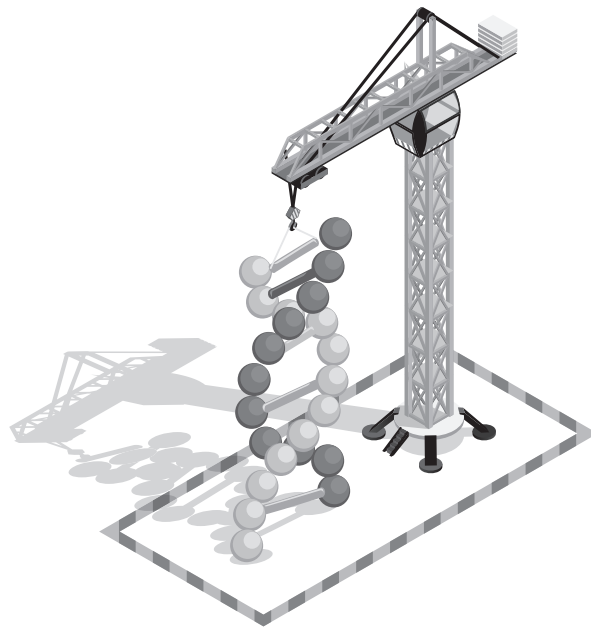


工程 研究与应用

Engineering Research and Application



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

Editors-in-Chief

Xiaolei Ju

China Architectural Design and Research Institute, China

Meilian Chao

Heze Dehe Construction Engineering Group Co., LTD

Editorial Board Member

Xianbo Tu

Guizhou Institute of Geological Exploration, General Bureau of Geology
and Mines, Sinochem, China

Neda Abbasi

School of Engineering and Technology

Tanvir Ahamed

School of Engineering and Technology

Zhen Xu

Zhongtong Bus Holding Co., Ltd

工程研究与应用

Engineering Research and Application

第2卷 第9期 2024年9月刊

主管 ART AND DESIGN PRESS INC.

主办 ART AND DESIGN PRESS INC.

编辑 《工程研究与应用》编辑部

ISSN(O): 2993-2742

ISSN(P): 2995-3154

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。



工程科学 | ENGINEERING SCIENCE

- 005 河道治理工程技术与管理实践 孙新¹, 李毅², 顾浩然³, 孙思⁴, 朱莹⁵
Engineering Technology and Management Practices
for River Regulation Sun Xin¹, Li Yi², Gu Haoran³, Sun Si⁴, Zhu Ying⁵
- 008 大容量供热汽轮机深度调峰与灵活性改造技术应用 李明成
Application of Deep Peak Regulation and Flexible Transformation
Technology of Large Capacity Heating Turbine Li Mingcheng
- 011 重大跨越中集控牵张架线施工技术应用 杨侃
Application of Construction Technology of Central Control
Stretch Line in Major Span Yang Kan
- 014 沿空留巷技术的研究与应用 赵磊, 苗路凡
Research and Application of the Technique
Of Retaining Lanes Along the Goaf Zhao Lei, Miao Lufan
- 017 关于煤炭机械化采样设备故障的预见性分析 陈林
Predictive Analysis of Faults in Coal Mechanical Sampling Equipment Chen Lin
- 020 城市河道断面水质达标正反馈整治模式下的
流域雨污分流综合治理项目设计 闫超¹, 刘小平¹, 汪天祥²
Design of Comprehensive Management Project For Rainwater and Sewage Diversion
in Urban River Sections under the Positive Feedback Management Model to Meet
Water Quality standards Yan Chao¹, Liu Xiaoping¹, Wang Tianxiang²
- 023 高铁驾驶过程中驾驶员的安全人机工程分析 何之拓
Ergonomics Analysis of Driver Safety During High-speed Rail Driving He Zhituo
- 026 安全工程在化工企业中的应用与研究 黄荣庆
Application and Research of Safety Engineering
in Chemical Enterprises Huang Rongqing
- 029 提高香蕉采后品质的关键保鲜技术探讨 邹冬梅
Exploration of Key Preservation Techniques to Improve Postharvest
Quality of Bananas Zou Dongmei
- 032 智能制造背景下机械专业人才培养模式探讨 李曼
Exploration of Training Mode for Mechanical Majors in the Context
of Smart Manufacturing Li Man
- 035 探究提高机械数控加工技术水平有效对策 叶红庆, 施梁
Explore the Effective Countermeasures to Improve the Level
of Mechanical CNC Machining Technology Ye Hongqing, Shi Liang
- 038 生物强化技术在水污染治理中的
应用实践分析 高燕, 金朝阳, 刘瑾, 颜子钦
Analysis of the Application Practice of Bioaugmentation Technology
in Water Pollution Control Gao Yan, Jin Zhaoyang, Liu Jin, Yan Ziqin
- 041 工程机械电气自动化系统的能效优化与控制策略 盛庆祝¹, 程刚², 张鹤³
Energy Efficiency Optimization and Control Strategies for Electrical Automation
Systems in Construction Machinery Sheng Qingzhu¹, Cheng Gang², Zhang He³
- 044 地下连续墙在深基坑支护中的应用与优化 张翔
Application and Optimization of Underground Continuous Wall
in Deep Foundation Pit Support Zhang Xiang

047	探析水文地质对岩土工程勘察的影响 Exploring the Impact of Hydrogeology on Geotechnical Engineering Investigation	陈刚 Chen Gang
050	长螺旋—复合锚杆在滇西冲洪积地层中的应用 Application of Long Helical-Composite Anchors in the Alluvial-Fluvial Deposits of Western Yunnan	余再西 ¹ , 何小远 ² , 李荣玉 ³ Yu Zaixi ¹ , He Xiaoyuan ² , Li Rongyu ³
054	矿井通风与瓦斯防治技术在煤炭开采中的实践 Practice of Mine Ventilation and Gas Prevention and Control Technology in Coal Mining	高冯亮 Gao Fengliang
057	基于FMEA法的PROTOS1-8卷烟机故障风险评估 Fault Risk Assessment of PROTOS1-8 Cigarette Machine Based on FMEA	安丽媛, 李越, 陈琳琳 An Liyuan, Li Yue, Chen LinLin

建筑科学 | BUILDING SCIENCE

060	装配式住宅建筑工程造价与成本控制管理分析 Analysis of Cost and Cost Control Management of Assembled Housing Construction Project	黄芳 Huang Fang
063	蜂巢格室生态护坡在山地城市的应用研究 Application Research of Honeycomb Cellular Ecological Slope Protection in Mountainous Cities	赵文锋, 陈尊伟, 王莉娜 Zhao Wenfeng, Chen Zunwei, Wang Lina
066	房地产管理中房产测绘意义的分析 Analysis of the Significance of Real Estate Surveying and Mapping in Real Estate Management	杜浩 Du Hao
069	建筑工程防水施工技术 Waterproof Construction Technology of Construction Engineering	胡纪青 Hu Jiqing

能源科学 | ENERGY SCIENCE

072	甘肃河西走廊输油气管道地质灾害危害性及其防治措施 Geological Hazards and Prevention Measures Along the Pipeline of Gansu Corridor	魏永康 Wei Yongkang
075	火电厂集控运行节能降耗技术分析 Analysis of Energy Saving and Consumption Reduction Technology in Centralized Control Operation of Thermal Power Plant	朱景浪 Zhu Jinglang
078	电力系统电气工程中故障诊断与处理方法探讨 Discussion on Fault Diagnosis and Processing Methods in Electrical Engineering of Power Systems	曾宁 Zeng Ning
081	电气工程中配电网自动化与智能化改造探讨 Discussion on Automation and Intelligent Transformation of Distribution Network in Electrical Engineering	陆新 Lu Xin
084	电气工程中新能源并网对电力系统稳定性的影响分析 Analysis of the Impact of New Energy Grid Connection on the Stability of Power Systems in Electrical Engineering	魏炜 Wei Wei
087	极寒地区火电机组深调对环保设备的影响与应对措施 Impact of Deep Regulation of Thermal Power Units in Extremely Cold Regions on Environmental Protection Equipment and Countermeasures	安健 An Jian

电子与通信工程 | ELECTRONIC AND COMMUNICATION ENGINEERING

090	5G时代无线通信工程的关键技术研究与应用 Research and Application of Key Technologies in Wireless Communication Engineering in the 5G Era	陈展仁, 周益良 Chen Zhanren, Zhou Yiliang
093	基于物联网技术的智慧环保云平台设计方案研究 Research on the Design Scheme of Smart Environmental Protection Cloud Platform Based on Internet of Things Technology	付早, 刘洪具 Fu Zao, Liu Hongju
096	短波天线的安装及维护 Installation and Maintenance of Shortwave Antennas	加那斯·加沙来提 Janas-Gasalaiti
099	数据安全是数据要素合规发展的基石 Data Security is the Cornerstone of Compliant Development of Data Elements	胡亚林 Hu Yalin
102	人工智能在二手车特征及价值评估中的应用研究 Research on the Application of Artificial Intelligence in the Feature and Value Evaluation of Used Cars	黄乐 Huang Le
105	电子信息工程在耳机降噪技术中的应用与发展 Application and Development of Electronic Information Engineering in Headphone Noise Cancellation Technology	王雷, 陈波, 李家琪 Wang Lei, Chen Bo, Li Jiaqi

交通与储运科学 | TRANSPORTATION AND STORAGE SCIENCE

108	智慧交通背景下自感知和自愈合路面的发展趋势研究 Research on the Development Trend of Self-sensing and Self-healing Road Surfaces in the Context of Smart Transportation	高楠, 刘卓群, 张金梁, 张茗崴, 鞠达 Gao Nan, Liu Zhuoqun, Zhang Jinliang, Zhang Mingwei, Ju Da
111	从综合交通换乘视角分析现代化航空枢纽的建设 Analysis of the Construction of Modern Aviation Hubs from the Perspective of Integrated Transportation Transfer	宋喆 Song Zhe

河道治理工程技术与管理实践

孙新¹, 李毅², 顾浩然³, 孙思⁴, 朱营⁵

1. 江苏淮阴水利建设有限公司, 江苏 淮安 223000

2. 淮安市水利勘测设计研究院有限公司, 江苏 淮安 223000

3. 淮安市水利勘测设计研究院有限公司, 江苏 淮安 223000

4. 江苏淮阴水利建设有限公司, 江苏 淮安 223000

5. 山东元鸿勘测规划设计有限公司, 山东 济南 250014

摘要：河道治理工程是改善水环境、保护生态平衡的重要措施。本篇系统分析了河道治理的技术方法，包括疏浚、护岸、生态修复等，探讨了在实际应用中的管理实践。通过案例研究，总结了河道治理工程中的关键技术要点和管理策略，强调了科学规划、技术创新和公众参与的重要性。研究发现，综合运用工程技术和生态治理手段，可以有效提升河道的防洪能力和生态环境质量，为未来河道治理提供了有益的经验 and 参考。

关键词：河道治理；生态修复；技术方法；管理实践；公众参与

Engineering Technology and Management Practices for River Regulation

Sun Xin¹, Li Yi², Gu Haoran³, Sun Si⁴, Zhu Ying⁵

1. Jiangsu Huaiyin Water Conservancy Construction Co., Ltd. Huai'an, Jiangsu 223000

2. Huai'an Water Conservancy Survey and Design Research Institute Co., Ltd. Huai'an, Jiangsu 223000

3. Huai'an Water Conservancy Survey and Design Research Institute Co., Ltd. Huai'an, Jiangsu 223000

4. Jiangsu Huaiyin Water Conservancy Construction Co., Ltd. Huai'an, Jiangsu 223000

5. Shandong Yuanhong Survey, Planning and Design Co., Ltd. Jinan, Shandong 250014

Abstract： River regulation engineering is an important measure to improve the water environment and protect ecological balance. This paper systematically analyzes the technical methods of river regulation, including dredging, bank protection, ecological restoration, etc., and explores the management practices in practical applications. Through case studies, the key technical points and management strategies in river regulation engineering are summarized, emphasizing the importance of scientific planning, technological innovation, and public participation. The study finds that the integrated use of engineering technology and ecological management methods can effectively improve the flood control capacity and ecological environmental quality of rivers, providing valuable experience and references for future river management.

Keywords： river regulation; ecological restoration; technical methods; management practices; public participation

引言

随着城市化进程的加快，河道污染和生态退化问题日益严重，河道治理工程的需求愈加迫切。有效的河道治理不仅能改善水质、提高防洪能力，还能恢复和保护生态系统的平衡。近年来，技术方法不断创新，管理实践也日益丰富，但如何将这些技术和实践高效结合，并在实际应用中发挥最大效益，仍是亟待解决的课题。本篇通过系统分析和案例研究，探索河道治理的最佳策略，旨在为未来的河道治理工程提供科学依据和实践指导，提升治理效果，保护水环境。

一、河道治理工程的背景与意义

1. 河道污染与生态退化问题

工业废水、生活污水及农业面源污染等多种污染源不断进入河道，导致水质恶化，生物多样性减少，生态系统平衡遭到破坏。此外，河道淤积、河岸侵蚀和水土流失等问题也加剧了河道的生态退化。面对这些问题，传统的治理方法往往难以兼顾生态保护和污染治理的双重目标。因此，迫切需要综合运用新技术和

新方法，实施科学、有效的河道治理工程，以恢复和保护河道生态环境，实现水资源的可持续利用^[1]。

2. 河道治理的重要性

河道治理工程的实施不仅关系到水环境的改善，还对防洪排涝、生态保护、景观建设等方面具有重要意义。首先，河道治理可以有效提高防洪能力，通过疏浚河道、加固河岸、建设防洪设施等措施，增强河道的行洪能力，减轻洪水灾害的威胁。其次，河道治理有助于改善水质，通过污水处理、截污控源、生态修复

等手段,减少污染物排放,提升水体自净能力,恢复良好的水生态环境。此外,河道治理还能够美化环境,提升城市形象,促进旅游业发展,增强市民的幸福感和获得感。因此,科学、系统地开展河道治理工程,既是解决当前水环境问题的迫切需求,也是实现社会经济可持续发展的重要保障^[2]。

3. 河道治理技术的发展

随着科学技术的不断进步,河道治理技术方法也在不断发展和创新。传统的河道治理方法主要包括疏浚清淤、河岸加固和防洪排涝等,但这些方法往往忽视了生态系统的整体性和可持续性。近年来,生态修复技术逐渐成为河道治理的重要手段之一,如生态护坡、湿地建设、水生植物种植等,通过恢复河道的自然状态,增强河道的生态功能。此外,智能监测和管理技术的发展,也为河道治理提供了新的思路和方法。利用大数据、遥感、GIS等技术手段,可以实现河道水质、水量的实时监测和动态管理,提高治理的精确性和效率。

二、河道治理技术方法分析

1. 疏浚与清淤技术

疏浚与清淤是河道治理的基础技术,通过清除河道内的淤泥和杂物,增加河道的过水断面,提高河道的行洪能力。传统的疏浚技术主要依赖机械设备,如挖泥船、泥浆泵等,这些设备可以高效地清除河床上的淤积物。然而,传统疏浚方法容易对河道生态环境造成一定的破坏,尤其是对水生生物的栖息地和水质产生不利影响。为此,近年来开发了生态疏浚技术,在清淤过程中尽量减少对环境的干扰,如使用低扰动疏浚设备、在清淤后进行生态修复等。这些技术不仅有效提升了河道的行洪能力,还兼顾了生态保护的需求^[3]。

2. 河岸加固与护坡技术

河岸加固与护坡技术是防止河岸侵蚀、维护河道稳定的重要手段。传统的河岸加固方法多采用混凝土护坡、石笼挡墙等工程措施,这些方法虽然能够有效防止河岸塌陷和侵蚀,但往往忽视了生态环境的保护和景观效果。为此,生态护坡技术应运而生,通过利用植被、生态袋、生态混凝土等材料进行护坡,不仅能稳定河岸,还能恢复和提升河岸的生态功能。例如,植被护坡通过种植耐水植物,形成绿色防护带,不仅美化了环境,还为野生动物提供了栖息地^[4]。生态袋和生态混凝土则通过优化材料和结构设计,促进植被生长和生态系统恢复,实现工程措施与生态保护的有机结合。

3. 水质改善与生态修复技术

水质改善和生态修复是河道治理的重要组成部分,旨在恢复河道的自净能力和生态平衡。常见的水质改善技术包括截污控源、污水处理、生态净化等。截污控源是通过建设污水管网和截污设施,防止污染物直接进入河道;污水处理则利用物理、化学和生物手段,将污水中的污染物去除或转化为无害物质;生态净化技术如人工湿地、生态浮岛等,通过模拟自然生态系统的净化过程,提升水质。此外,生态修复技术如植被恢复、水生植物种植、湿地建设等,通过恢复河道的自然状态,增强河道的生态功能。例如,种植水生植物不仅可以美化河道景观,还能通过吸收和分解水体中的污染物,提升水质。湿地建设则通过模拟天然湿

地的功能,提供多样的生境,促进生物多样性^[5]。如图1所示。



> 图1 河道生态修复

三、典型河道治理工程案例研究

案例一：上海苏州河整治工程

上海苏州河整治工程是我国河道治理的典型案例之一。苏州河曾因工业废水和生活污水排放严重污染,水质恶化,河道淤积严重。整治工程首先进行大规模疏浚清淤,清除河道淤泥和垃圾,同时建设截污管道和污水处理厂,减少污染源的直接排放。其次,采用生态护坡技术,通过种植水生植物和建设生态浮岛,恢复河岸生态系统。整治后的苏州河水质明显改善,河道景观焕然一新,成为城市生态环境的亮点。

案例二：杭州京杭大运河杭州段治理工程

京杭大运河杭州段治理工程以保护和恢复历史文化名河为目标,实施了一系列综合治理措施。工程通过疏浚河道,清除淤积物,提高河道的行洪能力。同时,采用生态修复技术,恢复河岸植被,建设湿地,提升河道的生态功能。在水质改善方面,建设了多个污水处理设施和人工湿地,减少污染物排放,提升水体自净能力。治理后的运河不仅水质清澈,还恢复了历史风貌,成为市民休闲娱乐的重要场所^[6]。

案例三：深圳茅洲河治理工程

深圳茅洲河治理工程是近年来我国河道治理的成功案例之一。茅洲河曾长期受到工业废水和生活污水的污染,河道生态系统严重退化。治理工程首先开展全面的污染源排查和截污控源工作,建设污水处理设施,提高污水处理能力。同时,进行大规模的疏浚清淤和生态修复,通过种植水生植物和建设生态湿地,恢复河道的自然生态环境。工程还引入智能监测系统,对水质进行实时监控,提高治理的精确性和效率。经过治理,茅洲河水质大幅改善,生态环境明显恢复,为城市提供了一个良好的生态廊道^[7]。

这些典型案例展示了河道治理工程在污染控制、生态修复和水质改善等方面的成功经验,为其他河道治理工程提供了有益的参考和借鉴。通过科学规划和综合运用多种技术手段,可以有效提升河道治理效果,实现生态环境和社会经济的双重效益。

四、河道治理中的管理实践与策略

1. 科学规划与系统管理

科学规划是河道治理工程的基础,通过系统的调查和研究,明确河道治理的目标和任务,制定合理的治理方案。首先,应进

行全面的河道环境现状调查，包括水质监测、生态环境评估和污染源分析等。基于调查结果，制定系统的治理规划，明确各项治理措施的具体内容和实施步骤。科学规划还应注重综合利用工程技术和生态修复手段，确保治理效果的可持续性。此外，建立健全的管理体系和机制，明确各级管理部门的职责和任务，确保河道治理工作的顺利推进和有效实施^[9]。

2. 技术创新与多方合作

技术创新是提高河道治理效果的重要手段。随着科学技术的发展，新技术和新方法在河道治理中不断应用，如生态疏浚、智能监测、生态修复等。这些技术手段不仅提高了治理的效率和效果，还减少了对生态环境的破坏。在治理过程中，应注重引入和推广先进技术，加强技术研发和创新。同时，多方合作是实现河道治理目标的重要保障。通过政府部门、科研机构、企业和公众的共同参与，形成合力，共同推进河道治理工作。政府部门应发挥主导作用，制定政策和法规，提供资金和技术支持；科研机构应加强技术研发，提供技术支持和咨询服务；企业应积极参与治理工程的实施和管理；公众应增强环保意识，积极参与河道治理的监督和維護工作^[9]。

3. 公众参与与宣传教育

公众参与是河道治理工作的重要组成部分，通过宣传教育提高公众的环保意识和参与热情，是实现河道治理长期效果的关键。应通过多种形式的宣传教育活动，如环保讲座、媒体宣传、社区活动等，提高公众对河道治理重要性的认识，增强其环保意识和责任感。同时，建立公众参与机制，鼓励公众积极参与河道治理的各项工作，如监督污染源、参与河道清洁、维护河岸植被等。通过公众的广泛参与，不仅可以增强治理工作的透明度和公信力，还能形成良好的社会氛围，推动河道治理工作的深入开展和可持续发展。如表1所示。

表1 河道治理中的管理实践与策略

策略类别	关键点	实施措施
科学规划与系统管理	系统调查和制定合理的治理方案	进行河道环境现状调查，制定综合利用技术和生态手段的治理规划，建立健全管理体系。
技术创新与多方合作	应用新技术和强化合作提升治理效果	引入生态疏浚、智能监测等技术，政府、科研机构和企业等多方参与合作。
公众参与与宣传教育	提高公众环保意识和参与热情	举办宣传教育活动，建立公众参与机制，鼓励公众监督污染源和参与河道维护。

五、综合治理效果评价与未来展望

1. 综合治理效果评价

河道治理效果的评价是确保治理措施有效性的重要环节。评价内容包括水质改善、生态修复、行洪能力提升等方面。通过定期监测水质指标，如溶解氧、氨氮、总磷等，可以量化水质改善效果；生态修复效果则通过评估生物多样性、水生植物覆盖率等指标来衡量；行洪能力的提升则主要通过水文分析和洪水模拟等方法进行评价^[10]。实际案例表明，科学合理的治理措施可以显著改善河道的水质和生态环境，提高行洪能力，减少洪水灾害。综合治理效果的全面评价，不仅能够检验治理成效，还能为后续治

理工作提供数据支持和参考依据。

2. 未来发展趋势

未来的河道治理将更加注重综合性和系统性，强调工程技术与生态修复的有机结合。在技术层面，智能监测和大数据分析将成为重要手段，通过实时监测河道水质和生态状况，及时发现和解决问题，提高治理的精确性和效率。此外，生态修复技术将进一步创新和应用，更多地利用自然力和生态系统自我修复能力，减少对环境的扰动和破坏。在管理层面，河道治理将加强多方合作和公众参与，形成政府主导、多方协作、公众参与的治理模式，通过政策引导、资金支持和宣传教育，推动河道治理的深入开展和可持续发展。

3. 持续改进与长期维护

河道治理是一项长期而复杂的工程，需要持续改进和长期维护。治理效果的保持和提升依赖于日常的监测和维护工作。建立完善的河道管理和维护机制，定期开展河道巡查和监测，及时发现和处理污染问题，是保障治理效果的重要措施。同时，随着技术的发展和环境的变化，河道治理措施也需要不断调整和优化，持续改进治理技术和方法，提升治理效果。未来的河道治理还应注重与区域发展规划的协调，综合考虑生态环境、社会经济等多方面因素，实现河道治理与区域可持续发展的有机结合。

六、结语

河道治理工程在改善水环境、提升生态系统功能和增强行洪能力等方面发挥了重要作用。通过科学规划、技术创新、系统管理和多方合作，河道治理取得了显著成效。然而，河道治理是一项长期而复杂的工程，需要持续的监测、改进和维护。未来，应进一步加强生态修复技术的应用和智能监测手段的推广，增强公众参与和环保意识，确保治理效果的可持续性。只有在多方协作和不断努力下，才能实现河道的长久健康与生态环境的良性循环，为社会经济的可持续发展提供坚实保障。

参考文献

- [1] 郭霞军, 周小祥. 如海运河治理工程施工技术探讨 [J]. 江苏水利, 2014(S2): 23-24+26.DOI: 10.16310/j.cnki.jssl.2014.s2.001.
- [2] 刘志军. 酒泉北大河河道治理工程中的橡胶坝施工技术与质量控制 [J]. 农业科技与信息, 2015(13): 110+112.DOI: 10.15979/j.cnki.cn62-1057/s.2015.13.053.
- [3] 李强. 中小河道治理工程标准化管理模式探讨 [J]. 东北水利水电, 2016, 34(04): 61-62.DOI: 10.14124/j.cnki.dbslsd22-1097.2016.04.023.
- [4] 赵宏兰. 太谷县乌马河城区段河道治理工程施工技术要点及质量控制 [J]. 山西水利科技, 2017(03): 69-70+91.
- [5] 高贞. 陇西县河道治理工程技术的应用及思考 [J]. 发展, 2017(10): 87-88.
- [6] 李迎春. 豫北地区河道水利工程管理存在的问题及对策 [J]. 水利技术监督, 2018(02): 35-37+43.
- [7] 宿楠楠. 城市河道治理工程及长效管理关键技术研究及示范 [J]. 居舍, 2021(17): 75-76.
- [8] 程磊. BIM+ 大数据智慧管理平台在河道治理工程中的应用 [J]. 水运工程, 2022(S2): 125-130.DOI: 10.16233/j.cnki.issn1002-4972.20220726.002.
- [9] 梁柳金. 河道疏浚工程施工技术和质量控制探析 [J]. 黑龙江水利科技, 2022, 50(10): 183-186.DOI: 10.14122/j.cnki.hskj.2022.10.005.
- [10] 袁渊博, 王少帅. 河道治理工程项目的施工技术研究 [J]. 水上安全, 2023(11): 156-158.

大容量供热汽轮机深度调峰与灵活性改造技术应用

李明成

大唐东营发电有限公司, 山东 东营 257000

摘要：随着全球能源结构的不断优化和可再生能源的快速发展，大容量供热汽轮机在电力和热力供应中扮演着越来越重要的角色。然而，面对日益复杂的电网运行环境和不断提高的能源利用效率要求，传统的大容量供热汽轮机在深度调峰和灵活性方面面临着诸多挑战。因此，深度调峰与灵活性改造技术的应用成为当前研究的热点和重点。

关键词：大容量；供热汽轮机；深度调峰；灵活性；改造技术

Application of Deep Peak Regulation and Flexible Transformation Technology of Large Capacity Heating Turbine

Li Mingcheng

Datang Dongying Power Generation Co., Ltd. Dongying, Shandong 257000

Abstract：With the continuous optimization of the global energy structure and the rapid development of renewable energy, large capacity heating turbines are playing an increasingly important role in power and heat supply. However, in the face of increasingly complex power grid operating environments and constantly improving energy efficiency requirements, traditional large capacity heating steam turbines face many challenges in terms of deep peak shaving and flexibility. Therefore, the application of deep peak shaving and flexibility transformation technology has become a hot topic and focus of current research.

Keywords：large capacity; heating turbine; depth peak regulation; flexibility; reconstruction technology

引言

深度调峰技术旨在提高汽轮机在较低负荷下的运行效率和稳定性，以应对电网负荷的频繁波动和可再生能源接入带来的不确定性。而灵活性改造技术则通过优化机组结构和控制系统，实现热电解耦，提高机组的快速响应能力和负荷调节范围。这两项技术的有效结合，不仅能够提升大容量供热汽轮机的整体性能，还能够为电网的稳定运行和可再生能源的消纳提供有力支撑。

一、项目概述

长期以来，煤炭作为我国电力生产的主力军，其主导地位在快速的经济增长驱动下愈发稳固。然而，面对煤电产能过剩的现实挑战与可再生能源消纳的迫切需求，尤其是“3060”碳排放目标的明确提出，电力行业的结构性变革已势在必行。风电、光伏等清洁能源的迅猛发展，预示着新能源时代的大幕正徐徐拉开，但可再生能源的间歇性与波动性特征，也对电力系统的灵活性提出了前所未有的要求^[1]。

在此背景下，构建以新能源为主体的新型电力系统，不仅是国家战略的必然选择，也是电力行业自我革新、迈向高质量发展的关键一步。为实现这一目标，提升电力系统的灵活性成为亟待解决的核心议题。从技术层面审视，电网的互联互通、煤电机组的灵活性调峰、燃气轮机发电、抽水蓄能、需求侧响应以及储能技术的多元化应用，均被视为增强系统灵活性的重要手段。然

而，受制于建设条件、经济成本、技术成熟度及实施周期等多重因素，除煤电机组深度调峰外，其他技术路径的短期推广面临较大障碍，难以迅速达到理想比例。

鉴于我国电力结构的实际情况，燃煤机组作为主力电源，其深度调峰能力的挖掘显得尤为重要。以东营公司2号锅炉为例，我们拟实施的灵活性调峰改造项目，正是基于这一战略考量，旨在通过技术创新与设备升级，进一步释放机组的调峰潜力，积极响应国家和地方政府对煤电机组调节能力的要求。改造方案精心设计了多项关键措施：锅炉宽负荷脱硝改造确保了环保性能与调峰能力的双重提升；尾部烟道加装声波吹灰器改造优化了锅炉运行效率，减少了维护成本；烟气余热利用系统的防低温腐蚀改造，则有效延长了设备使用寿命，增强了系统稳定性；而锅炉燃烧器助燃改造，更是直接提升了机组在低负荷下的燃烧效率与安全性。这一系列改造措施的实施，不仅将显著提升东营公司2号锅炉的深度调峰能力，使其能够更好地适应新能源并网的波动性需

求，同时也将极大增强锅炉设备在低负荷工况下的运行安全性、可靠性及经济性。尤为重要的是，改造后的脱硝系统能够实现在全负荷区间内的正常投入运行，这对于减少氮氧化物排放、促进环境友好型电力生产具有重要意义^[2]。

二、大容量供热汽轮机深度调峰与灵活性改造技术应用

（一）锅炉宽负荷脱硝改造

随着环保政策的日益严格及未来发展趋势的明确指向，SCR 脱硝系统的全工况运行已成为行业共识，这不仅是对技术能力的考验，更是对企业社会责任的践行。以东营公司2号塔式锅炉为例，其独特的启动系统设计与湿态运行特性，为宽负荷脱硝改造提供了独特的视角和挑战。

在锅炉启动及低负荷运行阶段，炉水循环泵与省煤器、水冷壁系统的精妙组合，有效维持了水冷壁的最小流量需求，同时高效回收并利用了工质吸收的热量，提升了省煤器入口水温，从而优化了整个启动过程的热效率与环保性能。为进一步提升这一系统的灵活性与适应性，特别是针对脱硝系统在全时段投入的需求，省煤器水旁路系统的改造显得尤为关键。

我们提出在锅炉特定标高（约52米）处巧妙布局省煤器给水旁路管道，直接联通省煤器进水管与给水下落管，辅以精准的阀门控制与监测仪表，构成了一个灵活调节的工质再循环系统。此设计不仅遵循了《火力发电厂汽管道设计规范》的严格要求，还针对实际工况（如给水压力38MPa、温度350℃、流量600t/h）进行了精细化计算，选定 $\Phi 324 \times 48\text{mm}$ 规格管道，确保了系统运行的可靠性与经济性^[3]。

（二）锅炉尾部烟道加装声波吹灰器改造

锅炉尾部烟道加装阵列式共振腔声波吹灰器的技术改造项目，不仅是对传统除灰方式的革新，更是提升机组运行效率与稳定性的关键举措。本改造方案聚焦于高声强声波的物理特性及其在灰垢清除中的独特作用机制，通过精细化设计与实施，旨在实现高效、环保的除灰效果^[4]。

高声强声波作为一种高效的能量传递媒介，其独特的振动效应在灰垢清理中展现出非凡的潜力。当声波频率与灰垢的固有频率相耦合时，共振效应被激发，这极大地增强了声波对灰垢的作用力。一方面，声波在灰渣内部引发的微小振动，逐步累积能量，导致灰渣表面产生裂隙，进而促进灰渣的破碎与剥离；另一方面，声波对附着于换热器表面的硬垢进行高频推拉，造成声疲劳效应，使硬垢逐渐松动、断裂，最终脱落。这一过程不仅有效减少了灰垢积累对热效率的影响，还延长了锅炉部件的使用寿命。在遵循 DL/T 2168-2020《火电厂声波吹灰器选型导则》的基础上，我们精心选择了阵列式共振腔声波吹灰器作为本次改造的核心设备。该吹灰器凭借其高效的声能转换与分布特性，能够在锅炉尾部烟道的低温再热器与省煤器区域实现全面覆盖。通过精确布置四层共计40组内置阵列式共振腔声波吹灰器（每组包含6个发声头），我们确保了声波能量的均匀分布与深度渗透，从而

实现了对灰垢的高效清除。为确保声波吹灰系统的稳定运行，我们特别设计了气源供应系统。该系统采用 $\geq 0.4\text{MPa}$ 的洁净压缩空气作为动力源，气源取自脱硫废水零排放空压机系统，既保证了气源的充足性，又实现了资源的合理利用。此外，我们还增设了一台6m³ 的储气罐，以提升供气的稳定性与可靠性。该储气罐被巧妙地布置于锅炉尾部脱硝装置声波吹灰器储气罐旁，便于日常管理与维护^[5]。

（三）烟气余热利用系统防低温腐蚀改造

在不干扰原有热媒水系统稳定运行的基础上，通过增设低压加热器旁路系统，有效提升暖风器出口风温，进而调控一级低温省煤器出口烟温至理想范围，即高于90℃。此改造策略不仅增强了系统的灵活性与适应性，还显著提高了能源利用效率与机组运行的可靠性。构思的改造方案是在热媒水管路中巧妙融入一条低压加热器旁路，该旁路的核心设备为两个新增的低压加热器：一为汽水换热器，其设计耗汽量精准设定为28t/h，以充分吸收锅炉辅汽及大气扩容器底部集水箱中约100℃温水的热能；另一则为水水换热器，设计热水处理能力达5t/h，专为实现水水间高效换热而设。两者并行运作，与原暖风器循环热水系统形成互补，共同优化系统性能^[6]。

在设计实施过程中，我们严格遵循国内外相关标准，如 GB150.1-GB150.4-2011、GB151-2014 及美国 HEI 标准，对低压加热器的管侧与壳侧受压元件进行了详尽的强度计算，确保设备在极端工况下的安全稳定运行。传热面则精选不锈钢管材，辅以强度胀加密封焊的先进连接方式，既保证了连接的稳固性，又提升了换热效率。管材选用 Q345R 及以上高品质材料，进一步增强了设备的耐腐蚀性与耐久性。在布局规划上，我们巧妙地将新增低压加热器安置于两台送风机进口风道之间的厂旁门外，既便于维护与检修，又有效利用了现有空间资源。蒸汽凝结后的疏水通过精心设计的疏水泵系统，被安全、高效地输送至凝汽器或电厂酸洗水池，实现了水资源的循环利用与节能减排。疏水泵则被细心安置于室内，与加热器区域隔墙设置，有效隔离了噪音与热辐射，保障了运行环境的舒适度与设备的长期稳定运行。此外，我们特别注重了蒸汽加热器旁路与热媒水主管路的断接点位置选择，将其优化设置在距离加热器本体较近的位置，以减少管路损失，提升热能传输效率。这一细节处理，不仅简化了安装流程，还显著降低了后续运维成本^[7]。

（四）锅炉燃烧器助燃改造

针对当前锅炉运行需求，我们精心设计了C层燃烧器的全面升级方案，其核心在于替换原有的8个常规煤粉燃烧器为先进的等离子点火燃烧器。此举不仅保留了原有设备框架的完整性，还通过巧妙利用现有资源，如载体风系统与冷却水系统，在最小改动的基础上实现了功能升级。具体而言，我们新增了包括等离子煤粉燃烧器、煤粉弯头、等离子发生器、高精度壁温测量装置、先进的图像火检系统以及就地引弧柜在内的全套等离子点火设备，同时拆除了原有的燃烧器组件，确保了新旧系统的无缝衔接。

在电气系统方面，我们采取了高效且经济的解决方案，避免了新增电气柜与整流柜等配电设备，而是通过在A层等离子燃烧

器的就地引弧柜前增设电气切换开关，实现了 A 层与 C 层等离子燃烧器电气装置的灵活互备。这种设计既保证了设备间的互为备用功能，又确保了不会同时启用造成资源浪费，体现了高度的系统灵活性与成本意识。此外，我们利用 A 层燃烧器的控制单元进行扩展，替代了新增的等离子燃烧器点火控制装置，从而简化了控制逻辑，提升了系统的集成度与可靠性。等离子点火燃烧器作为本次改造的核心部件，集成了等离子煤粉燃烧器、等离子发生器及直流供电控制系统等先进组件。其独特的等离子点火机制，能够在不依赖传统燃油的情况下，迅速点燃煤粉并维持稳定燃烧，显著提高了锅炉的启动速度与低负荷运行稳定性。同时，辅助系统如载体风系统、壁温在线监测系统、启磨热风加热系统、图像火检系统及一次风在线监测系统的引入，进一步提升了燃烧过程的监测与控制精度，为锅炉的安全高效运行提供了坚实保障^[8]。

本次改造不仅实现了锅炉 C 层燃烧器的全面升级，更在提升锅炉低负荷性能、增强系统灵活性方面取得了显著成效。改造后的燃烧器性能与原燃烧器保持一致，确保了锅炉运行的安全性与稳定性。

（五）一级低温省煤器前烟道积灰治理改造

针对空间布局紧凑、直接增设大型灰斗受限的现状，我们创造性地提出了一套烟道底部分布式输灰系统改造方案。具体而言，利用低温省煤器进口烟道下部现有的钢结构平台（分别位于

17 米和 11 米标高），在 1、2、5、6 号一级低温省煤器进口烟道的适宜位置巧妙布局多个小型灰斗。这些小型灰斗不仅节省了空间，还实现了对积灰的有效收集。每个小灰斗下方均配置有独立的仓泵及精心设计的输灰管道网络，这些管道最终汇聚并接入除尘器三、四、五电场灰输送单元的公用输灰管线上，确保了飞灰能够顺畅、高效地输送至灰库，实现了积灰的闭环处理。为进一步优化烟道内部流场，减少积灰的生成与积聚，我们还在烟道的关键位置增设了垂直方向的挡板门系统^[9]。这一设计巧思在于，通过低负荷阶段适时关闭这些挡板，能够显著提升烟道底部的烟气流速，有效改善烟道内的气流分布状况，从而抑制积灰现象的发生。这种动态调节机制不仅增强了系统的灵活性，也为锅炉的长周期、安全稳定运行提供了有力保障^[10]。

三、结束语

综上所述，大容量供热汽轮机深度调峰与灵活性改造技术的应用对于推动能源结构的优化和电力行业的可持续发展具有重要意义。通过不断的技术创新和实践探索，我们有望克服传统机组在深度调峰和灵活性方面的不足，实现机组性能的全面提升。同时，这也需要政府、企业和科研机构等多方面的共同努力和协作，共同推动相关技术的研发和应用，为构建更加安全、高效、清洁的能源体系贡献力量。

参考文献

[1] 段晓宇. 一种确定供热汽轮机热电分摊比的新方法 [J]. 电气技术与经济, 2024, (04): 259-261.
[2] 冯焱飞, 冯林魁, 谷志德, 等. 变工况试验下热电联产汽轮机内效率分析研究 [J]. 发电设备, 2023, 37 (03): 141-146+158.
[3] 刘传亮, 江路毅. 热电联产汽轮机调节叶片断裂的分析与改进 [J]. 汽轮机技术, 2023, 65 (01): 66-70+38.
[4] 王志云, 赵玉柱, 王学栋, 等. 调峰机制下供热汽轮机中压调门调节特性试验研究 [J]. 发电技术, 2022, 43 (06): 970-976.
[5] 黄思林, 梁占伟, 乔加飞. 330 MW 三源抽汽供热汽轮机通流综合提效研究 [J]. 动力工程学报, 2022, 42 (10): 904-911+950.
[6] 张文祥, 宋放放, 谢林贵, 等. 新型热电联产汽轮机系统研究 [J]. 东方汽轮机, 2021, (03): 23-28.
[7] 丁为平, 陈克祥. 火电机组灵活性运行及深度调峰关键技术研发与应用 [J]. 电力系统装备, 2024(2):108-110.
[8] 马宁, 叶斌, 白玉忠. 某超超临界辅机单列机组 30% 负荷深度调峰探索与实践 [J]. 能源科技, 2024, 22(1):51-55.
[9] 杨德荣, 荆凯, 张弛. 深度调峰条件下大容量火电机组给水泵配置方式探讨 [J]. 同煤科技, 2022(3):5.
[10] 陈欢乐, 归一数, 陈伟, 等. 基于零号高压加热器的深度调峰控制策略研究 [J]. 热能动力工程, 2023.

重大跨越中集控牵张架线施工技术应用

杨侃

中国电建集团河南工程有限公司，河南 郑州 450000

摘 要： 为贯彻国家电网公司“机械化换人、智能化减人”要求，提高输电线路重大跨越施工安全，本文针对重大跨越施工安全风险高、施工难度大、施工效率低等问题，通过无人机、集控式牵张设备、安全监控系统等新兴技术的引入及应用，寻求提高重大跨越施工安全性及施工工效的方法，提出输电线路集控牵张架线施工技术。通过技术融合及现场应用，证明该方法安全、可靠，取得了良好的技术效益及经济效益，在输电线路重大跨越施工方面具有较高的推广应用价值，对集控牵张架线施工技术的推广应用起到借鉴的作用。

关 键 词： 输电线路；集控牵张架线；重大跨越

Application of Construction Technology of Central Control Stretch Line in Major Span

Yang Kan

Power China Henan Engineering Co., LTD. Zhengzhou, Henan 450000

Abstract： In order to implement the requirements of “mechanized replacement and intelligent reduction of personnel” of State Grid Corporation and improve the safety of major crossing construction of transmission lines, this paper aims at the problems of high safety risk, difficult construction and low construction efficiency of major crossing construction, through the introduction and application of emerging technologies such as drones, centralized control stretch equipment and safety monitoring system. The method to improve the safety and efficiency of major span construction is sought, and the construction technology of centralized control and stretch line of transmission line is proposed. Through technology integration and field application, it is proved that the method is safe, reliable, and has obtained good technical and economic benefits. It has a high popularization and application value in the major span construction of transmission lines, and plays a reference role in the popularization and application of centralized control stretch line construction technology.

Keywords： transmission line; centralized control stretch wire rack; a major leap

引言

随着我国基建工程的大力发展，高速铁路、高速公路、高压线路已遍布全国，新建输电线路跨越施工成为常态。重大跨越施工具有安全风险高、施工难度大、施工效率低等特点，为贯彻国家电网公司“机械化换人、智能化减人”要求^[1]，本文基于输电线路重大跨越施工特点及无人机、集控式牵张架线技术，提出集控式牵张架线施工技术应用方案。利用基于无线局域网的一体化集控牵张设备及远程监控系统进行重大跨越集控牵张架线及全过程安全管控^[2]。本技术经现场应用证明在降低施工风险、提高施工效率、降低施工难度方面效果显著。

一、技术原理

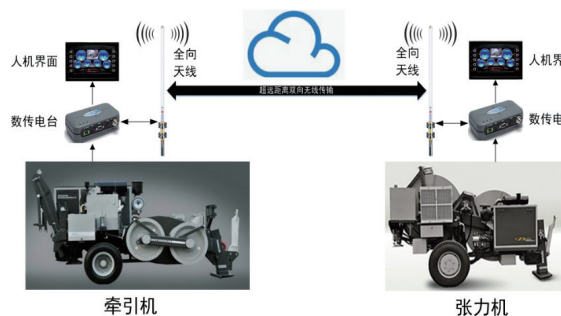
集控牵张架线设备是常规牵张设备的升级改造，在常规设备的基础上将液压系统压力、转速转换为电信号，由主机 PLC 采集牵引轮转速，实现智能控制及数字显示^[3]。增加主机 PLC 控制器，将整机参数、动作、设备状态等信号转换为 CAN 数字信号，传输至集控台，实现集控及整机监测、安全保护。利用放线段区

间视频监控的自建网络，实现牵张场数据互通互控^[4]。自建网络与设备间采用无线网桥对接，无线网桥终端与集控室有线连接。张力场设备通过自建网络，控制牵引场设备，实现设备参数显示、发动机启动熄火、牵引机牵引、送线、停机。

在集控牵张架线设备的基础上根据被跨越物（高速公路、铁路、高压输电线路）工况进行跨越方案选择及实施，包括承插盘扣式跨越架搭设、监控系统搭建、集控系统连接等内容^[5]。跨越完

作者简介：杨侃 大学本科，工程师，电网（运维）公司党委书记。

成且附件安装后,利用无人机进行自动化质量验收,质量验收合格且经相关方认可后进行下一放线段架设。



> 图1 集控架线原理示意图

二、技术要点

（一）集控系统搭建

通过 MASH 自组网技术搭建覆盖整个放线作业段的本地无线网络,自建局域网络自检完成后进行试运行,检查网络信号、视频信号及通讯信号是否稳定^[6]。通过1根专用电缆与智能化牵张设备控制装置相联结,使所有主要操作既可以在牵张设备本机进行也可以在集控室进行。集控室共提供4个独立的通道,根据需求连接4台不同规格型号的设备,设备与控制室内控制和显示系统实现自动识别和匹配,实现数据互换。

硬件连接完毕且自动识别匹配无误后对集控系统进行开机测试。将牵张设备的控制线与集中控制室联接紧固,打开集控室电源开关确保显示器正常。打开牵张设备本机总电源,电源开关打到1档并切换本机设备远程控制开关,集控显示器与本机显示器远程信号显示正常后点击启动按钮观察设备启动后相关参数在显示器上是否正常集中显示。

（二）视频监控系统及通讯系统搭建

完成本地网的搭建后,基于本地网的功能进行视频监控系统及通讯系统搭建。硬件包含牵张两场在内的各塔位的视频监控、单兵对讲设备及走板视频监控设备^[7]。

牵张场各设置一个布控球,设置位置保证布控球可监控整个牵张场施工全过程,重点对施工作业流程进行远程督查。被跨越物两侧跨越架各设置1个视频监控球,重点对跨越物导线距离、封网距离及跨越架进行实时监控,由专人负责布控球的装设、开启、调试、拆除、充电及保养等一系列任务。跨越段内每基铁塔端部设置1个摄像头,确保摄像头视野开阔无遮挡物且不影响现场施工,同时保证架线滑车、定位拉线等在视野范围内。



> 图2 铁塔端及走板视频监控

（三）全过程集控管理

1. 正式牵张架线前,进行集控系统、监控系统及通信系统联体调试。调试过程应验证工作位和牵张设备是否可任意互换,牵

引场集控室是否可控制牵引机通断电及发动机的启动和熄火,是否能控制发动机油门大小,控制牵引机尾车压力及控制牵线或送线。同时验证通讯及视频监控信号是否通畅、清晰^[8]。



> 图3 系统联体调试

2. 系统联调完毕且运行正常后开始进行架线施工。按照架线施工方案先后进行初级导引绳、次级导引绳及牵引绳展放。展放过程现场指挥员通过集控平台控制牵张设备转速及张力/牵引力进行导引绳、牵引绳展放,同时通过安全监控平台时刻关注导引绳、牵引绳距跨越架安全距离。牵引绳展放完成后利用蛇皮套及旋转连接器进行牵引绳与导地线连接及牵引。

3. 通过走板端视频监控设备跟踪导地线牵引位置。当走板牵引至距放线滑轮30 ~ 50m 时,通过集控端调整牵张速度及牵引力,使牵引板平缓通过放线滑轮,减少冲击力。

4. 当牵引板接近转角塔的放线滑轮时减缓牵引速度,控制在15m/min 以内,并通过铁塔端视频画面调整子导线放线张力,使牵引板的倾斜度与放线滑轮倾斜度相同。牵引板通过滑轮后恢复正常牵引速度及正常放线张力。牵引过程利用走板摄像头时刻关注走板运行情况及走板位置,时刻掌握架线安全状态,如出现子线扭转或线上存在障碍物影响架设及时安排人员进行处理^[9]。



> 图4 架线过程走板安全监控

5. 一相导线展放完毕后,在牵张机前进行牵引绳临锚,导线临锚在转角塔横担上,锚线卡线器与导线接触点或者可能接触的部位,采用软橡胶管套在导线上防磨损。同相各子导线按顺序临锚,严禁交叉^[10]。各子导线的锚线张力宜稍有差异,减少导线间鞭击磨损。利用集控平台数据监控功能时刻关注架线张力,并结合安全监控系统对导致架线张力剧增或骤减情况进行监控,对影响施工安全问题及时进行处理。特别是接续管过滑车过程中,应时刻关注牵张数据及安全监控。



> 图5 护线管过滑车过程安全监控

三、结束语

常规牵张架线设备控制装置对应单一规格型号设备，不能实现完全的互换。且施工采用的 CDMA 网络通讯存在视频信号延时高，即时性差，音频通讯不稳定等问题。集控牵张架线技术利用 MASH 自组网技术搭建覆盖整个放线作业段的本地无线通信网

络，实现了远程控制端、设备端控制及参数信息的即时通讯和控制，同时通过应用微波组网设备实现了牵张两场视频和音频的适时互联互通。相较于常规牵张架线施工技术，解决了张力放线设备多人操作协调、同步性、统一性问题。实现了“人机分离”和“单人操控多台设备”，减少了人员投入，降低了安全风险。

参考文献

[1] 宗刘旭, 茅丽华. 关于企业“机械化换人自动化减人智能化无人”的调研思考 [J]. 江苏应急管理, 2023(6):41-44.

[2] 白洁, 刘亮. 无线局域网综述 [J]. 计算机工程与设计, 2004, 25(3):3.DOI:10.3969/j.issn.1000-7024.2004.03.033.

[3] 黄斑斑. 工程机械智能控制以太网 CAN 总线转换器设计 [D]. 武汉科技大学, 2011.DOI:10.7666/d.y1943768.

[4] 和欢文 / 图. 国内首次! 智能牵张放线在南荆长特高压跨越施工中应用 [J]. 河南电力, 2022(004):000.

[5]ZHAI Zongliang, 翟宗亮, LU Weixing, 等. 新型大型输电线路用”集控智能张力放线系统”研发 [C]// 中国电机工程学会年会. 中国电机工程学会, 2016.

[6] 曹常义. 自组网技术及其互连 [J]. 中国数据通信, 2002.DOI: CNKI: SUN: TXWL.0.2002-01-008.

[7] 丁晨, 于天刚, 李劲云. 基于数字微波技术的集控智能系统在输电线路工程中的应用 [J]. 今日制造与升级, 2023(10):58-62.

[8]ZHAI Zongliang, 翟宗亮, LU Weixing, 等. 新型大型输电线路用”集控智能张力放线系统”研发 [C]// 中国电机工程学会年会. 中国电机工程学会, 2016.

[9] 郭云侠, 张春启. 电力架空线路施工与运行常见故障与处理方法分析 [J]. 工程技术 (文摘版), 2016, 000(007):00310-00310.

[10] 舒明. 特高压输电线路迁改工程导线架设施工质量控制措施 [J]. 中文科技期刊数据库 (文摘版) 工程技术, 2022(6):3..

沿空留巷技术的研究与应用

赵磊, 苗路凡

河南能源焦煤公司赵固一矿, 河南 焦作 454000

摘 要 : 沿空留巷作为采煤工作面回采后沿采煤工作面边沿将原巷道保留下的巷道, 减少了掘进工作面量, 缓解了矿井接替紧张的局面, 提高了矿井的回采率, 但沿空留巷应力集中巷道收缩变形量大, 管理困难。通过研究改进工作面超前预裂技术, 优化留巷支护工艺, 经过现场实际效果观测, 沿空留巷顶板得到了有效的控制, 帮部挡矸柱基本未变形, 有力的促进了工作面的安全高效生产。

关 键 词 : 悬臂梁; 切顶泄压

Research and Application of the Technique Of Retaining Lanes Along the Goaf

Zhao Lei, Miao Lufan

Zhao Guyi Mine, Henan Energy Coking Coal Company, Jiaozuo, Henan 454000

Abstract : As a roadway that retains the original roadway along the edge of the coal mining face after backfilling, leaving a roadway along the goaf reduces the amount of excavation work, alleviates the tight situation of mine succession, and improves the recovery rate of the mine. However, the stress concentration of the roadway along the goaf is high, and the shrinkage deformation of the roadway is large, making management difficult. By studying and improving the advanced pre splitting technology of the working face, optimizing the roadway support process, and observing the actual effect on site, the roof of the roadway along the goaf has been effectively controlled, and the retaining pillar of the support has not been deformed, effectively promoting the safe and efficient production of the working face.

Keywords : cantilever beam, top cutting pressure relief

引言

工作面回采后, 随着直接顶的垮落, 沿空留巷形成悬臂梁结构, 采空区直接顶滑落的过程中会带动沿空留巷顶板失稳。因此沿空留巷的切顶技术是控制顶板稳定性的关键。针对赵固一矿 16131 工作面留设的沿空留巷, 在工作面超前采用顶板预裂切顶泄压技术, 将沿空留巷顶板关键词切断, 让采空区顶板在沿空留巷边沿进行滑落, 采空区直接顶垮落后, 直接顶上方会出现新的关键层, 在新关键词层上方形成大结构圈保持围岩稳定。在沿空留巷帮部的垮落的岩块在自身重力的和摩擦力的作用下, 形成砌体梁结构, 在小结构圈内维持围岩的平衡。帮部采用“金属菱形网(柔性网)+钢丝绳+U 钢柱”方式对帮部进行支护, 对沿空留巷采空区侧进行有效的防护^[1]。16131 工作面沿空留巷的工艺的实施, 为今后沿空留巷的施工, 提供了很好借鉴案例。

一、工作面概况

16131 工作面属于矿井的 -525m 水平, 所属盘区为西六盘区, 开采二₁煤层, 煤层顶板标高为 -432.0 ~ -465.1m。该工作面长 1390.87m, 宽 169.5m, 面积为 235752.47m²。井下位置及四邻采掘情况: 16131 工作面东为 16151 工作面, 南为北翼三条大巷和 F₁₆ 断层隔水煤(岩)柱, 西为已回采结束的 16111 工作面, 北为 F₁₅ 和 DF₁₀₂ 断层隔水煤(岩)柱。煤层平均倾角为 4°。工作面采高平均 3.5m。

作者简介: 赵磊(1984-), 男, 河南新乡人, 工程师, 2010 年毕业于华北科技学院, 现从事煤矿安全管理的工作。

(一) 16131 工作面煤层顶底板情况见表 1

表 1 煤层顶底板情况表

煤层顶底板情况	顶底板名称	岩石名称	厚度 (m)	岩性特征
	老顶	中粒砂岩	4.77 ~ 19.11	灰色, 成分以石英为主, 次为长石, 钙质胶结, 夹泥质条带, 裂隙发育, 充填方解石脉。
			13.64	
	直接顶	砂质泥岩	0.39 ~ 7.40	灰黑色, 富含植物化石, 局部夹细粒砂岩条带及煤线, 具滑面。
			3.63	

煤层顶底板情况	伪顶	泥岩	0 ~ 0.93	灰黑色，含炭质，富含植物颈部位化石。
			0.2	
	直接底	砂质泥岩	6.66 ~ 10.80	砂质泥岩：深灰色，富含植物根部化石，具水平层理，夹砂岩条带，含云母片。
			10.27	
		泥岩	2.70 ~ 5.40	泥岩：黑色，致密、块状，含少量植物化石碎片，含黄铁矿晶体。
			3.13	
	老底	L ₉	1.14 ~ 1.36	灰色，隐晶质，遇稀酸起泡，含动物化石，含黄铁矿晶体，具不规则方解石脉。
		灰岩	1.26	

二、顶板预裂爆破施工

根据切顶卸压沿空留巷技术原理，切顶目标层为基本顶，即下位关键层。根据顶板岩层岩性和厚度分别确定基本顶位置，确定工作面切顶高度为15m。^[2]

炸药选用三级煤矿许用乳化炸药，直直径32mm，长335mm，重量300g。

装药量Q和药卷数量N单孔装药量根据以下公式计算：
 $Q = \eta \cdot H \cdot q \cdot (7-54)$

式中：Q——爆破钻孔单孔装药量，kg；
η——炮孔装药系数，0.4 ~ 0.75，取0.6；
H——爆破钻孔深度m，取15m；
q——线装药密度，kg/m，0.4 ~ 1.0kg/m，根据顶板岩层情况，取0.55kg/m；代入计算得：Q ≈ 4.95kg 换算成药卷数量N为：N=16 卷

(一) 爆破孔设计

预裂孔位置：顶板预裂孔布置在巷道西帮，西偏中线2.25 ± 0.1m 布置一排预裂孔。

预裂孔孔参数：孔径50mm，孔深为15m，孔口间距（中 ~ 中）600mm，允许偏差 -50 ~ +50mm，爆破孔与巷道中线垂直，向西偏5°，偏差0 ~ 3°。^[3]

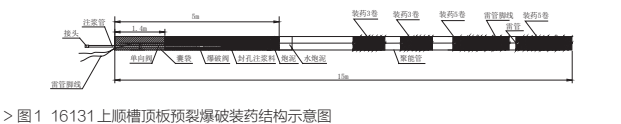
(二) 爆破施工

装药方式：使用聚能管辅助预裂孔装药，聚能管上打设一排孔，孔的方向与巷道中心平行。

装药结构：每孔4节聚能管，从上向下装药结构为5-5-3-3，具体见装药结构图。^[4]

封孔：封孔长度5.0m，使用矿用封孔器（囊袋）、FKL-1型封孔注浆料配合 ZBQ-30/1.0煤矿用气动注浆泵进行注浆封孔。

每循环爆破眼数不大于15个。
装药结构示意图如图1所示。



> 图1 16131上顺槽顶板预裂爆破装药结构示意图

三、帮部支护

沿空留巷留巷帮部防护使用挡矸柱 + 钢丝绳 + 柔性网进行防

护，顶板采用4排槽钢梁锚索补强支护。
(一) 沿空留巷施工工艺
在工作面超前段顶板平行巷道中线方向打设2排U钢梁锚索，用于固定挡矸柱和钢丝绳。U钢梁锚索西偏巷道中心线1350mm打设一排，西偏巷道中心线1850mm打设一排，锚索规格：φ21.6×10300mm，允许偏差 ±100mm。U钢梁采用U36型钢梁加工，西侧U钢梁锚索眼眼距1000mm，钢丝绳眼眼距600mm。
沿空留巷采空区巷帮防护：挡矸支护留巷第一架支架侧施工，具体施工步骤如下：

- (1) 柔性网在前5架支架前新巷进行上网，相邻网片间搭接不小于200mm，网片搭接处使用扎丝进行连接、加固，使用扎丝扎结处呈三花形布置，间距不超过200mm。^[5]
- (2) 在工作面前5架支架前柔性网下每隔600mm上1根钢丝绳（平行于工作面布置），使用扎丝对其进行固定，扎丝间距不超过200mm，钢丝绳的一端固定在沿空留巷顶板的U钢梁上，另一端固定固定一个托盘，托盘预埋在采空区，待采空区压实后可将托盘固定在采空区。
- (3) 垂直与工作面方向在工作面铺设7道钢丝绳，第一道距沿空留巷回采侧煤墙300mm，排距500mm，共铺设6道，使用双股铁丝将其进行捆扎，扎丝间距不超过200mm，钢丝绳十字交叉处用绳卡进行固定。在5#支架处平行巷道中线方向固定第7道钢丝绳。续接钢丝绳时，钢丝绳搭接长度不得小于500mm，使用不少于2个绳卡进行固定。^[6]

(二) 金属菱形网（柔性网）施工步骤

将控制金属菱形网（柔性网）手动绞盘安装在工作面1# ~ 5# 液压支架的前立柱上，定滑轮固定在液压支架顶梁的起重环上，手动绞盘上缠绕钢丝绳直径不小于6mm，长度不少于10m。^[7]

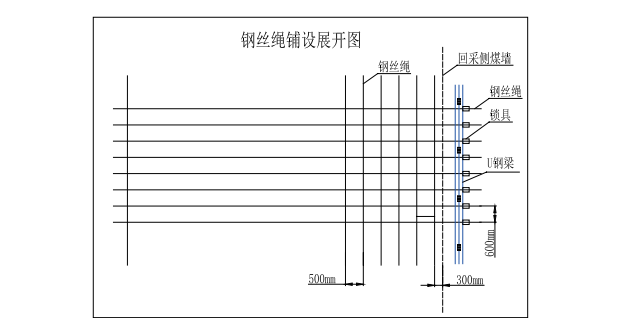
将绞盘钢丝绳与金属菱形网（柔性网）连接，煤机过机头期间，使用绞盘将金属菱形网（柔性网）吊起。

正常生产期间，在架前随工作面推进逐步续接金属菱形网（柔性网）。

(三) 挡矸柱打设方式

回采期间，在挡矸柱里侧裱槽风筒布，以防止从巷道的帮部向采空区漏风。风筒布要求上接顶板下接底板且严密，搭接不小于100mm，使用扎丝进行捆扎，间距不超过300mm。

可伸缩U型钢选用2段长度分别为2500mm和2000mm的U36型钢进行挡矸（根据巷道高度可对U型钢长度进行调整，短的在上长的在下），两根U钢柱搭接处使用三福卡缆进行固定，



> 图2 16131上顺槽钢丝绳铺设展开图

搭接长度不低于500mm。上部U型钢打设在顶板U钢梁里侧，下部U钢梁插入底板深度不低于200mm，挡矸柱间距1000mm，与顶板呈 5° ~ 10° 打设（柱根扎向采空区）。

挡矸柱必须上接顶下接底，卡缆螺丝扭矩 $100\text{N}\cdot\text{m}$ ，不得超过 $150\text{N}\cdot\text{m}$ 。^[8]

相邻挡矸柱间使用连接板进行连接固定，连接板固定在俩卡缆之间，增加挡矸柱的整体稳定性。

巷道变形无法使用顶板U钢梁固定U钢柱时，需在巷道顶板掏柱窝，插入顶板深度（顶板柱窝深度）不低于200mm，局部地点U钢梁间隙宽无法固定挡矸柱时，在U钢梁间使用锁具固定一根短槽钢梁，涨拉紧固后用于固定挡矸柱。

为控制沿空留巷巷道采空区侧帮部变形，在 $1^{\#}$ ~ $4^{\#}$ 架后预埋槽钢梁锚索，待巷道返修落底后再进行张拉。^[9]具体操作如下：在 $1^{\#}$ ~ $4^{\#}$ 架后每间隔1.4m预留1根 $\phi 21.6\times 6300\text{mm}$ 锚索，锚索一头外露在巷道内，一头留在采空区内，锚索两头上槽钢梁进行连接。槽钢梁采用 $14^{\#}$ 槽钢加工而成，锚索孔中心距1400mm，里侧锚索梁垫板为 $200\times 200\times 16\text{mm}$ 钢垫板，锚索外露长度 $150\sim 250\text{mm}$ ，外侧锚索梁垫板为 $200\times 100\times 16\text{mm}$ 钢垫板，锚索外露长度 $250\sim 350\text{mm}$ 。

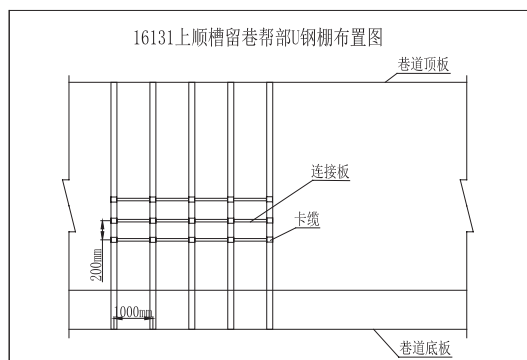


图3 16131上顺槽留巷帮部U钢棚布置图

通过现场观测顶板离层变化与巷道围岩变形具有类似的阶段性：超前工作面范围顶板离层仅有少量增加；滞滞后工作面 $0\sim 100\text{m}$ 时，巷道顶板离层量不大，巷道底鼓量大，帮部U钢未出现明显变形，滞后工作面超前 100m ，沿空留巷围岩基本趋于稳定，底鼓量仍在增加，但增速明显变缓。当沿空留巷滞后工作面 200m 时，围岩基本不再变化。

四、切顶卸压沿空留巷效果评价

16131上顺槽宽 5.5m ，高 3.8m ，经返修后，巷道净宽 3.5m ，净高 3m ，能够满足回采工作面巷道使用要求。目前沿空留巷已作为16151工作面下顺槽投入使用，回采期间，沿空留巷巷道变形不大，效果良好。^[10]

五、结语

（1）减少矿井掘进工作量，16151工作面下顺槽长 1356m ，不到1个半月落底完成，缓解了矿井采掘接替紧张局面。

（2）取消工作面保护煤柱，消除了煤柱失稳隐患，提高矿井采出率，保障了矿井安全高效生产。

（3）同时采取实现了无煤柱开采，避免了采取出现应力集中区，有利于工作面的合理布置。

参考文献

- [1] 何志龙. 切顶卸压沿空留巷围岩控制技术及应用[J]. 煤炭与化工, 2023, 46(06): 19-22+26.
- [2] 黄志远, 王优, 常征征. 浅谈采煤工作面沿空留巷的施工工艺[J]. 技术与市场, 2021, 28(03): 115-116.
- [3] 王明涛. 厚松散层薄基岩条件下厚煤层上分层开采技术探析[J]. 技术与市场, 2022, 29(02): 114-115.
- [4] 何志龙. 切顶卸压沿空留巷围岩控制技术及应用[J]. 煤炭与化工, 2023, 46(06): 19-22+26.
- [5] 白正平. 综采工作面采用高聚酯柔性网挂网技术实践[J]. 陕西煤炭, 2017, 36(06): 74-79.
- [6] 王晋勇, 李政, 沈玉旭, 等. 深孔预裂爆破弱化综放孤岛工作面坚硬顶板技术[J]. 煤矿安全, 2014, 45(09): 79-81+85.
- [7] 贺奇奇. 综采工作面中深孔震动爆破强制放顶技术的应用[J]. 煤, 2017, 26(09): 28+65.
- [8] 刘温哲. 煤矿井下多源震波信号特征实验模拟研究[D]. 中国矿业大学, 2023.
- [9] 李瑞群. 7m大采高综采工作面末采期间挂柔性网工艺优化[J]. 煤炭科学技术, 2015, 43(S2): 43-47.
- [10] 王鹏. 18060综放工作面切顶卸压沿空留巷的维护技术应用[J]. 山东煤炭科技, 2023, 41(06): 35-37.

关于煤炭机械化采样设备故障的预见性分析

陈林

国家能源集团乌海能源公司质量管理中心，内蒙古 乌海 016040

摘 要： 我国经济稳步提升，促进各行各业扩大生产规模，多样化的资源需求量不断攀升，煤炭是广泛应用的重要资源，与各个行业生产建设息息相关，然而当前煤炭资源在应用中出现质量问题，部分煤炭无法达到用户的应用标准，严重影响煤炭资源在生产建设中的有效利用率。煤炭检测行业针对煤炭资源产生的质量问题开展检测工作，一般需要从大量煤炭中提取代表性样品提高检测效率，无论是进出口业务的法定检验或者国内贸易委托检验，在煤炭检测全过程中都涉及采样、制样、化验三个关键环节。随着港口以及电厂运输量逐渐提升，人工煤炭采样技术的应用陷入困境，煤炭检测行业应当解决机械化采样设备各类故障，以便采样设备在应用中发挥高效运行。

关 键 词： 煤炭检测；机械化采样设备；故障分析

Predictive Analysis of Faults in Coal Mechanical Sampling Equipment

Chen Lin

Quality Management Center, Wuhai Energy Company, National Energy Group, Wuhai, Inner Mongolia 016040

Abstract： The steady improvement of China's economy has promoted the expansion of production scale in all walks of life, and the demand for diversified resources has been rising. Coal is an important resource widely used and is closely related to the production and construction of various industries. However, at present, there are quality problems in the application of coal resources, and some coal cannot meet the application standards of users, which seriously affects the effective utilization rate of coal resources in production and construction. The coal testing industry carries out testing for the quality problems caused by coal resources, and generally needs to extract representative samples from a large number of coal to improve testing efficiency. Whether it is statutory inspection of import and export business or commissioned inspection of domestic trade, the whole process of coal testing involves three key links: sampling, sample preparation and laboratory testing. With the gradual increase of port and power plant transportation, the application of artificial coal sampling technology is in trouble. The coal inspection industry should solve various failures of mechanized sampling equipment so that sampling equipment can operate efficiently in application.

Keywords： coal detection; mechanized sampling equipment; fault analysis

引言

煤炭资源是广大火电厂所应用的重要资源，质量问题受到火电厂广泛关注，煤炭采样是验收全过程的关键环节，技术人员在验收过程中能否取得代表性样品，直接影响全批煤炭的验收成果，如果煤炭质量检验不过关，势必会损害交易双方的经济利益，因此技术人员需要不断克服采样设备故障问题，全面提升煤炭资源质量验收水平。

一、煤炭机械化材质样概述

（一）煤炭采样制样

采样、制样、化验是煤炭检验的三个重要环节，不同阶段的工作内容相辅相成，如果其中一个环节出现问题则会影响整体的检验效果，从以往煤炭检测整体情况来看，采样环节产生的工作误差占80%，需要相关人员通过分析采样设备故障提高采样效率，同时确保样品本身的普遍性和代表性，全面提高采样数据的

精确度。煤炭资源所处地域位置不同，开采人员所应用的采煤方式和贮存方式差异较大，因此一般可以将煤炭分为不同的煤种，煤炭当中含有多种化学成分的微粒导致不同煤种之间具有品质差异，证明了煤炭检测工作开展的必要性。煤炭采样环节之所以容易产生工作误差，是因为采样人员往往采取少量的样本获取数据，导致所采集的数据精确度低。因此采样人员要获取高精确度的数据结果，就需要利用现代化的采样设备保障采样的普遍性和代表性，从而为采样数据分析提供客观条件。

（二）机械化采样的技术应用特点

科学技术是第一生产力，技术人员在煤炭采样环节应当引入现代化技术设备，将传统人工采样转变为设备精细化采样。煤炭机械化采样设备相比于人工采样具有自动化优势，能够在实际应用中充分发挥计算机控制功能，通常由计算机发出和完成各项指令，从而突破传统人工采样的人为误差问题^[1]。煤炭采样工作具有随机性特征，利用机械化采样设备可以开展多次采样工作，根据煤炭检测需求扩大采样范围，从大量的煤炭中提取具有代表性的样品，达到提升采样数据精确度的目标。机械化采样设备的应用有助于控制采样进度，减少人力资源方面的成本投入，在实现机械化采样之后，技术人员为了确保设备处于稳定安全的工作状态，需要设定设备检测周期，同时稳定设备的具体参数，在提高机械化采样设备应用效率的条件下保证采集数据的精确性，为后续煤炭制样和检验提供数据支持。

（三）煤炭机械化采样设备的工作原理

技术人员如果要提高机械化采样设备应用效率，就需要结合设备运作情况分析工作原理，保障机械化设备应用符合标准流程。首先在正式采样之前，技术人员需要利用摄影机的成像功能定位采样区域，其次在具体采样过程中需要以随机采样法为前提，结合现场环境制定完善的采样方案，同时利用自动化采样装置精准选择采样地点，在采样方案的明确指导下小车与大车同时到达采样地点。离合器、采样轴套、芯轴螺旋采样头、采样桶等都是采样设备的重要元素，在煤炭采样工作中发挥着联动作用，技术人员采样钻取过程中，离合器通常呈脱离状态，而采样轴套和芯轴螺旋采样头通过旋转方式下钻，煤炭样本在钻取过程中会填入采样筒中，采样筒锥状尾端的开口位置可以排除多余的煤样，采样头到达煤炭采样的目标深度之后会自动停止钻取，此时采样筒当中的煤炭为采样所用样本。样本采集完成之后需要开展卸煤工作，此时离合器应当呈分开状态，芯轴螺旋杆装置朝相反方向旋转使得采样筒脱离，技术人员通过物料运输机将样本送到下一级处理装置中，以便于规范化开展煤样的粉碎、缩分、制样工作，保证样本的均匀度^[2]。

二、煤炭机械化采样设备故障分析

由于煤炭机械化设备运行流程相对复杂，且容易受到主客观因素的影响产生故障，导致煤炭采样工作未能达到标准，设备使用与管理单位应当增强设备运行维护意识，科学化处理设备在作业中的各项故障，从而提升煤炭机械制样的整体工作效率，为煤炭生产贸易结算提供客观依据^[3]。采制样技术人员在综合分析评估设备故障之前，应当明确设备系统的内部组成情况，主要包括采样头、落煤管、初级给料机、余料回送装置、破碎机、缩分器、集样器以及电控系统等，不同部件承担着相应的采制样工作，在运行中形成相辅相成的关系，如果其中各部件工作环节产生故障，势必会导致整个设备系统的运行风险。从机械化采样设备应用方面分析，由于设备设计与制造未能规范化，以及安装调试方面出现问题，导致各种潜在故障频现，严重影响设备工作效率^[4]。

（一）整体结构和部件技术规范故障

煤炭机械化采样设备的引入提高了采样工作效率，在《煤炭机械化采样》相关规范的导向下设备设计与生产趋于成熟，但是部分机械化采样设备由于潜在风险因素产生故障，最终导致煤炭样品缺乏代表性和普遍性，不利于为后续工作提供精确的参考数据。机械化采样设备应用环境相对复杂，需要适应于各种环境情况中稳定开展工作，相关规范对采样设备整体结构和部件的设计制造提出要求，然而未能提出适用于所有情况的标准化设计。由于相关单位以及设计制造人员对规范内容的解读不到位，并且难以严格执行设计流程，导致采样设备在运行中出现整体结构和部件方面的故障^[5]。结合机械化采样设备运行故障情况分析，设备本身缺乏良好的密封性造成煤样损失，无法提高采样工作的整体精度，甚至在具体采样流程中影响设备使用寿命。设备内部包括不同部件共同发挥作用，然而部分设备内部缺乏良好的部件协调能力，甚至未能根据相关规范安装协调控制装置，使得设备运行中容易产生频繁堵塞等故障现象。开口宽度、容量和切割速度等是初级采样器以及各级缩分机的技术参数，由于各项参数未能达到标准规范，导致采样设备最终的采样结果缺乏精确度。速率过快也是采样设备运行中的故障之一，设备在设计与制造过程中未考量煤流的特性和采样需求，以至于设备采样速率快降低采样质量^[6]。

（二）安装调试故障

煤炭采样设备要实现稳定安全的运行目标，就需要确保安装调试符合相关标准规范，从当前设备具体应用情况来看，部分设备的安装调试出现问题导致设备应用故障。采样器和缩分器是采样设备系统当中的关键要素，需要在运行过程中完整地切割煤流横截段，但是采样器和缩分器的实际运行轨迹与胶带曲率不吻合，导致难以提高煤流横截段的切割完整度^[7]。技术人员未能精准安装调试各级缩分器的延时动作，以至于无法精准控制动作开始时间，严重影响整个煤流的切割。煤流整形装置在运作中产生故障，未能充分发挥整形作用导致料流缺乏均匀度。此外破碎机本身出现故障容易影响出料粒度，难以与缩分器的开口尺寸契合。

（三）电控系统故障

煤炭机械化采制样装置电控系统内部情况复杂，一般包括监测传感器、操作台、配电柜等重要部件，对于维护系统安全稳定运行尤为关键，如果相关负责人未能定期开展系统检修维护工作，则会造成各种系统故障，严重影响设备工作质量和效率。采样装置的控制系統以 PLC 可编程控制器为核心，在相关标准规范的导向下需要配置不同的人机接口，从而满足系统运行需求。根据以往电控系统运行情况来看，受到技术设备和环境因素的影响，容易出现电源失压、电压过低、电源断开、电缆线路老化导致的接触不良等故障问题，严重影响煤炭采样精度和制样效率^[8]。

三、煤炭机械化采样设备故障处理

（一）电控系统故障处理方法

煤炭机械化采样设备在实际运行中发生故障，系统会及时感

应并且向有关人员传达警报信息，同时会根据故障情况自动停止工作显示出故障点，技术人员应当以电气原理为依据，结合整体系统运行情况严格排查故障问题，采取行之有效的维修处理措施，电控系统故障的处理现象相对复杂，应当确保维修处理工作实现流程化、规范化。首先检修人员需要按照相关标准检查设备的配电箱，同时采取现代化的检测技术判断空气断路器的运行情况，如果在检测过程中发现过流保护为空，就应当判定是否存在漏电问题，根据日常检修工作经验来看，接线端子松动或者人为破坏电缆等原因都会导致漏电风险。其次如果系统运行过程中热继电器发生动作，则证明供电回路内部的负载超出标准，在温度不断升高的条件下使得继电器发挥保护作用，检修人员需要综合评定设备内部的各种情况，同时观察控制室内部的保险丝是否被切断。最后在检测现场感应器发出的信号时，如果未能收到相关信号则需要根据实际情况调整感应片，并且更换符合标准规范的热敏电阻和二极管^[9]。

（二）采样设备日常维护

技术人员在开展煤炭采样工作中缺乏设备规范应用意识，给后续工作埋下诸多风险隐患，不利于提高煤炭采样的精确度和效率，例如未能综合分析机械化采样设备的水分、煤炭粒度、批量或者煤流量的整体适应性，使得最终得到的煤样缺乏代表性。相关人员在开展设备运行管控工作中，未能建立完善的管理控制体系，通常单一化地应用设备监控方式，缺乏高效的现场定期巡检，难以洞察潜在的故障现象从而导致设备运行误差。此外相关人员忽视煤流的均匀性问题，以至于在卸船清仓结束环节使得煤流量波动过大^[10]。

根据煤炭机械化采样设备日常应用产生的问题，检修维护人员需要重视日常维护保养工作，在设备日常工作运行中安排专业技术人员看管，及时检查设备是否存在噪声、过度振动以及零件

温度超标等异常现象，一旦发现故障问题应当停止设备运作，如果短时间内难以解决故障问题，就需要做好相关记录放在检修环节解决。此外应当禁止在设备运行过程中清扫或者修理部件，以免受影响其正常稳定运行，同时需要保障采样头和采样铲头制动停止位置正确。机械化采样设备的检修维护是一项系统化的工作，不仅需要明确日常维护项目，而且应当根据设备运行总体情况开展每月的检查维护工作，在控制检修成本的基础上提高检修效率。例如检修人员在每月检查维护中，需要观察设备轴承与轴承导轨的磨损情况，如果缺乏润滑度则需要加注润滑油。检查采样头上的刮扫片是否与输送带贴合，根据相关要求及时调节和替换，与此同时需要检测带式输送机输送带位置，避免输送带出现跑偏现象。锤子是否能够在销钉上自由移动直接影响工作效率，技术人员需要分析锤子的实际磨损情况，及时更换已经严重损坏的锤子。年度检修维护也是机械化采样设备维护工作的重要内容，一般情况下需要以180d为周期开展年度检查，通过全面检修清除设备运行中标记好的缺陷问题，同时拆换损废的零部件。轴承磨损程度影响设备运行效率，需要在年度检查过程中评估磨损状况，打开轴承座彻底清洗。

四、结束语

煤炭资源在行业生产建设中发挥关键作用，但是由于煤炭区域等差异因素导致质量不一，质量较差的煤炭无法达到工业应用标准，因此应当依托机械化采煤设备做好煤炭的采样工作，相比于传统化的采样模式机械设备尽显优势，有助于提高采样工作的精确度，获得完善的数据参考信息。采样设备容易在运行中产生各种故障，检修维护人员应当开展定期巡检工作，提高设备运行质量效率。

参考文献

[1] 孙伟. 煤炭机械化采样装置的应用及改进 [J]. 中国科技纵横, 2023(9):127-129.
[2] 李冀平, 张珺珺, 路海来, 张春田, 张渤, 杨永成, 娄新华, 李树刚. 煤炭机械采样设备初采器刮板监测装置设计与开发 [J]. 煤质技术, 2022, 37(5): 70-74.
[3] 纪长顺, 戴昭斌. 煤炭采样设备常见故障与对策 [J]. 化工管理, 2019(30):129-130.
[4] 闫思宽. 煤炭采样设备的选型分析 [J]. 机械管理开发, 2019, 34(1):55-56+105.
[5] 马飞跃. 全自动煤炭采样系统的设计研究 [J]. 煤炭加工与综合利用, 2024(2):71-75+79.
[6] 郝雅琦. 煤炭机械化采样机的采样过程 [J]. 中文科技期刊数据库 (全文版) 工程技术, 2021(6):403-403+405.
[7] 明聪. 煤炭采样存在的问题分析与解决对策研究 [J]. 中国科技期刊数据库 工业 A, 2023(9):32-35.
[8] 刘占宾. 煤炭机械化采样系统质量管理方法分析 [J]. 中国口岸科学技术, 2020(4):53-56.
[9] 王化阳. 煤炭采样质量规范化管理实践探究 [J]. 煤质技术, 2021, 36(4):87-92.
[10] 王永超, 祁志伟, 王鼎. 煤炭智能采样系统的研究与应用 [J]. 中国口岸科学技术, 2023, 5(9):42-49.

城市河道断面水质达标正反馈整治模式下的流域雨污分流综合治理项目设计

闫超¹, 刘小平¹, 汪天祥²

1. 中水珠江规划勘测设计有限公司, 广东 广州 510000

2. 大连理工大学, 辽宁 大连 116000

摘 要 : 城市河道水环境综合整治是改善河道水质, 消除黑臭水体, 提升城市生活品质, 改善人居环境的重要内容, 本文根据城市河道整治工程正反馈整治模式理论研究, 将流域雨污分流综合治理的工程措施与河道水质目标改善对应, 实现工程进度与水质目标改善的正相关, 该治理模式更能直观的反映出工程进度与水质改善的关系, 是城市河道断面水质达标正反馈模式的实际应用。

关 键 词 : 正反馈; 雨污分流; 倒灌; 黑臭水体

Design of Comprehensive Management Project For Rainwater and Sewage Diversion in Urban River Sections under the Positive Feedback Management Model to Meet Water Quality standards

Yan Chao¹, Liu Xiaoping¹, Wang Tianxiang²

1 China Water Resources Pearl River Planning, Surveying & Designing Co., Ltd. Guangzhou, Guangdong 510000

2 Dalian University of Technology, Dalian, Liaoning 116000

Abstract : Comprehensive improvement of urban river water environment is an important part of improving river water quality, eliminating black and odorous water bodies, improving urban living quality, and improving human settlement environment. Based on the theoretical research on the positive feedback improvement model of urban river improvement projects, this paper corresponds the engineering measures of comprehensive management of rainwater and sewage diversion in the basin with the target improvement of river water quality, and realizes the positive correlation between the progress of the project and the improvement of water quality targets. This management model can more intuitively reflect the relationship between the progress of the project and the improvement of water quality, and is the practical application of the positive feedback model of water quality compliance in urban river sections.

Keywords : positive feedback; sewage and rainwater separation; backflow; black and smelly water bodies

一、整治范围概况及存在问题

(一) 流域及水质概况

茅洲河流域面积398.13km², 是深圳市与东莞市的界河。20世纪90年代以来, 两岸企业、人口爆发式增长, 导致茅洲河受到严重污染, 氨氮、总磷等指标超过地表水Ⅴ类水质标准的十几倍, 被媒体称作“珠三角污染最重的河”, 根据相关研究深圳光明新区、宝安区、东莞长安镇对茅洲河的污染贡献分别为27.3%、31.5%、41.2%^[1]。

茅洲河整治工作启动以来, 深莞两市都对茅洲河整治投入了大量的人力和物力, 从大到产业结构调整、截污治污系统建设、面源污染控制^[2], 小到化粪池系统治理^[3]等方面入手, 其中东莞主要实施了茅洲河堤岸整治、截污次支管网建设工程、清淤工程以及水质净化厂提标改造等工程, 随着相关工程建成并发挥作用, 茅洲河水环境质量得到了巨大的改善。2019年11月, 茅洲河共和村国考断面水质首次消除劣Ⅴ类, 实现历史性转折; 2020年, 随着整治工作不断深入, 水质进一步改善, 全年达到Ⅳ类标准, 茅洲河告别“黑

臭”四十年的历史, 其2019至2020年水质见表1。

表1 茅洲河共和村国考断面水质变化

时间	溶解氧	氨氮	总磷	水质类别
2019年1-11月	3.60mg/L	0.74mg/L	0.12mg/L	Ⅳ类
2020年1-11月	4.65mg/L	0.34mg/L	0.09mg/L	Ⅳ类
同比变化	29.20%	-53.80%	-21.70%	不变

茅洲河治理工作取得了较好的工作成效同时, 政府也深刻的认识到, 鉴于部分支流仅实现消除黑臭, 还不能稳定消除劣Ⅴ类, 流域治理工作尚有短板, 无法满足人民群众日益增长的优美生态环境需要, 需要进一步开展提质增效^[4], 对支流开展水环境治理工作。

本工程治理河道为茅洲河一级支流, 位于长安镇西北部, 北接环山渠, 南入茅洲河, 全长约6.1km, 集水面积约6.25km², 是长安镇内住建部督办治理的4条黑臭水体之一, 河道明暗交接, 环山渠至S358省道段约3.3km主要为暗渠, 分为3支, 分别为锦绣路排洪渠、横增路排洪渠和坂田水库排洪渠, 渠宽2m ~ 3m不等; S358省道至东引河段约1.1km为明渠, 河宽约20m; 东引河以南段约1.7km为暗渠, 宽约10m。

表2东莞侧内河涌水质达标情况（2020年10-12月）

序号	河涌	消除黑臭		达Ⅴ类水或以上	
		天数	达标率	天数	达标率
1	河道	49	100%	26	53.1%

（二）区域排水概况

流域内污水进入现状污水处理厂，处理厂设计出水水质达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002）一级A标准及广东省地方标准《水污染物排放限值》（DB44/26-2001）的第二时段一级标准两者各指标中较严值，处理后尾水排入茅洲河。

经过多年的建设，镇内污水系统日趋完善，镇内已建市政污水管约500km，管网密度达8.0km/km²。基本上实现了市政道路上污水管网全覆盖，基本具备源头雨污分流的实施条件。

河道流域范围内雨水管线长约74.17km，管道和渠道兼具，规格尺寸繁多。河道流域共有排水地块37个，其中完全雨污分流地块12个，未完全雨污分流地块24个，合流地块1个。根据本次摸底成果显示，已完成雨污分流地块依然存在分流不彻底的现象，12个已完成雨污分流的地块中，仍存在错混接，雨污分流效果有待改善。

（三）存在问题

- 1）存在污水管网空白区，亟需查漏补缺
- 2）雨污错接漏接现象突出
- 3）污水处理厂进水浓度低，运行效能低

2018年~2020年，污水处理厂COD_{Cr}进水浓度129.5mg/L~230.3mg/L，约为建城函[2016]198号要求最低浓度的49.8%~88.6%，进水浓度无改善甚至还逐步降低；BOD进水浓度61.7mg/L~98.6mg/L，约为建城[2019]52号文规定最低浓度的61.7%~98.6%，进水浓度也呈现逐步降低的趋势。

4）污水管网高水位运行

根据污水才处理厂1月~8月运行数据，污水处理厂管网（厂前）月平均水位-6.00m~-0.96m，平均-3.78m，管网水位位于管顶以上2.05m~7.09m，平均4.28m。根据《室外排水设计标准》（GB50014-2022，污水管道最大充满度0.75，污水管网处于高水位运行状态。

5）滨海地区地势低，水系发达，影响合流制排水系统效能

据统计，镇内已建截流井超过1000座，主要采用拍门防止地表水倒灌。该镇位于沿海片区，地势较低，尤其东引河以南区域，水系发达，暗渠众多，地下管网纵横交错，互联互通，防倒灌设施难以面面俱到，地表水倒灌风险大，影响污水系统效能，也是污水管网高水位运行的主要原因。

6）排水管网淤塞，影响河道水环境和区域水安全

镇内工程建设强度极大，工程建设过程中，不可避免发生水土流失，沉积于排水管道。另外因为市政道路雨污两套系统不完善，原有排水管线普遍是合流管，承担雨水和旱季污水的排放功能，随着污水管网不断完善，原合流管逐步过渡为雨水管，但是管内沉积的污染物并没有因为管道性质的变化而消失，存在于排水系统中的沉积物随排水进入受纳水体后，将严重污染水体的水质；同时也对排水系统的管理和运行带来许多问题^[6]，市政道路上排水管网，因为各类工程建设，淤塞后排水不畅，导致路面积水，影响区域水安全。

二、工作思路及目标

（一）工作思路

本工程针对污染治理过程中存在的问题，按照“系统治理、流域统筹，远近结合、标本兼治，综合施策、多措并举”的理念，全面排查片区内的现状环境条件，梳理已实施的相关治污工程，分析造成水环境问题突出的主要原因，控制好面源污染和管控好工业企业非法排放，继续加快推进正在实施治污工程。在此基础上，通过全面统筹、合理规划、查漏补缺，建立完善的污水收集处理体系，推进源头雨污分流工作，实现“管网全覆盖、污水全收集、管道全输送、末端全处理”，确保地表水水环境水质达标和污水处理厂进水浓度提升。

（二）工作目标

（1）雨水污水两套系统目标

在排水管线摸查、错混接整改、排水管道修复的基础上，通过市政污水管网查漏补缺，构建独立完整的污水和雨水管网系统，实现管网的全覆盖和全收集。

（2）截流井整治目标

关闭和消除具有倒灌风险的截流井。

（3）地块雨污分流目标

实施雨污分流的地块需严格达标，地块内部雨水管/污水管分别接入市政道路雨污水管，确保市政道路雨水系统内晴天无污水，做到污水不入河。

（4）地表水水质目标

2021年12月底，实现河道考核断面水质消除劣Ⅴ类。

三、正反馈式整治方案规划

城市河道水质达标正反馈整治模式是首先分析河道特征，结合污染源于水系关系划分控制流域，排水单元，根据河道水质目标系统规划源头产物，过程集污系统、末端治污系统方案，从而将水质目标与工程措施有机结合，实现工程措施与水质目标改善同步，形成正反馈式整治^[6]。

（一）源头产污系统

源头产污系统可以划分点源、面源、内源三大类；点源污染主要包括生活污水、工业企业污水、废水，主要的问题是污水直排、污水错接雨水管、废水错接雨水管。对于生活污水、工业企业污水直排问题应在市政道路上新建污水管，并结合用排水情况、路由情况、经济情况、时间情况考虑对用水单元规划地块小总口截污或者雨污分流方案，以避免污水直排。

本工程针对源头产物系统，主要采用地块雨污分流及地块内小总口截流的方式处理。

（二）过程集污系统

过程集污系统是产污单元和治污单位的连接环节，也就是通过管网系统将源头污水输送至污水厂或一体化、分散式等水处理系统，从而实现污染通量的削减。主要存在的问题是污水漏接、外水混入，具体表现为市政道路上的管网覆盖不全、雨污水错混接、管网淤积破损、小河道或暗涵作为污水通道，针对此类问题本工程主要采用污水管网完善工程，完善污水收集系统管网，通

过雨污水错混接整改解决部分污水漏接，外水混入问题，通过倒灌截流井改造工程解决大部分倒灌，进而解决外水混入问题。

（三）末端治污系统

在初步规划污染末端治污系统的规模、处理标准后，反过来还需结合源头产污系统、过程集污系统的建设与管理规划，将整个流域的一体化、分散式、污水厂等处理措施进行复核，优化确定末端治污系统的规模与处理标准。同时在管理方面需强化对处理系统的进出水质、进水负荷进行监管，以保障按照设计工况运行。重复上述过程即可确定各个片区的整治方案。

本工程下游污水处理厂设计规模 15 万 m³/d，出水水质标准满足一级 A 标准，规模及出水水质均满足要求。

四、正反馈模式下的工程措施

（一）污水收集系统完善方案设计

河道流域共有排水地块 37 个，其中已完成雨污分流地块 12 个，未完全雨污分流地块 25 个。本次拟对 XA-21、XA-06、JX-38、JX-39、WS-06、WS-14 等地块实施雨污分流，对 XA-03、XA-15、XA-12 部分区域地块实施简易雨污分流。

（二）污水转输系统完善方案设计

河道片区污水管网查漏补缺工程设计补充 DN300~DN400 污水管网共 1591m。

（三）雨水系统完善方案设计

错混接整改方案设计

河道流域共有排水地块 37 个，根据摸查资料成果河道流域有水源头 1161 个，根据错混接整改原则纳入本工程整治的 337 个，督促排水户自行整治 756 个，渗漏点封堵 8 处。

截流井整治工程

本次流域范围内共计调查出 94 处截流井，根据镇街补水调度中论述本河道为排水通道。涨潮时，水闸开闸引水并控制河涌水位低于 1.54m（85 高程）河涌水位高于 1.54m，则河水会进入市政雨水管道，并倒灌进入市政截污管网，故本工程以 1.54 作为截流井是否倒灌的判定标准，合流管底高程大于 1.54m 则截流井日常不会发生倒灌现象，合流管高程小于 1.54m，日常运行过程中截流井存在倒灌风险，结合调度排查^[7]可判定河道流域共计倒灌截流井 28 座，目前截流井倒灌评估与预防的措施有多种包括采用数值模拟评估倒灌风险^[8]，采用智能截流井预防倒灌^{[9][10]}等。

结合工程实际本工程截流井整治措施主要有取消和结合地块简易雨污分流上移等 2 种方式，根据污水管网高水位运行工况下的截污的经验^[11]，本工程倒灌截流井均考虑取消，非倒灌区总口截留井考虑取消或上移，工程实施过程中，确有地块污染源整改不到位或由于客观原因无法整治，可视具体情况保留一部分地块内部非倒灌区域的截流井。

（四）雨水（合流）管涵清疏方案设计

雨水（合流）管道淤堵及污染物沉积是引起河道水质反复及城市内涝的一个容忽视的因素，鉴于 2021 年 4 月份长安镇降雨发生了内涝情况，客观反映了雨水管道排水能力不足、地面雨水收集能力差等问题，本次清疏工程将雨水口清理列为工作重点实施。

五、实施计划与整治效果

本项目的实施有效提升了污水收集、处理系统能效。此外，在理清雨污两套系统后，源头雨污分流持续实施将进一步提升污水收集、处理系统能效，达到预期设计目标，切实高效削减污染负荷，保障水生态环境。

本项目在摸清现状污水管网和雨水管网的基础上，通过对市政路上的雨水和污水系统进行优化与改造，形成完善的雨水和污水管网系统，确保雨水经雨水管网就近排入河道。通过本次管网完善工程的实施，通过对工作范围内各排水分区的雨污分流和小片区截流，实现现状沿河截流井的取消，项目实施后，河道片区建成区雨污分流比例由现状的 17.1% 提高到 88.7%，减少雨天溢流频次和溢流规模，改善内河涌的水环境质量，完成了年度考核达标的任务。本工程整治完成后内河涌水质见表 3。

表 3 2023 年 1-12 月河涌水质平均值

流域	河流	水质目标	水质类别	是否达标	溶解氧（mg/L）	COD（mg/L）	氨氮（mg/L）	总磷（mg/L）	备注
茅洲河流域	三八河	V 类	V 类	是	4.1	18	2.00	0.26	

六、一些思考

1. 随着水环境治理工程的逐渐深入，一些原有被忽视或者隐藏难以解决的问题逐渐浮出水面，如暗渠内的排污口，巷道内的错混接等，而排查这些问题将会投入大量的人力物力，其成本远超传统勘察设计费用，此部分资金的落实也关系到现状问题的摸查及工程实施的效果。

2. 珠三角部分区域经常受潮水及雨水顶托，很多阀门存在大雨打不开的现象，治理水污染过程中需要同步考虑雨污同治。

3. 社区雨污分流工作往往推进难度较大，进度往往落后于水质考核，在社区雨污分流完成之前临时的污水收集措施是必须的。

参考文献

[1] 彭溢，廖国威，陈纯兴，等. 茅洲河污染源分析及治理对策研究 [J]. 广东化工，2014，41(15):2.DOI:10.3969/j.issn.1007-1865.2014.15.099.

[2] 李锟，吴属连，陈小刚，等. 深圳市茅洲河流域水环境提升对策 [C]// 中国环境科学学会. 2014 中国环境科学学会学术年会（第三章）. 深圳市深港产学研环保工程技术股份有限公司；深圳市宝安区水生态环境生态修复技术中心，2014:6.

[3] 郝鑫瑞，方刚，唐颖栋，et al. 茅洲河流域高密度建成区化粪池系统治理实践 [J]. 中国给排水，2024(004):040.

[4] 《城镇污水处理提质增效三年行动方案（2019—2021 年）》.

[5] 汤霞，陈卫兵，李怀正. 城市排水系统沉积物特性及清淤方式研究进展 [J]. 城市道桥与防洪，2013(3):5.DOI:10.3969/j.issn.1009-7716.2013.03.031.

[6] 汪天祥，肖许冰，闫超，等. 城市河道断面水质达标正反馈整治模式研究 [J]. 中国水利，2020(5):4.DOI: CNKI: SUN: SLZG.0.2020-05-018.

[7] 石顺权，唐雨诺，陈德业，等. 联合调度策略用于河网区污水系统倒灌口排查 [J]. 中国给排水，2023，39(24):115-121.DOI:10.19853/j.zgjssps.1000-4602.2023.24.020.

[8] 张楠，颜军，何卫华，等. 基于数值模拟的污水截流系统倒灌与溢流诊断 [J]. 给水排水，2020(S01):204-208.

[9] 常显志，陈冬育，罗肖肖. 滨海城市智能截流井防倒灌堰门高度研究 [J]. 科技创新与应用，2024(23).

[10] 谭建国，蔡桂余，余路路. 智能截流井在惠州市城区截污治污工程中的应用 [J]. 广东水利水电，2020(10):4.

[11] 胡和平，陈德业，闫超，等. 污水管网高水位运行工况下的截污方案探讨 [J]. 给水排水，2019，45(4):6.DOI:10.13789/j.cnki.wwi1964.2019.04.008.

高铁驾驶过程中驾驶员的安全人机工程分析

何之拓

中国铁路北京局集团有限公司天津机务段, 天津 300142

摘要： 高铁作为现代交通的重要组成部分，其安全性直接关系到公共安全和社会稳定。高铁驾驶员作为列车运行的核心操控者，其工作质量与列车的安全运行密切相关。在高铁驾驶过程中，人机工程学的应用能够有效提升驾驶员的操作效率 and 安全性，从而保障列车的平稳运行。本文将从人机界面的优化、智能辅助系统的引入以及驾驶员的培训和心理辅导三个方面，对高铁驾驶过程中驾驶员的安全人机工程进行深入分析。

关键词： 高铁驾驶；驾驶员；安全；人机工程

Ergonomics Analysis of Driver Safety During High-speed Rail Driving

He Zhituo

China Railway Beijing Group Co., Ltd. Tianjin Locomotive Depot, Tianjin 300142

Abstract： As an important part of modern transportation, the safety of high-speed rail is directly related to public safety and social stability. As the core operator of the train operation, the work quality of the high-speed train driver is closely related to the safe operation of the train. In the process of high-speed rail driving, the application of ergonomics can effectively improve the operation efficiency and safety of drivers, so as to ensure the smooth operation of trains. This paper will make an in-depth analysis of driver safety ergonomics in the process of high-speed rail driving from three aspects: optimization of man-machine interface, introduction of intelligent auxiliary system, driver training and psychological counseling.

Keywords： high-speed rail driving; driver; safety; ergonomic engineering

一、人机工程在高铁驾驶中的重要性

人机工程学在高铁驾驶中的重要性不容忽视。首先，人机工程学关注的是人与机器之间的交互关系，旨在通过优化设计来提高操作效率和安全性。在高铁驾驶中，人机工程学的应用可以显著提升驾驶员的工作体验和操作准确性。通过对驾驶舱布局、控制面板设计以及座椅舒适度的优化，可以减少驾驶员的疲劳感，提高其反应速度和判断能力。其次，高铁作为一种高速、高效的交通工具，其运行环境复杂多变，对驾驶员的要求极高。人机工程学通过科学的分析和设计，可以确保驾驶员在各种情况下都能保持最佳状态。例如，通过合理安排仪表盘上的信息显示，可以确保驾驶员在短时间内获取关键数据，从而做出迅速而准确的决策。此外，人机工程学还关注驾驶员的心理和生理需求，通过优化操作界面和工作环境，可以有效降低操作错误和事故发生的概率。例如，通过模拟驾驶训练和心理测试，可以提前发现驾驶员的潜在问题，并进行针对性的培训和调整^[1-3]。

总之，人机工程学在高铁驾驶中的应用，不仅能够提升驾驶员的工作效率和舒适度，还能显著提高高铁运行的安全性和可靠性。通过不断优化人机交互界面和工作环境，可以为高铁驾驶员提供一个更加友好和高效的操作平台。

二、提高高铁驾驶员安全的建议

（一）优化人机界面设计

首先，合理开展人机界面设计。当前高铁驾驶员的工作环境，人机界面的设计直接影响到驾驶员的操作效率与安全性。优化界面布局应以驾驶员的认知负荷和操作习惯为基础，结合人因工程学理论，重新评估界面信息的展示方式。具体而言，考虑对信息的优先级进行分类，减少不必要的信息干扰，保证重要信息的清晰易读，以降低驾驶员因信息超载而产生的误操作风险。此外，应在设计中融入符合驾驶员使用习惯的视觉层次结构，确保信息能够快速获取和处理。

第二，界面信息的可视化优化：高铁驾驶员需要快速、准确地获取行车数据，因此界面信息的可视化表现形式至关重要。通过改进信息图形化展示手段，如利用直观的图表、色彩编码和动态变化的图形标识，可以显著提高驾驶员对信息的理解速度和准确性^[4-7]。特别是在紧急情况下，信息的视觉提示应具备高对比度和显著性，以确保驾驶员能够在最短时间内做出正确判断。对图形界面的设计应以减少驾驶员的视觉疲劳为原则，并结合生物力学参数优化显示器的亮度、对比度和分辨率。

第三，人机交互模式的革新。传统的人机交互模式主要依赖

于物理按钮和指示灯,但随着技术的发展,触摸屏、语音识别、手势控制等新型交互方式的应用已成为趋势。针对高铁驾驶员的工作特点,可以引入多模态交互技术,以提高操作的便捷性和精确性。例如,结合语音指令系统和触觉反馈技术,增强驾驶员在复杂操作下的体验,减少因繁琐操作流程导致的误操作。同时,探索基于驾驶员操作习惯的自适应界面,实现交互方式的动态调整,使界面与驾驶员的互动更加智能化。

第四,界面一致性和标准化的实施。界面设计的一致性和标准化有助于减少驾驶员在不同车型间的适应时间,提高整体操作的安全性和可靠性。在优化高铁驾驶界面时,应考虑制定统一的设计规范,使得界面布局、操作逻辑、信息显示方式等方面在不同列车间保持一致性。通过界面的一致性设计,降低驾驶员的学习曲线,提高操作的熟练度和应急反应能力。此外,应对界面中的符号、颜色和声音提示等元素进行标准化处理,确保驾驶员能够迅速、准确地解读操作信息。第五,界面操作流程的精简与优化。高铁驾驶员的工作环境复杂,界面的操作流程必须精简化,避免复杂冗余的操作步骤对驾驶员造成负担。通过对现有操作流程的梳理和分析,发现并移除不必要的操作步骤,优化操作路径。可以采用任务分析和时间动作研究方法,评估每个操作步骤的必要性和合理性,从而设计出更加高效的操作流程。精简后的流程应具备高效、直观的特点,使驾驶员能够在最短时间内完成操作任务,降低操作失误的概率。

（二）引入智能辅助系统

首先,应用智能辅助系统的实时监控与预警功能。智能辅助系统通过集成多传感器数据,可以实现对列车运行状态的全方位实时监控。利用先进的传感技术和数据融合算法,对列车速度、轨道状态、环境变化等进行精准监测,并通过预测模型对潜在的安全隐患进行分析。当系统检测到异常数据或潜在风险时,可自动生成预警信息,通过视觉或听觉信号及时传达给驾驶员。预警系统的反应时间应控制在毫秒级,以确保驾驶员能够迅速采取应对措施,降低事故发生的概率。

其次,智能决策支持系统的优化。智能决策支持系统通过综合分析列车运行参数、驾驶员操作行为以及外部环境数据,能够提供实时的操作建议和决策支持。该系统基于大数据分析和机器学习算法,能够自适应不同驾驶员的操作习惯和行为模式,并动态调整决策建议^[8]。智能决策支持系统应具备高容错性,确保在复杂或突发情况下能够提供准确的决策信息。通过对海量数据的深度学习和模式识别,系统可以不断优化决策规则,提高其对复杂场景的应对能力,增强驾驶员的操作安全性。

再者,自动化驾驶辅助技术的集成。在高铁驾驶过程中,引入自动化驾驶辅助技术可以显著提升操作的安全性和稳定性。该技术包括自动控制列车速度、自动调整列车间距、自动执行停车操作等功能。通过先进的算法控制,自动化驾驶辅助系统能够在驾驶员失误或疲劳时,接管部分或全部操作,确保列车运行的安全性。系统应具备与驾驶员操作的无缝衔接能力,避免因自动化系统介入引发的操作冲突。自动化驾驶辅助技术的集成不仅需要硬件设备的支持,还需依赖可靠的软件算法和数据处理能力,以

确保其在各种复杂工况下的可靠运行。此外,开发智能人机交互界面的开发。智能辅助系统的有效性离不开合理的人机交互界面设计^[9]。界面应具备高度的直观性和可操作性,能够根据驾驶员的需求和场景的变化,自适应调整信息显示和交互方式。通过引入语音识别、手势控制等多模态交互技术,驾驶员可以更加便捷地与智能系统进行信息交换和操作指令输入。同时,界面应能够动态调整信息的优先级和展示方式,确保关键信息在紧急情况下能够快速传递给驾驶员。人机交互界面的开发应充分考虑驾驶员的操作习惯和心理认知特点,以减少操作复杂度,提高系统的易用性和响应速度。

最后,应用智能诊断与故障处理系统。智能辅助系统应集成高效的诊断功能,能够实时检测列车的关键部件运行状态,并在出现故障时自动分析故障原因。通过深度学习和专家系统技术,智能诊断系统能够对故障进行快速定位和分类,并提供具体的处理建议和操作步骤。故障处理系统应具备自动化处理能力,能够在驾驶员无法及时介入时,主动执行部分应急操作,防止故障扩大。智能诊断与故障处理系统的开发应注重系统的可靠性和稳定性,确保其在长期运行中能够保持高效的故障检测和处理能力。

（三）加强驾驶员的培训和心理辅导

首先,提高专业技能培训的系统化。高铁驾驶员的专业技能直接影响列车运行的安全性,因此,需要建立系统化的培训机制。培训内容应涵盖列车操作的各个方面,包括列车驾驶的基本原理、紧急情况处理、设备故障排查等,确保驾驶员具备全面的技术能力。结合模拟仿真技术,可在虚拟环境中重现复杂场景,强化驾驶员对各类突发情况的应对能力。针对不同经验水平的驾驶员,实施分层次、分阶段的培训计划,以实现培训内容的针对性和有效性。定期更新培训内容,确保驾驶员掌握最新的技术标准和操作规范。

第二,做好应急处理能力的强化训练。应急处理能力是保障列车安全的关键技能,需通过强化训练予以提升。利用高仿真模拟系统,开展多场景、多因素的应急演练,训练驾驶员在高压下的快速决策与操作能力。应急演练应涵盖各类突发情况,包括设备故障、自然灾害、乘客意外等,通过实战演练提高驾驶员的心理素质和应变能力。对训练结果进行量化评估,找出驾驶员在应急处理中的薄弱环节,提供有针对性的补强训练,确保驾驶员能够在实际操作中从容应对紧急情况。

第三,心理健康支持与压力管理。高铁驾驶员长时间处于高压工作环境中,心理健康对其操作安全至关重要。应建立定期心理评估机制,评估驾驶员的心理状态,发现潜在的心理问题。通过引入专业心理咨询与辅导服务,帮助驾驶员有效管理工作压力,改善情绪状态,提升心理弹性。可以组织心理减压培训,教授驾驶员科学的压力管理方法,如放松技巧、情绪调节等,提高其应对压力的能力。通过建立支持性的工作环境,鼓励驾驶员在遇到心理困扰时寻求帮助,减少心理问题对操作安全的影响。

第四,驾驶员心理素质的提升训练。驾驶员的心理素质对列车安全运行具有重要影响,需要通过专门的训练予以提升。训练内容应包括抗压能力、情绪控制、注意力集中等方面,采用行为

训练和认知训练相结合的方式，增强驾驶员在高压力环境下的心理承受能力。通过模拟实战训练，使驾驶员在高强度工作情境下保持冷静和理智，避免因情绪波动导致的操作失误。心理素质训练应与技术培训相结合，确保驾驶员在掌握操作技能的同时，具备应对各种心理挑战的能力。

三、结束语

总之，高铁驾驶员的安全操作对列车的运行安全至关重要。

在高铁驾驶过程中，人机工程学的应用能够有效提升驾驶员的操作效率和安全性。通过优化人机界面设计、引入智能辅助系统以及加强驾驶员的培训和心理辅导，可以显著提高高铁驾驶员的安全操作水平，进而保障列车的安全运行^[10]。随着科技的不断进步，人机工程学在高铁驾驶中的应用将会越来越广泛，为高铁的安全运行提供更为坚实的保障。

参考文献

- [1] 邹芬. 关于人机工程的复兴号动车组驾驶室分析方法 [J]. 中文科技期刊数据库 (全文版) 工程技术, 2021(3):2.
- [2] 许永生, 李丽丽, 吴尤荻等. 基于注意力分配的高铁操纵台界面布局优化设计 [J]. 西南交通大学学报, 2022, 57(2):401-409.
- [3] 李浩博. 基于多生理信号特征的高铁驾驶员警觉度检测研究 [D]. 西南交通大学, 2022.
- [4] 吕晓婷. 高铁司机的认知能力与心理品质对工作绩效的影响 [D]. 北京交通大学, 2023.
- [5] 陈家旭, 王铭铭, 李金波. 面向行车安全的高铁系统风险辨识与动态演化研究 [J]. 中国铁路, 2023(9):18-26.
- [6] 李浩博. 基于多生理信号特征的高铁驾驶员警觉度检测研究 [D]. 西南交通大学, 2022.
- [7] 莫志艺, 楼捍卫, 李继军. 高铁智能安防监控体系信息上传动车组驾驶室技术与应用系统 [J]. 中国铁路, 2022(12):129-134.
- [8] 杨鑫. 轨道交通驾驶触摸屏操作的自动化评估方法研究 [D]. 北京交通大学, 2022.
- [9] 鲍金花. 面向节能的高速列车驾驶策略预测方法研究 [D]. 西安理工大学, 2023.
- [10] 周慧钱, 徐杭. 高速铁路联调联试车务系统行车组织安全风险分析及措施 [J]. 铁路技术创新, 2022(6):86-90.

安全工程在化工企业中的应用与研究

黄荣庆

广西安康注册安全工程师事务所有限公司, 广西 南宁 530000

摘 要： 本文深入探讨了安全工程在化工企业中的应用与研究，分为应用与实践、研究与发展两大部分。应用篇中，本文详尽阐释了安全工程的概念、发展历程及其在化工企业中的重要性，并全面分析了安全风险管理的流程，包括风险识别、评估、控制与预防，以及其在企业中的实际应用。同时，文章强调了安全培训与教育的意义、策略、体系构建及其在化工企业中的重要作用。研究篇则对安全评价方法进行了系统综述，探讨了其分类和在化工企业中的应用，并研究了安全生产信息化的作用、体系构建及其实际应用。文章最后，对安全管理体系的内涵、构建方法及其在化工企业中的应用效果进行了深入分析，旨在为化工企业安全管理提供理论支持和实践借鉴。总体而言，本文旨在为化工企业安全工程的持续进步提供坚实的理论基础和实用的操作指南，以助力提升企业的安全生产能力。

关 键 词： 安全工程；化工企业；应用研究；风险管理；安全控制

Application and Research of Safety Engineering in Chemical Enterprises

Huang Rongqing

Guangxi Ankang Registered Safety Engineer Office Co., Ltd. Nanning, Guangxi 530000

Abstract： This article delves into the application and research of safety engineering in chemical enterprises, divided into two major parts: application and practice, and research and development. In the application section, this article elaborates on the concept, development process, and importance of safety engineering in chemical enterprises. It comprehensively analyzes the process of safety risk management, including risk identification, evaluation, control, and prevention, as well as its practical application in enterprises. Simultaneously, the article emphasizes the significance, strategies, system construction, and crucial role of safety training and education in chemical enterprises. The research section provides a systematic overview of safety evaluation methods, exploring their classification and application in chemical enterprises. It also investigates the role, system construction, and practical application of safety production informatization. Concluding the article, an in-depth analysis is conducted on the connotation, construction methods, and application effects of the safety management system in chemical enterprises, aiming to provide theoretical support and practical reference for safety management in the chemical industry. Overall, this article aims to provide a solid theoretical foundation and practical operation guide for the continuous progress of safety engineering in chemical enterprises, helping to enhance their safety production capabilities.

Keywords： safety engineering; chemical enterprises; application research; risk management; safety control

引言

在当今化工行业快速发展的背景下，安全工程作为保障企业生产和员工生命财产安全的重要手段，其应用与研究显得尤为关键。化工企业由于其生产过程中涉及的危险化学品和复杂的生产工艺，使得安全风险相对较高。因此，探讨安全工程在化工企业中的应用与研究，对于提升企业安全管理水平、预防和减少事故发生具有深远的意义。本文旨在分析安全工程在化工企业中的实际应用，并对其研究现状进行梳理，以期为我国化工企业的安全生产提供理论支持和实践指导。

一、安全工程在化工企业中的应用

随着化工行业的快速发展和生产规模的不断扩大，安全工程在化工企业中的地位日益凸显。本文先对安全工程进行概述，随

后探讨其在化工企业中的具体应用。

（一）安全工程概述

安全工程是一门集成了多种学科知识的综合性学科，它专注于预防和控制各类事故，保护人类生命安全和减少财产损失。安

全工程的定义强调了其跨学科的特点，涵盖了工程学、管理学、心理学、社会学等多个领域，通过科学的方法和手段，对生产和生活环境中的潜在危险因素进行识别、评估、控制和监控，以实现事故的有效预防和控制。

安全工程的发展历程见证了人类对安全生产认识的不断深化。从最初的事后处理事故到如今的事前预防，安全工程经历了从被动应对到主动管理的转变。在早期，安全工程主要关注事故的调查和分析，随着科技的进步和生产方式的变革，安全工程开始注重风险预防和控制，形成了系统的安全管理体系。如今，安全工程已经成为企业可持续发展不可或缺的一部分，其在减少事故发生、保护环境和促进社会和谐方面发挥着重要作用。

化工行业属于特殊产业。化工安全工程技术以相关政策文件与技术规范为指导，以化工企业生产管理运行中的各项资源要素为主要面向对象，对重大危险源进行动态化监控及识别，旨在构建高效稳定的安全管理预防机制，全面防控各类安全事故问题，使化工企业生产经营管理保持闭环环境之中^[1]。此外，安全工程还能够帮助企业符合法律法规要求，提升企业形象，增强市场竞争力，对于化工企业的长远发展具有深远的影响。

（二）安全风险管理的

风险识别与评估是安全风险管理的的第一步，它要求企业对生产活动中的所有潜在危险源进行系统的识别，包括设备故障、人为失误、环境因素等。这一过程不仅需要收集和分析历史事故数据，还需要结合现场实际情况，通过工作危害分析、故障树分析等工具，找出可能导致事故的风险点^[2]。随后，对这些风险点进行评估，确定它们的风险等级，为后续的风险控制提供依据。评估过程中，常用的方法有定量评估和定性评估，目的是确定哪些风险需要优先处理，以及如何分配资源以最有效地降低风险。

风险控制与防范是在识别和评估风险之后，采取的一系列措施来降低或消除风险。这包括制定和实施预防措施、应急准备和响应计划。控制措施可能涉及技术改造、工艺优化、设备更新、人员培训等多个方面。防范措施则侧重于建立和维护一套长效的风险管理体系，确保风险控制措施的持续有效。此外，还需要定期对控制措施进行审查和评估，以确保其适应性和有效性。

在化工企业中，安全风险管理的扮演着至关重要的角色。它不仅要求企业在日常生产中持续监控风险，还要求企业在面对新工艺、新材料、新设备时，能够及时更新风险识别和控制措施。通过安全风险管理的，化工企业能够有效地预防和减少事故的发生，保护员工的生命健康，避免环境污染，同时也能够减少因事故造成的财产损失和声誉损害。安全风险管理的在化工企业中的应用，体现了企业对安全生产的高度重视，是确保企业可持续发展的关键所在。

（三）安全培训与教育

安全培训内容与方法涵盖了广泛的知识和技能，旨在确保员工能够正确识别潜在的安全风险，掌握必要的安全操作规程，以及在紧急情况下能够有效地采取应对措施^[3]。培训内容通常包括但不限于安全生产法律法规、企业安全规章制度、岗位安全操作规程、应急预案和救援技能、个人防护装备的正确使用等。培训方

法多样，包括课堂讲授、实操演练、情景模拟、在线学习等，旨在通过互动和体验式学习，提高员工的参与度和培训效果。

安全教育体系的构建是一个系统化的工程，它要求企业根据自身的生产特点和安全需求，制定一套完整的安全教育方案。这包括确定教育目标、设计教育内容、选择教育方法、实施教育计划、评估教育效果等环节。安全教育体系应具有持续性、层次性和针对性，确保从管理层到一线员工都能接受到适当的安全教育，从而在企业内部形成良好的安全文化氛围。

在化工企业中，安全培训与教育的应用显得尤为关键。由于化工行业的特殊性，员工需要具备较高的安全意识和专业的安全技能。通过安全培训与教育，企业能够确保员工在日常工作中遵守安全规程，正确使用安全设施，有效地应对突发事件^[4]。此外，安全培训与教育的持续开展，有助于提升企业的整体安全管理水平，降低事故发生率，保障企业的稳定生产和员工的身心健康。在实际应用中，安全培训与教育还应当结合企业的实际情况，不断调整和优化培训内容和方法，以适应企业发展和安全生产的新要求。

二、安全工程在化工企业中的研究

在化工企业安全生产的实践中，理论研究起着指导和完善作用。本章节将深入探讨安全工程在化工企业中的研究动态，包括安全评价方法、安全生产信息化和安全管理体系三个方面。

（一）安全评价方法研究

安全评价方法概述了评价的本质和目的，即通过一系列系统的程序和技术手段，对企业的生产过程、设备设施、作业环境等进行全面的分析和评估，以确定存在的安全风险及其可能造成的后果。这些方法不仅能够帮助企业识别和评价安全风险，还能够为企业的安全决策提供数据支持，是企业实现安全生产的重要依据。

安全评价方法分类涵盖了多种评价技术，根据评价方法和技术不同，可以分为定性评价和定量评价两大类^[5]。定性评价主要依赖于专家经验和主观判断，如安全检查表、故障树分析、危险和可操作性研究等；而定量评价则侧重于数据的收集和统计分析，如概率风险评估、定量风险分析等。每种评价方法都有其独特的优势和局限性，企业应根据自身的实际情况选择合适的评价方法。

安全评价方法在化工企业中的应用十分广泛，它贯穿于企业的整个生产周期，从项目设计、建设、生产到维护各个阶段都有所体现。在化工企业中，安全评价方法的应用可以帮助企业及时发现生产过程中的安全隐患，评估安全控制措施的有效性，为制定和改进安全生产规章制度提供科学依据。同时，通过安全评价，企业能够有针对性地进行资源分配，优化安全生产投入，提高安全生产管理水平，从而有效预防和控制事故的发生，保障企业的持续健康发展。

（二）安全生产信息化研究

信息化在安全生产中的作用主要体现在提高安全管理效率、

增强事故预防能力、优化资源配置和提升应急响应速度等方面。通过信息技术的应用,企业能够实现对生产过程中安全数据的实时监控和分析,及时发现异常情况并采取相应措施^[6]。同时,信息化还能够帮助企业建立起一套完整的安全信息数据库,为安全管理决策提供数据支持,从而有效降低事故发生的风险。

安全生产信息化体系构建是一项系统工程,它要求企业根据自身的生产特点和安全管理需求,设计并实施一套涵盖数据采集、处理、存储、分析和应用等多个环节的信息化体系。这一体系应包括硬件设施、软件平台、网络通信、信息安全等要素,确保安全生产信息的准确、及时、高效传递。构建过程中,还需考虑到系统的可扩展性、兼容性和稳定性,以适应企业发展的长远需求。

安全生产信息化在化工企业中的应用表现在多个层面。在管理层层面,信息化系统扮演着为企业决策提供支持的关键角色,它通过深入的数据分析,助力企业洞悉安全趋势,从而制定出科学的安全生产策略^[7]。在操作层面,信息化工具,如智能监控系统和自动化控制设备,实现了对生产状态的实时监控,有效预警潜在的安全风险。在应急响应层面,信息化平台展现了其快速资源整合的能力,显著提升了事故处理的响应速度和效率^[8]。通过安全生产信息化的深入应用,化工企业不仅能够提升安全生产管理水平,还能够增强企业的市场竞争力,实现可持续发展。

(三) 安全管理体系研究

安全管理体系概述了其核心内容和目标,即通过制定和实施一系列政策、程序、指南和记录,来管理和控制企业面临的安全风险。这一体系不仅包括了安全方针、目标、职责、实践和性能评估,还涉及了资源的配置、人员的培训、安全文化的建设等多个方面。安全管理体系的作用在于为企业提供一个结构化的安全

管理框架,确保所有安全相关的活动都能得到有效控制。

安全管理体系构建方法涉及多个步骤,包括确定安全管理体系范围、制定安全方针和目标、进行风险评估和风险管理、设计控制措施和应急预案、建立监测和测量机制、实施内部审核和管理评审等^[9]。构建过程中,需要充分考虑企业的规模、性质、地理位置等因素,确保管理体系与企业实际情况相匹配。此外,还需借鉴国际标准和行业最佳实践,如 ISO 45001 职业健康安全管理体系,以提升管理体系的科学性和有效性。

安全管理体系在化工企业中的应用是全方位的,它渗透到企业生产的每一个环节。在化工企业中,安全管理体系的应用能够帮助企业系统地识别和评估安全风险,制定针对性的预防措施,从而有效降低事故发生的概率。同时,通过定期的安全评审和持续改进,企业能够不断提升安全管理水平,确保生产活动在安全的轨道上运行^[10]。安全管理体系的应用还体现在提升员工的安全意识和参与度,通过全员参与,形成人人关注安全、人人参与安全的良好氛围,为企业的长远发展打下坚实的安全基础。

三、结束语

研究表明,安全工程在化工企业中发挥着至关重要的作用,不仅关乎企业的稳定发展,更与员工的生命财产安全紧密相连。未来,化工企业应继续深化安全工程的理论研究,不断完善安全管理体系,强化安全教育培训,提升应急响应能力,以确保安全生产的持续稳定。同时,政府、企业和社会各界应共同努力,推动安全工程技术的创新与发展,为我国化工企业的安全生产提供更为坚实的保障。

参考文献

- [1] 刘静,刘淮青,章敏. 五项化工安全工程技术与应用[J]. 当代化工研究, 2021,(02):82-83.
- [2] 刘晨光. 五项化工安全管控工程技术的应用[J]. 化工管理, 2021,(03):19-20.DOI:10.19900/j.cnki.ISSN1008-4800.2021.03.010.
- [3] 邵辉,张东,葛秀坤,等. 高素质安全工程专业人才培养的研究与实践[J]. 中国安全科学学报, 2009,19(12):34-39+203.DOI:10.16265/j.cnki.issn1003-3033.2009.12.006.
- [4] 王海波,张福群,刘冰心,等. 化工安全工程专业科教融合新模式教学过程中德育的渗透[J]. 榆林学院学报, 2021,31(02):101-104.DOI:10.16752/j.cnki.jylu.2021.02.024.
- [5] 赵伟,郭小芳,王凯,等. 工程认证背景下安全工程毕业要求达成度评价[J]. 中国安全科学学报, 2021,31(05):145-151.DOI:10.16265/j.cnki.issn1003-3033.2021.05.022.
- [6] 王国超,熊立霞. 精细化工安全生产中反应安全风险评估的重要性分析[J]. 山东化工, 2023,52(13):236-237.DOI:10.19319/j.cnki.issn.1008-021x.2023.13.016.
- [7] 周爱东,姜勇,杨红晓. 实施化工安全仿真培训,培养大工程观意识的工程技术人才[J]. 实验技术与管理, 2011,28(12):86-89.DOI:10.16791/j.cnki.sjg.2011.12.026.
- [8] 胡博. 化工安全仪表系统工程设计和应用[C]//上海彼虞文化传播有限公司,中国智慧工程研究会智能学习与创新研究工作委员会. Proceedings of 2022 Shanghai Forum on Engineering Technology and New Materials(ETM2022)(VOL.1).北京国能中电节能环保技术股份有限公司, 2022:3.DOI:10.26914/c.cnkihy.2022.037392.
- [9] 段礼祥. 具有石油特色的工业安全技术教材建设[J]. 石油教育, 2010,(06):95-97.DOI:10.13453/j.cnki.jpe.2010.06.005.
- [10] 高志伟,郭兵团,周成君. 化工企业安全工程事故及应对措施[J]. 山东化工, 2023,52(09):217-218+224.DOI:10.19319/j.cnki.issn.1008-021x.2023.09.058.

提高香蕉采后品质的关键保鲜技术探讨

邹冬梅

中国热带农业科学院分析测试中心 / 农业农村部亚热带果蔬质量安全控制重点实验室 / 农业农村部热作产品质量安全风险评估实验室（海口） / 海南省热带果蔬产品质量安全重点实验室，海南 海口 571101

摘 要： 本研究深入探讨了香蕉采后品质变化及其影响因素，包括香蕉采后的生理变化、微生物作用以及环境因素对品质的影响。接着，详细介绍了几种关键的保鲜技术，如低温保鲜、气调保鲜、辐射保鲜、生物保鲜和化学保鲜，并探讨了这些技术对香蕉采后品质的影响。最后，提出了香蕉采后品质提升的综合保鲜技术策略，包括不同保鲜技术的分析、综合保鲜技术实施策略以及综合保鲜技术发展趋势。

关 键 词： 香蕉采后品质；物理保鲜；生物保鲜；化学保鲜

Exploration of Key Preservation Techniques to Improve Postharvest Quality of Bananas

Zou Dongmei

Analysis and Testing Center, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences / Key Laboratory of Quality and Safety Control for Subtropical Fruits and Vegetables, Ministry of Agriculture and Rural Affairs / Risk Assessment Laboratory for Quality and Safety of Tropical Products, Ministry of Agriculture and Rural Affairs (Haikou) / Hainan Provincial Key Laboratory for Quality and Safety of Tropical Fruits and Vegetables, Haikou, Hainan 571101

Abstract： This study delves into the postharvest quality changes and influencing factors of bananas, including physiological changes, microbial effects, and environmental impacts on quality. Subsequently, it introduces several critical preservation techniques, such as low-temperature preservation, controlled atmosphere preservation, radiation preservation, biological preservation, and chemical preservation, and explores their impacts on the postharvest quality of bananas. Finally, it proposes a comprehensive preservation technology strategy for improving the postharvest quality of bananas, including the analysis of different preservation techniques, implementation strategies for integrated preservation technology, and trends in the development of integrated preservation technology.

Keywords： postharvest quality of bananas; physical preservation; biological preservation; chemical preservation

引言

香蕉（*Musa nana* Lour.）是热带亚热带地区重要的经济作物和粮食作物。香蕉以其营养丰富、芳香美味而深受消费者喜爱，成为世界鲜果中产量、贸易量和贸易额最大的水果。中国是世界第二大香蕉生产国和进口国，2020年香蕉产量和进口量分别为1 187.26万 t和181.92万 t，分别占世界的9.91%和7.78%^[1]。香蕉是典型的呼吸跃变型果实，采后乙烯的大量释放使香蕉在贮藏过程中加快成熟和衰老，影响香蕉贮藏保鲜及经济价值。香蕉采后保鲜是一项综合的系统工程，涉及香蕉品种及果实质量、采后处理过程及贮运保鲜技术与果实商品性等方面。因此，研究香蕉采后品质提升的关键保鲜技术对于保持果实最佳的商品性和减少采后损失具有重要的现实意义。

一、香蕉采后品质变化及其影响因素

香蕉采后品质变化主要表现在果皮色泽、果实硬度、果肉淀粉降解、糖类物质和特色香气的形成等方面。果实采后生理变化主要包括果实乙烯及呼吸变化、果实细胞壁多糖降解等、品种、采收成熟度、贮藏温湿度、气体成分及采后处理过程等均会影响香蕉贮藏寿命及货架期等。

（一）香蕉采后生理变化

香蕉在采摘后，虽然脱离了母体，但其生理活动并未完全停止。采后香蕉的呼吸作用持续进行，消耗内部储存的糖分和其他营养物质，这不仅导致果肉糖度下降，口感变差，而且呼吸作用产生的热量和乙烯气体还会加速果实的成熟过程，使香蕉迅速变软，从而缩短其货架寿命。与此同时，香蕉的水分通过果皮蒸发而不断流失，这不仅使果实重量减轻，还导致果皮失去光泽，果肉变得干

基金项目：海南省重点研发项目（ZDYF2017060）；中央级科研单位基本科研业务费项目（1630082022001，1630082016002）；企业以产学研合作方式委托研发类课题（CATASATC-2023-306）。

作者简介：邹冬梅（1971-），女，硕士，研究员，研究方向为农产品质量安全及香蕉提质增效，E-mail: 1548801248@qq.com。

瘪,进一步影响其口感和外观^[2]。此外,香蕉中的淀粉在采后转化为可溶性糖,虽然这一转化过程增加了果实的甜度,但如果转化速度过快,就会导致果实过熟,最终影响香蕉的整体品质。

(二) 香蕉采后微生物作用

香蕉在采后阶段,微生物的活动对其品质有着显著的影响。在适宜的温度和湿度条件下,细菌、真菌等微生物容易在香蕉表面繁殖,它们分解果肉中的营养成分,产生异味,进而导致果实腐败。此外,某些微生物能够产生乙烯或其他激素,这些激素与香蕉的成熟进程相互作用,可能会加速或延缓果实的成熟,从而在影响果实成熟速度的同时,也对其品质产生了重要影响。

(三) 环境因素对香蕉采后品质的影响

环境因素在香蕉采后品质保持中扮演着至关重要的角色,其中温度和湿度的变化直接影响着果实的呼吸作用和微生物活动。高温环境会加速香蕉的呼吸和乙烯生成,促使果实快速成熟,而高湿度则提供了微生物生长的温床,增加了腐败的风险。同时,气调包装中的氧气和二氧化碳比例对调节香蕉的呼吸作用和乙烯生成具有重要意义,适当的气体成分能够有效延长香蕉的保鲜期。此外,香蕉在运输和搬运过程中易遭受机械损伤,这些损伤部位成为微生物侵入的通道,进一步加速了果实的腐败过程。

二、香蕉采后关键保鲜技术

香蕉保鲜新技术不断发展,物理保鲜技术绿色安全,主要有热处理、冷激处理、低温保鲜、气调保鲜、辐射处理和等离子体处理等。化学保鲜技术正向安全且低残留改进完善,主要有1-甲基环丙烯(1-MCP)处理、乙烯吸收剂和化学保鲜剂。生物保鲜剂天然、安全、无有害物质残留等优点具有广阔应用前景。重点介绍低温保鲜、气调保鲜、辐射保鲜、生物保鲜和化学保鲜。

(一) 低温保鲜技术

低温保鲜技术通过降低温度来减缓香蕉采后的生理活动和微生物生长,从而有效延长其保鲜期。该技术的原理在于,低温环境下香蕉的呼吸酶活性降低,呼吸速率减缓,减少体内养分消耗,同时抑制乙烯的生物合成,延缓香蕉成熟和衰老,保持新鲜度。此外,低温还能减慢微生物生长,降低腐败风险。实施低温保鲜时,及时预冷是关键,需迅速去除田间热,控制储存运输温度在12℃~14℃,并定期监测温度以维护品质^[3-4]。低温保鲜最适合长途海运,对香蕉品质的影响显著,能保持色泽、口感和营养成分,减少营养流失,但需注意避免冷害(低于11℃),如黑心病和果皮斑点,确保香蕉在保持品质的同时不受低温伤害。

(二) 气调保鲜技术

气调保鲜技术通过调整包装内的气体比例,主要是降低氧气浓度和提高二氧化碳浓度,来调节香蕉的呼吸作用和微生物活性,从而有效延长香蕉的新鲜度。降低氧气浓度可以减缓香蕉的呼吸速率和减少养分消耗,同时减少乙烯的生成,延缓香蕉的成熟和衰老过程;而增加二氧化碳浓度则能进一步抑制呼吸作用并减少微生物数量,降低腐败风险。在实施气调保鲜时,需确保包装环境的完全密封,以维持特定的气体比例,通常为2%~3%氧气和3%~5%二氧化碳,并根据香蕉种类和成熟度调整,保鲜时间可延长2~4倍。气调保鲜能够显著延长香蕉的货架寿命,保持其

原有风味和营养价值,防止无氧呼吸和生理病害,确保香蕉在运输和储存过程中保持新鲜状态,提升市场竞争力。

(三) 辐射保鲜技术

辐射保鲜技术是一种创新的食物保存方法,它利用辐射能量来杀灭或抑制微生物的活动,从而延长香蕉等水果的保鲜期。该技术的原理在于,辐射能量能够穿透微生物细胞,破坏其DNA结构,使其失去繁殖能力,进而减少果实表面的微生物数量,达到抑制腐败和延长保鲜的目的。在实施辐射保鲜技术时,关键在于精确控制辐射剂量,以确保食品安全不受影响。常用的辐射源包括 γ 射线、X射线、电子束和短波紫外线(UV-C),每种辐射源都有其特定的应用范围和效果,辐射保鲜对香蕉采后品质的影响显著^[5]。0.01 kJ/m² UV-C处理能显著抑制香蕉果实贮藏过程中的冠腐病,保持果冠组织的完整性,基本不影响果实成熟和品质^[6]。该方法能够高效控制香蕉在储存和运输过程中的腐败问题,保持其新鲜度和延长货架寿命。然而,需要注意的是,辐射处理必须谨慎进行,以避免过量辐射。适当的辐射处理不仅能够保持香蕉的营养成分,还能保持其口感和外观,确保消费者在享受健康食品的同时,也能获得满意的感官体验。

(四) 生物保鲜技术

生物保鲜是利用自然界动植物中分离或微生物发酵获得的生物制剂对果蔬进行浸泡、喷洒、覆膜等处理,利用生物制剂的杀菌、抑制呼吸、抑制代谢的作用达到保鲜的目的。生物保鲜剂的原料一般是自然界的天然产物,相对于化学试剂,具有降解性强、残留低、毒性低甚至无毒等优点。常用的生物保鲜剂有壳聚糖、虫胶和明胶复合膜、溶血磷脂酰乙醇、外源吡哆醇、原花青素和油茶皂素^[7]等,这些保鲜剂对人体无害,能够在不改变食品原有风味和营养价值的前提下,提供有效的保鲜效果。正确实施生物保鲜技术不仅能够提升香蕉的市场竞争力,还能满足消费者对健康食品的日益增长的需求,为食品保鲜领域带来创新的解决方案。

(五) 化学保鲜技术

化学保鲜技术,作为一种传统的果实保鲜方法,依赖于化学物质的运用来延缓果实的成熟和腐败过程。其基本原理是,通过化学保鲜剂的作用来抑制果实内部的酶活性、降低呼吸速率,或者直接杀灭可能导致腐败的微生物,进而延长果实的保鲜期,保持其食用品质^[8]。常用的化学保鲜技术有1-甲基环丙烯(1-MCP)、乙烯吸收剂和化学保鲜剂处理(苯并噻二唑、外源水杨酸甲酯、可溶性硅、过氧化氢、一氧化氮、氯化钙及褪黑素等)^[9]。化学保鲜技术对香蕉采后品质的影响是显著的,它能够有效延长香蕉的货架寿命,保持其新鲜度和口感。然而,由于消费者对化学残留的担忧,这一技术的应用受到了一定的限制。因此,研发更加安全、高效的化学保鲜剂成为未来的发展方向。

三、香蕉采后品质提升的综合保鲜技术策略

在追求香蕉采后品质提升的过程中,单一的保鲜技术往往难以满足复杂多变的市场需求。因此,综合保鲜技术策略的制定与实施显得尤为重要。这种综合策略旨在通过结合多种保鲜技术,形成一个全面的保护体系,以应对香蕉在采后各个阶段可能遇到的问题。

(一) 不同保鲜技术的分析

在香蕉保鲜领域,不同的技术方法各自具有独特的优势和局限

性。低温保鲜技术以其操作简便和显著的保鲜效果,适用于各种规模的香蕉保鲜,但能耗较高,对冷链设施要求严格,不当操作可能导致冷害^[9]。气调保鲜技术能够有效延长香蕉保鲜期,保持果实品质,无化学残留,但对包装材料和气体调控设备有较高要求,成本相对较高。辐射保鲜技术以其高效的杀菌效果和快速的处理速度,适用于大量香蕉的保鲜,但可能引起消费者对辐射安全的担忧,且辐射设备投资大。生物保鲜技术利用天然、安全的生物制剂,无污染,完全符合消费者对绿色食品的需求,但其效果受保鲜剂种类和浓度影响较大,技术要求较高。化学保鲜技术操作简便,成本低廉,保鲜效果明显,但可能存在化学残留,对环境和人体健康有一定风险。在实际应用中,为了确保香蕉的保鲜效果,通常会结合多种保鲜技术,形成综合保鲜策略,以满足市场需求并确保食品安全。

(二) 综合保鲜技术实施策略

为了提升香蕉的贮藏品质并延长货架寿命,可以采用一套综合保鲜策略,包括低温与气调技术的融合、生物或化学保鲜剂的顺序使用,以及根据地区特点调整技术组合。这一策略旨在创建一个优化的贮藏环境,通过精确控制温度和气体成分来减缓香蕉的生理活动和微生物生长。在香蕉采后初期,使用生物或化学保鲜剂,如柠檬酸,来抑制微生物生长和延缓成熟,随后转移到低温或气调环境中以实现保鲜效果的互补。吴宁^[10] 研究中深入探讨了 UV-C 辐照、柠檬酸处理及其复合处理对采后香蕉贮藏品质的影响。研究结果显示,采用 3.96×10^{-2} KJ/m² 的 UV-C 辐照处理,以及在此基础上结合 2.0% 柠檬酸的复合处理,相较于对照组(CK)和单一柠檬酸处理,保鲜效果具有显著优势。这些处理方法不仅能有效提升香蕉果实的理化特性,还能维持其抗氧化活性,从而有效延缓香蕉的成熟与衰老进程。

邹冬梅、胡美姣等^[11-12] 人深入研究了 1-MCP、乙烯利吸收剂复合处理对采后香蕉高温贮藏品质的影响。其与传统方法相比,在高温下(30℃)放置 20 d 的“巴西”香蕉,以 60 ng/kg 的 1-MCP 复合聚乙烯袋抽真空包装、销售地低温催熟的技术处理夏秋季“巴西”香蕉,可使其耐贮性增强,果实可正常后熟,品质综合评分较高且大大延长贮运期。以 1-MCP(浓度为 60 ng/kg)香蕉专用保鲜包处理“南天黄”香蕉高温(30℃)以内,20℃放置催熟及贮藏,既可增加果实的耐贮运特性,又能使催熟后果实正常软化、转色,保持较好的食用品质。以 1-MCP(浓度为 60 ng/kg)香蕉专用保鲜包加乙烯利吸收剂处理“广粉 1 号”粉蕉,高温下(30℃)放置 20 d 后,果实可正常后熟软化和转色,品质综合评分较高,该技术可延长粉蕉保鲜期 15 ~ 20 d,效果显著。

根据不同地区的气候和生产条件,选择适宜的保鲜技术组合,如在高温多湿地区侧重化学+生物+气调保鲜,而在冷链设施完善的地区优先考虑化学+生物+低温保鲜。在实施这些技术时,进行了成本效益分析,以确保其经济可行性,并考虑了消费者对食品安全的期望和市场需求,以保证保鲜技术的长期可持续性^[13]。通过这些综合策略,旨在提高香蕉的保鲜效果,延长其货架寿命,同时确保食品安全和环境保护。

(三) 综合保鲜技术发展趋势

在现代香蕉保鲜领域,随着消费者对食品安全和环境保护的重视,绿色环保的保鲜技术日益受到青睐。生物保鲜和无害化化学保鲜技术因其天然、安全、无污染的特点而得到广泛应用,满

足了消费者对绿色食品的需求,同时减少了化学残留,有利于环境保护,提升了香蕉的市场竞争力。智能化与自动化技术的融合正改变香蕉保鲜的传统模式^[14]。通过物联网和大数据,可以实现香蕉保鲜环境的智能监控和自动调节,提高了保鲜效率,降低了人力成本,并确保了保鲜过程的精确控制。这种技术融合不仅提高了保鲜效果,还使保鲜过程更加高效和可靠。针对不同品种和成熟度的香蕉,开发个性化的综合保鲜方案,能够满足多样化的市场需求。通过精确分析香蕉的特性,可以制定出更加精准的保鲜策略,确保香蕉在不同阶段都能保持最佳品质。推动保鲜技术的可持续发展是香蕉产业长期健康发展的关键。

四、结束语

随着科技的不断进步和消费者需求的日益提高,香蕉采后品质提升的关键保鲜技术已成为产业发展的重要课题。本文从香蕉采后品质变化及其影响因素入手,详细探讨了低温保鲜、气调保鲜、辐射保鲜、生物保鲜和化学保鲜等关键技术,并提出了综合保鲜技术策略,旨在为香蕉产业的保鲜实践提供理论支持和应用指导。展望未来,有理由相信,随着研究的深入和技术的不断成熟,香蕉保鲜技术将更加高效、环保、智能,为消费者带来更加新鲜、安全、美味的香蕉产品。

参考文献

- [1] Dongmei ZOU, Changshun JIANG*, Qiong FAN. Present Situation of World Banana Production and Trade and Its Industrial Prospect, *Asian Agricultural Research*, 2022, 14(12): 1-6, 15.
- [2] 单幼霞. 胞外 ATP 受体调控香蕉果实采后冷害发生和后熟进程的机制 [D]. 北京: 中国科学院大学, 2021.
- [3] 杨文慧. 五种外源物质处理对采后香蕉果实冷害控制效果的研究 [D]. 广西: 广西大学, 2021.
- [4] 朱榕秋. 电子鼻判别香蕉、菠萝和沙糖桔采后品质变化的研究 [D]. 广东: 华南农业大学, 2021.
- [5] 陈铭中. 短波紫外线照射对采后香蕉贮藏特性的影响及其胁迫响应机制 [D]. 广东: 广东海洋大学, 2022.
- [6] Mohamed N T S, Ding P, Kadir J, *et al*. Potential of UV-C germicidal irradiation in suppressing crown rot disease, retaining postharvest quality and antioxidant capacity of *Musa* AAA ‘Berangan’ during fruit ripening [J]. *Food Science and Nutrition*, 2017, 5(5): 967-980.
- [7] 董晨, 易有金, 刘思思, 等. 油茶皂素在香蕉保鲜中的应用 [J]. *食品工业科技*, 2022, 43(15): 307-313. DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2021090148.
- [8] 邹冬梅, 李敏, 高兆银, 等. 香蕉采收及贮运保鲜技术 [J]. *农村新技术*, 2020 (8): 58-59.
- [9] 朱孝扬, 李雪萍, 单伟, 等. 香蕉贮运保鲜技术研究进展 [J]. *热带作物学报*, 2020, 41(10): 2013-2021. DOI: 10.3969/j.issn.1000-2561.2020.10.008.
- [10] 吴宁. UV-C 与柠檬酸处理对采后香蕉保鲜效果的研究 [D]. 河南: 河南师范大学, 2018. DOI: 10.7666/d.Y3436585.
- [11] 李春霞, 胡美姣, 高兆银, 等. 1-MCP 对“巴西”香蕉高温贮藏后品质的影响 [J]. *中国热带农业*, 2019, (03): 37-41.
- [12] 李敏, 高兆银, 邹冬梅, 等. 1-甲基环丙烯对高温下“南天黄”香蕉品质的影响 [J]. *中国南方果树*, 2019, 48(06): 34-39+42.
- [13] 曾俊, 杨嘉利, 杨宝, 等. 黄酮类复配保鲜剂对香蕉采后品质的影响 [J]. *浙江大学学报(农业与生命科学版)*, 2020, 46(1): 38-46. DOI: 10.3785/j.issn.1008-9209.2019.07.221.
- [14] 万丹丹, 王雪宁. 水果采后生物保鲜研究进展 [J]. *食品安全导刊*, 2020(14): 35.

智能制造背景下机械专业人才培养模式探讨

李曼

长春职业技术学校, 吉林 长春 130102

摘要： 本文探讨了智能制造背景下机械专业人才培养模式的变革。文章分析了当前机械专业人才培养的现状和存在的问题，并指出智能制造对机械专业人才的知识结构、能力素质和创新创业能力提出了新的要求。在此基础上，文章提出了构建智能制造背景下机械专业人才培养模式的具体措施，包括优化课程体系、构建校企合作协同育人机制、改革实践教学体系和培养综合素质与创新能力等。

关键词： 课程体系；实践教学；校企合作；综合素质；创新能力

Exploration of Training Mode for Mechanical Majors in the Context of Smart Manufacturing

Li Man

Changchun Vocational and Technical College, Changchun, Jilin 130102

Abstract： This paper explores the changes in the training mode for mechanical professionals in the context of smart manufacturing. The article analyzes the current status and problems of mechanical professional talent training and points out that smart manufacturing puts forward new requirements for the knowledge structure, ability and quality, and innovation and entrepreneurship capabilities of mechanical professionals. Based on this, the article proposes specific measures to construct a training mode for mechanical professionals in the context of smart manufacturing, including optimizing the curriculum system, building a school-enterprise cooperation and collaborative education mechanism, reforming the practical teaching system, and cultivating comprehensive quality and innovation ability.

Keywords： curriculum system; practical teaching; school-enterprise cooperation; comprehensive quality; innovation ability

引言

随着全球经济一体化的推进和科技创新的不断发展，智能制造作为新一代信息技术与制造业深度融合的产物，已经成为我国制造业转型升级的重要方向。智能制造旨在通过自动化、信息化、网络化和智能化的手段，实现产品设计、生产、管理和服务等环节的优化与升级，提高制造业的整体竞争力。在此背景下，机械专业人才培养面临着新的挑战 and 机遇。

一、智能制造在我国的发展现状及趋势

智能制造在我国的发展正迅速推进，机械专业的技术人才需求日益增长。随着《中国制造2025》的深入实施，智能制造已成为推动制造业转型升级的关键力量。当前，我国智能制造企业对机械专业人才的需求呈现出多样化、高端化的特点，不仅要求具备扎实的机械工程理论基础，还要求掌握自动化、信息化、智能化等相关技术。机械专业人才在智能制造领域的作用愈发凸显，他们不仅参与智能装备的研发与设计，还承担着生产过程的优化、系统集成和智能运维等重要任务^[1]。因此，培养符合智能制造发展需求的机械专业人才，已成为我国教育改革和产业升级的共同目标。

二、机械专业人才培养现状分析

（一）我国机械专业人才培养现状

近年来，我国制造业的迅猛发展带动了对机械专业人才的强烈需求。政府出台了一系列人才培养政策，如提供培训补贴、设立人才项目资助、推动产学研合作等，以提升机械专业人才的素质 and 能力。在高等教育方面，众多高校开设了机械相关专业，注重理论与实践相结合，培养学生的创新能力和工程实践能力。同时，高校与企业合作，为学生提供实习实训机会，使其更好地适应产业发展需求。在职业教育培训方面，政府和企业共同投入，开展职业技能提升行动，为机械专业人才提供继续教育和技能培训，帮助他们掌握新技术、新工艺。此外，国家还通过荣誉奖

励、绩效奖励等激励政策，鼓励机械专业人才发挥专长，为我国制造业转型升级贡献力量。在住房、医疗、文化娱乐等方面，也为机械专业人才提供了一系列服务政策，以营造良好的人才发展环境。总体来看，我国机械专业人才培养体系不断完善，政策支持力度加大，为机械行业的持续发展提供了有力的人才保障。然而，面对智能制造、绿色制造等新趋势，机械专业人才培养仍需进一步创新，以适应新时代的发展需求^[2]。

（二）机械专业人才培养存在的问题

虽然我国机械专业人才培养取得了一定成果，但仍然存在以下问题：一是人才培养与市场需求脱节。部分高校在人才培养过程中，过于注重理论教学，忽视实践教学，导致毕业生缺乏实际操作能力。此外，部分高校专业设置过于细化，毕业生知识面狭窄，难以适应企业多元化需求。二是师资力量不足。随着高校招生规模的扩大，师资队伍数量不足、结构不合理的问题日益突出。部分青年教师缺乏实际工程经验，难以胜任实践教学任务。三是产学研合作不深入。虽然高校与企业在产学研方面开展了一定合作，但合作层次较浅，难以实现资源共享、优势互补。学生在企业实习过程中，往往难以接触到核心技术和项目，实习效果不尽如人意。四是创新能力培养不足。在我国机械专业人才培养过程中，对学生创新能力的培养尚不够重视。学生在课程学习和实践环节中，缺乏独立思考和创新的机会。

三、智能制造对机械专业人才培养的新要求

（一）知识结构要求

智能制造技术的迅猛发展对机械专业人员的知识结构提出了新的要求。机械专业人才需在以下方面进行知识与技能的深化与拓展：基础理论知识的巩固是适应智能制造复杂性的前提。专业人才应深耕数学、物理、力学等基础学科，以确保能够理解并解决智能制造中的高级问题。同时，计算机科学、自动控制、电子技术等跨学科知识的学习，为智能制造技术的融合与创新提供了坚实的理论支撑。专业知识的学习与更新同样至关重要。机械专业人才需系统掌握机械设计、制造工艺、装备自动化等核心课程，并深入探究智能制造装备的原理、性能及应用。此外，紧跟增材制造、机器人技术、工业大数据等前沿领域的进展，将有助于人才构建全面的专业知识体系。跨学科能力的培养也不可或缺。掌握经济、管理、法律等相关知识，机械专业人才将能在智能制造项目中发挥更好的协调与管理作用，提升决策能力^[3]。跨学科知识的融合还能激发创新思维，拓宽专业视野，为智能制造领域带来更多可能性。

（二）能力素质要求

为了满足新时代产业发展的需求，机械专业人才需具备一系列关键能力素质以应对行业挑战。他们应具备分析与解决问题的能力，能够逻辑清晰地识别问题核心，并提出切实可行的解决方案，同时将理论知识转化为实际操作能力，以解决具体问题。团队协作与沟通能力同样重要，以便在跨领域、跨部门的智能制造项目中，与他人高效协作，推动项目顺利实施。此外，面对智能

制造技术的快速迭代，机械专业人才还需拥有终身学习的意识和能力，不断更新知识，提升专业素养，为我国智能制造的发展贡献力量。同时，他们还应坚守职业道德，遵循行业规范，确保项目的质量和安全，并以强烈的责任心提高工作积极性，为智能制造事业创造价值。

（三）创新创业能力要求

智能制造技术的不断发展，对机械专业人才的培育提出了更为新颖和严苛的标准。在此过程中，创新创业能力的重要性日益凸显，其地位也日渐上升。及时调整人才培养战略，以培养创新型人才为目标，发展和创新人才培养模式，理论与实践教学并重，强化学生的创新精神，培养满足智能时代需要的创新创业型人才^[4]。在智能化浪潮中，机械专业人才不仅需要掌握先进的技术知识，更需具备创新思维和创业精神。他们应当能够主动探索新技术、新工艺，将创新理念融入机械设计和制造过程中，推动智能制造技术的突破与应用。同时，创业能力的培养使得机械专业人才不仅限于技术层面的贡献，更能把握市场动态，将创新成果转化为实际生产力，促进产业升级和经济转型^[5]。因此，教育体系需重视培养学生的创新意识和创业技能，通过项目实践、创业竞赛等方式，激发学生的创造力，培养出一批既懂技术又具备商业洞察力的复合型机械专业人才，以适应智能制造时代的挑战。

四、智能制造背景下机械专业人才培养模式构建

（一）课程体系优化与模块化设置

机械专业的课程体系需要与时俱进，进行优化和调整。传统的课程设置往往侧重于理论知识的传授，而忽视了实际应用能力的培养。为了更好地适应智能制造的需求，课程体系应更加注重理论与实践的结合，引入模块化教学理念，模块化设置课程并整合新旧课程，明确柔性化培养方案各方向核心课程及其学分要求^[6]。将课程内容分为基础理论模块、专业技术模块、实践能力模块和创新思维模块。

基础理论模块旨在巩固学生的数理基础和专业基础知识，为后续技术学习打下坚实基础。专业技术模块则聚焦于智能制造相关的核心技术，如机器人技术、智能控制、先进制造工艺等，通过这些课程的学习，学生能够掌握智能制造领域的关键技术。实践能力模块强调学生的动手能力和问题解决能力，通过实验、实习、项目设计等环节，让学生在实操中提升技能。创新思维模块则鼓励学生进行跨学科学习，培养创新意识和设计能力，以适应智能制造对创新型人才的需求。

（二）校企合作协同育人机制构建

智能制造的快速推进，要求人才培养模式不断创新。校企合作协同育人机制正是应对这一挑战的有效策略^[7]。例如，北京航空航天大学与我国某知名机器人企业建立了深度合作关系，双方共同打造了一套特色鲜明的人才培养体系。在这个体系中，高校与企业共同研讨，实时更新课程内容，确保学生所学知识与智能制造行业的最新动态保持一致。

企业方面，不仅为学生提供了实习岗位和实训基地，让学生

在真实的智能制造环境中得到锻炼，还安排了经验丰富的工程师走进课堂，以实际工程项目为例，为学生讲解技术难题和解决方案，极大地提升了教学的实用性和吸引力。更进一步，校企合作在项目研发上也取得了显著成效。以北航为例，该校学生参与企业的一项智能生产线优化项目，通过实地调研和方案设计，不仅提升了学生的实践操作能力，还激发了他们的创新意识。学生在项目中的表现，为企业带来了新的视角和创新点，同时也为学生自身的职业发展奠定了坚实基础^[8]。

通过这种校企合作模式，学生在毕业前就已经积累了丰富的实践经验和职业技能，有效地缩短了从校园到职场的过渡期。因此，许多学生在毕业时已经具备了直接上岗的能力，成为智能制造领域炙手可热的人才。这种合作模式为我国智能制造产业的持续发展提供了强有力的人才支撑。

（三）实践教学体系改革与创新

在智能制造的时代浪潮中，机械专业人才的培养亟需与时俱进，实践教学体系的改革与创新显得尤为迫切。以能力培养为核心，实践教学体系应进行全方位的升级，涵盖实验内容、教学方法和评价机制^[9]。

提升综合性、设计性实验的比重，是培养学生应对复杂工程问题能力的有效途径。减少传统的验证性实验，转而鼓励学生主动探索，通过自主实验和创新实验的实践，学生在不断尝试、总结和提升中，培育出创新的思维和实践的技能。现代信息技术的融合，特别是虚拟现实、仿真技术的应用，为实践教学拓展了新的维度。这些技术不仅模拟了真实的工作环境，提升了教学的实效性，同时也降低了实验的成本和潜在风险。评价机制的改革同样不可或缺。传统的考试成绩评价方式已不足以全面反映学生的实践能力。新的评价体系应更加注重学生的过程表现、团队协作精神以及创新成果。通过项目式学习、问题导向学习等模式，学生在解决实际问题的过程中，不断提升自身的综合素养。

（四）综合素质与创新能力培养策略

在智能制造背景下，机械专业人才培养模式的构建尤为重

要。为适应时代发展需求，综合素质与创新能力培养成为关键环节。在这一过程中，应着重强化以下几个方面：

1. 机械专业人才需具备扎实的理论基础，包括力学、材料学、控制理论等，这是提升综合素质的前提。在此基础上，融入现代设计方法、先进制造技术等智能制造相关知识，使学生在掌握传统机械工程技能的同时，能够紧跟行业发展步伐^[10]。通过跨学科课程设置，培养学生跨领域思考的能力，拓宽视野，为创新奠定基础。

2. 注重实践能力的培养，通过校内实验室、实习基地及企业合作平台，让学生在实际操作中锻炼技能，提高解决复杂工程问题的能力。实践教学，引入项目式、案例式教学方法，引导学生主动探索，培养团队协作精神，提升综合素质。

3. 创新能力培养方面，鼓励学生参与科研项目，开展创新实验，激发学生的创新思维。通过举办创新大赛、学术沙龙等活动，为学生提供展示才华的平台，培养其敢于挑战、勇于突破的精神。同时，加强师资队伍队伍建设，引进具有企业背景的教师，将实际工程案例融入教学，提高学生的创新实践能力。

4. 强化人文素质教育，培养学生良好的道德品质和社会责任感。通过开设思政课程、企业文化讲座等，引导学生树立正确的价值观，提升职业素养。在全球化背景下，加强外语教学，提高学生的国际交流能力，为未来走向世界舞台奠定基础。

五、结束语

综合素质与创新能力培养是核心。高校应通过多元化的教育手段，培养学生的国际视野、跨文化沟通能力、团队协作精神和终身学习能力。开设跨学科课程、组织国际交流项目、举办创新竞赛等活动，都是提升学生综合素质的有效途径。同时，高校应创造一个鼓励创新、宽容失败的环境，让学生在探索中学习，在尝试中成长。

参考文献

- [1] 范同华, 姚小强. 智能制造背景下职业院校机械工程专业人才培养模式研究[J]. 职业教育, 2021, 20(23): 9-12.
- [2] 丁劲锋, 杨汉嵩. 智能制造视角下机械工程专业人才培养体系的构建——以无锡太湖学院机械工程学院为例[J]. 文化创新比较研究, 2021, 5(21): 46-48+64.
- [3] 孙小燕, 袁力, 汪江节. 智能制造背景下机械专业本科生综合素质培养与技能提升研究[J]. 池州学院学报, 2022, 36(03): 109-111.DOI: 10.13420/j.cnki.jczu.2022.03.027.
- [4] 邱思维. 智能制造背景下高职机械制造专业人才培养模式改革研究[J]. 造纸装备及材料, 2022, 51(11): 248-250.
- [5] 陈佰江. 企业智能化改造背景下机械专业人才培养体系优化研究[J]. 装备制造技术, 2021, (10): 142-145.
- [6] 金鸿, 吕盛坪. 面向智能制造的机械工程专业人才培养模式探索[J]. 教育教学论坛, 2022, (44): 176-179.
- [7] 袁新梅, 黄天成, 华剑. 智能制造背景下地方高校机械专业大学生创新创业教育研究[J]. 中国现代教育装备, 2021, (13): 134-136.DOI: 10.13492/j.cnki.cmee.2021.13.043.
- [8] 高森, 陈帆, 杨帆, 等. 智能制造背景下的高职机械制造与自动化专业人才培养研究[J]. 武汉工程职业技术学院学报, 2021, 33(01): 88-91.
- [9] 王晓瑶. 智能制造背景下机械设计专业人才培养模式改革的困境与对策研究[J]. 科技视界, 2021, (06): 174-175.DOI: 10.19694/j.cnki.issn2095-2457.2021.06.72.
- [10] 张卫芬, 李永梅, 董祥国, 等. 智能制造背景下机械工程专业课程体系信息化改造[J]. 无线互联科技, 2020, 17(21): 157-159.

探究提高机械数控加工技术水平的有效对策

叶红庆, 施梁
金华市技师学院, 浙江 金华 321300

摘 要： 随着工业自动化和智能制造的快速发展，机械数控加工技术在提高生产效率和产品质量方面发挥着越来越重要的作用。然而，当前我国在数控加工技术方面仍存在一些问題，如加工精度不高、设备利用率低、操作人员技能水平参差不齐等。基于此，为了有效提升机械数控加工技术水平，本文首先分析了机械数控加工技术的研究与应用现状，阐述了提升机械数控加工技术水平的重要性，并针对实际提升技术水平中遇到的问题，提出了相应的优化策略，包括加强数控机床的精度校准和维护工作；引入先进的数控系统和智能化技术等手段，通过这些措施的实施，可以有效提高我国机械数控加工的整体技术水平，进而推动制造业的高质量发展。

关 键 词： 提高；机械数控；加工技术水平

Explore the Effective Countermeasures to Improve the Level of Mechanical CNC Machining Technology

Ye Hongqing, Shi Liang
Jinhua City Technician College, Jinhua, Zhejiang 321300

Abstract： With the rapid development of industrial automation and intelligent manufacturing, mechanical CNC processing technology is playing an increasingly important role in improving production efficiency and product quality. However, there are still some problems in CNC machining technology in China, such as low machining accuracy, low equipment utilization rate, and uneven skill level of operators. Based on this, in order to effectively improve the level of CNC machining technology, this paper first analyzes the research and application of CNC machining technology, expounds the importance of the improvement of CNC machining technology level, and put forward the problems, the corresponding optimization strategy, including strengthening the accuracy of CNC machine calibration and maintenance work; introduce advanced CNC system and intelligent technology, through the implementation of these measures, can effectively improve the overall technical level of CNC machining in China, and then promote the high-quality development of manufacturing industry.

Keywords： improvement; mechanical numerical control; machining technology level

引言

目前，我国正处于社会经济高速发展时期，国民经济实力不断增强，尤其是科学技术方面的成就更是令世界瞩目。在此背景下，机械行业作为国民经济的支柱产业之一，其整体发展水平得到了显著提升，并逐步向着智能化和自动化方向发展，对机械数控加工技术的应用提出越来越高的要求。机械数控加工技术以计算机为基础，结合现代工艺理论与制造技术，实现对各种机械零件和构件的加工处理，提高了加工精度，有效保证了产品质量。因此，要想推动我国制造业的快速发展，就必须提升数控加工技术水平，保证产品性能满足用户需求。

一、机械数控加工技术概述与研究现状

（一）数控加工技术的基本原理

数控加工技术的基本原理是通过数字化的指令来控制机床的运动和加工过程。这些指令通常由计算机辅助设计（CAD）软件生成，并通过计算机辅助制造（CAM）软件进行处理和优化。加工

指令被转换成数控机床能够理解的代码，如 G 代码和 M 代码，这些代码指导机床的运动轨迹、速度、切削深度等参数。数控机床的核心是数控系统，它能够精确地控制机床的各个轴向运动。现代数控系统通常具备高速处理能力和高精度定位功能，能够实现复杂形状零件的精确加工。随着技术的发展，数控系统还集成了更多的智能化功能，如自适应控制、故障诊断和预测性维护等^[1]。

作者简介：叶红庆（1984.9-），男，汉族，湖北枣阳，本科，一级教师，研究方向：数控加工专业教育教学研究。

（二）机械数控加工技术国内外差异

在机械数控加工技术领域，国内外存在一定的差异。发达国家如德国、日本和美国在数控机床的设计、制造和应用方面处于领先地位，他们拥有先进的数控系统、高精度的机床结构和成熟的加工工艺。这些国家的数控机床不仅精度高、稳定性好，而且在智能化、网络化方面也取得了显著进展，能够实现远程监控和故障诊断。相比之下，中国虽然在数控技术方面取得了长足的进步，但在高端数控机床和核心功能部件的研发制造方面仍有一定差距。国内数控机床的市场占有率虽然较高，但高端市场仍被国外品牌占据。此外，国内企业在数控系统的自主开发能力、数控机床的可靠性，以及精密加工技术等方面还需进一步提升。为了缩小这些差异，中国正加大研发投入，推动数控技术的自主创新，同时加强与国际先进企业的合作交流，引进吸收先进技术，培养高技能人才，以期在不久的将来实现数控加工技术的跨越式发展^[2]。

（三）机械数控加工技术未来发展方向

在研究方面，数控加工技术正朝着更高精度、更高效率和更智能化的方向发展。多轴联动加工、高速切削、干式加工和微细加工等技术不断成熟，使得复杂零件的加工变得更加高效和精确。同时，随着工业4.0和智能制造的推进，数控加工技术正与物联网、大数据分析和人工智能等技术融合，实现生产过程的智能化和自动化。此外，研究者们也在不断探索新的材料加工方法，如激光加工、电火花加工和超声波加工等，这些技术在特定领域内提供了传统数控加工无法比拟的优势。同时，为了提高加工效率和降低能耗，绿色制造和可持续制造的理念也被越来越多地融入数控加工技术的研究与应用中。

二、提高机械数控加工技术水平的重要性

（一）提升生产效率与精度

在机械产品的生产和加工中，数控加工技术可以广泛应用于相关的设备零件、模具和零件。在生产过程中，采用这种方法可以提高机器产品的生产效率和精度，并且可以减少生产成本。随着数控技术在机械产品生产中的应用越来越多，它可以对整个生产过程进行全面的控制，并根据预定的步骤进行相关的操作，从而将人为因素带来的不利影响排除在外，避免了人为因素带来的不良影响。此外，数控技术还具备自动化程度较高的优势，且能够针对产品的外形尺寸、工艺要求以及材料性质等进行全面分析，从而制定出更为合理的加工方案。与此同时，在数控技术的应用下，还能对刀具轨迹进行精确控制，使其更加符合实际情况^[3]。

（二）降低材料与能源消耗

在对机械数控加工的过程中，往往会产生大量的废屑、废液以及废气等污染物。这些污染物如果不能得到及时处理的话，就会对环境造成严重的污染。而在机械加工数控技术的应用下，不仅可以将能源与材料进行有效利用，还能够减少各种污染物的排放。同时，数控技术也可以实现切削刀具的自动更换，从而降低能耗和生产成本。对于企业来说，节能减排是一个非常重要的内

容，而数控技术恰好可以帮助企业达到这一目的^[4]。

（三）增强产品竞争力与创新能力

随着我国市场经济的发展，竞争日益激烈，市场对于企业产品质量与生产效率等方面提出了更高的要求。在此背景下，科技工作者必须持续提升机器的数控加工技能，以提升产品的市场竞争力和创新能力，提高企业的竞争能力。尤其是数控系统功能和参数的优化设计、加工工艺的制定、切削加工速度的确定等内容，都需要专业技术人员的参与与指导。通过对机床数控工艺进行革新研究，可以实现机床的全方位和多样化。这既可以加速新产品的研发，又可以增强企业的核心竞争能力，使公司获得更大的经济效益^[5]。

（四）促进制造业自动化与智能化发展

随着我国社会经济的快速发展，工业产品的品种与数量也在不断增加。而为了满足市场需求，就必须对各种类型、规格的机械零部件进行加工制造。但是由于传统手工加工技术的精度和效率不高，难以适应大批量生产的需要，因此应用机械数控加工技术来代替手工加工可以有效提升加工质量与效率。与此同时，借助机械数控加工技术，还能为企业节省大量人力成本，使其更加注重于研发技术先进、性能优良的机械设备，进而推动制造业向自动化与智能化方向发展^[6]。

三、提高机械数控加工技术水平中的难点

（一）高精度加工技术的挑战

高精度加工技术是当前我国机械加工行业发展过程中最为关注的一个重点内容，这项技术的应用可以在一定程度上提升整体设备的质量和性能。然而，就当前的状况而言，国内的高精度加工技术虽已有所成就，但在实际应用中仍有许多不足之处。例如，有些数控机床的技术不能适应生产的需要，从而在实际运行中产生了许多问题，并对整个生产过程造成了一定的影响。此外，有些企业为节约成本，采购品质较差的数控设备，既不能适应市场需求，又不能实现其应有的价值。上述问题已成为制约高精密切削技术发展的瓶颈，因此必须要对其加以重视。

（二）复杂零件加工中的误差控制

复杂零件在进行加工的过程中，通常会涉及到比较多的加工程序。在加工的过程中，由于各种因素的影响，往往很难控制住各个工序之间的误差，甚至还会出现多次重复加工的现象。一旦工件精度没有达到要求，就必须对整个零件进行返工，这不仅降低了生产效率，同时也增加了企业成本支出。因此，为了更好地提升机械数控加工技术水平，必须要加强对复杂零件加工中误差的控制。

（三）数控编程与仿真技术的优化难题

数控编程技术和仿真技术是当前机械数控加工技术中较为重要的组成部分，因此，在机械加工过程中需要加强对这两项技术的应用与优化。然而，目前国内许多企业在数控编程技术的研究与仿真工作方面并未引起足够的关注，仅凭经验来进行数控编程，难以适应市场的需要。此外，在加工过程中，若在加工过程

中碰到工件表面的微小偏差，将严重影响产品的整体性能，严重时甚至会造成产品的报废。从以上分析可以看出，由于数控系统的不完善和编程人员的技能水平不高，使得数控编程技术在实际应用中不能发挥应有的作用。因此，为了更好地解决这些问题，必须要建立相应的数据库系统，从而使数控技术更加智能化，以提高数控加工效率^[7]。

（四）高效刀具选择与切削参数的确定难点

高效切削刀具的选择和切削参数的确定是决定加工质量与生产成本的关键。在实际的机械数控加工中，由于多种因素的影响，造成了优化切削参数存在一定的难点。例如，几何精度、刀具材料性能、刀具结构特征等。这些问题直接导致了数控机床本身无法达到最佳的切削条件，进而影响了加工产品的质量。因此，必须对其进行科学分析与合理控制，以保证切削过程中的各项参数符合要求，为数控机床发挥作用奠定良好基础。

四、提高机械数控加工技术水平有效对策

（一）采用温度补偿技术，实时调整加工参数

数控机床加工过程中，切削液的温度会受到主轴转速、工件材料、刀具类型以及工件位置等因素的影响。因此，为了保证数控加工质量和精度，应根据实际情况对切削液温度进行调整，从而有效提高数控加工技术水平。同时，还可以采用温度补偿技术，以确保加工参数能够实时调整，从而更好地满足机械数控加工要求。具体而言，在加工前，可将加工速度设置为90%左右，然后使用恒温装置控制切削液温度，之后再对其进行检测。如果切削液温度过高或过低，则应及时调整加工速度；反之，则无需改变切削液温度。这样不仅可以节省大量成本，而且可以显著提高机械生产效率^[8]。

（二）采用模块化加工方法，简化流程

在机床的数控加工中，设计者应运用模块化的思想，合理地划分加工工序。例如：将零件加工、组装、检测等各个环节划分成若干大的模块，并制定了相关的管理体系；这样做一方面，有利于各利益相关者的配合与配合；另外，可以减少制造成本，增加生产率。此外，在机械数控加工中，还可将一些重复性工作交由机器人来完成，这样不仅能够节省大量时间，还能有效提升工件质量，使其满足标准要求。因此，相关工作人员应加强技术创

新，积极引进先进设备，切实发挥数控机床作用，保证其稳定运行。此外，还要充分认识到计算机网络技术在机械数控加工中的重要性，为后续工作的开展奠定良好基础^[9]。

（三）采用参数化编程和宏程序技术，提高编程效率

在机械加工领域中，数控编程是保证加工质量和效率的关键。所以要想提高机械加工水平，就必须重视对数控加工编程技术的研究与应用。目前，我国很多企业已经意识到了数控编程的重要性，并投入大量资金来开发数控编程软件系统，希望通过该系统有效提升编程效率，提高产品生产效率。但是从实际情况来看，这类系统存在着一些缺陷，比如：功能不够完善、操作界面较为复杂等，这些都会影响编程的准确性和高效性。基于此，为了更好地满足市场需求，提高经济效益，企业可以采用参数化编程技术，通过合理利用数学公式和数据关系来进行编程。此外，还可以借助宏程序技术来提高编程的效率，这样不仅可以降低编程难度，而且能够减少编程错误，从而达到优化编程效果的目的^[10]。

（四）定期维护和更换刀具，以保持加工性能

在机械加工生产之前，企业应对有关设备进行认真的检验，以避免由于零件质量不达标而导致的工具损伤。此外，对一些特定的部件，也要采取相应的措施，例如，对一些具有较大硬度和耐热性较低的特种材质制作的刀具，要采取更加先进的冷却方法，以保证其工作性能的最大化。同时，还需要对数控机床的设备进行定期的维修，及时地更换工具和润滑油，这样才能保证机器的加工性能，减少意外的产生，避免不必要的经济损失。

五、结语

综上所述，机械数控加工技术的提升是一个系统工程，需要从多个方面入手，综合考虑技术、管理和人员等多方面因素。通过采用温度补偿技术、模块化加工方法、参数化编程和宏程序技术，以及定期维护和更换刀具等措施，可以有效提高数控机床的加工精度和生产效率，降低生产成本。同时，企业应不断加强技术创新，引进先进设备，提升数控编程软件系统的功能和操作界面的友好性，以适应市场的需求变化。只有这样，才能在激烈的市场竞争中保持优势，实现可持续发展。未来，随着科技的不断进步，机械数控加工技术将更加智能化、高效化，为制造业的发展注入新的活力。

参考文献

[1] 祁豪. 提高机械数控加工技术水平的有效策略 [J]. 数字技术与应用, 2021, 39(08): 7-9. DOI: 10.19695/j.cnki.cn12-1369.2021.08.03.
[2] 金韬哲. 浅谈提高机械数控加工技术水平的有效策略 [J]. 河北农机, 2021, (08): 126-127. DOI: 10.15989/j.cnki.hbnjzss.2021.08.063.
[3] 叶小磊. 提高机械数控加工技术水平的有效路径浅析 [J]. 时代汽车, 2021, (12): 13-14.
[4] 许新伟. 论提高机械数控加工技术水平的有效策略 [J]. 中国设备工程, 2021, (09): 219-221.
[5] 吴进扬. 提高机械数控加工技术水平的有效策略 [J]. 科技风, 2021, (10): 189-190. DOI: 10.19392/j.cnki.1671-7341.202110090.
[6] 姜成君. 机械数控加工编程技术研究 [J]. 中国金属通报, 2023, (07): 92-94.
[7] 杨万泽. 数控编程与加工技术课程教学改革策略研究 [J]. 造纸装备及材料, 2024, 53(04): 240-242.
[8] 张瑞湖. 复杂工件数控加工技术及其优化措施研究 [J]. 造纸装备及材料, 2023, 52(03): 117-119.
[9] 汪洋. 数控加工技术在机械加工制造中的应用研究 [J]. 造纸装备及材料, 2023, 52(02): 114-116.
[10] 马俊敏, 梅运东, 刘靖, 等. 新时期机械数控加工编程技术与应用研究 [J]. 造纸装备及材料, 2023, 52(01): 114-116.

生物强化技术在水污染治理中的应用实践分析

高燕, 金朝阳, 刘瑾, 颜子钦

武汉市生态环境保护局江岸区生态环境监测站, 湖北 武汉 430000

摘要： 随着水污染问题的日益严重，生物强化技术作为一种高效、环保的水污染治理方法，受到了广泛关注。本文详细阐述了生物强化技术的概念、原理及分类，深入分析了其在水污染治理中的应用实践。同时，探讨了生物强化技术在应用中面临的挑战，并对其未来发展趋势进行了展望，旨在为水污染治理提供新的思路和方法。

关键词： 生物强化技术；水污染治理；应用实践

Analysis of the Application Practice of Bioaugmentation Technology in Water Pollution Control

Gao Yan, Jin Zhaoyang, Liu Jin, Yan Ziqin

Jiang'an District Ecological Environment Monitoring Station, Wuhan Ecological Environment Protection Bureau, Wuhan, Hubei 430000

Abstract： With the increasingly serious problem of water pollution, bioaugmentation technology, as an efficient and environmentally friendly method of water pollution control, has received widespread attention. This article elaborates on the concept, principles, and classification of bioaugmentation technology and provides an in-depth analysis of its application practices in water pollution control. Simultaneously, it explores the challenges faced by bioaugmentation technology in its application and provides an outlook on its future development trends, aiming to offer new ideas and methods for water pollution control.

Keywords： bioaugmentation technology; water pollution control; application practice

绪论

随着工业化、城市化进程的加速以及农业生产中化肥农药的大量使用，水污染问题日益严重。传统的水污染治理方法如物理法和化学法虽然在一定程度上能够去除水中的污染物，但存在成本高、易产生二次污染等问题^[1]。生物强化技术作为一种新兴的水污染治理方法，利用特定的微生物或酶来增强水体中原有微生物的代谢能力，从而提高对污染物的去除效率，具有高效、环保、成本低等优点，在水污染治理中具有广阔的应用前景。

一、生物强化技术的概念、原理及分类

1. 概念

生物强化技术是指通过向受污染的环境中引入具有特定功能的微生物、酶或基因工程菌等生物制剂，以增强原有微生物群落的代谢能力，提高对污染物的去除效率的一种技术。

2. 原理

生物强化技术的原理主要包括以下几个方面：增加微生物的数量和种类：通过引入特定的微生物，可以增加水体中微生物的数量和种类，提高微生物群落的多样性，从而增强对不同污染物的降解能力。提高微生物的代谢活性：某些微生物具有高效的代谢酶系统，能够快速降解特定的污染物。引入这些微生物可以提

高水体中原有微生物的代谢活性，加速污染物的降解。促进共代谢作用：一些难降解的污染物需要在特定的微生物群落中通过共代谢作用才能被降解。生物强化技术可以引入能够促进共代谢作用的微生物，提高对难降解污染物的去除效率。

3. 分类

投加高效微生物是生物强化技术中最常用的方法之一，具有高效的代谢能力，能够快速降解特定的污染物。酶制剂是一种具有高效催化作用的生物催化剂。投加酶制剂可以提高水体中原有微生物对污染物的降解速度，特别是对于一些难降解的污染物，酶制剂的作用更为显著。基因工程菌是通过基因工程技术将特定的基因导入到微生物中，使其具有特定的功能。基因工程菌具有高效、专一的降解能力，但由于其安全性问题，目前在实际应用

作者简介：高燕（1974.5-），女，汉族，湖北武汉，硕士研究生，正高，主要研究方向：生态环境保护。

中还存在一定的限制。

二、生物强化技术在实际应用中面临的挑战

1. 微生物的适应性问题

引入的微生物在新的环境中可能面临适应性问题，如生存能力差、代谢活性低等。这可能导致生物强化技术的效果不理想。因此，在应用生物强化技术时，需要选择适应能力强的微生物，并采取适当的措施提高微生物的适应性^[2]。

2. 微生物的安全性问题

基因工程菌等新型生物制剂的安全性问题一直备受关注。虽然基因工程菌具有高效的降解能力，但由于其可能对环境和人类健康造成潜在风险，目前在实际应用中还存在一定的限制。因此，在应用生物强化技术时，需要加强对微生物的安全性评估，确保其不会对环境和人类健康造成危害。

3. 技术成本问题

生物强化技术的成本主要包括微生物菌剂的购买费用、投加费用、运行维护费用等。与传统的水污染治理方法相比，生物强化技术的成本可能较高，这可能限制其在一些地区的应用。因此，在应用生物强化技术时，需要降低技术成本，提高其经济可行性。

4. 技术稳定性问题

生物强化技术的效果受到多种因素的影响，如微生物的种类和数量、环境条件、水质特征等。因此，在应用生物强化技术时，需要加强技术稳定性研究，提高其处理效果的稳定性和可靠性^[3]。

三、处理生物强化技术应用挑战的具体措施

1. 适应性问题处理对策

在选择用于生物强化的微生物时，应进行广泛的筛选工作。可以从受污染水体的本土微生物中筛选出具有较强适应能力和降解能力的菌株。这些本土微生物经过长期的自然选择，对当地的环境条件具有一定的适应性。同时，也可以从其他类似环境中筛选出具有特定功能的微生物，通过基因工程等手段进行改良，提高其适应能力。为了提高引入微生物的适应性，可以对受污染水体的环境条件进行优化。例如，通过调节 pH 值、温度、盐度等因素，使其更接近微生物的适宜生长条件。同时，可以添加适量的营养物质，如碳源、氮源、磷源等，为微生物的生长提供充足的营养。在引入微生物之前，可以先将其在模拟受污染水体环境的条件下进行逐步驯化。通过逐渐增加环境中的污染物浓度或其他不利因素，使微生物逐渐适应新的环境。这样可以提高微生物在实际应用中的生存能力和代谢活性^[4]。

2. 微生物的安全性问题处理对策

在应用生物强化技术之前，应进行严格的安全性评估。包括对引入的微生物进行全面的生物学特性分析，评估其对环境和人类健康的潜在风险。同时，应建立完善的监测体系，对应用生物

强化技术后的水体进行长期监测，及时发现和处理可能出现的安全问题。为了防止基因工程菌等新型生物制剂的扩散，可以采取一系列措施。例如，在应用过程中可以采用封闭的反应器或固定化技术，将微生物限制在特定的区域内。同时，可以加强对污水处理设施的管理，防止微生物通过污水排放等途径进入自然环境。应加大对安全可靠的生物制剂的研发力度。例如，开发具有特定功能但不会对环境和人类健康造成危害的天然微生物制剂。同时，可以通过基因编辑等技术，对微生物进行精确改造，去除可能存在的安全隐患。

3. 技术成本问题处理对策

为了降低微生物菌剂的成本，可以从以下几个方面入手。一是加大对微生物菌剂研发的投入，提高生产效率，降低生产成本。二是开发低成本的微生物菌剂生产技术，如利用废弃物作为原料进行发酵生产等。三是建立微生物菌剂的规模化生产体系，通过批量生产降低成本。在投加微生物菌剂时，可以采用优化的投加方式，降低投加费用。例如，可以根据受污染水体的特点和治理目标，确定最佳的投加剂量和投加时间。同时，可以采用定点投加、缓释投加等方式，提高微生物菌剂的利用效率，减少浪费。为了降低生物强化技术的运行维护成本，可以加强对设备的管理和维护，延长设备的使用寿命。同时，可以采用智能化的监测和控制系统，提高运行效率，降低人力成本。此外，可以与其他水污染治理技术相结合，实现协同治理，降低总体成本^[5]。

4. 技术稳定性问题处理对策

为了提高生物强化技术的稳定性，可以优化微生物群落结构。通过引入多种具有不同功能的微生物，形成稳定的微生物群落，提高对不同污染物的降解能力和适应能力。同时，可以通过调节微生物群落的比例和相互作用关系，提高群落的稳定性和抗干扰能力。为了保证生物强化技术的稳定运行，需要建立稳定的运行条件。例如，控制温度、pH 值、溶解氧等环境因素在适宜的范围内，确保微生物的生长和代谢正常进行。同时，应定期监测水质变化，及时调整运行参数，保证处理效果的稳定性。为了提高生物强化技术的稳定性，需要加强技术创新。例如，开发新型的固定化技术，将微生物固定在载体上，提高微生物的稳定性和抗干扰能力。同时，可以利用生物技术手段，对微生物进行改造，提高其对环境因素的适应能力和降解能力。

四、生物强化技术在水污染治理中的应用实践

1. 生活污水治理中的应用

生活污水中含有大量的有机物，如蛋白质、碳水化合物、脂肪等。生物强化技术可以通过投加高效微生物或酶制剂，提高对有机物的去除效率。生活污水中的氮和磷是导致水体富营养化的主要因素之一。生物强化技术可以通过投加具有脱氮除磷功能的微生物，如硝化细菌、反硝化细菌、聚磷菌等，提高对氮和磷的去除效率。这些微生物可以将氮和磷转化为氮气和磷酸盐等无害物质，从而减少水体富营养化的风险。

生物强化技术可以通过投加具有杀菌功能的微生物，如噬

菌体、芽孢杆菌等，去除污水中的病原菌，提高污水的卫生安全性。

2. 工业废水治理中的应用

印染废水含有大量的染料、助剂等有机物，以及重金属离子等污染物，具有色度高、毒性大、难降解等特点。生物强化技术可以通过投加高效微生物或酶制剂，提高对印染废水的处理效果。例如，一些白腐真菌、假单胞菌等微生物具有高效的降解染料的能力，可以将染料分解为无害物质。

制药废水含有大量的有机物、抗生素、重金属离子等污染物，具有成分复杂、毒性大、难降解等特点。生物强化技术可以通过投加具有降解抗生素功能的微生物，如假单胞菌、芽孢杆菌等，提高对制药废水的处理效果。同时，还可以通过投加具有吸附重金属离子功能的微生物，如酵母、霉菌等，去除废水中的重金属离子^[6]。

化工废水含有大量的有机物、重金属离子、有毒有害物质等污染物，具有成分复杂、毒性大、难降解等特点。生物强化技术可以通过投加具有降解特定有机物功能的微生物，如假单胞菌、芽孢杆菌等，提高对化工废水的处理效果。同时，还可以通过投加具有吸附重金属离子功能的微生物，如酵母、霉菌等，去除废水中的重金属离子。

3. 受污染河流湖泊治理中的应用

受污染的河流湖泊中，水体生态系统遭到破坏，生物多样性减少。生物强化技术可以通过投加具有修复水体生态系统功能的微生物，如光合细菌、硝化细菌、反硝化细菌等，提高水体的自净能力，修复水体生态系统^[7]。

受污染的河流湖泊中，藻类大量繁殖，导致水体富营养化。生物强化技术可以通过投加具有抑制藻类生长功能的微生物，如芽孢杆菌、假单胞菌等，去除藻类，减少水体富营养化的风险。

受污染的河流湖泊中，底泥中含有大量的污染物，如有机物、重金属离子等。生物强化技术可以通过投加具有降解底泥污染物功能的微生物，如芽孢杆菌、假单胞菌等，提高底泥的自净

能力，去除底泥中的污染物^[8]。

4. 生物强化技术的未来发展趋势

随着生物技术的不断发展，新型生物制剂的研发将成为生物强化技术的一个重要发展方向。例如，利用基因工程技术改造微生物，使其具有更高的降解能力和适应性；开发新型酶制剂，提高对难降解污染物的降解速度；研究生物膜技术，提高微生物的固定化效率等。生物强化技术可以与其他水污染治理技术联合应用，提高处理效果。例如，生物强化技术与物理法、化学法联合应用，可以实现对不同污染物的协同去除；生物强化技术与生态修复技术联合应用，可以实现对受污染水体的生态修复。随着信息技术的不断发展，生物强化技术的智能化应用将成为未来的一个发展趋势^[9]。例如，利用传感器技术实时监测水体中的污染物浓度和微生物群落结构，根据监测结果自动调整生物强化技术的参数；利用人工智能技术优化生物强化技术的运行管理，提高处理效果和运行效率。随着人们对环境安全问题的关注度不断提高，生物强化技术的环境安全性评估将成为未来的一个重要研究方向。需要建立完善的环境安全性评估体系，对生物强化技术的安全性进行全面评估，确保其不会对环境 and 人类健康造成危害^[10]。

五、结束语

生物强化技术作为一种高效、环保的水污染治理方法，在生活污水、工业废水及受污染河流湖泊治理中具有广阔的应用前景。通过投加高效微生物、酶制剂或基因工程菌等生物制剂，可以增强水体中原有微生物的代谢能力，提高对污染物的去除效率。然而，生物强化技术在应用中也面临着微生物的适应性、安全性、成本和技术稳定性等问题。必须要加强新型生物制剂的研发、多技术联合应用、智能化应用和环境安全性评估等方面的研究，不断完善生物强化技术，为水污染治理提供更加有效的技术支持。

参考文献

- [1] 桑海涛. 生物强化技术在水污染治理中的应用分析 [J]. 绿色视野, 2023, (10): 42-45.
- [2] 韩晶晶. 生物强化技术用于水污染治理的实践研究 [J]. 科技资讯, 2023, 21(12): 153-156.
- [3] 陈梅. 生物强化技术在水污染治理中的应用研究 [J]. 山西化工, 2023, 43(05): 126-128.
- [4] 朱文博. 生物强化技术在水污染治理中的运用分析 [J]. 皮革制作与环保科技, 2021, 2(07): 101-103.
- [5] 廖芸. 生物强化技术及其在水污染治理中的运用分析 [J]. 低碳世界, 2020, 10(02): 18-19.
- [6] 袁信, 连晓雯, 邓莎. 生物强化技术及其在水污染治理中的应用分析 [J]. 环境与发展, 2019, 31(02): 79+81.
- [7] 朱晓明. 生物强化技术及其在水污染治理中的应用 [J]. 环境与发展, 2020, 32 (04): 119+121.
- [8] 陈燕华. 水污染治理中生物强化技术的应用研究 [J]. 中国资源综合利用, 2020, 38(01): 194-196.
- [9] 陈小妹. 水污染治理中生物强化技术的应用研究 [J]. 环境与发展, 2019, 31 (08): 95-96.
- [10] 李坤. 生物强化技术的特性及水污染治理工艺研究 [J]. 山西农经, 2019, (13): 91-92.

工程机械电气自动化系统的能效优化与控制策略

盛庆祝¹, 程刚², 张鹤³

1. 身份证号: 220283198204159216

2. 身份证号: 22010419840527691X

3. 身份证号: 220106198503281213

摘要: 工程机械电气自动化系统的未来将由技术创新主导, 主要涉及智能化、电动化、远程控制、服务化、模块化、数据驱动和国际市场拓展。这些进步将提升设备性能和效率, 促进行业可持续发展。智能化使机械能自主执行任务, 提高安全和减少环境影响。电动化减少化石燃料依赖, 降低排放。远程控制提高操作灵活性和精确性。服务化和后市场为企业提供新增长点。模块化满足多样化需求。数据驱动的预测性维护优化运营效率。国际市场拓展增强中国品牌全球影响力。这些趋势将塑造一个高效、环保、智能的行业。

关键词: 智能化; 电动化; 远程控制; 服务化; 国际市场拓展

Energy Efficiency Optimization and Control Strategies for Electrical Automation Systems in Construction Machinery

Sheng Qingzhu¹, Cheng Gang², Zhang He³

1. ID: 220283198204159216

2. ID: 22010419840527691X

3. ID: 220106198503281213

Abstract: The future of electrical automation systems in construction machinery will be dominated by technological innovations, mainly involving intelligence, electrification, remote control, servitization, modularization, data-driven approaches, and international market expansion. These advancements will enhance equipment performance and efficiency, promoting sustainable development in the industry. Intelligence enables machinery to perform tasks autonomously, improving safety and reducing environmental impact. Electrification reduces dependence on fossil fuels and lowers emissions. Remote control enhances operational flexibility and precision. Servitization and aftermarket services provide new growth opportunities for enterprises. Modularization meets diverse needs. Data-driven predictive maintenance optimizes operational efficiency. International market expansion enhances the global influence of Chinese brands. These trends will shape an efficient, environmentally friendly, and intelligent industry.

Keywords: intelligence; electrification; remote control; servitization; international market expansion

一、现有技术与挑战

工程机械电气自动化系统在提高生产效率、降低能耗、提升安全性等方面展现出巨大潜力^[1]。通过引入先进的控制系统和传感技术, 工程机械设备能够实现更加精准和高效的操作^[2]。自动化系统通过即时监测和反馈, 能够实时调整设备运行参数, 优化生产流程, 从而大幅度缩短生产周期。这种精细化的生产管理不仅提高了工程机械设备的整体运行效能, 也降低了生产过程中的人为错误和浪费, 为企业创造了显著的经济效益^[3]。然而, 尽管自动化技术在工程机械电气领域取得了显著进展, 但仍然存在技术瓶颈需要克服。自动化系统的复杂性和精密度导致了设备维护和故障排除的难度增加, 需要更高水平的技术支持和专业知识。不同制造商之间的标准不一致、设备间通信协议的差异等问题, 使得系统集成变得复杂困难, 限制了自动化技术的推广应用^[4]。

二、技术瓶颈与人机协同

技术瓶颈是工程机械电气自动化系统面临的主要挑战之一^[5]。

老旧的电气系统由于缺乏现代化的自动化组件, 导致效率低下, 且难以满足现代电气工程对于数据处理和实时响应的高要求。此外, 人机协同也成为新的问题。工人需要适应与自动化系统的密切合作, 但现有的培训和教育体系并未充分配备工人具备与自动化系统良好互动的能力^{[6][7]}。对于某些复杂任务, 机械设备与人的协同工作仍面临相互理解、沟通和协调的问题。这些问题的存在, 要求我们在推动技术进步的同时, 也要注重人员的培训和教育, 以及系统设计的人性化和兼容性^[8]。

三、能效优化的关键技术

在工程机械电气自动化系统中, 能效优化是实现可持续发展的关键^[9]。技术层面上, 能源回收与利用的方法和效率的提升显著^[10]。例如, 通过液压蓄能器的负载压力适应型自动怠速系统, 能够根据实际负载变化自动调整怠速, 减少无效能耗, 提高整体能效。这种系统通过 AMESim-MATLAB/Simulink 联合仿真模型的研究, 表明新型自动怠速分段控制策略可行, 且分段控制效果明显^[11]。

此外, 电液能量回收系统与智能传感器的结合, 能够实现能量回收过程的精确控制和优化^[12]。智能传感器技术可以实时监测设备状态和环境参数, 为能量回收系统提供准确的数据支持, 从而提高能量回收效率。全数字控制与物联网技术的应用, 如无线传感器网络, 可以实现设备间的互联互通, 通过收集和分析大量数据, 实现设备的远程监控和智能维护, 进一步降低能耗^[13]。

机器学习和深度学习技术在系统建模和预测方面展现出巨大潜力。通过利用这些技术对历史数据进行分析, 可以预测设备运行状态和能耗趋势, 从而实现更精确的能效优化^[14]。例如, 构建预测模型可以预测设备在不同工况下的能耗, 为操作者提供节能操作建议。

四、控制策略的创新

1. 智能控制与机器学习集成

智能控制技术通过集成机器学习算法, 能够显著提高系统自适应、优化性能、增强决策能力, 以及提升系统对未知环境的适应性与稳健性^[15]。例如, 在自动驾驶领域, 深度学习模型可以处理多个传感器数据, 实现复杂环境理解, 提供精确控制策略。机器学习模型能够从大量数据中学习模式和决策策略, 对于设计复杂系统的控制策略至关重要。在智能电网调度中, 深度学习模型预测能源需求和价格变化, 实时优化电网的能源分配策略, 提高效率和降低成本。深度强化学习 (DRL) 为控制系统的自适应优化提供了新方案, 通过与环境交互, 自主学习最优决策^[16]。这种结合在智能制造、智能交通、机器人技术等领域展现了巨大潜力, 推动了数十万亿工业、服务业的进一步升级。

2. 数据驱动的控制策略

数据驱动的控制策略通过大数据分析技术, 对生产过程中的数据进行深度分析, 发现能效问题和优化机会, 为决策提供数据支持^[17]。例如, 通过供应链管理和协同优化, 实现生产计划、物料采购、生产工艺等各个环节的能效优化。精益生产等管理方法的运用, 优化生产流程, 消除浪费和不必要的能源消耗。基于产业互联网平台, 实现机械制造自动化系统与其他产业的跨界合作和资源共享, 优化能源利用效率和生产效率。共享经济模式的建立, 通过共享资源和设备, 实现资源的最大化利用, 降低能源成本和生产成本。这些策略不仅提高了生产效率和产品质量, 还最大限度地降低了能源消耗和生产成本, 为企业可持续发展提供了重要支持。

五、系统集成与优化

1. 系统集成的实施与效果

系统集成技术在工程机械电气自动化系统中的实施, 涉及将不同的硬件、软件、网络设备以及传感器等技术要素进行有效整合, 以形成一个协调一致、高效运作的整体^[18]。例如, 通过集成 PLC 控制系统、传感器网络和 SCADA 系统, 可以实现对工程机械的实时监控和远程控制。根据《系统集成技术的评估和优化》, 系统集成的评估包括系统稳定性、效率、可维护性、集成度和安全性等多个方面。优化则涉及系统架构、代码、兼容性、安全性和用户体验等方面。在实际案例中, 如某大型制造企业通过系

统集成, 实现了生产管理系统与 ERP、CRM 和物流系统的无缝对接, 提高了生产效率和数据准确性, 减少了人为错误和响应时间, 从而显著提升了整体运营效能^[19]。

2. 系统集成的挑战与解决方案

在系统集成过程中, 面临的挑战包括技术兼容性、数据一致性、系统安全性和维护复杂性等。为了解决这些挑战, 企业需要采取一系列措施。首先, 进行详尽的需求分析, 确保系统集成方案能够满足企业的实际需求。其次, 采用模块化设计, 使得系统更加灵活, 便于未来的扩展和维护。此外, 强化系统的安全性设计, 如数据加密和访问控制, 以保护企业的数据资产。根据《系统集成中的最佳实践和案例分析》, 最佳实践还包括实施过程中的严格测试与质量保障, 以及系统部署后的持续维护和更新。通过这些措施, 企业能够确保系统集成的长期稳定运行, 从而支持企业的持续发展和技术创新。

六、能源回收与利用

能源回收与利用是工程机械电气自动化系统实现可持续发展的关键环节。随着技术的不断进步, 这一领域的回收与利用方法和效率都有了显著提升。国家发展改革委等部门发布的《关于统筹节能降碳和回收利用 加快重点领域产品设备更新改造的指导意见》中明确提出了到2025年, 废旧产品设备回收利用将更加规范畅通, 形成一批可复制可推广的回收利用先进模式, 推动废钢铁、废有色金属、废塑料等主要再生资源循环利用量达到4.5亿吨的目标。这一目标的设定, 不仅体现了国家层面对于能源回收与利用的重视, 也为工程机械电气自动化系统的绿色发展指明了方向。

在技术层面, 能源回收与利用涉及多个方面, 包括机械能回收、热能回收、电能回收以及材料回收。例如, 通过能量回收系统, 如液压蓄能器, 回收工程机械在制动或减速过程中产生的能量, 将其转换为电能或液压能重新利用。此外, 利用余热回收技术, 从工业过程中回收废热, 用于加热、发电或其他用途, 提高能源利用效率。在电气自动化系统中, 通过高效的电力电子设备和储能系统, 回收利用峰谷电价差异或临时过剩的电能。同时, 对废旧电池、电机等进行拆解, 回收有价值的材料, 如稀土元素、铜、铝等, 实现材料的循环利用。这些技术的实施, 将有助于工程机械电气自动化系统在能源利用效率上的提升, 同时也为环境保护和资源节约做出贡献。

七、智能化与网络化

1. 智能化技术的应用

智能化技术在工程机械领域的应用正日益广泛, 这包括使用先进的传感器、机器学习算法和人工智能技术来提升设备的性能和自主性。例如, 通过引入机器视觉系统, 工程机械能够自动识别施工环境和物体, 实现精准作业。同时, 利用大数据分析和云计算技术, 可以实现对设备状态的实时监控和预测性维护, 减少停机时间并提高作业效率。在华为的实践中, 通过星河 AI 网络的升级, 实现了 AI 技术的全面融入, 推动了网络智能化的发展, 这不仅提升

了网络的运行效率，也为智能化应用提供了坚实的基础。

2. 网络化技术的发展

网络化技术，特别是5G和未来的6G技术，为工程机械的远程控制和数据传输提供了高速、低延迟的通信保障^[20]。这使得操作人员可以在远离施工现场的地方安全、高效地控制工程机械，同时也为设备的远程诊断和维护提供了可能。此外，随着工业互联网的发展，工程机械可以更有效地集成到更广泛的制造和供应链网络中，实现资源的优化配置和生产的灵活性提升。在中兴通讯的智能化系统架构中，通过技术中台、数据中台和业务中台的构建，实现了网络的智能化管理，这不仅提高了网络的运行效率，也为网络的智能化转型提供了有力支持。

八、案例研究与实践

1. 中联重科的智能化与数字化转型

中联重科是中国领先的工程机械制造商，其在智能化与数字化转型方面的实践具有示范意义。中联重科通过整合工程机械业务板块，搭建了统一的业务操作平台和大数据平台，实现了资源的整合和效率的提升。例如，中联重科推出的自动吊装设备能够实现自动规划和吊装，减少了操作强度，提高了作业效率，并降低了能耗。据中联重科付玲所述，智能化单机工程机械设备已经能够实现全流程的自主作业，操作强度降低了40%，作业效率提升了50%，能耗降低了30%。此外，中联重科还发布了全球首个绿色智慧工厂，通过数字孪生施工的关键技术，实现了智能调度和全场景的孪生可视，推动了端对端的企业智能化转型。

2. 北京城市副中心的绿色供能和碳管理项目

北京城市副中心的城市绿心项目是一个典型的能源绿色低碳转型案例。该项目通过建设地源热泵能源站、分布式光伏、水蓄能等实现区域“增绿”，同时通过建筑绿色化、交通电气化、智慧能源管理、碳资产管理等促进区域“减碳”。北投集团承担的三大文化设施预计可再生能源供应占冬季供热总量的80%，占夏季供冷总量的70%。据测算，这些建筑投入运营后，每年可减少二氧化碳排放超过1万吨，这是通过智能化技术实现能源优化和管理的典型案例。

这两个案例展示了智能化与网络化技术在工程机械和能源管理中的应用，它们不仅提高了生产效率和能源利用效率，还显著降低了能耗和碳排放，为工程机械行业的智能化和绿色发展提供了可行的路径。

九、未来发展趋势

工程机械行业正朝着智能化和电动化发展，这提高了作业效率，减少了对化石燃料的依赖，并符合环保趋势。智能化技术如自动规划提升了效率，电动化技术降低了排放。5G和6G技术的发展使得远程控制和设备维护更加高效。

同时，服务化和后市场的发展使企业向服务提供商转型，提供全面的设备管理和技术支持服务，这不仅提升了设备的使用效率和寿命，还为企业带来了新的收入来源。模块化和定制化设计满足了市场多样化需求，预测性维护通过数据分析提高设备可靠

性。中国企业正加快国际化步伐，拓展海外市场，提升全球竞争力。这些趋势预示着行业将变得更加高效、环保和智能。

十、结论

工程机械电气自动化系统的未来发展趋势将由技术创新所主导，涵盖智能化、电动化、远程控制、服务化、模块化、数据驱动和国际市场拓展等多个方面。这些技术的进步不仅将提高工程机械设备的性能和效率，还将推动整个行业的可持续发展。随着智能化技术的应用，机械将能够自主执行复杂任务，提高安全性和减少环境影响。电动化和新能源技术的应用将减少对化石燃料的依赖，降低排放。远程控制和网络化将使得操作更加灵活，提高作业的精确性。服务化和后市场的发展将为工程机械企业带来新的增长点。模块化和定制化将满足市场的多样化需求。数据驱动的预测性维护将优化设备的运营效率。国际市场的拓展将增强中国工程机械品牌的全球影响力。这些趋势的共同作用将塑造一个更加高效、环保和智能的工程机械行业。

参考文献

[1] 韦明杰. 探究机械设备电气工程自动化技术的应用[J]. 中国设备工程, 2023, (24): 218-219.

[2] 吕彬彬. 电气工程及其自动化供电系统的节能优化[J]. 电工技术, 2023, (S1): 271-273+276.

[3] 张颖霄, 张彦杰. 电气工程自动化技术在机械设备中的应用研究[J]. 造纸装备及材料, 2023, 52 (12): 118-120.

[4] 李雨松. 电气工程及其自动化的质量控制与安全管理[J]. 大众标准化, 2023, (22): 27-29.

[5] 张满月. 工程机械电气设备自动化技术分析[J]. 大众标准化, 2023, (22): 60-62.

[6] 周宽. 电气工程自动化技术在电力系统运行中的应用[J]. 机械工业标准化与质量, 2023, (11): 53-56.

[7] 姜永浩. 电气工程及其自动化的智能化技术分析[J]. 电气技术与经济, 2023, (08): 346-348.

[8] 张明赫. 电气自动化系统中的智能化技术应用[J]. 集成电路应用, 2023, 40 (10): 274-276.

[9] 杨光晨. 建筑机械设备电气工程自动化的供电节能控制探讨[J]. 模具制造, 2023, 23 (09): 232-234.

[10] 李慧琪, 何军, 郭欣然, 等. 浅谈我国电气自动化的现状及发展前景[J]. 数字通信世界, 2023, (08): 166-168.

[11] 孟海霞. 机械工程自动控制技术现状与趋势[J]. 有色金属工程, 2023, 13 (06): 147.

[12] 张佳. 电气自动化工程控制系统的现状及其发展趋势[J]. 华东科技, 2023, (06): 125-127.

[13] 许庆忠, 马耀辉, 蔡桥洪. 机械电气安全控制系统的设计与实现[J]. 自动化应用, 2023, 64 (10): 211-213+228.

[14] 刘锴. 工程机械电气系统的设计流程分析[J]. 集成电路应用, 2023, 40 (05): 250-251.

[15] 钟磊. 工程机械电气控制系统故障研究[J]. 内燃机与配件, 2022, (01): 79-81.

[16] 薛彬. 机械设备电气工程自动化技术的应用[J]. 冶金与材料, 2021, 41 (04): 103-104.

[17] 甘仁虎. 机械设备电气自动化技术的应用探析[J]. 装备维修技术, 2021, (04): 62-64.

[18] 李守明, 徐红. 机械设备电气工程自动化技术的应用研究[J]. 设备管理与维修, 2020, (17): 140-141.

[19] 苏鹏. 电气自动化在工业机械控制中的应用探讨[J]. 内燃机与配件, 2019, (17): 219-220.

[20] 刘延霞. 浅析机械电气系统设计和常见故障分析的方法[J]. 电子测试, 2019, (06): 89-90.

地下连续墙在深基坑支护中的应用与优化

张翔

上海市基础工程集团有限公司, 上海 200002

摘 要： 本文详细探讨了地下连续墙在深基坑支护中的应用与优化，旨在为类似工程提供理论支持和实践指导。文章介绍了地下连续墙的基本原理，包括其定义、组成及分类、受力特性和施工工艺，为后续分析打下基础。本文阐述了地下连续墙在深基坑支护中的必要性，并分析了其在深基坑支护中的优势，同时通过实际工程案例展示了地下连续墙的应用效果。文章提出了地下连续墙在深基坑支护中的优化措施，包括优化设计参数、施工工艺优化、监测与信息化管理以及环境保护与绿色施工等方面，以实现更高效、安全的基坑支护。这些研究成果对于推动地下连续墙在深基坑支护中的应用与发展具有重要意义。

关 键 词： 地下连续墙；深基坑；支护；优化；应用

Application and Optimization of Underground Continuous Wall in Deep Foundation Pit Support

Zhang Xiang

Shanghai Foundation Engineering Group Co., Ltd. Shanghai 200002

Abstract： This paper delves into the application and optimization of underground continuous walls in deep foundation pit support, aiming to provide theoretical support and practical guidance for similar projects. The article introduces the basic principles of underground continuous walls, including their definition, composition, classification, mechanical characteristics, and construction technology, laying the foundation for subsequent analysis. This paper elaborates on the necessity of underground continuous walls in deep foundation pit support and analyzes their advantages. Simultaneously, it demonstrates the application effects of underground continuous walls through practical engineering cases. The article proposes optimization measures for underground continuous walls in deep foundation pit support, including optimizing design parameters, construction process optimization, monitoring and information management, environmental protection, and green construction, to achieve more efficient and safer foundation pit support. These research results are significant for promoting the application and development of underground continuous walls in deep foundation pit support.

Keywords： underground continuous wall; deep foundation pit; support; optimization; application

引言

随着中国城市化步伐的加快，城市空间利用率成为关键议题，促使高层建筑和大型基础设施项目迅速增加。这些项目的建设离不开深基坑工程，它们通常位于城市中心区域，周围环境复杂，施工空间有限，这些因素对支护结构提出了更高的要求。深基坑支护的目标是防止基坑坍塌、控制周边地面沉降和邻近建筑物的倾斜，确保施工的安全和顺利进行。地下连续墙作为一种支护结构，因其卓越的性能、较低的施工振动和噪声以及对周围环境影响小等优点，在深基坑工程中得到了广泛应用。它不仅能有效隔离地下水，还能承受土压力和水压力，保证基坑的稳定性，并可与其他支护结构结合，形成更稳固的支护体系。然而，深基坑工程的复杂性和不确定性对地下连续墙的支护效果和施工质量提出了挑战。

一、地下连续墙的基本原理

（一）地下连续墙的定义

随着城市化进程的加快，以深基坑工程为主的地下空间开发

规模越来越大。地下连续墙作为承受水土压力、支撑轴力和地面荷载共同作用的结构已被广泛应用。^[1] 地下连续墙是深基坑支护的关键结构，通过挖掘沟槽并浇筑混凝土形成连续墙体，有效围护和支撑土体，防止坍塌，并隔绝地下水，确保施工安全。其

特点包括高连续性、良好支护效果、低施工振动和噪声、环境影响小，适应性强。广泛应用于深基坑支护、地下空间开发、防洪堤建设、滑坡治理等领域，对城市基础设施建设具有重要意义。

（二）地下连续墙的组成及分类

地下连续墙是一种深基坑支护结构，主要由墙体、支撑和基础三部分组成。墙体是地下连续墙的主要组成部分，通常采用钢筋混凝土材料浇筑而成，也可以采用其他复合材料。^[2] 墙体的厚度和深度根据地质条件、基坑深度和支护要求等因素确定。支撑则是用于增强墙体的稳定性和承载能力，通常设置在墙体内侧或外侧，可以采用锚杆、支撑桩、钢支撑等形式。基础是地下连续墙的承载部分，通常采用桩基础或扩大基础，用于将墙体的荷载传递到深层土层中。

地下连续墙是深基坑支护的复杂结构，根据材料和环境不同，分为混凝土连续墙、钢板桩墙、地下连续墙与桩锚结合体系和地下连续墙与内支撑结合体系。混凝土连续墙使用钢筋混凝土，适用于各种地质条件。钢板桩墙使用钢板桩，施工速度快，适合浅基坑。地下连续墙与桩锚结合体系结合了连续墙和桩锚的优点，适用于复杂地质和深大基坑。地下连续墙与内支撑结合体系增强墙体承载能力，适用于深基坑和地质较差情况。这些不同类型的地下连续墙为工程师提供了多种选择以适应工程需求和地质条件。

（三）地下连续墙的受力特性

地下连续墙作为一种深基坑支护结构，其主要受力特性表现为墙体与土体的相互作用。在地下连续墙的施工和服役过程中，墙体承受着来自土体的土压力、水压力以及可能的动荷载。^[3] 这些荷载通过墙体的分布，传递到支撑系统或基础上，从而确保基坑的稳定性。

具体来说，地下连续墙的受力特性包括以下几个方面：

1. 土压力：土压力是地下连续墙承受的主要荷载之一，包括主动土压力、被动土压力和静止土压力。土压力的大小和分布与土体的性质、墙体深度和地下水条件等因素有关。

2. 水压力：当地下水位高于基坑底部时，地下连续墙还需要承受水压力的作用。水压力会对墙体产生较大的推力，增大墙体的受力负担。

3. 墙体刚度：地下连续墙的刚度对其受力特性有重要影响。刚度较大的墙体能够更好地抵抗土压力和水压力，减小墙体的变形和基坑周边地面沉降。

4. 支撑系统：地下连续墙通常需要设置支撑系统，如锚杆、支撑桩、钢支撑等，以限制墙体的位移和变形。支撑系统的设置和受力特性对地下连续墙的整体性能至关重要。

5. 墙体接头：地下连续墙通常由多个墙段组成，墙段之间的接头处理对墙体的受力特性有较大影响。^[4] 合理的接头设计和施工能够确保墙体的整体性和连续性。

6. 基础受力：地下连续墙的基础受力特性也是其整体性能的重要方面。基础需要能够承受来自墙体的荷载，并将其传递到深层土层中。

（四）地下连续墙的施工工艺

地下连续墙的施工工艺包括沟槽挖掘、材料准备、钢筋笼制作安装、混凝土浇筑、接头处理、沟槽回填和支护结构施工。挖掘沟槽需降水或护壁，准备钢筋混凝土材料，确定配比和布置。制作并安装钢筋笼，浇筑混凝土确保整体性和密封性。接头处采取特殊措施。浇筑完成后回填沟槽并施工支撑结构，如锚杆、支撑桩或钢支撑，以增强承载能力和稳定性。整个工艺流程旨在确保墙体的连续性、稳定性和密封性，实现有效的深基坑支护。

二、地下连续墙在深基坑支护中的应用

（一）深基坑支护的必要性

深基坑支护在现代城市建设中至关重要，其必要性体现在多个方面。随着城市化的加速，越来越多的深层建筑结构如地下室和地铁站等需要通过大型基坑来实现。这些基坑的开挖会破坏土体的自然平衡，导致土体位移和变形，因此，支护结构如地下连续墙的使用变得尤为重要，它们能够提供必要的侧向抵抗力，防止土体坍塌，保障施工安全。^[5] 同时，深基坑的开挖还可能引起周边地面的沉降，影响邻近建筑物和地下管线的安全，而有效的支护措施能够减少这种沉降，保护周边环境。此外，地下水是深基坑施工中的一个主要风险，支护结构必须具备良好的隔水性能，以防止地下水涌入基坑。除了安全考虑，支护结构还能提供必要的施工空间，便于机械和材料的运输，提高施工效率。由于地质条件的多样性，深基坑支护需要根据具体情况进行设计和施工，以适应复杂的工程环境。

（二）地下连续墙在深基坑支护中的优势

地下连续墙在现代城市建设中作为一种广泛采用的深基坑支护结构，其优势显著，包括出色的承载能力和稳定性、适应各种地质条件的能力、良好的隔水性能、较小的施工振动和噪声、节省空间和对周边设施影响小、与其他支护结构相结合的灵活性，以及适用于深大基坑的适用性。^[6] 这些优势使得地下连续墙成为深基坑支护中一种非常可靠和高效的选择，能够在保证基坑稳定性的同时，减少对周边环境和居民生活的影响，适应不同工程需求，尤其在大型基坑和特殊地质条件下，其优势更加突出。

（三）地下连续墙在深基坑支护中的应用实例

地下连续墙作为一种强大的深基坑支护手段，在各种大型基建项目中发挥着至关重要的作用。它以其高强度的承载能力和稳定性，成为许多复杂工程的首选支护方式。在大型商业综合体项目中，地下连续墙支护深层地下室，能够承受上方建筑物的压力并有效隔绝地下水，确保施工安全。在地铁和隧道工程中，地下连续墙支护隧道和地铁通道，承受巨大的土压力和水压力，同时具有优良的隔水性能，防止地下水涌入。在大型桥梁和码头建设中，地下连续墙作为支护结构，承受土压力和水压力，保证工程安全，并防止地下水涌入。在大型基坑工程中，地下连续墙支护基坑，承受土压力和水压力，同时具有优良的隔水性能，防止地下水涌入基坑。这些应用实例充分展示了地下连续墙在深基坑支护中的广泛应用和显著优势。

三、地下连续墙在深基坑支护中的优化措施

（一）优化设计参数

地下连续墙在深基坑支护中的应用通过优化设计参数和施工工艺来提升支护效果和质量。优化参数包括墙体厚度、钢筋配置、接头设计、支撑系统、施工工艺和监测管理。^[7] 优化厚度增强抗弯剪能力，减小变形和沉降；合理钢筋配置提高承载和抗震性能；优化接头确保连续性和效果；支撑系统增强承载和稳定性；施工工艺提高连续性和稳定性；监测管理实时了解受力和质量，确保工程安全顺利进行。综合应用优化措施可提高整体性能和安全性，同时降低成本和环境影响。

（二）施工工艺优化

地下连续墙在深基坑支护中的施工工艺优化，旨在提高效率、降低成本、保证质量，减少环境影响。通过合理选择设备、优化施工顺序、改进混凝土浇注工艺、优化墙体接头处理、实施监测与信息化管理、采取环境保护与绿色施工等措施，可显著提升施工效果。这些措施综合应用可提高施工效率和质量，降低成本和环境影响，保障工程顺利进行，同时增强企业竞争力和市场占有率。

（三）监测与信息化管理

地下连续墙在深基坑支护中的优化措施之一是实施监测与信息化管理。这项措施旨在通过实时监测和数据管理，提高施工的安全性和效率，同时确保工程质量。^[8] 具体实施策略包括：安装高精度的位移、应力、水位等监测设备，实时收集地下连续墙和基坑周边环境的各项参数；对收集到的监测数据进行实时分析和处理，评估地下连续墙的支护效果和基坑的安全状况；建立信息化管理系统，集成实时监测数据、施工进度、质量控制等信息，实现数据的集中管理和共享；建立预警机制，对可能出现的安全风险进行提前预警；利用现代信息技术，实现对地下连续墙施工过程的远程监控和远程操作；通过监测与信息化管理，不断收集和分析施工数据，总结经验教训，优化施工方案和工艺。这些措施的综合应用，可以提高地下连续墙在深基坑支护中的施工效率和质量，降低施工风险，为工程的安全顺利进行提供有力保障。同

时，信息化管理还可以促进施工管理的现代化，提高施工企业的核心竞争力。

（四）环境保护与绿色施工

地下连续墙在深基坑支护中的优化措施之一是环境保护与绿色施工，这一措施旨在通过一系列环保措施减少施工对环境的影响，实现可持续施工。具体实施策略包括：在施工过程中采取措施减少噪音、振动和扬尘等对周边环境的影响，如使用降噪设备、设置隔声屏障、喷水降尘等，并合理规划施工区域以减少对周边居民和生态环境的干扰。^[9] 同时，合理处理施工过程中产生的废弃物，如混凝土废料、钢筋头等，通过回收利用或安全处置来降低资源浪费，并提高资源利用率，如合理使用水资源、减少能源消耗等。此外，采用绿色施工技术，如使用环保型混凝土、低挥发性建筑材料等，可以降低施工过程中对环境的影响，提高工程质量。在施工结束后，对施工区域进行植被恢复和绿化，种植适宜的植物，恢复原有植被，提高土壤肥力，减少水土流失。加强对施工人员的环保意识培养，通过培训和教育，使施工人员掌握环保施工知识和技能，确保在施工过程中遵循环保要求。通过这些环境保护与绿色施工措施的综合应用，可以减少地下连续墙施工对环境的影响，实现可持续发展，同时提高施工企业的社会责任感，增强其在市场中的竞争力。^[10]

四、结束语

本文全面研究了地下连续墙在深基坑支护中的应用与优化，探讨了其基本原理、受力特性、施工工艺等，并展示了其在不同工程中的实际应用。研究指出地下连续墙在支护效果、地质适应性、隔水性能等方面的优势，并提出了包括设计参数优化、施工工艺改进、监测与信息化管理、环境保护与绿色施工等在内的多项优化措施。这些措施旨在提升地下连续墙的支护性能，减少环境影响，确保工程顺利进行。尽管研究存在局限性，但仍为地下连续墙在深基坑支护中的应用与优化提供了理论支持和实践指导，对我国城市建设和基础设施发展具有重要意义。

参考文献

- [1] 陈锋, 谌艳, 李衍航, 等. 深基坑嵌岩地下连续墙弯矩计算及风险评估研究[J]. 广东土木与建筑, 2024, 31(05): 77-80. DOI: 10.19731/j.gdtmyjz.2024.05.019.
- [2] 洪小星, 樊冬冬, 刘俊城, 等. 富水砂性地层地铁站深基坑施工案例分析[J]. 广东土木与建筑, 2021, 28(3): 54-57.
- [3] 黄毅, 刘国彬, 张伟立, 等. 基于远程监控管理系统的深基坑测斜数据分析[J]. 岩土工程学报, 2008, 30(S1): 461-464.
- [4] 程仕远, 陈锦剑, 王建华. 基于位移测试的基坑围护结构弯矩分析与综合风险判别[J]. 工程勘察, 2014, 42(3): 1-4+10.
- [5] 毛朝辉. 基于监测数据的围护墙弯矩反分析及安全评估研究[D]. 上海: 同济大学, 2006.
- [6] 张迪. 复杂环境下深基坑支护优化设计研究[D]. 西安: 西安工业大学, 2017.
- [7] 张强勇. 弹性地基梁杆系有限元法在深大基坑工程支护设计中的应用[J]. 建筑结构学报, 2005(3): 114-117+121.
- [8] 徐中华, 李靖, 王卫东. 基坑工程平面竖向弹性地基梁法中土的水平抗力比例系数反分析研究[J]. 岩土力学, 2014, 35(S2): 398-404+411.
- [9] 混凝土结构设计规范(2015年版): GB50010—2010[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2015.
- [10] 刘彬, 惠海鹏. 地铁站深基坑地下连续墙接缝防渗技术研究[J]. 建筑机械, 2024, (05): 264-268. DOI: 10.14189/j.cnki.cm1981.2024.05.044.

探析水文地质对岩土工程勘察的影响

陈刚

江苏省地质局第一地质大队，江苏 南京 210041

摘 要： 在岩土工程勘察中，水文地质因素其对工程的稳定性和安全性有着直接影响，本文探讨了水文地质对岩土工程勘察的影响，首先概述了岩土工程勘察的基本内容及岩土体的水理性质，随后分析了水文地质中的地下水动水压力、地下水位变化及地下水对工程基础的影响，地下水动水压力和水位变化对岩土体的稳定性、承载力及工程基础的安全性具有显著影响，而地下水的侵蚀作用则可能导致工程质量的降低。通过对因素的系统分析，旨在为岩土工程勘察提供科学依据，以优化工程设计并提高工程的可靠性和安全性。

关 键 词： 水文地质；岩土工程；地下水动水压力

Exploring the Impact of Hydrogeology on Geotechnical Engineering Investigation

Chen Gang

First Geological Brigade of Jiangsu Provincial Geological Bureau, Nanjing, Jiangsu 210041

Abstract： In geotechnical engineering investigation, hydrogeological factors have a direct impact on the stability and safety of the project. This article explores the influence of hydrogeology on geotechnical engineering investigation. It begins by outlining the basic content of geotechnical engineering investigation and the hydraulic properties of rock and soil masses. Subsequently, it analyzes the effects of groundwater hydrodynamic pressure, changes in groundwater level, and the impact of groundwater on engineering foundations in hydrogeology. Changes in groundwater hydrodynamic pressure and water level have significant effects on the stability, bearing capacity, and safety of rock and soil masses, while the erosive effects of groundwater may lead to a reduction in engineering quality. Through a systematic analysis of these factors, the aim is to provide a scientific basis for geotechnical engineering investigation to optimize engineering design and improve the reliability and safety of the project.

Keywords： hydrogeology; geotechnical engineering; groundwater hydrodynamic pressure

引言

岩土工程勘察其目的是获取准确的岩土体性质信息，以指导工程设计和施工，然而，在勘察过程中，水文地质因素常常被忽视，但其对岩土工程的影响却不可小觑。水文地质研究关注地下水的分布、流动特性以及与岩土体的相互作用，在岩土工程中扮演着重要角色。地下水的存在和变化不仅影响岩土体的物理性质，如渗透性和强度，还会引发一系列工程问题，例如基础沉降、边坡滑动和土体失稳等^[1]。地下水动水压力和水位变化是影响岩土工程稳定性的关键因素，动水压力导致土体的强度下降，进而影响基础的承载能力；而水位的变化则会改变土体的有效应力，影响地基的稳定性。此外，地下水对工程基础的侵蚀作用也不容忽视，可能导致土体的流失和工程结构的破坏，从而影响工程的长期稳定性和安全性。

随着城市化进程的加快和基础设施建设的扩大，岩土工程的复杂性日益增加，水文地质因素的研究显得尤为重要。为了确保工程设计的科学性和合理性，对水文地质对岩土工程勘察的影响进行系统分析具有重要的现实意义，不仅有助于揭示潜在的风险和问题，还能优化勘察方案、提高工程设计的可靠性提供科学依据。本文将深入探讨水文地质对岩土工程勘察的具体影响，期望为工程实践提供宝贵的参考^[2]。

一、岩土工程勘察概述及岩土工程水理性质

（一）岩土工程勘察基本概念

岩土工程勘察是工程建设项目的早期基础工作，旨在全面了

解工程场地的岩土体特性及其物理力学性质，以便为工程设计和施工提供科学依据。勘察工作包括对地质条件、地层结构、土体性质及地下水条件的详细调查和分析。通过地质勘探、试验和监测，勘察人员能够识别地质体的组成、结构及其稳定性，并评估

对工程施工产生影响的地质灾害风险。岩土工程勘察的过程通常涉及多个阶段，包括初步勘察、详细勘察和现场试验^[3]。初步勘察阶段主要依赖于已有的地质资料和现场调查，确定勘察的主要方向和重点。详细勘察则通过钻探、取样、实验室分析等手段，获取更为准确的岩土体数据。现场试验如标贯试验、原位剪切试验等，能够提供有关土体强度、变形模量等关键参数的信息。这些数据为工程设计提供了必要的参数支持，确保设计方案的合理性和工程施工的安全性。

随着工程规模和复杂度的增加，岩土工程勘察面临的挑战也日益增多，在复杂地质条件下，勘察工作需要解决地下水对土体稳定性的影响、深基坑支护结构的设计以及土体的抗震性能等问题^[4]。

（二）岩土工程水理性质分析

岩土工程中的水理性质分析主要关注土体中水分的分布及其对岩土体工程性能的影响，水理性质不仅影响土体的力学特性，还对工程设计和施工质量产生重要影响。主要的水理性质包括土体的含水量、渗透性、毛细水作用以及地下水位的变化等。含水量是指土体中水分的质量与干土质量的比率，对土体的强度和变形特性具有直接影响。含水量的变化会引起土体强度的变化，过高的含水量会导致土体强度降低，增加沉降风险。因此，在岩土工程中，需要对土体的含水量进行定期监测，以评估其对工程性能的影响。渗透性是描述土体对水流的导通能力，通常用渗透系数来表示^[5]。渗透性高的土体如砂土，能够较快地排除积水，减少饱和土体的强度降低。相对地，粘土的渗透性低，水分排除困难，导致土体在长时间的水浸泡后强度降低和变形增加。理解土体的渗透性有助于设计合适的排水措施和防止地下水对土体的不利影响。毛细水作用涉及到土体中水分的运动，尤其是在干湿交替的环境下。毛细水的存在会影响土体的湿度分布和强度特性，进而对工程结构的稳定性产生影响。粘土中的毛细水现象尤为明显，这导致土体的膨胀或收缩，影响基础的沉降和稳定。地下水位的变化是影响岩土体工程性质的一个重要因素。地下水位的升降会直接影响土体的有效应力，进而影响土体的强度和变形特性。高水位导致基坑渗漏、土体失稳等问题，而地下水位的下降则导致土体干缩变形和地基沉降。因此，准确监测地下水位变化并分析其对土体行为的影响，是岩土工程勘察中不可或缺的部分^[6]。

二、水文地质对岩土工程的影响因素及危害

在岩土工程领域，水文地质条件是工程勘察和设计中其对工程结构的稳定性和安全性产生着至关重要的影响，地下水的存在及其动态行为对岩土工程的承载力和稳定性产生深远的影响，地下水位的上升或下降，导致土体的有效应力发生改变，进而引起地基承载力的降低或增强，在软土地基环境中尤为显著。此外，地下水位的波动不仅影响地基的沉降，还会引起土体的干缩膨胀，进而影响工程结构的稳定性。

土体的渗透特性影响着水分在土体中的分布和迁移，基于土

体类型的差异，如砂土和粘土，其渗透性差异显著，这直接关系到排水和防水措施的选择。良好的排水设计对于防止水分积聚和维持土体稳定性至关重要^[7]。与此同时，土体中水分的迁移也与土体的膨胀和收缩行为密切相关，特别是在粘土中，毛细现象可导致土体体积的非均匀变化，对工程结构的稳定性构成挑战。除此之外，水与土体的相互作用还包括化学作用等更复杂的物理过程，导致土体物理性质的改变，如渗透性、压缩性和强度等。在工程设计和施工过程中，必须充分考虑这些相互作用对工程稳定性的影响，并采取相应的技术措施，以确保工程结构的安全性和耐久性。另外，水文地质条件还引发的侵蚀和冲刷问题，特别是在施工过程中，地表水的流动对土体造成侵蚀，影响工程的稳定性和耐久性。在施工期间，特别是在降雨或水流较大的区域，必须采取有效的防护措施，如设置排水系统和支挡结构，以减少水土流失的风险，保护工程的长期稳定性^[8]。

三、水文地质对岩土工程勘察的影响探讨

（一）岩土工程水文地质中地下水动水压力的影响

地下水动水压力对岩土工程的影响深远，其主要表现为对土体稳定性及其工程特性的影响，动水压力，即由地下水流动引起的水对土体的压力，是由于地下水流动在土体中产生的水力梯度所致。水流通过土体时，会在土体中产生一个动水压力，压力的存在会对土体的承载能力和变形特性产生显著影响。

在岩土工程中，动水压力影响主要体现在几个方面：第一，动水压力会改变土体的有效应力，从而影响其力学性质。有效应力是指土体中的总应力减去孔隙水压力。在动水压力的作用下，孔隙水压力的变化会导致有效应力的变化，进而影响土体的强度和稳定性。特别是在饱和土体中，动水压力的增大导致土体强度的显著降低，进而增加滑坡或坍塌的风险，在深基坑开挖和地下工程施工中尤为显著，需要在设计和施工阶段充分考虑。第二，动水压力对土体的渗透特性也有重要影响。水流通过土体时，会改变土体的渗透特性，使得土体在水流作用下的抗压强度降低，并导致土体的沉降和变形^[9]。尤其是在砂土等高渗透性土层中，动水压力的作用会导致快速的水流通过，引发土体的侵蚀和冲刷，进一步影响工程的稳定性。第三，动水压力还引发土体的液化现象。液化是指在地震或强振动条件下，饱和砂土由于动水压力的作用而失去强度，表现为土体的流动性增强。液化现象会显著降低土体的承载能力，导致工程结构的沉降或倾斜。因此，在工程勘察和设计中，需要对动水压力进行详细分析，以制定相应的防护和加固措施，确保工程的稳定性和安全性。

（二）岩土工程水文地质中地下水位变化的影响

地下水位的变化对岩土工程的影响是复杂且深远的，地下水位的波动直接关系到土体的物理力学性质，包括其强度、变形特性及稳定性。水位的变化不仅会影响土体的有效应力，还会对工程施工和长期稳定性产生显著影响。

地下水位的升降会改变土体的有效应力，从而影响其工程特性。地下水位上升时，土体中的孔隙水压力增加，导致有效应力

降低,这种情况在饱和土体中尤为明显。有效应力的降低会导致土体的强度降低,增加沉降和变形的风险,引发地基的不均匀沉降或基础失稳。在工程勘察中,需对地下水位的波动进行长期监测,以评估其对土体稳定性的影响,并制定相应的设计方案;地下水位变化对土体的渗透特性也具有影响。水位上升会导致土体中的水分含量增加,从而改变土体的渗透特性^[10]。高水位导致土体的饱和度增加,增加了土体的沉降和变形风险。尤其在多雨或雪融季节,水位的变化更为剧烈,需要采取有效的排水措施以防止因水位波动引发的工程问题;另外,地下水位的变化引发土体的干缩或膨胀现象。在干旱季节,水位的下降会导致土体中的水分减少,从而引发土体的干缩现象,导致地基的沉降和不均匀变形,影响工程结构的稳定性。在潮湿季节,水位的上升则导致土体的膨胀,进而影响基础的稳定性。因此,在工程设计中,需要综合考虑水位变化对土体行为的影响,采取适当的措施进行防护和加固。

(三) 岩土工程水文地质中地下水对工程基础的影响

地下水的存在对基础设计、施工以及工程的长期稳定性均具有显著影响,基础承载力的变化是地下水对工程影响的一个重要方面。基础承载力即土体能够承受的最大荷载,地下水的存在会导致土体有效应力的改变,从而影响其承载能力。具体而言,地下水位的上升会增加孔隙水压力,这种压力的增加会降低土体的有效应力,进而使基础的承载力减小。在基础设计过程中,必须充分考虑地下水对承载力的影响,以确保基础能够适应实际的地下水条件,保障工程的安全和稳定。与此同时,地下水对基础沉降的影响也不容忽视。水位的变化导致土体的沉降和变形,从而影响基础的稳定性。地下水位上升通常会导致基础下方土体的饱和度增加,饱和度的增加会引发基础的沉降风险。而当水位下降时,土体中的水分减少,导致干缩现象,从而引发基础的不均匀沉降,对工程结构的稳定性产生直接影响,因此在工程勘察中需

要对土体沉降特性进行详细分析,并在设计阶段考虑地下水的影响,采取适当的加固和防护措施,以应对沉降风险。此外,地下水还对基础结构产生腐蚀作用,在钢筋混凝土结构中尤为显著。地下水中的化学成分和离子能够对基础材料产生腐蚀作用,随着时间的推移,腐蚀会导致结构强度的降低和耐久性的下降^[11]。在设计和施工过程中,应选择耐腐蚀的材料,并采取有效的防护措施,如应用防水涂层或设置排水系统,以减少地下水对基础结构的腐蚀影响。因此,通过综合考虑地下水对基础承载力、沉降以及腐蚀的影响,可以制定出科学合理的设计方案,从而确保工程的长期稳定性和安全。

四、结语

在当今迅速发展的城市化和基础设施建设中,岩土工程的复杂性和对工程安全的要求不断提高,水文地质作为岩土工程勘察中的重要因素,其对工程稳定性和安全性的影响不容忽视。地下水的分布、流动及其对岩土体的作用,不仅直接关系到工程的设计和施工质量,还可能影响到工程的长期使用效果。本文系统分析了水文地质中地下水动水压力、地下水位变化及其对工程基础的影响,揭示了如何在实际工程中引发一系列潜在问题,如基础沉降、边坡滑移及土体失稳等。

综合研究结果,地下水动水压力和水位变化对岩土体的物理性质和工程基础的稳定性具有显著影响。动水压力可能导致土体强度下降,进而影响基础的承载能力;水位变化则会改变土体的有效应力,影响地基的稳定性。地下水对工程基础的侵蚀作用则可能导致工程质量的下降。因此,合理评估水文地质条件并在勘察阶段加以考虑,对于保障岩土工程的稳定性和安全性至关重要。未来的工程实践中,需进一步加强对水文地质影响的研究与监测,以优化勘察方案,确保工程设计的科学性与可靠性。

参考文献

- [1] 陆凯杰. 水文地质对岩土工程勘察的影响及应对策略[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2024, (18): 156-158.
- [2] 陈红磊. 水文地质问题对矿山岩土工程勘察的影响研究[J]. 世界有色金属, 2022, (20): 137-139.
- [3] 王兴树. 岩土工程勘察设计与施工中水文地质问题研究[J]. 四川建材, 2022, 48 (06): 46-47+58.
- [4] 颜玉兵. 水文地质对岩土工程勘察的影响及控制措施研究[J]. 有色金属设计, 2021, 48 (04): 87-89.
- [5] 龚林晋. 探析水文地质对岩土工程勘察的影响[J]. 世界有色金属, 2021, (18): 226-227.
- [6] 谢代连. 水文地质岩土工程中勘察设计及施工要点分析[J]. 世界有色金属, 2017(22): 204-206.
- [7] 陈小文. 岩土工程勘察中水文地质问题及解决措施[J]. 西部资源, 2017(03): 78-79.
- [8] 韩子晔. 岩土工程勘察中水文勘察的地位及内容[J]. 工程建设, 2017, 49(05): 55-57.
- [9] 冯平. 探讨水文地质对岩土工程勘察的影响[J]. 中国住宅设施, 2023(01): 160-162.
- [10] 颜玉兵. 水文地质对岩土工程勘察的影响及控制措施研究[J]. 有色金属设计, 2021, 48(04): 87-89.
- [11] 龚林晋. 探析水文地质对岩土工程勘察的影响[J]. 世界有色金属, 2021(18): 226-227.

长螺旋－复合锚杆在滇西冲洪积地层中的应用

余再西¹, 何小远², 李荣玉³

1. 云南建安昆宁工程设计咨询有限公司, 云南 昆明 650000
2. 建研地基基础工程有限责任公司, 云南 昆明 650000
3. 云南邦众岩土工程有限公司, 云南 昆明 650000

摘 要： 复合锚杆是近年发展起来的一种新型复合结构，其力学性能与防渗、防腐及抗裂效果介于普通抗浮锚杆与大直径抗拔桩之间，具有施工条件成熟、造价低、平面布置灵活、污染小等突出优点。对基底为粉砂、圆砾等强透水层或含承压水的桩基工程是比较经济可行的施工工艺。本文结合滇西某工程的设计、施工过程，介绍了复合锚杆施工方法，并通过对比试验研究滇西冲洪积地层中复合锚杆的抗拔性能，分析了复合锚杆与常规抗浮锚杆的优劣性，为滇西地区此工艺的推广提供了参考和借鉴。

关 键 词： 滇西冲洪积地层；长螺旋－复合锚杆；原位对比试验

Application of Long Helical-Composite Anchors in the Alluvial-Fluvial Deposits of Western Yunnan

Yu Zaixi¹, He Xiaoyuan², Li Rongyu³

1. Yunnan Jianan Kunming Engineering Design & Consulting Co., LTD. Kunming, Yunnan 650000
2. CABR Foundation Engineering CO., LTD. Kunming, Yunnan 650000
3. Yunnan Bangzhong Geotechnical Engineering Co., LTD. Kunming, Yunnan 650000

Abstract： Composite anchor is a kind of composite pile developed in recent years. Its mechanical properties and anti-seepage, anti-corrosion and anti cracking effects are between those of ordinary anti floating anchor and large diameter anti pulling pile. It has many outstanding advantages, such as mature construction conditions、low cost、flexible plane layout and less pollution. It is an economical and feasible construction technology for pile foundation engineering with strong permeable layer such as silt and round gravel or confined water. Combined with the design and construction process of an anti floating pile project, this paper introduces a new construction method of composite anchor, and analyzes the advantages and disadvantages of composite anchor and conventional anti floating anchor, as well as the test detection effect.

Keywords： alluvial-fluvial deposits of West Yunnan; long helical-composite anchors; in situ contrast test

前言

随着各类建筑工程地下室空间的有效利用与开发，在地下水较为丰富的地区，桩基工程中均会根据相关抗浮要求布设抗浮桩，为上部建筑结构在地下水位较高时提供抗拔力，保证结构稳定^[1]。常规抗拔桩为钢筋混凝土灌注桩或普通抗浮锚杆（索），钢筋混凝土灌注桩单桩抗拔力较高，但桩身的钢筋杆体受力过程中，容易出现桩身混凝土变形开裂、地下水侵蚀钢筋等情况，普通抗浮锚杆（索）单桩抗拔力较小且在使用过程中，容易出现锚杆注浆体侧壁渗水、钢绞线与注浆体间渗水等情况，导致后期处理桩身的抗裂、防渗、防腐措施及费用较高。

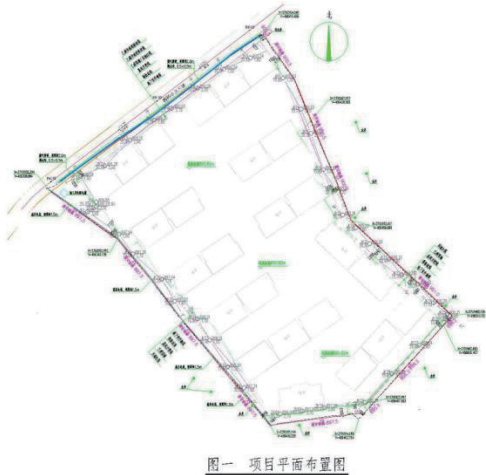
复合锚杆是将两者有效结合，克服上述常规抗拔桩存在的隐患与缺陷，是一种新研发的抗拔承载力高、杆体强度可充分发挥、防腐性能好、防渗效果佳的新型抗拔构件^[2]。目前国内复合锚杆主要施工方法是采用长螺旋钻孔成孔，施工顺序是长螺旋钻孔素砼灌注桩+后插无缝钢管+管内灌注水泥（砂）浆+管内置入预制锚杆（索）。首先由长螺旋钻机在设计桩位钻进成孔至设计深度后跟进灌注细石砼成桩^[3]，随后使用平板振捣器套住已封底的无缝钢管居中、垂直插入砼桩身内至桩底标高，施工队伍跟进向管内灌满水泥（砂）浆，同时跟进放入预制锚杆（索），后期待水泥（砂）浆液面初凝下沉后，及时跟进补浆。

本文结合滇西某工程的设计、施工过程，介绍了复合锚杆施工方法，并通过对比试验研究滇西冲洪积地层中复合锚杆的抗拔性能，分析了复合锚杆与常规抗浮锚杆的优劣性，为滇西地区此工艺的推广提供了参考和借鉴。

一、抗拔桩设计方案简介

（一）项目简介

项目拟建11栋多层住宅，地上6层，整体设一层地下室，设计使用年限为50年，抗浮构件（抗浮锚杆）及设施的耐久性年限为不少于50年，建筑抗浮工程设计等级为乙级，抗浮设防水位绝对高程为：897.395m，地下室筏板底标高为890.95m，拟采用基础抗浮锚杆+筏板的基础形式。项目平面布置图如图1所示。



> 图1 项目平面布置图

> Fig.1 Project plane layout

（二）工程地质与水文条件

项目区属侵蚀堆积地貌之冲洪积台地地形，西北高南东低；

（三）抗浮构件

表1 抗浮锚杆参数对比表

Table 1 Parameters table of anti-floating pile

桩型	暂估桩数（颗）	桩径（mm）	有效桩长（m）	锚杆筋体	锚杆竖向抗拔承载力特征值（KN）	锚杆竖向抗拔承载力标准值（KN）	备注
普通抗浮锚杆	490	150	10	2束7Φ5钢筋线	160	320	原设计方案
复合锚杆	280	400+76	9	Φ76钢管+6束7Φ5钢筋线	380	760	优化变更方案

二、施工质量控制

（一）普通抗浮锚杆

1. 施工工艺简介

原设计方案中普通抗浮锚杆施工采用锚索钻机竖向垂直双套管跟进成孔，施工至孔底标高后，拔除内钻杆，下插注浆管至孔底灌注水泥（砂）浆，随后放入预制锚杆，拔除外套管及管口补浆。

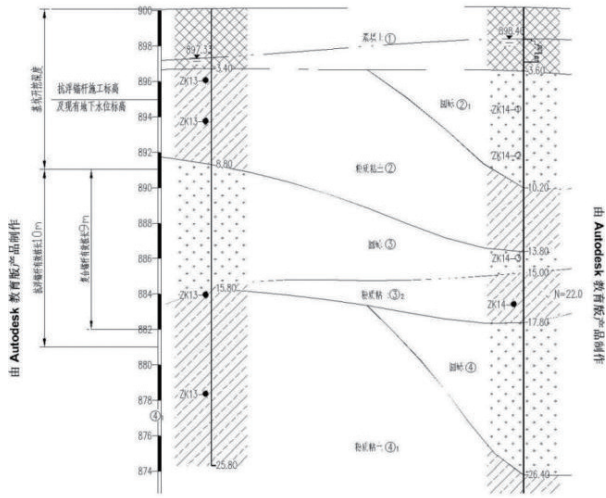
2. 施工技术要求

锚杆筋体采用极限强度标准值为1860MPa的4sΦ15.2钢筋线；锚固浆体采用1:1水泥砂浆，水灰比0.50~0.55，砂浆强度不低于30MPa；钻孔垂直度允许偏差宜小于1%，孔位允许偏差应为±50mm。

3. 施工过程质量控制

锚杆在提前预制加工时，应在硬化、干燥区域完成，并在转

场地内现状地面高程897.35~900.79m，最大高差3.44m。根据钻孔揭露、现场调查并结合区域地质资料，场地地基岩土层的构成总体上相对较复杂，主要表现为：表层覆盖一定厚度的第四系全新统人工填土（ Q_4^{ml} ）素填土，其下为第四系冲洪积层（ Q_4^{al+pl} ）黏性土及圆砾，其下为第三系（N）圆砾及粉质粘土。



> 图2 典型地质剖面图

> Fig.2 Typical geological section

场地地下室类型主要为松散岩类孔隙水，主要含水层（透水层）有②₁圆砾、③圆砾及④圆砾，受大气降水补给，在重力作用下沿地形坡度经土体内孔隙径流，由北西向南东径流，于地形低洼处或陡坎坡脚部位排泄。地下水位埋深0.70~4.00m，稳定水位高程895.18~898.00m。

运放入过程中，严禁在施工区域进行地面拖运，防止杆体污染沾泥；抗浮锚杆正式施工前，须对预拌水泥砂浆进行取样送检，复核检测砂浆强度是否满足设计要求，并且对注浆系统进行注浆检测，防止施工过程中出现堵管等问题，影响桩身质量；因圆砾层



> 图3 普通抗浮锚杆双管成孔

> Fig.3 Double pipe drilling of common anti floating anchor



> 图4 孔口设置吊筋及补浆

> Fig.4 Providing with hanging reinforcement and grouting in hole opening

较厚,孔内砾石无法取出,根据现场实际情况,成孔深度超长施工0.5~1.0m,保证锚杆体能正常下放至设计标高;因锚杆筋体使用钢绞线制安,为保证柔性锚杆体的垂直度,等锚杆体放入、护壁套管拔除后,再将锚杆体整体向上提高100mm左右,并在孔口予以吊筋固定,保证杆体在孔内的垂直度及居中控制。

(二) 复合锚杆

1. 施工工艺简介

复合锚杆施工采用长螺旋钻机成孔,泵送灌注C30细石砼,随后振捣插入预制杆骨(无缝钢管),杆骨插至设计桩底标高后,再向管内灌注预拌水泥浆,随后在管内放置预制杆筋。

2. 施工技术要求

锚杆杆骨采用DN76钢管,壁厚3mm,锚杆杆筋采用极限强度标准值为1860MPa Φ 15.2的钢绞线。桩身砼使用C30细石砼,锚固浆体采用P.O42.5水泥浆,水灰比0.50~0.60。



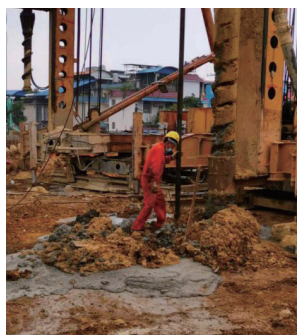
> 图5 复合锚杆杆骨制安
> Fig.5 Fabrication and installation bone of composite anchor



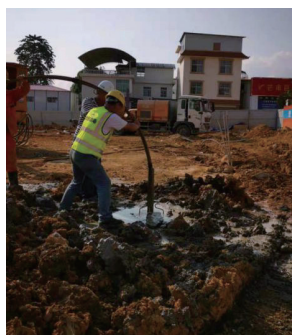
> 图6 复合锚杆杆筋制安
> Fig.6 Fabrication and installation rebar of composite anchor

3. 施工过程质量控制

锚杆杆骨、在提前预制加工时,应在硬化、干燥区域完成,并在转运放入过程中,严禁在施工区域进行地面拖运,防止杆体污染沾泥;严格控制杆骨加工垂直度,如出现杆骨接头明显弯折情况,须切除重新连接。另在杆骨底端进行杆尖封底及外侧居中定位杆架,保证杆骨在桩身砼中能正常居中振捣插入;杆筋所需的隔离架为非常规尺寸,通常使用现场 Φ 6钢筋废料或废弃注浆管制作简易隔离架,保证杆筋在杆骨内的居中度及侧壁水泥浆厚度满足设计要求;复合锚杆施工完毕后,应定期向杆骨内进行补浆处理,保证水泥浆液面不低于设计桩顶标高;振捣杆骨的平板振



> 图7 成孔后下插锚杆杆骨
> Fig.7 Inserting the anchor bone after drilling



> 图8 杆骨内灌注水泥浆后放入杆筋
> Fig.8 Inserting the composite rebar of anchor after perfusion cement of composite anchor bone

动器须预设1~2根定向牵引绳,在振捣插入杆骨过程中,及时纠正杆骨垂直度。

三、工程施工及效果

(一) 施工损耗

普通抗浮锚杆在成孔、管内灌注砂浆、下插锚杆工序完成后,在逐根拔除护壁套管过程中,管内砂浆液面出现明显下降,因此在拔除套管过程中须采取补充砂浆措施,待成桩后进行材料统计,三根普通抗浮锚杆试桩的M30水泥砂浆充盈系数为2.7。

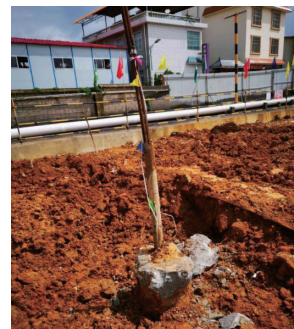
复合锚杆在长螺旋钻机施工至设计桩底标高后,开始泵送砼并提钻,待成桩后进行材料统计,三根复合锚杆试桩的C30细石砼充盈系数为1.15。

(二) 桩身完整性

各桩养护到期后,随即对桩身保护段进行凿除,其中普通抗浮锚杆部分保护段桩径大小不一,据现场统计,桩径变化范围约为:150mm~400mm,如后期在设计桩顶区域出现桩径过大情况,将造成结构施工单位防水措施无法正常开展。而复合锚杆则桩径一致,平均直径为410mm,且桩身砼密实,小应变检测结果均为I类桩。



> 图9 普通抗浮锚杆成桩外观
> Fig.9 Appearance of common anti-floating anchor



> 图10 复合锚杆成桩外观
> Fig.10 Appearance of composite anchor

(三) 抗拔检测

施工完毕养护到期后,随即由业主单位委托第三方检测单位对普通抗浮锚杆与复合锚杆进行单桩抗拔承载力基本试验,各桩平均试验结果见表2。从表2可以看出两种锚杆的实测抗拔承载力极限值均大于设计值;复合锚杆有效长度比普通锚杆短1米,但其极限承载力是普通锚杆的极限承载力2倍以上。

(四) 工程效果

孔径150mm,内置2束15.2mm钢绞线的普通抗拔锚索按180元/m计算,本次设计的复合锚杆按280元/m计算,可以得出复合锚杆方案较原设计抗拔锚索方案节约造价约20%。长螺旋桩施工工艺较常规锚索施工工艺简单,施工质量更容易保证,且长螺旋桩的施工速度远大于锚索的施工速度,能有效节省工期。长螺旋-复合锚杆因保护层厚度大、均匀,主要受力杆体(钢绞线)不仅有水泥浆(砂浆)包裹且外围还有钢管保护,其耐久性远优于常规锚索。综合来看,长螺旋-复合锚杆的安全性、耐久性、适用性和经济性优于常规抗拔锚杆。

表2 桩抗拔实验结果

Table 2 Experimental results of uplift pile

抗拔桩型	桩号	设计抗拔承载力极限值 (KN)	实测抗拔承载力极限值 (KN)	终压条件	备注
普通抗浮锚杆	KFMG-1	320	510	下级无法稳压	
	KFMG-2	320	540	同上	
	KFMG-3	320	450	同上	
复合锚杆	FHMG-1	760	1120	钢绞线材料断裂破坏	
	FHMG-2	760	1200	同上	
	FHMG-3	760	1120	同上	



> 图11 普通抗浮锚杆基本试验

> Fig.11 Basic experiment of common anti floating anchor



> 图12 复合锚杆基本试验

> Fig.12 Basic experiment of composite anchor

四、结论

复合锚杆是近年发展起来的一种复合桩型，其力学性能与防渗、防腐及抗裂效果介于普通抗浮锚杆与大直径抗拔桩之间，具有施工条件成熟、造价低、平面布置灵活、污染小等突出优点。通过现场对比试验发现：（1）长螺旋－复合抗拔锚索的承载力远大于普通抗拔锚杆且施工质量稳定且可靠；（2）长螺旋－复合抗拔锚杆在滇西冲洪积地层是适用的；（3）长螺旋－复合锚杆的安全性、耐久性、适用性和经济性优于常规抗拔锚杆。

参考文献

[1] 建筑工程抗浮技术标准（JGJ-476-2019）[S]. 北京：中国建筑工业出版社，2020.

[2] 复合锚杆技术. 北京：建研地基基础工程有限责任公司.

[3] 建筑桩基技术规范（JGJ94-2008）[S]. 北京：中国建筑工业出版社，2008.

矿井通风与瓦斯防治技术在煤炭开采中的实践

高冯亮

府谷县瑞丰煤矿有限公司, 陕西 榆林 719408

摘要： 本研究聚焦于煤炭开采中煤矿通风技术与瓦斯防治技术的实践应用，详尽剖析了通风技术原理、通风系统构建与优化策略，以及瓦斯生成与涌出机理，系统分类并阐释了瓦斯防治技术原理及其关键实施要点。进一步探讨了通风技术在设计、风流控制、网络优化、抗灾能力提升及安全监测预警中的应用，以及瓦斯防治技术在抽采、监测和环境保护中的作用。文末，综合评估了通风与瓦斯防治技术的发展趋势，强调了技术创新、智能化、环保理念与经济效益的重要性，旨在为煤矿安全生产提供理论支撑与技术指导，促进煤炭产业的持续发展。

关键词： 煤矿通风；瓦斯防治；煤炭开采；通风系统设计；风流控制

Practice of Mine Ventilation and Gas Prevention and Control Technology in Coal Mining

Gao Fengliang

Fugu Ruifeng Coal Mine Co., Ltd., Yulin, Shaanxi 719408

Abstract： This study focuses on the practical application of coal mine ventilation technology and gas prevention and control technology in coal mining. It provides a detailed analysis of ventilation technology principles, ventilation system construction and optimization strategies, as well as the mechanism of gas generation and emission. The study systematically classifies and explains the principles of gas prevention and control technology and its key implementation points. Furthermore, it explores the application of ventilation technology in design, airflow control, network optimization, disaster resistance improvement, and safety monitoring and warning, as well as the role of gas prevention and control technology in extraction, monitoring, and environmental protection. In conclusion, the study comprehensively evaluates the development trends of ventilation and gas prevention and control technology, emphasizing the importance of technological innovation, intelligence, environmental protection concepts, and economic benefits. It aims to provide theoretical support and technical guidance for safe production in coal mines and promote the sustainable development of the coal industry.

Keywords： coal mine ventilation; gas prevention and control; coal mining; ventilation system design; airflow control

引言

我国的能源结构中，煤炭占据着举足轻重的地位。然而，煤炭开采过程中矿井通风与瓦斯防治技术的应用直接关系到矿工的生命安全和煤炭产业的可持续发展。长期以来，矿井通风与瓦斯防治技术一直是矿业安全领域的研究热点。本文旨在探讨矿井通风与瓦斯防治技术在煤炭开采中的实践应用，分析现有技术的优缺点，展望未来的发展趋势，以期为我国煤炭产业的安全生产提供理论支持和实践指导。

随着煤炭开采深度的增加，矿井通风与瓦斯防治问题愈发突出。通风系统设计的合理性、风流控制的有效性、通风网络优化的科学性以及瓦斯抽采、监测技术的先进性，都直接影响到煤炭开采的安全、环保和经济效益。本文将从矿井通风技术、瓦斯防治技术以及二者在煤炭开采中的应用三个方面展开论述，通过分析关键技术与实际操作要点，探讨如何提高矿井通风与瓦斯防治技术的实践水平。

一、煤矿通风技术理论与实践

在煤矿安全生产中，通风技术起着至关重要的作用。为了确保矿井内空气质量，保障矿工的生命安全，以下将详细介绍煤矿

通风技术的基本原理、系统构建与优化，以及关键参数分析。

（一）煤矿通风技术的基本原理

主要的方法是应用机械通风，然后将有害气体及时地排出，这样就能够使得矿井气候条件变得有利于作业环境，能够很好地

供应矿井生产所需，同时也是灾害防治的一个重要的基础。主要的方法就是将矿井内的信息进行采集并经过相关的处理后，经过控制技术进行结合，依据“平战结合”的相关理念进行一定的按需供风^[1]。其基本原理是通过风机的抽吸和排放作用，形成矿井内的气流场，使新鲜空气不断进入，污浊空气排出，从而为矿工创造一个安全、舒适的作业环境。

（二）煤矿通风系统的构建与优化

煤矿通风系统的构建是煤矿生产过程中的重要环节。在矿井通风系统设计阶段，应优先考虑矿井的具体地质条件、生产规模和通风需求，以规划出适宜的通风网络。继而，需精心挑选适宜的风机、风门、风窗等通风设备，以保证通风系统的持续稳定运作^[2]。在此基础上，通过对通风系统的实时监测与调整，不断优化通风网络，提高通风效率，降低能耗，实现矿井安全生产。

（三）煤矿通风技术的关键参数分析

煤矿通风技术的关键参数包括风速、风量、风向、通风阻力等。这些参数直接影响到通风效果和矿井安全生产。风速和风量是衡量矿井通风能力的重要指标，合理控制风速和风量，既能保证通风效果，又能避免资源浪费。风向和通风阻力则关系到通风网络的稳定性，通过对这些关键参数的分析与调控，可确保煤矿通风系统的正常运行，为矿井安全生产提供有力保障。

二、瓦斯防治技术理论与实践

瓦斯灾害是煤矿安全生产的重大隐患之一，有效防治瓦斯事故对于保障矿工生命安全和矿井稳定生产至关重要。以下将从瓦斯生成与涌出机理、瓦斯防治技术的分类与原理，以及瓦斯防治技术实施要点三个方面，深入探讨瓦斯防治技术的理论与实践。

（一）瓦斯生成与涌出机理

在我国煤矿生产过程中，瓦斯灾害一直是威胁矿井安全的主要因素之一。瓦斯生成与涌出机理的研究，有助于从根本上揭示瓦斯的来源及其涌出规律，为煤矿安全生产提供理论依据。煤层在地质作用下，经过长时间的生物化学作用，积累了大量瓦斯^[3]。当煤层受到采动影响时，瓦斯压力增大，导致瓦斯从煤层中涌出。深入理解瓦斯生成与涌出机理，对于制定针对性的防治措施，有效降低瓦斯灾害风险具有重要意义。

（二）瓦斯防治技术的分类与原理

瓦斯防治技术分为两大类：一类是预防性技术，主要包括瓦斯抽采、煤层注水、通风等方法；另一类是治理性技术，主要包括瓦斯排放、瓦斯利用、防火隔离等手段。这些技术的原理各不相同，但共同目标都是为了降低矿井瓦斯浓度，防止瓦斯事故的发生^[4]。预防性技术侧重于提前消除瓦斯隐患，而治理性技术则针对已发生的瓦斯问题进行有效处理。

（三）瓦斯防治技术实施要点

在实际操作过程中，瓦斯防治技术的实施要点至关重要。初始阶段，须着力提升对矿井瓦斯地质条件的调查工作，为瓦斯防治技术的应用提供精确的数据支撑。随后，依据矿井的具体情况，科学选取适宜的瓦斯防治技术，以保证防治措施的有效性。

此外，强化现场管理，严格贯彻防治措施，确保瓦斯防治措施得到切实执行。最终，持续积累经验，不断完善瓦斯防治技术体系，为矿井的安全生产提供坚实的技术保障^[5]。

三、煤矿通风技术在煤炭开采中的应用

在煤炭开采过程中，煤矿通风技术扮演着至关重要的角色，它不仅关系到矿井的安全生产，还直接影响到矿工的生命安全。以下将详细介绍煤矿通风技术在煤炭开采中的应用，包括通风系统设计与风流控制、通风网络优化与抗灾能力提升以及通风安全监测与预警。

（一）通风系统设计与风流控制

煤矿通风技术的精髓在于通风系统的精心设计与风流的高效控制。一个科学而合理的通风系统设计构成了确保矿井空气质量、预防灾害发生的关键基础。在设计阶段，必须全面考虑矿井的具体地质条件、煤层的分布状况、开采工艺的需求等多方面因素，以确保风流能够高效地将新鲜空气输送到矿井的每一个作业点，同时将含有有害气体的污浊空气有效排出。风流控制则涉及通过调整风门、风窗等通风设施，精确分配矿井内部的风量并引导风流的方向，从而保障矿井通风系统的持续稳定和高效运行^[6]。这一过程要求高度的专业知识和精确的技术操作，以确保通风系统在复杂多变的矿井环境下始终保持最优的工作状态。

（二）通风网络优化与抗灾能力提升

在煤炭开采作业中，通风网络的优化与抗灾能力的增强无疑是提升矿井安全生产水平的关键环节。通风网络的优化目的在于通过精细调整通风系统的结构，实现通风效率的显著提升和能耗的有效降低。这一过程涉及对通风线路的合理简化、风阻的均衡分配，以及风机设备的科学配置，确保风流能够高效流通，满足矿井各区域的通风需求^[7]。同时，增强通风系统的抗灾能力意味着在遭遇突发灾害事件时，系统能够迅速做出响应，通过有效的风流控制保障人员的紧急疏散和救援行动的顺畅执行，从而最大限度地减少事故造成的损失。这要求通风系统设计者具备前瞻性的灾害预防意识和应急响应能力，以确保矿井在极端情况下的安全稳定。

（三）通风安全监测与预警

在煤矿生产过程中，确保通风安全是至关重要的，因此，建立一套高效可靠的通风安全监测与预警系统显得尤为关键。该系统通过持续实时监测矿井内的风速、风向、瓦斯浓度等关键安全参数，能够迅速识别出任何异常变化，并立即触发预警机制。利用先进的监测设备和技术，该系统能够对矿井环境进行全方位的监控，为矿井的安全生产提供坚实的技术保障^[8]。此外，预警系统的构建还为矿井管理人员提供了一种在事故发生前及时采取预防措施的手段，从而能够有效地将潜在的安全隐患遏制在初始阶段，避免事故的发生，保障矿工的生命安全和矿井的财产安全。

四、瓦斯防治技术在煤炭开采中的应用

在煤炭开采行业中，瓦斯防治技术是保障矿井安全、提高生

产效率的关键因素之一。瓦斯作为一种有害气体，其有效防治对于避免重大安全事故、保护矿工生命财产安全具有重要意义。以下将详细探讨瓦斯防治技术在煤炭开采中的应用，包括瓦斯抽采技术及其应用、瓦斯监测技术及其应用，以及瓦斯防治与环境保护的密切联系。

（一）瓦斯抽采技术及其应用

瓦斯抽采技术及其应用在煤炭开采中起着至关重要的作用。该技术通过钻孔、抽放等手段，将煤层中的瓦斯提前抽出，降低煤层瓦斯含量和瓦斯压力，从而防止瓦斯在开采过程中涌出造成事故。瓦斯抽采技术的应用不仅能够减少矿井瓦斯事故的发生，还能将抽采的瓦斯作为资源进行利用，实现能源的回收和经济效益的提升^[9]。在实际操作中，需要根据矿井的具体条件，选择合适的抽采方法，如本煤层抽采、邻近层抽采或者穿层抽采等，以达到最佳的抽采效果。

（二）瓦斯监测技术及其应用

瓦斯监测技术及其应用是瓦斯防治工作的另一重要环节。通过安装瓦斯监测传感器，可以实时监测矿井内的瓦斯浓度、风速、温度等关键参数，确保矿井安全生产。瓦斯监测技术的应用包括固定式和便携式监测系统，它们能够及时发现瓦斯异常涌出现象，为矿井提供预警信息，指导矿井采取相应的防治措施。此外，现代化的监测系统还能与矿井自动化控制系统相结合，实现远程监控和自动调节，大大提高了矿井的安全管理水平。

（三）瓦斯防治与环境保护

在瓦斯防治的过程中，环境保护同样不容忽视。瓦斯作为一种强温室气体，其排放对环境有着显著影响。因此，瓦斯防治技术不仅要考虑矿井安全，还要兼顾环境保护。通过采取有效的瓦斯抽采和利用措施，可以减少瓦斯直接排放到大气中，降低温室气体排放量^[10]。同时，对瓦斯抽采过程中产生的废水、废渣进行处理，防止环境污染，实现煤炭开采与环境保护的和谐发展。

五、煤矿通风与瓦斯防治技术的发展趋势

随着科技的不断进步和煤炭工业的持续发展，煤矿通风与瓦斯防治技术也在不断革新。未来的发展趋势将更加注重技术创新与智能化发展，融入环保理念实现绿色开采，并在确保安全生产的同时，追求经济效益的最大化。以下将详细探讨这些发展趋势及其在煤矿通风与瓦斯防治技术中的应用。

（一）技术创新与智能化发展

技术创新与智能化发展是煤矿通风与瓦斯防治技术的必然趋势。随着大数据、云计算、物联网等现代信息技术的广泛应用，煤矿通风与瓦斯防治系统将更加智能化。例如，通过智能监控系统，可以实时分析矿井内的环境数据，自动调节通风系统，优化风流分布，提高通风效率。同时，瓦斯抽采和监测技术也将实现自动化，通过智能算法预测瓦斯涌出规律，提前采取防治措施，从而大大降低瓦斯事故的风险。

（二）环保理念与绿色开采

环保理念与绿色开采已成为当今煤矿生产的重要指导原则。

在煤矿通风与瓦斯防治技术中，环保理念体现在减少污染物排放、提高资源利用率等方面。例如，通过高效瓦斯抽采技术，不仅可以防止瓦斯事故，还能将瓦斯作为清洁能源进行利用，减少对环境的破坏。绿色开采还要求在煤矿生产过程中，采用环保材料和工艺，减少对生态环境的影响，实现煤炭开采与环境保护的和谐共生。

（三）安全生产与经济效益相结合

安全生产与经济效益相结合是煤矿通风与瓦斯防治技术发展的关键。在确保矿井安全生产的前提下，企业需要通过技术创新提高生产效率，降低生产成本，从而实现经济效益的提升。例如，通过优化通风网络设计，减少无效风量，降低能耗，同时提高瓦斯抽采效率，将瓦斯转化为经济效益。此外，通过智能化管理，可以减少人力成本，提高管理效率，进一步提升煤矿的整体经济效益。

六、结束语

经过对矿井通风与瓦斯防治技术在煤炭开采中实践的深入探讨，本文揭示了其在保障矿井安全生产、提高煤炭产业经济效益方面的重要作用。通过分析现有技术，总结实践应用，并展望未来发展趋势，可以明确矿井通风与瓦斯防治技术领域尚存在众多待解问题，同时亦展现出显著的改进潜力。

在未来的煤炭开采活动中，持续推动矿井通风与瓦斯防治技术的创新与发展是不可或缺的。需加强理论研究成果与实践应用的深度融合，以达成矿井安全生产的更高标准。此外，应密切关注智能化与绿色环保技术在矿井通风与瓦斯防治领域的集成应用，助力我国煤炭产业的持续发展。本文的研究成果旨在为矿业同仁提供有价值的借鉴，推动矿井通风与瓦斯防治技术的进一步提升，共同守护我国煤炭工业的繁荣与安全。最终，共同努力，致力于打造一个安全、高效、环保的煤炭开采环境。

参考文献

- [1] 刘晓伟. 浅析矿井智能通风原理及关键技术[J]. 当代化工研究, 2021,(05):9-10.
- [2] 张露, 肖剑. 煤矿通风安全管理及瓦斯防治技术研究[J]. 当代化工研究, 2023,(19):146-148.DOI:10.20087/j.cnki.1672-8114.2023.19.046.
- [3] 杨建军. 矿井通风防治瓦斯技术[J]. 能源与节能, 2023,(09):148-150.DOI:10.16643/j.cnki.14-1360/td.2023.09.038.
- [4] 周连松. 煤矿通风安全管理及瓦斯防治技术[J]. 矿业装备, 2023,(09):111-113.
- [5] 常沛. 煤矿矿井通风安全管理及瓦斯防治技术研究[J]. 矿业装备, 2023,(08):108-110.
- [6] 张敏. 煤矿矿井通风安全管理及瓦斯防治技术探析[J]. 内蒙古煤炭经济, 2023,(14):101-103.DOI:10.13487/j.cnki.imce.023971.
- [7] 陈武刚. 煤矿矿井通风安全管理及瓦斯防治技术研究[J]. 矿业装备, 2023,(07):143-145.
- [8] 王斌鑫. 煤矿通风安全管理及瓦斯防治技术研究[J]. 矿业装备, 2023,(03):122-124.
- [9] 谢超. 煤矿矿井通风安全管理及瓦斯防治技术研究[J]. 山西化工, 2023,43(02):141-142+157.DOI:10.16525/j.cnki.cn14-1109/tq.2023.02.058.
- [10] 赵志军. 煤矿通风安全管理及瓦斯防治技术研究[J]. 矿业装备, 2022,(01):125-127.

基于 FMEA 法的 PROTOS1-8 卷烟机故障风险评估

安丽媛, 李越, 陈琳琳

山东中烟工业有限责任公司, 山东 济南 250014

摘 要 : 为有效降低 PROTOS1-8 卷烟机的故障停机率, 提高有效作业率生产效率, 基于失效模式和效应分析 (FMEA), 分析涉及卷烟机组潜在故障模式及其原因, 以及故障的检测与识别方法, 进一步探讨了这些故障对设备运行的影响及相应的处理措施。研究中利用风险顺序数 (RPN) 进行风险量化评估, 从而确定优先的改进方向。研究结果表明, FMEA 方法在降低 PROTOS1-8 卷烟机故障停机风险方面的实际应用价值, 为类似卷烟设备的故障预防和管理提供了有力的理论与实践支持。

关 键 词 : PROTOS1-8 卷烟机; 故障停机; 失效模式和效应分析; 风险顺序数

Fault Risk Assessment of PROTOS1-8 Cigarette Machine Based on FMEA

An Liyuan, Li Yue, Chen LinLin

Shandong Tobacco Industrial Co., Ltd. Jinan, Shandong 250014

Abstract : In order to effectively reduce the failure shutdown rate of PROTOS1-8 cigarette rolling machine and improve the production efficiency of effective operation rate, based on Failure Mode and Effects Analysis (FMEA), this paper analyzes the potential failure modes and causes of the cigarette unit, as well as the detection and identification methods of the failures. Furthermore, the impact of these failures on equipment operation and corresponding treatment measures are explored. In the study, risk order number (RPN) was used for risk quantification assessment to determine priority improvement directions. The research results indicate that the FMEA method has practical application value in reducing the risk of PROTOS1-8 cigarette rolling machine failure and shutdown, providing strong theoretical and practical support for the prevention and management of similar cigarette equipment failure

Keywords : PROTOS1-8 cigarette machine; fault shutdown; failure mode and effects analysis; RPN

PROTOS1-8 卷接机组是德国 HAUNI 公司生产的具有世界先进水平的中速卷烟设备, 主要为多规格、小批量生产而设计, 其额定生产速度为 6000 支 / 分钟, 承载着企业细支卷烟的生产任务。目前该机组的故障停机率较高, 导致设备有效作业率水平低下, 严重制约着企业细支卷烟的产量和发展。

为有效解决该问题, 采用失效模式与效应分析 (Failure Mode and Effects Analysis, FMEA) 对卷烟机的故障风险进行评估^[1-3], 通过对 PROTOS1-8 卷烟机工作流程中可能存在的故障模式及其原因、识别特征、故障影响及后果、处理措施进行全面的分析, 然后利用风险顺序数 (Risk Priority Number, RPN) 来量化和评估故障的风险程度, $RPN = \text{严重度}(S) \times \text{发生频度}(O) \times \text{探测度}(D)$, 如果 RPN 值越高, 表明该故障模式的风险越大。

一、基于 FMEA 的卷烟机停机故障分析

针对关键工艺关键过程, 结合机器内部流程, 寻找影响 PROTOS1-8 卷烟机故障停机的潜在原因。

(一) VE 供丝成型系统

VE 供丝成型系统的关键过程是形成烟丝束, 其常见的故障模式、原因分析及解决措施见表 1。

表 1 VE 供丝成型系统关键流程的故障分析

关键流程	故障表现	故障原因	识别方法	解决措施
形成烟丝束	初级分离器气压不当	(1) 初级分离器气压过大; (2) 初级分离器气压不足	人工检查	定期校准, 保证气压正常
	风室上的压力不当	(1) 风室上的压力过大; (2) 风室上的压力不足	人工检查	定期校准, 保证风室上的压力正常

作者简介: 安丽媛 (1988.5-), 女, 山东中烟工业有限责任公司, 助理工程师, 硕士研究生。

关键流程	故障表现	故障原因	识别方法	解决措施
形成烟丝束	烟舌磨损	烟舌安装位置不当	重量检测	定期校准，及时更换
	针辊残缺	针坏、掉针	人工检查	定期检查，及时更换
	吸丝带质量不好	(1) 吸丝带磨损；(2) 安装不合适吸丝带打滑	人工检查	定期检查，及时更换

(二) SE 烟条成型系统

SE 烟条成型系统的关键过程包括卷烟纸输送、封口上胶、烟条成型、烟条分切和样条段传递五个流程^[4]。SE 烟条成型系统关键过程常见的故障模式、原因分析及解决措施见表2。

表2 SE 烟条成型系统关键流程的故障分析

关键流程	故障表现	故障原因	识别方法	解决措施
卷烟纸输送	卷烟纸跑偏	挡块位置不正确	人工检查	重新校准，保证挡块位置正确
	拼接压花辊拼接位置不正确	拼接压花辊位置不正确	人工检查	及时更换
	清洁气管堵塞	(1) 清洁气缸堵塞；(2) 清洁气阀堵塞	人工检查	定期清理
封口上胶	胶桶有气泡	胶桶压力 B60S 大	人工检查	定期检查校准，保证压力正常
	胶水质量参差不齐	胶桶内有沉淀结皮	人工检查	增加过滤装置，过滤沉淀结皮
	喷胶头位置不正确	安装位置不准确	设备停机报警	重新安装定位喷胶头
	封口胶胶量不正确	加胶电机转速设定不正确，造成封口胶过量或不足	设备停机报警	精确设定加胶电机转速
烟条成型	大压板位置不正确	安装位置不准确	设备停机报警	重新安装定位大压板
	小压板位置不正确	安装位置不准确	设备停机报警	重新安装定位小压板
	烙铁位置不正确	安装位置不准确	设备停机报警	重新安装定位烙铁
	烙铁温度设定不当	(1) 烙铁温度设定过高；(2) 烙铁温度设定过低	设备显示报警	重新设定烙铁温度
	布带松紧度不正确	(1) 布带拉力过大；(2) 布带拉力过小	设备停机报警	重新校准布带松紧
	布带质量不好	(1) 布带磨损；(2) 布带安装不合适	设备停机报警	(1) 更换皮带；(2) 重新安装定位布带
	打条器安装位置错误	安装位置不正确	人工检查、设备报警	重新安装定位打条器
烟条分切	喇叭嘴安装位置错误	喇叭嘴装反	设备停机报警	重新安装定位喇叭嘴

关键流程	故障表现	故障原因	识别方法	解决措施
烟条分切	进刀次数错误	进刀次数少	进刀次数人工检查	重新设定进刀次数
	磨刀电机安装角度不正确	安装角度不正确	人工检查、设备报警	重新安装定位磨刀电机
烟条段传递	蜘蛛爪与传烟导轨间隙不正确	安装位置不正确	设备报警	重新安装定位蜘蛛爪与传烟导轨
	蜘蛛手传递臂气流通道堵塞	负压设置不正确	设备报警停机	重新设定负压
	接收鼓与吸气槽位置不对应	接收鼓与吸气槽工作不同步	人工检查	检查清理
	吸气槽磨损	安装位置不正确	人工检查	重新安装定位吸气槽

(三) MAX 滤嘴接装系统

MAX 滤嘴接装系统的关键过程包括滤嘴输入、水松纸切割、烟支搓接、烟支切割和烟支输出五个流程。MAX 滤嘴接装系统关键过程常见的故障模式、原因分析及解决措施见表3。

表3 MAX 滤嘴接装系统关键流程的故障分析

关键流程	故障表现	故障原因	识别方法	解决措施
滤嘴输入	滤棒硬度不标准	滤棒硬度大	人工检查	质量追溯
	滤棒分切轮负压不正确	负压大，造成滤棒抢孔	设备报警停机	降低滤棒分切轮负压
	滤嘴加速轮导轨间隙不当	滤嘴加速轮导轨设计不当	人工检查	重新设定滤嘴加速轮导轨
水松纸切割	水松纸切刀磨损	水松纸切刀磨损	人工检查	定期检查，及时更换
烟支搓接	平衡风不稳定	(1) 平衡风压力过大；(2) 平衡风压力过小	人工检查	重新设定平衡风
	搓板与搓接鼓轮间隙过大；(2) 搓板与搓接鼓轮间隙过小	(1) 搓板与搓接鼓轮间隙过大；(2) 搓板与搓接鼓轮间隙过小	人工检查	重新设定搓板与搓接鼓轮间隙
	切纸轮与靠拢鼓轮间隙不当	(1) 切纸轮与靠拢鼓轮间隙过大；(2) 切纸轮与靠拢鼓轮间隙或过小	人工检查	重新设定切纸轮与靠拢鼓轮间隙
	搓板加热器温度不当	(1) 搓板加热器温度过大；(2) 搓板加热器温度过小	人工检查	重新设定搓板加热器温度
	搓接鼓轮吸风口数量不当	搓接鼓轮吸风小口数量不当	人工检查	重新设定搓接鼓轮吸风口数量
	最终切割鼓轮刀缝不当	(1) 最终切割鼓轮刀缝过大；(2) 最终切割鼓轮刀缝过小	人工检查	重新安装定位喇叭嘴

关键流程	故障表现	故障原因	识别方法	解决措施
烟支切割	最终切割鼓轮刀磨损	最终切割鼓轮刀磨损	人工检查	定期检查，及时更换
烟支输出	输送带与转角尼龙位置不当	输送带与转角尼龙间存在间隙	设备报警	重新安装定位
	皮带磨损	皮带磨损接触不均匀	设备报警 停机	定期检查，及时更换
	皮带张紧度不当	轴承压力受力不均	设备报警 停机	重新定位张紧轮

二、RPN 分析

由项目设计人员、专业技术人员及资深操作人员组成的 FMEA 小组，共同探讨和量化故障模式的严重性、发生频度和探测度并计算风险值^[5]。对于所有考虑到的故障模式，评估故障模式的严重程度、发生频度和探测度。

在 PROTOS1-8 卷烟机停机故障 FMEA 分析中，采用的故障模式严重度、发生频度和探测度等级结合了参与者知识、经验以及团队的协商，最终形成的 FMEA 分析表。根据风险度（RPN）分值，筛选出 RPN 值高≥100 分的潜在失效模式为封口胶胶量不正确、蜘蛛手传递臂气流通道堵塞、滤嘴加速轮导轨间隙不当、搓板与搓接鼓轮间隙不当、胶水质量参差不齐、磨刀电机安装角度不正确、烟舍磨损、布带松紧度不正确、吸气槽磨损、水松纸切刀磨损、烙铁温度设定不当、吸丝带质量不好、打条器安装位置错误这 14 项^[6]。

三、改进措施

根据 FMEA 分析的结果，针对 14 项潜在失效模式，从原因是否明确、措施是否对口、改进容易程度、过程是否可逆、改进

成本大小、改进时间长短等方面可行性评价，确定相应的改进措施^[7]。首先，针对吸丝带质量不好、滤嘴加速轮导轨间隙不当、磨刀电机安装角度不正确、烟舌磨损、吸气槽磨损、水松纸切刀磨损、输送带与转角尼龙位置不当和搓接鼓轮吸风小口数量不当这 8 项失效模式，及时分析原因，果断采用调整或更换部件的快速改进措施，故障停机率得到显著降低^[8]。其次，采用技术分析或试验设计等科学方式，筛选胶水品牌，确定上机适用性最好的胶水产品；合理调整烙铁温度，使其在最佳范围内发挥作用；适度调节布带松紧度，保障生产的顺畅进行；准确调整打条器位置，提高产品的质量和一致性等，通过对参数的优化，极大地提升了制造过程的质量，从而进一步有效降低故障发生率。接着，开展专业培训项目，为操作者提供全面系统的操作、维护和故障排除培训，确保操作人员能够正确且安全地使用设备，及时识别潜在问题，并采取恰当的措施进行处理。最后，建立卷烟机关键部件的定期维护和检查计划，按照计划定期点检，清理设备，及时更换老化或易损的部件，始终保持设备处于最佳工作状态，为高效、稳定的生产提供有利保障。

四、结论

（1）应用 FMEA 法，本文系统梳理出 PROTOS1-8 卷烟机存在的主要故障停机风险，通过定量和定性的分析，评估了这些潜在的故障模式可能对设备的作业率造成的影响^[9]。

（2）通过风险顺序数（RPN）的计算与分析，明确了故障模式的优先级，为资源分配与改进优化提供了明确的量化依据。

（3）本文强调定期维护和检查对确保设备长期稳定运行至关重要，即在实施基于 FMEA 的改进措施后，持续的检查和保养仍然是保障设备最佳状态的关键^[10]。

通过上述分析，本文展现了 FMEA 方法在降低 PROTOS1-8 卷烟机故障停机风险方面的实际应用价值，为类似卷烟设备的故障预防和管理提供了有力的理论与实践支持。

参考文献

[1] 马庆丰, 苏国寿, 杨艳阳等. 基于六西格玛原理的降低卷烟单箱耗叶 [J]. 科技创新导报, 2017, 14(34):106.
[2] 谢春芳. FMEA 的认识及应用 [J]. 中国高新技术企业, 2011(05):40.
[3] 钟军宁, 雷静彬. 降低 ZJ17 型卷接机故障停机次数的方法探究 [J]. 设备管理与维修, 2017(19):69
[4] 伞金辉, 杨天侯, 卢煜文, 白九重, 喻波. 基于 CNN 算法的高速卷烟机智能故障诊断系统设计与实现 [J]. 中国机械, 2024, (02): 28-31.
[5] 钟东怀. 烟机设备故障诊断智能化流程及日常维护策略研究 [J]. 中国设备工程, 2023, (20): 178-180.
[6] 孙梦迪. 基于算法分析的卷烟机 MAX 大风机故障诊断 [J]. 设备管理与维修, 2022, (22): 156-158.
[7] 赵森, 杨雪超, 聂坤, 罗扬, 潘思禹. ZJ17 型卷烟机接装纸多形式缺陷故障维修 [J]. 今日制造与升级, 2022, (10): 181-183.
[8] 谭兴旺, 王兴会, 马昌祥, 杨坤华, 陈鹏, 代超, 刘克龙. 帕西姆卷烟机停机超时自动关停加热系统 [J]. 轻工科技, 2022, 38 (02): 98-100.
[9] 黄春辉, 徐志. PROTOS 70 卷烟机组烟支剔除装置的设计与实现 [J]. 电大理工, 2021, (02): 9-12.
[10] 杨劲松. 卷烟机设备管理与维护研究 [J]. 科技创新与应用, 2021, 11 (17): 191-193.

装配式住宅建筑工程造价与成本控制管理分析

黄芳

赣州经济技术开发区人力资源有限公司, 江西 赣州 341000

摘 要： 装配式建筑相较于传统的建筑模式具有明显的高效节能特征, 且具有一定的环保性质, 得到了诸多建筑企业的青睐。在目前建筑行业高速发展的背景下, 装配式建筑的应用愈发普遍。然而, 装配式建筑在工程造价与成本控制方面比传统的建筑模式更加复杂, 因此对工程造价与成本控制管理工作提出了更大的挑战。本文将以装配式住宅建筑的基本特点出发, 分析装配式住宅建筑工程造价与成本控制管理的基本原则, 并结合当前存在的问题, 探索装配式住宅建筑工程造价与成本控制管理的优化策略, 旨在为装配式建筑的应用与发展提供相应的理论支持。

关 键 词： 装配式住宅建筑; 工程造价; 成本控制; 管理分析

Analysis of Cost and Cost Control Management of Assembled Housing Construction Project

Huang Fang

Ganzhou Economic and Technological Development Zones Human Resources Limited, Ganzhou, Jiangxi 341000

Abstract： Compared with the traditional building model, prefabricated building has obvious characteristics of high efficiency and energy saving, and has certain environmental protection nature, which is favored by many construction enterprises. With the rapid development of the construction industry, the application of prefabricated building is becoming more and more common. However, the prefabricated building is more complex than the traditional construction mode in the aspect of construction cost and cost control, so it poses a greater challenge to the construction cost and cost control management. Based on the basic characteristics of assembled housing construction, this paper analyzes the basic principles of construction cost and cost control management of assembled housing construction, and combines the existing problems, in order to provide theoretical support for the application and development of prefabricated building, the paper explores the optimization strategy of cost control and management in assembled housing construction

Keywords： assembled housing construction; project cost; cost control; management analysis

装配式住宅建筑目前我国住宅建筑领域的应用目前十分广泛, 是我国建筑行业重要的发展方向之一。装配式住宅建筑工程的涉及范围相对较为复杂, 各环节的情况均对成本预算具有重要影响, 为提高对于装配式建筑工程项目的成本把控能力, 需要制定具有针对性的工程造价与成本控制方案, 并加以落实, 强化施工过程中的成本控制。只有加强了对施工项目的成本控制能力, 才能够提高工程项目的经济效益, 促进施工建筑企业的良好发展。

一、装配式住宅建筑概述

(一) 装配式住宅建筑的基本概念

装配式住宅建筑是一种新型的住宅建筑模式, 其主要流程是优先在建筑施工环节开始之前便在工厂车间进行相关结构件的预制生产, 以标准化的生产流程保障建筑结构的规范性, 随后再将生产完成的预制构件运输到施工现场, 利用连接构件进行机械化搭建, 最终形成具有完整功能的建筑^[1]。装配式住宅建筑的重点是预制构件的生产环节, 利用充足的准备减少工程现场的施工时间, 极大地提高了现场施工的效率, 对于建筑施工行业具有重要

的促进作用。

(二) 装配式住宅建筑的具体类型

装配式住宅建筑可以分为钢结构类型和混凝土结构类型, 其中, 混凝土结构类型相对传统, 在预制构件工厂加工环节的要求更加严格, 在进行现场安装时, 需要对连接区域进行混凝土浇筑, 以此提高建筑的稳定性。混凝土结构类型的装配式住宅建筑的成本相较于钢结构类型更加低廉, 在材料及技术方面的投入较低, 因此在成本控制方面具有一定的优势; 钢结构类型则主要使用钢材作为建筑的承重结构, 在材料强度上远高于混凝土结构类型^[2]。钢结构类型的装配式建筑方式具有较强的防震效果和一定

的保温功能，其建筑性能更强，目前已经被广泛应用于高层住宅建筑的施工活动当中，且取得了一定成效。钢结构类型的装配式建筑对于技术及材料的要求较高，因此，在成本投入方面比混凝土结构更大，对于工程项目的造价预算及成本控制管理具有更高要求。

（三）装配式住宅建筑的基本特点

首先，相较于传统的住宅建筑模式，装配式建筑最为显著的特点便是其建筑效率高。在全预制装配的模式下，施工现场仅需要进行组装活动，极大地缩短了施工现场的工期，在建设速度上远远优于传统的建筑模式；其次，质量稳定也是装配式住宅建筑的重要特点之一。在工厂进行的预制生产活动相较于施工现场的建设活动具有更高的精密程度，从制造流程上更加规范。工厂车间预制模式可以充分保障各个预制构件的质量，提高建筑结构的稳定性^[6]；此外，装配式住宅建筑具有较高的制造精度。在工厂车间进行预制构件生产活动，从设计到加工都具有严格的统一标准，因此在设计和加工上呈现出高精度的特征；最后，成本投入大也是装配式建筑的明显特点。装配式建筑对于生产活动的要求较高，在生产流程上比较复杂，因此需要较大的资源投入，自然提高了建筑成本。

二、装配式住宅建筑工程造价与成本控制管理的基本原则

（一）规范性原则

工程造价与成本控制是影响工程项目最终收益情况的重要因素之一，适用于工程建设的整个流程。因此，在进行装配式建筑工程造价与成本控制工作时应当注意其规范性，用标准化的成本控制流程对成本预算与成本管理活动进行有效约束。建筑企业在编制相关造价文件时，应当严格遵守国家制定的国标规范，明确工程造价与成本控制相关文件的编制方法，加强对于施工项目的行政管理强度，利用标准化流程提高装配式住宅建筑工程造价与成本控制管理活动的最终效果^[4]。

（二）兼容性原则

装配式住宅建筑在项目规模上远高于传统的建筑项目，项目流程更长、环节更多，从项目规划到竣工环节所跨越的时间跨度更长。在这种情况下，需要考虑到不同时期的市场物价变化对于项目成本的影响；随着时间跨度的增加，国家政策也会发生一定程度的变化，因此也需要将政策因素考虑在内；另外，时间跨度大也会导致项目需求发生改变，对于项目的造价与成本规划造成较大影响。因此，在进行装配式住宅建筑工程造价与成本控制管理活动时，应当提高工程造价与成本控制规划的兼容性，让相关的造价体系在任何时间都具有相当的适用性，尽量做到造价体系在不同时段的有效兼容。

（三）可靠性原则

工程造价与成本控制对于建筑工程项目的意义十分重要，因此，在进行装配式住宅建筑工程造价体系的建设工作时，需要保证工程造价与成本控制体系的可靠性，以真实准确的数据为装配

式建筑工程的成本控制活动提供依据，保障成本控制决策的科学性^[5]。在进行工程造价的数据采集环节，需要以更加全面、更加细致的理念提高数据采集活动的准确性，针对材料投入、人工投入、设备投入等成本信息进行全面的采集，保障参考数据的可靠性。

三、装配式住宅建筑工程造价与成本控制管理中存在的问题

（一）缺乏合理的预算编制体系

造价编制是装配式建筑工程成本控制活动的重要内容，对于施工项目的成本控制情况具有重要意义。然而，目前许多工程项目在工程造价的编制方面不够合理，缺少完整、全面的预算编制体系，这将直接影响到预算工作的最终质量和工程的成本投入情况。预算编制体系的缺失将会使装配式住宅建筑工程的预算活动出现偏差，出现对工程量的计算失误、对工程投入变化的应对不及时，以及对市场价格变化的不敏感等问题。预算编制体系的缺失还可能会导致在进行施工设计活动时过于理想化，忽视了成本对于装配式建筑施工的影响，导致施工方案缺少合理性，严重影响了装配式住宅建筑工程造价与成本控制管理的综合质量。

（二）对成本控制的监督力度较低

装配式建筑工程的成本控制活动涉及工程建设的诸多环节，需要针对不同环节进行全面管控，以此提高成本控制的效果。因此，成本控制对于工程施工的影响十分巨大，为保证成本控制活动的有序性，需要加大对成本控制环节的监管力度，通过宏观且全面的监管保障成本控制行为的合理性与可靠性。但在实际的装配式建筑工程当中，对于成本控制的监督工作不够到位，总体的监管力度存在较大不足^[7]。

（三）相关从业人员专业素养有所不足

由于装配式住宅建筑模式在我国的起步较晚，与之相关的工程造价与成本控制的发展时间比较短，因此相关从业人员并未得到足够的锻炼，导致成本管理人员缺乏在装配式建筑工程方面的经验，造成了从业人员专业素养不足的情况。在这种情况下，对于装配式住宅建筑的工程造价以及成本控制管理将无法充分发挥其最佳作用，从而导致了工程成本管理能力的降低。装配式建筑的技术较为先进，因此在实际操作中需要提前进行科学合理的规划，以此保障建设活动的合理性，其中，对于成本的预测和控制将成为规划的重要参考依据。若成本管理人员的专业素养不足，则很有可能导致对工程成本出现误判，进而对装配式住宅建筑的工程规划造成误导，造成工程规划的不合理，严重影响了工程项目的有序进行。

（四）配套的工业制造体系不够成熟

装配式住宅建筑近年来在我国的发展十分迅速，但与发达国家之间依然存在着一定差距，这种差距集中体现在配套的工业制造体系的不成熟。由于装配式住宅建筑需要提前在工厂生产线进行预制构件的生产活动，因此对配套的工业能力具有较高要求^[8]。同时，由于装配式住宅建筑在我国的起步较晚，因此尚未形成成

熟的配套工业体系，无法保障预制件的生产质量，且不同地域、不同厂家生产的构件存在着较大差异，无法形成规模效应，对于装配式建筑工程的造价与成本控制活动带来了不利影响。

四、装配式住宅建筑工程造价与成本控制管理的优化策略

（一）构建起完善的建筑工程基础价格体系

在装配式建筑工程当中，预制构件等建材的价格对于项目的成本预算具有决定性的影响，为提升项目的成本控制水平，需要优先做好预制构件的价格规范，构建起完善的建筑工程基础价格体系，保证价格合理的同时，为成本管理工作提供更加明确的决策依据。为实现这一目标，首先需要在构件材料的选择过程中，充分考虑材料的价格因素，做到质量与价格的有机统一，在保证构件质量的同时优化构件的成本投入，使预制构件制造成本更加合理^[9]。其次，应当选择具有资质的供应商进行构件采购活动，并通过长期合作的形式降低构件价格。最后，需要根据实际情况对构件价格进行灵活调整，通过价格控制实现最佳的成本控制效果。

（二）加强工程造价与成本控制管理人员的专业素质

在装配式建筑工程造价预算管理与成本控制活动中，相关工作人员的专业素质是决定成本管理成效的重要因素，因此需要积极采取措施，加强工程造价与成本控制管理人员的专业素质，做好工程造价与成本控制团队的优化建设工作。在具体的实施环节，需要优先对现有的成本管理人员进行专业化的培训活动，采

用讲座的模式为其普及装配式住宅建筑的相关特点，并引导其思考针对装配式建筑工程的造价预算与成本管理模式，通过培训活动以及实践引导提高现有人员的专业化能力^[10]。

（三）加强装配式建筑构件产业链的建设

针对装配式住宅建筑配套工业制造体系不够成熟的问题，需要积极采取相关措施，推动装配构件产业的规范化发展，使其成为完整的产业结构，构建起材料、构件、施工、交付等环节为主体的产业链，保证装配式住宅建筑工程的有序进行，为装配式建筑提供成熟的工业生产体系，最终实现对项目成本控制的优化。首先应当加强产业链的总体规划，明确各产业环节进行任务与目标，通过科学的规划提高保证构件配给的充足。其次，应当进一步加强对产业链的总体规划，将产业链上的各个企业进行宏观统筹，使其形成企业集群，通过各企业的联合生产形成集群效应，对区域资源进行优化配置，最终形成规模经济，从而降低构件的生产成本。

五、结束语

综上所述，装配式住宅建筑相较于传统的建筑模式具有灵活性高、施工环节的工期短等优势，对于我国建筑行业的发展具有重要意义。由于装配式住宅建筑与传统建筑在流程上具有较大差异，因此其相关的工程造价与成本控制管理机制也需要有所变动，通过对成本的有效管理实现装配式住宅建筑工程长期健康发展。

参考文献

- [1] 陈胜男. 装配式住宅建筑工程造价与成本控制管理分析[J]. 电脑爱好者(普及版)(电子刊), 2022(10):1809-1810.
- [2] 郭菲菲. 装配式住宅建筑工程造价与成本控制管理分析[J]. 电脑校园, 2021(12):3469-3471.
- [3] 邱洋, 高瑜. 基于 BIM 技术的装配式建筑成本控制研究[J]. 数码精品世界, 2022(12):252-254.
- [4] 向雨婷. 装配式钢结构住宅建筑工程造价控制措施研究[J]. 工程机械与维修, 2024(6):62-64.
- [5] 陈晓婷. 装配式建筑工程造价与成本控制研究[J]. 装饰装修天地, 2019(3):214.
- [6] 姜纯鹤. 装配式建筑工程造价与成本控制分析[J]. 电脑高手(电子刊), 2021(3):1774.
- [7] 龚璇. 装配式建筑工程造价预算与成本控制问题探究[J]. 建筑工程技术与设计, 2020(1):730.
- [8] 郭晓宇. 装配式建筑施工成本分析及成本控制研究[J]. 工程与建设, 2023, 37(2):785-787, 793.
- [9] 梁成文. 装配式建筑工程造价控制措施分析[J]. 区域治理, 2020(47):144.
- [10] 陈波, 楼映珠, 陈杭生. 基于成本控制的装配式建筑实施方案分析[J]. 浙江建筑, 2022, 39(4):74-78.

蜂巢格室生态护坡在山地城市的应用研究

赵文锋, 陈尊伟, 王莉娜

林同棧国际工程咨询(中国)有限公司, 重庆 400000

摘要： 山地城市的边坡具有高度高, 景观要求高, 绿化难度大等特点, 传统的混凝土护坡造价高, 施工难度大, 绿化效果差。蜂巢格室因具有运输便利、施工简单、生态环保、经济安全等优良性能而广泛应用于工程中, 非常适宜在山地城市的边坡绿化防护中推广应用。本文主要介绍了山地城市边坡的特点, 蜂巢格室护坡的作用原理及施工要点, 突出强调了施工过程中的重点注意事项, 通过工程案例的分析, 蜂巢格室护坡在山地城市中得到了良好的应用, 为后期蜂巢格室护坡的推广运用提供有益参考

关键词： 蜂巢格室护坡; 山地城市; 绿化

Application Research of Honeycomb Cellular Ecological Slope Protection in Mountainous Cities

Zhao Wenfeng, Chen Zunwei, Wang Lina

Lin Tongyan International Engineering Consulting (China) Co., Ltd., Chongqing 400000

Abstract： The slopes of mountainous cities are characterized by their high altitude, demanding landscape requirements, and difficulty in greening. Traditional concrete slope protection methods are costly, difficult to construct, and have poor greening effects. Honeycomb cellular structures, due to their excellent performance in convenient transportation, simple construction, ecological environmental protection, and economic safety, are widely used in engineering projects and are very suitable for promotion and application in slope greening protection in mountainous cities. This article mainly introduces the characteristics of slopes in mountainous cities, the working principle and construction key points of honeycomb cellular slope protection, and highlights the key considerations during the construction process. Through the analysis of engineering cases, honeycomb cellular slope protection has been well applied in mountainous cities, providing a useful reference for the later promotion and application of honeycomb cellular slope protection.

Keywords： honeycomb cellular slope protection; mountainous city; greening

一、概述

重庆属于典型的山地城市, 地形地质条件复杂, 道路建设中的高挖方、高填方非常普遍, 产生了大量的岩质边坡; 以往为保证高陡边坡的稳定性, 通常采用素喷混凝土或锚喷混凝土, 也采用锚杆框格梁等坡面防护。这些硬质防护施工难度大, 造价高, 人工劳力用量大, 工期长。这些防护虽然初期稳固和抗侵蚀效果较好, 但随着时间的推移, 岩石风化、混凝土老化和钢筋锈蚀使其效果越来越差^[1], 同时这些硬质防护景观效果极差^[2-3], 对生态的破坏比较大, 与周边环境不融合, 属于山地城市中的负面典型; 近年来的建设越来越注重环境保护, 景观绿化, 讲究人与自然的和谐, 因此, 有必要对山地城市岩质边坡防护进一步完善, 探寻一种施工简单, 造价低, 施工快, 绿化效果好的护坡方式。

蜂巢格室也称为土工格室, 最早出现于20世纪80年代, 作为一种新型的土工合成材料, 以其优异的性能迅速占据岩土工程

应用市场。蜂巢格室是由聚合物宽条带经由强力焊接或铆接键连接成的立体网状物, 在使用时张开并充填石或混凝土料, 能够构成强大的侧向限制和大刚度的结构体。一方面根据蜂巢格室的规格、高度、强度的不同, 可以用于坡面防护、冲刷防护及基础垫层。另一方面, 从环保角度看, 在蜂巢格室结构体上覆盖绿色植物, 不仅可以达到绿化效果, 同时可实现水土保持, 使得蜂巢格室成为当今社会不可多得的环保材料^[4]。

蜂巢格室优良的工程使用性能主要体现在以下几个方面:

(1) 蜂巢格室的化学性能比较稳定, 对酸碱有较强的耐性, 可以用于各种地质条件。(2) 具有强大侧向限制力, 防滑、防变形, 有效地增强坡面整体性和分散荷载作用^[5]。(3) 可以根据当地情况选择格室内的填充材料, 护坡营养土可优先选用清表土, 可以节省大量工程成本。(4) 规格齐全, 改变蜂巢格室高度、焊距等几何尺寸可满足不同的工程需要^[6]。(5) 蜂巢格室属于成品, 方便运输, 现场铺设简便, 拼接快捷方便, 速度快。

基金项目: 重庆市建设科技计划项目: 山地城市装配式混凝土挡墙及边坡防护构件技术研究(项目编号: 城科学2022第1-7号)。

作者简介: 赵文锋(1987.03-), 男, 汉族, 重庆, 正高级工程师, 硕士研究生, 岩土工程专业。

二、山地城市岩质边坡的特点

(1) 边坡高度较高，绿化难度大

山地城市道路施工时，往往存在大开挖的情况，会形成超限高边坡；城市的高边坡在支护处理时不仅要求安全可靠，还需要注意与周围景观的协调，尽量避免裸露岩体或混凝土喷护形成的坡面。坡面绿化在山地城市高边坡中是非常重要的，可以提升城市品质，突出山地城市的特色，营造独特的山地城市景观。

(2) 绿化难度大

部分山地城市的边坡较高，绿化实施时需保证客土的稳定性，以往的常规做法是采用锚杆框格梁进行固土；当边坡较高时，锚杆及格梁实施难度大，施工工期长，传统的格梁需在岩质边坡上刻槽，部分岩体较破碎时很难施工，刻槽时会对破碎岩体造成破坏，导致部分格梁底部悬空；锚杆框格梁的造价相对较高，绿化效果一般。

三、蜂巢格室生态护坡的防护机理

(1) 消减水能量，降低水对坡面的冲刷破坏程度^[4]

蜂巢格室结构强度高，可以对内部填充的土体起到很好的侧向限制作用。大范围铺设蜂巢格室后，在锚钉的固定作用下，边坡表面的种植土可以有很强的抗冲刷能力，起到稳定边坡的作用。蜂巢格室与边坡间设置塑料排水板，同时蜂巢格室中有蜂窝状孔眼，暴雨状态下渗入到土体内部的雨水可以顺畅地向下排出坡面，保持排水通畅，缓解效能动水压力，避免土体流失，保护喷播的植被种子及幼苗，提高植物的成活率。坡面的水能及时有效地排出，对边坡的稳定性起到至关重要的作用。

(2) 植被根系固土，增加土壤透水能力

蜂巢格室经过初期的养护，植被全面生长出来，特别是喷播草籽中的灌木得到一定的生长后，植被的根系可以起到很好的固土作用。此时植物根系与蜂巢格室共同作用，起到减少雨水冲刷，减缓雨水流速，加强雨水的渗透，有效的加固边坡，保证边坡的稳定。同时植被还可以起到很好的绿化和景观效果。

四、蜂巢格室生态护坡施工工序

山地城市高陡边坡绿化的基本要求是，需要一定厚度的土壤，能保证植物的顺利生长^[7]。

蜂巢格室植草施工顺序：清平边坡坡面——施工锚钉——挂蜂巢格室——格室填10cm种植土——喷8cm营养土+草籽——外覆植物纤维毯——养护。

(1) 清平边坡坡面：基面应清理干净，无树根、杂草，无尖角等杂物。表面处理平整，密实，再铺设蜂巢格室。

(2) 施工锚钉：锚杆应按设计图纸要求的间距及大小实施，锚杆应进行防锈处理，成孔放入锚杆后应及时灌浆。

(3) 挂蜂巢格室：在锚杆灌浆浆液达到一定强度后方可悬挂蜂巢格室，蜂巢格室与基面贴紧平顺，铺设时应避免张拉受力、折

叠、打皱等情况发生。应力求平顺，松紧适度，不得绷拉过紧。发现有损坏，应立即修补或更换。

(4) 格室填10cm种植土：回填的种植土应满足相关要求，严禁采用石块较多，砂砾的土质；建议回填时可采用喷播的方式，多次喷播，确保每个格室中的土体密实，饱满。

(5) 喷8cm营养土+草籽：在格室顶部喷播营养土+草籽，植草前应对草籽进行现场发芽试验，以确定合适的草籽和播种量。草籽应选有利于陡坡生长的植物；根据实际应用经验，建议山地城市可采用如下植物配比：狗牙根10%：白三叶10%：紫花苜蓿20%：金鸡菊15%：紫穗槐30%：木豆15%，喷播密度为100g/m²。

(6) 外覆植物纤维毯：草籽及营养土喷播完成后，养护非常重要，可靠的养护可以防止营养土被雨水冲刷，可以促进草籽的发芽生长，外覆植物纤维毯在初期起到很好的保护作用。

(7) 养护：植物纤维毯头尾均用铁丝丁或竹签加以固定，出苗后，为了促进草坪生长，应进行施肥，并根据气候情况适当浇水，就可以达到绿化边坡的效果。前期养护时间为45d左右，每天养护两次，早晚各一次。

五、施工中重点注意事项

(1) 蜂巢格室护坡适用的边坡坡率建议不陡于1:0.75，每级高度不大于10m。

(2) 格室应满足一定的强度要求，特别是连接处的强度；蜂巢格室规格：格室中应有蜂窝状孔眼，为HDPE材料，光面片材厚度≥1.3mm、纹面厚度≥1.8mm，焊距350~400mm，网高150mm，单组格室展开面积不小于4.0×5.0m；采用超声波焊接热熔工艺，双侧焊缝抗拉强度焊缝≥35KN/m，单侧焊缝抗拉强度≥17.5KN/m。片材无孔处屈服强度≥22MPa，有孔处屈服强度≥15MPa。片材（开孔率）透水率4%—7%，透水孔孔径7mm±6%，延伸率>11%。抗氧化诱导时间>210min。抗紫外线强度保持率≥70%。

(3) 蜂巢格室护坡搭接处锚钉应进行加密处理。蜂巢格室护坡两副格室间的搭接处是整体护坡中最为薄弱的地方，该位置处处理不好，在雨水的作用下，很容易整幅格室出现垮塌的现象，在该位置处锚钉采用加密处理是很好的加固措施，可以有效防止蜂巢格室护坡在养护过程及后期使用过程中的整体垮塌。

(4) 施工时应避免在雨季施工，也应避免在高温季节实施喷播植草绿化。

(5) 应及时实施坡顶及坡地截排水沟，及时将雨水有组织的排出坡面，减少暴雨情况下雨水对蜂巢格室护坡的冲刷。

六、工程案例

(1) 该工程道路位于重庆主城区两路组团S标准分区，属于渝北区空港新城，道路等级为城市主干路，道路全长约4420m，标准路幅宽度为44m，双向六车道，设计时速为60km/h。

边坡工程地质结构层如下：项目出露地层从新至老为第四系

全新统人工填土层 (Q_4^{ml})，残坡积粉质粘土层 (Q_4^{el+dl})，下伏基岩为侏罗系中统沙溪庙组 (J_{2s}) 红褐色泥岩和灰白色砂岩；侏罗系中统新田沟组 (J_{2x}) 灰黑、灰白色泥岩和灰白色砂岩；侏罗系下统自流井组 (J_{1zl}) 黄绿色、灰黄色泥岩、灰白色砂岩和部分灰黑色泥灰岩。场地岩体从西至东分别为层状沙溪庙组砂岩、泥岩互层，以泥岩为主；层状新田沟组砂岩、泥岩互层，以泥岩为主；层状自流井组泥岩、泥灰岩互层；局部夹砂岩，以泥岩为主。

据地勘资料，该段道路两侧建议采用放坡处理，放坡坡率建议：素填土及粉质粘土取不陡于1:1.50、岩体取不陡于1:1.00，本次设计土质边坡按1:1.5开挖；岩质边坡按1:1开挖，高于8m的边坡采用分台阶，每8m一级，两级台阶中间留2.0m宽马道。坡顶有水流汇集时，在边坡坡顶外5m设截水沟。挖方边坡最大高度约40m，坡面采用蜂巢格室护坡。



> 图1 工程建成2年后效果

(2) 该工程道路位于北碚组团I标准分区，道路等级为城市次干路，设计速度40km/h，双向四车道，标准路幅宽为26m。

场地土层主要为第四系全新统素填土 (Q_4^{ml})、残坡积粉质粘土 (Q_4^{el+dl})，下伏基岩为侏罗系中统沙溪庙组 (J_{2s}) 泥岩、砂岩，自新到老分述如下：

1) 素填土：褐灰色、杂色，主要由粉质黏土及砂岩、泥岩碎块石组成，为道路平场及居民修建民房回填形成，块径为5~300mm，最大块径可达500mm，硬质物含量约为5%~20%，回填时间大于8年，结构多呈松散~稍密，稍湿，钻探揭露厚0.80~4.70m。

2) 基岩为沙溪庙组 (J_{2s}) 泥岩、砂岩

a. 泥岩：紫红色、暗紫色，泥质结构，中~厚层状构造，局部夹黄灰色粉砂质条带及薄层状黄灰色砂岩，单层厚2~150mm

不等，与泥岩不等厚产出。为场地主要岩石，分布于沿线大部地段，钻探揭露厚0.80~53.80m。

b. 砂岩：黄灰色、浅灰色、局部夹少量暗紫色泥质条带，中细粒结构，中~厚层块状构造，泥质、钙质胶结。主要矿物成分为长石、石英，次为云母碎片、暗色矿物及岩屑组成。为场地主要岩石，分布于道路沿线大部地段，钻探揭露厚度0.40m~21.00m。

挖方边坡最大高度约26m，采用坡率法支护，土质和强风化岩质边坡坡率1:1.5；中风化岩质边坡坡率1:1；间隔8m高度分级开挖，每两级间设置2m宽平台。边坡坡面采用蜂巢格室生态护坡。



> 图2 工程建成2年后效果

通过以上两个工程实例可以得出以下结论：蜂巢格室在施工完成2年后，经历了各种极端天气，包括高温，极寒，暴雨，大风等，边坡的植被依然有很好的长势，喷播的植被与原坡体植被和谐共处，基本上融为一体，绿化效果好。蜂巢格室护坡非常适宜在山地城市的高边坡中应用，可以起到很好的绿化效果。

七、结语

蜂巢格室属于一种立体加筋材料，具有强侧限、半刚性网兜作用，有较高的片材拉伸强度、较高节点剥离强度及节点剪切强度。根据城市岩质边坡的工程特点和蜂巢格室护坡的作用机理，总结在施工过程中的问题总结，主要获得如下结论：蜂巢格室与植草相结合，形成一种新型的护坡方式，与传统拱形骨架植草护坡相比较，具有施工操作简单，施工效率高、植被成活率高、成本较低的特点，不仅能有效减少水土流失，还能改善原有的生态环境，非常适合在山地城市进行推广应用。

参考文献

- [1] 蒋德松, 蒋冲. 城市岩质边坡土工格室生态防护技术及其应用[J]. 湖南大学学报(自然科学版), 2008, (11): 12~16.
- [2] 何文斌. 土工格室植草护坡的稳定性分析[J]. 交通标准化, 2013, (14): 23~26. DOI: 10.16503/j.cnki.2095-9931.2013.14.033.
- [3] 胡畏, 夏建满. 路堑石质边坡土工格室植草防护[J]. 中外建筑, 2008, (06): 160~162.
- [4] 刘金萍, 黄安荣, 石文建. 土工格室的作用机理与工程应用现状[J]. 黑龙江交通科技, 2015, 38(08): 17~18. DOI: 10.16402/j.cnki.issn1008-3383.2015.08.009.
- [5] 刘宏波. 浅谈土工格室在公路工程生态建设中的应用[J]. 林业建设, 2019, (01): 62~64.
- [6] 蒋建良, 王华俊, 卿翠贵, 等. 采用土工格室的公路岩质陡坡绿化研究[J]. 公路, 2019, 64(04): 305~308.
- [7] 常阿娜, 田昌凤, 王睿, 等. 土工格室在高速公路下边坡绿化施工中的研究及应用[C]//《施工技术》杂志社, 亚太建设科技信息研究院有限公司. 2023年全国土木工程施工技术交流会论文集(下册). 云南省建设投资控股集团有限公司, 2023: 3. DOI: 10.26914/c.cnkihiy.2023.105163.

房地产管理中房产测绘意义的分析

杜浩

大安市房屋产权交易管理中心, 吉林 白城 131399

摘 要 : 分析房产测绘在房地产管理中的核心作用, 不仅涉及技术层面的准确性和效率, 还关系到房地产市场的稳定健康发展。在城市化进程不断加快的背景下, 房地产市场越来越兴旺, 房产测绘数据是否准确, 实时已成为确保房地产交易公平, 维护市场秩序的重点。在这样一个人口基数大、城市扩张速度快的大环境中, 房产测绘精确性的高低直接关系到土地资源是否能够得到合理配置与使用。房产测绘是土地资源管理中非常重要的一部分, 它对房地产管理的影响是不可忽略的。通过准确的测绘数据能够有效地规避土地纠纷、提高土地使用效率、推动房地产市场透明化、规范化发展、为房地产市场长久稳定发展打下基础。

关 键 词 : 房地产管理; 房产测绘技术; 意义

Analysis of the Significance of Real Estate Surveying and Mapping in Real Estate Management

Du Hao

Da'an City Housing Property Rights Transaction Management Center, Baicheng, Jilin 131399

Abstract : The analysis of the core role of real estate surveying and mapping in real estate management not only involves accuracy and efficiency at the technical level, but also relates to the stability and healthy development of the real estate market. In the context of accelerating urbanization, the real estate market is becoming more and more prosperous. Whether real estate surveying and mapping data is accurate and real-time has become the focus of ensuring fair real estate transactions and maintaining market order. In such an environment with a large population base and rapid urban expansion, the accuracy of real estate surveying and mapping is directly related to whether land resources can be reasonably allocated and used. Real estate surveying and mapping is a very important part of land resource management, and its impact on real estate management cannot be ignored. Accurate surveying and mapping data can effectively avoid land disputes, improve land use efficiency, promote the transparent and standardized development of the real estate market, and lay a foundation for the long-term and stable development of the real estate market.

Keywords : real estate management; real estate surveying and mapping technology; significance

一、房产测绘的基本概念

房产测绘基本概念指用科学方法与技术手段对住宅及其土地的地点, 范围, 权属, 数量, 质量及利用状况进行勘测与绘图。既包括房屋建筑自身的计量, 也包括土地计量, 保证房地产权属准确合法。^[1]

房产测绘主要有以下内容:

- (1) 房产平面控制测量: 房产测绘中一项基础性工作通过构建平面控制网来对房屋及土地进行准确选址。为了进行控制测量, 通常会使用如全球定位系统 (GPS) 和全站仪这样的现代化测量工具。
- (2) 房产图测绘: 依据控制测量成果测绘房产平面图、房产分幅图等。房产平面图是以反映房屋平面位置, 形状, 大小及权属界限等内容为主, 房产分幅图是把整个测绘区域分割成若干图幅以方便管理与查询。
- (3) 房产面积测算: 精确计算房屋建筑面积、使用面积和公摊面积, 为房地产交易, 产权登记及税收征管奠定基础。面积测

算一般以实地测量为主, 计算公式为辅。^[2]

(4) 房产调查: 在实地调查的基础上, 对房屋及土地的权属, 使用, 构造, 品质等资料进行采集, 并予以详细记载。调查内容为房屋产权人, 建筑年代, 建筑结构, 建筑层数, 建筑质量。

(5) 房产数据处理与管理: 对测量及调查所获得的资料进行整理, 分析, 入库, 构建房产数据库, 对房产信息进行数字化管理。利用 GIS (地理信息系统) 等先进技术, 我们能够迅速地检索、统计和分析房地产信息。房产测绘对于房地产的开发, 交易和管理的每一个环节都有着举足轻重的地位。通过房产测绘能够保证房地产权属清晰、避免产权纠纷、对房地产市场良性发展起到保证作用。同时房产测绘数据还是城市规划, 土地利用, 市政建设以及其他有关部门做出决策时的重要依据。^[3]

二、房地产管理中房产测绘的意义

在房地产管理当中, 房产测绘工作不仅意义重大, 在实际运行当中也起到了必不可少的地位。一是房产测绘是房地产权属登

记的精确基础资料。通过对房屋地理位置，面积及形状进行准确测量，测绘结果可为核发权属证书提供可靠依据，保证产权清晰合法。二是房产测绘对城市规划与土地利用起着至关重要的作用。测绘数据有助于规划部门掌握既有建筑分布规律，合理组织城市空间和优化土地资源分配。对实现城市可持续发展，有效利用土地资源有着十分重要的作用。三是房产测绘还对房地产开发的过程起到了至关重要的引导作用。开发商在对工程进行规划设计时需根据测绘数据确定建筑物的方位，大小及布置方式，以保证工程能够满足相关规定及标准。测绘数据也可作为项目投资决策的科学依据和减少开发风险的依据。四是房地产交易也离不开房产测绘。买卖双方通过测绘数据就能了解到房屋具体情况，从而避免了信息不对称所带来的争议。测绘结果也可成为交易合同中的一个重要配件，提高其法律效力。五是房产测绘还对物业管理起到了举足轻重的作用。物业管理通过测绘数据能够了解小区内建筑布局以及公共设施的分布情况，并对养护与管理工作进行合理的安排。另外，测绘数据也为物业收费奠定了基础，保证了收费公平、透明。^[4]

三、房产测绘的现状

在目前房地产管理领域中房产测绘起着关键作用。在城市化进程不断加快的背景下，房地产市场对于测绘数据精确性与实时性的需求也在不断提升。根据相关数据显示，我国每年新增的建筑面积超出20亿平方米，这不仅给测绘技术带来了新的挑战，同时也对测绘数据的处理和应用设置了更高的标准。房产测绘不但是房地产开发，交易和管理的基本数据支撑，同时还对城市规划，土地利用和环境保护具有重要的作用。比如通过运用GIS技术，能够实现房地产信息动态管理、增强数据可视化与分析能力等。^[5]另外，随着全球定位系统（GPS）技术的广泛应用，房产测绘的准确性和效率都有了明显的提升，这为房地产管理提供了更加精确的空间定位信息。但是，虽然科技不断地进步，房产测绘行业仍然面临数据更新落后，专业人才匮乏等诸多问题，这类问题的出现限制了房产测绘作为房地产管理角色的发挥。

四、测绘技术在房地产管理中的应用

（一）GIS在房产测绘中的应用

在房产测绘领域，地理信息系统（GIS）的运用已经变成了一个关键的工具，用于提升房地产管理的效率并确保交易的准确性。GIS技术将地理信息进行整合，储存，编辑，分析，共享与展示，从而为房地产行业的数据处理提供强大能力。以土地使用权定义和测绘为例，GIS可以准确显示土地边界并减少边界不清引起的争议。在建筑物定位及面积计算中，GIS与遥感技术相结合，能够对建筑物位置及大小进行实时更新，保证数据及时、准确。另外，将GIS运用于房地产管理，也表现为它具有很强的空间分析功能。管理者可借助GIS建立三维模型并对其进行空间分析与仿真，从而为房地产的发展提供决策支持。比如通过对地形，交

通和人口分布数据进行分析，GIS可以辅助开发商评价项目区位选择是否合理，并对市场潜力进行预测，以便作出更科学的投资决策。在房产测绘领域中，GIS技术正在引领一场变革，不仅使数据采集与处理模式发生了变化，而且给房地产管理带来了空前的角度与手段。在法规和标准制定实施过程中，GIS技术也起到了不可忽视的作用。借助GIS平台可将相关规定及标准直观显示并运用其中，保证房产测绘工作标准化、规范化。^[6]比如GIS可以协助监管机构对房地产项目的满足规划要求的情况进行实时监测，对不规范的行为进行及时的发现和整改。就创新应用而言，将三维激光扫描技术和GIS相结合，为房产测绘工作提供更准确的数据获取手段，进一步提高测绘工作成果的准确可靠性。这几种技术的结合在提升测绘工作效率的同时还能为房地产管理带来更丰富准确的数据支撑。

（二）全球定位系统（GPS）技术的应用

全球定位系统（GPS）技术在房产测绘领域的运用，显著地增强了房地产管理的准确性和工作效率。利用GPS技术测绘人员可以实时地获得地块准确的位置信息，不仅降低了常规测量方法可能存在的人为误差而且大大缩短了数据采集时间。以大型住宅区测绘为例，利用GPS技术能够实现快速定位与数据获取，保证测绘数据准确可靠。另外GPS技术的运用也促使测绘数据实时更新，对房地产资源的动态管理和对市场变化的及时反应都有着非常重要的作用。^[7]

（三）坐标解析测量法和数字测绘技术

在房产测绘技术诸多应用当中，坐标解析测量法与数字测绘技术对于提升精确度与效率具有重要意义。坐标解析测量法是利用数学模型把实地所测各点的坐标变换到平面坐标上，以达到准确定义房产边界。如在具体实例中，采用坐标解析测量法可使实地测量点坐标变换到平面坐标上，使误差保持在厘米级别上，从而保证土地使用权定义和测绘精度。数字测绘技术采用了先进的电子工具，例如全站仪和GPS，来收集地理空间的数据，并利用计算机技术将其转化为数字地图。该技术在提高数据采集速度的同时，也增加了数据处理灵活性与准确性。以一个房地产开发项目为例，采用数字测绘技术并与GIS系统相结合，成功实现建筑物精确定位及面积计算，并将误差限制在指定范围之内，大大提高了房地产管理效率及准确性。坐标解析测量法与数字测绘的蓬勃发展恰恰是房产测绘领域一场科学革命的主要驱动力。

（四）全站仪技术在房产测绘中的应用

将全站仪技术运用于房产测绘是将现代测绘技术和房地产管理相结合的一个范例。全站仪作为集角度测量，距离测量，数据处理为一体的高精度测量仪器大大提高了房产测绘精度与效率。比如在大型住宅区规划中，全站仪可以迅速准确测出地块边界，建筑物位置及有关地形地貌信息等，从而为房地产开发提供数据支撑。根据有关研究表明，采用全站仪技术测图，精度可达毫米量级，是传统手工测图很难做到的。另外全站仪的使用也降低了人力成本与时间成本以及房地产管理效率。^[8]

（五）摄影测量技术

摄影测量技术通过利用高分辨率航空摄影与卫星影像相结合

并与先进计算机处理技术相结合,在房产测绘领域中发挥着关键作用,实现房地产项目精确测量与三维建模。比如用无人机携带的高精度相机航拍就能得到建筑物及周围环境的详细影像数据,再经过摄影测量软件处理后生成准确的地形图及建筑物模型等。该技术在提高数据采集效率的同时也减少了传统测量方法可能遭遇的物理限制与安全风险。将摄影测量技术运用到房地产管理当中能够显著提升房地产开发规划设计阶段精度。比如利用摄影测量技术得到的三维模型使设计师能够更加直观的评价建筑布局与其周边环境之间的协调性并做出更加准确的日照分析以及风环境模拟。另外,摄影测量技术还对房地产交易起到至关重要的影响,它通过提供准确的房产边界及面积信息来保证交易透明公正。摄影测量的不断发展,也推动着相关规定与标准的不断完善。伴随着科技的进步,有关规定也需不断地更新,才能满足新技术所引起的改变。^[9]例如,国际摄影测量与遥感学会(ISPRS)会定期推出新的技术规范和指导方针,以确保全球摄影测量数据的精确性和一致性得到保障。这些准则既是测绘人员的操作指南又是房地产管理的法律依据。

(六) 数字制图技术的应用

房产测绘领域中,数字制图的运用已成为促进房地产管理效率与精确度提高的重点。借助先进的计算机软件和算法,数字制图技术可以将传统的纸质地图转化为数字化的地理信息系统(GIS),从而实现更快速、更准确的数据处理和分析。比如利用数字制图技术就能把房产的边界,面积和位置等重要信息用高精度电子地图的方式显示出来,这样既能增加资料的可读性又能增加资料的可操作性。在实践中,数字制图技术可以帮助房地产开发商与管理者从项目规划,土地使用,房产评估等诸多环节进行更科学地决策。比如通过对数字地图中空间分布模式进行分析,就能对房地产市场发展趋势进行预测,进而指导投资决策。数字制图技术就是通过对数据呈现方式的变革,从而对房地产管理全过程产生影响。

五、房产测绘的未来发展趋势

(一) 技术创新与智能化

在科学技术高速发展的今天,房产测绘领域也在发生着空前的技术创新和智能化变革。比如说,GIS(地理信息系统)技术的运用不仅增强了数据处理的准确性,还对房地产管理的决策流程进行了优化。借助GIS技术可实现房产数据实时更新及三维可视化,为房地产开发商,政府机构及购房者等提供更直观,更精准的数据。全球定位系统(GPS)技术的整合显著提高了房产测绘的准确性和效率,尤其是在进行大规模的地形测绘和土地利用调查时,GPS技术的使用极大地减少了人力和物力的消耗,提高工作效率。将坐标解析测量法与数字测绘技术相结合,为房产测绘工作提供更准确的数据支撑,保证测绘结果可靠。利用全站仪技术,借助自动化、智能化测量手段进一步提升测绘精度与速度。摄影测量的提出使从天空中获得房产信息得以实现,大大扩展了测绘范围与深度。数字制图技术在房地产管理中的运用不仅

使制图流程简单化,而且使制图精确度更高,美观度更强,给房地产管理带来更有效、更直观的手段。随着技术创新和智能化的持续发展,房产测绘预计将在房地产管理体系中起到更为关键的作用,从而为房地产市场的稳健成长提供了坚实的技术基础。^[10]

(二) 法规完善与行业标准化

在房产测绘领域中,规章的健全和行业的标准化是保证测绘数据准确、权威的基石。伴随着科技的进步,测绘技术被越来越多地运用到房地产管理当中,但是也暴露了部分问题,比如资料不统一,测绘结果法律效力不清。所以建立完善法规体系及标准化流程具有重要意义。按照《中华人民共和国测绘法》规定:房产测绘成果须经法定程序审查、核准,保证成果的合法性、准确性。另外,推行标准化有利于测绘效率的提升、重复劳动的减少和行业成本的降低。国际标准化组织(ISO)推出的ISO 19100系列标准为地理信息系统的研发和实际应用提供了指导框架,特别是这些标准在房产测绘领域的实际应用,能够促进数据共享与互操作性以及全行业服务水平的提升。通过健全法规,促进标准化,会使房产测绘更科学规范,也会给房地产管理带来更扎实的数据支撑。

六、结论

总之,房产测绘是房地产管理中的一块基石,它的核心功能不仅仅表现为给房地产交易提供准确的地理空间信息上,同时也是城市规划中、在土地资源管理和房地产市场良性发展中起到了关键作用。在科技不断进步的今天,房产测绘也在向智能化和精细化方向迈进。GIS技术的运用极大地提高了房地产数据的管理和分析效率,同时,全球定位系统(GPS)技术的整合也显著地提高了测绘工作的准确性和处理速度。另外,技术创新也促使政策法规不断完善,例如《不动产登记条例》等法律的出台,给房产测绘带来更清晰的法律框架。房产测绘未来的发展是在技术斧头不断打磨的同时也给房地产管理带来了更扎实的根基。

参考文献

- [1] 原海鑫,冯喜燕.房产管理中房产测绘意义的分析[J].工程技术:全文版,2017(3):00245-00245.
- [2] 邵树萍.房产管理中房产测绘意义的分析[J].建材与装饰,2016(43):125.
- [3] 张晓鹏.房产管理中房产测绘意义的分析[J].建筑与装饰,2017(9):220.
- [4] 刘岩,张康宇,姜旭梅.测绘新技术在房产测绘中的应用探析[J].冶金管理,2021,(19):133-134.
- [5] 柴玲香.测绘新技术在房产测绘中的应用[J].住宅与房地产,2020,(27):125,128.
- [6] 李爱迪.重庆市房产测绘管理信息系统的研发[D].重庆大学,2006.
- [7] 茹敏,石强.深圳市房产测绘系统[J].测绘通报,1999,(09):32-34.
- [8] 张桥平,石强,陈晓东.房产公用建筑面积分摊计算模型研究[J].测绘工程,2000,(04):40-42.
- [9] 李实,余占环,丁志斌.我国工程项目管理的发展现状及存在的问题[J].山西建筑,2020,3.
- [10] 李良生.综合分析房地产项目管理现阶段存在的问题[J].民营科技,2021.

建筑工程防水施工技术

胡纪青

宁夏路达施工图审查咨询有限公司，宁夏 银川 750001

摘要：在建筑工程中，防水施工技术是确保建筑结构安全、提升居住品质的关键环节。它不仅关系到建筑物的使用寿命，更直接影响到人们的日常生活和工作环境。随着科技的发展和人们对居住舒适度的追求，如何运用先进的防水施工技术，打造滴水不漏的建筑杰作，已成为建筑行业关注的焦点。本文将深入探讨建筑工程防水施工技术的精髓，助您掌握守护建筑安全的金钥匙。在建筑工程中，防水施工是一项至关重要的环节。以下将从防水施工的重要性、分类以及基本原则三个方面进行详细阐述。

关键词：建筑；防水；施工

Waterproof Construction Technology of Construction Engineering

Hu Jiqing

Ningxia Luda Construction drawing review and consulting Co., LTD. Yinchuan, Ningxia 750001

Abstract：In construction engineering, waterproof construction technology is the key link to ensure the safety of building structure and improve the quality of living. It is not only related to the service life of the building, but also directly affects People's Daily life and working environment. With the development of science and technology and people's pursuit of living comfort, how to use advanced waterproof construction technology, to create a leaky architectural masterpiece, has become the focus of the construction industry. This article will deeply explore the essence of the waterproof construction technology of construction engineering, to help you master the golden key to protect the safety of the building. In the construction engineering, waterproof construction is a crucial link. The following will be elaborated from the importance, classification and basic principles of waterproof construction.

Keywords：building; waterproof; construction

一、建筑工程防水施工概述

1. 防水施工的重要性

防水施工是确保建筑物在使用过程中不受水侵害、保持结构安全的关键措施。以下是防水施工重要性的几个方面：

防止渗漏：渗漏会导致室内环境恶化，影响居住和使用的舒适度，甚至引发室内空气污染。

保障结构安全：长期渗漏会导致建筑结构受损，影响其承载能力和使用寿命。

节约能源：良好的防水性能有助于减少空调、暖气等设备的能耗，降低能源消耗。

提高建筑物的耐久性：防水施工可以提高建筑物的耐久性，降低维修成本^[1]。

2. 防水施工的分类

防水施工根据施工部位和施工方法的不同，可以分为以下几类：

屋面防水：包括坡屋面、平屋面等不同类型的屋面防水。

地下室防水：针对地下室、地下通道等地下空间的防水施工。

外墙防水：包括外墙立面、窗台、女儿墙等部位的防水施工。

室内防水：包括卫生间、厨房、阳台等室内空间的防水施工。

特殊部位防水：如伸缩缝、沉降缝、管道穿过处等特殊部位

的防水施工。

3. 防水施工的基本原则

为确保防水施工的质量，以下基本原则应予以遵循：

设计合理：根据建筑物的结构特点和使用需求，选择合适的防水材料和施工方法，确保防水系统设计合理。

施工规范：严格遵循国家相关标准和行业规范，确保施工质量。

材料优良：选用具有良好性能、符合国家标准的防水材料，确保防水效果。

接缝严密：在施工过程中，确保各种接缝、管道穿过处等关键部位的密封严密，防止水分渗透。

防水层连续：确保防水层在整个施工范围内连续，无断裂、破损等现象。

后期维护：定期检查防水层，发现问题及时修复，确保防水效果的持久性^[2]。

二、防水材料的选择与应用

在建筑工程防水施工中，防水材料的选择与应用是确保防水效果的关键。以下将从常见防水材料的种类、性能指标以及选购与存储三个方面进行详细阐述。

1. 常见防水材料的种类

防水材料种类繁多，根据其成分和性能特点，可以分为以下几类：

沥青类防水材料：如热沥青、改性沥青等，具有良好的耐热性和抗老化性。

高分子类防水材料：如聚乙烯丙纶、三元乙丙橡胶等，具有优异的弹性、延伸性和耐腐蚀性。

水泥基类防水材料：如水泥基防水涂料、防水砂浆等，与基层材料相容性好，施工简便^[3]。

金属类防水材料：如镀锌钢板、铝板等，具有较高的强度和耐久性。

液态类防水材料：如聚氨酯防水涂料、橡胶防水涂料等，具有良好的流淌性和附着力。

2. 防水材料的性能指标

在选择防水材料时，以下性能指标是需要关注的重点：

耐水性：防水材料应具有良好的耐水性，能够在长期浸泡的情况下保持性能稳定^[4]。

抗拉强度：防水材料应具备一定的抗拉强度，以承受基层变形带来的应力。

延伸率：防水材料应具有较好的延伸率，以适应基层的变形和位移。

耐老化性：防水材料应具有优异的耐老化性，以保证长期使用的可靠性。

粘结强度：防水材料与基层之间的粘结强度应满足设计要求，防止水分渗透^[5]。

三、防水设计原则及标准

防水设计是建筑工程中至关重要的环节，它直接关系到建筑物的使用寿命和居住者的生活质量。以下将从防水设计的基本原则、国家标准与规范以及在建筑中的应用三个方面进行详细阐述。

1. 防水设计的基本原则

在进行防水设计时，以下基本原则是必须遵循的：

安全性原则：防水设计应确保建筑物的结构安全，防止水分对结构造成损害。

实用性原则：防水设计应考虑建筑物的实际使用需求，确保防水系统的可靠性。

经济性原则：在满足安全性和实用性的基础上，防水设计应尽量降低成本，提高经济效益。

可靠性原则：防水设计应采用成熟的技术和材料，确保防水系统的长期稳定^[6]。

灵活性原则：防水设计应考虑建筑物的未来发展，具备一定的适应性和灵活性。

2. 防水设计的国家标准与规范

防水设计必须遵循国家和行业的相关标准与规范，以下是一些主要的参考标准：

《建筑防水工程技术规范》（GB 50208-2011）：规定了建

筑防水工程的设计、施工及验收的基本要求。

《屋面工程技术规范》（GB 50345-2012）：详细规定了屋面防水设计的要求和方法。

《地下室防水工程技术规范》（GB 50108-2008）：对地下室防水设计提出了具体的技术要求。

《建筑室内防水工程技术规范》（GB/T 50210-2001）：规定了建筑室内防水设计的相关标准^[7]。

四、基层处理与施工准备

基层处理和施工准备是防水施工过程中的重要环节，它们直接影响到防水层的效果和施工的顺利进行。以下将从基层处理的步骤与方法、施工前的准备工作以及施工现场的安全管理三个方面进行详细阐述^[8]。

1. 基层处理的步骤与方法

基层处理是确保防水层与基层之间良好粘结的关键步骤，以下是其主要步骤与方法：

清洁基层：彻底清除基层表面的灰尘、油污、松动的混凝土等杂物，确保基层干净、平整。

修补缺陷：对基层表面的裂缝、孔洞、不平整等缺陷进行修补，使其达到防水施工的要求。

打磨平整：对基层进行打磨处理，使其表面平整、无尖锐凸起，以提高防水层的粘结力。

涂刷界面剂：在基层表面涂刷界面剂，增强基层与防水层之间的粘结力。

干燥处理：确保基层干燥，无水分残留，以防止防水层因基层潮湿而出现起泡、脱落等问题^[9]。

2. 施工前的准备工作

施工前的准备工作是确保防水施工顺利进行的基础，以下是一些关键的准备工作：

设计交底：与设计师进行充分沟通，了解防水设计的要求和施工细节。

材料准备：根据施工图纸和材料清单，提前准备好所需的防水材料、工具和设备。

施工方案：制定详细的施工方案，包括施工流程、工艺、质量控制措施等。

施工队伍：组织专业的施工队伍，进行技术培训和安全教育。

施工场地：清理施工现场，设置施工区域，确保施工环境符合要求。

3. 施工现场的安全管理

施工现场的安全管理是保障施工人员生命安全和工程顺利进行的重要措施，以下是一些安全管理要点：

安全培训对：施工人员进行安全知识培训，提高安全意识。

安全防护：施工现场应配备必要的安全防护设施，如安全帽、安全带、防护眼镜等。

现场巡查：定期进行现场巡查，及时发现和消除安全隐患。

事故处理：制定应急预案，一旦发生事故，能够迅速、有效

地处理。

环境保护：采取措施减少施工对环境的影响，如噪音、粉尘、废水等^[10]。

五、防水层施工技术

防水层施工技术是确保防水工程质量的核心，以下将从防水层施工的基本流程、关键技术以及质量控制三个方面进行详细阐述。

1. 防水层施工的基本流程

防水层施工的基本流程包括以下几个步骤，每个步骤都需要严格按照施工规范执行：

基层检查：在施工前对基层进行检查，确保基层平整、干净、干燥，无裂缝、空鼓等缺陷。

基层处理：对基层进行打磨、清理，必要时涂刷界面剂，以增强防水层与基层的粘结力。

防水材料准备：根据设计要求选择合适的防水材料，并确保材料质量符合国家标准。

防水层施工：按照设计图纸和施工方案，采用涂刷、铺设、粘贴等方法施工防水层。

接缝处理：对接缝、管道穿过处等关键部位进行特殊处理，确保密封严密。

防水层保护：施工完成后，对防水层进行保护，避免后续施工对其造成破坏。

2. 防水层施工的关键技术

防水层施工的关键技术是确保防水效果和施工质量的重点，以下是一些关键技术要点：

材料选择：根据不同的施工环境和要求，选择适合的防水材料。

施工方法：根据防水材料的特性和施工部位，采用正确的施工方法，如热熔法、冷粘法、机械固定法等。

接缝处理：确保接缝处无漏洞，采用合适的密封材料和方法进行密封。

防水层厚度：控制防水层的厚度，确保满足设计要求，避免因厚度不足而影响防水效果。

施工环境：注意施工环境，避免在雨季、低温等不利条件下施工。

六、防水施工与维护与保养

防水工程的维护与保养是确保防水层持久有效的重要措施。以下将从防水层的维护与保养、防水施工后的检查与维修以及长期维护策略三个方面进行详细阐述。

1. 防水层的维护与保养

防水层的维护与保养是延长其使用寿命的关键，以下是一些维护与保养的要点：

定期检查：定期对防水层进行检查，特别是容易受损的部

位，如接缝、阴阳角、管根等。

清洁保养：清除防水层上的灰尘、杂物和植被，防止其堵塞排水系统或损坏防水层。

检查排水系统：确保排水系统畅通无阻，避免积水对防水层造成压力。

避免机械损伤：在施工和日常使用中，避免对防水层造成机械损伤，如尖锐物体的划伤、重物的压迫等。

2. 防水施工后的检查与维修

防水施工完成后，需要进行系统的检查与必要的维修，以下是一些检查与维修的要点：

施工验收：在施工完成后，进行严格的验收，确保防水层符合设计要求和质量标准。

检查渗漏：定期检查建筑物是否有渗漏现象，一旦发现渗漏，及时找出原因并进行修复。

小修小补：对于小范围的损伤或缺陷，及时进行修补，防止问题扩大。

专业检测：对于疑似存在问题的部位，可以采用专业的检测设备进行检测，以便准确判断防水层的状况。

3. 防水施工的长期维护策略

为了确保防水工程的长期有效性，以下是一些长期维护策略：

建立维护档案：建立详细的防水工程维护档案，记录施工、检查、维修等信息，便于追踪和管理。

定期评估：定期对防水工程进行评估，分析其性能变化，制定相应的维护计划。

预防性维护：在雨季或极端天气来临前，对防水工程进行预防性检查和维护，减少意外发生的风险。

更新改造：根据防水材料的寿命和建筑物的使用情况，定期进行防水层的更新改造。

七、结语

在建筑工程中，防水施工技术至关重要。它不仅关系到建筑物的使用寿命，更关乎着人们的生活质量和财产安全。我们应积极关注行业动态，不断学习和应用先进的技术，为建筑工程的防水事业做出更大的贡献。

参考文献

- [1] 高层建筑中土建施工技术的运用问题及对策简析[J]. 陈龙. 智能城市, 2018(07).
- [2] 高层建筑防水工程的要点分析及质量控制[J]. 谢建树. 江西建材, 2017(24).
- [3] 试论某高层建筑地下室防水施工及质量控制[J]. 黄新新. 江西建材, 2014(06).
- [4] 浅谈地下室顶板防水施工工艺技术[J]. 林伟明. 四川水泥, 2021(09).
- [5] 地下室施工中的防水防渗施工技术[J]. 郭李锦. 居舍, 2019(25).
- [6] 高层建筑细部构造防水施工技術措施[J]. 李国栋. 黑龙江科学, 2014(03).
- [7] 浅谈高层建筑防水工程的质量控制措施[J]. 陈强. 中国高新区, 2017(02).
- [8] 高层建筑地下室防水施工质量控制要点探讨[J]. 余飞. 住宅与房地产, 2017(12).
- [9] 住宅地下室顶板及后浇带防水施工技术分析[J]. 苏云宏. 住宅与房地产, 2023(08).
- [10] 保障房工程中的防水混凝土防渗漏施工技术[J]. 郝军良. 四川建材, 2023(07).

甘肃河西走廊输油气管道地质灾害危害性及其防治措施

魏永康

国家管网集团兰州输油气分公司, 甘肃 兰州 730000

摘 要 : 西气东输长距离油气输运管道是我国21世纪初实施西部大开发战略的国家级重大生命线工程,把西部的资源优势变为经济优势,实现气能源供给与需求和煤炭资源的相互衔接、转化的重要举措,在全国油气管网布局具有战略性意义。当前,河西走廊内管线有西气东输一线、西气东输二线、西气东输三线和双兰线,管道沿途穿越戈壁、山前倾斜平原、盆地、构造剥蚀-侵蚀低山丘陵、干支流河沟谷及其各级冲-洪积扇和农田等多种复杂地貌环境区,工程地质条件极其复杂,地质灾害种类繁多。本文简述了管线沿途复杂工程地质条件和主要地质灾害问题,重点讨论了管道沿线地质灾害对管道建设及运营存在的危害,并提出了防治措施。

关 键 词 : 油气管线; 地质灾害; 防治措施

Geological Hazards and Prevention Measures Along the Pipeline of Gansu Corridor

Wei Yongkang

Lanzhou Oil and Gas Transportation Branch of National Pipeline Network Group, Lanzhou, Gansu 730000

Abstract : The four long-distance oil and gas pipelines of west-to-east gas transmission are the national important lifeline project of China's Western Development Strategy in the early 21st century, which turns the western region's resource advantage into economic advantage, it is of strategic significance to realize the connection and transformation of gas supply and demand and coal resources in the layout of oil and gas pipeline network in China. The pipelines under the jurisdiction of Gansu Corridor include the West first line, the West second line, the west third line and the Shuanglan line, the pipeline passes through the Gobi, the Piedmont Slope Plain, the basin, the structure denudation-erosion low mountain hills, the main tributaries river valley and its various levels of alluvial-diluvial fan and farmland and other complex geomorphologic environment areas, engineering geological conditions are extremely complex and there are many kinds of geological disasters. In this paper, the complex engineering geological conditions and the main geological hazards along the pipeline are briefly described, and the hazards of the geological hazards along the pipeline to the pipeline construction and operation are emphatically discussed, and the prevention and cure measures are put forward.

Keywords : oil and gas pipelines; geological disasters; prevention and control measures

引言

“河西走廊”地处祁连山和巴丹吉林沙漠中间的甘肃省西北部,是一个呈北西—南东走向的狭长地带,位于黄河以西,又形如走廊,故名河西走廊。河西走廊位于我国“一带一路”的陆路要塞和关口,是丝绸之路经济带的黄金段和纽带,是连接新疆与内地,以及“亚欧大陆桥”的必经之地。目前我国对石油和天然气的需求量日益增大,其在我国社会发展和人民生活中起着重要作用^[1]。油气管道具有输送快、耗量少及经济可靠等优点,是目前输送油气最为广泛和重要的方式之一^[2],我国90%以上的石油和99%的天然气通过管道输运,油气管道是我国重要的能源运输命脉,管道安全对保障国家能源安全战略有着重要的意义。西气东输一线、二线、三线和双兰线等国家重点线性工程均路径河西走廊。地质灾害作为地质环境的一种变异现象,直接或间接的降低了环境质量,危害了人类和生物圈的发展^[3],也是管道周边影响管道安全的重要因素。管道等类线性工程地质灾害包括地震、地裂缝、断层错动、线流侵蚀、面流冲刷、台田地水毁、滑坡、崩塌、泥石流、地面塌陷(包括岩溶塌陷和米空区塌陷)、地面沉降、土地盐渍化、沼泽化、沙漠化、特殊岩土(黄土、膨胀土、冻土等)地质灾害、突水突泥、渗漏和渗透变形等^[4]。河西走廊地区是一个地质灾害易发区,沿线影响管道的主要地质灾害类型有河沟道水毁、坡面水毁、台田地水毁、泥石流、崩塌、滑坡、黄土湿陷、风蚀沙埋、冻融灾害等^[5,6],其中,管道水毁灾害是发育最普遍、数量最多、分布最广的地质灾害^[7],严重危害管道运行安全,轻则慢性导致管道覆土体被冲刷、防护工程毁坏、管道裸露、悬空、漂管,出露于地表外的管道还将会遭到第三方破坏或空气腐蚀;重则急性造成管道变形、破裂、断裂,甚至介质泄漏等紧急情况^[8,9]。随着长输管道的快速发展,不同地区、不同地带的管道水毁地灾实例被调查和研究。针对水毁灾害类发育特征以及其对管道损毁特征等方面有了较多的研究^[10-12],本文将以西气东输管道为例,简述管线沿途复杂工程地质条件和主要地质灾害问题,讨论管道沿线地质灾害对管道建设及运营存在的危害,并提出了防治措施。

作者简介:魏永康(1986.12-),男,汉族,甘肃泾川,本科,职称:工程师,从事的研究方向:管道完整性管理。

一、管道沿线地质灾害类型及现状

管道沿线涉及的地质灾害类型主要包括四个方面的14种类型。经沿线调查，河西走廊内管道发育的主要灾害类型为水毁灾害，根据管线穿越特征及水毁灾害发生位置的微地貌形态，主要发育坡面水毁、河沟道水毁和台田地水毁三类。

国外研究机构从20世纪70年代就针对管道地质灾害风险管理展开研究。我国管道地质灾害防治工作近几年虽保证了管道的安全运营，但在一定程度上更多的是高投资换来的成果，没有对管道地质灾害防治实施系统、科学的管理，还没有实现从一般地质灾害防治到管道地质灾害专业化防治的转变。

二、管道地质灾害分布特征

1. 坡面水毁主要分布于祁连山北麓山前倾斜平原、北部山系山前倾斜平原、龙首山山前倾斜平原和长岭山山前倾斜平原中前缘一带，尤其以坡面水毁较为发育，影响范围广泛，管堤冲毁现象较普遍、严重。
2. 河沟道水毁、台田地水毁多发于管道穿越石羊河流域武威盆地南缘一带，该区内人类工程活动对天然径流的汇集改道较频繁、农田分布多，普遍发育有河沟道水毁和台田地水毁。
3. 河沟道水毁、坡面水毁的冲蚀方式和强度不同。河沟道水毁以沟床下切冲蚀为主，伴有岸边的侧蚀，对河沟口下游的埋地管道冲蚀、下切最为直接。坡面水毁的冲蚀部位相对不固定，一般冲蚀范围较大、下切较浅。
4. 灾害均多发于每年4月冰雪消融期和7~8月强降水期两个主汛时段。

三、管道沿线地质灾害危害特征

1. 管道地质灾害形成条件及影响因素
(1) 河沟道水毁、坡面水毁的形成条件及影响因素
形成条件：河沟道水毁、坡面水毁是西北地区长输管道戈壁平原区最为常见的管道地质灾害类型。管道多埋设于季节性洪水冲蚀区，发育的冲沟大多数属季节性暴雨流水区和水库泄水径流区，管线在穿越倾斜平原戈壁荒漠区和中低山丘陵区时，常会因大气降水坡面径汇流的侵蚀下切等作用，使管堤穿越天然冲沟段发生下切侵蚀，严重者可使管道外露或悬管。
影响因素：受干旱区特有气候降水、地形地貌、地层结构和管道敷设方式等因素的影响。
- (2) 台田地水毁形成条件及影响因素
形成条件：台田地水毁是管线较为发育的灾害类型，管道建设期，管沟开挖对原本稳定的台坎、田坎形成扰动，管沟回填土不实，遇水沉陷。管线在穿越台田地区段时，时常会发生管堤长距离下陷、田埂坍塌、连续串珠状落水洞等现象，严重时可使管道外露或悬管。
影响因素：受区域地形地貌、地层结构、灌溉水浸泡、管道敷设施工等因素的影响。

2. 管道沿线地质灾害危害特征
不同的地质灾害类型对管道的危害方式、危害程度及其后果不同，差异性较大，有的长期缓慢作用于管道，累积破坏；有的则发生

突然，瞬间破坏管道；同一种地质灾害类型，因致灾体与管道埋深、相对位置关系的不同，其对管道的危害方式和危害程度也不尽相同。

- (1) 河沟道水毁灾害
河沟道内发生洪水时，将对沟底产生强烈的冲刷下切，在管道交汇段造成管体外露、悬空。
通常情况下，管线穿越河沟谷地带时有两种穿越方式，即交切穿越和平行穿越。不同穿越方式下，河沟道水毁对管线的危害方式亦有差别，交切穿越主要为下切侵蚀，平行穿越为侧向侵蚀。
- (2) 坡面水毁灾害
坡面水毁对管道的影响具有游荡不固定性、冲蚀范围一般较大（可达数百米）、分布密集和冲蚀深度浅等特点。洪水集中时也会造成局部露管、过水面等防治工程失效，且可能在附近其它地段形成新的冲蚀破坏。
- (3) 台田地水毁灾害
在粉土、黄土和黄土状土分布地区，一般沿管道呈线状分布，多形成长度数米、数十米至数百米的湿陷坑或蝶形地，造成露管、悬空，破坏管道沿线附属设施。

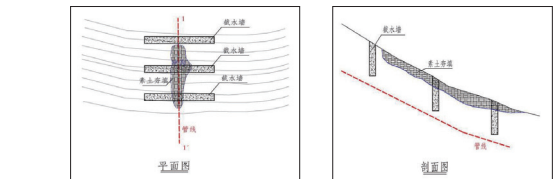
四、地质灾害风险点减缓建议措施

借鉴已建工程的成功经验，总结分析已有工程损坏的原因，以保护管道安全为根本，同时考虑经济节约和新技术应用，鉴于地质灾害对管道的破坏性较强，结合《油气管道地质灾害防护技术规范》(GB/T 40702—2021)^[3]的要求，最终提出了相应、可行的防治措施与建议，其防洪标准采取20年一遇。

- 主要包含工程治理、监测预警、巡检等三方面。
1. 排、导、疏工程
主要发育河沟道水毁、台田地和坡面水毁灾害，应用排导措施，不仅防治效果良好，而且工程造价低廉，简单易行，应用广泛。地表水的排、导、疏对于管道保护至关重要，防护措施主要包含排水渠、挡墙式护岸、护坡、铅丝石笼、防冲墙、护底等工程措施，其材料为浆砌石、现浇混凝土等。

- (1) 坡面水毁
针对坡面夯填、截水工程可见示意图2，截水墙主要阻挡坡面分散水流对坡面的冲蚀影响。实践证明其防治效果良好，不易损坏，且工程造价较低。工程设计中，截水墙使用浆砌石施工，且通过优化计算，确定出截水墙最为经济合理的长度，最终在很大程度上降低了治理成本。如果坡面上游汇水面积较大，汇流后冲蚀较严重，可酌情增加截水墙长度，增大过水断面，起到消力、减缓坡面下切、保护截水墙的作用，进而确保管道正常运营。由图1可知，该工程不仅适用于单线坡面水毁灾害治理，也可用于多条并行管线的灾害防治。

- (2) 河沟道水毁
管道沿线发育的河沟道水毁灾害，水流大多垂直或斜交管线，



> 图1 坡面汇流、截水工程示意图

冲蚀管堤,部分下切形成固定冲沟,其主要防治措施有排水渠、挡墙式护岸、护坡、铅丝石笼、防冲墙、护底等工程措施,应用均十分广泛,已建大量工程实践证明其防治效果良好。铅丝石笼和浆砌石护底顺管钱覆盖于正上方,其中铅丝石笼顶部与地面基本齐平,起到了过滤、淤积、消力、防冲的作用;浆砌石护底前缘易掏蚀,应按照冲蚀下切计算深度增加防冲墙。浆砌石护底经久耐用,防护效果强于铅丝石笼,但造价较高,常用于河沟道水毁管线穿越沟底。防冲墙多用于治理河沟道水毁,具有良好的防护效果;对于长距离且冲蚀、下切较严重的坡面水毁点也适用。

河沟道水毁人为或自然改变了河道两侧坡体形态,造成局部应力集中,进而坡体失稳,且通过排水、护岸、护坡等措施进行治理,有效控制了坡面土体的失稳发展。本次主要采用挡墙式护岸、护坡来防治沟道岸坡坍塌、滑动及侧蚀等,效果良好(见图2示意图)。示意图包含了排水渠、挡墙式护岸、护坡、铅丝石笼、防冲墙、护底等工程措施,体现了排、导、疏工程、支挡措施和防冲措施的综合使用,相互保护,确保岸坡和沟床稳定,达到保护管道的目的。

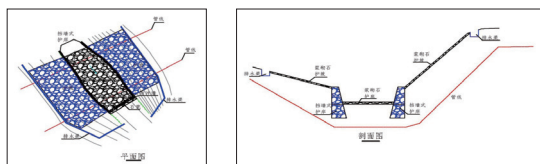


图2 河沟道岸坡防护工程平、剖示意图

(3) 台田地水毁

管道为长输线路工程,因多处覆土不实,在水流浸泡冲蚀、湿陷、水土流失等多种因素综合影响下,管沟填土易发生塌陷。在运营初期,塌陷区长达几十至数百米,落水洞呈串珠状发育,填土流失十分严重,致多处露管、悬管;运营3~5年后,台田地水毁、管沟塌陷发育较微弱,多发生在穿越田坎区域,其塌陷区影响范围较小,多呈椭圆状落水洞。

①对于塌陷区较长,塌陷程度相对较轻、田坎为缓坡的水毁灾害采用“素土夯填+潜式截水墙+田坎护坡”相结合方式进行防治(见图3台田地水毁治理工程示意图);

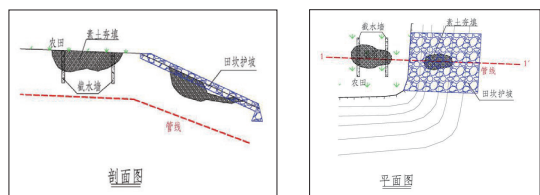


图3 台田地水毁治理工程示意图

②针对塌陷区位于田坎边缘,且田坎前缘较陡,塌陷程度相对较严重,田坎至底部存在贯穿落水洞的水毁灾害采用“二八水泥土夯填+防渗土工布+田坎护坡”相结合方式进行防治(见图4台田地水毁治理工程示意图);

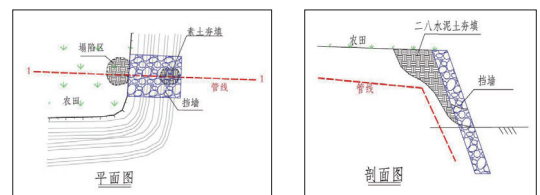


图4 台田地水毁治理工程示意图

③对于田坎局部冲毁,其塌陷区影响范围较小,程度较轻,

采用“素土夯填+田坎护坡修复”相结合方式进行防治;

④对于塌陷相对轻微,且危害较小的台田地水毁可直接采用原土夯填防治。

因此,台田地水毁要根据灾害实际发育状况采取相应合理的防治措施。本次调查发现,台田地水毁灾害多发育于耕地,且灌溉水流较集中,易被冲蚀的田坎穿越区。

2. 监测、预警措施

对于灾害体活动不明显,且仅有发展趋势的潜在不稳定斜坡、常年性河流及大型、高频发洪水沟道等建议设立监测预警设施,进行管道埋深、沟床下切、岸坡侧蚀等数据自动监测预警,为管道地灾风险评价提供重要依据。

管道地质灾害治理应注重生态环境保护,建议多采取鱼鳞坑、植被恢复、淤地坝等水土保持措施。针对规划中难以治理或治理耗资巨大的风险点应进行多方案对比,选取安全可靠、经济合理的防治措施,以确保管道安全运营。

3. 巡检

管道地质风险点不仅查看地质风险点发育特征及危害趋势,做好动态记录,而且巡查完好水工的完整性及防护效果,及早发现损坏的水工,第一时间为应急抢险、水工维修等提供情报资料。

五、结论与建议

河西走廊内西气东输一线、西气东输二线、西气东输三线和西部原油/成品油长距离油气输运管道线路长、沿线各种地形地貌类型多、地质条件复杂、地质灾害问题频繁发生。通过对管道运营期间可能出现的地质灾害问题中尤其是水毁灾害进行了阐述,对管道地质灾害治理中主要工程治理措施进行了详细的介绍与总结,及时总结管道地质灾害治理主要工程措施,可科学地管理地质灾害,丰富地灾治理知识体系,对今后开展类似工作起到指导、引路作用,对管道建设和安全运营具有重要的现实意义。

参考文献

- [1] 孙文祥,汪坤,朱海. 高压天然气储运管道泄漏定量风险评估研究[J]. 非常规油气, 2022, 9(2): 132-139.
- [2] 金铁龙. 埋地燃气管道完整性管理研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2013.
- [3] 潘燃,李铁峰. 灾害地质学[M]. 北京: 北京大学出版社. 2002: 75-83.
- [4] 郭希哲,赵占吕,柳源. 我国地质灾害评估和防治对策建议[J]. 地质灾害与防治. 1990, 1(1): 3-7.
- [5] 康向阳,张彬,慎乃齐,等. 西气东输工程甘肃段地质灾害发育特征及防治对策[J]. 地质灾害与环境. 2009, 20(4): 39-43.
- [6] 甘肃省科学院地质自然灾害防治研究所. 油气管道山前洪积面流侵蚀灾害防治技术研究报告[R]. 2018, 10.
- [7] 郭守德,王强,林影,等. 中缅油气管道沿线地质灾害分析与防治[J]. 油气储运, 2019, 38(9): 1059-1064, 1071.
- [8] 伍运霖,邓清禄,安鹏举,等. 呼包鄂管道鄂尔多斯段水毁灾害特征及防护工程优化[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2017, 28(4): 95-102.
- [9] 袁巍华,吴玉国,王国付,等. 水毁灾害中埋地管道稳定性研究[J]. 中国安全生产科学技术, 2017, 13(9): 90-95.
- [10] 袁巍华,吴玉国,王国付,等. 水毁灾害中埋地管道稳定性研究[J]. 中国安全生产科学技术, 2017, 13(9): 90-95.
- [11] 王生新,周刚,徐震. 冲积扇上油气管道水工保护措施及破坏类型[J]. 石油工程建设, 2017, 43(5): 1-6.
- [12] 王任,赵飞. 横断山脉区域管道坡面水毁防治技术应用[J]. 地下空间与工程学报, 2017(增2): 896-900.
- [13] 国家市场监督管理总局,国家标准化管理委员会《油气管道地质灾害防护技术规范》(GB/T 40702-2021)[S]. 中国计划出版社.

火电厂集控运行节能降耗技术分析

朱景浪

贵州西电电力股份有限公司黔北发电厂，贵州 毕节 551800

摘要： 本文针对火电厂集控运行中的节能降耗问题展开研究。随着能源消耗和环境保护日益受到关注，提高火电厂运行效率、降低能耗成为当前亟须解决的课题。论文先分析了火电厂集控运行的主要耗能环节，包括锅炉、汽轮机、发电机等核心设备的能量损失。重点探讨了集控运行中的节能降耗技术，如优化燃烧控制、提高热效率、减少管道热损失等。通过案例分析，对比实施节能技术前后的运行数据，量化评估了节能降耗的实际效果。研究表明，采用先进的集控系统并结合智能优化算法，可有效提高设备协调性，实现整体能耗下降3%–5%。文章对火电厂进一步推进节能降耗工作提出了建议，包括加强设备维护、优化运行参数、培训操作人员等方面。本研究为火电厂实现绿色高效运行提供了技术支撑和实践指导。

关键词： 火电厂；集控运行；节能降耗

Analysis of Energy Saving and Consumption Reduction Technology in Centralized Control Operation of Thermal Power Plant

Zhu Jinglang

Guizhou West Electric Power Co., LTD. Qianbei Power Plant, Bijie, Guizhou 551800

Abstract： This paper studies the problem of energy saving and consumption reduction in the centralized control operation of thermal power plants. With the increasing attention of energy consumption and environmental protection, improving the operation efficiency of thermal power plants and reducing energy consumption have become urgent issues to be solved. The paper first analyzes the main energy consumption links of the centralized control operation of the thermal power plant, including the energy loss of the core equipment such as boiler, steam turbine and generator. This paper mainly discusses the energy saving and consumption reduction technology in centralized control operation, such as optimizing combustion control, improving thermal efficiency and reducing pipeline heat loss, etc. Through case analysis, comparing the operation data of before and after the implementation of energy saving technology, the actual effect of energy saving and consumption reduction is quantitatively evaluated. The research shows that the advanced centralized control system and intelligent optimization algorithm can effectively improve the coordination of equipment and achieve the overall energy consumption reduction by 3%–5%. This paper puts forward suggestions for further promoting energy saving and consumption reduction in thermal power plants, including strengthening equipment maintenance, optimizing operation parameters, training operators and so on. This study provides the technical support and practical guidance for the thermal power plant to realize the green and efficient operation.

Keywords： thermal power plant; centralized control operation; energy saving and consumption reduction

引言

在全球能源危机和环境污染日益严重的背景下，提高能源利用效率、减少污染物排放已成为各国共同关注的焦点。作为我国电力供应的主要来源，火电厂的节能降耗工作对于实现国家节能减排目标具有重要意义。近年来，随着集中控制技术的发展，火电厂集控运行模式得到广泛应用，为节能降耗提供了新的技术途径。然而，火电厂运行过程中仍存在诸多能量损失环节，如何通过集控技术实现精细化管理、提高能源利用效率，是当前亟须解决的问题。“上大压小”战略的有效实施，标志着我国对电厂节能环保的高度重视，其主要目的是节能降耗，减少排污，压缩落后的生产设备，更好的完成“十三五”计划。^[1] 本文旨在深入分析火电厂集控运行中的主要耗能环节，探讨有效的节能降耗技术措施，为火电厂实现绿色高效运行提供理论依据和实践指导。通过对集控运行节能降耗技术的系统研究，不仅可以为火电厂降低运营成本、提高经济效益，还能为我国能源结构优化和生态环境保护做出积极贡献。

一、火电厂集控运行节能降耗技术分析的研究意义

火电厂集控运行节能降耗技术的研究具有重要意义，主要体现在经济效益、环境保护和技术创新三个方面。本节将结合具体的火电厂集控运行节能降耗技术实例，详细阐述这项研究的重要性。

（一）经济效益

在经济效益方面，研究火电厂集控运行节能降耗技术对提高经济效益具有重要意义。通过优化运行参数、提高设备效率，可以显著降低发电成本，增加企业利润。例如，锅炉燃烧优化控制技术通过集控系统实时监测锅炉运行参数，如氧量、烟气温度等，动态调整给煤量和送风量，实现最佳燃烧状态。某600MW 机组应用该技术后，年节约标煤约2万吨，相当于节省燃料成本1600万元。另外，汽轮机热力系统优化技术利用集控系统对汽轮机进行智能调节，如优化抽汽参数、调整真空度等。某300MW 机组采用此技术后，机组热耗率降低8.5kJ/kWh，年节约标煤7000吨，节省成本约560万元。这些技术不仅直接降低了运营成本，还延长了设备寿命，减少了维修费用，从而进一步提高了经济效益。

（二）环境保护

在环境保护方面，火电厂集控运行节能降耗技术的研究对环境保护具有重大意义。通过减少能源消耗和提高能源利用效率，可以显著降低温室气体和污染物排放。烟气脱硫脱硝一体化控制技术是一个典型例子，集控系统通过协调脱硫和脱硝过程，优化药剂添加量，提高去除效率。某1000MW 机组应用该技术后，二氧化硫排放降低15%，氮氧化物排放降低20%，年减少二氧化碳排放约10万吨。此外，循环冷却水系统智能调控技术利用集控系统根据环境温度和负荷变化，自动调节冷却塔风机转速和循环水泵流量。某600MW 机组采用此技术后，年节约用水100万吨，减少温排水排放，降低了对水生态环境的影响。这些技术的应用不仅有助于火电厂达到日益严格的环保标准，还为企业创造了良好的社会形象，促进了可持续发展。绿色环保已经逐渐变为目前社会公众关注的焦点话题，社会如果想要实现可持续发展的目标，就需要积极地贯彻落实绿色环保的理念，保证其成为自身工作的重要依存和关键方向。^[2]

（三）技术创新

集控运行系统的架构，包括硬件和软件组件，以及它们如何相互协作，以实现火电厂的高效运行。火电厂的集中控制运行系统通常由分布式控制系统（DCS），监控和数据采集系统，数据处理单元，远程操作终端等多个模块组成。^[3]在技术创新方面，研究火电厂集控运行节能降耗技术对推动行业技术创新具有重要意义。通过开发和应用新技术，可以不断提高火电厂的运行效率和管理水平。人工智能辅助决策系统是一个创新应用，利用机器学习算法分析历史运行数据，为操作人员提供优化建议。某500MW 机组应用该系统后，运行参数优化效率提高30%，年节约标煤1.5万吨。数字孪生技术则通过创建火电厂虚拟模型，实时模拟和优化运行状态。某1000MW 超超临界机组应用此技术后，实现了设备故障预测准确率达90%，减少了非计划停机时间，提高了发电效率2%。这些创新技术不仅提高了火电厂的运行水平，还促进了相关领域的技术进步，如大数据分析、物联网等，带动了整个能源行业的技术升级。

总结而言，火电厂集控运行节能降耗技术的研究在经济效益、环境保护和技术创新三个方面都具有重要意义。通过持续的研究和

应用，我们可以实现火电厂的高效、清洁、智能运行，为国家能源安全和可持续发展做出重要贡献。这项研究不仅有助于提高单个火电厂的运营效率，还可以为整个电力行业提供宝贵的经验和专业技术支持，推动能源结构优化和绿色转型。因此，深入研究和推广火电厂集控运行节能降耗技术，对于实现国家节能减排目标、应对气候变化挑战、提升能源利用效率具有深远的战略意义。

二、当前火电厂集控运行节能降耗技术所存在的主要问题

尽管火电厂集控运行节能降耗技术在近年来取得了显著进展，但仍面临一些亟待解决的问题。本节将从技术应用、管理体系和人才培养三个方面，结合具体实例，探讨当前存在的主要问题。

（一）技术应用

在技术应用方面，集控系统的智能化水平和适应性仍有待提高。许多火电厂的集控系统仍停留在基础自动化阶段，无法充分发挥先进算法和人工智能技术的潜力。例如，在锅炉燃烧优化控制中，传统PID控制方法难以应对煤质波动、负荷变化等复杂工况。某600MW 机组采用传统控制方法时，因煤质变化导致燃烧效率波动，年均热耗率比设计值高出15–20kJ/kWh。^[4]虽然引入模糊控制等先进算法可以改善这一问题，但由于缺乏足够的历史数据支持和实时优化能力，其效果仍不够理想。另一个典型案例是汽轮机热力系统优化。某300MW 机组虽然应用了集控系统，但因缺乏全工况动态优化模型，在频繁调峰工况下，年平均热耗率比最优运行状态高出30–40kJ/kWh。这些问题反映出当前技术在复杂工况适应性和智能化水平上的不足，限制了节能降耗潜力的充分发挥。

（二）管理体系

在管理体系方面，集控运行与传统管理模式之间的矛盾日益凸显。许多火电厂虽然引入了先进的集控系统，但管理流程和组织结构未能及时调整，导致新技术应用效果不佳。一个典型例子是脱硫脱硝系统的协同控制。某1000MW 机组虽然安装了一体化控制系统，但由于部门分割，脱硫和脱硝系统仍分别由不同团队管理。这导致系统协同性差，药剂消耗高出理想值20%，且污染物排放波动较大。另一个案例是设备预测性维护技术的应用。某500MW 机组引入了基于大数据分析的设备状态监测系统，但由于缺乏跨部门协作机制，维修计划制定仍主要依赖定期检查，导致系统预警信息利用率不足50%。这些问题反映出现有管理体系难以适应集控运行的需求，制约了节能降耗技术的效果发挥。

（三）人才培养

在人才培养方面，复合型技术人才短缺成为制约集控运行节能降耗技术发展的瓶颈。现代火电厂集控系统涉及自动化、信息技术、热能工程等多个领域，对操作和维护人员的综合素质提出了更高要求。然而，当前人才培养模式难以满足这一需求。例如，在数字孪生技术应用中，某1000MW 超超临界机组虽然建立了完整的虚拟模型，但由于缺乏既懂热力过程又精通数据分析的人才，模型的实时优化功能利用率不足30%。另一个案例是人工智能辅助决策系统的应用。某600MW 机组引入了基于机器学习的优化建议系统，但运行人员对算法推荐结果的理解和判断能力不足，导致系统使用率低，优化建议采纳率仅为60%。这些问题凸显了当前人才培养体

系与技术发展需求之间的差距，影响了先进技术的有效应用。

总的来说，当前火电厂集控运行节能降耗技术在技术应用的智能化水平和适应性、管理体系的协同性和灵活性，以及人才培养的专业性和复合性等方面存在明显不足。这些问题不仅限制了已有技术的应用效果，也在一定程度上阻碍了新技术的开发和推广。要充分发挥集控运行在节能降耗方面的潜力，需要在技术创新、管理变革和人才培养等多个层面同步发力，推动火电厂向更高效、更智能的方向发展。只有解决这些关键问题，才能真正实现火电厂的绿色高效运行，为国家能源结构优化和环境保护目标的实现做出更大贡献。

三、火电厂集控运行节能降耗技术应用的有效策略

为了充分发挥火电厂集控运行节能降耗技术的潜力，需要采取全面而有效的策略。本节将从技术创新与集成、管理模式优化以及人才培养与激励三个方面，结合具体实例，探讨火电厂集控运行节能降耗技术应用的有效策略。

（一）技术创新与集成

在技术创新与集成方面，关键在于推动智能化技术的深度应用和系统集成。应大力发展基于人工智能和大数据的智能优化技术。例如，在锅炉燃烧优化控制中，可引入深度强化学习算法，构建自适应控制模型。某600MW 机组采用这一技术后，实现了对煤质波动、负荷变化等复杂工况的快速响应，年均热耗率降低25kJ/kWh，相比传统PID控制节省标煤1.5万吨。推动各子系统的协同优化和集成。在汽轮机热力系统优化中，可建立涵盖锅炉、汽轮机、发电机的全局优化模型。某300MW 机组应用此技术后，在频繁调峰工况下，年平均热耗率降低50kJ/kWh，年节约标煤2万吨。^[1]此外，加强物联网技术应用，实现设备状态实时监测和预测性维护。某1000MW 机组通过建立覆盖关键设备的智能传感网络，结合大数据分析，将设备非计划停机时间减少30%，年均发电小时数提高150小时。这些技术创新不仅提高了单个系统的效率，更实现了整体协同优化，大幅提升了节能降耗效果。在具体工作中，宜加快改造的步伐。可以利用变频泵代替厂内的工频泵，采用变频的运行方式，有效地控制厂用电的消耗量，实现能耗的下降。火电厂处于低负荷运行状态时，需要将部分辅机停止运行，实现对厂用电率的有效控制。^[2]

（二）管理模式优化

在管理模式优化方面，需要建立与集控运行相适应的柔性化、扁平化管理体系。推行跨部门协作机制，打破传统的部门壁垒。在脱硫脱硝系统协同控制中，某1000MW 机组通过成立跨部门的环保控制小组，实现了脱硫脱硝系统的一体化管理，药剂消耗降低15%，污染物排放稳定性提高40%。建立基于数据驱动的决策机制，提高管理效率。某500MW 机组引入基于大数据的设备健康管理平台，将预测性维护与生产计划紧密结合，设备可用率提高3个百分点，年节约维护成本500万元。此外，推行精益管理，持续优化运行流程。某600MW 机组通过实施精益六西格玛管理，对集控运行流程进行系统优化，年均等效可用系数提高1.2个百分点，相当于额外增加发电量3000万千瓦时。这些管理模式创新不仅提高了集控系统的应用效果，还显著提升了整体运营效率。^[3]

（三）人才培养与激励

在人才培养与激励方面，重点是构建多元化、系统化的人才发

展体系。加强复合型人才培养，打造既懂工艺又通信息技术的专业队伍。某1000MW 超超临界机组通过与高校合作，开展“数字化电厂”专项培训，培养了一批熟悉数字孪生技术的核心人才，使得数字孪生系统的应用效率提升50%，年创造经济效益近千万元。建立持续学习机制，推动知识更新与技能提升。某集团公司建立了线上线下相结合的学习平台，定期组织技术交流和案例分享，员工在新技术应用方面的能力显著提升，人工智能辅助决策系统的使用率达到85%，优化建议采纳率提高到90%。此外，完善激励机制，调动技术创新积极性。某火电厂实施了“技术创新积分制”，将创新成果与绩效考核和职业发展紧密挂钩，年度技术创新项目数量增加40%，其中节能降耗相关项目占比超过60%。这些措施不仅提高了员工的专业能力，也激发了持续创新的动力，为技术的深度应用奠定了人才基础。^[4]

总的来说，火电厂集控运行节能降耗技术的有效应用需要在技术、管理和人才三个层面协同发力。通过推动智能化技术创新与系统集成、优化管理模式以适应新技术需求、加强复合型人才培养与激励，可以显著提高集控运行的节能降耗效果。这些策略不仅能够解决当前面临的主要问题，还能为火电厂的长期高效、清洁运行提供持续动力。随着这些策略的深入实施，火电厂将在能源利用效率提升、环境保护和可持续发展方面发挥更加积极的作用，为国家能源战略的实现做出更大贡献。因此，火电厂要按照集控运行的自身特点，从各个方面进行综合管控。除此之外，还要不断提升对热量损失以及电力能源消耗的控制，提升集控运行成效，保证生态环境的可持续发展。^[5]

四、结论

综上所述，本研究深入分析了火电厂集控运行节能降耗技术的应用现状、存在问题及有效策略。研究表明，通过智能化技术创新与系统集成、管理模式优化以及人才培养与激励，可显著提高火电厂的能源利用效率和环境表现。^[6]具体而言，采用人工智能和大数据技术可实现复杂工况下的精确控制；建立跨部门协作机制有助于发挥集控系统的整体优势；培养复合型人才则为技术深度应用提供了人力资源保障。这些措施不仅能解决当前面临的技术适应性、管理协同性和人才短缺等问题，还能为火电厂的长期高效、清洁运行提供持续动力。未来，火电厂应继续推进集控运行节能降耗技术的创新与应用，为国家能源结构优化和环境保护目标的实现做出更大贡献。

参考文献

- [1] 郭庆杰. 关于火电厂集控运行节能降耗技术的研究[J]. 内蒙古煤炭经济, 2020,(20):1-3.
- [2] 谈正强. 火电厂集控运行节能降耗技术措施分析[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2023,(21):1-3.
- [3] 刘宗权. 火电厂集控运行节能降耗技术研究[J]. 中国仪器仪表, 2024,(05):81-84.
- [4] 张海明. 火电厂集控运行节能降耗对策[J]. 现代工业经济和信息化, 2020,10(08):51-52.
- [5] 魏子航. 火电厂集控运行节能降耗技术研究[J]. 石河子科技, 2023,(04):35-36.
- [6] 方然. 火电厂集控运行节能降耗技术措施分析[J]. 科技创新与应用, 2022,12(08):126-128.
- [7] 陈柯, 李煜. 燃煤电厂集控运行中的节能降耗措施分析[J]. 电气技术与经济, 2024,(05):257-259.
- [8] 田忠玉, 李勇, 李杰, 等. 火电厂集控运行节能降耗技术分析[J]. 科技视界, 2020,(28):86-88.
- [9] 徐亮亮. 火电厂集控运行节能降耗技术探讨[J]. 节能与环保, 2023,(09):53-55.
- [10] 郭子良. 火电厂集控运行节能降耗技术研究[J]. 电气技术与经济, 2023,(07):53-55.

电力系统电气工程中故障诊断与处理方法探讨

曾宁

广西兆泰送变电工程集团有限公司, 广西 柳州 545000

摘 要 : 本文重点探讨了电力系统故障诊断与处理方法, 强调人工智能和大数据分析在提升诊断效率和精度方面的应用。文章分析了三种主要诊断方法: 人工智能、数据驱动和模型驱动, 并针对不同故障类型提出了相应的处理策略, 包括预防性维护、暂态故障快速响应和永久性故障系统性修复。最后, 提出了一个基于分层架构的故障诊断与处理系统, 以提高电力系统运行的可靠性和安全性。

关 键 词 : 电力系统故障诊断; 人工智能; 数据驱动; 故障处理策略; 故障诊断系统

Discussion on Fault Diagnosis and Processing Methods in Electrical Engineering of Power Systems

Zeng Ning

Guangxi Zhaotai Power Transmission and Transformation Engineering Group Co., Ltd. Liuzhou, Guangxi 545000

Abstract : This article focuses on exploring fault diagnosis and processing methods in power systems, emphasizing the application of artificial intelligence and big data analytics in improving diagnostic efficiency and accuracy. The article analyzes three primary diagnostic methods: artificial intelligence, data-driven, and model-driven, and proposes corresponding processing strategies for different types of faults, including preventive maintenance, rapid response to transient faults, and systematic repair of permanent faults. Finally, a hierarchical architecture-based fault diagnosis and processing system is proposed to improve the reliability and safety of power system operation.

Keywords : power system fault diagnosis; artificial intelligence; data-driven; fault processing strategy; fault diagnosis system

引言

随着我国经济的快速发展, 电力系统在国民经济中的地位日益重要。电力系统的安全、稳定运行对于保障国家能源安全、促进社会和谐具有重要意义。然而, 电力系统在运行过程中, 由于设备老化、外部环境、操作失误等多种因素的影响, 不可避免地会出现各种故障。这些故障如不能及时诊断与处理, 将对电力系统的安全稳定运行造成严重威胁, 甚至可能导致大面积停电事故, 给社会带来巨大的经济损失。

电力系统故障诊断与处理是电气工程领域的研究热点之一。故障诊断技术旨在通过对电力系统运行状态的实时监测, 准确识别故障类型、位置和原因, 为故障处理提供有力支持。故障处理方法则根据诊断结果, 采取相应的措施, 确保电力系统在最短时间内恢复正常运行。近年来, 虽然国内外学者在电力系统故障诊断与处理方面取得了一定的研究成果, 但仍然存在许多亟待解决的问题。

一、电力系统故障诊断基本理论

(一) 电力系统故障类型

在我国电力工业长期发展过程中, 电力系统规模扩大和用电量增长导致其失效事故时有发生^[1]。电力系统故障类型主要分为短路故障和断路故障两大类。短路故障包括三相短路、两相短路和单相接地短路; 断路故障则是指线路、设备因故障导致断开。这些故障可能导致系统电压、电流异常, 严重影响电力系统的稳定

运行。

(二) 故障诊断技术发展趋势

新型电力系统故障诊断所面临的主要问题是数据规模庞大、故障机理复杂、

诊断模型多样, 所以需要一种能够忽视网络拓扑, 从故障数据本身去分析的故障诊断模型^[2]。随着人工智能技术的深入应用, 如深度学习、大数据分析等, 故障诊断正逐步从传统的继电保护向智能诊断转变。诊断速度和精度不断提升, 能够快速准确地识

别复杂故障。同时，故障诊断系统正向复合故障诊断发展，能够处理多重故障情况。未来，故障诊断技术将更加注重网络化、一体化，实现故障检测、隔离、恢复和预防的自动化流程，为电力系统的安全稳定运行提供强有力的技术支持。

二、故障诊断方法详解

（一）人工智能故障诊断方法

人工智能故障诊断方法在电力系统中的应用日益成熟，其主要利用机器学习、模式识别和知识推理等技术来模拟人类的诊断思维。这些方法包括神经网络、支持向量机（SVM）、决策树、随机森林、聚类分析等。神经网络，特别是深度学习模型，通过多层神经元结构，能够从原始数据中自动提取复杂特征，学习故障与正常状态之间的差异^[3]。支持向量机则通过构建最优超平面，实现故障与非故障状态的有效分类。决策树和随机森林通过一系列规则对数据进行分类，适用于处理具有明确分类规则的故障诊断问题。聚类分析则能够在无监督学习的情况下发现数据中的潜在模式，识别出未知故障类型。人工智能故障诊断方法的优势在于其自学习能力和对复杂问题的处理能力，但同时也存在训练数据需求大、模型泛化能力有待提高等问题^[4]。

（二）数据驱动的故障诊断方法

数据驱动的故障诊断方法侧重于从大量历史数据中提取故障特征，进而进行故障检测和分类。这类方法通常包括时域分析、频域分析、时频分析和小波变换等。时域分析关注信号的时间特性，如电流和电压的突变、波形畸变等，通过计算统计特征（如均值、方差、峭度等）来表征信号。频域分析则通过傅里叶变换将时域信号转换到频域，分析信号的频率成分，揭示信号的周期性和谐波含量。时频分析结合了时域和频域分析的特点，能够捕捉信号在不同时间点的频率分布，常用方法包括短时傅里叶变换和希尔伯特-黄变换。小波变换作为一种多尺度时频分析方法，能够有效提取信号的局部特征，适用于故障信号的瞬时变化分析^[5]。数据驱动方法的关键在于特征提取的准确性和有效性，以及如何处理高维数据和噪声干扰。

（三）模型驱动的故障诊断方法

模型驱动的故障诊断方法基于电力系统的数学模型，通过模拟系统在不同运行状态下的行为来进行故障诊断。这种方法包括状态估计、参数估计、模型匹配和仿真等。状态估计通过测量系统的输入输出数据来估计系统的内部状态，当实际状态与估计状态之间存在较大偏差时，可能表明系统发生了故障。参数估计则关注系统参数的变化，故障往往会导致系统参数的突变，通过参数估计可以识别故障类型和位置。模型匹配方法通过比较实际系统与预设故障模型的匹配程度来确定故障类型和位置。仿真方法则通过建立详细的系统模型，模拟故障发生时的系统行为，从而进行故障诊断。模型驱动方法的优势在于理论基础坚实，能够提供故障的物理解释，但模型的准确性、复杂性和计算量是其面临的挑战^[6]。此外，模型驱动方法对系统模型的依赖性较高，模型的不确定性可能会影响诊断结果的准确性。

三、故障处理方法探讨

（一）故障处理原则

在探讨故障处理的多种方法之前，必须确立一套指导性的原则。这些原则旨在确保故障处理活动的有效性和安全性。

1. 安全应始终放在首位，任何故障处理活动都不得危及人员或设备的安全。

2. 故障处理的及时性至关重要，应尽可能缩短故障响应时间，减少故障对生产的影响。准确性也是故障处理的关键，必须准确识别故障原因，避免盲目操作。

3. 故障处理应致力于尽快恢复系统正常运行，同时，详细记录故障处理过程，为未来的故障分析和预防提供数据支持。

（二）预防性故障处理策略

预防性故障处理策略的核心在于通过一系列前瞻性措施，有效降低设备故障的发生概率，确保生产过程的连续性和稳定性。在设备选型阶段，至关重要的一环是综合评估设备的可靠性指标和数据。据统计，选用高可靠性设备可以降低约30%的故障率^[7]。因此，应优先选择那些经过市场验证、故障率低、维修记录良好的设备，以此来奠定坚实的预防基础。

在设备的使用过程中，定期进行检查和维护是预防性故障处理的关键。根据设备的具体情况，制定合理的检查周期，如每季度或每年进行一次全面检查。研究表明，定期维护可以提前发现并解决70%以上的潜在故障隐患。此外，操作人员的专业培训也不容忽视。通过系统的培训，操作人员能够掌握正确的操作方法，提高操作技能，数据显示，受过专业培训的操作人员可将设备故障率降低20%。

同时，备件管理的科学性对预防性故障处理同样重要。合理规划备件库存，既要避免过多库存造成的资金占用，又要确保关键备件的及时供应。据统计，合理的备件库存管理能够将故障响应时间缩短50%，极大减少因备件不足导致的停机时间。

（三）暂态故障处理策略

暂态故障，作为一种常见的设备运行问题，通常是由设备在运行过程中遭遇的短暂异常所引起。这类故障虽短暂，却可能对生产流程造成影响。幸运的是，暂态故障通常可以通过简单的操作，如设备复位或重启，得以快速恢复。在这一过程中，实时监测系统发挥着至关重要的作用。它能够实时捕捉设备运行的各项数据，一旦发现异常，立即发出警报，为故障处理赢得宝贵时间^[8]。

以工厂生产线上的机器人手臂为例，若其在运行过程中突然出现暂态故障，实时监测系统会在第一时间检测到异常并触发警报。此时，操作人员可以立即对机器人手臂进行复位操作。通过这种方式，暂态故障得以消除，生产线得以恢复正常运行^[9]。同时，操作人员还需对故障原因进行初步排查，比如检查电源稳定性、设备磨损情况等，以防止类似故障再次发生，确保生产过程的顺利进行。

（四）永久性故障处理策略

与暂态故障不同，永久性故障通常指的是设备或系统在运行中遭遇的长期或不可逆的损坏，这类故障的处理过程更为复杂，

需要系统性的调查和精确的修复措施。在面对永久性故障时，首要任务是迅速隔离故障设备，防止故障点成为影响整个系统稳定性的隐患。这一步骤至关重要，可以最大限度地减少生产损失和维护成本。

在隔离故障设备后，接下来是进行深入的故障分析。这一过程可能涉及对设备的历史运行数据、故障时的环境条件，以及可能存在的操作失误等多方面信息的综合考量^[10]。通过专业的诊断工具和方法，准确地识别出故障的具体原因，如零件磨损、电路短路或软件错误等。

基于故障分析的结果，维修团队需要制定出一套详尽的维修方案，该方案应包括维修步骤、所需替换的零件、预计的维修时间以及可能的风险评估。在实施维修作业时，必须严格按照方案执行，确保每一步骤都符合技术规范和安全标准。维修作业完成后，还需对设备全面的验收测试，以验证故障是否已经被彻底解决，并且设备能够在正常工作条件下稳定运行。只有通过严格的验收，才能将设备重新投入生产，确保整个系统的可靠性和高效性。

四、故障诊断与处理系统设计

（一）系统总体架构

系统总体架构采用分层设计思想，分为数据采集层、数据处理层、故障诊断层和故障处理层。数据采集层负责从各种传感器和监测设备中收集实时数据；数据处理层对原始数据进行清洗、归一化和特征提取；故障诊断层利用机器学习算法对数据进行智能分析，识别故障类型；故障处理层根据诊断结果，制定相应的处理策略，指导现场操作人员进行维修。

（二）数据采集与预处理

在电力系统故障诊断与处理系统中，数据采集与预处理是关键步骤。传感器和监测设备实时捕获电网参数，如电压、电流和频率。通过滤波、去噪和归一化提升数据质量，数据压缩技术则优化传输效率。这些预处理措施确保了数据的准确性和传输的快速性，为故障的精确诊断和快速处理提供了可靠的数据基础。

（三）故障诊断模块设计

故障诊断模块设计依托智能算法，对电网数据进行深入分析，迅速定位故障。集成专家系统和神经网络技术，大幅提升诊断精度，实现实时监测。模块具备高度兼容性和可扩展性，适应复杂电网结构。通过优化诊断流程，显著减少故障处理时间，确保电力系统稳定与安全。此外，模块设计考虑了自学习功能，能够不断更新故障特征库，提高应对新型故障的能力。

（四）故障处理模块设计

故障处理模块设计以快速响应和精准动作为核心，根据故障诊断结果自动执行预案。模块集成远程控制与现场操作功能，实现故障隔离、负荷转移和设备重启等操作。设计考虑了故障处理的时效性和安全性，确保在最短时间内恢复电网稳定。同时，模块具备反馈机制，对处理效果进行评估并调整策略，提高系统自愈能力。此外，支持多级联动控制，协调各级电网操作，提升整体处理效率。

（五）系统测试与验证

系统测试与验证阶段，采用模拟故障实验和现场实际运行相结合的方法。在模拟故障实验中，通过人为设置不同类型的故障，检验系统对故障的识别和处理能力。在现场实际运行中，收集设备的运行数据和故障处理结果，与系统预期输出进行对比，评估系统的实际性能。经过多次测试与优化，确保系统在实际生产环境中具有较高的故障诊断准确率和处理效率。

五、结束语

电力系统故障诊断与处理技术是保障电力系统安全稳定运行的重要保障。本文探讨了多种诊断方法，强调人工智能和数据驱动技术的应用价值，并提出了基于分层架构的故障诊断与处理系统设计方案。未来，随着技术的不断进步，电力系统故障诊断与处理技术将更加智能化、精准化和自动化，为建设安全、高效、可靠的能源网络提供更加坚实的技术支撑，助力我国能源事业迈向更加美好的未来。

参考文献

- [1] 赵海萍, 刘晓琴, 邱昱. 人工智能技术在电力系统故障诊断中应用 [C]// 中国电机工程学会电力信息化专业委员会, 国家电网公司信息通信分公司. 2022 电力行业信息化年会论文集. 国网甘肃省电力公司数字化事业部, 2023:4.DOI:10.26914/c.cnkihy.2023.053543.
- [2] 高陆军, 陈洁, 王新雷, 等. 基于多任务学习的新型电力系统故障诊断方法 [J]. 现代电子技术, 2023,46(15):155-160.DOI:10.16652/j.issn.1004-373x.2023.15.027.
- [3] 朱赖红, 王娟. 基于神经网络的船舶电力系统故障诊断方法 [J]. 舰船科学技术, 2022,44(11):132-135.
- [4] 张灏. 电力设备故障声学检测技术综述及展望 [J]. 四川电力技术, 2022,45(04):60-65.DOI:10.16527/j.issn.1003-6954.20220412.
- [5] 王照阳. 新型电力系统中电力设备故障诊断技术研究 [J]. 科技创新与应用, 2022,12(32):81-84.DOI:10.19981/j.CN23-1581/G3.2022.32.021.
- [6] 张洁, 蔡然. 电力设备状态监测与故障诊断技术分析 [J]. 电子技术, 2021,50(12):274-275.
- [7] 杨子腾, 王立志, 张亮, 等. 人工智能技术在电力系统故障诊断中的应用研究 [J]. 科学技术创新, 2021,(30):12-14.
- [8] 王嘉林. 电力系统故障诊断的研究现状与发展趋势分析 [J]. 科技创新与应用, 2021,11(28):140-142.
- [9] 姚刚. 电力系统设备状态监测与故障诊断技术 [J]. 电子世界, 2021,(16):186-187.DOI:10.19353/j.cnki.dzsj.2021.16.080.
- [10] 欧阳圣睿. 电力系统故障诊断的研究现状与发展趋势 [J]. 电气传动自动化, 2021,43(04):40-42+64.

电气工程中配电网自动化与智能化改造探讨

陆新

广西兆泰送变电工程集团有限公司, 广西 柳州 545000

摘要： 本文探讨了配电网自动化与智能化改造的必要性、关键技术、投资效益以及面临的挑战。文章指出，传统的配电网存在诸多问题，无法满足现代电力系统的发展需求。自动化与智能化改造是解决这些问题的有效途径，可以提高供电可靠性、降低线损、促进新能源消纳，并推动能源转型和经济社会可持续发展。文章重点分析了智能监测与故障诊断、网络重构与优化调度、新能源与储能接入以及信息通信与数据挖掘等关键技术，并探讨了改造投资估算、效益分析以及面临的挑战和对策。

关键词： 配电网自动化；配电网智能化；电力系统改造；新能源接入；人工智能

Discussion on Automation and Intelligent Transformation of Distribution Network in Electrical Engineering

Lu Xin

Guangxi Zhaotai Power Transmission and Transformation Engineering Group Co., Ltd. Liuzhou, Guangxi 545000

Abstract： This paper explores the necessity, key technologies, investment benefits, and challenges of automation and intelligent transformation in distribution networks. The article points out that traditional distribution networks have many problems and cannot meet the development needs of modern power systems. Automation and intelligent transformation are effective ways to solve these problems, which can improve power supply reliability, reduce line losses, promote new energy consumption, and drive energy transformation and sustainable economic and social development. The article focuses on analyzing key technologies such as intelligent monitoring and fault diagnosis, network reconstruction and optimal scheduling, new energy and energy storage access, and information communication and data mining. It also discusses investment estimates, benefit analysis, and the challenges and countermeasures faced in the transformation process.

Keywords： distribution network automation; distribution network intelligence; power system transformation; new energy access; artificial intelligence

引言

随着我国经济的持续发展和能源需求的不断增长，电力系统作为国民经济的重要支柱，其稳定运行和供电质量对社会生产生活具有至关重要的影响。配电网作为电力系统的末端环节，直接连接用户，其运行状态和服务水平直接关系到电力供应的可靠性和经济性。近年来，我国在电力系统中投入了大量资源进行配电网改造，以提高供电质量和供电可靠性。

配电网自动化与智能化改造是当前电力系统发展的必然趋势。传统的配电网存在设备老化、线路损耗大、供电可靠性低、运行维护困难等问题，已无法满足现代电力系统的发展需求。配电网自动化与智能化改造旨在通过应用先进的技术手段，提高配电网的运行管理水平，实现配电网的安全、高效、经济运行。

一、配电网现状分析

近年来，国家电网公司和南方电网公司加大了对配电网的投资力度，电网结构逐步优化，装备水平不断提升，供电可靠性显著提高。特别是在新能源、电动汽车、电力电子设备等新兴技术领域，配电网的建设和改造取得了显著成效。尽管我国配电网建设取得了长足进步，但仍然存在一些突出问题：

1. 配电网结构不合理，部分地区的电网结构薄弱，难以满足

日益增长的用电需求。

2. 配电网设备老化严重，部分设备超期服役，安全隐患较多。

3. 配电网的自动化水平较低，手动操作环节较多，导致运维效率低下。

4. 配电网对新能源的接入能力不足，无法充分消纳分布式能源和电动汽车等新型负荷。

5. 配电网的信息化水平不高，缺乏有效的数据分析和决策支持系统。

二、配电网改造的必要性

智能配电网采用传感技术、测量技术、通信技术、信息技术、计算机技术、网络技术、自动控制、人工智能技术，在智能电力系统的统一指挥下，以用户为中心，根据用户对用电的需求、用户用电需求的变化及其他各项指标，对配网上的电能进行智能化分配，从而确保长期、安全、高效、平稳供电；并彻底解决“用电低谷期出现大量电能浪费，用电高峰期出现严重电能短缺”这一难题^[1]。配电网的改造升级对于我国电力行业具有深远的影响。一方面，它确保了电力供应的稳定性，提升了供电品质，通过电网结构的优化，增强了供电的可靠性，满足了不断增长的用电需求。另一方面，这一改造是推进能源结构调整和新能源融入的关键步骤，改造后的电网更加适应新能源的接入，推动了清洁能源的广泛应用。同时，配电网的升级改造还扮演着提高电网运行效率、降低运维成本的角色。引入自动化和智能化技术，大幅提升了运维工作的效率，减轻了人力资源的压力。更为重要的是，这一改造是实现国家能源战略、推动经济社会持续发展的关键行动，对于促进我国电力行业向高质量发展转型具有不可替代的作用。

三、配电网自动化与智能化改造关键技术分析

（一）智能监测与故障诊断技术

智能监测与故障诊断技术是配电网自动化与智能化改造中的关键组成部分，其主要职能在于实时监控配电网的运行状态，迅速识别并精确诊断潜在故障，为故障的快速处理提供强有力的技术支撑。该技术的核心内容涵盖以下几个层面：

传感器与监测设备的先进应用确保了对配电网运行参数的实时采集，包括电压、电流、温度、湿度等关键指标，保障了数据的准确性与实时性。这些数据为实时掌握配电网的运行状态提供了可能，同时也为故障诊断奠定了坚实的数据基础。人工智能算法的引入，使得采集到的数据得以高效处理和分析，从而实现对配电网运行状态的智能化评估^[2]。利用模式识别、聚类分析等技术，系统能够有效区分正常运行与异常状态，为故障的预警和诊断提供了科学依据。在故障发生时，故障诊断技术能够迅速进行定位和原因分析。通过构建精准的故障诊断模型，并结合历史与实时数据，系统能够准确判断故障类型、位置及原因，为运维团队提供针对性的故障处理建议。此外，智能监测与故障诊断技术还支持配电网的远程监控，大大降低了运维成本，提升了运维效率。通过建立统一的监控平台，实现对各级配电网的集中管理，使得调度人员能够及时了解全网运行状况，迅速应对各类故障事件^[3]。

（二）网络重构与优化调度技术

网络重构与优化调度技术在配电网自动化与智能化改造中占据核心地位，该技术通过集成高级监测系统与智能算法，实现对配电网结构的灵活调整和运行策略的优化。它充分考虑了配电网的实时负载情况、线路健康状况，以及供电服务质量，自动生成

网络重构方案，以优化电网运行效率，减少线路损耗，并提升供电可靠性^[4]。在优化调度方面，技术采用基于人工智能的决策支持系统，依据负荷预测、分布式能源的实时出力以及电网设备的工作状态，进行电网运行模式的动态调整，旨在满足用户电力需求的同时，实现能源的高效分配和电网运行成本的最优化。此外，网络重构与优化调度技术的实施，增强了配电网对突发事件和不确定因素的响应能力，提升了电网的弹性和自愈能力，为构建更加智能化、高效化的现代配电网体系提供了坚实的技术保障。

（三）新能源与储能接入技术

新能源与储能接入技术是配电网自动化与智能化改造的关键环节，该技术致力于解决可再生能源的随机性、波动性问题，以及电网与储能系统的无缝对接^[5]。通过集成先进的电力电子转换装置和智能控制策略，实现光伏、风能等新能源的稳定接入和高效利用，同时确保电网的稳定运行。技术核心在于开发多时间尺度下的能量管理系统，该系统能够根据新能源出力预测、负荷需求变化和电网调度指令，动态调整储能单元的充放电策略，优化电网的功率平衡。此外，新能源与储能接入技术还涉及电网侧和用户侧的互动，通过需求响应和虚拟电厂等技术，提升电网的灵活性和互动性。该技术的应用不仅促进了新能源的广泛消纳，降低了碳排放，而且通过储能系统的调峰填谷作用，提高了电网的运行效率，为构建清洁、高效、互动的智能配电网提供了重要支撑^[6]。

（四）信息通信与数据挖掘技术

信息通信与数据挖掘技术在配电网自动化与智能化改造中扮演着桥梁和纽带的作用，是实现配电网状态全面感知、信息高效传输和价值深度挖掘的关键。该技术通过构建高速、可靠的通信网络，确保了监测数据、控制命令和故障信息在配电网中的实时、准确传输。采用光纤通信、无线专网等先进通信技术，提升了通信系统的带宽和抗干扰能力，保障了电网调度和管理实时性。同时，数据挖掘技术的应用，通过聚类分析、关联规则挖掘、机器学习等算法，对海量电网数据进行深度处理，揭示了配电网的运行规律和潜在风险，为电网的优化调度、故障预测和决策支持提供了数据支撑。信息通信与数据挖掘技术的融合，不仅增强了配电网的透明度和可控性，而且通过智能分析辅助决策，提高了配电网的智能化水平，为构建智能、高效、可靠的配电网提供了强有力的技术保障。

四、改造投资估算与效益分析

在电气工程领域，配电网自动化与智能化改造是提升电网性能、适应未来能源需求的关键行动^[7]。该改造项目的投资估算与效益分析需全面考虑其涉及的广泛领域和深远影响。项目包括设备采购、安装调试、技术研发、人员培训等多个环节，虽然投资规模较大，但与之相伴随的是改造带来的显著效益。

在投资估算方面，自动化与智能化改造涉及高端设备的应用，如智能化监控设备、自动化控制装置、通信网络设施等，以及相应的工程施工和土建改造费用。为确保技术的先进性和适应性，还需投入技术研发与咨询服务费。改造后系统的运维成本，

包括日常维护、软件升级等，也是投资的一部分^[8]。总体而言，这些投资构成了项目的总成本，通常在数千万元至数亿元之间。

效益分析显示，配电网自动化与智能化改造带来的效益广泛。改造提升了供电可靠性，通过自动化监控和智能调度，减少了故障处理时间和停电频率，确保了电力供应的稳定性。同时，电网运营效率的提高使得能源分配和利用更加高效，有效降低了线损，实现了能源节约。此外，改造促进了新能源的接入，减少了对传统化石能源的依赖，推动了绿色可持续发展。

从经济效益角度来看，尽管初期投资较高，但长期来看，改造项目能够降低运营成本、提升供电质量，并增强市场竞争力，为电力企业带来持续的经济收益。在社会效益方面，优质的电力服务提升了用户满意度，为地方经济发展提供了坚强的能源支撑，促进了社会和谐与稳定^[9]。

五、配电网自动化与智能化改造面临的问题与挑战

（一）技术难题

配电网自动化与智能化改造涉及众多技术难题，包括硬件设备的集成、软件系统的兼容性，以及新技术的应用与创新。例如，如何实现智能监测设备与现有系统的无缝对接，如何确保通信网络的稳定性和安全性，以及如何处理大数据分析中的实时性和准确性等问题。

（二）管理与政策支持

在管理和政策支持方面，配电网自动化与智能化改造需要政府和企业共同合作，制定和实施有效的管理策略和政策。这包括制定合理的管理流程，确保项目的顺利进行；提供资金支持和税收优惠，鼓励企业进行技术改造；以及建立相应的监管机制，确保改造工程的质量和进度。

（三）人才培养与队伍建设

在人才培养与队伍建设方面，配电网自动化与智能化改造需要培养和吸引具备相关技术和知识的人才。这包括提供培训和继续教育机会，提高现有员工的技能和知识水平；引进高层次人才，增强技术团队的创新能力；以及建立有效的激励机制，留住关键人才。

六、对策与建议

（一）技术创新与发展

为应对配电网自动化与智能化改造的技术挑战，核心对策是推动技术创新与发展。重点应放在研发高效稳定的智能化设备，以及提升监控、故障处理和自愈技术水平^[10]。建议增加研发资金投入，深化大数据、人工智能等先进技术在电网中的应用，以实现电网运行的高效管理。此外，必须加强产学研合作，促进技术创新与实际应用的紧密结合，加快科技成果的转化速度。通过这些措施，不仅能够确保改造技术的先进性，还能持续提升配电网的自动化与智能化水平，为电力系统的可靠运行和未来发展奠定坚实基础。

（二）管理优化与提升

为确保配电网自动化与智能化改造的高效实施，管理优化与提升至关重要。

- 需优化管理流程，简化行政手续，提升工作效率，降低运营成本。
- 建立并实施有效的激励机制，以激发员工的工作热情和创新能力，增强团队凝聚力和执行力。
- 加强项目风险管理，通过风险评估和预警机制，确保改造项目的平稳推进，降低潜在风险对项目的影响。这些管理层面的改进将有力支撑配电网自动化与智能化改造的顺利进行，保障改造目标的实现。

（三）政策支持与引导

政府应积极推出一系列优惠措施，加大对改造项目的资金支持力度，激发社会资本参与热情，推动项目尽快实施。同时，需健全法规体系，制定具体标准，为改造工程提供清晰指引，保障改造过程规范、高效进行。此举将有力推动城市更新，提升居民生活品质。

七、结束语

配电网自动化与智能化改造是推动电力系统发展的重要举措，也是实现能源转型和促进经济社会可持续发展的必然要求。虽然面临着技术难题、管理挑战和政策支持等问题，但通过技术创新、管理优化和政策引导，我们可以克服这些困难，推动配电网自动化与智能化改造的顺利进行。未来，随着技术的不断进步和应用，配电网将变得更加智能化、高效化和可靠化，为用户提供更加优质的电力服务，为经济社会可持续发展提供强有力的能源保障。

参考文献

- [1] 张黎. 配网自动化及智能化相关问题分析 [J]. 智能城市, 2020, 6(22): 73-74. DOI: 10.19301/j.cnki.zncs.2020.22.032.
- [2] 梁社潮, 陈钢, 王坤明. 基于“互联网+”的配电物联网的智能化改造与发展 [C]// 中国电力企业管理创新实践 (2021年). 广东电网有限责任公司江门供电局; 2023: 4. DOI: 10.26914/c.cnkihy.2023.005485.
- [3] 钱添. 配电自动化技术在配电运维中的应用研究 [J]. 产业创新研究, 2022, (20): 91-93.
- [4] 陆凡. 10kV 配电网的自动化系统优化策略 [J]. 集成电路应用, 2022, 39(08): 192-193. DOI: 10.19339/j.issn.1674-2583.2022.08.083.
- [5] 倪佳俊, 周磊. 智能化技术在配电网中的应用 [J]. 电子技术, 2022, 51(06): 292-293.
- [6] 顾伟国. 电力系统配电网自动化技术的应用分析 [J]. 冶金管理, 2021, (23): 35-36.
- [7] 李立佳. 分布式能源发展与配电网投资效益关联模型研究 [D]. 华北电力大学 (北京), 2023. DOI: 10.27140/d.cnki.ghbbu.2023.000940.
- [8] 陈伟华, 郑楚韬, 陈娟, 等. 基于“互联网+”的智能配电网运维管理和智能化改造 [C]// 中国电力企业管理创新实践 (2021年). 广东电网有限责任公司佛山南海供电局; 2023: 3. DOI: 10.26914/c.cnkihy.2023.005484.
- [9] 沈琅哲. 智能化技术在配电网系统中的应用 [J]. 集成电路应用, 2023, 40(10): 136-137. DOI: 10.19339/j.issn.1674-2583.2023.10.057.
- [10] 周磊, 倪佳俊. 智能化配电网的运行管理优化分析 [J]. 电子技术, 2022, 51(06): 288-289.

电气工程中新能源并网对电力系统稳定性的影响分析

魏炜

广西兆泰送变电工程集团有限公司, 广西 柳州 545000

摘 要： 本文旨在探讨新能源并网技术及其对电力系统稳定性的影响。本文内容分为两大部分：起初，对新能源发电的种类及其特性进行了全面概述，并详细说明了新能源并网的接入方法及所涉及的关键技术难题。接着，深入探讨了电力系统稳定性的理论基础，这包括稳定性的不同类别、评价技术，以及影响系统稳定性的主要因素。进一步，本文重点分析了新能源并网对电力系统稳定性的影响，包括静态稳定性分析和动态稳定性分析。在静态稳定性分析中，研究了新能源并网对电压稳定性和无功功率平衡的影响；在动态稳定性分析中，探讨了新能源并网对系统频率稳定性和暂态稳定性的影响。本文的研究为理解和解决新能源并网带来的稳定性问题提供了理论依据，对促进新能源发电技术的应用和保障电力系统安全稳定运行具有重要意义。

关 键 词： 新能源并网；电力系统稳定性；静态稳定性；动态稳定性；电压稳定性

Analysis of the Impact of New Energy Grid Connection on the Stability of Power Systems in Electrical Engineering

Wei Wei

Guangxi Zhaotai Transmission and Transformation Engineering Group Co., Ltd. Liuzhou, Guangxi 545000

Abstract： This article aims to explore new energy grid-connection technology and its impact on the stability of power systems. The content of this article is divided into two major parts: Initially, a comprehensive overview of the types and characteristics of new energy power generation is provided, and the access methods of new energy grid connection and the key technical challenges involved are explained in detail. Then, the theoretical foundation of power system stability is discussed in depth, including different categories of stability, evaluation techniques, and the main factors that affect system stability. Furthermore, this article focuses on analyzing the impact of new energy grid connection on the stability of power systems, including static stability analysis and dynamic stability analysis. In the static stability analysis, the effects of new energy grid connection on voltage stability and reactive power balance are studied; in the dynamic stability analysis, the effects of new energy grid connection on system frequency stability and transient stability are explored. The research in this article provides a theoretical basis for understanding and solving the stability problems caused by new energy grid connection, and it is of great significance for promoting the application of new energy power generation technology and ensuring the safe and stable operation of power systems.

Keywords： new energy grid connection; power system stability; static stability; dynamic stability; voltage stability

引言

随着全球能源结构的转型和环境保护的日益重视，新能源发电技术得到了迅速发展。风能、太阳能等可再生能源的并网发电已成为电力系统的重要组成部分。然而，新能源发电具有间歇性、随机性和不可控性等特点，其大规模并网对电力系统的稳定性带来了新的挑战。电气工程领域对新能源并网影响电力系统稳定性的研究具有重要的理论和实际意义。本文旨在分析新能源并网对电力系统稳定性的影响，探讨新能源发电接入对系统静态稳定性、动态稳定性的影响机理，并提出相应的稳定性提升措施，以期为我国新能源并网技术的发展和电力系统的安全稳定运行提供理论依据和技术支持。

一、新能源并网技术概述

随着可持续发展战略的深入实施，新能源并网技术已成为推

动能源结构转型的重要力量。以下章节将详细探讨新能源发电的类型及其独特性质，并网接入的不同方式，以及新能源并网过程中面临的**关键技术挑战。

（一）新能源发电类型及其特点

新能源发电作为近年来新兴的发电模式，在实际大面积应用新能源发电模式之前要对其类型进行充分的分析，针对当前自身的实际情况采取合理的新能源发电形式，从而在节约成本的基础上，有效提升新能源发电的整体效率^[1]。新能源发电，作为一种清洁且可再生的能源形式，涵盖了风能、太阳能、生物质能等多种类型，每种发电方式均展现出其独特的运行特性和技术优势。风能发电，其运行依赖于风速的波动，因此呈现出间歇性和不可预测性的特点。与此同时，太阳能发电则受制于天气状况和地理位置的制约，表现出明显的波动性和季节性特征。这些独特的性质，使得新能源发电在并入电网过程中，需进行周密地考虑与特殊处理。

风能发电的间歇性和不可预测性，要求电网具备良好的调峰能力和备用能源配置，以确保电力供应的稳定性。而太阳能发电的波动性和季节性，则需要通过技术创新和电网优化，实现能源的高效利用和调度。在这一过程中，新能源发电的并网技术、储能系统以及智能调度等方面的研究与应用，显得尤为重要，以保障我国能源结构的优化和电力系统的安全稳定运行。

（二）新能源并网接入方式

新能源并网的接入方式多种多样，其分类依据主要是发电规模和技术要求，大体可分为直接并网与间接并网两大类。直接并网模式，即新能源发电系统不经任何中间转换，直接与电网相连^[2]。这种接入方式简洁高效，但对接入点的电网稳定性提出较高要求。相反，间接并网则是通过能量转换装置，如逆变器，将新能源发电系统产生的电能转换为符合电网标准的电能形式，再进行并网。

直接并网的优势在于减少了能量转换环节，提高了电能的传输效率，但同时也对电网的稳定性构成了挑战，尤其是在新能源发电波动性较大的情况下。而间接并网方式，虽然增加了能量转换的环节，但通过逆变器等设备，可以有效调节电能的频率、电压等参数，确保接入电网的电能质量，降低对电网的冲击，提升电网的运行稳定性。

这两种不同的接入方式对电网的稳定性、电能质量以及运行效率产生显著影响。直接并网要求电网具备更强的调节能力和更高的故障承受能力，而间接并网则通过能量转换装置的调节作用，为电网提供了更为稳定和高质量的电能供应^[3]。因此，在选择新能源并网接入方式时，需综合考虑发电系统的特性、电网的现状以及技术经济性等多方面因素，以实现新能源与电网的和谐接入。

（三）新能源并网的关键技术问题

新能源并网技术的广泛应用面临诸多关键技术挑战。提升新能源发电功率预测的准确性，确保并网系统的稳定性和电能质量，以及优化能量管理策略以促进能源的高效利用，构成了新能源并网技术的核心议题。同时，并网设备的可靠性、成本效益以及与现有电网的兼容性，亦是推动新能源发电顺利接入和保障电力系统安全运行不可忽视的要素。

提高新能源发电功率预测精度，对于电网调度和能源管理至

关重要。这要求开发更为先进的预测模型和方法，综合考虑气象条件、地理位置、历史数据等多方面因素，以减少预测误差，提升电网运行的预见性和可控性^[4]。

在确保并网系统稳定性和电能质量方面，需深入研究并网技术的控制策略和调节机制。通过采用先进的逆变器技术、动态无功补偿装置以及智能控制系统，可以有效抑制新能源发电的波动性，保障电网的稳定运行和电能质量。

优化能量管理策略，涉及储能系统的集成、多能互补利用以及需求侧管理等多个层面。通过智能化调度和优化算法，实现能源的合理分配和高效利用，从而提升整个能源系统的运行效率。

此外，并网设备的可靠性直接关系到新能源发电系统的长期稳定运行。因此，需加强对设备的设计、制造和运维管理，确保其在复杂环境下的可靠性和耐用性^[5]。同时，成本效益分析是评估并网技术经济性的关键，要求在保障技术性能的同时，充分考虑投资成本和运营成本，以实现经济效益的最大化。

二、电力系统稳定性理论基础

电力系统的稳定性是衡量系统在扰动作用下能否保持正常运行状态的关键指标。为了深入理解和分析新能源并网对电力系统稳定性的影响，有必要对电力系统稳定性的基本概念进行分类，并探讨相应的评价方法。

（一）电力系统稳定性分类

电力系统的稳定性是保障电网安全运行的关键，其分类主要包括静态稳定性、暂态稳定性和动态稳定性三个层面。静态稳定性关注点在于系统在长期稳态运行条件下，面对微小扰动时，系统能否维持其原有的平衡状态，不发生持续性的振荡或失稳。这一稳定性指标是评估系统长期运行可靠性的重要依据。

暂态稳定性则聚焦于系统在遭遇严重扰动，如短路或线路断开等突发事件后，系统动态过程中的行为及其恢复至新的稳定运行状态的能力。暂态稳定性的研究对于理解系统在极端条件下的恢复力至关重要，是电网事故预防和应对措施制定的基础。

动态稳定性则涉及系统在遭受不同频率范围的扰动时，维持稳定运行的能力。这包括了对系统频率、电压和相角的动态响应分析，确保系统在各种操作条件和扰动作用下，均能保持稳定，避免出现连锁反应导致的大面积停电事故^[6]。

这三类稳定性分类为新能源并网技术的分析与研究提供了多维度的视角。静态稳定性分析有助于评估新能源接入对电网长期运行的影响；暂态稳定性研究则有助于设计有效的紧急控制策略，以应对突发状况；动态稳定性分析则关注新能源并网后，系统对各种扰动的整体响应和调节能力。

（二）电力系统稳定性评价方法

电力系统稳定性的评价体系涵盖了时域仿真分析、频域分析以及小信号分析等多种方法。时域仿真分析通过重现系统在特定时间序列内的动态过程，精确描绘系统行为，从而对稳定性进行深入评估。该方法能够捕捉到系统在遭受扰动后的详细动态响应，为稳定性分析提供了直观且全面的视角^[7]。

频域分析则侧重于从频率维度审视系统对扰动的反应特性,通过分析系统的频率响应函数,揭示系统在不同频率扰动下的稳定性能。这种方法有助于识别系统中的薄弱环节,为稳定性改善措施的设计提供依据。

小信号分析法通过探究系统对小幅度扰动的线性响应,预测系统的稳定性边界。该方法以其计算效率高、适用范围广的特点,在系统设计初期和参数优化过程中发挥着重要作用。

这些评价方法为深入分析新能源并网对电力系统稳定性影响提供了丰富的工具和手段。时域仿真分析能够揭示并网过程中的瞬态稳定性问题;频域分析有助于理解系统在频率扰动下的稳定特性;小信号分析则适用于快速评估系统对小扰动的敏感性。

(三) 影响电力系统稳定性的主要因素

电力系统的稳定性受众多因素的综合作用,涵盖了系统结构、元件特性、运行条件、控制策略以及外部环境等多个层面。新能源发电单元的接入,例如风力和太阳能发电站,可能引起系统动态特性的显著变化,从而影响稳定性^[9]。同时,系统元件的老化与潜在故障也是稳定性分析中不可忽视的因素。

运行条件的波动,包括负载的增减和天气条件的变化,均会对电力系统的稳定性产生直接影响。负载的动态变化可能导致系统频率和电压的波动,而恶劣的天气条件则可能影响新能源发电的输出和电网的传输能力。

因此,在分析新能源并网对电力系统稳定性影响时,必须全面考虑上述因素的相互作用。系统结构的变化要求对网络拓扑和潮流分布进行重新评估;元件特性的监测与分析有助于识别潜在的故障点;运行条件的实时监控则有助于及时调整控制策略,以适应负载和天气的波动。

三、新能源并网对电力系统稳定性影响分析

新能源并网技术的应用,虽然为电力系统带来了清洁能源的补充,但同时也对系统的稳定性提出了新的挑战。以下章节将深入分析新能源并网对电力系统静态稳定性和动态稳定性的具体影响。

(一) 静态稳定性分析

静态稳定性反映了电力系统在稳态运行条件下,面对微小扰动时维持稳定运行的能力。新能源并网对这一稳定性指标的影响主要体现在电压稳定性和无功功率平衡两个关键方面。

在电压稳定性方面,新能源发电的波动性和间歇性特性可能导致电网电压的波动。特别是在电力负荷高峰期与新能源出力低谷期的叠加时段,电压不稳定现象尤为显著^[9]。新能源发电设备的启动和停机操作,可能会对电网电压造成瞬时冲击,进一步加剧电压波动的风险。

在无功功率平衡方面,新能源发电单元根据其运行特性,通常需要从电网中吸收或向电网注入无功功率,以保障其正常运行。这一过程可能会破坏电网原有的无功功率平衡状态,进而引起电压波动。在极端情况下,无功功率的失衡可能导致电压崩溃,严重影响电力系统的安全稳定运行。

(二) 动态稳定性分析

动态稳定性关注电力系统在遭遇较大扰动后,能否迅速恢复至新的稳定运行状态。新能源并网对动态稳定性的影响主要体现在系统频率稳定性和暂态稳定性两个关键维度。

在系统频率稳定性方面,新能源发电的随机性和不可控性可能导致系统频率的波动。特别是在新能源出力突发性下降或负荷急剧增加的情况下,系统可能无法迅速调整发电量以匹配供需变化,进而影响频率稳定性。这种频率波动若未能得到有效控制,可能会引发连锁反应,威胁到整个电力系统的安全运行^[10]。

在暂态稳定性方面,新能源发电单元在电网发生故障时的响应特性与传统发电机组存在差异。这些差异可能会在故障期间加剧系统的暂态过程,影响系统的暂态稳定性。特别是在故障被清除后,新能源发电单元的快速恢复可能会对系统的再同步造成不利影响,增加了系统失稳的风险。

四、结束语

总而言之,新能源并网对电力系统稳定性确实存在一定影响,但通过优化控制策略、增强电网调节能力及改进电力系统运行模式等措施,可以有效提升系统稳定性。本文的研究成果为新能源并网技术的发展提供了理论支持,有助于推动我国电力系统向清洁、高效、稳定的方向发展。然而,新能源并网技术仍处于不断发展和完善阶段,未来研究还需关注更多实际运行场景,以期为电力系统的安全稳定运行和新能源的高比例消纳贡献力量。

参考文献

- [1] 张鹏程. 新能源发电接入及对电网规划的影响[J]. 中小企业管理与科技(下旬刊), 2020, (03): 92-93.
- [2] 陈红振, 王超. 基于新能源发电下动态调度体系的思考[J]. 中国战略新兴产业, 2018, (32): 74. DOI: 10.19474/j.cnki.10-1156/f.005714.
- [3] 宋平凡, 佟胜伟, 段森园. 新能源发电并网对电网电能质量的影响分析[J]. 通信电源技术, 2019, 36(12): 139-140. DOI: 10.19399/j.cnki.tpt.2019.12.068.
- [4] 伍文华. 新能源发电接入弱电网的宽频带振荡机理及抑制方法研究[D]. 湖南大学, 2019. DOI: 10.27135/d.cnki.ghudu.2019.003502.
- [5] 刘德顺. 基于多种调峰手段的新能源发电场群联合优化调度研究[D]. 兰州交通大学, 2019. DOI: 10.27205/d.cnki.glttc.2019.000561.
- [6] 罗琳. 考虑新能源发电不确定性的配电网重构策略研究[D]. 湖南大学, 2019. DOI: 10.27135/d.cnki.ghudu.2019.002259.
- [7] 汪晓露, 李娜娜, 谢国辉. 非洲新能源发电成本测算及非欧联网输电经济性分析[J]. 全球能源互联网, 2018, 1(01): 81-86. DOI: 10.19705/j.cnki.issn2096-5125.2018.01.011.
- [8] 徐学根. 促进新能源发展建立统一的新能源发电上网电价政策[C]// 中国农机工业协会风能设备分会《中小型风能设备与应用》(2013年第4期). 浙江华鹰风电设备有限公司, 2013: 4.
- [9] 姚甲刚, 孙彦强, 李岩岩, 等. 电力系统中新能源发电的运用与思考[J]. 科技与企业, 2015, (23): 110+113. DOI: 10.13751/j.cnki.kjyqy.2015.23.099.
- [10] 葛亚明. 应对新能源发电接入的江苏电网调度运行技术研究[D]. 华北电力大学, 2015.

极寒地区火电机组深调对环保设备的影响与应对措施

安健

国能内蒙古呼伦贝尔发电有限公司，内蒙古 呼伦贝尔 021025

摘要：本研究针对极寒地区火电机组深度调节对环保设施的影响及对策进行了探讨，以呼伦贝尔地区为例。文章阐述了该地区极端气候特征、火电机组深度调节原理及现状，并详细分析了环保设施在火电机组中的应用、作用、工作机制和性能标准。进一步，研究了极寒条件下深度调节对脱硝、除尘、脱硫等环保设施的影响及其对运行成本的作用。最终，提出了一系列针对极寒地区火电机组环保设施的对策，包括设计优化、运行方式改进、耐寒性能增强和维护管理加强。

关键词：极寒地区；火电机组；深调；环保设备；影响

Impact of Deep Regulation of Thermal Power Units in Extremely Cold Regions on Environmental Protection Equipment and Countermeasures

An Jian

China Energy Inner Mongolia Hulunbeir Power Generation Co., Ltd. Hulunbeir, Inner Mongolia 021025

Abstract： This study explores the impact of deep regulation of thermal power units in extremely cold regions on environmental protection equipment and the corresponding countermeasures, taking the Hulunbeir region as an example. The article describes the extreme climatic characteristics of the region, the principles and current status of deep regulation of thermal power units, and provides a detailed analysis of the application, role, working mechanism, and performance standards of environmental protection equipment in thermal power units. Furthermore, it investigates the impact of deep regulation under extremely cold conditions on environmental protection facilities such as denitrification, dust removal, and desulfurization, as well as its effect on operating costs. Finally, a series of countermeasures for environmental protection facilities of thermal power units in extremely cold regions are proposed, including design optimization, improvement of operation modes, enhancement of cold resistance performance, and strengthening of maintenance management.

Keywords： extremely cold regions; thermal power units; deep regulation; environmental protection equipment; impact

引言

在能源需求不断扩张与环境保护压力倍增的背景下，火电机组作为我国能源架构中的关键环节，其运行效率及环保表现已成为业界关注的焦点。特别是在气候极端寒冷的呼伦贝尔地区，火电机组的稳定操作及其环保排放控制显得尤为重要。面对电网调峰的紧迫需求，火电机组必须实施深度调节，这对环保设施的性能提出了更高的要求。本文将围绕脱硝、除尘、脱硫等环保设施，深入分析火电机组深度调节过程中环保设施遭遇的问题，并提出切实可行的对策。

一、极寒地区火电机组深调概述

在广袤的祖国北疆，有一片神秘而壮丽的土地——呼伦贝尔。这里，极寒的气候条件对火电机组的运行提出了严峻挑战。接下来，本文将深入探讨极寒地区火电机组深度调节的概要。

（一）极寒地区特点

呼伦贝尔地处我国最北端，冬季漫长且寒冷，气温可降至零

下40摄氏度以下。这里的地理环境特殊，冰雪覆盖期长，导致土壤冻土层深厚，给火电机组的稳定运行带来了极大考验。极寒地区的低温、大风、干燥等特点，使得火电机组在启动、运行、维护等方面面临诸多难题。此外，极寒气候对设备材料的抗冻性能、保温措施以及人员操作技能都提出了更高要求。

（二）火电机组深调原理

随着国家层面的能源结构转型，特高压主干网架和新能源的

规模化并网，受端电网机组调峰和新能源的消纳都需要火力发电机组向下扩展调峰空间，参与深度调峰运行^[1]。火电机组深调原理，简而言之，就是通过调整机组运行参数，实现负荷的快速响应和稳定输出。在极寒地区，火电机组深调技术主要包括燃烧调整、汽轮机调节、锅炉水比例控制等方面。通过优化这些参数，火电机组可以在满足电网负荷需求的同时，降低能耗，提高运行效率，确保机组在极端环境下的安全稳定运行。

（三）火电机组深调现状

在我国呼伦贝尔这样的极寒地区，火电机组的深度调峰技术已经取得了令人瞩目的进展。得益于国家政策的坚定支持和科研团队的持续奋斗，这项技术已经在多个关键领域取得了显著成效：它不仅显著提高了能源的利用效率，有效减少了污染物的排放，还保障了电网的稳定运行，为地区的能源安全和环境保护做出了重要贡献。

尽管如此，面对日益提高的环保标准和电力市场不断变化的需求，火电机组深调技术仍面临着持续的挑战^[2]。在极寒的特殊环境下，这项技术需要进一步地优化和升级，以适应更加严苛的运行条件。在呼伦贝尔这样的地区，冬季低温可达零下四十摄氏度以下，这对火电机组的运行稳定性、材料耐寒性以及操作人员的技能都提出了更高的要求。

二、环保设备在火电机组中的作用

在当今社会，环保已成为我国能源产业发展的重要议题。火电机组作为能源产业的重要组成部分，其环保设备的配置与运行显得尤为重要。以下将从环保设备分类、重要性以及运行原理及性能要求三个方面，结合检修维护的角度，探讨环保设备在火电机组中的作用。

（一）环保设备分类

随着环保技术的不断发展，火电机组配套的环保设备种类繁多，主要包括脱硫设备、脱硝设备、除尘设备。这些设备各司其职，共同为火电机组的环境治理发挥着关键作用^[3]。脱硫设备通过石灰石-石膏湿法、氨法等技术，有效去除烟气中的二氧化硫，降低酸雨发生概率；脱硝设备采用选择性催化还原（SCR）等技术，降低氮氧化物排放，减轻大气污染；除尘设备通过电除尘、布袋除尘等方式，捕捉烟气中的粉尘，改善空气质量。这些环保设备的合理配置，为火电机组实现绿色、可持续发展提供了有力保障。

（二）环保设备在火电机组中的重要性

在火电机组运行过程中，环保设备的重要性不言而喻。一方面，环保设备能够有效降低污染物排放，满足国家及地方环保政策要求，避免因环境污染问题导致的生产受限；另一方面，环保设备有助于提高企业形象，增强企业社会责任感，为企业在市场竞争中赢得优势^[4]。此外，环保设备的正常运行还能降低环境污染事故风险，保障人民群众生命财产安全。因此，从检修维护的角度来看，确保环保设备的高效、稳定运行，对于火电机组具有重要意义。

（三）环保设备运行原理及性能要求

环保设备的运行原理及性能要求是检修维护工作的关键。以脱硫设备为例，其运行原理主要是通过吸收剂与烟气中的二氧化硫发生化学反应，生成硫酸钙等副产品。在这个过程中，脱硫设备的性能要求包括脱硫效率、吸收剂利用率、设备阻力等。检修维护人员需密切关注这些指标，确保设备正常运行^[5]。同样，脱硝、除尘等设备也有各自的运行原理和性能要求，如催化剂活性、极板极线寿命等。在日常检修维护中，要针对不同设备的特性，制定合理的维护保养计划，确保环保设备在火电机组中发挥出最佳作用。

三、极寒地区火电机组深调对环保设备的影响

在我国北方的极寒地区，火电机组在冬季承担着重要的供暖任务。然而，在保证供暖的同时，火电机组需要实施深度调节，以满足电网负荷需求。这一过程中，环保设备承受着巨大的压力。以下以呼伦贝尔为例，从检修维护的角度，探讨极寒地区火电机组深调对环保设备的影响。

（一）深调对输灰系统的影响

在深调峰工况下，输灰系统的稳定连续运作面临严峻挑战，机组负荷的波动直接导致系统压力和流量的变化，迫使输灰系统不断适应以维持输送效率。压缩空气系统的控制精度，包括压力、含油量、含水量等参数的调整，成为影响输灰系统性能的关键因素。负荷波动带来的输送周期调整需求，尤其在低负荷阶段，对减少无效运行和预防管路磨损至关重要。此外，低负荷运行时，灰斗气化风的风温和风量管理对积灰流动性的影响，是防止蓬灰和高料位问题出现的重要考量。这些因素共同作用于输灰系统的稳定性和环保设施的整体运行效果。

（二）深调对除尘设备的影响

在机组处于深度调峰工况运行期间，由于除尘器入口烟温会有所降低，如长时间低温运行，后续烟气系统的低温腐蚀风险会增加。在投油稳燃阶段，烟尘物理特性会受到影响，包裹油污的飞灰粘附性将会增加，有可能粘附在极板、极线上，形成电晕线肥大和极板粉尘堆积，导致电晕封闭而影响除尘效率。机组低负荷投油稳燃运行工况下，飞灰的粘附性变化会严重影响飞灰流动性，存在灰斗板结蓬灰风险，导致灰斗高料位的发生。一旦因飞灰的粘附性变化原因而引发个别除尘器灰斗高料位的出现，必须及时消除。如果高料位故障发现不及时或处理不及时，除对灰斗的安全可靠性造成隐患以外，还将会导致该灰斗所对应的电场跳闸，最终影响环保指标的达标排放。另外，飞灰的粘附性变化有可能造成除尘器入口气流均布板挂灰板结，导致除尘器内部气流变化，严重时破坏内部流场，影响除尘效率。

（三）深调对脱硫设备的影响

机组深调期间，由于负荷降低，烟气流速减慢，导致脱硫剂与烟气的接触时间变短，影响化学反应充分进行，从而降低脱硫效率。此外，低负荷时烟气温度较低，不利于脱硫反应的进行，进一步影响脱硫效果。在低负荷运行状态下，烟气中的酸性气体

浓度相对增加，对脱硫系统的设备腐蚀风险加大。同时，由于烟气流速降低，浆液中的固体颗粒容易沉积，造成设备堵塞，影响系统的正常运行。调峰机组的启停次数和极低负荷运行时段增多，对于采用燃油点火以及投油助燃的机组而言，燃油产生的油污颗粒物可能造成吸收塔浆液污染中毒。

（四）深调对环保设备运行成本的影响

在深度调节模式下，环保设备的运行成本受到显著影响，这一因素不容小觑。在此模式下，环保设备承受着极大的操作压力，这不仅直接导致了设备故障率的提高，同时也显著增加了维修保养的成本^[7]。由于设备需在频繁的负荷变化中持续运作，其磨损速度加剧，进而可能导致设备使用寿命的缩短。此外，为了应对负荷的波动，环保设备往往需要消耗更多的能源和材料，这不仅加剧了日常运行的成本，还可能带来额外的经济负担^[8]。总而言之，深度调节对环保设备的财务影响是多方面的，它不仅涉及日常的维护支出，还包括长期资产折旧等多个层面，对企业的整体运营成本构成了深远的影响。

四、极寒地区火电机组深调环保设备主要调整措施

在极寒地区的火电机组进行深度调峰作业时，环保设备的适应性调整至关重要，以确保在极端气候条件下，污染物排放依然能够满足环保标准。以下为针对不同环保系统的主要调整措施：

（一）输灰系统

在深调峰工况的挑战下，保持环保设施的连续稳定运行至关重要，这要求对输灰系统实施一系列精细化的调整策略。第一，必须加强对压缩空气系统的全面控制，包括压力、含油量和含水量等关键参数，以确保供应的压缩空气品质达到最优标准，进而提升输灰系统的整体性能^[9]。随着机组负荷的波动，需实时调整各输灰单元的输送周期，以优化输灰效率，特别是在低负荷阶段，由于飞灰产生量的减少，适当延长输送周期成为必要，此举可以有效减少输灰系统的无效运行，防止管路因频繁输送而加速磨损。

此外，在低负荷运行期间，还需特别注意维持灰斗气化的风温和风量，确保灰斗内积灰保持良好的流动性，防止因气流不足导致的蓬灰现象，进而避免高料位问题的发生。通过这些综合性的调整措施，不仅能够确保输灰系统在深调峰工况下的高效运行，还能有效保障煤电机组的环境保护性能和经济效益。

（二）除尘系统

在煤电机组调峰运行中，环保设施尤其是静电除尘系统的调整与优化至关重要，直接影响机组的安全性、稳定性及运行效率。深调峰期间，应注意调整振打频次和周期，尤其是第一、第二电场，保证极板极线的相对清洁，防止极板大面积积灰和阴极线肥大现象的发生；同时对静电除尘器的精细检修尤为关键，包括彻底清除极板和极线上的粘灰，以提升除尘性能并防止灰斗内壁挂灰板结。同时，严格检查本体漏风情况，确保漏风率低于2%，以维持设备稳定运行。此外，全面排查电除尘器保温状况，防止低温结露引起的腐蚀和粘灰板结，保障效率。同样重要的是

检查入口均布板结垢情况，并及时清理或更换，以确保烟气流均匀，提高除尘效果，延长设备寿命，降低维护成本。

（三）脱硫系统

在深调峰工况下，为确保环保设施的有效运行，需采取一系列关键调整措施。通过优化机组深调期间的运行参数，如调整喷浆量和烟气温度，可以提高脱硫效率。针对脱硫系统，重点在于强化吸收塔浆液品质管理，防止氯离子浓度超标，通过优化脱硫废水处理和浆液置换策略来维持浆液品质^[10]。同时，根据二氧化硫浓度和pH值变化，动态调整石灰石浆液供给及设备运行参数，保障低负荷时至少两台浆液循环泵运行，高负荷时相应增加供给和循环泵数量。此外，低负荷期间需降低除雾器冲洗频率以防浆液溢流，并监测差压以防结垢堵塞。定期对脱硫系统进行维护和检查，及时清理堵塞的设备和管道，可以有效降低设备腐蚀和堵塞的风险。同时，采用耐腐蚀材料制造关键部件，提高设备的抗腐蚀能力。这些措施共同保障了煤电机组在调峰作业中的环保性能和运行效率。

五、结束语

本研究对极寒地区如呼伦贝尔火电机组深度调峰对环保设施的影响及其应对措施进行了详尽分析，但研究仍存在一定局限性。未来研究可进一步深化，包括量化火电机组深调与环保设备性能的关系，以及针对不同极寒地区火电机组深调环保设备的适应性研究。同时，随着环保技术的创新，探讨新型环保设备在极寒环境中的应用潜力和挑战将成为关键研究领域。通过持续的研究与实践，旨在推动我国极寒地区火电机组环保事业的持续发展与进步。

参考文献

[1] 虞国平, 张新胜, 屠海彪, 等. 火电机组深度调峰工况辅机安全控制技术研究 [J]. 浙江电力, 2021, 40(02): 85-90. DOI: 10.19585/j.zjdl.202102015.

[2] 王磊. 极寒地区智能巡检机器人在空冷岛上的研究与应用 [C]// 中国电力技术市场协会. 2023年电力行业技术监督工作交流会暨专业技术论坛论文集 (下册). 京能(阳西)综合能源有限公司; , 2023: 6. DOI: 10.26914/c.cnkihy.2023.051219.

[3] 宿崇. 极寒地区发电机组电气整套启动试运行方案优化 [J]. 山西电力, 2023, (05): 44-47.

[4] 蒋梦嫣. 浮式闸门在极寒地区防冰害的安全运行设计 [J]. 水运工程, 2023, (06): 125-130. DOI: 10.16233/j.cnki.issn1002-4972.20230605.020.

[5] 谭开宏. 极寒地区狭小场地单孔式进水塔快速安装技术. 云南省, 中国水利水电第十四工程局有限公司, 2023-05-12.

[6] 刘小赫, 焦洋. “双碳”视域下极寒地区装配式轻钢农宅设计研究——以塔河县依西肯乡为例 [J]. 当代建筑, 2023, (S1): 77-80.

[7] 张建, 王晓林. 新能源车发展别落下极寒地区 [N]. 经济参考报, 2022-11-25(007). DOI: 10.28419/n.cnki.njjck.2022.005212.

[8] 杜宏瑞, 季连海. 贝氏体钢尖轨在极寒地区的应用研究 [J]. 高速铁路新材料, 2022, 1(04): 61-63.

[9] 毛大军, 高志森, 白国伟. 极寒地区仪表防冻措施研究 [J]. 化肥设计, 2022, 60(01): 48-51.

[10] 栾昊, 陈开军, 曹殿朕, 等. 极寒地区应用内环流控温技术的探索研究 [J]. 粮油仓储科技通讯, 2022, 38(01): 20-23.

5G 时代无线通信工程的关键技术研究与应用

陈展仁, 周益良

中国铁塔股份有限公司温州市分公司, 浙江 温州 325000

摘 要 : 本文深入探讨了 5G 时代无线通信工程中的关键技术, 包括大规模多输入多输出 (MIMO) 技术、毫米波通信技术、超密集网络技术等, 并详细分析了这些技术在智能交通、工业互联网、医疗健康等领域的应用。通过对相关技术原理的阐述和实际应用案例的研究, 揭示了 5G 技术为社会带来的巨大变革和发展机遇, 同时也指出了在技术推广和应用中面临的挑战及应对策略。

关 键 词 : 5G 通信; 关键技术; 应用领域

Research and Application of Key Technologies in Wireless Communication Engineering in the 5G Era

Chen Zhanren, Zhou Yiliang

China Tower Corporation Limited Wenzhou Branch, Wenzhou, Zhejiang 325000

Abstract : This paper delves into the key technologies of wireless communication engineering in the 5G era, including Massive Multiple-Input Multiple-Output (MIMO) technology, millimeter wave communication technology, and ultra-dense network technology. It also provides a detailed analysis of the application of these technologies in various fields such as intelligent transportation, industrial internet, and healthcare. Through the elaboration of relevant technical principles and the study of practical application cases, this paper reveals the tremendous changes and development opportunities brought by 5G technology to society. At the same time, it points out the challenges faced in technology promotion and application, as well as the corresponding strategies to address them.

Keywords : 5G communication; key technology; application areas

引言

随着信息技术的飞速发展, 5G 通信技术作为新一代移动通信技术, 正以其高速率、低时延、大容量等显著优势, 引领着全球通信行业的变革。5G 技术的广泛应用不仅改变了人们的生活方式, 也为各行业的创新发展提供了强大的支撑。无线通信工程作为 5G 技术的重要组成部分, 其关键技术研究与应用成为当前通信领域的热点话题^[1]。

一、5G 时代无线通信工程的关键技术

(一) 大规模多输入多输出 (MIMO) 技术

大规模多输入多输出 (MIMO) 技术是 5G 无线通信工程中的一项核心技术。它通过在基站端配置大量的天线, 从而在同一时间和频率资源上与多个用户进行通信, 极大地提升了系统的性能。在传统的 MIMO 技术中, 天线数量相对较少。而大规模 MIMO 技术则将天线数量大幅增加, 有时甚至达到数百根^[2]。这种大规模的天线阵列能够实现更为精确的空间复用和波束赋形。空间复用是指在相同的时间和频率资源上, 同时向多个用户发送不同的数据, 从而提高频谱效率。通过大规模 MIMO 技术, 基站可以准确区分不同用户的信号, 并将其准确地发送到对应的用户设备, 大大增加了系统的容量。波束赋形则是通过调整天线阵列的加权系数, 使得信号能量集中在特定的方向上, 从而增强目标

用户的接收信号强度, 同时减少对其他方向的干扰。这不仅提高了信号的传输质量, 还进一步提升了系统的容量和覆盖范围。例如, 在一个密集的城市环境中, 基站通过大规模 MIMO 技术, 可以同时为多个位于不同位置的用户提供高速、稳定的通信服务。即使在用户数量众多、信号干扰严重的情况下, 也能保证良好的通信质量。此外, 大规模 MIMO 技术还具有降低发射功率、提高系统鲁棒性等优点。它为 5G 通信在高清视频流、虚拟现实等大流量业务中的应用提供了坚实的技术支撑。然而, 大规模 MIMO 技术在实际应用中也面临一些挑战。例如, 天线之间的相互耦合、信道估计的复杂度增加、硬件实现的难度等。但随着技术的不断发展和创新, 这些问题正在逐步得到解决^[3]。总之, 大规模 MIMO 技术作为 5G 时代无线通信的关键技术之一, 为实现高速率、大容量和高质量的通信服务发挥了至关重要的作用, 为未来通信的发展开辟了广阔的前景。

（二）毫米波通信技术

毫米波频段，处于 30GHz 至 300GHz 之间，拥有极为丰富的频谱资源。然而，毫米波的传播特性较为复杂，面临着诸多挑战。毫米波信号在传播过程中，极易受到障碍物的阻挡和吸收，导致传播损耗较大。此外，大气中的水汽、氧气等成分也会对毫米波信号产生衰减作用，使得其传输距离相对较短。但毫米波通信技术通过采用波束成形、波束跟踪等先进技术，成功克服了这些难题，实现了高速率的数据传输。波束成形技术能够将毫米波信号能量集中在特定的方向上，形成具有高指向性的波束。这样一来，不仅增强了信号在特定方向上的强度，还减少了能量的分散和损耗^[4]。例如，在基站与移动终端的通信中，波束成形技术可以使信号直接指向用户所在的方向，大大提高了接收端的信号强度。波束跟踪技术则可以实时跟踪用户设备的移动，动态调整波束的方向和形状，确保信号的稳定传输。即使在用户处于移动状态下，也能保持良好的通信连接。以 5G 网络中的毫米波应用为例，在热点区域，如大型体育场馆、机场等人流密集场所，毫米波通信技术能够为用户提供超高速的下载和上传速度，满足大量用户同时进行高清视频播放、文件下载等大流量业务的需求。然而，毫米波通信技术在实际应用中仍存在一些限制^[5]。例如，毫米波信号对障碍物的敏感性使得其覆盖范围容易出现“盲区”，需要与其他频段的技术协同工作来实现全面覆盖。此外，毫米波通信设备的成本较高，也在一定程度上限制了其大规模推广应用。尽管如此，随着技术的不断进步和成本的逐渐降低，毫米波通信技术必将在 5G 及未来的无线通信领域发挥越来越重要的作用，为人们带来更加便捷、高速的通信体验。

（三）超密集网络技术

超密集网络是 5G 时代无线通信工程中的一项重要技术。它通过在小范围内密集部署大量的微基站和小基站，极大地改变了传统的网络架构，显著提高了网络的覆盖密度和容量。在超密集网络中，微基站和小基站的密集部署能够有效地填补宏基站覆盖的盲区和弱区，使得网络信号能够更均匀地分布在各个角落。例如，在大型商场、写字楼、地铁站等人员密集且通信需求旺盛的区域，大量的微基站和小基站可以确保每个用户都能获得稳定且高速的网络连接^[6]。这种密集部署的方式增加了网络的可用频谱资源，从而能够容纳更多的用户同时接入，满足了用户对高速率数据传输的需求。无论是观看高清视频、进行在线游戏还是下载大型文件，用户都能享受到流畅、快速的网络服务。同时，超密集网络还显著降低了数据传输的时延。由于基站与用户设备之间的距离缩短，信号传输的路径更短，减少了数据在传输过程中的等待时间。这对于诸如自动驾驶、远程医疗等对时延要求极其严格的应用场景至关重要。以智能工厂为例，大量的传感器和设备需要实时通信来实现精准的生产控制。超密集网络能够确保这些设备之间的快速数据交互，提高生产效率和产品质量。然而，超密集网络的实现也面临一些挑战。首先，基站密度的增加导致了频谱资源管理的复杂性，需要更智能的频谱分配和复用技术。其次，大量基站的部署和维护需要高昂的成本，对运营商的运营和管理提出了更高的要求。此外，基站之间的干扰协调也是一个需

要解决的关键问题。尽管面临诸多挑战，但超密集网络技术的优势使其成为 5G 及未来无线通信发展的重要方向。通过不断的技术创新和优化，超密集网络将为用户带来更加优质、高效的通信体验^[7]。

（四）网络切片技术

网络切片技术是 5G 通信中一项具有创新性和突破性的关键技术。它能够根据不同的应用场景和业务需求，灵活定制网络的功能和性能，实现了对网络资源的高效利用。在当今数字化快速发展的时代，各种应用场景对网络的要求千差万别。例如，智能工厂中的工业自动化控制需要高可靠、低时延的网络；高清视频直播则对网络的带宽和稳定性有较高要求；而大规模物联网设备的连接则更侧重于网络的大规模接入能力。网络切片技术通过软件定义网络和网络功能虚拟化等技术手段，将一个物理网络划分为多个逻辑上独立的虚拟网络切片^[8]。每个切片都可以根据特定的应用场景进行定制化配置，包括网络带宽、时延、可靠性、安全性等参数。以智能交通为例，对于车辆自动驾驶应用，网络切片可以提供极低的时延和高可靠的通信，确保车辆在行驶过程中能够实时获取和传输关键信息。而对于交通监控和管理应用，网络切片则可以侧重于提供大容量的数据传输能力，以支持大量摄像头和传感器的数据回传。通过网络切片技术，运营商可以为不同的行业 and 用户提供个性化的网络服务，避免了为每种应用单独建设网络的高昂成本和复杂性。同时，网络切片还能够实现资源的动态分配和调整，根据业务的实时需求灵活调配网络资源，提高网络的整体利用率和效率。然而，网络切片技术的实现也面临一些挑战。例如，不同切片之间的隔离和安全保障需要严格的技术措施；切片的管理和编排需要高效的自动化工具和智能化算法；跨运营商的网络切片协同也需要统一的标准和规范。尽管存在挑战，但网络切片技术的出现为 5G 通信在各行业的广泛应用提供了强大的支持，将推动数字化社会的加速发展。

（五）边缘计算技术

边缘计算技术是 5G 时代无线通信领域的一项重要创新。它将计算和存储资源下沉到网络边缘，减少了数据传输的时延和带宽消耗，为低时延、高可靠的应用提供了有力支持。随着物联网、人工智能等技术的迅速发展，越来越多的应用对实时性和响应速度提出了极高的要求。传统的云计算模式中，数据需要传输到中心云进行处理和存储，然后再将结果返回，这种长距离的数据传输会导致明显的时延，无法满足诸如自动驾驶、工业控制、远程医疗手术等对时延极为敏感的应用需求^[9]。边缘计算通过在靠近数据源的网络边缘部署计算和存储设施，使数据能够在本地进行处理和分析。例如，在智能工厂中，传感器收集到的生产数据可以直接在工厂内的边缘服务器上进行处理，及时调整生产参数，实现实时的质量控制和故障预警，而无需将数据发送到远程的云数据中心。同时，边缘计算减少了大量数据在网络中的传输，降低了对带宽的需求，缓解了网络拥塞问题。这对于在网络覆盖有限或带宽资源紧张的区域部署应用具有重要意义。在智能安防领域，摄像头采集的视频数据可以在边缘设备上实时分析，只将关键信息上传到云端，大大提高了系统的响应速度和效率。然

而，边缘计算技术的推广也面临一些问题。边缘设备的资源有限，需要高效的资源管理和任务调度算法；边缘计算环境的安全性和隐私保护需要加强；不同边缘节点之间的协同和数据共享也需要进一步优化。尽管存在挑战，但边缘计算技术的优势使其成为 5G 及未来通信发展的重要趋势，将为各行业的数字化转型带来新的机遇和突破。

二、5G 关键技术在各领域的应用

（一）智能交通领域

1. 自动驾驶

5G 技术的低时延和高可靠性为自动驾驶提供了关键支持。车辆可以实时获取周围环境的信息，并与其他车辆和基础设施进行快速通信，实现安全、高效的自动驾驶。

例如，通过 5G 网络，车辆可以实时接收来自路边传感器的路况信息，提前做出决策。车辆还能与其他车辆进行信息交互，及时了解周边车辆的行驶意图和状态，避免碰撞事故的发生。此外，5G 网络能够支持车辆与交通控制中心的实时通信，使得交通管理部门能够对交通流量进行更精准的调控。

2. 车联网服务

5G 技术让车辆成为智能终端，实现车内娱乐、信息查询等丰富的服务。乘客在车内可以通过 5G 网络流畅地观看高清视频、进行在线游戏，还能实时获取目的地的相关信息，如停车场空位、周边餐厅评价等。

（二）工业互联网领域

1. 智能制造

5G 技术可以实现工厂内设备的无缝连接和实时监控，提高生产效率和产品质量。例如，在工业机器人的控制中，5G 网络可以确保极低的时延，保证机器人的精确操作。同时，5G 能够实现对生产线上设备的远程监控和故障诊断，技术人员无需亲临现场就能及时解决问题，减少停机时间。

2. 工业自动化控制

5G 支持大规模设备的同时连接和实时控制，使工厂的自动化程度大幅提高。例如在化工生产中，通过 5G 网络对温度、压力等参数进行实时监测和精确控制，确保生产过程的稳定性和安

全性。

3. 远程运维

通过 5G 网络，技术人员可以远程对设备进行诊断和维护，降低了维护成本。例如，对于位于偏远地区的工厂设备，专家可以通过 5G 网络进行远程指导和维修，避免了长途奔波，提高了维护效率。而且，基于 5G 的预测性维护系统能够根据设备的运行数据提前预测故障，提前进行维护，减少设备突发故障带来的损失^[10]。

（三）医疗健康领域

1. 远程医疗

5G 技术支持高清视频传输和低时延的数据交互，使医生能够远程为患者进行诊断和治疗。例如，在远程手术中，医生可以通过 5G 网络实时操控机器人进行手术操作。5G 网络的低时延能够保证医生操作的实时性和准确性，让优质医疗资源能够覆盖到偏远地区。

2. 移动医疗

借助 5G 网络，医疗设备可以实现便携化和移动化，医生可以在患者床边进行实时诊断和治疗。例如，通过 5G 连接的便携式超声设备，医生可以随时随地为患者进行检查。

3. 医疗物联网

5G 网络可以连接各种医疗设备和传感器，实现患者健康数据的实时采集和分析。

例如，患者佩戴的智能手环能够实时监测心率、血压等生命体征数据，并通过 5G 网络上传到医疗平台，医生可以及时掌握患者的健康状况，提供个性化的医疗服务。

三、结论

5G 时代无线通信工程的关键技术为各领域带来了前所未有的发展机遇，但同时也面临着诸多挑战。通过深入研究和应用这些关键技术，不断解决技术推广和应用中面临的问题，5G 技术将在推动社会数字化转型、促进经济发展和改善人们生活方面发挥更加重要的作用。未来，随着技术的不断演进和创新，6G 及更高代际的通信技术也将在 5G 的基础上继续前行，为人类社会的进步创造更多可能。

参考文献

- [1] 徐勇, 赵乐瑄. 以智赋网, 给 5G-A 插上 AI 翅膀 [N]. 人民邮电, 2024-07-18 (005).
- [2] 李增彪, 金世明, 刘伟. 5G 无线通信系统在煤矿监控平台的应用 [J]. 能源与节能, 2024, (06): 232-234+238.
- [3] 党博文. 5G 让连接从“无线”到“无限” [N]. 通信产业报, 2024-05-20 (006).
- [4] 王丰全. 卡特福德翻译转换理论下 6G The Road to the Future: Wireless Technologies 2030 (节选) 英汉翻译实践报告 [D]. 西安邮电大学, 2024.
- [5] 何旭霞. 基于 5G 通信技术的无线网络安全通信 [J]. 中国新通信, 2024, 26 (08): 1-3.
- [6] 王丰全. 卡特福德翻译转换理论下 6G The Road to the Future: Wireless Technologies 2030 (节选) 英汉翻译实践报告 [D]. 西安邮电大学, 2024. DOI:10.27712/d.cnki.gxayd.2024.000053.
- [7] 段存虎. 掘进机智能控制系统研究 [J]. 煤矿机械, 2024, 45 (05): 39-40. DOI:10.13436/j.mkjx.202405013.
- [8] 何旭霞. 基于 5G 通信技术的无线网络安全通信 [J]. 中国新通信, 2024, 26 (08): 1-3.
- [9] 袁世国, 梁明孔. 基于 ISO 19014-2 的掘进机智能辅助系统安全设计和评估 [J]. 装备制造技术, 2024, (04): 34-37.
- [10] 周聪聪. 长城精工 5G-A: 4 毫秒背后的未来 [N]. 河北日报, 2024-03-07 (009). DOI:10.28326/n.cnki.nhbrb.2024.001235.

基于物联网技术的智慧环保云平台设计方案研究

付早, 刘洪具

云南昆钢电子信息科技有限公司, 云南 安宁 650302

摘 要 : 文章以物联网基础为基础架构, 提出智慧环保云平台架设方案。该平台结构主要由服务层、智慧层、传输层和感知层组成, 各层级相互独立, 也相互协作。平台具备环境数据实时采集、监测、分析和管理等功能。科学应用可以实现环保数据智能化管控和实时监测, 大幅度提升环保工作实施水平。

关 键 词 : 物联网技术; 智慧环保云平台; 设计方案

Research on the Design Scheme of Smart Environmental Protection Cloud Platform Based on Internet of Things Technology

Fu Zao, Liu Hongju

Yunnan Kungang Electronic Information Technology Co., Ltd. Anning, Yunnan 650302

Abstract : This article proposes a solution for setting up a smart environmental protection cloud platform based on the foundation of the Internet of Things. The platform structure mainly consists of a service layer, an intelligence layer, a transport layer, and a perception layer, which are independent of each other and also cooperate with each other. The platform has functions such as real-time collection, monitoring, analysis, and management of environmental data. Scientific applications can achieve intelligent control and real-time monitoring of environmental data, greatly improving the implementation level of environmental protection work.

Keywords : Internet of Things technology; smart environmental protection cloud platform; design scheme

引言

随着工业化进程加快, 在实现现代化建设、经济蓬勃发展的同时, 也使得环境污染、资源浪费问题日益严重。在此背景下, 为了实现人类持续发展, 绿色、低碳、节能等理念得到广泛推广。与此同时, 可持续发展战略实施过程中, 物联网技术基于自身优势, 在多领域发挥重要作用。文章在此以物联网技术为基础, 以环境智能化检测和管理为目的, 提出一种环保云平台设计方案, 旨在为环境保护工作科学开展提供更多支持。

一、研究概述

物联网技术是基于新时期科学理论深入研究和科技发展提出的一项新技术。其最大优点在于可以实现传感器、设备和网络之间的有效连接。科学应用物联网技术, 可以实现环境参数、能源消耗及排放等数据实时、智能化监测^[1]。

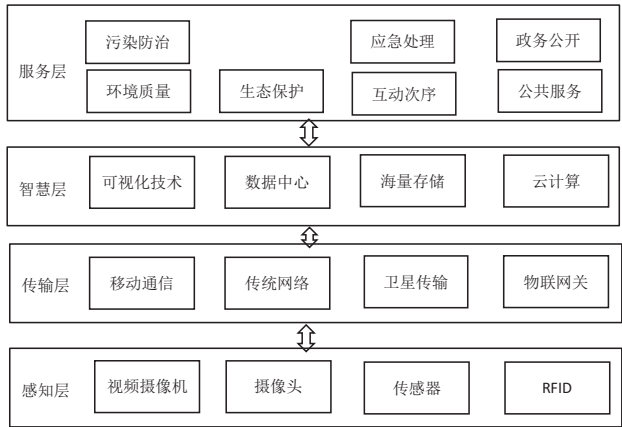
基于此, 文章探究物联网技术和环保领域融合可行性, 以应用需求为目标, 提出一个智能化环保管理云平台架构方案。基于系统功能模块设计, 实现环境数据智能化收集、远程化管理。基于系统平台架构, 用户可以实时在终端了解、查看环境监测信息数据, 明确当前能源利用情况等信息, 进而针对性制定环保策略, 规划未来环境保护工作发展方向等。

二、基于物联网技术的智慧环保云平台设计方案分析

(一) 平台总体架构

文章以物联网技术为基础, 采用分层设计方法完成平台架构。设计的云平台系统大体上分为四个层级。分别是服务层、智慧层、传输层和感知层。每一层级负责不同功能, 各层级紧密联系在一起, 协作支撑环保云平台架设目标达成^[2]。结构组成见下图1所示。

结合上图1来看, 服务层是基础服务的主要载体, 其包括污染防治、应急处理、政务公开、环境治理等模块, 用户通过登录, 进入该层级, 基于需求选择相对应的功能模块, 从而完成操作^[3]。智慧层是基础支持架构, 系统中的数据采集、整理和分析等功



> 图1 智慧环保云平台系统总体架构图示

能,均需要智慧层提供支持。传输层是确保传感器等感知层设备和服务器之间实现信息交互和远程管理的基础。感知层是与外界环境实现信息交互的支撑,通过摄像头、视频摄像机以及传感器等,实现外界信息数据的智能化采集。

(二) 通信协议

文章构建的系统应用过程中,信息数据传输、信息交互等均无法脱离通信协议的支持。文章基于系统设计需求,从数据格式、传输方式、错误检测和纠正机制等方面入手进行思考^[4]。最终应用的通信协议数据结构如下表1所示。

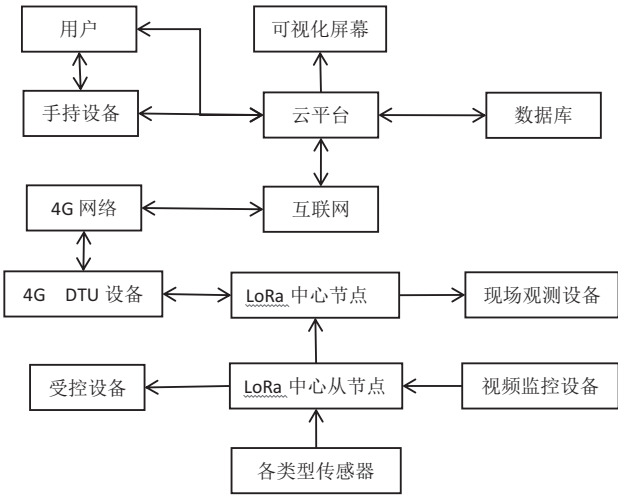
表1 通信协议数据组成结构总结表

通信包	组成内容	
通信包组成	包头	
	数据段长度	
	数据段	请求编码
		系统编码
		命令编码
		密码
		监测点唯一标识
		标志位
		总包数
		包号
		指令参数
	CRC 校验	
	包尾	

(三) 硬件设计

基于上文总体架构分析,该云平台硬件部分主要有各种传感器、摄像头和视频摄像机、网络连接设备、数据传输设备及控制设备等组成,其中以传感器为代表的监测设备负责环境参数数据采集,例如借助湿度传感器实时采集当前环境湿度信息等。网络连接模块主要包括无线路由器、LoRa 模块和 Wi-Fi 模块等,其主要作用是数据传输和实时通信提供支持^[5]。数据传输设备包括采集终端设备、数据分析设备等,这些设备负责将由传感器等监

测设备中获取的数据进行汇总、整理和传输,最终上传到云服务器中的数据库中保存。控制设备主要包括智能开关、联动控制器等设备,其主要职能是辅助系统完成远程控制和各设备智能化调控^[6]。综上,文章提出的云平台硬件结构如下图2所示。



> 图2 智慧环保云平台硬件组成结构图

(四) 软件设计

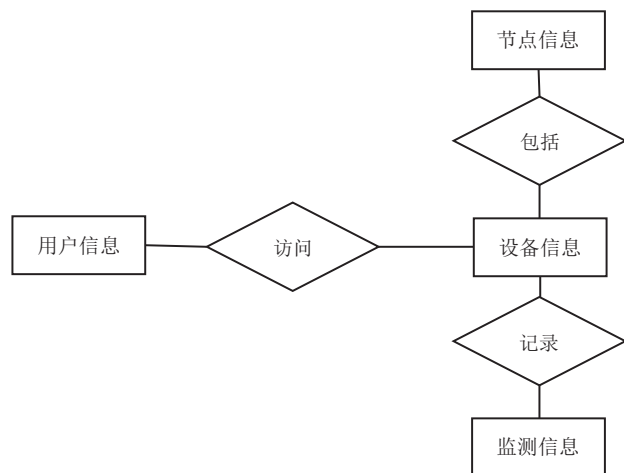
软件设计方面主要包括三大内容:第一,后台管理。后台管理主要功能包括用户管理、设备管理、数据管理、自动报警管理及日志管理五大模块^[7]。其作为平台正常运行和管理实施的保障,必须具备流畅的运行效率和反应速度。同时,为了保证平台安全、可靠,还需要设置权限分级管理体系和登录验证机制。通过分类授权和不同等级验证方式,避免信息数据被篡改或者随意删除。第二,前台管理。其与用户平台应用的满意度存在直接联系^[8]。为了确保平台设计更契合用户需求,应结合用户共性习惯,遵循人性化原则,完成操作界面、交互功能模块等设计。第三,服务器搭建。服务器作为承接、处理来自传感器等终端设备信息和用户请求的中枢,保证其流畅、可靠运行是关键。除此之外,文章借助 Python 编程语言完成上位机软件开发,其中软件前端部分借助 Vue3 框架完成设计,软件后端部分借助 Django 框架完成设计^[9]。

基于上文的软件设计,用户登录平台,可以通过客户端自行查看环保相关数据,也可以基于需求更改数据呈现形式,或者通过查看图表信息,直观掌握当前环保情况。

(五) 数据库设计

智慧环保云平台建设过程中,数据库是不可忽略的重要组成部分。其作为数据存储、管理和处理的重要载体,设计合理性、逻辑清晰度和较大的数据容量是重点关注因素^[10]。

基于此,文章借助 PyCharm 开发工具,以 MySQL 数据库为基础,借助其表结构搭建数据库体系,确保数据库可以充分容纳各类型环境数据信息,并且包含设计科学的数据模型和数据表,确保可以高效、智能辅助系统各功能完成数据处理。具体来看,设计的表结构中主要信息类型包括四方面,分别是用户信息、设备信息、节点信息和监测数据^[11]。其实体-关系(E-R)图见下图3所示。



> 图3 MySQL数据库的表结构E-R图示

三、云平台性能测试分析

为了验证上文提出的云平台系统设计方案的科学性和可行性，通过实验分析的方式实现校验。

（一）数据读取性能验证

随机选择来源于政府机构的环保数据信息为研究对象，以传统的环保数据分析平台作为对照组，利用两个平台同步进行环保数据信息读取，并记录数据时间。最终结果表明，两个平台信息数据读取时间相差不大。同时，从实时数据查询方面再次进行验证，最终发现两个系统平台在进行实时数据查询时均存在延迟情况。其中延迟试验结果如下表2所示。

表2 读取性能验证总结表

读取数据量	对照系统读取延迟结果 /ms	文章提出方法读取延迟结果 /ms
1M	24.3	22.7
10M	26.7	23.5
50M	27.4	24.2
100M	30.2	26.4

从中可知，文章提出的方案，随着查询数据量增大，数据查询延迟相对较小，更具备优势。

（二）经济性方面的验证

文章提出的方案得到应用后，可以借助技术手段，实现远程化、无人化监测。同时，基于物联网技术可以实现智能预警，也就是自动监测环境状态，识别出异常信息时，系统会自动示警，提示相关人员关注。相较传统的环境监测方法而言，环保云平台的建设，可以在一定程度上，缩减负责人员数量，降低人工成本支出^[12]。并且从长远角度来看，依托设备进行环境监测，最大支出包括安装建设和维护两方面内容，相较以往费用支出来看，其总体成本更低。

四、结语

综上所述，文章基于物联网技术优势，结合新时期通信技术、数据处理分析整理技术和数据库技术等，以实时监测采集环境参数数据为目标，构建了一个具备远程管控和自动示警功能的环保云平台系统。该系统可以更为高效采集环境参数数据，辅助相关人员实时了解环境质量水平，进而提供更多具备针对性的污染防治、环境环保策略。

参考文献

- [1] 熊绘, 王飞. 环保设备物联网平台的设计与实现 [J]. 今日制造与升级, 2024, 11(4): 66-69.
- [2] 于振兴, 朱院娟. 一种智慧环保平台整体设计构想 [J]. 软件, 2022, 43(8): 138-140+182.
- [3] 高阳, 刘政伟, 杨文玉, 等. 石化企业环保大数据智能云平台建设探讨 [J]. 现代化工, 2022, 42(7): 15-20.
- [4] 石刚. 云平台水质放射性核素监测系统设计 [J]. 核电子学与探测技术, 2021, 41(1): 18-23.
- [5] 朱碧茜. 基于智慧城市时空信息云平台的智慧环保构建分析 [J]. 皮革制作与环保科技, 2021, 2(14): 134-135+138.
- [6] 安科瑞环保用电监管云平台技术白皮书. [R/OL]. 安科瑞电气股份有限公司, 2023
- [7] 张伟, 李明. 物联网技术在智慧环保中的应用与探索 [J]. 环境科学与技术, 2022, 45(3): 123-128.
- [8] 王晓燕, 赵鹏. 基于大数据和物联网的智慧环保云平台构建 [J]. 计算机应用与软件, 2021, 38(10): 156-160.
- [9] 陈志勇, 李华. 智慧环保监测系统的设计与实现 [J/OL]. 自动化与仪器仪表, 2020(5): 1-4.
- [10] 环保部. 中国生态环境状况公报 [R]. 北京: 中华人民共和国生态环境部, 2022.
- [11] 物联网技术及应用发展白皮书 [R]. 中国物联网产业联盟, 2021.
- [12] 李晓东, 王丽. 智慧环保云平台数据可视化技术研究 [C/OL]// 中国智慧城市发展论坛论文集. 北京: 中国智慧城市发展研究中心, 2020: 234-239.

短波天线的安装及维护

加那斯·加沙来提

新疆广电局91614台, 新疆 克孜勒苏柯尔克孜自治州 845350

摘 要： 通常来说, 天线阵在大功率短波发射天线系统得到了普遍使用。天线阵其实就是由多个阵子组成的天线系统, 其支撑物多数为有着较大强度的钢塔桅杆, 反射幕和天线振子则是由金属线绕制而成, 另外还包括不同形式的引线和馈线等, 因此短波天线系统是一个复杂且庞大的系统, 需要进行专业的维护和管理。本文就短波天线的安装与日常维护进行了细致探讨。

关 键 词： 短波天线; 天线系统; 安装; 维护

Installation and Maintenance of Shortwave Antennas

Janas · Gasalaiti

Xinjiang Radio and Television Bureau Station 91614, Kizilsu Kirgiz Autonomous Prefecture, Xinjiang 845350

Abstract： Generally speaking, antenna arrays are widely used in high-power shortwave transmitting antenna systems. An antenna array is essentially an antenna system composed of multiple antenna elements, which are typically supported by steel towers and masts with high strength. The reflector screen and antenna elements are wound from metal wires, and various forms of leads and feeders are also included. Therefore, the shortwave antenna system is a complex and large-scale system requiring professional maintenance and management. This article delves into the installation and routine maintenance of shortwave antennas.

Keywords： shortwave antenna; antenna system; installation; maintenance

引言

短波天线作为无线通信系统中的重要组成部分, 广泛应用于通信、广播、天气预报等领域。其高效的电磁波转换能力使得短波信号能够在长距离内传播, 无需中继站。然而, 由于短波天线通常安装在户外, 长期受到自然环境的侵蚀, 因此其安装和维护显得尤为重要。^[1] 本文将简述短波天线的结构、安装步骤及维护方法、升级与改造, 以期相关工作提供参考。

一、简述天线的结构

短波天线的结构复杂而精细, 各部分协同工作以实现高效的电磁波传输。^[2] 以下是对天线各部分的详细阐述:

(1) 辐射元件: 天线的核心部分, 负责将电能转换为电磁波或反之。辐射元件的形式多样, 如垂直天线中的垂直导体、偶极天线中的偶极子、八木天线中的多个单元(包括驱动器、反射器和引向器)等。

(2) 调谐元件: 用于匹配特定频率的短波信号, 通常包括线圈或可变电容器等可调谐组件, 以调整天线的谐振频率。

(3) 接地系统/地网: 对于垂直天线等类型尤为重要, 提供电流回路并影响天线的效率和阻抗匹配。^[3]

(4) 支撑结构: 稳定的支撑结构用于保持天线在空中的位置, 如塔架、桅杆、伸缩杆等。

(5) 馈线和接头: 馈线(如同轴电缆或平衡线)连接天线与发射机或接收机, 确保信号的有效传输; 接头则连接馈线与天线或设备, 需确保良好的电气接触和密封性。

(6) 匹配网络: 在某些情况下, 使用匹配网络或天线调谐器来优化天线与发射机或接收机的输出阻抗匹配, 以提高能量传输效率。^[4]

(7) 附加部件: 根据天线类型和设计, 可能还包括绝缘材料、固定件、旋转机构、防雷保护设施等。

二、短波天线的安装

短波天线的安装是一个复杂而精细的过程, 需要细致的准备和精确的操作以确保其长期稳定运行和优良的通信效果。^[5] 以下是短波天线安装过程的详细步骤:

作者简介: 加那斯·加沙来提(1989.02-), 柯尔克孜族, 大学本科, 党员, 现就职于新疆广电局91614台, 研究方向为广播电台维护, 职称职务: 中级工程师。

（一）安装前准备

（1）选址：选址是安装短波天线的首要步骤，选择一个空旷、无遮挡且远离电磁干扰源的地方至关重要。这样的位置可以确保天线能够自由地辐射和接收电磁波，减少信号衰减和干扰。在选址过程中，还需考虑风向、风力等自然因素，确保支撑结构能够稳固地支撑天线。

（2）准备工具：安装前需准备好所有必要的工具，如螺丝刀、扳手、测量工具（如卷尺、水平仪）、安全装备（如安全带、安全帽）等。这些工具将帮助安装人员高效地完成安装工作，并确保在安装过程中的安全。

（3）检查设备：在安装前，仔细检查天线及其配件是否齐全、完好。检查天线是否有物理损坏、锈蚀或变形；检查馈线、接头等部件是否有磨损或老化现象；确保所有配件的规格和型号与天线相匹配。^[6] 这一步骤对于确保安装过程的顺利进行和天线的长期稳定运行至关重要。

（二）安装支撑结构

（1）选择支撑结构：根据天线的类型和重量选择合适的支撑结构，如塔架、桅杆或伸缩杆等。支撑结构的选择需考虑其承重能力、稳定性和耐久性，以确保能够安全地支撑天线并抵御各种恶劣天气条件。

（2）安装支撑结构：在安装支撑结构时，需使用水平仪等工具确保支撑结构安装稳固且水平。这有助于保持天线的垂直度和稳定性，从而提高其辐射效率和通信质量。安装过程中还需注意遵循相关的安全规范，确保安装人员的安全。

（三）安装天线

（1）放置天线：将天线小心地放置在支撑结构上，并使用固定件将其紧固。在紧固过程中，需确保固定件牢固可靠，以防止天线在风力等外力作用下晃动或脱落。

（2）连接馈线：将馈线的一端连接到天线上，另一端连接到发射机或接收机。在连接过程中，需确保接头处电气接触良好且密封性达标，以防止信号泄露和水分侵入。同时，还需注意馈线的走向和长度，以减少信号衰减和干扰。

（四）调整与测试

（1）调整天线参数：根据需要调整天线的方向、极化方式等参数。这有助于优化天线的辐射模式和通信效果，使其更好地适应不同的通信环境和需求。在调整过程中，需使用专业的测试仪器和工具进行精确测量和校准。

（2）性能测试：使用测试仪器对天线进行性能测试，包括信号强度、方向性、频率响应等指标。通过测试可以评估天线的性能表现是否符合预期要求，并发现可能存在的问题和隐患。在测试过程中，需仔细记录测试数据和结果，以便后续分析和处理。

三、短波天线的维护方法

短波天线的维护是确保其持续高效运行的关键。定期的维护和检查可以预防潜在的问题，延长天线的使用寿命，并保持其通信性能。^[7] 以下是短波天线维护的详细方法：

（一）短波接收天线的维护工作

1. 周检

周检是短波接收天线日常维护的基础。每周进行一次全面检查，包括检查天线各部件是否松动或损坏，馈线是否有磨损或老化迹象，接头是否密封良好等。此外，还需检查天线支撑结构是否稳固，有无异常声响或振动。周检有助于及时发现并处理小问题，防止其演变成更大的故障。

2. 季节检查

季节检查是针对不同季节特点进行的专项检查。例如，在雨季来临前，需重点检查天线的防水措施是否到位，馈线接头是否密封紧密，以防止雨水渗入造成短路或腐蚀。在冬季，则需关注天线和支撑结构是否受到冰雪覆盖，是否存在因冰冻导致的变形或断裂风险。季节检查有助于根据季节变化调整维护策略，确保天线在不同气候条件下都能稳定运行。

（二）短波发射天线的维护

1. 发射天线场地的维护

发射天线场地的维护是保障天线正常工作的前提。需定期检查场地内的杂草、树木等障碍物是否清理干净，以免影响天线的辐射效率。同时，还需关注场地内的排水系统是否畅通，以防止积水对天线和支撑结构造成损害。^[8] 此外，还需确保场地周围无新增的电磁干扰源，如高压线、雷达站等，以保障天线的通信质量。

2. 短波发射天线的日常维护

短波发射天线的日常维护包括清洁、紧固和检查等方面。首先，需定期清洁天线表面和支撑结构上的尘土、污垢等，以保持其良好的散热和导电性能。其次，需检查天线的各部件是否紧固，如螺丝、螺母等是否有松动现象，并及时紧固。最后，还需使用专业仪器对天线进行性能测试，如检查其发射功率、频率响应等指标是否正常，以确保天线的通信性能达到要求。通过这些日常维护措施，可以及时发现并解决潜在问题，保障短波发射天线的稳定运行。

四、短波发射天线的升级与改造

（一）性能提升

在短波通信系统中，天线的性能直接决定了通信的质量和效率。为了提升系统性能，对短波发射天线的升级是不可或缺的一环。首先，更换更高增益的天线是显而易见的提升途径。高增益天线能够更有效地将电磁波能量集中在特定方向上，从而增加通信距离和信号强度。^[9] 例如，从传统的鞭状天线升级到相控阵天线或抛物面天线，可以显著提升天线的方向性和增益，使信号能够穿透更远的距离和更复杂的电磁环境。

此外，安装自动调谐系统也是提升性能的重要手段。短波通信频段广泛，不同频率下的天线阻抗特性差异显著。自动调谐系统能够实时监测天线的阻抗变化，并自动调整匹配网络，确保天线在不同频段下都能保持最佳的阻抗匹配状态。这不仅减少了人工调谐的繁琐和误差，还提高了通信的稳定性和效率。通过引入

先进的数字信号处理技术，自动调谐系统还能进一步优化天线的性能，使其在不同环境下都能发挥出最佳效果。

（二）环境适应性改造

短波发射天线往往需要在各种复杂环境中运行，如强风、高湿度、盐碱地等。这些环境因素对天线的稳定性和寿命构成了严峻挑战。因此，对天线进行环境适应性改造是确保其稳定运行的关键。在强风环境下，可以采用加固型桅杆和支架，增加天线的抗风能力；同时，优化天线的结构设计，减少风阻和振动，降低因风力引起的性能下降。^[10] 在高湿度和盐碱地环境中，需要选用耐腐蚀、防潮性能好的材料和涂层来保护天线表面和内部结构；同时，加强天线的密封性和排水设计，防止水分和盐分侵入导致腐蚀和短路。

此外，还可以考虑采用智能监控和预警系统来实时监测天线的运行状态和环境参数。当检测到异常情况时，系统能够自动报警并采取相应的保护措施，如启动加热除湿装置、调整天线姿态等，以确保天线在恶劣环境下的稳定运行。

（三）新技术应用

随着科技的不断发展，新技术在短波天线设计与安装中的应用日益广泛。智能天线技术是一种具有广泛应用前景的新技术。通过集成传感器、处理器和通信模块等智能元件，智能天线能够实时感知周围环境的变化，并自动调整其工作状态以适应不同的通信需求。例如，智能天线可以根据信号的强度和方向自动调整波束指向和增益分配，从而提高通信的可靠性和效率。此外，智能天线还具备自诊断和自修复功能，能够及时发现并修复故障部

件，降低维护成本和停机时间。

新型材料的应用也为短波天线的升级与改造提供了更多可能性。例如，采用碳纤维、陶瓷等轻质高强度材料制造的天线不仅具有更高的增益和更好的方向性，还具备更轻的重量和更强的耐候性。这些新型材料的应用不仅提升了天线的性能表现，还降低了运输和安装成本。同时，随着纳米技术和复合材料技术的不断发展，未来还将有更多新型材料被应用于短波天线的设计与制造中，为短波通信系统的性能提升带来更多可能性。

短波发射天线的升级与改造是一个涉及多个方面的复杂过程。通过提升天线性能、进行环境适应性改造以及引入新技术应用等措施，可以显著提升短波通信系统的整体性能和稳定性，为各种应用场景提供更加优质、可靠的通信服务。

五、结语

近年来，随着我国无线通讯技术发展速度的不断加快，短波天线发射与接收系统的结构变得更加庞大，系统故障发生频率也逐渐上升，使得无线通信系统工作效率受到一定影响，为我国的无线通信带来较为严重的经济与财产损失。因此，短波天线系统的日常维护和管理工作非常重要。应重视管理制度的优化和建立，加强短波天线日常检查、巡回检查以及维护工作，采取有效措施解决常见的火灾故障、人为故障以及设备自身故障，进一步促进短波天线的安全稳定运行。

参考文献

- [1] 刘亮. 短波发射系统天线设施的分析与维护措施[J]. 科学技术创新, 2024,(12):205-208.
- [2] 曲鹏玺. 关于短波天线馈线故障及维护技术的探讨[J]. 数字通信世界, 2020,(10):132-133+153.
- [3] 郑众, 谢磊. 短波天线使用维护方法[J]. 中国新通信, 2020,22(14):152.
- [4] 冯爱明. 关于短波天线故障及维护技术的探讨[J]. 电子世界, 2020,(05):36-37.
- [5] 郑众. 短波天线维护方法与研究[J]. 中国新通信, 2019,21(12):72.
- [6] 阿克力别克·居曼. 短波发射天线系统维护探讨[J]. 西部广播电视, 2016(15): 214.
- [7] 高诚德, 王春光. 短波发射天线系统维护方法探讨[J]. 中国科技信息杂志, 2010(4): 116-117.
- [8] 王正星. 中短波天线验收测试[J]. 视听界(广播电视技术),2019(2): 100-106.
- [9] 郭德军, 关吉. 国产500 kW 短波转动天线制动系统原理及运维探索[J]. 科学技术创新, 2022(30): 35-40.
- [10] 吴饶森, 林华忠. 短波天线发射桅杆顶滑轮更换方法的探讨[J]. 科技创新导报, 2020(19): 111-113, 116.

数据安全是数据要素合规发展的基石

胡亚林

武汉大数据产业发展有限公司，湖北 武汉 430023

摘要： 本文深入探讨了数据安全在数据要素合规发展中的核心作用。在数字化时代背景下，数据已成为关键的生产要素，对经济社会发展起到了至关重要的推动作用。概述了数据要素合规发展的概念，随后分析了数据安全的重要性，包括保障数据完整性和可用性、保护用户隐私和权益，以及促进数据共享共用和流通。文中进一步讨论了数据要素合规发展的未来展望，以及数据安全与合规发展之间的相互关系。提出了加强数据安全以促进数据要素合规发展的策略，包括法律视角下的数据安全基础、建立数据安全管理制度、加强数据加密和访问控制以及构建数据合规体系。

关键词： 数据安全；数据要素合规；数据治理；数据加密；访问控制

Data Security is the Cornerstone of Compliant Development of Data Elements

Hu Yalin

Wuhan Big Data Industry Development Co., Ltd. Wuhan, Hubei 430023

Abstract： This article delves into the central role of data security in the compliant development of data elements. In the digital era, data has emerged as a pivotal production factor, driving economic and societal progress. The concept of compliant development of data elements is outlined, followed by an analysis of the importance of data security, encompassing the preservation of data integrity and availability, protection of user privacy and rights, and facilitation of data sharing, collaboration, and circulation. Further discussions explore the future prospects of compliant data element development and the interplay between data security and compliant progress. Strategies to enhance data security for fostering compliant data element development are proposed, including establishing a data security foundation from a legal perspective, instituting data security management systems, strengthening data encryption and access controls, and constructing a data compliance framework.

Keywords： data security; data element compliance; data governance; data encryption; access control

引言

在数字化时代，数据已成为企业、政府和社会组织的重要资产。当前，数据以容量大、类型丰富、存取速度快、应用价值高等特征的数据集合，正快速发展为对数量巨大、来源分散、格式多样的数据进行采集、治理、存储和分析，从中发现新知识、创造新价值、提升新能力的新一代信息技术和服务业态。数据要素合规发展，即确保数据的采集、存储、治理、流通和共享共用等环节符合相关法律法规、行业准则和标准要求，对于保障数据的安全性、合法性和可靠性具有重要意义^[1]。然而，随着数据规模的不断扩大和应用的不断深入，数据安全问题日益突出，给数据要素合规发展带来了巨大挑战。因此，本文将从数据安全的角度探讨数据要素合规发展的问题，并强调数据安全在其中的基石作用。

一、数据安全的重要性

（一）保障数据完整性和可用性

数据完整性和可用性的保障是数据安全的核心要素，它确保了数据在采集、存储、处理和传输过程中的准确性和一致性，防止了非法篡改和破坏。通过有效的数据安全措施，可以维护数据的原始状态，确保其随时可供授权用户访问和使用，从而支持企

业的决策制定和日常运作。这种保障对于构建用户信任、促进数据共享以及推动数据驱动的创新至关重要^[2]。

（二）保护用户隐私和权益

随着数字化转型的加速，个人信息的收集和使用变得日益频繁，数据泄露和滥用事件频发，对个人隐私权构成了严重威胁。数据安全措施的实施，如加密技术、访问控制和数据脱敏等，能够有效防止敏感信息的泄露，保护用户的个人隐私不被未经授权

的第三方获取或利用。强化数据安全还有助于维护用户的知情权和选择权，确保用户能够了解其数据如何被收集、使用和共享，并能够作出相应的选择^[3]。这不仅有助于增强用户对企业的信任，也是企业履行社会责任、构建良好社会形象的重要途径。

（三）促进数据共享共用和流通

数据共享是促进数据共享、共用和流通的关键保障，它确保了数据在不同主体间流动时的安全性和可靠性。在当今数据驱动的经济环境中，数据的开放与共享能够激发创新，提高资源配置效率，推动社会和经济的快速发展。然而，数据共享也伴随着隐私泄露、数据滥用等风险，这就需要通过数据安全措施来降低这些风险。通过实施严格的数据访问控制、数据加密，以及对数据使用行为的监控和审计，可以在保护数据不被非法访问和滥用的同时，鼓励和促进数据的合法、合规流通^[4]。

二、数据要素合规发展的展望

数据要素合规必然是数据平台合规、数据确权合规、数据治理合规、评估合规、流通合规等等。2022年12月中共中央、国务院发布了《关于构建数据基础制度更好发挥数据要素作用的意见》（以下简称“数据二十条”），提出建立数据资源持有权、数据加工使用权、数据产品经营权的“三权分置”的数据产权制度框架。而且在《企业数据资源相关会计处理暂行规定》也强调数据资源是企业合法拥有和控制的。由此可见数据资产合规与确权是数据资产入表的首要步骤^[5]。

数据要素合规是指数据所有者在数据生命周期的各个阶段，包括数据采集、存储、治理、流通、应用和销毁等环节，应遵守的法律法规、行业标准、合同约定以及内部政策等相关要求。其中，数据内容合法合规是指企业存储数据的内容需真实、合法、合规，不得存储法律法规不允许采集或存储的违法数据，如企业私自存储未依法获取授权的国家机密数据、商业秘密等；数据处理合规是指企业处理数据行为不违反国家法律相关规定，符合合法、正当、必要原则；数据安全合规是指企业采取必要的技术和管理措施，保障数据的安全性和保密性，防止数据泄露、丢失或被滥用；数据交易合规是指遵循《数据二十条》，在数据产品交易中构建合规高效、场内外一体化的数据要素流通与交易体系；数据核算合规是指数据资产入表需要遵循《企业数据资源相关会计处理暂行规定》相关要求^[6]。

三、数据安全与数据要素合规的关系

（一）数据要素合规作为数据安全的前提

数据要素合规构成了数据安全的重要前提和基础。合规性要求确保数据在采集、处理、存储、传输和销毁等各个环节都遵循法律法规、行业标准和企业政策。这不仅涉及数据的质量和准确性，还包括对个人隐私的保护、数据使用的合法性以及数据访问的授权管理。数据要素合规的实施，为数据安全提供了法律和道德的框架，确保数据处理活动在法律允许的范围内进行，从而降

低违规操作带来的风险。同时，数据合规还要求企业建立严格的数据治理机制，包括数据分类、数据生命周期管理、数据访问控制和数据泄露预防等策略^[7]。

数据安全不仅关乎技术层面的防护，也是企业文化和价值观的体现。强化数据安全意识，培养员工对数据保护的责任感，是推动合规文化建设的重要组成部分。此外，数据安全还与企业的社会责任紧密相关，通过保护用户隐私和数据权益，企业能够建立起公众信任，提升品牌形象和社会影响力。

在全球化的背景下，数据安全合规还涉及跨国数据流动和国际合作。企业需要遵守不同国家和地区的数据保护法规，确保跨境数据传输的合法性和安全性。这要求企业不仅要有强大的技术支撑，还需要具备灵活应对不同法律环境的能力。

（二）数据安全与合规发展的相互促进

数据安全与合规发展之间存在着相互促进的良性循环关系。数据安全的高度实施不仅保障了数据的保密性、完整性和可用性，而且直接强化了企业的合规立场，使企业能够在遵守法律法规的前提下运营。反过来，强化合规性又推动企业不断完善数据安全措施，提升整体的数据治理水平。

例如，欧盟通用数据保护条例（GDPR）的实施，要求企业在处理个人数据时必须确保数据安全，同时也要遵循数据保护的原则。这促使许多企业加强了对数据访问的控制，实施了更加严格的加密措施，并改进了数据泄露的响应流程。这些改进不仅帮助企业遵守了GDPR的要求，也提高了它们在数据安全方面的能力，从而在全球市场中获得了更强的竞争力。此外，数据安全的最佳实践还可以作为合规发展的标杆。例如，一些企业通过获得ISO/IEC 27001信息安全管理体系的认证，展示了它们在数据安全管理方面的专业性和承诺。这种认证不仅提高了企业对内部数据管理的控制，也向外部利益相关者证明了其合规性和对数据保护的重视^[8]。

四、加强数据安全促进数据要素合规发展的策略

（一）法律视角下的数据安全基础

加强数据安全以促进数据要素合规发展，首先需要从法律视角构建数据安全的基础。这包括遵循国家法律法规，如《网络安全法》《数据安全法》和《个人信息保护法》等，这些法律为企业和个人数据处理活动设定了基本规范和要求。例如，依据《数据安全法》，企业必须建立数据分类和重要数据保护制度，对数据进行风险评估，并采取相应的安全措施。

在实践中，企业可以依据这些法律法规的要求，制定和完善内部的数据安全管理制度。例如，公司可以在遵守GDPR的过程中，不仅对数据保护政策进行了全面修订，还加强了数据加密技术的应用，限制数据访问权限，并为员工提供了数据保护培训，以确保数据处理活动合法合规。通过这样的措施，该公司不仅提升了数据安全水平，也在全球市场中增强了用户的信任和企业竞争力。企业还应密切关注法律法规的变化和更新，及时调整自身的数据安全策略，确保持续合规。通过法律视角下的持续

努力，企业能够在保障数据安全的同时，推动数据要素的合规发展，实现可持续发展的目标。

（二）建立数据安全管理制度

建立数据安全管理制度是确保数据要素合规发展的重要环节，它要求企业构建一套全面的安全政策和操作流程，以保障数据的安全性和合规性。例如，摩根大通银行作为全球领先的金融服务机构，其数据安全管理制度就非常严格，包括对敏感数据的加密处理、对员工进行定期的安全意识培训、实施严格的访问控制策略，以及对数据访问和使用进行持续监控^[9]。这些措施帮助摩根大通银行有效预防了数据泄露事件，增强了客户对其数据保护能力的信心。此外，摩根大通还制定了详细的事件响应计划，以应对可能的数据安全事件。在2014年，尽管遭遇了一次复杂的网络攻击，但由于其数据安全制度的健全，摩根大通成功地限制了攻击的影响，并迅速恢复了正常运营。这一事件凸显了数据安全管理制度在实际应对安全威胁中的重要性。

通过这样的案例，可以看到，一个健全的数据安全管理制度不仅包括技术层面的安全措施，还涵盖了组织结构、人员培训、政策执行和应急响应等多个方面。这些制度的建立和执行，对于提高企业的数据安全管理水平、满足合规要求、保护客户利益以及维护企业声誉都至关重要。

（三）加强数据加密和访问控制

数据加密技术能够有效保护存储和传输中的数据不被未经授权访问或泄露，而严格的访问控制机制则确保只有授权用户才能访问敏感数据。例如，美国零售巨头塔吉特（Target）在2013年遭受了一次重大的数据泄露事件，导致数百万客户的信用卡和个人数据被盗。此次事件凸显了数据加密和访问控制的重要性。随后，塔吉特投资升级了其数据安全基础设施，包括强化数据加密措施和实施更为严格的访问控制策略，以防止类似事件再次发生。

在具体实施上，企业可以采用多因素认证来增强访问控制，确保只有通过多重验证的用户才能访问敏感数据。同时，对数据进行端到端加密，即使数据在传输过程中被截获，也无法被未授

权者解读。例如，苹果公司就以其强大的数据加密技术而闻名，其iOS设备提供了文件和数据的自动加密存储功能，并通过生物识别技术如Touch ID或Face ID来控制访问，确保用户数据的安全^[10]。

（四）构建数据合规体系

构建数据合规体系涵盖了从数据收集、处理、存储到传输、共享和销毁的全生命周期管理，确保企业数据处理活动符合法律法规要求和行业最佳实践。例如，微软公司通过实施严格的数据合规体系，在全球范围内处理个人和企业数据时，遵循GDPR等数据保护法规。微软提供了一系列的数据保护工具和服务，如Azure Information Protection和Dynamics365，帮助客户实现数据分类、数据丢失预防和敏感数据的加密存储。

在构建数据合规体系时，企业需要制定明确的数据管理政策，包括数据分类标准、数据访问权限控制、数据保护技术要求等。同时，企业还应定期对员工进行数据保护和合规培训，增强员工的合规意识和操作技能。通过构建和维护一个全面的数据合规体系，企业不仅能够降低数据泄露和滥用的风险，还能够数据驱动的市场中增强竞争力，赢得客户的信任和支持。真实的案例表明，数据合规体系的建立是企业数据安全不可或缺的一环，对于促进数据要素的合规发展至关重要。

五、结论

数据安全是确保数据要素合规发展的基石。随着数据的价值日益被认识和挖掘，其安全性问题也变得尤为突出。本文强调，企业必须从法律视角出发，建立和完善数据安全管理制度，加强数据加密和访问控制，并构建全面的数据合规体系。通过这些措施，企业不仅能够提高数据的安全性和合规性，还能够数据驱动的市场中获得竞争优势，实现可持续发展。企业应持续关注法律法规的变化，及时调整数据安全策略，以应对不断演变的网络安全威胁。最终，企业需要将数据安全融入企业文化和运营的每一个层面，以建立公众信任并履行社会责任。

参考文献

- [1] 彭星. 数字时代大数据安全防范策略的思考与研究[J]. 中国新通信, 2023, 25(11): 88-90.
- [2] 孙伟东. 基于数据安全态势背景提升企业数据安全治理能力刍议[J]. 长江信息通信, 2023, 36(5): 168-171.
- [3] 马美瑶. 企业数据合规的现实困境与实践路径[J]. 信息安全与通信保密, 2022(7): 150-158.
- [4] 张琳琳, 李晓伟. 大力开展数据安全合规性评估为数字经济发展保驾护航[J]. 信息安全与通信保密, 2021(4): 84-90.
- [5] 黄伟庆. 合规视角下数据要素的分类分级管理机制研究[J]. 上海政法学院学报, 2024, 39(2): 121-140.
- [6] 陈名玥. App隐私政策的数据安全合规风险调查及法律对策研究[J]. 河南司法警官职业学院学报, 2022, 20(3): 68-71.
- [7] 张春艳. 大数据时代的公共安全治理[J]. 国家行政学院学报, 2014(05): 100-104.
- [8] 曾子明, 杨倩雯. 面向第四范式的城市公共安全数据监管体系研究[J]. 情报理论与实践, 2018, 41(02): 82-87.
- [9] 刘志坚, 郭秉贵. 大数据时代公共安全保障与个人信息保护的冲突与协调[J]. 广州大学学报(社会科学版), 2018, 17(05): 74-79.
- [10] 唐要家. 中国个人隐私数据保护的制度选择与监管体制[J]. 理论学刊, 2021(1): 69-77.

人工智能在二手车特征及价值评估中的应用研究

黄乐

江苏车置宝信息科技股份有限公司，江苏 南京 210000

摘 要： 随着人工智能的发展，二手车特征及价值评估通过人工智能涌现出速度快、并行处理量大、准确度高的通用能力，在二手车交易、金融、保险的商业场景中价值凸显。本文首先研究了个人在二手车价值评估中客观存在的传统计算方法，有限历史成交经验和记忆容量受限的痛点。随后，探讨了人工智能的单体原理及应用前景，提出了基于人工智能的二手车特征及价值评估的科学应用，包括数据挖掘、特征预处理、数据编码、模型计算等，同时分析了机器学习方法包含线性、深度学习、决策树、神经网络等回归、分类算法及引用案例；最后，展望了人工智能在二手车特征及价值评估中赋能及解决个人痛点的价值。

关 键 词： 人工智能；二手车特征；二手车价值评估；机器学习

Research on the Application of Artificial Intelligence in the Feature and Value Evaluation of Used Cars

Huang Le

Jiangsu Chezhibao Information Technology Co., Ltd., Nanjing, Jiangsu 210000

Abstract： With the development of artificial intelligence, the feature and value evaluation of used cars have emerged with fast speed, large parallel processing capacity, and high accuracy through artificial intelligence, highlighting its value in the business scenarios of used car transactions, finance, and insurance. This article first studies the objective existence of traditional calculation methods in the value evaluation of used cars by individuals, as well as the pain points of limited historical transaction experience and limited memory capacity. Subsequently, it explores the individual principles and application prospects of artificial intelligence, and proposes scientific applications of artificial intelligence-based feature and value evaluation of used cars, including data mining, feature preprocessing, data encoding, model calculation, etc. At the same time, it analyzes machine learning methods including linear regression, deep learning, decision trees, neural networks, and other regression and classification algorithms, along with citation cases. Finally, it looks forward to the value of artificial intelligence in empowering and solving personal pain points in the feature and value evaluation of used cars.

Keywords： artificial intelligence; used car features; used car value evaluation; machine learning

引言

伴随中国经济的强劲增长，过去十年，我国二手车交易从605万辆/年增长至1841万辆/年，实现三倍增长。需求量的激增，准确二手车价值评估是消费者需求也是商家降本增效的关键能力。评估师个人基于历史成交价格和专业知识和专业知识通过现行市价法、重置成本法计算二手车价值（以下简称：传统二手车评估）。相较人工智能通过机器学习挖掘特征和模型计算输出二手车价值（以下简称：智能二手车评估）^[1]。本文将研究多种人工智能机器学习框架，提出多种智能二手车评估的科学技术路径。

一、传统二手车评估个人方法解析与局限

（一）传统二手车评估速度慢

在传统的二手车评估过程中，车况是关键特征，比如事故车判定项目又是关键特征的子特征，如没有第三方检测，评估师首先进行非举升状态下结构部件状态检查，包括纵梁、水箱框架、

叶子板骨架、ABCD柱、车顶框架、底边梁、减震器座、后围板的故事损伤，比如严重锈蚀、褶皱、凹陷、断裂；再看维修（行业俗称整备）状态，比如钣金、烧焊、切割、更换等。其次，举升检查底盘结构部件（结构部件的下侧部分及车身底板框架）；再次，检查泡水、火烧、结构外观、动力（油动、电动、混动、增程）、配置、安全等多项目，还需包括漆膜仪、OBD、出险记

录、维保记录的数字化结论，这些项目均是子特征且项目中又包含多个部件状态。这些车况特征都应在二手车评估中参与计算，评估师可在10至60分钟完成检测并评估出价^[2]。

（二）传统二手车评估准确度低

根据车况特征，评估师会采用现行市价法、重置成本法（以下简称，一步乘法）来评估二手车价格。前者方法参考同款车型的在售车辆价格，再考虑车况特征，确定折价率，再一步乘法得到评估价；后者方法参考同款新车在售车辆的成交价，再考虑车况特征，确定折价率，再一步乘法得到评估价。个人评估无风险控制、决策主观单一，消费者对二手车估价或报价不信任，成交效率低^[3]。

（三）传统二手车评估的记忆容量受限，无法并行

传统二手车评估中多维度可达60+，多特征可达100+，车款更是1000+，个人无法记忆全部并比较差异。其次，个人评估师的历史成交经验，未能充分利用历史数据和市场数据，限制了评估结果的准确性，个人记忆容量受限。评估影响买卖双方的信任度，也让车辆交易风险不易管理，规模化受到了限制。面对市场条件和消费者偏好的快速变化，导致评估结果可能与市场实际情况不符，成交率低^[4]。

（四）人工智能在赋能传统二手车评估的能力

传统二手车评估需得到智能二手车评估的赋能，利用机器学习能力来克服速度慢、准确度低、无法并行，提高评估出价的效率、准确性和规模化。人工智能技术在二手车评估领域展现出显著的优势。二手车产品是一车一价但每个商家或者车主的卖车需求是一人一价。一车一价是产品客观事实，一人一价是需求主观意愿。人工智能技术的机器学习能力可精准计算一车一价，同时可根据客户需求精准计算一人一价，兼具客观性、主观性价格；从效率上，人工智能技术可并行计算全量市场的二手车价格；从服务上，人工智能技术可7/24小时履约服务客户；从风险上，人工智能技术可识别真实性，提高效率。最后，从体验上，人工智能技术可满足客户情绪或叠加产品价格需求^[5]。

二、人工智能在二手车价值评估中的应用框架

（一）人工智能技术的单体原理

人工智能技术把特征之前的关系或选择集表达为参数集并通过数学公式单体表达（以下简称表达式），称为单体原理。求解表达式参数集的自动运算称为机器学习；假设特征变量集的提升，导致参数集提升，被称为尺度定律（Scaling laws）。单体原理假设为可复制的分段决策，通过机器学习，达到高标准通用决策准确度，被称为通用人工智能 AGI。机器学习通过建立多样的（比如正向拆解计算、反向推导计算、模拟对抗测试等等）模拟器类计算模型，自动计算关系或选择集的参数集，直至精准匹配，导致分段准确决策。新任务数据输入已知参数集并行计算输出目标结果。所以人工智能是数字化基础设施以后，数智化的新基础设施，人工智能技术通过单体原理、机器学习及尺度定律等实现智能体^[6]。

（二）人工智能技术在二手车特征的应用

人工智能技术应用于二手车估值服务是二手车服务的一个分支，全流程还有检测、客户、车商服务；二手车的人工智能一定会向全流程智能发展。近年来，中国新能源汽车品牌每年发布的车型、车款有上百种，叠加燃油车多达上千种，导致二手车市场的价格变化周期从每月逼近到每日。客观上全球汽车保有量的增加，会导致整体单车利润下滑，最终逼迫二手车估价能力必须达到秒级定价。事实上，传统二手车评估中有竞争力的车商都可在10分钟内定价^[7]。所以，智能二手车评估更需实时迭代。

特征预处理的核心原理是：数据一定多模态；假的数据不可能预测出真数据。特征预处理的假设是：关系和选择表达式无法充分表达；数据量少可以通过工程解决。多维数据需通过机器学习进行特征预处理。解决数据特征预处理，前提是结合二手车行业经验最大化收集特征及数据，并通过常用的分类器比如 boost 类（ada、xg、light、cat 等）做特征重点选择，聚类器（k-means），如果特征维度多，但数据量很小，比如一般交易规模很小的商家或个人则需要做特征过滤来选择特征，比如二分类器（SVM）过滤、包装、树类 GBDT、维度转换 embedding 嵌入和 deep learning^[8] 寻找特征。

特征编码的原则结合行业通用和人类常识，兼具独立、序列、分类、离散、子集等，不同特征采用不同编码，通用及常识即可。这里面需要注意的是，如果数据源有缺失数据或人为篡改的数据，一定会影响智能二手车价格评估。

（三）人工智能技术在二手车价值评估的应用

线性回归 Linear regression，表达式为 $Y = \sum a_n X_n + b$ ，通过输入特征 X_n ，求解 a_n 和 b 。由于是多元一次公式，假设所有特征在一个坐标轴。这种假设可以成立于一些特征确实是相关常数关系，二手车由于非标，特征可多达100个以上，特征很显然非常数关系。另外，bias 这样用于二手车估值预测也过于武断。但线性回归为人工智能技术发现了机会并实现了表达式的改进。人工智能技术通用的检验技术标准指标，例如 R^2 least square 和标准差 standard error，根据实际场景需求，我们还可以加入客户标准指标用来适应客户需求。根据 Noor&Jan 的学术级研究，在多特征被假设的情况下线性回归^[4] 机器学习模拟器对于二手车估价项目的准确率可达98%。

为了追求准确度的提升，Sharma&Mitra 在调研了多家当地商家，根据当地二手车商家的经验，总结了核心4个特征，表达式为 $Y = \sum a_n X_n + \sum c_n X_n + dO + b + e$ 。当地二手车有平均年份高，公里数高，平均换手次数高，价格较低的特征属性，所以在人工筛选掉影响较小的特征，把有限的精准数据运用到线性回归中，得到了可以应用于当地的二手车价格评估。^[9] 他们说明当地二手车很多高于20年车龄，包括未含有政府政策、市场变量，所以整体结果还有比较大的改进空间。

线性回归从表达式即看出基于对特征的核心假设关系及与目标的线性假设关系，二手车行业和很多其他行业一样，特征有未知且多维，所以二手车估价采用线性回归作为唯一计算模型确实不能满足需求，还需要解决多维空间问题。

梯度提升决策树 Gradient Boosting Decision Tree, 表达式为 $f_M(x) = \sum_{m=1}^M T(x; \theta_m)$, x 代表特征, DT 运用了是与否的表达式。通过建树和叶子, 层层决策特征与目标的最佳切点, 直至最佳切点无法切割。数值型项目计算准确度高, 但对于多维度数据量较小的项目比较难达到较高准确性。所以在模型超参数设置中, 可以尝试扩大树的数量以提升准确率^[10]。

神经网络 neural network, 包含多种模型, DNN deep neural

network 的表达式为 $Y = \sum_{n=1}^m a_n x_n + b$, 神经网络分为输入层或 embedding 层、隐藏层和输出层, 其目的是扩张或压缩特征, 把多维神经元通过链接下一层神经元实现线性关系, 由于网络链接密集且可设置多层去挖掘未知特征^[11]。

智能二手车特征及评估弥补了传统二手车评估的局限, 旨在为二手车行业提供一个更快、更准、并行的二手车价值评估工具, 实现交易链条各方的价值, 将促进行业的持续健康发展。

参考文献

- [1] A. Dutulescu, M. Iamandei, L. M. Neagu, S. Ruseti, V. Ghita, M. Dascalu, What is the Price of Your Used Car? Automated Predictions using XGBoost and Neural Networks, IEEE access, 24th International Conference on Control Systems and Computer Science (CSCS), 2023, pp.418–425.
- [2] A. K. MANDAL, M. NADIM, H. SAHA, T. SULTANA, M. D. HOSSAIN, AND E. H., “Feature Subset Selection for High-Dimensional, Low Sampling Size Data Classification Using Ensemble Feature Selection With a Wrapper-Based Search”, IEEE access, vol.12, May 2024, pp.62341–62357.
- [3] A. SHRESTHA, A. MAHMOOD, Review of Deep Learning Algorithms and Architectures, IEEE access, VOL. 7, 2019, pp.53040–53065.
- [4] K. Noor, S. Jan, Vehicle Price Prediction System using Machine Learning Techniques, International Journal of Computer Applications (0975 - 8887) Volume 167 - No.9, June 2017, pp.27–31.
- [5] J. Sharma, S. K. Mitra, Developing a used car pricing model applying Multivariate Adaptive regression Splines approach, Expert Systems With Applications, 0957–4174/© 2023 Elsevier Ltd. September 2023.
- [6] A. SHRESTHA, A. MAHMOOD, Review of Deep Learning Algorithms and Architectures, IEEE access, VOL.7, May, 2019, PP.53040–53065.
- [7] 陈潇. 人工智能在广播电视节目推荐系统中的应用 [J]. 电视技术, 2023, 47(7): 163–165, 182. DOI: 10.16280/j.videoe.2023.07.043.
- [8] 赖小馨. 基于人工智能的个性化推荐系统在电子商务中的应用 [J]. 知识经济, 2024, 670(6): 37–39.
- [9] 田丽. 人工智能在推荐系统中的应用与分析 [J]. 文渊 (高中版), 2023(9): 232–234. DOI: 10.12252/j.issn.2096–6288.2023.09.078.
- [10] 曾新士. 基于人工智能的智慧在线服务信息推荐方法及云计算系统: CN202110682159.6 [P]. 2021–09–03.
- [11] 深圳宏途教育网络科技有限公司. 一种基于人工智能的在线教育资源管理系统及其推荐方法: CN202010328707.0 [P]. 2020–07–24.

电子信息工程在耳机降噪技术中的应用与发展

王雷, 陈波, 李家琪

陕西烽火通信集团有限公司, 陕西 宝鸡 721006

摘要： 本文通过探讨电子信息工程在耳机降噪技术中的应用与发展, 旨在为相关领域的从业人员提供参考和借鉴。文章首先分析了耳机降噪技术的重要性及其在现代生活中的作用, 再分析了电子信息工程在耳机降噪技术中的具体应用, 最后探究了电子信息工程在耳机降噪技术中的发展。分析发现, 电子信息工程在耳机降噪技术中的应用与发展, 不仅是音频设备技术革新的重要驱动力, 也是提升用户体验、满足多元化需求的关键所在。

关键词： 电子信息工程; 耳机; 降噪技术; 应用; 发展

Application and Development of Electronic Information Engineering in Headphone Noise Cancellation Technology

Wang Lei, Chen Bo, Li Jiaqi

Shaanxi Fenghuo Communication Group Co., Ltd., Baoji, Shaanxi 721006

Abstract： This paper discusses the application and development of electronic information engineering in headphone noise reduction technology, aiming to provide reference for practitioners in related fields. This paper first analyzes the importance of headphone noise reduction technology and its role in modern life, then analyzes the specific application of electronic information engineering in headphone noise reduction technology, and finally explores the development of electronic information engineering in headphone noise reduction technology. The analysis found that the application and development of electronic information engineering in headphone noise reduction technology is not only an important driving force for audio equipment technological innovation, but also the key to improving user experience and meeting diversified needs.

Keywords： electronic information engineering; headphones; noise reduction technology; apply; development

引言

在当今社会, 耳机已成为人们日常生活中不可或缺的音频设备之一。随着生活节奏的加快和噪音污染的加剧, 人们对于耳机降噪技术的需求日益迫切。电子信息工程作为现代科技的重要分支, 在耳机降噪技术的发展中发挥着至关重要的作用。从智能降噪算法的优化到蓝牙音频传输技术的革新, 电子信息工程为耳机降噪技术注入了新的活力和动力。因此, 深入研究电子信息工程在耳机降噪技术中的应用与发展, 不仅有助于提升音质、改善用户体验, 还能推动相关技术的持续进步和创新。

一、耳机降噪技术的重要性及其在现代生活中的作用

耳机降噪技术的重要性及其在现代生活中的作用不容忽视。随着城市化进程的加快和生活节奏的提速, 人们面临的环境噪音日益严重, 从喧嚣的街道到嘈杂的交通工具, 再到繁忙的办公室, 噪音不仅影响我们的听力健康, 还极大地干扰了我们的工作、学习和休闲娱乐体验^[1]。基于此, 耳机降噪技术应运而生, 它通过科学手段有效减少或消除外界噪音, 为用户提供一个更加静谧、专注的听觉环境。

在现代生活中, 耳机降噪技术的作用体现在多个方面。首先, 它可以保护听力。长时间暴露在高分贝噪音中会导致听力损伤, 而降噪耳机能在不影响音乐或通话质量的前提下, 显著降低噪音水平, 减少对耳朵的伤害。其次, 降噪耳机提升了音乐享受的品质。无论是沉浸在个人的音乐世界中, 还是观看视频、玩游戏, 降噪功能都能确保音频的纯净与清晰, 让用户获得更加沉浸式的体验。再者, 对于商务人士和经常出差的旅人来说, 降噪耳机是不可或缺的伴侣。在飞机、火车等交通工具上, 它能够有效隔绝嘈杂的背景声, 让用户在嘈杂的环境中也能进行清晰的通话或专注于工作。

二、电子信息工程在耳机降噪技术中的应用

（一）耳机降噪技术的原理

耳机降噪技术作为现代音频设备的重要功能之一，其核心在于通过不同方式减少或消除外部环境中的噪音，为用户提供一个更加纯净、沉浸的听觉体验^[2]。

耳机降噪技术主要可以分为两大类：被动降噪（PNC）和主动降噪（ANC）。被动降噪主要依赖物理结构隔绝噪音，而主动降噪则通过电子信号处理来主动消除噪音。

PNC技术的核心在于通过物理隔离的方式减少噪音的传入，这通常通过设计合理的耳机外壳结构、采用隔音材料以及密封性能良好的耳垫来实现^[3]。当耳机佩戴在耳朵上时，其密封性能能够有效隔绝外部噪音，特别是高频噪音，从而为用户提供一个相对安静的听音环境。虽然被动降噪技术简单有效，但其降噪效果受限于材料的隔音性能和设计的合理性，对于低频噪音的隔绝效果相对较弱^[4]。ANC技术则通过电子信号处理来主动消除噪音。该技术首先在耳机内部设置麦克风，用于捕捉外部环境的噪音信号。然后，通过数字信号处理器（DSP）对噪音信号进行分析处理，生成一个与噪音相位相反、振幅相近的反相声波信号。这个反相声波信号随后通过耳机的扬声器播放出来，与外部环境中的噪音声波在物理空间内相遇并相互抵消，从而实现降噪效果^[5]。

ANC对于低频噪音的消除尤为有效，且能够根据环境的变化实时调整降噪策略，提供更加个性化的降噪体验^[6]。混合降噪技术是将PNC与ANC相结合的一种技术。它综合了两种降噪技术的优点，通过物理隔离减少部分噪音传入，并通过电子信号处理进一步消除残留的噪音。混合降噪技术能够在更宽的频率范围内提供更佳的降噪效果，同时保持较高的舒适度。

（二）信号处理算法

在耳机降噪技术中，信号处理算法扮演着至关重要的角色。首先，这些算法负责分析由耳机麦克风捕捉到的外部噪音信号。这一过程涉及对噪音信号的采样、量化、频谱分析等步骤，以便精确地理解噪音的特性。接下来，通过复杂的算法运算，如快速傅里叶变换等，将时域信号转换为频域信号，从而更容易地进行噪音特征的提取与处理。核心的降噪算法如频谱减法、维纳滤波、小波变换等，基于不同的算法原理，对噪音信号进行针对性处理。频谱减法通过估计并减去噪音频谱来减少噪音；维纳滤波则根据信号与噪音的统计特性，自适应地调整滤波器的参数，以优化降噪效果^[7]；小波变换则利用多尺度分析的能力，在不同尺度上分解信号，从而实现更有效的噪音分离。

（三）人工智能与深度学习

电子信息工程在耳机降噪技术中的应用，是当代音频科技发展的一个重要里程碑，其在人工智能与深度学习领域取得了显著突破。在人工智能与深度学习的推动下，耳机降噪技术实现了前所未有的智能化和精准化。深度学习算法能够深入分析和学习噪音信号的复杂特性，通过构建庞大的神经网络模型，自动提取并识别不同频率、不同来源的噪音特征。这一过程不仅极大地提升了降噪算法的鲁棒性和适应性，还使得耳机能够根据不同的环境

噪声自动调整降噪策略，为用户提供个性化的降噪体验^[8]。例如，在飞机等低频噪音占主导的场景中，耳机能够重点抑制低频噪音，而在城市街道等高频噪音复杂的环境中，则能灵活应对各种突发噪声，确保音频信号的纯净度。

（四）蓝牙音频技术

蓝牙音频技术为耳机的无线连接和高质量音频传输提供了强有力的支持。蓝牙技术以其低功耗、高稳定性、强抗干扰能力等优势，成为耳机无线化、智能化的重要推手。通过蓝牙连接，耳机可以轻松与各种智能设备无缝对接，实现音频数据的实时传输和共享^[9]。

蓝牙音频技术不仅保证了音频信号的传输质量，还为用户提供了便捷的操作体验。用户可以在不同设备间自由切换，享受无缝的音频体验，而无需担心线缆的束缚和连接的繁琐^[10]。此外，随着蓝牙技术的不断升级和优化，蓝牙耳机的续航能力和连接稳定性也得到了显著提升，进一步满足了用户对于长时间使用和高品质音频体验的需求。

（五）用户交互体验

在用户交互体验方面，电子信息工程的应用使得耳机降噪技术更加人性化、智能化。通过复杂的传感器和人工智能算法，耳机能够实时感知用户的佩戴状态、运动情况乃至情绪变化，并据此动态调整降噪策略。这种智能化的用户交互不仅让用户在各种环境下都能享受到最佳的降噪效果，还通过个性化设置满足了不同用户的独特需求^[11]。例如，当用户身处嘈杂的街道时，耳机可以自动增强降噪效果，隔绝外界噪音；而当用户在安静的图书馆时，耳机则能自动调整至适度降噪模式，避免对周围环境造成干扰。

三、电子信息工程在耳机降噪技术中的发展

（一）降噪技术起源

耳机降噪技术的起源可以追溯到20世纪初期，但真正意义上具有里程碑意义的研究始于1933年。德国物理学家Paul Lueg提出了主动降噪技术的理论原理，并申请了专利^[12,13]。他通过扬声器和麦克风，利用声波相消性干涉原理来消除噪音，这一创新奠定了降噪耳机技术的基础。

（二）技术原理演进

早期的降噪耳机主要采用被动降噪技术，即利用耳塞或耳罩的物理结构来阻挡外部噪音。这种方法的降噪效果有限，特别是对高频噪音的隔绝效果不佳。随着电子技术的飞速发展，ANC应运而生。ANC技术通过内置的麦克风捕捉环境噪音，并由耳机内部的电路生成一个与噪音相位相反、振幅相同的信号（反相波），两者叠加后能有效抵消部分或全部噪音。进入21世纪后，数字信号处理和人工智能技术的快速发展进一步推动了ANC技术的突破。现代降噪耳机不仅能根据环境噪音自动调整降噪效果，还加入了环境音透传功能，使得用户在需要时能清晰地听到外部环境声音，提高了使用的灵活性和安全性。

（三）核心元件发展

麦克风是降噪耳机的核心元件之一，负责捕捉环境噪音。随

着技术的进步,麦克风的小型化和高灵敏度得以实现,提高了降噪耳机的准确性和响应速度。降噪芯片是处理和分析噪音信号的关键部件。早期的降噪耳机多采用外接 ANC 芯片^[14],但随着技术的发展,越来越多的降噪芯片被集成到耳机内部,实现了更紧凑的设计。例如,Qualcomm 和恒玄科技推出的集成 ANC 功能的蓝牙芯片,极大地推动了降噪耳机的普及。

(四) 应用领域拓展

降噪耳机在各个领域的应用日益广泛,主要包括以下几方面(图1):



> 图1 降噪耳机的应用领域

(五) 产品创新与普及

近年来,随着技术的不断进步和市场的不断扩大,降噪耳机的产品创新和普及速度加快。特别是苹果 AirPods Pro 的推出,极大地推动了 TWS (True Wireless Stereo) 降噪耳机的普及。主流蓝牙芯片厂商纷纷推出集成主动降噪功能的芯片产品,使得降噪耳机的价格进一步下探,市场渗透率不断提高^[15]。

四、结语

综上所述,电子信息工程在耳机降噪技术中的应用与发展取得了显著成就。通过引入先进的信号处理技术、智能识别算法以及蓝牙音频技术等,耳机降噪技术不仅实现了对噪音的有效抑制和音质的显著提升,还为用户带来了更加便捷、舒适和个性化的使用体验。相信在不久的将来,耳机降噪技术将在音质、智能化、无线化等方面取得更加显著的突破,为用户带来更加优质、高效的音频体验。

参考文献

[1] 张莹,李明. 人性化设计理念在产品中的运用——以入耳式主动降噪耳机为例[J]. 机电工程技术, 2017,46(9):15-18.

[2] 耳机如何实现降噪[J]. 发明与创新, 2023(28):45.

[3] 郑保宾,唐文其. 耳机被动降噪特性分析[J]. 电声技术, 2020,44(03):33-36.

[4] 吴王震. 降噪耳机降噪性能测试方法研究[J]. 电子质量, 2020(3):34-36.

[5] 王勇,孙磊. 主动降噪技术发展前景分析[J]. 电子世界, 2020,(21):49-50.

[6] 冯志鸿. 耳机主动降噪技术的分析与研究[J]. 数字技术与应用, 2019,37(03):114-115.

[7] 邹战,戴永惠,王振海,等. 基于 FxLMS 算法和预测滤波器的数字耳机降噪研究[J]. 常州大学学报(自然科学版),2015,27(02):64-67.

[8] 刘鹤玉,倪亚凡,孙明. 基于 LMS 算法的自适应主动降噪工作耳机的实现[J]. 广播电视网络, 2021,28(8):102-104.

[9] 曾泽雄. 单声道蓝牙耳机芯片提升近端和远端降噪能力[J]. 数字化用户, 2021,27(3):3-4.

[10] 陆振李,郭章科,余海波,等. 蓝牙耳机主动降噪技术研究[J]. 国际机械工程, 2022,1(5).

[11] 陈飞. 低功耗智能蓝牙云交互耳机的设计与实现[J]. 电脑知识与技术, 2018,14(28):234-235,264.

[12]Paul L. Process of silencing sound oscillations: US, US 2043416 A[P]. 1936.

[13] 陈浩. 基于 DSP 的有源降噪耳机系统设计与研究[D]. 江苏:南京信息工程大学, 2018.

[14] 路煜皓. 主动降噪耳机的新进展[J]. 电声技术, 2010,34(8):65-67.

[15] 侯婷婷. AI 智能降噪耳机让耳朵享受优质声音[J]. 家用电器, 2022,(02):90.

智慧交通背景下自感知和自愈合路面的发展趋势研究

高楠, 刘卓群, 张金梁, 张茗崴, 鞠达

东南大学成贤学院, 江苏 南京 210088

摘 要： 随着全球城市化进程的加速，交通拥堵、交通事故、环境污染等问题日益突出，对交通系统的智能化、绿色化提出了迫切需求。本研究旨在探讨在智慧交通背景下，自感知和自愈合路面技术的发展现状、应用及未来趋势。随着城市化进程的加速，交通拥堵、安全和环境问题日益突出，智慧交通作为解决这些问题的重要手段，其核心是信息的获取、处理和应用。自感知路面与自愈合路面作为智慧交通的重要组成部分，为实现智能、高效、安全的交通运输体系提供了新的技术路径。

关 键 词： 智慧交通；自感知；自愈合路面；发展趋势

Research on the Development Trend of Self-sensing and Self-healing Road Surfaces in the Context of Smart Transportation

Gao Nan, Liu Zhuoqun, Zhang Jinliang, Zhang Mingwei, Ju Da
Chengxian College, Southeast University, Nanjing, Jiangsu 210088

Abstract： With the acceleration of global urbanization, issues such as traffic congestion, traffic accidents, and environmental pollution have become increasingly prominent, posing urgent demands for the intelligence and greening of transportation systems. This study aims to explore the current development status, applications, and future trends of self-sensing and self-healing road surface technologies in the context of smart transportation. As urbanization accelerates, traffic congestion, safety, and environmental issues are becoming increasingly prominent. Smart transportation, as an important means of addressing these issues, has information acquisition, processing, and application as its core. Self-sensing and self-healing road surfaces, as crucial components of smart transportation, provide new technical pathways for achieving an intelligent, efficient, and safe transportation system.

Keywords： smart transportation; self-sensing; self-healing road surfaces; development trends

引言

（一）研究背景

1. 智慧交通的快速发展

近年来，随着物联网、大数据、人工智能等技术的迅速发展，智慧交通已成为全球交通行业的发展趋势。智慧交通系统通过集成先进的信息和通信技术，实现了对交通流的实时监测、预测与优化，极大地提高了交通效率，减少了交通事故，同时也为环境保护和可持续发展提供了新的解决方案。在这一背景下，路面作为交通基础设施的重要组成部分，其智能化升级成为智慧交通发展的重要一环^[1]。

2. 路面损坏和维护成本的挑战

传统路面材料和设计在面对日益增长的交通流量和复杂多变的环境条件时，面临着频繁损坏、维护成本高昂的问题。路面损坏不仅影响行车安全和舒适度，还增加了交通拥堵的可能性，对环境和经济造成负面影响^[2]。因此，探索新型路面材料和技术，提高路面的耐久性和自修复能力，成为智慧交通领域的重要研究方向。

将自愈合材料与智能应用传感器结合，开发设计路面损伤传感器和修复触发元件，实现智能路面结构与自愈合材料一体化，使路面具备自感知、自修复的能力。

通过实时监测路面状态和自动修复损伤，减少因路面问题导致的交通事故。自感知路面能够提供实时交通信息，帮助交通管理系统做出更快速和准确的决策。自愈合路面减少了人工维护的需求，降低了长期的维护成本^[3]。

基金项目：东南大学成贤学院青年教师科研发展基金（项目编号：z0032）。

作者简介：

高楠（2002.11-），男，汉族，山西大同人，东南大学成贤学院 土木与交通工程学院，本科，研究方向为道路工程；
刘卓群（2001.12-），女，汉族，山西孝义人，东南大学成贤学院 土木与交通工程学院，本科，研究方向为道路工程；
张金梁（2003.06-），男，汉族，陕西安康人，东南大学成贤学院 土木与交通工程学院，本科，研究方向为道路工程；
张茗崴（2003.11-），男，回族，江苏徐州人，东南大学成贤学院 土木与交通工程学院，本科，研究方向为道路工程；
鞠达（1988.10-），女，汉族，山东聊城人，东南大学成贤学院 土木与交通工程学院，硕士，讲师，从事工程造价、道路工程研究。

一、智慧交通与自感知路面

（一）智慧交通概述

1. 技术发展现状

智慧交通技术的发展正处于快速发展的阶段，云计算、大数据、人工智能（AI）、物联网（IoT）等前沿技术的应用^[4]，正深刻地改变着交通行业的面貌。这些技术不仅加速了经济增长，促进了社会发展，还在双碳目标的引领下，推动智慧交通体系的构建，形成了一个日益成熟的产业链条。

2. 智能交通系统特点

智能交通系统（ITS）是智慧交通的前身，它将人、车、路综合起来考虑，运用信息技术、数据通信传输技术、电子传感技术等，有效集成并应用于交通运输管理体系中，提高了交通运输效率，保障了交通安全，改善了交通环境，提高了能源利用效率。智能交通系统的“智能”特征是其区别于传统交通运输系统的根本^[5]。

智慧交通系统的组成包括应用子系统（如交通信息采集系统、信号灯控制系统等）、交通信息服务中心、指挥控制中心等，这些子系统和中心通过信息技术实现对交通网络的监控、优化和管理，提高交通系统的运行效率和安全性^[6]。

（二）自感知路面概念

1. 定义和原理

自感知路面是一种新型路面结构，它能够自主感知路面的物理和环境条件，包括但不限于路面的磨损程度、湿度、温度、裂缝、冰冻状态等，从而实时监测路面的健康状况和安全性能。这种技术的应用，旨在提升道路维护的效率、交通安全以及交通管理的智能化水平。

自感知路面是一种集成了智能感知技术的路面系统，能够实时监测和反馈路面状态。传感器的种类和数量根据路面的具体需求和监测目的而定。在一些先进的自感知路面设计中，还采用了智能材料，如导电聚合物、形状记忆合金、纳米复合材料，是材料科学领域的重要突破，它们能够感知外部环境变化并做出响应，具有自适应性、记忆性、传感性和驱动性等智能特性^[7]。

2. 相关技术与应用

自感知路面技术涉及多种传感器技术，如压力传感器、加速度传感器、声音传感器等，以及无线通信技术。

自感知路面技术的发展还包括了路面嵌入式传感器的自供电技术，以及电动汽车动态无线充电技术，这些技术有助于实现车辆在行驶过程中的自充电功能，提高电动汽车的续航能力。

二、自愈合路面技术

（一）自愈合路面原理

自愈合路面技术的核心在于使用具有自修复能力的材料，这些材料能够在路面出现裂缝或损伤后，通过内部机制自动修复，从而恢复路面的完整性和功能。材料特点和机制主要包括：

微胶囊技术在路面材料中嵌入微胶囊，内含修复剂如聚合物、环氧树脂等，当路面受损时，微胶囊破裂，释放修复剂，与裂缝壁面接触后硬化，修复裂缝。形状记忆合金利用形状记忆合金的特性，当路面温度变化或受到应力时，合金恢复原始形状，促使裂缝闭合。自愈合聚合物某些聚合物材料在受到损伤后，其分子链可以

重新排列，形成新的化学键，自动修复损伤。生物矿化利用微生物在特定条件下产生碳酸钙等矿物，填充裂缝，实现自愈合^[8]。

自愈合路面的工作原理通常包括损伤感知、修复剂释放、损伤修复三个阶段。当路面受到外力作用，出现裂缝时，裂缝会延伸到含有微胶囊的区域。裂缝的形成导致微胶囊破裂，修复剂被释放出来。释放的修复剂在裂缝中扩散，与空气或裂缝壁面的水分、氧气等发生反应，形成固体物质，填充裂缝，完成修复过程。

（二）自愈合路面分类

表1 自愈合路面的分类及案例表

自愈合技术分类	技术原理	案例	应用环境	优势
微胶囊自愈合	封装修复剂于微胶囊中，裂缝形成时胶囊破裂，释放修复剂。	荷兰代尔夫特理工大学微胶囊混凝土项目	高应力道路、桥梁	快速修复、成本效益高
生物自愈合	利用微生物或其代谢产物在裂缝处形成沉积。	英国自愈合混凝土项目	低应力环境，如人行道、非主干道	环境友好、可持续
纳米技术自愈合	添加纳米材料，如碳纳米管、石墨烯，提高机械性能和自修复能力。	中国科学院碳纳米管自愈合沥青项目	高性能要求道路	高强度、高韧性
压电材料自愈合	利用压电材料在受力时产生电荷，促进修复过程。	概念阶段，未有广泛应用案例	智能道路监测与修复	能量自给、智能响应
热塑性聚合物自愈合	热塑性聚合物在加热后流动填充裂缝，冷却后恢复性能。	美国德克萨斯州立大学热塑性自愈合沥青项目	温度波动大区域	良好的热可逆性

技术原理微胶囊自愈合：通过在混凝土或沥青中添加含有修复剂的微胶囊，当路面出现裂缝时，微胶囊破裂释放修复剂，促进裂缝的愈合。

生物自愈合：利用微生物或其代谢产物在裂缝处形成沉积，例如某些细菌可以产生碳酸钙，用于填充和修复混凝土中的裂缝。

纳米技术自愈合：在路面材料中加入纳米材料，如碳纳米管、石墨烯等，这些材料可以提高路面的强度和韧性，同时在损伤后促进自我修复。

压电材料自愈合：通过在路面中嵌入压电材料，利用其在受力时产生的电荷，为激活或促进修复过程提供能量。

热塑性聚合物自愈合：热塑性聚合物具有良好的热可逆性，可以在加热后重新流动并填充裂缝，冷却后恢复其原有性能。

微胶囊自愈合：适用于高应力道路和桥梁，能够快速修复裂缝，提高成本效益。

生物自愈合：环境友好，适用于低应力环境，如人行道和非主干道，促进可持续发展。

纳米技术自愈合：适用于对路面性能有高要求的环境，如高性能要求道路，提供高强度和高韧性。

压电材料自愈合：概念阶段，未有广泛应用，但未来可能适用于智能道路监测与修复，实现能量自给和智能响应。

热塑性聚合物自愈合：适用于温度波动大的区域，如季节变化明显的地区，具有良好的热可逆性。

三、智慧交通背景下自感知和自愈合路面的应用

（一）应用场景

1. 智慧城市中的自感知路面

在智慧城市的发展框架下，自感知路面作为智慧交通的重要

组成部分，正逐步从概念走向实际应用，通过集成传感器网络 and 智能材料，实时监测路面状况，为城市交通管理、维护和安全提供数据支持。

在中国深圳，自感知路面通过在关键路段部署传感器网络，实时监测路面状况，不仅用于优化交通信号控制，减少交通拥堵，还能够预测和预防路面损坏，实现预防性维护，提高道路使用寿命和行车安全^[9]。

2. 智能交通系统中的自愈合路面

自愈合路面技术作为智能交通系统中的一个重要组成部分，正逐步在实际中得到应用，通过材料科学的创新，实现路面损伤的自动修复，从而延长道路寿命，降低维护成本，提升交通安全和效率。

自愈合路面技术在智能交通系统中的应用，标志着道路维护和管理进入了一个新的时代。通过材料科学的创新，这些技术能够自动检测并修复路面损伤，延长道路寿命，降低维护成本，提升交通安全和效率。随着技术的不断进步和应用的深入，自愈合路面将成为构建智能、绿色、安全交通体系的重要组成部分。

（二）优势与挑战

1. 优势分析

自愈合路面减少了因路面损坏导致的车辆颠簸和燃油消耗，降低了交通排放，有助于减少温室气体排放，对抗气候变化。自感知路面的环境监测功能，如监测空气质量、温度、湿度等，有助于城市空气质量的管理和环保政策的制定。自感知与自愈合路面技术的融合应用，不仅解决了传统道路维护和管理中的诸多问题，还为智慧城市的可持续发展和智能化建设提供了新的思路 and 解决方案，是智慧城市基础设施建设的重要组成部分^[10]。

2. 技术挑战及解决方案

传感设备在恶劣的路面环境下需要保持稳定工作，提高传感器的耐久性和数据传输的可靠性是关键。解决方案包括使用更先进的封装技术，增强传感器的防护，以及开发更稳定的无线传输协议。自感知和自愈合路面技术的集成需要跨学科合作，实现不同技术之间的兼容和标准化，以促进技术的广泛应用。通过技术创新、跨学科合作以及政策支持，可以逐步解决技术难题，推动自感知和自愈合路面技术在智慧交通领域的广泛应用，为构建更安全、高效、绿色的交通体系做出贡献。

四、发展趋势与展望

（一）未来发展趋势

1. 技术创新和应用前景

在智慧交通的大背景下，自感知路面和自愈合路面作为智能基础设施的关键组成部分，正引领着道路工程领域的技术革命。这些创新不仅提高了道路的安全性、耐久性和维护效率，还为实现更加智能、绿色和可持续的交通系统提供了可能。

自感知和自愈合路面在智慧交通背景下的应用，不仅推动了道路工程领域的技术创新，还为构建更加智能、安全、绿色和可持续的交通系统提供了坚实的基础。随着相关技术的不断成熟和应用场景的拓展，自感知和自愈合路面的未来发展前景十分广阔。

2. 行业发展方向和挑战

随着技术的多样化，标准化和不同系统之间的兼容性将成为行业发展的关键，需要建立统一的技术标准和数据接口。高成本是限制自感知和自愈合路面技术广泛应用的障碍，如何在提高技术性能的同时降低成本，实现长期的经济效益，是行业面临的挑战。技术的推广需要相关政策和法规的支持，包括对新技术的认证、数据安全与隐私保护等方面的法规制定。通过将自感知和自愈合路面技术与智能交通信号控制、自动驾驶技术等结合，构建一体化的智慧路网系统，实现交通流的优化，提高道路通行效率，减少交通事故。自感知和自愈合路面技术的应用，有助于减少道路维护的能源消耗和碳排放，促进交通系统的绿色转型，符合可持续发展的目标。

（二）展望

1. 智慧交通与自感知自愈合路面的融合发展

智慧交通系统将与自感知自愈合路面技术深度融合，构建更加智能化、可持续的交通基础设施。通过实时监测和智能修复，减少道路维护的频率和成本，提升交通效率，降低环境污染，为公众提供更加安全、便捷的出行体验。

2. 未来研究方向与重点

研究新型智能材料，提升自愈合效率和耐久性，降低修复成本。利用大数据和 AI 技术，实现对路面健康状况的精准预测，优化交通管理策略。推动不同技术的集成与标准化，构建统一的智慧交通生态系统，促进技术的广泛应用和可持续发展。随着技术的不断进步和应用的深入，自感知和自愈合路面将在智慧交通领域发挥越来越重要的作用，为建设智能、绿色、安全的城市交通系统贡献力量。

五、结论

自感知和自愈合路面技术在智慧交通中的应用，标志着交通基础设施建设进入了一个全新的阶段。通过实时监测路面状况，智能预警潜在问题，以及自动修复损伤，这些技术不仅显著提升了道路的维护效率和安全性，还为智能交通系统提供了宝贵的数据支持，优化了交通管理，减少了交通拥堵和环境污染。在智慧城市和智慧交通的发展背景下，自感知和自愈合路面技术的重要性日益凸显，它们不仅是提升道路耐久性和交通效率的关键，也是实现可持续交通和智能城市目标的重要组成部分。

参考文献

- [1] 耿显庆. 藏南地区沥青自愈合性能及其衰变抑制技术研究 [D]. 重庆交通大学, 2023.
- [2] 姜添强. 微胶囊型自愈合沥青制备与性能研究 [D]. 重庆交通大学, 2023.
- [3] 张伟. 碳纤维沥青混凝土感应加热自愈合行为研究 [D]. 重庆交通大学, 2022.
- [4] 张苏龙, 李华, 王捷. 沥青路面裂缝自愈合微胶囊关键性能试验研究 [J]. 交通世界, 2021, (33): 70-72.
- [5] 郇然. 掺导电材料的 SMA 感应热自愈合特性及其路面抗滑特性早期演变 [D]. 重庆交通大学, 2021.
- [6] 徐衍亮, 朱宏亮, 赵文政, 陈广辉. 自愈合沥青路面施工技术研究 [J]. 交通世界, 2021, (09): 90-91+97.
- [7] 徐锐光. 钠盐侵蚀对沥青自愈合与疲劳特性的影响研究 [D]. 广西大学, 2020.
- [8] 李利强, 任俊颖, 余和德, 等. 导电作用下碳纳米管-碳纤维沥青混合料的自愈合研究 [J]. 功能材料, 2024, 55(1): 1151-1157. DOI: 10.3969/j.issn.1001-9731.2024.01.020.
- [9] 耿显庆. 藏南地区沥青自愈合性能及其衰变抑制技术研究 [D]. 重庆交通大学, 2023.
- [10] 张翼, 谢政专, 韦宗, 等. 微胶囊改性沥青及混合料自愈合行为分析 [J]. 当代化工, 2023, 52(12): 2819-2824.

从综合交通换乘视角分析现代化航空枢纽的建设

宋喆

大连空港建设发展有限公司, 辽宁 大连 116014

摘要： 为提高综合交通换乘水平，促进航空枢纽的高质量发展，本文从航空枢纽换乘的基础设施、运行组织、管理政策、智能化展望四个方面，分析了目前换乘过程中存在的问题，并提出了相关优化建议。

关键词： 航空枢纽；换乘；基础设施；运行组织；管理；智能化

Analysis of the Construction of Modern Aviation Hubs from the Perspective of Integrated Transportation Transfer

Song Zhe

Dalian Airport Construction and Development Co., Ltd. Dalian, Liaoning 116014

Abstract： To improve the level of integrated transportation transfer and promote the high-quality development of aviation hubs, this paper analyzes the current problems in the transfer process from four aspects: infrastructure, operation organization, management policies, and intelligent prospects of aviation hub transfers. Relevant optimization suggestions are also proposed.

Keywords： aviation hub; transfer; infrastructure; operation organization; management; intelligence

引言

2019年9月，中共中央、国务院正式印发《交通强国建设纲要》，要求各地区各部门结合实际认真贯彻落实。纲要中提出借助京津冀、长三角、粤港澳大湾区等世界级城市群的强大辐射力，着手构建具备全球领先水平的国际海港、航空中心及邮政快递核心节点。同时，推动建立一系列覆盖全国、服务区域的综合交通枢纽，以一体化的规划与设计加速这一进程。随着民航战略性和引领性地位不断提升，机场在综合交通枢纽中的核心地位不断凸显^[1]。打造并形成具有国际和地区重要影响力的大型枢纽机场，是我国民航强国发展的必然需求，也是加快实现交通强国建设的基本任务。

随着综合交通网络的不断发展，旅客一次出行往往不止依赖一种交通方式，而是融合多种方式，接续换乘构成出行链。而枢纽就是出行链中不同交通方式间接转换的关键环节。在发展综合交通运输的大背景下，以民航为立足点，整合衔接多种交通运输方式，形成一体化的综合交通枢纽体系。航空运输具有快速、高效益和长距离运输的特点^[2]。航空枢纽是创造连接的城市综合体、循环交汇点^[3]。航空枢纽具有中转换乘、运输组织与管理、信息流通和辅助服务等多种功能，但在枢纽范畴内，各交通方式间的换乘是其核心功能。因此，航空枢纽的建设也应该围绕做好换乘这一核心目标来开展。

本文围绕机场综合交通枢纽换乘，从以下四方面进行分析。

一、航空枢纽换乘的基础设施

在我国综合交通快速发展的大背景下，建设现代化航空枢纽的基础是丰富的多方式交通基础设施。在枢纽中集成城市轨道交通、高铁、城际铁路及多种其他交通服务设施，为旅客形成换乘条件。基础设施建设对综合交通换乘的作用渗透在由综合交通网络规划、方案创意、工程设计到室内标识的全过程中。

（一）综合交通网络方案

通过开展立体交通网规划，发挥各交通方式的优势。以高铁、城际铁路、高速公路等地面交通方式为航空集散客源，与枢

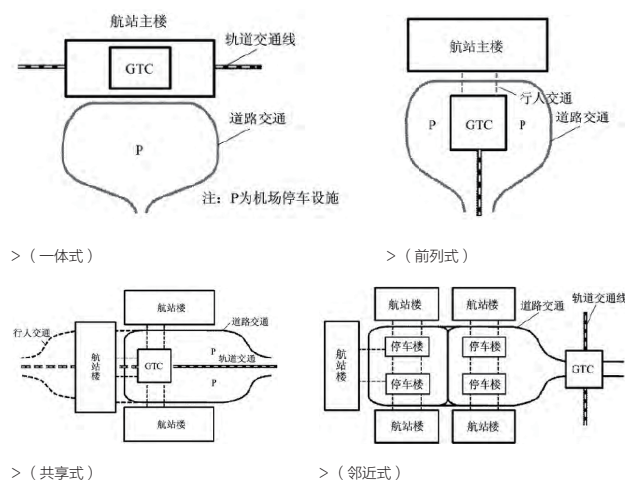
纽机场形成高效中转，使旅客在不同网络之间转换，显著提高出行效率。

在线网规划阶段应注重地面网络的对外辐射能力和与航空枢纽的衔接，尽量创造便利的换乘条件。打造以枢纽机场为中心的综合交通枢纽，围绕机场这一关键节点，全力推动城际铁路、市郊铁路、城市轨道交通以及高速铁路的接入工作，确保机场与各类轨道交通的无缝衔接。在机场周边同步规划建设城市公共交通设施和长途汽车站等换乘设施，为旅客提供便捷、多样的换乘选择。与此同时，还应加快高等级公路的建设步伐，以进一步提升机场的通达性。

（二）枢纽设施布局

为了确保各类交通方式之间能够实现“无缝对接”，在枢纽的内部规划中，需要对各种交通设施的布局进行统一且精细的设计。这样做的目的是要最大限度地减少旅客在换乘过程中的中转次数，同时缩短他们的换乘距离，从而让旅客进出航站区的流程变得更加便捷和高效。特别是对于航空与高铁之间的换乘旅客，可以考虑采用竖向叠加或者紧邻布置的方式，将航空与高铁的设施尽可能地靠近，这样可以大幅度地缩短两者之间的换乘距离，为旅客提供更加顺畅的出行体验。在换乘视角下，重点要考虑航站楼与轨道站的布局。

轨道站的布局形态具有多样化的特点。其中，“一体式”设计巧妙地将轨道交通线路直接融入航站楼建筑内部，实现了与航站楼主体的完美融合与统一规划；“前列式”布局则是将机场的地面交通中心置于主体航站楼的正前方，并将轨道线路引入该中心的车站内，为旅客提供了便捷的换乘体验。当航站区内设有两个或更多航站楼时，“共享式”布局便成了一种理想的选择。这种布局会根据航站区的空间特点，在陆侧内部区域构建一个统一的机场地面交通中心，使得各个航站楼能够通过多种方式实现资源共享。而“邻近式”布局则呈现出一种“过而不入”的特点。在这种模式下，轨道交通线路虽然紧邻机场，但并不直接进入航站区内部。机场的地面交通中心被巧妙地布置在航站区的外围，供轨道交通停靠。同时，通过机场自动旅客输送系统（APM）的助力，机场地面交通中心与各航站楼之间实现了循环串联，为旅客的出行提供了极大的便利。



（三）换乘设施

航空枢纽中的换乘设施，其设计宗旨在于满足乘客的换乘需求，旨在有效地引导并协助乘客顺利完成不同交通方式的转换过程。航空枢纽换乘设施的组成主要分为连接类设施、排队类设施和服务类设施三大类。其中连接类设施主要包括换乘通道、电梯等，排队类设施主要包括楼前车道边、出租车上客区等，服务类设施主要包括停车场、载运工具等。

换乘服务设施条件是影响联运换乘节点换乘水平的基础性因素，良好的换乘服务设施有利于减少旅客换乘时间，提高换乘便捷性和舒适性^[4]。无论何种换乘设施，控制旅客的行走距离，缩短

换乘时间都是基本要求。对连接类设施应采用较高的服务水平，通行能力留有富余，并尽量减少换层。如换层不可避免，也应一次提升到位，避免旅客频繁更换连接设施。排队类设施由于旅客的到达和个体服务时间具有随机性，因此需要对设施的运行秩序进行有效组织，提高资源利用率，减少排队。服务类设施则要梳理在枢纽内的运行流程，确保车辆运行顺畅，减少不必要的旅客等待。

（四）枢纽标识

航空枢纽涉及多种交通方式间的换乘时，由于各交通方式的标识系统都遵循着各自的行业规范，标准体系之间存在标志、标识的规范性、一致性不统一的现象，对旅客换乘引导带来不便。为旅客提供正确传递导引信息，提高换乘效率，有必要对航空枢纽内的标识文字、图案、色彩、设置方式等进行统一。通过对设置点位的科学设计，为使用者提供在此位置最需要了解的信息，起到主动提供信息的功能，并注意信息的连贯、适度和无歧义，来满足旅客在行动各个阶段对信息确认的需求。

为了更好的服务换乘，可以为跨交通方式换乘的旅客设置专用引导标识，乃至设置换乘柜台由专人接待指引，使换乘过程的引导更加简单顺畅。

二、航空枢纽换乘的运行组织

随着全球化的不断深入和交通网络的日益完善，空铁联运作为一种创新的多式联运模式，已经成为现代交通运输系统的重要组成部分^[5]。航空枢纽的硬件设施仅是机场实现高效换乘的基础条件。对于铁路与民航的联运换乘，是否能取得好的效果，对空铁联运交通服务的运行组织是更重要的因素。

（一）联运的时刻衔接

旅客联运是整合多种运输方式的比较优势，支撑经济高效流通的运输业高级形态^[6]。展望未来，将空铁联运的干线中枢辐射模式与支线航班、高铁的点对点服务相结合，被视为我国构建综合立体交通体系的优选策略。然而，当前国内众多机场虽已整合了轨道交通设施，但在航班与高铁列车的时刻表编排上却存在脱节现象，导致空铁联运的旅客在规划行程时面临困难，难以制定出顺畅的换乘方案，进而造成了空铁联运换乘时间的不必要延长。

为促进空铁联运的顺畅进行，航空公司与铁路运营部门应当开展密切且有效的协商与合作。在编制航空与铁路的时刻表时，双方应实现信息的互通与共享，通过协同工作来优化时刻表，确保其能够贴合空铁联运旅客的实际出行需求。

此外，双方还需努力使停站列车与航班的到达时间实现有效衔接，从而最大化地利用时刻资源，并在此基础上对航线运营结构进行积极的调整与优化，以确保其能够持续、健康地发展。

（二）联运的通程联票

真正意义上的联运服务应提供整个出行链全程的一票制，即从旅客角度只需要统一的一次售票检票，统一服务，统一结算。这种模式可以提供最快的出行时间和最大的换乘便利性，但需要高度的协调和配合，同时需要解决行李运输和安全等问题^[7]。

在当前的互联网与大数据技术背景下，实现空铁联运的通程联票已不存在技术上的阻碍。因此，应积极推动航空公司、机场、铁路以及空铁枢纽等相关部门之间的紧密合作，共同构建一个一体化的票务系统。这一系统的建立将极大地简化旅客的出行计划及票务处理流程，进而显著提升旅客的出行效率。通过空铁双方售票系统的深度对接，铁路车次与航班信息数据共享，代码共享，二者在面向旅客时按照同一种交通方式进行售票管理，真正实现“一站式”服务、“一票到底”的运输，让旅客的“飞机+铁路”组合出行更加方便与快捷。

（三）联运的行李服务

行李服务作为联运中的一项标志性特色服务，在我国航空枢纽中的实践尚显不足，而全球范围内的航空枢纽已在此方面探索出了三种行之有效的模式：首先，是远程托运模式，该模式允许旅客在远离机场的铁路车站完成出发前的值机手续，并享受将行李直接托运至机场的便捷服务。其次，是邻近托运模式，这一模式依托于空铁一体化的综合交通枢纽，旅客可以在火车站内轻松完成值机与行李托运，享受高效的一站式服务。最后，是行李直达模式，该模式为空铁联程旅客提供行李直接送达最终目的地火车站的服务，极大地提升了旅客的出行体验。作为一种空地联运的增值服务，行李托运对旅客具有一定的吸引力。但由于技术水平和运行流程等限制因素，行李服务会要求更长的截柜时间，影响了旅客的选择意愿。但调查显示50岁以上旅客更加注重出行的便捷性^[8]。

（四）联运换乘的流程贯通

枢纽运营要加强提升服务质量的意识，充分利用新技术简化换乘流程，实现智能化自助换乘。在枢纽内部，换乘环节的信息发布是旅客最为关注的服务要点。为了提升旅客体验，航空枢纽必须强化航班、列车以及换乘信息的发布工作，确保所发布信息的准确无误与实时更新。同时，还应拓宽信息发布渠道，将安检排队时间、拥挤状况、航班延误等重要信息及时传达给旅客，为换乘旅客提供高度可靠、时效性强且形式多样的信息服务。

通过运营管理，推动航班准点率、航班舒适度等关键指标提升，提高航空运输服务质量和顾客满意度^[9]。

三、航空枢纽换乘的管理政策

（一）各交通方式的安检互认

在实际运行中，枢纽集成的多种交通方式均有各自的安检要求和标准，分别配置独立的安检队伍，并对自身系统的运行安全各负其责。在各交通方式的换乘界面上降低了效率，旅客的换乘体验变差，也造成一定的安检资源浪费。但安检互认并不能以牺牲安检质量为代价。首先需要各系统协商研究，确定各方均可接受的统一安检标准；通过科学设计进出站通道和安检关口，可以实现旅客在各交通枢纽之间的一站式安检。这种设计能够避免旅客不必要的出站和进站，实现旅客在站与站之间的封闭环境内流动，从而简化安检流程，提高通行效率。

（二）行程延误的风险保障

通过通程联票，将包括换乘在内的完整出行过程统一向旅客

出售。一方面运行单位可以依靠自己的运营能力确保前后行程的衔接；另一方面第一程的延误风险无需旅客承担，一旦发生意外情况也可以提供其他的出行方案，免除旅客后顾之忧，有利于推动联运业务开展。但成型的联运产品仍是有局限性的，部分旅客还是会分别购买前后两程的票，自发进行换乘中转。则第一程的延误有可能影响第二程的正常出行，这个风险需要旅客自行承担。铁路和航空客票在“退改签”服务方面的限制条件差异较大。以全价票为例，机票客票有效期一年，其“退改签”限制很小，而火车票的限制差异较大。因此在客票改签处理方面，也需要协商重新制定相应的标准。

（三）构建利益共同体

开展联运合作时，地面交通方对空地联运的参与动力不足。因此，多式联运业务发展必须考虑的核心问题是如何处理好联运各方的需求关系，实现运营企业的多赢。这意味着在多式联运过程中，需要平衡不同运输方式、不同参与方的利益，确保整个物流系统的高效运行和可持续发展。推动不同运输方式的标准统一，减少转换和调整的频率，提高运输效率。提升信息化服务协调水平，通过先进的信息技术，实现不同运输方式和运输企业之间的信息共享和无缝对接，减少信息传递的延迟和不准确。加强基础设施建设，加大对铁路和公路等基础设施的投资，提升多式联运的物理基础。

四、航空枢纽换乘的智能化展望

智能化、数据化是民航未来发展的方向。民航局在新型基础设施建设《五年行动方案》中就指出，要以“数字感知、数据决策、精益管理、精心服务”为导向，力争到2025年行业数字化转型取得阶段性成果。这也是提升民航核心竞争力的重要举措。通过新基建，航空枢纽的换乘服务也将得到进一步优化。

（一）基于大数据的时刻表优化

依托大数据分析技术，可以深入洞察旅客的出行需求，进而对航班、列车及巴士的时刻表进行优化调整，以提供更加多元化、更趋完善的产品与服务。通过实现铁路车次与航班信息的全面数据共享，从出行距离、路线规划、时间安排到费用预算等多个维度出发，运用先进的大数据算法，精心打造出层次分明、满足不同需求的产品组合。

此外，在联程购票服务的基础上，进一步提供行李托运、中转协助以及免费行李寄存等一系列综合交通服务。同时，设立安检专属通道（或实行免二次安检政策），以有效缩短旅客的地面等待时间，显著提升旅客中转的便捷性与舒适度，从而有效激发潜在的出行需求。

（二）行程转换的无感验证

借助机场数字平台，融合AI、大数据和视频云技术，可以无干扰地进行身份识别确认。旅客无需使用身份证件，也无需停下来进行人脸或指纹识别，直接在自然行进中即享受到了机场“全流程，全环节”的服务，在后台静默完成值机、托运、安检、定位和登机等环节。既提升了整体的安全保障，又节约旅客的换乘

时间，更是实现了“无感”的换乘体验。

（三）全链条个性化服务

智能化、数据化持续深入发展，最终将为旅客提供个性化定制的全出行链精确引导。基于旅客画像和出行需求，综合考虑旅客的日常选择偏好、出发地位置、道路沿途路况、公共交通班次时刻、航空出行使用的机位、航班延误情况等各种信息，提供出行全链条上每一环的选择建议，达成出行时间短、费用低、舒适性高的最终目标。

建设包含出行信息查询、实时需求感知、动态方案发布、联程运营调度等功能的出行服务系统，覆盖旅客出行服务全周期，通过智能化引导设施和移动端应用为旅客提供更加便捷和个性化服务^[10]。

在这种全新的出行模式下，旅客按照引导而行，在枢纽内的换乘感受被最大程度弱化，实现“零感知”。

五、小结

航空枢纽是综合立体交通网络建设的重要组成部分，也是国家双循环经济发展的组成部分。空铁联运通过将航空、高铁、城际、城市轨道、公交等多种交通方式整合在一起，形成了更加便捷、高效的交通运输系统；从基础设施投入、运行组织优化、管理政策创新、智能化数字化等方面着手，提高枢纽的综合交通换乘水平，促进航空枢纽的高质量发展。

参考文献

[1] 张超. 航空枢纽网约车全链条运营管理的探索与实践——以深圳机场为例 [J]. 空运商务. 2024 (08): 50-55.
[2] 韩悦然. 国际航空网络的空间结构特征 [J]. 科技和产业. 2024, 24 (06): 160-172.
[3] 张跃. 加快打造世界一流航空枢纽的对策研究 [J]. 民航管理. 2024 (01): 15-19.
[4] 刘佳宝. 空铁联运换乘节点布局方案优化设计 [D]. 北京交通大学, 2022.
[5] 李宇, 支蓓, 房健, 崔甜, 谢若晨, 金永波, 刘铭, 冯晨曦. 空铁联运模式下的旅客便捷服务创新研究 [J]. 中国信息化. 2024 (08): 43-45.
[6] 肖玉兰, 王炜炜, 汪健雄, 翁渥元, 王雪峰. 空铁联运合作策略优化研究 [J]. 综合运输. 2023, 45 (05): 33-38+48.
[7] 殷伟. 空铁联运服务模式研究 [J]. 运输经理世界. 2023 (20): 169-171.
[8] 李兴华, 李思雨, 成诚, 王涓. 空铁一体枢纽联运服务需求及偏好研究 [J]. 综合运输, 2020, 42(06): 8-12.
[9] 顾建飞. 空铁联运促民航高质量发展 [J]. 大飞机, 2020(10): 48-53.
[10] 郭钰, 黄世玉, 赵彦涛, 林嘉隆. 站城融合背景下智慧枢纽换乘引导需求研究 [J]. 城市建筑. 2023, 20 (16): 88-90+98.