供坚实的基础设施支撑。

关 键 词： 智能技术；公路工程设计；智能技术；设计应用

Application of Intelligent Technology in Highway Engineering Design

Chen Xinping¹, Chen Changyuan²

1. Yunnan Pingjie Engineering design consulting Co., Ltd. Ganzhou branch, Ganzhou, Jiangxi 341000

2. China Railway Intercity planning and Construction Co., Ltd. Jiangxi branch, Ganzhou, Jiangxi 341000

Abstract： With the development of artificial intelligence technology, highway engineering design is experiencing unprecedented changes. AI technology can identify abnormal patterns and potential risks in the data, provide support for design decisions and test design solutions by simulating different construction and operation scenarios. In addition, AI combined with statistical methods such as Monte Carlo simulation to conduct quantitative analysis of uncertainty factors and provide a comprehensive risk assessment. The combination of intelligent technology and expert systems further enhances the accuracy of risk assessment. In order to promote the wide application of intelligent technology in highway engineering design, it is necessary to increase the investment in research and development, promote technological innovation, strengthen personnel training, promote industrial application, improve policies and regulations, and strengthen the publicity and promotion. Through these measures, intelligent technology will bring higher efficiency, better quality and stronger competitiveness for highway engineering design, and provide solid infrastructure support for social and economic development.

Keywords： intelligent technology; highway engineering design; intelligent technology; design application

随着智能技术的不断进步，公路工程设计正经历前所未有的变革。智能技术人工智能（AI）、大数据分析、BIM（建筑信息模型）和 GIS（地理信息系统）等，正在提高设计效率、精度和质量。AI 技术可以识别数据中的异常模式和潜在风险，模拟施工和运营场景，评估交通流量和极端天气事件的影响。通过这些措施，智能技术将为公路工程设计带来更高的效率、更优的质量和更强的竞争力，为社会经济发展提供坚实的基础设施支撑。

一、智能技术在公路工程设计分析

（一）利用大数据进行需求分析

智能技术在公路工程设计分析中的一个重要应用是利用大数据技术进行需求分析。通过广泛收集和深入分析大量的数据，智

能技术可以准确把握公路工程设计的需求和未来发展趋势。此方法可以帮助设计团队更好地理解项目背景和目标，可以为公路工程的设计提供有力的数据支持和科学依据。智能技术可以整合多种数据源，包括历史交通流量数据、地理信息系统（GIS）数据、气象数据、社会经济数据以及实时交通监控数据。通过数据挖掘

作者简介：陈新平（1990.09-），男，汉族，江西赣州人，助理工程师 大专，工作单位：云南平捷工程设计咨询有限公司赣州分公司 单位邮编：341000。

作者简介：陈长远（1990.06-），男，民族：汉，江西赣州人，本科，工作单位：中铁城际规划建设有限公司江西分公司，单位邮编：341000。

和模式识别技术，可以识别出交通流量的高峰时段、主要交通走廊、事故多发区域等关键信息^[1]。此外，结合机器学习算法，智能技术可以预测未来的需求变化，优化设计方案，提高公路工程的实用性和经济效益。

（二）应用人工智能进行风险评估

在公路工程设计中，人工智能（AI）技术的应用为风险评估提供了高效和精确的工具。通过集成机器学习算法、大数据分析和预测模型，AI可以对复杂的数据集进行深入分析，识别潜在的风险因素并预测其对工程项目的可能影响。首先，AI系统可以处理和分析大量的历史数据和实时数据，包括地质信息、气候条件、交通流量、施工材料性能等，这些数据对于评估设计的可行性至关重要。通过深度学习和模式识别技术，AI可以识别数据中的异常模式和潜在风险，为设计决策提供支持^[2]；其次，AI可以模拟不同的施工和运营场景，通过建立虚拟模型来测试设计方案在各种条件下的表现。使用AI进行交通流量模拟，可以预测不同设计方案对交通流量的影响，评估交通拥堵、事故率等风险；最后，AI可以模拟极端天气事件，如洪水、地震等，评估这些事件对公路结构和使用性能的影响。在风险评估过程中，AI可以运用蒙特卡罗模拟等统计方法，对不确定性因素进行量化分析。通过大量随机抽样，AI可以评估不同风险因素的联合概率分布，为设计人员提供关于项目风险的全面视图^[3]。

二、智能技术在公路工程设计中的发展策略

（一）加大研发投入，推动技术创新

为进一步推动智能技术在公路工程设计中的广泛应用，设计人员需加大研发投入，积极推动技术创新。包括开发更多先进的智能设计工具和技术，提高设计效率和精度。通过增加资金投入可以吸引更多的科研人才，促进跨学科合作，加速智能技术在公路工程设计领域的突破。加强与高校和研究机构的合作，共同攻克技术难题，推动智能技术在公路工程设计中的快速发展。政府和企业应制定相应的政策和激励措施，鼓励企业加大研发投入，推动智能技术在公路工程设计中的广泛应用和创新。通过这些措施可保证智能技术在公路工程设计中的持续发展，为未来的基础设施建设提供强有力的技术支持。为实现此目标需建立一个完善的创新生态系统。包括建立专门的研发中心，提供先进的实验设施和设备，为研究人员提供一个良好的研究环境^[4]。同时政府可以设立专项基金，支持具有潜力的智能技术项目，帮助其从实验室走向市场。企业可以通过与国内外的领先企业合作，引进先进的技术和管理经验提升自身的研发能力。此外加强知识产权保护，为创新成果提供法律保障，是推动智能技术在公路工程设计中发展的重要策略之一。通过这些综合措施可以为智能技术在公路工程设计中的应用提供全方位的支持，推动整个行业的技术进步和创新发展。

（二）加强人才培养，提高行业整体水平

为更好地应用智能技术，需采取一系列措施来加强人才培养，提高整个行业的整体水平。其一，可以通过定期举办培训课

程和研讨会，邀请智能技术领域的专家进行授课，让设计人员深入了解智能技术的最新进展和应用方法。如可以与知名大学或研究机构合作，定期举办“智能公路设计与管理”高级研修班，邀请国内外在智能交通系统（ITS）和人工智能（AI）领域的专家分享其研究成果和实际案例。这些培训课程包括理论知识，涵盖实际操作技能，使设计人员可以将理论知识应用到实际工作中^[5]。如通过模拟软件进行智能交通信号控制系统的实际操作演练，让设计人员亲身体验智能技术在交通流量管理中的应用效果；其二，教育机构应增设相关课程，将智能技术融入工程设计专业的教学大纲中，使学生在校期间就能掌握这些技能。如可以在土木工程专业中开设“智能公路设计原理”“交通数据分析”等课程，结合最新的智能技术案例，如无人驾驶车辆在公路设计中的应用及大数据在交通流量预测中的作用；其三，行业内部可以建立一个持续学习和交流的平台，鼓励设计人员分享经验和最佳实践，促进知识的传播和技能的提升。如可以创建一个在线知识共享平台，设计人员可以上传其设计案例、技术论文和创新思路，通过在线讨论和互动，形成一个互助学习的社区。通过这些措施，设计人员的智能技术应用能力将得到明显提高，进而推动公路工程设计整体水平迈上一个新的台阶^[6]；其四，行业领导者和决策者应重视人才培养的重要性，制定长期的人才发展规划，为年轻设计人员提供更多的实践机会和职业发展空间，激发其创新潜力和工作热情。如可以设立“智能公路设计创新基金”，资助有潜力的年轻设计人员进行前沿技术研究和创新项目开发。通过这些综合性的努力，相信公路工程设计行业将迎来更加辉煌的未来。

（三）推动产业应用，促进成果转化

为推动智能技术在公路工程设计中的广泛应用，需采取一系列措施来推动产业应用，促进智能技术的成果转化。首先，通过与相关企业的深度合作，可以将智能技术更好地融入实际工程中，加速其在行业中的应用。此次合作包括技术交流和资源共享，涵盖人才培养和市场拓展等方面，保证智能技术可以全面而深入地融入公路工程设计的各个环节。如可以建立企业与高校、研究机构之间的联合实验室，共同开发适应公路工程需求的智能设计软件和算法；其次，政府和行业协会应出台相应的政策和标准，为智能技术的应用提供指导和支持。这些政策和标准应涵盖技术研发、应用推广、质量监管等多个方面，保证智能技术在公路工程设计中的应用既高效又安全。如可以制定智能设计软件的性能评价标准，保证其在实际应用中的可靠性和稳定性^[7]；最后，建立产学研用相结合的创新体系，可以促进科研成果的快速转化，推动智能技术在公路工程设计中的实际应用。通过此创新体系，可以将高校和研究机构的科研成果迅速转化为实际应用，同时也能为行业提供持续的技术创新动力。可以设立专项基金支持智能技术在公路工程设计中的研究与开发并鼓励企业参与项目实施，实现技术的商业化和产业化。通过这些措施，智能技术将逐步成为公路工程设计的重要支撑，提升整个行业的技术水平和效率。有助于提高公路工程的设计质量和施工效率，能降低工程成本，提高经济效益，最终推动整个公路建设行业的可持续发展^[8]。

（四）完善政策法规，保障行业发展

为保证智能技术在公路工程设计领域的健康和可持续发展，需完善相关的政策法规，保障整个行业可以顺利前行。通过制定一系列明确的政策法规，可以规范智能技术在公路工程设计中的应用，保证其在实际操作中的安全性和可靠性。此外，这些政策法规还应涵盖对智能技术应用的监督和评估机制，保证公路工程设计的质量达到预期标准。同时政府应积极推动相关法律法规的更新，适应智能技术的快速发展，为公路工程设计提供一个稳定和有序的发展环境^[9]。政策法规的完善应包括以下几个方面：

1. 明确智能技术在公路工程设计中的应用范围和标准，保证技术应用的合规性。
2. 制定相应的技术规范和操作指南，为设计人员提供明确的指导，减少操作失误的可能性。
3. 建立智能技术应用的监督机制，定期对技术应用情况进行检查和评估，保证其符合行业标准和安全要求。
4. 设立相应的奖惩机制，对表现优秀的项目和团队给予奖励，对违规操作进行处罚，提高整个行业的自律性。

（五）加强宣传与推广，提升社会认知度

为进一步提升智能技术在公路工程设计中的社会认知度，需采取一系列措施来加强宣传与推广工作。首先，可以通过举办各种形式的宣传活动，如研讨会、展览会和讲座等，向公众详细介

绍智能技术在公路工程设计中的具体应用和明显优势。这些活动可以吸引专业人士的关注，能吸引普通公众的兴趣，提高智能技术在社会中的知名度；其次，利用传统媒体和新兴媒体平台，如电视、广播、报纸、社交媒体和专业网站等，广泛传播智能技术的相关知识和最新进展，以扩大其影响力^[10]。通过这些媒体渠道，我们可以将智能技术的最新研究成果和实际应用案例及时传递给公众，使他们可以及时了解行业动态和技术创新；最后，可以编写和发布相关的宣传资料和案例分析，让公众更直观地了解智能技术在公路工程设计中的实际效果和潜在价值。通过图文并茂的宣传册、生动的视频案例和详细的工程报告，公众可以更加深入地理解智能技术在提高设计效率、降低工程成本和提升工程质量方面的重要作用。

三、结束语

随着智能技术的不断进步，公路工程设计正迎来前所未有的变革。通过加大研发投入、加强人才培养、推动产业应用、完善政策法规以及加强宣传推广，智能技术的应用将为公路工程设计带来更高的效率、更优的质量和更强的竞争力。随着技术的进一步成熟和应用的不断深化，智能技术可以在公路工程设计领域发挥更加关键的作用，为社会经济发展提供坚实的基础设施支撑。

参考文献

- [1] 俞小芸. 数字化背景下的高职公路工程资料管理课程导学设计 [J]. 浙江交通职业技术学院学报, 2023, 24(04): 58-63.
- [2] 刘锦辉. 公路工程勘察设计质量提升措施探讨 [J]. 低碳世界, 2023, 13(11): 160-162.
- [3] 王慧芬. 公路工程施工组织设计对工程造价的影响 [J]. 交通科技与管理, 2023, 4(21): 134-136+133.
- [4] 唐翔, 谢永淑, 张弛, 等. 基于知识图谱的三维设计成果自动合规性检查方法 [J]. 公路交通科技, 2023, 40(11): 72-84.
- [5] 付建涛. 关于绿色公路设计理念及应用 [J]. 居舍, 2021, (07): 85-86+178.
- [6][1] 欧佳佳. 公路工程路基参数化交互设计系统应用研究 [J]. 山西建筑, 2023, 49(21): 118-120.
- [7] 彭义钊. 公路工程设计中路线的布设问题分析 [J]. 安徽建筑, 2023, 30(09): 174-175+183.
- [8] 肖梅峰, 王燕平, 易万中. 公路工程建设项目设计工程量编制标准的研究 [J]. 中外公路, 2023, 43(06): 354-360.
- [9] 祁立婷. 公路工程路线和路基的设计原则和设计要点 [J]. 工程机械与维修, 2023, (04): 238-240.
- [10] 黄单丰, 王芳. 公路工程设计 BIM 系统在公路工程设计阶段的应用 [J]. 四川建筑, 2023, 43(03): 92-94+98.

肢体障碍者对城市公园无障碍设计需求分析

——以肇庆市碧莲湖公园为例

张彬, 张原原*

广东理工学院, 广东 肇庆 526070

摘 要： 本文针对肢体障碍者对城市公园无障碍设计需求进行研究, 分析了肢体障碍者的类型、心理特征及户外行为特征, 以肇庆市碧莲湖公园为例, 调查了公园在道路系统、地面铺装、服务设施等方面的无障碍设计, 根据分析及调研结果得出, 为使肢体障碍者更好的使用公园, 城市公园应设置无障碍道路系统, 通过坡道消除高差, 地面铺装应采用防滑、防震材料, 服务设施应结合肢体障碍者的生理及心理特点设置。

关 键 词： 无障碍设计; 肢体障碍者; 城市公园; 碧莲湖公园

Analysis on the Needs of Disabled People for Barrier-Free Design of Urban Parks -- A Case Study of Bilian Lake Park in Zhaoqing City

Zhang Bin, Zhang Yuanyuan*

Guangdong Institute of Technology, Zhaoqing, Guangdong 526070

Abstract： This study examines the accessibility needs of individuals with physical disabilities in urban parks, focusing on their types, psychological traits, and outdoor behavioral patterns. Using Bilianhu Park in Zhaoqing as a case, the research assesses the park's accessibility in road systems, pavement, and amenities. The findings suggest that for better utilization by those with physical disabilities, urban parks should implement accessible pathways, eliminate height differences with ramps, use slip-resistant and shock-absorbing materials for pavements, and design services considering the physiological and psychological needs of individuals with physical disabilities.

Keywords： accessibility design; individuals with physical disabilities; urban parks; Bilianhu park

引言

无障碍设计是社会对残疾人和老年人关怀与尊重的体现, 是现代文明进步的标志。我国从20世纪80年代开始无障碍设施建设, 目前我国大多数城市的道路、主要商业街、广场、医院等都有不同程度的无障碍设施建设。在政策和法律制度上, 我国针对无障碍环境建设已制定并实施了多项国家标准, 如《人类工效学 家居无障碍设计导则》, 为残疾人家庭无障碍环境建设提供了技术指导, 2023年颁布实施的《无障碍环境建设法》更是我国首次就无障碍环境建设制定的专门性法律, 可见我国无障碍环境建设正在逐渐完善。

但目前就我国的无障碍建设和对无障碍设计的研究来看, 我国现阶段主要针对的是居住空间和公共建筑的无障碍设计与建设, 对于城市公园等户外空间的无障碍设计和建设相对缺少, 而城市公园是人们进行户外活动的最佳场所, 是所有市民都可以进入的地方, 城市公园是体现社会平等与公平的地方^[1], 因此, 对城市公园这一类户外休闲空间进行无障碍设计研究十分重要。

一、肢体障碍者

肢体障碍者包括肢体残疾者和老年人。肢体残疾者指因四肢残缺或四肢、躯干麻痹等导致人体运动系统不同程度的功能丧失或功能障碍的人^[2], 本文的研究主要针对下肢障碍者。老年人则指因年龄增长或疾病导致生理机能下降, 协调性变差的老人。

(一) 肢体障碍者类型

根据肢体障碍者的行动能力进行分类, 可以分为轮椅使用者、拄拐杖者、独立行走缓慢者三类。轮椅使用者指因部分或完全丧失下肢运动机能, 导致行动需要乘坐轮椅的人, 其特点是在活动范围、行动能力等方面受到轮椅的限制, 起坐轮椅时需要辅助器具, 此外, 轮椅使用者使用的各项设施的设置需要考虑轮椅

基金项目: 广东理工学院科研项目“城市公园无障碍设计研究”(项目编号2024QNZK006)。

作者简介:

张彬, 硕士研究生, 广东理工学院, 教师, 助教, 研究方向: 园林景观工程、公共空间无障碍设计。

通讯作者简介: 张原原, 硕士研究生, 广东理工学院, 教师, 助教, 研究方向: 园林景观设计, 邮箱: 17337321778@163.com。

的尺寸，轮椅所占空间较大。拄拐杖者指行动需要依靠拐杖支撑的人，其在攀登和跨越行为上存在困难，行动缓慢，不适应正常的运动强度和节奏，单手操作动作过大时，对身体平衡会产生较大的影响^[3]。独立行走缓慢者指不需要借助辅助工具能独立行动，但整体行动能力较弱，灵活性、反应力较差，容易出现身体失衡而摔倒的人，其在较光滑的地面上或照明环境不太好的空间内行走存在一定危险。

（二）肢体障碍者心理特征分析

无论是身体存在缺陷的肢体残疾者还是行动能力日益下降的老年人，都存在一些明显的心理特征，包括自卑感、孤独感、敏感和自尊心强、易焦虑、对生命的价值感低、独立性与依赖性矛盾等。

肢体障碍者因为肢体残疾或年龄增长而行动不便，导致许多事情不能做或做不好，这让他们觉得自己不如别人，容易产生自卑心理。因为行动不便，肢体障碍者的活动范围受限，社交圈缩小，除家人之外，与社会人士交流的机会变少，参与社会活动的机会也在减少，这使他们感到孤独，非常渴望与人交往和被理解。肢体障碍者也因为肢体残障带来的限制而让他们难以发挥生活的自主性，使生命目标实现受到阻碍，进而逐渐降低生命的价值感，同时还对未来的生活和工作产生焦虑。

此外，肢体残疾者因为肢体存在缺陷，从外在形象上看，与健全人存在差异，所以对别人的态度和评论比较敏感，容易产生敏感和脆弱的心理，同时又有强烈的尊重需求，希望别人按照他们的实际形象来接受他们，并认可他们的能力。另外肢体残疾者有独立与依赖的矛盾心理，一方面希望取得与健全人同等的权利，另一方面他们因行动确实存在困难，需要依赖别人的帮助。

（三）肢体障碍者户外行为特征分析

对轮椅使用者而言，其视线高度比站立的人低，一般在0.89至1.32m之间，这使得他们难以看到高处的标志、信号灯、公告牌等，影响了他们获取信息的能力，导致他们比一般人更依赖听觉和触觉来获取信息。在与站立的人交流时，轮椅使用者因视线高度差会感到不便，导致交流障碍，影响社交互动。因此，轮椅使用者会发展出特定的行为模式来适应他们的视线限制，比如更频繁地抬头或者使用辅助设备来帮助他们感知环境。另外，轮椅使用者不能长距离行走，对台阶、陡坡等有高差的环境会行动困难，上坡时会感到更加费力，常常每隔行走一定距离就需要休息^[4]。

对于拄拐杖者，由于需要依赖拐杖来保持平衡和提供额外的支持，所以其行走速度通常会比一般人慢，并且行走一定距离就需要找座椅休息。对不平整和松动的地面特别敏感，因为这些会带给他们的行走带来困难和危险，因此，更倾向于选择平整、防滑的道路行走，如果到达目的地有多条路径可以选择时，一般会选择较平缓的路，而避开走台阶和陡坡。

独立行走缓慢者由于运动机能衰减，体力下降，户外活动时会更频繁地停下来休息，更倾向于选择平坦、无障碍、安全的路径行走，以减少跌倒的风险，为避免拥挤和碰撞，独立行走缓慢者会避开人流量大的地方，选择较为安静的区域进行活动。

（四）肢体障碍者对城市公园需求分析

从上文的分析可知，肢体障碍者因为生理上的缺陷和身体机能的下降，而容易产生自卑、敏感、孤独等心理，在户外活动过程中行动缓慢，需要频繁休息，更依赖听觉和触觉来获取信息。因此在城市公园设计与建设过程中，为了给肢体障碍者提供良好的体验，需要根据肢体障碍者的身心特征来设计和建设城市公园，满足他们的需求。

肢体障碍者在城市公园中需要设置无障碍设施，确保他们能够平等地参与活动，这包括无障碍休憩设施、坡道、扶手、无障碍卫生间、引导标识等，在设计无障碍设施时，需要认真分析并优化台阶、园路等细节，充分发挥肢体障碍者的触觉，让他们在公园里尽情放松身心。在满足肢体障碍者基本需求的基础上，城市公园还应在造型、色彩、材质等方面实现多样化。

二、肇庆市碧莲湖公园无障碍设计

（一）碧莲湖公园基本概况

碧莲湖公园位于广东省肇庆市鼎湖区中心城区（图1），其总占地面积为466亩，水体面积达316亩，是周围3km范围内唯一一个综合公园，为鼎湖区中心城区的居民提供了重要的休闲娱乐场所。在2014年碧莲湖公园进行过一次改造，升级改造了公园的道路及基础设施，2020年又对公园的设施进行了保养翻新。目前公园以湖为中心，沿湖分别设置了休闲垂钓区、中轴活动区、湖岸景观区、西入口广场等区域，通过环园“绿道”各景区串成一线（图2）。



>图1 碧莲湖公园区位图（来源：作者改绘） >图2 碧莲湖公园平面图（来源：作者改绘）

（二）碧莲湖公园现状分析

1. 碧莲湖公园交通系统分析

碧莲湖公园外围交通有民乐大道、罗隐路、乡道Y007，三条道路由公园的三个主要入口连接，东入口连接民乐大道，西入口连接罗隐路，北入口连接乡道Y007。而内部道路主要包括一条宽3m的环湖绿道，一条宽2.4m的连接湖东北两端的栈道以及若干条宽0.8m的由石板、陶土砖等铺砌而成的小径，目前公园内部允许电动车及自行车进入。

2. 碧莲湖公园重要景观分析

碧莲湖公园依据“一轴五园”进行规划设计，以东入口广场——水上景观廊——凌云阁为景观轴线，设置了休闲垂钓区、中轴活动区、湖岸景观区、西入口广场、酒店区（目前已废弃）等区域，这些区域中分布有景观亭、景观廊、水榭、亲水平台等园林建筑与构筑物，这些园林建筑与构筑物的设置具有一定美观性和实用性，但在使用性上没有考虑所有人的需求，例如位于湖心的景观廊是一座拱形廊桥，虽同时设置了台阶和坡道用于通

行,但坡道明显太陡,轮椅使用者很难通过,另外亲水平台、水榭等的设计与主要道路有1m多的高差,但仅设置了台阶进行连接(图3)。



> 图3 拱形廊桥、亲水平台与水榭(来源:作者拍摄)

3. 碧莲湖公园地面铺装分析

根据调查可知,碧莲湖公园地面铺装形式和使用材料种类多样(图4),铺装材料包括花岗岩、混凝土、陶土砖、石板、陶瓷砖等。铺装形式在不同的区域有所不同,在公园入口广场和一些开阔区域,使用了规则的方形花岗岩进行铺装,并以规则的图案排列。环湖绿道则采用彩色混凝土铺装,一些游步道则采用陶瓷砖进行铺贴或采用不规则石板铺贴,在一些小径和步道上使用红色陶土砖或石板进行铺装。



> 图4 碧莲湖公园地面铺装材料(来源:作者拍摄)

4. 碧莲湖公园服务设施分析

根据调查可知,碧莲湖公园休憩服务设施数量非常多,随处可以见到休息坐凳,但大多数坐凳没有靠背,并且采用的是花岗岩材料砌筑。除此之外,公园当中有多处带有休息座椅的景观亭,这为公园游览者提供了遮阳挡雨、休息的地方,但据调查发现,通往景观亭的路径可达性不佳,如从主干道通往景观亭的步道宽度仅0.8m,并且步道采用陶土砖进行铺砌,因土壤沉降等原因步道目前凹凸不平整,同时在进入景观亭入口处设置有台阶,这为了肢体障碍者进入景观亭进行休息设置了困难。

碧莲湖公园卫生服务设施卫生间共有3处,其中2处是较简易的集装箱式移动卫生间,1处是砖砌式固定卫生间(图5)。移动卫生间设置有台阶,高出地面15cm,且厕位空间狭小拥挤,其中移动卫生间A连接主干道的步道,由汀步连接,宽度仅有0.5m,这对肢体障碍者使用十分不便,而固定式卫生间虽设置有无障碍卫生间,但据调查发现,通往该卫生间的两侧道路都设置了路障柱(图6),这直接导致轮椅使用者无法使用该无障碍卫生间。



> 图5 碧莲湖公园移动厕所A、移动厕所B与固定厕所(来源:作者拍摄)



> 图6 碧莲湖公园通往固定厕所的路障柱(来源:作者拍摄)

(三) 碧莲湖公园无障碍设计现状分析

从上文的分析可知,碧莲湖公园作为一个城中心的综合公园,在无障碍设计方面存在许多欠缺之处。从道路系统建设方面看,碧莲湖公园道路系统没有很好的可达性,这体现在道路的宽度设计、构造做法上,没有考虑肢体障碍者的需求。在铺装材质上,一些地方使用的铺装不符合安全性、舒适性原则,例如陶瓷砖铺装不防滑,陶土砖铺装透水后易凹凸不平,不规则石板铺装不平整等,这些对肢体障碍者的使用是不安全、不舒适的。对于休憩服务设施的设置,尽管公园设置了大量的坐凳及休息亭,但大多数坐凳没有靠背,而休息亭都设置了一到两级台阶,且没有做坡道,这对轮椅使用者不友好,让其无法进入亭子内进行休憩。而公园卫生设施卫生间,尽管设置了1处无障碍卫生间,但因为路障柱的设置,使其变得没有使用意义。

三、肢体障碍者对城市公园无障碍设计需求

(一) 对道路系统无障碍设计需求

肢体障碍者对城市公园道路系统无障碍设计需求,首先要求公园入口与市政道路水平连接,公园主要入口应设置为平坡入口,如果条件不允许,则台阶与轮椅坡道要同时设置,入口处轮椅坡道净宽不少于1.2m,坡道高度超过300cm,坡度大于1:20时,轮椅坡道两侧需设置扶手^[9]。公园停车场需设置无障碍停车位,车位一侧需设置宽1.2m的通道,供轮椅使用者下车乘坐轮椅,并经通道进入无障碍道路。公园内部道路系统的设计应保证通往主要景点、休息场所和服务设施的道路畅通无阻,尽可能水平连接,如有高差则采用坡道,在园林建筑入口处也要台阶与坡道同时设置,坡道净宽不少于1m。

(二) 对地面铺装无障碍设计需求

肢体障碍者外出活动需要使用轮椅、拐杖等辅助设备,或虽能独立行走,但整体行动能力弱,平衡力差,容易摔倒,因此,城市公园地面铺装应采用防滑材料和防滑构造来提高地面防滑性,对防滑材料的选择可以使用具有较大颗粒或特殊纹理的防滑砖,如拉丝面花岗岩、青石板、水磨石等。另外地面铺装的防震设计也很重要,防震可以减少肢体障碍者行走或运动时对关节的冲击,尤其是对于轮椅使用者可以提高其乘坐的舒适性,常见的具有防震效果的面层材料有混凝土、沥青、橡胶地砖等。除防滑、防震外,肢体障碍者对城市公园地面铺装的平整度也有极高需求,因此需定期维护地面铺装,及时修复破损、凹凸不平的铺装,保证铺装在一个良好的使用状态。

(三) 对服务设施无障碍设计需求

城市公园服务设施的合理分布与可达性是肢体障碍者非常需

要的^[6]。对于休憩服务设施城市公园应提供足够的休息座椅、稳固的扶手和恰到好处的坡道。同时要考虑肢体障碍者的心理和生理需求,如座椅的高度和宽度要适宜,要便于轮椅使用者接近和使用,此外应提供足够的遮阳避雨的设施,以确保肢体障碍者在不同天气条件下都能舒适地使用。

对于卫生服务设施,公园应按无障碍设计规范设计无障碍卫生间,满足卫生间入口宽度不小于800mm,内部空间尺寸不小于1500mm×1800mm的要求,并设有抓杆,高度和位置符合轮椅使用者和行动不便者的需求。此外,卫生间地面采用防滑材料,内部设施如洗手盆、镜子等的高度应适宜,方便轮椅使用者使用。

四、结语

城市公园作为一种公益性质的基础设施,是体现社会公平与

平等的载体,肢体障碍者作为社会的一个重要群体,其期望在公园中自由、独立的活动,因此,对城市公园的无障碍设计有着迫切需求。本文针对肢体障碍者对城市公园无障碍设计需求进行详细研究,分析了肢体障碍者的类型、心理特征及户外行为特征,根据分析得出城市公园需设置无障碍休憩设施、扶手、轮椅坡道等才能帮助肢体障碍者更好的使用公园。以肇庆市碧莲湖公园为例,调查了公园在道路系统、地面铺装、服务设施等方面的无障碍设计,调查结果显示,公园道路系统可达性不佳,部分地面铺装的采用对肢体障碍者不安全、不舒适,服务设施的设置没有考虑肢体障碍者的使用需求。根据调研结果与分析得出,为帮助肢体障碍者在城市公园中独立、安全、舒适的活动,城市公园在道路系统设计上需建立无障碍道路系统,在地面铺装设计上,需选择防滑防震铺装,并进行维护,在服务设施设置上需结合肢体障碍者的生理及心理特点设置有关设施。

参考文献

-
- [1] 贾祝军. 无障碍设计 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2015.
- [2] 李高峰, 段金娟, 赖卿等. 肢体障碍者无障碍卫生间设计探讨——以手动轮椅用户为例 [J]. 中国康复理论与实践, 2013, 19(04): 393-397.
- [3] 李雨颀, 贾巍杨. 基于人群行动特征的地铁无障碍需求及设计策略分析 [J]. 设计, 2023, 36(16): 1-3.
- [4] 任娜娜. 无障碍设计在园林景观中的应用探析 [J]. 鞋类工艺与设计, 2023, 3(24): 142-144.
- [5] GB50763-2012, 无障碍设计规范 [S].
- [6] 薛峰, 刘秋君. 无障碍与宜居环境建设 [M]. 沈阳: 辽宁人民出版社, 2019.

数理概念下基于 F-S 曲线的城市口袋公园设计研究 ——以肇庆市鼎湖博览中心棕地厂房改造为例

覃娇芬

广东理工学院, 广东 肇庆 526100

摘 要：以肇庆市鼎湖博览中心棕地厂房改造为例，在数理概念下，基于斐波那契螺旋线（F-S 曲线）研究了城市口袋公园的设计方法。首先，阐述斐波那契数列的原理及其在自然界和艺术领域的应用，论证了数理概念在园林设计的必要性；其次，分析该废弃厂房的现状，包括地理位置、周边环境、建筑结构和景观状况等；最后，将 F-S 曲线应用于植物配置、空间划分、道路系统和视线引导等方面，以期创造出既有科学依据又兼顾艺术美感的新型公共绿地空间。

关 键 词：数理概念；斐波那契数列；园林布局；口袋公园

Design Research of Urban Pocket Park Based on F-S Curve under Mathematical Concept-- Take Zhaoqing Dinghu Expo Center Brownfield Factory Renovation as an Example

Qin Jiaofen

Guangdong Institute of Technology, Zhaoqing, Guangdong 526100

Abstract： Taking the brownfield factory renovation of Dinghu Expo Center in Zhaoqing City as an example. Under the concepts of mathematics, and based on the Fibonacci spiral (F-S curve), the design method of urban pocket parks was studied. Firstly, this article elaborates on the principle of the Fibonacci sequence and its applications in nature and art, demonstrating the necessity of mathematical concepts in landscape design; Secondly, the current situation of abandoned factories in the central brownfield was analyzed, including geographical location, surrounding environment, building structure, and landscape conditions; Finally, the F-S curve is applied to plant configuration, spatial division, road system, and line of sight guidance, in order to create a new type of public green space that is both scientifically based and aesthetically pleasing.

Keywords： mathematical concepts; fibonacci sequence; garden layout; abandoned factory building

引言

随着社会经济的快速发展和城市化进程的加快，市民对生活品质的追求日益提高，园林景观作为城市生态环境的重要组成部分，不仅关系到城市的美观和生态平衡，还直接影响着居民的生活质量。在此背景下，如何科学合理地进行城市口袋公园设计，成为当前风景园林学和城市规划领域研究的重要课题。

在当前的城市口袋设计与研究中，往往存在着过多的主观主义^[1-4]，即风景园林的设计依赖于设计者个人的判定与偏好，客观与数理性相对不足。对此，该研究则需进一步深入。在此概念下，研究以斐波那契数列为切入点，并将其衍生物：斐波那契曲线（F-S 曲线），应用于城市口袋公园设计。

斐波那契数列^[5]（及 F-S 曲线^[6]）在自然界中广泛存在，如植物的分枝、花朵的排列、动物的体态等，都遵循着该数列的规律。近年来，其在建筑、艺术设计、音乐等领域得到了广泛应用，但在园林布局方面的应用与研究则尚不充分，亟待补充。

本文以肇庆市鼎湖博览中心棕地厂房为改造对象，其地理位置优越，人流相对密集是区域的公共活动中心，具有较高的改造潜力。因此，本文通过对斐波那契数列（曲线）原理的深入剖析，并将其应用于城市口袋公园设计，从而为城市园林设计提供参考思路。

一、斐波那契数列原理

利数学家斐波那契提出^[7-10]。该数列以其独特的数学规律和广泛的应用而闻名，其序列如下：0、1、1、2、3、5、8、13、21、34……从第三项起，每一项都是前两项之和。具体公式定义为：

斐波那契曲线（F-S 曲线）源于其数列，被 13 世纪的意大

基金项目：2019 年肇庆教育发展研究院教育研究课题（ZQJYY2019081）；2023 年肇庆市哲学社会科学“十四五”规划项目（23GJ-150）；2024 年广东理工学院“质量工程”项目（JXGG2024037）；2024 年广东理工学院科研平台和项目（2024YBSK002）；2024 年广东理工学院大学生创新训练计划项目（S202413720010）。

作者简介：覃娇芬（1987-）女，壮族，广西南宁，讲师，硕士，研究方向：风景园林规划设计。

$$\begin{aligned} a(0) &= 0 \\ a(1) &= 1 \\ a(n) &= a(n-1) + a(n-2) \end{aligned} \quad n \geq 2, \quad n \in N^+$$

随着 n 的增大，斐波那契数列中相邻两项的比值逐渐趋近于黄金分割比 0.618。

这是因为：

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{a_{n+1}}{a_n} = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{a_{n+2}}{a_{n+1}} = x$$

则存在：

$$x + 1 = \frac{1}{x}$$

由于 $x > 0$ ，故得求解：

$$x = \frac{\sqrt{5}-1}{2} = 0.618$$

同时，该数列亦存在诸多性质，比如：

(1)

$$a_1 + a_2 + a_3 + \dots + a_n = a_{n+2} - 1$$

(2)

$$a_1^2 + a_2^2 + a_3^2 + \dots + a_n^2 = a_n a_{n+1}$$

(3)

$$a_1 + a_3 + a_5 + \dots + a_{2n-1} = a_{2n}$$

(4)

$$a_1 a_2 + a_2 a_3 + a_3 a_4 + \dots + a_n a_{n+1} = a_{n+1}^2$$

$$n = 2k, k \in N^+$$

(5)

$$a_{n+2} a_n - a_{n+1}^2 = (-1)^{n+1}$$

而斐波那契螺旋，即以斐氏数列为基础的四分之一圆弧，按逆时针或顺时针方向向外盘旋形成的螺旋形状，也被称为“黄金螺旋”。斐波那契数列在艺术领域也有着广泛的应用，德国哲学家、实验心理学家费希纳的“矩形展览会”实验表明，市民普遍认为长宽比为斐波那契数列相邻两项的矩形最为美观，进一步证明了斐氏数列在审美上的价值。

总之，斐波那契数列作为一种普遍规律，具有和谐、统一、科学、逻辑和简洁等特质。通过对斐波那契数列的研究，可将数学美、几何美、形式美和理性美融合在一起，为园林设计领域提供宝贵的审美借鉴。

二、数理概念下的园林设计

(一) 数理化园林的必要性

园林设计作为一门综合性艺术，融合生态、美学、工程技术等多方面知识。数学在园林设计中的应用 数学作为一门研究数量、结构、变化和空间等概念的学科，为园林设计提供了严谨的逻辑思维和精确的计算方法。数学原理可应用于景观布局、地形分析、植被配置等方面，实现设计的科学性与合理性。

(1) 园林设计存在主观性较强的缺点：设计风格单一化：由

于设计师个人喜好和审美观念的影响，容易导致园林设计风格过于单一，缺乏创新性和多样性。生态功能忽视：部分设计师过于追求视觉效果，忽视对生态功能的考虑，导致园林景观的可持续性较差。空间布局不合理：受限于设计师的主观判断，园林空间布局可能存在不合理之处，无法满足市民的使用需求。

(2) 数理化在园林设计的可行性：提高设计科学性：数理概念的应用有助于提高园林设计的科学性，使设计过程更加严谨、合理。丰富设计手段：借助数理化工具，设计师可以更加准确地表达设计意图，提高设计效果。优化空间布局：通过数理化方法，可以对园林空间布局进行量化分析，使其更加符合市民的实际需求。

对于以上问题，本文提出以下研究切入：

针对目前园林设计中存在的主观性较强的缺点，探讨数理化园林可能成为未来园林研究的重要方向。在此，则可引入斐波那契数列，及其衍生的 F-S 曲线，用于园林景观改造研究。

(二) 斐波那契数列在自然界的存在

斐波那契数列在园林设计与自然植物界的应用显得尤为显著^[11]。在植物界，斐波那契数列的规律不仅体现在花卉花瓣的数量上，还表现在植物的生长模式中。例如，松球的外观虽然看似杂乱，但实际上却隐藏着斐波那契数列的秩序。松球的鳞片以斐波那契数列的模式发散，其中顺时针方向有 8 条螺旋线，逆时针方向有 13 条，这些数字是斐波那契数列的数值。

向日葵的花序展现斐波那契数列的规律，其花瓣生长呈现出 21 条顺时针螺旋线和 34 条逆时针螺旋线，对应斐波那契数列中的相邻数值。花椰菜的花籽排列逆时针方向有 8 根螺旋线，顺时针方向有 13 根，与斐波那契数列相吻合。在树木的生长方式能观察到斐波那契数列的影子。树木的枝干生长模式与斐波那契数列的增长方式相似，呈现出 1、2、3、5、8、13、21……的序列，每项数值都是前两项之和，这种生长模式充满了规律性和秩序感。

斐波那契数列将自然界的生态与数学法则紧密相连。人类对黄金比例^[12-17]的偏爱，或许正是由于斐波那契规律在自然界中的普遍存在，在人类不断的观察中，潜移默化地影响人们认知，斐波那契数列使得看似无序的世界变得有逻辑、有联系、有秩序。

三、肇庆市鼎湖博览中心棕地厂房现状分析

(一) 地理位置与周边环境

厂房坐落于广东省肇庆市鼎湖山牌坊附近（图 1）。该区域交通便利，紧邻鼎湖大道，便于车辆及行人通行。厂房东侧鼎湖区坑口机动车检测站，南侧则分布着海伦堡和悦府以及富力尚悦居两大住宅区，此地区人口密集，生活氛围浓厚。西侧设有汽车充电桩和富邦欧美家具博览中心，显示商业活动的活跃性。北侧是居民楼，反映出社区生活的紧密联系。

从环境角度来看，尽管该地居民众多且商业活动频繁，但周围的公共休闲绿地资源较为稀缺。厂房若能被有效改造，将提升当地居民生活质量的重要契机，通过增加绿化面积，将其转变为集休憩、娱乐于一体的公共空间，从而改善周边居民的居住环境和整体城市风貌。总体来说，厂房不仅地理位置优越，而且具备

良好的开发潜力，通过对现有资源的整合与优化配置，有利于实现经济效益与社会效益的双赢局面。



> 图1 场地区位

（二）厂房建筑和景观分析

厂房由3栋主建筑和若干附属建筑围合而成，由于长期无人管理，场地荒废较久，厂房及其周边环境状况不容乐观，对鼎湖区乃至整个肇庆市的形象造成不良影响。

（1）建筑结构安全隐患：厂房的建筑墙体多处出现明显的裂缝（图2），尤其是在建筑的东面墙体和室内墙体上更为严重。这些建筑问题不仅影响建筑的美观，更重要的是带来严重的安全隐患。建筑外墙的部分砖块已经暴露在外，一些窗户也处于摇摇欲坠的状态，周围没有采取任何防护措施，对周边居民的出行安全构成极大的威胁。此外，建筑的外立面颜色斑驳，二楼的大门更是完全缺失，与南侧现代化的海伦堡居住区形成了鲜明的对比，极大地影响肇庆市的市城市形象。



> 图2 厂房建筑概况

（2）厂房外观破败：厂房大门主入口垃圾随意丢弃塑料袋和其他生活垃圾（图3），值班室门口已被杂草所遮挡，显示场地内植物缺乏后期的护理和维护。场地内的杂草丛生，使得整个厂区的环境非常凌乱，植物的配置也比较单一，缺乏生机和活力，无法起到美化环境的作用。

（3）围墙与道路问题：厂房东面围墙被杂草所覆盖（图3），同时围墙边上还堆放着大量的建筑垃圾。不仅影响厂房的外观，也对鼎湖区机动车检测站的正常运作造成干扰。由于车辆进出频繁，围墙边垃圾使周边车辆的出行变得困难，影响鼎湖区街道环境的干净和整洁。



> 图3 厂房环境概况

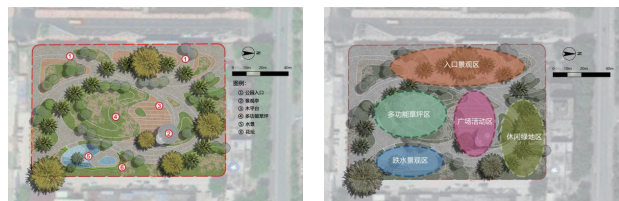
四、厂房改造策略

（一）设计目标

通过将厂房改造成集休闲、娱乐、健身于一体的城市口袋公

园，使原本荒废的空间焕发新的生机与活力，为市民提供舒适宜人的户外活动场所（图4）。

由于其存在严重安全隐患，不利于再利用设计，拆除原有的危险建筑结构，确保场地安全，修复和完善基础设施，如供水供电系统、排水设施等。场地被重新划分为多个功能区域。位于公园西侧营造主入口，方便市民进入，设有宽敞的活动空间，适合围在树下聚会；绿地分布在口袋公园的不同角落，供游客散步和欣赏周围景色。场地中景观亭采用现代简约风格设计，与自然环境融为一体；木平台提供高处的观景点，让市民从不同的角度观赏公园的美景；多功能草坪是开放式的绿色空间，可用于野餐、游戏等多种活动，体现使用的灵活性和舒适性；水景包括小型水池和喷泉装置，增加了公园的趣味性和互动性。水声潺潺，让人感受到大自然的魅力（图5）。



> 图4 总平面图

> 图5 功能分区图

（二）斐波那契数列在场地的应用

1. 植物配置

（1）乔木层：选择具有较高观赏价值和生态效益的树种，如凤凰木、桂花树等。不仅在视觉上能给人美的享受，还能通过吸收二氧化碳、释放氧气等功能改善空气质量，为人们提供一个清新舒适的游憩环境。凤凰木树形优美，夏季盛开鲜艳的红色花朵，具有极高的观赏价值，适合作为景区的焦点树种。桂花树四季常绿，秋季开花香气浓郁，能够提升景区的空气质量，营造宜人的氛围。

（2）灌木层：选用一些低矮、耐修剪的灌木品种，如杜鹃、茶花、含笑等。可增加景区的层次感，并为鸟类和小动物提供栖息地。杜鹃花色丰富，春季开花，适合成片种植，形成美丽的花海景观。茶花花期长，花型多样耐阴，适合在乔木下层种植，增加景观层次。含笑花白色，香气浓郁，适合点缀于乔木和灌木之间，提升景区的香气氛围。

（3）地被层：铺设草坪或种植一些低矮的地被植物，如麦冬草、沿阶草等。有效防止水土流失和美化环境，便于游人休憩。麦冬草耐阴耐寒，生长旺盛，适合作为地被植物，覆盖裸露土壤，保持水土。沿阶草叶片翠绿，耐阴耐湿，适合在阴湿环境中种植，美化景区的步行道旁。草石蚕耐旱耐瘠薄，适合在岩石缝隙中生长，增添自然野趣。

在配置植物时，充分考虑植物的生长习性、花期、色彩等因素，以及肇庆市的地理环境和气候条件，以达到最佳的景观效果和生态效益。还注意植物之间的搭配，形成层次分明、色彩丰富、四季变换的自然景观。

2. 空间布局

基于数理概念下，利用斐波那契数列的递增规律来划分空间，形成大小不同的景观空间（图5），如：中心广场、休闲绿

地、水景区等。具体做法是在特定组合圆的象限处种置较大的,具有明显视觉特征的较大型的乔木凤凰木(图6),目的是为了在这些关键点上形成显著的视觉焦点,吸引人们的目光,增强空间的层次感和立体感。同时,为避免非象限段上存在较大的视觉空白,在此段上则设置等角绿点种植桂花树,形成场地的游览引导作用,其位置与相应圆心的夹角为:

$$\theta = (\pi/2)(R/\bar{L})^{-1}$$

式中, $\pi/2$ 为每个圆的转动角度; R 为个圆的半径; \bar{L} 为单位长度, 其与设计场地的尺寸相关, 若选定该值后, 则螺旋线组合圆的半径分别为: $0\bar{L}$ 、 $1\bar{L}$ 、 $1\bar{L}$ 、 $2\bar{L}$ 、 $3\bar{L}$ 、 $5\bar{L}$ 、 $8\bar{L}$..., 这些半径之间满足斐波那契数列的特性, 满足数列前后项之间的关系。

同时, 为明示各弧段象空间节点的影响, 以突出景观整体与局部的分界, 加深视觉层次的映射, 从而构建强烈的冲击映像。因此, 可在各圆象限点位置上种植异于弧段的乔木。这些乔木应与周围环境和景观本身具有和谐的关系。

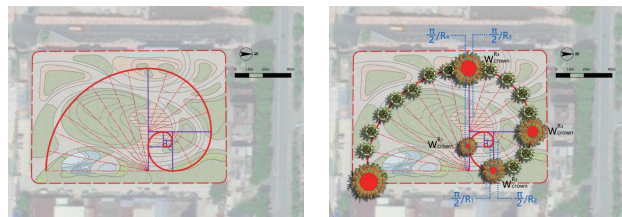
在本文设计中, 可采用特定的算法, 以确定象限处乔木的冠幅:

$$W_{\text{crown}} = Re^{-2}[\ln(\pi) + \ln(R)]$$

其中, W_{crown} 为象限乔木对应的冠幅; R 为此象限点处所对的圆半径; e 为自然数。式中包含 e 代表了自然界中增长的极限, π 则表示了自然界运动的基本形式: 圆周运动。

当圆半径为 3m、5m、8m 和 13m 时, 对应的幅值则分别为 0.9106m、1.8633m、3.4902m 与 6.5258m。可以看出, 半径与冠幅两者为正相关关系, 同时冠幅随半径的变化率保持一定的恒定状态, 以保证景观变化的适度避免突然变化, 以致使视觉感上的突兀。

通过这样的方式, 可在不破坏原有自然肌理的前提下, 巧妙地将数学原理融入园林设计, 创造出既有科学依据又有艺术美感的新型公共绿地空间。不仅能够丰富市民的审美体验, 还能激发市民对科学的兴趣和对自然的热爱。



> 图6 空间布局

3. 道路系统与视线引导

(1) 道路系统设计

针对杨帆废弃厂房地改造, 斐波那契数列被应用于道路系统的规划。道路由中间往四周发散, 从而创造出自然流畅的步行体验。不仅提升园区内交通的便捷性, 同时也使道路本身成为富有节奏感和数学美感的景观元素。

主干道采用曲线形式, 模拟自然地形起伏变化, 增强游览体验, 方便游客通行, 并与各景点相连接。次干道围绕主干道布置, 形成环形路网结构, 主要用于连接次要景点。步道贯穿于整

个园区, 串联起各个重要节点。步道材质多样, 包括木质平台、石板地面等, 营造出丰富的行走体验。

(2) 视线引导设计, 斐波那契数列的原理发挥关键作用。通过在关键节点设置高大的乔木, 焦点按照斐波那契数列的排列方式散布于园区各处, 引导游客的视线自然流转。有序的视觉引导不仅增强空间的层次感, 也使得游客在探索过程不断发现新的美景, 体验到空间变化的韵律和惊喜。

五、结语

将斐波那契数列应用于城市口袋公园设计, 能够有效地提高园林设计的科学性, 丰富设计手段和优化空间布局, 创造出更具美感和吸引力的公共空间。本案例研究为城市口袋公园设计提供新的思路和方法, 具有一定的实践价值, 未来进一步探索其它数理概念在园林设计的应用, 并结合人工智能等新技术, 推动园林设计向更加科学、理性和可持续发展的方向发展。

参考文献

- [1] Bin-Yi L. The Objective Indicating of Landscape Architecture Subjective Perception: The Objective Information Translation Principle of Digitization and Quantitative Evaluation of Visual Perception for Landscape Architecture [J]. Chinese Landscape Architecture, 2015.
- [2] Simons B K, Johnson G R. The road to a thoughtful street tree master plan: A practical guide to systematic planning and design [J]. Land Use Planning, 2008.
- [3] 李晓颖, 陈佳樱. 主客共享视角下乡村文化景观要素的感知差异性研究——以南京市黄龙岷茶文化村为例 [J]. 现代城市研究, 2024, 39(1): 125-132.
- [4] 刘畅. 都市景观主义设计思想与实践——以工业废弃地改造为例 [J]. 艺术品鉴, 2017(2X): 2. DOI: CNKI: SUN: YSPJ. 0. 2017-02-053.
- [5] 杨彦辉. 例说黄金分割定律在平面设计中的应用 [J]. 包装工程, 2023, 45(12): 233-242.
- [6] 方海泉, 周铁军, 桑宝祥, 等. 对数螺线、黄金分割与斐波那契数列的完美统一的 [J]. 数学理论与应用, 2009(4): 4. DOI: CNKI: SUN: LLYY. 0. 2009-04-003.
- [7] 李秋月. 高等数学视角下分析服装设计中的比例美学 [J]. 染整技术, 2022, 46(3): 69-71.
- [8] 杨雅茜. 斐波那契数列原理在 LOGO 设计上的研究应用 [J]. 设计, 2023, 36(10): 122-125.
- [9] 蔡秉坤. 聚焦问题驱动, 探索项目引领——以“求解斐波那契数列”教学设计为例 [J]. 新校园, 2023(7): 33-34.
- [10] 唐得娇邓伟升. 斐波那契数列若干性质的台阶法证明 [J]. 云南师范大学学报: 自然科学版, 2022, 42(6): 29-31. DOI: 10.7699/j.ynnu.ns-2022-073.
- [11] 汪晓勤. 数学文化透视 [M]. 上海科学技术出版社, 2013.
- [12] 陈伟钢. “黄金分割”律形成之源探秘 [J]. 自然杂志, 2004, 26(6): 357-357. DOI: CNKI: SUN: ZRZZ. 0. 2004-06-014.
- [13] 张清利, 张国艳. 由斐波那契数列谈数学美 [J]. 北京广播电视大学学报 (4): 46-封三 [2004-12-20].
- [14] 邢思琪. 探究景观设计中的秩序美法则——以黄金分割比例为例 [C] // 第十七次建筑与文化国际讨论会. 中国建筑学会, 2018.
- [15] 邢思琪, 马建武. 景观设计中的比例和秩序——基于黄金分割比 [J]. 福建建筑, 2019(3): 6. DOI: CNKI: SUN: FJJZ. 0. 2019-03-006.
- [16] 曾兰玲. 树木花卉形态建模研究 [D]. 浙江大学 [2009-06-01]. DOI: CNKI: CDMD: 1. 2010. 059145.
- [17] 袁国林, 陈荣生. 黄金分割比例及其在道路设计中的应用 [J]. 公路交通科技, 2004(05): 4-7. DOI: CNKI: SUN: GLJK. 0. 2004-05-001.

机电一体化技术在轨道交通车辆门控系统中的应用

刘丹

西安市轨道交通集团有限公司, 陕西 西安 710000

摘 要： 本文探讨了机电一体化技术在列车车门控制系统中的应用，重点关注车门自动运行、实时故障监测、防夹安全机制、紧急解锁和智能车门速度调节等关键创新。机电一体化集成了机械部件、传感器、执行器和控制系统，以提高列车车门运行的安全性、可靠性和效率。通过实时监控，机电一体化技术降低了事故风险，提高了乘客安全，并延长了车门系统的使用寿命。

关 键 词： 机电一体化技术；轨道交通；车辆门控系统

Application of Mechatronics Technology in Gate Control System of Rail Transit Vehicles

Liu Dan

Xi 'an Rail Transit Group Co., LTD. Xi 'an, Shaanxi 710000

Abstract： This paper explores the application of mechatronics technology in train door control systems, focusing on key innovations such as automatic door operation, real-time fault monitoring, anti-pinch safety mechanisms, emergency unlocking, and intelligent door speed adjustment. Mechatronics integrates mechanical components, sensors, actuators, and control systems to enhance the safety, reliability, and efficiency of train door operations. By enabling real-time monitoring and adaptive control, mechatronics reduces the risk of accidents, improves passenger safety, and extends the lifespan of door systems. The technology also contributes to energy savings and operational efficiency, making it a crucial component in the modernization of rail transportation systems.

Keywords： mechatronics; rail transit; vehicle door control system

引言

随着机电一体化技术的发展，传统的手动或半自动车门系统已发展成为全自动系统，从而提高了运行安全性，减少了人为失误，并确保了与列车其他部件的无缝协调。在高速列车和城市轨道交通系统中，机电一体化技术尤为重要，因为在这些系统中，安全和准时是至关重要的。

一、机电一体化技术在轨道交通车辆门控系统中应用的概述

列车车门控制系统中的机电一体化是指将机械系统、传感器、电子设备和基于计算机的控制器进行全面整合，以确保精确和安全的操作。在传统系统中，车门由人工控制或使用基本电路进行操作。然而，现代门系统采用机电一体化解决方案，可实现实时监控、精确驱动和反馈控制。门板和锁定装置等机械部件与传感器和微控制器同步，以检测障碍物、控制开关速度和管理紧急协议。这些系统配备了先进的算法，可根据温度、压力和列车速度等环境条件进行实时调整，以达到最佳运行状态。此外，通信技术的使用还能使车门系统与列车的中央控制系统无缝对接，从而在乘客上车、下车和紧急情况下协调运行。在车门控制系统

中采用机电一体化技术不仅能提高安全性和可靠性，还能减少机械磨损和运行延迟，从而提高能效。

二、机电一体化技术在轨道交通车辆门控系统中的应用

（一）自动开关控制

自动门控制是机电一体化技术在轨道交通领域最重要的应用之一。在现代列车系统中，车门必须高效运行，以确保乘客安全和运行精度。机电一体化技术将机械部件与电子传感器、执行器和控制系统集成在一起，使车门能够在无人干预的情况下自动打开和关闭，这种自动化可确保车门仅在指定车站打开，并在列车出发前正确关闭。自动门系统使用各种传感器，包括压力传感

作者简介：刘丹（1990.9-），女，汉族，陕西西安人，本科，研究方向：机电一体化、自动控制。

器、红外线传感器和光学传感器，来检测车门附近是否有乘客^[1]。这些传感器可在检测到障碍物时停止车门运行，从而防止事故发生。此外，智能控制算法的集成使系统能够根据环境条件或乘客流量调整车门的开关速度，这不仅能提高安全性，还能减少车门装置的磨损，延长其使用寿命，最大限度地降低维护成本。自动门控制系统还有助于提高能源效率的可持续性。通过控制车门运行的时间和持续时间，该系统可减少因车门开启时间过长而产生的不必要能耗。在寒冷或温暖的气候条件下，不必要的开门会导致列车供暖或空调系统的大量能源损耗。配备机电一体化技术的自动门系统还具有内置诊断功能，这些系统可进行自我检查，以检测致动器或锁定装置等部件的潜在故障或磨损情况。此类诊断可进行预测性维护，帮助操作员在系统故障或服务中断之前解决问题，这不仅能提高乘客安全，还能减少停机时间，确保铁路服务更加平稳可靠。因此，机电一体化驱动的自动门控制系统是提高现代铁路运输的安全性、效率和可持续性的关键。

（二）实时故障监测

实时故障监控是机电一体化技术在列车车门控制系统中的重要应用，旨在确保乘客安全和系统可靠性。机电一体化系统集成了传感器、控制器和通信模块，可持续监控车门部件的健康状况和性能，这些传感器被战略性地安装在执行器、锁定装置和控制单元等关键部件上，实时检测任何磨损、故障或失灵的迹象。这些传感器的数据由嵌入式控制器处理，控制器分析性能指标，并能检测异常情况，如门运行过程中的异常振动、阻力或响应时间延迟。实时监控功能使系统能够在检测到任何偏离正常操作的情况时立即向操作员发出警报，从而在故障升级为安全隐患之前进行迅速干预。这对于地铁系统等高频率轨道运营尤为重要，因为即使是轻微的延误也可能导致服务中断。此外，实时故障检测还能确保快速识别并解决卡门等可能危及乘客安全的问题。通过持续评估每个组件的状态，系统可以最大限度地降低意外故障的风险，从而提高整个系统的可靠性^[2]。除了安全性之外，实时故障监控还能通过实施预防性维护策略来改进列车车门系统的维护流程。在传统的定期维护中，无论部件的状况如何都会在一定时间后进行更换，而实时监控则为操作员提供了实际的性能数据^[3]。这样就可以进行有针对性的维护，根据部件的当前状况，只有在必要时才进行维修或部件更换，这不仅能延长门系统的使用寿命，还能避免不必要的维护，从而减少停机时间和运行成本。通信技术的集成还能将故障数据传输到中央控制系统，以便进行进一步分析。操作人员可以获取有关系统性能的详细报告，找出反复出现的问题，并实施长期改进，这种以数据为导向的方法可确保系统地解决常见故障模式，从而不断优化门系统。

（三）安全防夹机制

安全防夹机制是机电一体化技术在列车车门控制系统中的重要应用，旨在防止乘客或物体被夹在关闭的车门之间而发生事故。安全防夹机制将机械部件与先进的传感器、执行器和控制算法相结合，以确保列车门的安全运行。通常情况下，车门边缘会嵌入红外线、超声波或压敏装置等传感器，这些传感器持续监控门板之间的空间，并在关门过程中检测任何障碍物^[4]。如果检测

到物体或人员，系统会立即停止门的移动，并逆转关闭过程，以防止造成伤害。旧式系统只有在受到巨大阻力时才会停止关门，而现代机电一体化系统则不同，其灵敏度和准确性都大大提高。对小物体甚至微小阻力的即时检测提高了乘客的安全性，特别是在拥挤的城市轨道交通环境中，乘客快速上下车的情况非常普遍。这种机制可以保护儿童、老人或残疾人等弱势乘客免受车门关闭伤害^[5]。除了防止伤害之外，防夹装置还在确保轨道系统的运行效率方面发挥着重要的作用。通过可靠地检测障碍物并自动重新打开车门，该系统可降低因车门故障或事故而造成服务延误的风险。如果没有有效的防夹系统，卡住的车门可能会导致长时间的延误，因为可能需要人工干预，甚至需要紧急服务来释放障碍物。然而，自动反转功能可确保运营顺利进行，并将中断程度降至最低，这有助于保持列车的准点率，因为延误会对整个系统产生连带影响。这一安全机制的实施还有助于减少车门部件的磨损。该系统可防止车门在检测到障碍物时施加过大的力，从而将车门致动器和锁定装置的机械应力降至最低，这就减少了频繁维护的需要，延长了车门的使用寿命。通过在列车车门系统中集成防夹技术，铁路运营商可以提高乘客安全，使其成为现代轨道交通系统的重要组成部分。

（四）紧急解锁功能

紧急解锁功能是机电一体化技术在列车车门系统中的重要作用，旨在提高紧急情况下的乘客安全。紧急解锁功能可在发生故障、断电或紧急疏散时手动或自动解锁车门。现代列车中的机电一体化系统集成了电子控制和机械执行器，可在触发时快速脱离锁定装置。这些系统经过编程，可对列车中央控制单元上的专用紧急按钮发出的紧急信号做出响应^[6]。一旦检测到紧急信号，机电一体化系统就会覆盖标准车门控制协议，启动解锁装置，使乘客能够快速、安全地离开列车。紧急解锁功能配备了安全冗余装置，以确保其在各种条件下的可靠性。例如，即使列车断电，系统也能依靠机械故障保险装置确保车门解锁。紧急解锁功能可以防止乘客在火灾、脱轨的危急情况下被困在列车内。机电一体化系统中集成的实时诊断功能还有助于监控紧急解锁功能，确保其始终处于工作状态。紧急解锁功能不仅能增强安全性，还能提高轨道交通的运营弹性^[7]。在高客流量的城市铁路网中，紧急情况下快速解锁车门的能力可将乘客恐慌的风险降至最低，并有助于有序疏散，这降低了受伤的可能性，并有助于应急人员更有效地进入列车。此外，该系统与列车中央监控系统的集成使操作员能够识别哪些车门已被解锁，并在紧急情况下为他们提供实时更新，这种协调反应改善了车上工作人员与中央控制中心之间的沟通，确保疏散过程管理有序、高效。从维护角度来看，机电一体化紧急解锁系统还能减少运行停机时间。由于这些系统具备自诊断功能，因此与应急功能相关的任何故障都能被主动检测，从而确保列车始终符合安全规定。在需要人工干预的情况下，系统的设计可确保训练有素的人员能够轻松进入车门装置，进行快速维修或覆盖^[8]。通过集成紧急解锁功能，机电一体化技术在保障乘客安全的同时，还能保持列车系统的运行完整性，发挥了关键作用。

（五）门速智能调节

智能车门速度调节是机电一体化技术在列车车门系统中的重要应用，可根据各种运行和环境因素实时控制车门的开关速度。通过集成传感器、执行器和先进的控制算法，该系统可动态调整车门速度，以提高安全性和效率。例如，在客流量大的高峰时段，车门可以更快地打开和关闭，以方便乘客快速上下车，从而减少站台拥堵，提高列车正点率。反之，在非高峰时段，或在儿童或老年乘客上车等可能存在安全隐患的情况下，可以通过编程使车门以较低的速度运行，以降低事故风险。智能车门速度调节机制依赖于传感器的组合，这些传感器可检测乘客距离、天气状况甚至列车速度等因素^[9]。列车的车载计算机对这些输入进行处理，然后向车门执行器发送信号，以改变运行速度。例如，在大雨或强风等恶劣天气条件下，系统可能会减慢车门的移动速度，以确保精确关闭并防止环境因素造成的机械应变，这不仅能提高安全性，还能减少机械部件不必要的磨损，有助于优化能源使用。除了安全和效率之外，智能车门速度调节还有助于延长列车车门系统的使用寿命。传统系统中频繁而快速的车门运动会导致

机械部件过早磨损，从而造成昂贵的维护费用^[10]。然而，通过根据实时情况智能调节车门速度，系统可最大限度地减少机械应力，从而延长执行器、齿轮和锁定装置的使用寿命，这就减少了维护需求，降低了轨道运营商的长期运营成本。此外，由于该系统可以检测到车门中的障碍物或异常阻力，因此可以减缓或停止车门的运行，从而防止损坏并确保乘客安全。

三、结语

总之，机电一体化技术在列车车门控制系统中的应用是铁路运输领域的一大进步，它提高了安全性、效率和可靠性。通过集成传感器、执行器和控制算法，机电一体化系统可实现自动车门控制、实时故障监测、防夹安全机制、紧急解锁和智能车门速度调节等智能功能，这不仅改善了乘客的体验，还有助于提高效率。随着铁路网络的不断现代化，机电一体化在确保无缝、安全和可持续运营方面的作用将变得越来越重要，并将推动未来运输技术的发展。

参考文献

[1] 鞠丽丽, 王君. 机电协同设计在轨道交通行业的应用 [J]. 中文科技期刊数据库 (引文版) 工程技术, 2023(5):4.
[2] 陈晓钦. 机电一体化技术在地铁中的应用研究 [J]. 中文科技期刊数据库 (文摘版) 工程技术, 2022.
[3] 周爱华. 机电一体化技术在地铁中的应用研究探讨 [J]. 电脑校园, 2023:3673-3674.
[4] 曲璟. 浅析城市轨道交通机电一体化技术的应用及发展 [J]. 南方农机, 2021, 52(8):191-192.
[5] 宣仁德. 城市轨道交通机电一体化技术的应用及发展趋势 [J]. 百科论坛电子杂志, 2020, (015):366.
[6] 陈永齐. 城市轨道交通机电一体化技术应用质量分析 [J]. 户外装备, 2023(8):328.
[7] 陈晓钦. 机电一体化技术在地铁中的应用研究 [J]. 中文科技期刊数据库 (文摘版) 工程技术, 2022.
[8] 张硕. 探究城市轨道交通机电一体化技术的应用质量 [J]. 中文科技期刊数据库 (全文版) 工程技术, 2022(5):4.
[9] 邓炳光. 机电一体化技术在地铁系统中的运用探究 [J]. 中文科技期刊数据库 (引文版) 工程技术, 2021(6):2.
[10] 归逸飞. 城市轨道交通机电一体化技术的应用及发展 [J]. 中国科技投资, 2021.

用于 pVTt 的快速切换三通阀设计与验证

屠亲帅, 张文翰, 林天然, 周彬, 张高明, 徐志鹏*

中国计量大学, 浙江省流量计量技术研究重点实验室, 浙江 杭州 310018

摘要: 本文探讨了适用于 pVTt 法气体流量标准装置中的快速切换三通阀的设计与验证。在对多种驱动方式的特性进行比较后, 我们决定采用响应迅速且具有高负载刚度的液压驱动作为三通阀的驱动方式。设计过程中, 我们构建了一个包含过滤器、节流阀、液压泵、二位四通阀、蓄能器、溢流阀、单活塞液压缸以及液压缸阀体等元件的系统, 并通过实验确认了三通阀的气密性和切换时间。结果表明, 三通阀在气密性试验中表现良好, 且在标准容器和缓冲容器间切换迅速可靠。

关键词: pVTt 法; 流量标准装置; 快速切换三通阀; 气密性; 切换时间

Design and Verification of a Fast Switching Three-Way Valve for pVTt Measurements

Tu Qinshuai, Zhang Wenhan, Lin Tianran, Zhou Bin, Zhang Gaoming, Xu Zhipeng*

Zhejiang Provincial Key Laboratory of Flow Measurement Technology, China Jiliang University, Hangzhou, Zhejiang 310018

Abstract: This article discusses the design and verification of a fast-switching three-way valve suitable for use in pVTt gas flow standard devices. After comparing the characteristics of various driving methods, we decided to adopt a hydraulic drive that responds quickly and has high load stiffness as the driving method for the three-way valve. During the design process, we constructed a system that includes components such as a filter, throttle valve, hydraulic pump, two-position four-way valve, accumulator, relief valve, single-piston hydraulic cylinder, and the valve body of the hydraulic cylinder, and confirmed the air tightness and switching time of the three-way valve through experiments. The results show that the three-way valve performed well in air tightness tests and switched quickly and reliably between the standard container and the buffer container.

Keywords: pVTt method; flow standard device; rapid switching three-way valve; airtightness; switching time

引言

在现代工业生产以及科学研究中, 精确控制和测量气体流量是一项至关重要的任务。特别是在涉及高频次气流路径切换的应用场合, 如 pVTt 法气体流量标准装置中, 对阀门的响应速度和密封性能提出了极高的要求。pVTt 法作为一种用于测量气体体积流量的常用方法, 其工作原理依赖于精确控制气体在标准容器和缓冲容器之间的切换。然而, 传统的三通阀在高压差环境下往往难以保证良好的气密性, 且响应速度受限, 这直接影响了测量的准确性和效率^[1]。

随着工业自动化水平的不断提高, 对阀门的响应速度、密封性能以及使用寿命提出了更高的要求。现有的三通阀虽然能够满足一定的工作需求, 但在特定条件下 (如高压差、高频次切换等), 它们的局限性逐渐显现出来。例如, 当阀门处于关闭状态时, 如果密封不良, 则会导致气体泄漏, 影响测量结果的准确性; 而当阀门需要快速开启或关闭时, 缓慢的响应速度会增加测量误差, 降低工作效率。

为了克服上述问题, 本研究旨在开发一种适用于 pVTt 法气体流量标准装置的快速切换三通阀。通过对不同驱动方式的比较分析, 考虑到响应速度、负载刚度等因素, 最终选择了液压驱动作为三通阀的驱动方式。液压驱动以其卓越的响应速度和负载刚度, 成为了实现快速切换的理想选择^[2]。

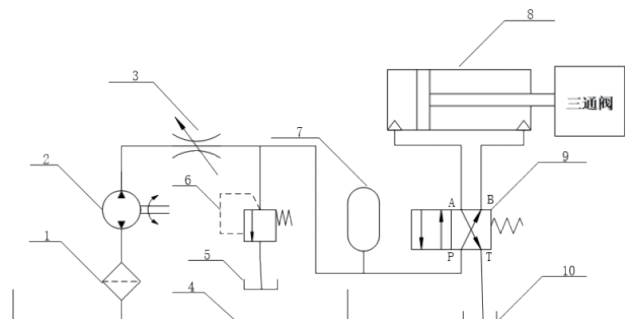
在本研究中, 我们详细探讨了三通阀的设计方案, 包括其内部结构、液压系统的配置以及相关组件的选择。设计中特别注重了密封件的选择与安装, 以确保在高压差条件下的气密性。此外, 我们还通过计算机辅助设计 (CAD) 软件建立了三通阀的三维模型, 并在此基础上进行了物理原型的制造与初步测试^[3]。

通过一系列实验验证, 本文评估了三通阀的气密性和切换速度, 结果表明, 所设计的三通阀不仅能够在保证气密性的前提下实现快速切换, 而且在不同的工作压力和温度条件下均表现出优异的性能。这些实验成果为三通阀的设计提供了坚实的基础, 并指明了进一步改进设计的方向。

本研究的创新点在于, 通过采用液压驱动技术, 成功实现了三通阀的快速响应, 并且通过精心设计的密封结构, 保证了在高压差条件下的良好密封性能。该研究成果有望为提高 pVTt 法气体流量标准装置的准确性和可靠性提供新的解决方案^{[4][5]}。

一、结构设计

阀门驱动方式包括机械、液压、机电和气压等类型。为实现三通阀快速切换，选择能够快速响应且拥有高负载刚度的液压驱动。构成快速切换三通阀系统的液压组件众多，涵盖了油缸、过滤器、节流阀、液压泵、二位四通阀、蓄能器、溢流阀、单活塞液压缸以及液压缸阀体等部分。该系统通过液压缸内活塞杆的往复运动实现管路切换。过滤器确保液压油清洁，蓄能器存储液压油以快速响应，溢流阀控制油压确保系统安全运行。二位四通阀用于控制油路切换。



1. 过滤器 2. 液压泵 3. 限流阀 6. 溢流阀 7. 蓄能器 8. 单活塞液压缸 9. 二位四通阀 其中元件 4、5、10 均为油缸

> 图 2.1 快速切换三通阀的工作原理简图

二、工作原理

当活塞杆需向前移动时，引擎点火，液压泵启动，液压油从油箱中被吸入并送至蓄能器中储存。此时，控制系统发出信号，导致二位四通阀位置变动，液压泵输出的压力油进入液压缸的无杆侧，而有杆侧则与回油道相连。随着无杆侧液压油量的增加，腔内压力逐步升高，直至能够超越活塞杆与缸筒间的摩擦力及油液与缸壁的粘滞阻力，活塞杆便开始向右移动，这便是活塞杆前进的过程。反之，若活塞杆需后退，引擎同样启动，液压泵继续抽取并储存液压油至蓄能器。控制系统再次发出指令，二位四通阀位置改变，压力油进入液压缸的有杆侧，无杆侧则与回油道相通。有杆侧液压油压力的提升，使得活塞杆克服阻力向左移动，完成活塞杆后退的动作^[6-8]。

三、实验验证

（一）快速切换三通阀的气密性实验

为保证三通阀在 pVTt 法气体流量标准装置中能够可靠且迅速地切换，避免在真空状态下压差引起气体泄漏，从而影响测量的精确性，本研究对三通阀进行了气密性检验，并依照检定规程，实施了相应的检定流程^[9]。

(1) 将标准容器抽真空以达到既定的压力标准。

(2) 迅速将三通阀切换至缓冲容器一侧，开启连接至标准容器的阀门，并确保所有其他阀门均处于关闭状态。

(3) 在标准容器内的气体达到热力学平衡状态后，定期采集并

记录容器内的压力与温度数据，利用这些参数来评估快速切换三通阀的泄漏率。

(4) 采用公式法计算泄漏率，以评估该阀门是否符合标准要求。

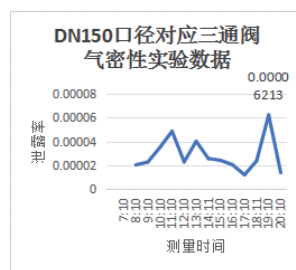
泄漏率计算公式：

$$\omega_i = \frac{\left(\frac{p_{i+1}}{T_{i+1}} - \frac{p_i}{T_i} \right)}{\left(\frac{p_F}{T_F} - \frac{p_E}{T_E} \right)}$$

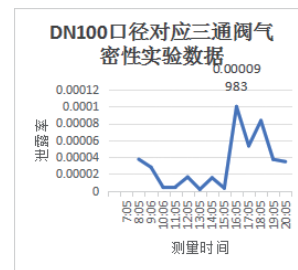
式中：

ω_i 是第 i 次的泄漏率， p_i 和 T_i 分别是第 i 次测量的标准容器内的压力和温度，而 p_{i+1} 、 T_{i+1} 是第 $i+1$ 次测量标准容器内的压力和温度， p_E 、 T_E 是标准容器抽气后得到的压力和温度， p_F 、 T_F 是标准容器进气后的压力和温度。其中温度和压力的单位均取 k 和 kPa。

评价阀门密封性的标准是泄漏率应该低于装置不确定度的 1/4。对于准确度为 0.05% 的装置，泄漏率应不大于 0.000125。若计算出的泄漏率低于此值，则三通阀密封性合格。实验分两组，分别在 26 立方米和 6 立方米容器中测试 DN150 和 DN100 口径的三通阀。实验测试数据如图 4.1.1 和 4.1.2 所示：



> 图 4.1.1



> 图 4.1.2

实验结果表明，DN150 和 DN100 口径对应的三通阀泄漏率均低于 0.00009983，因此满足气密性标准。

（二）快速切换三通阀切换时间实验

为评估三通阀在 pVTt 法气体流量标准装置中的切换性能，进行了快速切换时间实验。实验利用 pVTt 法装置进行检定，采用 PLC 时钟指令测量快速切换三通阀的时间。实验中，通过曲拐上的拨片和两个光电脉冲传感器记录阀门切换时间。拨片经过传感器触发 PLC 记录，两次触发的时间差即为三通阀的切换时间。

快速切换三通阀切换时间的实验分别两组：

第一组：储能器不连续放电。

DN150 对应的三通阀进行的实验测量。实验数据为，当喷嘴喉径为 43.08 毫米时，标准容器的打开时间均为 56 毫秒，缓冲容器的打开时间分别为 57 毫秒和 56 毫秒；当喷嘴喉径为 30.446 毫米时，标准容器的打开时间为 55 毫秒和 54 毫秒，缓冲容器的打开时间均为 55 毫秒；而当喷嘴喉径为 21.553 毫米时，标准容器的打开时间均为 54 毫秒，缓冲容器的打开时间同样为 55 毫秒。

DN150 口径对应的三通阀得到的实验数据如下，在喷嘴喉径为 21.553 毫米的情况下，标准容器开启时间记录了两次，分别是 54 毫秒和 55 毫秒；而缓冲容器的开启时间分别为 56 毫秒和 55 毫

秒。当喷嘴喉径缩小至15.233毫米时,标准容器每次开启均耗时54毫秒,而缓冲容器则稳定在55毫秒。进一步将喷嘴喉径减小到10.763毫米时,标准容器依然保持54毫秒的开启时间;缓冲容器的开启时间在这两组数据中分别为54毫秒和55毫秒。

从两组实验数据可以得出:

(1) 由于液压油作用于活塞杆两侧面积的不同,标准容器的开启时间稍长于缓冲容器的关闭时间。

(2) 检定不同口径喷嘴时,大口径喷嘴流量大,对阀芯切换冲击大,切换时间较长。

(3) 三通阀理论切换时间为50ms,但实际最快切换时间是54ms,这是由于结构设计中的机械碰撞导致能量损失,进而延长了切换时间。

第二组:蓄能器连续放能。

采用喉径为21.553mm的音速喷嘴进行实验, DN150对应的三通阀连续切换实验数据如下,当标准容器首次打开时间为55毫秒时,缓冲容器的打开时间为106毫秒,标准容器第二次打开的时间为169毫秒。标准容器首次打开时间为54毫秒的情况出现了两次:

第一次,缓冲容器的打开时间为107毫秒,标准容器第二次

打开的时间为169毫秒。第二次,缓冲容器的打开时间仍然是107毫秒,但标准容器第二次打开的时间增加到了170毫秒。

DN150所对应的三通阀得到的实验数据和DN150对应的三通阀实验数据一样。

从以上两表实验数据可以得出:

(1) 音速喷嘴的三通阀切换时间仅受液压系统参数影响,与校验系统及连接管道的直径无关^[10]。

(2) 连续切换时需等待蓄能器完成蓄能后方可进行下一次切换,故切换过程不能连续进行。

四、结论

论文比较了不同驱动方式后,选定液压驱动用于快速切换三通阀。实验显示,设计的三通阀气密性良好,最大泄漏率低于0.000125,符合pVTt法标准。尽管有能量损失,切换时间依旧约54毫秒,接近理论值。实验表明,喷嘴口径影响切换时间,口径大则切换时间略长。该三通阀能满足pVTt法对流量控制精度和响应时间的要求,为气体流量标准装置的改进提供了新方案^[11-12]。

参考文献

- [1] Wright J D, Moldover M R, Johnson N. Volumetric Gas Flow Standard With Uncertainty of 0.02% to 0.05% [J]. Journal of Fluids Engineering, 2003, 125(11): 1058-1066.
- [2] 孙彩虹, 赵作广, 石建荣. 基于pVTt法气体流量标准装置的标准流量计溯源设计 [J]. 工业计量, 2019, (1): 37-39.
- [3] 徐志鹏, 郭婧, 李澜吉, 等. pVTt用液压驱动快开三通阀设计与流场仿真 [J]. 传感技术学报, 2019, (2): 201-205.
- [4] 梁月, 刘智林, 冯倩倩, 万大川. 基于pVTt法气体流量标准装置高速切换三通阀的研制 [J]. 工业计量, 2019, (2): 39-41.
- [5] 罗园庆. 三通切换阀关键零部件数字化设计平台的开发 [D]. 辽宁科技大学, 2016.
- [6] 李澜吉. pVTt法气体流量标准装置快速切换三通阀研究 [D]. 中国计量大学, 2018.
- [7] 孙基成, 冯书安. 阀门不同关闭时间液压冲击的解析研究 [J]. 机械工程师, 1987, (06): 5-7.
- [8] 白瑞琴. pVTt法气体流量标准装置关键技术的研究 [D]. 中国计量学院, 2012.
- [9] 裴叶琴. 浅析阀门设计领域中的知识构成问题 [J]. 科技创新导报, 2010, (22): 53. 2017-09-07. DOI: 10.16660/j.cnki.1674-098x.2010.22.001.
- [10] 柳忠彬, 何庆中, 张应汪. 阀门快速设计分析方法研究 [J]. 机械设计与制造, 2010, (10): 4-6. 2017-09-07.
- [11] 丁小艺. 基于快速开关阀的压力机快速液压系统的研究 [D]. 广东工业大学, 2003.
- [12] 刘海燕. 三通阀漏泄自动检测装置简介 [D]. 郑州铁路职业技术学院, 2006.

超临界机组设备故障预测与智能运维策略

王猛, 潘作为, 范景扬, 李静平, 姚虎冬

内蒙古鄂尔多斯市京能康巴什热电有限公司, 内蒙古 鄂尔多斯 017010

摘 要 : 本文针对超临界机组设备故障预测与智能运维策略进行了深入研究。首先, 介绍了超临界机组常见故障类型及其特征, 并对比分析了基于信号处理、机器学习、深度学习等故障诊断与预测方法。其次, 设计了智能运维策略, 包括数据采集与处理、故障诊断与预测、维护决策与优化等方面, 并提出了智能运维系统架构设计。最后, 探讨了基于大数据和物联网的智能运维策略, 为超临界机组设备的安全稳定运行提供理论支持和实践指导。

关 键 词 : 超临界机组; 设备; 故障预测; 智能运维

Equipment Fault Prediction and Intelligent Operation and Maintenance Strategy for Supercritical Units

Wang Meng, Pan Zuowei, Fan Jingyang, Li Jingping, Yao Hudong

Inner Mongolia Ordos City Jingneng Kangbashi Thermal power Co., Ltd. Ordos, Inner Mongolia 017010

Abstract : This paper focuses on the fault prediction and intelligent operation and maintenance strategy of supercritical units. Firstly, the common fault types and characteristics of supercritical units are introduced, and the fault diagnosis and prediction methods based on signal processing, machine learning and deep learning are compared and analyzed. Secondly, the intelligent operation and maintenance strategy is designed, including data collection and processing, fault diagnosis and prediction, maintenance decision and optimization, etc., and the intelligent operation and maintenance system architecture design is proposed. Finally, the intelligent operation and maintenance strategy based on big data and the Internet of Things is discussed to provide theoretical support and practical guidance for the safe and stable operation of the supercritical unit equipment.

Keywords : supercritical unit; equipment; fault prediction; intelligent operation and maintenance

引言

随着能源需求的不断增长, 超临界机组作为高效、环保的发电方式在电力行业中占据重要地位。然而, 其复杂的运行特性和高参数环境使得设备故障预测与运维管理面临着巨大挑战。为了确保超临界机组的安全、高效运行, 本文将探讨设备故障预测方法及智能运维策略, 以为电力行业提供技术支持。

一、超临界机组设备故障预测方法

(一) 超临界机组故障类型及特征

1. 常见故障类型

汽轮机叶片故障包括叶片裂纹、磨损、腐蚀、疲劳断裂等, 这些故障会导致叶片效率下降, 甚至引发机组振动加剧^[1]。汽缸与阀门故障包括汽缸内部密封不良、阀门泄漏、阀门卡涩等, 这些故障会影响蒸汽的流动特性, 降低机组的热效率。由于燃料质量波动、燃烧器性能不佳或空气/燃料比例失衡, 可能导致燃烧不稳定, 影响锅炉的运行安全。水冷壁管泄漏、水垢累积、管子磨损等, 这些故障会导致热交换效率降低, 甚至发生锅炉爆炸事故。轴承磨损、润滑不足、轴承温度过高等, 这些故障可能导致轴系对中不良, 机组振动增大, 严重时会引起轴断^[1]。传感器与控制系

统故障包括温度传感器、压力传感器、执行机构等部件的故障, 这些故障会影响机组控制系统的稳定性, 导致运行参数偏离正常范围。

2. 故障特征分析

汽轮机叶片故障特征通常表现为叶片振动频率变化、叶片应力分布异常、高速旋转时产生的噪声和振动特性变化等。汽缸与阀门的故障特征包括汽缸内外温度差、压力波动、阀门开关位置的异常反馈等。燃料燃烧不稳定的特征可以通过火焰形状、燃烧温度、炉内压力波动等参数来识别。锅炉水冷壁故障的特征包括水冷壁管壁温度异常、炉水循环流量变化、锅炉蒸汽产量波动等^[2]。轴承故障特征包括轴承温度升高、振动加速度增大、润滑油脂降解产生的气体分析数据异常等。传感器与控制系统故障的特征表现为控制系统响应迟钝、传感器信号丢失或数据不准确等。

（二）故障诊断方法

1. 基于信号处理的方法

使用传感器收集设备的运行数据，如振动、温度、压力等信号。对原始信号进行滤波、去噪、归一化等处理，以提高信号质量。应用傅里叶变换（FFT）、小波变换（WT）等算法提取信号的时间域、频率域特征，如均值、方差、频率成分等。利用模式识别技术，如主成分分析（PCA）、支持向量机（SVM）等，将提取的特征与正常状态下的特征进行对比，识别故障类型和程度^[2]。

2. 基于机器学习的方法

基于机器学习的故障诊断方法利用历史数据训练模型，实现对未知数据故障状态的预测。收集并整理历史故障数据，包括正常和异常状态下的数据。使用相关性分析、信息增益等技术选择与故障相关的特征。选择合适的机器学习算法，如随机森林（RF）、梯度提升决策树（GBDT）等，利用选定特征对模型进行训练。通过交叉验证、AUC、准确率等指标评估模型性能，并通过调整参数进行优化^[3]。使用训练好的模型对实时数据进行预测，识别设备的故障状态。

3. 基于深度学习的方法

基于深度学习的故障诊断方法利用神经网络自动提取数据特征，进行故障识别。对原始数据进行标准化、归一化处理，以适应深度学习模型的需求。构建深度神经网络（DNN），如卷积神经网络（CNN）、循环神经网络（RNN）等，以适应数据的时序和空间特性。使用大量带标签的历史数据对网络进行训练，通过反向传播算法调整网络权重。在独立的测试集上验证模型性能，确保模型的泛化能力^[4]。将实时采集的数据输入训练好的深度学习模型，进行故障状态的识别和预测。

（三）故障预测方法

1. 基于时间序列预测的方法

基于时间序列预测的故障预测方法主要利用历史时间序列数据来预测未来的故障趋势。收集连续的时间序列数据，如设备运行参数、环境监测数据等。对时间序列数据进行平滑处理，去除异常值和噪声，确保数据的准确性。根据时间序列的统计特性构建特征向量，包括均值、方差、自相关系数等。选择适当的时间序列预测模型，如自回归移动平均（ARMA）、长短期记忆网络（LSTM）等。利用历史数据训练模型，通过参数优化来提高预测精度。使用训练好的模型对未来的数据进行预测，并通过均方误差（MSE）、预测误差等指标评估预测效果^[4]。

2. 基于数据驱动的方法

基于数据驱动的故障预测方法不依赖于物理模型，而是直接从数据中学习故障模式。搜集设备的历史运行数据，包括正常和故障状态下的数据。进行数据清洗，去除不完整和错误的的数据，然后进行特征选择和降维。选择适当的数据驱动模型，如回归分析、支持向量回归（SVR）、神经网络（NN）等。使用历史数据对模型进行训练，通过最小化预测误差来优化模型参数^[5]。应用训练好的模型对新的数据进行故障预测，并通过交叉验证等方法验证模型的准确性。

3. 基于模型驱动的方法

基于模型驱动的故障预测方法依赖于设备的物理模型和数学模型。根据设备的物理原理和运行特性，建立相应的数学模型，如微分方程、状态空间模型等。利用历史数据对模型参数进行估计，确保模型能够准确反映设备的实际运行状态。通过实验数据或实际运行数据对模型进行验证，调整模型以提高其准确性。将实时数据输入模型，通过模型计算预测设备未来的状态，识别潜在的故障趋势^[6]。对预测结果进行分析，结合设备的运行经验和专家知识，对故障进行诊断和预测。

（四）预测方法比较与选择

基于时间序列预测的方法，如ARIMA模型，适用于具有明显时间依赖性和周期性的数据，能够捕捉短期内的趋势和模式，但可能无法处理复杂的非线性关系。而基于数据驱动的方法，如机器学习和深度学习模型，能够处理高度非线性和复杂的数据关系，但需要大量的数据支持，并且可能存在过拟合的风险。基于模型驱动的方法，如物理模型和状态空间模型，基于设备的内在物理规律，能够提供对故障机理的深入理解，但模型的建立往往需要深厚的专业知识，且难以处理模型未知或不确定的情况^[7]。若数据量充足且质量高，数据驱动方法可能更为适用；若数据缺乏或质量参差不齐，则模型驱动方法可能更为合适。时间序列预测方法适用于短期预测，而数据驱动和模型驱动方法更适用于中期和长期预测。对于实时性要求高的场景，基于实时数据的时间序列预测可能更受青睐；而对于准确性要求高的场合，则可能需要结合数据驱动和模型驱动方法。深度学习方法可能需要更多的计算资源和时间，因此在资源受限的情况下可能需要考虑其他方法。

二、超临界机组智能运维策略

（一）智能运维策略设计

1. 数据采集与处理

通过部署传感器网络，实现对超临界机组运行参数的实时监测，包括温度、压力、振动、电流等关键参数。数据采集后，去除由于传感器误差或外部干扰导致的异常数据点。确保不同传感器采集的数据在时间上对齐，以消除时间延迟带来的影响。将数据标准化至同一尺度，以便于后续的特征提取和分析^[7]。通过主成分分析（PCA）等方法降低数据维度，减少计算复杂度。利用时间序列分析、频谱分析等方法提取数据的特征向量，为后续的诊断和预测提供基础。

2. 故障诊断与预测

利用机器学习算法，如支持向量机（SVM）、随机森林（RF）等，对采集到的数据进行训练，构建故障诊断模型，以识别设备当前的运行状态是否正常。通过深度学习模型，如卷积神经网络（CNN）、循环神经网络（RNN）等，对历史数据进行分析，学习设备故障的演变规律，实现对未来可能发生的故障的预测^[8]。使用交叉验证、混淆矩阵等方法评估模型的准确性和泛化能力。将新的故障数据反馈至模型中，不断优化和更新模型，提高

诊断和预测的准确性。

3. 维护决策与优化

基于故障诊断和预测的结果，确定是否需要触发维护操作。根据设备的运行状态和故障预测结果，制定最优的维护计划，包括维护时间、维护类型和资源分配。通过实际维护后的设备性能数据，评估维护效果，反馈至维护策略中，实现策略的持续优化。结合维护成本和设备运行效率，进行成本效益分析，优化维护策略，实现成本最小化和效率最大化。

（二）智能运维系统架构设计

智能运维系统架构设计是一个多层次、模块化的体系结构，旨在实现超临界机组的高效、稳定运行。以下是详细的设计方法：

感知层：部署先进的传感器和监测设备，如振动传感器、温度传感器等，实现对机组运行状态的实时感知。感知层负责数据的初步采集和预处理，如信号滤波和初步的特征提取^[9]。

数据层：构建数据存储和管理系统，采用大数据技术，如 Hadoop 和 Spark，进行数据的分布式存储和计算。数据层负责数据的清洗、整合和持久化，为上层分析提供数据支持。

分析层：采用数据挖掘和机器学习算法，如聚类、分类、回归等，对数据进行深入分析。分析层通过构建故障诊断和预测模型，提取数据中的有价值信息，为决策层提供依据。

决策层：利用优化算法和决策支持系统，如多目标优化、遗传算法等，制定维护策略和运维决策。决策层根据分析层的结果，生成运维指令，指导运维人员进行操作。

应用层：提供用户界面和应用程序，如 Web 应用、移动应用等，实现对运维人员的交互和运维流程的管理。应用层负责展示分析结果，提供运维决策支持和执行监控^[9]。

安全保障层：确保系统数据和运行的安全，采用加密、认证、访问控制等安全措施，保护系统的数据和运行不被未经授权的访问和破坏。

在实施过程中，采用微服务架构，将系统拆分为多个独立的服务模块，实现模块间的松耦合，提高系统的扩展性和可维护性。同时，利用容器化技术，如 Docker 和 Kubernetes，实现服务的自动化部署和管理。

（三）基于大数据的智能运维策略

采用数据仓库技术，如 Amazon Redshift 或 Google BigQuery，

实现不同数据源（包括历史运维数据、实时监控数据、外部环境数据等）的集成和统一管理。运用 ETL（提取、转换、加载）工具对原始数据进行清洗、转换和标准化，以提高数据质量和可用性。利用数据质量分析工具，如 Trifacta，进行数据质量评估和优化。运用特征工程技术，如主成分分析（PCA）、自动特征选择（Autoencoder）等，从原始数据中提取对故障预测有显著贡献的特征^[10]。采用分布式机器学习平台，如 Apache Spark MLlib，训练基于大数据的故障预测模型。使用交叉验证、AUC、召回率等指标对模型性能进行评估和优化。部署实时数据流处理框架，如 Apache Kafka 和 Apache Flink，对实时监控数据进行实时分析和处理，实现故障的实时检测和预警。结合历史数据和实时数据，运用预测分析算法，如时间序列分析、回归分析、分类算法等，对设备未来的故障趋势进行预测，并生成运维决策建议。使用数据可视化工具，如 Tableau 或 PowerBI，将分析结果以图形化方式展示，生成易于理解的报告，为运维团队提供直观的决策支持。

（四）基于物联网的智能运维策略

利用物联网技术，将超临界机组的各种设备连接至统一的网络平台，实现设备的远程监控和数据交互。在关键设备上安装高精度的智能传感器，实时采集温度、压力、振动等运行参数，并通过无线通信技术传输至集中管理平台。建立数据中心，采用云计算和边缘计算技术，对收集到的数据进行实时处理和分析，确保数据的快速响应和存储。应用机器学习和深度学习算法，对传感器数据进行实时分析，识别异常模式和潜在故障，实现故障的提前预警^[10]。通过物联网平台，实现对设备的远程维护和控制，如远程重启、参数调整等，减少现场维护的工作量。实施严格的数据加密和安全协议，确保传输和存储的数据安全，遵守相关隐私保护法规。开发用户友好的界面，提供实时监控数据、历史分析报告和运维建议，方便运维人员做出快速决策。

三、结语

本文通过对超临界机组设备故障预测方法的研究，以及智能运维策略的探讨，为提高机组运行效率和安全性提供了理论依据和技术支持。随着人工智能技术的不断发展，我们有理由相信，智能运维将在未来电力行业发挥更加重要的作用，为构建更加智能、高效的能源体系贡献力量。

参考文献

- [1] 蒲倩. 基于机器学习的超超临界 CFB 锅炉屏式过热器故障诊断研究 [D]. 贵州大学, 2023.
- [2] 阙子俊. 基于时序特征机器学习的火力发电机组故障预测 [D]. 浙江大学, 2022.
- [3] 邱英强, 吴京龙, 陈俊, 陈伟, 施德明. 基于机器学习算法的风电机组故障预测系统设计 [J]. 自动化与仪器仪表, 2021, (09): 190-193.
- [4] 张艳霞, 卢静怡, 张富贺, 毕安露. 基于临界故障时刻的换相失败预测方法 [J]. 电网技术, 2021, 45(10): 4066-4075.
- [5] 卢静怡. 基于临界故障时刻的高压直流输电系统换相失败预测方法研究 [D]. 天津大学, 2020.
- [6] 李灿. 大型发电机组励磁系统故障诊断及预测技术研究 [D]. 南京师范大学, 2020.
- [7] 郭裕清, 王言, 郭洪斌, 戈建新. 超临界汽轮机脱硫增压风机振动故障诊断 [J]. 电力安全技术, 2022, 24(08): 16-20.
- [8] 李勇. 某 1000MW 超超临界机组给水泵汽轮机振动故障分析与处理 [J]. 河南电力, 2022, (S1): 114-116.
- [9] 郑镇晖. 1000MW 超超临界机组集控技术的研究与应用 [J]. 电子测试, 2022, 36(10): 84-86+76.
- [10] 贺强, 姚虎冬, 赛家新, 高飞, 赵杰. 350MW 超临界汽轮机轴承振动故障分析及处理 [J]. 河北电力技术, 2021, 40(05): 55-58.

手持 GNSS 接收机精度改进的一种有效方法

张晨艳

宁夏建设职业技术学院, 宁夏 银川 750021

摘 要 : 手持 GNSS 以其携带方便操作简便的优点广泛应用林业、土地规划、土地整理等项目中, 但手持 GNSS 测量精度与 GNSS-RTK 测量精度相比精度非常低, 本文针对这一问题, 引入坐标转换的方法, 分别将手持 GNSS 与 GNSS-RTK 测量的坐标值当做两个不同的坐标系统中的坐标值, 求出这两个坐标系统之间的转换参数, 以此来改进手持 GNSS 的定位精度。

关 键 词 : 坐标转换; GNSS; 手持 GNSS; 精度评定

An Effective Method for Improving the Accuracy of Handheld GNSS Receivers

Zhang Chenyan

Ningxia Construction Vocational and Technical College, Yinchuan, Ningxia 750021

Abstract : Handheld GNSS receivers are widely used in forestry, land planning, land consolidation, and other projects due to their convenience and simplicity of operation. However, the measurement accuracy of handheld GNSS is relatively low compared to that of GNSS-RTK. To address this issue, this paper introduces a coordinate transformation method. Specifically, we treat the coordinate values measured by handheld GNSS and GNSS-RTK as belonging to two different coordinate systems. By determining the transformation parameters between these two systems, we aim to improve the positioning accuracy of handheld GNSS.

Keywords : coordinate transformation; GNSS; handheld GNSS; accuracy evaluation

引言

随着测绘科学技术的发展, 特别是 GNSS 技术的飞速发展, GNSS 技术已经广泛应用于国土监测、地质勘查、气象预报等各行各业中^[1]。在宁夏中北部土地开发整理重点工程项目工程量复核工作中手持 GNSS 与 GNSS-RTK 是两种常用的仪器, 在实际应用中我们发现: 手持 GNSS 体积小、携带方便、独立使用的卫星导航设备, 具有全天候、全方位、实时三维导航与定位能力的优点^[1], 缺点是定位精度较低^[3-4], 在观测条件恶劣的情况下精度不能够满足定位需求; GNSS RTK 测量技术具有实时快速地获取流动站点相对基准站的坐标和精度指标^[2], 实现测点在实测坐标系中的快速定位的优点^[3], 缺点是需要作业人员较多, 架设基准站处需要有专门人员进行看管。

为了改进手持 GNSS 的观测精度, 我们在校园中进行了实验活动。在校园四周的道路上分别用手持 GNSS 和 GNSS-RTK 采集 41 个公共点, 然后用利用其中 20 个公共点拟合坐标转换模型, 剩下 21 个点用作精度评定。

一、坐标转换模型

(一) 平面多项式模型^[7]

该模型的表达式为:

$$dX_i = Lx_0 + Lx_1U + Lx_2V + Lx_3U^2 + Lx_4V^2 + Lx_5UV \quad (1)$$

$$dY_i = Ly_0 + Ly_1U + Ly_2V + Ly_3U^2 + Ly_4V^2 + Ly_5UV \quad (2)$$

dX 为公共点 X 坐标分量差; dY 为公共点 Y 坐标分量差;

(X_k , Y_k , Z_k) 为参考点坐标或大地原点坐标; L_{X1} , L_{X2} , ... 为多

项式系数。

多项式函数本身具有适应各种变化的能力, 所以多项式转换方法一般用于误差分布不均匀的坐标系转换, 因为这些误差引起的坐标失真可近似通过 X、Y 坐标的多项式函数模拟, 并且多项式的阶次可按照失真的程度而定。该公式选择的是最简单的一般多项式函数。

(二) 四参数转换模型

设手持 GNSS 坐标系统与 RTK 坐标系统分别为 S 系与 R 系,

作者简介: 张晨艳 (1988-), 女, 宁夏建设职业技术学院讲师, 研究方向为无人机测绘技术、卫星大地测量及变形监测新方法。本论文依托于宁夏建设职业技术学院院级项目《工程测量竞赛团队》及《无人机专创融合》项目。

E-mail: 616396022@qq.com

公共点在两种坐标系下的坐标分别为 $(X_S, Y_S)_i$ 、 $(X_R, Y_R)_i$ ，四参数转换模型为^{[1][2][3]}：

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix}_R = m \begin{bmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha \\ -\sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix}_S + \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{bmatrix}$$

式中， $\begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix}_R$ 为点在 RTK 坐标系下的平面坐标， $\begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix}_S$ 为点在手持 GNSS 坐标系下的平面坐标， m 为两个坐标系下的转换参数， $\begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{bmatrix}$ 为两个坐标系之间的平移参数。

二、实验过程与结果分析

（一）实验过程

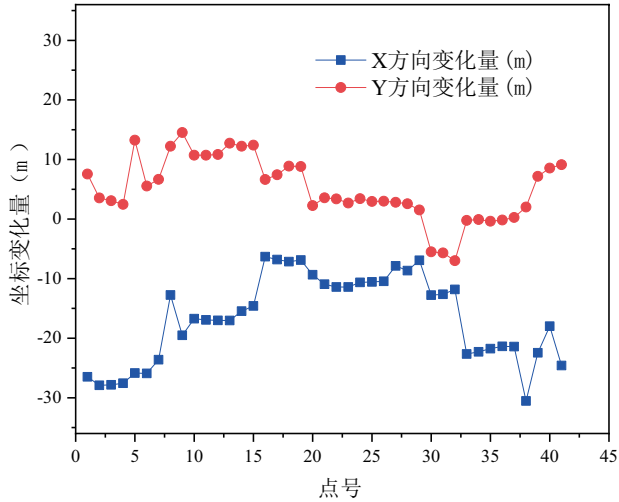
2021年3月，项目组成员在老师的带领下，拿上南方手持GNSS接收机（静态定位精度10m）和南方S86接收机（静态定位精度5mm）在学校四周的马路上选取了41个实验点。由于GNSS—RTK和手持GNSS测量同一点位的坐标相差不大，所以在建议坐标转换模型的时候极易引起坐标参数方程成病态方程，所以我们在选点的时候公共点的选取尽可能在整个学校选取。我们共选取41个点，每个点位均匀分布在学校各个区域内如图1所示。



> 图1：实验点位分布示意图

经过两天的实验，我们在学校区域内采集了41个公共点，对数据进行整理，将手持GNSS观测数据和GNSS—RTK公共点的观测数据求差，其结果如图2所示：

分析图2发现，手持GNSS接收机和GNSS—RTK在同一位置测量出的坐标相差还是比较大的，毕竟GNSS—RTK是采用差分定位的原理进行观测的，其定位精度远远优于单点定位原理的手持GNSS接收机。



> 图2 手持GNSS数据与GNSS—RTK数据比较

（二）实验结果分析

对41组数据依次进行1-41的编号，我们选取奇数编号的数据进行多项式坐标转化模型和四参数转换模型的建立，偶数编号的数据用来对模型进行精度评定，其结果如表1所示：

表1 两种模型误差结果表（节选）

点号	多项式模型		四参数转换模型	
	X方向误差	Y方向误差	X方向误差	Y方向误差
W2	0.0413	0.0098	0.0124	0.018
W4	0.1825	-0.101	0.0097	0.093
W8	0.028	0.0966	-0.011	0.111
W10	0.0225	-0.1079	0.0115	0.099
W12	0.1136	0.0898	0.001	-0.099
W14	-0.049	-0.1051	0.027	0.023
W16	0.077	0.0627	0.05	-0.044
W18	0.0108	0.103	-0.0063	-0.115
W20	-0.0179	-0.1556	-0.0026	-0.159
W22	-0.0992	0.0673	-0.0068	-0.077

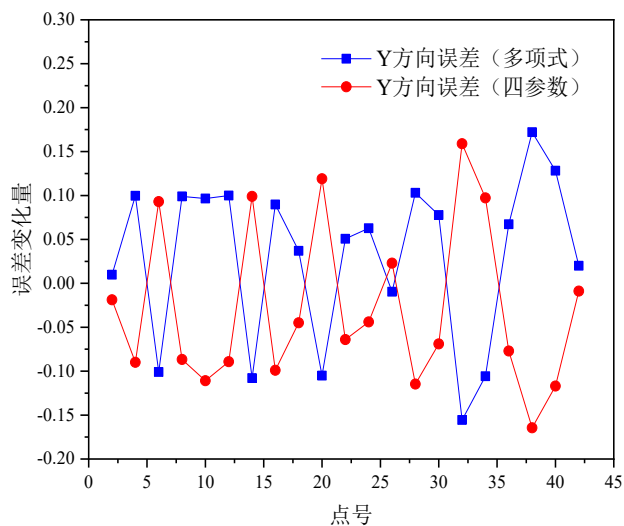
表1中列举出了利用平面多项式模型和四参数坐标转换模型改正之后的手持GNSS坐标值改正结果，分析表1可知，X方向的误差有以下特点：

（1）多项式模型误差在大多数在5cm以上，而四参数坐标转换模型误差在6cm以下；

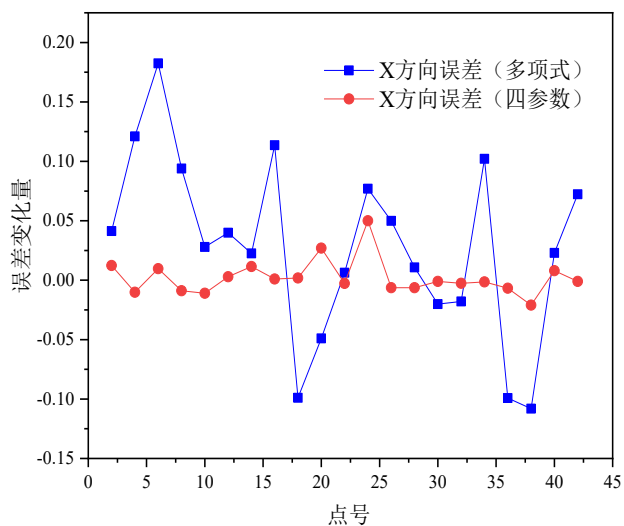
（2）平面多项式模型改正后的手持GNSS坐标值精度大多数要低于利用四参数转换模型改正后的坐标值^[10]。

Y方向的误差有以下特点：多项式模型大部分在6cm以上，四参数坐标转换模型在9cm以下，四参数模型在Y方向上优势不太明显，但从整体上看，Y方向的误差大多数小于多项式模型。

综上所述，四参数模型改进手持GNSS的效果明显优于多项式模型。



> 图3两种模型X方向的误差变化率



> 图4两种模型Y方向的误差变化量

图3和图4列出了两种坐标转换模型X方向与Y方向的误差的变化量,分析图3和图4可知,X方向平面多项式坐标转换模型的误差大于四参数转换模型的误差,Y方向四参数模型误差大多数是小于多项式模型的,从另一个方向可以说明四参数模型精度更高,稳定性更好,在今后的工程应用中可以考虑采用四参数模型来改进手持GNSS的精度^[6]。

三、结论

在我院所布设的手持GNSS碎部点,采用平面多项式坐标转换模型和四参数转换模型分别对手持GNSS坐标结果进行坐标转换^[8-10],分析解算结果可知:转换后的手持GNSS坐标精度到达厘米级的精度,其结果完全可以用在大比例尺地形图测绘中。因此,在实际的工程应用中我们完全可以采用经济实惠的手持GNSS接收机采集精度较低的坐标值,然后采用相应的坐标转换方法对所采集的坐标值进行坐标转化,得到高精度的坐标值,从而可以高效率的完成相关工作,得到高质量的坐标数据。

参考文献

- [1]Chris Rizos. Alternatives to current GNSS-RTK services and some implications for CORS infrastructure and operations [J]. GNSS Solution(2007)11:151-158.
- [2]刘述敏,丁志江,常和平,刘涛. 手持GNSS定位精度及其在物化探测网布设中的应用[J]. 物探与化探, 2005,29(6):545-547.
- [3]邵贺,张小红,张明,陈远,叶聪云. GPS单频精密单点定位方法与实践[J]. 测绘信息与工程, 2008,33(3):1-3.1409-1413.
- [4]孟祥广,郭际明. GPS/GLONASS及其组合精密单点定位研究[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2010,35(12):1409-1413.DOI:10.13203/j.whugis2010.12.005.
- [5]冉峰,赵浩阳,叶飞,沈俊佑,许海军. 基于GNSS-RTK定位的无人机L波段探空系统标定方法[J]. 气象研究与应用, 2024,45(02):102-106.
- [6]黑志坚,周秋生. 曲建光,陈军. GNSS RTK测量成果的精度估计及应用探讨[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2006,38(8).
- [7]程祥,张凤录,贾光辉. 成果资料坐标转换方法的研究[J]. 测绘通报, 2013,3:5.
- [8]张蒙,徐益峰. 地理空间数据坐标转换研究与应用[J]. 城市勘测, 2023(06):108-112.
- [9]高闪闪. 基于公共点平均坐标平移量的四参数转换[J]. 低温建筑技术, 2023,45(10):124-127.
- [10]田正华,田倩,马仕柱,刘跃成. 四参数模型在线路工程中的应用[J]. 房地产世界, 2023(08):38-41.

陆上风力发电机基础疲劳损伤全过程分析

林旭亮¹, 张元海², 程才淑¹, 颜鸿民¹

1. 暨南大学, 广东 广州 510632

2. 东南粤水电投资有限公司, 海南 海口 570100

摘 要 : 本文旨在研究陆上风力发电机基础的疲劳损伤演化全过程。首先, 引入了一种基于竞争机制的混凝土疲劳损伤本构模型, 以准确反映混凝土基础的疲劳特征。在此基础上, 通过将本构模型与基于循环跳跃的疲劳加速算法相结合, 提出了一种高效稳健的风力发电机基础疲劳损伤全过程分析方法。最后, 以广东乳源风电场中一台2.0MW 陆上风力发电机基础为例, 进行了风力发电机基础疲劳全过程分析, 获得了风力发电机基础在全寿命期间的疲劳损伤演化规律。研究结果证实, 本文提出的方法在工程应用中具有较高的实用性和指导价值。

关 键 词 : 陆上风力发电机; 基础; 疲劳损伤; 本构模型

Analysis of the Whole Process of Foundation Fatigue Damage of Onshore Wind Turbine

Lin Xuliang¹, Zhang Yuanhai², Cheng Caishu¹, Yan Hongmin¹

1. Jinan University, Guangzhou, Guangdong 510632

2. Southeast Guangdong Hydropower Investment Co., Ltd. Haikou, Hainan 570100

Abstract : This paper aims to study the whole process of fatigue damage evolution of onshore wind turbine base. First, a constitutive model based on competition mechanism is introduced to accurately reflect the fatigue characteristics of concrete foundation. On this basis, an efficient and robust analysis method of wind turbine base fatigue damage is proposed. Finally, taking a 2.0MW onshore wind turbine foundation in Guangdong Ruyuan Wind Farm as an example, the whole process of wind turbine foundation fatigue is analyzed, and the evolution law of fatigue and damage of wind turbine foundation during the whole life is obtained. The results confirm that the proposed method has high utility and guiding value in engineering applications.

Keywords : onshore wind turbine; foundation; fatigue damage; constitutive model

引言

混凝土基础是陆上风力发电机最常用的基础形式。然而, 由于风力发电机运行期间风引起的疲劳载荷, 混凝土基础容易受到长期循环载荷的疲劳损伤, 这影响了风力发电机的使用寿命。在严重的情况下, 甚至可能导致整个风力发电机结构的倒塌, 造成巨大的经济损失。因此, 准确高效地分析陆上风力发电机基础在疲劳载荷下的疲劳损伤及其演变过程, 具有重要的理论意义和工程价值。

目前, 许多学者已经对风力发电机基础结构进行了研究。周新刚和孔会^[1]使用有限元方法分析了风力发电机基础在正常和极端载荷下的压力特性, 确定了基础故障的主要原因。Bisoi 和 Haldar^[2]使用风和波浪载荷下的有限元模型进行计算和分析, 发现混凝土基础裂缝的主要影响因素是疲劳载荷。霍涛^[3]基于气象站数据, 研究了风速和方向对风力发电机疲劳寿命的影响。李炜等^[4]进行了海上风力发电机基础的有限元模拟, 并基于线性累积损伤理论, 研究了不同疲劳载荷下海上风力发电机基础的损伤程度。汪宏伟^[5]讨论了使用混凝土环梁加固风力发电机基础的可行性。Velarde 等^[6]研究了基于重力的风力发电机基础对疲劳载荷的敏感性。结果表明, 风力发电机基础的疲劳载荷对环境输入的不确定性更为敏感。

尽管国内外学者对风力发电机基础进行了相当多的理论分析, 但建立精细模型并进行全面的疲劳损伤过程分析的研究却相对缺乏。实际上, 要实现对混凝土结构整个疲劳过程的精细分析, 识别结构的真实疲劳损伤状态和分布, 并准确预测结构的疲劳破坏模式, 通常需要一个科学的混凝土疲劳损伤本构模型作为理论基础。此外, 对于中高周循环疲劳问题, 失效通常对应于从几百万到几十亿的载荷循环, 这需要大量的计算资源。一般来说, 对于荷载循环超过几百万次的结构实例, 分析时间通常需要数月。这也使得分析结果不适用于指导实际工程。因此, 为了实现对结构整个疲劳过程的精细分析, 除了隐式计算外, 还需要引入适当的外部加速算法进行调节, 以实现加速计算。

为了解决上述关于混凝土疲劳损伤本构模型选择和疲劳计算时间过长的问题, 本文将构建一个合理的混凝土基础疲劳损伤全过程的分析框架, 以反映风力发电机基础的整个疲劳损伤和破坏过程。

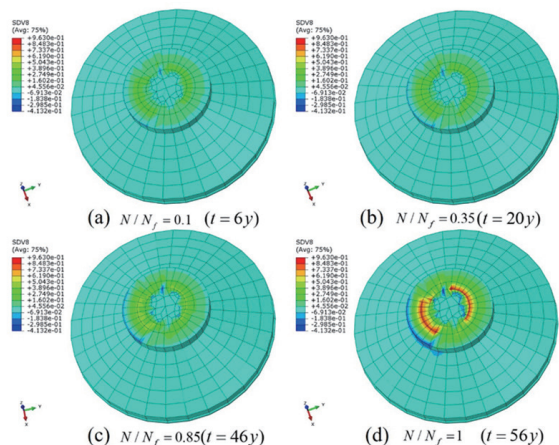
下,结构的破坏通常不是由单一材料元素的破坏引起的。因此,本文引入了损伤集中带的概念。混凝土基础的疲劳破坏标准定义如下:如果损伤集中带内的平均疲劳损伤超过疲劳破坏阈值,则结构发生疲劳破坏;否则,结构仍处于安全状态,表达如下:

$$S(t) = D_m^- - D_{ED}^-(t) \begin{cases} \geq 0, & \text{if structure is safe} \\ < 0, & \text{if structure fails} \end{cases} \quad (3)$$

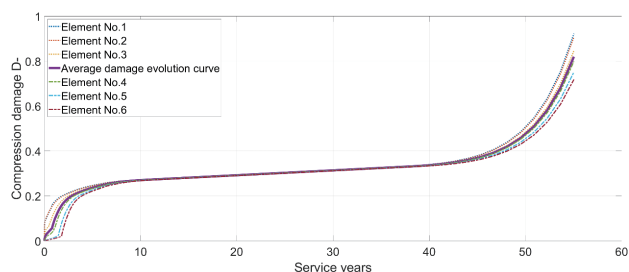
其中, D_{ED}^- 是损伤集中带内的平均疲劳损伤; D_m^- 是疲劳损伤破坏阈值。

根据上述分析过程,得到了风力发电机基础的疲劳损伤演化结果。不同使用年限下风力发电机基础的疲劳损伤结果如图3所示。图中,“SDV8”表示基础的受压损伤状态,而 N 和 N_f 分别代表荷载循环次数和疲劳寿命。分析结果显示,本次分析中基础的疲劳寿命 N_f 为1985560000,对应于56年的服役时间。从图3可以看出,基础的损伤集中带是靠近锚栓笼的混凝土区域。图4为随服役年限的损伤演化曲线,该图显示了损伤集中带内六个典型混凝土单元的疲劳损伤演变曲线和这六条曲线的平均曲线。结合图3和图4,风力发电机基础的疲劳损伤发展过程可以描述如下:

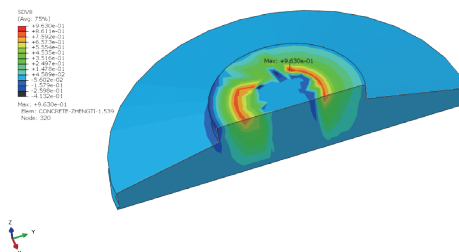
- (1) 在从开始到大约6年的服役期间 ($N=180000000$), 基础中的疲劳损伤迅速发展, 损伤集中带的平均损伤 D_{ED}^- 从0增加到0.23;
- (2) 随后, 基础的疲劳进入稳定发展阶段, 在大约40年后 ($N=1700000000$), 损伤集中带的平均损伤 D_{ED}^- 增加至0.4;
- (3) 此后, 基础的疲劳损伤开始快速增加, 仅10年后 ($N=1985560000$), 损伤集中带的平均损伤 D_{ED}^- 达到损伤阈值 $D_m^- = 0.85$, 导致疲劳破坏。当基础发生疲劳破坏时, 其剖面的受压损伤云图如图5所示。



> 图3 风力发电机基础的受压损伤演化图



> 图4 受压损伤演化曲线



> 图5 风机基础剖面的受压损伤云图

三、结论

本文提出了一种陆上风力发电机基础的疲劳损伤全过程分析方法,以准确高效地评估风力发电机基础在疲劳荷载下的疲劳损伤。通过研究,观察到风机基础的损伤扩展过程通常从内部开始,并逐渐向外显现,这一趋势在基础投入使用的初期几年尤为明显,随后进入一个相对稳定的损伤累积阶段。特别值得注意的是,风机基础的疲劳损伤集中区域通常位于锚栓笼附近的混凝土区域。总体而言,本研究采用的分析方法能够准确捕捉风力发电机基础在疲劳荷载作用下锚栓笼周围损伤累积的全过程,为风力发电机基础的全生命周期疲劳分析提供了参考,从而为风力发电机基础的设计和维护提供了重要的工程指导。

参考文献

- [1] 周新刚, 孔会. 某风机钢筋混凝土基础破坏实例及有限元分析 [J]. 中国电力, 2014, 47(02): 116-119.
- [2] S. Bisoi, S. Haldar. Dynamic analysis of offshore wind turbine in clay considering soil - monopile - tower interaction [J]. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 2014, 63: 19-35.
- [3] 霍涛. 风速风向对风机塔筒结构动力响应和疲劳寿命的影响 [J]. 建筑结构, 2020, 50(18): 8.
- [4] 李炜, 李华军, 郑永明, 等. 海上风电基础结构疲劳寿命分析 [J]. 水利水电工程学报, 2011, 3: 70-76.
- [5] 汪宏伟. 采用环梁加固风机基础的有限元分析 [J]. 可再生能源, 2016, 34(04): 558-562.
- [6] J. Velarde, C. Kramhøft, J.D. Sørensen. Global sensitivity analysis of offshore wind turbine foundation fatigue loads [J]. Renewable Energy, 2019, 140: 177-189.
- [7] J. Liang, X. Ren, J. Li. A competitive mechanism driven damage-plasticity model for fatigue behavior of concrete [J]. International Journal of Damage Mechanics, 2016, 25: 377-399.
- [8] J. Wu, J. Li, R. Faria. An energy release rate-based plastic-damage model for concrete [J]. International Journal of Solids and Structures, 2006, 43: 583-612.
- [9] J.Y. Cognard, P. Ladevèze. A large time increment approach for cyclic viscoplasticity [J]. International Journal of Plasticity, 1993, 9: 141-157.
- [10] J. Liang, Z. Ding, J. Li. Analytical method for fatigue process of concrete structures [J]. Journal of Building Structures, 2017, 38: 149-157.

化工自动化仪表检修与维护措施研究

赵鲁强

粤海（番禺）石油化工储运开发有限公司，广东 广州 511466

摘 要： 在当前工业发展的背景下，本文首先对仪表自动化设备进行全面概述，深入剖析其运作机制、功能特性以及在实际应用中的关键作用，并针对化工自动化仪表的常见故障进行系统分析，如源于设备老化、操作不当或环境因素等。基于分析，提出一系列针对性的化工仪表维护与故障检修策略，旨在提高设备的可靠性和稳定性，延长其使用寿命。为进一步验证这些策略的有效性和实用性，通过引入实际案例，详细阐述了在特定化工生产环境中，如何运用这些策略对自动化仪表进行检修与维护。

关 键 词： 化工自动化；仪表检测；维护措施

Research on Maintenance and Repair Measures of Chemical Automation Instruments

Zhao Luqiang

Guangdong Yuehai (Panyu) Petrochemical Storage and Transportation Development Co., Ltd. Guangzhou, Guangdong 511466

Abstract： In the context of current industrial development, this article first provides a comprehensive overview of instrumentation automation equipment, deeply analyzes its operating mechanism, functional characteristics, and key role in practical applications. It also conducts a systematic analysis of common faults in chemical automation instrumentation, which may originate from equipment aging, improper operation, or environmental factors. Based on the analysis, a series of targeted maintenance and troubleshooting strategies for chemical instrumentation are proposed, aiming to improve the reliability and stability of the equipment and extend its service life. To further verify the effectiveness and practicality of these strategies, this article introduces actual cases to elaborate on how to apply these strategies to repair and maintain automated instrumentation in a specific chemical production environment.

Keywords： chemical automation; instrument detection; maintenance measures

引言

在改革持续深化的背景下，我国经济状况与经济结构均发生了显著变化。化工生产在此过程中也经历了体制上的转型，不仅成为了其他产业的关键基础原料，还成为了推动发展、增加财税收入的重要经济支柱^[1]。因此，在新的时代背景下，应高度重视对化工自动化的研究与探讨，深入了解化工自动化仪表，准确识别其故障产生的根本原因及具体表现。基于此，建立一套完善的化工自动化仪表维修与维护体系至关重要。通过及时排查并消除化工自动化设备中的各类隐患与故障，能够确保设备的长期、安全运行，从而为化工自动化的整体发展提供坚实支撑。

一、仪表自动化深度解析

（一）概述

自动化仪表，作为集自动化技术于一体的关键装置，在工业生产领域中扮演着至关重要的角色。其依据预设的工业生产流程，通过自动化技术实现对被生产对象的精准检测、有效控制、清晰显示及深入分析。在工业生产实践中，合理应用自动化仪表能够显著提升劳动生产率，推动工业向科技化、信息化方向稳步发展，同时，该设备能够全面监控各制造企业的生产过程，为提

升产品质量奠定坚实基础。

（二）运作机制

在仪表自动控制技术的应用中，信息的采集、处理及应用为其核心环节，能够准确反映企业或生产线的实际状况，有助于及时发现并解决生产过程中存在的问题。当前，信息系统在仪表自动化设备中的重要性愈发凸显。借助信息化手段，企业能够对每个生产环节进行精准判断与有效控制，信息技术的运用旨在满足企业生产需求、实现设备目标等，通过集中采集与处理数据，显著提高了数据资源的利用率，对于提升仪表自动化设备的运行效率具有至关重要的作用。

（三）功能特性

1. 编程功能

在自动化仪表的应用中，计算机程序设计技术发挥着关键作用。通过采用可编程的软件，仪表的控制模式能够灵活切换，实现从程序控制向存储控制的转变，该编程功能简化了化工仪表的硬件结构，增强了其灵活性和适应性^[2]。

2. 精确计算功能

微型计算机在化工仪表中的有效应用，使得仪表能够通过程序编写自动进行数据的精确计算和处理。这种计算方式高效且准确，能够全面提升企业的生产能力，确保生产过程的稳定性和可靠性。

3. 数据记忆功能

通过在化工自动化仪表中安装计算机存储器，实现了对生产信息、算法及程序的有效存储。根据生产需求，企业可以随时调用存储的信息数据，为生产过程的灵活调整和优化提供了有力支持，增强了仪表的智能化水平，提高了生产效率和灵活性。

二、化工自动化仪表常见故障分析

（一）压力检测仪表的常见故障

压力检测仪表在系统中常见的故障主要分为两类。第一类故障源于压力控制系统的不稳定性，导致后续测量数据难以获得精确值，该问题的根源在于施工过程中的安装存在显著问题，以及生产过程中未严格遵守规范的操作规程。第二类故障表现为在压力控制系统中形成死区，即测量压力不随环境变化而改变，这可能导致严重的安全问题。化工企业属于高风险行业，压力仪表作为重要设备设施的重要组成部分，其死区的形成可能是由于设备内部堵塞或过程介质冻结，若不及时解决，将严重影响设备的正常运行。

（二）温度检测仪表的常见故障

温度检测仪表与压力检测仪表在功能上均用于监测，但监测对象不同。温度检测仪表主要用于监测温度情况。目前，温度检测仪表存在的故障问题主要包括两方面。一方面是测温仪器的读数不准确，仪器本身的结构设计存在问题，因此设计者在设计时应更加关注结构原理^[3]。另一方面，读数也会受到外部环境及介质变化的影响，如天气、工艺操作等复杂外部因素，在一定程度上影响温度检测仪器的准确性。第二方面是在实际运行中，温度测量仪器存在波动现象，可能是由于仪器的安装不合理，或者仪器本身存在系统故障，导致仪器产生较大的波动。

（三）流量检测仪表的常见故障

流量检测仪表用于监测流体在管道中的流量，其常见故障同样不容忽视。一方面，流量仪表可能出现读数不稳定或误差较大的问题，通常是由于仪表的安装位置不当、流体介质的特性变化（如密度、粘度等）、或者是仪表内部的传感器受损所致。此外，如果仪表的校准和维护工作未得到及时有效的执行，也可能导致读数不准确。另一方面，流量仪表还可能出现故障报警或显示异常的情况，是由于仪表的控制系统出现逻辑错误、传感器信号传输异常、或者是仪表电源供电不稳定等因素所致，若不及时处理，可能会影响生产过程的稳定性和安全性。

三、化工仪表维护与故障检修的策略

（一）仪表检修流程

1. 基础检测

基础检测是对自动化仪表进行全面基础检查，涵盖外观细节（如接线、元件分布）的仔细检查，以防接触不良等隐患；通过观察判断仪表是否有损坏现象，一旦发现立即更换；向现场操作者了解仪表工作状态，并据此进一步评估；使用接触式温度计检测工作温度，以防过热损害，发现问题立即维修。

2. 信号测试

信号测试深入评估自动化仪表在化工过程中的性能，能精确快速定位故障。维修技术人员使用过程校验仪、万用表等手操工具根据仪表工作状态进行检测，能准确识别并定位故障。过程校验仪在例行维修中精度高，能针对不同故障类型给出相应信号。随着DCS在化工企业的应用，为简化测试并提高精度，将不同功能的仪表分离。

3. 替换检测法

替换检测法广泛用于化工设备芯片和电路板维修，通过替换同型号仪表逐一排查故障点。若替换后生产恢复正常，则集中检测原故障仪表，尽快找出原因维修。替换时需确保正确操作，避免重复工作。

（二）自动化仪表维护

1. 合理巡视与记录

为确保自动化仪表的稳定运行，需对其进行合理的巡视。每日应安排1至2次的巡视频次，并在巡视前明确检查内容，维护人员需严格按照安全检查的标准执行，以有效检测仪表存在的问题^[4]。化工企业应根据自身生产状况划分巡视区域，维护人员在巡视过程中需深入了解本岗位自动化设备的状态，并对巡视情况进行详细记录。通过例行巡视，可降低自动化仪表的突发故障风险，保障其安全稳定运行，从而提升化工自动化生产中仪器的工作质量和效率。

2. 强化排查与校准管理

为确保过程控制的安全，需加强对自动化仪表的排查和校准管理。主要措施包括：确保各仪表运行正常，定期校准，消除仪表间的偏差；在调整仪表时，需切断联锁，待调试完毕后再重新投用；加强对自动化仪表的防护，防止其受到腐蚀、高温等不良影响，以避免安全事故的发生，保障人身和财产安全。这些措施不仅可确保自动仪表的工作精度和可靠性，还可为化学生产创造良好的环境。

3. 大范围维修与注意事项

在进行大范围维修时，需对自动化仪表进行适当的拆卸，并确保能够重新安装到原位，以防止二次损坏，确保生产的正常进行。在日常维修过程中，需注意以下几点：

要制定维修计划，在处理仪表故障问题时，应使用绝缘工具，以防止对元件造成损伤，导致变形，进而增大接触不良面积；应采取防静电措施，最大程度地消除维修过程中产生的静电干扰，确保维修工作的顺利进行。

四、案例分析

（一）案例概述

某化工生产线若干个子系统工作时通过冷却循环水进行大量换热降温，日常操作通过人工巡视进行设备监控。该生产线运行过程中，冷却循环水系统故障发生时，人工操作不及时已造成下游须降温设备的温控异常，极易导致下游子系统核心设备的升温损坏，通过对原有冷却循环水系统现状及自动化控制的研究，进行智能控制改造升级，达到数据可视化、设备功能切换及时的目的。

（二）案例现状

表1 冷却循环水系统控制现状分析

设备名称	数量	功能	备注
循环水泵 单向阀	7个	避免其他水路管网的水流量影响 该路管网的水流状况	手动控制单向 阀启闭
压力仪表	7个	与控制柜连接，控制柜报警指示	控制柜与水泵 在同一现场 需要手动定时 补水进行补水
控制柜	7路	对各个水路管网进行启动、停止 并显示运行状态和故障	
循环水池	500 m ³	为循环水系统提供水源，冷却塔 不断消耗水	

1. 问题响应滞后性

当前，冷却循环水泵的控制采用开环模式，依赖于操作人员现场检查，通过观察出水压力、手动检测电机晃动与发热情况、以及听觉判断异常声音等手段来监控其工作状态。然而，由于每位操作人员需同时管理三个生产系统，无法实现对水泵电动机状态的实时监控。因此，一旦水泵发生故障，操作人员难以及时准确地识别并定位故障点，导致响应滞后。

2. 故障处理效率低下

在冷却水循环系统中，若某台水泵因故障停机，值班人员通常依据间接装置温升报警信号判断水泵问题，并迅速前往泵站进行切换操作。但由于操作员监控地点与水泵室距离较远，当发生突发事件（如水泵跳闸停机）时，往往是在下游水温上升并触发报警后，才能意识到冷却循环水系统出现故障。这导致操作员难以在故障初期迅速到达现场处理，进而引发后续系统（如需要持续降温的设备）的高温连锁反应，降低了故障处理效率，严重时甚至可能导致整条生产线停产。

3. 不确定因素导致的补水管理问题

循环水系统拥有一个500平方米的水库，其补水操作依赖于人工定时开启补水阀门。然而，由于冬夏两季气温差异，各水池的用水量及补水需求各不相同。这种手工操作方式易受其他因素影响，存在较大的随意性。例如，在操作人员忙于监测生产线其他设备维修或操作时，可能会忘记在补水阀打开后及时关闭，导致水池水溢出，造成水资源浪费；反之，若补水不及时，则可能引起系统温度升高，影响系统稳定运行。

（三）仪表维护与故障检修的策略

1. 实现智能化监控与自动化控制

针对人工操作存在的监控处理不及时、人为误差大等问题，

应对冷却循环水系统进行智能化改造，实现数据可视化与自动化控制。通过安装传感器和智能仪表，实时监测水泵的运行状态、出水压力、电机温度等关键参数，并将数据上传至中央控制室^[9]。同时，采用闭环控制方案来替代原有的纯人工操作方式，实现冷却循环水系统的实时监控、远程指令启停、故障报警、自动切换控制、自动补水以及数据趋势记录等功能。^[6-8]

2. 建立完善的故障预警与应急处理机制

为提高故障处理效率，建立完善的故障预警与应急处理机制。通过数据分析，识别潜在故障模式，设置预警阈值，一旦监测到异常数据，立即触发预警信号，并自动通知相关人员进行处理。此外，应制定详细的应急预案，明确故障处理流程和责任分工，确保在故障发生时能够迅速响应，及时切换备用设备，避免故障扩大化，保障生产线的稳定运行。^[9]

3. 优化补水管理与控制系统

针对补水管理存在的问题，优化补水管理与控制系统。首先，根据循环水系统的实际需求，制定合理的补水计划和补水策略，确保各水池的用水量及补水需求得到满足。其次，采用自动化补水控制系统，根据水位传感器实时监测的数据，自动调节补水阀门的开度，实现精准补水。同时，应加强对补水系统的日常维护和检修，确保补水阀门、传感器等设备的正常运行，避免因设备故障导致的水资源浪费或系统温度升高等问题。^[10]

五、结束语

综上所述，随着化工生产自动化水平的日益提升，自动化仪器的种类愈发繁多，应用范围也日益广泛。因此，对自动化仪表的维修与维护工作必须给予充分重视，需要采取科学合理的维修方式，并不断提升维修人员的专业技能，以确保自动化仪表故障能够得到及时有效的处理。只有这样，才能保障自动化仪表的安全平稳运行，进而为化工行业的安全生产提供有力保障。

参考文献

- [1] 刘春庚. 化工自动化仪表的检修与维护措施探讨[J]. 科技创新与应用, 2019, (32): 152.
- [2] 宋立超. 化工自动化仪表检修与维护措施分析[J]. 中国科技期刊数据库 工业 A, 2023(4): 3.
- [3] 张久红, 郑伽寅. 化工自动化仪表的检修与维护措施[J]. 城市情报, 2023(6): 0088-0090.
- [4] 解西钢. 化工自动化仪表的检修与维护措施探讨[J]. 化工中间体, 2021, 000(005): 11-12.
- [5] 巩金鑫. 化工自动化仪表的检修与维护措施探讨[J]. 工业 C, 2020(94): 0150-0150.
- [6] 杜艳伦, 朱自江. 化工自动化仪表的检修与维护防范分析[J]. 企业技术开发, 2020, 34 (27): 99-100.
- [7] 王飞, 王闯. 浅谈化工自动化仪表的检修和维护[J]. 化工设计通讯, 2020, (05): 113+142.
- [8] 袁彦彬. 有关化工自动化仪表的检修及其维护分析探究[J]. 科技创新导报, 2019, (31): 210.
- [9] 周海涛. 化工自动化仪表的检修与维护措施探讨[J] 化工管理. 2017 (024).
- [10] 薄志永. 化工自动化仪表的检修与维护措施探讨[J] 数字化用户. 2017 (023).

矩阵初等变换的一些探讨与教学体会

姜德烁

百色学院 数理科学与统计学院, 广西 百色 533000

摘 要 : 在日常课程教学的基础上, 结合具体实例对矩阵的初等变换在逆矩阵求解、向量组理论、线性方程组与特征向量求解、矩阵对角化及求方阵幂等线性代数问题中的应用进行了较为详细的分析与阐述, 给出了教学中的一些心得体会, 以便初涉该课程的读者对此有一个较好的了解与认识, 藉此更好地学习和掌握线性代数这门课程。从课程思政角度探讨了初等变换在信息编码、保密计算等现代科学问题中的应用, 以便为课堂教学提供一些可供参考的素材。

关 键 词 : 初等变换; 逆矩阵; 向量组的秩; 线性方程组; 特征向量; 信息编码; 保密计算

Some Discussion and Teaching Experience of Elementary Transformation of Matrix

Jiang Desuo

School of Mathematical Science and Statistics, Baise University, Baise, Guangxi 533000

Abstract : On the basis of daily course teaching, combined with concrete examples, the application of elementary transformation of matrix in inverse matrix solving, vector group theory, linear equations and eigenvector solving, matrix diagonalization and linear algebra problems such as idempotent square matrix are analyzed and expounded in detail, and some teaching experiences are given. In order to have a better understanding and understanding of this course readers, so as to better learn and master the course of linear algebra. In order to provide some reference materials for classroom teaching, this paper discusses the application of elementary transformation in information coding, confidential computing and other modern scientific problems from the perspective of curriculum ideology and politics.

Keywords : elementary transformation; inverse matrix; the rank of a vector set; linear equations; eigenvectors; information coding; security calculation

矩阵的初等变换是线性代数课程中一个重要的内容。虽然概念本身较为简单, 但应用却非常广泛, 涉及到线性代数课程中的大多数知识点。对该部分内容做一个较为系统的梳理与总结, 并融入到平时的教学中, 相信会起到很好的促进作用, 同时也能让学生深刻认识到知识间的密切联系, 并极大激发其学习的兴趣和动力。本文, 我们从逆矩阵求解、向量组理论、线性方程组与特征向量求解、矩阵对角化等方面对初等变换的应用进行了较为详细的归纳探讨, 给出了教学中的一些心得体会。最后, 考察了初等变换在信息编码、保密计算等现代科学问题中的应用。

一、相关概念

设 A 为 $m \times n$ 型矩阵。本文中, 我们采用如下表述方式: r_i 表示矩阵的行, 即第 i 行; c_j 表示矩阵的列, 即第 j 行。同时用 E 表示单位矩阵。

(一) 初等变换

矩阵的初等变换有初等行变换和初等列变换之分。初等行变换有如下三种情形^[1,2]:

(1) 交换矩阵中两行 (如第 i 行和第 j 行交换, 则记为 $r_i \leftrightarrow r_j$);

(2) 矩阵的某一行乘以一个不为 0 的常数 k (如 kr_i 表示第 i 行中的每个元素都乘以 k);

(3) 矩阵中的某一行乘以一个不为 0 的常数加到矩阵的另一

行 (如 $r_j + kr_i$ 表示第 i 行中的每个元素都乘以 k 加到第 j 行的对应元素上)。

类似地, 初等列变换也有三种情形。

(二) 行阶梯形矩阵与行最简形矩阵

若非零矩阵 A 满足条件:

(1) 非零行在零行的上面;

(2) 非零行的首元 (即该行第一个不为 0 的元素) 所在列在上一行 (如果存在的话) 首元所在列的右面,

则称矩阵 A 为行阶梯形矩阵^[1]。

进一步, 若行阶梯形矩阵还满足如下条件:

(1) 非零行首元为 1;

(2) 首元所在列的其它元均为 0,

则称该矩阵为行最简形矩阵^[1]。

基金项目: 百色学院 2023 年校级教学改革工程项目 (2023JG70)。

二、在线性代数课程中的应用

(一) 逆矩阵求解

若矩阵 A 可逆, 则可利用初等行变换求出其逆矩阵。首先, 作一新的矩阵 $(A:E)$, 对其作初等行变换, 使得左边的矩阵 A 化为单位矩阵 E , 则右边的那块即为 A 的逆矩阵^[2]。如下图所示

$$(A:E) \xrightarrow{\text{初等行变换}} (E:A^{-1})。$$

例1 求矩阵 $A = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 2 & -1 \end{pmatrix}$ 的逆矩阵。

解 对矩阵 $(A:E)$ 施行初等行变换, 使得左边矩阵 A 化为单位矩阵 E , 如下

$$\begin{aligned} (A:E) &= \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ -1 & 2 & -1 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \xrightarrow{\substack{r_2+r_1 \\ r_3+r_1}} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 3 & -1 & 1 & 0 & 1 \end{pmatrix} \\ &\xrightarrow{r_3-3r_2} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -4 & -2 & -3 & 1 \end{pmatrix} \xrightarrow{r_3 \times (-\frac{1}{4})} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1/2 & 3/4 & -1/4 \end{pmatrix} \\ &\xrightarrow{r_2-r_3} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1/2 & 1/4 & 1/4 \\ 0 & 0 & 1 & 1/2 & 3/4 & -1/4 \end{pmatrix} \\ &\xrightarrow{r_1-r_2} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 1/2 & -1/4 & -1/4 \\ 0 & 1 & 0 & 1/2 & 1/4 & 1/4 \\ 0 & 0 & 1 & 1/2 & 3/4 & -1/4 \end{pmatrix} \end{aligned}$$

故 A 的逆矩阵为

$$A^{-1} = \begin{pmatrix} 1/2 & -1/4 & -1/4 \\ 1/2 & 1/4 & 1/4 \\ 1/2 & 3/4 & -1/4 \end{pmatrix}。$$

与其它方法的比较 当矩阵的阶数不太高时, 也可以利用伴随矩阵来求其逆矩阵 (当矩阵可逆时)。但若矩阵的阶数比较高 (大于或等于3时), 则伴随矩阵中各代数余子式的阶数也比较高, 计算起来其实是相当麻烦的 (如 n 阶矩阵, 它的每一元素都对应一代数余子式, 因此共有 n^2 个, 而每一个代数余子式中行列式的阶数都为 $n-1$, 全部计算出来需花费相当多时间), 因此这种方法也就不太实用, 而如果利用初等变换的方法, 则可以很容易地求出矩阵的逆矩阵。

(二) 在向量组理论中的应用

利用初等行变换, 可以求矩阵的秩, 进而可以求向量组的秩。由于等价矩阵的秩是相等的, 我们可以先利用初等行变换把矩阵化为与其等价的行阶梯形矩阵 (或行最简形矩阵), 则这两个矩阵的秩是相等的。由于行阶梯形矩阵的秩即为其中非零行的行数^[1,2], 故原矩阵的秩也为非零行的行数。如,

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 \\ -1 & 0 & 2 \\ 2 & 1 & 3 \end{pmatrix} \xrightarrow{\substack{r_2+r_1 \\ r_3-2r_1}} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 2 \\ 0 & -1 & 3 \end{pmatrix} \xrightarrow{r_3+r_2} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 2 \\ 0 & 0 & 5 \end{pmatrix}。$$

上例中, 矩阵 A 经过两次初等行变换之后化为行阶梯形矩阵, 其中非零行的行数为3, 故原矩阵的秩也为3。

设有 n 维向量组 $\vec{\alpha}_1, \vec{\alpha}_2, \dots, \vec{\alpha}_s$, 把每个向量的分量按列写出来, 则作成 $n \times s$ 型矩阵。对该矩阵作初等行变换, 化为行

阶梯形矩阵, 其中非零行的行数即为该矩阵的秩。由于矩阵的秩也为其列向量组的秩, 由此得到向量组 $\vec{\alpha}_1, \vec{\alpha}_2, \dots, \vec{\alpha}_s$ 的秩。

例2 已知向量 $\vec{\alpha}_1 = (1, 3, 2, 0)$, $\vec{\alpha}_2 = (7, 0, 14, 3)$, $\vec{\alpha}_3 = (2, -1, 0, 1)$, $\vec{\alpha}_4 = (5, 1, 6, 2)$, $\vec{\alpha}_5 = (2, -1, 4, 1)$, 求这个向量组的秩和一个极大无关组, 并把其余的向量用这个极大无关组表示出来。

解 设矩阵

$$A = (\vec{\alpha}_1, \vec{\alpha}_2, \vec{\alpha}_3, \vec{\alpha}_4, \vec{\alpha}_5) = \begin{pmatrix} 1 & 7 & 2 & 5 & 2 \\ 3 & 0 & -1 & 1 & -1 \\ 2 & 14 & 0 & 6 & 4 \\ 0 & 3 & 1 & 2 & 1 \end{pmatrix}。$$

对 A 施行初等行变换, 将其化为行最简形矩阵:

$$A \xrightarrow{\text{初等行变换}} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 2/3 & -1/3 \\ 0 & 1 & 0 & 1/3 & 1/3 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}。$$

由于行最简形矩阵中非零行的行数为3, 故矩阵 A 的秩也为3, 进而向量组 $\vec{\alpha}_1, \vec{\alpha}_2, \dots, \vec{\alpha}_5$ 的秩为3。

另外, 观察行最简形矩阵, 它的第1列、第2列、第3列对应的3个向量是线性无关的, 因而矩阵 A 的前3列对应的三个向量 $\vec{\alpha}_1, \vec{\alpha}_2, \vec{\alpha}_3$ 也是线性无关的 (初等行变换保持列向量组的线性相关性)。注意到向量组 $\vec{\alpha}_1, \vec{\alpha}_2, \dots, \vec{\alpha}_5$ 的秩为3, 故这3个向量为该向量组 A 的一个极大无关组。

最后, 观察行最简形矩阵中的第四列和第五列, 可以得到 $\vec{\alpha}_4, \vec{\alpha}_5$ 的表示式:

$$\vec{\alpha}_4 = \frac{2}{3}\vec{\alpha}_1 + \frac{1}{3}\vec{\alpha}_2 + \vec{\alpha}_3, \quad \vec{\alpha}_5 = -\frac{1}{3}\vec{\alpha}_1 + \frac{1}{3}\vec{\alpha}_2。$$

(三) 解线性方程组

对线性方程组, 可利用初等变换把其转化为一个同解方程组, 进而求出它的通解。首先, 写出方程组的系数矩阵或增广矩阵 (如果是齐次线性方程组, 则写出系数矩阵即可; 如果是非齐次线性方程组, 则写出其增广矩阵)。对系数矩阵或增广矩阵作初等行变换, 化为行最简形矩阵。得到的行最简形矩阵对应一个方程组, 该方程组与原来的方程组等价。考察该等价方程组即得原方程组的解^[3]。这是求线性方程组的一种有效且常用的方法。如下例

例3 求齐次线性方程组
$$\begin{cases} x_1 + x_2 + x_3 + 4x_4 - 3x_5 = 0 \\ x_1 - x_2 + 3x_3 - 2x_4 - x_5 = 0 \\ 2x_1 + x_2 + 3x_3 + 5x_4 - 5x_5 = 0 \end{cases}$$
 的通解。

解 对系数矩阵作初等行变换, 化为行最简形:

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 4 & -3 \\ 1 & -1 & 3 & -2 & -1 \\ 2 & 1 & 3 & 5 & -5 \end{pmatrix} \xrightarrow{\text{初等行变换}} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 2 & 1 & -2 \\ 0 & 1 & -1 & 3 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}。$$

该最简形矩阵对应一个方程组, 为

$$\begin{cases} 1 \cdot x_1 + 0 \cdot x_2 + 2x_3 + x_4 - 2x_5 = 0, \\ 0 \cdot x_1 + 1 \cdot x_2 - x_3 + 3x_4 - x_5 = 0. \end{cases}$$

移项得

$$\begin{cases} x_1 = -2x_3 - x_4 + 2x_5, \\ x_2 = x_3 - 3x_4 + x_5. \end{cases}$$

由于原方程组含有5个未知量 x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 , 为求出该方程组的解, 再补充3个方程, 得到如下方程组

$$\begin{cases} x_1 = -2x_3 - x_4 + 2x_5, \\ x_2 = x_3 - 3x_4 + x_5, \\ x_3 = x_3, \\ x_4 = x_4, \\ x_5 = x_5. \end{cases}$$

将其写成向量形式，并以 c_1 、 c_2 、 c_3 代换右边的未知量 x_3 、 x_4 、 x_5 ，即得原方程组的通解

$$\begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \end{pmatrix} = c_1 \begin{pmatrix} -2 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} + c_2 \begin{pmatrix} -1 \\ -3 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix} + c_3 \begin{pmatrix} 2 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}, \quad (c_1, c_2, c_3 \text{ 为任意常数}).$$

(四) 求特征向量

由于特征向量的求解离不开解线性方程组，因此，初等变换自然也起着重要的作用。

设 A 为一 n 阶方阵。由特征方程 $|A - \lambda E| = 0$ 可求出其特征值^[2]，设为 λ_1 、 λ_2 、 \dots 、 λ_n 。对特征值 $\lambda_i (i=1, 2, \dots, n)$ ，解线性方程组

$$(A - \lambda_i E)\vec{x} = \vec{0}, \quad (*)$$

即可求出属于 λ_i 的所有特征向量。这里线性方程组 (*) 的求解，需要对系数矩阵作初等变换，化为行最简形矩阵。

(五) 在矩阵对角化和求方阵幂中的应用

若矩阵 A 对称，则可以对称化^[1]，即存在可逆矩阵 P ，使得

$$P^{-1}AP = \Lambda \quad (\text{对角矩阵}).$$

于是， $A = PAP^{-1}$ ，从而 $A^n = P\Lambda^n P^{-1}$ 。这里的对角矩阵 Λ ，其主对角线上的元素即为矩阵 A 的特征值，可由特征多项式 $|A - \lambda E| = 0$ 求出。而可逆矩阵 P ，则通过 A 的特征向量求得。不妨设 n 阶方阵 A 的特征值分别为 λ_1 、 λ_2 、 \dots 、 λ_n ，属于每个特征值的线性无关的特征向量分别为 \vec{p}_1 、 \vec{p}_2 、 \dots 、 \vec{p}_n ，则 $P = (\vec{p}_1, \vec{p}_2, \dots, \vec{p}_n)$ 。利用初等行变换，可以求出 P 的逆矩阵 P^{-1} 。于是可以求得 A^n 。注意到特征向量的求解离不开解线性方程组，故初等变换在这里也起着重要的作用。

另外，初等变换在不等式证明、求多项式最大公因式等方面也有着奇妙的作用，可参阅文献 [3-5] 等。

由上可以看出，初等变换这一概念很好地融合了线性代数课程中的一些重要的知识点。在课程后期或课程结束以后，以课外作业或小论文的形式让学生对此内容进行归纳总结，有助于学生更好地理解并掌握线性代数这门课程。

三、在现代科学问题中的应用

矩阵的初等变换不但在处理线性代数的一些理论问题时起着重要作用，而且在信息编码、故障定位、逻辑电路、保密计算等生产实践领域也是有着广泛的应用。我们对此做了一些介绍，相关内容可作为课程思政的参考素材。

(一) 信息编码

在密码学中，利用矩阵理论对信息进行加密和解密是一种重要的、安全性较高的方法，由希尔在1929年首先提出。它的思想^[3]是：

首先，26个英文字母与26个阿拉伯数字一一对应（如 A 对应 1，B 对应 2，C 对应 3，依此类推），另外用 0 表示空格。

加密时，将信息中单词的字母从左到右每 n 个字符分为一组，不足 n 个字符的用空格补上（如 academic，转化为编码为“1、3、1、4、5、13、9、3”，每3个字符分为一组，作成3个列

向量 $\vec{b}_1 = \begin{pmatrix} 1 \\ 3 \\ 1 \end{pmatrix}$ 、 $\vec{b}_2 = \begin{pmatrix} 4 \\ 5 \\ 13 \end{pmatrix}$ 、 $\vec{b}_3 = \begin{pmatrix} 9 \\ 3 \\ 0 \end{pmatrix}$ ，进而得到一个编码矩阵，不妨记为 B ，即 $B = \begin{pmatrix} 1 & 4 & 9 \\ 3 & 5 & 3 \\ 1 & 13 & 0 \end{pmatrix}$ 。然后，确定一个可逆矩阵 A 作为加密矩阵，用加密矩阵左乘编码矩阵，得到密文矩阵 C ($C = AB$)，这就是要发送的矩阵。

解密时，则是上述过程的逆过程。由矩阵等式 $C = AB$ 的两端左乘 A 的逆矩阵 A^{-1} ，可求得译码矩阵 $B = A^{-1}C$ 。将 B 对应回英文字符即可得到发送的信息。在此过程中，一个重要的数学问题是要求加密矩阵的逆矩阵，通常的方法是利用初等行变换。

(二) 保密计算

空间两直线位置关系的判定是保密计算中的一个重要问题。而判定两直线的相关位置，一种是向量方法，即通过与两直线相关的一些向量的相互关系来判定两直线的位置关系（这里假定给出的直线方程为标准方程。具体可参阅文献 [7]）；另一种则是代数上的，即借助两直线所对应矩阵的秩^[6]（假定给出的直线方程为一般方程）。要求矩阵的秩，一个有效且常用的方法就是对矩阵进行初等变换。

设空间两直线 L_1 、 L_2 的（一般）方程分别为

$$L_1 = \begin{cases} l_{11}: a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + a_{13}x_3 = a_{14} \\ l_{12}: a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + a_{23}x_3 = a_{24} \end{cases}, \quad L_2 = \begin{cases} l_{21}: b_{11}x_1 + b_{12}x_2 + b_{13}x_3 = b_{14} \\ l_{22}: b_{21}x_1 + b_{22}x_2 + b_{23}x_3 = b_{24} \end{cases}.$$

由方程可以看出， L_1 实际上是两平面 l_{11} 与 l_{12} 的交线， L_2 则是 l_{21} 与 l_{22} 这两个平面的交线。利用平面方程的参数构造矩阵 A_{12} 及增广矩阵 \tilde{A}_{12} ：

$$A_{12} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{21} & b_{11} & b_{21} \\ a_{12} & a_{22} & b_{12} & b_{22} \\ a_{13} & a_{23} & b_{13} & b_{23} \end{pmatrix}, \quad \tilde{A}_{12} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{21} & b_{11} & b_{21} \\ a_{12} & a_{22} & b_{12} & b_{22} \\ a_{13} & a_{23} & b_{13} & b_{23} \\ a_{14} & a_{24} & b_{14} & b_{24} \end{pmatrix}.$$

则两直线的位置关系可由这两矩阵秩的关系来确定。若 $R(A_{12}) = R(\tilde{A}_{12}) = 3$ ，则 L_1 与 L_2 相交于一点；若 $R(A_{12}) = R(\tilde{A}_{12}) = 2$ ，则 L_1 与 L_2 重合；若 $R(A_{12}) = 2$ 而 $R(\tilde{A}_{12}) = 3$ ，则 L_1 与 L_2 平行；若 $R(A_{12}) = 3$ 而 $R(\tilde{A}_{12}) = 4$ ，则 L_1 与 L_2 异面。

类似的问题还有很多，因篇幅原因不再一一介绍，可参阅文献 [9-10] 等。

参考文献

- [1] 同济大学数学科学学院. 工程数学线性代数 [M]. 北京：高等教育出版社，2023.
- [2] 周勇. 线性代数 [M]. 北京：北京大学出版社，2019.
- [3] 鲁翠仙. Frobenius 不等式的证明方法 [J]. 齐齐哈尔大学学报，2016，32(1): 93-94.
- [4] 黄述亮. 关于矩阵秩的几个重要不等式 [J]. 辽东学院学报 (自然科学版)，2021，28(1): 61-65.
- [5] 孙树东. 初等变换求多项式的最大公因式法 [J]. 数学学习与研究，2015 (15): 89-90.
- [6] 熊允发. 矩阵在信息编码中的应用 [J]. 中国人民公安大学学报 (自然科学版)，2017，(1): 75-78.
- [7] 吕林根，许子道. 解析几何 [M]. 北京：高等教育出版社，2023.
- [8] 杜润萌，刘旭红，李顺东，魏琼. 矩阵与增广矩阵秩相等问题的保密计算及应用 [J]. 密码学报，2019，6(2): 205-218.
- [9] 王冬，刘强，李善治. 基于矩阵初等变换的量子可逆逻辑电路双向综合算法 [J]. 计算机科学，2014，41(9): 18-23.
- [10] 李小强，王军，张贺，倪明. 一种改进的故障定位矩阵算法 [J]. 中国科技论文，2017，12(23): 2685-2689.

JavaScript 学生程序错误模式分析与自动修正框架构建

蔡文玉

广东创新科技职业学院, 广东 东莞 523960

摘 要： 在编程教育中, 学生代码错误的自动检测与修正可以大幅提高教学效率和学生的学习效果。本文提出了一种面向 JavaScript 学生程序的错误模式分析方法, 并构建了自动修正框架。该框架结合错误模式分类、语法分析、机器学习算法等技术, 有效识别和修复学生代码中的常见错误, 实验结果验证了该框架的有效性。本文的研究成果为编程教学中的智能评估与反馈系统提供了新的技术支持。

关 键 词： JavaScript; 错误模式分析; 自动修正; 编程教育

Javascript Student Program Error Mode Analysis and Automatic Correction Framework Construction

Cai Wenyu

Guangdong Innovative Technical College, Dongguan, Guangdong 523960

Abstract： In programming education, the automatic detection and correction of students' code errors can greatly improve the teaching efficiency and students' learning effect. This paper presents an error pattern analysis method for JavaScript student programs and constructs an automatic correction framework. The framework combines error pattern classification, grammar analysis, machine learning algorithms and other technologies to effectively identify and repair common errors in student code, and the experimental results verify the effectiveness of the framework. The research results of this paper provide a new technical support for the intelligent evaluation and feedback system in programming teaching.

Keywords： JavaScript; error mode analysis; automatic correction; programming education

引言

(一) 研究背景

编程教育的普及使得代码错误的自动检测与反馈系统在教育技术领域受到广泛关注。由于 JavaScript 的灵活性和广泛应用性, 学生在编写 JavaScript 代码时容易产生各种错误。及时的自动化反馈可以帮助学生更快理解错误, 纠正学习中的误区^{[1][2]}。在编程学习中, 错误的种类和复杂性会随学习进度的提高而逐渐增加, 尤其对于初学者, 错误往往不仅仅限于基本语法, 还可能涉及更复杂的语义和逻辑层面。这些问题不仅影响学生的学习效果, 还可能打击学生的编程信心。因此, 构建一个能够提供及时反馈并自动修正错误的系统, 对提升编程教学质量具有重要意义。

(二) 研究意义

目前针对 JavaScript 编程错误的自动修正系统较为少见, 大多集中于静态语言如 Python 和 Java 的错误检测和修正^{[3][4]}。这些系统在处理 JavaScript 特有的动态类型、闭包、异步编程等复杂特性时, 往往表现不尽如人意。本文通过分析学生在 JavaScript 编程中的常见错误模式, 设计了一种自动化的错误修正框架, 以提高代码检测的全面性和反馈的精准性。该框架不仅能够识别语法错误、变量声明错误等常见问题, 还能有效处理更为复杂的逻辑错误和运行时错误, 尤其在面对动态类型转换和异步代码时表现出较好的修复能力。

另外, JavaScript 作为一门动态语言, 其灵活性和特殊的执行机制给错误检测带来了挑战。与静态类型语言相比, JavaScript 的代码往往缺乏明确的类型信息, 这使得错误检测更加困难。因此, 研究基于 JavaScript 的自动化修正框架, 不仅对编程教学有积极作用, 能够帮助学生更快地理解和修复错误, 还可以为 JavaScript 的代码质量提升提供支持。通过实时反馈和修正建议, 本框架有望减少学生的学习曲线, 提升编程教育的效率和质量。

基金项目: 本文系2019年度广东省教育厅普通高校特色创新类科研项目《课题名称: Javascript 学生程序自动修正关键技术研究》(项目编号2019GKTSCX172)。

作者简介: 蔡文玉(1985.02-), 女, 汉族, 广东潮州人, 本科, 广东创新科技职业学院, 助教, 研究方向: 软件与计算机应用、通信工程。

一、文献综述

（一）自动化评估系统现状

国内外已有大量关于编程错误检测的自动化评估研究，主要针对静态语言，如 Python 的错误检测工具“PyLint”、Java 的“Checkstyle”系统^[5]。然而，现有研究多集中在语法错误检测和简单的规则匹配，对于逻辑错误和复杂结构的分析较少^{[6][7]}。

除了静态语言，动态语言的自动化检测在近年来也逐渐成为研究热点。一些基于 JavaScript 的代码分析工具逐步推出，如 Esprima、JSHint 等，但这些工具多侧重于代码规范性检测，对错误的分析和修正能力有限，无法满足编程教育中对实时、动态反馈的需求。因此，JavaScript 领域的自动修正方法具有进一步研究的价值。

（二）错误模式分类研究

错误模式的分析与分类为编程错误修正提供了理论支持。一般而言，学生编程错误可分为语法错误、语义错误和逻辑错误三大类^[8]。在此基础上，进一步的错误分析可以结合机器学习方法，提高识别的准确性和效率^[9]。

在现有的错误分类方法中，机器学习算法被广泛应用于提升错误模式识别的精准度。例如，支持向量机（SVM）和决策树被用于错误检测，能够在大规模数据中自动学习并分类错误类型。研究表明，基于机器学习的分类方法比传统的基于规则的方法在处理复杂错误上更具优势。

（三）自动修正方法发展

基于规则的错误修正方法适合简单的语法错误，而复杂错误的修正则需要依靠机器学习模型。近年来，自然语言处理（NLP）技术的引入使得代码错误的自动修正更加智能^{[10][11]}。特别是深度学习的发展，为自动修正框架提供了新的技术支持。深度学习可以通过大量数据的训练，识别错误模式并生成修正建议，尤其在文本生成和语义理解上具有优势。NLP 结合深度学习在代码修正中能有效分析代码语义，自动生成适应错误情境的修改建议，这一技术在编程教学的反馈系统中有着广阔的应用前景。

二、错误模式分析方法

（一）常见错误类型

通过收集和分析学生 JavaScript 代码，识别出常见的错误类型：语法错误、变量声明错误、函数调用错误和逻辑错误。以下为常见错误的详细描述：

语法错误：缺少分号、括号不匹配等。

变量声明错误：未声明变量直接使用。

函数调用错误：参数数量不匹配或调用未定义的函数。

逻辑错误：条件判断不当、循环控制错误等。

此外，学生代码中的一些常见错误还包括类型转换错误和范围错误。例如，在 JavaScript 中，隐式类型转换经常导致不符合预期的结果；在循环结构中，常因边界条件未正确定义而导致无限循环或遗漏特定条件。对这些错误的模式分类和分析将帮助提

高框架在复杂错误检测中的表现。

（二）错误模式分类

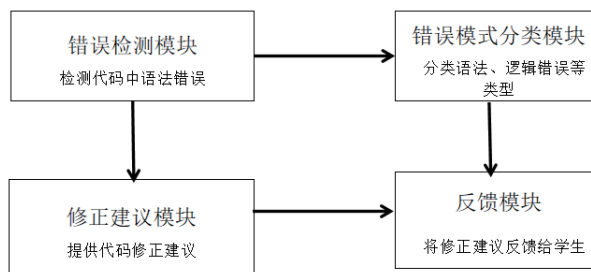
基于错误的特征，本文采用支持向量机（SVM）算法对学生代码中的错误模式进行分类。实验结果表明，SVM 模型对常见错误的分类准确率较高，特别是在处理语法和结构性错误方面表现良好^[12]。

在错误分类过程中，实验数据集中错误模式的多样性对模型训练具有重要作用。通过加入更多类型的数据集，包括复杂函数调用错误和嵌套逻辑结构错误等，能够进一步提高分类模型的鲁棒性和准确率。未来还可以引入深度学习模型，如卷积神经网络（CNN）和长短期记忆网络（LSTM），进一步优化复杂错误的分类表现。

三、自动修正框架设计

（一）框架架构

自动修正框架的设计遵循模块化的原则，确保各个部分的功能能够独立且高效地运作。框架的四个核心模块包括：错误检测、错误模式分类、修正建议生成和反馈模块。该框架的核心思想是在错误发生后，能通过实时反馈帮助学生迅速识别并修正错误，从而提升学习效率。通过结合传统静态分析工具与机器学习算法，框架能够在多种错误模式下提供精确修复建议。图1展示了框架的整体结构，模块间通过 API 接口协同工作，以保证系统的高效性和可扩展性。



> 图1. 自动修正框架结构

在错误检测模块中，框架采用抽象语法树（AST）解析技术对 JavaScript 代码进行详细的语法和语义分析。AST 解析有助于发现代码中的常见错误，如函数调用错误、未声明变量的使用等。这一方法能够在较短时间内对学生代码进行精准分析。为了进一步提高实时检测的精度，错误检测模块结合了动态分析技术，能够捕捉到在运行时可能出现的错误，如类型转换问题和异步操作中隐藏的错误^[12]。随着深度学习技术的发展，框架还计划通过引入卷积神经网络（CNN）和长短期记忆网络（LSTM）来提升对复杂逻辑错误的检测能力，这有望显著提高框架在动态错误检测中的表现^[13]。

（二）错误检测模块

错误检测模块采用基于 AST 的静态分析方法，对学生提交的 JavaScript 代码进行词法分析和语法分析。AST 解析不仅能够精确捕捉语法错误，还能识别出常见的结构性错误。例如，在检测到学生代码中的未声明变量直接使用时，系统会给出提示并建

议声明变量。为了提高准确性，错误检测模块同时结合了动态分析技术，通过跟踪程序执行过程中的运行时错误，捕捉静态分析难以发现的问题，如隐式类型转换和变量作用域问题^[10]。此外，框架可以通过集成深度学习算法，进一步优化复杂错误模式的检测，如递归调用错误和多层次条件判断中的潜在问题^[14]。

（三）错误模式分类模块

通过 SVM 模型识别错误模式，分类为语法性错误、结构性错误和逻辑性错误，并结合 NLP 技术生成适当的修正建议。

（四）修正建议模块

基于错误分类，框架结合修正建议数据库为学生提供代码修复方案，例如补充变量声明或更正条件判断结构。

四、实验与结果分析

（一）实验数据

实验使用 1000 份学生提交的 JavaScript 代码作为数据集，分为训练集和测试集，评估框架在错误检测和修正上的表现。

实验数据包含了多样化的错误模式，包括基础语法错误、复杂的条件嵌套错误以及函数参数匹配错误等。每类错误在数据集中有明确标注，以保证训练过程的有针对性。此外，为进一步验证框架的适用性，数据集还包含了真实课堂环境中收集的代码片段。

（二）实验结果

表 1 框架在不同错误类型上的检测和修正准确率。

错误类型	检测准确率	修正准确率
语法错误	92%	90%
变量错误	85%	82%
函数调用错误	80%	76%
逻辑错误	70%	65%

从表中可以看出，框架在语法错误和变量错误的检测与修正上表现尤为显著，得益于此类错误通常具有较为明确的模式和规则，静态分析工具能够较为精准地捕获这些错误。对于语法错误，例如缺少分号或括号不匹配等，框架可以快速检测并生成修正建议，保证了高效的错误修复效果。

然而，在逻辑错误的处理方面，准确率相对较低。这主要是由于逻辑错误涉及复杂的代码执行路径和多层次条件判断，简单的静态分析和规则匹配方法难以全面捕获此类错误。逻辑错误的检测往往需要结合动态分析以及更高维度的特征提取，这在现有框架中尚未实现。未来可以通过引入基于深度学习的自然语言处理技术，利用代码的上下文信息和嵌套结构，从而提升逻辑错误的检测与修正能力。

五、结论与展望

本文通过对学生 JavaScript 编程的常见错误模式分析，提出了一个基于错误检测、分类和修正的自动化框架。实验结果表明，该框架显著提高了错误检测和修正效率，特别是在语法错误和变量错误方面，具有较高的检测与修正准确率。此框架为编程教学中的自动化反馈和评估系统提供了有力支持。

未来工作可以进一步优化复杂逻辑错误的处理效果，特别是引入深度学习模型来解决逻辑错误检测的挑战。通过结合卷积神经网络（CNN）和长短期记忆网络（LSTM）等深度学习模型，框架有望提升对嵌套条件、复杂函数调用等复杂结构的理解能力。此外，增加对代码动态分析的支持，将有助于捕获更多运行时错误，为学生提供更全面的代码修正建议，进一步提升编程教学的智能化水平。

参考文献

- [1] 胡建鹏, 魏龙, 林渤. 学生程序分析与修复研究 [J]. 软件工程与应用, 2022, 11(3): 602-610.
- [2] 王甜甜, 许家欢, 王克朝, 苏小红. 示例演化驱动的学生程序自动修复 [J]. 计算机学报, 2019, 42(5): 1257-1270.
- [3] 李明. 基于机器学习的 JavaScript 代码错误检测与修复研究 [D]. 北京大学, 2020.
- [4] 张华. 面向学生的编程错误自动修正系统设计与实现 [D]. 清华大学, 2019.
- [5] 刘洋. 编程教育中常见错误模式分析与自动修正方法研究 [J]. 教育信息技术, 2021, 19(3): 45-50.
- [6] 陈刚. 基于深度学习的代码错误检测与修复技术研究 [J]. 计算机工程与应用, 2020, 56(14): 123-128.
- [7] 王磊. JavaScript 编程中的常见错误及其自动修正方法 [J]. 软件导刊, 2018, 17(7): 89-92.
- [8] 赵敏. 面向编程教育的自动化评估与反馈系统研究 [J]. 现代教育技术, 2019, 29(6): 72-77.
- [9] 张宇. 深度学习在编程错误自动修正中的应用 [J]. 软件学报, 2022, 33(2): 234-240.
- [10] 李宏伟. JavaScript 代码的错误检测与自动修复方法研究 [J]. 计算机与教育, 2021, 29(4): 119-126.
- [11] Smith, J. "Automatic Error Detection in Student Code: A JavaScript Perspective." Journal of Computer Science, 2019, 15(4): 567-575.
- [12] Brown, T. "Error Patterns in Student Programming and Their Automatic Correction." Educational Computing Research, 2021, 59(2): 123-138.
- [13] Lee, S. "Machine Learning for Code Correction in JavaScript." Proceedings of the ACM, 2022, 5(1): 1-10.
- [14] Miller, A. "Automatic Error Detection in Student Code: A JavaScript Perspective." Journal of Computer Science, 2019, 15(4): 567-575.

无人机在灾害评估与应急救援中的角色及其发展趋势

代蛟, 罗静东

南充科技职业学院, 四川 南充 637000

摘要： 无人机技术在灾害评估与应急救援中发挥着日益重要的作用，因其具备快速部署、实时监控、信息采集和精准救援等功能，极大提升了应急响应的效率和效果。本文首先探讨了无人机在灾害类型中的应用，包括自然灾害和人为事故。其次，分析了无人机在灾害评估中的作用，如数据收集、地形分析和损失评估。最后，着眼于无人机技术的发展趋势，包括人工智能、5G 通信技术的应用以及多机协作系统的创新，指出无人机将在未来的应急救援领域中扮演更加重要的角色。本文旨在通过分析无人机技术在灾害应对中的应用和发展趋势，为未来的应急救援提供有效参考。

关键词： 无人机；灾害评估；应急救援

The Role and Development Trend of Drones in Disaster Assessment and Emergency Rescue

Dai Jiao, Luo Jingdong

Nanchong Vocational College of Science and Technology, Nanchong, Sichuan 637000

Abstract： Drone technology is playing an increasingly important role in disaster assessment and emergency rescue. Due to its functions of rapid deployment, real-time monitoring, information collection, and precise rescue, it greatly improves the efficiency and effectiveness of emergency response. This paper first discusses the application of drones in disaster types, including natural disasters and man-made accidents. Secondly, it analyzes the role of drones in disaster assessment, such as data collection, terrain analysis, and loss assessment. Finally, focusing on the development trend of drone technology, including the application of artificial intelligence, 5G communication technology, and the innovation of multi-aircraft cooperation systems, it is pointed out that drones will play an even more important role in the field of emergency rescue in the future. This paper aims to provide an effective reference for future emergency rescue by analyzing the application and development trend of drone technology in disaster response.

Keywords： drones; disaster assessment; emergency rescue

引言

随着自然灾害和人为灾害的频繁发生，快速高效的灾害评估与应急救援成为全球社会面临的重大挑战。传统的救援方式常常受到地理条件、气候环境以及时间限制，难以及时应对复杂灾情。而无人机技术的迅速发展为灾害评估与应急救援提供了全新的解决方案。无人机具有高机动性、实时数据传输能力，能够在灾害现场迅速部署并执行搜救、监控、物资运输等任务。本文将详细探讨无人机在不同灾害类型中的具体应用、其在灾害评估中的关键角色，以及其在应急救援中的独特作用，展望未来无人机技术在灾害应对领域的发展趋势。

一、无人机在灾害类型中的应用

（一）无人机在灾害类型中的应用

在自然灾害中，无人机已成为重要的工具，能够迅速进入灾害现场，提供高效、准确的评估和救援支持。在地震灾害中，无人机能够飞越受损的建筑物和道路，快速拍摄高分辨率图像，帮

助评估地震对建筑物、基础设施和地形的影响。相比传统的地面评估，无人机的空中优势使其能够以更快的速度覆盖更大面积，并避免救援人员进入危险区域。在洪水灾害中，无人机可以实时监测洪水的蔓延情况，并通过热成像技术识别被困人员的位置^[1]。此外，无人机可以用于检测堤坝的破损情况，帮助决策者及时采取应对措施，减轻灾害损失。

课题信息：南充科技职业学院 2024 年度校级科研项目课题：基于无人机技术的乡村应急救援体系研究，编号 XJ2024SK-18。

作者简介：

代蛟（1990.05-），男，汉族，四川南充，南充科技职业学院，本科，助教，研究方向：应急救援、消防救援、通信处理；

罗静东（1989.07-），女，汉族，四川南充，南充科技职业学院，本科，讲师，研究方向：无人机应用技术、应急救援、电子信息。

在山地救援中，无人机也发挥了不可替代的作用。通过携带红外摄像头，无人机能够穿透浓烟，实时监测火灾蔓延的情况，并帮助消防人员制定有效的灭火策略。它还可以在夜间操作，提供全天候的灾害监测服务。此外，无人机可以携带灭火装置或将必要的救援物资投送到被困区域，在极端恶劣的自然灾害场景中起到关键的辅助作用。通过无人机的快速反应和精准定位，救援力量能够更好地协调资源，最大限度地减少灾害造成的人员伤亡和财产损失^[7]。

（二）人为灾害中的应用

在人为灾害中，如工业事故、交通事故和爆炸等紧急情况，无人机也展现了强大的应急响应能力。工业事故发生后，现场可能充满有毒气体或存在爆炸风险，救援人员难以立即进入危险区域展开评估。而无人机可以凭借其灵活性和远程控制优势，迅速抵达事故现场，实时传回高清图像或视频，为决策者提供关键信息，以确定最佳的救援方案。此外，搭载特殊传感器的无人机可以监测空气中有毒气体的浓度，为化工厂或燃气泄漏事故中的救援行动提供科学依据，确保救援人员和公众的安全^[8]。

在交通事故中，特别是高速公路或山间狭窄道路的交通事故，无人机能够以空中视角对事故现场进行全面评估，减少救援人员的到达时间并优化交通疏导方案。当事故发生交通难以通行的区域时，无人机还能现场提供救援物资或拍摄受损车辆和人员的具体情况。在爆炸事故中，无人机可以进入高危区域进行安全评估，帮助判断是否存在二次爆炸的风险，并提供灾后重建的初步数据支持。这类应用充分展示了无人机在快速、准确、安全评估中的突出优势，为人为灾害的应急救援提供了强大的技术支持^[9]。

（三）不同灾害场景下无人机的功能差异

尽管无人机在多种灾害类型中发挥着重要作用，不同的灾害场景下对其功能的要求有所不同。在自然灾害中，如地震或洪水等大范围灾害事件中，无人机的主要功能是快速覆盖受灾区域，进行广泛的数据收集和监测^[9]。例如，在洪水场景中，无人机需要具备高效的水面监测能力，并能通过热成像技术发现被困人员，而在地震灾区，无人机更注重的是实时拍摄高分辨率的地面破坏情况，以帮助救援队伍进行灾后损失评估。

相比之下，在人为灾害场景中，无人机的功能则更加集中于应急响应和现场安全评估^[9]。例如在工业爆炸事故中，无人机需要搭载特定的气体传感器，用以检测有害气体的泄漏情况，并向救援人员提供安全的行动路线。在交通事故中，无人机的任务重点则是对狭窄或封闭区域的交通疏导提供支持，减少次生事故的发生。总之，灾害类型的不同决定了无人机所承担的功能也有所变化：自然灾害场景下更偏向于大面积、远距离的数据收集，而人为灾害则强调快速反应、精准监测与局部应急救援的功能结合。

二、无人机在灾害评估中的角色

（一）快速部署与实时监控

无人机在灾害发生后能够实现快速部署，这是其在灾害评估

中最显著的优势之一^[7]。传统的灾害响应方式通常依赖于地面交通或人力巡查，但在地震、洪水、火灾等自然灾害中，地面道路往往被破坏或阻断，救援力量难以及时抵达。而无人机具有高机动性和灵活性，可以迅速飞抵灾害现场，无需依赖地面交通条件，极大缩短了评估启动的时间。这种快速反应能力尤其在灾害的初期阶段显得尤为重要，因为及时获取现场信息对于制定救援方案至关重要。

同时，无人机可以实时监控灾害现场，并将高质量的影像和视频数据传回指挥中心，确保救援决策者能够全面掌握灾害动态。通过搭载高清摄像头、热成像设备或其他传感器，无人机能够全天候、全方位地监测灾区状况，捕捉受灾区域的动态变化，如火势蔓延、水位上涨等。这种实时监控不仅能帮助救援团队迅速识别灾害的严重性，还能为现场的动态调整和资源调度提供决策支持。无人机的快速部署和实时监控能力，极大提升了应急响应的效率和效果^[8]。

（二）地形与环境数据的收集

在灾害评估过程中，准确的地形与环境数据对于制定救援和恢复计划至关重要。无人机能够通过搭载各种传感器，对灾区进行全面的环境扫描和地形分析，为救援行动提供精确的数据支持。在地震或山体滑坡等灾害中，地形可能发生剧烈变化，传统的测绘方法难以在短时间内完成对灾区的全面评估，而无人机可以快速获取高精度的三维地形数据，帮助救援人员了解地形的变化，并据此制定安全的救援路线。无人机还能够在恶劣天气或复杂环境中收集数据。例如，在洪水灾害中，无人机可以通过航拍图像生成洪水泛滥区域的详细地图，帮助决策者了解水位变化及其对周边社区的威胁。同时，热成像技术可以帮助无人机识别水中被困的生命体，增强了搜救的精准性和效率。无人机收集的地形和环境数据不仅能够服务于灾害评估的初期，还能为后续的灾后恢复和重建提供关键的地理信息支持，确保决策的科学性和有效性^[9]。

（三）影像处理与损失评估

灾害发生后，迅速准确地进行损失评估对于救援资源的分配和政策制定至关重要。无人机能够通过拍摄灾害现场的高清影像，结合影像处理技术，对灾区进行快速评估。在地震、台风等灾害中，无人机拍摄的大范围影像可以与灾前数据进行比对，识别出受损的建筑物、道路和基础设施，并根据影像的分析结果进行初步的损失估算。这种基于影像处理的评估方式不仅快捷高效，还可以通过智能化处理减少人为错误，提高评估的准确性^[10]。

无人机的影像处理技术还能应用于损失的精细化分析。通过三维建模和大数据分析，无人机可以对灾区的建筑物、桥梁、交通设施等进行精确测量，评估其损毁程度，为后续的灾后重建和保险理赔提供详实的数据依据。结合无人机拍摄的影像，救援团队可以迅速评估灾区的破坏范围、受灾人口和救援优先级，从而优化资源配置，确保救援行动的高效展开。总体而言，无人机的影像处理与损失评估功能，为灾害响应中的决策制定提供了精确、可靠的参考。

（四）灾后重建的辅助分析

在灾后重建阶段，无人机不仅可以提供灾害后的损毁评估，还能重建规划提供数据支持，优化重建方案。通过无人机的航拍图像和地形数据，重建团队可以评估地理环境的变化，如土地塌陷、河流改道或山体滑坡等，确保在选择重建区域时避免潜在的次生灾害风险。无人机能够对广泛的灾区进行持续监控，及时发现可能威胁重建工作的地质或气候因素，并根据这些信息调整重建策略。

此外，无人机可以通过定期拍摄和记录重建进程，帮助政府和相关机构进行项目监督和评估。实时监测重建工作的进展，不仅能够确保项目按计划进行，还可以提高施工过程中的安全性。例如，在大型基础设施的重建过程中，无人机能够检查施工现场的安全状况，识别潜在的施工问题，降低人力检查的成本和风险。同时，无人机的影像数据还可以为社会公众提供透明、可视化的重建进度，提升灾后重建工作的公信力与透明度。因此，无人机在灾后重建中扮演了重要的辅助角色，通过精确的数据支持和持续监控，确保灾后恢复工作顺利进行。

三、无人机在应急救援中的作用

（一）现场搜救与精准定位

在应急救援中，无人机在现场搜救和精准定位方面具有显著的优势。传统搜救方式通常依赖于人力，但在灾害现场，受限于地形和环境条件，救援人员的搜救效率可能受到阻碍。而无人机能够快速抵达受灾区域，尤其是在地震、洪水、山体滑坡等自然灾害发生后，它可以轻松飞越障碍物，为救援团队提供灾区的全貌。通过搭载高分辨率摄像头、红外热成像设备，无人机可以在大面积区域内迅速识别幸存者的准确位置，特别是在光线不足的夜间或烟雾弥漫的火灾现场，红外热成像技术可以帮助无人机穿透障碍，快速发现幸存者。

（二）紧急物资的快速运输

无人机在紧急物资的快速运输方面展现了独特的优势，特别是在道路中断或地形复杂的灾害现场。传统的物资运输往往需要通过地面车辆或直升机进行，但在灾害发生后的黄金救援时间内，地面道路可能被破坏或交通堵塞，而直升机的成本高且需要较大的起降空间。在这种情况下，无人机成为了物资运输的最佳选择。小型无人机可以迅速携带急需的救援物资，如药品、食品、水或通信设备，飞越障碍物直接运送到灾区的指定位置。

（三）实时信息共享与指挥协同

应急救援中的一个关键挑战在于信息的实时共享和指挥的高效协同。传统救援模式下，救援人员之间的信息传递通常依赖于无线电或现场观察，但这种方式往往因地形或环境因素而受到限制，导致信息滞后或不完整。而无人机的应用为实时信息共享提供了新途径。通过无人机搭载的高清摄像头、热成像设备和环境传感器，救援人员可以实时获得灾区的动态画面和数据。无人机拍摄的实时影像能够立即传送到指挥中心，指挥人员可以根据最新的现场信息迅速调整救援策略，优化资源分配。

此外，无人机还能够帮助不同救援队伍之间实现高效协同。例如，当多个部门同时参与救援时，无人机可以作为空中平台，统筹协调各个队伍的行动路径和救援目标，避免资源浪费或行动冲突。通过实时共享现场的详细数据，指挥人员能够及时了解救援工作的进展，动态调整部署，确保各个救援环节紧密衔接。无人机的实时信息共享和指挥协同功能不仅提高了救援工作的效率，还增强了应急响应的精准性和科学性，帮助各方力量更好地应对复杂的灾害场景。

（四）难以到达地区的支援

在灾害救援中，许多地区因地理位置偏远或受灾严重，导致地面救援力量难以快速到达，这时无人机的支援作用尤为重要。例如，在山地、森林、海岛等地形复杂的区域，传统的救援车辆或人员难以进入，而无人机则可以灵活应对这些复杂地形，迅速飞抵救援队伍难以到达的地方。在这些地区，无人机不仅能够搜救幸存者，还可以运送物资，传送实时影像，并帮助评估现场的地形和受损情况。

四、结论

综上所述，无人机作为一种先进的技术工具，已在灾害评估与应急救援中展现出巨大潜力。其快速部署、精准定位、实时监控等特点，使得无人机在灾害现场能够提供及时的帮助，提升救援效率，减少人员伤亡和财产损失。同时，无人机在灾后重建中的辅助作用也日益凸显，为科学决策提供了可靠的数据支持。随着无人机技术的进一步成熟和普及，其在灾害应对领域的应用将更加广泛。未来，通过与人工智能、大数据等技术的结合，无人机有望成为灾害管理中不可或缺的重要工具。

参考文献

- [1] 韩宇波. 无人机航摄系统及其在地质灾害应急救援中的应用[J]. 科技创新与应用, 2022(029):012.
- [2] 张博闻. 无人机航空遥感系统在灾害应急救援中的应用[J]. 中国高科技, 2022(21):159-160.
- [3] 陈虹, 张涛, 张凌, 等. 无人机集群协同搜救技术和装备在灾害救援中的应用探索[J]. 中国减灾, 2023(10):42-45.
- [4] 贾汀, 罗伟儿, 李苓苓, 等. 无人机应急云平台助力应急防灾减灾[J]. 中国减灾, 2022(15):6.
- [5] 唐鸿鹤. 无人机航摄技术在地质灾害应急救援中的应用[J]. 农村科学实验, 2022(000-014).
- [6] 侯成. 面向应急救援的无人机灾情信息采集与灾情数据压缩编码方法研究[D]. 北京邮电大学, 2023.DOI:10.26969/d.cnki.gbydu.2023.000565.
- [7] 庄可. 无人机辅助应急指挥现场的通信定位融合资源调度方法研究[D]. 北京邮电大学, 2023.DOI:10.26969/d.cnki.gbydu.2023.000685.
- [8] 张艳萍. 洪涝灾害下应急疏散组织与救灾资源优化调配策略研究[D]. 济南大学, 2023.DOI:10.27166/d.cnki.gsdcc.2023.000844.
- [9] 陈思信. 无人机在应急救援中的应用研究[J]. 科技资讯, 2021,19(35):56-58. DOI:10.16661/j.cnki.1672-3791.2111-5042-5788.
- [10] 周洋, 赵旭毅. 基于地震灾害的分层应急通信保障策略研究[J]. 空间电子技术, 2021,18(04):16-20.

农民土地征收安置补偿措施的优化策略

周伟康

宜昌市夷陵区城乡用地保障中心, 湖北 宜昌 443100

摘 要： 土地是农民赖以生存的重要资源，维护农民的土地权益也就是维护农民的物质权益，能够为农民提供基本的生活保障。随着国民经济水平的不断增长，各行各业都获得了新的发展，与此同时对于土地的需求也在不断增长，但是任何行业的发展都不能够以牺牲农民的利益为前提，因此必须要做好土地征收安置补偿工作，建立完善的管理机制，更好地保障农民的合法权益。本文首先简单介绍了安置补偿的相关概念，然后结合目前土地征收安置补偿中存在的问题，探讨了即便有效的优化策略。

关 键 词： 农民土地；土地征收；安置补偿

Optimization Strategy of Compensation Measures for Farmers' Land Expropriation and Resettlement

Zhou Weikang

Yichang City Yiling District Urban and Rural Land Security Center, Yichang, Hubei 443100

Abstract： Land is an important resource for farmers to survive. To safeguard the land rights and interests of farmers is to safeguard the material rights and interests of farmers, which can provide basic living security for farmers. With the growing level of national economy, all walks of life have gained new development, at the same time the demand for land is growing, but the development of any industry is not to sacrifice the interests of the farmers, so must do a good job of land expropriation resettlement compensation, establish perfect management mechanism, to better safeguard the legitimate rights and interests of farmers. This paper first briefly introduces the relevant concepts of resettlement compensation, and then discusses the effective optimization strategies combined with the problems existing in land expropriation and resettlement compensation.

Keywords： farmers' land; land expropriation; resettlement and compensation

引言

土地不仅是国家的重要资源，更是农民开展农业生产活动的基础，可以为农民提供最基础的生活保障。对于农民来说，土地能够为居民提供经济来源、子孙继承、就业机会、征地补偿等多种作用，从这一层面来讲，农民和土地之间存在着相互依存的关系，实现对土地资源的高效利用，主要依靠农民的生产劳作，土地则是农民的重要经济来源，只有实现两者的协同发展，才能够真正实现农村地区的可持续发展。

一、安置补偿的概念

安置补偿就是国家进行土地征收工作时，需要根据其原有的用途向被征收的村集体或者个人支付补偿。在征收农村耕地时，所涉及到的补偿费用主要包括土地补偿费、安置费以及地面上附着物和青苗补偿费等几个不同的方面。在这其中，设置的土地补偿费用标准，应根据土地征收工作之前三年平均产值的6~10倍进行赔付；安置费则需要根据该地区个人安置标准以及实际需要安置的数量相乘；需要安置的人口应按照实际征收的土地数量以及

征收单位进行计算；个人补助标准需要结合土地征收工作开展之前三年平均产值的4~6倍进行计算。如果对其他性质的土地进行征收，则应该根据所处地区的省市标准确定合适的安置补偿费用。对于地上附着物和青苗进行补偿时，也应该根据该地区的实际情况进行标准的制定，结合我国对于不同省市的相关要求，出具了非常明确的县市统一产值标准以及综合地价，为了能够真正实现同地同价的目标，也应该根据该地区的经济发展需求对补偿标准进行相应的调整^[3]。

二、农村土地征收补偿安置问题

（一）土地征收程序滞后

从理论上讲，针对农村地区进行土地征收时，整个过程必须由农民全过程参与，但是在实际工作过程中，要想真正使农民全部参与到整个征收过程，很容易在部分环节产生问题，进而影响到征地环节的有序开展，而且大部分地区对于农民全过程参与权重视力度不够，特别是在征收之前的勘测、公示、公告以及听证阶段，并没有第一时间向农民发出相关的公告^[4]。针对土地进行勘测时，也没有农民到场进行确认；听证过程没有严格尊重农民的知情权，再加上还有部分处罚手段以及强制性监管过程，在执行过程中仍然会出现不规范的行为。结合相关部门对于近几年来农村征地安置补偿复议案件进行总结归纳，可以发现目前仍然有大部分地区存在由于安置程序不规范引起的复议案件，而且大部分案件都以负责征收部门败诉为结果。

（二）补偿标准低

目前，针对农村土地进行征收补偿，主要就是根据该地区的评价进行推算，大部分地区仅从短期利益进行考虑，包括安置费、补偿费，而且设置的补偿费用相对较低，很难与目前经济快速发展的趋势相结合，不仅无法真正发挥土地资源的利用价值^[5]。从农民自身的角度进行考虑，土地被征收以后不仅需要考虑生产资料功能，还有后续的养老问题，而现有的补偿方式并没有充分考虑这一点，只是土地资源的效益没有得到充分发挥，征收土地后，一般政府部门都会通过拍卖或者出让的方式交由其他企业使用，以此来获得收益，为推动经济发展作出贡献。但是，在实际工作过程中由于土地出让费用和补偿标准之间存在一定的差异性，特别是在城乡结合的位置，致使大部分失地农民都无法获得土地增值的权益，加速促进当地的发展，但是最终的出让价格和补偿标准存在非常明显的差异性，尤其是在城乡结合的位置，导致大部分失地农民并不能够获得土地增值权益，也很容易造成农民出现不满的情绪^[6]。

（三）公共利益定位不准

以某地区为例，该县区的核心产业为种植业。下属包含大量的农村人口，虽然目前城市化城镇化建设速度飞快，但是政府部门在制定具体的政策时，还需要综合各个地区的发展状况进行综合考虑，以及该地区传统产业和自然资源的优势探索，能够实现人与自然和谐发展的政策^[7]。而该地区制定的土地征收政策显然并不能够满足农民的权益。过度追求现代化城市建设以及工业发展。而忽视了就业者的生活规律。从这一层面来讲，该地区制定的土地征收政策并没有对公共利益进行精准的定位，无法满足农村居民的合法要求。

三、农村土地征收补偿安置策略

（一）规范征收补偿程序

第一，必须要建立完善的征收公告制度，并且保证其能够落实到实处，我国出台的新土地管理法在原有的基础上增加了批前

公告环节，这一环节的增加能够进一步完善征收体系，同时为土地征收公告提供更加严谨的信息告知渠道^[8]。但是，在具体的公告实施方式以及形式方面并没有作出明确的规定，各级政府部门需要结合以往的实践经验进行不断的改进，选择村民能够及时知晓的方式，确保农民的知情权。另外，在公告中还应该详细说明土地征收补偿的相关内容，保证失地农民具备救济权和意义权能够及时了解补偿的相关信息。第二，建立完善的失地农民全程参与机制^[9]。农民是土地资源的直接使用者，如果失去了土地，也就意味着农民失去了基本的生活保障，所以失地农民必须要全过程参与到土地征收环节，探索多元化的土地征收协商机制，充分尊重广大农民的意愿，保障农民的合法权益。举例来说，可以由村民代表大会选举代表，参与到土地征收协商谈判中使用这样的方式不仅能够更好地保障农民的权益，还能够充分展示土地征收工作的公平公正性，并且加深农民对于土地征收原因以及征收方式的理解程度，确保土地征收补偿安置工作的有序开展。

（二）提高征地补偿标准

首先，根据目前市场土地价格，确定科学合理的补偿标准，进行农村土地征收工作时，必须要综合经济发展的趋势以及农民个人的实际需求，确定合理的补偿标准。现如今，我国农村土地并没有真正纳入到市场交易范畴，而在这样的情况下进行耕地补偿标准制定时，就必须结合国家土地挂牌价格，通过修正系数来确定最佳的补偿指标，而且在社会逐步发展过程中，还需要积极探索全新的土地管理机制，充分发挥市场的引导价值，尽快推动农村土地纳入到市场进行交易，确保能够以最快的速度实现国有建设用和农村建设用地的同等权利和价格。其次，还应该进一步扩大征收补偿标准。在征收农村土地以后，确定补偿标准时，应针对土地征收可能会对农民造成的影响以及未来损失进行全面考虑，不能够单纯的考虑土地征收造成的直接影响，保证确定的补偿安置标准，能够逐步恢复农民原有的生活水平，不能够单纯地将其恢复至附着物种植之前的状态。进行土地征收工作不仅会损害到土地的所有权，还包含土地经营权以及使用权，作为本次交易过程中的权利主体失地，农民的合法权益必须得到有效保障，而且补偿的主体还不仅限于土地以及附着物的所有权人，还包含宅基地使用权人以及相邻权人，进一步扩大补偿主体的范围，确保农民的合法权益得到有效保护。

（三）完善农民参与机制

第一，需要对现有的征收补偿制度进行逐步完善，要求广大农民能够全过程的参与到征地活动中，确保其权利不会受到任何损害。第二，进一步提升土地征收补偿安置制度的公开透明性。政府部门在获得土地所有权之前，应与失地农民进行有效的协商，共同达成补偿协议，尽量减少征地过程中出现信息不匹配的状况，保证农民合法的知情权保证在整个征地过程中，农民都能够依法参与其中。第三，进行征地之前，策划工作也必须获得农民的同意，农民享有知情权和参与权，这样才能够真正使农民感受到土地的所有权得到重视，而不会与国家提出的一系列土地征收活动产生不必要的冲突^[11]。第四，政府部门还需要建立完善的农民维权机制，成立专门的法律援助以及维权服务中心，为农

民提供必要的法律咨询帮助。

（四）完善土地征收监管

开展农村土地征收活动，需要对整个征收全过程制定更加公平、公正、公开的路径，进一步明确土地征收时的界限范围、征收公告以及征收方案等多项内容。在正式开展工作之前，还应及时告知集体成员农村土地安置费用的发放方式，并且设置专门的意见箱，积极听取广大农民的意见和建议，避免由于土地征收补偿工作引起不必要的纠纷。自然资源管理部门作为本次征收活动的参与主体，同时也是重要的执法部门，还需要对补偿安置费用的落实状况以及发放情况进行严格的监督管理，对于不履行相应职责的单位和部门给予严厉的处罚。针对已经批复的建设用地也需要及时进行供应，并对企业的用工状况进行严格监督，没有及时开工的也需要对其进行督促，避免土地闲置产生资源的浪费，

如果企业没有能力进行开发，则需要对这些未用土地进行收回，从源头上阻止出现滥用土地的现象，切实提升资源的利用率^[10]。

四、结束语

综上所述，开展土地征收工作会关系到每一位村民的合法权益，因此必须要严格按照以人为本的原则，在土地征收补偿安置时，最大程度的保证农民的合法权益，确保土地被征收后农民的生活状况不会下降，同时还拥有长远的生活保障，使农民真正享受到现代化城市飞速发展带来的便利和优势。另外，开展土地征收补偿安置工作，还与政府部门的公信力有着非常紧密的联系，同时也是农村地区实现飞速发展的关键。

参考文献

[1] 姚童. 莒县集体土地征收过程中失地农民补偿安置问题研究 [D]. 曲阜师范大学, 2020.

[2] 李伟恒. 我国土地征收补偿条款的规范变迁及功能转向 [J]. 南京社会科学, 2021,(11):83-91.

[3] 刘志强. 土地征收机关能否以补偿安置协议为依据执行强制拆除 [J]. 中国土地, 2020,(04):59.

[4] 王欣蕊, 畅琪, 张晋, 等. 关于沈阳市土地征收补偿的思考与建议 [J]. 国土资源, 2019,(09):48-49.

[5] 木沙·买提库完. 城镇化土地征收补偿的法治路径探讨 [J]. 当代农村财经, 2019,(04):14-17.

[6] 穆向丽, 巩前文. 农民土地征收补偿的法律规定及评述 [J]. 农业农村部管理干部学院学报, 2018,(04):24-30.

[7] 聂兰蕊. 集体土地征收补偿制度中财产权益保护研究 [D]. 云南大学, 2018.

[8] 薛冰. 农村集体土地征收补偿的困境反思与制度重构 [J]. 理论月刊, 2017,(09):116-121.

[9] 谭孟琴. 衡南县农村土地征地补偿及农民安置问题研究 [D]. 海南大学, 2017.

[10] 陈亚倩. 农村土地征收的现实困境与破解之道 [J]. 智能城市, 2017,3(01):283+285.

[11] 陈东进. 我国集体土地征收补偿问题研究 [D]. 华侨大学, 2016.

[12] 时怡. 集体土地征收补偿制度的缺陷及完善 [J]. 连云港师范高等专科学校学报, 2019,36(01):19-23.

光伏新能源并网对继电保护的影响

蔺敬军¹, 刘海成¹, 何瑞睿², 刘东¹, 蒋青¹, 王杰¹, 陈文博¹, 包小龙¹

1. 中国水利水电第一工程局有限公司, 吉林 长春 130000

2. 中国华能集团有限公司, 北京 100031

摘 要 : 由于全球能源结构转型的不断深入, 光伏新能源作为可再生能源的重要组成部分, 其并网规模持续扩大, 但光伏新能源的并网运行对电力系统继电保护带来了新的影响和挑战。本文旨在探讨光伏新能源并网对继电保护的具体作用及其可能带来的问题, 并提出相应的解决措施。通过对光伏新能源并网特点的分析, 结合继电保护的基本原理, 本文详细阐述了光伏新能源并网对电流保护、电压保护、距离保护和差动保护等方面的影响, 为光伏新能源的顺利并网提供了理论支持和技术参考。

关 键 词 : 光伏新能源; 并网; 继电保护; 影响; 措施

The Impact of Photovoltaic New Energy Grid Connection on Relay Protection

Lin Jingjun¹, Liu Haicheng¹, He Ruihui², Liu Dong¹, Jiang Qing¹, Wang Jie¹, Chen Wenbo¹, Bao Xiaolong¹

1. China Water Resources and Hydropower First Engineering Bureau Co., LTD. Changchun, Jilin 130000

2. China Huaneng Group Company Limited, Beijing 100031

Abstract : Due to the deepening of the global energy structure transformation, photovoltaic new energy as an important part of renewable energy, its grid-connected scale continues to expand, but the grid-connected operation of photovoltaic new energy has brought new impacts and challenges to the power system relay protection. The purpose of this paper is to discuss the specific role of photovoltaic new energy on the relay protection and the possible problems, and put forward the corresponding solutions. Through the analysis of the characteristics of photovoltaic new energy grid-connected, combined with the basic principle of relay protection, this paper elaborates the impact of photovoltaic new energy grid-connected on current protection, voltage protection, distance protection and differential protection, which provides theoretical support and technical reference for the smooth grid-connected photovoltaic new energy.

Keywords : photovoltaic new energy; connect to the grid; relay protection; influence; measure

引言

随着全球能源危机的加剧和环境污染问题的日益严重, 可再生能源的开发利用成为解决能源问题的重要途径之一。光伏发电作为一种清洁、可再生的能源形式, 得到了广泛关注和应用, 然而, 光伏新能源的并网运行对传统的电力系统继电保护提出了新的挑战, 本文将深入探讨光伏新能源并网对继电保护的影响, 并提出相应的对策和建议。

一、光伏新能源并网概述

(一) 光伏新能源的发展背景与现状

在全球能源转型和可持续发展的大背景下, 光伏新能源作为清洁能源的重要组成部分, 近年来得到了快速发展。我国政府高度重视光伏产业的发展, 出台了一系列支持政策, 2020年12月, 国家能源局发布《关于2021年风电、光伏发电开发建设有关事项的通知》, 明确提出要积极推进风电、光伏发电平价上网。在政策引导下, 光伏产业呈现蓬勃发展态势。以吉林省为例, 截至2023年底, 全省光伏发电装机容量达到580万千瓦, 同比增长

35%, 其中, 集中式光伏电站装机容量420万千瓦, 分布式光伏装机容量160万千瓦。吉林省光伏发电产业已形成完整的产业链, 从硅料、硅片、电池片到组件生产, 再到系统集成和电站运营, 涵盖了光伏产业的各个环节。

(二) 光伏新能源并网的技术要求

光伏新能源并网需要满足一系列技术要求, 以确保电网的安全稳定运行。根据国家能源局发布的《光伏电站并网技术规定》, 光伏电站并网应具备有功功率调节能力、无功功率调节能力、电压调节能力、频率调节能力等, 同时, 光伏电站应具备低电压穿越能力, 在电网发生故障时能够保持并网运行, 不会因电

压骤降而大面积脱网^[1]。此外，光伏电站还需要配备先进的预测预报系统，准确预测光伏发电出力，为电网调度提供依据，吉林省电力公司在2022年建立了全省光伏发电功率预测系统，预测精度达到85%以上，有效提高了光伏发电的可调度性和并网友好性。

（三）光伏新能源并网的主要问题

尽管光伏新能源并网取得了显著进展，但仍面临一些挑战。首要问题是光伏发电的间歇性和波动性，这给电网的调峰调频带来了压力，吉林省地处高纬度地区，冬季光照时间短，光伏发电出力低，而夏季光照充足，发电量激增，这种季节性变化给电网运行带来了挑战。另一个问题是光伏发电的低电压穿越能力不足。在电网故障时，部分光伏电站可能会脱网，导致系统稳定性下降。此外，大规模光伏并网还会影响系统的惯性和短路电流水平，给继电保护带来新的挑战。



> 图1：光伏发电转换过程

二、光伏新能源并网对继电保护的具体作用

（一）光伏新能源并网对电流保护的影响

光伏新能源并网对电流保护产生了显著影响，传统的电流保护主要依赖于故障电流的大小来判断故障，而光伏发电系统的并网改变了电网的短路电流分布，由于光伏逆变器的电流限制作用，故障电流可能会降低，导致电流保护灵敏度降低或失灵。以吉林省某110kV变电站为例，在并网15MW光伏电站后，系统短路电流降低了约10%，这种变化使得原有的过电流保护整定值不再适用，需要重新调整，同时，光伏电站的并网也可能导致电流保护的方向性判断出现误差，特别是在光照强度变化剧烈的情况下。为应对这些挑战，吉林省电力公司在2023年开展了电流保护适应性研究，提出了基于自适应算法的电流保护整定方案，有效提高了保护的可靠性和灵敏度。

（二）光伏新能源并网对电压保护的影响

光伏新能源并网对电压保护也产生了一定影响。光伏发电系统的并网会改变电网的电压分布，特别是在大规模光伏并网的情况下，可能会导致局部电压升高，这种电压变化可能会影响电压保护的正确动作。在吉林省某220kV输电线路，由于并网了100MW光伏电站，线路末端电压在光伏出力高峰时升高了3%，这种电压升高可能会导致传统的低电压保护误动作或拒动。同时，光伏电站的低电压穿越能力也给电压保护带来了新的要求，需要在保证系统安全的同时，避免光伏电站不必要的脱网^[2]。为解决这些问题，吉林省电力研究院在2023年开发了一种基于电压-时间曲线的自适应电压保护方案，该方案能够根据光伏出力 and 系统运行状态动态调整保护整定值，有效提高了电压保护的适应性。

（三）光伏新能源并网对距离保护的影响

光伏新能源并网对距离保护的影响主要体现在测距误差和方

向判断两个方面。由于光伏发电系统的并网改变了系统的阻抗特性，传统的距离保护可能会出现测距误差，导致保护范围缩小或扩大。在吉林省某330kV输电线路，并网50MW光伏电站后，距离保护的测距误差增加了约5%，这种误差可能会导致保护的选择性下降，影响系统的安全稳定运行。此外，光伏电站的功率波动也可能导致距离保护的方向判断出现偏差，特别是在光伏出力快速变化的情况下。为应对这些挑战，吉林省电力公司在2022年引入了基于宽域测量的自适应距离保护技术，该技术利用同步相量测量单元（PMU）提供的实时数据，动态调整距离保护的整定值，显著提高了保护的准确性和可靠性。

（四）光伏新能源并网对差动保护的影响

光伏新能源并网对差动保护的影响主要体现在保护灵敏度和稳定性两个方面。由于光伏发电系统的并网改变了系统的电流分布，可能会影响差动保护的灵敏度，同时，光伏电站的功率波动也可能导致差动保护误动作。在吉林省某500kV变压器上，并网200MW光伏电站后，差动保护的灵敏度降低了约8%，这种灵敏度降低可能会导致保护在某些轻微故障情况下无法及时动作。此外，光伏电站在云遮挡等情况下的快速功率变化，也可能导致差动保护误动作。为解决这些问题，吉林省电力公司在2023年开发了一种基于自适应门槛值的差动保护方案，该方案能够根据光伏出力 and 系统运行状态动态调整差动保护的启动门槛，有效提高了保护的适应性和可靠性。

三、光伏新能源并网对继电保护的措施

（一）改进继电保护装置的配置与整定

光伏新能源并网对电力系统的影响日益显著，传统的继电保护配置和整定方法已难以满足新形势下的要求。改进继电保护装置的配置与整定成为应对这一挑战的关键措施，根据光伏电站的容量、位置及其对系统的影响，重新评估和调整继电保护的配置方案是当务之急，在保护整定方面，需充分考虑光伏电站的特性，如低电压穿越能力、功率波动特性等。合理设置保护整定值，既要保证系统安全，又要避免光伏电站不必要的脱网。吉林省电力公司在2023年开展的全省110kV及以上电压等级继电保护装置评估和优化工作就是一个典型案例，该项目共调整了3500余组保护整定值，有效提高了保护的适应性。引入自适应保护理念是改进继电保护整定的重要方向，自适应保护能够根据系统运行状态和光伏出力动态调整保护整定值，从而更好地适应光伏发电的波动特性。吉林省某330kV变电站在2022年引入的基于模糊逻辑的自适应保护系统就是一个成功案例，该系统能够根据光伏出力、负荷水平等因素实时调整保护整定值，显著提高了保护的可靠性。除了整定值的调整，保护装置的配置也需要进行相应的改进，例如，在光伏并网点增设电压和频率保护装置，以应对光伏发电导致的电压波动和频率偏差，同时，对于大型光伏电站，可考虑配置专用的光伏并网保护装置，以更好地适应光伏发电的特性^[3]。在实施过程中，需要注意保护配置的协调性，光伏电站并网后，可能会改变系统的短路电流分布，影响原有的保护配合，

因此，需要重新进行保护配合计算，确保各级保护之间的协调配合。吉林省某220kV变电站在2023年并网了一座100MW光伏电站，并网后，系统短路电流水平降低，原有的过电流保护整定值不再适用，电力公司通过详细的仿真计算，重新确定了过电流保护的整定值，并引入了基于电压的自适应保护方案。新的保护方案不仅解决了短路电流降低带来的问题，还能够根据光伏出力自动调整保护特性，有效提高了保护的可靠性和灵敏度，该案例充分展示了改进继电保护配置与整定在光伏并网中的重要作用。

（二）引入先进的继电保护技术

面对光伏新能源并网带来的挑战，引入先进的继电保护技术成为提升系统安全性和可靠性的重要手段，广域保护技术的应用为解决光伏并网导致的保护配合问题提供了新的思路。通过利用同步相量测量单元（PMU）提供的实时数据，广域保护系统能够实现更准确的故障判断和更快速的保护动作。吉林省电力公司在2023年在全省500kV电网中部署的广域保护系统是一个典型案例，该系统覆盖了15个变电站和20条输电线路，有效提高了大规模光伏并网条件下的系统保护性能。系统能够在100毫秒内准确识别并隔离故障，显著提高了系统的安全稳定水平，这一技术的应用不仅解决了传统保护在光伏并网条件下可能面临的选择性和速动性问题，还为系统的稳定控制提供了有力支持。人工智能技术在继电保护领域的应用也显示出巨大潜力，吉林省电力研究院在2022年开发的基于深度学习的故障识别算法就是一个创新性的尝试，该算法通过学习大量光伏并网条件下的故障数据，能够准确识别各种复杂故障类型，为保护决策提供有力支持，这种基于AI的保护技术不仅能够适应光伏发电的波动特性，还能够不断学习和优化，提高系统的适应性。新型测量技术的应用也为继电保护的发展提供了新的可能，例如光纤电流互感器的应用可以提高测量的准确性和可靠性，特别是在大电流和高电压环境下^[4-5]。这种技术在光伏电站并网点的应用可以更准确地捕捉到光伏发电的快速变化，为保护装置提供更可靠的输入信号。

（三）加强光伏新能源并网的监测与管理

加强光伏新能源并网的监测与管理是确保继电保护有效性的

重要措施。建立健全的光伏发电监测系统，实时掌握光伏电站的运行状态和出力情况，为继电保护的正确动作提供必要的信息支持，这不仅有助于提高系统的安全性和可靠性，还能为电网调度和运行管理提供有力的数据支撑。吉林省在2023年建立的全省光伏发电监测平台是一个典型案例，该平台实现了对全省580万千瓦光伏装机的实时监测，能够精确监测每个光伏电站的出力、电压、频率等关键参数，这些数据不仅为继电保护的整定和运行提供了可靠的支撑，还为系统的安全稳定分析提供了重要依据^[6-7]。监测系统的建设应当注重数据的全面性和实时性。除了常规的电气参数外，还应关注气象数据、设备状态等信息，例如，通过监测光照强度、温度、风速等气象数据，可以更准确地预测光伏发电的出力变化，为继电保护的自适应调整提供依据，同时，对逆变器、汇流箱等关键设备的状态监测也是确保系统安全运行的重要环节^[8]。数据分析和应用是监测系统发挥作用的关键，通过对海量监测数据的分析，可以挖掘出光伏发电的运行特性和规律，为继电保护的优化提供依据，例如，通过分析光伏出力的波动特性，可以优化距离保护的整定值，提高保护的适应性。加强光伏电站的并网管理，制定严格的并网标准和运行规程也是重要措施，吉林省电力公司在2022年修订的《光伏电站并网运行管理规定》就是一个很好的例子，该规定明确了光伏电站的并网要求、运行管理和保护配置标准，为继电保护的有效实施提供了制度保障^[9-10]。

四、结束语

光伏新能源并网是未来能源发展的重要趋势，其对继电保护的影响不容忽视，通过深入研究光伏新能源并网对继电保护的具体作用，采取相应的措施，可以有效保障光伏新能源的稳定运行和电力系统的安全可靠。未来的研究应进一步探索光伏新能源并网对继电保护的深层次影响，为能源转型和可持续发展贡献力量。

参考文献

[1] 李凡, 齐蓬勃, 弋富国, 等. 5G 技术对新能源接入配电网继电保护的影响及优化 [J]. 制造业自动化, 2023, 45(8):77-80.
[2] 谢学渊, 曾麟, 张宇峰, 等. 光伏新能源并网对继电保护的影响研究 [J]. 煤化工, 2023, 51(04):154-159.
[3] 宋军. 新能源并网对配电系统继电保护影响分析 [J]. 科学技术创新, 2018(31):147-148.
[4] 薛风华, 张文远, 王小光, 等. 新能源并网对配电系统继电保护影响分析 [J]. 电工电气, 2017(09):15-18+40.
[5] 黄峰. 分布式光伏电站并网对配电网继电保护的影响 [J]. 电力设备管理, 2023(1):17-19.
[6] 吕成虎. 光伏并网对配电网继电保护的影响分析及对策 [D]. 山东理工大学, 2020.
[7] 马海峰, 朱国超. 基于并网方式改进的光伏并网变电站继电保护研究 [J]. 通信电源技术, 2023, 40(23):40-42.
[8] 梁君亮, 董玉辉. 探究光伏电站并网对配电网继电保护的影响 [J]. 中国新技术新产品, 2022(7):58-60.
[9] 郭冰聪, 康忠健. 基于油田背景下光伏并网对配电网继电保护的影响 [J]. 电气应用, 2019(9):7.
[10] 劳小鉴. 关于电子电力变压器对配电网继电保护的影响研究 [J]. 电子乐园, 2021(5):0160-0160.

秦皇岛市零碳工厂建设路径研究

尼日特, 韩佳俊
河北环境工程学院, 河北 秦皇岛 066000

摘要： 秦皇岛市在零碳工厂建设领域取得了不错的成就，已成功建立起两家零碳工厂，并引领多家企业投身于这一绿色制造。但是，秦皇岛市也遭遇了一系列挑战，包括技术难题、资金短缺、政策扶持不足、市场认可度低以及专业人才匮乏等。为了克服这些障碍，秦皇岛市正积极采取多方面措施。在技术层面，加强研发与创新，力求突破技术瓶颈；在资金上，设立专项基金，为零碳工厂建设提供充足财力支持；政策方面，不断完善相关体系，给予企业更多实质性的帮助；同时，加大市场推广力度，提升消费者对零碳产品的认知与接受度；此外，还与高校及职业学校紧密合作，共同培育符合产业需求的专业人才。这些举措将有力推动秦皇岛市零碳工厂建设的持续健康发展。

关键词： 秦皇岛市；零碳工厂；建设路径

Study on the Construction Path of Zero-Carbon Factories in Qinhuangdao City

Ni Rite, Han Jiajun
Hebei University of Environmental Engineering, Qinhuangdao, Hebei 066000

Abstract： Qinhuangdao City has achieved notable success in the construction of zero-carbon factories, successfully establishing two zero-carbon factories and leading many enterprises to embrace green manufacturing. However, Qinhuangdao City has also faced a series of challenges, including technical difficulties, shortage of funds, insufficient policy support, low market recognition, and a lack of professional talent. To overcome these obstacles, Qinhuangdao City is actively taking multiple measures. On the technical level, it is strengthening research and innovation to break through technological bottlenecks. In terms of funding, it has established a special fund to provide sufficient financial support for the construction of zero-carbon factories. On the policy front, it is continuously improving relevant systems to provide more substantive help to enterprises. At the same time, it is increasing market promotion efforts to enhance consumers' awareness and acceptance of zero-carbon products. Furthermore, it is closely cooperating with universities and vocational schools to jointly cultivate professional talent that meets the needs of the industry. These measures will effectively promote the sustainable and healthy development of zero-carbon factory construction in Qinhuangdao City.

Keywords： Qinhuangdao city; zero-carbon factory; construction path

引言

随着全球气候变化问题的日益严峻，实现“碳达峰、碳中和”已成为国际社会普遍关注的热点话题。作为应对气候变化的重要举措，零碳工厂建设不仅有助于降低工业生产过程中的碳排放，还能推动产业结构的优化升级和绿色低碳转型。近年来，我国各地纷纷积极响应国家号召，大力推进零碳工厂建设。秦皇岛市作为河北省的重要城市，也在这一领域进行了积极探索和实践。本文将以太皇岛市为例，深入剖析其在零碳工厂建设方面取得的显著成效以及面临的挑战。通过全面梳理秦皇岛市零碳工厂建设的现状、存在的问题及建设路径，旨在为其他地区提供有益的借鉴和参考。同时，本文也将探讨如何进一步推动秦皇岛市零碳工厂建设的持续发展，为实现“碳达峰、碳中和”目标贡献更多力量。

一、秦皇岛市零碳工厂建设现状

秦皇岛市积极响应国家“碳达峰、碳中和”目标，聚焦“生态优先、绿色发展”理念大力推动新能源产业发展^[1]，尤其是在零碳工厂建设方面取得了显著成效。已建成两家零碳工厂。金风

基金项目：河北环境工程学院大学生创新训练项目《“双碳”背景下秦皇岛市零碳工厂建设路径研究》（项目编号：X202451721063）。

作者简介：

尼日特（2005—），女，内蒙古自治区鄂尔多斯市鄂托克前旗，河北环境工程学院环境科学系环境科学专业学生，研究方向：生态环境管理；

韩佳俊（2005—），河北省石家庄市，河北环境工程学院环境科学系环境科学专业学生，研究方向：生态环境管理。

目，定位于国内领先的自动化、数智化零碳智能制造工厂。工厂占地面积约23.65亩，总建筑面积达到1.07万平方米，主要建设内容包括2GWh储能设备生产线及先进的测试平台。项目投产后，预计年产储能电池舱成品348套，产值约20亿元，为秦皇岛市乃至河北省新质生产力的发展注入新动力。秦皇岛金海特种食用油工业有限公司（简称“金海特油”）作为益海嘉里集团旗下的特种油脂工厂，多年来坚持低碳环保理念致力于绿色制造。2023年，金海特油所生产的“莎妮雅有机食用植物调和油 AROPO-09YL”成功获得SGS达成碳中和宣告核证声明，完成“零碳”认证。同时，金海特油还被评为河北省“绿色工厂”和国家级“绿色工厂”，实现了从“零碳产品”到“零碳工的全面升级。

除了金风科技和金海特油外，秦皇岛市还有多家企业在零碳工厂建设方面进行了积极探索。例如，中油宝世顺（秦皇岛）钢管有限公司成为中国石油集团公司首个绿色零碳智能工厂建设示范企业，通过建设新能源光伏发电项目，实现了节能减排和清洁能源替代。此外，秦皇岛市还积极推进其他新能源项目建设，如青龙满族自治县建昊土门子215MW光伏发电项目、金凤昌黎县200MW风力发电项目等，这些项目的建设对于推动当地新能源产业发展、促进绿色低碳转型具有重要意义，也为全国绿色制造提供了有益借鉴。秦皇岛市政府高度重视绿色低碳发展，出台了一系列优惠政策支持零碳工厂建设。在零碳工厂的建设过程中，技术创新发挥了关键作用。金海特油通过设备改造和工艺优化，实现了节能减排和能效提升；金碳储能科技有限公司则引入了先进的储能技术和智能化生产线，提高了生产效率和产品质量。此外，秦皇岛市还积极引进国内外先进的绿色低碳技术和管理经验，推动本地企业转型升级^[2]。

二、秦皇岛市零碳工厂建设存在的问题

（一）技术挑战

零碳工厂的建设需要采用先进的节能减排技术和设备，如高效能源管理系统、智能控制技术等^[3]。然而，这些技术的引进和应用往往面临技术成熟度、适应性和成本效益等问题。在实施过程中，如何确保技术的可靠性和长期稳定性也是一大挑战^[4]。同时，随着技术的快速发展，如何保持技术的更新和升级也是需要考虑的问题。技术创新能力不足也是秦皇岛市面临的一个主要问题。尽管零碳工厂建设依赖于先进的技术支撑，但秦皇岛市在低碳技术、清洁能源技术等方面的创新能力仍有待提升^[5]。部分企业在技术引进和消化吸收方面存在困难，难以形成自主核心技术，限制了零碳工厂建设的进程。

（二）资金投入不足

零碳工厂的建设和运营需要大量的资金投入，包括初期建设成本、运营维护费用以及可能的技术更新费用。对于许多企业来说，如何筹集足够的资金是一个重大挑战。除了直接的资金需求外，企业还需要考虑投资回报周期和风险。如果投资回收期过长或风险过高，可能会影响企业的投资决策。资金投入不足也是秦皇岛市零碳工厂建设面临的一个问题。尽管政府已经出台了一些

支持政策，但在实际操作中，资金仍然是制约零碳工厂建设的重要因素之一。

（三）政策支持弱

政府的政策支持对于零碳工厂的建设至关重要。然而，目前关于零碳工厂的具体政策支持可能还不够完善或明确。政策的不确定性可能会影响企业的投资决策和建设计划。因此，加强政策引导和支持力度是推动零碳工厂建设的关键。尽管秦皇岛市已经出台了一系列支持绿色低碳发展的政策措施，但在零碳工厂建设方面，具体的政策细则和激励机制仍有待完善。政策执行过程中，可能存在信息不对称、执行力度不够等问题，影响了政策效果的充分发挥^[6]。

（四）市场接受度低

虽然零碳工厂具有环保和可持续发展的优势，但市场对其接受度可能因多种因素而异。例如，消费者对零碳产品的认知度、价格敏感性等因素都可能影响市场的接受度。企业在推广零碳工厂和产品时，需要充分考虑市场需求和消费者偏好，制定有效的市场策略。市场需求不足也是秦皇岛市零碳工厂建设面临的一个问题。由于消费者对零碳产品的认知度不高、价格敏感性等原因，市场需求相对较小，这也给零碳工厂的建设和运营带来了一定的困难。

（五）人才短缺

零碳工厂的建设和管理需要具备相关专业知识和技能的人才。然而，目前市场上这类人才可能相对短缺，难以满足企业的需求。为了解决人才短缺问题，企业需要加强人才培养和引进工作，提高员工的专业技能和素质水平。在人才培养方面，秦皇岛市可以加强与高校、科研机构的合作，共同培养符合产业发展需求的专业人才；同时，也可以吸引外部优秀人才来秦皇岛发展，为零碳工厂的建设提供有力的人才保障。

三、秦皇岛市零碳工厂建设路径

（一）技术路径

首先是清洁能源应用方面，秦皇岛市在建筑行业中推广了绿色建筑标准，使用节能材料和技术，如保温隔热材料、节能窗户和太阳能热水器等^[7]，其中技术应用可以为零碳工厂建设提供方向。与秦皇岛相似地区中广东省阳江市，江苏盐城市通过地理优势尝试技术融合提高了新能源利用效率及使用比例，如在并网风电机的应用和海上风电制氢。这样即增加了新能源储备容量又提高了新能源应用频率。在节能技术方面，为了推进零碳工厂更好的建设，山东省青岛市在建筑节能、工业节能和交通节能方面有所作为，推广了绿色建筑、高效节能设备和新能源汽车。江苏省苏州市在智慧城市建设中融入了节能技术，通过智能传感器和大数据分析优化能源使用^[8]。在建设零碳工厂使，另一挑战是废物管理方面。“减量化、资源化、无害化”的处理废物是基本原则^[9]，其中减量化可以在清洁能源的使用中得到显著的效益，在资源化方面可以通过福州市在废物综合利用项目的案例^[10]来分析应用于秦皇岛。对于秦皇岛来说可以通过加强技术研发和创新，通过与

高校、科研机构合作，推动低碳技术和清洁能源技术的发展。引进国际先进技术，并进行本地化改造和优化，以提高技术的适应性和成本效益。建立技术创新平台，鼓励企业进行自主研发，形成自主核心技术。

（二）资金投入路径

其他省市在资金投入方面，深圳市对符合条件的零碳工厂新项目基于一定的税收减免或贴息服务及财政补贴。浙江省针对零碳工厂建设专项贷款产品有低息贷款并降低企业融资成本等方案。秦皇岛政府也可以通过设立专项资金，支持零碳工厂的建设和运营而提高两坛工厂建设的积极性。吸引社会资本参与，通过PPP模式等多元化融资方式，筹集建设资金。提供税收优惠、贷款贴息等政策支持，降低企业投资成本。另外，可以通过高校竞赛对相关项目的支持投入一定资金，为零碳工厂建设找到新方向及路径。

（三）政策支持路径

秦皇岛需要完善相关政策体系，明确零碳工厂建设的具体要求和标准。上海市在此方面建立了严格的项目管理制度和监督机制，确保了资金使用的规范性，实际有效性和资金使用效率。不仅如此上海市相关机构会定期审计及评估，对于建设工程中可能出现的问题做出了预防。除了严格制度外，秦皇岛可以制定具体的激励措施，如补贴、奖励等，以鼓励企业积极参与。加强政策宣传和解读，确保信息对称，提高政策执行力度。在此过程中严格按照国标制定零碳工厂建设相关制度。

（四）提高市场接受度路径

为了有效提升市场接受度，关键在于加强市场推广与宣传教育的力度，通过多元化渠道和创新策略，增强企业在零碳工厂建设领域的市场竞争力。对于在零碳转型中表现突出的公司，应给予公开表彰与奖励，以此激励更多企业投身于绿色可持续发展之路，并借此机会提高这些优秀公司产品在消费者中的购买率。同时，加大对零碳产品概念的普及教育，利用社交媒体、线上线下活动以及合作伙伴关系等当今社会主流宣传方式，深入浅出地介绍零碳产品的优势与价值，逐步提升消费者对环保、低碳生活方

式的认知与接受度，从而为整个市场的绿色转型与健康发展奠定坚实的基础。

（五）解决人才的路径

为了促进产业的持续健康发展，必须加强人才培养和引进工作，构建一套完善的人才发展体系。我们应积极与高校、职业学校等教育机构建立紧密的合作关系，根据产业发展的实际需求，共同设计并实施专项人才培养方案，确保所培养的人才能够精准对接产业需求，具备扎实的专业知识和实践技能。同时，为了提升现有员工的综合素质和专业技能，我们将提供丰富的培训和再教育机会。这些培训将涵盖理论知识、实操技能以及最新的行业动态和技术趋势，帮助员工不断更新知识结构，提升工作效率和创新能力。此外，我们还将通过各企业之间的相互交流，搭建人才流动和合作的平台，吸引外部优秀人才来本地发展。通过举办行业论坛、技术研讨会等活动，加强企业之间的沟通与合作，为优秀人才提供更多的发展机会和广阔的职业空间，从而为产业发展提供有力的人才保障和人才专业能力保障。这一系列举措将有助于形成人才聚集效应，推动产业向更高水平迈进。

四、结语

秦皇岛市在零碳工厂建设领域已经取得了积极进展，展现了其在绿色低碳转型方面的决心和行动力。然而，这一进程并非一帆风顺，仍需克服技术瓶颈、资金短缺、政策支持不足、市场接受度低以及人才匮乏等多方面的挑战。为了持续推进零碳工厂建设，秦皇岛市正积极采取措施，包括加强技术创新和资金投入，以突破关键技术难题；完善政策支持和市场推广机制，为零碳工厂建设提供更有力的政策保障和市场动力；同时，加强人才培养和引进工作，为绿色低碳产业的发展提供坚实的人才支撑。未来，秦皇岛市应继续坚持“生态优先、绿色发展”的理念，不断完善零碳工厂建设的路径和机制，努力为全国绿色制造提供有益借鉴，为实现“碳达峰、碳中和”的宏伟目标贡献更大的力量。

参考文献

[1] 张晓燕. 秦皇岛市节能对策研究 [M]. 河北科技师范学院, 2019.

[2] 李静. 秦皇岛市节能环保产业发展现状及对策 [J]. 现代商业, 2020(18):11-12+15.

[3] 景长勇, 李国会, 陈婧, 霍保全. 秦皇岛市节能对策研究 [J]. 中国环境管理干部学院学报, 2016,(1):57-60.

[4] 刘志强. 大型公共建筑能耗量大, 是建筑节能改造的重点之一 [J]. 居业, 2019(02):114-115.

[5] 王建军, 李艳玲, 张丽娜, 等. 秦皇岛市能源需求分析及节能对策研究 [J]. 环境科学与管理, 2015,40(03):13-17.

[6] 郑永利. 秦皇岛市节能环保产业发展现状及对策 [J]. 中国环境管理干部学院学报, 2015,(4):63-65.

[7] 王伟胜. 旅游度假区生态节能规划与设计研究——基于秦皇岛滨海森林酒店的实证分析 [J]. 华中建筑, 2015,33(04):115-117.

[8] 郭立文, 宋国堂, 袁彬瀚, 王琦, 李超. 2020年秦皇岛市“十三五”电力需求分析与“十四五”电力需求预测报告 [R]. 河北能源发展报告(2020)社会科学文献出版社, 2020, 第206-228页.

[9] 固体废物污染防治信息公报, 福州市生态环境局. 2022年度福州市固体废物污染环境防治信息公报 [R]. 福州市生态环境局, 2023年.

[10] 福州市工业危固废综合利用与处置中心项目环评报告 [R]. 福州市环化环保科技有限公司2017,11,12.

天然气长输管网优化建模及求解研究探讨

任雨涵, 李映霏, 陈渝静

中国石油西南油气田分公司天然气经济研究所, 四川 成都 610056

摘 要 : 随着天然气消费需求的不断增长, 天然气长输管网的优化成为亟待解决的问题。本文旨在探讨天然气长输管网优化建模及求解的研究进展, 以降低管网运营成本、提高天然气供应可靠性。通过对天然气长输管网优化建模及求解方法的研究进展进行系统总结, 为降低管网运营成本、提高天然气供应可靠性提供了理论支持。然而, 综合考虑经济属性与物理属性、应用市场均衡模型等方面的研究仍有待加强。未来研究应致力于探讨这些方向, 以实现天然气长输管网的优化。

关 键 词 : 天然气长输管网; 优化建模; 求解方法

Research on Optimization Modeling and Solution of Natural Gas Long Distance Pipeline Network

Ren Yuhan, Li Yingfei, Chen Yujing

Natural Gas Economics Research Institute of PetroChina Southwest Oil and Gas Field Branch, Chengdu, Sichuan 610056

Abstract : With the continuous growth of natural gas consumption demand, the optimization of natural gas long-distance transmission pipelines has become an urgent problem to be solved. This article aimed to explore the research progress of optimization modeling and solution for natural gas long-distance pipeline networks, in order to reduce pipeline operation costs and improve the reliability of natural gas supply. Through systematic summary of the research progress on optimization modeling and solution methods for natural gas long-distance pipeline networks provides theoretical support for reducing pipeline operation costs and improving the reliability of natural gas supply. However, research on the comprehensive consideration of economic and physical attributes, as well as the application of market equilibrium models, still needed to be strengthened. The future research should focus on exploring these directions to achieve optimization of natural gas long-distance pipeline networks.

Keywords : natural gas long distance pipeline; optimization modeling; solution method

一、天然气长输管网优化建模方法

天然气长输管网优化建模方法可以分为基于物理属性、基于经济属性以及综合考虑经济属性与物理属性三类。

(一) 基于物理属性的建模方法

基于物理属性的建模方法主要关注天然气长输管网的物理特性, 如管道长度、管径、输气能力、压缩站布局等。这类方法旨在通过优化管网的物理参数来实现运行成本最低、供应可靠性最高的目标。常见的基于物理属性的优化模型包括: 线性规划模型、网络流模型、遗传算法等。这些模型在解决特定阶段下单一属性的管网优化问题方面具有较好的效果, 但难以同时兼顾经济性和物理属性。

(二) 基于经济属性的建模方法

基于经济属性的建模方法主要关注天然气长输管网的经济性, 包括投资成本、运行成本、维护成本等。这类方法旨在通过优化管网的经济指标来实现经济效益最大化的目标。常见的基于经济属性的优化模型包括^[1]: 成本最小化模型、收益最大化模型、投资回报分析等。这些模型在提高管网的经济性方面具有较好的效果, 但可能忽视了管网的物理特性。

(三) 综合考虑经济属性与物理属性的建模方法

为了同时兼顾天然气长输管网的经济性和物理属性, 综合考虑经济属性与物理属性的建模方法应运而生。这类方法通过将经济指标与物理特性相结合, 构建更为全面的优化模型。常见的综合考虑经济属性与物理属性的优化模型包括: 多目标优化模型、混合整数线性规划模型、遗传算法与模拟退火算法等。这些模型在平衡经济性与物理属性方面具有较好的效果, 有助于提高管网的经济性和可靠性。

综上所述, 天然气长输管网优化建模方法可分为基于物理属性、基于经济属性以及综合考虑经济属性与物理属性三类。各类方法均有其优点和局限性, 研究人员可根据实际问题选择合适的建模方法, 为天然气长输管网的优化提供科学依据。未来研究可关注天然气市场均衡模型在管网优化中的应用, 以期进一步提高管网的经济性、可靠性和可持续性。

二、天然气长输管网优化求解算法

(一) 启发式算法

启发式算法是一种基于经验规则和直观判断的优化方法。在

天然气长输管网优化问题中，启发式算法可以快速找到一个较为满意的解决方案。常见的启发式算法包括模拟退火算法、遗传算法、粒子群优化算法等。这些算法在求解过程中具有较好的全局搜索能力，可以避免陷入局部最优解。然而，启发式算法的收敛速度较慢，且求解结果可能不唯一。

（二）精确算法

精确算法是一种基于数学模型的优化方法，可以求解特定的优化问题。在天然气长输管网优化问题中，精确算法主要包括线性规划、非线性规划、动态规划等。这些算法具有较高的求解精度，但需要解决复杂的数学问题。精确算法在处理大规模问题时，计算量较大，求解速度较慢。

（三）混合算法

在天然气长输管网优化问题中，混合算法主要包括以下几种形式^[2]：

（1）启发式算法与精确算法的混合：通过将启发式算法与精确算法相结合，可以在保证求解精度的同时，提高求解速度。例如，在遗传算法中引入模拟退火算法，形成一种混合遗传算法，以提高求解全局最优解的能力。

（2）多种启发式算法的混合：通过将多种启发式算法相互结合，可以克服单一算法的局限性，提高求解效果。例如，将粒子群优化算法与模拟退火算法相结合，形成一种混合粒子群优化算法，以提高求解效率和准确性。

总之，天然气长输管网优化求解算法包括启发式算法、精确算法和混合算法。这些算法各有优缺点，适用于不同类型的问题和场景。在实际应用中，根据问题的特点和需求，选择合适的求解算法至关重要。未来研究可以关注算法之间的融合与创新，以进一步提高天然气长输管网优化的求解效果。

三、起伏地形天然气长输管道运行优化研究

（一）影响管道运营费用的因素分析

在起伏地形天然气长输管道系统中，影响管道运营费用的因素繁多。首先，管道本身的材料、长度、直径等物理属性对运营费用有直接影响。此外，沿线的地形、地质条件也是影响因素之一，特别是在起伏地形区域，高程差会导致管道敷设方式的差异，进而影响运营费用。另外，压缩机站的位置、数量和运行参数，以及天然气的输送距离和流量等也是影响运营费用的关键因素。

（二）考虑沿线高程差的影响

沿线高程差对天然气长输管道的运行优化具有显著影响^[3]。首先，高程差会影响管道的压力分布，从而导致压缩机能耗的增加。在起伏地形区域，由于高程差的存在，管道需要安装相应的调节设备，如压缩机和调节阀门，以维持管道的正常运行。此外，高程差还会影响管道的敷设方式，例如，采用埋地敷设还是架空敷设。沿线高程差导致的管道长度增加、弯头和弯曲段的数量增多，从而使得管道建设成本和运营费用增加。

为考虑沿线高程差的影响，长输管道运行优化方法需要结合

地形地貌特点，对管道系统进行合理划分，制定针对性的优化策略。例如，可以根据地形特点优化压缩机站的布局，降低高程差对管道运行的影响。同时，通过调整压缩机站的运行参数，实现能耗的优化。此外，采用先进的监测和控制技术，实时掌握管道运行状态，确保管道在安全、可靠、经济的状态下运行。

（三）管道运行优化方法与应用

针对起伏地形天然气长输管道的运行优化，研究者提出了多种优化方法^[4]。其中包括基于数学规划的方法、动态规划法、遗传算法、粒子群优化算法等。这些方法旨在优化管道系统的运行参数，如压缩机站的布局、运行参数调整、管道维修策略等，以降低运营成本、提高管道运行效率和可靠性。具体应用方面，例如采用遗传算法对压缩机站的布局进行优化，根据地形地貌和管道运行参数，自动搜索最优解。通过优化压缩机站的布局，可以有效降低管道系统的运行费用，提高天然气输送效率。另外，采用粒子群优化算法对管道维护策略进行优化，以延长管道使用寿命，降低维修成本。

四、天然气市场均衡模型在管网优化中的应用

（一）天然气市场均衡模型的建立

模型建立主要分为以下几个步骤：

- （1）确定研究对象，如某一区域内的天然气市场；
- （2）梳理天然气市场的供需关系，包括天然气产量、消费量、输配设施等因素；
- （3）构建天然气市场均衡方程，反映供需平衡下的价格与产量关系；
- （4）引入不确定性因素，如天然气价格波动、市场需求波动等；
- （5）求解模型，得到在不同条件下的天然气市场均衡价格和产量。

（二）模型在管网优化中的作用

天然气市场均衡模型在管网优化中的作用主要体现在以下几个方面^[5]：

- （1）提高管网运行效率：通过分析天然气市场供需关系，优化天然气资源配置，降低输配成本，提高管网运行效率；
- （2）提升管网可靠性：根据市场需求和供应情况，合理规划天然气管道布局，提高天然气供应的稳定性和可靠性；
- （3）降低管网投资风险：预测天然气市场发展趋势，为管网规划与投资提供科学依据，降低投资风险；
- （4）促进天然气市场公平竞争：通过模型分析，了解市场竞争态势，规范天然气市场秩序，促进市场公平竞争。

五、结论与展望

（一）天然气长输管网优化建模及求解的研究成果

- （1）建模方法：研究者们针对天然气长输管网的特性，提出了基于物理属性和经济属性的多种优化模型。这些模型有助于更

准确地描述和解决管网优化问题，为天然气长输管网的规划、设计和管理提供了理论依据。

(2) 求解算法：为了解决复杂的天然气长输管网优化问题，研究者们提出了多种启发式算法，如遗传算法、粒子群优化算法、模拟退火算法等。这些算法在求解过程中表现出较高的收敛速度和求解效率，为实际工程应用提供了有力支持。

(3) 应用场景：天然气长输管网优化研究已成功应用于我国多个实际工程项目，取得了良好的经济效益和社会效益。这些应用成果为我国天然气长输管网的建设和运营提供了有力保障。

(二) 未来研究方向与趋势

根据现有研究成果和天然气产业发展需求，未来天然气长输管网优化建模及求解的研究方向与趋势如下：

(1) 综合考虑经济属性与物理属性：为进一步提高天然气长输管网的经济性和可靠性，研究应综合考虑经济属性与物理属性，实现设计与运行的优化统筹。

(2) 天然气市场均衡模型应用：随着我国天然气市场的不断发展和改革，天然气市场均衡模型在管网优化中的应用将受到更多关注。这有助于更好地满足市场需求，提高天然气供应的可靠性和经济性。

(3) 非稳态优化：研究天然气长输管网在非稳态条件下的优化问题，有助于提高管网的运行效率和安全性。

(4) 智能算法研究：针对复杂多变的天然气长输管网优化问题，继续研究高效、智能的求解算法，以提高求解速度和准确性。

参考文献

[1] 何润民, 熊伟杨, 雅雯, 任雨涵. 中国天然气市场发展分析与研究 [J]. 天然气技术与经济, 2018, 12(6): 21-24.
[2] 何润民, 王富平, 李洪兵, 邹晓琴, 王 莅. 基于最优组合模型的中国天然气需求量预测 [J]. 天然气技术与经济, 2021, 15(6): 50-57.
[3] 何春蕾, 段言志, 李森圣. 国家油气管网公司成立后的天然气价格机制改革建议 [J]. 天然气技术与经济, 2020, 14(3): 68-73.
[4] 李宝军, 贺志明, 朱力洋, 等. 川渝地区建设中国天然气市场化改革展示示范区的思考 [J]. 天然气工业, 2020, 40(11): 66-68.
[5] 何春蕾, 段言志, 张颢等. 中国天然气价格改革理论研究进展及其应用回顾与展望 [J]. 天然气工业. 2023, 43(12): 111-113.

大型电站锅炉燃烧优化技术及其节能效果分析

孙麒

华电滕州新源热电有限公司, 山东 滕州 277500

摘 要： 本文针对大型电站锅炉燃烧过程，分析了燃料特性、燃烧设备结构和燃烧过程影响因素，提出了燃烧优化技术方法，包括燃料预处理、燃烧设备改造和燃烧过程控制。具体措施涉及燃料配比、燃烧温度、燃烧气氛、燃烧器结构和烟气排放的优化。实施这些优化技术后，锅炉热效率提高、燃料消耗量降低、烟气排放污染物浓度减少，实现了显著的节能效果。

关 键 词： 大型电站；锅炉；燃烧；节能

Analysis of Combustion Optimization Technology and Energy-Saving Effect of Large Power Station Boiler

Sun Qi

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

Abstract： This paper aims at the combustion process of large power station boiler, analyzes the fuel characteristics, the structure of combustion equipment and the influencing factors of the combustion process, and puts forward the combustion optimization technology methods, including fuel pretreatment, combustion equipment transformation and combustion process control. Specific measures involve the optimization of fuel ratio, combustion temperature, combustion atmosphere, burner structure and flue gas emission. After the implementation of these optimization technologies, the boiler thermal efficiency is improved, the fuel consumption is reduced, the pollutant concentration of flue gas emission is reduced, and the significant energy saving effect is achieved.

Keywords： large power station; boiler; combustion; energy saving

引言

随着能源需求的不断增长和环保意识的加强，提高电站锅炉的燃烧效率、降低能源消耗和减少污染物排放已成为我国能源领域的重要研究课题。大型电站锅炉作为能源转换的关键设备，其燃烧优化技术的研究与应用对于提高能源利用效率、保障能源安全具有重要意义。

一、燃烧过程分析

（一）燃料特性分析

电站锅炉常用的燃料包括煤、石油、天然气等。煤的燃料特性包括其水分、灰分、挥发分和固定碳等含量。水分和灰分含量的高低直接影响燃料的热值和燃烧效率，高水分和高灰分的煤燃烧时热值低，燃烧效率差，而且会增加锅炉的腐蚀和积灰^[1]。挥发分含量的多少决定了煤的着火温度和燃烧速度，挥发分含量高的煤易于着火，燃烧速度快。固定碳是煤中不可燃的碳元素，其含量影响煤的燃烧完全程度。石油和天然气的燃料特性分析则侧重于其热值、密度、粘度、硫含量等指标，这些指标决定了燃料的燃烧稳定性、热效率和排放特性。

（二）燃烧设备结构分析

燃烧设备是锅炉系统的核心组成部分，其结构设计直接影响

燃烧效率和安全性。燃烧设备通常包括燃烧室、燃烧器、空气预热器等。燃烧室是燃料燃烧的主要场所，其体积和形状设计需要保证燃料充分燃烧，同时减少热量损失。燃烧器负责将燃料和空气均匀混合，并提供足够的氧气以维持燃烧，其设计必须考虑到燃料类型、燃烧方式和燃烧效率。空气预热器则是通过预热空气来提高燃烧温度，增强燃烧效率，同时还可以降低燃料的氮氧化物排放。燃烧设备的结构设计中，流道的设计、材料的选用和制造工艺都至关重要，它们决定了燃烧设备的性能和寿命^[2]。

（三）燃烧过程影响因素分析

燃料的性质是决定燃烧效果的基础，包括燃料的热值、水分、灰分、挥发分等。燃烧设备的结构设计对燃烧过程有重要影响，如燃烧器的型式、燃烧室的尺寸、空气和燃料的混合方式等。此外，燃烧过程中的操作条件也会影响燃烧效果，包括燃烧温度、氧气浓度、燃料和空气的配比、燃烧压力等。温度过高或

过低都会影响燃烧的完全程度和效率。氧气浓度不足会导致燃料燃烧不完全，产生大量污染物；而氧气浓度过高则会导致氮氧化物的生成，影响环保。燃烧过程中的灰分沉积和腐蚀问题也会影响燃烧设备的正常运行和寿命。

二、燃烧优化技术方法

（一）燃料预处理技术

燃料预处理技术主要包括对燃料进行物理和化学处理，以提高燃烧效率。物理处理方面，可以采用筛分、破碎、磨粉等方式，将燃料加工成更细小的颗粒，增加其与空气的接触面积，从而促进燃烧的充分性。例如，对于煤炭，可以采用洗煤技术去除其中的灰分和硫分，提高其发热量。化学处理方面，可以通过添加催化剂或进行化学转化，改变燃料的燃烧特性，如降低着火温度、提高燃烧速度等。建立燃料特性数据库，对入炉燃料进行实时分析，根据分析结果进行配煤，优化燃料的燃烧特性^[2]。采用高效的燃料破碎和磨粉设备，提高燃料的细度。引入先进的洗煤技术，降低煤中的灰分和硫分，提高燃烧效率。

（二）燃烧设备改造技术

燃烧设备的改造技术主要针对燃烧器、炉膛等关键部位进行优化。对于燃烧器，可以通过改变喷嘴形状、调整火焰形状等方式，优化燃料与空气的混合效果，提高燃烧效率。炉膛的改造则侧重于提高燃烧温度和减少热量损失。对燃烧器进行结构优化，如采用多级燃烧技术，提高燃烧的稳定性。对炉膛进行保温处理，减少热量散失。安装烟气再循环系统，降低氮氧化物的生成量。采用先进的燃烧监测系统，实时调整燃烧参数，保证燃烧的稳定性 and 效率。

（三）燃烧过程控制技术

燃烧过程控制技术是通过自动控制系统对燃烧过程进行实时监控和调整，以达到最佳燃烧效果。包括对燃料供应、空气供应和燃烧温度等参数的精确控制。建立燃烧过程控制系统，实时监测燃烧参数，如氧气浓度、燃烧温度等^[3]。采用模糊控制、神经网络等先进的控制算法，对燃烧过程进行智能优化。对燃烧设备进行定期维护和检修，确保其运行在最佳状态。对操作人员进行专业培训，提高其操作技能和应对突发情况的能力。

三、燃烧优化技术具体措施

（一）燃料配比优化

建立燃料数据库，收集不同燃料的特性数据，包括热值、硫分、灰分等。采用先进的燃料分析仪器，实时监测入炉燃料的成分和特性。根据锅炉负荷和燃料特性，通过专家系统或智能优化算法确定最佳的燃料配比方案。采用自动化控制系统，实时调整燃料供应比例，确保燃料配比的精确性^[4]。定期评估燃料配比的效果，根据锅炉运行数据进行调整优化。

（二）燃烧温度优化

通过安装高温监测仪表，实时监测燃烧温度，确保其在最佳

范围内波动。根据燃料类型和锅炉负荷，调整燃烧器的一次风量和二次风量，控制燃烧温度。优化燃烧器设计，如采用多级燃烧技术，使燃料在不同温度下分段燃烧，减少氮氧化物的生成。采用烟气再循环技术，通过将部分烟气返回燃烧室，降低燃烧温度，同时减少污染物排放。利用燃烧过程的实时数据和模型预测，通过智能控制系统动态调整燃烧参数，以保持燃烧温度的稳定性。

（三）燃烧气氛优化

优化空气和燃料的混合比，通过精确控制一次风和二次风的流量，确保氧气与燃料的混合恰到好处，既满足燃烧所需的氧气量，又避免过量空气带来的热量损失。采用分级送风技术，将燃烧过程分为多个阶段，每个阶段提供适量的空气，使燃料在不同温度下充分燃烧，减少不完全燃烧现象^[5]。引入烟气再循环系统，通过将部分低温烟气与新鲜空气混合，降低燃烧温度，减少氮氧化物的生成，同时提高燃烧效率。使用富氧燃烧技术，通过增加氧气浓度，提高燃烧速度和温度，减少有害物质的排放。定期检测和维护燃烧设备，确保燃烧器、炉膛等设备的清洁和良好运行状态，防止积灰和腐蚀影响燃烧气氛。

（四）燃烧器结构优化

改进燃烧器喷嘴设计，通过优化喷嘴形状和大小，提高燃料与空气的混合效率，促进燃料的充分燃烧。增加燃烧器调节功能，燃烧器应具备调节燃料和空气流量的能力，以适应不同的锅炉负荷和燃料类型。采用多级燃烧技术，通过多级燃烧，实现燃料在不同温度下的分段燃烧，减少氮氧化物的排放^[6]。增强燃烧器的耐磨性和耐腐蚀性，选择合适的材料和表面处理技术，延长燃烧器的使用寿命。智能化燃烧器控制系统，通过安装传感器和智能控制系统，实时调整燃烧参数，确保燃烧过程的稳定性和效率。

（五）烟气排放优化

安装脱硫脱硝装置，通过湿式或干式脱硫、选择性催化还原（SCR）或选择性非催化还原（SNCR）等技术，减少二氧化硫和氮氧化物的排放。优化锅炉尾部受热面设计，通过增加受热面积或改进尾部受热面的结构，提高烟气的冷却效率和污染物去除效果。采用活性炭喷射技术，在烟气中喷射活性炭，吸附烟气中的重金属和有机污染物，减少其排放^[7]。定期清洗和维护排放设备，确保排放设备的清洁和良好运行状态，避免污染物排放浓度超标。实施烟气在线监测，安装烟气排放连续监测系统（CEMS），实时监控污染物排放浓度，确保排放达标。

四、燃烧优化技术的节能效果

（一）节能效果评价指标

热效率是衡量锅炉燃烧节能效果最直接的指标，它反映了锅炉将燃料的化学能转化为热能的效率。热效率越高，能源利用率越高，节能效果越显著。计算公式为：热效率 = （锅炉有效利用热量 / 燃料总热量）× 100%。燃料消耗率是指单位时间内锅炉消耗燃料的量，通常以千克 / 小时或吨 / 天计。通过比较优化前后的

燃料消耗率，可以直观地评价节能效果。排放指标包括氮氧化物（NO_x）、二氧化硫（SO₂）、颗粒物（PM）等排放浓度和排放量。优化后的燃烧技术应能显著降低这些污染物的排放，减少对环境的影响。锅炉运行参数包括炉膛温度、烟气温度的、过量空气系数等参数。这些参数的优化可以反映出锅炉燃烧过程的改善，进而评估节能效果。经济性指标包括投资回收期、运行成本、维护成本等。通过计算这些指标，可以评估燃烧优化技术的经济效益。可靠性指标包括锅炉运行稳定性、故障率、停机时间等。优化技术的实施应能提高锅炉的可靠性和运行效率。通过这些评价指标，可以全面、客观地评估大型电站锅炉燃烧优化技术的节能效果，为企业提供决策依据，并为行业提供参考标准。

（二）节能效果分析

1. 锅炉热效率提高

通过对燃烧过程的优化，如改善燃料与空气的混合效果、提高燃烧温度、减少热量损失等措施，可以使锅炉的热效率得到显著提升。优化燃烧器设计和操作参数可以确保燃料在炉膛内充分燃烧，减少未燃尽燃料的损失。例如，通过调整燃烧器的喷射角度和喷射速度，可以使燃料与空气更均匀地混合，提高燃烧效率。采用多级燃烧技术，可以根据燃料的不同燃烧特性分段控制燃烧过程，有效提高热效率^[8]。在锅炉运行过程中，通过实时监测和调整燃烧参数，如过量空气系数、炉膛温度等，可以确保锅炉在最佳状态下运行，减少热量损失。同时，优化尾部受热面的设计和运行，如增加受热面积、改进烟气冷却方式等，可以提高锅炉的热交换效率，进一步增加热效率。

2. 燃料消耗量降低

通过优化燃烧过程，减少燃料的不完全燃烧和热量损失，可以有效降低锅炉的燃料消耗量。优化燃料配比和燃烧条件，可以使燃料在锅炉内充分燃烧，减少燃料的浪费。例如，通过精确控制燃料和空气的混合比例，可以确保燃料在最佳氧气条件下燃烧，减少因氧气不足或过量导致的燃料浪费^[9]。通过改进锅炉的自

动化控制水平，可以实时调整燃烧参数，使锅炉始终保持在最优的工作状态。这样的优化措施不仅可以提高锅炉的热效率，还可以降低燃料消耗量。

3. 烟气排放污染物浓度降低

通过燃烧优化技术，可以减少有害污染物的生成。例如，通过精确控制燃烧温度，可以避免高温下的氮氧化物（NO_x）生成。在燃烧过程中，通过调整燃料和空气的比例，控制燃烧速度，可以在较低的温度下完成燃烧，从而减少 NO_x 的生成。优化燃烧设备结构，如改进燃烧器设计和安装，可以增加燃料与氧气的接触面积，促进燃料的完全燃烧，减少一氧化碳（CO）和未燃尽的碳氢化合物（HC）等有害气体的排放。对于二氧化硫（SO₂）的排放控制，可以采用脱硫技术，如湿法脱硫（FGD）或半干法脱硫系统。这些技术通过化学反应或物理吸收，从烟气中去除 SO₂，从而降低其排放浓度。通过安装高效除尘器，如静电除尘器、袋式除尘器或旋风除尘器，可以有效捕捉烟气中的颗粒物，减少其排放。同时，通过优化燃烧室的设计，减少飞灰的生成，也是降低颗粒物排放的有效途径^[10]。对于二噁英等持久性有机污染物（POPs），可以通过低温燃烧技术和选择性催化还原（SCR）等技术来降低其生成和排放。低温燃烧技术通过控制燃烧温度，减少了二噁英的前体物质的生成，而 SCR 技术则通过催化反应将氮氧化物转化为氮气，间接减少了二噁英的排放。

五、结语

本文通过深入分析大型电站锅炉的燃烧过程，提出了一系列燃烧优化技术措施，并在实际应用中取得了显著的节能效果。未来，我们应继续加强燃烧优化技术的研究，推动电站锅炉的高效、清洁、可持续发展，为我国能源结构的优化和环保事业作出更大贡献。

参考文献

[1] 陈华锋. 基于近端策略优化算法的煤粉锅炉燃烧优化研究 [D]. 浙江大学, 2022.
[2] 林康威. 燃煤电站锅炉燃烧与脱硝过程建模及优化控制研究 [D]. 广东工业大学, 2022.
[3] 徐万超. 考虑时延因素的电站锅炉燃烧多目标优化控制研究 [D]. 东北电力大学, 2022.
[4] 刘晓鹏. 电厂锅炉燃烧优化控制的设计方式分析 [J]. 电力设备管理, 2021, (08):163-165.
[5] 邢莉华. 基于锅炉温度场分布的风量优化控制 [J]. 冶金动力, 2021, (04):49-52.
[6] 李峥. 火力发电厂锅炉燃烧运行优化策略 [J]. 科技创新与应用, 2021, 11(23):129-131.
[7] 齐宜超. 分析锅炉运行中优化调整降低煤耗 [J]. 冶金管理, 2021, (13):150-151.
[8] 康俊杰. 电站锅炉燃烧和 SCR 脱硝系统一体化建模与优化控制研究 [D]. 华北电力大学（北京）, 2021.
[9] 尹成宇. 燃煤电站的锅炉燃烧建模及多目标优化研究 [D]. 南昌大学, 2021.
[10] 王腾. 电站锅炉燃烧控制系统的优化策略分析 [J]. 智能城市, 2019, 5(14):208-209.

石油钻井行业安全管理现状与探究

杨杰

中石化西南石油工程有限公司湖南钻井分公司，湖南 长沙 410000

摘 要： 本文聚焦钻井行业生产安全挑战，深入剖析具体安全问题。在风险防控与隐患排查基础上，企业需强化员工安全生产理念。通过提升员工安全意识与技能，确保安全生产成为首要任务，旨在减少事故风险，为钻井行业安全发展贡献力量。

关 键 词： 石油；钻井行业；管理现状；研究

Status Quo and Research of Safety Management in Petroleum Drilling Industry

Yang Jie

Sinopec Southwest Petroleum Engineering Co., Ltd. Hunan Drilling Branch, Changsha, Hunan 410000

Abstract： This paper focuses on the production safety challenges of the drilling industry, and deeply analyzes the specific safety problems. On the basis of risk prevention and control and hidden trouble investigation, enterprises need to strengthen the concept of safe production for employees. By improving the safety awareness and skills of employees, ensuring safety production becomes the primary task, aiming to reduce the risk of accidents and contribute to the safety development of the drilling industry.

Keywords： oil; drilling industry; management status; research

前言

石油钻井工程需结合现场实际，全面设计安全管理，深入了解实施模式，重点分析管理要点，确保安全生产。人员需明确安全重点，及时处理问题，坚持安全第一。全面开展质量管理研究，提升安全管理水平。负责人员需全面管理，确保安全与生产并重，保障工程整体安全可控。

一、石油钻井安全影响因素

（一）人为因素

石油钻井作业中的安全事故，其根源往往深植于人为因素之中。作业人员的安全意识薄弱，对钻井作业中潜在的风险认识不足，常常抱有侥幸心理，导致在作业过程中未能充分采取安全防护措施，增加了事故发生的可能性。此外，部分钻井工人的技能水平不够熟练，对于复杂的钻井过程难以应对自如，容易出现操作失误，进而影响到钻井效果，甚至引发安全事故。安全防护标准的执行在部分作业现场并未得到严格落实，作业人员缺乏必要的安全知识和技术，无法有效应对突发状况。同时，管理者与作业人员之间的思维差异，以及周围环境对作业过程的干扰，都进一步加大了作业过程中的安全风险。因此，加强作业人员的安全培训，提高技能水平，严格执行安全防护标准，是减少石油钻井安全事故的关键所在。

（二）设备因素

在石油钻井作业中，设备的性能和状态直接关系到整个作业过程的安全与效率。钻井设备的故障不仅仅是一个简单的机械问

题，涉及到石油勘探开发的多元维度，聚焦于装备的全面性、完整性、敏感度及稳固性。然而，钻井过程中，一旦钻井液柱的液位出现下降，伴随而来的是其压力效应的相应削弱，此时地层水体或迅速渗透至钻井液中，致使钻井液稀释，潜藏安全危机，极端情况下或触发井喷灾难。面对设备异常状况，若井下作业团队未能迅速响应，采取诸如关闭井口、实施压井等紧急预案，则此类事件将对井下作业环境及人员安全构成极其严重的后果。因此，对于钻井设备的日常维护、检查以及故障预防都显得尤为重要。只有确保设备的完备性、完整性和可靠性，才能有效降低钻井作业中的安全风险，保障作业人员的生命安全。^[1]

（三）管理因素

在当前的石油钻井行业中，管理因素成为了制约安全作业水平提升的关键因素之一。由于安全责任体系与监管机制的不健全，作业执行者常难以恪守详尽的操作规范，管理层与一线作业者间在安全意识层面存在显著鸿沟。此管理漏洞直接促成了钻井作业领域内违规操作行为的频繁涌现，为作业安全埋下了深重隐患。同时，因缺乏系统性的监测与维护流程，各类钻井设备的工作效能难以获得充分且持续的保障，进一步加剧了作业环境的不

作者简介：杨杰（1997.05-），男，汉族，贵州黔西人，本科，现任职务：安全官，助理工程师，专业研究：方向石油工程。

稳定性。随着时间的推移，钻机的磨损和老化问题日益突出，而这些问题如果得不到及时的解决，就会对钻井作业的安全和质量产生严重的影响。因此，建立健全的管理制度，制定科学合理的经营战略，已经成为提高钻井作业安全管理水平的当务之急。

（四）环境因素

环境因素在石油钻井作业中扮演着至关重要的角色，其对作业安全的影响不容忽视。首先，地质环境是石油钻井作业的基础，若钻探前未对环境进行详尽的调查，就可能导致钻井作业对环境的适应性不足，进而在实际作业中引发各种安全隐患和威胁。天气和地质条件的不利变化也是影响石油钻井作业安全的重要因素。在作业过程中，突如其来的雷暴、强风等恶劣天气条件不仅会影响作业进度，更可能直接引发安全事故，威胁到作业人员的生命安全。而地质条件的突然变化，如地震、滑坡等，更是对钻井作业造成毁灭性的打击。为了确保石油钻井作业的安全进行，必须高度重视环境因素的影响，加强环境调查和监测工作，制定科学合理的应对措施，以应对各种可能出现的不利情况。只有这样，才能确保石油钻井作业在复杂多变的环境中保持高效、有序和安全。^[2-3]

二、石油钻井作业安全隐患根源挖掘

（一）设备管理疏漏分析

在石油钻井作业中，设备管理是一个至关重要的环节。由于钻井作业涉及众多大型且复杂的设备，这些设备的运行状态直接影响到整个作业的效率与安全。然而，如果石油施工企业对钻井设备的管理不够科学严谨，未能及时进行有效的维护保养，那么设备的磨损和老化速度将会大大加快。这不仅会导致设备的质量性能逐渐下降，还会在使用过程中频繁出现故障，严重影响钻井作业的正常进行。设备故障还可能对操作人员的生命安全构成威胁。在钻井作业中，一旦设备出现故障，往往需要在高压、高温等恶劣环境下进行抢修，这无疑增加了操作人员的安全风险。因此，石油施工企业必须高度重视钻井设备的管理工作，建立健全的设备管理制度，确保设备得到及时、有效的维护保养，以保障钻井作业的安全与高效进行。

（二）作业人员专业能力不足反思

在石油钻井作业中，作业人员的专业素质直接关系到作业的安全与效率。然而，目前部分石油企业在选拔和培养作业人员时，仍沿用传统的方式，这在一定程度上限制了高素质人才的引进。与此同时，前线安全管理人员资质薄弱，作业指导易偏差，增作业风险。此外，现代钻井技术快速变化，传统安全管理难适应。其次，异常信号未得及时精准处理，安全隐患滋生。最后，钻井人员责任心淡化，信赖经验轻安全规程，加剧安全风险，易致事故。^[4-5]

三、安全管理难题应对策略

（一）全员动员，重塑安全认知

在石油钻井作业中，安全工作的全面开展离不开每一个参与

者的共同努力与深刻认识。基层员工作为施工现场的具体操作者和方案的执行者，他们的安全意识和技术水平直接关系到作业的安全与效率。因此，企业必须将培养员工的安全意识、提高员工的技术水平作为安全工作的重中之重。通过定期的安全培训、技能演练和案例分析，使员工深刻认识到安全的重要性，掌握正确的操作方法，避免因操作不当而引发的安全事故。作为公司领导层，也必须对安全工作给予足够的重视。他们不仅要了解工作流程中存在的安全风险，制定出科学合理的安全管理制度和应急预案，还要在实际工作中切实履行安全管理职责，确保各项安全措施得到有效执行。石油钻井作业中的安全工作是一项系统工程，需要全员参与、全面覆盖、全程控制。只有通过不断加强安全宣传教育、提高员工安全素质、完善安全管理制度、强化安全监管力度等措施的综合运用，才能确保石油钻井作业的安全、高效、顺利进行。

（二）情感与制度并重，促进观念革新

在处理年龄较大的老员工的安全教育问题时，企业应当采取一种全面而细致的策略，其中情感教育与宽严有度的管理方式尤为关键。情感教育是老员工安全教育中的基石。由于这类员工往往文化程度相对较低，但实战经验却极为丰富，他们可能对新兴事物和新的管理理念抱有排斥心理。因此，在培训过程中，企业应主动与他们建立沟通桥梁，深入了解他们的思想动态和需求。通过耐心讲解和实例分析，帮助老员工认识到传统“违章经验”的潜在危害，以及现代安全管理理念的重要性。企业可以邀请经验丰富的讲师，用通俗易懂的语言，结合生动的案例，深入浅出地讲解安全知识，从而逐步改变他们的固有思维。宽严有度的管理方式也是不可或缺的。老员工为企业的发展贡献了自己的青春和汗水，他们常年在野外工作，与社会接触较少，容易形成较为固执的思想观念。因此，在执行规章制度时，企业应注重方式方法，既要严格管理，确保安全生产的顺利进行；又要关注老员工的心理变化，及时为他们排忧解难，让他们感受到企业的关怀和温暖。此外，企业还可以通过组织团建活动、提供心理疏导等方式，增强老员工的归属感和凝聚力，为企业的持续健康发展奠定坚实的基础。^[4]

（三）安全文化深耕，强化理念传播

在石油钻井作业领域，构建并弘扬一种深入人心的安全文化，是保障作业安全、提升员工安全素养的关键所在。对于80、90后这一思想活跃、接受新事物能力强的员工群体，企业在提升他们的安全能力方面应采取更加灵活多样的策略。首先，在理念文化层面，企业应高度重视安全理念的宣贯工作，通过持续不断地向员工灌输“一切事故皆可避免”的核心理念，激发员工对安全生产的敬畏之心和责任感。为此，企业可以组织丰富多彩的安全文化活动，如安全经验分享会、安全主题演讲比赛、HSE 论文征集、安全家书撰写等，让员工在参与中感受安全的重要性，从内心深处树立起“我要安全”的坚定信念。在制度文化和行为文化层面，企业应建立健全的安全管理制度和操作规程，明确各级人员的安全职责和权利，确保安全生产有章可循、有据可查。同时，企业还应加强对员工行为规范的引导和监督，通过定期的安

全检查、隐患排查和事故应急演练等活动，提高员工的安全操作技能和应对突发事件的能力。在物质文化层面，企业应加大安全投入力度，不断改善作业环境和条件，为员工提供安全可靠的设备和防护用品。同时，企业还应注重安全文化的物质化表现，如设置安全宣传栏、悬挂安全警示标语、制作安全宣传视频等，营造浓厚的安全文化氛围，让员工在潜移默化中接受安全文化的熏陶和感染。^[5-7]

（四）持续学习赋能，优化人员配置

为了构建一个更加安全、高效的工作环境，企业在加强监管队伍建设、提升员工安全能力方面需要采取具体而全面的措施。建立科学严谨的监管人员选拔制度，这是确保监管队伍素质的关键。在选拔过程中，应明确规定监管人员必须从具有丰富现场经验的钻井队安全副队长中挑选，且这些副队长需至少拥有两年以上的工作年限。这样的选拔标准不仅保证了监管人员具备扎实的基本理论水平，还确保了他们拥有丰富的现场实际操作经验，能够迅速应对各种复杂情况。企业应从“人性管理”的传统模式中逐步转型，强化制度管理的重要性。这意味着在工作中，要不断完善和优化安全操作规程及管理制度，确保每一个环节都有明确的指导和约束。同时，对全体员工进行定期的安全教育培训，提高他们的安全意识和操作技能，使他们能够在日常工作中严格遵守规章制度，减少安全事故的发生。赋予安全监管人员足够的权力和支持，确保他们在工作能够树立起“安全第一”的坚定信念。这意味着在任何情况下，安全监管人员都应有权制止任何可能危及安全的行为，坚决杜绝“安全为生产让路”的错误观念。不断加强安全文化的宣传和建设，通过多种形式的活动和宣传手段，提高员工对安全重要性的认识和理解。^[8]

（五）强化直线责任，构建高效团队合作

在石油钻井这一高风险作业领域，确保安全不仅是安全部门的孤立职责，而是要求全员深度参与、共同负责的系统工程。当前，实践中普遍存在的责任推诿现象，其根源在于直线责任体系的未能有效构建与落实。为此，亟需明确界定并细化从管理层到一线操作员的各级安全职责，确保每一个岗位都清晰地知晓其在安全生产中的责任与担当。工程技术部门与设备管理部门作为保障钻井作业安全与效率的关键环节，更应强化专业培训，将安全意识与专业技能深度融合，确保技术人员在设计与操作中均能有效识别并控制风险。同时，这两大部门需与安全生产管理部门紧密协作，共同制定科学合理的风险防控策略与隐患排查机制，实现预防为主、综合治理。在此基础上，通过构建跨部门的高效团队合作模式，强化信息共享与资源调度，确保施工方案得以严格执行，并能迅速有效地应对突发状况，将安全隐患扼杀于萌芽状态。^[9-10]

四、结语

石油钻井现场安全监管优化，是维系人员安全、促进产业稳健前行的基石。依托精细化风险评估、系统化安全教育培训、高标准设备配置及健全的管理机制建设，旨在根本性削减作业风险，保障作业流程的无缝衔接与高效推进。此系统工程需各方协作，不断完善，以科学有效的管理保障作业安全高效，进而促进石油行业可持续发展，保护作业者生命财产安全，实现长远发展目标。

参考文献

[1] 张威. 浅谈石油钻井工程安全管理 [J]. 中国化工贸易, 2019.

[2] 丁文龙, 尹帅, 王兴华, 等. 致密砂岩气储层裂缝评价方法与表征 [J]. 地学前缘, 2015, 22(4):15.

[3] 许庆刚. 石油钻井安全影响因素及管理对策 [J]. 化工管理, 2014(29):1.DOI:10.3969/j.issn.1008-4800.2014.29.079.

[4] 李冬生, 付明文. 石油钻井作业实施 HSE 管理体系工作存在的问题及对策 [J]. 石油工业技术监督, 2000, 16(7):2.

[5] 姚陆峰. 浅议石油钻井现场安全管理 [J]. 工程技术: 文摘版, 2016, 000(002):00210-00210.

[6] 李富强. 石油钻井作业安全管理问题及解决对策 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2018(2):2.

[7] 张光锦, 范立晶. 石油钻井生产过程中的安全管理策略探讨 [J]. 石油石化物资采购, 2023(12):160-162.

[8] 杨东. 浅谈石油钻井安全管理的难点问题及对策 [J]. 中国化工贸易, 2013, 5(12):1.

[9] 王潇. 钻井工程安全动态评价方法研究 [D]. 西安石油大学, 2010.

[10] 宋战培, 陈点范, 祁有金, 等. 国际石油钻井作业现场风险管理技术的实践 [J]. 科技致富向导, 2011(36):2.

火力发电厂水循环控制系统关键部件性能优化研究

张一帆

国电内蒙古东胜热电有限公司，内蒙古 鄂尔多斯 017000

摘 要： 本文针对火力发电厂水循环控制系统中关键部件性能优化进行研究。首先概述了水循环系统在火力发电厂中的重要性，以及关键部件的组成、功能及其性能对系统的影响。随后，从水泵、循环水冷却塔和管道与阀门三个方面，详细介绍了性能优化的方法，包括设计参数优化、运行工况优化以及故障诊断与预测。最后，提出了关键部件性能优化的实施策略与建议，包括制定合理的运行维护制度，加强监测与诊断，以及建立健全优化体系。

关 键 词： 火力发电厂；水循环；控制系统

Research on Performance Optimization of Key Components of Water Cycle Control System in Thermal Power Plant

Zhang Yifan

Guodian Inner Mongolia Dongsheng Thermal Power Co., Ltd. Ordos, Inner Mongolia 017000

Abstract： This paper studies the performance optimization of key components in the water cycle control system of thermal power plant. First, the importance of water circulation system in thermal power plant and the influence of the composition, function and performance of key components on the system are summarized. Subsequently, the performance optimization method is introduced in detail from the water pump, circulating water cooling tower, pipeline and valve, including design parameters optimization, operating condition optimization and fault diagnosis and prediction. Finally, the implementation strategies and suggestions for the performance optimization of key components are put forward, including the formulation of a reasonable operation and maintenance system, the strengthening of monitoring and diagnosis, and the establishment of a sound optimization system.

Keywords： thermal power plant; water cycle; control system

引言

火力发电厂水循环控制系统对发电效率 and 安全性具有举足轻重的影响。关键部件的性能直接关系到系统的运行效果。因此，研究关键部件性能优化，对提高火力发电厂水循环控制系统的整体性能具有重要意义。

一、火力发电厂水循环控制系统关键部件概述

（一）水循环系统在火力发电厂中的重要性

水循环系统是火力发电厂中不可或缺的核心组成部分，其重要性体现在多个方面。水循环系统是热力发电过程中的热量传递介质。在火力发电过程中，燃料燃烧产生的热量通过锅炉转化为蒸汽，蒸汽驱动汽轮机旋转，进而带动发电机发电。水循环系统负责将热量从锅炉传递到汽轮机，再从汽轮机传递到冷凝器，完成热量的循环利用^[1]。水循环系统对发电效率具有直接影响，水循环系统的运行状态良好，能够确保热量传递的高效进行，从而提高发电效率。反之，如果水循环系统出现故障或效率降低，将直接影响发电厂的整体效率，造成能源浪费。水循环系统对发电厂的安全性至关重要，水循环系统中的压力、温度等参数需要严格

控制，一旦超出安全范围，可能引发设备损坏、甚至爆炸等严重事故。

（二）关键部件的组成与功能

火力发电厂水循环系统的关键部件主要包括水泵、循环水冷却塔和管道与阀门等。水泵是水循环系统的动力设备，负责将水从低处输送到高处，克服管道阻力，保证水在系统中循环流动。水泵的设计、选型和运行状态对水循环系统的性能有着重要影响。循环水冷却塔是水循环系统的冷却设备，其作用是将水在汽轮机冷凝器中吸收的热量释放到大气中，降低水温以便再次循环使用^[2]。冷却塔的设计参数、运行工况和冷却效率都会影响水循环系统的整体性能。管道与阀门则是连接各个设备、输送水介质的通道和控制元件。管道设计需要考虑到承压能力、流量和阻力等因素；阀门则需要根据不同的使用场合选择合适的类型，保证水

循环系统的正常运行。

（三）关键部件性能对水循环系统的影响

水泵的性能直接决定着水循环系统的循环能力和水流的稳定性。如果水泵效率低或存在故障，可能导致水循环不畅，影响发电效率甚至设备安全。冷却塔的性能关系到水循环系统的冷却效果，冷却效率低下会导致水温过高，影响汽轮机冷凝效果，进而降低发电效率，增加能耗。管道与阀门的性能对水循环系统的流畅性和安全性同样重要，管道阻塞或阀门故障可能导致水流中断、压力波动，甚至引发水击现象，威胁系统的安全运行。

二、关键部件性能优化方法

（一）水泵性能优化

1. 水泵设计参数优化

根据水循环系统的实际需求，对水泵的流量、扬程和功率等参数进行精确计算，确保水泵设计符合系统需求。使用流体力学软件进行模拟分析，优化水泵的叶轮设计，提高水泵的水力效率。对水泵壳体进行结构优化，减少内部摩擦和泄漏，提升泵的机械效率。选择适合的材质，提高水泵的耐磨性和耐腐蚀性，延长使用寿命^[9]。通过采用现代设计方法和工具，如计算流体动力学（CFD）和有限元分析（FEA），对水泵内部流场进行优化，减少涡流和能量损失。对叶轮和导叶进行优化设计，以减少水力损失。调整叶轮进出口角度，以改善流动条件。设计合适的流道形状，减少阻力损失。

2. 水泵运行工况优化

实时监测水泵的运行参数，包括流量、扬程、功率和振动等，根据监测数据调整水泵运行状态，确保其在最佳工况下工作。采用变频调速技术，根据系统需求动态调整水泵转速。实施定期维护，确保水泵内部清洁，减少磨损。对水泵进行定期检查和维修，避免因部件磨损或故障导致的效率下降。优化水泵的启动和停止过程，减少冲击和振动，延长设备寿命。实施软启动技术，减少启动电流，降低对电网的冲击。设计合理的停泵程序，避免水锤效应。采用减振装置，减少水泵运行时的振动。

3. 水泵故障诊断与预测

建立水泵运行数据数据库，通过收集和分析长期运行数据，发现故障的早期迹象。采用传感器监测技术，实时收集水泵的运行数据。应用大数据分析技术，对运行数据进行分析，识别异常模式。采用先进的故障诊断技术，如振动分析、温度监测和声音识别，及时诊断水泵的潜在故障。利用振动传感器监测水泵的振动情况，分析振动特征。通过温度传感器监测水泵的温升，判断是否存在过热现象^[4]。应用声音识别技术，通过水泵运行声音的变化来诊断故障。结合故障诊断结果和历史数据，建立故障预测模型，预测水泵未来可能出现的故障。应用机器学习算法，建立故障预测模型。定期更新和维护预测模型，确保其准确性和可靠性。

（二）循环水冷却塔性能优化

1. 冷却塔设计参数优化

优化冷却塔的热交换面积和填料层结构，以提高热交换效

率。通过 CFD 模拟，优化冷却塔内部流场，确保空气和水的流动均匀，减少死区。采用高效填料，增加热交换面积，提高热质交换效率。设计多级冷却塔，分段进行冷却，以提高整体冷却效果。改进冷却塔的通风系统，包括优化风机设计和提高风量利用率。选择适合的风机类型和尺寸，确保风机在高效率区间运行。对风机叶片进行优化设计，减少风阻，提高风机的风量和风压。调整风机的安装角度和间距，以优化风场分布^[6]。考虑环境影响，对冷却塔的保温和防腐蚀措施进行优化。采用耐腐蚀材料，提高冷却塔的耐候性和使用寿命。在冷却塔外部添加保温层，减少热损失。

2. 冷却塔运行工况优化

实时监测和调整冷却塔的运行参数，包括水温、空气湿度和风机转速等。安装温湿度传感器，实时监测冷却塔入口和出口的水温和空气湿度。根据监测数据，动态调整风机转速，以适应环境变化和负载需求。优化冷却塔的水分布系统，确保水均匀分布在填料层上。设计多级喷水系统，确保水均匀喷洒到填料层。定期清洗喷嘴和管道，防止堵塞，保证水流通畅。实施定期维护和清洁计划，提高冷却塔的热交换效率。定期清洗填料层，去除污垢和生物膜。对冷却塔进行全面检查，及时更换磨损或损坏的部件。

3. 冷却塔故障诊断与预测

建立冷却塔的运行数据监控系统，收集关键运行参数。安装传感器，实时监测冷却塔的水温、空气湿度和风机状态。通过数据采集系统，记录运行数据，用于后续分析和诊断。采用数据分析技术，识别冷却塔的异常运行模式。利用时间序列分析，识别运行参数的周期性变化和趋势^[6]。应用机器学习算法，建立故障诊断模型。根据故障诊断结果和历史数据，建立故障预测模型。分析历史故障数据，找出故障的早期迹象和预警指标。结合实时监测数据，使用故障预测模型预测可能的故障，并提前采取预防措施。

（三）管道与阀门性能优化

1. 管道设计优化

根据系统需求和水力计算结果，优化管道的直径、长度和布局，减少压力损失和能耗。利用流体力学原理，计算不同管径下的压力损失和流量，选择最合适的管道尺寸。通过优化管道布局，减少弯头和阀门等局部阻力损失。考虑到系统的可扩展性，设计适当的预留空间和连接点。采用合适的管道材料和结构设计，提高管道的耐腐蚀性和承压能力。根据水质和外部环境选择合适的管道材质，如不锈钢、碳钢或塑料等^[7]。加强管道的防腐措施，如内衬、涂层或阴极保护等。对管道进行结构强度计算，确保其能够承受设计压力和外部载荷。考虑管道的维护和检修方便性，设计易于操作的检查点和维修口。在管道关键部位设置检查点，便于定期检测和维修。设计易于打开的检修门，减少维护工作的难度和时间。

2. 阀门选型与优化

根据系统的工作条件，选择合适的阀门类型和规格。确定阀门的公称直径、压力等级和介质类型。根据使用场合选择合适的

阀门类型，如截止阀、闸阀或蝶阀等。优化阀门的操作方式和控制策略，提高阀门的响应速度和精确度。采用电动执行器或气动执行器，实现阀门的远程和自动控制。设计阀门的快速响应系统，以应对突发状况^[9]。定期对阀门进行维护和检修，确保其长期稳定运行。建立阀门的维护计划，定期进行检查和更换密封件。对阀门进行性能测试，确保其开启和关闭的可靠性。

3. 管道与阀门故障诊断与预测

建立管道与阀门的监测系统，实时收集运行数据。安装压力、流量和温度传感器，监测管道的运行状态。对阀门的关闭状态进行实时监控。采用数据分析技术，识别管道与阀门的异常运行模式。利用统计分析和模式识别技术，识别数据中的异常趋势。应用机器学习和人工智能算法，建立故障诊断模型。根据故障诊断结果和历史数据，建立故障预测模型。分析历史故障数据，找出故障的早期迹象和预警指标。结合实时监测数据，使用故障预测模型预测可能的故障，并提前采取预防措施，如调整运行参数或安排维护工作。

三、关键部件性能优化实施策略与建议

（一）制定合理的运行维护制度

建立完善的运行维护手册，明确关键部件的运行参数和维护标准。手册包括关键部件的操作规程，确保操作人员按照标准流程进行操作。维护周期和检查项目，根据设备特性和使用频率制定定期检查计划。维护作业指导书，详细说明维护作业的步骤、方法和注意事项。实施预防性维护计划，通过定期检查和保养，预防设备故障。定期对关键部件进行状态监测，如振动分析、温度检测等。根据部件的润滑保养，确保润滑系统正常工作，减少磨损。定期紧固部件连接，防止松动引起的故障^[9]。建立快速响应的故障处理机制，一旦发现故障迹象，能够迅速采取措施。设立专门的故障处理小组，负责故障诊断和处理。制定故障应急响应流程，缩短故障处理时间。配备必要的备品备件，减少因等待配件造成的停机时间。建立持续改进的反馈机制，通过收集运行维护数据，不断优化维护制度。分析运行维护记录，识别常见故障和潜在问题。根据分析结果调整维护策略，如更改维护周期、增加检查项目等。定期培训维护人员，提高其专业技能和问题解决

能力。

（二）加强关键部件监测与诊断

部署先进的监测设备和技术，实现对关键部件的实时监控。安装传感器和监测仪器，如温度、压力、流量和振动传感器，以实时收集关键部件的运行数据。利用工业物联网技术，将监测数据实时传输到中央监控系统，进行统一管理和分析。建立专业的监测与诊断团队，负责数据的分析和故障的诊断。培训专业的技术人员，提高他们在监测数据分析、故障诊断和设备维护方面的能力。实施定期培训，确保团队能够掌握最新的监测技术和分析方法。开发和应用智能诊断系统，提高故障诊断的准确性和效率。利用大数据分析和机器学习算法，对收集到的数据进行深度分析，发现潜在的故障模式和趋势。开发专家系统，结合专业知识和历史数据，为故障诊断提供决策支持。

（三）建立健全关键部件优化体系

制定系统的优化目标和标准，确保优化工作的方向和效果。明确优化的关键性能指标，如能效、可靠性和安全性。制定优化方案的评价标准，包括技术、经济和环境等多方面的考虑。建立跨部门的协作机制，确保优化工作得到全面的实施^[10]。成立由不同部门组成的优化工作小组，负责协调和推进优化工作。定期召开会议，分享优化进展，解决实施过程中遇到的问题。实施持续的性能评估和改进计划，确保优化效果的持续提升。定期对优化效果进行评估，识别存在的不足和改进空间。根据评估结果调整优化策略，实施改进措施，并监控改进效果。建立知识管理和经验分享机制，促进优化经验的积累和传播。建立优化经验数据库，记录优化案例和最佳实践。定期组织内部交流会议，分享优化经验和成功案例。

四、结语

通过对火力发电厂水循环控制系统关键部件性能优化的研究，有助于提高系统的运行效率、降低故障率，为火力发电行业的可持续发展提供有力支持。在今后的工作中，还需进一步探讨关键部件性能优化与系统整体性能提升之间的关系，以期为火力发电厂水循环控制系统提供更加科学、高效的管理与维护策略。

参考文献

- [1] 蒋刚. 余热锅炉汽包壁温差控制策略 [J]. 燃气轮机技术, 2023,36(01):60-63.
- [2] 丁方焰. 锅炉炉底加热系统的改造应用 [J]. 自动化应用, 2023,64(03):173-175.
- [3] 滑娇琴. 火力发电厂水循环控制系统的应用研究 [J]. 机械管理开发, 2021,36(11):235-237.
- [4] 贺晓飞. 浅谈火力发电厂循环冷却水处理技术与运行监督 [J]. 中国设备工程, 2021,(08):175-176.
- [5] 牛壮壮. 基于水循环算法的含多利益主体的虚拟电厂优化调度研究 [D]. 上海电机学院, 2021.
- [6] 王欣, 侯保灯, 肖伟华, 侯效灵, 王丽川, 陈晓清. 火电厂冷却水循环系统水量监测技术研究 [J]. 能源与节能, 2020,(09):57-59+173.
- [7] 袁萌. 基于卷积神经网络的电厂热能联合循环控制 [J]. 电工材料, 2020,(04):52-54.
- [8] 任志玲, 赵博雅. 基于 CNN 预测的电厂热能联合循环控制研究 [J]. 控制工程, 2019,26(08):1544-1549.
- [9] 赵晓阳. 全膜法在燃机电厂水处理中的应用及优化 [J]. 能源与节能, 2019,(08):69-72.
- [10] 税钊. 电厂循环冷却水中异养菌的检测分析 [J]. 化学工程与装备, 2018,(05):299-300.

绿色供应链管理对企业可持续发展的影响研究

赵景豪

云南财经大学龙泉路校区, 云南 昆明 650032

摘 要： 随着全球经济的飞速发展以及人们环保意识的不断提高，绿色供应链管理逐渐成为企业实现可持续发展的关键策略。然而，当前企业在实施绿色供应链管理过程中仍存在诸多问题，如成本较高、各环节协作不畅、缺乏有效的监督机制等。基于此，本文针对绿色供应链管理对企业可持续发展的影响展开分析。通过深入探讨绿色供应链管理的理论基础，以及其对企业环境绩效、经济绩效和社会绩效的具体影响，以期为企业实施绿色供应链管理提供理论指导和实践建议，助力企业在实现自身可持续发展的同时，推动整个供应链的绿色化转型，为社会的可持续发展贡献力量。

关 键 词： 绿色供应链管理；企业可持续发展；环境绩效；经济绩效；社会绩效

Study on the Influence of Green Supply Chain Management on the Sustainable Development of Enterprises

Zhao Jinghao

Longquan Road Campus of Yunnan University of Finance and Economics, Kunming, Yunnan 650032

Abstract： With the rapid development of the global economy and the continuous improvement of people's environmental awareness, green supply chain management has gradually become a key strategy for enterprises to achieve sustainable development. However, there are still many problems in the process of implementing green supply chain management, such as high cost, poor cooperation in all links, and lack of effective supervision mechanism. Based on this, this paper analyzes the impact of green supply chain management on the sustainable development of enterprises. Through exploring the theoretical basis of green supply chain management, and its environmental performance, economic performance and social performance, in order to implement green supply chain management provide theoretical guidance and practical advice, help enterprises in the sustainable development at the same time, promote the green transformation of the whole supply chain, make contributions to the sustainable development of the society.

Keywords： green supply chain management; sustainable development; environmental performance; economic performance; social performance

引言

在当今时代，全球对环境保护的关注度与日俱增，企业可持续发展已成为时代的重要命题。随着经济的飞速发展，资源短缺、环境污染等问题愈发凸显，传统供应链管理模式的局限性也日益暴露。绿色供应链管理作为一种创新的管理理念和模式，应运而生。它旨在将环境保护与供应链管理紧密结合，从产品设计、原材料采购、生产制造、物流配送、消费使用到回收处理的整个生命周期，实现对环境的最小化影响和资源的最大化利用。然而，企业在推行绿色供应链管理的过程中并非一帆风顺，面临着诸多挑战和困惑。在此背景下，深入研究绿色供应链管理对企业可持续发展的影响具有重大的现实意义。

一、绿色供应链管理的理论基础

（一）绿色供应链管理的概念

绿色供应链管理是一种将环境保护理念融入传统供应链管理的创新模式。其定义为在供应链的各个环节，包括原材料采购、产品设计、生产制造、物流配送、销售及回收处理等过程中，充

分考虑环境因素，以实现经济、环境和社会效益的协调发展。它具有全生命周期管理的特征，即从产品的诞生到消亡，每个阶段都注重对环境的影响最小化^[1]。与传统供应链管理相比，绿色供应链管理更加注重长期可持续发展，而非仅仅追求短期的经济效益。关键要素包括绿色采购、绿色生产、绿色物流等环节，各环节相互配合，共同实现绿色供应链的目标。

（二）相关理论支撑

可持续发展理论为绿色供应链管理提供了根本的指导思想。可持续发展强调经济、社会和环境的协调发展，要求在满足当前需求的同时，不损害未来世代满足其需求的能力^[2]。绿色供应链管理正是遵循这一理念，通过优化供应链各个环节的环境表现，实现企业的可持续发展。生态经济学理论则强调经济系统与生态系统的相互关系，认为经济活动应在生态系统的承载能力范围内进行。绿色供应链管理借鉴这一理论，注重资源的高效利用和生态系统的保护，例如通过绿色采购选择环保材料，减少对自然资源的过度开采。资源管理理论为绿色供应链管理提供了具体的方法和工具，如资源的循环利用、废弃物管理等^[3]。企业可以通过实施绿色供应链管理，提高资源的利用效率，降低对环境的负面影响。

（三）绿色供应链管理的目标与原则

绿色供应链管理的环境目标是减少供应链各个环节对环境的负面影响。这包括降低能源消耗、减少污染物排放、提高资源利用效率等。例如，企业可以通过采用清洁能源、优化生产工艺等方式实现节能减排。经济目标是降低成本、提高效益和增强竞争力。虽然实施绿色供应链管理可能会在短期内增加成本，但从长期来看，通过节约资源、降低废弃物处理成本等方式，可以为企业带来经济效益^[4]。社会目标是促进企业与利益相关者的合作，推动社会的可持续发展。例如，企业与供应商合作，共同推动绿色采购，与社区合作，开展环保公益活动。绿色供应链管理遵循的原则包括全程管理原则，即对供应链的各个环节进行全面管理；合作共赢原则，强调企业与利益相关者之间的合作；信息透明原则，要求企业公开供应链的环境信息；持续改进原则，鼓励企业不断优化绿色供应链管理体系^[5]。

二、绿色供应链管理对企业环境绩效的影响

（一）降低环境污染与资源消耗

绿色供应链管理能有效降低企业对环境的污染并减少资源消耗。在降低环境污染方面，企业通过对供应链各环节的严格把控，从原材料选择开始，优先采用环保材料，避免使用对环境有害的物质。在生产过程中，采用清洁生产技术，如优化工艺流程、安装污染处理设备等，降低废气、废水和废渣的排放^[6]。同时，在物流环节，合理规划运输路线，提高运输效率，减少能源消耗和尾气排放。在减少资源消耗方面，企业通过绿色供应链管理，优化生产流程，提高资源利用率。例如，采用精益生产方式，减少生产过程中的浪费；加强对原材料的管理，避免过度采购和库存积压，降低资源闲置成本。

（二）促进生态设计与绿色产品开发

绿色供应链管理推动企业进行生态设计和绿色产品开发。生态设计是在产品设计阶段就充分考虑产品的整个生命周期对环境的影响。企业通过采用可回收材料、简化产品结构等方式，使产品在使用后更容易回收和处理。例如，设计可拆卸的电子产品，方便零部件的回收和再利用。绿色产品开发则是在满足消费者需

求的基础上，注重产品的环保性能。企业可以通过研发节能环保的产品，提高产品的市场竞争力^[7]。同时，绿色产品开发也有助于企业树立良好的品牌形象，吸引更多环保意识强的消费者。

（三）提升企业环境形象与声誉

绿色供应链管理有助于提升企业的环境形象与声誉。随着消费者环保意识的提高，他们更倾向于购买环保产品和支持环保企业。企业通过实施绿色供应链管理，向消费者展示其对环境保护的承诺和努力，从而赢得消费者的认可和信任。例如，一些企业在产品包装上标注环保标志，向消费者传达产品的环保属性。此外，提升企业环境形象与声誉还能吸引更多的合作伙伴和投资者。环保型企业更容易与同样注重环保的供应商和客户建立合作关系，同时也能吸引更多的环保投资者，为企业的发展提供资金支持^[8]。企业良好的环境形象与声誉还能增强员工的归属感和自豪感，提高员工的工作积极性和效率。

三、绿色供应链管理对企业经济绩效的影响

（一）降低成本与提高效率

绿色供应链管理能够帮助企业降低成本并提高效率。首先，在节约能源与原材料成本方面，企业通过采用节能设备、优化生产流程以及选择环保原材料等方式，可以降低能源消耗和原材料采购成本。例如，制造业企业通过改进生产工艺，减少原材料的浪费，同时选用可回收利用的原材料，降低了原材料的采购成本。其次，减少废弃物处理成本也是一个重要方面。绿色供应链管理强调废弃物的回收、再利用和妥善处理，减少了企业对废弃物的排放和处理费用。最后，提高生产效率与运营效益也是绿色供应链管理的重要成果。通过优化供应链流程、加强信息化管理等手段，企业可以提高生产效率，降低运营成本，从而提高整体效益。

（二）开拓新市场与增加收入

绿色供应链管理为企业开拓新市场和增加收入提供了机会。一方面，满足绿色消费需求是企业开拓市场的重要途径。随着消费者环保意识的增强，对绿色产品的需求不断增加。企业通过实施绿色供应链管理，提供环保、可持续的产品和服务，能够满足消费者的需求，从而扩大市场份额^[9]。例如，有机食品企业通过绿色供应链管理，确保产品的有机品质，受到了越来越多消费者的青睐。另一方面，进入国际绿色市场也是企业增加收入的重要渠道。许多国家和地区对进口产品的环保要求越来越高，企业通过实施绿色供应链管理，提高产品的环保标准，能够顺利进入国际市场，增加出口收入。此外，获得政府补贴与优惠政策也能为企业带来额外的收入。政府为鼓励企业实施绿色供应链管理，通常会出台一系列补贴和优惠政策，如税收减免、财政补贴等，企业可以充分利用这些政策，降低成本，增加收入。

（三）增强企业竞争力与抗风险能力

绿色供应链管理有助于增强企业的竞争力和抗风险能力。首先，差异化竞争优势是企业在市场竞争中的重要法宝。通过实施绿色供应链管理，企业可以提供独特的绿色产品和服务，与竞争

对手形成差异化，从而吸引更多的客户和市场份额。例如，一些企业推出的绿色环保包装产品，在市场上具有独特的竞争优势。其次，应对环境法规与政策风险是企业必须面对的挑战。随着环保法规的不断加强，企业如果不实施绿色供应链管理，可能会面临罚款、停产等风险。而通过提前布局绿色供应链管理，企业可以更好地适应环境法规的要求，降低政策风险。最后，提高企业长期生存能力也是绿色供应链管理的重要目标。绿色供应链管理注重企业的可持续发展，通过降低环境影响、提高资源利用效率等方式，为企业的长期发展奠定基础，提高企业的生存能力^[10]。

四、绿色供应链管理对企业社会绩效的影响

（一）促进企业与利益相关者合作

绿色供应链管理能够促进企业与利益相关者之间的合作。首先，与供应商的绿色合作至关重要。企业可以要求供应商提供环保的原材料和零部件，共同推动绿色生产。例如，汽车制造企业与供应商合作，开发可回收材料的汽车零部件，减少对环境的影响。同时，企业还可以与供应商共同制定环保标准和目标，加强对供应链上游的环境管理^[11]。其次，与客户的绿色互动也不可或缺。企业可以通过宣传绿色产品和服务，提高客户的环保意识，引导客户进行绿色消费。例如，家电企业向客户提供节能产品的使用指南，鼓励客户节约能源。此外，企业还可以与客户合作进行产品回收和再利用，实现资源的循环利用。最后，与社区的和谐共处也是企业的重要责任。企业可以通过参与社区的环保活动，改善社区环境，提高社区居民的生活质量。例如，企业可以资助社区的绿化项目，为社区提供环保设施。

（二）推动企业社会责任履行

绿色供应链管理有助于推动企业社会责任的履行。一方面，关注员工健康与安全是企业的基本责任。企业可以通过改善工作环境、提供安全培训等方式，保障员工的身体健康和生命安全。

例如，化工企业加强对生产过程中的安全管理，为员工配备防护设备，降低员工的职业风险。另一方面，支持社会公益事业也是企业社会责任的重要体现。企业可以通过捐赠、志愿服务等方式，为社会做出贡献。例如，企业可以资助贫困地区的教育事业，帮助贫困学生完成学业。此外，企业还可以通过推动绿色供应链管理，带动整个供应链的可持续发展，为社会创造更大的价值。

（三）提升企业社会影响力

绿色供应链管理能够提升企业的社会影响力。首先，成为行业绿色标杆可以为企业带来良好的声誉和竞争优势。企业通过在绿色供应链管理方面的创新和实践，引领行业的发展方向，树立行业的绿色标准^[12]。例如，一些先进的企业通过采用绿色技术和管理方法，成为行业内的绿色示范企业，吸引了更多的客户和合作伙伴。其次，引领社会绿色风尚是企业的重要使命。企业可以通过宣传绿色理念、推广绿色产品和服务，影响消费者的行为和社会的发展方向。例如，企业可以开展绿色营销活动，鼓励消费者选择环保产品，推动社会的绿色消费潮流。最后，推动供应链整体可持续发展是企业的社会责任。企业可以通过与供应链上下游企业的合作，共同推动绿色供应链管理，实现供应链的可持续发展，为社会的可持续发展做出贡献。

五、结语

本文深入探讨了绿色供应链管理对企业可持续发展的影响。研究表明，绿色供应链管理在环境、经济和社会绩效方面均能为企业带来积极成效。它有助于降低环境污染与资源消耗，促进生态设计与绿色产品开发，提升企业环境形象与声誉；在经济上可降低成本、开拓新市场、增强竞争力；同时推动企业履行社会责任，提升社会影响力。然而，企业在实施绿色供应链管理过程中仍面临诸多挑战，需不断探索创新。

参考文献

[1] 赵中明. 供应链金融模式对中小企业融资可持续发展的影响研究 [J]. 经济技术协作信息, 2023(10):0166-0168.
[2] 周荣虎. 基于企业可持续发展的绿色供应链管理研究——评《绿色供应链管理》[J]. 商业经济研究, 2023(23):F0002.
[3] 高欣. 我国制造企业绿色供应链管理实施策略研究 [J]. 中国市场, 2023(2):173-175.
[4] 邹楼殿. 可持续发展背景下的绿色基金管理策略研究 [J]. 环渤海经济瞭望, 2023(11):97-100.
[5] 高晓雅. 绿色供应链视角下我国物流企业创新发展路径探讨 [J]. 中国商论, 2024(1):12-15.
[6] 武春友, 朱庆华, 耿勇. 绿色供应链管理与企业可持续发展 [J]. 中国软科学, 2001(3):67-70.
[7] 田虹, 崔悦, 姜雨峰. 绿色供应链管理能提升企业可持续发展吗? [J]. 财经论丛, 2018(10):77-85.
[8] 汪波, 白彦壮, 李敏. 企业可持续发展的绿色供应链管理研究 [J]. 科学管理研究, 2004,22(1):5-9.
[9] 郭梅, 赵希男, 王艳梅. 企业可持续发展的战略: 绿色供应链管理研究 [J]. 科技管理研究, 2008,28(6):255-257.
[10] 郑欢, 古福文, 吴海军. 现代企业的可持续发展战略——绿色供应链管理 [J]. 现代管理科学, 2005(1):61-62.
[11] 牟晓霞, 黄坚. 供应链管理对食品企业供应链绩效的影响研究 [J]. 全国流通经济, 2023(22):80-83.
[12] 王一甯. 企业供应链管理与可持续发展研究 [J]. 中文科技期刊数据库 (全文版) 经济管理, 2023(6):57-60.

城市地下空间开发中电力线路迁改设计研究

罗先超

深圳市楚电建设工程设计咨询有限公司, 广东 深圳 518001

摘 要： 在城市地下空间的开发建设过程中，拆迁工程作为正式动工的前提条件，对施工进度和工程设计的有效执行起着关键的制约作用。特别是在拆迁过程中，电力线路的迁移与保护工作尤为重要，它直接关系到整个工程能否高效、经济地进行。当前，我国在城市地下空间建设中，如何实现电力线路迁移的合理性、可靠性，同时兼顾省时省力的目标，是一个亟待解决的难题。在此背景下，本文首先对城市地下空间开发中电力线路数据进行说明，并探究地下管线埋设现状，城市地下空间开发中电力线路迁改进行设计，以期能够为相关研究提供借鉴。

关 键 词： 城市地下空间；线路迁改；规划设计

Research on the Design of Power Line Relocation and Reconstruction in Urban Underground Space Development

Luo Xianchao

Shenzhen Chudian Construction Engineering Design Consulting Co., Ltd. Shenzhen, Guangdong 518001

Abstract： In the process of developing and constructing urban underground spaces, demolition projects, as a prerequisite for formal construction, play a key constraining role in the effective implementation of construction progress and engineering design. Especially during the demolition process, the relocation and protection of power lines are particularly important, as they directly affect whether the entire project can be carried out efficiently and economically. Currently, in the construction of urban underground spaces in China, how to achieve the rationality and reliability of power line relocation while also taking into account the goal of saving time and effort is an urgent problem that needs to be solved. In this context, this article first explains the data of power lines in urban underground space development, explores the current situation of underground pipeline burial, and designs the relocation of power lines in urban underground space development, in order to provide reference for related research.

Keywords： urban underground space; line relocation and reconstruction; planning and design

引言

近年来，全国各大城市地铁工程如火如荼地展开，然而地铁施工不可避免地会对现有的及规划中的市政管线造成影响^[1]。因此，前期管线的迁移与保护工作已成为控制地铁施工工期、影响工程风险的关键因素之一。特别是在地下管线密集、交通流量大的城市主干道路下的地铁站，管线改造规划显得尤为关键。此外，由于地铁与市政管道均位于地下浅层，两者在利用有限的地下空间时，必须相互避让，进行合理的优化布局，以确保在不干扰深基坑施工的前提下，市政管线能够正常运作。若管道改造工作得以妥善实施，将能显著节约项目投资和建设时间。基于个人工作经验，本文探讨了地铁工程中管道迁移工作的几种基本理念和方法。

一、城市地下空间开发中电力线路数据说明

（一）电力线路导线的创建

在对杆塔、绝缘子串、连接点以及塔基等元素进行高程和方向的调整之后，依据这些元素之间的逻辑关系，结合连接点所包含的全部属性信息，便能够构建出电力线路的导线，从而形成完整的电力线路实体（即线状实体）。

连接逻辑的重要性

在构建电力线路导线时，连接逻辑的运用至关重要。若缺乏合理的连接逻辑，所生成的线路将显得杂乱无章，与现实情况不符。连接逻辑主要分为两种：一种是铁塔之间的连接，另一种则是铁塔内部的连接（以角塔为主）。

（二）电力模型的整合

在解析 XML 文件后得到的杆塔、绝缘子串、连接点和塔基的

数据是以点对象的形式存在的，而电力导线数据则是以线对象的形式呈现，为了使这些元素在三维场景中更加真实，需要将它们各自的三维模型进行整合^[2]。

二、地下管线埋设现况的探究

（一）对地下管线铺设缺乏周到的规划和监管

在众多城市中，地下管线的规划往往缺乏科学性和前瞻性，不仅导致了施工过程中的管道错综复杂、交叉重叠的难题，还因为涉及多个管理部门而缺乏一个统一的监管体系，使得实际操作中的监督和管理变得异常困难。举例来说，某城市的《城市地下管线工程档案管理办法》细则因机构改革而多次变动，导致无法持续有效地跟踪实施。此外，由于管理体制和权属的复杂性，工程实施中经常出现布局混乱和无序建设的情况。最后，许多城市的地下管线信息化水平较低，限制了精细化、科学化管理的可能性。在一些县乡电网工程项目的实施方案中，也指出了地下管线施工中缺乏标准施工工艺的问题，包括设计不科学、施工不规范以及铺设质量低下等。

（二）城市地下空间规划与管理制度的进展较为迟缓

目前，我国城市地下空间的开发利用主要集中在商业和停车设施上，其他功能的开发相对滞后。在建设综合管廊时，由于现有管线与新规划管线的冲突，施工面临诸多挑战。同时，城市新区的开发往往忽略了地下空间的利用，导致高层建筑对地下空间的整体开发造成了阻碍^[3]。此外，地面与地下开发的协调不足，缺乏统一的规划和规范，地下管网的归属分散，各部门各自为政，缺乏前瞻性的统筹规划。虽然有些城市地下管线管理办法虽然强调了科学规划、统筹建设和协调管理的重要性，但传统的排水管网监控仍依赖人工管理，存在安全隐患且效率不高，现有的管理方法和技术相对陈旧，信息化水平有待提升。

（三）社会各界普遍存在重视轨道、轻视管线的观念

在许多城市，地下空间的开发主要聚焦于交通设施，而对市政管线的关注则相对不足。以《中国城市地下空间发展蓝皮书（2017）》为例，该报告强调了加强地下空间安全监管的必要性，并呼吁建立一套完备的法律法规框架。然而，由于部分施工单位的操作不规范以及居民安全意识的欠缺，地下空间的安全隐患有所增加。城市管理中的区域分割现象也导致了地下管道缺乏统一的管理，从而增加了原有地下燃气管道被破坏的风险。在市政工程的施工过程中，地下管线的损坏往往源于规划设计阶段的不周全。例如，在市政工程施工中，地下管线常常因为缺乏足够的保护措施而受到损害。

三、城市地下空间开发中电力线路迁改设计

（一）细化迁改调查，获取详尽的现场资料

科学规划的核心在于坚实的基础数据，数据必须真实、准确且全面。尤其对于涉及迁移的工程项目，深入细致的前期调研是不可或缺的。在调研阶段，需协同供电部门及产权单位，对现有

电力线路进行详尽的核查，包括电压等级、线路规格、导线与电缆的型号和尺寸、建设年代、线路功能、关联的变电站、以及下级变电站、箱变和变电台的具体情况。同时，建立详尽的台账记录。此外，从产权所有者处收集关于线路和设备的信息、用电改造指标及单价等关键数据。通过与供电部门的沟通，获取电网改造的初步方案，并依据项目的具体需求，制定出切实可行的电网改造计划。

（二）变压器设计优化

在地下空间，由于用电模式相对单一，通常采用共享变压器的方式。为了提升配电效率，我们需要对变压器进行精准选型，并将其部署在负荷集中的区域，以减轻负荷压力。通过辐射状的电压分布，确保电能的均衡供应，并最大限度地减少能量损耗^[4]。变压器的选型应考虑实际需求，并关注其日常维护和更换。在改造过程中，应根据当地经济发展的实际情况，选择合适的变压器。此外，工程师应参考相关资料，对硅钢片和铁心的结构进行合理选择，精确计算铁心圆柱的直径，以及铁心支柱的磁密，计算各匝的电位，确定高低压绕组的匝数，从而优化线圈设计，确保高压和低压线圈的高效运行。

（三）线路设计优化

在实际选择线路时，利用传输线的能量计算热传导截面积，以便实时监控传输电流的流量，确保在负载情况下的传输安全。^[5]

（四）导线弧垂与排列的精细化设计

在设计导线弧垂时，必须综合考虑施工现场的具体需求、气候条件以及实际情况，以确保设计方案既符合行业标准，又能最大限度地减少误差。在实际操作中，应制定切实可行的施工计划，通过调整线杆的高度来预防导线可能出现的交叉或断裂问题，从而确保施工过程的安全性。设计人员应从整体角度出发，严格遵守相关规范。例如，通常会选择0.4 kV 的杆塔，并通过水平布局来实现精确控制，以避免垂直布局可能带来的安全隐患。同时，在保证产品质量的前提下，应以提升产品质量和延长使用寿命为目标，依据国家标准进行合理的规划和严格的控制。必须根据实际施工情况调整电杆高度，以确保配电线路的安全稳定。在管沟内明敷电缆时，不宜将其平行敷设在热力管道的正上方。在没有隔板防护的情况下，电缆与其他管道之间的允许距离应按照现行国家标准《城市工程管线综合规划规范》（GB 50289）执行，并符合表1的规定。^[6]

表1 电缆与管道允许间距

电缆与管道之间走向		电力电缆	控制和信号电缆
热力管道	平行	1000	500
	交叉	500	250
其他管道	平行	150	100

（五）输电线路路径的优化设计

输电线路的路径规划优化是一个涉及经济成本、技术工艺和运行效率的综合过程。在设计阶段，必须全面考虑气候条件、环境保护、水文地质等多重因素的影响。通过对地形地貌的深入分析，对线路布局进行精细调整，并探讨沿线路径铺设的可行性。在制定线路规划时，应挑选技术上可行且经济效益高的方案，规

避地质结构不稳定的区域，确保气候环境的稳定，从而延长线路的使用年限，并积极应对自然环境可能带来的负面影响。为了确保输电线路的稳定运行，管理者应提供必要的项目建设支持，并在政策层面给予适当的倾斜，以保障线路的可靠运行和施工的便捷性，从而更好地服务于社会经济发展和居民生活。此外，还需要对输电线路的维护和管理进行全面规划，确保其长期稳定运行。^[7]

（六）电力电缆保护设计

在地下深处进行电力管道的暗挖施工，若选择浅层挖掘，可能会面临诸多挑战，如施工风险增加、操作难度加大等问题。为了保障输电线路的稳固，采用超前支护技术，并辅以土压力灌浆技术，经过结构计算验证的，确保了施工的安全性。在架空敷设电力电缆时，使用钢绞线进行悬挂是一种常见做法。^[8]为了确保悬挂系统的稳固，需要根据电缆的重量来选择合适的钢绞线截面，并对拉索两端的锚固点进行受力分析。计算结果将提供给结构专业人员，以便根据《电力工程高压送电线路设计手册》的规定进行应力计算。^[9]此外，采用桁架式悬吊方式，可以将桁架直接固定在基坑两侧的围护结构上，布置方式紧凑，无需中间立柱。由于动力管道相比其他管道重量较轻且具有较好的变形能力，因此，可以在其底部适当位置安装支架，并将支架悬挂在钢桁架上。具体的悬挂模式可以参考图1。^[10]

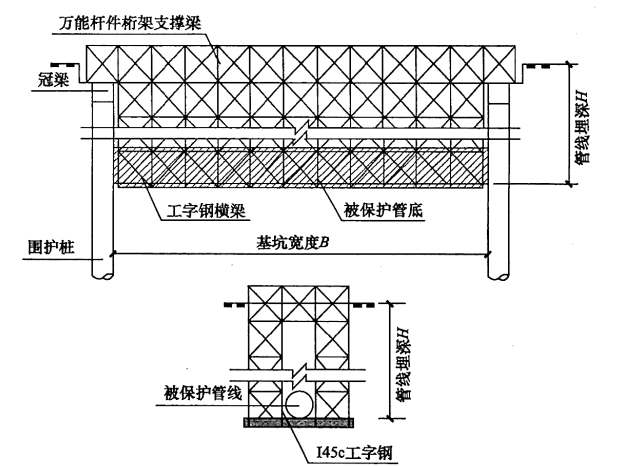


图1 电力管线桁架悬吊保护方案示意图

四、结束语

综上所述，城市地下空间发展的关键制约因素涵盖供电、产权归属及市政规划等多个层面，同时亦牵涉到道路、建筑、通讯设施以及各类给排水、供热、燃气管道等元素间的复杂互动。此外，施工技术、工序安排及建筑构造等内在要素亦扮演着重要角色。电力设施的迁移过程耗时较长，审批流程繁琐，且工期延展。在进行电力管线迁移设计时，需全面考量上述各项因素，并在实施前进行细致的勘察工作，紧密结合当地实际状况，基于对迁移关键影响因素的深入分析，遵循迁移的基本准则，精心策划，制定切实可行的迁移方案。经过经济与技术层面的综合评估后，选取适宜的工程对策，并进行进一步的细化设计，以确保城市地下空间供电线路改造工程的顺利推进。

参考文献

[1] 蔡东碧. 基于轨道管线迁改的城市地下空间规划研究——以深圳地铁16号线二期工程为例[J]. 工程技术研究, 2022, 7(24):171-173.
[2] 刘建华. 既有电力管线非迁改条件下地连墙施工技术[J]. 世界家苑, 2022(5):43-45.
[3] 侯照南, 杨太华. 广东省某220千伏输电线路迁改工程风险评价研究[J]. 绿色科技, 2023, 25(12):225-231.
[4] 王鹏. 公路建设施工中涉及电力线路及设施迁改流程及常见问题浅析[J]. 中文科技期刊数据库(全文版)工程技术, 2022(5):4.
[5] 李立武. 110kV 电力线路上跨高速铁路迁改施工技术[J]. 四川水泥, 2022(5):218-219+239.
[6] 陈爱英. 地铁建设时污水管道迁改方案及影响分析[J]. 城市道桥与防洪, 2020(3):6.
[7] 温铿航; 薛康; 市政工程电力管线迁改工作模式分析[J]. 工程技术研究; 2023年23期.
[8] 游先旺; 地铁工程中的双、单回电缆过构(建)筑物施工技术[J]. 交通世界; 2021年26期.
[9] 朱江; 影响地铁施工的电力线路迁改设计研究[J]. 现代城市轨道交通; 2019年10期.
[10] 李元春; 电力线路迁改业务的财务核算管理探讨[J]. 现代经济信息; 2016年08期.

10kV 供配电系统设计中常见问题及解决措施

潘章满

深圳市楚电建设工程设计咨询有限公司, 广东 深圳 518001

摘 要： 在我国现行的电力供需体系中，输电网络的构成具有显著特点。长距离输电线路通常采用35 kV 及以上的高压输电网，以确保电能的高效传输。而在供电终端的布局方面，10 kV 输电系统占据主导地位，成为配电网的核心组成部分。然而，尽管10 kV 配电网在电力分配中扮演着关键角色，其在实际运行过程中仍面临诸多挑战。在此背景下，本文首先对10kV 供电系统的定义与特点进行分析，并针对10kV 配电设计中常见问题进行概述，提出10kV 供配电系统设计问题解决措施，以期能够为相关研究提供借鉴。

关 键 词： 10kV 电气安装；供电系统；技术问题

Common Problems and Solutions in 10kV Power Supply and Distribution System Design

Pan Zhangman

Shenzhen Chudian Construction Engineering Design & Consulting Co., LTD. Shenzhen, Guangdong 518001

Abstract： In the current power supply and demand system in our country, the transmission network has significant characteristics. Long-distance transmission lines usually use high-voltage transmission networks of 35 kV and above to ensure efficient transmission of electrical energy. In terms of the layout of the power supply terminal, the 10 kV transmission system occupies a dominant position and becomes the core component of the distribution network. However, although the 10 kV distribution network plays a key role in power distribution, it still faces many challenges in actual operation. In this context, this paper first analyzes the definition and characteristics of 10kV power supply system, summarizes the common problems in 10kV power distribution design, and proposes solutions to the design problems of 10kV power supply and distribution system, hoping to provide reference for related research.

Keywords： 10kV electrical installation; power supply system; technical problem

引言

随着工业化和城市化进程的加速，电力供配系统作为现代工业和民用建筑中不可或缺的基础设施，其重要性日益凸显。特别是在10kV 供配电系统设计中，存在一系列常见问题，如电气设备选择、线路布置、系统可靠性等方面的挑战，而研究10kV 供配电系统设计中的常见问题及解决措施，对于提高电力系统设计水平，降低事故风险，保障供电可靠性，具有重要的理论和实践意义。希望通过本研究能够为电力系统设计及运行领域的相关工作提供有益的参考和指导，为电力行业的健康发展贡献力量。

一、10kV 电气安装概述

（一）10kV 供电系统的定义与特点

10kV 供电系统以其高电压等级、适中的传输距离、设备复杂性、高安全性和可靠性要求为特点^[1]。其10千伏的电压等级赋予了传输高功率电能的能力，使其成为需要大量电力场合的理想选择。同时，在中距离电力传输中展现出良好的使用价值，能够覆盖城市以及农村和郊区等地区。鉴于其设备结构的复杂性和高电压特性，设计、安装和运行过程中必须严格遵守相关的安全规范，以确保供电的安全稳定，特别是在工业生产和医疗等对电力

需求较高的领域，提供可靠的设备和系统支持显得尤为重要。^[1]

（二）10kV 电气安装的组成

变电站亦称为配电站，主要职责是将来自高压输电网的电能降压至10千伏，以满足城市或区域的电力供应，设施的核心组件包括变压器、开关设备以及保护设备等。其中，配电变压器的作用尤为重要，将10千伏的电压进一步降低至适合用户使用的低压电能，例如380伏或220伏，以供各类设备及终端用户使用。高压开关装置则负责对10千伏电网的线路进行调控，确保电网的稳定与安全。电力电缆从变电站出发，向各个用户或负载端输送电能，电缆既有主干线，也有分支线。为了保障整个系统的安全与

稳定，保护和控制系统配备了过载保护和短路保护功能。此外，接地系统的设计旨在保护设备及人员免受雷击，并确保系统具备良好的接地性能。^[2]

二、10kV 配电设计中常见问题

（一）配电系统设备长期运行易造成耗损

在配电网设备的运行过程中，稳定性问题与检修维护的及时性不足已成为亟待解决的难题。长时间处于高压状态下的绝缘部件，其表面往往会积累大量污垢，这些污垢中含有盐分，在湿度较高的环境中极易引发污闪现象，且此类现象并非孤立发生，而是可能与其他不利因素同时并存。例如，外界环境的影响，如高温导致电阻值上升，或阴雨季季节接地电阻值增大等，均会显著增加配电设备的安全隐患。此外，机械损耗作为一种普遍现象，在设备表面尤为常见，不仅影响设备的正常运行，还可能进一步加剧设备的老化和故障风险。因此，针对配电网设备的运行不稳定、检修维护不及时以及机械损耗等问题，亟需采取更为有效的措施进行预防和应对，以确保配电网的稳定运行和延长设备的使用寿命。^[3]

（二）未对电缆选择进行充分考虑

10 kV 配电线路的负载模式呈现出复杂多变的特性，因此需要在设计中采用多种规格和数量的电缆以适应不同的需求。然而，在统计和设计过程中，往往面临诸多挑战^[3]。若在设计初期未能妥善解决这些问题，很可能在后续的审核、审计及预算环节中被忽视，从而给企业带来潜在的经济损失。电缆的质量直接关系到整个配电网设备的稳定运行，因此在配电设计阶段，对电缆的选择必须给予充分的重视。在我国，户外电缆套管的选型通常采用镀锌钢管，但这种材料易受腐蚀，可能导致电缆受损，增加安全风险，因此，在工程施工中，应根据具体条件灵活选择 VV 型和 YJV 型电缆。^[4]

（三）自动化装置使用存在问题

随着我国科技的飞速进步，自动化设备在变配电站的普及程度正逐渐加深。在变配电领域，恰当地整合自动化装置与数字技术，不仅能大幅增强监测工作的力度与准确性，还能显著提升电网的安全运行水平。此外，通过合理部署自动化设备，电网的利用效率得以提升，各线路中存在的问题也能得到精准定位与解决，从而有效规避运行过程中的重大失误。然而，在自动化装置的实际应用过程中，仍然存在一系列亟待解决的问题。首先，部分自动化设备的技术成熟度不足，导致其在复杂环境下的稳定性和可靠性有待提升。其次，自动化装置的维护与管理体系尚不完善，缺乏专业技术人员的支撑，使得设备故障的及时排查与修复面临挑战。再者，自动化技术的更新迭代速度较快，而相关人员的培训与知识更新未能同步跟进，影响了自动化装置效能的充分发挥。^[5]

（四）真空断路器过电压存在的不足

当前变配电站中，真空断路器以其高效的切换负载电流功能而备受青睐。在实际操作过程中，面对电路中涌现的巨大短路电流，真空断路器能够迅速响应，实现及时断路。相较于传统的油

断路器，真空断路器在防火性能上展现出更为显著的优势。在实际应用领域，真空断路器的最大亮点在于其迅捷的响应速度^[4]。无论是面对负载电流的波动还是过载电流的挑战，真空断路器均能在极短的时间内做出精准响应。因此，在配电变压器的设计环节，真空断路器往往成为首选。然而，真空断路器的应用并非毫无限制。由于其响应时间极为短暂，可能导致电流峰值的急剧上升。鉴于此，在选用真空断路器时，必须对其阻抗进行周密考量，以规避因快速反应而引发的电流过载问题。^[6]

（五）设备布置存在不足

当前，国内大部分 10 kV 配电网布设方案存在诸多挑战，主要表现为高低压配电网布局与规划布局之间的不协调，以及已有通用图的不完备等问题。在住宅小区中，低压线路的复杂性对设计者提出了更高的要求，即在绘制图纸前，必须对设计单位提供的电气图纸进行细致的审查与理解。然而这一理解过程往往仅停留在设计者的脑海中，未形成书面记录，从而导致在后续工作中或检查阶段需重新审视电气设计图，增加了工作的重复性。更严重的是，在某些情况下，检查人员可能忽视设计者对电子建筑图的深入理解与认可，直接影响了设计图的质量。此外，项目设计阶段缺乏对各区域会审意见的统一管理，导致设计师间的沟通不畅，工作效率低下。设计师与建筑现场的联系不足，使得其难以全面理解自己设计的工程，对提升设计水平产生显著障碍。因此，为了提高设计质量和工作效率，有必要建立一套完善的图纸审查和记录机制，加强设计师与现场的沟通，并统一理会会审意见，以确保设计工作的顺利进行和设计质量的持续提升。^[7]

三、10kV 供配电系统设计问题解决措施

（一）加强设备的检修维护

机械损耗作为常见现象，多发于设备表面，对设备的稳定运行构成潜在威胁。为确保配电网系统及设备的安全可靠运转，必须建立健全的巡视与维护机制，定期对员工进行培训与考核，确保其具备及时发现并处理问题的能力。在配电设计阶段，亦需综合考虑多方面因素。绝缘层材料的选取应严格把关，确保其性能稳定、耐久性强。同时，线路与热源之间的距离设置需合理，避免因过近导致的热损伤。此外，绝缘层周围应避免存在可能与其发生化学反应的材料，以防潜在的安全风险。^[8]

（二）选择适合的电缆

1. 型号选择与电缆特性分析

在建筑工程行业，VV 型聚氧乙烯电缆和 YJV 型交联聚乙烯电缆是两种主流的电缆选项。尽管 YJV 型电缆的价格稍高于 VV 型电缆，却拥有诸多显著优点，包括较轻的重量、更长的使用寿命、较小的外径以及更大的容量。YJV 型电缆能够提供长达 40 年的使用寿命，相比之下，VV 型电缆的使用寿命则缩短至 20 年。鉴于这些重要的性能优势，工程设计时往往更偏好选择 YJV 型电缆，以此来保障工程的持久稳定运行^[9]。

2. 电缆选型中的其他关键要求

在电缆选型过程中，除了考虑电缆的基本性能外，还需关注

其防火性能及对特定环境的适应性。普通电缆应优先选择 ZR 防火型，而对于防火用电缆，则推荐采用 NH 防火型。鉴于矿物绝缘型电缆在施工难度、绝缘结构易损性及成本方面存在的局限性，应尽量避免选用此类电缆。此外，在面临白蚁危害的区域，建议选用 FY 型电缆，以有效防范白蚁对电缆的潜在损害。

（三）使用合理的自动化装置

在实际设计过程中，首要任务是深入考量自动控制单元的实际应用需求，并依据配电系统的特定条件，甄选出最为适宜的自动单元闸。在确定适宜的自动化设备后，需对变配电系统的设计细节展开更为深入的分析与探究，从宏观视角对其进行综合考量与细致剖析，以确保设计成果能够切实满足变配电系统的正常运行需求，并将后续可能出现的各类问题降至最低。同时，亦需对成本投入予以充分考量，力求在确保设计质量的前提下，实现经济效益的最大化。^[10]

（四）解决过压过载问题

在电力系统中，真空断路器因其卓越的反应速度被广泛应用，带来了高电压问题的频繁出现，对电力设备造成不可逆的损害。在选择电气设备时，首要考虑的因素应是其对设备容量的影响，并在确保经济性的前提下，优先选择那些具有较强耐受能力的电气设备。此外，加强对电气设备的维护工作同样至关重要，不仅能延长设备的使用寿命，还能确保其工作质量，提升工作效率。在电力系统的正常运行过程中，任何一处电源的超负荷都可能对整个电网造成严重损害。因此，在系统设计阶段，必须确保一旦某段线路超载，该段线路能够立即断电，从而实现整个过载区域的停电，以防止因单一线路故障导致整个电网无法正常运行。

（五）通过合理布局促进配电线路安全运行

规划和建设 10kV 配电线路是确保电力供应稳定和安全的核心环节。为了更好地满足公众对电力的需求，必须加强对新旧线路的维护工作，并优化线路的布局 and 施工过程。在设计 10kV 配电线路时，需要特别注意以下几个方面：首先，所选用的设备和材料必须符合规定的质量标准，任何未经检测合格的设备都严禁投入使用。其次，对所有仪器的质量和性能进行细致的检查，并采用多种检测方法来确定其可靠性。再次，考虑线路周围的环境因素，根据具体的地形条件确定线路之间的安全距离。如图 1 所示，确保导线与地面、水面的最小距离符合安全要求。最后，从长远角度出发，预测未来的电力需求，以确保线路布局的合理性和前瞻性。

参考文献

[1] 林林. 10kV 供电系统设计与对供电可靠性的影响研究 [J]. 电子元器件与信息技术, 2023(8):197-200.
[2] 王清水. 电力工程中 10kV 供电设计常见的问题及对策分析 [J]. 电子乐园, 2022(009):000.
[3] 蒋亚辉. 电力工程中 10kV 供电设计常见的问题及对策分析 [J]. 电脑采购, 2022(2):35-37.
[4] 王凡. 10kV 供电系统设计与对供电可靠性的影响分析 [J]. 轻松学电脑, 2021, 000(004):P.1-1.
[5] 李瑞杰; 赵建文; 浅谈高速公路建设所涉 10 千伏及以下电力线路迁改工作 [J]. 科技风; 2017 年 19 期.
[6] 胡朝卫; 110kV 电力线路上跨高速铁路迁改施工技术 [J]. 中国高新科技; 2020 年 12 期.
[7] 薛丙有; 关于 110kV 电力线路跨越客运专线的技术方案 [J]. 山西建筑; 2011 年 34 期.
[8] 李立武; 110kV 电力线路上跨高速铁路迁改施工技术 [J]. 四川水泥; 2022 年 05 期.
[9] 王云. 浅谈 10kV 变电所供电系统的设计要点 [J]. 农家参谋, 2020, No.657(11):155-155.
[10] 辛召敏; 普速铁路 110kV 电力线路维修模式运用研究 [D]. 中国铁道科学研究院, 2023 年.

> 图 1 导线与地面或水面的最小距离（M）

线路经过地区	线路电压	
	高压	低压
居民区	6.5	6
非居民区	5.5	5
不能通航也不能浮运的河、湖（至冬季冰间）	5	5
不能通航也不能浮运的河、湖（至 50 年一遇洪水位）	3	3
交通困难地区	4.5	4

四、10kV 配电设计的节能措施

（一）配电线路选择

通过合理选择导线材料和截面积，减少线路损耗和电压降低。例如，采用低电阻、高导电性能的铜导线，或者使用铝合金导线来替代传统的铜导线，可以降低线路电阻，减少线路功耗。此外，还可以采用屏蔽绝缘电缆来减少电磁干扰和能量损失。

（二）变压器选择

在变压器的选型过程中，应考虑到负载率、转换效率以及空载损耗等因素。选择高效率的变压器，能够降低能耗和电力损失。同时，合理安排变压器的容量和数量，避免过度装机或低负载运行，也能够提高能源利用效率。

（三）应用无功补偿技术

使用无功补偿装置，如电容器组、静态无功补偿装置等，可以实时监测和调整系统的功率因数，使得系统中的无功功率接近零，从而减少能耗和电网负荷。此外，还可以采用无功优化控制策略，根据不同负载情况自动调整补偿装置的容量和投入时间，进一步提高能源利用效率。

五、结束语

综上所述，随着社会用电需求的持续攀升，电网的安全性与可靠性亦亟待强化。在此背景下，10 kV 配电网凭借其卓越性能，已广泛渗透至电力系统各环节。为确保电网稳定高效运行，亟需提升电网维护力度，并制定详尽的管理规范。唯有如此，方能保障电网顺畅运转，进而为社会提供优质电力服务，助力公司实现更为可观的经济效益。