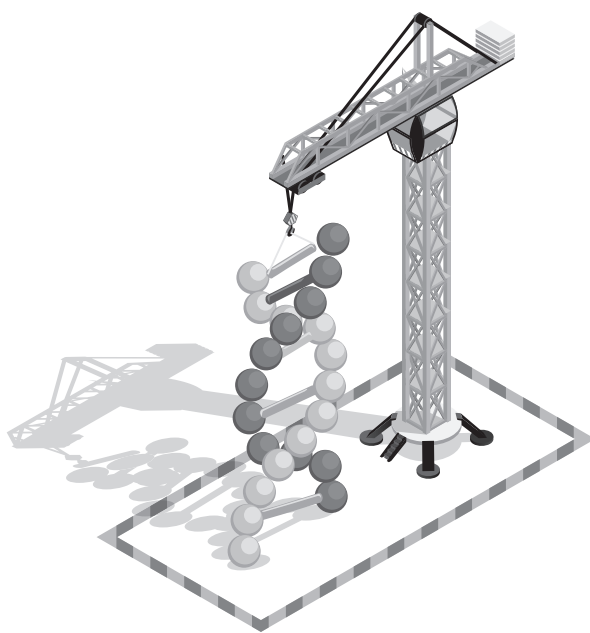


工程 研究与应用

Engineering Research and Application



ART AND DESIGN PRESS INC.

(626 810 4480)

Level 1

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5期 2024年5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 | 造价控制视角下 EPC 项目招标投标管理问题的探析
Analysis Of Epc Project Bidding Management From The Perspective Of Cost Control | 刘柱, 林宝平
Liu Zhu, Lin Baoping |
| 008 | 施工现场安全管理的创新策略: 基于先进技术的应用
Innovative Strategy Of Construction Site Safety Management: Based On The Application Of Advanced Technology | 陈怀睿
Chen Huaigui |
| 011 | 防渗漏施工工艺应用于高校基建
Anti-Leakage Construction Technology Is Applied To University Infrastructure | 许圣泉
Xu Shengquan |
| 015 | PE 管道在高压条件下的安装优化策略探讨
Exploration Of Installation Optimization Strategies For Pe Pipelines Under High Pressure Conditions | 杨天宇, 杨昆
Yang Tianyu, Yang Kun |
| 018 | 片状 Ni/NiO@C 的合成及储锂性能研究
Study On The Synthesis And Lithium Storage Performance Of Sheet Ni / NiO@C | 桑一卜, 张辉, 程志远, 易宗慧
Sang Yibu, Zhang Hui, Cheng Zhiyuan, Yi Zonghui* |
| 021 | 调控一体化模式下集控操作防误体系建设
Construction Of Anti-Error System Of Centralized Control Operation Under Integrated Control Mode | 罗程
Luo Cheng |
| 024 | 脱硫系统集控运行中的技术难点与解决对策
Technical Difficulties And Solutions In Centralized Control Operation Of Desulfurization Systems | 唐乔峰
Tang Qiaofeng |
| 027 | 绿色装配式护坡 GRF 板材料特性与施工工艺优化研究
Research On Material Characteristics And Construction Process Optimization Of Prefabricated Slope Protection GRF Board | 姜鹏霄, 王昊, 路飞, 王海涛
Jiang Pengxiao, Wang Hao, Lu Fei, Wang Haitao |
| 030 | 地质灾风险评估在矿山地区中的应用
Application Of Geological Disaster Risk Assessment In Mining Areas | 李扬
Li Yang |
| 033 | 数字化与科研生产管理融合的路径研究
Research On The Path Of Integration Of Digitization And Scientific Research And Production Management | 赵庆斌
Zhao Qingbin |
| 036 | 特厚煤层综放工作面瓦斯高效抽采技术研究
Study On High Efficiency Gas Extraction Technology Of Fully Mechanized Caving Face Of Super Thick Coal Seam | 李锋, 梅洋洋, 张玉明, 阮淼
Li Feng, Mei Yangyang, Zhang Yuming, Ruan Miao |
| 040 | 市政工程造价管理优化策略与应用研究
Research on Optimization Strategy and Application of Cost Management in Municipal Engineering | 赵玉艳
Zhao Yuyan |
| 043 | 差动轮系在桥式抓斗卸船机中的应用
Application Of Differential Gear System in Bridge Grab Ship Unloader | 周刚
Zhou Gang |
| 047 | 油基泥浆水平井堵漏水泥浆体系研究与应用
Research and Application of Oil based Mud System for Blocking Water Leakage in Horizontal Wells | 李磊
Li Lei |
| 050 | 煤矿运输系统自动化改造对作业环境的影响
The Impact Of Automation Transformation Of Coal Mine Transportation System On The Working Environment | 冯春雷
Feng Chunlei |
| 053 | 水利工程中降雨径流模拟与洪水预警系统研究
Research on Rainfall Runoff Simulation and Flood Warning System in Water Conservancy Engineering | 张子夏
Zhang Zixia |

056	锚杆支护技术在矿井施工巷道掘进中的应用分析 Application Analysis of Anchor Rod Support Technology in Mine Construction Tunnel Excavation	余杭远 Yu Hangyuan
-----	---	--------------------

建筑科学 | ARCHITECTURAL SCIENCE

059	基于 ALC 墙板填充墙裂缝的成因及防裂关键技术 The Causes And Key Crack Prevention Technologies Of Filling Wall Cracks Based On ALC Wall Panels	肖斌，章国超，王成虎，王东明，解顺 Xiao Bin, Zhang Guochao, Wang Chenghu, Wang Dongming, Xie Shun
062	“互联网 +” 时代建筑工程管理信息化建设 Construction Project Management Information Construction In The “Internet +” Era	杜金鉴 Du Jinjian
065	论建筑工程管理的现状分析及控制措施 Current Situation Analysis And Control Measures Of Construction Project Management	刘凤玉 Liu Fengyu
068	建筑工程中装配式建筑的应用与优化 Application and Optimization of Prefabricated Buildings in Construction Engineering	段林刚 Duan Lingang

电力科学 | ELECTRIC POWER SCIENCE

071	电化学氧化法处理燃煤电厂高盐氨氮废水研究 Study On The Treatment Of High Salt Ammonia Nitrogen Wastewater From Coal-Fired Power Plants Using Electrochemical Oxidation Method	贾莹莹 Jia Yingying
074	汽轮机燃气发电系统的热力性能研究 Study On The Thermal Performance Of Steam Turbine Gas Power Generation System	王禹 Wang Yu
077	电厂集控运行控制模式及应用技术 Power Plant Centralized Control Operation Control Mode And Application Technology	卢昔礼 Lu Xili
080	探讨单元机组集控运行电气操作过程中的危险点 Exploring The Hazardous Points During The Electrical Operation Process Of Centralized Control Of Unit Units	田亮 Tian Liang
083	火电厂集控运行节能降耗措施分析 Analysis Of Energy-Saving And Consumption Reducing Measures For Centralized Control Operation Of Thermal Power Plants	王先锋 Wang Xianfeng
086	电力系统谐波的危害及治理 The Harm And Governance Of Harmonics In Power Systems	彭柏杰 Peng Baijie
089	电气工程自动化系统的故障诊断与维护策略分析 Analysis of Fault Diagnosis and Maintenance Strategies for Electrical Engineering Automation Systems	朱飞虎 Zhu Feihu
092	火电厂热控自动化控制设备的调试与安装措施 Debugging And Installation Measures For Thermal Control Automation Control Equipment In Thermal Power Plants	周峰 Zhou Feng
095	基于物联网的智能制造设备维护与故障预测研究 Research on Maintenance and Fault Prediction of Intelligent Manufacturing Equipment Based on the Internet of Things	冯生龙 Feng Shenglong
098	电力系统 220kV 输电线路综合防雷技术研究 Research on Comprehensive Lightning Protection Technology for 220kV Transmission Lines in Power System	陈昱 Chen Yu

能源科学 | ENERGY SCIENCE

101	LNG 储罐的节能减排技术与环境影响评估 Energy Saving And Emission Reduction Technologies For Lng Storage Tanks And Environmental Impact Assessment	陈志强 Chen Zhiqiang
104	新能源光伏工程建设管理优化与实践 Optimization And Practice Of Construction Management For New Energy Photovoltaic Projects	高峰 Gao Feng

电子与通信工程 | ELECTRONIC AND COMMUNICATION ENGINEERING

107	化工工程项目技术创新与技术经纪的协同发展研究 Research on the Collaborative Development of Technological Innovation and Technology Brokerage in Chemical Engineering Projects	谭绍莹 Tan Shaoying
110	人工智能在光纤通信网络运维管理中的应用 The Application of Artificial Intelligence in the Operation and Maintenance Management of Fiber Optic Communication Networks	姚质彬，黄玲琳，蒋晓瑜，黄艳 Yao Zhibin, Huang Linglin, Jiang Xiaoyu, Huang Yan
113	基于声学原理的耳机音质提升策略探讨 Exploration of Sound Quality Improvement Strategies for Headphones Based on Acoustic Principles	王欣，李治宏，冯凯 Wang Xin, Li Zhihong, Feng Kai
116	喇叭声学结构创新对音质提升的影响分析 Analysis of the Impact of Speaker Acoustic Structure Innovation on Sound Quality Improvement	李治宏，王欣，罗斌成 Li Zhihong, Wang Xin, Luo Bincheng
119	声学耳机的频响特性及其对音乐再现的影响 The Frequency Response Characteristics Of Acoustic Headphones And Their Impact On Music Reproduction	王丹彤，白涛，李银鹏 Wang Dantong, Bai Tao, Li Yinpeng
122	基于大数据的电子通信技术的发展分析 Development Analysis of Electronic Communication Technology Based on Big Data	白涛，吴宇东，樊繁 Bai Tao, Wu Yudong, Fan Fan
125	不同类型声学耳机性能对比分析 Comparative Analysis Of Performance Of Different Types Of Acoustic Earphones	王丹彤，闫江波，杜昊 Wang Dantong, Yan Jiangbo, Du Hao

造价控制视角下 EPC 项目招标投标管理问题的探析

刘柱, 林宝平

江苏仁禾中衡工程咨询房地产估价有限公司, 江苏 盐城 224005

摘 要 : 随着EPC项目工程总承包模式的不断推广和应用, 也带来了EPC项目在结算过程中出现大量的问题纠纷和结算争议。一些 EPC 项目的结算总价已超出采用通常非 EPC 项目的许多, 严重背离了 EPC 项目模式的优势。通过实践总结分析, 问题的根源主要集中于项目招标、投标阶段的管理失范。本文从EPC项目的目标管理角度, 综合梳理EPC招标、投标过程中存在的各类问题, 剖析引发结算矛盾的成因, 重新认识和倡导与国际接轨的真正 EPC 竞争模式, 切实规范 EPC 项目招投标管理, 助力促进 EPC 项目健康发展。

关 键 词 : EPC 模式; 招投标管理; 造价控制; 问题与措施

Analysis Of Epc Project Bidding Management From The Perspective Of Cost Control

Liu Zhu, Lin Baoping

Jiangsu Renhe Zhongheng Engineering Consulting Real Estate Valuation Co., LTD., Jiangsu, Yancheng 224005

Abstract : With the continuous promotion and application of EPC project general contracting mode, there are a lot of problems and settlement disputes in the process of EPC project settlement. The total settlement price of some EPC projects has exceeded many of the normally non-EPC projects, which seriously deviates from the advantages of the EPC project model. Through the practice summary analysis, the root of the problem is mainly concentrated in the project bidding, bidding stage management anomie. From the perspective of target management of EPC projects, this paper comprehensively sorts out various problems existing in the process of EPC bidding and bidding, analyzes the causes of settlement contradictions, re-understands and advocates the real EPC competition mode that is in line with international standards, effectively standardize EPC project bidding and bidding management, and helps promote the healthy development of EPC projects.

Keywords : EPC model; management of bidding and tendering; cost control; problems and measures

引言

当下市县两级 EPC 项目的结算工作进入了一个蜂拥期, 但由于招投标阶段的招标文件不完善、评标定标体系不科学、合同文本管理不严谨、法律依据不健全等原因所致 EPC 项目结算争议多、执行合同难、处理矛盾烦、结账周期长、总价偏离高等现象, 一定程度上造成了国有资金的流失。现以造价控制的视角, 探析变味的 EPC 工程在招投标过程中存在的问题, 提出解决问题的办法, 供参考。

一、当前 EPC 项目招投标管理存在问题汇集

(一) 招标前项目立标不严谨

1. 项目决策缺乏科学性。一些项目的决策不是源于社会实际需求提出, 而是围绕领导的业绩服务而主观决策, 缺乏可行的方案比选和切实的经济评价分析等过程。一些“筑巢引凤”项目, 投资前并没有具体的引进规模的考量, 边投资边引进, 如某原计

划投资2.4亿元的 IPT 工业厂房项目, 采用 EPC 招标完成一个月后才引来投资商, 发现项目规模、厂房结构、防尘设计等均不满足要求, 重新规划设计, 项目投资增加近50%; 有采用“借鸡生蛋”式项目, 立项报批时是工业厂房功能, 实质建成后系钢材物流市场。

2. 调研报告缺乏可行性。表现在可行性报告中缺少方案经济的比选择优, 投资估算不准确, 导致后续的招标控制价失真, 部

* 作者简介:

刘柱, 男 1979.1 男 汉江苏盐城本科高级工程师 江苏仁禾中衡工程咨询房地产估价有限公司造价二部 邮编: 224005 单位总经理助理 地址: 江苏省盐城市青年西路8号807室 从事工程造价咨询管理工作

林宝平, 男 1968.2 男 汉江苏东台 专科 高级工程师 江苏仁禾中衡工程咨询房地产估价有限公司 质控部 邮编: 224005 地址: 江苏省盐城市青年西路8号712室 部门总经理 从事工程造价咨询质量管理工作

分项目的可行性研究报告由总承包单位代为编制，其实质性估价远高于实际市场价格，特别是涉及机械设备、电子化信息器材等方面。

（二）招标时虚假立标较严重

1. 不适合 EPC 招标的项目采用 EPC 模式招标。一些项目由于前置条件具有相当的不确定性，根本不适合采用 EPC 招标。如市政路桥项目的路基、旧城改造项目、园林景观项目等等。这些项目由于设计施工的标准很难形成有效的统一，价格竞争不具备可比性。结果是招标一套方案、图审一套方案、实际施工一套方案，完全颠覆了 EPC 项目的认知和运作要义。

2. 中标合同价与中标设计图文件缺少关联。一些 EPC 项目的招标仅是为了确定一个总承包单位，至于中标价与结算价并无衔接。如固定总价合同是通过模拟清单招标产生的。实际清单工程量与项目特征和潜在投标人投标的施工图纸甚至完全不同。

3. 指定招标代理机构流于形式。一些项目往往是建设方先内定总承包单位，再由总承包单位编制可行性研究报告、初步设计方案，再委托代理机构根据总承包条件完善招标流程。

4. 法理上应废标的单位成为中标人。主要表现为：一是不按招标要求报价。招标文件要求按清单计价规范报价的，而中标文件中无具体清单，直接按项报价。如室内装饰工程 1200 万 / 项，绿化 1725 万元 / 项，景观桥 356 万元 / 座。二是投标报价与设计方案不匹配。中标的价格内容与投标方案根本没有对应性，报价体系中的清单特征与图纸设计要求不对应，工程量偏差更是离奇。三是违背招标文件要求报价。招标文件要求对设备单独报价的，中标文件无单独报价；招标文件要求不包含景观绿化工程的，报价中包含；招标文件要求更换新电梯的，投标文件按维修电梯报价等等。

5. 评标和定标条件暗偏指定单位。一是招标文件评分条件暗指向某总承包单位，如项目经理业绩加分、企业业绩加分、荣誉加分等；二是方案的特定内容加分；三是规定投标时间 25 日内，如果前期没有准备，根本不可能在如此短的时间内完成高质量的全套施工图设计 + 工清单预算编制 + 组织方案设计等；四是评定分离为发包人定标于已内定的总承包人创造条件。

（三）招标文件约定欠专业

由于代理业务门槛的降低，一些代理人员对项目的了解深度不够、自身的专业水平能力不足、工作责任心不强等原因，使得招标文件缺乏专业性。

1. 价格体系不够严谨。一是量价责任方不明确。如采用模拟清单招标的固定总价合同，模拟清单的工程量及项目特征的准确性由发包人负责，而固定总价的量价责任方为投标人负责。二是项目范围不清晰。招标文件中设计任务书约定竞争范围是规划红线范围内，却又要总承包设计施工红线外的景观桥、供电外接线等内容。三是下浮率不切实。通常项目的下浮率是指企业的报价与定额标准计价相比，而 EPC 招标文件控制价下浮率为中标价与控制价相比。同样工程的竞争结果是 EPC 工程价格比一般工程价格高出 8%—25%。四是风险转嫁不合理。一些项目的招标文件中不仅把所有国家政策风险、不可预见的风险均约定为承包人承

担，明显不合理。

2. 设计任务书表述不够全面。如室内装饰仅描述建筑面积 13200m²，并无装饰效果及材质品牌档次要求，室外广告大屏仅描述 1 个、景观假山 1 座、建筑小品 20 个等等，并无其他任何特征性具体描述，导致投标不同的方案所需的价格不具有可比性。

3. 约定条款不利于实际履行。一是设计责任难认定。中标后在图审过程中委托方介入，方案及价格调整较大，责任划分如何认定，由谁认定，招标文件及合同中无明确的解决途径。二是带条件的固定总价要求难操作。如固定总价合同下的要求按清单调整价格。三是设计不明的施工图预算难校验。实际工作中设计图纸中描述不明或设计“非标准构件”偏多，市场上价格求证难度大。四是报价无约定的可调部分难实施。招标文件中约定人工费、材料费、机械费的价格按“施工期平均价 - 中标基准期价格”调整，而报价体系中按 m²、项等报价，无法认定其中的人、材、机数量，价格调整难以操作。

4. 评标条款不利于造价控制。EPC 招标文件中往往仅注重投标总价的评比，而忽视分项控制，漠视施工内容对结算的影响，设计概算不公布，不平衡报价严重，而对单位工程的“项”没有价格控制的约束，极端性不平衡报价现象严重，一定程度上导致国有资金流失。

（四）评标阶段程式化走过场。

由于招标文件对评标的价格体系完整性、全面性缺少评比条件，加之报价体系不统一，缺少清标的过程与清标结果，评委没有评比的法律依据，导致评标不全面、程式化走过场。

二、导致 EPC 项目招投标管理问题成因分析

（一）监管体制机制漏洞，导致招投标管理问题层出不穷。

尽管国家在不断完善 EPC 总承包系统建设，相继出台了建市 [2016]93 号、建市规 [2019]12 号等文件和总承包合同示范文本，但涉及 EPC 总承包价格认证、造价控制上具体办法较少，项目前期决策阶段对可行性研究中虚假成分缺少科学的甄别管理流程，对投资估算成果中的数据缺少理论支撑的审查手段，对后期设计内容缺少合理的限制或约束要求；对设计成果的功能使用与完美性评价、节能投入与收益、绿色环保与环境贡献、项目全生命周期的价值对比等等，缺少“性价比”的引导和科学的评价体系。

（二）诚信经营理念缺失，导致 EPC 项目优势荡然无存。

EPC 项目管理目标是通过实行设计施工采购一体化，在一定的总价控制范围内，通过提升设计质量、降低投入成本、缩短建设周期、早投入早收益，从而将有限的投资转化在更大项目收益中，实现价值工程的最大化。而实际实施中，某些企业由于诚信理念的缺失，EPC 总承包单位并不是从更好地服务于建设项目出发而设计，而是从项目实施中哪种做法能获取更多的利润按哪种方式设计，加之出现采用 EPC 招标模式仅为尽快实施项目、EPC 招标过程仅为确定总承包单位等不当做法，让总承包设计几乎完全掌握了项目更多的盈利主动权，最大程度上获取更多的利润，使得采用 EPC 项目优势几乎完全丧失。

（三）招标代理门槛降低，导致专业水准难以满足发展需要。

随着国家取消招标代理资质，放宽了对招标代理人员的要求，降低了代理业务的入门门槛，更多的不懂造价控制、没有实际经验、不了解项目建设特性的人员从事了代理业务，起草的招标文件设计任务书内容不全、招标价格体系不切实际、招标文件前后矛盾、约定的合同条款无法操作、投标时间不充分等等，造价控制目标无法实现。

（四）评标重形式轻实质，导致招标竞争模式本末倒置。

当前 EPC 项目的招标已不是真正意义上的 EPC 招标，而是利用 EPC 的名义简化招标审批流程；起草的招标文件根本不是通过充分发挥总承包优势、设计优化加施工一体化竞争模式给工程造价带来节约为目的。加之评委评标就标审标、以标议标，导致评标办法、评标过程中均重于形式规避招标责任风险，忽视 EPC 实质节约投资。

三、规范 EPC 项目招投标管理方略

从造价控制的角度看，推进 EPC 总承包模式，实现设计、采购、施工一体化，除了项目管理水平得以提高、项目建设期有效缩短外，最重要的目标是能有效地降低工程造价。工程造价的控制在设计阶段影响权重在 75% 以上，故政府部门积极响应、层层推进设计施工一体化招标竞争模式，有效控制造价。但实际施行效果与期望目标事与愿违，建设方的管理控制由主动式转为被动式，与历史项目相比，同条件项目的价格不但没有降低，反而有所提高，项目建设期在招采阶段有所缩短，但整个建设期反而延长，项目结算中问题多多，矛盾重重。可以从以下三方面入手，进一步加强 EPC 招标管理，最大限度地发挥与国际接轨的真正 EPC 竞争模式优势，共同促进 EPC 项目的健康发展。

一是要进一步认清 EPC 项目的价值意义。政府部门要加大 EPC 模式政策宣导力度，权威解读 EPC 模式下发包人、承包人、设计人、监理人、造价咨询人、代建人等权利、义务与责任，使各参与方对 EPC 工程的计价模式核心要义有深刻的理解，全面把握 EPC 工程的丰富内涵，正确领悟工期对建造工程品质重大影响的辩证关系，真正把 EPC 项目的价值理念引导到“发包人实施 EPC

工程不是仅为压缩工期，而是更多地体现在 EPC 工程提高建造品质、优化资源配置、减轻业主组织协调精力、节约投资成本”等全新思路，实现采用 EPC 项目的优势最大化。

二是要进一步推进与国际接轨的 EPC 模式。逐步建立与国际工程承包和管理方式接轨的计价模式，促使工程总承包单位提高设计与施工能力，从而达到设计与施工的深度融合。招标文件可以不再允许施工单位与设计单位组成联合体投标，计价模式可以由定额计价改为港式清单计价模式，实实在在地将 EPC 的竞争变成现代设计的竞争，而不是传统施工的竞争，让具有管控质量、工期、投资的高本领设计施工企业在竞争中脱颖而出、健康成长。使 EPC 本意上的预期目标成为现实。

三要进一步提升 EPC 招标管理能力。采用 EPC 工程模式招标，发标人前期编制的文件必须全面、精准、细化，可行性调研必须真实可行、有深度和广度，发标人在进行方案设计中必须提高扩初设计达到的深度要求，为后期进行 EPC 工程模式招标的顺利实施提供基础条件。发标人应聘请具备相关能力、水平、经验的相关咨询机构进行编制招标文件。评标的过程杜绝简单的比价，而是充分利用价值工程的评标要素进行公平审议、综合评价，真正让那些功能齐全、方案优秀、施工优质、工期缩短、成本投资节约、生命周期价值高具有比较优势的竞标者成为赢家，打造积极向上的公平竞争市场氛围。

四、结语

我国在工程建设领域持续推进 EPC 总承包模式是与国际接轨的必由之路、必然发展大势。新生事物的发展过程是一个吐故纳新、解决问题、不断修缮完善的迂回曲折之路。目前我们正面临 EPC 模式下的工程计价政策空白、理论与实践的有效对接、诸问题多矛盾突出等现实难题，全面实现“降本增效”和“转型升级”的道路还很漫长，发挥 EPC 工程总承包模式最大优势任重而道远。我们工程造价人员、招标代理人员要紧跟时代发展的步伐，从全局观点出发，从维护国有资金的权利出发，从维护公共竞争平台的公平性出发，深入研究 EPC 发展过程中存在的现实问题，提出解决问题的措施，切实将 EPC 逐步迈上健康的发展轨道。

参考文献

[1] 廉文婷. EPC 模式下工程造价控制探究 [J]. 中国招标, 2023(10):149-151.
[2] 魏德胜. EPC 发展之路：道路崎岖如何前行 [J]. 施工企业管理, 2023(10):35-39.
[3] 聂钰岷. 基于审计视角的 EPC 总承包项目合同价款调整问题分析 [J]. 建筑技术开发, 2023,50(08):110-113.
[4] 叶丽燕. 浅析工程造价管理在 EPC 项目中的应用 [J]. 福建建设科技, 2023(04):126-128.
[5] 王少兵. EPC 模式招标计价方式的选择与管控策略 [J]. 中国招标, 2023(07):103-105.
[6] 张利红, 王怡琼. 工程量清单计价与 EPC 招标造价控制之利弊分析 [J]. 中国招标, 2023(06):143-144+151.
[7] 陈玫瑰. EPC 工程项目招投标管理策略研究 [J]. 房地产世界, 2023(15):160-162.

施工现场安全管理的创新策略：基于先进技术的应用

陈怀睿

连云港泓海房地产开发有限公司，江苏 连云港 222000

摘要： 本文综合分析了施工现场安全管理中先进技术的应用，并探讨了相应的创新策略。文章详细介绍了无人机监控、虚拟/增强现实、人工智能与大数据、物联网和云计算等技术在安全管理中的作用，并讨论了这些技术的集成优势和实施挑战。同时，强调了建立完善的安全管理体系、提升安全意识和培训，以及加强监管和执法的重要性。通过案例研究，文章展示了这些技术的实际效果，并对未来的发展趋势和研究方向进行了展望。

关键词： 施工现场安全管理；先进技术；安全管理体系；安全培训；监管执法

Innovative Strategy Of Construction Site Safety Management: Based On The Application Of Advanced Technology

Chen Huaigui

Lianyungang Honghai Real Estate Development Co., LTD., Jiangsu, Lianyungang 222000

Abstract： This paper comprehensively analyzes the application of advanced technology in construction site safety management, and discusses the corresponding innovative strategies. The article details the role of technologies such as drone surveillance, virtual/augmented reality, artificial intelligence and big data, Internet of Things and cloud computing in security management, and discusses the integration advantages and implementation challenges of these technologies. At the same time, the importance of establishing a sound safety management system, enhancing safety awareness and training, as well as strengthening supervision and law enforcement was emphasized. Through case studies, the paper shows the practical effects of these technologies, and looks forward to the future development trend and research direction.

Keywords： construction site safety management; advanced technology; safety management system; safety training; supervision and law enforcement

引言

随着我国经济的迅猛增长和城市化步伐的加快，建筑施工行业正成为国民经济的重要支柱。但随之而来的施工现场安全问题频发，不仅造成企业经济损失，更严重威胁着工人的生命安全。迫切需要我们加强施工现场安全管理，提升管理水平。幸运的是，先进技术的应用为解决这一问题提供了新途径。无人机监控、虚拟/增强现实、人工智能、大数据、物联网和云计算等技术的运用，极大地提升了施工现场的安全监控能力和管理效率。这些创新技术的融入，为施工现场安全管理带来了革命性的变革。

一、先进技术在施工现场安全管理中的应用

创新技术的融入正逐步成为施工现场安全管理的核心动力。这些技术的综合运用不仅极大地提高了施工现场的安全性能，也为企业带来了显著的经济效益。在本章中，我们将详细剖析无人机监控技术、虚拟现实（VR）与增强现实（AR）技术、人工智能与大数据技术、物联网（IoT）技术以及云计算与移动通信技术如何成为施工现场安全管理的关键支柱，进而为建筑行业的安全生产带来新的解决方案和新的活力。

（一）无人机监控技术

无人机监控技术在施工现场的应用，为安全管理带来了全新

的视角。无人机的使用，使得施工现场的监控范围更广、监控效率更高。

无人机的引入，为施工现场的监控带来了颠覆性的进步，其强大的实时监控、远程操控和广泛的覆盖范围能力，使无人机在短时间内能够对施工现场进行全面的巡查，有效地预防安全事故的发生。无人机除了扮演“天空之眼”的角色，还会成为智能化终端，可以感知、抓拍识别分析，具有喊话威慑的功能，传输的数据信息，能够实现三维建模与公路资产电子化建档等，为作业现场管理提供原始数据信息。^[1] 此外，无人机监控系统的使用，还能够提高施工效率，减少人力成本，进一步提升施工现场的整体管理水平。

（二）虚拟现实（VR）与增强现实（AR）技术

VR/AR 技术在施工现场安全管理中的应用，为安全培训和教育提供了全新的手段。通过虚拟现实和增强现实技术，施工人员可以在虚拟环境中进行安全操作演练，增强安全意识和操作技能。

VR/AR 技术在施工现场安全管理中的应用是多方面的，它能够用于事故现场的还原、安全风险评估、施工方案的评审等多个环节，极大地提升了施工现场的安全管理水平。通过这些技术的应用，施工现场的安全问题得以在虚拟环境中被预见和解决，有效地降低了实际施工过程中的风险。^[2]此外，VR/AR 技术在安全培训和教育领域的应用同样重要，它能够让施工人员身临其境地体验各种安全事故场景，从而增强他们的安全意识和应对突发事件的能力。

（三）人工智能与大数据技术

人工智能与大数据技术在施工现场安全管理中的应用，为事故预测和隐患排查提供了强大的技术支持。

人工智能技术在施工现场安全管理中的应用正变得越来越重要，它能够实现对施工现场的智能监控、自动识别安全隐患以及预测事故发生等功能，极大地提升了施工现场的安全管理水平。这种技术的运用，使得安全管理工作更加高效和精准，能够在事故发生之前就采取预防措施。^[3]同时，大数据技术在施工现场安全管理中也扮演着关键角色。通过对大量施工现场数据的采集、分析和处理，大数据技术能够挖掘出施工现场的安全隐患和事故规律，为安全管理提供科学依据。

（四）物联网（IoT）技术

物联网技术在施工现场安全管理中的应用，为设备监控和维护提供了实时、准确的数据支持。

物联网（IoT）技术在施工现场安全管理中的应用表现在多个层面。IoT 技术能够实现对施工现场设备的实时监控、故障诊断和预警功能，这不仅提高了设备的运行效率，还增强了现场的安全性。通过安装传感器和连接设备，管理人员可以远程监测设备状态，及时发现问题并采取措施，从而避免潜在的安全风险。IoT 技术在设备监控与维护方面的应用同样重要。它允许通过远程监控和维护来降低设备的故障率，确保施工现场的安全。

（五）云计算与移动通信技术

云计算与移动通信技术在施工现场安全管理中的应用，为信息共享和协同办公提供了便捷通道。

云计算技术和移动通信技术在施工现场安全管理中发挥着关键作用。云计算技术通过集中存储、分析和处理施工现场安全管理数据，显著提高了数据的利用率和共享程度。^[4]这种技术的应用，使得施工现场的安全管理数据更加透明化，有助于快速做出基于数据的决策，进一步提升安全管理水平。同时，移动通信技术的应用使得施工现场安全管理信息能够实时传输到相关部门和人员手中，极大地提高了管理效率和响应速度。

先进技术的融入为施工现场安全管理带来了革命性的提升。在实践中，企业应精准把握施工现场的具体需求，精心挑选并恰当地应用这些尖端技术，从而确保施工现场的安全有序，促进施

工活动的顺畅进行。

二、创新策略探讨

继先进技术 in 施工现场安全管理中的应用分析之后，本章节将探讨如何融合这些技术以提升管理效率与安全性。我们将着重讨论多技术整合的优势与挑战、建立完善的管理体系、加强安全意识与培训，以及加强安全监管与执法的必要性。

（一）综合应用多种先进技术

1. 技术融合的优势与挑战

在施工现场安全管理中，综合运用多种先进技术的优势与挑战并存。技术融合能够显著提升管理效率，实现对施工现场的全面监控和分析，降低安全风险，并优化资源分配。^[5]这一过程也面临着技术兼容性、数据整合、人员培训以及成本和数据安全等多方面的挑战。为了有效应对这些挑战，企业需制定详尽的技术融合计划，并确保有足够的资源和技术支持，同时加强人员培训和意识提升，以确保技术融合的成功实施。

2. 综合应用案例分析

在施工现场安全管理中，综合运用先进技术的案例展示了如何将无人机监控、VR/AR、AI、大数据、物联网以及云计算和移动通信技术融合，以实现高效且安全的管理。^[6]例如，一家建筑公司采用集成系统，无人机实时监控施工现场，AI 分析数据以识别风险，物联网监测环境与设备状态，VR/AR 用于安全培训，云计算和移动通信确保数据实时传输和远程访问，使管理人员能够迅速响应。

（二）建立健全安全管理体系

安全管理体系的构建与实施是一个全面而复杂的过程，它包括制定安全政策、目标与计划，以及建立相应的组织机构和管理制度。^[7]

先进技术在这一过程中扮演着关键角色。通过实时监控、数据分析和预测功能，这些技术为安全管理体系提供了强大的支持，帮助构建一个更加完善、高效和可靠的安全管理体系。

（三）强化安全意识与培训

安全意识在施工现场安全管理中起着基石的作用。它是预防事故发生的第一道防线，只有当所有施工人员深刻理解安全的重要性并主动遵守安全规定时，才能有效减少事故的发生。

先进技术，尤其是 VR/AR 技术，在安全培训中的应用，极大地提升了培训的效果。通过虚拟现实技术，施工人员可以身临其境地体验各种安全场景，从而更加深入地理解安全知识和操作技能。

（四）加强安全监管与执法

安全监管是施工现场安全管理的基石，确保了安全措施的有效执行，及时识别并解决潜在隐患，从而预防事故发生。^[8]先进技术，如无人机监控、VR/AR、人工智能和大数据分析，极大地提升了监管效率和执法力度。

通过综合应用多种先进技术、建立健全安全管理体系、强化安全意识与培训以及加强安全监管与执法，我们可以实现更加高效和安全施工现场的管理，保障施工人员的生命安全和企业的可

持续发展。

三、案例分析

为了更深入地理解先进技术在施工现场安全管理中的实际应用效果，我们将通过具体的案例分析来展示这些技术的应用情况，并从中得出启示。

（一）先进技术在施工现场安全管理中的应用案例

在一个规模宏大的建筑项目中，无人机技术成为施工现场安全管理的重要手段，极大地提升了监控效率和响应速度。这些无人机装备了高清摄像头和热成像设备，能够在恶劣天气条件下持续工作，实现对施工现场的全面监控。无人机监控系统使得管理人员能够实时掌握施工现场的动态，迅速识别并解决潜在的安全隐患，有效降低事故发生的风险。

无人机的高清摄像头和热成像设备能够在各种天气条件下工作，确保施工现场的安全监控不间断。在恶劣天气条件下，如大风、雨雪等，无人机能够稳定飞行，捕捉施工现场的实时情况，为管理人员提供可靠的数据支持。^[9]同时，热成像设备能够在夜间或低光条件下工作，发现潜在的安全隐患，如未佩戴安全带的高处作业人员、不规范操作的大型机械等。

通过无人机监控系统，管理人员能够实时了解施工现场的情况，迅速识别并解决问题。例如，当无人机发现高处作业人员未佩戴安全带时，管理人员可以立即采取措施，确保作业人员的安全。此外，无人机监控系统还可以用于事故现场的快速响应，如发生事故时，无人机可以快速飞抵事故现场，为救援人员提供现场情况，指导救援行动。

无人机监控系统的应用不仅提高了施工现场的安全管理水

平，还降低了安全事故的发生率。通过实时监控和数据分析，管理人员能够及时发现安全隐患，采取相应的预防措施，从而有效预防事故的发生。此外，无人机监控系统还可以用于事故调查和分析，帮助企业了解事故原因，制定有针对性的安全管理措施。

（二）案例分析与启示

通过深入分析这些案例，我们清晰地看到了先进技术在施工现场安全管理中的巨大潜力和价值。然而，技术应用并非一成不变，它需要根据具体情况进行调整和优化，以确保达到最佳效果。同时，我们必须持续探索和创新，将先进技术与施工现场的实际情况紧密结合，不断推动施工现场安全管理水平的提升。

案例分析为我们提供了宝贵的实践经验和启示，展示了如何将先进技术应用用于施工现场安全管理，以及如何应对其中的挑战。^[10]通过学习和借鉴这些案例，我们能够更好地应对施工现场安全管理中的挑战，实现安全管理工作的持续改进和创新。

结束语

通过无人机监控技术、VR/AR 技术、人工智能与大数据技术、物联网技术和云计算与移动通信技术的应用，施工现场安全管理实现了智能化、高效化和精细化。然而，也要看到，先进技术的应用还面临着技术融合、数据整合和人员培训等挑战。因此，在未来的研究和实践中，需要不断探索和创新，将先进技术与施工现场的实际情况相结合，推动施工现场安全管理水平的不断提升。同时，还需要加强安全意识与培训、建立健全安全管理体系、加强安全监管与执法，以实现施工现场安全管理的全面升级。只有这样，我们才能为施工现场的安全和顺利进行提供有力保障，为我国建筑施工行业的可持续发展做出贡献。

参考文献

- [1] 张薇, 胡好枝. 无人机技术在公路施工质量安全中的应用 [J]. 交通建设与管理, 2022,(01):84-85.
- [2] 郑世荣. 智慧工地技术对施工现场安全管理措施优化研究 [D]. 北京建筑大学, 2023.DOI:10.26943/d.cnki.gbjzc.2023.000438.
- [3] 葛晓晓. 智慧工地系统在施工现场安全管理中的应用 [J]. 中国建筑装饰装修, 2023,(15):64-66.
- [4] 孙德波. 公路工程施工现场安全管理标准化建设与提升路径 [J]. 居业, 2022,(03):166-167+173.
- [5] 冯佐. 建筑施工现场安全管理存在的问题及措施 [J]. 居业, 2021,(09):194-195.
- [6] 李伟. 土木工程施工现场安全管理与质量控制 [J]. 四川水泥, 2022,(03):179-180+183.
- [7] 花彩芸. 智慧工地理念下房地产项目施工现场安全管理研究 [D]. 兰州交通大学, 2020.DOI:10.27205/d.cnki.glttec.2020.000710.
- [8] 曹璐琳. 基于 BIM 的建筑施工现场安全管理研究 [D]. 南京林业大学, 2017.
- [9] 黄家刚. 机电安装工程施工现场安全管理研究 [J]. 中国集体经济, 2018,(18):53-54.
- [10] 王文康. 浅析土木工程施工现场安全管理中的问题及其优化措施 [J]. 四川水泥, 2020,(07):191+195.

防渗漏施工工艺应用于高校基建

许圣泉

上海宝冶集团有限公司，上海 201900

摘要： 高校的发展离不开高质量的基础建设，随着近年来我国高等院校基础设施建设的持续扩展，高校宿舍的建筑面积日益受到社会各界的密切关注。在高校基建项目的施工过程中，渗漏问题一直是一个关键且需要重点关注的质量隐患。因此，防渗漏施工技术的科学有效采用显得尤为重要。鉴于此，本文深入剖析了施工中常见的渗漏类型及其成因，旨在为类似工程提供有益的参考与借鉴。

关键词： 施工工艺；防漏技术；施工技术

Anti-Leakage Construction Technology Is Applied To University Infrastructure

Xu Shengquan

Shanghai Baoye Group Co., LTD., Shanghai 201900

Abstract： The development of colleges and universities is inseparable from the high quality of infrastructure construction, with the continuous expansion of infrastructure construction in China's colleges and universities in recent years, the construction quality of college dormitories is increasingly attracted by the society from all walks of life. In the construction process of university infrastructure projects, the leakage problem has always been a key quality hazard that needs to be paid attention to. Therefore, the scientific and effective use of anti-leakage construction technology is particularly important. In view of this, this paper deeply analyzes the common leakage types and their causes in construction, aiming to provide useful reference for similar projects.

Keywords： construction technology; anti-leakage; construction technique

引言

高校基础设施建设需求随着中国教育产业的蓬勃发展而不断增长。高校基建行业在科教兴校、人才强校以及创新驱动发展战略的驱动下，成长空间巨大，潜力无限。但施工过程中，屋面、外墙以及厨卫等要害部位经常发生渗漏问题，不仅影响房屋的正常使用功能，对师生居住学习环境也可能造成不良影响，这一直是困扰高校基建工程的难题。在此背景下，对现有防渗漏施工进行优化创新，充分满足高校师生对房屋建筑多样化的需求，从而提高室内环境的舒适度和安全性。

一、常见渗漏问题成因分析

（一）施工设计

建筑设计（BuildingDesign）是决定建筑过程中各项技术参数和施工方法的建筑基础。选用与防水材料搭配不当，都会造成防水效果大打折扣；如设计，防水层的设置与构造是不合理或结构不严密。因此需要在施工设计阶段充分考虑防水性能的要求，充分考虑环境、材料、工艺等因素，合理选择防水材料和构造方法，并合理规划排水系统，以确保施工过程中的防水效果达到最佳状态。

（二）施工工艺

施工工艺的规范和精细实施，对防渗漏施工效果的优劣至关重要。在实际施工过程中，如果不能严格按照施工规范操作，或者施工工艺有瑕疵，都有可能造成漏水问题的产生。例如，防水材料的铺设不平整、搭接不严密、固定不牢固等，都可能造成防

水层的失效。此外，对于施工过程中的细节处理，如孔洞、缝隙的密封等，也需要高度重视，确保防水层的完整性和连续性。

（三）施工材料

施工材料是房屋建筑防渗漏施工的重要物质基础，对于进入施工现场的防水材料，需要进行严格的检验和验收。检查材料的出厂证明、质量合格证书等文件，确保材料的质量符合国家标准和规范要求。同时，材料也需要抽样检测，以验证其稳定可靠的性能。对达不到要求的材料，坚决做到该退的坚决退，该禁的坚决禁。

（四）质量验收

完善质量验收制度，有效保障了防水层施工工艺的质量。在验收过程中，严格按照国家有关标准和规范进行操作，并设置工序停止点检验，对防水层的建筑施工质量进行全面的检查，对发现的问题及隐患进行及时的整改和处理，使防水层的施工质量达到设计要求。另外，对施工技术人员的业务能力也要求继续提高

学习,做到对管理工作有较清晰的认识;对施工工艺有较全面的把握;在强化责任意识的基础上,做好验收过程的记录和归档工作,为今后的使用和维护做到心中有数有备无患。

二、高校基建渗漏点类型

(一) 外墙渗漏

外墙作为宿舍建筑的主要围护结构，其防水性能的好坏，直接影响到房屋的整体质量，也直接影响到房屋的使用年限。外墙渗漏的原因主要有以下几个方面：1) 墙体开裂或出现孔洞，导致墙体渗漏，原因是墙材选择不当或施工质量不过关；2) 是外墙保温层施工不规范，是由于保温隔热层与墙体之间有空隙或空鼓所致；3) 是窗框与墙体之间的密封处理不到位，雨水容易从缝隙渗透至室内。

（二）门窗渗漏

作为宿舍建筑的出入口和通风口，门窗的防水也是必不可少的。造成门窗渗漏的原因主要有门窗边框与墙体缝隙处理不当，密封材料老化失效，安装门窗质量不达标等原因。加强门窗边框与墙体之间的密封处理，严格按照施工规范和方案，选用优质密封材料安装，防止门窗渗漏问题的发生。同时定期检查维修门窗，对已老化、失效的密封材料及时更换，保证门窗长久保持防水性能。

（三）屋面渗漏

屋面作为宿舍大楼的顶部围护结构，其防水性能的优劣直接影响到大楼的整体安全性，也直接影响到大楼的使用效果。屋面渗漏的原因主要有防水材料老化、破损或施工质量不过关等原因造成屋面渗漏的原因。要选用性能稳定、耐候性好的防水材料，严格按照施工规范敷设，防止屋面渗漏；同时，还需加强对屋面的日常维护管理，对防水层的完好性进行定期检查，发现问题隐患，及时处置，做到防患于未然。另外，提前对接设计，对排水系统进行优化，保证排水顺畅，避免积水造成跑冒滴漏。

(四) 厨房、卫生间

厨卫空间的防水工作尤其重要,作为宿舍中用水频率较高的区域。地面防水层施工不规范,安装排水管道不当,洁具与地面之间密封处理不到位等是造成厨卫渗漏的主要原因,地面防水层在施工过程中要加强施工质量的控制,做到防水层铺设平整,不空鼓,不开裂;同时,还需注意排水管线的安装位置及接驳方式,做到排水通畅,不漏管;另外,对于洁具与地面之间的密封处理,防止渗水。

三、防渗漏施工技术在高校基建中的应用要点

(一) 外墙防渗漏质控要点

1. 砌体外墙

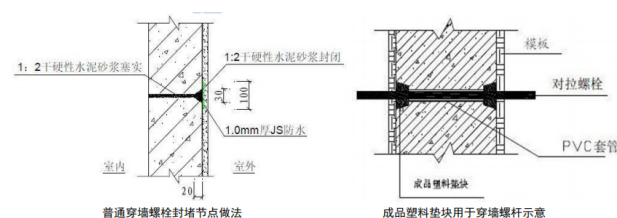
砌体墙应严格按照相关规范施工，严格执行顶砖技术性间歇时间为 14 天。

砌体顶砖应用干硬性防水砂浆砌筑,要求顶砖密实,严禁不

留顶砖或顶砖角度错误。对通缝的灰缝和不饱满的灰缝采用掺膨胀剂的水泥砂浆进行填缝，通透处需分几次填缝，一般一次填缝厚度不超过 35mm。按规范或设计要求挂钢丝网，且抹灰后应对外墙抹灰进行养护，待 14 天后进行防水施工。外部刷 JS 防水，水泥砂浆干后（24 小时左右），将 1.0mm 厚的 JS 防水分多次刷在外部。

2. 穿墙对拉螺杆封堵

逐个取消使用于拉螺杆的塑胶垫；未使用塑料成品垫片的螺杆孔洞，外部采用去除扩孔部位聚氯乙烯管材的机械扩孔；孔洞深度不小于 20mm，口径不小于 30mm。清理洞内杂物、垃圾，将周边水由内浇湿使用硬质水泥砂浆对墙体空进行压实。穿墙对拉杆孔洞封堵严密，在外部水泥砂浆干透后（约 24 小时），将 1.0mm 厚的 JS 防水分多次刷在外部孔洞及周围，涂刷范围为 100 × 100mm。



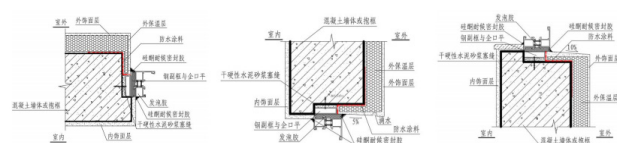
> 图1对拉螺杆封堵

（二）门窗防渗漏质控要点

1. 有保温、有企口、有副框外窗

钢副框与铝合金异材的接触面，在门窗框架为铝合金的情况下，首先，进行防腐处理是至关重要的步骤。在处理过程中，应严格遵循设计文件中要求进行防腐作业。若无具体要求，则可采用防腐涂料与面漆结合的方式。进行副框安装工作时，副框应先用木楔子进行临时固定，以确保其位置稳定，随后，在混凝土墙体上使用金属扩充栓进行固定，以增强副框的稳定性和安全性。固定完成后，处理副框与洞口之间的空隙，使用干硬防水砂浆将空隙密实填满，待砂浆达到一定强度后，可取出先前用于临时固定的木楔子，并再次用干硬防水砂浆将缝隙密实填满，确保无空隙存在。

后续淋水试验用喷壶喷水 30 分钟,观察有渗漏应修补,淋水试验继续做,直到无渗漏为止。硬塞缝砂浆干燥后,在洞口外侧多次涂刷 JS,防水层厚度大于 1.0mm,确保防水全部压住副框,并涂到穿过门窗的洞口阳角 50mm 以上;隔热层是按照 JS 防水干燥后的绝热做法来建设的。外饰面完成平面与副框顶部齐平,外饰面完成后,门窗边框与副框用自攻螺钉固定,钢制副框的两个壁厚都要将自攻螺钉拧进去,必须打上密封胶才能拧进去。外饰面在饰面与门窗框交接处的阴角处打上中性硅胶密封,应不小于 5mm 的门窗框压高,完成并烘干外饰面。



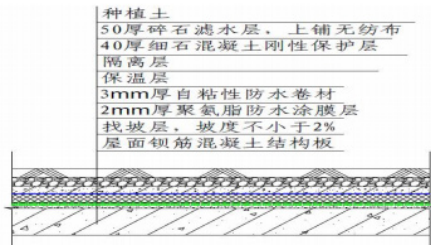
A 侧口防水结点实践 B 上口防水结点实践 C 下口防水结点实践

> 图2门窗防渗漏节点图

（三）屋面防渗漏质控要点

1. 有保温种植平屋面

屋面板施工，混凝土坍落度要适宜，确保紧密填充模板。原浆收平压光确保平整光滑，提高防水性能。坡度需一次完成，或水泥砂浆找平，慎用轻骨料混凝土防止开裂。推荐使用不小于2mm的聚氨酯防水涂膜，女儿墙等高处上翻防水至少300mm。施工前清理基层，涂布处理剂后铺防水卷材。铺设保温层和保护层，一次压平抹光。设置滤水层提高排水性能。严格控制质量、技术、安全和环保要求。

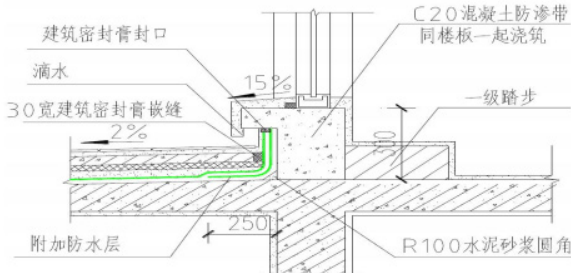


> 图3 用于保温种植的平屋面防水节点

2. 出屋面反坎

为确保出屋面反坎混凝土质量，首选与结构板混凝土同步浇筑，避免施工缝。若条件限制需分批浇筑，则须对已浇筑混凝土表面凿毛处理，保持湿润，增强新旧混凝土结合力，提升结构整体质量及稳定性。反坎式防水至少要高于屋面250mm以上，同时要在门洞两侧各延伸500mm。

找平找坡施工中，处理反坎根部至关重要。使用水泥砂浆抹圆角，确保半径大于100mm，保障水流畅通，降低渗漏风险。同时，在反坎与屋面交接的阴角位置增加与屋面防水层一致的防水附加层，全面覆盖并有效防水。施工完成后需等待干燥，经严格验收合格后才可继续施工。防水层需紧密贴合反坎顶部，形成完整防水体系。通过闭水试验合格后，方可进行后续施工。还需注意留出伸缩缝并密封，增强耐久性，确保防水效果持久。这些措施能提升建筑防水性能，为居住者提供安全舒适的环境。

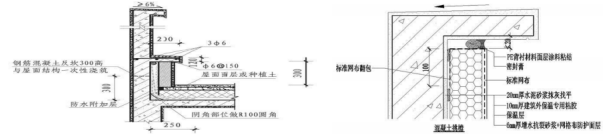


> 图4 出屋面反坎构造

3. 女儿墙防水节点

确保结构稳固，挑板与女儿墙、侧墙同步浇筑，挑板间隔屋面建筑完成面至少300mm。设置300mm高反坎，尽量与屋面结构整体浇筑。条件受限时，基座需凿毛并湿润，保障浇筑质量。防水施工前，清洁修整墙面，女儿墙与屋面阴角处抹圆角，加盖防水附层。防水层在附层干燥合格后进行。侧墙挑板底部用压条固定，同步进行闭水试验。按设计要求施工保温层、保护层，预留伸缩缝或植入保护层，并密封。若需砌筑保护墙，控制厚度，

缝隙用密封胶填充，确保防水及保护层结构的完整性和耐久性。



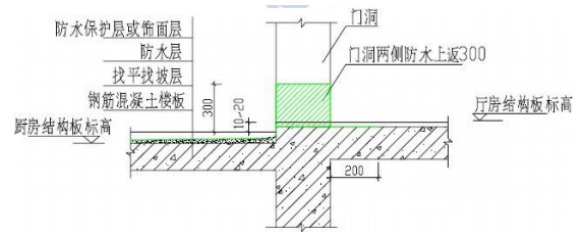
> 图5 女儿墙防水节点做法

（四）厨卫防质控要点

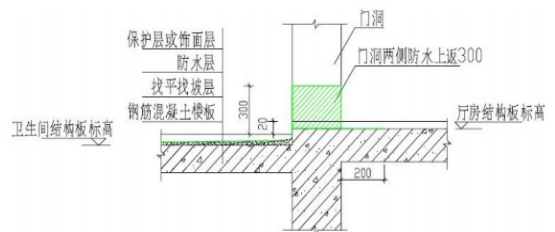
1. 厨房地面、一般卫生间

对管线安装和地漏进行封堵，对烟道进行封堵，对管根进行封堵；并对地面墙壁进行了清理。厨房四周的砌体墙面根部，必须先凿开基面，清洗干净后，再浇筑高度不小于200mm的C20同墙厚素混凝土导墙。采取临时封堵、结构闭水试验不少于24小时、蓄水水位30~50毫米、高于地面最高处20毫米等措施进行。找平找坡层应涂20mm厚水泥砂浆，坡度1%，边缘做半径不小于10mm的小圆角。地面多次涂刷JS-II防水涂料，范围包括四周上返300mm。施工中注意成品保护，完成后检查地面平整、坡度、防水层，确保符合设计要求。

在完成防水层后，封死门口和地面的漏气，并进行24小时闭水试验，闭水高度为30~50毫米，再进行20mm厚的水泥砂浆保护层1:2，通过闭水试验。饰面层施工要求排水坡度正确，不能有倒灌，不能有积水；地板砖、地板石、门槛石必须湿贴，门框不得接触地面，刷完面层后严禁开槽、打洞，最高处应低于邻厅舍面层20mm。



a 有水厨房地面节点做法



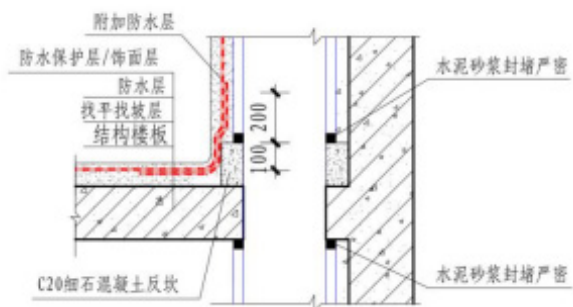
b 卫生间地面节点做法

> 图6 厨房地面、一般卫生间地面节点

2. 厨房、卫生间排气道节点

吊线对预留洞口进行检查复核，尺寸及位置不符合要求的要剔凿处理。清理洞口周边，理顺预留钢筋，清理根系，浇灌润泽，可加深一次浇筑成型的设计结构。排气道安装前应对其尺寸和外观进行验收，表面不允许有裂缝，截面尺寸偏差在5mm以内，安装排气道时，应遵循标准化流程。从上端插入并与下节对齐，确保连接稳固。严格控制垂直度和方位度，偏差均在±5mm内。在各层接头设钢托承托，增强稳定性。浇筑反坎混凝土时，确保结构牢固，避免漏浆。预留开口空隙，防止楼板与反坎浇筑

时漏浆。反坎混凝土强度不低于 C20，确保承载力和安全性。混凝土反坎宽度不小于 50mm，地面高出层完成面不小于 100mm。按照找平层 / 找坡层、防水附加层、防水层、闭水试验、饰面层等建筑地面的做法，在完成排气道安装和混凝土浇筑后，完成建筑地面的施工；其中，防水附加层和防水层的上翻高度要求在平面出反坎周围不小于 250mm、甩浆抹灰的 300mm 以上的地面上完成。抛浆保养排气道表面，挂网后进行抹灰处理。



> 图 7 厨卫排风管道防水结点练习

五、优化措施

有效的应用防渗漏施工技术在房屋建筑工程中具有十分关键的意义。对施工中出现的渗漏问题进行有效的解决，使防渗漏施工技术得以充分发挥作用，是提高实际应用效果的一个必不可少的环节。从多个方面着手进行优化，能够从整体上提高防渗漏施工技术的运用效果。

1) 在施工设备的使用过程中，对设备进行经常性的检查和保

养工作，使设备始终处于良好的状态，能够适应防渗漏施工的要求。并加大施工人员的培训与管理力度。提高从业人员的业务素质和技术水平，使他们能够熟练掌握防渗漏施工技术的运用方法。

2) 使建筑项目的质量得到严格的把关与把控施工材料的质量相吻合；严格把关材料的储存与保管；合理配置建筑材料的采购资金；避免因使用劣质材料而影响施工质量；严格把控材料入库时的质量检查工作；确保施工要求的贯彻落实。

3) 针对施工过程中可能遇到的问题，加强对防渗漏施工技术应用的研究，寻求行之有效的解决办法。加大建设技术研究经费投入，鼓励技术创新，促进不断改进和发展防渗漏建设技术。

4) 建立和完善促进各部门沟通协作的管理机制。确保各部门能紧密协作，合力推进合理应用防渗漏施工工艺。同时，加强对建设过程的监督管理，对发现的问题及时发现，及时解决，确保建设质量，确保建设进度。

六、结论

在深入分析渗漏问题成因的基础上，针对性地采取一系列有效的防渗漏施工技术措施。防水材料的选用及防水层的设置，通过优化施工设计来提高等级；防水层施工的细腻度和质量通过规范的施工工艺得到提高；防水材料通过严格管理施工材料，确保质量稳定，性能优良；通过健全质量验收制度，切实保证防水层建设质量。这些措施的实施，对于提高学院基建工程防漏施工水平，为广大师生创造一个更加安全、舒适的学习和生活环境，都是大有裨益的。

PE 管道在高压条件下的安装优化策略探讨

杨天宇, 杨昆

桂林市中科石油化工工程有限公司, 广西 桂林 541004

摘要： 随着塑料材料科技的飞速发展, PE 管道因其独特的耐腐蚀性、轻质高强度、安装便捷等特性, 在高压输水、天然气输送、工业流体传输等多个领域展现出广泛的应用前景。尤其是在高压条件下的应用, 对 PE 管道的安装提出了更高要求。优化 PE 管道在高压环境下的安装策略, 不仅关乎管道系统的安全稳定运行, 还直接影响到工程项目的经济效益与长期可靠性。因此, 深入探讨 PE 管道在高压条件下的安装优化策略, 成为行业内外共同关注的焦点。

关键词： PE 管道; 高压条件; 安装; 优化策略

Exploration Of Installation Optimization Strategies For Pe Pipelines Under High Pressure Conditions

Yang Tianyu, Yang Kun

Guilin Zhongke Petrochemical Engineering Co., Ltd., Guangxi, Guilin 541004

Abstract： With the rapid development of plastic material technology, PE pipes have shown wide application prospects in various fields such as high-pressure water transportation, natural gas transportation, and industrial fluid transportation due to their unique characteristics of corrosion resistance, lightweight and high-strength, and convenient installation. Especially under high-pressure conditions, higher requirements are placed on the installation of PE pipelines. Optimizing the installation strategy of PE pipelines in high-pressure environments not only concerns the safe and stable operation of pipeline systems, but also directly affects the economic benefits and long-term reliability of engineering projects. Therefore, in-depth exploration of installation optimization strategies for PE pipelines under high-pressure conditions has become a common focus of attention both inside and outside the industry.

Keywords： PE pipeline; high pressure conditions; installation; optimization strategy

引言：

PE 管道在高压条件下的安装优化策略, 是一个涉及材料、设计、施工、监测等多方面的系统工程。在高压条件下, PE 管道的壁厚、直径选择以及铺设路线的设计需综合考虑工作压力、土壤条件、地形地貌等因素, 确保管道能够承受预期的压力负荷, 同时减少外部环境对管道的潜在损害^[1]。采用先进的计算机模拟技术进行应力分析和流体动力学模拟, 有助于提前识别潜在风险, 优化设计方案。高压环境对 PE 管道的材料性能提出了更高要求, 施工过程中, 加强对接焊、电熔焊等焊接工艺的控制, 确保焊接质量, 避免因焊接缺陷引起的泄漏或破裂。通过科学规划、严格质量控制、先进施工技术和智能化管理的综合运用, 可以显著提升 PE 管道在高压环境下的安装质量和运行安全。

一、高压条件下 PE 管道的应用优势

PE 管道以其出色的耐腐蚀性、良好的柔韧性、轻便易安装以及长寿命等优点, 成为替代传统金属管道的理想选择。在高压环境下, 特别设计的高强度 PE100 或 PE100-RC (抗裂纹快速扩散) 等级材料被广泛应用, 它们能够承受更高的压力, 保证管道系统的安全稳定运行^[2]。在城市供水系统中, 高压 PE 管道能够满足远距离、大口径输水的需求, 减少渗漏, 提升水资源的利用效率。对于天然气输送, 高压 PE 管道确保了气体的安全运输, 减少

了维护成本和泄漏风险。此外, 在石油、化工等工业领域, 耐高压 PE 管道用于输送各类化学介质, 表现出优异的化学稳定性和耐环境应力开裂性能。

二、PE 管道安装过程中常见问题

(一) 原材料进场管理

原材料作为压力管道安装的基石, 其质量直接决定了最终工程的质量与安全。然而, 实践中常发现安装单位对原材料的管理

* 作者简介: 杨天宇, 19971102, 男, 汉族, 黑龙江省甘南县, 大学本科, 助理级工程师, 从事石油天然气管道方向。

有所松懈，主要体现在：原材料的分类、标识和保管不规范，导致材料混淆、保护不当，以及追溯性差^[3]。部分原材料因未严格按照规定进行化学成分分析，使得不符合要求的材料可能被错误使用，埋下了安全隐患。

（二）静密封安装管理

静密封是确保超高压管道系统密封性与安全性的关键环节。在法兰连接中，透视镜垫圈的保护不当成为常见问题，如垫圈随意堆放，包装提前被拆除，导致密封面受损，进而引发泄漏^[4]。此外，超高压管道特有的螺栓紧固要求，如方向一致性及外露长度控制，往往因安装预留空间不足或操作不当而难以达标，影响螺栓紧固的均匀性和有效性，这也是造成泄漏隐患的原因之一。

（三）管道安装管理

超高压管道安装的高要求体现在其必须在无应力状态下进行，以应对工作时的高压力和温度带来的振动挑战。然而，实际操作中，滑动支架的安装常常出现问题，如支座地板的不平整或粗糙，无法满足防震要求，增加了管道在运行中发生位移、振动甚至损坏的风险，这对管道系统的长期稳定运行构成了威胁。

（四）自增强处理

超高压管道在承受极高工作压力的同时，还需面对介质循环压力变化带来的疲劳考验。为提高管道的耐久性和抗疲劳性能，自增强处理成为必要环节。然而，实际中存在部分管道在正式投用前未按制造商标准完成所有管件（除透视镜垫片外）的自增强处理。这不仅未能充分利用预应力抵消工作应力，降低管件在服役期间的应力集中和裂纹扩展风险，还可能严重影响管道的使用寿命和安全性。

三、PE 管道在高压条件下的安装优化策略

（一）管道组成件质量控制

清晰、完整的标识是管道组成件质量控制的第一步。标识不仅包括了组成件的基本信息，如型号、规格、生产批次、制造标准等，还有重要的材质信息和检验合格标记。这些信息对于后续的追溯管理、安装指导以及维护保养至关重要。模糊或缺失的标识可能会导致错误安装，影响系统的正常运行，严重时还会因选用不当引发事故^[5]。合理分类堆放是维护组成件质量的必要措施。根据材质、规格、用途的不同，对管道组成件进行科学分类，不仅便于管理，还能防止因堆放不当导致的损伤，如防腐涂层磨损、机械损伤等。此外，按照标准和设计要求进行堆放，确保在储存期间组成件的性能不被外界环境影响，如潮湿、腐蚀等。核对组成件与质量证明文件的一致性质量控制的关键步骤。每一批次的组成件都应附有相应的质量证明文件，包括但不限于材质报告、性能测试报告、合格证等。这些文件是组成件质量的直接证据，通过对文件的仔细审核，可以验证组成件是否符合设计要求和相关标准，确保工程质量不打折。对于具有特殊要求的管道系统，如高温、高压、腐蚀性介质等工况，组成件的选择更为严格。除了常规检查外，还需特别关注其耐腐蚀性、耐高温性、承压能力等特殊性能指标，确保所选组件能够满足极端工况下的安全运行要求。任何偏离设计标准或未经验证的替代品都不应被采

纳，以防止潜在的安全风险。对于无法证明其质量合格的组成件，应坚决执行替换原则。允许未经验证的材料进入安装环节，是对工程质量的严重不负责任，不仅违反了相关法规，还可能对人员安全、环境和企业声誉造成长远损害。因此，建立严格的质量把关机制，确保每一件管道组成件都能“持证上岗”，是每个项目管理者 and 质量控制人员必须坚守的原则。

（二）静密封安装质量控制

静密封安装质量控制在超高压管道系统中至关重要，直接关系到系统的安全稳定运行和防止介质泄漏，特别是在含有易燃、易爆或有害介质的管道中，任何密封失效都可能导致严重的后果。因此，对透视镜垫圈的清洁处理、安装操作的精确控制，以及高强度螺栓预紧力的施加，都需严格遵守规范，确保密封效果。透视镜垫圈作为关键的密封元件，其安装前的清洁工作是基础上的基础。使用 CC14 等适宜溶剂清洗透视镜垫圈，旨在去除表面的保护油脂和任何可能影响密封性的杂质，确保其表面的绝对清洁和光洁度。这一环节看似简单，却往往是密封失效的根源所在。一旦有微小的颗粒或油脂残留，都可能在高压环境下形成泄漏通道^[6]。因此，采用干净、无毛的抹布对安装区域进行彻底清洁，以及使用专用工具抓取透视镜垫圈，避免手部直接接触，都是减少污染、保障密封性的关键步骤。在高强度螺栓的安装与预紧力控制方面，其重要性同样不容忽视。超高压管道系统中，螺栓不仅要承受极高的拉伸载荷，还需确保法兰连接的紧密度，任何预紧力的不均匀都可能导致法兰面偏斜、透视镜垫圈受力不均，从而引发泄漏。因此，安装过程中必须严格依照制造商或标准规范要求施加预紧力，通过专用的液压工具来保证施力的精确性和一致性。同时，法兰对正、找平的过程需在螺栓扭转的每个阶段同步进行，确保在整个紧固过程中法兰接口的对齐，最终的对中偏差检查更是不可或缺，以确保密封面能够均匀受力，实现可靠的密封效果。

（三）管道安装的控制

管道安装作为工程项目建设中的关键环节，其质量直接影响到整个系统的安全运行和使用寿命。特别是在超高压、精密要求较高的管道安装项目中，对控制措施的严格实施更是不容忽视。现场的控制检查不仅需要细致入微，更需遵循科学合理的程序，确保每一步操作均符合设计和规范要求^[7]。管道清洗与防锈处理是安装前的必备环节，其目的是确保管道内部清洁无异物，避免因杂质残留导致的堵塞或腐蚀问题。使用丙酮、煤油等溶剂进行擦拭，要求操作人员细致操作，确保管段内壁的绝对清洁。同时，采用丝绸等软性材料进行拖擦，避免硬物刮伤内壁，体现了对管道保护的高度重视。在管道的吊装与搬运过程中，选择正确的吊装工具与方法至关重要。使用吊装带而非钢丝绳，可有效避免铁离子污染，保护管道免受损伤，同时，通过平衡梁和不少于两处的吊点，保证吊装过程的平稳，减少因受力不均导致的管道变形风险。此外，对管道端部的螺纹保护也是不容忽视的细节，通过临时保护设施和安装前后严格的清洁与润滑，确保螺纹连接的顺利与密封性。安装顺序与无应力状态的控制是确保管道系统稳定性的关键。在管道安装规划中，将调整段的安装安排在最后，且确保在无应力状态下进行，这能有效减少因应力集中导致的管道

损坏和泄漏风险^[9]。同时，法兰组装时避免强力组装，体现了对材料特性的尊重与保护，防止因操作不当造成的材料浪费。合理使用调整薄板等工具，对支架尺寸的偏差进行修正，确保管道在安装后的垂直度与水平度，减少运行中因振动或热膨胀导致的位移问题^[9]。对于热位移和振动的预防，通过选用合适的垫片材料，如木垫、金属垫片等，既可以有效缓冲，又避免了管道间的直接摩擦，延长了管道系统的使用寿命。

（四）自增强处理控制

自增强处理作为一种提高超高压管道性能的重要工艺手段，其核心在于通过预先在管道内壁施加高于正常工作压力的载荷，使材料发生塑性变形，形成残余压应力场。这一压应力场在管道投入实际运行后，能有效抵消或减轻工作压力带来的拉应力，从而减轻内壁的应力集中，显著增强管道的抗疲劳性能和长期运行的安全性^[10]。在项目实施过程中，对自增强处理的控制尤为关键。监督检验人员需细致审查供应商提供的自增强处理记录，确保每一批次管道均严格按照既定的标准和工艺进行了处理。这些记录应详尽记录处理过程中的关键参数，包括但不限于增压压力、保压时间、减压速率以及处理后的检测结果等，以证明处理

的有效性和一致性。此外，还需确认记录中是否包含处理前后管道内壁状态的对比数据，以及是否有第三方检测机构的验证报告，以进一步确保处理质量。

结束语：

总之，高压条件下聚乙烯（PE）管道的应用，近年来在全球范围内得到了显著增长，尤其是在供水、燃气输送、工业流体传输等领域。PE 管道在高压条件下的安装优化不仅能够延长管道的使用寿命，降低维护成本，还能够提升整个输送系统的可靠性和效率，为能源、水利等基础设施建设的高质量发展提供强有力的支持。随着材料科学与施工技术的不断进步，PE 管道在高压领域的应用将会更加广泛，其安装与维护方法亦将更加高效、智能。持续探索和实践这些优化策略，对于推动市政给排水、天然气输送、工业流体传输等行业的发展具有重要意义，同时也为实现资源的高效利用和环境保护目标提供了强有力的技术支撑。在高压管道工程的每一环节注入匠心精神，力求精准，方能铺就安全、可靠、持久的输送之路，为社会的可持续发展贡献力量。

参考文献：

- [1] 赵向南, 张海营. 埋地 PE 燃气管道安装监检质量控制 [J]. 设备监理, 2022(002):000.
- [2] 黄寅, 陈川. 小井沟支渠管道安装质量控制要点探析 [J]. 四川水利, 2022(S2):59-61+80.
- [3] 成强. 市政聚乙烯管道施工纵向伸缩变形控制探讨 [J]. 城镇供水, 2022(3):4.
- [4] 开前正, 彭焕宝, 卫世全, 朱庆龙. 双顶推 PE 内衬短管道修复施工技术 [J]. 汽车博览, 2022(35):55-57.
- [5] 马辉文. 大口径 HDPE 虹吸管用于水利工程防汛的可行性研究 [J]. 水利技术监督, 2023(12):61-64, 88.
- [6] 隋瑞祥. 论 PE 燃气管道焊接施工质量管理与控制对策 [J]. 砖瓦世界, 2023(24):112-114.
- [7] 韦寒雨. 市政供水工程大口径 PE 管道安装施工技术研究 [J]. 企业科技与发展, 2024(2):121-124.
- [8] 闫新江, 张晓彤, 陈西国, 等. 高产气井生产管柱非线性流致振动实验研究 [J]. 实验技术与管理, 2024, 41(3):45-53.
- [9] 曹福想, 郭少宏, 黄良发. 聚乙烯埋地燃气管道示踪线安装与检验 [J]. 中国特种设备安全, 2023, 39(10):84-87, 92.
- [10] 郭莉萍. 某老库区供水管网连通工程施工中管材管件安装技术 [J]. 河南水利与南水北调, 2023, 52(7):66-67.

片状 Ni/NiO@C 的合成及储锂性能研究

桑一卜, 张辉, 程志远, 易宗慧*

宁夏师范学院, 宁夏 固原 756000

摘 要 : 采用溶胶凝胶法制备了碳包覆 Ni 和 NiO 复合材料 -Ni/NiO@C (NC)。高温煅烧时间对 NC 的电化学性能有很大的影响, 煅烧时间为 3 h 的 NC-3 的电化学性能最优异。XRD 证明 NC-3 样品主要由 Ni、NiO 和无定形碳组成。SEM 图证明 NC-3 的形貌为片状, 厚度大约 100~200 nm。HRTEM 图说明 NC-3 样品中的 Ni 以及 NiO 的一次晶体颗粒非常小, 平均尺寸约 6 nm, 并且 Ni 和 NiO 一次晶体颗粒被无定形碳包覆。NC 纳米片负极材料的首次库伦效率均大于 94%。在 100 mA g⁻¹ 的电流密度下, NC-3 的首次充电比容量可达到 585.6 mAh g⁻¹, 循环 50 圈后, 其充电比容量仍可达到 387.8 mAh g⁻¹, 容量保持率为 66.22%。

关 键 词 : 溶胶凝胶法; 锂离子电池; 负极材料

Study On The Synthesis And Lithium Storage Performance Of Sheet Ni / NiO@C

Sang Yibu, Zhang Hui, Cheng Zhiyuan, Yi Zonghui*

Ningxia Normal University, Ningxia, Guyuan 756000

Abstract : Carbon coated Ni and NiO composite-Ni / NiO@C (NC) was prepared by sol-gel method. High temperature calcination time has a great influence on the electrochemical properties of NC, and NC-3 with 3 h has the best electrochemical properties. XRD demonstrated that the NC-3 samples were mainly composed of Ni, NiO, and amorphous carbon. The SEM map proved that NC-3 has a sheet morphology with a thickness of about 100 - 200 nm. The HRTEM diagram shows that the primary crystal particles of Ni and NiO in the NC-3 samples are very small, with an average size of about 6 nm, and that the Ni and NiO primary crystal particles are coated with amorphous carbon. The first Coulomb efficiency of NC nanosheet anode materials was greater than 94%. At the current density of 100 mA g⁻¹, the first charging specific capacity of NC-3 can reach 585.6 mAh g⁻¹. After 50 cycles, the charging specific capacity can still reach 387.8 mAh g⁻¹, and the capacity retention rate is 66.22%.

Keywords : sol-gel method; lithium ion battery; anode material

锂离子电池 (LIBs) 具有能量密度高和长程循环稳定性好等优势, 被认为是未来新能源汽车和大规模电网储能系统的最有潜力的竞争者^[1]。负极材料对锂离子电池的性能起着至关重要的作用。过渡金属和过渡金属氧化物负极材料由于具有较高的理论容量而受到广泛的关注^[2-7]。镍基负极材料具有许多优点, 比如容量高、资源丰富、容易合成、无毒、堆积密度高等, 镍基负极材料在 LIBs 领域展现出了广阔的应用前景^[8]。本文使用溶胶凝胶法合成了碳包覆 Ni 和 NiO 复合材料 Ni/NiO@C, 并检测了该 Ni/NiO@C 负极材料的结构、形貌及电化学性能。

一、实验部分

(一) 材料制备

首先在 100 mL 的烧杯中加入 10 mL 的 N, N- 二甲基甲酰胺, 再依次加入 1.454 g 的 Ni(NO₃)₂ · 6H₂O 和 1.3 g 的 PVP (M_w=1300000), 磁力搅拌直至形成浅绿色的透明溶液。然后,

将溶液升温到 80 °C, 继续搅拌直至形成干凝胶。将干凝胶用玛瑙研钵研碎备用。将研磨好的干凝胶置于空气中预烧, 预烧温度为 200 °C, 预烧时间为 6 h。然后, 将预烧后的样品置于管式炉中, 在氩气气氛中进行高温煅烧, 煅烧温度为 500 °C, 煅烧时间分别为 1、2、3、4、5 h, 自然冷却得到灰色的 Ni/NiO@C 产品, 将煅烧时间为 1、2、3、4、5 h 的样品依次命名为 NC-1、NC-2、

基金项目: 宁夏教育厅高等学校科学研究项目, 项目编号: NYG2024177

作者简介:

桑一卜 (1999.01-) 女, 满族, 辽宁鞍山, 学校: 宁夏师范学院, 专业: 分析化学, 研究方向: 新能源材料。

张辉 (2000.4-) 女, 汉族, 宁夏彭阳, 学校: 宁夏师范学院, 专业: 分析化学, 研究方向: 新能源材料。

程志远 (1999.12-) 男, 汉族, 山东济宁, 学校: 宁夏师范学院, 专业: 分析化学, 研究方向: 新能源材料。

通信作者: 易宗慧 (1976-) 女, 汉族, 湖北, 博士, 单位: 宁夏师范学院, 职称: 副教授, 研究方向: 新能源材料研究与开发。

NC-3、NC-4、NC-5。

(二) 分析与检测

X 射线粉末衍射 (XRD) 采用德国的 Bruker D8 ADVANCE 型粉末衍射仪, Cu-K_{α1} 射线, 波长为 1.54056 Å, 检测的 2θ 角范围为 10° 到 80°, 扫描速率为 2° min⁻¹。用扫描电子显微镜 (FESEM, JEOL JSM-6700F) 观察样品的表面形貌和尺寸。用高倍透射电镜 (HRTEM, JEOL 2100F) 观察样品的微观形貌和结构。

(三) 电化学性能测试

将 Ni/NiO@C 制成电极的操作如下: 将重量比为 8:1:1 的 Ni/NiO@C、乙炔黑、PVDF 加进 NMP, 持续搅拌直至形成均匀的浆料, 用刮刀将浆料涂敷在 Cu 箔上, 在 80 °C 的烘箱中干燥 12 h 后, 裁剪成半径为 6 mm 的圆片。在充满氩气的手套箱中组装扣式电池 (2032), 用金属锂作为对电极, 隔膜为 Celgard 2400, 电解液为 1.0 M LiPF₆, 溶剂由体积比为 1:1 的碳酸乙烯酯和碳酸二甲酯组成。用深圳新威尔公司的 CT4008 电池测试仪进行容量及循环性能测试, 电压范围为 0.01 到 3.0 V (vs. Li/Li⁺)。

二、结果与讨论

图 1a 为 NC-3 的扫描电镜图, 可知 NC-3 颗粒的形貌呈不规则的片状, 表面光滑致密, 尺寸大小约 1 μm, 厚度大约 100~200 nm。NC-3 的 HRTEM 图如图 1b 所示, Ni 和 NiO 的一次晶体颗粒基本呈球形, 平均尺寸约为 6 nm。众所周知, 一次晶体的尺寸小可以有效地缩短 Li⁺ 离子的迁移距离和迁移时间, 这有利于提高负极材料的比容量。此外, 尺寸小的一次晶体颗粒在充放电过程中的体积变化小, 这有利于提高负极材料的循环性能。另外, Ni 和 NiO 晶体颗粒之间被无定形碳隔开, 说明煅烧过程中 PVP 热解产生的无定形碳包覆在 Ni 和 NiO 的晶粒表面, 有效阻止了煅烧过程中 Ni 和 NiO 一次晶体颗粒的生长和团聚, 从而得到了纳米尺寸的 Ni 和 NiO 的一次晶粒。包覆在 Ni 和 NiO 的晶粒表面的无定形碳可以提高电极材料的电子导电性, 还可以有效地缓冲充放电过程中 Ni 和 NiO 晶体颗粒的体积变化, 这有利于提高 NC-3 的循环性能。

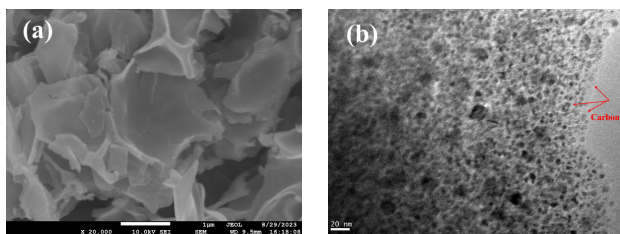


图 1(a) NC-3 的 SEM 图, (b) NC-3 的 HRTEM 图

NC-3 的 XRD 结果如图 2a 所示。在 2θ 角约 44.43°、47.43°、51.62°、76.48° 处出现衍射峰, 分别对应金属 Ni 的 (111)、(011)、(200)、(220) 晶面的衍射峰^[9, 10]。在 2θ 角约 42.20°、62.58° 处出现衍射峰, 分别对应 NiO 的 (200)、(220) 晶面的衍射峰。另外, 在 2θ 角约 25° 出现了一个较弱的宽峰, 这是无定形碳的特征衍射峰, 说明煅烧过程中 PVP 热解产

生的 C 为典型的无定形碳, 其主要由无序结构的碳组成, 结晶度较低。

循环伏安 (CV) 测试可以探索 Ni/NiO@C 负极材料的电化学行为。图 2b 为 NC-3 的 CV 曲线图。电压范围设置为 0.01~3.00 V, 扫描速率为 0.1 mV s⁻¹。在第一次负扫过程中, 在 1.0 V 附近出现了一个较强的还原峰, 这与 NiO 被还原成 Ni 有关, 同时伴随着无定形 Li₂O 的形成 (方程 1)。在第一次正扫过程中, 1.3 V 处的氧化峰归因于 Ni 被氧化为 NiO, 同时伴随着无定形 Li₂O 被还原成 Li (方程 2)。此外, 在 0 V 附近发现了一个尖锐的还原峰, 同时在 0.1 V 观察到对应的弱氧化峰, 这类似于锂离子在无定碳中插入/脱出的 CV 行为 (方程 3)。第二次、第三次的 CV 曲线基本上重叠, 证明了 NC-3 高度的电化学可逆性, 可以预测 NC-3 材料将具有良好的循环性能。另外, 第二次、第三次负扫的还原峰比第一次负扫的还原峰高, 这是因为第一次正扫过程中 NC-3 材料中的 Ni 被氧化成 NiO, 第二次和第三次负扫时电极里的 NiO 比第一次负扫电极里的 NiO 含量高。此外, 在 0.5 V 附近没有发现典型的与 SEI 生成有关的还原峰, 可能与 NC-3 表面特征有关, 根据图 1a, NC-3 纳米片表面光滑致密, 表面缺陷较少, 这有利于降低电极和电解液之间的副反应, 从而减少 SEI 膜的生成。

电化学反应方程式如下:

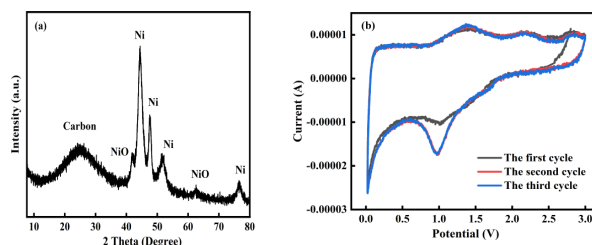
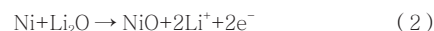
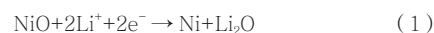


图 2 (a) NC-3 的 XRD 图, 图 2 (b) NC-3 的 CV 曲线图

图 3a 为 Ni/NiO@C 样品在室温下的第一圈充放电曲线图, 电流密度均为 100 mA g⁻¹, 电压范围为 0.01~3.0 V (vs. Li/Li⁺)。NC-1、NC-2、NC-3、NC-4、NC-5 的第一次放电容量分别为 512.3 mAh g⁻¹、507.0 mAh g⁻¹、548.8 mAh g⁻¹、557.9 mAh g⁻¹、467.7 mAh g⁻¹, 第一次充电容量分别为 509.0 mAh g⁻¹、542.8 mAh g⁻¹、585.6 mAh g⁻¹、554.5 mAh g⁻¹、503.7 mAh g⁻¹, 第一次充放电效率分别为 99.4%、107.1%、106.7%、99.4%、107.7%。明显, 五种样品的第一次充放电效率均较高。其中, NC-2、NC-3 和 NC-5 的第一次充放电效率大于 100%。可能与 Ni/NiO@C 复合物中的金属 Ni 有关, 由于金属 Ni 在第一次放电过程中不消耗 Li⁺, 但这部分 Ni 在第一次充电过程中与 Li₂O 反应, 增加了活性 Li⁺ 的数量, 减小了无效 Li⁺ 的损耗, 导致首次库伦效率较大。此外, 第一次充放电效率高还可能与 NC 的表面特征有关, NC 表面光滑致密, 因此表面缺陷较少, 这有利于降低电极和电解液之间的副反应, 从而减小无效 Li⁺ 的损耗。众所周

知, 负极材料的库伦效率高可以减小全电池中无效 Li^+ 的损耗, 从而减少正极材料的用量。图 3b 为 $\text{Ni}/\text{NiO}@\text{C}$ 样品在室温下的循环性能图, 电流密度均为 100 mA g^{-1} , 电压范围为 $0.01\text{--}3.0 \text{ V}$ (vs. Li/Li^+)。NC-1、NC-2、NC-3、NC-4、NC-5 第五十圈的充电比容量分别为 360.6 mAh g^{-1} 、 336.5 mAh g^{-1} 、 387.8 mAh g^{-1} 、 350.1 mAh g^{-1} 、 323.0 mAh g^{-1} , 第五十圈的容量保持率分别为 70.84%、61.99%、66.22%、63.13%、64.12%。可见, 高温煅烧时间对 $\text{Ni}/\text{NiO}@\text{C}$ 的电化学性能有很大的影响, 高温煅烧时间为 3 h 的 NC-3 样品的可逆容量最高, 循环稳定性最优异。

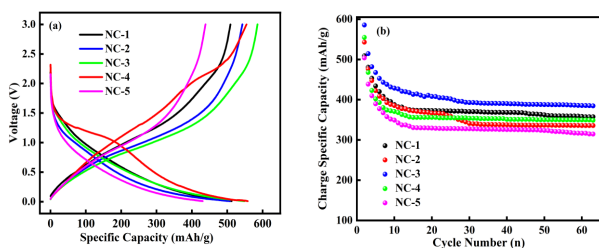


图 3 (a) NC-1、NC-2、NC-3、NC-4、NC-5 的首次充放电曲线图, (b) NC-1、NC-2、NC-3、NC-4、NC-5 的循环性能图

三、结论

以 $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 和 PVP 为原料, 通过溶胶凝胶法成功合成了 $\text{Ni}/\text{NiO}@\text{C}$ 复合物材料。电化学测试结果说明高温煅烧时间对 NC 的电化学性能有很大的影响, 煅烧时间为 3 h 的 NC-3 的电化学性能最优异。XRD 检测结果证明 NC-3 复合物含 NiO 、 Ni 和无定形碳。SEM 结果表明 NC-3 复合物形貌为不规则的片状, 片状的厚度约 $100\text{--}200 \text{ nm}$ 。HRTEM 图说明 NC-3 样品中的 Ni 以及 NiO 一次晶体颗粒被 PVP 热解产生的无定形碳完全包覆。由于煅烧过程中生成的无定形碳包覆在 Ni 和 NiO 晶粒表面, 有效地阻止了 Ni 和 NiO 晶粒的长大和团聚, 因此 Ni 和 NiO 晶粒尺寸非常小, 平均尺寸约为 6 nm 。作为锂离子电池负极材料, NC 复合材料的首次库伦效率均大于 94%, 这得益于 NC 光滑致密的表面特征, 以及复合材料中的金属 Ni 。在电流密度为 100 mA g^{-1} 的条件下, NC-3 表现出了最优异的电化学性能, 其首次充电比容量可达到 585.6 mAh g^{-1} , 第五十圈的充电比容量为 387.8 mAh g^{-1} , 容量保持率为 66.22%。

参考文献:

- [1] Tang Y, Zhang Y, Li W, et al. Rational material design for ultrafast rechargeable lithium-ion batteries [J]. Chemical Society Reviews, 2015, 44(17): 5926–5940.
- [2] Wen W, Wu J M, Cao M H. NiO/Ni powders with effective architectures as anode materials in Li-ion batteries [J]. Journal of materials chemistry A, 2013, 1(12): 3881–3885.
- [3] Liu X, Liu F. Nanoflakes - Assembled 3D Flower - Like Nickel Oxide/Nickel Composites as Supercapacitor Electrode Materials [J]. European Journal of Inorganic Chemistry, 2018, 2018(8): 987–991.
- [4] 刘晓莉. 镍钴系金属氧化物及其复合物的控制合成及电化学性能研究 [D]. 重庆大学, 2018. 张璨萍. 镍基化合物 (氧化物、碳酸盐) 的合成与改性及在锂离子电池中的性能研究 [D]. 湖北大学, 2023.
- [5] 沈圳. 过渡金属镍、铁氧化物 / 碳复合材料的制备及储锂 / 储钠性能研究 [D]. 福州大学, 2021.
- [6] 尹坚. 过渡金属氧化物 / 碳纳米复合材料的制备及其储锂性能研究 [D]. 重庆科技学院, 2021.
- [7] 文佳幸. 镍基负极材料的静电纺丝制备及储锂 / 钾性能研究 [D]. 湘潭大学, 2021.
- [8] Jia Y, Ma Z, Li Z, et al. Electrochemical performances of $\text{NiO}/\text{Ni}_2\text{N}$ nanocomposite thin film as anode material for lithium ion batteries [J]. Frontiers of Materials Science, 2019, 13: 367–374.
- [9] Zhang S Q, Zhao Q F, Wang C, et al. Synthesis and electrochemical properties of NiO/Ni composite as an anode for lithium-ion batteries [J]. International Journal of Electrochemical Science, 2022, 17(2): 220237–220247.
- [10] Wang Y, Duan C, Li J, et al. Fabrication of interface-engineered $\text{Ni}/\text{NiO}/\text{rGO}$ nanobush for highly efficient and durable oxygen reduction [J]. Materials Science in Semiconductor Processing, 2023, 156: 107259–107271.

调控一体化模式下集控操作防误体系建设

罗程

国家电投集团贵州金元绥阳产业有限公司发电厂，贵州 遵义 563000

摘要：在当代电力系统中，随着电力需求的增长和能源结构的多样化，电力系统运行的安全性、可靠性和效率面临着日益复杂的挑战。为了应对这些挑战，调控一体化模式下集控操作防误体系的建设显得尤为重要。本文分析了集控操作调控一体化模式的基本原理，并从变电设备操作防误体系构架角度出发探讨管理防控体系，并围绕调控一体化基础上的调度层防误体系建设提出对应的优化策略，为推动电力调控一体化模式下集控操作安全性与有效性提供参考性意见。

关键词：电力；调控一体化；集控操作；防误体系建设

Construction Of Anti-Error System Of Centralized Control Operation Under Integrated Control Mode

Luo Cheng

Power Plant of Guizhou Jinyuan Suiyang Industry Co., LTD., State Power Investment Group, Guizhou, Zunyi 563000

Abstract： In the contemporary power system, with the growth of power demand and the diversification of energy structure, the safety, reliability and efficiency of power system operation are facing increasingly complex challenges. In order to cope with these challenges, the construction of centralized control operation error prevention system under the integrated mode of regulation and control is particularly important. This paper analyzes the basic principle of the integrated mode of centralized control operation and regulation, and discusses the management and prevention system from the perspective of the anti-error system architecture of substation equipment operation and control, and proposes corresponding optimization strategies around the construction of the anti-error system of dispatch layer based on the integrated control and regulation, so as to provide reference suggestions for promoting the safety and effectiveness of centralized control operation under the integrated mode of power regulation and regulation.

Keywords： electric power; regulation integration; centralized control operation; construction of error prevention system

前言：

随着电力系统规模的扩大和复杂性的增加，传统的人工操作已经无法满足对电力系统运行安全性和稳定性的要求。传统的操作模式存在着操作人员疲劳、操作错误率高等问题，这些问题导致严重的电网事故和设备损坏，对电力系统的稳定运行构成威胁。电力系统的现代化和自动化程度不断提升，在调控一体化的背景下，调度层遥控操作成为电网调度和管理的核心技术，通过远程遥控操作，调度员可以实时监控和控制电网设备，及时响应电力市场需求和电网故障，保障电力供应的连续性和稳定性^[1]。除此之外，调度层遥控操作防误体系的研究不仅关乎电力系统的安全运行，还关系到电力系统能否有效应对未来能源转型和电力市场变化的挑战，在引入先进的实时数据监测技术和智能化的操作控制策略的基础上，可以提升电力系统的运行效率和响应能力，适应电力行业快速发展的新形势。

一、集控操作调控一体化模式的概述

在现代电力系统中，集控操作调控一体化模式是一种重要的技术发展趋势，旨在提高电力系统运行的效率、安全性和可靠性^[2]。传统上的电力系统的运行和管理分为集控中心和受控站两个主要部分，集控中心负责监控和调度电网运行，而受控站则负责实际设备的运行和维护，随着信息技术的进步和电力系统自动化

水平的提高，集控操作调控一体化模式应运而生，逐步取代了传统的分离管理模式。

集控操作调控一体化模式的核心思想是将原本分散的集控中心和受控站功能整合为一个统一的操作平台，该模式通过先进的远程监控、远程操作和数据通信技术，实现了对电力系统各个环节的实时监测、精准调度和远程控制^[3]。首先，集成管理和优化资源配置。通过集成化的操作平台，电力公司能够实现对电力系

* 作者简介：罗程，男，1990年07月18日，汉族，本科，助理工程师。

统资源的综合管理和优化配置，提高设备利用率和能源效率。其次，调控一体化模式通过自动化和智能化技术，能够快速响应市场需求和电网运行状态变化，有效降低故障处理时间和运行成本。此外，集控操作调控一体化模式引入了更为严格的安全管理措施和操作规程，通过高效的监控和预警系统，及时发现和应对潜在的安全风险和操作错误，提升电力系统的稳定性和安全性。最后，调控一体化模式为智能电网的建设提供了技术支持和实施平台，促进了能源互联网的发展和新能源的大规模接入，推动了电力系统向智能化、数字化和绿色化的转型。

二、变电设备操作防误体系构架

随着电力系统的现代化和自动化程度提升，变电设备操作的准确性和安全性成为保障电网运行的重要保障，在变电设备操作防误体系中，设备标识与命名管理是基础。确保每个设备都有唯一的标识符，并且在操作系统中能够准确识别和定位^[4]。这包括设备的正式名称、位置信息、技术参数等，需要采用统一的命名规范，避免不同设备之间的混淆和误操作。

为了防止未经授权的人员进行操作，设备操作防误体系应设立严格的操作权限控制机制。只有经过特定培训和授权的操作人员才能访问和执行操作。权限控制应分级，根据操作人员的职责和技能设置不同的操作权限，确保操作的合法性和安全性。在实际进行变电设备操作之前，操作防误体系需要设立操作前确认与验证环节。这包括对操作计划的复核和确认，确保操作步骤和条件符合设备操作规程和安全要求^[5]。操作人员应通过系统进行操作计划的验证，确认操作的正确性和合规性，避免因操作步骤不当或环境条件不适导致的误操作。除此之外，变电设备操作防误体系中的投切逻辑校验是保证操作行为逻辑正确性的重要环节。通过设定和实施投切逻辑校验算法，系统能够验证投切操作的逻辑顺序和合理性，避免因操作逻辑错误导致的设备损坏或电网故障。

为了减少异常操作带来的负面影响，电气系统应设置实时监控和异常报警机制，一旦发现操作异常或违规操作行为，立即通过预警系统通知相关人员，并启动应急响应程序，及时控制和纠正操作，以最小化潜在风险和影响。除此之外，为了持续改进操作防误体系的有效性，系统应具备完善的数据记录与分析功能。记录每次操作的详细信息，包括操作人员、操作时间、操作步骤、操作结果等。通过数据分析和统计，评估操作风险和安全性，识别潜在的操作改进和优化点，提升整体运行效率和安全性水平。

三、调度层遥控操作防误体系的标准

在电力系统的运行中，调度层遥控操作防误体系的建设是确保电网运行安全和稳定性的重要环节，调度层在电力系统中起着核心的调度和监控作用，负责对电力设备和电网运行状态进行监测和控制，只有经过专门培训和授权的操作人员才能够进行遥控

操作，实际的权限管理应根据操作人员的职责和技能分级设置，确保每位操作人员只能执行其权限范围内的操作，避免因权限不当而导致的误操作风险^[6]。

在进行任何遥控操作之前，调度层应当实施操作前的确认与验证程序。这包括对操作计划的详细复核和确认，确保操作步骤、操作对象和操作条件符合规程和安全要求，通过系统化的验证步骤，可以有效减少因操作计划不当或条件不符合而引发的误操作风险，且调度层遥控操作防误体系应当具备设备状态监测和实时反馈功能，基于实时监测设备运行状态和环境条件，及时反馈给操作人员相关信息，能够帮助操作人员进行遥控操作时更准确地评估操作影响和风险，并做出适当的操作决策，降低误操作的性。

一方面，为确保遥控操作的逻辑正确性和安全性，调度层遥控操作防误体系需要实施严格的操作逻辑校验和投切预演机制。操作逻辑校验通过设定和验证操作步骤的逻辑顺序和条件，确保操作的合理性和安全性。投切预演则是模拟操作效果，评估操作带来的影响，提前发现潜在的问题和风险，从而避免实际操作中的误操作^[7]。另一方面，系统应设置有效的异常操作监测机制，一旦发现操作异常或不符合预期的情况，立即通过预警系统通知相关人员，并启动应急响应程序。及时采取措施，遏制事故蔓延和扩大，保障电网运行的安全性和稳定性。

四、调度层遥控操作防误体系的有效策略

（一）基于实时数据的电网拓扑防误

在电力系统的调度运行中，电网拓扑是指描述电网结构和设备连接状态的抽象模型，电网拓扑的准确性直接影响到调度操作的安全性和有效性。为了有效防止因误操作而引发的电网故障，基于实时数据的电网拓扑防误策略是至关重要的技术手段。

在电网拓扑防误策略中，关键在于通过实时数据采集系统获取电网各个节点和设备状态信息，具体包括各个发电厂、变电站、输电线路等的运行状态和连接关系，在此基础上通过实时监测和数据更新，保持电网拓扑模型与实际运行状态一致，当电网发生变化或设备状态发生变化时，系统应能够及时检测和确认拓扑的变更，实际当发电厂或变电站投入或退出运行，或者输电线路发生故障切除时，系统能够自动更新拓扑信息，并向操作人员发出警报，提醒其调整操作策略^[8]。

一方面，通过实施拓扑一致性验证算法，系统能够检测和识别拓扑模型中存在的 inconsistency 或错误，可以检测并排除由于数据传输延迟或通信故障而导致的拓扑信息更新延迟，确保调度操作基于准确和最新的拓扑数据进行。另一方面，需要设计并实施异常情况响应机制，当系统检测到拓扑数据与实际运行状态不一致时，立即启动预警和应急响应程序，且操作人员应能够迅速调整和确认操作方案，以最小化因拓扑误操作而引发的潜在电网事故。

（二）基于实时数据的开关拓扑防误

在电力系统的运行中，开关设备起着连接、切换电路的重要

作用。开关操作的准确性和安全性直接影响到电网的稳定运行，开关设备的实时状态监测是开关拓扑防误策略的基础。通过实施实时数据采集系统，监测每个开关设备的位置、状态（合闸或分闸）、电流负荷等关键参数。实时数据的及时反馈能够确保操作人员准确了解每个开关设备的当前状态。

首先，在进行开关操作之前，操作人员应当通过系统确认开关的准确位置和当前状态，包括检查开关是否处于预期的合闸或分闸状态，避免误操作引发电网连锁故障或设备损坏。其次，可以设计和实施开关操作逻辑校验算法，确保开关操作的合理性和安全性，需要对开关的操作顺序、间隔时间、设备互锁等进行逻辑验证^[9]，避免因操作顺序混乱或间隔时间不当而导致的设备损坏或电网故障。此外，可以设置开关操作的异常预警机制，当系统检测到开关操作与预期不符或存在风险时，立即向操作人员发送警报并启动应急响应程序。及时调整操作策略，遏制事故的发生和蔓延，保障电网的安全运行。

（三）基于实时数据的闸刀拓扑防误

在电力系统中，闸刀的主要作用是在电路维护、故障检修和安全保护时切断电路，保障人员和设备安全，闸刀拓扑防误策略的核心在于通过实时数据监测系统对闸刀的实时状态进行监测和更新。实时数据包括闸刀的位置、接通状态、断开状态等关键信息。通过实时监测，确保操作人员了解每个闸刀的当前状态。

其一，在进行任何闸刀操作之前，操作人员应通过系统确认

闸刀的当前位置和状态，实际包括检查闸刀是否处于预期的接通或断开状态，避免误操作引发电网的不必要中断或安全风险。其二，设计和实施闸刀操作逻辑校验算法，确保闸刀操作的合理性和安全性^[10]。例如，对闸刀的操作顺序、间隔时间、设备互锁等进行逻辑验证，避免因操作步骤混乱或不当导致的设备损坏或电网事故。其三，设置闸刀操作的异常情况响应机制，当系统检测到闸刀操作存在异常或风险时，及时向操作人员发出预警并启动应急响应程序。操作人员应能够迅速调整和确认操作计划，最大程度地减少因误操作而引发的电网事故。

结语：

综上所述，调度层遥控操作防误体系在电力系统中的建设显得尤为重要和必要，基于实时数据的电网拓扑防误、开关拓扑防误以及闸刀拓扑防误策略的实施，可以有效提升电力系统运行的安全性和稳定性，上述策略不仅确保了操作人员进行遥控操作时能够准确了解和控制电网和设备的实时状态，还通过强化操作权限管理、实时数据监测、操作逻辑校验和异常情况响应机制，有效降低了误操作导致的潜在风险。综合运用上述技术手段，在很大程度上可以为电力系统的可靠运行提供坚实的技术保障，促进电力系统向智能化和数字化转型，从而适应未来电力需求和挑战的持续发展。

参考文献：

- [1] 林焯，潘令春，李玮. 调控一体化模式下集控操作防误体系建设 [J]. 电气开关, 2016, 54(5):4.
- [2] 施森鑫. 集控智能防误闭锁控制策略 [J]. 数字技术与应用, 2022(009):040.
- [3] 冷怡，陈晓东，鲍云浮. 调控一体化运行模式下的集控微机防误系统设计方案 [J]. 大科技, 2013(1):43-44.
- [4] 潘成，刘仁琪，程健. 调控一体化模式下集控微机防误系统的设计及实现 [C]. // 中国电机工程学会电力系统自动化专业委员会2012年学术交流会论文集. 2012:1-6.
- [5] 徐华跃. 阿拉善电网变电站调控一体化运维模式的探索与研究 [D]. 华北电力大学, 2015.
- [6] 杨志明，李易繁. 基于新一代集控站主站式防误系统的一键顺控防误操作技术研究与应用 [J]. 电力设备管理, 2023(12):204-207.
- [7] 黄海军，章泽生. 流域集控中心远控防误方法实践 [J]. 电力安全技术, 2023, 25(5):15-18.
- [8] 王建平，王梓宇. 标准化在大型水电集控运行防误操作的典型应用 [J]. 四川水利, 2023, 44(S01):80-82.
- [9] 张显，陈辉，孙朝霞. 流域集控系统远程控制安全策略研究与应用 [J]. 自动化应用, 2022(9):139-141.
- [10] 王亚南，张世琦，张玉光，等. 集控变电站微机防误系统分析与应用 [J]. 陕西电力, 2022(2).

脱硫系统集控运行中的技术难点与解决对策

唐乔峰

国家电投集团贵州金元绥阳产业有限公司发电厂, 贵州 遵义 563000

摘 要： 在当今全球环境保护日益重视的背景下，脱硫技术作为工业废气治理的关键技术，在脱硫技术的实施主要依托脱硫系统的集控工作，脱硫系统运行能够去除燃烧过程中产生的二氧化硫（SO₂），以减少大气污染物排放、改善空气质量，符合国际和国内环保法规的严格要求。本文分析了脱硫系统集控运行的基本原理，在此基础上讨论了脱硫系统集控运行的技术难点，在此基础上提出了脱硫系统集控运行中技术难点的解决对策，为推动脱硫系统工作效率提供参考性意见。

关 键 词： 脱硫系统；集控运行；技术难点；解决对策

Technical Difficulties And Solutions In Centralized Control Operation Of Desulfurization Systems

Tang Qiaofeng

State power investment Group Guizhou Jinyuan Suiyang Industry Co., LTD power plant, Guizhou, Zunyi 563000

Abstract： In the context of increasing global environmental protection, desulfurization technology is a key technology for industrial waste gas treatment. The implementation of desulfurization technology mainly relies on the centralized control work of desulfurization systems. The operation of desulfurization systems can remove sulfur dioxide (SO₂) generated during the combustion process, reduce atmospheric pollutant emissions, improve air quality, and comply with strict requirements of international and domestic environmental regulations. This article analyzes the basic principle of centralized control operation of desulfurization systems, discusses the technical difficulties of centralized control operation of desulfurization systems, and proposes solutions to the technical difficulties in centralized control operation of desulfurization systems, providing reference opinions for promoting the efficiency of desulfurization system work.

Keywords： desulfurization system; centralized control operation; technical difficulties; solution measures

前言：

随着工业生产规模的扩大和环境监管的日益严格，传统的脱硫技术已不能满足高效、低能耗、低成本的要求，迫切需要新一代脱硫技术的发展和运用。脱硫过程中的化学反应和气体混合过程对操作条件的精确控制提出了更高的要求，且在环保标准的不断提高和技术进步的背景下，脱硫系统的集控运行需要与智能化技术相结合，实现实时监测和精确调节，需要使用先进的传感器技术、自动化控制系统以及数据分析与处理手段，以提升系统的响应速度和操作效率，减少运行成本和人为误操作的风险^[1]。当前，集控系统在脱硫工程中的应用逐渐增多，其通过集成控制、数据监测与分析，提高了脱硫设备的运行效率和响应能力，成为推动脱硫技术进步的重要手段。以新材料、先进传感器、智能化控制系统等技术为代表的脱硫系统改进成为主流，为脱硫系统的性能提升和成本降低提供了新的性。因此，对脱硫系统集控运行的研究对于推动脱硫技术的创新与应用具有重要意义。

一、脱硫系统集控运行的原理

脱硫系统集控运行的原理涉及多个技术领域，核心在于通过高效设备和智能化控制手段，有效去除燃煤电厂废气中的二氧化硫，保障环境空气质量。

（1）脱硫系统的功能

脱硫系统旨在从燃煤电厂排放的含硫废气中去除二氧化硫（SO₂），以达到环保排放标准。传统的脱硫工艺主要分为湿法脱硫和干法脱硫两类，各自有其特定的工作原理和适用场景^[2]。

* 作者简介：唐乔峰，1992年11月20日，男，仡佬族，大专，助理工程师

（2）脱硫系统集成控的关键技术

脱硫系统集成控运行依赖于先进的自动化技术和智能控制系统。通过安装在关键位置的传感器（如流量计、浓度计、温度计等），实时采集并传输关键参数数据，包括废气流量、SO₂浓度、吸收液浓度等。集控系统通过数据处理和分析，实现对脱硫过程的实时监测与控制^[3]。此外，集控系统利用各种算法，如模型预测控制（MPC）技术，优化吸收剂的使用和运行效率。这些算法基于实时数据和历史运行情况，调整操作参数以达到最佳的脱硫效果和能耗控制。

（3）脱硫系统集成控的运维和管理

脱硫系统集成控不仅限于数据采集和控制，还包括智能化运维和优化管理。通过通信技术实现远程监控和管理，及时响应设备运行状态的变化和异常情况。系统能预测潜在故障并优化运行策略，同时进行定期维护和检修关键设备，确保其正常运行并延长设备寿命，从而减少因设备故障导致的停产时间。

二、脱硫系统集成控运行中的技术难点

（一）高效能运行的要求

脱硫系统作为现代燃煤电厂中重要的环保设施，其高效能运行是确保废气排放符合严格环保标准的关键。具体而言，高效能运行要求系统能够在不同负荷和燃料成分变化的情况下保持稳定的脱硫效率和排放控制。这意味着脱硫设备和集控系统需要具备高度的灵活性和适应性，能够快速响应和调整，以保持最佳的运行状态^[4]。典型的应用场景下，电厂负荷波动导致烟气流量和SO₂浓度的变化，系统必须能够通过自动调节吸收剂投加量、反应浆液浓度等参数，实时调整脱硫效率，以确保废气排放持续符合排放标准。

除此之外，高效能运行还要求系统能够最大程度地降低能耗和运行成本，同时保证设备的长期稳定性和可靠性。这涉及优化能耗与效率的平衡，例如在吸收液循环过程中尽量减少泵送能耗，通过智能控制算法实现能量回收和再利用，从而降低运行成本。同时，系统设计和操作还需考虑到设备的寿命和维护需求，通过定期检修和维护计划，延长设备的使用寿命，降低维护成本，确保系统能够长期高效运行。

（二）运行数据处理与优化

脱硫系统需要实时、准确地采集和监测多种关键数据，如烟气流量、SO₂浓度、吸收液浓度、设备运行状态等，所采集的相关数据通过安装在系统各个关键位置的传感器进行实时采集，并通过数据总线或网络传输至集中监控系统。数据采集的准确性和实时性直接影响到后续数据处理和优化控制的效果。

在采集运行数据之后，数据清洗和预处理是为了去除数据中的噪声和异常值，确保数据质量。数据存储则需考虑到大数据量的处理和长期存储需求，采用合适的数据库和存储技术进行管理，且数据分析和建模则是利用统计分析、机器学习等方法，对历史数据进行深入挖掘，发现潜在的运行规律和优化空间^[5]。此外，运行数据处理与优化还涉及故障诊断和预测维护。通过对设

备运行数据的分析，可以实现对设备健康状态的实时监测和早期故障预警，及时采取维护措施，避免因设备故障导致的停产和不必要的维修成本。

（三）设备状态监测与预警

设备状态监测依赖于多种传感器和监测装置，如振动传感器、温度传感器、压力传感器等，用于实时监测关键设备的工作状态和运行参数，多样化的传感器通过连续或定时采集设备的运行数据，传输至集中监控系统，进行实时分析和监测，实现数据集成与管理控制的难度较高。

一方面，设备状态预警系统通过建立基于规则的故障预测模型或者机器学习算法，分析设备的运行数据和历史故障数据，识别潜在的故障迹象和异常行为，一旦监测到设备运行状态出现异常，预警系统将即时发出警报并提示运维人员进行响应和处理，以避免故障进一步发展和扩大影响^[6]。另一方面，通过设立定期的检修周期和维护流程，对关键设备进行全面检查和调整，及时更换磨损部件和进行系统优化，确保设备能够长期稳定运行，不仅减少了由设备故障引起的生产停滞，还延长了设备的使用寿命，提升了整体运行效率和可靠性。

三、脱硫系统集成控运行的解决对策

（一）推动技术升级与优化

在脱硫系统集成控运行中，推动技术升级与优化是提升系统效率和稳定性的关键策略，实际的技术升级涵盖了设备、控制系统和操作管理等多个方面，旨在应对复杂的工程环境和环境保护标准的不断提高。

首先，脱硫设备的技术升级包括使用高效的吸收剂和反应器设计。传统的脱硫设备如湿法吸收塔和干法反应器，正在逐步转向更先进、更节能的设计。例如，湿法脱硫系统中采用更有效的吸收液配方和吸收剂循环系统，以提高SO₂的去除效率并减少废液排放量。干法脱硫系统则通过优化吸收剂的选择和循环流程，以实现更高的SO₂去除率和更低的能耗。其次，集控系统的智能化是技术升级的重要组成部分。通过引入先进的控制算法和自动化技术，如模型预测控制（MPC）和深度学习算法，实现对吸收液投加量、反应器温度和循环泵流量等参数的精确控制。这些技术不仅能够优化脱硫过程的操作，还能够快速响应环境变化和工艺需求，确保系统在不同负荷和燃料组成条件下的稳定运行。此外，技术升级还包括操作管理和维护优化。通过制定详细的操作指南和维护程序，培训操作人员掌握最新的技术和最佳实践，确保设备在规定的运行参数范围内稳定运行。定期的设备检修和维护，包括清洗吸收塔、更换吸收剂和监测系统性能，是保障设备长期稳定性和效率的关键步骤。

（二）构建多源数据融合的优化算法

多源数据融合涉及不同数据源（如传感器数据、实时监控数据、历史运行数据等）的整合和分析，以优化脱硫过程的控制和管理。一般而言，脱硫系统的多源数据包括来自各个设备和环境的数据^[7]。传感器网络提供了实时的温度、压力、流量等运行参数，而

实时监控系统则收集和存储大量的操作数据，历史运行数据记录了设备的长期性能和故障信息。这些数据源之间存在格式、频率和精度不同的挑战，需要通过数据整合技术将其有效融合。

一方面，利用机器学习、人工智能和模型预测等技术，对整合后的数据进行深入分析，挖掘数据中的潜在关联和模式。通过建立精确的数学模型和优化算法，实现对脱硫系统各参数的动态调整和优化，以最大化脱硫效率和能源利用率。另一方面，通过实时数据流和预测模型，系统能够快速识别和响应设备运行状态的变化，调整操作参数以适应环境变化和工艺要求。这种实时反馈控制机制可以显著提高系统的响应速度和适应能力，减少因操作误差或外部干扰而导致的效率损失。除此之外，在数据整合和分析过程中，必须确保数据的保密性和完整性，采取适当的数据加密和访问控制措施，防止未经授权的数据访问和泄露风险。

实时数据流和预测模型的应用可以使系统快速识别和响应设备运行状态的变化，实时反馈控制机制能够调整操作参数，以适应环境变化和工艺要求，从而显著提高系统的响应速度和适应能力，减少因操作误差或外部干扰而导致的效率损失。除了技术优化，数据的保密性和完整性也是关键考量。在数据整合和分析过程中，必须采取适当的数据加密和访问控制措施，确保数据不被未经授权的访问和泄露，以防止信息安全风险的发生^[9]。通过构建多源数据融合的优化算法，脱硫系统集成运行可以实现更高效、更稳定的运行状态，同时满足环保排放标准，推动工业生产朝向更加环保和可持续发展的方向。这种综合应用技术的形式，不仅提升了系统的操作效率和能源利用效率，还增强了系统的智能化和自适应能力，为环境保护和资源节约作出积极贡献。

（三）建立实时监控与故障诊断系统

在脱硫系统集成运行中，建立实时监控与故障诊断系统是确保设备安全稳定运行的重要保障，脱硫集控系统通过实时监控设备运行状态和参数变化，及时识别潜在故障，并采取预防性措施，以降低设备维护成本和生产风险。

其一，实时监控系统依赖于多传感器网络，包括振动传感器、温度传感器、压力传感器等，实时采集设备的工作参数和运行数据，各类传感器安装在关键部位，如吸收塔、循环泵和吸收液搅拌器等，监测设备的物理状态和运行特性。其二，实时监控系统通过数据分析和处理，利用模式识别、统计分析和机器学习算法，识别设备运行中的异常行为和潜在故障模式，并基于设定的标准建立设备健康状态的数学模型和算法。系统能够预测设备未来出现的故障，并提前发出警报，为维护人员提供及时响应和处理的机会，减少设备停机时间和生产损失^[9]。其三，系统设置预设的安全运行参数和异常状态指标，一旦监测到设备运行参数超出预设范围或出现异常趋势，即刻发出警报通知相关责任人员^[10]。预警信息通过手机应用程序或电子邮件发送，运维人员能够远程登录监控系统，查看详细的设备状态信息和实时数据，快速做出反应和调整操作，确保设备持续稳定运行。

结语：

综上所述，脱硫系统集成运行是工业生产中的关键设备，但是在实际运转的过程中面临诸多技术挑战，包括高效能运行要求、运行数据处理与优化、设备状态监测与预警等方面。为应对这些挑战，推动技术升级与优化尤为关键，具体包括引入先进的吸收剂和控制系统，以提升脱硫效率和能源利用效率。在采集数据后，需要构建多源数据融合的优化算法，利用机器学习和实时数据分析优化系统运行。与此同时，还需要结合设备的集控功能和要求，建立实时监控与故障诊断系统，通过多传感器监测和智能预警系统，实现对设备状态的实时监控和预测性维护，上述措施共同作用，不仅提升了脱硫系统的运行稳定性和安全性，还有效降低了维护成本和生产风险，从而为环保要求和经济效益的双重目标提供了可靠保障。

参考文献：

- [1] 付文秀. 大型脱硫系统的建模与优化控制方法的研究与应用 [D]. 华北电力大学, 2015.
- [2] 张志勇, 阿茹娜, 赵全中, 等. 基于神经网络判别的脱硫运行优化模型及应用 [J]. 化学工程, 2023, 51(4): 73-78.
- [3] 聂文博, 陈一. 垃圾渗滤液处理同步填埋气脱硫脱碳提纯 [J]. 能源环境保护, 2024, 38(1): 85-92.
- [4] 王光超, 吴玮, 马一超, 等. 污泥焚烧燃煤电厂湿法脱硫系统石膏含水率超标原因分析及控制 [J]. 上海节能, 2023(3): 331-335.
- [5] 王力康, 田勇, 胡成, 等. 模拟仿真技术在选择性催化还原脱硝中的应用 [J]. 科技创新与应用, 2023, 13(32): 177-180.
- [6] 徐伟超, 韩子博, 李娜, 等. 火力发电厂分散控制系统 (DCS) 的应用探析 [J]. 电气技术与经济, 2023(6): 98-99, 102.
- [7] 全瑞玺. 离子液脱硫工艺在铜冶炼烟气脱硫中的应用实践 [J]. 硫酸工业, 2023(3): 46-49.
- [8] 梁伟, 林道群, 陈向阳, 等. 基于脱硫浆液氯离子浓度模型的脱硫废水排放优化控制研究 [J]. 山东化工, 2023, 52(3): 217-219, 222.
- [9] 陈明. 燃煤锅炉脱硫除雾器冲洗节能控制设计及应用 [J]. 工业控制计算机, 2022, 35(10): 41-43.
- [10] 蔡航, 刘立考. 酸性气硫回收装置尾气深度脱硫技改小结 [J]. 中氮肥, 2022(3): 28-31.

绿色装配式护坡 GRF 板材料特性与施工工艺优化研究

姜鹏霄, 王昊, 路飞, 王海涛

中国建筑第五工程局有限公司, 湖南 长沙 410000

摘要： 随着全球环境问题的日益突出和城市化进程的加快，护坡工程作为生态环境保护和城市建设的重要组成部分，其建设需求与日俱增。传统的护坡工程在材料选择、施工效率和环保性方面存在诸多局限，例如常见的混凝土护坡结构不仅施工周期长、成本高，而且对环境的影响大，难以满足可持续发展的要求。本文分析了绿色装配式护坡 GRF 板的材料特性，并阐述了实际施工中绿色装配式护坡 GRF 板应用的具体方法与材料特性，在此基础上提出了施工工艺的优化策略，为提升绿色装配式护坡 GRF 板的应用效果提供参考性意见。

关键词： 装配式护坡；GRF 板；材料特性；施工工艺；优化措施

Research On Material Characteristics And Construction Process Optimization Of Prefabricated Slope Protection GRF Board

Jiang Pengxiao, Wang Hao, Lu Fei, Wang Haitao

China Construction Fifth Engineering Bureau Co., Ltd., Hunan Changsha 410000

Abstract： With the increasingly prominent global environmental problems and the acceleration of urbanization, slope protection engineering, as an important component of ecological environment protection and urban construction, has a growing demand for its construction. Traditional slope protection engineering has many limitations in material selection, construction efficiency, and environmental protection. For example, common concrete slope protection structures not only have long construction cycles and high costs, but also have a significant impact on the environment, making it difficult to meet the requirements of sustainable development. This article analyzes the material characteristics of green prefabricated slope protection GRF board, and elaborates on the specific methods and material characteristics of the application of green prefabricated slope protection GRF board in actual construction. Based on this, optimization strategies for construction technology are proposed, providing reference opinions for improving the application effect of green prefabricated slope protection GRF board.

Keywords： Prefabricated slope protection; GRF board; material characteristics; construction technology; optimization measures

前言：

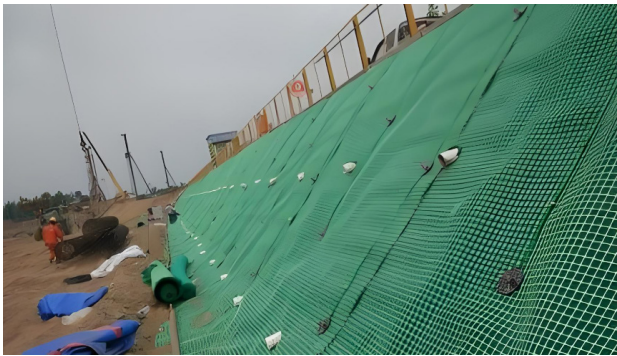
绿色装配式护坡 GRF (Green Reinforced Fiber) 板由于其轻量化、可重复利用、环保性强等优势，成为现代护坡工程中的重要技术创新。GRF 板采用复合材料制成，结合了高强度纤维素材料和环保树脂，不仅具备优异的抗压强度和耐候性，还具有轻质化、易安装和长寿命等特点，逐渐成为替代传统混凝土护坡结构的理想选择^[1]。本文旨在深入探讨 GRF 板的材料特性，揭示其在护坡工程中的实际应用效果以及优化方法，为全面推广绿色装配式护坡 GRF 板的全面应用提供理论支撑。

一、绿色装配式护坡 GRF 板材料特性分析

绿色装配式护坡 GRF 板作为一种新型环保材料，在现代土木工程中展现出了广泛的应用前景，其核心材料主要由可再生植物纤维和环保树脂组成，通过特定工艺加工而成，具备多项优越的技术特性，GRF 板的物理特性包括材料的密度、厚度、尺寸稳定

性等^[2]。通常情况下，GRF 板具有较轻的重量和良好的尺寸稳定性，这使其在施工过程中更易于搬运和安装，且由于其本身采用了特定的加强纤维结构，GRF 板还表现出良好的抗弯强度和抗冲击性，能够有效承载和分散地面坡度下水流的冲击力。绿色装配式护坡 GRF 板如图 1 所示。

* 作者简介：姜鹏霄，1989.01，男，汉，湖南长沙，高级工程师，从事的研究方向或工作领域：结构工程、建筑施工技术。



> 图1 绿色装配式护坡 GRF 板

在化学性质上，GRF 板主要采用环氧树脂作为粘合剂，其生产过程中不含有害物质和挥发性有机化合物（VOCs），符合现代绿色建材的环保标准，使得 GRF 板在应对恶劣天气和湿度环境下能够保持稳定的化学性能，不易发霉或腐烂，从而延长了其使用寿命，并且 GRF 板的技术特性是其在土木工程中得以广泛应用的关键，GRF 板的表面可以根据实际需要进行定制处理，例如防滑处理或者防水处理，以适应不同的地形和使用环境，实际的 GRF 板的加工工艺灵活，可以根据具体工程要求进行裁剪和定制，从而实现快速装配和安装^[3]。此外，由于采用了环保材料，GRF 板在使用过程中不会产生有害物质的释放，有助于保护自然环境和施工人员的健康。常规 GRF 板的工艺材料如表 1 所示。

表1 常规 GRF 板的工艺材料

材料类型	基本材料	厚度 (mm)	抗压强度 (MPa)	耐候性 等级	环保等 级
核心材料	高密度聚乙烯	10	15	A	一级
表面涂层	聚合物混凝土涂层	3	20	B	二级
固定连接件	不锈钢螺栓	-	50	-	一级
防护层	聚氨酯涂层	5	-	A	一级

相比于常规的材料而言，GRF 板作为一种可持续发展的建材选项，GRF 板不仅在使用过程中减少了对传统木材和化学合成材料的依赖，还通过促进农业副产品的利用，实现了资源的有效再利用，所具有的环保意识和可持续发展理念符合现代社会对于建筑工程的环保要求，预示着其在未来的市场竞争中具备良好的发展前景。

二、绿色装配式护坡 GRF 板的施工工艺

（一）基础处理

在绿色装配式护坡 GRF 板的施工工艺中，基础处理是确保整个护坡工程稳固性和耐久性的关键步骤，施工团队需要对施工现场进行仔细的勘察和清理工作^[4]。这包括清除地表的杂草、碎石以及任何其他影响基础平整度和稳定性的障碍物。接下来，根据设计图纸和工程要求，对基础进行必要的平整和调整。这确保了 GRF 板安装时的基础表面平坦且稳固，能够支撑板材的重量并保证护坡结构的整体稳定性，实际处理阶段需要考虑到地形的自然

特征，如坡度和曲率，以便合理调整施工方案，确保每块 GRF 板能够紧密贴合地面，防止土壤侵蚀和水流冲击^[5]。除此之外，还需要对基础表面进行必要的防水处理或防滑处理，以增强 GRF 板在安装后的护坡效果和使用安全性，针对性的基础处理步骤不仅是保证施工质量的关键，也是确保护坡工程能够长期稳定运行的重要保障。

（二）布局规划

在绿色装配式护坡 GRF 板的施工过程中，实际的布局规划涉及根据实际护坡设计图纸和现场条件，合理安排和定位每块 GRF 板的具体位置和方向。前期可以根据地形地貌和护坡要求，施工团队需结合设计图纸进行精确的测量和标注，包括确定每块 GRF 板的放置位置、坡度、曲线等细节，确保整体布局符合设计要求和施工标准。

布局规划还要考虑到 GRF 板的大小和形状，以确保板材之间的连接和过渡自然流畅。在布局过程中，需要特别关注地面的起伏和不平，采取适当的调整措施，以确保每块板材能够完美贴合地面，达到最佳的护坡效果和视觉效果。在布局规划完成后，施工团队应进行最终确认和调整，确保所有 GRF 板的布置符合实际施工要求和环境条件，合理的布局规划不仅能提高施工效率，还能有效减少后期的维护成本和工程调整^[6]。

（三）拼接固定

根据布局规划，确定需要进行板材拼接的位置和方式，涉及不同尺寸或形状的 GRF 板的组合，以适应复杂地形或特定设计需求。在拼接过程中，必须确保板材之间的接缝紧密，防止土壤侵蚀和水流渗透。常见的固定方式包括使用螺栓、钉子或者特殊的粘合剂，施工人员需要确保每块板材固定牢固，并且与周围板材的连接紧密无缝，以保证整体护坡结构的稳定性和持久性。除此之外，在拼接固定完成后，进行必要的检验和调整^[7]。检查每块板材的固定效果和连接质量，确保符合设计要求和施工标准，及时处理发现的问题，以避免后续施工工程的质量问题和安全隐患。绿色装配式护坡 GRF 板的施工工艺拼接固定的要求与参数如表 2 所示。

表2 绿色装配式护坡 GRF 板的施工工艺拼接固定的要求与参数

拼接固定要求与参数	具体要求与参数
板材尺寸	根据设计要求和现场实际情况确定每块板材尺寸，典型尺寸为 1200mm x 600mm
拼接方式	拼接应平整、紧密，板材之间接缝宽度不超过 2mm，确保防止水和土壤渗透
固定方式	使用不锈钢螺栓或特制的固定件进行固定，每块板材至少四个固定点，固定件应符合相关国家标准
固定强度	螺栓的抗拉强度不低于 50MPa，确保固定稳固可靠

三、绿色装配式护坡 GRF 板的施工工艺的优化策略

（一）施工流程优化与管理

绿色装配式护坡 GRF 板的施工流程优化与管理是确保工程质量和效率的关键所在，通过有效的流程优化和科学的管理措施，

可以最大限度地提高施工效率，降低成本，并确保施工过程中的安全 and 质量。

在项目规划阶段，应详细分析和评估施工现场的地形地貌、环境条件以及施工材料的特性，制定相应的施工方案和时间计划。这包括确定基础处理的具体步骤，设计合理的布局规划，并预留足够的时间进行技术创新和工艺改进的实施。在施工现场，需要建立完善的管理机制和协调沟通机制，明确各个施工阶段的责任分工和 workflow^[8]。定期召开施工例会，及时总结和解决施工中的技术和管理问题，确保施工进度和质量符合预期。

为了确保施工各个阶段衔接的紧密性，还需要制定详细的安全操作规程和应急预案，培训施工人员安全意识和操作技能，确保施工现场的安全生产。同时，定期进行安全检查和评估，及时消除安全隐患，为施工团队提供安全保障，可以在此基础上通过引入现代化的施工管理软件和技术工具，实现施工进度、材料使用和质量控制的实时监控和数据分析，帮助项目管理者及时作出决策和调整，以应对施工中的各种挑战和变化。

（二）技术创新与工艺改进

随着科技的发展和市场需求的变化，不断引入先进的技术和工艺改进措施，能够有效地解决传统施工方法中存在的问题，提高施工的精度和安全性，针对 GRF 板的生产工艺和材料特性，可以进行工艺改进和优化^[9]。例如，优化板材的生产流程，采用先进的成型技术和材料配方，以提高板材的抗压强度和耐候性，从而延长其使用寿命和提高护坡效果。

一方面，需要引入机器人和自动化设备进行板材的精确切割和拼接，可以减少人工操作的误差，提高工作效率并降低施工成本。同时，应用先进的测量和监控技术，实时监测板材的安装质量和固定效果，及时调整和优化施工过程。另一方面，通过数字化设计和建模技术，可以提前进行施工仿真和模拟，预测施工过程中遇到的问题和挑战，制定有效的应对措施，减少施工调整的时间和成本^[10]。这种技术创新不仅提升了施工的精度和效率，还增强了工程项目的可控性和可靠性。

（三）基坑开挖配合 GRF 板施工要求

基坑开挖不仅影响到护坡结构的稳定性和施工效率，还直接影响到 GRF 板的安装质量和使用寿命。根据护坡设计和土地地形条件，合理确定基坑的深度和面积，确保能够容纳板材的安装和固定，同时考虑到板材与地面的紧密接触和稳定支撑。

基坑开挖的施工过程需要严格控制土壤的移除和处理。避免在基坑开挖过程中对周围环境造成不必要的破坏和污染，采取有效的防护措施和环保措施，减少土壤的扰动和水土流失，保护周围生态环境和地质稳定性。在基坑开挖完成后，需进行地面的清理和平整处理，以便于后续 GRF 板的安装和固定。确保基坑底部和周边地表平坦和清洁，去除影响板材安装和固定的障碍物和不平整。最后，基坑开挖与 GRF 板的安装过程需紧密协调和配合。确保开挖完成后及时开始板材的安装工作，避免因基坑未清理或处理不当而延误施工进度。施工管理团队应与土建工程团队密切合作，确保基坑开挖和板材安装之间的无缝衔接，最大化地提升施工效率和整体工程质量。基坑开挖的合理规划和施工配合对于绿色装配式护坡 GRF 板的施工质量和效率具有重要影响。

结语：

综上所述，绿色装配式护坡 GRF 板施工应用阶段，通过施工流程优化与科学管理，包括基础处理、布局规划和拼接固定等关键步骤的精确执行，能有效提升施工效率和质量，确保工程的稳固性和持久性。技术创新与工艺改进方面，引入先进的生产技术和自动化设备，优化材料配方和施工方法，不仅提高了 GRF 板的性能和环保特性，也降低了施工成本和资源消耗。此外，合理规划和施工配合基坑开挖过程，保证了施工的连贯性和安全性，最大化地提升了整体施工效率和工程质量。在实际施工中，通过综合应用施工管理优化、技术创新和基坑开挖配合等策略，绿色装配式护坡 GRF 板的施工工艺能够在环保、经济和技术创新的多重驱动下，达到更高的施工效率和质量水平。

参考文献：

[1] 刘俊良. 绿色装配式护坡在基坑围护中的施工技术应用 [J]. 科技创新与生产力, 2022(11):61-63.
[2] 赵书东. 绿色可回收装配式 (GRF) 支护在超长线性结构中的应用与研究 [J]. 消费导刊, 2021,(24):140-141.
[3] 刘敏. GRF 绿色装配式支护技术在深基坑边坡支护中的应用研究 [J]. 工程建设与设计, 2023(21):51-54.
[4] 曾庆活, 许明智. GRF 绿色装配式边坡支护施工应用探讨 [J]. 西部交通科技, 2021(006):000.
[5] 庄博志, 王哲, 梁崇浩, 等. GRF01 绿色装配式边坡支护施工可行性分析 [J]. 中文科技期刊数据库 (全文版) 工程技术, 2023.
[6] 程帅. GRF 薄壁管现浇混凝土空心楼板的力学特性理论研究 [J]. 中国勘察设计, 2018(10):84-86.
[7] 吉星宇. 绿色装配式可回收边坡支护施工技术应用 [J]. 建筑技术开发, 2022,49(19):33-36.
[8] 杨龙, 叶焱, 崔江余, 等. 装配化坡面防护体系施工的应用与分析 [J]. 山东工业技术, 2021(5):76-79.
[9] 程雪纯, 郭亮, 高元仕, 等. 装配式护坡在大型群体住宅工程中的应用 [J]. 城市建筑与发展, 2023,4(10): 70.
[10] 蒋东宇, 杨孟根, 杨龙. 装配式面层在风化岩质边坡防护中的应用 [J]. 建筑工程技术与设计, 2019(28):681.

地质灾风险评估在矿山地区中的应用

李扬

广西壮族自治区三一〇核地质大队，广西 桂林 541213

摘要： 矿山地区由于地质结构特殊、人类工程活动频繁，易受到地质灾害的威胁，给人员的生产生活带来巨大风险。因此，对矿山地区进行地质灾害风险评估是保障矿山安全不可或缺的步骤。本文旨在探讨地质灾害风险评估在矿山地区中的应用，通过系统性的方法和综合的分析，提供有力的决策支持，降低矿山地区地质灾害带来的损失。通过深入了解矿山地区地质灾害的发生机理和风险水平，制定有效的预防措施和紧急应对方法，对于提高矿山地区安全性具有重要实际意义。

关键词： 地质灾害；风险评估；矿山地区

Application of Geological Disaster Risk Assessment in Mining Areas

Li Yang

310th Nuclear Geological Brigade of Guangxi Zhuang Autonomous Region, Guilin, Guangxi 541213

Abstract： Due to the special geological structure and frequent human engineering activities, mining areas are vulnerable to geological disasters, which pose huge risks to the production and life of personnel. Therefore, conducting geological hazard risk assessment in mining areas is an indispensable step in ensuring mine safety. This article aims to explore the application of geological hazard risk assessment in mining areas, providing strong decision support through systematic methods and comprehensive analysis, and reducing the losses caused by geological hazards in mining areas. It is of great practical significance to improve the safety of mining areas by deeply understanding the occurrence mechanism and risk level of geological disasters in mining areas, and formulating effective preventive measures and emergency response methods.

Keywords： geological hazards; risk assessment; mining area

引言

矿山地区由于地质灾害频发，给人类生产生活安全带来了严重的威胁。因此，为了减少矿山地区地质灾害带来的损失、提高矿山地区的安全性，对矿山地区进行地质灾害风险评估具有重要的理论和实际意义。矿山地区由于地质构造的特殊性和开采活动的复杂性，使得现有的风险评估方法在应用时存在一定的局限性。因此，本文旨在通过剖析矿山地区地质灾害的特殊性，结合风险评估理论和方法，提出适用于矿山地区的风评估方法，为矿山地区地质灾害的有效防控提供依据。

一、地质灾害概述

（一）矿山地区常见地质灾害类型

矿山地区由于独特的地质环境和人类的采矿活动，地质灾害类型具有一定的特点和频发性。以下是矿山地区常见的几种地质灾害及其特征：

1. 滑坡

在矿山地区，滑坡是常见的地质灾害之一。由于矿区开采活动导致地下水位变化和地质体的机械性质破坏，斜坡的稳定性会受到严重影响。这些变化可能导致大量土石松动，形成滑坡。滑坡不仅危及矿区工作人员的生命安全，还可能破坏矿山基础设施，甚至影响附近水域的水质和生态环境。

2. 崩塌

崩塌在矿山地区尤为危险，主要是由于开采活动造成的坡面裸露和地质体破碎。坡面的不稳定和裸露的岩体在自然因素（如持续降雨）或人为因素（如矿区的震动）的影响下，可能突然脱离母体并快速下滑。这种类型的崩塌风险对矿区的安全构成直接威胁，需要通过加固斜坡、改善排水系统等措施来降低风险。

（二）地质灾害对矿山地区的影响

1. 人员安全

地质灾害，尤其是滑坡和崩塌，极大地增加了矿山工人的安全风险。这些灾害的发生往往是突然和不可预测的，导致矿山工

* 作者简介：李扬，男，汉，（1995-），本科，广西桂林，助理工程师，水工环。

人在开采过程中持续面临生命安全的威胁。例如，不稳定的岩石或土体在一定条件下可能突然滑落或塌陷，造成严重的伤亡事故。因此，提高矿山安全和实施有效的灾害预警系统是保护工人生命安全的重要措施。这包括定期进行地质稳定性评估、安装监测设备来预测和警报可能的滑坡或崩塌事件，以及制定和训练应急疏散计划。

2. 设施损害

地质灾害对矿山设施的破坏不仅限于直接的物理损害，还包括由此引起的运营中断和经济损失。矿山的基础设施如采矿井口、运输通道、机械和设备都极易受到地质灾害的影响。例如，滑坡可能阻断交通路线，影响矿石和物资的运输；地面沉降可能破坏井架结构，导致昂贵设备的损坏和开采活动的延迟或中断。因此，加强矿山设施的抗灾能力，如设计和构建更为坚固的支持结构和优化矿区的水管理系统，是降低这种风险的关键。

二、风险评估理论与方法

（一）风险评估的概念

风险评估是一种系统的、科学的方法，主要用于确定在特定活动或环境中可能发生的不确定性事件的概率以及这些事件可能造成的影响程度。这一概念在众多领域都有应用，从公共健康、环境保护到工程建设和灾害管理等。

在地质灾害的研究领域，风险评估的目的是量化潜在地质灾害对特定区域，如矿山地区的威胁程度。通过评估这些风险，科学家和决策者能够更好地制定灾害管理计划和应急响应策略，从而减少灾害带来的损害。

（二）地质灾害风险评估方法

风险评估方法大致可以分为两类：定性评估方法和定量评估方法，各有其特点和应用领域。

1. 定性评估方法

定性评估方法侧重于使用专家的经验、历史案例分析以及现场调查等手段，对地质灾害的潜在风险进行主观判断。这种方法的优势在于其简单直观，能够快速提供初步的风险评估，尤其是在缺乏充足数据的初期研究阶段。

然而，定性评估也存在一定的局限性。由于高度依赖专家的判断，这种方法可能受到个人经验和主观意识的影响，从而影响评估的准确性和客观性。此外，定性结果较难用于精确计算或预测灾害的具体影响，因此在需要精细操作的情况下，可能不足以支持复杂的决策制定。

2. 定量评估方法

相对于定性评估，定量评估方法基于数据和数学模型来量化地质灾害发生的概率以及可能造成的损失。这种方法通常包括统计分析、概率模型、地理信息系统（GIS）技术等高级技术的应用。

定量方法的主要优势在于其科学性和客观性，可以提供具体的数值支持决策。例如，通过计算特定地区内某地质灾害发生的概率和预期的经济损失，决策者可以更加精确地规划资源分配和应急准备工作。

（三）适用于矿山地区的风险评估方法选择与比较

1. 概率统计方法

这种方法利用历史地质灾害数据，通过统计学方法计算概率，预测未来可能发生的地质灾害。适用于有较为完整历史数据的矿山地区。通过分析过去的灾害发生情况，可以推断未来灾害的可能性。然而，该方法对于新兴矿山或者历史数据较为有限的地区可能不够准确。

2. GIS 模型建立

借助 GIS，可以建立地质灾害风险评估的数学模型，综合考虑地质构造、开采活动等因素，通过数值计算得出地质灾害发生的可能性和潜在影响。这种方法适用于数据相对较全面但复杂的矿山地区。GIS 提供了强大的地理信息分析工具，有助于更好地模拟各种地质灾害的发生机理。但需要充分的地理数据支持和准确的空间分析，以建立模型并精确预测潜在的地质灾害风险。GIS 的空间分析功能可以有效地处理这些复杂因素，为地质灾害风险建模提供强大的支持。

3. 综合评估方法

将定性和定量方法结合，充分利用专家知识和实地调查数据，综合评估地质灾害风险。适用于数据不充分且灾害影响因素复杂多样的矿山地区。综合评估方法通过融合专业意见和实际情况，能够在数据有限的情况下更全面地理解风险。这种方法的灵活性使其在不同矿山环境中都能够发挥作用。

三、地质灾害风险评估在矿山地区的应用

（一）数据收集与整理

1. 地质数据

地质数据的收集是了解矿山地区地质特征的首要步骤。这些数据通常包括地质地貌、地层构造和岩性等信息。例如，地形的高程变化数据可以通过地形图、遥感影像和现场测量获得，这些数据有助于分析地形对地质灾害的影响。地层的分布情况通常通过地质钻探和采样获得，而岩石的组成分析则需要通过实验室的岩石学和矿物学分析。

地质数据的综合分析非常关键，它可以揭示如断层分布、岩层倾斜程度及其稳定性等信息，这对于识别滑坡、崩塌等潜在风险源至关重要。通过 GIS（地理信息系统）技术，可以将这些数据进行可视化 and 更深入的空间分析，进一步增强对矿山地区地质安全状况的理解。

2. 气象数据

气象数据的收集包括降水量、温度、风速和其他气候因素，这些都是评估地质灾害潜在风险的重要环节。特别是降水，作为诱发滑坡和泥石流的主要因素之一，其数据的准确收集和分析对于预测这些灾害至关重要。

通过安装气象站或使用卫星数据，可以实时监测矿山地区的气象条件。长期气象数据的趋势分析有助于理解气候变化对地质灾害频发性的影响。此外，模型和预测工具如气候模型可以基于这些数据预测未来的气象状况，为灾害预警提供支持。

3. 矿山开采数据

矿山开采数据的收集涉及到采矿方法、开采规模、历史开采记录等信息。这些数据对于评估开采活动如何影响地质结构的稳定性和引发地质灾害具有重要意义。

（二）GIS 模型建立和参数选择

1. GIS 模型选择

GIS 提供了多种模型，适用于不同类型的地质灾害风险评估。选择合适的模型是进行有效评估的关键步骤，因为每种模型都有其特定的应用范围和优势。例如，概率统计模型非常适合用于基于历史数据的风险预测，它可以分析和计算特定地质灾害发生的概率。这种模型适用于数据充足的情况，可以利用过去的灾害记录来预测未来的风险趋势。

另一方面，物理力学模型则更加关注地质构造和开采活动对地质稳定性的影响。这种模型适用于地质条件复杂或开采强度高的矿山地区，可以详细模拟地质活动和人类活动如何共同作用引发地质灾害。物理力学模型依赖于精确的地质和工程数据，能够提供更深入的洞察，帮助矿山管理者理解潜在的灾害发生机制，并据此制定预防措施。

2. 参数选择与敏感性分析

在建立 GIS 模型的过程中，选择正确的参数至关重要。这些参数包括地质特性、气象条件、水文数据等，它们直接影响模型的输出和预测的准确性。进行敏感性分析是理解各参数对模型结果影响程度的有效方法。通过敏感性分析，可以识别出对地质灾害风险评估影响最大的因素，这对于优化模型和数据收集计划非常有帮助。

例如，如果分析显示某个参数的微小变化会显著影响模型结果，那么这个参数就应被视为一个关键变量，需要进行更精确的测量和更频繁的更新。GIS 的强大分析功能支持这种类型的敏感性分析，确保所选参数可以有效地反映地质灾害的风险。

3. 实施和评估

在选择了合适的模型和参数后，下一步是实施模型并对其进行评估。这一阶段包括运行模型，收集输出数据，并对结果进行解析。评估模型的性能不仅涉及查看其预测结果的准确性，还包括检验模型是否能在不同条件下稳定运行。

此外，模型评估还应包括与实际地质灾害事件的对比分析，以验证模型的预测能力。如果模型在实际应用中表现良好，它可以被用作未来风险管理和决策支持的重要工具。反之，如果模型表现不佳，则可能需要回到参数选择和模型调整阶段，进行必要的优化。

（三）风险评估结果与分析

1. 风险等级划分

在地质灾害风险评估过程中，一个关键步骤是将风险按照一定标准分为不同的等级，如低、中、高。这种分级基于灾害发生的概率和潜在的影响程度，例如可能造成的人员伤亡、设施损毁和经济损失。通过对风险进行等级划分，决策者可以清晰地看到

哪些区域最需要资源和注意，从而有针对性地部署预防措施和应急响应。这种方法不仅提高了资源分配的效率，也增强了风险管理的实效性。

2. 空间分布分析

空间分布分析是利用地理信息系统（GIS）来可视化和分析矿山地区地质灾害的风险分布。通过这种分析，可以识别出哪些区域的风险等级较高，哪些区域相对较安全。这有助于矿山管理者和规划者了解风险集中的地理区域，并据此优化矿区的开发计划和安全措施。例如，可能决定在高风险区域加强监测设施，或者调整开采方案以避免潜在的高风险区域。

综上所述，在地质灾害风险评估的过程中，风险等级的划分和空间分布分析是两个关键环节。这两个步骤不仅提升了资源分配的效率，也增强了整体的风险管理能力。

四、矿山地区地质灾害风险管理与减灾策略

（一）风险管理框架的构建

为了有效管理矿山地区的地质灾害风险，建立一个全面的风险管理框架至关重要。首先，风险识别是基础，需要整合地质、气象及开采数据，识别出可能导致灾害的关键风险因素，如不稳定的岩层、水文地质条件变化等。接下来，通过应用已经讨论的定性和定量风险评估方法，对这些风险因素进行评价，以确定它们的潜在影响及发生的可能性。最后，根据评估结果，制定风险控制策略，例如施工安全标准的制定和应急预案的策划，确保风险处于可接受的水平。

（二）减灾技术与措施

在减灾技术和措施方面，工程措施如斜坡支护、排水系统的改造和加固作用不可小觑，这些措施能显著降低如滑坡和崩塌等灾害的风险。此外，建立一个高效的监测和预警系统，通过实时监控关键风险点（例如使用倾斜计和地下水位传感器）可以提前发现问题，及时通过短信或自动系统向相关人员发送警报，从而采取适当措施防范灾害。应急响应计划也是必不可少的部分，它包括详细的人员疏散路线、应急联系人、医疗支持和物资供应等内容，确保在灾害发生时能迅速有效地响应。

总结：

通过本文，我们探讨了矿山地区地质灾害风险评估的理论与方法。研究发现矿山地区地质灾害频发，对人员、设施和环境构成严重威胁。在风险评估方面，我们综合考虑了定性评估、定量评估、概率统计方法、GIS 模型方法和综合评估方法等多种途径，为矿山地区的风险评估提供了基础。此外，我们剖析了地质结构特点和开采活动引发的地质灾害风险因素，为后续研究提供了理论支持。然而，存在的问题主要包括数据不足和模型复杂性，未来的研究方向将集中在数据完善、模型优化和实地验证。

数字化与科研生产管理融合的路径研究

赵庆斌

贵州航天控制技术有限公司，贵州 贵阳 550027

摘要： 科研生产管理贯穿于科研生产活动的全过程，在优化科研生产资源配置、提高科研生产效率、保证科研项目质量中发挥着至关重要的作用。文章立足数字时代，从加强科研生产数据采集工作、打造集成化的科研生产数字管理平台、推进新型数字技术的应用、培养复合型科研生产管理人员四个方面，构建了数字化与科研生产管理融合的路径。

关键词： 数字化；科研生产管理；数字技术

Research On The Path Of Integration Of Digitization And Scientific Research And Production Management

Zhao Qingbin

Guizhou Aerospace Control Technology Co., LTD. Guizhou, Guiyang 550027

Abstract： Scientific research and production management runs through the whole process of scientific research and production activities, and plays a vital role in optimizing the allocation of scientific research and production resources, improving the efficiency of scientific research and production, and ensuring the quality of scientific research projects. Based on the digital age, this paper builds a path of integration of digitization and scientific research and production management from four aspects: strengthening the data collection of scientific research and production, building an integrated digital management platform for scientific research and production, promoting the application of new digital technologies, and training compound scientific research and production management personnel.

Keywords： digitalization; scientific research and production management; digital technology

科研生产管理是围绕科研生产活动而实施的管理行为的统称，涵盖科研生产项目的规划、执行、监督和评估以及科研人员的组织协调、科研资源的合理分配等多个方面的内容，在提高科研生产项目效率、加强科研生产成本控制等多个方面发挥着重要的作用^[1]。在数字技术不断发展与广泛应用的今天，人类社会步入数字时代，科研生产管理也面临着数字化转型的重任。数字化转型指利用数字技术和信息化手段，对科研生产的业务模式、流程、组织结构和文化进行全面的重构和升级，以适应数字化时代的发展趋势和市场需求^[2]。数字化转型既为科研生产管理指明了方向，也对科研生产管理提出了更高的要求。

一、加强科研生产数据采集工作

数字时代，由数字代码构成的数据成为重要的信息载体，并在科研生产中发挥着越来越重要的作用。对此，要加强数据的采集和整理，为数据在科研生产管理中的应用奠定坚实的基础。

一是创新数据采集方式。科研生产数据主要包括结构化、半结构化、非结构化三种形态。结构化数据指以固定格式和结构存储的数据，通常以表格的形式呈现，可以通过数据库管理系统（DBMS）进行存储和管理。半结构化数据是介于结构化数据和非结构化数据之间的数据形式，其具有一定的结构，但非传统的表格形式，如 XML 文档、JSON 数据、日志文件、配置文件等。非结构化数据指没有固定结构和格式的数据，通常以自然语言、图像、音频、视频等形式存在，不适合直接存储在传统的关系型

数据库中。三种形态的数据均在科研生产管理中有重要的应用价值，但传统的数据技术仅能采集结构化数据。大数据技术具有强大的数据采集能力，不仅可以结构化数据，也能采集半结构化、非结构化数据^[3]。应依托大数据技术，创新数据采集方式，厚植科研生产管理的数据基础。

二是做好数据清洗。数据清洗是指对采集到的数据进行处理，以消除数据中的错误、不完整、重复或不准确的部分，从而提高数据的质量和可用性。大数据技术采集到的数据中，存在着大量的异常数据，这些数据对科研生产管理没有价值，相反，会对科研生产管理带来干扰。应通过检测、识别数据中的缺失值、异常值、重复值的方式，对数据进行清洗，同时，对数据进行格式统一化，包括日期格式、单位格式、命名规范等，以便后续的数据分析和挖掘^[4]。

三是构建数据价值链体系。数据价值链服务是指通过对数据

* 作者简介：赵庆斌（1989年），男，汉，贵州省福泉市，中级工程师，学士学位，主要从事科研生产管理、安全管理研究。

的采集、存储、处理、分析和挖掘，使数据价值最大化的一系列服务^[5]。对科研生产管理而言，数据价值链服务能够从多个维度发掘数据对于科研生产管理的作用，从而推动科研生产管理的高质量发展。应树立数据资产观念，深刻把握数据在科研生产管理中的作用，并结合科研生产管理的需求，构建数据价值链体系，比如，从科研生产管理的构成要素出发，将数据价值链服务分为进度管理、技术管理、财务支持、风险管理等，搭建智能化数据管理体系。

二、打造集成化的科研生产数字管理平台

数字管理平台是数字时代科研生产管理的重要载体。当前，数字管理平台建设存在分散化的问题，影响了数字管理平台在科研生产管理中的应用效果。对此，应从以下三个方面打造集成化的数字管理平台。

一是整合已有数字平台。当前，科研生产管理中已有一些数字平台，但这些数字平台多缺乏兼容性，并导致了科研生产管理中的数据孤岛现象。并且，一些数字平台在安全建设上存在不足，难以有效防范各种形态的安全风险，如数据丢失风险、病毒入侵风险、黑客攻击风险等。应从集成化的角度出发，将已有数字平台及数据进行有机整合，以实现信息共享、业务流程优化和决策支持的目标。业务流程优化是数字平台整合的先决条件，应以科研生产业务流程分析为切入点，推进业务流程的重组与整合，并以业务流程整合为基础，对数字平台进行集成，构建集成化的科研生产数字管理平台，实现平台间的数据交换和业务协同。

二是利用好云平台。云平台是一种利用虚拟化技术实现硬件资源虚拟化管理、调度及应用的新型平台。与传统平台相比，云平台具有多方面的优势。比如，成本优势。传统平台需要企业投入大量资金购买硬件设备，并且需要承担设备维护、升级和更新的成本，而云平台采用按需付费的模式，用户只需根据实际使用量支付费用，降低了初始投资和运营成本。又如，拓展优势。云平台具有更好的可扩展性，可以根据业务需求快速扩展计算和存储资源，而传统平台的扩展需要购买新的硬件设备，部署和配置新的系统，耗时耗力。要加强云平台，如阿里云、腾讯云、百度云、华为云等在科研生产管理中的应用，发挥好云平台在科研生产管理数字化转型中的作用。

三是提高数字管理平台的安全性。数字管理平台既是科研生产的数据中心，也是科研生产管理的“中枢”，涉及大量的核心数据以及信息资产，对安全性有着很高的要求。应做好数字管理平台安全风险的评估工作，建立风险管理体系，及时发现和应对各类安全风险。比如，构建访问控制机制，对访问数字管理平台的用户进行身份认证、权限管理、访问审计。又如，数据加密。对重要的数据进行加密存储和传输，保障数据在传输和存储过程中的安全性，防止数据泄露和篡改。同时，也要构建健全安全事件应急响应机制，对安全事件进行及时处置和恢复，最大程度减少安全事件对企业的损失^[6]。

三、推进新型数字技术的应用

加强数字技术的应用，是数字化与科研生产管理融合的关键，也是数字时代科研生产管理变革与优化的必由之路。当前，以大数据技术、人工智能技术、区块链技术等为代表的新型数字技术，正释放出巨大的生命力，并在科研生产中发挥着越来越重要的作用。但在实践层面，新型数字技术的应用情况并不乐观。许多企业，特别是中小企业，普遍存在着技术落后的现象，未能发挥好新型数字技术在科研生产管理中的价值。因此，应结合数字技术的发展态势，多维加强新型数字技术的应用。

首先，加强大数据技术的应用。大数据技术不仅具有强大的数据采集能力，也具有多元化的数据分析能力，能够借助各种不同类型的数据分析技术，充分发掘数据的价值。比如，关联分析技术。关联分析技术是一种用于发现数据集中变量之间的关联关系的技术，主要用于发现数据中的频繁模式或者关联规则。关联分析在科研生产管理中的应用，可以帮助发现不同科研生产项目之间的关联性，为科研生产成本控制、风险管理和预测分析提供依据。又如，聚类分析技术。聚类分析技术是一种用于将数据集中的对象划分为若干组的技术，能够使得同一组内的对象相似度较高，不同组之间的对象相似度较低。聚类分析技术在科研生产管理中的应用有助于不同科研生产项目进行分类，从而为成本分析、风险管理等提供支持。

其次，加强人工智能技术的应用。人工智能技术在科研生产管理中有巨大的应用空间，比如，在供应链管理中，人工智能技术可以帮助实现包括库存管理、运输调度、供应商选择等在内的供应链的智能优化，降低科研生产的供应链成本。又如，在科研成果转化管理中，人工智能技术能够通过自然语言处理和情感分析技术，打造智能客服机器人，帮助解决客户咨询、投诉等问题，提高客户满意度和忠诚度^[7]。此外，人工智能技术还可通过智能模型的构建以及海量数据的分析，帮助更好地了解目标客户群体，实现科研成果个性化营销，提高科研成果的转化率。

最后，加强区块链技术的应用。区块链技术是一种分布式数据库技术，具有去中心化、不可篡改、透明性等优势。在数字化转型不断深入的今天，数据资产成为资产的重要组成部分，而区块链技术则在数据资产的管理中发挥着重要的作用。可以利用区块链技术来管理知识产权等数据资产，提高数据资产安全性。

四、培养复合型科研生产管理人员

管理人员是科研生产管理的实施者，其专业能力和综合素质，对科研生产管理的品质有着直接的影响。数字时代，科研生产管理模式正发生着深刻的变革，不仅需要管理人员具备良好的理论素养与实践技能，也需要管理人员具有一定的数字素养，能够使用大数据技术等数字技术创新科研生产管理。但在实践层面，管理人员面临着素质不高的问题，掌握大数据技术操作技能的新型管理人才较少，这对数字化与科研生产管理的融合形成了很大的制约。因此，做好复合型管理人员的培育，就成为数字化

与科研生产管理的融合的内在要求。

一是引入岗位素质模型，编制管理人员培养方案。岗位素质模型，也称胜任力素质模型，由美国社会心理学家麦克利兰（D.C. McClelland）提出，指从事某一岗位必须具备的素质集合。岗位素质模型在复合型管理人员培育中有着重要的应用价值，一方面，岗位素质模型以岗位描述为前提，会对特定岗位的的职责、任务和工作内容进行详细描述，明确从事该岗位所需的技能、知识和经验等方面的要求，另一方面，岗位素质模型会将素质要求转化为具体的能力要求，包括认知能力、情感能力、技能和知识等方面的要求，为相关岗位人员培训提供了参考依据。数字时代的科研生产管理，需要管理人员兼有扎实的理论素养、良好的实践技能，并熟悉数字技术，能够使用数字技术创新科研生产管理。可围绕科研生产管理理论与实践、数字素养、法律政策素养、市场意识四个维度设计管理人员岗位素质模型，并依托岗位素质模型，编制人才培养方案。

二是立足数字时代，拓展人才选择视角。以往，科研管理人员的选择存在着视角狭隘的问题。数字时代，数字领域的人才，在科研生产中发挥着越来越重要的作用。在管理人员的选择

中，应拓展人才选择视角，将数字领域作为人才选择的重点领域，通过多领域人才的选择，优化管理人员结构^[9]。

三是加强人才引进，提高人才质量。人才引进是破解企业复合型管理人员稀缺的有效方式，也是推进科研生产管理数字化转型的重要一环。要结合科研生产管理的现状、困境，出台人才引进政策，将具备数字素养的新型人才作为人才引进的重点，一方面，依托优渥的薪资待遇、良好的发展前景来增强人才吸引力，另一方面，健全人才使用机制，确保新型科研管理人才“引得进，留得下，用得好”^[10]。

五、结语

数字时代，数字化转型成为各行各业高质量发展的必然要求。要深刻认识到数字化在科研生产管理中的重要价值，围绕数据、平台、技术以及人才四个维度，采取好措施，推动数字化与科研生产管理的深度融合，构建数字时代科研生产管理的新范式，全面提升科研生产管理水平，更好地发挥科研生产管理在科研生产活动中的作用。

参考文献

- [1] 谢一菲, 张苏, 张慧萍, 等. 基于“三高”发展目标的科研生产管理体系建设探索 [J]. 航天工业管理, 2022 (S01): 34-38.
- [2] 谷方杰, 张文锋. 基于价值链视角下企业数字化转型策略探究——以西贝餐饮集团为例 [J]. 中国软科学, 2020 (11): 134-142.
- [3] 刘洋, 董久钰, 魏江. 数字创新管理: 理论框架与未来研究 [J]. 管理世界, 2020 (07): 198-217.
- [4] 谷满仓, 苏婕. 浅析大数据思维在科研生产管理中的应用价值 [J]. 航天工业管理, 2013 (12): 4-7.
- [5] 李思雨, 乔鹏程. 升级数据中台和建立智能数据仓库方式的绩效管理创新——以 AL 集团为例 [J]. 航空财会, 2021 (05): 65-71.
- [6] 赵爽, 武元昊. 基于人工智能的组织行为管理: 理论模型与研究展望 [J]. 产业创新研究, 2023 (04): 108-110.
- [7] 吕铁. 传统产业数字化转型的趋向与路径 [J]. 人民论坛·学术前沿, 2019 (18): 44-46.
- [8] 周思思, 段蜜, 黄鹏鹏. 胜任素质模型在企业的应用研究——以 MX 公司外贸业务员为例 [J]. 湖南人文科技学院学报, 2018 (02): 64-69.
- [9] 何志英. 项目管理在科研项目中的应用分析 [J]. 广东职业技术教育, 2021(06).
- [10] 董红赞; 杨阳. 项目管理在转制型科研院所科技管理工作中的应用 [J]. 电动工具, 2020(05).

特厚煤层综放工作面瓦斯高效抽采技术研究

李锋, 梅洋洋, 张玉明, 阮淼

陕西彬长胡家河矿业有限公司, 陕西咸阳 713600

摘 要 : 陕西彬长胡家河煤矿属高瓦斯易自然矿井, 主采4号煤层, 煤层主要为原生-碎裂结构煤层, 坚固性系数较高, 瓦斯含量较高、压力较低, 煤层透气性系数较小, 属可以抽采煤层。401110综放工作面瓦斯治理严格执行“安全第一, 预防为主、综合治理”的安全生产方针, 牢固树立“区域治理、局部强化、超前预抽、精准评判、多路防范”瓦斯治理理念, 不断完善“通风可靠、抽采达标、监控有效、管理到位”的瓦斯综合治理工作体系。制定了高位定向钻孔布置工艺, 积极引进国内外先进科学技术、设备, 科学化优化瓦斯抽采工程参数, 不断提高瓦斯抽采效率, 全面提升矿井瓦斯防治综合能力, 实现根治瓦斯的工作目标。

关 键 词 : 煤层; 瓦斯; 高位定向钻孔; 安全生产

Study On High Efficiency Gas Extraction Technology Of Fully Mechanized Caving Face Of Super Thick Coal Seam

Li Feng, Mei Yangyang, Zhang Yuming, Ruan Miao

Shaanxi Binchang Hujiahe Mining Co., LTD., Shaanxi, Xianyang 713600

Abstract : Hujiahe Coal Mine in Binchang, Shaanxi Province is a high gas prone natural mine, mainly mining No. 4 coal seam, coal seam is mainly primary and cataclastic structure coal seam, high firmness coefficient, high gas content, low pressure, small permeability coefficient of coal seam, can be extracted coal seam. 401110 Fully integrated caving face gas management strictly implement the “safety first, prevention first, comprehensive management” safety production policy, firmly establish the “regional governance, local strengthening, pre-pumping, accurate evaluation, multi-way prevention” gas management concept, and constantly improve the “reliable ventilation, extraction standards, effective monitoring, management in place” gas comprehensive management system. The high level directional drilling layout technology has been formulated, the advanced science and technology and equipment at home and abroad have been actively introduced, the parameters of gas extraction engineering have been scientifically and quantitatively optimized, the efficiency of gas extraction has been continuously improved, the comprehensive ability of mine gas prevention and control has been comprehensively improved, and the goal of radical gas treatment has been achieved.

Keywords : coal seam; gas; high directional drilling; safe production

一、工作思路

矿井坚持瓦斯灾害超前探查、超前治理、区域治理和系统治理, 持续提升矿井灾害治理能力、治理效率及安全保障能力, 系统构建瓦斯精准高效综合治理体系, 全力推进各项瓦斯防治措施落到实处, 确保实现全年瓦斯防治工作目标。

同时, 深化与平安煤矿瓦斯治理中心及各科研院校的合作, 持续提高瓦斯防治技术管理水平, 从盘区巷道布局、采掘工作面设计、抽采系统管理、现场施工细节、封孔工艺改进及钻孔效果检验等方面着手, 采用区域预抽、采前预抽、边采边抽、高位裂隙定向钻孔抽采、上隅角“迈步式”埋管抽采等方法对回采工作面本煤层及临近层瓦斯进行抽采。应用超高压水力割缝、注液态CO₂驱替瓦斯及水力压裂工艺, 有效提高煤层的透气性和瓦斯抽采效率, 统筹建立瓦斯抽采效果动态达标评价体系, 实现高瓦斯矿井低瓦斯开采。

二、总体设计

1. 在采煤工作面上隅角封堵墙体顶部迈步式压设两趟 $\Phi 315$ 抽采管路, 管口伸入封堵位置以里6—12m, 紧贴巷道顶板吊挂, 用于抽采上隅角瓦斯, 并基于采空区煤自燃“三带”的分布, 确定上隅角最优埋管深度及迈步间距, 进一步提升上隅角瓦斯抽采效果。

2. 使用 ZDY-15000LD 型大功率定向钻机, 沿工作面走向施工大直径高位定向钻孔, 用于抽采采空区卸压瓦斯。共布置4组, 每组布置12个钻孔, 孔径 $\Phi 153\text{mm}$, 孔深400—500m, 钻孔剖面层位布置于煤层顶板向上0 ~ 34m 范围, 平面上布置于距回风巷正帮10 ~ 45m 范围。

工作面回采后, 受采动影响, 顶板围岩上部平衡状态被打破, 工作面顶板煤层上部受应力作用产生裂隙, 继而形成顶板裂隙带。回采过程中, 采空区围岩及遗煤瓦斯大量解吸, 在空气浮力作用下沿裂隙带所形成的瓦斯通道上升至裂隙带上部离层, 并大量集聚于

采空区上覆层的“O”形圈内。将裂隙带抽采孔布置在瓦斯浓度最高、积聚量最大的区域，利用抽采系统进行带抽，以达到消除上隅角、采空区瓦斯积聚，避免上隅角、回风流瓦斯超限的目的。

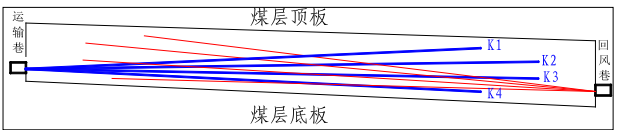
三、应用过程

401110工作面设计长度2280m，可采长度2025m，倾向长220m。该工作面为4号煤层，赋存稳定，煤层近乎水平，厚度12.8 ~ 27m，平均厚度约23m，上分层平均厚度约13.5m。

1. 采前预抽钻孔

401110工作面两顺共计施工预抽钻孔2453个，进尺41.7万m。其中：

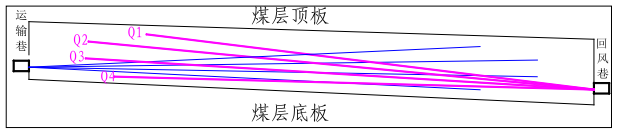
(1) 401110运输巷采前钻孔布置：从停采线向外50m至2275m段，每隔2m施工一个钻孔。401110运输巷计划施工钻孔1023个，进尺17.2万m。



> 图1 401110运输巷预抽钻孔施工剖面示意图

(2) 401110回风巷采前预抽钻孔布置：从停采线向外50m至里程2275m段，每隔1.5m施工一个倾向钻孔。401110回风巷计划施工倾向钻孔1287个，进尺21.8万m。

> 图4 401110回风巷预抽钻孔施工平面示意图



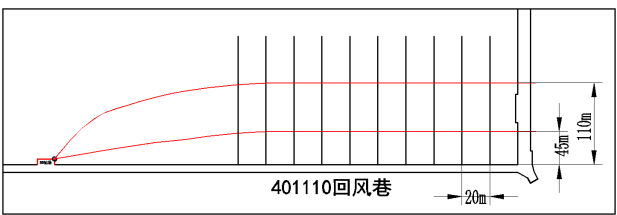
> 图2 401110回风巷预抽钻孔施工剖面示意图

2. “2-111” 钻孔布置

401110回风巷里程600m至1000m段，每隔3m施工一个割缝钻孔，目前累计完成割缝钻孔130个，进尺2.1万m；401110回顺超前200m范围内施工驱替钻孔10个，5钻场内施工长距离煤层定向驱替钻孔2个，共计施工驱替钻孔12个，灌注液态CO₂共50吨。驱替钻孔施工参数见下表，对应钻孔布置平面图如下图所示。

表1 401110回顺驱替钻孔施工参数表

401110回顺超前200m 范围驱替钻孔施工参数					
钻孔编号	孔深 /m	方位角 /°	倾角 /°	孔径 /mm	钻孔间距 /m
1~10#	160	0	3~6	113	20
401110回顺5# 钻场驱替钻孔施工参数					
钻孔编号	施工地点	孔深 /m	孔径 /mm	钻孔层位	
5-14#	5# 钻场	360	153	水平位置距回顺正帮 45m； 垂直位置距巷道顶板 10m。	
5-16#				水平位置距回顺正帮 110m； 垂直位置距巷道顶板 10m。	

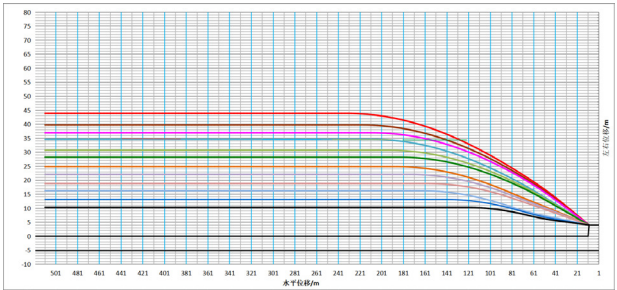


> 图3 401110回顺驱替钻孔布置剖面示意图

根据401110工作面考察分析结果：“2-111” 钻孔平均瓦斯抽采浓度相较于普通预抽钻孔能提高3 ~ 5倍，抽采纯流量是普通预抽钻孔的2.5倍，驱替钻孔影响半径约25m。

3. 高位裂隙定向钻孔设计

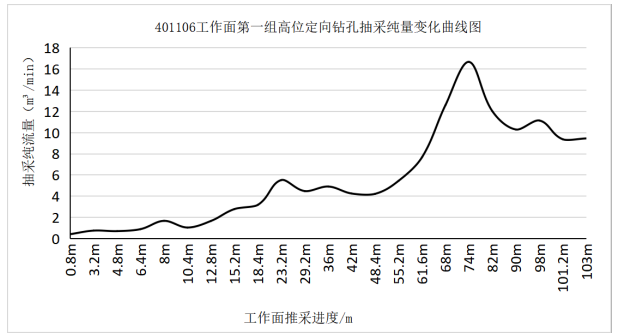
401110回风巷布置5个钻场，每个钻场设计施工12个钻孔，钻孔分上、中、下三层布置。钻孔平面位置内错回风巷10m ~ 45m，相邻钻孔水平间距5m；下层钻孔剖面位置距煤层顶板0 ~ 12m，中层钻孔剖面位置距煤层顶板为12 ~ 24m，上层钻孔剖面位置距煤层顶板为24 ~ 34m。钻孔设计孔径 $\Phi 153\text{mm}$ ，孔深360 ~ 540m，相邻两组钻孔水平段压茬不低于100m。401110回风巷单独敷设一趟 $\Phi 315\text{mmPE}$ 管专门用于回采期间抽采高位裂隙定向钻孔。



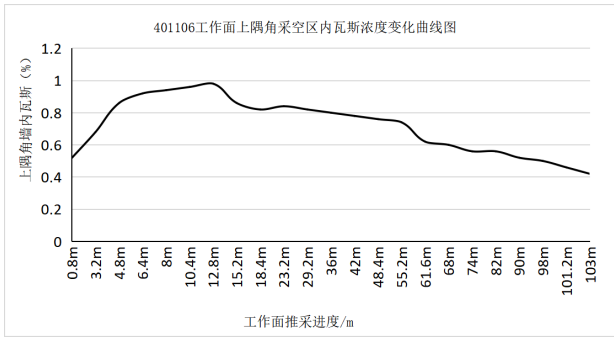
> 图4 401110工作面回风巷高位定向钻孔平面设计轨迹图

4.401110工作面大直径高位定向钻孔瓦斯抽采效果分析

以401110工作面第一组高位定向钻孔抽采效果为实例进行分析研究，在工作面初采初放期间，随着推采进度增加高位定向抽采纯量逐步上涨，上隅角采空区内瓦斯浓度逐步下降，说明随着工作面推采高位定向钻孔与采空区顶板裂隙逐渐导通，形成抽采负压区，在高位定向钻孔抽采作用下，采空区瓦斯通过高位定向钻孔进行抽采，减少上隅角瓦斯涌出。高位定向钻孔抽采纯流量和上隅角采空区瓦斯浓度变化情况如图5、图6所示。



> 图5 401110工作面大直径高位定向钻孔抽采纯量变化曲线图



> 图6 401110工作面上隅角采空区内瓦斯浓度变化曲线图

四、取得的效益或成果

（一）“以孔代巷”取得效益及成果

1. 经济效益方面：原先施工一条专用高位瓦斯抽采巷，掘进成本为7000元/m，所需费用为1223万元。采用“以孔代巷”施工工艺后，平均每米结算费用为113元/m，所需费用为393万元，相较于原有工艺，直接产生经济效益830万元。2. 抽采效果方面：目前高位定向钻孔平均瓦斯抽采浓度为10.3%，平均抽采纯流量为10.39m³/min，相比较高抽巷平均抽采浓度为4%，平均抽采纯流量为8m³/min。通过分析、对比，高位定向钻孔平均抽采浓度、抽采纯量比原高抽巷分别提高25.7%和29.8%。

表-2 高抽巷与高位定向钻孔数据对比表

类 别	抽采浓度 (%)	抽采纯量 (m ³ /min)	抽采率 (%)	所需成本 (万元)
高抽巷	4	8	65	1223
高位定向钻孔	10.3	10.39	80	393

（二）上隅角“迈步式”埋管抽采效果

1. 单趟管路抽采效果：经统计，原先上隅角单趟抽采平均浓度为1.02%，平均混合流量为108.42m³/min，平均抽采纯流量1.11m³/min。2. “迈步式”抽采效果：根据5月1日-7月31日期间数据统计，上隅角1#抽采管路平均瓦斯抽采浓度为1.1%，最大瓦斯抽采浓度为3.08%，平均混合流量115.31m³/min，平均抽采纯流量1.26m³/min；上隅角2#抽采管路平均瓦斯抽采浓度为1.11%，最大瓦斯抽采浓度为6.42%，平均混合流量102.16m³/min，平均抽采纯流量1.13m³/min，两趟合计抽采纯流量为2.39m³/min。

相比较，“迈步式”埋管平均抽采浓度、抽采纯量比原单趟抽采管路分别提高216%和215%。同时，401110工作面初采初放期间，由于采空区顶板未充分垮落，上隅角“迈步式”抽采起到了重要作用，为工作面安全回采打下了坚实基础。初采初放期间，1#管路最大瓦斯抽采浓度为3.08%、平均浓度1.55%，2#管路最大瓦斯抽采浓度为3.39%、平均浓度1.53%，平均抽采纯量达3.61m³/min。

（三）综合抽采效果

401110工作面采用“以孔代巷”+“迈步式”埋管技术治理采空区瓦斯的工作面，通过持续观测、分析，“以孔代巷”+“迈步式”埋管抽采纯流量达12.78m³/min，工作面瓦斯抽采率由65%

提升至80%，回采期间工作面回风平均瓦斯浓度0.16%，风排瓦斯量平均2.5m³/min，抽采效果极为明显。

五、经验总结

为进一步解决矿井冲击地压与瓦斯耦合共存条件下，煤岩层有效卸压、瓦斯高效抽采协同治理技术难题，胡家河矿坚持瓦斯与冲击地压灾害治理“同规划、同设计、同落实、同考核”，全面构建形成“12235”强冲击地压条件下瓦斯防治技术体系，即：一种核心理念、两种技术手段、两类卸压增透措施、三区联动模式、五项关键协同治理技术。

1. 一种核心理念

矿井牢固树立“区域治理、局部强化、超前预抽、精准评判、多路防范”的瓦斯治理理念，不断完善“通风可靠、抽采达标、监控有效、管理到位”的瓦斯综合治理工作体系。

2. 两种技术手段

矿井采用“预抽达标+精准卸压抽采”两种技术手段，预抽采取井下区域预抽、采前预抽，卸压瓦斯抽采采取高位定向钻孔、高位岩层裂隙钻孔、上隅角迈步式埋管抽采，确保实现精准卸压、抽采达标。

3. 两类卸压增透措施

“2-111”瓦斯高效抽采技术，即通过将高压水射流割缝和液态二氧化碳致裂两种增透技术结合，在抽采钻孔内进行一次割缝增透卸压、一次二氧化碳气相脱附驱替、一次导向扩孔驱气，进一步达到“煤体有效卸压、煤层透气性增加、瓦斯抽采效率更高”的协同治理效果。通过对“2-111”钻孔与普通钻孔预抽效果对比分析，“2-111”钻孔相比普通钻孔，抽采效率可提高2.5倍。

4. 三区联动模式

目前布置401、402、403三个盘区，401盘区为生产盘区，402盘区为近景准备盘区，403盘区为远景规划盘区。“现、近、远”三区统筹布局、递进协调，形成矿井三区联动模式，从而达到“采掘接续更加合理、采掘活动互不扰动、区域瓦斯超前治理”的目的。

5. 五项关键协同治理技术

（1）区域预抽

坚持以“精排一年、细排三年、规划五年”为路线，构建形成“长距离定向钻孔、递进式钻孔两种工艺”+“开拓大巷、工作面顺槽两类施工区域”相结合的“2+2”区域瓦斯治理模式；即：一是利用开拓大巷采用定向钻机施工长距离定向钻孔，二是在工作面顺槽采用普通坑道钻机施工倾向递进式预抽钻孔。大力开展区域瓦斯治理，实现“区域煤体提前卸压、区域瓦斯超前治理”的灾害协同治理目的。

（2）采前预抽

通过采用“一面一策”“一段一策”机制，立体交叉布置高、中、低位钻孔，做到钻孔均匀布置，实现全煤层瓦斯预抽。“高、中、低”位钻孔预抽“顶、本、底”煤体瓦斯，“中、低”位钻孔卸压“帮、底”煤体，实现瓦斯预抽“全覆盖”、煤体卸压“零

破坏”。

（3）“以孔代巷”高效抽采

通过使用 ZDY-20000LD 型大功率定向钻机，沿工作面走向施工大直径高位定向钻孔，用于抽采采空区卸压瓦斯。工作面共布置4组，每组布置12个钻孔，孔径 $\Phi 153\text{mm}$ ，孔深 $400 \sim 500\text{m}$ ，钻孔层位布置于煤层顶板向上 $0 \sim 34\text{m}$ 范围。通过与高抽巷经济效益、抽采效果两大方面进行对比，高位定向钻孔均实现双突破。

（4）上隅角迈步式埋管及“树状集流式”插管抽采

采煤工作面上隅角在封堵墙体顶部迈步式压设2趟抽采管路，管口伸入封堵位置以里 $6 \sim 12\text{m}$ ，紧贴巷道顶板吊挂，用于抽采上隅角瓦斯。通过分析不同埋设间距条件下的瓦斯抽采效果，确定了最优埋设间距，目前上隅角抽采浓度保持在 $0.6\% \sim 0.8\%$ 左

右。为进一步消除上隅角瓦斯威胁，在原有技术基础之上，将下部上隅角抽采管路进行改造并延接一趟 $\Phi 159\text{mm}$ 支管路，支管路末端安装“箱式集流器”，集流器一端安装5趟 $\Phi 51\text{mm}$ 软管均匀布置伸入封堵墙体内进行抽采，确保最大程度的拦截墙体内不同深度的瓦斯，以确保工作面瓦斯平稳、可靠。

（5）推行“卸+压+抽”工艺

前期利用大功率定向钻机钻进至设计层位及孔深，后采用“双封单卡拖动式分段压裂”工艺，将压裂液通过高压泵压入煤层顶板上方的目标层位段，使完整的目标岩层内产生密集网状裂缝，形成人造“裂隙”。回采前，通过上覆岩层裂隙预抽本煤层瓦斯；回采后，随着工作面的推采，岩层裂缝进一步发育扩展，在采动应力作用下，上覆岩层及时、有序垮落，大幅降低破断失稳时的能量释放级别，并有效提升瓦斯抽采浓度及效率。

参考文献:

- [1] 张洪雨, 祁乐. 高位定向长钻孔高效瓦斯治理研究 [J]. 能源与环保, 2020, 42(10):12-16.
- [2] 于士芹, 杨宏民, 鲁小凯, 等. 王家岭煤矿高位定向长钻孔抽采顶板卸压瓦斯技术 [J]. 河南理工大学学报 (自然科学版), 2018, 37(4):31-36, (54).
- [3] 许超, 刘飞, 方俊. 高位定向长钻孔瓦斯抽采技术及抽采效果分析 [J]. 煤炭工程, 2017, 49(6):78-81.
- [4] 张国枢. 通风安全学 [M]. 徐州: 中国矿大出版社, 2000.
- [5] 中华人民共和国应急管理部, 国家矿山安全监察局. 煤矿安全规程 [M]. 北京: 应急管理出版社, 2022
- [6] 梁建玲, 杜小茹. 高瓦斯综采面单元法测定瓦斯涌出及分布规律 [J]. 陕西煤炭, 2015, 1 (34):38-40.
- [7] 毕建乙. 马堡矿大直径顶板走向长钻孔抽采技术研究 [D]. 阜新: 辽宁工程技术大学, 2015.
- [8] 郝光生, 陈宾, 申凯. 采空区顶板高位定向钻孔差异化布置与抽采效果分析 [J]. 煤炭科学技术, 2018, 46(8):101-106.
- [9] 王依磊, 郭志军. 唐口煤矿高位定向钻孔工艺的优化及应用 [J]. 煤矿安全, 2018, 49(10):152-155.
- [10] 李彦明. 基于高位定向长钻孔的上隅角瓦斯治理研究 [J]. 煤炭科学技术, 2018, 46(1):215-218.
- [11] 许红磊, 陈亮, 孙云川. 顶板走向高位钻孔瓦斯治理技术研究 [J]. 能源与环保, 2020, 42(8):37-41.
- [12] 谢和平, 周宏伟, 薛东杰, 高峰. 我国煤与瓦斯共采: 理论、技术与工程 [J]. 煤炭学报, 2014, 39(8):1391-1397.

市政工程造价管理优化策略与应用研究

赵玉艳

天津宇和工程咨询有限公司, 天津 300000

摘要： 本文系统概述了市政工程造价管理的基本概念、特点、主要任务和内容，以及影响因素，为后续分析和策略提出奠定了理论基础。接着，本文分析了当前市政工程造价管理存在的问题，并对其原因进行了深入探讨，从而明确了市政工程造价管理优化的必要性。针对这些问题，本文提出了一系列优化策略。这些策略旨在提高市政工程造价管理的科学性和有效性，降低项目成本，提高投资效益。为了验证这些优化策略的实际应用效果，本文选取了市政工程项目进行案例分析，阐述了优化策略在该项目中的应用过程，并通过对比分析，展示了优化策略带来的积极变化和成效。

关键词： 市政工程；造价管理；优化策略；应用研究；信息化建设；管理人员素质

Research on Optimization Strategy and Application of Cost Management in Municipal Engineering

Zhao Yuyan

Tianjin Yuhe Engineering Consulting Co., Ltd., Tianjin 300000

Abstract： This article systematically outlines the basic concepts, characteristics, main tasks and contents of municipal engineering cost management, as well as influencing factors, laying a theoretical foundation for subsequent analysis and strategy proposal. Furthermore, this article analyzes the problems existing in the current cost management of municipal engineering and explores their causes in depth, thus clarifying the necessity of optimizing the cost management of municipal engineering. This article proposes a series of optimization strategies to address these issues. These strategies aim to improve the scientific and effective management of municipal engineering costs, reduce project costs, and enhance investment efficiency. In order to verify the practical application effects of these optimization strategies, this article selected municipal engineering projects for case analysis, elaborated on the application process of optimization strategies in the project, and demonstrated the positive changes and effects brought by optimization strategies through comparative analysis.

Keywords： municipal engineering; cost management; optimization strategy; applied research; information technology construction; quality of management personnel

引言

随着城市化进程的不断推进，市政工程作为城市基础设施建设的重要组成部分，其投资规模和建设范围不断扩大。市政工程造价管理作为项目管理的关键环节，对于控制项目成本、提高投资效益具有重要意义。然而，在实际的市政工程造价管理过程中，存在诸多问题，如管理体制不完善、信息化建设滞后、管理人员素质不高等，导致市政工程造价管理效果不佳，影响了市政工程项目顺利实施和投资效益的实现。

一、市政工程造价管理理论概述

市政工程造价管理不仅关系到工程项目的投资效益，更影响着城市的可持续发展。本文将对市政工程造价管理的基本概念、特点、主要任务和内容以及影响因素进行详细阐述。

（一）市政工程造价管理的基本概念

伴随着国家经济实力的日益增强，各地政府在基础设施建设方面的投入持续加大，包括城市道路、河道治理等在内的市政工程项目建设数量明显增加。然而，在工程建设实施的各个阶段，

往往会有多方面因素不同程度地影响工程造价，导致项目最终实际造价明显超出概算或预算价格^[1]。

市政工程造价管理是指通过对市政工程造价的投资估算、预算编制、工程量清单编制、招标投标、合同管理、工程变更、结算审计等环节进行科学合理的组织、协调和监督，确保工程项目在预算范围内高质量、高效率地完成的一系列管理工作。

市政工程的全过程造价管理对于保障市政工程建设质量和工期具有重要作用，能够帮助管理者科学决策、合理规划，提高市政工程建设效益，避免工程建设造价超支等问题^[2]。

（二）市政工程造价管理的特点

市政工程造价管理是一项复杂的系统工程，它涉及多个专业领域，如道路、桥梁、给排水等，因此需要综合考虑各个专业工程的特殊性。同时，由于市场价格、政策法规等因素的动态变化，造价管理必须根据工程项目的实际进展情况进行调整。此外，市政工程造价管理需要各个参与主体协同工作，形成一个有效的管理体系^[3]。由于市场价格波动、政策调整、设计变更等不确定因素，市政工程造价管理面临诸多风险，因此需要制定相应的风险防控措施。

（三）市政工程造价管理的主要任务和内容

市政工程造价管理涉及一系列关键任务，包括准确的投资估算、精细的预算编制、详尽的工程量清单编制、透明的招标投标过程、严格的合同管理、适时的工程变更处理，以及彻底的结算审计^[4]。这些任务从项目设计、施工技术到市场动态，全面考量，确保了工程项目从启动到完成的每个阶段都能得到有效的成本控制和财务管理。通过这些措施，不仅保障了合同条款的严格执行，还确保了设计变更和施工调整的合理性与经济性，最终确保了整个项目结算的合规性和精确性。

（四）市政工程造价管理的影响因素

市政工程造价管理受到市场价格波动、政策法规变化、设计方案合理性、施工工艺选择以及工程项目管理水平等多种因素的影响。市场价格波动和政策法规变化可能会对投资估算、预算编制和招标投标等环节产生直接影响。同时，设计方案的科学合理性和施工工艺的选择与改进，对投资估算、预算编制及工程量清单编制等方面也有着显著影响^[5]。此外，工程项目管理水平的提升对于提高造价管理的效率和效果至关重要。因此，在市政工程造价管理中，需要综合考虑并应对这些因素，以确保项目的顺利进行和成本控制。

二、市政工程造价管理现状分析

市政工程作为城市基础设施的重要组成部分，其投资规模不断扩大，对市政工程造价管理的要求也越来越高。然而，在实际工作中，市政工程造价管理存在一些问题，影响了工程项目的投资效益和城市基础设施的可持续发展。本文将对市政工程造价管理的现状进行分析，以期对市政工程造价管理的优化提供参考。

（一）市政工程造价管理存在的问题

市政工程造价管理面临的主要问题包括造价管理意识不足、造价管理制度不健全、造价管理信息化水平较低、造价管理人员素质不高以及造价管理风险防控不到位^[6]。这些问题导致造价管理工作在工程项目实施过程中得不到足够的重视，缺乏有效的监督和考核机制，造价数据的收集、分析和应用不够及时、准确，部分管理人员缺乏专业知识和实践经验，以及风险防控意识薄弱，缺乏有效的风险识别、评估和应对措施。这些问题的存在严重影响了市政工程造价管理的质量和效果。

（二）市政工程造价管理问题的原因分析

市政工程造价管理面临的挑战主要体现在管理体制不完善，

导致在组织、协调和监督方面存在不足；相关法规政策不健全，对造价管理的规范性和约束力不足；市场竞争不充分，部分企业可能采取不正当手段影响造价管理^[7]；以及市政工程造价管理人才队伍建设不足，缺乏专业化的造价管理人才。这些问题共同影响了市政工程造价管理的有效性和效率，需要通过综合措施加以解决。

（三）市政工程造价管理优化的必要性

优化市政工程造价管理对于提高工程项目的投资效益、降低投资风险具有重要意义。同时，它还能促进城市可持续发展，通过合理分配城市基础设施投资，推动城市的长期繁荣。此外，优化造价管理有助于提升市政工程管理水平，提高工程项目的质量和效率。加强市政工程造价管理还能规范市场秩序，促进市政工程造价市场的健康发展，并最终保障公共利益，提高市政工程的社会效益^[8]。因此，优化市政工程造价管理是实现工程项目、市场和社会多方共赢的关键。

三、市政工程造价管理优化策略

面对市政工程造价管理中存在的问题，有必要采取一系列优化策略，以提高市政工程造价管理的效率和效果，促进城市基础设施的可持续发展。以下为市政工程造价管理的优化策略：

（一）完善市政工程造价管理体制

建立健全市政工程造价管理组织机构，明确各级管理人员的职责和权限，形成有效的组织体系。

制定完善的市政工程造价管理制度，包括投资估算、预算编制、工程量清单编制、招标投标、合同管理、工程变更、结算审计等环节的管理规定^[9]。

加强市政工程造价管理的监督和考核，建立有效的监督机制和考核指标体系，确保造价管理工作的规范性和有效性。

（二）加强市政工程造价管理信息化建设

建立市政工程造价管理信息系统，实现造价数据的集中管理和共享，提高造价数据的及时性和准确性。

利用信息技术手段，如 BIM（建筑信息模型）、大数据分析等，提高市政工程造价管理的科学性和精细化水平^[10]。

加强市政工程造价管理信息系统的安全保障，确保系统数据的安全性和可靠性。

（三）提高市政工程造价管理人员素质

加强市政工程造价管理人员的培训和教育，提高其专业知识和技能水平。

建立市政工程造价管理人员的职业资格认证制度，确保造价管理人员的专业素质和职业道德。

引进和培养一批具有国际视野和先进理念的市政工程造价管理人才，提升整体管理水平。

（四）创新市政工程造价管理方法和技术

引入先进的市政工程造价管理理念和方法，如全生命周期成本管理、价值工程等，提高造价管理的科学性和创新性。

推广和应用先进的市政工程造价管理技术和工具，如 BIM 技

术、工程造价管理软件等，提高造价管理的效率和准确性。

鼓励市政工程造价管理创新，开展相关的研究和实践活动，推动造价管理水平的不断提升。

（五）强化市政工程造价过程控制

加强市政工程造价的事前控制，通过投资估算和预算编制等环节，合理确定工程项目的投资规模和预算。

加强市政工程造价的事中控制，通过工程量清单编制、招标投标、合同管理等环节，确保工程项目的投资控制和合同履行。

加强市政工程造价的事后控制，通过工程变更、结算审计等环节，对工程项目的实际投资进行审查和评估，及时发现问题并采取措施予以解决。

四、市政工程造价管理优化策略应用研究

市政工程造价管理优化策略的研究不仅需要理论支持，更需要在实际工程项目中进行应用和验证。以下是两个实际案例，展示了市政工程造价管理优化策略在实际工程项目中的应用及效果分析。

（一）优化策略在市政工程项目中的应用

方慧娥在其研究中对某一住宅建筑项目的成本管理进行了深入剖析，涵盖了从投资决策到招投标、项目实施，直至竣工结算的各个关键阶段。她的分析揭示了项目在成本控制、进度管理和合同执行方面所面临的挑战，如成本超支和工期延误等问题。

另一方面，郭一淳的研究强调了 BIM 技术在工程造价管理中的重要作用。他说明了 BIM 如何帮助项目团队在设计初期就对工程量进行精确分析，从而为成本预算提供可靠依据，并实现成本

控制和工期缩短的目标。以某商业综合体建设项目为例，BIM 技术的有效应用显著提升了成本控制效率，将总体成本偏差控制在仅为 0.54%，显著低于行业普遍水平。

（二）应用效果分析

分析市政工程造价管理优化策略的应用效果表明，通过完善管理体制、加强信息化建设、提升人员素质、创新管理方法和强化过程控制，能有效应对成本超支、工期延误和合同管理等方面的挑战，从而显著提高项目的经济效益。

例如，BIM 技术的应用在商业综合体建设项目中实现了成本节约和工期缩短，而全过程造价控制与管理则有助于降低成本和提升工程效益，促使市政工程长期稳定发展。

结束语

本文针对市政工程造价管理中存在的问题，提出了一系列优化策略，并通过实际案例分析验证了这些策略的应用效果。

然而，需要注意的是，市政工程造价管理优化策略的应用并非一蹴而就，而是一个长期、系统的过程。在实际应用中，需要根据具体情况进行灵活调整和改进，以适应不断变化的市场环境和项目需求。同时，市政工程造价管理优化策略的研究和应用仍需进一步深入，以探索更加科学、高效的管理方法和手段。

总之，本文的研究为市政工程造价管理提供了一种优化策略和应用方案，对于推动市政工程造价管理向更高水平发展具有一定的理论和实践意义。希望通过本文的研究，能够为市政工程造价管理的改进和发展提供一定的借鉴和参考，促进市政工程项目顺利实施和投资效益的实现。

参考文献

- [1] 郑小英. 市政工程造价管理中超概预算的原因与控制策略[J]. 中国住宅设施, 2023,(12):91-93.
- [2] 刘银姣. 市政工程全过程造价管理策略探究[J]. 中国招标, 2023,(08):135-136.
- [3] 翟东. 市政工程造价超概算原因分析与控制策略[J]. 建设监理, 2023,(12):47-49.DOI:10.15968/j.cnki.jsjl.2023.12.001.
- [4] 梁伟强. 动态成本控制在市政工程造价管理中的应用研究[J]. 价值工程, 2023,42(36):21-23.DOI:10.3969/j.issn.1006-4311.2023.36.007.
- [5] 刘飞. BIM 技术在市政工程造价管理中的应用[J]. 建筑与预算, 2023,(08):10-12.DOI:10.13993/j.cnki.jzyys.2023.08.004.
- [6] 孙立迎. 基于成熟度评价模型的新型造价管理模式应用研究[J]. 建筑与预算, 2023,(06):7-9.DOI:10.13993/j.cnki.jzyys.2023.06.003.
- [7] 郑舒月. 新形势下市政工程造价的动态管理与控制的分析[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2023,(18):211-213.DOI:10.19569/j.cnki.cn119313/tu.202318071.
- [8] 王轲. 市政工程全过程造价管理中存在的问题及应对措施[J]. 建设监理, 2023,(06):52-54.DOI:10.15968/j.cnki.jsjl.2023.06.001.
- [9] 郑舒月. 市政工程造价的成本控制与风险分析[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2023,(17):196-198.DOI:10.19569/j.cnki.cn119313/tu.202317065.
- [10] 刘明. BIM 技术在市政工程设计阶段造价管理的应用[J]. 今日财富, 2023,(12):80-82.

差动轮系在桥式抓斗卸船机中的应用

周刚

武汉钢铁有限公司运输部, 湖北 武汉 430080

摘 要 : 对散货码头卸船设备的工艺需求进行了解构, 梳理了桥式抓斗卸船机的核心: 抓斗的驱动需求。分析了差动轮系的运行原理, 论证了差动减速机在桥式抓斗卸船机中的应用的可行性。论述了桥式抓斗卸船机 1 台抓斗通过 2 台差动减速机、3 台电机、4 根钢绳实现起升、下降、双向平移、开闭等 5 个方向 (维度) 运行的基本原理, 并在此基础上对差动减速机机械运行原理的分析方法进行了总结。

关 键 词 : 差动轮系; 四卷筒; 桥式抓斗卸船机

Application Of Differential Gear System in Bridge Grab Ship Unloader

Zhou Gang

Transportation Department of Wuhan Iron and Steel Co., Ltd., Wuhan , Hubei 430080

Abstract : The process requirements for unloading equipment at bulk cargo terminals were deconstructed, and the core of the bridge type grab bucket unloader was sorted out: the driving requirements for the grab bucket. Analyzed the operating principle of differential gear system and demonstrated the feasibility of applying differential reducer in bridge grab ship unloader. This paper discusses the basic principles of a bridge type grab ship unloader, which operates in five directions (dimensions) including lifting, lowering, bidirectional translation, and opening and closing through two differential reducers, three motors, and four steel ropes. Based on this, the analysis method of the mechanical operation principle of the differential reducer is summarized.

Keywords : differential gear system; four rolls; bridge type grab bucket unloader

一、背景

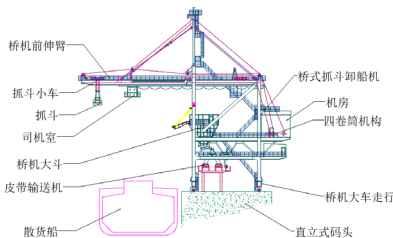
武汉钢铁有限公司运输部现有 4 座直立式码头泊位, 用于接卸铁矿石。码头上的主要卸船设备是 750t/h 四卷筒牵引小车式桥式抓斗卸船机 (简称桥机)。桥式抓斗卸船机的主要功能是通过抓斗将散货船舶上的物料抓取、接卸至物料传输系统, 通过皮带输送机输送至后方原料堆场。

为实现该功能, 抓斗需具备沿船舶横向、纵向的水平移动、竖直升降移动、船舶与桥机大斗间的水平移动、开闭运动等动作。

二、桥式抓斗卸船机的机械运行工艺

(一) 直立式码头卸船工艺

直立式码头桥式抓斗卸船机卸船工艺如下: 散货船靠泊在码头前沿。码头上布置的桥式抓斗卸船机工作时, 抓斗自船舱内抓取散料, 并向岸侧移动, 将散料卸入桥机大斗。散料沿大斗下的给料器、漏斗落入下方的皮带输送机, 实现散货船的物料接卸。详见图 1。



> 图 1 直立式码头卸船示意图

(二) 桥式抓斗卸船机主要运行机构

为完成码头卸船工艺, 桥式抓斗卸船机在其金属结构上, 配备了抓斗起升、开闭、运行机构、前伸臂俯仰机构、大车走行机构、物料输送系统、司机室及其他辅助机构。

1. 抓斗起升、开闭、运行机构

抓斗起升、开闭、运行机构由抓斗、桥机前伸臂上的抓斗小车、机房内的四卷筒机构及布置在桥式抓斗卸船机上的钢绳、滑轮组成。通过机房内 4 个钢绳卷扬筒对钢丝绳的卷扬收放, 实现抓斗在散货船横截面上的起升、下降、水平移动及抓斗本体的开闭。

2. 前伸臂俯仰机构

前伸臂俯仰机构, 用于实现桥机前伸臂的俯仰。通过机房内的钢绳卷扬筒驱动钢绳, 曳引桥机前伸臂沿根部的铰点进行回转, 实现前伸臂俯仰动作。该机构用于散货船靠离泊时将桥机前伸臂扬起, 避免与船舶的舰桥发生碰撞。

3. 大车走行机构

大车走行机构由 4 组运行台车组成, 驱动机构为三合一减速机, 用于实现桥机沿散货船纵向, 在码头平台轨道上的水平移动。

4. 物料输送系统

物料输送系统由外接料板、桥机大斗、给料器、分料漏斗等组成。用于实现将抓斗抓取的物料平稳的落入下方的皮带输送机的功能。

5. 司机室及其他辅助机构。

为确保桥机司机在卸船操作时具有良好的视野, 司机室可在

桥机前伸臂上的司机室轨道内水平运行。同时，为确保安全、环保受控，桥式抓斗卸船机上布置了喷淋抑尘装置、各机构的联锁保护装置、防风装置、防撞装置等机构。因本文主要讨论卸船工艺的实现，主要针对抓斗及四卷筒机构进行探讨，对其他机构不再赘述。

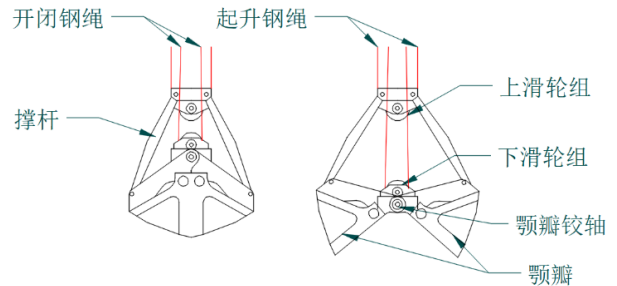
（三）抓斗运行工艺

根据码头的卸船工艺，为正常完成卸船作业，桥式抓斗卸船机的抓斗必须能够实现沿船舶横向、纵向的水平移动、坚直升降移动、船舶与桥机大斗间的水平移动、开闭运动等动作。

通过前文对桥式抓斗卸船机各机构的梳理，可以看出，桥式抓斗卸船机大车走行机构可实现抓斗沿船舶纵向的移动。抓斗其他各方向的移动，均需由抓斗起升、开闭、运行机构完成。

1. 抓斗结构

桥式抓斗卸船机的抓斗采用双瓣四绳四撑杆式结构。抓斗的2个颚瓣通过铰轴连接，与撑杆形成连杆机构。结构型式见图2。



> 图2 抓斗示意图

2. 抓斗的开闭、起升、下降

抓斗由2根起升钢绳、2根开闭钢绳驱动。起升钢绳的绳头布置在抓斗顶部，可实现对抓斗整体的直接曳引。开闭钢绳的绳头穿过抓斗内的上下滑轮组，绳头固定在抓斗内下滑轮组的滑轮上，可实现对抓斗内上下滑轮组间相对位置距离的曳引。当上、下滑轮组间的位置变化时，2个颚瓣分别沿铰轴旋转，实现抓斗的开闭。

由上述的抓斗机构原理可知，抓斗的开闭动作完全取决于起升绳与开闭绳之间的相对运动速度，当起升、开闭钢绳速度相同时，抓斗保持一定的开闭度状态，2个颚瓣保持相对静止；当起升、开闭钢绳速度不相同，2个颚瓣分别旋转，实现抓斗的开斗或闭斗。即抓斗开闭及竖直方向运行的决定因素完全是起升钢绳的竖直方向速度（ $v_{起升}$ ），与开闭钢绳的竖直方向速度（ $v_{开闭}$ ）。其相对关系见表1：

表1：起升、开闭钢绳与抓斗运行状态的关系		
钢绳状态	抓斗	
	开闭状态	竖直运行状态
$v_{起升} = v_{开闭}$	不变	与起升、开闭钢绳同向
$v_{起升} > v_{开闭}$	开斗	与起升绳同向
$v_{起升} < v_{开闭}$	闭斗	与起升绳同向
备注	以竖直向上为速度正方向	

3. 抓斗的平移

因抓斗的开闭、起升、下降，只取决于起升、开闭钢绳的竖

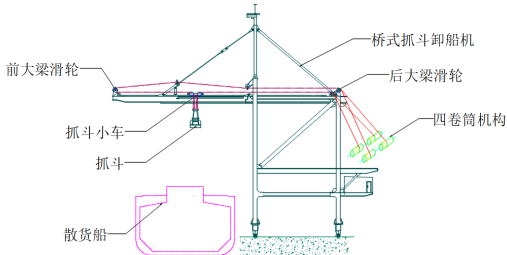
直方向上的相对速度。为实现抓斗的平移，仅需实现曳引抓斗的四根钢绳同步水平移动。

（四）四卷筒机构运行需求分析

通过上述论证可知，抓斗的各向运动，直接取决于曳引抓斗的起升、开闭钢绳的运行状态，即四根钢绳的卷扬筒的运行状态。

1. 抓斗起升、开闭、运行机构布置

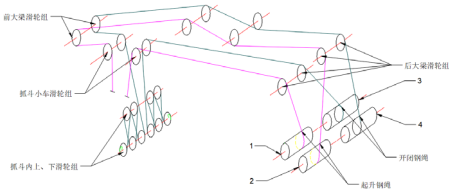
抓斗起升、开闭、运行机构的布置见图3。其执行单元为抓斗，动力单元为四卷筒机构。四卷筒机构驱动的四根钢绳分别通过前、后大梁滑轮经抓斗小车连接抓斗。



> 图3 抓斗起升、开闭、运行机构布置示意图

2. 钢绳布置及四卷筒机构运行状态分析

桥式抓斗卸船机起升、开闭钢绳的布置见图4。起升钢绳通过卷扬筒1、2驱动，分别经后大梁滑轮组、前大梁滑轮组，绕至抓斗小车滑轮组，固定在抓斗上。开闭钢绳通过卷扬筒3、4驱动，分别经后大梁滑轮组、前大梁滑轮组，绕至抓斗小车滑轮组，绕入抓斗内上、下滑轮组，并固定在下滑轮上。



> 图4 钢绳布置示意图

四卷筒机构的4个钢绳卷扬筒与抓斗的运行状态关系见表2。

表2：四卷筒机构与抓斗的运行状态关系

四卷筒机构				抓斗	4卷扬筒相对运动状态
起升卷扬		开闭卷扬			
卷扬筒1	卷扬筒2	卷扬筒3	卷扬筒4		
正转	正转	正转	正转	上升	4个卷扬筒同向旋转
反转	反转	反转	反转	下降	
停止	停止	正转	正转	闭斗	仅卷扬筒3、4旋转
停止	停止	反转	反转	开斗	
正转	反转	正转	反转	向陆侧水平移动	卷扬筒1、3同向 卷扬筒2、4反向
反转	正转	反转	正转	向江侧水平移动	
备注		以图4顺时针方向旋转为正转。			

抓斗采用2组（起升、开闭）4根钢绳曳引，为确保抓斗运行问题，需保证起升卷扬筒1、2的旋转速率（同向或反向）相同，

开闭卷扬筒3、4的旋转速率（同向或反向）相同。否则，抓斗会在运行中出现偏斜。

当两组卷扬筒（起升、开闭）间速率有差值时，抓斗呈现升降或平移中同步开闭的复合运行状态。

3. 四卷筒机构驱动装置的需求

为实现抓斗的各向驱动控制，对四卷筒机构的驱动装置要求如下：

（1）分组控制

由表2可知，为实现抓斗的各向运行，4个卷扬筒即需要同向旋转、也需要分组相向旋转，必须能够实现4个卷扬筒分别分组驱动。

（2）传动比恒定

为保证抓斗运行稳定，起升、开闭钢绳的速率需保持稳定，即要求4个卷扬筒运行时，在同一工况下，驱动机构减速机的传动比保持相对恒定。

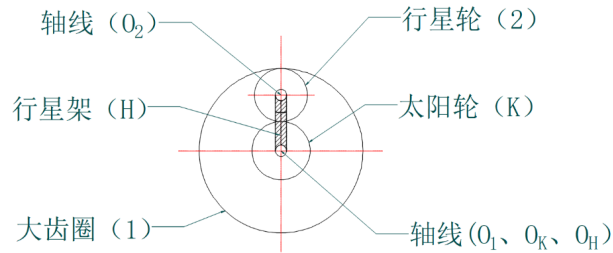
为实现该功能，同时尽量优化四卷筒机构结构，可利用有2个自由度的差动轮系，通过不同的输入组合，实现不同的输出结果。即在四卷筒驱动机构中，引入差动减速机。

三、差动减速机在四卷筒机构中的应用

（一）差动轮系的原理

1. 差动轮系结构型式

差动轮系由太阳轮、行星轮、行星架、大齿圈（内齿圈）组成。其结构型式见图5。



> 图5 差动轮系示意图

太阳轮（K）、行星架（H）、大齿圈（1）沿同一轴线（ O_1 、 O_K 、 O_H ）做圆周运动。行星轮（2）松套在行星架（H）的末端，因此，行星轮（2）一方面沿轴线（ O_2 ）回转（自传），同时又随行星架（H）绕轴线（ O_1 、 O_K 、 O_H ）回转（公转）。

行星轮（2）分别与太阳轮（K）、大齿圈（1）的齿轮啮合。

2. 差动轮系传动分析

为明确太阳轮（K）、大齿圈（1）、行星架（H）三者的传动关系，将上述差动轮系加上一个与行星架（H）相反的角速度（ $-\omega_H$ ）^[1]，即将该差动轮系转化为了定轴轮系。根据周转轮系的基本原理，三者的角速度满足以下公式：

$$(\omega_K - \omega_H) / (\omega_1 - \omega_H) = -z_1/z_k$$

其中： ω_K ：太阳轮角速度

ω_H ：行星架角速度

ω_1 ：大齿圈角速度

z_1 ：大齿圈齿数

z_k ：太阳轮齿数

由此可知，太阳轮（K）、大齿圈（1）、行星架（H）三者的角速度满足确定的函数关系，即：

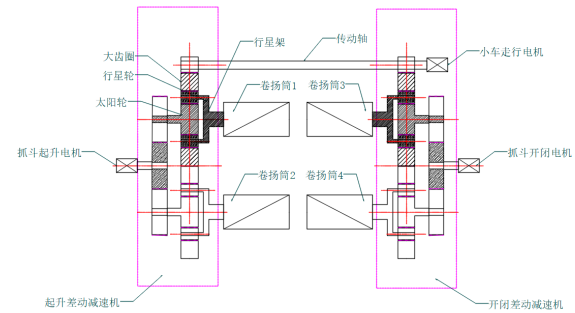
$$\omega_H = f(\omega_K, \omega_1)$$

因此，当太阳轮（K）、大齿圈（1）为输入构件、行星架（H）为输出构件、行星轮作为传动构件时，该差动轮系有2个自由度，但输入、输出构件的传动比满足恒定的函数关系，可实现该差动轮系的精确传动。

（二）差动减速机实现四卷筒驱动的技术方案

1. 差动减速机的结构型式

在桥式抓斗卸船机四卷筒机构中，布置2台差动减速机，每台差动减速机由2个差动轮系组成。两个差动轮系结构型式及技术参数完全一致。2个差动轮系的太阳轮通过一个中间齿轮，由1台电机（起升、开闭电机）同步驱动。2个差动轮系的大齿圈通过其外齿轮相互啮合，大齿圈由1台电机（小车走行电机）通过传动轴同步驱动。其结构型式见图6。



> 图6 差动减速机示意图

2. 差动减速机的运行状态分析

四卷筒机构运行时，差动减速机基本运动状态如下：

（1）小车走行电机运行，抓斗起升、开闭电机停止

此时，起升、开闭差动减速机内部各2套差动轮系的太阳轮均停止，大齿圈驱动行星架，带动卷扬筒运行。因起升、开闭差动减速机内部2套差动轮系的大齿圈为外啮合，转动方向相反，故同一台减速机的2个卷扬筒相向运行。实现卷扬筒1、3同向，卷扬筒2、4反向，4个卷扬筒同速率的运行状态，抓斗水平运动。

（2）小车走行电机停止，抓斗起升、开闭电机同向运行

此时，起升、开闭差动减速机内部各2套差动轮系的大齿圈均停止，太阳轮驱动行星架，带动卷扬筒运行。因2套差动轮系的太阳轮由一个中间轮驱动，转动方向相同，故同一台减速机的2个卷扬筒同向运行。实现卷扬筒1、2、3、4同向、同速运行，抓斗升降运动。

（3）小车走行电机停止，抓斗起升电机停止，开闭电机运行

此时，起升差动减速机停止，卷扬筒1、2停止。开闭差动减速机内部2套差动轮系的大齿圈均停止，太阳轮驱动行星架带动卷扬筒3、4同向、同速运行，抓斗开闭运动。

（4）小车走行电机停止，抓斗起升电机、开闭电机不同速

运行

此时, 起升、开闭差动减速机内部各2套差动轮系的大齿圈均停止。起升电机驱动起升差速减速机2个太阳轮带动卷扬筒1、2同速运行。开闭电机驱动开闭差速减速机2个太阳轮带动卷扬筒3、4同速运行。因2组卷扬筒存在速度差, 抓斗呈现在升降过程中同步开闭的复合运行状态。

(5) 抓斗起升电机、开闭电机同速运行, 小车走行电机不同速运行

此时, 起升开闭差动减速机4个太阳轮速度相同, 4个大齿圈做相向同速率运动。卷扬筒1、3速度相同, 卷扬筒2、4速度相同。因2组卷扬筒间存在速度差, 抓斗呈现在升降过程中, 同步横移的复合运行状态(竖直平面曲线运动)。

(6) 小车走行电机、抓斗开闭电机不同速运行, 抓斗起升电机停止

此时, 起升差动减速机太阳轮停止、开闭差动减速机2个太阳轮同向、同速运行, 起升、开闭差动减速机4个大齿圈做相向同速率运动。卷扬筒1、2速率相同、方向相反, 卷扬筒3、4方向相反, 速度差值为横移状态速度差。抓斗呈现在水平移动过程中, 同步开闭的复合运行状态。

(7) 小车走行电机、抓斗起升电机、开闭电机均不同速运行

此时, 抓斗呈现升降、横移、开闭的复合运行状态。

根据上述不同运行状态的分析, 可以看出, 差动减速机可通过3台电机(小车走行电机、抓斗起升、开闭电机) 的不同运行状态, 控制4个卷扬筒实现不同的运行状态, 从而实现抓斗起升、下降、双向平移、开闭等不同的运行状态。

3. 差动减速机原理总结与认知

根据相对运动的原理, 在差动轮系中, 附加一个公共转动后, 差动轮系各构件的相对运动并不会改变。结合前述的差动轮系原理及差动减速机机构运行分析, 可将上述起升、开闭差动减速机作为一个差动轮系的整体。因2个差动减速机内各个差动轮系的技术参数均相同, 起升开闭电机、小车走行电机回转速度各自对4个卷扬筒回转速度的影响也相同。

由此, 可以将4个卷扬筒的回转速度, 简化理解为起升开闭电机、小车电机的回转速度的函数叠加。由此, 4个卷扬筒的转动速度可通过以下公式进行简化理解:

$$\omega_{\text{卷扬筒1}} = f(\omega_{\text{抓斗起升电机}}) + f(\omega_{\text{小车走行电机}})$$

$$\omega_{\text{卷扬筒2}} = f(\omega_{\text{抓斗起升电机}}) - f(\omega_{\text{小车走行电机}})$$

$$\omega_{\text{卷扬筒3}} = f(\omega_{\text{抓斗开闭电机}}) + f(\omega_{\text{小车走行电机}})$$

$$\omega_{\text{卷扬筒4}} = f(\omega_{\text{抓斗开闭电机}}) - f(\omega_{\text{小车走行电机}})$$

其中: $\omega_{\text{卷扬筒1、2、3、4}}$: 卷扬筒1、2、3、4的转动速度。

$\omega_{\text{抓斗起升电机}}$: 抓斗起升电机转动速度

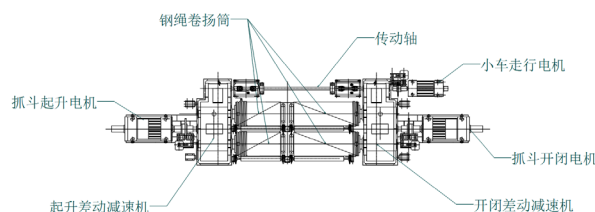
$\omega_{\text{抓斗开闭电机}}$: 抓斗开闭电机转动速度

$\omega_{\text{小车走行电机}}$: 小车走行电机转动速度

需要说明的是, 根据前述差动轮系的机械原理, 4个卷扬筒的回转速度虽与起升开闭电机、小车走行电机回转速度呈固定的线性函数关系, 但并不是简单的加减计算。本文提出的四卷筒机构回转速度函数关系公式, 仅用于说明差动减速机的运行原理, 便于形成感性认知。

(三) 四卷筒机构总体布置

四卷筒机构采用差动减速机后, 其驱动装置由3台驱动电机、2台减速机组成。其中, 起升、开闭电机分别驱动起升、开闭差动减速机, 小车走行电机通过传动轴同步驱动起升、开闭减速机。结构型式见图7。该结构型式简洁、运行稳定、可靠。



> 图7 四卷筒机构驱动装置示意图

四、结语

本文对散货码头卸船设备的工艺需求进行了解构, 梳理了桥式抓斗卸船机的核心机构需求, 分析了差动轮系的运行原理, 论证了差动减速机在桥式抓斗卸船机中的应用的可行性。论述了桥式抓斗卸船机1台抓斗通过2台差动减速机、3台电机、4根钢绳实现起升、下降、双向平移、开闭等5个方向(维度) 运行5个方向运行的基本原理, 并在此基础上对差动减速机机械运行原理的分析、认知方法进行了总结。对港口机械技术管理人员有积极的参考、指导意义。对其他有复杂、精细机械结构需求的设备提供了积极的借鉴意义。

参考文献

- [1] 郑文伟, 吴克坚. 机械原理高等教育出版社, 1997.
- [2] 程树界. 对差动行星减速机的分析三峡大学学报, 1985.
- [3] 钟尚文. 港口机械桥式抓斗卸船机的探讨科技创新与应用, 2012.
- [4] 李东. 桥式抓斗卸船机性能考核分析科学与信息化, 2018.
- [5] 张展. 行星差动减速机机械设计与研究, 1984.
- [6] 王亚武. 桥式抓斗卸船机选型要点港口装卸, 2011.
- [7] 龙小兵. 论抓斗卸船机的自动作业性能科技创业家, 2012.
- [8] 司军营. 抓斗卸船机与连续式卸船机协同工作的分析起重运输机械, 2016.
- [9] 朱慧颖, 李军君, 孙波. 抓斗卸船机结构优化分析科技创新与应用, 2016.
- [10] 吴国威. 卸船机 PLC 及变频技术应用探讨科技风, 2015.

油基泥浆水平井堵漏水泥浆体系研究与应用

李磊

中石化中原石油工程有限公司钻井二公司，河南 濮阳 457001

摘要： 本文详细介绍了油基泥浆水平井的堵漏技术，探讨了其特性、技术分类以及目前的发展状况。文章着重阐述了油基泥浆水平井堵漏专用水泥浆体系的设计过程，包括设计原则、配方优化策略以及性能评估方法。通过系统的实验研究，对实验所需材料与设备、水泥浆的性能测试、堵漏效果评估以及实验数据进行了深入分析。此外，本文还综合评估了该水泥浆体系在实际现场应用中的表现，包括施工工艺、应用效果以及经济效益，为油基泥浆水平井堵漏技术的实际应用提供了科学依据和实践指导。

关键词： 油基泥浆；水平井；堵漏技术；水泥浆体系；实验研究；现场应用；经济效益

Research and Application of Oil based Mud System for Blocking Water Leakage in Horizontal Wells

Li Lei

Sinopec Zhongyuan Petroleum Engineering Co., Ltd. Drilling Company 2, Puyang, Henan 457001

Abstract： This article provides a detailed introduction to the plugging technology of oil-based mud horizontal wells, exploring its characteristics, technical classification, and current development status. The article focuses on the design process of a specialized cement slurry system for plugging oil based mud horizontal wells, including design principles, formulation optimization strategies, and performance evaluation methods. Through systematic experimental research, in-depth analysis was conducted on the materials and equipment required for the experiment, performance testing of cement slurry, evaluation of leak sealing effect, and experimental data. In addition, this article comprehensively evaluates the performance of the cement slurry system in practical field applications, including construction technology, application effects, and economic benefits, providing scientific basis and practical guidance for the practical application of oil-based mud horizontal well plugging technology.

Keywords： oil-based mud; horizontal well; leak sealing technology; cement slurry system; experimental research; on site application; economic performance

引言

随着我国石油工业的快速发展，油基泥浆水平井在油气勘探开发中的应用越来越广泛。然而，由于油基泥浆水平井特殊的地质条件和复杂的井筒环境，井漏问题一直是制约其发展的重要问题。因此，研究油基泥浆水平井堵漏技术具有重要的现实意义。

一、油基泥浆水平井堵漏技术概述

随着全球油气资源的日益稀缺，油基泥浆水平井技术以其高效的开采能力，在油气田的开发中扮演着越来越关键的角色。然而，这一技术的应用面临着由复杂地质条件和作业环境所引起的井漏问题的严峻挑战，这些问题成为限制其进一步发展的主要障碍。鉴于此，深入研究油基泥浆水平井的堵漏技术，不仅对于提升油气开采效率至关重要，而且对于确保油气田的可持续开发具有重大的实际意义和应用价值。

（一）油基泥浆水平井特点

油基泥浆水平井技术，作为现代油气开采领域的一项先进技术，以其显著的优势确立了其在行业中的重要地位。该技术通过

扩展井筒与油藏的接触面积，大幅提升了油气开采的效率，使得与传统直井相比，能够实现更高的产量和更优的资源利用效率。然而，水平井段的构造特点要求其穿越多种复杂地层，这不仅带来了地质条件上的挑战，而且提高了井漏发生的可能性，从而对堵漏技术提出了更为严格的要求。常规水泥浆受油基泥浆污染时性能变化较大，安全风险较高，制约了水泥浆在油基泥浆水平井堵漏作业中的应用。要建立油基泥浆钻井水平井堵漏水泥浆技术，必须要解决油基泥浆污染水泥浆问题^[1]。此外，油基泥浆的环境友好性也是其一大亮点，其对环境的负面影响较小，这与全球日益增强的绿色开采和环境保护意识不谋而合。

（二）堵漏技术分类

堵漏技术主要涵盖化学堵漏、物理堵漏以及混合堵漏三大

类。化学堵漏通过向井漏区域注入特定的化学堵漏剂，这些剂能够在漏失通道中形成坚固的堵漏体，从而有效封堵井漏。物理堵漏则采用物理方法，如使用砂石、水泥等固体物质来填充漏失通道，以达到堵漏的目的。混合堵漏技术则综合了化学堵漏和物理堵漏的优点，通过多种方法的协同作用，实现更高效、更可靠的堵漏效果。

（三）油基泥浆水平井堵漏技术发展现状

油基泥浆水平井堵漏技术虽然已经取得了一定的研究成果，但在实际应用中仍面临一系列挑战。为了提高堵漏技术的成功率，需要针对不同地质条件和井漏特点研发适应性强的堵漏材料，优化现有堵漏工艺，并建立完善的堵漏效果评价体系，为现场施工提供依据^[2]。总之，油基泥浆水平井堵漏技术在实际应用中具有重要意义，需要深入研究堵漏材料、工艺和效果评价等方面，以进一步提高堵漏技术的成功率。

二、油基泥浆水平井堵漏水泥浆体系设计

在油基泥浆水平井的钻探与完井作业中，水泥浆体系的设计扮演着确保井壁稳定和预防井漏的关键角色。本节旨在深入探讨水泥浆体系的设计原则，并针对油基泥浆水平井的独有特性，展示如何进行精确的配方优化和全面的性能评价，以保障作业的安全性和效率。

（一）水泥浆体系设计原则

在设计水泥浆体系时，关键是要遵循一套严格的原则，这些原则不仅确保水泥浆与油基泥浆的相容性，还关乎施工安全和现场作业的顺利进行。兼容性原则是核心，它要求水泥浆与油基泥浆能够和谐共存，避免任何性能下降的风险。安全性原则至关重要，它要求我们选择对施工人员和环境无害的材料，以维护所有人的安全和环境的完整性^[3]。可泵性原则同样重要，它保证了水泥浆在施工现场条件下能够顺利流动和泵送。稳定性原则则确保了水泥浆在泵送和固化过程中的稳定性，防止了分层和沉淀的问题。

（二）油基泥浆水平井堵漏水泥浆体系配方优化

在油基泥浆水平井的堵漏作业中，配方优化是实现高效堵漏的关键。为了提升水泥浆的堵漏性能，我们采取了一系列策略，包括精心选择适宜种类和掺量的水泥，以确保水泥浆具有必要的稳定性和堵漏效果。此外，我们还通过添加适量的外加剂，如增稠剂、分散剂和缓凝剂，来进一步提升水泥浆的整体性能。通过精确的实验研究，我们确定了最优的水灰比，确保水泥浆在保持优良流动性和可泵性的同时，还能满足堵漏作业的高标准要求。

（三）水泥浆性能评价方法

水泥浆性能的评价是堵漏作业成功的关键环节。为了精确衡量水泥浆的性能，我们实施了多种评价手段。在实验室环境中，我们对水泥浆的流变性、抗压强度和渗透率等关键指标进行了全面测试，以确保其满足堵漏作业的需求。随后，在相似的地质条件下，我们进行了现场试验，以验证水泥浆的堵漏效果是否符合预期^[4]。此外，我们还对水泥浆在现场应用的效果进行了持续跟

踪，以便及时发现并解决可能出现的问题。

三、油基泥浆水平井堵漏水泥浆体系实验研究

为了验证油基泥浆水平井堵漏水泥浆体系的实际效果，本节将详细阐述实验研究的全过程，涵盖实验材料与设备的选择、水泥浆体系性能的测试、堵漏效果的评价以及实验结果的深入分析。

（一）实验材料与设备

实验材料主要包括油基泥浆、水泥、各种外加剂（如增稠剂、分散剂、缓凝剂等）以及用于模拟井漏通道的装置。实验设备则包括搅拌器、流变仪、压力测试仪和渗透率测试仪等。这些设备和材料的选择是为了确保实验的准确性和可靠性，为研究提供坚实的基础。

（二）水泥浆体系性能测试

在实验过程中，对水泥浆的流变性、抗压强度和渗透率等关键性能进行了全面而细致的测试。这些测试的目的是评估水泥浆在不同环境条件下的性能表现，以确定其是否能够满足复杂地质条件下堵漏作业的需求^[5]。通过精确调整水灰比和外加剂的掺量，进行了配方优化，旨在提升水泥浆的性能，确保其能够在实际应用中有效地完成堵漏任务。实验结果为后续的现场应用提供了坚实的参考基础，并为优化水泥浆配方提供了科学的依据。

（三）堵漏效果评价

堵漏效果的评价依赖于实验结果和现场试验数据的综合分析。在实验室环境中，通过模拟井漏通道，对水泥浆的堵漏能力进行测试，以模拟实际井漏情况。这包括观察水泥浆在模拟井漏通道中的流动行为、渗透性变化以及形成的堵漏体的稳定性。然而，实验室测试仅提供部分信息，因此现场试验同样至关重要。在现场试验中，水泥浆体系在真实的油气井环境中进行应用，以验证其堵漏效果是否符合预期。现场试验的数据可以提供更真实的反馈，帮助研究人员了解水泥浆在实际应用中的性能表现，包括堵漏速度、堵漏效果的持久性以及周围地质条件的适应性。

（四）实验结果分析

实验数据的深入分析是评估水泥浆体系堵漏效果的关键步骤。通过精确的统计和解析，能够揭示水泥浆在不同条件下的性能表现，从而对堵漏效果进行全面的评估^[6]。同时，实验结果分析帮助我们识别潜在的问题和不足，为改进措施的制定提供科学依据。

在分析过程中，不仅关注水泥浆体系的整体性能，还特别关注其在特定地质条件下的适应性和稳定性。通过对实验数据的深入挖掘，能够识别出影响堵漏效果的关键因素，并据此提出针对性地改进建议。

此外，实验结果分析还包括对现场试验数据的综合评估。通过将实验室测试结果与现场试验数据进行对比分析，我们能够更好地理解水泥浆体系在实际应用中的表现，并为现场施工提供更准确的技术支持。

四、油基泥浆水平井堵漏水泥浆体系现场应用

理论与实践的相结合是科技发展的必然路径。本节将详细阐述油基泥浆水平井堵漏水泥浆体系在现场应用中的概况、施工工艺、应用效果分析及经济效益评价，以期在现场施工提供参考和指导。

（一）现场概况

在油基泥浆水平井的钻探和完井作业中，井漏问题是一个常见的挑战，它不仅影响施工进度，还可能增加安全风险和成本^[7]。为了应对这一问题，选择了一个具有代表性的油气田作为现场试验的地点，以便在真实的生产环境中验证堵漏水泥浆体系的实际应用效果。

在现场试验中，采用了经过实验室优化后的水泥浆配方，并严格按照预定的施工工艺进行操作。在施工过程中，特别关注了井漏的位置和程度，以及水泥浆注入后的反应^[8]。在施工完成后，对井漏进行了全面的检查，以评估水泥浆的堵漏效果。

（二）施工工艺

在现场施工中，我们采用了以下工艺流程：

- 准备工作：根据地质条件和井漏情况，制定详细的施工方案。
- 配制水泥浆：按照实验室优化后的配方，现场配制堵漏水泥浆。
- 注入水泥浆：通过泵送设备，将堵漏水泥浆注入井漏通道。
- 固化与封堵：待水泥浆固化后，形成坚固的封堵体，实现堵漏^[9]。

（三）现场应用效果分析

通过对现场试验数据的分析，堵漏水泥浆体系在油基泥浆水平井中取得了显著的应用效果。主要表现在以下几个方面：

- 堵漏成功率高：堵漏水泥浆体系能够迅速、有效地封堵井

漏通道。

- 施工安全性好：堵漏过程中无事故发生，确保了施工安全。
- 环境污染小：堵漏水泥浆体系对环境污染较小，有利于环境保护。

（四）经济效益评价

从经济效益的角度来看，堵漏水泥浆体系在现场应用中具有以下优势：

- 节省施工成本：相较于其他堵漏方法，堵漏水泥浆体系的成本较低。
- 提高生产效率：堵漏成功后，油气井能够迅速恢复正常生产，提高生产效率。
- 延长油气井寿命：堵漏水泥浆体系的有效应用，有助于延长油气井的使用寿命。

总之，油基泥浆水平井堵漏水泥浆体系在现场应用中展现出了良好的堵漏效果和经济效益，为油气田的开发提供了有力保障^[10]。在今后的工作中，我们还需进一步优化堵漏水泥浆体系，提高其适应性和堵漏效果，为我国石油工业的可持续发展做出更大贡献。

结束语

未来，油基泥浆水平井堵漏技术仍面临诸多挑战，包括更加复杂的地质条件、更高的环保要求以及不断变化的全球经济环境。这就要求我们继续深化研究，不断完善技术体系，提升堵漏效果，降低成本，同时注重环境保护，实现绿色可持续发展。

此外，随着大数据、人工智能等技术的发展，我们有理由相信，智能化、精细化的管理和技术应用将成为未来油基泥浆水平井堵漏技术发展的重要趋势。通过智能化监测和预测，我们可以更准确地识别井漏风险，更高效地实施堵漏作业，从而进一步提高油气田的开发效率和经济效益。

参考文献

- [1] 杨志城, 俞欢, 周杨, 等. 油基泥浆水平井堵漏水泥浆体系研究与应用 [J]. 辽宁化工, 2016, 45(03): 272-275. DOI: 10.14029/j.cnki.issn1004-0935.2016.03.012.
- [2] 吴晓红, 李云峰, 周岩, 等. 复杂压力系统薄互层致密油藏水平井钻井关键技术 [J]. 钻井液与完井液, 2024, 41(01): 45-52.
- [3] 孙晓日. 神木气田水平井优选钻井配套技术 [J]. 辽宁化工, 2022, 51(08): 1170-1173. DOI: 10.14029/j.cnki.issn1004-0935.2022.08.004.
- [4] 梁文利, 宋金初, 陈智源, 等. 涪陵页岩气水平井油基钻井液技术 [J]. 钻井液与完井液, 2016, 33(05): 19-24.
- [5] 赵常青, 鲜明, 冯子淇, 等. 深层页岩气水平井侧钻水泥塞技术 [J]. 石化技术, 2024, 31(05): 121-123.
- [6] 马金龙, 陶丽杰. 油基钻井液在徐深气田的应用 [J]. 采油工程, 2024, (01): 43-48+81-82.
- [7] 高文龙. 致密油水平井用高效封堵油基钻井液体系的研制与应用 [J]. 精细石油化工进展, 2024, 25(01): 1-4. DOI: 10.13534/j.cnki.32-1601/te.2024.01.003.
- [8] 钟成旭, 李道雄, 李郑涛, 等. 渝西区块龙马溪组强封堵油基钻井液技术研究 [J]. 西南石油大学学报 (自然科学版), 2024, 46(02): 103-113.
- [9] 张晓明, 陈金, 聂建华, 等. 黔北地区正安区块页岩气水平井钻井关键技术 [J]. 山东石油化工学院学报, 2023, 37(04): 53-58.
- [10] 王皓. 钻井液作用下水平井构造煤井壁围岩工程性质变化研究 [D]. 中国矿业大学, 2023. DOI: 10.27623/d.cnki.gzkyu.2023.002422.

煤矿运输系统自动化改造对作业环境的影响

冯春雷

贵州省黔西南州图南矿业（集团）有限公司，贵州 兴仁 562300

摘要： 煤矿运输系统的自动化改造在提升生产效率和降低安全风险的同时，对作业环境产生了积极影响。自动化改造还减轻了工人的劳动强度，降低了职业健康风险，提高了作业安全性。此外，自动化改造对矿井周边环境也产生了积极影响，减少了噪音污染，提升了周边居民的生活质量。然而，自动化改造也带来了一定的挑战，如设备维护成本高、技术更新快等。在推进自动化改造的过程中，煤矿企业应充分考虑这些挑战，制定合理的应对策略，以实现煤矿的可持续发展。

关键词： 煤矿运输系统；自动化改造；作业环境；安全生产；环境影响

The Impact Of Automation Transformation Of Coal Mine Transportation System On The Working Environment

Feng Chunlei

Guizhou Qianxinan Tumen Mining (Group) Co., LTD, Guizhou, Xingren 562300

Abstract： The automation transformation of coal mine transportation system has had a positive impact on the working environment while improving production efficiency and reducing safety risks. Automation transformation has also reduced the labor intensity of workers, lowered occupational health risks, and improved job safety. In addition, automation transformation has also had a positive impact on the surrounding environment of the mine, reducing noise pollution and improving the quality of life of surrounding residents. However, automation transformation also brings certain challenges, such as high equipment maintenance costs and fast technological updates. In the process of promoting automation transformation, coal mining enterprises should fully consider these challenges and formulate reasonable countermeasures to achieve sustainable development of coal mines.

Keywords： coal mine transportation system; automation transformation; work environment; safety production; environmental effect

引言

随着中国经济的迅猛增长，能源需求不断攀升，煤矿产业作为能源支柱，其安全生产和运输效率成为焦点。煤矿运输系统是矿井生产的关键，其安全与效率对产业发展至关重要。传统系统面临诸多挑战，如高强度劳动、高安全风险和低效率。自动化改造，采用现代控制、计算机和通信技术，实现了运输环节的自动化和智能化，提升了运行效率，降低了风险，减轻了劳动强度，并增强了产业竞争力。

一、煤矿运输系统概述

煤矿运输系统是煤矿生产过程中的重要组成部分，它承担着煤炭从井下到地面的运输任务，是煤矿生产效率和安全的直接体现。

（一）煤矿运输系统的基本构成

煤矿运输系统分为皮带运输系统和轨道运输系统。皮带运输系统主要承担矿井井下煤炭、矸石、人员运输任务，轨道运输系统负担井下物料和设备、人员的运输任务，它们共同作用，确保煤炭从地下安全、高效地运送至地面。

（二）煤矿运输系统的作用与重要性

煤矿运输系统的高效运作对提升煤矿生产效率和经济效益起

着决定性作用。它不仅加快了煤炭的运输速度，降低了运输成本，还减少了运输过程中的事故风险，避免了潜在的停工损失。更重要的是，一个安全可靠的运输系统是矿工生命安全和身体健康的重要保障，能够显著减少矿井事故的发生，为矿工创造一个更加安全的工作环境。

（三）煤矿运输系统面临的主要问题

尽管煤矿运输系统对煤矿生产至关重要，但它也面临多种挑战。传统系统过度依赖人力操作，加剧了工人的劳动负担和安全风险。煤矿环境的恶劣条件导致运输设备易受磨损和腐蚀，增加了维护成本，缩短了设备寿命。此外，在煤矿开采时，必须在规定时间内将煤运到指定地点，以保证各项工作有序进行。主要利用煤矿运输机械，倘若机械无法正常运行，不但会影响运输，还

可能降低煤矿整体效益^[1]。

二、自动化改造技术

随着科技的进步，自动化技术在各行各业得到了广泛的应用，煤矿运输系统作为煤炭生产的重要环节，其自动化改造显得尤为重要。

（一）煤矿运输系统自动化改造的关键技术

1. PLC 控制技术：在自动化改造中，可编程逻辑控制器（PLC）扮演着核心角色。借助总线通信的方式来控制设备制动器，并将其与 PLC 结合，实时监测煤矿运输设备。在系统运行过程中，通过传感器实时收集设备运行数据，同时向系统数据库传输数据^[2]。PLC 的高可靠性确保了系统在复杂环境下的稳定运行，为煤矿生产带来了前所未有的便利和效率。

2. 传感器技术：传感器作为自动化系统的“感官”，实时监测运输系统的运行状态，为控制系统提供精确的数据支持。这些数据是系统决策和调整的重要依据，确保了运输过程的安全和高效。传感器的广泛应用，使得运输系统的每一个细节都能得到有效地监控和管理。

3. 通信技术：现代通信技术，如工业以太网和无线传感网络，为设备间的信息交流提供了无缝连接。这种技术的应用，提高了系统的协同工作效率，使得各个设备能够紧密配合，形成一个高效运作的整体。信息的快速流通，保证了系统响应的实时性和准确性。

4. 人工智能技术：引入机器学习和深度学习等人工智能技术，为运输系统带来了智能优化和故障预测的能力。这些技术的应用，大幅提升了系统的智能化水平，使得运输系统更加智能、高效和可靠^[3]。人工智能技术的引入，为煤矿运输系统的未来发展开辟了新的道路。

（二）自动化改造的优势与挑战

1. 优势：自动化改造显著提升了煤矿运输系统的运行效率，降低了生产成本，并减少了对人力资源的依赖，增强了生产的安全性。此外，自动化升级也提高了煤矿的整体自动化水平，增强了其在市场上的竞争力。

2. 挑战：自动化改造要求煤矿企业投入大量资金和技术支持，这对企业的经济实力和技术水平提出了更高的要求。同时，自动化系统的维护和升级也需要专业的技术人才，这对企业的人才培养和引进构成了新的挑战。

三、煤矿运输系统自动化改造的具体实践

煤矿运输系统的自动化改造是一项复杂的系统工程，涉及技术的更新、设备的升级和人员的培训等多个方面。

（一）自动化改造的实施步骤

1. 需求分析：起点是对煤矿运输系统当前状况的全面审查，以明确改造的目的和具体需求^[4]。这一步骤至关重要，因为它决定了改造项目的范围和深度。必须识别系统的瓶颈、安全风险以及

提升效率的潜在机会。

2. 方案设计：在充分了解需求后，接着是设计一个量身定制的自动化改造方案。这包括选择合适的技术路径、设备和系统架构。方案应该综合考虑成本效益、技术先进性和可持续性。

3. 设备采购与安装：按照设计方案，采购必需的自动化设备和设施。这一阶段的关键是确保所有设备的质量和性能符合标准，并且它们能够适应煤矿的恶劣环境。安装后，进行彻底的调试，以保证设备的正常运行。

4. 系统集成：接下来是将所有自动化设备集成到一个统一的控制系统中。这要求设备之间能够无缝共享信息并协同工作，从而实现整个运输系统的高效管理和控制^[5]。

5. 人员培训：对相关人员进行全面的培训，以确保他们能够熟练操作和维护新的自动化系统。培训不仅涉及技术操作，还包括对系统原理的理解，以便能够快速应对可能出现的问题。

（二）自动化改造的案例分析

运输系统中引入了先进的 PLC 控制系统，以某煤矿为例，该矿在轨道运输中的“信、集、闭”煤矿运输操作系统，实现了对煤矿井上、下矿用车辆集中控制、调度的自动化控制。该系统对所有区间机车的申请、占线和解锁实行集中控制，显示出红、绿或黄灯信号，以及控制道岔方向，实现对车辆通、停管制。矿山机械设备大大降低了等候信号的时间，提高了运输效率。

煤矿 PLC 控制系统的应用使得输送带和矿车的运行更加稳定可靠，减少了因人工操作不当或设备故障导致的停机时间。自动化控制还使得设备能够在最佳状态下工作，降低了能源消耗和维护成本^[6]。此外，通过实时监控和故障诊断，系统能够及时发现并处理潜在的安全隐患，从而降低了事故发生的可能性。

（三）自动化改造的成效评估

通过对煤矿运输系统自动化改造的成效进行全面评估，我们不难发现，改造后的系统在运行效率、安全性和经济性等多个方面都取得了显著的进步。自动化技术的引入大幅提升了运输效率，通过减少对人力的依赖，不仅降低了人力成本，同时也削减了生产成本，增强了企业的盈利能力。自动化改造显著提高了煤矿运输系统的安全性，通过精确的控制和实时的监控，有效减少了事故的发生概率，为工人的生命安全提供了更加坚实的保障。此外，自动化改造还提升了煤矿的整体自动化水平，使得煤矿在生产过程中能够更加灵活地应对市场变化，增强了煤矿在市场上的竞争力^[7]。

四、煤矿运输系统自动化改造对作业环境的影响

煤矿运输系统的自动化改造不仅提升了煤矿的生产效率和经济效益，同时也对作业环境产生了深远的影响。本部分将从矿井内部环境、矿井周边环境、煤矿工人作业环境以及煤矿安全生产四个方面，探讨自动化改造对作业环境的影响。

（一）对矿井内部环境的影响

自动化改造的引入带来了先进的控制系统和设备，这些技术的应用显著降低了矿井内部的机械噪音和粉尘污染，从而极大地

改善了工人的作业环境。工人们得以在更为安静和清洁的环境中工作，这不仅提升了他们的工作满意度，还有助于减少与工作相关的健康问题。

同时，自动化设备的高效运行不仅提高了生产效率，还降低了能源消耗。设备能够在最优状态下运行，减少了不必要的能源浪费。此外，自动化改造还减少了废气和废水的排放，这对于保护环境、减少污染具有重大意义^[8]。矿井内部的空气质量和水环境质量因此得到了显著提升，为工人创造了一个更加健康和安全的工作环境。

（二）对矿井周边环境的影响

煤矿运输系统的自动化改造大幅减少了矿用车辆的运输频次，这一变化对于降低道路的磨损和扬尘具有显著效果，从而改善了矿井周边的空气质量。此外，自动化改造还降低了矿区的噪音污染，这一点不仅提升了工人的工作环境，也提升了周边居民的生活质量。

具体来说，矿用车辆的减少直接降低了道路的磨损程度，延长了道路的使用寿命。同时，减少了扬尘，改善了周边的空气质量，有助于保护居民的身体健康。此外，自动化改造还减少了矿区的噪音污染，使得矿区周围的居民能够在更加宁静的环境中生活，提高了他们的生活满意度。

（三）对煤矿工人作业环境的影响

自动化改造显著减轻了工人的体力劳动负担，通过取代人工进行重复性和高风险的作业，工人们得以从繁重且危险的劳动中解放出来^[9]。这一转变不仅降低了工人接触潜在危险环境的风险，还大幅提升了作业的安全性。工人们不再需要直接暴露于矿井的恶劣条件中，从而减少了因工作环境引起的身体伤害和健康问题。

此外，自动化设备的投入使用还显著降低了工人面临职业健

康风险的可能性。例如，尘肺病等职业病的发生率得到了有效控制，因为工人们减少了与有害物质的直接接触。

（四）对煤矿安全生产的影响

自动化改造通过引入先进的实时监控和精确控制技术，显著提升了煤矿的安全生产水平。这种改造使得运输系统得以在持续监控之下运行，确保了每一环节都能在精确控制中顺利进行。自动化系统具备即时响应的能力，能够快速识别并处理运输过程中的任何异常情况，从而有效地预防事故的发生，为煤矿的安全生产提供了强有力的支持。

此外，自动化系统还能通过对历史数据的分析，预测潜在的安全隐患，并采取预防措施，进一步提升了煤矿安全生产的主动预防能力。这种由被动应对事故向主动预防的转变，极大地提高了煤矿的安全管理水平，为煤矿工人的生命安全和企业的可持续发展提供了坚实保障^[10]。

总之，煤矿运输系统的自动化改造对作业环境产生了积极的影响。然而，自动化改造也带来了一定的挑战，如设备维护成本高、技术更新快等。

结束语

煤矿运输系统的自动化改造标志着煤矿产业技术革新与安全生产的深度融合。这一改造不仅提升了生产效率和降低了运营成本，还极大改善了工作环境，增强了煤矿安全生产的能力。尽管改造取得了显著成效，但这一过程是循序渐进的，需要政府、企业和社会的共同努力。政府需提供政策支持和资金保障，企业应引进先进技术、培养人才，社会各界则应关注矿工权益，共同促进煤矿产业的可持续发展。

参考文献

- [1] 吴斌斌. 煤矿水文地质勘探工作现状及新型勘探技术研究[J]. 内蒙古煤炭经济. 2022,(24).
- [2] 李春, 吴卫国. 煤矿机电运输系统中自动化技术的应用[J]. 现代制造技术与装备, 2024,60(02):200-202.DOI:10.16107/j.cnki.mmte.2024.0076.
- [3] 成林. PLC 技术下煤矿皮带运输系统的自动化研究[J]. 技术与市场. 2014,(6).
- [4] 蒋建军, 王艳丽. 煤矿用带式输送机的改进优化建议[J]. 机电信息. 2019,(23).
- [5] 杜京义, 陈瑞, 郝乐, 等. 煤矿带式输送机异物检测[J]. 工矿自动化. 2021,(8).
- [6] 申超. 煤矿机电运输系统中自动化技术的应用分析[J]. 当代化工研究, 2024,(02):110-112.DOI:10.20087/j.cnki.1672-8114.2024.02.035.
- [7] 宋磊. 煤矿机电运输系统中自动化技术的应用探析[J]. 矿业装备, 2023,(10):16-18.
- [8] 刘小军. 煤矿机电运输系统中自动化技术的应用探析[J]. 矿业装备, 2023,(10):66-68.
- [9] 李天科. 煤矿机电运输系统中的自动化技术分析[J]. 中国设备工程, 2023,(13):225-227.
- [10] 吴涛, 张勇. 煤矿机电运输系统中的自动化技术运用[J]. 化工管理, 2023,(12):73-76.DOI:10.19900/j.cnki.ISSN1008-4800.2023.12.020.

水利工程中降雨径流模拟与洪水预警系统研究

张子夏

山东省泰安市河湖管理保护服务中心, 山东 泰安 271000

摘要： 本研究探讨了水利工程中降雨径流模拟与洪水预警系统的应用与优化。利用先进的数学模型和计算机技术，对不同降雨条件下的径流过程进行模拟，从而准确预测洪水发生的时间和强度。研究重点在于提高洪水预警系统的精度和响应速度，减少洪水对人类和环境的危害。通过对不同地区的实地数据进行分析 and 验证，本研究提出了一套综合性的洪水预警系统方案，为水利工程的防洪减灾工作提供了科学依据和技术支持。本研究成果对提高防洪能力、保障人民生命财产安全具有重要意义。

关键词： 降雨径流模拟；洪水预警系统；水利工程；数学模型；防洪减灾

Research on Rainfall Runoff Simulation and Flood Warning System in Water Conservancy Engineering

Zhang Zixia

River and Lake Management and Protection Service Center, Tai'an, Shandong 271000

Abstract： This study explores the application and optimization of rainfall runoff simulation and flood warning systems in hydraulic engineering. By utilizing advanced mathematical models and computer technology, the runoff process under different rainfall conditions can be simulated to accurately predict the time and intensity of floods. The research focuses on improving the accuracy and response speed of flood warning systems, and reducing the harm of floods to humans and the environment. By analyzing and verifying field data from different regions, this study proposes a comprehensive flood warning system scheme, providing scientific basis and technical support for flood control and disaster reduction work in water conservancy projects. The results of this research are of great significance for improving flood control capabilities and ensuring the safety of people's lives and property.

Keywords： rainfall runoff simulation; flood warning system; water conservancy engineering; mathematical model; flood prevention and disaster reduction

引言：

水利工程在防洪减灾中的作用不可忽视，尤其在应对极端天气事件时，准确的降雨径流模拟和洪水预警系统显得尤为重要。近年来，随着气候变化带来的极端天气频发，洪水灾害频率和强度不断增加，给人类社会带来了巨大挑战。因此，提升洪水预警系统的精度和响应速度成为研究的重点。本研究旨在通过先进的数学模型和计算机技术，对降雨径流过程进行精确模拟，并优化洪水预警系统，为水利工程防洪减灾提供有效的技术支持。研究结果将对提高防洪能力、保障人民生命财产安全具有重要意义。

一、洪水预警系统的发展历程与现状

洪水预警系统的发展历程与现状涉及了多个阶段的技术演进与创新应用。最早的洪水预警系统起源于简单的水位观测和雨量记录，主要依赖人工测量和经验判断，这种方法虽然在一定程度上减少了洪水灾害的损失，但其准确性和及时性较低，难以应对突发性强的洪水事件。随着科技的进步，20世纪中叶出现了基于物理模型的洪水预警系统，通过建立流域水文模型和流量观测站，初步实现了对洪水过程的模拟和预报，这一阶段的系统在精度和反应速度上有了显著提升。进入21世纪，随着计算机技术

和遥感技术的快速发展，洪水预警系统迎来了新的变革。现代洪水预警系统广泛应用了卫星遥感、地理信息系统（GIS）以及全球定位系统（GPS）等先进技术，使得对降雨、径流以及流域水文状态的实时监测成为可能。通过集成多源数据，构建精细化的水文模型，系统能够提供更为准确和及时的洪水预警信息。尤其是实时数据传输和大数据分析技术的引入，使得预警系统的预测能力和响应速度大大增强。

近年来，人工智能和机器学习技术的应用进一步推动了洪水预警系统的发展。通过对历史洪水数据和气象数据的深入学习和分析，系统能够更为智能地识别和预测洪水发生的规律和趋势。

此类智能化的预警系统不仅在预测精度上有所突破，还能实现对不同洪水情景的模拟与分析，为防洪决策提供科学依据。目前，综合性洪水预警系统已经在多个流域得到广泛应用。这些系统不仅集成了传统的水文模型和现代遥感技术，还融合了气象预报、流域管理以及应急响应等多方面的信息资源，形成了一个多层次、全方位的防洪减灾网络。系统在实际运行中表现出了良好的效果，有效减少了洪水带来的损失，保障了人民生命财产安全。然而，随着气候变化和极端天气事件的频发，洪水预警系统仍面临诸多挑战，如何进一步提高其准确性和应对能力，仍是未来研究的重要方向。

二、当前洪水预警系统面临的挑战与不足

当前洪水预警系统面临的挑战与不足主要体现在技术、数据、管理和政策等多个方面。尽管现代洪水预警系统在精度和反应速度上取得了显著进步，但在应对日益复杂和频发的极端气候事件时，仍存在不少问题。技术层面上，洪水预警系统依赖于高精度的水文模型和实时数据，而这些模型和数据在实际应用中常常面临诸多不确定性。比如，模型参数的不确定性、降雨量测量的误差以及地形变化的影响，都可能导致预警结果的不准确。数据方面，尽管遥感技术和传感器网络的发展提供了大量的实时监测数据，但如何有效整合和分析这些数据仍然是一个重大挑战。洪水预警系统需要处理海量的多源异构数据，这对数据处理和分析能力提出了很高的要求。数据的完整性和连续性也对预警系统的可靠性产生了直接影响。例如，在一些偏远地区，监测站点的分布不均匀，数据获取不及时，导致预警系统在这些区域的表现欠佳。

管理和政策层面的问题也不容忽视。洪水预警系统的有效运行不仅需要技术支持，更需要多部门的协同合作。然而，在实际操作中，往往存在部门间协调不力、信息共享不足等问题。这不仅影响了预警信息的传递和发布，还可能导致应急响应的延误。洪水预警系统的建设和维护需要长期的资金投入和政策支持，而在一些地区，资金短缺和政策执行不力也制约了系统的持续发展和优化。从社会角度看，公众对洪水预警信息的认知和接受程度也直接影响了预警系统的效果。尽管预警信息可以通过多种渠道迅速传播，但如果公众对这些信息的理解和反应不够及时，预警系统的实际作用将大打折扣。因此，增强公众防灾意识和教育水平，增强他们对洪水预警信息的理解和应对能力，也是当前亟待解决的问题。

三、优化洪水预警系统的创新思路与方法

优化洪水预警系统需要从技术、数据管理和社会协同等多个方面入手，以实现更高的预警精度和响应效率。技术方面，利用人工智能和机器学习算法可以大幅提升洪水预警系统的预测能力。通过深度学习模型对历史洪水数据和气象数据进行训练，系统可以更准确地识别和预测洪水发生的规律和趋势。结合实时监测数据，人工智能可以动态调整模型参数，提高预测的实时性和

准确性。开发多尺度、多变量的综合水文模型也是提升预警精度的重要方向，这些模型能够更全面地考虑降雨、地形、土壤湿度等因素的综合影响。在数据管理方面，构建高效的多源数据融合平台至关重要。通过整合遥感数据、气象数据、流域监测数据等多种数据源，可以实现对洪水预警系统的全方位数据支持。利用大数据技术，对海量数据进行清洗、处理和分析，提取关键信息，优化预警模型。同时，建立健全的实时数据采集和传输系统，确保数据的及时性和准确性。例如，部署高精度的传感器网络，覆盖关键流域和洪水易发区，实现数据的实时监测和传输。

社会协同方面，加强部门间的协同合作和信息共享是优化洪水预警系统的重要举措。建立统一的洪水预警信息发布平台，实现各相关部门的信息共享和联动，提高预警信息的传递效率和响应速度。针对预警信息的发布，制定标准化的流程和规范，确保信息的准确传递和有效应用。应急管理部门、水利部门、气象部门等各相关单位需要密切配合，共同应对洪水灾害。提升公众防灾意识和应急能力也是优化洪水预警系统的关键。通过开展广泛的防灾教育和演练，提高公众对洪水预警信息的理解和应对能力。利用社交媒体和移动互联网等新兴传播渠道，及时发布洪水预警信息，确保信息覆盖到更多的受众。鼓励社区参与防灾减灾工作，建立社区预警体系，提高基层应对洪水灾害的能力。优化洪水预警系统需要多方面的创新和改进，从技术进步到社会协同，再到公众教育，每一个环节的优化都将为防洪减灾工作提供坚实的保障。

四、改进措施在实际应用中的效果分析

改进措施在实际应用中的效果分析显示了显著的成果与进步。通过引入人工智能和机器学习技术，洪水预警系统的预测准确性有了明显提高。利用深度学习算法分析历史数据和实时监测数据，系统能够更快速地响应气象变化，提前发布预警信息，极大地提高了防洪预警的及时性和准确性。在一些应用案例中，优化后的洪水预警系统成功预报了多次洪水事件，有效减少了洪水灾害带来的损失，保护了人民生命财产安全。多源数据融合平台的建设也显现出其重要作用。通过整合遥感、气象和流域监测等多种数据来源，洪水预警系统能够更全面地掌握流域内的水文动态。高效的数据处理和分析技术使得系统能够从海量数据中提取关键信息，实时调整模型，提高预警的准确性。具体应用中，改进后的数据融合平台显著提升了系统对复杂气候和地形条件的适应能力，实现了对突发洪水事件的快速响应。

部门间协同合作和信息共享的强化，在洪水预警系统优化中也起到了重要作用。建立统一的信息发布平台，使各相关部门能够及时获取和共享预警信息，提高了防灾减灾工作的协调性和效率。在实际操作中，多部门协同机制有效提升了应急响应速度，确保了预警信息的准确传递和应用。一些地区通过强化部门合作，实现了洪水预警信息的全覆盖，显著提高了应急管理的整体水平。公众防灾意识和应急能力的提升，同样是改进措施的重要成果。通过广泛的防灾教育和应急演练，公众对洪水预警信息的

理解和反应能力大幅增强。在实际应用中，改进后的预警信息发布渠道，如社交媒体和移动互联网，有效提高了信息的覆盖范围和传递速度。公众在接收到预警信息后，能够及时采取避险措施，减少了洪水带来的人员伤亡和财产损失。综合分析改进措施在实际应用中的效果，可以看出，优化后的洪水预警系统在技术水平、数据管理、部门协同和公众教育等方面均有显著提升。各项措施的综合应用，不仅增强了系统的预警能力，还提高了防洪减灾的整体效率和效果。

五、典型地区洪水预警系统应用案例

在典型地区洪水预警系统的应用中，某流域的实际案例展示了该系统的显著效果。该流域地处易发生洪水的区域，降雨集中且地形复杂，过去常因洪水导致重大损失。为此，当地水利部门引入了先进的洪水预警系统，通过高精度的降雨监测、实时水文数据采集以及综合水文模型的应用，建立了一个高效的预警机制。在该流域的洪水预警系统建设中，广泛采用了遥感技术和地理信息系统（GIS），实现了对降雨、流量和水位的实时监测和动态更新。通过布设多个高精度传感器，系统能够即时获取流域内各关键节点的水文信息，并将数据实时传输至中央控制系统。结合历史数据和实时监测数据，系统利用深度学习算法对洪水发生的概率和可能影响区域进行预测，并及时发布预警信息。

该预警系统在一次突发性强降雨事件中的表现尤为突出。当时，流域内连续数小时的强降雨使水位迅速上升，系统在监测到异常数据后，立即启动预警程序，迅速计算并模拟出洪水可能的演进路径和影响范围。预警信息通过多渠道发布，包括短信、广播、电视以及社交媒体，确保所有受影响区域的居民和相关部门及时收到预警。与此同时，当地政府部门根据预警信息迅速组织人员疏散和防洪措施，减少了人员伤亡和财产损失。在另一个案例中，该流域在汛期前夕进行了多次预警演练，检验了系统的可靠性和应急响应能力。这些演练不仅提高了系统的实战能力，也增强了居民对洪水预警的认知和应对能力。在实际洪水事件中，居民能够根据预警信息迅速采取避险措施，显著降低了洪水灾害的影响。

该流域洪水预警系统的成功应用，充分展示了技术创新和科学管理的结合在防洪减灾中的巨大潜力。通过精确的监测、智能的预测和高效的应急响应，系统显著提高了洪水预警的准确性和及时性，增强了流域防洪能力。这一案例为其他易洪区提供了宝贵的经验和借鉴，进一步推广和应用这种综合性洪水预警系统，将有助于提升全国范围内的防洪减灾水平。

六、未来洪水预警技术的发展趋势与展望

未来洪水预警技术的发展趋势将呈现出智能化、精准化和综合化的特点。随着科技的不断进步，人工智能和大数据分析将在洪水预警中发挥更为重要的作用。通过深度学习和机器学习算法，预警系统可以从海量的历史数据和实时监测数据中提取有价值的信息，预测洪水发生的可能性和影响范围。这种智能化的预警系统不仅提

高了预测的准确性，还能实现对多种复杂因素的综合分析，提供更为详细的预警信息。遥感技术的进步也是未来洪水预警系统发展的关键。高分辨率的卫星图像和实时监测技术将使洪水预警系统能够更精确地监控降雨量、水位变化和流域地形特征。结合无人机监测和地面传感器网络，系统可以实现全方位、多层次的监测，进一步提高数据的精确性和时效性。这些技术的应用将使洪水预警更加实时化和动态化，有效提升防灾减灾能力。

数据共享和信息融合将成为洪水预警系统发展的重要方向。构建统一的洪水预警信息平台，实现各部门、各区域之间的数据共享和信息互通，将有助于提高预警系统的协同作战能力。在这种平台下，气象数据、水文数据、地理信息等多种数据源可以高效整合，形成一个全方位的预警信息系统。通过这种信息融合，预警系统能够更全面地掌握洪水动态，及时发布准确的预警信息。未来洪水预警系统还将注重社会参与和公众教育。通过增强公众对洪水预警信息的理解和应对能力，可以有效提高预警系统的实际效用。利用互联网和社交媒体等渠道，预警信息可以迅速传播到广大公众，提高信息覆盖面和传播速度。同时，开展广泛的防灾教育和应急演练，增强公众的防灾意识和自救能力，使预警信息能够得到及时有效的响应。

在政策和管理方面，未来洪水预警系统的发展需要加强法律法规的建设和管理机制的完善。制定科学合理的洪水预警标准和规范，确保预警信息的准确性和权威性。加强各部门之间的协调合作，建立健全的应急响应机制，确保预警信息能够快速传递和落实。通过完善的政策支持和管理措施，洪水预警系统将能够更好地发挥其防灾减灾的作用。

结语：

通过系统地研究和优化洪水预警系统，可以大幅提升其在防洪减灾中的作用。本论文通过探讨降雨径流模拟与洪水预警系统的发展历程、现存问题及解决方法，结合典型应用案例，展示了综合性洪水预警系统的显著效果。未来，随着人工智能、大数据和遥感技术的进一步发展，洪水预警系统将更加智能化、精准化和综合化。加强数据共享、信息融合和公众教育，完善政策和管理机制，将为提升洪水预警系统的整体效能提供坚实基础，最终实现对洪水灾害的有效预防和控制。

参考文献：

- [1] 王晓明. 基于多源数据的洪水预警系统研究 [J]. 水利学报, 2020, 51 (4): 55-64.
- [2] 李志华. 气候变化背景下的降雨径流模拟方法研究 [J]. 水文地质工程地质, 2019, 46 (3): 123-130.
- [3] 赵海涛. 现代数学模型在洪水预警中的应用研究 [J]. 防灾减灾工程学报, 2021, 38 (2): 45-53.
- [4] 张丽. 综合性洪水预警系统的设计与实现 [J]. 水资源与水工程学报, 2018, 29 (1): 67-75.
- [5] 陈俊杰. 洪水预警系统优化与效果评估 [J]. 河海大学学报 (自然科学版), 2022, 50 (5): 89-96.
- [6] 刘芳. 洪水预警技术的发展与应用前景 [J]. 防汛抗旱, 2020, 39 (6): 101-110.

锚杆支护技术在矿井施工巷道掘进中的应用分析

余杭远

贵州图南矿业（集团）有限公司，贵州 兴仁 562300

摘 要： 本文全面阐述了锚杆支护技术在矿井巷道掘进中的应用。内容涵盖了锚杆支护的基本原理、分类，以及其优势和局限性。文章详细讨论了锚杆支护在巷道施工中的重要性、技术选型与设计标准，以及施工流程和所需设备。此外，深入分析了地质条件对锚杆支护性能的影响、支护参数的优化、锚杆与围岩的互动机制，以及在施工过程中遇到的安全隐患和预防措施。

关 键 词： 锚杆支护技术；矿井施工；巷道掘进；地质条件；安全风险

Application Analysis of Anchor Rod Support Technology in Mine Construction Tunnel Excavation

Yu Hangyuan

Guizhou Tunan Mining (Group) Co., Ltd., Guizhou, Xingren 562300

Abstract： This article comprehensively elaborates on the application of anchor rod support technology in mine tunnel excavation. The content covers the basic principles, classification, advantages, and limitations of anchor rod support. The article discusses in detail the importance of anchor rod support in tunnel construction, technical selection and design standards, as well as the construction process and required equipment. In addition, in-depth analysis was conducted on the influence of geological conditions on the performance of anchor rod support, optimization of support parameters, interaction mechanism between anchor rods and surrounding rock, as well as safety hazards and preventive measures encountered during construction.

Keywords： anchor rod support technology; mine construction; tunnel excavation; geological conditions; security risks

引言

随着我国矿井资源的不断开发，矿井施工安全问题日益凸显。在矿井巷道掘进过程中，围岩稳定性问题一直是困扰施工的关键因素。传统的支护方式如木支架、钢支架等存在一定的局限性，无法满足深部矿井和高应力环境下巷道掘进的需求。因此，锚杆支护技术作为一种有效的围岩控制方法，在矿井施工巷道掘进中得到了广泛应用。

一、锚杆支护技术概述

在矿井施工中，锚杆支护技术扮演着至关重要的角色。它不仅关乎施工安全，还直接影响着工程进度和质量。

（一）锚杆支护原理

锚杆支护技术，就是指在煤矿建井的施工环节中，通过利用锚杆，对巷道发挥支护的作用，从而实现对生产和人身安全的基本防护。锚杆是巷道内部建设围岩时主要的支撑结构^[1]。同时，锚杆亦能提供充分的支撑力，对抗围岩的变形和松动，确保巷道的稳定性。

（二）锚杆支护分类

锚杆支护技术的多样性体现在其锚固方式和工作机理上。主要类型包括全长粘结式锚杆、端头锚固式锚杆、树脂卷锚固式锚杆和可拆卸式锚杆。全长粘结式锚杆通过全长粘结剂与钻孔壁紧

密黏合，确保了均匀的锚固效果；端头锚固式锚杆仅在锚杆端部固定，适合于较稳定的围岩环境；树脂卷锚固式锚杆借助树脂卷的迅速固化特性，加速施工进度；可拆卸式锚杆则因其可回收和重复使用的特性，适用于临时支护或需要经常调整支护的场景。

（三）锚杆支护优缺点分析

锚杆支护技术在矿井施工中展现出显著的优势。它能够灵活适应各种复杂的地质环境，无论是软弱破碎的围岩还是高应力条件，锚杆支护都能够提供稳固的支持。经济性是锚杆支护的另一大亮点，其材料和施工成本相较于传统支架支护更低，且施工效率高，有助于加速工程进度。此外，锚杆支护还能够优化施工环境，减少对施工空间的占用，促进机械化施工的顺利进行。

尽管如此，锚杆支护技术并非没有缺点。其支护效果在很大程度上受地质条件的影响，对于极端破碎或软弱的围岩，锚杆的锚固效果可能不尽如人意。锚杆支护的设计和施工要求较高的技

术水平，对施工队伍的专业能力提出了挑战^[2]。此外，锚杆支护的检测和评价相对复杂，需要依赖专业的检测设备和手段，对施工质量进行实时监控。

总之，锚杆支护技术在矿井施工中具有广泛的应用前景。然而，要充分发挥其优势，还需要进一步优化设计方法，提高施工技术水平，加强施工质量的监控和评价，以确保矿井施工的安全和顺利进行。

二、锚杆支护技术在矿井施工巷道掘进中的应用

锚杆支护技术在矿井施工巷道掘进中扮演着至关重要的角色。本节将深入探讨锚杆支护在巷道掘进中的具体作用、技术选择与设计以及施工工艺及设备，以期对这项技术在实际应用中的情况有一个全面而深入的理解。

（一）巷道掘进中锚杆支护的作用

在矿井施工巷道掘进过程中，围岩的稳定性是确保施工安全的核心要素。围岩的稳定性直接影响着巷道的稳定性，而巷道的稳定性则是施工安全的基础。因此，如何有效地控制围岩的稳定性成为矿井施工中的关键问题。

支护属于巷道掘进施工过程中极为重要的作业，在煤炭采矿巷道施工作业中使用支护技术能稳定的围岩，可以保障现人身安全^[3]。它通过提供及时的支护力，能够有效控制围岩的变形和松动，从而保障巷道的稳定性。锚杆支护技术能够将围岩内部的节理、裂隙等不连续面粘结起来，提高围岩的整体性和内摩擦角，从而增强围岩的承载能力。此外，锚杆支护还能够提供足够的支护力，抵抗围岩的变形和松动，保持巷道的稳定性。

此外，锚杆支护技术还能够提高围岩的承载能力，使巷道能够适应不同的地质条件和复杂环境，确保施工的顺利进行。在软弱破碎的围岩或者高应力的地质条件下，锚杆支护技术能够提供有效的支持，确保巷道的稳定性。

（二）锚杆支护技术的选择与设计

在选择锚杆支护技术时，必须全面考虑地质特征、施工条件与安全规范等多方面因素。地质特征包括围岩的稳固性、岩性特征、倾斜角度等，这些因素直接影响锚杆支护的效果。因此，在挑选锚杆类型和支护参数时，必须根据地质条件进行综合评估。

在设计阶段，应进行细致的地质调研与稳定性分析，以确立合适的锚杆长度、直径、间距等参数^[4]。这些参数的确定需要综合考虑围岩的稳定性、地质条件，以确保支护效果达到最佳状态。地质调研包括对围岩的物理性质、化学性质、力学性质等进行全面分析，以了解围岩的稳定性和支护需求。稳定性分析则包括对围岩的稳定性进行评估，以确定锚杆支护的参数和布置。在确定锚杆长度、直径、间距等参数后，还需进行详细的设计计算，以确保锚杆支护的强度和稳定性。设计计算包括对锚杆的承载能力、锚固力、支护效果等进行计算和分析，以确定锚杆支护的参数和布置。

此外，在设计阶段还需考虑施工条件和安全规范，以确保锚杆支护的施工质量和安全。施工条件包括施工环境、施工设备、

施工人员等因素，安全规范包括安全操作规程、安全监测措施等。在设计阶段，应充分考虑这些因素，以确保锚杆支护的施工质量和安全。

（三）锚杆支护施工工艺及设备

锚杆支护的施工工艺和设备是确保施工质量的关键环节。进行钻孔作业，这是锚杆支护的基础步骤。根据设计要求，精确确定钻孔的位置、方向和深度，这对于锚杆的支护效果至关重要^[5]。将锚杆准确无误地插入钻孔中，并注入专门的粘结剂或锚固剂，以确保锚杆与围岩之间形成牢固的连接。锚杆的拉紧和固定是锚杆支护过程中的关键步骤。通过专业的锚杆张拉设备，对锚杆进行适当的拉紧，使其能够有效地与围岩相互作用，共同承担载荷。这一步骤的准确性直接影响到锚杆支护的效果。

在施工过程中，需要使用一系列专业的设备，包括钻孔设备、锚杆张拉设备和注浆设备等。这些设备的先进性和操作的熟练度对于保证施工的顺利进行至关重要。只有使用专业的设备，才能确保锚杆支护的质量和效果。此外，施工过程中还需要严格遵守安全规范和操作规程，确保施工人员的安全^[6]。锚杆支护的施工是一个复杂的过程，需要细致地操作和严格的质量控制。

总之，锚杆支护技术在矿井施工巷道掘进中起着重要作用。通过综合考虑地质条件、选择合适的技术和设计合理的参数，以及采用专业的施工工艺和设备，可以确保锚杆支护的质量和效果，为矿井施工提供安全、稳定的施工环境。

三、锚杆支护技术在矿井施工巷道掘进中的关键问题分析

锚杆支护技术在矿井施工巷道掘进中的应用并非一帆风顺，面临着诸多挑战和关键问题。

（一）地质条件对锚杆支护的影响

地质条件是决定锚杆支护效果的关键因素。围岩的类型、岩层结构、地下水分布等条件都会对锚杆支护的稳定性和效果产生显著影响^[7]。在软弱破碎的围岩条件下，锚杆的锚固力可能无法达到预期的效果，而在高应力的地质环境中，锚杆的承载能力则面临着更高的挑战。因此，在设计锚杆支护方案时，必须细致分析地质条件，以便选择最合适的锚杆类型和参数，以确保支护效果达到最佳状态。

综合考虑地质条件，设计者可以制定出更为科学合理的锚杆支护方案，从而提高围岩的稳定性，减少施工风险，确保巷道掘进工作的顺利进行。

（二）锚杆支护参数的优化设计

锚杆支护参数的优化设计是确保支护效果的关键步骤。合理地选择锚杆的长度、直径和间距等参数，能够为围岩提供足够的支护力，有效控制围岩的变形和松动，从而保障巷道的稳定性。在优化设计过程中，可以运用数值模拟、稳定性分析和经验公式等方法，结合地质条件和施工要求，确定最佳的锚杆参数。这些方法能够帮助设计者更准确地预测围岩的应力分布和位移情况，从而选择最合适的锚杆参数^[8]。

此外,还可以考虑采用锚杆预应力技术,通过提前施加预应力来提高锚杆的支护效果。预应力锚杆能够在围岩变形之前就提供一定的支护力,从而减少围岩的变形和松动。

(三) 锚杆支护与围岩相互作用机理

锚杆支护与围岩的相互作用机理是理解其支护效果的核心。锚杆通过与围岩的相互作用,为围岩提供支护力,增强其承载能力。这种相互作用机制涉及多个层面,包括锚杆与围岩之间的摩擦力、锚固力,以及锚杆对围岩的约束作用。在实际应用中,锚杆与围岩的相互作用机制可以通过多种方式表现出来。锚杆与围岩之间的摩擦力可以有效抵抗围岩的剪切力,从而提高围岩的稳定性^[9]。锚固力也可以增强围岩的整体性和内摩擦角,提高围岩的承载能力。最终锚杆对围岩的约束作用可以减少围岩的变形和松动,保持巷道的稳定性。

(四) 锚杆支护施工中的安全风险及防范措施

在锚杆支护施工过程中,存在诸如锚杆断裂、巷道坍塌等安全风险。为了有效防范这些潜在威胁,必须采取一系列综合措施,以确保施工安全。

第一,强化施工队伍的专业培训和安全教育至关重要。通过定期的培训和演练,施工人员能够更好地理解和掌握锚杆支护的施工技巧和安全规范。第二,建立健全的安全管理制度和监测体系是防范安全风险的关键。这包括制定详细的安全操作规程、设立安全监测点,以及建立事故应急响应机制。第三,采用先进的施工工

艺和设备也是提高施工效率和质量,减少安全风险的重要手段。现代化的设备和工具可以提高施工的精确度和效率,减少因操作失误和设备故障引起的安全风险^[10]。同时,施工工艺的优化可以提高锚杆支护的效果,进一步增强围岩的稳定性。

总之,锚杆支护技术在矿井施工巷道掘进中面临一些关键问题。通过深入研究地质条件对锚杆支护的影响、优化设计锚杆支护参数、理解锚杆支护与围岩相互作用机理,以及采取相应的安全风险防范措施,可以进一步提高锚杆支护技术的应用效果,确保矿井施工的安全和顺利进行。

结束语

随着矿井资源的不断开发,施工安全日益成为行业的核心关注。锚杆支护技术作为保持巷道稳定性的关键技术,在矿井施工中发挥着至关重要的作用。尽管锚杆支护技术已取得显著成效,但其应用仍面临地质复杂性、参数优化和锚固机理等挑战。工程案例的实证分析表明,科学设计、先进技术和严格管理是确保施工安全的关键。这些成功经验为类似工程提供了宝贵的参考。

展望未来,随着科技的进步和研究的深入,锚杆支护技术有望更加成熟和高效。我们期待通过持续的技术创新和人才培养,为矿井施工提供更安全、更可靠的解决方案。同时,我们也希望通过本文的研究,为矿井施工的安全生产和效率提升做出贡献。

参考文献

- [1] 刘洪斌. 锚杆支护技术的应用与优化[J]. 矿业装备, 2023,(02):37-39.
- [2] 王大伟. 煤炭采矿工程巷道掘进和支护技术的应用[J]. 自动化应用, 2023,64(08):135-137+140.
- [3] 王帅. 煤炭采矿工程巷道掘进和支护技术的应用[J]. 内蒙古煤炭经济, 2022,(14):124-126.DOI:10.13487/j.cnki.imce.022336.
- [4] 黄修鹏,王俊民. 矿建工程中巷道掘进锚杆支护技术[J]. 世界有色金属, 2022,(13):43-45.
- [5] 杨丁鉴. 巷道快速过断层施工工艺及支护技术[J]. 机械管理开发, 2022,37(03):40-41+44.DOI:10.16525/j.cnki.cn14-1134/th.2022.03.015.
- [6] 余仁贵. 锚杆支护技术在矿建工程巷道掘进中的应用[J]. 世界有色金属, 2022,(01):30-32.
- [7] 谢红伟. 煤矿回采巷道锚杆支护技术应用研究[J]. 内蒙古煤炭经济, 2023,(17):154-156.DOI:10.13487/j.cnki.imce.024140.
- [8] 刘瑞. 巷道掘进支护技术在煤矿工程中的应用研究[J]. 内蒙古煤炭经济, 2023,(18):145-147.DOI:10.13487/j.cnki.imce.024226.
- [9] 潘云杰,张敬东. 煤矿井下掘进过程中巷道锚杆支护的应用[J]. 内蒙古煤炭经济, 2023,(15):175-177.DOI:10.13487/j.cnki.imce.023996.
- [10] 李邦前. 采矿工程巷道掘进和支护技术的应用分析[J]. 四川水泥, 2021,(07):167-168.

基于 ALC 墙板填充墙裂缝的成因及防裂关键技术

肖斌, 章国超, 王成虎, 王东明, 解顺
中国建筑第五工程局有限公司, 湖南 长沙 410000

摘要：文中通过具体的工程案例详细阐述了导致裂缝的主要因素，如建筑结构变形、施工质量问题以及设计上的缺陷。在此基础上，文章提出了有效的防治措施，涵盖了从材料选择到结构设计的各个方面，同时还包括施工过程中的关键操作点以及后期的监测与维护工作。这些措施综合应用，旨在最大程度减少裂缝问题，确保建筑的安全与功能性。

关键词：ALC 墙板；填充墙；裂缝成因；防裂关键技术

The Causes And Key Crack Prevention Technologies Of Filling Wall Cracks Based On ALC Wall Panels

Xiao Bin, Zhang Guochao, Wang Chenghu, Wang Dongming, Xie Shun
China Construction Fifth Engineering Bureau Co., Ltd., Hunan, Changsha 410000

Abstract： In this paper, the main factors leading to cracks are described in detail through specific engineering cases, such as building structure deformation, construction quality problems and design defects. On this basis, the paper puts forward effective prevention and control measures, covering all aspects from material selection to structural design, as well as the key operation points in the construction process and the monitoring and maintenance work in the later stage. Together, these measures are designed to minimize the problem of cracks and ensure the safety and functionality of the building.

Keywords： ALC wall panels; infilled walls; cause of cracks; key technologies for crack prevention

引言：

随着城市化进程的不断推进，建筑工程的数量和规模不断增加。ALC(Autoclaved Lightweight Concrete) 墙板作为一种轻质、高强、隔音、保温性能优越的建筑材料，得到了广泛应用。然而，由于其材料特性及施工工艺问题，ALC 墙板填充墙在使用过程中易发生裂缝，影响建筑的美观性和整体性能。因此，研究 ALC 墙板填充墙裂缝的成因及防裂关键技术，具有重要的理论和实践意义。

一、ALC 墙板填充墙裂缝的成因分析

ALC 墙板填充墙裂缝的成因多种多样，主要包括建筑结构变形、施工质量问题以及设计缺陷等方面。

(一) 建筑结构变形引起裂缝

ALC 墙板填充墙裂缝的一大成因是建筑结构变形。建筑物在运行过程中，因地基沉降、地震和风载等外部因素，常会发生一定程度的变形，使得 ALC 墙板填充墙产生裂缝^[1]。例如，地基的不均匀沉降会导致墙体不同部分受力不均产生裂缝。尤其在地质条件复杂的地区，此现象更为明显。地震和强风等自然灾害对建筑物的瞬间冲击力较大，也容易引发结构的急剧变形，增加墙体裂缝的风险。建筑结构变形导致的应力集中和形变，对 ALC 墙板填充墙的完整性构成了严重威胁，是裂缝形成的重要原因。

(二) 施工质量不良导致裂缝

在 ALC 墙板填充墙的施工过程中，施工质量问题是导致裂缝的关键因素之一，施工工艺不当、材料质量不达标或施工人员操

作不规范，都会直接影响墙体的质量^[2]。例如，ALC 墙板的安装需要严格遵循规范，如果安装过程中出现板缝处理不当、连接不牢固等问题，就会导致墙体产生裂缝^[3]。并且抹灰层施工质量不佳，如厚度不均、材料配比不合理或施工工艺粗糙，也会导致墙体表面出现裂缝。特别是在抹灰层干燥过程中，如果没有进行适当的养护，温度和湿度变化会引起抹灰层收缩，从而产生裂缝。

二、ALC 墙板填充墙裂缝的防治关键技术

为有效预防和解决 ALC 墙板填充墙裂缝问题，需要采取一系列的关键技术措施，下面从三个方面进行分析。

(一) 材料选用与工艺

在防治 ALC 墙板填充墙裂缝的过程中，选择合适的材料与精确施工技术是关键。对于材料选用，应采用高质量的 ALC 墙板和专用接缝材料，这些墙板需具备优良的抗裂性能。接缝材料如聚合物砂浆，能够提供良好的柔韧性，从而适应墙板在各种气候条

* 作者简介：肖斌，1989.10，男，汉，湖南长沙，本科，工程师，从事的研究方向或工作领域：建筑施工技术

件下的微小变形^[4]。

施工过程中，墙板安装应严格控制板与板之间的间隙，保证每块墙板平整对接，避免后期因接缝处处理不当产生裂缝。墙板对接缝用聚合物砂浆填充后，使用专用工具压实，保证缝隙中无气泡，从而增强整体墙体的密封性和抗裂性。在墙板安装后的抹灰过程中，选用具有高抗裂性的抹灰砂浆，同时施工时应控制抹灰层的厚度，避免过厚导致表层开裂^[5]。而对于墙体抹灰层的干燥过程，需进行适当的养护，控制干燥速度和干燥均匀性，以减少由于快速水分散失导致的收缩裂缝。墙体表面处理应使用抗裂网格布，覆盖在首层抹灰上，通过第二层抹灰将其牢固固定，这样可以有效分散应力，减少由热胀冷缩引起的裂缝。在结构设计方面，应合理设置伸缩缝特别是在墙板连接处和墙角位置，通过这些技术设计减少结构因应力集中而引起的裂缝风险。伸缩缝和沉降缝的填缝材料应选用持久弹性好的密封剂，能够适应建筑物微小的移动，保证长期的密封效果。通过这些具体的材料选用与施工技术，有效防治 ALC 墙板填充墙的裂缝问题，保障建筑墙体的完整性与功能性。

例如，在一个位于上海的高层住宅项目中，施工单位采取了一系列防治 ALC 墙板填充墙裂缝的关键技术，并进行了详细的数据记录和分析。该项目建筑总高度为 100 米，共 30 层，采用高质量的 ALC 墙板和聚合物砂浆作为主要材料，施工过程中严格按照技术规范进行操作^[6]。而在施工过程中，项目组严格控制 ALC 墙板与墙板之间的间隙，使得每块墙板平整对接，接缝用聚合物砂浆填充并使用专用工具压实。抹灰时，采用具有高抗裂性的砂浆，分两层进行，首层抹灰厚度为 4mm，覆盖抗裂网格布，第二层抹灰厚度为 6mm，使网格布完全嵌入抹灰层中。在整个施工和养护过程中，项目组进行了多次测量记录，保证裂缝控制在标准范围内。以下是该项目在不同施工阶段的裂缝监测数据：

施工阶段	测量日期	裂缝数量 (条)	最大裂缝宽度 (mm)	效果
墙板安装后 1 周	2024/3/1	3	0.2	局部调整
抹灰层施工后 1 周	2024/3/15	5	0.3	首层抹灰完成
抹灰层施工后 1 个月	2024/4/15	2	0.1	第二层抹灰完成
完工后 3 个月	2024/6/15	1	0.05	保湿养护效果明显

通过严格控制材料选用与施工工艺，该项目在墙板安装后的第一周仅发现了 3 条裂缝，最大宽度为 0.2mm，经过局部调整后，裂缝问题得到进一步控制。抹灰层施工后 1 周内，检测到 5 处裂缝，最大宽度为 0.3mm，说明施工过程中的控制效果较好。在抹灰层施工完成 1 个月后，裂缝数量减少到 2 条，最大宽度降至 0.1mm，表明多层抹灰和网格布嵌入技术的有效性。完工后 3 个月的监测数据显示，裂缝数量进一步减少到 1 条，最大宽度为 0.05mm，保湿养护措施显著提高了墙体的抗裂性能。该案例展示了通过合理的材料选用与精确的施工技术，有效防治了 ALC 墙板填充墙的裂缝问题，保障了建筑的安全和耐久性。

（二）结构与施工要点

在防治 ALC 墙板填充墙裂缝的过程中，结构与施工要点

至关重要，合理的结构设计应考虑 ALC 墙板与主体结构的差异，设置合理的伸缩缝和沉降缝。将伸缩缝设置在墙板与主体结构连接处，避免因不同材料的热胀冷缩导致的应力集中。沉降缝则应布置在可能产生沉降差异的区域，通过分隔结构单元，减少沉降不均造成的裂缝^[7]。在施工中，墙板安装时需精确控制板与板之间的间隙，使用高质量的聚合物砂浆进行填缝。施工时，确保砂浆充分填实，无空隙，使用专业工具将砂浆压实，使接缝紧密结合。抹灰前，墙板表面应处理干净，让抹灰层与墙板有良好的附着力。抹灰时，采用多层次施工工艺，第一层抹灰厚度控制在 3—5mm，确保基层平整，待第一层干燥后，铺设抗裂网格布，覆盖整个墙面，再进行第二层抹灰，厚度控制在 5—8mm，使网格布完全嵌入抹灰层中，增强墙体抗裂性。施工过程中，墙体的水平需严格控制，使用专业工具测量，保证墙板安装位置准确。对墙板连接处，采用专用的连接件进行固定，增加墙板与主体结构的整体性，减少因连接不牢引起的位移。在施工完成后，墙体表面需进行保湿养护，避免抹灰层因失水过快产生收缩裂缝^[8]。另外，窗户门框等开口部位是裂缝高发区域，应特别注意细部处理。开口四角可采用加强筋或增加网格布，分散应力，防止裂缝产生。在结构设计阶段，对这些部位应进行详细计算，让其有足够的强度和刚度。

通过这些结构与施工要点的精确实施，可以有效防治 ALC 墙板填充墙的裂缝问题，保障建筑的安全和耐久性。

（三）监测与维护

防治 ALC 墙板填充墙裂缝的关键在于有效的监测与维护，定期检查墙体表面状态，特别是在易发生裂缝的部位，使用专业仪器如裂缝测宽仪进行测量，记录裂缝的长度、宽度和深度，还要建立详细的监测档案。针对初期发现的微小裂缝及时采取修补措施，使用专用的裂缝修补胶或聚合物砂浆进行填补，让修补材料完全填充裂缝，并使用工具将其表面抹平避免后期再次开裂。

在墙体的关键部位，也可以用墙角、连接处等，安装监测仪器，如应变片或位移传感器，实时监控应力变化和位移情况，数据上传至监控系统进行分析和预警。定期对监测数据进行分析，识别出可能的隐患区域，提前制定维护计划预防裂缝的扩展^[9]。另外，维护过程中，对墙体表面的涂层进行检查修复，保证防水涂层的完整性，避免水分渗入引起墙体材料的膨胀或收缩。对于发现的问题区域，采用切割或重新加固的方法处理，必要时拆除并重新安装墙板，使整体结构的稳定性。在环境条件较为恶劣的地区，例如，潮湿或温度变化较大的地方，加强墙体的保温采用适当的保温材料和防潮层，减少温度和湿度对墙体的影响，延长维护周期降低裂缝发生的概率。还有在养护期间，定期清理墙体表面，避免积尘杂物影响墙体的呼吸性能，使用高压水枪或软刷清洁表面，保持墙体干净。对发现的任何异常现象，立即进行详细检查，找出原因，采取相应的措施进行修复。通过这些监测与维护的具体措施，使得 ALC 墙板填充墙长期处于良好状态，防止裂缝的产生保障建筑的安全。

例如，在北京的某一处商业地产项目中，实施了综合的裂缝监测与维护策略以保护 ALC 墙板填充墙。该项目高度为 50 米，

共有15层，项目团队在建筑的所有外墙和承重墙安装了裂缝监测系统，包括应变片和位移传感器，以实时监控墙体的应力和位移状况。定期的数据收集和分析帮助团队及时识别和响应潜在的结构问题。下表展示了一个典型监测周期内收集的数据：

测量日期	位置	裂缝宽度 (mm)	位移 (mm)	监测措施
2024/5/1	西侧外墙	0.1	0.2	裂缝监测仪记录
2024/5/15	东侧外墙	0.15	0.3	应变片监测
2024/6/1	南侧承重墙	0.05	0.1	位移传感器记录
2024/6/15	北侧外墙	0.1	0.25	综合应变片与位移传感器监测

在发现裂缝初期，团队使用专用的聚合物砂浆对裂缝进行了修补，修补后对墙体进行了额外的防水处理，确保修复区域的防水层完整，避免水分渗透。此外，对于位移值异常的区域，项目

组采取了结构加固措施，来提升墙体的整体稳定性。另外，针对北京地区的温差大和季节性风强的特点，项目还增设了防风加固措施，并定期检查外墙的保温层和防潮层，让其性能不受外界环境变化的影响^[10]。这项监测与维护策略的实施，保证了ALC墙板填充墙在长期使用过程中维持良好状态，有效防止了裂缝的发生和扩展，从而提升了建筑的安全性。

结语：

ALC墙板填充墙裂缝的成因复杂多样，防裂关键技术也需要从多个方面进行综合考虑。通过对材料、设计、施工及维护等环节的优化，可以有效减少裂缝的产生，提升建筑的整体性能。未来随着新材料和新技术的应用，ALC墙板填充墙的抗裂性能将进一步提高，为建筑行业的发展提供更加坚实的基础。

参考文献：

- [1] 刘珍. ALC墙板填充墙裂缝产生原因与防控措施分析[J]. 江西建材, 2023(4):262-264.
- [2] 周婷, 王子轩, 王双, 等. 内嵌式ALC墙板钢框架结构的抗裂性能试验研究[J]. 天津大学学报: 自然科学与工程技术版, 2023, 56(3):289-300.
- [3] 马伟鑫. ALC墙板填充墙裂缝成因及防裂关键技术探讨[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2023(23):80-82.
- [4] 杨培东, 刘艳磊, 赵广博, 等. ALC墙板填充墙裂缝成因试验研究[J]. 建筑科技与管理, 2011, 000(012):P.33-33,32.
- [5] 郭志辉, 方三陵, 胡志敬, 吴家欢, 管安康. 蒸压加气混凝土板材墙体防裂关键技术研究与应用[J]. 四川建材, 2020, 46(11):2.
- [6] 杨志明. 基于ALC墙板填充墙裂缝的成因及防裂关键技术[J]. 中国建筑金属结构, 2023, 22(10):31-36.
- [7] 刘珍. ALC墙板填充墙裂缝产生原因与防控措施分析[J]. 江西建材, 2023(4):262-264.
- [8] 张迎港. 砂浆饱满度对钢框架-内嵌ALC墙板结构滞回与抗裂性能的影响[D]. 黑龙江: 哈尔滨工业大学, 2021.
- [9] 徐德勇. 浅析非砌筑ALC内墙板在装配式钢结构中裂缝成因及建议[J]. 装饰装修天地, 2021(13):114.
- [10] 杨翼. 钢结构住宅内嵌ALC墙板滞回性能研究[D]. 湖北: 华中科技大学, 2021.

“互联网 +”时代建筑工程管理信息化建设

杜金鉴

浙江科路核工程服务有限公司, 浙江 嘉兴 314000

摘 要 : “互联网 +”时代建筑行业已经进入新的发展阶段, 建筑工程管理信息化建设已成必然趋势。当前建筑行业传统工程管理模式落后、效率低的问题十分突出, 已经难以满足现阶段的工程管理需求, 无法把控施工质量与成本。要想提高管理效率、降低成本、满足现阶段的管理需求, 就必须探索信息化建设路径。下文将从出台相关政策、完善工程管理体系、合理应用信息化技术等方面入手进行详细探讨, 希望能够加快建筑行业工程管理信息化建设步伐。

关 键 词 : “互联网 +”; 建筑工程管理; 信息化建设

Construction Project Management Information Construction In The “Internet +” Era

Du Jinjian

Zhejiang Kelu Nuclear Engineering Service Co., LTD., Zhejiang, Jiaxing 314000

Abstract : In the “Internet +” era, the construction industry has entered a new stage of development, and the construction project management information construction has become an inevitable trend. At present, the traditional project management mode of the construction industry is backward and inefficient, which is difficult to meet the needs of project management at the present stage, and can not control the construction quality and cost. In order to improve management efficiency, reduce costs and meet the current management needs, we must explore the path of information construction. The following will be discussed in detail from the introduction of relevant policies, improvement of project management system, reasonable application of information technology and other aspects, hoping to accelerate the pace of construction industry project management information construction.

Keywords : “Internet +”; construction project management; information construction

前言:

“互联网 +”时代各行各业都受到了影响实现了飞速发展。因此, 建筑行业十分关注信息技术在工程管理过程中的应用。建设单位只有加快管理与信息技术的融合步伐、完善相应的信息系统、研发更多配套软件、提升管理人员的信息化意识等, 才能加快工程管理信息化建设步伐。这要求建设单位重视信息技术在工程管理中的应用, 借助信息技术对工程开展全过程管理, 强化工程管理力度, 这样才能把控工程管理质量, 推动行业稳步发展。

一、“互联网 +”时代建筑工程信息化建设的意义

(一) 提高管理效率

传统工程管理模式单一、落后, 已经难以满足现阶段的工程管理需求。例如: 人工管理过程中需要管理人员收集工程建设数据、编录文件等, 其中任意一个环节出现问题都会影响到数据的真实性, 进而降低管理效率。但在进行工程信息化建设后, 建设单位能够利用信息化系统高效收集、分析、共享数据, 在短时间内处理超量数据, 不仅能够确保工作数据的真实准确性, 还能够提高管理效率。

(二) 降低管理成本

传统工程管理模式下建设单位要想在短时间内处理大量数

据, 不仅要加班加点工作, 还需要扩大管理团队, 这就需要增加人工成本。同时人工操作的过程中可能会出现管理疏漏, 这就会给建设单位造成一定的经济损失。例如: 材料进场前管理人员未能仔细抽检、核对, 导致一些存在质量问题的材料进场, 在后续建设的过程中可能会出现质量问题, 返工既会延误时间又会增加施工成本。如果是严重的质量问题可能会引发安全事故, 进而造成更大的经济损失。但在进行工程管理信息化建设后, 建设单位只需要利用信息化系统就能高效完成基础管理工作, 包括: 记录施工过程、采集施工信息、编制报表等。这些工作只需要几名管理人员即可完成, 能够极大降低施工成本。同时可以减少人为因素带来的负面影响, 这样既能保证工程质量又可以降低管理成本。

* 作者简介: 杜金鉴 (1995年出生), 男, 汉族, 山西省大同市, 助理工程师, 本科学历, 主要从事工程管理方面研究。

（三）满足施工需求

近些年，建筑工程的施工规模不断扩大，出现了很多高层与超高层建筑。这些建筑虽然缓解了城市用地紧张的情况，但会产生大量的工程施工信息，增加工程管理难度。传统的工程管理模式无法在短时间内高效完成管理工作，已经难以满足现阶段的施工需求。如果能够加强信息化建设，利用多种信息技术可以在无人干预的情况下高效收集、处理数据，为编制工程管理计划、开展各环节的管理工作提供数据参考。这样管理人员也能够留出时间与精力做更重要的管理工作。此外，如果将“互联网+”思维融入传统管理模式中，就能在智能管理的过程中凸显人性化特征。例如：建设单位基于信息化管理体系建设智慧工地，借助 BIM 技术工程管理需求进行 4D、5D 施工模拟，这样能够提前预测施工情况解决施工问题，开展智能可视化管理。

二、“互联网+”时代建筑工程管理信息化建设策略

（一）出台相关政策

“互联网+”时代建筑行业工程管理信息化已经成为一种主流发展趋势，有广阔的应用前景。但在具体建设时建设环境恶劣、前期成本投入多、建设方向不明确等问题严重阻碍了建筑工程信息化管理的发展建设。政府部门必须根据建筑行业工程管理信息化的建设情况出台相应政策，改善建筑行业的市场环境，提高行业内对工程管理信息化建设的重视度。例如：政府部门可以出台“工程建设领域营商环境一体化”改革政策；政府部门可选择部分地区进行工程全生命周期数字化管理试点推广，明确试点目标与要求；政府部门统一工程质管信息化建设数据标准与技术规范，指导各地区开展平台建设；政府部门要做好“网络安全体系”的顶层设计，开展政务数据安全，完善政务信息化工程全过程安全监督机制等；政府还要引导龙头企业的技术人员针对常规工程管理信息化系统与管理体系进行技术指导，帮助其他建设单位解决在信息化建设过程中存在的问题。这有利于加快建设单位的工程管理信息化建设步伐，改善行业市场环境。^[1]

（二）完善工程管理体系

建筑行业在早期发展过程中由于技术落后，只能采取单一的工程管理方式，基本是人工管理。因此配套工程管理体系也都是围绕着人工操作设定的。主要是各项管理工作在人为操作过程中的注意事项以及工作流程。在“互联网+”时代建筑工程管理正在转型升级，管理形态发生了转变，信息化管理系统成为开展各项管理工作的重要工具。常规管理体系与信息化管理模式已经不匹配，一些管理细则与实际管理情况不符，原有的管理标准也不再适用，如果不能及早调整就会出现各种管理问题。因此，建设单位必须根据工程管理需求、信息化管理情况完善补充已有的管理体系，包括：详细标注各项管理工作的信息化开展流程、操作注意事项、各业务的联网办理流程等；建设单位还要调整已有的工程管理岗位要求，明确管理人员必须掌握信息化办公技能、有一定的信息化管理经验等。还要提出岗位责任制，一旦各岗位工作人员未能遵循管理规范，出现了不负责的违规行为，不仅要追求

岗位工作人员还要追究所属负责人的责任；建设单位还要利用信息共享平台将行业政策与市场动向分享给管理人员，确保其能够精准把握市场变化、不断创新优化已有的管理制度，确保各项管理条例与建设单位的发展情况相符。这样才能贯彻落实各项管理计划，不断完善信息化管理模式。^[2]

（三）提升管理人员对信息化建设的认知

只有管理人员重视工程管理信息化建设，才能主动提升自身专业管理能力，自觉参与到工程管理信息化建设中。建设单位在开展理论与智能实践培训的同时，还要从三方面入手强化管理人员对信息化建设的认知。

第一，搜集行业市场发展趋势数据，结合权威部门给予的行业数据进行分析。选择业内龙头企业与管理人员共同分析其工程管理模式，详细为管理人员阐述“互联网+”背景下建筑行业现阶段以及未来的发展趋势。在分析真实工程案例、数据信息的过程中管理人员能够认识工程管理信息化建设的必要性，确定信息化建设目标。

第二，建设单位要将近些年来承接的工程项目作为案例，引导管理人员分析以往工程管理模式存在的利弊，基于先进的建筑工程管理理念重新编制工程管理方案。同时还要将以往的工程管理模式与龙头企业的工程管理模式对比，让管理人员认识到只有进行信息化建设才能够跟上龙头企业的发展步伐。

第三，在管理人员学习了先进管理理念与技术后，可以到龙头企业的施工现场实地参观、学习先进技术的相关资料等，让管理人员了解到各种先进的信息技术在工程管理过程中的具体应用及应用效果。例如：“智慧工地”“RFID”等在现场管理、考勤管理等环节的应用。直观的展现工程管理信息化建设的价值，进而加深管理人员对工程管理信息化建设的认知。^[3]

（四）合理应用信息化技术

在“互联网+”时代建设单位只有积极应用信息技术，全面动态化把握施工情况，才能有效管理施工各环节。这就需要建设单位结合实际需求引入相应的信息技术。例如：近些年，一些建设单位在内部信息化管理时引入了“智慧工地”，利用人脸识别、人体图像扫描等技术有效识别工地人员。为建设单位的考勤管理、安全监控带来了便利；BIM 技术常被应用在工程管理的多个环节，能够共享传递工程相关的信息、数据以及项目策划等，生成建筑信息模型。还能够通过数字化的方式表达工程项目的实体与功能特性，这些也能够为工程管理带来便利。^[4]

（五）建设工程管理信息化系统

建设单位要结合建设需求，利用信息化技术建设能够涵盖所有项目的信息化管理系统，这样才能有效处理工程项目相关的信息，确保各业务模块信息共享、各部门能够相互协调。工程管理信息化系统必须涵盖以下几个部分：

第一，用工信息化管理系统。建设单位需要通过信息化管理系统把握项目相关的信息，其中必须增加实名制管理、工资支付等子系统，这样才能获取真实的用工信息全面把握工资支付情况，为后续的动态管理奠定基础。该系统受政府监督管理，政府能够利用系统中的预警功能以及实名信息记录查询是否出现欠薪

问题,这样能够有效保护工人的合法权益。

第二,建设信息化管理系统。项目建设管理涉及进度、质量以及安全管理等,管理工作十分复杂。要求建设单位必须利用信息化手段开展管理工作。例如:借助 BIM 模型共享建筑工程全生命周期的信息,在此基础上利用二维码技术还能有效管理工程预制构件加工、运输以及施工等工作^[5]。

第三,监督信息化管理系统。以建设方监督为例,建设单位可以通过监督管理子系统接入现场信息,结合固定与无人机机位拍摄到的内容全面把握现场施工情况。如果将建设数据与监督管理子系统、诚信评价子系统结合,就能及早分析数据发现异常问题,做好工程预警提示。这样监管人员能够随时了解施工情况,及时排查隐患做好质量管理工作^[6]。

(六) 加大软件研发应用力度

现阶段,我国建筑工程信息化管理仍处于初步探索阶段,虽然取得了一定的建设成果但仍然有很大的发展空间^[7]。大部分信息化管理软件都是国外引进的版本,只有发展规模较大的企业能够自主开发,虽然这些软件的功能十分丰富,但适用性不强,难以满足大部分建设单位的管理需求。因此建设单位要结合管理需求、工程规模、信息化建设成本等投入部分资金研发软件,提高软件应用的针对性^[8]。例如:某建设单位结合实际情况研发了方便高层管理的

软件,高层能够全面把握项目资金情况,直观获取成本、生产、经营等相关的业务数据。楼盘销售软件,拥有设定面积、设定房产类型、设定价格以及设定代收款标准的功能,在建设完工后能够快速录入工程信息方便楼盘销售。如果建设单位能力不足、资金有限,难以独立完成软件研发工作,可以结合自身的工程情况选择合适的信息化管理软件,组织管理人员学习该软件的使用方法,确保管理人员能够充分利用该软件,发挥其相应的管理功能^[9]。

此外,建设单位还要做好这些软件的更新与安全管理工作,结合工程各阶段的管理特点与管理需求及时更新软件。积极应用入侵扫描、防火墙技术保护软件的安全,避免各类数据信息出现安全问题,为工程管理信息化建设奠定基础。

结语:

“互联网+”时代建设单位要想提高工程管理质量,获取更多经济效益,就要加快工程管理信息化建设步伐。建设单位要主动强化管理人员的信息化认知、完善工程管理体系、加大软件研发应用力度等,政府部门也要做好市场引导与监管工作,出台一系列政策支持建筑工程信息化建设的开展,营造良好市场环境,这样建筑行业才能够实现可持续发展^[10]。

参考文献:

- [1] 周魁源. “互联网+”时代的建筑工程管理信息化建设路径分析[J]. 中华建设, 2023(05).
- [2] 张文杰. 基于“互联网+”时代探索建筑工程管理的信息化建设[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2023(15).
- [3] 柏国辉. 互联网技术下建筑工程管理思考[J]. 大众标准化, 2021(19).
- [4] 詹伟, 张兴博, 乔奕霖. 互联网时代建筑工程管理信息化路径探索[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2023, (34): 61-63.
- [5] 张鹤. “互联网+”时代下建筑工程管理信息化建设探讨[J]. 大众标准化, 2023, (14): 187-189.
- [6] 陈倩. 基于“互联网+”时代建筑工程管理的信息化建设路径[J]. 大陆桥视野, 2023, (06): 129-131.
- [7] 魏海燕. 互联网+时代下建筑工程管理信息化建设研究[J]. 居业, 2021(09).
- [8] 兰树明. 浅析互联网+时代下建筑工程管理信息化[J]. 建材与装饰, 2020(10).
- [9] 张剑. 互联网技术在建筑工程管理中的应用[J]. 住宅与房地产, 2020(03).
- [10] 白耀荣. 互联网时代建筑工程管理信息化路径探索[J]. 中国建筑装饰装修, 2022.

论建筑工程管理的现状分析及控制措施

刘凤玉

浙江科路核工程服务有限公司，浙江 嘉兴 314000

摘要： 本文通过对建筑工程管理的现状进行分析，旨在总结和探讨控制措施，以提高建筑工程管理的效率和质量。通过文献研究和实证研究方法，对目前建筑工程管理存在的问题进行了详细调查和分析。研究表明，建筑工程管理中最常见的问题包括进度延误、成本超支和质量不符合标准。为了解决这些问题，本文提出了一些有效的控制措施，包括强化项目管理、优化资源配置和加强质量监管等。本研究对于提高建筑工程管理水平和成果具有一定的理论与实践指导意义。

关键词： 建筑工程管理；现状分析；控制措施

Current Situation Analysis And Control Measures Of Construction Project Management

Liu Fengyu

Zhejiang Kelu Nuclear Engineering Service Co., LTD. Jiaxing, Zhejiang 314300

Abstract： Through the analysis of the current situation of construction management, this paper aims to summarize and discuss the control measures to improve the efficiency and quality of construction management. Through the method of literature research and empirical research, the existing problems of construction management are investigated and analyzed in detail. The results of the study show that the most common problems in construction project management include schedule delays, cost overruns and quality non-compliance. In order to solve these problems, this paper puts forward some effective control measures, including strengthening project management, optimizing resource allocation and strengthening quality supervision. This study has certain theoretical and practical significance for improving the level and results of construction management.

Keywords： construction engineering management; analysis of current situation; control measure

一、现状分析

（一）建筑工程管理中存在的问题

1. 资源管理：人力、物资的有效利用

在建筑工程项目中，有效管理和利用人力资源和物资资源是一个至关重要的问题，然而目前常常存在着一些困扰。首先，人力资源问题导致有时人手不足或分配不合理，这会降低工作效率并延误项目进度。其次，物资资源管理方面，由于采购和使用缺乏规范和监管，往往会造成资源的浪费和成本的增加。为了解决这些问题，我们需要加强人力资源招聘和培训工作，以确保团队人员素质和配置的合理性^[1]。

2. 技术管理：创新技术的应用和推广

随着科技的不断进步，建筑工程领域涌现出了许多创新技术，这些技术具有巨大的潜力和应用前景。然而，现行的技术管理却存在较大的滞后性和推广不力的问题，这导致了创新技术无法得到广泛的应用，从而限制了建筑工程的发展。为了解决这一问题，首先需要加强对新技术的研究和开发，促进技术的突破和创新。

3. 项目控制：预算和进度的管理

在建筑工程项目中，合理预算和精确进度控制是项目顺利进展的关键。然而，在实际工程实践中，常常会遇到预算超支和工期拖延等问题，从而影响工程的顺利进行。预算不准确或事后费用控制不当往往会导致工程进度无法按时完成甚至需要额外的投资，给业主和施工方带来巨大的经济压力。同时，天气变化、材料供应问题和人员管理等各种不可预知因素也可能导致工程进度延迟。这些问题不仅会影响工程进度，还会增加额外的费用，并对工程的信誉造成不良影响。为了解决上述问题，我们必须加强工程预算的制定和控制，确保其真实反映工程的实际情况。在工程执行期间，应实时监测和调整工程造价。

4. 风险管理：对突发事件和不确定性的应对能力

建筑工程项目面临各种风险，包括自然灾害、材料质量问题 and 人为疏忽等。当前的风险管理和应对措施相对薄弱，难以应对突发事件和不确定性，对项目安全和质量构成潜在威胁。面对自然灾害风险，建筑工程必须符合相应的安全标准，以提高结构的抗震和抗风能力，确保人员和设施的安全。材料质量问题也是重要的风险，应强化材料采购的质量监控，确保符合标准，并进行

* 作者简介：刘凤玉（1996年出生），女，汉族，黑龙江省齐齐哈尔市，助理工程师，本科学历，主要从事工程管理方面研究。

必要的检测和验收。

5. 沟通协调：项目各方之间的信息交流与协作能力

建筑工程项目涉及多个参与方，包括业主、设计师、施工方、监理方等。沟通和协调的不畅通，导致信息传递延迟和决策不准确，进而影响项目的进展和结果。为了解决这个问题，项目管理团队应该建立一个有效的沟通和协调机制。首先，可以通过定期召开会议、研讨会等形式，让参与者集思广益，讨论项目进度和遇到的问题，并及时进行修正。

二、控制措施

（一）加强人力资源管理

1. 人员培训与素质提升

通过组织培训和学习活动，提升员工的专业素质和技能水平是非常重要的。可以邀请专业机构或行业专家开展培训课程，通过系统的培训内容和实践案例，帮助员工了解行业最新的技术和趋势。同时，鼓励员工自主学习和研究，可以推动他们不断深化专业知识，并应用到实际工作中。

2. 合理分配人力资源

根据项目的需求和员工的能力和特长，合理分配人员的工作任务和职责，是提高团队工作效率和质量的关键。通过分析每位员工的能力和工作经验，我们可以为他们提供最适合的工作岗位，使他们充分发挥优势。这样做不仅可以提高个人工作效率，还可以营造良好的工作环境，促进团队合作。合理分配工作任务可以有效防止个人负担过重和工作重复的情况，确保团队资源得到最大发挥。

3. 提供适当的激励机制

根据员工的工作表现和贡献，建立相应的激励机制是激发员工积极性和创造力的有效途径。除了基本工资外，可以设立奖金和绩效考核制度，为员工提供额外的收入激励。此外，还可以为表现优秀的员工提供晋升机会，给予更多的发展空间和责任。这样的激励机制可以激励员工不断努力，提高工作质量和效率。

（二）推广创新技术

1. 持续学习和研发

为了推动技术的不断进步和应用，可以建立定期的学习和研发机制，关注行业的前沿技术动态。通过监测和分析行业趋势，可以及时了解到新技术的发展和运用。此外，还可以与专业机构和行业专家建立合作关系，引进和研究新技术，以不断提升公司的技术实力。同时，要鼓励公司内部创新和研发活动。给予员工一定的时间和资源，供其专注于创新研发，提供支持和鼓励。引入创新激励机制，如奖励和荣誉，以激发员工的创造力和潜能。

2. 积极应用先进的建筑工程技术

为推动创新技术在项目中的应用，建立示范项目是一种有效方法。通过将先进技术实践并进行实时监测和评估，可以验证其实际效果，为其他项目的推广提供可靠依据。同时，总结示范工程的经验与教训，进一步完善实施方式与程序，提高技术推广成

功率。此外，与科技提供商和科学研究机构的紧密合作也至关重要。建立长期的合作或联合研究可以获得最新的技术资料与资源，共同攻克技术难题，推进新技术的研发与应用。参与国际技术交流与协作，与国内外专家交流，促进技术交流和共享。通过示范工程与技术供应商、科研院所等进行联合攻关，可以有效推动科技成果的应用与推广。为企业提供创新解决方案，提高工程效率与品质，为企业创造更多合作机会和商业发展空间，增强企业在行业中的竞争优势^[2]。

3. 促进技术交流和协作

为了进一步促进技术交流和共享，可以组织技术交流会议、学术研讨会以及行业展览等活动。这些活动提供了一个平台，供各方分享最新的技术成果和研究成果，探讨行业的热点问题和挑战。通过积极参与这些活动，公司可以获取新的技术思路与灵感，与同行业的专家和研究人员进行深入交流，共同推动技术的进步和创新。

（三）强化项目控制

1. 合理的项目计划和预算

在项目启动阶段，为确保项目成功实施，需要制定详细的项目计划和预算。项目计划应明确目标和里程碑，为项目提供清晰的方向和时间框架。同时，合理安排项目所需的时间和资源，确保项目顺利进行。制定项目计划和预算时要考虑项目的可行性和合理性。需评估任务和活动的执行难度、时间成本，以及人力资源的可用性，并做相应安排。

2. 设立有效的监控机制

为了确保项目顺利进行，建立有效的项目监控机制至关重要。该机制包括设立关键绩效指标、实施项目跟踪、编制项目进度报告和质量评估等。首先，我们应使用关键绩效指标来衡量项目的进度和结果，如时间安排、资源利用、成本控制、质量标准等。通过这些指标，项目组能够及时了解工程进展情况，并发现问题和偏差，从而做出适当的调整。其次，采用项目追踪方法对项目进展进行持续监控。通过定期会议、进度报告和工作检讨，专案小组能够追踪各项工作的进展，并及时发现潜在的风险和问题，并作出相应的应对措施。通过项目追踪，加强了各个小组之间的沟通与合作，确保各个环节之间的顺畅衔接^[3]。

3. 及时采取措施纠正问题

在项目监控中，一旦发现项目存在偏差或问题，及时采取相应的纠正措施至关重要。为了确保项目能够按照预期目标顺利推进，可以采取一系列的应对措施。首先，可以调整资源分配。通过重新评估项目所需的资源，并进行合理分配和优化利用，可以解决资源短缺或不均衡的问题^[4]。

（四）加强风险管理与应对能力

1. 预见潜在风险

在项目启动阶段和实施过程中，全面分析和评估可能出现的潜在风险至关重要。通过对项目各个环节进行风险评估，可以识别存在的风险点和隐患，并为后续的风险控制和防范提供依据。在项目启动阶段，应该对项目进行整体的风险评估，从项目目标、范围、资源、技术等方面进行综合考虑。这样可以明确项目

面临的主要风险和潜在问题，并制定相应的风险应对策略^[5]。

2. 制定应急预案

建立灵活、全面的应急预案是至关重要的。预案包括对可能出现的突发事件和不确定性的处理策略和措施。明确的职责分工和制定相应的行动方案可以确保在危险发生时能够及时有效地作出反应。演习和训练是保证应急预案实施效果的关键步骤，也是提高队员应对突发事件能力和应变能力的重要手段。通过对突发事件进行仿真演练，队员们能够更清楚地了解应急方案的实施过程，从而能够有效地协调工作^[6]。同时，本项目还将通过培训和知识共享等方式提高员工在突发事件中的认知水平，增强其应变能力。在突发事件发生过程中，及时获得相关信息对于及早处理可能出现的风险并采取相应的应对和应变措施非常必要。因此，及时获取相关信息，可以使项目组能够对风险进行及时有效地监控和预警，并做出相应的调整 and 应对。

3. 加强保险和责任分担机制

为了更好地应对项目中的各类风险，建立合理的保险机制是非常重要的。通过对可能出现的风险进行保险覆盖，可以有效降低风险发生时所带来的损失。制定保险计划时，需要仔细分析项目中可能面临的各类风险，并量化评估，确定适当的保险范围和保费。此外，还需要明确各方在项目中的责任和义务，并建立完善的责任分担机制。在项目合同中明确约定各方的权责关系和在风险发生时的责任承担方式^[7]。

（五）提升沟通协调能力

1. 建立良好的沟通机制

为了确保项目各方之间的有效沟通，建立明确的沟通渠道和机制至关重要。可以设立定期的会议，组织项目相关人员进行沟通和交流，通过面对面的交流来及时解决问题和反馈意见。在会议中，可以通过提出问题、分享经验和提出建议等方式，促进团

队间的互动和共享。除了面对面的会议，还可以利用现代化的沟通工具和技术来提高沟通的效率和及时性。电子邮件是一种常用的沟通工具，它可以方便快捷地传递信息和文件，让各方实时了解项目进展和沟通内容^[8]。

2. 加强各方之间的沟通和协作

在项目实施过程中，各方之间密切的合作和协作是非常关键的。为了促进各方之间的沟通和协作，可以建立多方联络机制，确保信息的传递和交流。这可以包括定期的联络会议、项目进展报告等方式，让各方了解项目的最新动态和问题的进展情况。多方联络机制的建立有助于解决各方之间可能存在的矛盾和冲突。通过及时的沟通和协商，可以找到共同的利益点，并寻求解决问题的最佳途径^[9]。

3. 提供透明的信息共享平台

为了确保项目各方都能够及时获取项目相关的信息和数据，建立信息共享平台是非常重要的。信息共享平台可以作为一个统一的平台，集中存放项目的相关数据和信息，使各方能够方便地查阅和获取所需信息。通过共享信息，可以减少信息不对称现象的发生。各方可以共同了解项目的进展和风险情况，从而更好地制定决策和行动计划^[10]。

结语：

建筑工程管理中存在的问题主要包括资源管理、技术管理、项目控制、风险管理和沟通协调方面，通过加强人力资源管理、推广创新技术、强化项目控制、加强风险管理与应对能力以及提升沟通协调能力等措施的实施，可以有效解决这些问题，提高建筑工程管理的效果与效率。各方应共同努力，共同推动建筑工程管理行业的发展，为社会经济建设做出积极贡献。

参考文献：

[1] 杨长福. 论建筑工程管理的现状分析及控制措施研究 [J]. 中文科技期刊数据库 (引文版) 工程技术, 2022, 43(11):431-432.
[2] 曹楚杰. 基于建筑工程管理的现状分析及控制措施探讨 [J]. 产品可靠性报告, 2023, 22(11):43-45.
[3] 沈通. 更新改造类建筑工程管理的现状分析及控制措施 [J]. 中文科技期刊数据库 (引文版) 工程技术, 2022, 22(21):4.
[4] 刘彦. 浅谈建筑施工现场管理的现状分析及控制措施 [J]. 建材发展导向, 2022, 20(61):31-32.
[5] 黄俊. 建筑工程管理的现状及控制措施 [J]. 造纸装备及材料, 2020.
[6] 陈建立. 建筑工程管理中创新模式的应用及发展分析 [J]. 建筑技术开发, 2021.
[7] 惠亮. 论建筑工程管理的现状分析及控制措施 [J]. 现代物业 (中旬刊), 2020.
[8] 赵崇杰. 浅谈建筑工程管理的制约因素及应对措施 [J]. 居舍, 2022.
[9] 刘岗. 建筑工程中的施工技术及质量控制措施分析 [J]. 住宅与房地产, 2020.
[10] 暴海兰. 建筑工程管理的现状及控制措施分析 [J]. 居业, 2020.

建筑工程中装配式建筑的应用与优化

段林刚

博兴县振兴农业发展集团有限公司, 山东 滨州 256500

摘要： 随着建筑行业的快速发展，装配式建筑因其高效、环保等优势而受到重视。本文旨在探讨装配式建筑在建筑工程中的应用现状，分析其在设计、制造、运输和施工过程中的关键技术问题，并提出相应的优化策略。通过案例研究，本文展示了装配式建筑如何提高施工效率、缩短工期、降低成本，并减少对环境的影响。此外，本文还讨论了装配式建筑在可持续发展和建筑业转型中的作用，以及面临的挑战和未来的发展趋势。本文的研究结果对于推动装配式建筑的广泛应用和优化具有重要的理论和实践意义。

关键词： 装配式建筑；施工效率；环境影响；优化策略；可持续发展

Application and Optimization of Prefabricated Buildings in Construction Engineering

Duan Lingang

Boxing County Revitalization Agricultural Development Group Co., Ltd., Binzhou, Shandong 256500

Abstract： With the rapid development of the construction industry, prefabricated buildings have received attention due to their advantages such as high efficiency and environmental protection. This article aims to explore the current application status of prefabricated buildings in construction engineering, analyze the key technical issues in their design, manufacturing, transportation, and construction processes, and propose corresponding optimization strategies. Through case studies, this article demonstrates how prefabricated buildings can improve construction efficiency, shorten construction periods, reduce costs, and minimize environmental impact. In addition, this article also discusses the role of prefabricated buildings in sustainable development and the transformation of the construction industry, as well as the challenges they face and future development trends. The research results of this article have important theoretical and practical significance for promoting the widespread application and optimization of prefabricated buildings.

Keywords： prefabricated building; construction efficiency; environmental impact; optimization strategy; sustainable development

引言：

建筑业作为国民经济的重要支柱，正面临着劳动力成本上升、资源环境约束加大等多重挑战。装配式建筑以其工厂化生产、现场快速组装的特点，为应对这些挑战提供了新的解决方案。装配式建筑不仅能够显著提升施工效率，缩短工程周期，还能有效降低施工过程中的资源消耗和环境污染。然而，作为一种新兴的建筑方式，装配式建筑在实际应用中仍存在诸多技术难题和管理挑战。本文将深入分析装配式建筑在设计、制造、运输和施工各环节的优化空间，探讨如何通过技术创新和管理改进，实现装配式建筑的高效、环保和可持续发展。通过对国内外装配式建筑项目的案例分析，本文旨在为建筑行业的转型和升级提供有益的参考和启示。

一、装配式建筑的兴起与行业变革

装配式建筑作为建筑行业的一场革命，正以其独特的优势引领着行业的变革。这种建筑方式通过工厂化生产、标准化设计、模块化组装，实现了建筑施工的高效率和高质量。与传统建筑方式相比，装配式建筑能够显著减少现场施工时间，降低劳动力需求，同时减少施工过程中的噪音、粉尘等环境影响。

在设计阶段，装配式建筑采用模块化设计，使得构件能够在工厂中预制，然后运输到施工现场进行快速组装。这种设计方法

不仅提高了设计效率，还为建筑的灵活性和可变性提供了可能。构件的标准化生产也促进了材料的节约和成本的降低。在施工过程中，装配式建筑的模块化特点使得施工更加有序和可控。构件的预制和现场组装大大减少了施工过程中的不确定性和风险。此外，装配式建筑的施工过程更加机械化和自动化，减少了对人工操作的依赖，从而提高了施工的安全性。

装配式建筑的推广和应用也面临着一些挑战。例如，构件的运输和现场组装需要精确的物流管理和施工计划。此外，装配式建筑的设计和施工需要跨专业的协同，这对项目管理提出了更高

的要求。尽管存在挑战，装配式建筑的发展前景广阔。随着技术的不断进步和创新，装配式建筑在提高建筑质量、缩短施工周期、降低环境影响等方面展现出巨大的潜力。未来，装配式建筑有望成为建筑行业的主流趋势，推动整个行业的可持续发展。

二、技术挑战与施工流程优化

装配式建筑在施工流程中所面临的技术挑战是多方面的，这些挑战对施工流程的优化至关重要。构件的预制化生产要求极高的精度和质量控制，以确保在施工现场的无缝对接。这涉及到材料选择、构件设计、制造工艺以及质量检验等多个环节。例如，预应力混凝土构件的制作就需要精确的应力控制和养护条件，以保证其结构性能。

在物流管理方面，由于装配式建筑的构件通常体积大、重量重，因此对运输工具和物流路线的选择提出了更高要求。合理的物流规划不仅可以减少运输成本，还能有效避免因运输过程中的延误或损坏而导致的施工进度受阻。施工现场的组装技术同样关键。装配式建筑依赖于精确的定位和快速的连接技术，如螺栓连接、焊接或者采用特殊的连接件。这些技术的选择和应用直接影响到施工的速度和建筑的安全性。

装配式建筑的施工流程需要高度的信息化管理。通过 BIM（建筑信息模型）等技术，可以实现施工过程的可视化和模拟，提前发现并解决潜在的问题。信息化管理还能提高施工过程中的沟通效率，确保各个环节的协调一致。施工流程的优化还需要考虑到施工现场的临时设施和安全管理。由于装配式建筑的施工特点，施工现场的布置和安全管理策略与传统方式有所不同。例如，需要为预制构件的临时存放和快速转运提供足够的空间和设施。

装配式建筑的施工流程优化还需要关注人员的培训和管理。由于装配式建筑涉及到新的技术和工艺，因此对施工人员的技能要求较高。通过系统的培训和考核，可以提高施工团队的专业能力，确保施工质量和效率。装配式建筑的施工流程优化是一个系统工程，涉及到设计、生产、物流、施工技术、信息化管理以及人员培训等多个方面。通过不断的技术创新和管理改进，可以有效应对技术挑战，推动装配式建筑的高效施工和可持续发展。

三、设计创新与构件制造的精进

设计创新与构件制造的精进是装配式建筑发展的核心动力。在设计阶段，创新不仅体现在构件的形态和功能上，更在于如何通过设计提升建筑的整体性能和施工的便捷性。设计创新要求建筑师和工程师深入理解构件的物理特性、连接方式以及与建筑整体的协调性，从而实现设计的最优化。构件制造的精进则体现在材料选择、生产工艺和质量控制上。现代制造技术，如数控加工、三维打印和自动化生产线，为构件的精确制造提供了技术保障。通过采用高强度、轻质、耐久的材料，如高性能混凝土、纤维增强塑料等，可以提高构件的承载能力和耐久性，同时减轻建筑自重，降低运输和安装难度。

构件的标准化和模块化设计是实现精进制造的关键。标准化

设计可以减少生产过程中的变异，提高生产效率，降低成本。模块化设计则为构件的快速组装和灵活替换提供了可能，增强了建筑的适应性和可持续性。此外，构件制造过程中的可持续性也是设计创新的重要方面。通过优化生产流程，减少能源消耗和废弃物排放，可以实现绿色制造。例如，利用工业副产品作为混凝土的掺合料，不仅可以降低成本，还能减少对环境的影响。

构件制造的精进还涉及到对构件连接节点的创新设计。连接节点作为构件之间相互连接的关键部分，其设计直接影响到建筑的结构安全和整体性能。通过采用新型连接技术，如摩擦型高强螺栓连接、焊接或机械连接等，可以提高连接的可靠性和施工效率。在构件制造过程中，质量控制同样至关重要。通过建立严格的质量管理体系，对原材料、生产过程和成品进行全方位的监控和检测，可以确保构件的质量和性能符合设计要求。同时，采用先进的检测技术，如超声波检测、X 射线检测等，可以及时发现并解决生产过程中的质量问题。设计创新与构件制造的精进是装配式建筑成功实施的基础。

四、物流管理与现场组装的效率提升

物流管理与现场组装的效率提升是装配式建筑成功实施的关键环节。在这一过程中，精确的物流规划和高效的现场作业对于缩短工期、降低成本、提高施工质量具有决定性作用。物流管理的优化首先体现在构件的运输策略上。构件的尺寸、重量和形状对运输工具的选择和运输路线的规划提出了特殊要求。通过采用模块化设计，可以减少运输过程中的拆分和重组，降低运输难度和成本。同时，利用先进的物流信息系统，可以实现对运输过程的实时监控和调度，确保构件按时、安全地到达施工现场。

在现场组装阶段，效率的提升依赖于精确的施工计划和高效的作业流程。通过采用 BIM 技术，可以实现对施工过程的三维模拟，提前规划好构件的摆放位置和组装顺序，减少现场的等待和调整时间。此外，现场的作业环境和作业条件也直接影响到组装效率。合理的作业空间布局、充足的作业设备和工具，以及高效的作业人员调度，都是提升现场组装效率的重要因素。构件的快速连接技术是提升现场组装效率的另一个关键点。采用标准化的连接件和模块化的连接方式，可以简化连接过程，提高连接速度和质量。例如，采用预埋螺栓、焊接或者机械连接等技术，可以实现构件的快速固定和连接。

现场的安全管理系统也是提升效率的重要组成部分。通过建立严格的安全规范和操作流程，可以减少施工过程中的安全事故，保障作业人员的安全，同时也有助于提高施工效率。信息化技术的应用在物流管理和现场组装中发挥着越来越重要的作用。通过利用物联网、大数据和云计算等技术，可以实现对物流和施工过程的智能化管理，提高决策的科学性和施工的精确性。

人员的培训和管理对于提升物流管理和现场组装效率同样至关重要。通过系统的培训，可以提高作业人员的专业技能和安全意识，确保施工过程的顺利进行。物流管理与现场组装的效率提升是一个系统工程，涉及到运输策略、施工计划、连接技术、安

全管理系统、信息化技术应用以及人员培训等多个方面。通过不断的技术创新和管理优化，可以有效提升装配式建筑的施工效率，实现建筑行业的高质量发展。

五、环境效益与可持续发展实践

环境效益与可持续发展实践是装配式建筑领域中日益受到重视的议题。装配式建筑因其在施工过程中显著减少的资源消耗和环境污染，被视为推动建筑行业绿色转型的重要途径。在环境效益方面，装配式建筑通过工厂化生产减少了现场施工的粉尘、噪音和废弃物排放，从而减轻了对周边环境的影响。预制构件的生产过程中，材料的利用率得到提高，减少了建筑废料的产生。此外，装配式建筑的施工周期较短，减少了施工机械的使用时间和能源消耗，进一步降低了碳排放。

可持续发展实践在装配式建筑中的应用体现在多个层面。首先，在设计阶段，通过采用生命周期评估（LCA）方法，可以评估建筑在其整个生命周期中的环境影响，从而指导设计师选择更环保的材料和技术方案。其次，在施工过程中，通过优化施工计划和物流管理，减少能源和资源的浪费，实现施工过程的节能减排。装配式建筑的可持续性还体现在其长期使用和维护上。由于构件的质量和耐久性较高，装配式建筑的维护成本相对较低，延长了建筑的使用寿命。此外，装配式建筑的灵活性和可变性使其在建筑功能变更或拆除时，能够更容易地进行改造或回收利用，减少了建筑生命周期结束时的环境负担。

在材料选择上，装配式建筑倾向于使用可再生或可回收的材料，如木材、再生金属和可回收混凝土等。这些材料的使用不仅减少了对自然资源的依赖，还有助于形成循环经济，促进了建筑行业的可持续发展。技术创新在提升装配式建筑环境效益和可持续性方面发挥着关键作用。例如，通过采用先进的制造技术，如自动化生产线和机器人技术，可以提高构件生产的精度和效率，减少能源和材料的浪费。同时，通过研发新型环保材料和施工技术，可以进一步提高建筑的环境性能。

政策和标准的制定也是推动装配式建筑可持续发展的重要因素。政府和行业组织通过制定相关的环保标准和激励政策，鼓励建筑企业和项目采用更环保的设计和施工方法，促进了装配式建筑的广泛应用。环境效益与可持续发展实践在装配式建筑中的应用是一个多维度、跨学科的复杂过程。通过设计创新、材料选择、施工技术改进、政策支持和技术创新，装配式建筑有望成为实现建筑行业可持续发展的重要力量。

六、案例分析与策略提炼

案例分析与策略提炼是深化装配式建筑理论与实践认知的重要手段。通过对成功案例的深入剖析，可以提炼出有效的策略，为类似项目提供借鉴和指导。在案例分析中，首先关注的是项目的设计阶段。设计阶段的决策对整个建筑的效率、成本和可持续性具有深远影响。例如，某大型住宅项目通过采用模块化设计，

实现了构件的标准化生产，大大提升了施工速度和质量。设计团队运用 BIM 技术，对建筑的每一个细节进行了精确模拟，确保了设计方案的可行性和施工的顺利进行。

案例分析需要深入探讨构件制造过程中的创新点。在一些项目中，通过引入自动化生产线和机器人技术，实现了构件制造的高效率和高精度。这种技术的应用不仅提高了生产速度，还确保了构件的一致性和可靠性，为后续的现场组装打下了坚实基础。物流管理和现场组装的策略同样值得深入分析。在一些高效项目中，通过精心设计的物流方案和现场作业流程，实现了构件的快速运输和精准组装。例如，一些项目采用了集装箱运输，减少了运输过程中的损耗，并通过模块化设计简化了现场的组装工作。环境效益的考量也是案例分析中不可或缺的部分。在一些绿色建筑项目中，通过使用环保材料和节能技术，实现了建筑的低碳运行。这些项目在设计和施工过程中，充分考虑了建筑的生命周期，减少了对环境的影响。

案例分析的最终目的是策略提炼。通过对多个成功项目的分析，可以总结出一系列有效的策略和方法。例如，在设计阶段，可以提炼出模块化设计、BIM 技术应用等策略；在构件制造阶段，可以提炼出自动化生产、质量控制等策略；在物流管理和现场组装阶段，可以提炼出精确物流规划、快速组装技术等策略。此外，案例分析还可以揭示一些潜在的风险和挑战，并提出相应的应对措施。例如，一些项目在实施过程中遇到了物流延误、施工质量问题等风险，通过对这些问题的分析，可以提炼出风险管理和质量控制的策略。

总之，案例分析与策略提炼是推动装配式建筑发展的重要环节。通过对实际项目的深入研究，不仅可以提炼出有效的策略和方法，还可以为未来的项目提供宝贵的经验和教训。这种基于实践的研究方法，有助于促进装配式建筑技术的创新和应用，推动建筑行业的可持续发展。

结语：

本文通过深入探讨装配式建筑的应用与优化，从设计创新、构件制造、物流管理、现场组装、环境效益到可持续发展实践，系统地分析了装配式建筑在现代建筑工程中的重要性和潜力。案例分析与策略提炼进一步验证了这些策略的有效性，为行业内的实践提供了有价值的参考。展望未来，装配式建筑有望在技术创新和政策支持的双重推动下，实现更加广泛的应用，为建筑行业的绿色发展和可持续发展做出更大的贡献。

参考文献：

- [1] 王晓峰，装配式建筑施工技术与工程管理[J]．建筑科学，2021，37(2)：45-49.
- [2] 李明哲，装配式建筑的环境效益分析[J]．绿色建筑，2020，38(4)：72-75.
- [3] 张华，BIM 技术在装配式建筑设计中的应用研究[J]．建筑经济，2019，40(8)：34-37.
- [4] 赵丽娜，装配式建筑物流管理策略研究[J]．物流技术，2022，41(1)：88-91.
- [5] 陈建，装配式建筑施工效率提升方法研究[J]．建筑施工，2020，42(6)：52-55.
- [6] 刘洋，装配式建筑可持续发展实践与案例分析[J]．城乡建设，2018，36(3)：63-66.

电化学氧化法处理燃煤电厂高盐氨氮废水研究

贾莹莹

华电水务科技股份有限公司，北京 100160

摘要： 本文研究了电化学氧化法在处理燃煤电厂高盐氨氮废水中的应用。实验分析了电化学氧化法在去除氨氮和减盐方面的效率，探讨了不同操作参数对处理效果的影响。结果表明，通过优化电流密度、电解时间和电极材料，可显著提高氨氮的去除率，并减轻高盐环境对处理过程的负面影响。本研究为燃煤电厂废水的高效处理提供了科学依据和技术支持。

关键词： 电化学氧化法；高盐氨氮废水；燃煤电厂；策略探究

Study On The Treatment Of High Salt Ammonia Nitrogen Wastewater From Coal-Fired Power Plants Using Electrochemical Oxidation Method

Jia Yingying

Huadian Water Technology Co., Ltd. Beijing 100160

Abstract： This article studies the application of electrochemical oxidation method in the treatment of high salt ammonia nitrogen wastewater from coal-fired power plants. The experiment analyzed the efficiency of electrochemical oxidation method in removing ammonia nitrogen and reducing salt, and explored the influence of different operating parameters on the treatment effect. The results indicate that by optimizing current density, electrolysis time, and electrode materials, the removal rate of ammonia nitrogen can be significantly improved, and the negative impact of high salt environment on the treatment process can be alleviated. This study provides scientific basis and technical support for the efficient treatment of wastewater from coal-fired power plants.

Keywords： electrochemical oxidation method; high salt ammonia nitrogen wastewater; coal fired power plants; strategy exploration

引言：

随着全球能源需求的增加，燃煤电厂依然是主要的能源供给方式，然而，燃煤过程中产生的大量高盐氨氮废水，因其复杂的成分和高浓度的污染物，给环境保护带来了巨大的挑战^[1]。传统的废水处理方法对高盐环境中的氨氮去除效果有限，难以达到环保要求。电化学氧化法作为一种新兴的废水处理技术，具有操作简便、污染物降解彻底、无二次污染等优点，在高盐氨氮废水的处理上显示出潜在的优势。

一、电化学氧化法及其在处理废水中的应用

电化学氧化法是一种利用电化学反应去除废水中污染物的技术。其主要原理是在电极上施加电压，使废水中的污染物在电极表面发生氧化还原反应，从而转化为无害物质或易于进一步处理的中间产物^[2]。电化学氧化法的优点包括以下几个方面。

（一）高效去除污染物

电化学氧化法能够高效去除废水中的有机物、氨氮、重金属等污染物，处理效果显著。例如，在处理高盐氨氮废水时，电化学氧化法能有效降低氨氮浓度，并分解有机污染物使其达标排放。

（二）无二次污染

与传统的化学处理方法不同，电化学氧化法在处理过程中不会引入新的污染物，避免了二次污染的问题。这使得电化学氧化法更加环保，符合现代环境保护的要求。

（三）操作简单

电化学氧化反应的设备相对简单，操作方便，适用于各种规模的废水处理系统^[3]。无论是小规模实验室研究，还是大规模的工业应用，电化学氧化法都能轻松实现。

（四）环保节能

电化学氧化法的能耗较低，且能够实现废水的资源化利用，例如，通过电化学反应生成的氧化剂可以回收利用，进一步降低

* 作者简介：贾莹莹（1984），女，河北省承德市，硕士，中级，华电水务科技股份有限公司，电厂废水。

处理成本，电化学氧化法不仅具有良好的环境效益还具有显著的经济效益。

在实际应用中，电化学氧化法常用于处理高浓度有机废水、高盐废水、含重金属废水等。近年来，随着技术的不断发展，电化学氧化法在燃煤电厂高盐氨氮废水处理中的应用逐渐增多，取得了显著的成效。这一技术能提升废水处理的效率，还为工业废水的处理提供了可靠的技术支持。

二、燃煤电厂高盐氨氮废水特性分析

燃煤电厂在发电过程中，循环冷却水系统会产生大量废水，这类废水具有以下几个显著特性，使得处理难度相当高。

一方面，高盐度是燃煤电厂废水的一个主要特征，由于废水中包含大量的溶解盐，这些盐类（如氯化物和硫酸盐）会显著增加水体的盐度，给处理工艺带来挑战。高盐环境不仅会影响废水处理设备的耐久性，还可能抑制微生物的活性，从而降低生物处理的效率，而且溶解盐的存在也可能会增加水的导电性，对电化学处理方法带来一定的技术要求^[4]。另一方面，废水中的氨氮含量较高，这是由于燃煤过程中氮化物的生成，这些氮化物在水体中转化为氨氮。高浓度的氨氮不仅对水体环境和生态系统构成威胁，导致水体富营养化，还对生物的生存产生毒性作用，所以，如何有效去除氨氮成为废水处理中的一个关键问题。

另外，燃煤电厂废水中含有较高的 COD，COD 指标反映了废水中有机物的含量，有机物通常难以通过简单的物理或化学方法完全去除。高 COD 意味着废水中的有机污染物浓度较高，要有效的处理方法来降解这些有机物，否则会对受纳水体造成污染，甚至影响后续的处理工艺。针对上述特性，传统的废水处理方法在应对燃煤电厂高盐氨氮废水时存在诸多局限性^[5]。物理方法，如沉淀和过滤，通常只能去除悬浮物和部分颗粒物，对溶解性污染物效果有限。化学方法，诸如化学沉淀和氧化还原，虽然能处理部分污染物，但容易产生二次污染，且处理效果不稳定，而生物方法，往往难以维持微生物的正常活动。

因此，寻找一种高效、环保的处理方法来处理燃煤电厂的高盐氨氮废水显得尤为重要。需要能够应对高盐、高氨氮和复杂水质的挑战，同时避免传统方法的缺陷达到理想的处理效果。这也推动了对电化学氧化法等新型处理技术的探索，此技术因其处理效率高无二次污染等优点，成为未来废水处理的重要研究方向。

三、电化学氧化法处理燃煤电厂高盐氨氮废水的实验研究

为了评估电化学氧化法在高盐氨氮废水处理中的实际应用效果，我们设计了一系列实验，系统研究了电解条件对氨氮去除率和盐度变化的影响。

（一）实验设计和方法

（1）实验装置与材料

实验装置主要由电解槽、电源、电极、搅拌装置和测量仪器

组成。电解槽采用耐腐蚀材料制成，容积为 1L，能够承受高盐废水的腐蚀。电源采用直流电源，电压和电流可调。电极材料选用钛基铂电极（Ti/Pt）、钛基铱钽电极（Ti/IrO₂-Ta₂O₅）和硼掺杂金刚石电极（Boron-doped Diamond, BDD）等，这些电极具有高催化活性和稳定性。实验用废水为模拟燃煤电厂高盐氨氮废水，主要成分为氯化钠（NaCl）和氨氮（NH₄⁺-N）。

（2）实验方法

实验分为预处理、主处理和后处理三个阶段。预处理阶段主要是将模拟废水调节至所需的初始 pH 值和氨氮浓度，主处理阶段通过电化学氧化法对废水进行处理，后处理阶段对处理后的废水进行分析和测量^[6]。

在主处理阶段，向电解槽中加入 1L 模拟废水，调节初始 pH 值为 7.5，氨氮浓度为 100mg/L，NaCl 浓度为 10g/L。启动搅拌装置，使废水均匀混合，开启直流电源，调节电流密度为 20mA/cm²，反应时间设定为 2 小时。在反应过程中，每隔 30 分钟取样一次，测量氨氮浓度、总氮浓度、氯离子浓度和氧化还原电位（ORP）等参数。

（3）数据分析与处理

实验数据采用逐步回归分析法和响应面分析法进行处理，确定各因素对氨氮去除率的影响及其最优操作条件^[7]。通过分析各取样点的氨氮浓度变化，计算氨氮的去除率，研究不同电极材料、初始 pH 值、电流密度和反应时间对氨氮去除效果的影响。

（二）实验结果和数据分析

（1）电极材料对氨氮去除效果的影响

实验结果表明，不同电极材料对氨氮的去除效果存在显著差异，以 Ti/Pt 电极为例，在初始 pH 值为 7.5、电流密度为 20mA/cm²、反应时间为 2 小时的条件下，氨氮的去除率达到 82%。而采用 Ti/IrO₂-Ta₂O₅ 电极和 BDD 电极时，氨氮的去除率分别为 75% 和 91%，由此可见，BDD 电极在氨氮去除方面表现出最佳的催化活性。

（2）初始 pH 值对氨氮去除效果的影响

实验发现，初始 pH 值对氨氮的去除效果有显著影响，当初始 pH 值在 4.0 至 9.0 范围内变化时，氨氮的去除率随 pH 值的升高呈现先升高后降低的趋势^[8]。以 BDD 电极为例，当初始 pH 值为 7.5 时，氨氮的去除率最高，达到 91%；而当 pH 值降低至 4.0 或升高至 9.0 时，去除率分别降至 65% 和 70%。这可能是因为在中性条件下，氨氮更容易被电化学氧化为氮气（N₂）和硝酸盐（NO₃⁻）。

（3）电流密度对氨氮去除效果的影响

电流密度是影响电化学氧化过程的重要参数。实验结果显示，随着电流密度的增加，氨氮的去除率逐渐升高。当电流密度从 10mA/cm² 增加至 30mA/cm² 时，氨氮的去除率从 78% 增加至 95%。然而，当电流密度进一步增加至 40mA/cm² 时，去除率仅略微增加至 97%。这表明在一定范围内，增大电流密度可以显著提高氨氮的去除效果，但超过一定范围后，去除率的增加趋于平缓。

（4）反应时间对氨氮去除效果的影响

反应时间是决定电化学氧化过程效率的关键因素之一。实验

数据表明,随着反应时间的延长,氨氮的去除率逐渐增加。在初始 pH 值为 7.5、电流密度为 20mA/cm² 的条件下,当反应时间从 0.5 小时延长至 1.5 小时,氨氮的去除率从 60% 增加至 85%;而当反应时间进一步延长至 2 小时,去除率达到 91%。这表明适当延长反应时间有助于提高氨氮的去除效果,但反应时间过长可能导致能耗增加,经济性下降^[9]。

(5) 其他因素的影响

实验还研究了氯离子浓度、溶液温度和搅拌速度等因素对氨氮去除效果的影响。结果表明,氯离子浓度对氨氮去除有显著促进作用。当 NaCl 浓度从 5g/L 增加至 20g/L 时,氨氮去除率从 80% 提高至 95%。溶液温度对氨氮去除效果也有一定影响,当温度从 20℃ 升高至 40℃ 时,氨氮去除率从 85% 增加至 92%。搅拌速度的影响较小,但为了确保废水均匀混合,建议采用适当的搅拌速度。

(三) 实验结果对电化学氧化法的应用和改进的启示

实验结果表明,电化学氧化法在处理燃煤电厂高盐氨氮废水中具有显著的应用潜力。然而,为了进一步提升其应用效果,尚需在多方面进行优化和改进。

其一,从电极材料的选择来看,BDD 电极在氨氮去除方面表现出优异的催化活性,明显优于 Ti/Pt 和 Ti/IrO₂-Ta₂O₅ 电极。因此,在实际应用中,选择高效的电极材料如 BDD 电极是提高氨氮去除效率的关键。同时,研发和应用新型电极材料,如掺杂贵金属或使用复合材料,也将进一步提升电化学氧化法的处理效果和经济性。

其二,初始 pH 值对氨氮去除效果影响显著。实验结果显示,在中性条件下 (pH 7.5) 氨氮去除率最高。这提示在实际操作中,应通过调节废水的 pH 值至最佳范围来优化处理效果。而且,探索在不同 pH 值条件下的反应机理,进一步理解氨氮氧化过程中涉及的化学反应,对于提升工艺效果 also 具有重要意义。

其三,电流密度的合理设置对氨氮去除具有重要影响。实验

显示,增大电流密度在一定范围内能显著提高氨氮去除率,但过高的电流密度带来的边际效益递减,并伴随着能耗的增加^[10]。因此,实际应用中应在电流密度和能耗之间寻求最佳平衡点,确保经济高效地处理高盐氨氮废水。

其四,反应时间同样是影响处理效率的重要因素,适当延长反应时间能够显著提高氨氮的去除率,但过长的反应时间会导致处理成本上升。因此,在工业应用中,应根据实际废水处理量 and 处理目标,优化反应时间,以实现高效且经济的治疗效果。此外,结合在线监测和控制系统,实时调整反应时间也是提升处理效率的有效手段。

其五,氯离子浓度对氨氮去除具有显著促进作用,实验表明,增加 NaCl 浓度能有效提高氨氮去除率。因此,在高盐废水处理中,可以考虑适当增加电解质浓度,以增强电化学氧化的效果。然而,这也要求在设计电解槽时,充分考虑高盐环境对设备材料 and 操作条件的要求,来保证长期稳定运行。

综合来看,电化学氧化法在处理高盐氨氮废水方面展示了优异的性能,但其应用效果受多种因素的影响。为了实现更高效的废水处理,需要综合考虑电极材料、初始 pH 值、电流密度、反应时间、氯离子浓度和温度等因素,进行系统优化。同时,结合其他处理方法,如生物处理、膜分离等,形成联合工艺,也将显著提升整体处理效果。

结语:

本文研究了电化学氧化法在燃煤电厂高盐氨氮废水处理中的应用,通过实验优化了电流密度和电解时间等操作参数,显著提高了氨氮去除率。结果表明,电化学氧化法在高盐环境下的应用具有潜在优势,但也需结合其他处理技术以弥补其减盐效果的不足。未来的研究应继续探索电极材料的优化和工艺的联合应用,以实现更高效和经济的工业废水处理解决方案。

参考文献:

- [1] 王亮,钱晓峰,孙伟钢,等. 电化学氧化法处理燃煤电厂高盐氨氮废水研究 [J]. 水处理技术, 2020(012):046.
- [2] 王德鑫,金光,王健. 基于电化学氧化法处理燃煤电厂高盐氨氮废水的分析 [J]. 化工管理, 2023(20):49-51.
- [3] 李伟,丁晶,赵庆良,等. 电化学间接氧化法用于低浓度氨氮废水处理的研究 [J]. 黑龙江大学自然科学学报, 2014, 31(5):5.
- [4] 桑建伟,黄家榜,刘畅,等. 电化学氧化法处理氨氮废水的实验研究 [J]. 环境科学导刊, 2023, 42(5):42-44.
- [5] 高强生,冯向东,徐浩然,等. 电化学氧化法在电厂氨氮废水处理中的应用 [J]. 中国科技期刊数据库工业 A, 2022(7):4.
- [6] 陈菊香,马智博,元月. 焦化废水氨氮去除方法的研究进展 [J]. 广东化工, 2014,41(1):73-74.
- [7] 曾鹏,洪侃,徐建兵,等. CaO-CaCl₂(2) 混凝沉淀结合电化学氧化法去除钨冶炼高盐废水中的氟和氨氮 [J]. 中国钨业, 2023, 38(3):66-71.
- [8] 尚鸿艳,曹兆娟,尚快乐. 电化学氧化协同吹脱法去除苯基胍废水中氨氮的实验研究 [J]. 山东化工, 2022, 51(18):213-215.
- [9] 张沈怡佳,陈峰,高卫国,等. 吹脱-电化学催化氧化组合工艺去除地下水中氨氮 [J]. 环境工程学报, 2023, 17(6):1860-1867.
- [10] 袁梦,郑雅允,谭小琪,等. 微波法制备四氧化三铁/粉末活性炭粒子电极及其在三维电化学氧化中处理氨氮废水的研究 [J]. 化工新型材料, 2022(002):050.

汽轮机燃气发电系统的热力性能研究

王禹

辽宁清河发电有限责任公司, 辽宁 铁岭 112003

摘 要 : 作为动力系统的核心部件, 涡轮的好坏对机组的经济性、可靠性和安全性都有很大的影响。本文拟以 300 MW 燃气轮机机组为研究对象, 基于 Ebsilon 有限元分析平台, 针对燃气轮机机组在不同运行条件下的热工特性开展深入研究, 获得燃气轮机机组各个参数对其热力特性的影响规律。随着环境保护的不断加强, 天然气这一洁净能源的使用日益广泛。当前, 我国燃煤电厂采用的是“气-汽”组合循环发电方式, 其热工特性研究对于电厂节能减排具有十分重要的意义。为此, 本文对其热工特性做了较为深入的研究。

关 键 词 : 汽轮机燃气; 发电系统; 热力性能

Study On The Thermal Performance Of Steam Turbine Gas Power Generation System

Wang Yu

Liaoning Qinghe Power Generation Co., LTD., Liaoning, Tieling 112003

Abstract : As the core component of the power system, the quality of the turbine has a great impact on the economy, reliability and safety of the unit. This paper intends to take the 300 MW gas turbine unit as the research object, based on the Ebsilon finite element analysis platform, to carry out in-depth research on the thermal characteristics of the gas turbine unit under different operating conditions, and to obtain the influence law of each parameter of the gas turbine unit on its thermal characteristics. With the continuous strengthening of environmental protection, natural gas, as a clean energy source, is increasingly widely used. At present, China's coal-fired power plants adopt the "gas-steam" combined cycle power generation mode, and the thermal characteristics are of great significance for the energy conservation and emission reduction of power plants. Therefore, the thermal characteristics are studied deeply.

Keywords : steam turbine gas; power generation system; thermal performance

引言

天然气-水蒸气组合循环发电技术是当前国际上最为先进的一种发电模式, 已被大量采用。它是一种将热力循环、蒸汽动力循环与透平结合在一起的系统, 利用燃气轮机将燃油燃烧产生的热能传输到蒸汽涡轮, 使其运转, 最终驱动发电机发电。组合循环机组的机组是机组的核心部件, 机组的热工特性对机组整体运行状态有很大的影响。该机组可在设计条件下平稳工作; 但是, 一旦系统失效, 机组将发生严重故障, 使机组不能正常运转。为此, 对机组的热工特性进行了深入的研究, 并对其进行了分析。本文从汽轮机组热力性能出发, 研究燃气轮机机组各参数对联合循环热力性能的影响。

一、燃气轮机机组工况参数的确定

在查阅有关资料的基础上, 得出涡轮工作压力、膨胀比、效率、涡轮效率和推力等主要参数。文中选择了最大压力比(V_{max})、最大推力(F_{max})作为燃气涡轮机组的工作参数。在不同的工作条件下, 其热效率也是不同的。通过查阅有关资料, 发现压缩机的效率随增压比、增压比的增加而增加, 但太大或太小都不利于其热效率的提高。在其他参数不变的情况下, 当负载

增大时, 压缩空气压缩机的压比、膨胀比都会提高, 从而提高了机组的热效率; 但当负荷超过某一值后, 机组热效率将会降低。

在目前的涡轮及透平中, 主要采取如下几种方法来提高其效率: 多点进汽法, 增大透平压力比; 提高废气反压力, 改善涡轮效率; 利用高压、高压缸排出气体进行循环利用, 以提高燃气轮机的效率; 使用高温、高压蒸气, 以改善涡轮效能; 为了改善燃烧效果, 向燃烧室内添加了高温、高压水蒸气。然而, 与其它传统电力系统相同, 涡轮燃气发电机组也存在两大基本循环: 一

* 作者简介: 王禹, 1983.6.11, 男, 汉, 辽宁开原, 本科, 职称是助理工程师、技师, 研究方向: 汽轮机本体检修。

是热循环，二是非热循环。^[1]

（一）燃烧过程

在燃烧过程中，燃油在燃烧室中充分燃烧是需要热量的，其生成方式分为三种：一是在燃烧过程中将化学反应能转换成热能，另一种是在燃烧过程中进行扩散。三是将化学反应能转换成热能，从而实现对燃油的有效利用。但在实际生产中，其化学能损失的主要是热能而非热能。为此，在燃烧室中添加高温、高压蒸气，以改善燃烧效率。

（二）膨胀过程

在进汽阀之前，水蒸气与高压燃气发生膨胀，产生膨胀功，带动发电机转子旋转。随着温度的提高，工作体积的尺寸逐渐减少，而与之对应的蒸气压也随之下降。循环初期，压力随温度的增加而降低，但随时间的推移，压力增加，并在一定程度上出现峰值。从图2可以看出，在一定的操作体积中，随着温度的增加，气体压力降低。

（三）蒸发过程

燃气轮机是一种在1350℃废气中由燃气喷射而成的高温、高压气体，在进入燃烧室后，与燃气发生点火反应，形成一种高热、高压的气体，推动燃气轮机工作。高温、高压蒸气（以下简称“饱和蒸汽”）在燃烧过程中与气体发生反应，生成高温、高压气体，其中一部分在燃烧室中以分子形态赋存，另一部分则以水蒸气的形态赋存于汽轮机内部。蒸发是指在热动力循环中，蒸汽发生的一种过程，也就是将蒸气从汽轮机排出，使其处于饱和状态。

（四）膨胀功与燃气的比功

在燃气轮机的运作过程中，当燃气被压缩后，它所产生的额外能量便转化为了一种动能。这种由燃气膨胀而生成的能量，由于其未被传统热力系统中热能转换的方式所吸收和利用，因此我们将其定义为非热力循环中的膨胀功。膨胀功是一个关键的概念，因为它揭示了燃气轮机在运行时的一些独特特征和效率提升的潜力。通过理解和计算膨胀功，工程师可以更好地优化燃气轮机的设计，从而提高能源使用效率，减少燃料消耗，并确保设备以最经济的方式运行。^[2]

（五）汽轮机的效率

作为动力装置的核心部件，涡轮的效率就是某一特定工作条件下的效率。在汽轮机各项参数中，效率是最为关键的一个，它的数值的大小对机组的整体经济性能有很大的影响。试验结果表明，该机组在设计工作状态下的效率为85.29%，其效率随涡轮转速的提高而下降。在各种运行条件下，燃气轮机组的热效率几乎没有变化，这说明了燃气轮机在设计条件下的热效率是很高的。当燃气轮机转速达到2000r/min时，热效率最低；当燃气轮机转速达到3000r/min时，热效率最低。因此在实际运行过程中，应根据具体情况进行优化控制，使燃气发电系统能够在设计工况下正常运行。

二、汽轮机燃气发电系统

（一）燃料

该系统以天然气为燃料。天然气是一种低碳、清洁、高效的

能源，其主要特点是将天然气的燃烧过程转化为高温、高压的气体，并通过热辐射、对流等方式释放到大气中，从而形成一种新型的热能。另外，也可以通过燃烧反应产生水，二氧化碳，一氧化碳，氢气等。天然气作为一种新型的绿色能源，具有较高的能量密度、较高的燃烧热值和较高的热效率。但是，天然气中存在大量的甲烷、氨气等杂质，如果不进行有效治理，就会造成严重的环境污染。^[3]因此，必须对燃气进行净化处理。燃气净化技术包括：预处理、过滤和精加工。

（二）热交换器

煤气发生器的换热器必须有足够大的流速，以便在小负载情况下仍能提供充足的流量。对于燃气轮机的换热器，其设计要求是：在额定工作条件下，不发生过热、过冷^[4]。在此基础上，提出了一种具有较强的自适应调节功能的新方法。气体发生器的换热器可以被设计为如下各种形式，这取决于不同的条件：

（1）常规板式热交换器：因为燃气轮机的高速旋转，板管式换热器对气流产生了很大的阻力。

（2）多层板式换热器：采用多层板式换热器，可以减小流体的阻力，使其具有更大的流量。

（3）多层不锈钢板式换热器：它可以应用在燃气轮机上，因为它的流阻很低。

（三）透平机

汽轮机是天然气动力装置中的核心装置，其主要作用是将气体和水蒸气进行热量交换，并将两种能量相互分离。涡轮为二级或三级压气机，为适应不同的工作条件，在不同的工作条件下工作。汽轮机通常有单转子、双转子和复转子等多种形式。单、双转涡轮各有其应用领域，但都有各自的优势和不足。目前，火力发电厂普遍采用复转子涡轮代替单转子涡轮。复转子涡轮与单转涡轮的结构相似，但无低压转子，也不受限于增压比。复转子透平机也有其缺点：不能用于高、低压联合循环；只能用于中低压循环；只能用于定压运行。^[4]

（四）燃气轮机

燃气轮机包括压缩机，燃烧室和涡轮机。压气机是利用高速转动的叶轮，把空气压缩为高压燃气，然后在压气机入口附近加入一定的压缩空气，然后再进行膨胀。气体在经过压缩机后，与气体混合燃烧，形成了一种高温、高压的气体，再经过涡轮增压，带动发动机工作^[5]。通常，燃气轮机的效率在60%—70%之间，最高的80%。燃气轮机的出力直接关系到压气机和透平等设备的设计。另外，为了避免在掺气过程中在压气机进气道与透平口之间产生混合气，造成堵塞，透平采用了多种措施。另外，燃气轮机通常所使用的燃油是天然气，LPG等。

三、汽轮机燃气发电系统的热力性能

汽轮机燃气发电系统的热力性能，是指该系统在运行过程中所表现出来的各种能量转换效率和热力学特性。这包括了它对输入能源（如蒸汽、天然气等）进行有效利用和转换为电能的能力，同时也涉及系统内部的热能管理以及热损失的控制。这些性

能指标直接影响着整个系统的经济效益、环境友好程度以及长期稳定性^[6]。通过精确测量和分析汽轮机发电系统的热力性能,可以优化其设计和操作,提高能效,减少能源浪费,并确保长期稳定的电力供应。

(一) 燃气轮机的效率和热效率

在实际工作中,汽轮机的效率、燃气轮机组件的泄漏、系统其它部分的泄漏等都会影响到燃气轮机的效率和热效率。燃机机组是一种非常复杂的热力系统,要想改善其运行特性,就必须采取相应的措施,减少损失,提高其运行效率。一般来说,为了减少损失,可以采取下列措施:减少操作时的燃油、煤气的发热量;调整汽轮机各个部分间的漏损;改善燃油机组的工作性能;改进汽轮发电机组和其他部件的结构,以提高燃烧效率。^[7]

(二) 燃气蒸汽联合循环

燃气轮机联合循环是一种利用燃气和水蒸气共同工作来推动汽轮机工作的技术。燃气轮机将高温燃气转化为高温、高压的过热蒸汽,推动汽轮机工作,是燃气轮机的核心部件。该组合循环是利用汽轮机工作后的高温、高压蒸汽,推动涡轮作功,透平再驱动发电机发电,从而实现机组的动力输出^[8]。该组合循环由燃气轮机、汽轮机、发电机组三部分构成。涡轮与蒸汽发动机产生的高温、高压过热蒸汽,分别带动涡轮发电机与发电机,使之转换成电能。

燃气轮机、蒸汽机、汽轮发电机组是燃气轮机联合循环发电系统中的主要组成部分,它们之间的合理匹配关系对于整个系统的性能有很大的影响。下面我们将从几个方面来分析燃气蒸汽联合循环。

(三) 压气机的效率

压气机在燃气轮机系统中扮演着至关重要的角色,它是将外部气体转化为高温高压燃气的核心设备。由于其工作效率直接影响到燃气轮机的整体热力性能,包括动力输出、热效率以及可靠性等方面,因此,优化和提高压气机的性能对于确保整个系统稳定运行至关重要^[9]。通过不断改进设计和工艺,可以显著提升压气机的性能,从而保证燃气轮机能够高效地提供所需的动力,满足各种严苛的工作条件,实现能源的有效利用和环境保护的双重目

标。在计算中,由于压气机是一个封闭流动系统,为了减少压气机内部的流动损失,采用了等压循环的方法。该方法是在压气机入口与出口之间加入一个环形回路,使得入口。出口之间存在一个压力差,从而降低了压气机内的流动损失。

(四) 发电机的效率

机组的效率波动对机组的效率有很大的影响,机组在不同的工作状态下,机组的效率会随着机组载荷、负载比的变化而改变。燃气-蒸气组合循环机组在不同工作状态下,其工作模式及燃料种类均有差异,从而使机组的效率也随之改变,从而对机组的发电效率产生一定的影响。^[10]

以一台300 MW机组为例,计算结果表明,在各种载荷条件下,机组的最佳转速为1620 r/min;在低载率条件下,机组的最佳转速为1440 r/min;当燃气轮机组的负荷率较高时,燃气轮机组的最优转速为1520r/min。

结语

本文以300 MW机组为背景,利用 Ebsilon 有限元软件,对其进行了热力特性分析。主要结果是:涡轮在30%的工作条件下,随着涡轮入口温度的增加,系统的热效率、压强比逐渐减小,而在同样的入口温度下,随着涡轮压力的增加,其热效率、压强都有所下降。涡轮在50%工作状态下,其热效率、压缩比随涡轮压强、涡轮转速增加而先增加后降低。

从以上分析可以看出,汽轮机燃气发电系统的效率受到许多因素的影响,在本文中,深入探讨了提升燃气轮机效率的关键途径。通过细致的分析,着重讨论和比较了多种技术手段,旨在发现并实施那些能够显著增强能效的方法。此外,文章还对汽轮机在燃气发电系统中的核心组成部分——热力循环进行了详尽的研究与阐述。这些循环涉及燃料的燃烧、热能的转换以及机械能的输出等复杂过程,对整个系统效率的提高起到了至关重要的作用。通过这样全面的分析和研究,不仅为现有的燃气轮机改进提供了理论支持,同时也为未来的设计和开发指明了方向。

参考文献:

- [1] 夏小勇,刘浩磊,谢为良,等. 汽轮机冷态预暖在燃气-蒸汽联合循环发电机组中的应用[J]. 燃气轮机技术, 2023,36(03):69-72.
- [2] 吴静. 大型燃气-蒸汽联合循环机组主机选型及配置探讨[J]. 发电设备, 2023,37(03):166-170.
- [3] 王攀. 燃气-蒸汽联合循环机组第二台循环水泵运行方式优化[J]. 新型工业化, 2022,12(08):51-54.
- [4] 王庆国,毛文江. 海上平台燃气轮机发电机组滑动轴承异常磨损故障分析[J]. 机电工程技术, 2022,51(04):251-254.
- [5] 吴光明. 燃气-蒸汽联合循环机组协调控制策略设计[J]. 仪器仪表用户, 2021,28(12):97-100.
- [6] 郭珊. 燃气发电抽气回热给水及煤气系统热参数优化[D]. 河北省:华北理工大学, 2021.DOI:10.27108/d.cnki.ghelu.2021.000900.
- [7] 曾勇,张凤阳,徐灿君,等. 50MW 光热电站汽轮机热力系统分析[J]. 汽轮机技术, 2021,63(05):343-345+396.
- [8] 徐灿君,张岗,曾勇,等. 光热发电系统蓄热及汽轮机运行特性研究[J]. 化工机械, 2022,49(01):103-109.
- [9] 丁建博,张宇,冯松,等. IGCC 汽轮机旁路系统性能优化[J]. 广东电力, 2023,36(04):124-130.DOI:10.3969/j.issn.1007-290X.2023.04.014.
- [10] 郭亮. 火力发电厂汽轮机组抽真空系统设计优化研究[J]. 电力设备管理, 2023,(21):74-76.

电厂集控运行控制模式及应用技术

卢昔礼

国家电投集团贵州金元绥阳产业有限公司，贵州 遵义 563000

摘要： 电力作为驱动现代社会进步的核心动力，其生产和供应的稳定与高效成为国家发展与人民生活品质提升的关键因素。电厂，作为电力的“制造工厂”，其运行效率与安全控制直接关联到能源供应链的稳定性和经济的可持续发展。在这样的背景下，电厂集控运行控制模式及其应用技术的革新与发展，成为行业内外关注的焦点。集控运行模式，作为现代电厂管理的核心策略，旨在通过高度集成的信息技术手段，实现对电厂生产全过程的实时监控、精确控制和智能优化，从而达到提升生产效率、保障运行安全、减少环境污染和节能降耗的目的。本文就电厂集控运行控制模式及应用技术展开探讨。

关键词： 电厂；集控运行；控制模式；应用技术

Power Plant Centralized Control Operation Control Mode And Application Technology

Lu Xili

State Power Investment Group Guizhou Jinyuan Suiyang Industry Co., Ltd., Guizhou, Zunyi 563000

Abstract： As the core driving force for modern social progress, the stability and efficiency of electricity production and supply have become key factors for national development and the improvement of people's quality of life. Power plants, as the “manufacturing factories” of electricity, their operational efficiency and safety control are directly related to the stability of the energy supply chain and the sustainable development of the economy. In this context, the innovation and development of the centralized control operation control mode and its application technology in power plants have become a focus of attention both inside and outside the industry. The centralized operation mode, as the core strategy of modern power plant management, aims to achieve real-time monitoring, precise control, and intelligent optimization of the entire production process of power plants through highly integrated information technology means, thereby improving production efficiency, ensuring operational safety, reducing environmental pollution, and energy conservation and consumption reduction. This article explores the operation control mode and application technology of centralized control in power plants.

Keywords： power plant; centralized control operation; control mode; applied technology

引言：

随着科技的进步与工业自动化的飞速发展，现代电力生产领域正经历着一场深刻的变革，其中，电厂集控运行控制模式及其应用技术的革新尤为瞩目。随着信息技术与自动化技术的飞速进步，传统的电厂运行模式已逐步让位于更为先进的集控运行控制模式^[1]。这一转变不仅体现在控制技术的智能化、网络化，还体现在管理模式的集中化、精细化。从分散模式的灵活应变，到分等级控制模式的精妙设计，再到通信技术支撑下的远程控制与信息共享，每一步进化都深刻反映了现代工业对高效能、高安全、高适应性的不懈追求。随着技术的不断进步和电力市场的变化，这两种控制模式还将不断融合创新，向着更高水平的自动化、智能化方向发展，为实现更加安全、高效、绿色的能源供应贡献力量。

一、电厂集控运行控制模式安全运行的根本

电厂集控运行控制模式的安全运行，不仅是技术层面的挑战，更是对管理、操作规程及人员素质的综合考验。DCS作为现代火电厂的核心，通过高度集成的自动化技术，实现了对全厂各

工艺环节的精确控制与监视。其安全运行的根本，首先在于系统的可靠设计与配置，包括硬件的冗余设置、软件的容错机制以及网络通信的安全防护，确保在任何单点故障情况下，系统仍能稳定运行，维持电厂的基本功能不受影响^[2]。明确的操作流程、紧急情况的预案以及定期的应急演练，能够有效提升操作人员对突发

* 作者简介：卢昔礼，1991年7月，男，汉族，大专，助理工程师

事件的应对能力，减少人为误操作的风险。同时，实施严格的权限管理，确保只有经过充分培训与授权的人员才能对系统进行关键操作，这是防止不当干预、保障系统稳定性的关键措施。

二、电厂集控运行控制模式

（一）分散控制模式

分散控制模式，顾名思义，是将控制功能分散到多个独立的控制单元中，每个单元负责特定的子系统或设备的监控与调节。这一模式的核心在于利用先进的电子通信技术和计算机技术，实现对整个电厂运行状态的远程和分布式控制。与传统的集中式控制相比，分散控制模式展现出更高的灵活性和可靠性^[3]。在分散控制模式下，每个控制单元都能独立完成数据采集、处理和执行控制命令，这不仅减轻了中央处理器的负担，还增强了系统的抗干扰能力和故障隔离能力。比如，在火电厂中，分散的控制单元可以分别管理锅炉、汽轮机、发电机等关键设备，确保即使某一部分出现故障，也不至于影响整个系统的正常运行，从而大大降低了事故范围和影响程度。实现分散控制模式的关键在于高性能计算机系统的应用，以及对当地实际工况的精确匹配^[4]。这要求控制软件不仅要具备强大的数据处理能力，还要能够根据温度、压力、负荷等实时变化，动态调整控制策略。此外，确保发电机组控制的稳定性是分散控制模式成功实施的基础，包括定期检查发电机组电源的稳定性、监测信号发放的准确性，以及维护一个稳定可靠的电源信号环境，都是分散控制模式运行维护中不可或缺的部分。

（二）等级化控制模式

等级化控制模式是在分散控制模式基础上的进一步精细化管理，它通过将控制层次结构化，按照管理职能和责任的不同，将控制任务分配给不同级别的控制单元，形成一个多级指挥与反馈系统。这种模式不仅继承了分散控制模式的灵活性，还在管理效率和决策速度上实现了显著提升。等级化控制模式的精髓在于“分而治之”。它将复杂的电厂运行管理分解为一系列层级清晰、职责明确的任务，每个层级都有其特定的控制目标和优化策略^[5]。例如，顶层可能关注整体的发电策略和电网调度，中层则负责设备效率优化和维护计划，底层则专注于实时监控和即时故障响应。这样的分层设计不仅简化了决策流程，还确保了指令传达的高效性和准确性。为实现等级化控制模式，通信技术的应用至关重要。通过构建高速的数据传输网络，确保信息能在各级控制单元间快速流通，使得决策层能够及时获取现场数据，快速做出反应。同时，引入现代信息技术，如云计算、大数据分析，可以对海量数据进行深度挖掘，为管理决策提供科学依据，推动电厂管理向智能化、精细化迈进。

三、电厂集控运行控制应用技术

（一）通信技术

通信技术在火电厂集控运行控制中的应用，是现代电力工业智能化、信息化进程的重要标志。它不仅构建了数据传输的桥

梁，还促进了火电厂内部管理与外部协调的无缝连接，为提升生产效率 and 安全性开辟了新的路径。通信技术作为数据传输的中枢神经，确保了火电厂运行数据的准确、快速传递^[6]。在集控室内，操作员通过高分辨率显示屏实时查看从现场设备收集来的数据，包括温度、压力、负荷变化等关键指标。这些数据经过高速通信网络的瞬时传输，使得操作员能够对机组状态有全面且即时的掌握，及时调整运行参数，预防潜在故障，有效避免了因信息滞后导致的操作失误，显著提高了火电厂运行的可靠性和经济性。

通信技术强化了火电厂内部各部门间的协同作业能力。在日常维护、故障排查乃至大规模检修过程中，高效的通信机制使得现场工作人员与集控室、管理部门之间能够实现即时信息交流与资源共享。例如，当设备监测到异常信号时，可通过无线通信系统立即通知维护团队，团队成员即使身处不同位置也能迅速集结并采取行动^[7]。此外，管理层借助通信技术可实时掌握全厂运行状况，快速决策，调配资源，特别是在应对突发事件时，这种即时响应机制能大幅缩短故障处理时间，保障电力供应稳定。通信技术的进步尤其是物联网和5G技术的应用，为火电厂集控运行控制带来了革命性的改变。物联网技术通过在设备上部署各类传感器，实现了设备状态的全方位、全天候监测，加之5G技术提供的超低延迟、大带宽通信能力，使得远程控制和预测性维护成为可能。维护团队可以在第一时间接收到设备预警信息，甚至在问题发生前即采取措施，大大降低了非计划停机的概率，提高了设备的可用性和使用寿命。同时，这些技术还为智能算法和人工智能在火电厂中的应用奠定了基础，比如通过机器学习算法分析历史数据，优化运行策略，进一步提升能源使用效率和环保性能。

（二）自动化调控技术

自动化调控技术在火电厂集控运行中的深度融入，不仅是对传统生产模式的一次革新，也是迈向智慧能源时代的关键步伐。该技术以先进的计算能力、高度敏感的传感器网络和精密的控制逻辑为核心，对火电厂的每一个生产环节进行精细化管理和优化，其意义远不止于简单的效率提升，更是对能源安全、环境保护以及经济效益三者平衡的深度探索。

在煤炭输送环节，自动化调控技术通过安装在皮带秤、破碎机等关键设备上的传感器，实时监测煤量、煤质变化，结合智能算法预测和调整进料速率，确保燃料供给的连续性和稳定性，减少了人工干预的误判风险，同时优化了库存管理，降低了运营成本^[8]。燃烧过程的自动化调控尤为关键，它直接关系到热效率和排放水平。通过集成的控制系统，对炉膛温度、氧含量、燃料空气比等参数实施精准控制，不仅提高了燃烧效率，降低了燃料消耗，还有效减少了氮氧化物、二氧化硫等有害气体的排放，符合现代环保要求，体现了绿色生产的理念。锅炉调节方面，自动化系统能够根据蒸汽需求变化，自动调节水位、压力等参数，维持锅炉运行的最佳工况，减少了热应力对设备的损害，延长了设备寿命，同时也保障了蒸汽品质，确保了后续汽轮机的高效运转。至于汽轮机控制，自动化技术的应用实现了对转速、负荷的精细调节，确保在电网需求波动时，火电机组能够迅速响应，参与调频调峰，提高整个电网的稳定性^[9]。同时，通过实时监控振动、油

保了电力供应的连续性和稳定性。

安全方面，远程控制技术同样展现出了其独特价值。通过设置多重安全防护机制，如访问权限控制、数据加密传输、故障自动隔离等，有效防止了外部攻击和内部误操作，构建了一张严密的安全防护网。同时，紧急情况下，远程控制系统能迅速启动应急预案，自动或半自动执行紧急停机、切换备用设备等操作，最大限度地减少了安全事故的发生和影响。此外，计算机远程控制技术还为火电厂的节能减排提供了技术支撑。通过精准调控燃烧效率、优化运行策略，系统能够有效降低煤耗，减少污染物排放，符合当前全球倡导的低碳环保趋势。

结束语：

总而言之，集控运行模式作为大型火电厂运行管理的核心，它不仅代表了电力生产自动化与智能化的高水平集成，更是提升生产效率、确保安全运行、优化资源配置的关键所在。电厂集控运行控制模式及其应用技术的发展，是科技进步与工业实践紧密结合的产物，它不仅见证了电力行业向智能化、绿色化转型的历史进程，也为未来能源体系的优化与升级提供了宝贵的经验与启示。随着物联网、大数据、人工智能等新兴技术的深度融合，集控运行模式的智能化程度将进一步加深，其在提升生产效率、优化资源配置、增强系统灵活性及保障环境友好性方面的潜力将被更大限度地挖掘出来。面对全球气候变化与能源转型的挑战，火电厂集控运行控制技术的持续创新与应用，将成为推动传统能源行业向低碳、高效、清洁转型的重要力量。

- [1] 姜玉成. 电厂集控运行控制模式及应用技术分析 [J]. 电子技术与软件工程, 2015(6):1.
- [2] 何杰. 电厂集控运行控制模式及应用分析 [J]. 现代工业经济和信息化, 2022, 12(1):3.
- [3] 田立智. 火力发电厂集控运行节能降耗技术措施分析 [J]. 科学与信息化, 2023(21):13-15.
- [4] 文发红. 火力发电厂发电机组集控运行技术应用研究 [J]. 光源与照明, 2022(006):000.
- [5] 高琪. 火力发电厂发电机组集控运行技术应用研究 [J]. 中文科技期刊数据库 (全文版) 工程技术, 2022.
- [6] 李志鹏. 解析电厂集控运行与机组协调控制应用 [J]. 中文科技期刊数据库 (全文版) 工程技术, 2022(9):3.
- [7] 数学灿. 探析电厂集控运行控制模式及应用技术 [J]. 科技展望, 2017(1): 150.
- [8] 徐海涛. 电厂集控运行控制模式及技术探讨 [J]. 电工技术: 下半月, 2015(11):1.
- [9] 姜峰, 刘剑锋, 孙利. 浅谈电厂中的电气集控运行技术控制模式与优化措施 [J]. 石油石化物资采购, 2020(9):88-88.
- [10] 刘川, 王恒涛, 孙思宇, 等. 论电厂集控运行与机组协调控制应用 [J]. 百科论坛电子杂志, 2020. 000(007):1482-1483.

探讨单元机组集控运行电气操作过程中的危险点

田亮

国家电投集团贵州金元绥阳产业有限公司发电厂, 贵州 遵义 563000

摘要： 随着工业化和信息化进程的不断推进，单元机组集控系统在现代工业生产中扮演着至关重要的角色，单元机组集控系统通过集成控制和监测技术，实现对生产设备的远程控制和管理，极大地提升了生产效率和运行安全性。随着单元机组集控规模的扩大和复杂性的增加，其面临的电气操作安全问题也愈加突出和复杂化。本文分析了电气操作中单元机组集控运行的原理，并探讨了单元机组集控运行电气操作过程中的危险点，在此基础上提出了危险点的规避策略，为加强电力操作与控制中单元机组集控运行效率提供参考性意见。

关键词： 单元机组；集控运行；电气操作；危险点

Exploring The Hazardous Points During The Electrical Operation Process Of Centralized Control Of Unit Units

Tian Liang

State Power Investment Group Guizhou Jinyuan Suiyang Industry Co., Ltd. Power Plant, Guizhou, Zunyi 563000

Abstract： With the continuous advancement of industrialization and informatization, the centralized control system of unit units plays a crucial role in modern industrial production. Through integrated control and monitoring technology, the centralized control system of unit units achieves remote control and management of production equipment, greatly improving production efficiency and operational safety. With the expansion of centralized control scale and the increase in complexity of unit units, the electrical operation safety issues they face are becoming more prominent and complex. This article analyzes the principle of centralized control operation of unit units in electrical operations, and explores the dangerous points in the electrical operation process of centralized control operation of unit units. Based on this, strategies for avoiding dangerous points are proposed, providing reference opinions for strengthening the efficiency of centralized control operation of unit units in power operation and control.

Keywords： unit unit unit; centralized control operation; electrical operation; dangerous points

前言：

在现代工业生产中，单元机组集控系统在电气操作过程中涉及诸多技术和管理挑战，同时也伴随着一系列潜在的安全风险和危险点，随着自动化水平的提升和设备复杂性的增加，这些挑战和风险愈发凸显。单元机组集控系统作为关键设施，其电气操作环节直接影响生产运行的稳定性和安全性^[1]。在操作过程中，出现的电气故障或失控情况，如电气短路、过载、接地故障等，不仅会导致设备损坏和生产中断，还引发火灾、爆炸等严重事故，对生产安全构成直接威胁。通过深入分析和研究这些电气操作中的危险点，可以为相关行业的安全管理和技术人员提供理论依据和实际指导，以减少事故风险，提高生产效率和安全性。

一、电气操作中单元机组集控运行的原理

单元机组集控运行的核心是集中控制系统，主要由计算机硬件、软件和网络通信设备组成的系统，用于实现对多个机组或设备的集中监控、操作和控制^[2]。集中控制系统通常由主控计算机、分布式控制器、人机界面（HMI）以及各种传感器和执行器组成。在单元机组中，各种传感器负责采集设备运行的各种参数和状态数据，如温度、压力、流量、电流等。这些数据通过传感器传输到集中控制系统，用于实时监测和分析设备的运行状况。执

行器则根据集中控制系统的指令，执行相应的控制操作，例如开启或关闭阀门、调节电机转速等。

单元机组集控运行依赖于可靠的数据通信和网络技术。传感器采集的数据通过网络传输到集中控制系统，同时集中控制系统发送控制指令到执行器。常见的通信方式包括以太网、现场总线（如 Profibus、Modbus 等）、无线通信等，确保信息的及时传输和处理^[3]。为了提升运行的安全性，在单元机组集控运行中，系统设计中通常包括多重安全防护机制，如权限控制、故障自动检测与报警、备份与恢复策略等，以确保操作人员和设备的安全，同

* 作者简介：田亮，1991年05月12日，男，本科，助理工程师

时最大程度地减少生产中断。

二、电气操作中单元机组集控运行的危险点

（一）电气安全风险

在单元机组集控运行的电气操作中，电气安全风险直接涉及操作人员的安全和设备的正常运行。电气安全风险主要包括触电风险和电弧放电风险。

触电风险是在接触电气设备或执行操作时最常见的风险。尤其是在高压设备和高电流环境下，操作人员未能正确地隔离电源或使用绝缘工具时，一旦发生故障或误操作，导致电击事故^[4]。严重的触电事故不仅会造成人员伤亡，甚至致命。

电弧闪放电也是电气操作中的重要安全隐患。在开关设备、插拔电缆或进行其他电气连接时，如果电流过大或接触不良，会产生电弧现象。电弧闪放电不仅会损坏设备，还引发火灾，造成生产中断和重大经济损失。此外，电弧闪放电还释放大热量和能量，对操作人员构成严重的灼伤风险。

（二）人为操作因素

单元机组集控运行中的人为操作因素是导致事故和故障的重要原因，潜在的隐患因素主要包括操作人员的技能水平、操作规程的遵守以及人为错误的性，操作人员缺乏必要的技能和经验，无法正确地识别设备状态、执行正确的操作程序或及时应对紧急情况^[5]。例如，在设备操作、设定参数或进行维护时，技能不足导致误操作，从而引发设备故障或安全事故。

操作规程的遵守是保证单元机组集控运行安全的重要环节，操作人员在操作过程中违反操作规程或绕过安全程序，导致设备运行异常或故障。例如，未按规定步骤隔离设备电源、未正确使用个人防护装备或未进行必要的设备检查，都增加事故发生风险。此外，人为错误也是人为操作因素中一个重要的子类别。例如，操作人员因疲劳、压力或缺乏集中注意力而犯错，例如错误操作开关、调整设备设置或处理紧急情况，潜在的错误导致设备受损、生产中断或人员受伤。

（三）外部环境因素

单元机组集控运行中的外部环境因素对设备运行和生产效率也具有显著影响，引发一系列安全和运行风险，所对应的外部环境因素主要包括恶劣天气、自然灾害和环境污染等。

首先，恶劣天气条件如雷电、暴雨、大风等，对电气设备和集控系统造成直接影响。例如，雷击导致设备损坏或电力波动，影响系统的稳定性和运行效率。此外，强风或暴雨导致设备的浸水或吹倒，进一步影响设备的正常运行和安全性。其次，自然灾害如地震、火灾等，也对单元机组集控运行产生重大影响。这些灾害不仅会导致设备的破坏和生产中断，还对操作人员的安全构成威胁^[6]。例如，火灾破坏电气设备或引发电气设备失效，进而影响整个生产过程。除此之外，某些工业环境存在有害气体、化学品或粉尘，这些污染物对电气设备的绝缘性能和电子元件造成损害，导致设备故障或电气事故。

三、电气操作中单元机组集控运行中危险点的规避策略

（一）构建自动化电气监测管理体系

在单元机组集控运行中，构建自动化电气监测管理体系是有效规避危险的重要策略，该体系利用先进的传感器技术、数据采集与处理系统以及智能化软件，实现对电气设备运行状态的实时监测、分析和处理。具体而言，设计阶段需要在关键位置安装各类传感器，如温度传感器、电流传感器、压力传感器等，用于实时监测设备的各项运行参数，传感器通过实时采集数据，并将数据传输到集中控制系统中，实现对设备状态的全面监测。

首先，集中控制系统通过数据采集模块，将传感器采集的数据进行实时处理和分析。这包括数据的存储、比对、趋势分析以及异常检测等功能，通过建立设备运行的基准和预警机制，提前发现设备存在的故障迹象或异常状态。其次，在自动化电气监测系统的设计过程中，可以利用现代网络通信技术，实现远程监控与控制功能。操作人员可以通过安全的网络接入系统，远程查看设备运行状态、调整设备参数或执行紧急措施，有效减少人为操作带来的风险，同时提升响应速度和操作的精准性^[7]。最后，基于历史数据和算法模型，系统可以实现对设备未来运行状况的预测分析，在此基础上通过智能化的预测功能，提前预测设备发生的故障或需维护的时间点，制定优化的维护计划，避免设备突发故障对生产带来的影响。

自动化电气监测管理体系能够实现对设备运行状态的实时监控和精确分析，及时发现和处理异常，降低事故发生的性，且有效减少了人为操作对设备的影响，通过自动化系统实现对设备的智能化控制和管理，减少了操作人员的操作失误风险，在管理与控制阶段，可以围绕预测分析和智能化维护策略的实施，从根本上提升设备的维护效率和运行寿命，降低维护成本和停机损失。

（二）加强人员操作安全培训

在操作人员进行电气岗位之前，需要加强电气安全知识培训，技术人员可以向操作人员传授基础的电气安全知识，包括电气设备的基本原理、电气安全规程、常见电气事故案例及其应对措施等，在此基础上通过理论学习和实际案例分析，增强操作人员的电气安全意识和应急处置能力。培训管理人员需要为操作人员详细介绍设备的操作规程和标准操作程序，包括设备的启停顺序、参数设定、紧急停机程序等。确保操作人员在实际操作中能够严格按照规程进行，减少因操作失误引发的安全事故^[8]。具体而言，针对发生的紧急情况，进行紧急处置演练和应急预案培训，且培训操作人员如何迅速判断和响应紧急情况，采取有效措施保障设备和人员安全，最大程度地减少事故损失。与此同时，结合模拟操作和实地演练，让操作人员掌握实际操作技能和应对突发情况的经验。培训的实效性和针对性，能够有效提升操作人员的应急反应和安全操作水平。

在培训与管理的阶段，定期进行电气安全培训和操作规程培训，保持操作人员的安全意识和技能水平的持续提升，可以结合实际建立培训成效评估机制，通过定期考核和绩效评估，确保培训效果的可持续性和持久性，在此基础上通过培训，促进安全文

化的建设，使操作人员自觉地将安全放在首位，形成全员参与、共同维护安全的良好氛围。

（三）构建定期设备巡检与管理预案

定期设备巡检与管理预案是预防设备故障和提升设备运行稳定性的重要措施，在规定的巡检程序和维护计划实施的基础上，可以及时发现和解决设备存在的潜在问题，有效减少因设备故障引发的生产中断和安全事故。

第一，需要制定详细的设备巡检计划和频次，根据设备的类型和运行情况，确定巡检的时间间隔和内容。巡检内容包括设备的机械部件、电气连接、润滑系统、冷却系统等多个方面，确保设备的全面检查和评估^[9]。其二，巡检过程中，操作人员应当积极记录设备的运行数据和异常现象，如噪音、振动、温度升高等。及时发现和记录这些异常现象，有助于分析问题的根源并及时采取修复措施，防止问题进一步扩大。第三，除了定期的巡检外，还需要建立预防性维护和检修计划。根据设备的使用寿命、制造商的建议以及历史运行数据，制定合理的维护周期和维护内容。这包括更换易损件、润滑油品的更换、设备调整和校准等，以确保设备长期稳定运行。第四，结合设备集控运行的特点制定应急维修预案，明确设备故障时的应急响应流程和责任人员。预案应包括设备停机、安全隔离、紧急维修及恢复生产等具体步骤，

确保在故障发生时能够快速有效地响应和处理，最大限度地减少停机时间和生产损失^[10]。第五，建立完善的技术文档管理制度，包括设备的技术档案、维护记录、巡检报告、维修记录等。确保所有相关的技术资料 and 记录能够及时整理、归档和更新，为设备管理和维护提供必要的依据和支持。

结语：

综上所述，单元机组集控运行中存在的电气操作危险点包括电气安全风险、人为操作因素和外部环境因素。针对电气安全风险，建议通过建立自动化电气监测管理体系，实现设备的实时监测和智能化管理，有效预防电气故障和事故发生。在人为操作因素方面，加强操作人员的安全培训和技能提升，确保其能够准确执行操作规程和有效应对紧急情况。针对外部环境因素，建议构建定期设备巡检与管理预案，包括设备的定期维护和预防性检修，以应对恶劣天气和自然灾害对设备运行的影响，上述综合措施不仅能够提升设备的安全性和稳定性，还能有效保障生产过程的连续性和效率。通过系统的管理和技术手段的应用，能够最大程度地降低电气操作中潜在的安全风险，为火电厂的可持续发展提供坚实的保障和支持。

参考文献：

- [1] 谢康，徐之贤，陈实，等. 单元机组集控运行电气操作过程中的危险点分析和预防措施探讨 [J]. 百科论坛电子杂志，2019, 000(016):247-248.
- [2] 周国梁，王昱丹. 发电厂单元机组集控运行危险点预控分析 [J]. 中国设备工程，2024(006):000.
- [3] 杨晓华. 火电厂单元机组集控运行关键点分析 [J]. 电力安全技术，2023, 25(3):14-16.
- [4] 金凤鸿，常建伟，吕晓娟. 火电厂中的单元机组集控运行研究 [J]. 建筑工程技术与设计，2017, 000(036):1688.
- [5] 郑文舰. 简述单元机组集控运行电气操作过程中的危险点及预防措施 [J]. 市场调查信息，2020, 000(010):P.1-1.
- [6] 刘昊阳，孙贺，乔建平. 火电厂中的单元机组集控运行的探讨 [J]. 中国新通信，2020,22(1):138.
- [7] 杨方万. 探讨单元机组集控运行电气操作过程中的危险点 [J]. 中国高新区，2019(14):93.
- [8] 张玫. 单元机组集控运行电气操作过程中的危险点和预防措施探讨 [J]. 大科技，2018(3):164-165.
- [9] 徐磊. 探究基于 DCS 的大中型火电厂电气控制系统的改造及应用 [J]. 中国科技博览，2015(46):1.
- [10] 马腾. 电厂集控运行控制模式及应用技术分析 [J]. 百科论坛电子杂志，2020, 000(014):1179.

火电厂集控运行节能降耗措施分析

王先锋

国电投集团贵州金元绥阳产业有限公司，贵州 遵义 563000

摘要： 随着全球能源格局的深刻变革与环境保护意识的日益增强，火电厂作为传统能源供应的主力，面临着前所未有的挑战与机遇。在这样的背景下，集控运行作为现代火电厂管理的核心模式，其在节能降耗方面的效能日益凸显。集控运行不仅关系到生产效率的提升，更是实现绿色、低碳转型的关键途径。本文旨在深入探讨火电厂集控运行中的节能降耗措施，通过分析技术革新、管理优化，以及策略调整等多维度策略，揭示如何在确保电力稳定供应的同时，最大限度地减少能源消耗与环境影响，为火电行业的可持续发展提供实践指导与理论支撑。

关键词： 火电厂；集控运行；节能降耗；措施分析

Analysis Of Energy-Saving And Consumption Reducing Measures For Centralized Control Operation Of Thermal Power Plants

Wang Xianfeng

State Power Investment Group Guizhou Jinyuan Suiyang Industry Co., Ltd., Guizhou, Zunyi 563000

Abstract： With the profound transformation of the global energy landscape and the increasing awareness of environmental protection, thermal power plants, as the main force of traditional energy supply, are facing unprecedented challenges and opportunities. In this context, centralized control operation, as the core mode of modern thermal power plant management, has increasingly highlighted its effectiveness in energy conservation and consumption reduction. Centralized control operation is not only related to the improvement of production efficiency, but also a key way to achieve green and low-carbon transformation. This article aims to deeply explore energy-saving and consumption reduction measures in the centralized control operation of thermal power plants. By analyzing multidimensional strategies such as technological innovation, management optimization, and strategy adjustment, it reveals how to minimize energy consumption and environmental impact while ensuring stable power supply, providing practical guidance and theoretical support for the sustainable development of the thermal power industry.

Keywords： thermal power plants; centralized control operation; energy conservation and consumption reduction; measure analysis

引言：

火电厂集控运行的节能降耗措施是多方面、多层次的系统工程，涉及技术进步、管理创新与策略优化的深度融合。从精细化的设备管理到高效的能源利用策略，从智能化技术的引入到人员素质的全面提升，每一步都是向着更高能效、更低排放目标迈进的关键步伐。

一、火电厂集控运行的概念

火电厂集控运行是现代电力生产中的核心管理方式之一，它不仅关乎到能源的有效转换与利用，还直接影响着电力供应的稳定性与安全性。该模式通过高度集成的自动化控制系统，将电厂中分散的各种设备与环节统一监管，实现了对整个生产流程的精细化管理和即时调控。在这一机制下，锅炉、汽轮机、发电机等关键设备不再独立运作，而是通过中央控制室的计算机监控系统紧密相连。操作人员在集控室内即可获取全厂设备的实时运行数

据，包括温度、压力、负荷等关键参数，从而依据这些信息做出快速而精准的操作决策^[1]。这种集中式的管理模式显著提升了反应速度与决策效率，减少了人为失误，同时也优化了人力资源配置，使得少量技术人员就能高效管理庞大的发电设施。为了确保集控系统的稳定性和可靠性，火电厂需实施严格的设备维护与检查制度。这意味着对所有纳入集控网络的设备进行定期的预防性维护，以及建立快速响应的故障处理机制。一旦检测到异常，集控系统能够自动报警甚至采取保护措施停机，防止故障扩大化，同时通知维护团队立即介入，通过科学分析诊断问题根源，采取

* 作者简介：王先锋，1992年01月，男，汉族，贵州遵义，本科，助理工程师

针对性维修策略，尽快恢复设备运行，减少非计划停机时间。

二、火电厂集控运行节能降耗措施

（一）生产方面的措施

在火电厂的生产管理中，围绕集控运行实施一系列生产优化措施，对于提升整体运营效率、节能减排及确保设备安全稳定运行具有重要意义。

首先，针对集控运行的特殊性，火电厂应量身定制一套全面的节能管理控制体系，明确各项节能目标和指标，比如热效率提升、燃料消耗降低等，确保制度既符合国家节能减排政策导向，又贴合电厂实际运营状况^[2]。制度中应包含具体的执行流程、考核办法及奖惩机制，以此来激发员工的节能积极性和责任心。通过定期的节能知识宣传和案例分享，加深员工对节能减排重要性的认识，形成全员参与的良好氛围。

其次，人才是推动技术创新和管理升级的关键。火电厂应持续加大对集控运行人员的专业培训力度，不仅涵盖基础理论知识，如电力系统原理、自动化控制技术等，还应包括最新的行业标准、前沿技术动态及实操技能训练。采用“理论+实践”相结合的方式，举办模拟操作竞赛、故障应急演练等活动，增强员工应对突发事件的能力。同时，鼓励和支持员工参加外部培训、获取专业资质认证，以提升团队的整体技术水平和创新能力。

再次，火电厂需建立健全设备维护管理体系，明确维护标准、周期、责任人等，实施预防性维护策略，减少因设备故障导致的非计划停机。引入智能化维护管理系统，利用大数据分析技术预测设备磨损趋势，及时安排维护保养，实现从被动维修向主动维护的转变。同时，加强备品备件管理，确保关键部件的充足储备，缩短维修响应时间，最大限度减少停机损失。集控运行并非一成不变，应根据生产数据反馈，持续优化运行策略，比如调整负荷分配、改进燃烧控制算法等，以达到更高的能效比。

最后，鼓励技术团队研发创新，探索应用先进控制技术（如人工智能、机器学习）于集控系统，实现更加精准的负荷预测、故障预警和能效管理。通过技术改造和升级，减少能源浪费，提升系统的灵活性和响应速度。

（二）降低厂用电率

降低火电厂的厂用电率，即减少用于维持电厂自身运行而非直接用于发电的电能消耗，是提升能源利用效率、降低成本、增强竞争力的关键举措。工作人员通过在风机、水泵等大功率辅机上安装变频器，可根据实际工况需求调节电机转速，避免传统固定频率运行带来的无效能耗。例如，当循环水泵或送风机需求量减少时，调低电机转速，既满足系统所需压力或流量，又能大幅度降低电能消耗^[3]。此外，变频技术还能改善设备启动性能，减少启动电流对电网的冲击，延长设备使用寿命。工作人员可以采用LED等高效节能光源替换传统灯具，结合自然光利用和智能控制系统，实现按需照明。智能控制系统能根据工作区域的实际光照需求、人员活动情况及室外光线变化自动调节灯光亮度，减少不必要的照明^[4]。特别是在非生产时段或人员稀少区域，通过定

时控制或感应控制进一步降低能耗。冷却风机作为维持电厂热力系统平衡的关键设备，其运行效率直接影响电厂用电率。通过安装温湿度传感器，实时监测环境条件和设备温度，根据实际冷却需求智能调节风机转速或启停策略。在气温较低时，充分利用自然冷源，减少冷却塔风机的运行时间，既节约能源，也降低了噪音污染。基于生产负荷的动态调整辅机设备使用，是实现高效运行的重要途径^[5]。借助集控系统的数据分析能力，预测负荷变化趋势，合理安排辅助设备的启停和运行负荷，避免“大马拉小车”现象。尤其在低负荷时段，通过优化运行策略，如停运部分循环泵、备用风机等，减少空载或低效运行造成的能源浪费，同时保持系统灵活性，确保随时响应负荷变化。

（三）降低工质损失

在低温环境下，为了防止空气预热器（空预器）冷端发生低温腐蚀，通过增设暖风器可以有效提升入口风温，但随之产生的暖风疏水若直接排放，将显著增加机组的补水需求，进而影响运行经济性。因此，建立高效的疏水回收系统，收集这部分热量并回用至系统中，不仅能减少补水量，还能提升整体热循环效率。同时，对回收的疏水进行严格水质检测，确保符合回用标准，既保护了设备免受腐蚀损害，也减少了对高品质除盐水的需求，达到了资源节约的目的^[6]。受热面的清洁状态直接影响到热交换效率。定期对锅炉受热面、脱硝装置、空预器等进行彻底清理，去除积灰和结垢，可以显著提升热传导效率，减少因热阻增大导致的能量损失。特别是吹灰作业过程中产生的疏水，通过高效的回收系统回用，能有效减少这部分工质的浪费。值得注意的是，清洁作业应遵循科学合理的计划，避免过度吹灰造成设备损伤或增加不必要的工质损失。工作人员通过定期检查疏水管线是否存在泄漏或密封不良的情况，及时发现并修复任何潜在的渗漏点，可以有效防止工质未经利用直接排放，减少了不必要的热能损失。此外，加强对过热器、汽轮机通流部分、蒸汽管道等关键部位的污垢清理，通过物理或化学清洗手段，保持管道内部清洁，确保蒸汽流通顺畅，减少能量传递过程中的阻力损失，提升整个热力循环的效率^[7]。在工质管理中融入现代信息技术，如部署智能监测与控制系统，实时监测受热面清洁度、疏水系统运行状态及水质变化，能够更精确地指导清洁维护和故障处理工作，减少人工干预的不确定性，提升响应速度和处理效率。通过数据分析与预测模型，优化运行策略，比如根据负荷变化自动调整疏水回收策略，确保在各种工况下都能维持最佳的工质循环效率。

（四）汽轮机组措施

汽轮机作为火电厂能量转换的核心设备，其运行效率的高低直接决定了整个发电系统的能效与经济性。汽轮机的真空系统直接关联到冷凝器的运行效果，良好的真空状态能够有效减少排汽压力，从而降低蒸汽做功过程中的能量损失。定期进行真空度测试，如每月一次，可及时发现并解决真空泄漏问题，确保气密性^[8]。此外，对轴封系统的严密监控与维护也不容忽视，避免蒸汽泄漏，同时调控冷凝水的过冷程度，维持适宜的冷凝条件，这些措施共同作用于提升汽轮机运行的经济性。给水温度的提高意味着进入汽轮机的蒸汽焓值增加，从而在相同工况下提高汽轮机的

输出功率和效率。通过调整高压加热器（高加）的运行参数，比如增加其输出率、采用三态控制电动门实现高加的平稳启停，能够有效提升给水温度并稳定水位，避免因给水温升率过快或过慢导致的效率损失^[9]。这一过程中，还需密切关注发电机并网与解列前后高加的适时投切，确保整个热力循环的高效衔接，减少能源浪费。汽轮机高效运行还需依赖于与之配套的其他系统，如锅炉、凝汽系统、给水系统的良好配合。例如，通过提高锅炉燃烧效率和控制排烟温度，间接优化给水预热过程，减少热损失；在凝汽器方面，加强冷却水管理，确保冷端换热效率，降低循环水温差，减少冷凝端的能量损失。此外，利用现代控制技术和数据分析，实时监测与调整汽轮机及关联系统的运行参数，如蒸汽压力、流量、温度等，实现精细调节，进一步挖掘节能潜力。

（五）锅炉生产环节控制

在火电厂的集控运行中，对锅炉生产环节的精细控制是实现节能减排、提升整体能效的关键。工作人员通过精细化调整一次风率，确保燃料燃烧所需的氧气供应同时减少过多空气引入造成的热量损失。此外，加强炉底水封系统的维护与检查，确保其密封性，防止漏水导致的热量流失和安全隐患。定期对锅炉受热面进行高效吹灰，清除积灰和结渣，维护受热面的清洁，保证良好的热传导性能。控制排烟损失在合理范围内，通常不超过8%，对于提升热效率至关重要。优化再热器系统的运行，通过减少再

热器减温水量，不仅能够提升机组的整体效率，还能有效利用高温蒸汽的热能^[10]。这要求在确保蒸汽初温和初压的同时，适当降低排气压力，维持再热蒸汽温度的稳定。此外，对受热面进行技术改造，如采用高效传热材料或优化热交换结构，可以进一步提升再热效率，减少蒸汽在再热过程中的能量损失。合理控制过剩空气系数，既能保证燃料的完全燃烧，又可避免过量空气引入造成的热损失。通过安装在线氧量计，实时监测并调节燃烧过程中的空气供给，实现燃烧效率的最大化。此外，煤质的差异对燃烧效率有显著影响，通过煤质混配技术，根据燃煤的热值、灰分、硫分等特性进行合理搭配，既能提高燃烧效率，又能降低燃料成本，减少有害物质排放。

结束语：

总而言之，通过持续优化集控运行机制，火电厂不仅能够显著提升自身的经济效益，还能在保护生态环境、应对气候变化方面发挥积极作用，展现出传统能源企业在新时代背景下的责任与担当。随着科技的不断进步与政策环境的持续完善，火电厂集控运行的节能降耗之路将会越走越宽广，为构建清洁、低碳、安全、高效的能源体系贡献更大的力量。

参考文献：

- [1] 田立智. 火力发电厂集控运行节能降耗技术措施分析[J]. 科学与信息化, 2023(21):13-15.
- [2] 王文兆. 火电厂集控运行的节能降耗措施分析[J]. 能源与节能, 2023(10):77-79.
- [3] 丁文强. 火电厂集控运行节能降耗技术措施分析[J]. 中国科技期刊数据库工业 A, 2022(7):4.
- [4] 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(8):3.
- [5] 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.
- [6] 吴烨轶. 火电厂集控运行中的节能降耗措施分析[J]. 集成电路应用, 2021(10): 078.
- [7] 陈志刚. 关于火电厂集控运行节能降耗措施分析[J]. 中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术, 2021(3):1.
- [8] 王栋. 火电厂集控运行节能降耗措施解析分析[J]. 中国科技期刊数据库工业 A, 2021(1):201-203.
- [9] 吴琪迪. 火电厂集控运行节能降耗技术分析[J]. 电力系统装备, 2021, 000(008):67-68.
- [10] 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): 002.

电力系统谐波的危害及治理

彭柏杰

湖南大学电气与信息工程学院, 湖南 长沙 410082

摘 要 : 随着现代社会对电力供应质量和稳定性要求的提升, 电力系统谐波问题逐渐成为影响电网运行和设备可靠性的重要因素。谐波是电力系统中不期望的频率成分, 各类设备在工作过程中产生的非纯正弦波电流, 导致电网中存在频率高于基波的谐波成分, 对电力系统和相关设备带来多方面的不利影响。本文将深入探讨电力系统中谐波的产生机理、影响因素及其治理方法, 旨在为提升电力系统运行安全性、可靠性和经济性提供理论支持和实用指导。

关 键 词 : 电力系统; 谐波; 危害; 治理措施

The Harm And Governance Of Harmonics In Power Systems

Peng Baijie

School of Electrical and Information Engineering, Hunan University, Changsha Hunan 410082

Abstract : With the increasing demand for power supply quality and stability in modern society, harmonic problems in the power system have gradually become an important factor affecting the operation of the power grid and equipment reliability. Harmonics are unexpected frequency components in the power system. The non pure sine wave currents generated by various equipment during operation result in harmonic components with frequencies higher than the fundamental wave in the power grid, which brings various adverse effects to the power system and related equipment. This article will delve into the generation mechanism, influencing factors, and governance methods of harmonics in the power system, aiming to provide theoretical support and practical guidance for improving the safety, reliability, and economy of power system operation.

Keywords : power system; harmonics; harm; governance measures

前言:

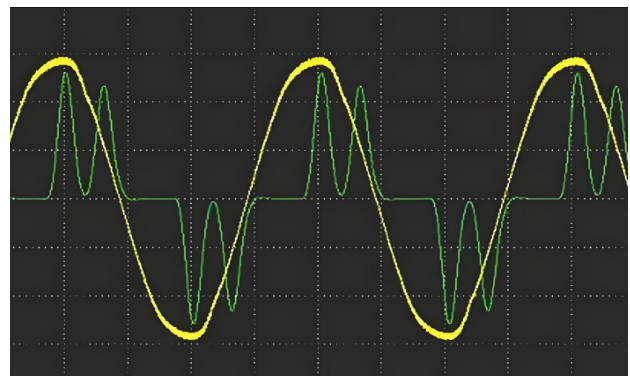
电力系统谐波作为电力质量问题的重要组成部分, 谐波会导致电力设备的过热和损坏, 且电力系统中存在的谐波会使得设备中的电流和电压波形失真, 增加设备内部的损耗, 导致变压器、电机等设备温升过高, 甚至加速设备的老化和损坏, 从而影响电力系统的可靠性和安全性^[1]。对于工业用户而言, 谐波导致其生产设备的故障率提高, 生产效率下降, 甚至造成产品质量问题; 对于居民用户而言, 谐波引起家用电器的异常工作和提前损坏, 影响日常生活的舒适度和安全性。因此, 有效的谐波治理措施是提高电力系统的稳定性和可靠性, 保障电力供应质量, 促进经济社会的可持续发展的关键所在。

一、电力系统谐波的产生原因

电力系统谐波是指在电力传输和分配过程中产生的非基频 (通常为 50Hz 或 60Hz) 整数倍频率的电压或电流波动。其波形特征表现为原始波形的周期性畸变, 包括高频成分的振荡和波形的不规则性。谐波对设备和系统稳定性有潜在影响, 需要通过滤波等措施加以控制和管理^[2]。电力系统谐波的波形特征如图 1 所示。

(一) 非线性负载设备

在现代电力系统中, 非线性负载设备是产生谐波的重要原



> 图 1 电力系统谐波的波形特征

作者简介: 彭柏杰, 2003年9月, 男, 甘肃正宁人, 本科在读, 单位: 湖南大学电气与信息工程学院电气工程及其自动化2207班, 研究方向: 电气工程及其自动化

因，各类设备的工作特性导致它们吸收的电流不再是纯正弦波形，而是包含有多个频率的谐波成分。典型的非线性负载设备包括电子变频器、整流器、电弧炉、UPS（不间断电源系统）等，各类设备广泛应用于工业生产、信息技术和电力转换等领域，它们在正常工作时产生的电流波形因其非线性特性而包含了大量谐波。

（二）电弧放电

电弧放电指的是电流通过非常热的离子化空气或介质产生的电弧，这种放电在电力设备如断路器、开关、电弧炉等工作时经常发生。在电力系统中，电弧放电产生的谐波主要与其瞬态特性和高频振荡有关^[9]。当开关或断路器切断电流时，会发生电弧放电现象，这会产生大量高频的谐波。虽然每次电弧放电持续时间较短，但其频繁发生和高能量特性使得电网中存在大量的高次谐波成分。在电弧炉工作时，由于电弧的高温和强烈的电磁场效应，会产生大量高次谐波，这些谐波不仅对电弧炉本身造成影响，还会通过电网传播，对其他电力设备和系统产生干扰和损害。

（三）电力系统的共振与谐振

共振是指电力系统中电感、电容和电阻等元件之间在特定频率下产生的共振现象，这会放大谐波信号。谐振则是在特定频率下，系统中某些元件或者整个系统因为其固有特性而振荡^[10]。共振和谐振通常发生在系统的谐振频率或者其倍数的频率上，所涉及的频率通常与电网的基频（如50Hz或60Hz）有关。在这些频率下，即使谐波的幅值较小，也因为共振放大而对系统产生重大影响。

（四）不对称负载

不对称负载通常由于电力系统中的单相负载或者三相负载不平衡引起，这是由于负载的类型、运行状况或接入方式等因素导致的。在三相系统中，如果负载不平衡，即三相电流不相等或相位差较大，会导致谐波的产生和传播。这是因为不对称负载会引起电流的非对称性，使得电流波形不再是对称的正弦波，而是包含谐波成分的波形。

二、电力系统谐波的危害

（一）设备损坏与过热

谐波是指在电力系统中频率是电网基频（如50Hz或60Hz）整数倍的电压或电流分量，其主要来源包括非线性负载设备、电弧放电、系统的共振与谐振以及不对称负载等。具体而言，设备在设计时通常考虑的是正弦波形电压和电流下的工作条件，但谐波会导致电流和电压波形变形，特别是高次谐波会对设备产生直接的损害^[5]。且非线性负载设备如电子变频器、整流器和UPS等，因其工作原理导致电流含有大量高次谐波成分，所涉及的各类谐波不仅会导致设备内部的电压和电流不稳定，还会产生附加的电磁热效应，使设备内部部件的温度升高，进而加速设备的老化和损坏。

（二）电网稳定性问题

电网稳定性是电力系统中关键的运行指标，而谐波对电网稳

定性的影响导致系统运行异常甚至崩溃。谐波会引起电压和电流的波动，特别是在高谐波水平下，这些波动会产生多种不利后果，大部分不正常的谐波会增加电网的电压失真，使得供电质量下降。电网中的谐波信号在系统中造成电压波动和电流不平衡，这些现象会引起供电设备的过载或失效。特别是在大型工业设备和关键生产设施中，电压波动和电流不稳定会导致设备停机和生产中断，对生产效率和经济损失造成重大影响^[6]。当系统的电感、电容和电阻等元件在特定频率下共振时，谐波信号被放大，这会引起系统的不稳定和振荡。共振导致设备的不正常运行或损坏，甚至造成系统的大范围故障。电力系统谐波对电网稳定性的影响如表1所示。

表1 电力系统谐波对电网稳定性的影响

频率	谐波含量 (THD, %)	影响效果
50 Hz	1.5%	对电网稳定性影响较小，不会引起明显问题。
150 Hz	3.2%	引起轻微电压波动，导致部分敏感设备工作异常。
250 Hz	5.8%	导致电网电压不平衡，增加系统运行不稳定性风险。
350 Hz	8.6%	引发电网频率波动，导致设备短时性能下降。
450 Hz	11.3%	严重影响电网稳定性，引发系统内部振荡和频率不一致。

（三）通信和控制系统的干扰

现代电力系统中广泛应用的通信设备和自动控制系统，对电力质量有着较高的要求，谐波的存在会对这些系统的正常运行产生严重影响^[7]。特别是在高频谐波信号存在的情况下，它们与通信信号频带重叠，导致信号失真、丢失或误解析，对于需要高可靠性和数据精确度的通信系统，如电信设备、广播设备以及网络控制系统等，会导致通信中断或系统性能下降。

除此之外，自动控制系统通常依赖于精确的传感器信号和准确的控制指令，而谐波的存在导致传感器测量误差增加或控制指令失效。这会影响生产过程的自动化程度和控制系统的可靠性，对生产效率和产品质量产生负面影响。

三、电力系统谐波的治理方法

（一）滤波器的合理布局

在设计电力系统时，首先需要进行系统分析，了解谐波的来源、频率成分和传播路径。根据系统的谐波特性，确定需要安装谐波滤波器的位置和类型，谐波源头附近的设备如非线性负载设备、电子变频器等是主要的谐波发生点，因此在这些设备的电源线路上安装谐波滤波器能够有效控制谐波的注入^[8]。在布置阶段，需考虑在电网中的关键点布置谐波滤波器，如电容补偿设备、配电变压器等接入点附近，以防止谐波的传播和扩散。通过系统的定位分析和谐波特性测量，能够为滤波器的合理布局提供科学依据。不同滤波器单一使用对谐波治理的效果如表2所示。

表2 不同滤波器单一使用对谐波治理的效果

类型	谐波降低率 (%)
被动 LC 滤波器	63.2%
主动滤波器	82.6%
混合滤波器	91.7%

除此之外，根据不同的谐波频率成分，选择合适类型的谐波滤波器。常见的谐波滤波器包括被动 LC 滤波器、主动滤波器和混合滤波器等。被动 LC 滤波器适用于消除低次谐波，主动滤波器则能够对高次谐波进行动态补偿，具有更好的谐波抑制效果。布置完成后，在选择滤波器的参数时，需要考虑其额定电压、电流容量、谐波抑制效果以及对系统基频正常运行的影响^[9]。滤波器的设计应充分考虑系统的工作条件 and 环境因素，确保其在各种操作情况下能够稳定可靠地工作。

（二）选择高效的元件设备

电力系统中谐波的治理不仅依赖于滤波器的合理布局，还需要选择高效的元件设备来降低谐波的产生和传播，选择设计先进、技术成熟的电力设备对于控制谐波至关重要。例如，现代电子变频器和整流器通常具有改进的 PWM 控制技术和谐波抑制功能，能够在工作时减少高次谐波的生成。这些设备在设计和制造时考虑到了谐波对系统的影响，通过优化电路结构和控制算法，有效降低了非线性负载产生的谐波水平。

一方面，在选择电力设备时，需要考虑设备的谐波抑制能力和符合的标准要求。根据电力质量标准的要求，设备应满足特定的谐波限制和电磁兼容性要求，以确保设备在各种工作条件下稳定可靠地运行，同时不对周围设备和系统产生干扰^[10]。另一方面，在设计和运行电力系统时，需要考虑负载的特性和平衡问题。合理平衡负载，避免过载和电流突变率过高的情况，能够减少谐波的生成和传播。通过优化负载配置和平衡控制策略，可以有效降低系统中谐波的水平，提升系统的整体电力质量。

（三）调整设备的运行模式

现代电力设备如变频器、整流器和 UPS 系统等，广泛应用了先进的控制技术，能够显著降低谐波的生成。具体而言，可以采用 PWM（脉宽调制）控制技术的变频器，可以通过调整开关频率和占空比，减少高次谐波的产生。此外，采用矢量控制和 DTC

技术的电机驱动系统，能够进一步提高电机的运行效率和控制精度，减少由非线性负载引起的谐波问题。此外，可以调整整流器的控制方式，采用相位控制和同步控制技术，可以减少整流过程中的谐波生成。同时，优化变频器的调速曲线和工作频率，避免在谐波频率上产生共振，减少谐波的注入，且合理设置负载的启动和停机策略，避免电流突变和高峰值电流的产生，也有助于降低谐波水平。

（四）构建实时监测与诊断系统

在电力系统的关键节点和谐波源附近，安装高精度的谐波监测设备和电力质量分析仪，所涉及的各类设备能够实时采集电压和电流信号，准确测量谐波的幅值、频率和相位等参数，在此基础上通过数据采集和处理系统的应用，将监测数据传输到中央控制室或监控平台，实现对系统谐波状态的实时监控和分析。

建立数据采集与分析系统，采用先进的数据采集技术和通信技术，将实时数据传输到数据中心进行集中处理和分析，在此基础上构建实时报警和远程控制系统，设置报警阈值和预警机制，当谐波水平超出安全范围时，系统能够自动发出报警信号，提示操作人员采取措施。同时，支持远程控制功能，允许操作人员通过监控系统远程调整设备的运行参数和控制策略，及时响应和解决谐波问题，减少设备损害和系统故障。

结语

综上所述，随着电力系统的自动化水平不断提高，电力系统中的元件设备的数量不断增加，电力系统谐波带来的危害日益增加，从谐波的产生原因入手，非线性负载设备、电弧放电、系统的共振与谐振以及不对称负载是主要的谐波源头，需要通过设备选择优化、滤波器的合理布局和高效率元件设备的选用来有效控制。其次，调整设备的运行模式和构建实时监测与诊断系统是关键手段，通过优化控制技术、实时数据采集分析及远程控制，可以有效降低谐波水平，提升系统的稳定性和电能质量。总而言之，电力系统谐波治理需要综合运用技术手段、合理布局设备以及严格遵守标准要求，以确保电网安全稳定运行，减少设备损坏和运行故障的风险，进而提高电力系统的整体效率和可靠性。

参考文献:

[1] 黄伟, 陈诚, 周家琛, 等. 舰船综合电力系统谐波的产生、危害及其治理 [J]. 船舶, 2022, 33(5): 122-127.
[2] 田显贵. 油田电力系统中高次谐波的产生、危害及治理措施 [J]. 石化技术, 2019, 26(4): 293.
[3] 王耕, 谢宇. 大功率广播发射系统的电力谐波危害及治理 [J]. 电子质量, 2017(8): 87-94
[4] 杨颖昭. 电力系统谐波的来源与危害性分析及治理对策 [J]. 区域治理, 2017(7): 164, 167.
[5] 丁佳鋈. 电力系统中谐波的危害及治理方法 [J]. 大众用电, 2019, 34(3): 37-38.
[6] 王闽南. 钻井平台电网中高次谐波的危害及控制方法 [J]. 数字化用户, 2022(18): 199-201.
[7] 林丽娟, 贾清泉, 田书娅, 等. 基于一致性算法的配电网谐波分布式治理策略 [J]. 电力系统自动化, 2022, 46(2): 9.
[8] 左宝峰, 李俊, 黄子堃, 徐浩东, 程林. 基于 LVRT 策略和故障谐波足迹的微电网继电保护方案 [J]. 制造业自动化, 2023, 45(8): 17-21.
[9] 马晓刚. 浅析电力系统中的谐波治理技术 [J]. 中文科技期刊数据库 (文摘版) 工程技术, 2022(4): 3.
[10] 曾裕良. 民用建筑电气系统设计中谐波的危害及抑制方法 [J]. 中文科技期刊数据库 (全文版) 工程技术, 2022(4): 4.

电气工程自动化系统的故障诊断与维护策略分析

朱飞虎

国家电投集团贵州金元威宁能源股份有限公司，贵州 毕节 553100

摘要： 在当今工业自动化领域，电气工程自动化系统的设计、维护与优化成为企业提高生产效率、降低成本以及保障生产安全的关键。随着技术的不断进步和应用范围的扩展，自动化系统已经从简单的控制和监测功能发展为复杂的集成系统，涵盖了从传感器到执行器的各个层面。本文深入分析电气工程自动化系统中故障诊断与维护策略的方法，结合电气工程自动化系统的功能需求，分析了电气工程自动化系统的故障诊断与维护策略的实施路径，为全面推动电气工程自动化技术的发展提供参考性意见。

关键词： 电气工程；自动化系统；故障诊断；维护策略

Analysis of Fault Diagnosis and Maintenance Strategies for Electrical Engineering Automation Systems

Zhu Feihu

State Power Investment Group Guizhou Jinyuan Weining Energy Co., Ltd., Bijie, Guizhou 553100

Abstract： In the field of industrial automation today, the design, maintenance, and optimization of electrical engineering automation systems have become the key to improving production efficiency, reducing costs, and ensuring production safety for enterprises. With the continuous advancement of technology and the expansion of application scope, automation systems have evolved from simple control and monitoring functions to complex integrated systems, covering various levels from sensors to actuators. This article deeply analyzes the methods of fault diagnosis and maintenance strategies in electrical engineering automation systems, combined with the functional requirements of electrical engineering automation systems, and analyzes the implementation path of fault diagnosis and maintenance strategies in electrical engineering automation systems, providing reference opinions for comprehensively promoting the development of electrical engineering automation technology.

Keywords： electrical engineering; automation system; fault diagnosis; maintenance strategy

前言：

电气工程自动化系统的构成要素包括传感器拓扑布局、中央控制器和通信中继节点，在工作的过程中，传感器所采集的历史数据可以作为正常运行的标准，结合人为设定的异常阈值，系统可以根据不同工况下工作状态实现故障的精准判断^[1]。相比于传统的巡检与诊断方法而言，现代自动化系统越来越多地采用数据化自动故障诊断方法，通过实时数据采集和高级数据分析技术，如机器学习和人工智能，快速准确地识别和预测潜在的设备故障，实现了对系统故障的及早响应和有效管理。这种基于历史数据训练的故障诊断模型，不仅提高了故障诊断的智能化和预测性，还为预防性维护和设备管理提供了重要支持。

一、电气工程自动化系统的构成与技术框架

（一）传感器拓扑布局

在电气工程自动化系统中，传感器的拓扑布局至关重要，直接影响到系统的数据采集能力和实时监测效果。实际的传感器的选择基于所需监测的物理量类型和精度要求。常见的传感器包括温度传感器、压力传感器、流量传感器等，它们能够将现场的物理量转换为电信号，供控制系统进一步处理^[2]。在布局方面，传

感器的位置应根据实际生产过程中物理量分布和变化的特点进行合理安排，且合理的间距和位置选择能够减少信号交叉和噪声干扰，提高数据采集的精度和可靠性^[3]。针对大规模和复杂的工业自动化系统，通常采用分布式布局的传感器网络。这种网络结构通过将传感器分散安装在不同的位置，然后通过数据总线或网络将数据集中传输到中央控制器，实现集中管理和监控。这种方式不仅提高了系统的灵活性和扩展性，还能够有效减少布线成本和维护难度。

* 作者简介：姓名：朱飞虎，出生年月：1986年9月，性别：男，民族：汉，籍贯：江苏省东海县，学历或者职称：大学本科，工程师，从事的研究方向或工作领域：新能源项目开发与工程建设管理

（二）中央控制器

中央控制器在电气工程自动化系统中扮演着关键角色，它负责接收和处理来自各个传感器和执行器的数据和信号，进行实时的逻辑控制和决策^[4]。中央控制器通常采用工业级计算机或者专用的可编程逻辑控制器（PLC）或可编程自动化控制器（PAC）。这些控制器具有高性能的处理能力和稳定的工作环境，能够适应工业生产中的恶劣条件和长时间运行的需求。

从技术角度而言，中央控制器能够通过各种接口和通信协议，接收来自传感器和其他外部设备的数据，所涉及的数据可以是实时监测的物理量，也可以是生产过程中的状态信息和报警信号，并且中央控制器利用内置的逻辑控制算法和程序，根据预设的控制策略和工艺要求，对接收到的数据进行处理，生成相应的控制指令，相关的控制指令可以是开启或关闭某个设备，调整某个参数，或者发送警报通知。

（三）通信中继节点

在电气工程自动化系统中，通信中继节点起到连接和协调各个子系统之间通信的重要角色，通信中继节点通常位于自动化系统中的关键位置，它们负责收集和转发来自分布式设备和控制单元的数据和信号。

通信中继节点能够接收来自不同协议和接口的数据，并进行统一的格式转换和数据集成，并且通信中继节点的布置需要根据系统的网络拓扑结构进行合理设计，一般采用星型、环型或者树型结构，确保各个节点之间能够稳定可靠地进行通信和数据传输^[5]。除此之外，通信中继节点在数据传输过程中，需要确保数据的安全性和完整性，实际采用加密和安全认证技术，防止数据在传输过程中遭到未经授权的访问或篡改。与此同时，通信中继节点需要具备高度的实时性和稳定性，保证在复杂工业环境中长时间稳定运行，通常采用工业级硬件和可靠的通信协议，支持大量数据的高速传输和处理。

二、电气工程自动化系统的故障诊断方法

（一）传统巡检与诊断

传统的巡检与诊断方法在电气工程自动化系统中扮演着重要角色，尽管在现代技术发展的影响下逐渐被自动化和数据化方法取代，但仍然具有其独特的应用和优势，且传统巡检依赖于工程师或技术人员定期对自动化系统的各个部件进行目视检查和功能测试，所涉及的巡检根据预定的计划进行，通常是按照时间间隔或生产周期来安排，在此基础上通过定期检查设备的外观、接线、运行状态等，发现和预防潜在问题，避免设备长时间运行过程中的意外故障。

巡检过程中，工程师根据自己的经验和知识判断设备是否正常运行或存在问题，其本身依赖于经验的方法能够快速发现一些显而易见的问题，如设备的异响、震动、异味等^[6]。实际操作的过程中，根据巡检中发现的异常现象或指示灯提示，工程师进一步定位的故障区域，并进行初步分析，并在初步确定问题之后，可以通过手动测试设备的关键部件或电路，逐步排除的故障原因，

确认具体的故障点，一旦确认故障点，工程师采取相应的维修措施或更换受损部件，恢复设备正常运行。

（二）数据化自动故障诊断

随着信息技术的迅速发展，数据化自动故障诊断作为现代电气工程自动化系统的关键技术，已经成为提高系统可靠性和生产效率的重要手段，可以通过各类传感器和数据采集设备实时获取自动化系统中各个部件的运行数据，包括温度、压力、电流、振动等物理量，以及设备状态信息，实际采集的大量数据通过云端或本地数据库进行存储和管理，保证数据的完整性和可访问性，所涉及的数据成为后续故障诊断分析的基础。

此外，可以利用数据分析技术，如统计分析、机器学习和人工智能算法，对采集的数据进行深入分析和模式识别，可以结合实际情况建立设备正常运行的模型和故障特征的对比，识别出潜在的异常和故障模式，并在此基础上基于分析结果，系统能够实现潜在故障的预测和提前警示。一旦发现异常或预测到的故障，系统能够自动发出警报通知相关人员或系统，提供详细的故障诊断信息 and 处理建议。

相比于传统的手工检测方法，基于数据模型分析的处理形式可以实时监测和分析大量数据，迅速捕捉设备运行中的微弱信号和异常变化，提高故障诊断的精确性和及时性，并且系统能够自动化地进行故障诊断和分析，减少人为因素对诊断结果的影响，提高工作效率和一致性^[7]。在大部分应用场景下，还可以通过提前识别潜在的故障模式和趋势，能够实施预防性维护措施，减少设备停机时间和维修成本，提升生产系统的可靠性和稳定性。

三、电气工程自动化系统的故障的维护策略

（一）定期检查与预防性维护

定期检查与预防性维护是电气工程自动化系统中保障设备稳定运行和延长使用寿命的重要策略，所应用的措施不仅有助于及时发现潜在问题，还能在故障发生之前预防和减少的停机时间，从而提高生产效率和系统可靠性。

技术人员在维护的过程中，可以对系统中的机械部件进行视觉检查，包括传动装置、轴承、联轴器等，确保其安装稳固、无松动现象，并检查润滑情况，预防由于摩擦、振动等引起的机械故障，并进一步检查电气部件的接线是否紧固良好，观察电缆、接头是否有老化、磨损或损坏现象，确保电路通畅，防止因电气连接故障引起的设备停机。

在电气工程自动化系统中，各类布局的传感器功能复杂，且相互之间的关联性极为密切，通过定期对传感器进行校准，确保其测量精度和响应速度符合要求。对执行器进行功能测试和调整，保证其能够准确执行控制指令，在此基础上还需要检查系统的控制软件是否运行稳定，是否存在程序逻辑错误或过载现象，确保控制系统的稳定性和可靠性。

为了提升系统的冗余度与可控性，预防性维护是通过定期检查和维修，预防设备发生的故障或性能下降，设计通过定期检查，可以及早发现设备运行中的小问题或异常迹象，防止其演变

成大的故障，避免生产中断和损失，且实施的定期维护和保养可以有效延长设备的使用寿命，减少设备更换和大修的频率，节约维护成本，在此基础上开展的预防性维护措施能够确保设备长期稳定运行，提高自动化系统的可靠性和生产效率，符合工业生产对稳定性和连续性的要求^[8]。

（二）基于历史数据训练的故障诊断模型

随着信息技术的发展，基于历史数据训练的故障诊断模型成为提高自动化系统故障诊断效率和精度的重要手段，该方法利用大数据和机器学习技术，从历史数据中学习设备运行的正常模式和异常模式，能够快速准确地识别和预测故障，实现故障预防和智能化维护^[9]。在采集大量的历史数据中，通过传感器和数据采集系统实时获取设备运行过程中的各种参数和状态数据，包括温度、压力、电流、振动等，可以对采集到的数据进行清洗、去噪和预处理，确保数据质量和准确性，为后续分析建立可靠的数据基础，并且进一步将清洗后的数据存储到可访问的数据库或云端平台，建立历史数据的存档和管理机制，以备后续分析和训练使用^[10]。

从历史数据中提取能够反映设备状态和运行特征的关键特征，如频谱分析、时序模式、异常行为等，选择适合问题特性的

机器学习算法或深度学习模型，并利用历史数据对选定的模型进行训练和优化，使其能够有效地识别和分类设备的正常运行状态和不同类型的故障。

结语：

综上所述，电气工程自动化系统的构成和技术框架包括传感器拓扑布局、中央控制器和通信中继节点，构建了系统稳定性和运行效率的基础。在故障诊断与维护策略方面，传统巡检与诊断通过定期检查和手动测试，确保设备的基本运行状态，尽管其实时性和精确性有所限制。相比之下，数据化自动故障诊断利用实时数据采集和机器学习模型建立，提升了故障诊断的智能化和预测性，能够快速准确地识别和预测潜在故障，从而实现了对系统故障的及早响应和有效管理。维护策略上，定期检查与预防性维护通过有效的机械、电气和软件检查，延长了设备的使用寿命和稳定性；而基于历史数据训练的故障诊断模型则为实现预测性维护提供了重要支持，通过优化设备管理和维护计划，最大程度地减少了故障对生产和设备正常运行的影响，为工业自动化系统的可靠性和效率提升奠定了坚实基础。

参考文献：

- [1] 冯凌霄, 姜东兵. 电气工程自动化控制中 PLC 技术实施探究 [J]. 数字化用户, 2024(36):39-40.
- [2] 张大海, 张晓伟, 孙浩, 等. 基于卷积神经网络的交直流输电系统故障诊断 [J]. 电力系统自动化, 2022, 46(5):132-140.
- [3] 张梦瑶, 党瑞鹤. 暖通空调系统故障检测诊断与电气自动化技术现状分析与阐述 [J]. 中国科技期刊数据库工业 A, 2023.
- [4] 王星, 毛庆川, 陈锋. 冶金电气自动化设备故障诊断及维护 [J]. 工程建设 (维泽科技), 2023, 6(11):142-144.
- [5] 刘自然, 王煜轩. 基于深度卷积 GRU 的转子系统故障诊断 [J]. 组合机床与自动化加工技术, 2023(1):101-104.
- [6] 胡庆军, 曹鑫辉, 冯宇, 等. 某带钢镀锌生产线自动化故障诊断的实现 [J]. 电气传动, 2024, 54(1):92-96.
- [7] 马曙光. 故障诊断技术及监测方法在建筑电气系统上的应用 [J]. 科学技术创新, 2022(15):4.
- [8] 华长春, 陈树宗, 李旭, 等. 轧制全流程质量智能建模故障诊断与协同稳健控制的研究现状与展望 [J]. 冶金自动化, 2022, 46(6):38-47.
- [9] 王兆生. 基于电气自动化控制技术的水泵故障诊断与智能维护研究 [J]. 中文科技期刊数据库 (全文版) 工程技术, 2024(002):000.
- [10] 贾俊青, 武文丽, 蔡文超, 等. 基于 PSO 的电气设备绝缘故障诊断系统设计 [J]. 电子设计工程, 2024, 32(1):77-81.

火电厂热控自动化控制设备的调试与安装措施

周峰

华电湖北发电有限公司电力工程分公司，湖北 黄石 435000

摘要：我国现代火力发电厂在全球工业竞争中，正面临着供应链和定价权的挑战。为抓住技术发展机遇，火力发电厂需通过高质量发展，强化知识产权创新，提升竞争优势和整体效率。同时，在电力行业数字化改造中，为保障锅炉蒸汽和辅助设备的智能控制，热控自动化设备的应用至关重要。这不仅有助于系统适应发展变化，还能预防安全事故。因此，加强对热控自动化设备调试安装的分析，对提升火力发电厂智能化水平具有重要意义。基于此，本篇文章对火电厂热控自动化控制设备的调试与安装措施进行研究，以供参考。

关键词：火电厂；热控自动化控制设备；调试措施；安装措施

Debugging And Installation Measures For Thermal Control Automation Control Equipment In Thermal Power Plants

Zhou Feng

Huadian Hubei Power Generation Co., Ltd. Power Engineering Branch, Huangshi, Hubei 435000

Abstract： Modern thermal power plants in China are facing challenges in supply chain and pricing power in global industrial competition. To seize the opportunities of technological development, thermal power plants need to enhance their competitive advantage and overall efficiency through high-quality development, strengthen intellectual property innovation. At the same time, in the digital transformation of the power industry, the application of thermal control automation equipment is crucial to ensure the intelligent control of boiler steam and auxiliary equipment. This not only helps the system adapt to development and changes, but also prevents safety accidents. Therefore, strengthening the analysis of the debugging and installation of thermal control automation equipment is of great significance for improving the intelligence level of thermal power plants. Based on this, this article studies the debugging and installation measures of thermal control automation control equipment in thermal power plants for reference.

Keywords： thermal power plant; thermal control automation control equipment; debugging measures; installation measures

引言

火力发电厂是我国能源结构中的重要组成部分，其稳定运行对国家能源安全 and 经济繁荣至关重要。热自动化控制系统作为火力发电厂的核心设备，其性能直接影响到发电效率和安全性。然而，在调试和安装过程中，常会遇到各种问题，这些问题如不及时解决，将影响设备的准确性和效率，增加故障和事故的风险。因此，深入研究火力发电厂自动控制的调试及安装过程，并提出有效的优化措施，对于提升设备性能、保障发电厂稳定运行具有重要的现实意义。通过优化调试和安装流程，可以确保设备的高效运行，减少能源浪费，提高发电厂的整体经济效益和环境效益。

一、热控自动化控制设备的概述

火力发电厂的热控制自动控制系统是确保发电效率和安全的关键技术。该系统主要由分布式控制系统（DCS）和现场总线控制系统（FCS）组成，它们通过集成各种检测和控制功能，确保设备如蒸汽机和锅炉的稳定运行。一旦检测到故障，系统能够立即执行停止、警告、诊断和自动故障排除等操作，从而保障发电机组的安全和稳定。自动热控制系统通过高速网络连接多个设备，实现高效的

数据传输和交换，这对于维持火力发电厂的高效运行至关重要。与传统火力发电厂相比，热管理自动化系统能够为发电厂的各个方面建立保护机制，结合实际情况和专用单位的参数，优化设计建议，有效减少工作量和操作人员的危险因素，确保安全。火力发电厂的自动化设备和控制系统不断融合先进的智能技术，具备独立诊断和即时自动化的能力，能够最大限度地控制事故，防止不可逆转的损坏，提高运行维护效率。这些技术的应用为火力发电厂创造了一个良好的运行环境，促进了发电系统的稳定高效运行，更好地满足了

人们对电力的需求。在未来发展中，随着设备的不断优化和系统安全性的提升，火力发电厂的热控制自动控制系统将继续提升其性能，确保发电过程的安全、高效和可靠。

二、火电厂热控自动化控制设备调试和安装中的问题

在我国火力发电厂的热力管理自动控制调试过程中，存在一系列问题，这些问题严重影响了设备的稳定运行和发电效率。主要问题包括运行不规则、组件配置不合理以及调试前的检查工作不充分。在设备调试和安装阶段，常见的不规则现象如电源故障、接入点设置不当等，这些问题极易导致主机、CPU、模块等关键设备的损坏，进而对整个控制过程产生负面影响。由于调试、安装和生产分别由不同的单位负责，这些单位之间缺乏有效的沟通和协作，导致在调试过程中出现问题时难以及时得到解决。调试人员的责任心不足，以及业主在调试后的确认工作不到位，都可能导致安全隐患和问题的漏检。此外，如果调试人员缺乏专业资格，他们在调试前的准备工作，如检查电缆连接、重复任务等，可能无法得到妥善执行，从而增加了设备损坏和安全事故的风险。更为严重的是，一些火力发电厂在调试前未能制定完整的应急计划，一旦出现问题，无法迅速有效地应对，这不仅影响了设备的正常运行，还可能对发电厂的安全生产造成威胁。因此，为了提高火力发电厂的运行效率和安全性，必须加强对调试和安装过程的管理。

三、火电厂热控自动化控制设备调试及安装原则

（一）科学性原则

热控自动化控制设备因其体积小、多样性和高集成度而面临操作挑战，尤其是当操作人员整体素质不高时，容易导致主机、CPU 和相关模块的损坏。DCS 控制系统集成了高精度功能、现场控制装置、控制器、数据采集控制和 CRT 工作站，确保了系统的复杂性和精确性。为了防止功能失效和降低设备使用寿命的风险，必须严格遵循科学原则，保证安装精度，确保这些精密设备能够正常运行，延长其使用寿命。

（二）系统性原则

热控自动化控制系统具有独特的特点，施工单位在安装过程中必须遵循系统原则，确保软硬件的有效调试和全面安装。在锅炉及辅助设备的蒸汽控制中，DCS 系统采用“大型平台 + 小型系统”框架，以实现智能控制和数据管理。工作人员需明确区分主项目与子项目系统，深入分析设备，确保系统间通信畅通，并保证自动热控控制能有效管理额外硬件。这一过程对于确保系统的稳定运行和优化控制至关重要。

四、火电厂热控自动化控制设备的安装措施

（一）安装环境

在火力发电厂的热控制自动控制系统安装过程中，控制系统

的工作温度应保持在 0° C 至 55° C 之间，相对湿度则应控制在 15% 至 85% 之间。为了维持这一环境条件，可以安装空调系统，确保工作环境温度和湿度的稳定。同时，良好的通风系统也是必不可少的，以保证工作区域的空气流通。要注意安装环境中的电磁干扰。在安装过程中，应使用金属或导电屏蔽材料对系统的主要部件进行保护。在电磁干扰较强的环境中，必须在系统的输入或输出端安装过滤器，以减少电磁干扰对系统的影响。合理规划设备安装距离。控制系统中的各个设备应根据其功能和通信要求进行配置，确保设备之间保持适当的距离。在布线时，应减少信号线的交叉和并行处理，以降低相互干扰。因此，通过实施这些技术要点，可以有效地优化安装环境，确保火力发电厂热控制自动控制系统的高效运行，提高整个发电系统的稳定性和可靠性。

（二）接地系统安装

为了确保热控自动化控制系统的成功着陆和稳定运行，采取了一系列关键技术措施。在安装支架时，为了减少接地电阻的差异，所有铜材料必须与地面保持绝缘。为此，地板和安装支架上的铜部件应被绝缘外壳或绝缘板完全包裹，以防止电流泄漏。采用 25mm² 截面的多面电缆结构，这种设计提供了更大的灵活性和弯曲特性，使得电缆的安装和布线更加便捷。在电缆连接环节，使用铜鼻连接器能够有效提升接触的稳定性 and 可靠性，确保信号传输的准确无误。此外，100mm² 的铜材料因其多种结构而具有出色的灵活性和导电性，适合作为整个铜地板电缆系列的自愿连接介质。这种铜材料的应用有助于提高整个系统的电气性能。安装完成后，必须对接地系统的电阻进行测量。如果发现接地电缆的电阻超出指定范围，应重新安装接地电缆，清理接地位置，或增加额外的接地电缆以确保接地系统的有效性。

（三）机柜安装

机柜的安装是热控自动化系统的核心部分。在安装机柜时，应选择合适的安装位置，确保机柜与地面、墙壁和其他设备的距离符合设计要求，以便于维护和检修。机柜的固定必须牢固，采用专业的支架和螺丝，确保机柜在运行过程中不会产生晃动。接下来，机柜内部的布线应整齐有序，遵循电气布线的标准和规范。所有电缆和线路都应按照设计图纸进行敷设，避免交叉和混乱，确保信号的准确传输和设备的正常运行。同时，应使用高品质的电缆和连接器，以减少故障率和提高系统的可靠性。在安装过程中，还需注意机柜的散热问题。热控自动化设备在运行中会产生热量，因此机柜应具备良好的散热性能。可以通过安装散热风扇、散热片或采用通风设计来提高散热效率，防止设备因温度过高而影响性能。机柜的防护措施也不可忽视。应确保机柜具有足够的防护等级，以防止灰尘、水分和其他外界因素对设备造成损害。同时，机柜的接地措施必须到位，以防止电气干扰和设备故障。

（四）电缆敷设与接线施工

火电厂热控自动化控制设备的安装，是一项技术要求高、安全性能严格的工程。在安装过程中，首先要确保设备与设计相符，严格按照施工图纸进行定位和固定。设备安装前，需对预埋件进行检查，确保其位置准确、牢固可靠。电缆敷设是连接热

控自动化控制设备的关键步骤。敷设前，要仔细核对电缆的型号、规格和质量，确保电缆符合国家标准和设计要求。在电缆敷设过程中，应遵循最小弯曲半径原则，避免电缆过度弯曲或受损。同时，要合理安排电缆的走向和长度，以减少不必要的浪费。接线施工是电缆敷设的后续工作，也是确保控制系统正常运行的重要环节。在接线过程中，要严格按照电气接线图进行操作，确保接线正确无误。同时，要对接线端子进行防腐处理，防止因氧化等原因导致接触不良。在接线完成后，还需对电缆进行绝缘测试，确保电缆系统的安全可靠。在整个安装过程中，要注重施工质量，严格遵循相关规范和标准。在施工完成后，要对热控自动化控制设备进行调试，确保其运行稳定、性能优良，为火电厂的安全高效运行提供有力保障。

五、火电厂热控自动化控制设备的调试措施

（一）调试程序编写与执行

火电厂热控自动化控制设备的调试措施中，调试程序编写与执行是关键环节。首先，根据设备的性能参数和运行要求，编写详细的调试程序。程序应涵盖设备启动、运行、停止等各个阶段，确保每个环节都能精确控制。在编写调试程序时，要充分考虑设备的实际工作环境，以及可能出现的各种工况，确保程序能够灵活应对。同时，程序中应包含各项安全保护措施，以防止设备在调试过程中出现异常情况。执行调试程序时，首先要进行初步的模拟测试，验证程序的正确性和可靠性。在模拟测试通过后，逐步将程序应用于实际设备，观察设备的响应和运行状态。在此过程中，要密切关注设备各项参数的变化，及时调整程序中的参数设置，以达到最佳的控制效果。调试过程中，应与运行人员密切沟通，了解设备在实际运行中的表现，以及可能存在的问题。根据反馈信息，对调试程序进行优化和调整，确保设备能够在各种工况下稳定运行。完成调试程序编写与执行后，要对整个调试过程进行总结，记录调试中出现的问题及解决方法，为今后的设备维护和优化提供参考。

（二）设备性能参数调整

火电厂热控自动化控制设备的调试措施主要包括对设备性能参数的细致调整。首先，需要对设备的安装情况进行全面检查，确保设备稳固、接线正确无误。随后，针对设备的具体性能，通

过专业的调试工具和方法，对各项参数进行精确调整，以适应实际运行需求。调整过程中，重点关注设备的响应速度、控制精度和稳定性，确保各项参数能够满足生产过程中的实时监控和自动调节要求。此外，还要对设备的保护功能进行测试，确保在异常情况下能够及时发出警报并采取保护措施，从而保障整个热控自动化系统的稳定运行和设备的安全性。

（三）调试过程中的数据监测与分析

火电厂热控自动化控制设备的调试措施主要包括确保设备完好、设计合理，以满足机组安全经济运行的要求。调试过程中，技术人员会对设备的适应负荷变化能力进行细致检查，确保其能在负荷范围内按预定速率响应负荷指令。在调试过程中的数据监测与分析方面，技术人员会利用智能传感器和数据采集设备实时监测电厂运行状态，通过数据分析系统对采集到的数据进行深入分析。这有助于及时发现能源浪费、设备故障等问题，从而进行精确调整和优化。通过持续的数据监测与分析，可以提升热控自动化系统的稳定性，确保电厂机组的正常和高效运行。

（四）调试过程中的安全措施

火电厂热控自动化控制设备的调试措施主要包括：确保设备完好并设计合理，以满足机组安全经济运行的要求；检查机组适应负荷变化的能力，使其能在一定负荷范围内跟踪负荷指令出力，满足中调 AGC 控制技术的要求。调试过程中的安全措施：严格执行电气运行阶段的安全规定，加强现场管理，防止安全事故发生。对调试人员进行安全培训，确保其熟悉设备操作和应急处理流程。在调试过程中，密切关注设备运行状态，发现异常立即采取措施，确保设备和人员安全。

结束语

总而言之，火电厂热控自动化控制设备的正确调试与安装对于保证设备的稳定运行和高效工作具有重要意义。通过优化调试与安装过程，解决存在的问题，能够提高设备的可靠性、性能和维护效率，降低故障率和安全风险。因此，应加强对调试与安装过程的重视，注重参数准确性、接线规范性、安装位置选择、环境干扰屏蔽、操作人员素质和标准规范制定等方面的优化，不断提升火电厂热控自动化控制设备调试与安装的水平，确保火电厂的安全运行和高效生产。

参考文献

- [1] 杨文凯. 火电厂热控自动化控制设备的调试和安装[J]. 造纸装备及材料, 2023, 52(06): 42-44.
- [2] 鲍庆珍. 火电厂热控自动化控制设备调试及安装分析[J]. 装备维修技术, 2023, (03): 13-17.
- [3] 王亮. 火电厂热控自动化控制设备调试与安装[J]. 科技视界, 2022, (27): 102-104.
- [4] 王铸城. 火电厂热控自动化控制设备的科学调试与合理安装分析[J]. 技术与市场, 2021, 28(07): 138-139.
- [5] 杨栋. 火电厂 DCS 热控自动化控制设备的安装与调试研究[J]. 光源与照明, 2021, (03): 86-87.
- [6] 晏崇林. 火电厂热控自动化控制设备的科学调试与合理安装分析[J]. 中国设备工程, 2020, (20): 37-38.
- [7] 张翔. 火电厂热控自动化控制设备的调试与安装[J]. 科技风, 2019, (10): 174.

基于物联网的智能制造设备维护与故障预测研究

冯生龙

上海宝信智矿信息科技有限公司, 上海 201900

摘要： 本文探讨了物联网与智能制造的基本概念和技术进展，以及其在制造业中的应用。文章强调了智能制造设备维护的重要性，并介绍了一种基于物联网的维护与故障预测方法。该方法包括数据采集、预处理、特征提取、故障预测算法开发和维护策略优化。通过矿山、航空和电子制造行业的实际案例，文章展示了物联网技术在提高设备可靠性和降低维护成本方面的成效。并展望了物联网和智能制造设备维护的发展趋势，并讨论了未来的研究挑战 and 方向。

关键词： 物联网；智能制造；设备维护；故障预测；数据分析

Research on Maintenance and Fault Prediction of Intelligent Manufacturing Equipment Based on the Internet of Things

Feng Shenglong

Shanghai Baoxin Zhikuang Information Technology Co., Ltd., Shanghai 201900

Abstract： This article explores the basic concepts and technological advancements of the Internet of Things and intelligent manufacturing, as well as their applications in the manufacturing industry. The article emphasizes the importance of maintaining intelligent manufacturing equipment and introduces an IoT based maintenance and fault prediction method. This method includes data collection, preprocessing, feature extraction, development of fault prediction algorithms, and optimization of maintenance strategies. Through practical cases in the mining, aviation, and electronics manufacturing industries, the article demonstrates the effectiveness of IoT technology in improving equipment reliability and reducing maintenance costs. And the development trends of the Internet of Things and intelligent manufacturing equipment maintenance were discussed, as well as future research challenges and directions.

Keywords： Internet of things; intelligent manufacturing; equipment maintenance; fault prediction; data analysis

引言

随着信息技术的进步，物联网和智能制造正成为制造业发展的两大动力。物联网通过连接传感器、设备和系统，实现了信息的即时收集、传输和分析，极大地提升了制造业的智能化和效率。智能制造则依托先进的信息技术、自动化和人工智能，推动着设计、生产、管理和服务的智能化与高效化。

在智能制造中，设备的维护和故障预测对于保证生产连续性和成本控制至关重要。传统的维护方法通常依赖于定期检查和故障后的修复，这种被动的维护模式效率低且成本高。物联网技术的应用，使得实时监控设备状态、预测潜在故障并实施预防性维护成为现实，显著提高了设备的稳定性和生产效率。

一、物联网与智能制造概述

随着科技的快速发展，物联网（IoT）与智能制造已成为推动工业变革的重要力量。它们正以前所未有的速度改变着制造业的面貌，为生产方式带来了前所未有的变革。

（一）物联网的定义与发展

物联网，简而言之，即“万物互联”，它通过整合各种信息传感设备，将实体物品与网络世界相连接，实现对物品的智能识别、定位、追踪、监控和管理。这一概念的实现得益于计算机科学、网络技术、传感器技术等多个领域的深度融合。^[1] 随着5G通信、人工智能、大数据等技术的持续演进，物联网的应用范围和

应用场景正不断扩大，为各行各业带来前所未有的变革机遇。

（二）智能制造的概念与关键技术

智能制造是一种以信息化、网络化、智能化为核心的生产方式，旨在提高生产效率、降低生产成本、缩短生产周期、提高产品质量。其关键技术包括工业物联网、云计算、大数据分析、人工智能、机器人技术等。智能制造的核心在于实现生产过程的自动化、信息化、智能化，以满足市场对定制化、个性化产品的需求。

（三）物联网在智能制造中的应用

智能制造正在引发制造业的深刻变革，其中物联网技术发挥着核心作用。它通过实时数据和增强连接性，大幅提高了生产效

率和产品质量。^[2]而且通过物联网技术,企业可以实现对生产设备的实时监控和故障预测,提高设备的运行效率和可靠性。此外,物联网技术还可以实现对生产过程的智能化控制,实现生产过程的自动化和智能化。

物联网与智能制造是当今制造业发展的两大趋势。它们通过融合多领域技术,推动制造业向智能化、网络化、个性化的方向发展。企业应抓住这一机遇,积极拥抱物联网与智能制造,以实现可持续发展。

二、智能制造设备维护现状及问题分析

在智能制造的背景下,设备维护成为确保生产连续性和设备性能的关键环节。了解当前设备维护的现状及存在的问题,对于制定有效的维护策略至关重要。

(一) 设备维护的重要性

智能制造设备的维护不仅仅是确保设备正常运行的问题,更是关乎生产效率、成本控制和产品质量的重要因素。^[3]有效的设备维护可以减少停机时间,提高生产效率,降低故障风险,延长设备寿命,从而为企业创造更大的价值。

(二) 智能制造设备维护现状

随着智能制造技术的普及,设备维护也在逐步实现自动化和智能化。许多企业已经开始采用先进的维护管理系统(CMMS)和预测性维护技术,如远程监控、传感器数据分析和机器学习模型,来提高维护的效率和准确性。

(三) 设备维护中存在的问题

尽管智能制造设备维护在技术上取得了进步,但在实际操作中仍存在一些挑战。这些问题包括维护人员的技能不足、维护计划的制定不够科学、维护数据的利用不够充分,以及维护成本的控制困难等。^[4]

三、基于物联网的智能制造设备维护与故障预测方法

物联网技术的发展为智能制造设备维护带来了新的机遇,特别是在故障预测方面。通过实时收集设备数据并进行分析,可以显著提高维护的效率和准确性,减少意外停机时间,降低维护成本。

(一) 设备数据采集与传输

在基于物联网的设备维护中,实时、准确地采集设备运行数据是实现高效维护和故障预测的基础。这一过程通常涉及安装多种传感器和数据采集设备,这些设备能够监测设备的关键性能指标,如温度、压力、振动等。为了确保数据的实时性和准确性,企业需要建立可靠的无线或有线网络来传输数据。这些网络需要具备高速、稳定的传输能力,以确保数据能够及时到达分析中心。同时,网络的可靠性也是至关重要的,以防止数据传输中断或数据丢失。

数据采集的质量和速度对于后续的分析和预测至关重要。高质量地采集数据意味着数据能够准确地反映设备的运行状态,为故障预测提供可靠的依据。^[5]而快速的数据采集则能够及时发现潜在的故障,从而能够迅速采取措施,避免故障的发生或扩大。因

此,在基于物联网的设备维护中,确保数据采集的实时性和准确性是实现高效维护和故障预测的关键。

(二) 数据预处理与特征提取

在物联网驱动的设备维护中,数据的原始采集至关重要,但也充满挑战。由于数据中常混杂着噪声和冗余信息,这些干扰因素可能会干扰后续的分析和预测。因此,对数据进行预处理,包括清洗、异常值检测和去噪,对于提升故障预测的准确性至关重要。

数据预处理旨在提高数据的质量和可分析性。通过去除错误或不一致的信息,确保数据的完整性和准确性;识别并处理异常值,防止误导性分析;以及消除噪声,使数据更加清晰和易于理解。从数据中提取关键特征是提升故障预测准确性的另一关键步骤。^[6]特征提取将原始数据转换为一组关键特征,这些特征能够反映设备的运行状态,并与故障相关联。通过简化数据并突出关键指标,故障预测模型能够更准确地识别和预测潜在的故障。确定与故障相关的特征;使用统计方法和机器学习算法从数据中提取这些特征;对提取的特征进行优化,以提升预测模型的性能。数据预处理和特征提取是实现基于物联网的设备维护和故障预测的核心环节。

(三) 故障预测算法研究

故障预测算法是物联网时代设备维护的核心。它不仅关注故障响应,更注重预测性维护,即通过分析历史数据来预测未来故障,实现预防性维护。

现代算法如机器学习、深度学习和时间序列分析,能够分析设备历史数据,识别故障模式,并预测未来故障。这些算法通过统计学习、非线性数据处理和时间序列分析,构建准确的预测模型。选择和优化算法是提高预测准确性的关键。这需要考虑数据质量、算法复杂性和实时性需求。通过调整参数、选择特征集和验证模型性能,企业可以构建高效的预测模型,实现精准维护决策。^[7]

(四) 维护决策与优化

基于物联网的设备维护不仅限于预测故障,更关键的是根据预测结果做出及时的维护决策。这包括确定维护时机、选择维护方式、安排维护计划等。通过优化这些决策,企业可以最大限度地减少停机时间,提高生产效率,并降低维护成本。

基于物联网的智能制造设备维护与故障预测方法是一个综合性的过程,涉及数据采集、预处理、算法研究和维护决策。这一过程要求企业对设备运行数据进行实时采集和分析,确保数据的准确性和完整性。数据预处理阶段需要去除噪声和冗余信息,提取关键特征。算法研究阶段则涉及选择和优化故障预测模型,以提高预测准确性。维护决策阶段需要根据预测结果,制定有效的维护计划,确保设备在最佳状态下运行。^[8]

四、实际案例分析

(一) 案例一:某矿山企业选矿厂设备维护与故障预测

1. 案例概述

某大型矿山选矿厂面临着设备维护的挑战,特别是由于选矿工艺流程的复杂性和设备的多样性及高成本。为了解决这个问

题，该选矿厂引入了基于物联网的设备维护与故障预测系统。

2. 系统设计与实现

系统设计包括实时数据采集、远程监控和预测分析。传感器被安装在关键设备上，用于收集运行数据，并通过工业物联网技术传输到中央控制室。利用大数据分析和机器学习算法，系统能够预测潜在的故障，并提前安排维护或计划检修。

3. 应用效果分析

应用该系统后，设备故障率降低了30%，维护成本减少了20%，并且生产效率提高了15%，非计划的检修时间降低了40%。^[9] 这些改进显著提升了企业的整体运营效率，同时也提高了产品的质量和客户满意度。

（二）案例二：某航空制造企业设备维护与故障预测

1. 案例概述

在航空制造领域，设备的可靠性和安全性至关重要。某航空制造企业面临着对复杂设备进行有效维护的挑战，因此决定采用基于物联网的设备维护与故障预测系统。

2. 系统设计与实现

系统设计侧重于实时数据采集、高级数据分析以及预测性维护。通过在关键设备上安装传感器，系统能够实时监控设备状态，并通过人工智能算法预测故障。

3. 应用效果分析

应用该系统后，设备故障率降低了40%，维护成本减少了30%，并且生产周期缩短了20%。这些改进不仅提升了生产效率，还确保了航空产品的安全性和可靠性，增强了企业的市场竞争力。^[10]

（三）案例三：某电子制造企业设备维护与故障预测

1. 案例概述

电子制造行业的竞争激烈，对设备的可靠性和维护效率有很高的要求。某电子制造企业为了提高其设备的维护效率，决定实施基于物联网的设备维护与故障预测系统。

2. 系统设计与实现

系统设计包括实时数据采集、数据分析处理和预测维护策略。通过在设备上安装传感器，系统能够收集设备运行数据，并通过机器学习算法分析数据，预测故障。

3. 应用效果分析

应用该系统后，设备故障率降低了25%，维护成本减少了15%，并且生产效率提高了10%。这些改进不仅提升了企业的生产效率，还提高了产品的质量和客户满意度，为企业在电子制造行业中的竞争优势奠定了基础。

通过这三个实际案例的分析，证明了该技术能够提高设备的可靠性和生产效率，降低维护成本，并为企业的可持续发展提供支持。

五、发展趋势与展望

随着技术的不断进步，物联网和智能制造设备维护与故障预测领域正面临着新的发展趋势和挑战。

（一）物联网技术发展趋势

物联网技术正朝着更智能、更互联的方向发展。随着5G、边

缘计算和人工智能等技术的成熟，物联网将能够处理和分析更多的数据，提供更实时的监控和预测。此外，物联网设备的成本正在降低，这将进一步推动物联网技术的普及和应用。

（二）智能制造设备维护与故障预测发展趋势

智能制造设备维护与故障预测领域正朝着更自动化、更智能化的方向发展。随着机器学习、深度学习和大数据分析等技术的进步，预测性维护将能够更准确地预测故障，并提供更智能的维护建议。此外，随着物联网设备的普及，将会有更多的数据可用于分析和预测，进一步提高预测的准确性和效率。

（三）面临的挑战与未来研究方向

尽管物联网和智能制造设备维护与故障预测领域正面临许多机遇，但也面临着一些挑战。这些挑战包括数据隐私和安全性、设备维护人员的技能需求，以及维护成本的控制等。未来研究方向将包括提高数据隐私和安全性、开发更高效的预测算法，以及提高设备维护人员的技能和培训等。

物联网和智能制造设备维护与故障预测领域正面临着新的发展趋势和挑战。企业需要紧跟这些趋势，并积极应对挑战，以保持竞争力和可持续发展。

结束语

在本研究中，发现物联网通过实时数据采集和智能分析，为企业提供了更高效、经济的设备管理手段。案例分析显示，该技术在矿山、航空和电子制造业中的应用显著提升了设备可靠性、生产效率并降低了维护成本。尽管面临数据隐私、维护人员技能和成本控制等挑战，但物联网和智能制造设备维护领域的发展潜力巨大。通过持续创新，企业定能提高生产效率，为可持续发展做出贡献。我们期待这一领域的未来发展，相信它将为人类带来更多福祉。

参考文献

- [1] 周旭. 基于物联网的监控设备智能控制方法 [J]. 数字通信世界, 2023, (10).
- [2] 李云飞. 基于 MQTT 的物联网应用支撑平台的设计与实现 [D]. 2023.
- [3] 李昕洋, 李玉光. 基于物联网技术的设备管理研究综述 [J]. 现代工业经济和信息化, 2023, 13(09): 268–270. DOI: 10.16525/j.cnki.14-1362/n.2023.09.089.
- [4] 赵军富, 靳永胜, 李建军. 物联网下智能制造设备故障预测分析 [J]. 内蒙古科技大学学报, 2023, 42(02): 123–127. DOI: 10.16559/j.cnki.2095-2295.2023.02.005.
- [5] 张鹏飞. 智能制造技术在汽车装配线中的应用 [J]. 汽车测试报告, 2023, (11): 37–39.
- [6] 蒋春. 面向离散型制造智能工厂的边缘计算关键技术研究 [D]. 华南理工大学, 2022. DOI: 10.27151/d.cnki.ghnlu.2022.005165.
- [7] 李昕洋, 李玉光. 基于物联网技术的设备运维在高炉的实践 [J]. 设备管理与维修, 2022, (03): 106–108. DOI: 10.16621/j.cnki.issn1001-0599.2022.02.45.
- [8] 王明心. 大数据时代安全管理迈向智能化 [J]. 劳动保护, 2021, (08): 68–70.
- [9] 李秀峻. 基于物联网技术的焊接过程质量能力提升研究 [J]. 上海汽车, 2020, (02): 43–47.
- [10] 杨兴强. 智能制造在 S 公司的应用研究 [D]. 苏州大学, 2019. DOI: 10.27351/d.cnki.gszzhu.2019.004218.

电力系统 220kV 输电线路综合防雷技术研究

陈昱

贵州金元股份有限公司，贵州 贵阳 550081

摘要： 本文探讨了 220kV 输电线路面临的雷击危害及其防护措施。文章分析了雷击对输电线路造成的危害，包括高热、高压和电磁感应等，并指出了交叉跨越、针式绝缘子的局限性以及设备维护等问题，这些都导致了雷击风险的增大。随后，文章介绍了避雷针、避雷线和垂直地极等防雷接地技术要点，并提出了开展接地巡检、加强接地测试等有效对策，以提高输电线路的耐雷水平。文章还展望了未来防雷技术的发展方向，并强调了科技进步和持续创新在增强电网防雷能力方面的重要性。

关键词： 220kV 输电线路；综合防雷技术；防雷设计优化；雷击故障分析；输电线路安全

Research on Comprehensive Lightning Protection Technology for 220kV Transmission Lines in Power System

Chen Yu

Guizhou Jinyuan Co., Ltd., Guiyang, Guizhou 550081

Abstract： This article discusses the lightning hazards faced by 220kV transmission lines and their protective measures. The article analyzes the hazards caused by lightning strikes on transmission lines, including high heat, high voltage, and electromagnetic induction, and points out the limitations of cross crossing, pin insulators, and equipment maintenance, all of which increase the risk of lightning strikes. Subsequently, the article introduced the key points of lightning protection and grounding technologies such as lightning rods, lightning conductors, and vertical electrodes, and proposed effective measures such as conducting grounding inspections and strengthening grounding tests to improve the lightning resistance level of transmission lines. The article also looks forward to the future development direction of lightning protection technology and emphasizes the importance of technological progress and continuous innovation in enhancing the lightning protection capability of the power grid.

Keywords： 220kV transmission line; comprehensive lightning protection technology; optimization of lightning protection design; lightning strike fault analysis; transmission line safety

引言

随着经济的快速发展和城市化进程的加快，我国电力需求不断增长，电网规模不断扩大。作为电力系统的重要组成部分，输电线路的安全运行对于保障电力供应和系统稳定性具有重要意义。然而，输电线路在运行过程中经常会受到雷击等自然灾害的影响，导致设备损坏、供电中断，甚至引发火灾等严重后果。

220kV 输电线路是我国电力系统中常见的高压输电线路，其运行稳定性直接关系到电网的安全和可靠供电。然而，由于其电压等级较高，线路较长，且穿越多种地形地貌，使得 220kV 输电线路更容易受到雷击的影响。因此，针对 220kV 输电线路的综合防雷技术研究具有重要的现实意义和应用价值。

一、雷电对输电线路的危害

雷电是一种自然现象，它一般发生在雷雨季节。所以，依据我国的季节特性，夏季最容易发生雷电事故。有一个常识是，雷电很容易发生在高层建筑或建筑物的尖端上。事实上，输电线路经常被雷电损坏。雷电对输电线路的危害主要体现在三个方面。

（一）雷击导致的高热效应对输电线路的破坏及经济损失

雷电现象是由于太阳辐射使地表受热造成含水汽空气产生对

流，水珠在运动、碰撞、分裂、融合过程中带上电荷。雷云放电就产生光（闪）和声（雷），并在输电线路形成过电压^[1]。由于高压输电线路都是架空线路，且线路分布非常广，所应用的金属材料也是非常之多，这就使得雷击过程中所产生的感应电流也叫雷电冲击波，很容易从供电线路入侵，冲击波瞬间所形成的雷电感应电压可达上千伏左右，虽然高压输电线路安装了避雷装置，但是由于其动作慢、残压高，难以对雷电冲击波进行有效地释放，从而造成电源设备和通信系统的损坏^[2]。这种破坏对于输电线

路来说是灾难性的，同时也会直接导致电力系统承受重大的经济损失。

（二）雷电产生的高压效应对输电线路及设备的破坏性影响

雷电活动带来的高压效应同样对输电线路及其相关设备构成了严峻的挑战。在雷电发生时，电压可飙升至高达数十万伏以上，远超常规电力系统的承受范围。当这样的高电压作用于输电线路时，可能导致线路短路、保护装置跳闸，甚至可能对变压器等关键设备造成不可逆的损坏^[3]。

此类破坏不仅对电气设备和金属导线造成物理损害，严重时还可能引发火灾或爆炸事故，对人身安全和财产安全构成严重威胁。因此，电力系统的设计和运营中，必须高度重视雷电防护措施的实施，如安装 lightning arresters（避雷针）、优化接地系统以及提高设备的耐电压能力等，以确保电力系统的稳定运行和公共安全。

（三）雷电引发的电磁感应及其对输电线路的危害与防雷技术的必要性

伴随雷电现象产生的电磁感应效应，对输电线路构成了另一重挑战。这种电磁感应能够在输电线路周围形成强大的电磁场，进而可能导致传输电流的异常增加^[4]。这种突增的电流，叠加高热效应的影响，可能对输电线路造成严重的甚至是不可修复的损害。

为了减轻雷电带来的这些潜在破坏，应用有效的防雷技术成为输电线路安全运行的必要手段。通过综合运用防雷装置、优化线路设计、提高设备的耐受能力等措施，可以在很大程度上降低电磁感应和高热效应对输电线路的危害，从而确保电力系统的稳定性和可靠性。

二、电力系统220kV 输电线路遭受雷击的主要原因分析

雷击现象可能引起设备故障、电力中断，甚至对电网的稳定性和安全性构成挑战。接下来，本文将对220kV 输电线路遭受雷击的主要原因进行剖析，并探讨如何有效减少雷击风险，确保电力系统的可靠运行。

（一）交叉跨越带来的雷击风险

在电力传输系统中，220kV 输电线路往往需要与500kV 输电线路进行交叉跨越。这种布置方式可能会使220kV 线路暴露于来自更高电压等级线路的雷电影响之下。由于500kV 线路的防雷设计通常更为严格，220kV 线路在这种交叉跨越的情境下可能会显露出其防雷设计的局限性^[5]。当500kV 线路遭受雷击时，其防护措施不足的220kV 线路可能会因为雷电的传递而遭受损害，暴露出其在应对强雷电冲击方面的脆弱性。因此，确保220kV 线路具有与更高电压等级线路相匹配的防雷能力，对于保障整个电力系统的稳定运行至关重要。

（二）针式绝缘子的局限性

在220kV 输电线路的设计中，针式绝缘子的广泛应用为其带来了在极端天气条件下的稳定性，尤其是在抵御台风和雷电方面

表现出色。然而，这种绝缘子的设计存在一个显著缺陷，即当绝缘体受损时，故障点不易被及时察觉。尽管绝缘子通常能够承受35kV 的电压，雷击产生的高压可能导致绝缘子隐性损坏，使得绝缘子在外观上看似正常工作，实则隐藏着潜在的安全隐患^[6]。这种隐蔽性故障的存在，增加了输电线路的不稳定性和维护的复杂性，从而对电力系统的可靠性和安全性构成了挑战。

（三）设备安装与维护问题

220kV 高压输电线路面临的雷击风险部分来源于杆塔及设备安装的不规范问题。例如，接地线焊接不牢固或土壤松散可能会造成接地系统的稳定性不足，进而影响防雷性能。此外，避雷器的质量不佳或长期遭受雷击而未得到适当维护，在故障状态下，线路对雷击的敏感性可能会增加。此外，不正确地使用接地电阻测试仪器可能导致防雷设备的安装和选用不当，进一步增加了220kV 输电线路对雷击的脆弱性。这些因素共同作用，可能使得输电线路在面对雷电威胁时显得尤为脆弱。

三、电力系统220kV 高压输电线路防雷接地技术要点分析

为了有效降低雷击对输电线路的影响，需要掌握一些关键的防雷接地技术。以下是关于避雷针的安装与功能、避雷线的布置与保护机制以及垂直地极的安装与优化的要点分析。

（一）避雷针的安装与功能

在220kV 高压输电线路的防雷体系中，避雷针发挥着至关重要的作用。其安装的目的在于显著提高线路对雷击的防护能力。当雷云与地面之间的电势差达到一定程度时，避雷针便开始发挥作用，它能够主动探测并响应先导放电现象。通过巧妙地改变电场方向，避雷针有效地将雷电引导至接闪器，并安全地释放至地面，从而减轻雷击对输电线路的潜在损害^[7]。这一机制的运作，不仅体现了人类对自然力量的深刻理解和巧妙利用，也凸显了技术在确保电力系统稳定运行中的重要作用。

（二）避雷线的布置与保护机制

在220kV 高压输电线路的防雷保护策略中，避雷线的布置扮演着至关重要的角色。其主要作用是作为线路的屏障，有效地将雷电引导至地面，从而确保输电线路的安全运行。避雷线的分流效能是其关键性能指标，能够显著降低塔身所承受的雷电电流，减轻雷电冲击的影响^[8]。这种设计不仅反映了对雷电自然规律的深刻认识，也体现了工程技术的精湛，进一步巩固了电力系统的可靠性与稳定性。

（三）垂直地极的安装与优化

在土壤电阻率较低的地区，为了提升220kV 输电线路的防雷性能，安装垂直地极是一种有效的策略。通过将地极垂直埋设至一定深度，通常为0.5米，可以显著提高接地系统的效率，进而增强输电线路对雷电冲击的抵抗能力。这种策略不仅考虑了地质特性，也对防雷技术进行了精细的调整，确保了在不同地质条件下电力系统的稳定性和安全性^[9]。

四、电力系统 220kV 高压输电线路防雷的有效对策

由于雷电灾害的不可预测性和强大的破坏力，采取有效的防雷对策是确保输电线路安全的关键。以下是一些有效的防雷对策，包括开展接地巡检以及加强接地测试，以提升输电线路的耐雷水平。

（一）开展接地巡检，及时发现问题

为了确保 220kV 高压输电线路在雷雨季节的安全稳定运行，电力供应部门必须对防雷装置的接地线路进行彻底检查，并详尽记录线路的运作状态，以便准确识别和预防雷击事故的关键节点。在夏季，由于天气变化剧烈，强对流天气伴随的雷阵雨频发，供电部门应基于过往经验，电力系统应对其防雷策略和规划进行相应的调整与优化，以确保系统的稳定性和可靠性。

为了有效提升电网的防雷能力，应当对历史雷击跳闸事件进行深入的数据分析，以识别那些易受雷击的线路和设备。基于这些分析结果，可以进一步完善电网防雷示意图，并制定出针对性的防雷方案，从而构建起一道坚固的防雷屏障。此外，为了提升电网的防雷效果，有必要增加对电网设备的巡查频次。特别是在特殊天气条件下，应确保“巡改结合”的原则得到有效执行^[10]。这涉及对变电站及高压输电线路的防雷系统进行彻底的评估，包括检测设备状况、接地网的完整性、架空地线与接地设备的连通性，以及接地体的腐蚀状况，从而确保防雷系统的稳定性和效能。

在检测过程中，若发现接地设备存在腐蚀现象、引下线与设备连接点松动等缺陷，应迅速采取修复措施，以最大限度地降低雷电对设备可能造成的损害，并保证在雷暴季节设备能够有效地对雷电流进行疏导。同时，电力供应部门应全面审查和清理线路的防雷保护设施及线路通道，及时更换受损的避雷器、瓷瓶以及不符合技术参数的接地设备，并对接地电阻进行重新评估。对于未达到标准的接地线，应重新布置，以提升电网的防雷减灾能力。

此外，定期的巡查对于维护防汛工作的全面性至关重要。重点应放在小流域、城市地区、水库周边以及易于发生滑坡的山区地带，实施连续监测和预防措施，以防止次生灾害的发生。政府机构、电视台、交通枢纽、医院等关键客户的供电线路也应列为优先巡查对象，以增强区域电网的防汛功能。同时，应对某些变电站的墙体进行加固处理，并定期检验站外护坡和排水沟的状况，一旦发现任何问题，应迅速进行分类处置，确保电网的稳定和安全运行。

（二）加强接地测试，提升耐雷水平

电力供应部门需针对 220kV 高压输电线路的防雷保护措施，实施系统性的规划和精心部署，确保电网在防雷、防汛以及抗旱等关键领域的工作稳步向前。此外，为了保障防雷系统的可靠运行，定期对防雷接地系统的性能进行检测是必不可少的。

在防雷测试领域，遵义供电局展现了实践案例。以 2022 年的防雷测试计划为例，该供电局计划执行 318 组防雷测试，目的是为历史上频繁遭受雷击导致跳闸的线路，制定并实施一整套综合性

的防雷改善策略。具体操作包括：完成 658 次基杆塔接地电阻的测试，以及 630 次避雷器和其放电计数器的检查。此外，对配电网进行了针对性的防雷接地改造，措施包括安装氧化锌避雷器、设置放电间隙、改进不符合规范的接地电阻，以及更换瓷瓶绝缘子等，这些措施显著提高了线路的抗雷击能力。

结束语

220kV 高压输电线路作为我国电网的重要组成部分，其安全稳定运行对于保障国家能源安全和电力供应具有重要意义。然而，雷电灾害对输电线路的影响不容忽视。为了降低雷击风险，提高输电线路的耐雷水平，本文对 220kV 输电线路的综合防雷技术进行了深入研究。

然而，防雷技术的研究和应用仍然面临一些挑战。因此，未来的研究工作可以从以下几个方面展开：一是继续探索新的防雷技术和方法，提高输电线路的耐雷水平；二是加强对防雷设备的试验和检测，确保其性能和可靠性；三是利用现代信息技术，实现对输电线路和接地系统的远程监控和智能管理。

总之，本文对 220kV 输电线路的综合防雷技术进行了全面研究，并提出了一系列有效的防雷对策。随着科技的进步和防雷技术的不断发展，我国电力系统的防雷能力将得到进一步提高，这将为电网的安全稳定运行和电力事业的可持续发展提供有力保障。进一步的研究与实践将有助于构建更加坚强可靠的电力系统。

参考文献

- [1] 拓新路, 杨博. 特高压输电线路防雷技术探讨 [J]. 电工文摘, 2017, (06):55-57.
- [2] 黄福彩. 高压输电线路防雷技术措施探讨 [J]. 中小企业管理与科技 (下旬刊), 2013, (05):295.
- [3] 邱续东. 220 kV 输电线路综合防雷技术探究 [J]. 电工材料, 2023, (02):84-86+89.DOI:10.16786/j.cnki.1671-8887.eem.2023.02.020.
- [4] 张舒涵. 区域电网综合防雷技术研究 [D]. 长春工业大学, 2022.DOI:10.27805/d.cnki.gccgy.2022.000881.
- [5] 肖定静. 浅析 110kV 输电线路综合防雷技术与接地电阻的设计 [J]. 山东工业技术, 2018, (13):162.DOI:10.16640/j.cnki.37-1222/t.2018.13.149.
- [6] 钟壮军. 配网 10kV 架空线路综合防雷技术探讨 [J]. 低碳世界, 2016, (33):30-31.DOI:10.16844/j.cnki.cn10-1007/tk.2016.33.021.
- [7] 吴伟, 叶辉, 廖志斌, 等. 输电线路综合防雷措施技术经济性分析 [J]. 中国高新技术企业, 2016, (26):122-123.DOI:10.13535/j.cnki.11-4406/n.2016.26.059.
- [8] 周希伦. 继电保护故障应对策略及新型继电保护技术的研究分析 [J]. 电子测试, 2020(20):106-107+103.
- [9] 孙喜萍. 电厂继电保护故障诊断及处理对策研究 [J]. 通信电源技术, 2020, 37(02):114-115.
- [10] 陈国平, 王德林, 袁渝涛, 等. 继电保护面临的挑战与展望 [J]. 电力系统自动化, 2021, 41(16):1-11+26.

LNG 储罐的节能减排技术与环境影响评估

陈志强

桂林市中科石油化工工程有限公司, 广西 桂林 541000

摘要： 液化天然气（LNG）作为清洁能源的重要代表，在全球能源结构中的地位日益重要。随着能源需求的增长和环境保护意识的提升，LNG 的生产、运输和储存技术不断创新，以提高效率并减少对环境的负面影响。本文旨在探讨 LNG 储罐的节能减排技术及其应用方法，并提出了实践中对 LNG 储罐节能减排技术实施的环境影响评估方法，为 LNG 储罐的节能减排的研究和实践提供了指导性意见。

关键词： LNG 储罐；节能减排技术；环境影响

Energy Saving And Emission Reduction Technologies For Lng Storage Tanks And Environmental Impact Assessment

Chen Zhiqiang

Guilin Zhongke Petrochemical Engineering Co., Ltd. Guangxi, Guilin 541000

Abstract： As an important representative of clean energy, liquefied natural gas (LNG) plays an increasingly important role in the global energy structure. With the growth of energy demand and the improvement of environmental protection awareness, the production, transportation, and storage technologies of LNG are constantly innovating to improve efficiency and reduce negative impacts on the environment. This article aims to explore the energy-saving and emission reduction technologies of LNG storage tanks and their application methods, and proposes an environmental impact assessment method for the implementation of energy-saving and emission reduction technologies in LNG storage tanks in practice, providing guidance for the research and practice of energy-saving and emission reduction in LNG storage tanks.

Keywords： LNG storage tanks; energy saving and emission reduction technologies; environmental effect

前言：

随着全球能源需求的增长和对环境影响的关注不断提升，LNG 作为一种清洁且高效的能源选择，其在能源供应链中的地位日益重要。然而，LNG 的生产、储存和运输过程中存在能源消耗和环境影响的问题，特别是与储罐相关的节能减排技术成为当前研究的焦点^[1]。在 LNG 储罐的运营中，节能减排技术的应用涵盖了多个方面，包括但不限于：优化储罐设计以减少能量损耗、提升保温材料的性能以降低热损失、采用先进的液化气体控制和压缩技术以减少能源消耗等。这些技术不仅可以有效降低运营成本，还能显著减少温室气体和其他污染物的排放，从而对环境产生积极影响^[2]。LNG 储罐的环境影响评估过程中需要考虑的因素包括储罐建设对周边生态系统和社区的潜在影响、储罐运营期间产生的噪音、废水和废气等排放，以及应对发生的意外事故的应急预案等。通过科学的环境影响评估，可以帮助制定有效的管理和监控措施，从而最大程度地减少 LNG 储罐运营对环境的负面影响。

一、LNG 储罐应用节能减排技术的必要性

LNG 储罐在存储和分发液化天然气过程中需要大量的能源支持，尤其是用于维持低温环境和保持 LNG 液态状态的能耗较高，且 LNG 储罐运营过程中产生的温室气体排放，如二氧化碳和甲烷，对环境和气候变化具有潜在影响，通过应用气体回收利用技术和智能控制系统，有效减少 LNG 蒸发和泄漏，可以降低温室气体的排放量，不仅有助于企业履行环境保护责任，还有利于全球

应对气候变化挑战^[3]。

除此之外，节能减排技术的应用可以降低 LNG 储罐的运营成本，包括能源成本和维护费用，可以减少能源消耗和减少运行中的损耗，企业可以提高其竞争力和长期盈利能力。此外，优化能源利用还能够减少对外部能源供应的依赖，提升企业的能源安全性和可持续发展能力。从宏观的角度而言，LNG 储罐作为重要的能源基础设施，其技术创新和发展对整个行业具有引领作用，在很大程度上推动节能减排技术的应用和研发，不仅可以提升储罐

* 作者简介：陈志强，1991 年 1 月，男，汉族，辽宁朝阳，中级职称，从事石油化工工程建设领域

的性能和安全性，还可以促进相关技术的进步，推动整个 LNG 产业链向更加环保和可持续发展的方向。

二、LNG 储罐的节能减排技术

（一）绝热技术在 LNG 储罐的应用

绝热技术在 LNG 储罐的应用，尤其是在节能减排方面具有显著的技术性和经济性优势^[4]。由于 LNG 需要保持在约 -162 摄氏度的极低温下，传统的绝热材料如岩棉、泡沫玻璃和聚氨酯等被广泛应用于储罐的外壁和内部层。这些材料具有优异的绝热性能，能有效隔离外部环境的热传导，减少热量通过传导和辐射的损失，从而降低了 LNG 的气化速率和能源消耗。

现代 LNG 储罐的绝热技术不仅限于材料选择，具体包括结构设计和施工工艺的优化。一般上选用多层绝热屏障结构和真空绝热技术能够有效提高绝热效果，减少热桥和冷却能耗。此外，通过精确的温度和压力控制系统，可以实现对储罐内部环境的精确调节，进一步优化绝热效果，降低操作风险和能源成本，且绝热技术的进步不仅提升了 LNG 储罐的运行效率，还显著减少了对外部环境的影响^[5]。通过减少热量的损失，储罐运营过程中排放的温室气体如二氧化碳和甲烷也得到有效控制，有助于企业履行环保义务和减少对环境的负面影响。

（二）气体回收与循环利用技术在 LNG 储罐的应用

在液化天然气的储存和分配过程中，常伴随着少量的蒸发气体的产生，其中包括主要的成分甲烷及其他碳氢化合物，蒸发气体不仅导致能源的浪费，还对环境造成不良影响，在 LNG 储罐设计阶段，气体回收与循环利用技术在 LNG 储罐的应用显得尤为重要，它不仅可以提高能源利用效率，还有助于减少温室气体的排放。

气体回收技术通过安装在储罐周围的回收系统，捕捉并收集蒸发的天然气。这些系统通常包括压缩机和冷凝器，能够将蒸发气体压缩回收，并通过冷却和液化过程将其转化为液态状态，且回收的液化天然气可以进一步用于储罐系统的补充和再利用^[6]。在气体回收与管理阶段，液化天然气可以重新注入储罐中以保持储罐内部的压力和温度，或者作为工艺中的其他用途，如用作燃料或化工原料。这种循环利用不仅减少了对外部天然气供应的依赖，还降低了生产成本和环境影响，且通过减少蒸发气体的释放，可以有效控制和减少对大气的污染，降低甲烷等温室气体的排放量，有助于企业履行环境法规的要求和可持续发展的承诺。

（三）静态电场技术

静态电场技术利用静电原理，通过在 LNG 储罐表面形成微弱的静电场，来减少表面温度的波动和能量损失，从而提高储罐的绝热性能和运行效率，并且静态电场技术通过在 LNG 储罐表面建立静电场，能够有效地减少外界环境温度变化对储罐内部 LNG 温度的影响^[7]。在低温条件下，LNG 的液态状态对温度波动极为敏感，而静电场可以降低表面温度的波动幅度，减少热量的传导和辐射损失，从而提高储罐的绝热性能。

静态电场技术不仅适用于减少表面温度波动，还能够改善储

罐的耐腐蚀性能和增强保护层的稳定性。静电场可以有效地防止湿气和化学物质在储罐表面的积聚，减少腐蚀的发生，延长储罐的使用寿命，降低维护成本和能源消耗，在此基础上通过减少能源消耗和提高能源利用效率，静态电场技术有助于减少 LNG 储罐运行过程中的温室气体排放，例如二氧化碳和甲烷的释放，符合企业履行环保义务和可持续发展目标的要求^[8]。尽管静态电场技术在 LNG 储罐的应用还处于研究和实验阶段，但随着其技术逐步成熟和应用成本的降低，预计其在未来将会得到更广泛的推广和商业化应用。作为新兴的节能减排技术之一，静态电场技术的进一步发展和应用将为 LNG 储罐行业带来更多的技术创新和经济效益，推动整个行业向更加环保和可持续发展的方向迈进。

（四）热回收技术在 LNG 储罐的应用

在液化天然气储罐的运行中发挥着关键作用，在 LNG 的液态变化过程中，释放的热能通常以废热的形式散失到环境中，基于安装热交换器和热回收系统，可以捕捉这些废热，并用于加热其他流体（如水或空气）或供应建筑物的热能需求。这样不仅提高了能源的综合利用效率，还减少了对外部能源供应的依赖，降低了运行成本和温室气体的排放量。

大部分的热回收技术在 LNG 储罐的应用还能够提升系统的整体效率和运行稳定性，基于回收热能的利用，可以有效地优化储罐内部温度和压力的控制，减少能量浪费和系统的运行风险，提升储罐的操作安全性和可靠性，并且可以最大程度上减少废热的释放不仅减少了对环境的热污染，还能减少温室气体的排放，如二氧化碳和甲烷的释放。

三、LNG 储罐环境影响评估方法

（一）智能化监测系统

智能化监测系统可以实时数据采集和分析，提升了对环境影响的监测和评估效率。这些系统集成各种传感器和数据采集设备，能够实时监测储罐及其周边环境的关键参数，实现对 LNG 储罐运行过程中环境参数的精准监测，传感器网络覆盖储罐及其周边区域，能够及时捕捉到温室气体排放、噪音、挥发性有机化合物（VOCs）等关键环境因子的变化，所采集的数据不仅有助于评估储罐运行对周边环境的实际影响，还能及时预警的环境风险和异常情况。

智能化监测系统的数据采集和分析能力，支持环境因子的实时监测和评估。例如，系统可以监测和记录储罐周围空气质量、水质变化和土壤污染情况，为环境影响评估提供了全面的数据支持，并且系统能够预测并识别的环境风险，如气体泄漏、化学品溢出等，从而及时采取应对措施，减少对周围环境和社区的潜在影响^[9]。此外，系统还能支持环境监管部门的监督和管理，确保 LNG 储罐项目符合环境法规 and 标准，促进项目的可持续发展和社会接受度。

（二）环境因子的影响评估

LNG 储罐实际应用阶段，环境因子包括空气质量、水质、土壤质量、噪音、挥发性有机化合物（VOCs）等，其评估涵盖了对

自然生态系统和人类健康的潜在影响，环境因子的影响评估需要基于科学方法和实地调查数据，全面分析 LNG 储罐项目引起的环境影响^[10]。例如，空气质量影响评估可以通过空气质量监测和模型模拟，评估储罐运行过程中释放的氮氧化物（NO_x）、二氧化硫（SO₂）、PM2.5 等污染物对周边空气质量的影响程度和范围，在此基础上还需要考虑储罐运行导致的化学品泄漏、废水排放以及土壤污染风险，以及这些对当地生态系统和水资源的长期影响。

（三）风险预测与分析

风险预测与分析是评估液化天然气（LNG）储罐项目产生的环境风险和安全问题的重要方法，所对应的风险包括事故风险、化学品泄漏、火灾爆炸等，其评估旨在预测潜在风险的发生概率和影响程度，并采取相应的预防和应对措施以减少的负面影响。对于 LNG 储罐项目，这包括对储罐设计、建设和运营中存在的风险进行全面分析，如设计缺陷、操作失误、自然灾害等。通过结合历史数据、模拟分析和专家判断，可以量化不同风险事件发生的概率和影响，为风险管理提供科学依据。例如，火灾爆炸事件导致的空气污染、土壤污染和水质污染，以及对生态系统和周边社区的长期影响。风险分析不仅关注事故发生的性，还考虑应

急响应和事故后果管理的有效性，以最大程度地减少环境和社会的损失。围绕 LNG 储罐的日常管理工作，还需要制定紧急预案、培训人员、购置安全设备和建立有效的监测系统等措施，以确保项目在运营期间最大限度地保护环境和社会利益。

结语：

综上所述，在 LNG 储罐应用的过程中，通过采用绝热技术、气体回收与循环利用、静态电场技术、热回收技术等多种先进技术，不仅可以显著降低 LNG 储罐的能耗和温室气体排放，还能有效减少其对周围环境的负面影响。在环境影响评估方面，采用环境影响评估（EIA）、生命周期评估（LCA）、生态风险评估（ERA）及社会影响评估（SIA）等方法，能够全面评估项目引起的环境、生态和社会影响，从而制定出科学的管理策略和控制措施，保障项目的可持续发展和环境保护目标的实现。智能化监测系统的应用进一步增强了对储罐运行过程中环境参数的实时监测能力，提升了预测和管理环境风险的效率。因此，综合应用先进技术和科学评估方法是确保 LNG 储罐项目在实施过程中既能实现节能减排，又能最大程度地保护周围环境和社会利益的关键因素。

参考文献：

[1] 许庆江, 樊云博. 城市 LNG 调峰站工艺设计及建造关键技术 [J]. 安装, 2023(S1):40-41.
[2] 林素辉. LNG 储罐预冷方式和 BOG 回收技术分析 [J]. 化工管理, 2023(8):60-63.
[3] 左秋河. 中小型 LNG 装置节能降耗技术的应用与分析 [J]. 石油石化节能与计量, 2023, 13(11):34-38.
[4] 邢明. 某中小型 LNG 动力船舶储罐的设计与校核 [D]. 辽宁: 大连海事大学, 2016.
[5] 魏红梅. LNG 加气站 BOG 的产生及处理工艺研究 [D]. 黑龙江: 哈尔滨工业大学, 2016.
[6] 高晖. 唐山 LNG 项目节能减排技术应用 [J]. 化工管理, 2016(15):115.
[7] 周闯峰. LNG 储罐预冷方式和 BOG 回收技术研究 [J]. 中国化工贸易, 2022(36):178-180.
[8] 金华. 耙吸挖泥船使用 LNG 燃料的优势、问题和解决方案 [C]. // 中国交通建设股份有限公司 2017 年技术交流会论文集. 2017:907-912.
[9] 罗晓钟, 刘东进, 翁玉祥, 等. 智能化船用 LNG 系统装备关键技术研究与应用 [Z]. 张家港中集圣达因低温装备有限公司. 2019.
[10] 本刊讯. 中远海运接收全球首艘 LNG 双燃料 VLCC [J]. 中国航务周刊, 2022(10):20-20.

新能源光伏工程建设管理优化与实践

高峰

朝阳燕山湖发电有限公司, 辽宁 朝阳 122000

摘 要： 随着全球能源结构的转型与升级，新能源光伏工程建设已成为推动绿色、低碳、可持续发展的重要力量。然而，在新能源光伏工程建设过程中，管理环节往往面临着诸多挑战，如技术复杂、投资规模大、建设周期长等。因此，对新能源光伏工程建设管理进行优化与实践显得尤为重要。本文首先介绍了新能源光伏工程建设的背景，包括全球能源转型的趋势、国家政策支持以及市场需求增长等方面；然后，详细阐述了新能源光伏工程建设管理优化的必要性和意义，包括提高建设效率、降低投资风险、促进可持续发展等；接着，探讨了新能源光伏工程建设管理优化的策略与实践，包括完善项目管理体系、优化资源配置、强化技术创新等；最后，对新能源光伏工程建设管理优化与实践的前景进行了展望。

关 键 词： 新能源光伏；工程建设；管理优化；可持续发展

Optimization And Practice Of Construction Management For New Energy Photovoltaic Projects

Gao Feng

Chaoyang Yanshanhu Power Generation Co., Ltd., Liaoning, Chaoyang 122000

Abstract： With the transformation and upgrading of the global energy structure, the construction of new energy photovoltaic projects has become an important force to promote green, low-carbon, and sustainable development. However, in the process of new energy photovoltaic project construction, the management aspect often faces many challenges, such as technical complexity, large investment scale, and long construction period. Therefore, it is particularly important to optimize and practice the construction management of new energy photovoltaic projects. This article first introduces the background of new energy photovoltaic project construction, including global energy transition trends, national policy support, and market demand growth. Then, it elaborates on the necessity and significance of optimizing the construction management of new energy photovoltaic projects, including improving construction efficiency, reducing investment risks, and promoting sustainable development. Next, it explores the strategies and practices for optimizing the construction management of new energy photovoltaic projects, including improving project management systems, optimizing resource allocation, and strengthening technological innovation. Finally, it provides a prospect for the optimization and practice of construction management for new energy photovoltaic projects.

Keywords： new energy photovoltaic; project construction; management optimization; sustainable development

一、引言与背景介绍

随着全球气候变化和环境问题日益严重，能源转型已成为全球共识。新能源光伏工程建设作为清洁能源的重要组成部分，正受到越来越多的关注。在这一背景下，本文首先介绍了新能源光伏工程建设的背景。全球能源转型的趋势日益明显，各国纷纷加大对新能源的投入，推动清洁能源的发展。同时，国家政策对新能源光伏工程建设的支持力度也在不断增加，为新能源光伏工程的建设提供了有力保障。此外，随着市场对清洁能源的需求不断增长，新能源光伏工程建设的市场前景广阔。

二、新能源光伏工程建设管理优化的必要性和意义

在新能源光伏工程建设过程中，管理环节的重要性不言而喻。本文详细阐述了新能源光伏工程建设管理优化的必要性和意义。

（一）提高建设效率与降低建设成本

新能源光伏工程建设是一个复杂且多环节的过程，其建设效率直接关系到项目的投资回报和经济效益。优化管理可以确保项目在规划、设计、施工等各个环节的高效推进。首先，在规划阶段，通过科学合理的规划布局，可以有效避免资源浪费和重复建

* 作者简介：高峰，1985年11月出生，汉族，党员，本科，研究方向：新能源前期管理及工程管理，现就职于朝阳燕山湖发电有限公司，职称职务：项目前期管理。

设,降低初始投资成本。其次,在设计阶段,引入先进的设计理念和技术,能够优化设计方案,提高光伏系统的发电效率,进一步降低运维成本。最后,在施工阶段,通过严格的质量控制和进度管理,可以确保工程质量和工期,降低因质量问题或工期延误带来的额外成本。据相关数据显示,通过优化管理,新能源光伏工程的建设效率可提高20%以上,建设成本可降低10%左右。

（二）降低投资风险与提高项目稳定性

新能源光伏工程建设具有投资大、周期长、风险高的特点。优化管理可以有效降低投资风险,提高项目的稳定性和可持续性。首先,在投资决策阶段,通过深入的市场调研和风险评估,可以确保项目的投资决策科学合理,降低因市场变化或政策调整带来的风险。其次,在项目实施阶段,通过完善的风险管理体系和应急预案,可以及时发现和应对各种风险,确保项目的顺利推进。最后,在运营管理阶段,通过智能化的运维系统和数据分析技术,可以实现对光伏电站的实时监测和数据分析,及时发现并解决潜在问题,提高项目的稳定性和可靠性。据相关研究显示,通过优化管理,新能源光伏工程的投资风险可降低30%以上,项目的稳定性和可持续性得到有效提升。

（三）推动技术创新与产业升级

新能源光伏工程建设管理优化是技术创新和产业升级的重要推动力。首先,在技术创新方面,通过引入先进的建设技术和设备,可以推动光伏技术的不断进步和创新。例如,双面发电技术、高效逆变器等技术的应用,可以大幅提高光伏系统的发电效率和稳定性。其次,在产业升级方面,优化管理可以推动光伏产业向高端化、智能化、绿色化方向发展。通过整合产业链资源、提高产业集中度、加强国际合作等方式,可以推动光伏产业的整体升级和发展。据相关统计数据显示,通过优化管理,新能源光伏产业的技术创新能力和产业竞争力得到有效提升。

（四）促进可持续发展与环境保护

新能源光伏工程建设管理优化对于促进可持续发展和环境保护具有重要意义。首先,在能源结构方面,光伏作为清洁能源的代表之一,其大规模应用有助于减少化石能源的使用和碳排放量,推动能源结构的转型和升级。其次,在环境保护方面,光伏电站的建设和运营过程中不产生污染物和噪音等环境问题,对环境的影响较小。此外,通过优化管理,可以进一步提高光伏电站的发电效率和稳定性,降低对环境的负面影响。据相关研究显示,新能源光伏工程的建设和运营对于促进可持续发展和环境保护具有显著的积极作用。

三、新能源光伏工程建设管理优化的策略与实践

（一）构建完善的项目管理体系

新能源光伏工程建设管理优化的首要策略是构建完善的项目管理体系。这一体系应包括明确的项目目标、详细的项目计划、科学的管理流程以及严格的质量标准。在项目启动阶段,明确项目的长期和短期目标,制定详细的项目计划,确保项目按计划推进。同时,建立科学的管理流程,明确各个部门和人员的职责和

权限,确保项目管理的顺畅进行。此外,制定严格的质量标准,确保光伏工程建设的质量符合相关标准和要求。

实践方面,可以引入项目管理软件,实现项目信息的实时共享和更新,提高项目管理的透明度和效率。同时,加强项目团队的培训和教育,提高项目管理人员的专业素养和管理能力。此外,建立项目管理的监督和评估机制,定期对项目管理进行检查和评估,及时发现问题并进行整改。

（二）优化资源配置与利用

在新能源光伏工程建设中,资源的合理配置和高效利用是管理优化的重要环节。这包括人力资源、物资资源、时间资源等方面的优化。首先,根据项目需求,合理调配人力资源,确保项目团队的专业性和高效性。其次,对物资资源进行合理采购和库存管理,降低物资浪费和成本。最后,合理安排项目时间,确保项目按时完成并避免不必要的延误。

实践方面,可以采用精益管理的方法,对项目建设过程中的各个环节进行精细化管理,减少浪费和损失。同时,引入先进的供应链管理技术,优化物资采购和库存管理,降低库存成本和风险。此外,加强项目时间管理,制定详细的时间计划和进度安排,确保项目按时完成。

（三）强化技术创新与应用

技术创新是推动新能源光伏工程建设管理优化的重要动力。通过引入新技术、新工艺和新材料,可以提高光伏电站的发电效率、降低运维成本并提升项目整体性能。首先,关注光伏技术的最新发展动态,及时引入新技术和新工艺。其次,加强与高校、科研机构等的合作与交流,共同推动光伏技术的创新和应用。最后,鼓励企业加大技术研发投入,提升自主创新能力。

实践方面,可以建立技术研发中心或实验室,集中力量进行光伏技术的研发和创新。同时,加强技术培训和人才培养,提高项目团队的技术水平和创新能力。此外,积极参与国际技术交流合作,引进国外先进技术和经验。

四、新能源光伏工程建设管理优化与实践的前景展望

（一）技术进步推动管理创新

随着光伏技术的不断进步,新能源光伏工程建设管理也将迎来新的创新机遇。首先,光伏技术的效率提升和成本降低将使得光伏电站的建设更加经济高效,同时也对工程管理提出了更高的要求。这将推动工程管理的智能化、自动化、数字化等方面的发展,通过引入先进的管理软件、大数据分析等工具,实现工程建设的实时监控、精准预测和智能决策。

其次,新材料、新工艺的应用将推动光伏工程建设管理的创新。例如,柔性光伏材料、高效储能技术等新兴技术的应用将改变传统的工程建设模式,需要工程管理的材料管理、施工工艺等方面进行相应的调整和优化。这将促进工程管理的技术创新方面的积极探索和实践,推动光伏工程建设管理的不断进步。

在技术进步的推动下,新能源光伏工程建设管理将实现更加高效、智能、精准的管理,为光伏产业的可持续发展提供有力

保障。

（二）市场需求驱动管理优化

随着全球对清洁能源需求的不断增长，新能源光伏工程建设市场将持续扩大。这将为光伏工程建设管理带来新的发展机遇和挑战。一方面，市场规模的扩大将促使光伏工程建设管理在规模化、标准化、系列化等方面进行优化，提高工程建设效率和质量。另一方面，市场竞争的加剧将要求光伏工程建设管理在成本控制、质量管理、工期控制等方面更加精细化和专业化，以满足市场的多元化需求。

为了应对市场需求的变化，光伏工程建设管理将不断加强市场调研和预测能力，根据市场需求及时调整工程建设方案和管理策略。同时，加强与其他行业的合作与交流，共同推动光伏产业的创新发展。

在 market 需求的驱动下，新能源光伏工程建设管理将不断实现管理优化和升级，满足市场对清洁能源的需求，推动光伏产业的健康发展。

（三）绿色发展与可持续发展理念引领管理方向

随着全球对环境保护和可持续发展的重视，绿色发展和可持续发展理念已成为光伏产业发展的重要指导思想。这将对光伏工程建设管理提出新的要求和挑战。

首先，绿色发展和可持续发展理念要求光伏工程建设管理在

规划、设计、施工等各个环节都充分考虑环境影响和生态保护，实现工程建设与环境的和谐共生。这需要工程管理在生态保护、资源利用等方面进行深入研究和实践，推动光伏工程建设向绿色化、低碳化方向发展。

其次，绿色发展和可持续发展理念要求光伏工程建设管理在技术创新和产业升级方面积极探索和实践，推动光伏产业向高端化、智能化、绿色化方向发展。这需要工程管理在技术创新、人才培养等方面加大投入和支持力度，推动光伏产业的持续发展和进步。

在绿色发展和可持续发展理念的引领下，新能源光伏工程建设管理将不断实现管理创新和实践突破，为光伏产业的绿色发展和可持续发展做出积极贡献。

结语

随着全球对可再生能源和环保的日益重视，新能源光伏工程建设正逐渐成为推动绿色能源发展的重要力量。面对这一趋势，新能源光伏工程建设管理优化与实践显得尤为重要。通过本文的探讨，我们可以看到，无论是在技术进步、市场需求、绿色发展理念，还是国际合作与交流方面，新能源光伏工程建设管理都展现出了巨大的潜力和前景。

参考文献

- [1] 董强. 光伏电站运维及增值管理的研究 [J]. 大众标准化, 2022(22): 126-128.
- [2] 邵明德. 屋顶分布式光伏发电工程总承包管理实践经验 [J]. 太阳能, 2022(4): 29-35.
- [3] 陈欢. 平价时代新能源项目工程建设精细化管理探索与实践 [J]. 电力设备管理, 2023(12): 174-176.
- [4] 高天宇. 新能源光伏电站项目建设管理优化策略研究 [J]. 光源与照明, 2022(11): 71-73.

化工工程项目技术创新与技术经纪的协同发展研究

谭绍莹

天津市创举科技股份有限公司, 天津 300392

摘要： 本文聚焦化工工程项目，探讨技术创新与技术经纪的协同效应。文章明确了化工工程技术创新的概念、特性，以及技术经纪的定义和功能，进而分析了两者之间的互动关系。通过现状评估，文章展示了中国化工工程项目在技术创新方面的成就与挑战，并强调了技术创新在此类项目中的核心地位。文章重点分析了技术经纪在推动化工工程项目技术创新中的角色，包括其促进机制、具体案例分析以及优势与局限。基于此，构建了一个促进技术创新与技术经纪协同发展的模式，并提出了相应的实施策略。从政策角度出发，文章提出了促进化工工程项目技术创新与技术经纪协同发展的政策建议。

关键词： 化工工程项目；技术创新；技术经纪；协同发展；政策建议

Research on the Collaborative Development of Technological Innovation and Technology Brokerage in Chemical Engineering Projects

Tan Shaoying

Tianjin Chuangchuang Technology Co., Ltd., Tianjin 300392

Abstract： This article focuses on chemical engineering projects and explores the synergistic effects of technological innovation and technology brokerage. The article clarifies the concept and characteristics of chemical engineering technology innovation, as well as the definition and function of technology brokerage, and then analyzes the interactive relationship between the two. Through current situation assessment, the article showcases the achievements and challenges of technological innovation in Chinese chemical engineering projects, and emphasizes the core position of technological innovation in such projects. The article focuses on analyzing the role of technology brokers in promoting technological innovation in chemical engineering projects, including their promotion mechanisms, specific case studies, and advantages and limitations. Based on this, a model has been constructed to promote the collaborative development of technological innovation and technology brokerage, and corresponding implementation strategies have been proposed. From a policy perspective, the article proposes policy recommendations to promote the coordinated development of technological innovation and technology brokerage in chemical engineering projects.

Keywords： chemical engineering projects; technological innovation technology brokerage; collaborative development; policy suggestion

引言

随着科学技术的飞速发展，化工行业在我国国民经济中的地位日益凸显。化工工程项目作为化工行业的重要组成部分，其技术创新能力直接关系到行业的竞争力和可持续发展。然而，在化工工程项目的实施过程中，技术创新往往面临着研发成本高、风险大、周期长等挑战。技术经纪作为一种新兴的服务业态，旨在促进技术创新成果的转化与应用，提高技术供需双方的匹配效率。

一、化工工程项目技术创新与技术经纪概述

（一）化工工程项目技术创新的概念与特点

化工产业是国民经济的重要支柱产业之一，由于其体量大、产业链长、资本技术密集、带动作用广、与生产生活息息相关等特征，受到许多国家的高度重视。我国化工企业创新发展方面还面临很多问题，如对国外技术依存度高、创新发展经费投入较低、创新机制不合

理、创新类人才不足等。^[1] 化工工程项目技术创新涉及在新产品、新工艺、新材料和新设备的研究与开发中引入新技术、新理念和新模式，旨在提升产品的技术含量、性能并降低成本。这一过程的特点表现为高额的研发投入，包括设备、原料和人力资源等各方面的资金需求。同时，技术创新伴随着较高的风险，如技术难题、实验失败和市场变化等不确定因素。研发周期长是另一个特点，从实验室研究到工业化生产通常需要经过漫长的试验和改进阶段。

（二）技术经纪的内涵与作用

技术经纪活动涉及专业机构和个人为技术供需双方提供一系列服务，包括信息交流、技术咨询、技术评估和技术转让。这些服务通过收集和发布技术信息，为双方提供一个沟通平台，同时提供专业的咨询和评估，帮助解决技术难题，并促进技术转让，加速技术成果的转化和应用。技术经纪在提高技术供需匹配效率、降低交易成本以及推动技术创新和产业发展方面发挥着关键作用。

（三）技术创新与技术经纪的相互关系

技术创新与技术经纪紧密相连，彼此依存。技术创新构成了技术经纪的基石和先决条件，缺乏技术创新，技术经纪便失去了存在的意义。技术经纪作为催化剂，通过其专业化的服务，加速技术创新成果的转化与应用，使之能够触及更广泛的市场和用户。技术经纪不仅提供了促进技术创新转化的渠道，还带来了市场动态、技术趋势等关键信息，助力技术创新更加精准地对接市场需求。

二、化工工程项目技术创新现状分析

（一）我国化工工程项目技术创新取得的成果

我国化工行业在技术创新方面取得了显著成果，这些成果在化工工程项目的实施中得到了体现。包括新型高分子材料、纳米材料、生物基材料等的研究与开发，提高了产品的性能和降低了成本。绿色工艺改进通过改进生产工艺，减少污染物排放，提高资源利用效率，实现了生产过程的绿色化。^[2]智能化升级应用自动化、信息化、智能化技术，提升了生产效率和产品质量，降低了人力成本。能源高效利用开发高效能源利用技术，如余热回收、节能设备等，减少了能源消耗。

（二）化工工程项目技术创新面临的挑战

尽管我国化工工程项目在技术创新方面取得了显著成果，但在创新过程中仍面临一系列挑战。研发投入相对较低，限制了技术创新的深度和广度，尤其是在与发达国家的比较中更为明显。部分化工企业缺乏核心技术和自主创新能力，过度依赖技术引进，这阻碍了竞争优势的形成。此外，技术人才的短缺也是一大难题，化工行业对专业技术人员的需求巨大，而目前我国在这一领域的高素质人才供应不足。知识产权保护体系的不完善导致技术成果易被侵权，这不仅损害了创新主体的利益，也削弱了他们的创新积极性。

（三）技术创新在化工工程项目中的重要性

技术创新在化工工程项目中起着至关重要的作用，它不仅提升了产品和服务的质量，增强了企业的市场竞争力，还通过优化生产工艺提高了生产效率，降低了生产成本。此外，绿色技术的创新有助于减少环境污染，促进资源的可持续利用，符合社会发展的需求。同时，拥有核心技术的企业能够在市场波动和外部风险面前保持稳定，具有较强的抗风险能力。

三、技术经纪在化工工程项目技术创新中的作用

（一）技术经纪促进技术创新的机制

技术经纪在化工工程项目技术创新中扮演着关键角色，其核

心作用通过以下机制得以实现，技术经纪机构作为信息交流的桥梁，能够迅速连接技术供需双方，促进信息的快速流通和技术知识的广泛传播。^[3]技术经纪通过风险评估和合同管理，帮助投资者和开发者识别并分摊创新过程中的风险，确保项目稳健推进。技术经纪机构还具备资源整合的能力，能够汇聚资金、技术和人才等关键要素，为技术创新提供坚实的支持体系。

（二）技术经纪促进技术创新的案例分

技术经纪在促进技术创新方面发挥着重要作用。通过分析一些具体案例，我们可以更深入地理解技术经纪是如何促进技术创新的。

1. 超凡技术转移转化研究院案例：超凡研究院依托其丰富的专家资源和广泛的服务网络，提供包括成果盘点、技术商业化价值分析、企业产品“防反向工程”设计、商业模式设计、技术转移培训、商机对接、科技成果融资等服务。通过这些服务，超凡研究院成功地将多个科技成果转化为商业应用，例如筛选出具有商业价值的项目并实现技术输出，或促成技术投资和新厂房建设投资。他们的成功在于对科技成果的市场价值和商业机会进行深入分析，以及精准对接供需双方。

2. 国际技术转移创新模式案例：例如，德国史太白技术转移中心通过其全球网络，将有效的知识和技术成功应用联系起来。美国斯坦福大学的技术转移办公室（OTL）模式，通过专利发明人提交的“发明和技术披露表”，由技术经理负责后续的全过程，包括技术评估、申请专利、营销谈判等，实现科技成果的有效转化。韩国技术保证基金（KOTEC）则通过技术担保解决科技与金融的融合难题，为科技型中小企业提供支持。

这些案例表明，技术经纪通过提供专业的服务，如市场分析、技术评估、商业对接等，能够有效地促进科技成果的转化和应用，从而推动技术创新和产业发展。

（三）技术经纪在化工工程项目技术创新中的优势与局限

技术经纪机构和人员通常具备丰富的专业知识和行业经验，能够提供专业的技术评估和咨询，从而确保技术交易的专业性和准确性。此外，技术经纪能够提高技术交易的效率，通过提供一站式服务，缩短技术从研发到市场应用的时间，加速技术创新的转化和应用。同时，技术经纪通过简化技术供需双方的搜索和谈判过程，降低了交易成本，使得技术交易更加高效和便捷。

然而，技术经纪也存在一些局限性。技术供需双方可能对技术经纪机构的公正性和专业性存在疑虑，这可能导致合作关系的建立受阻。技术经纪机构可能无法完全掌握所有相关信息，导致技术匹配的不完全性，影响技术交易的质量和效果。技术经纪市场的规模和成熟度有限，可能无法满足所有技术创新的需求，尤其是在市场需求迅速增长或技术创新日益复杂的情况下。

四、化工工程项目技术创新与技术经纪的协同发展模式

（一）协同发展模式的理论基础

协同理论强调系统内部各要素的相互作用和合作，以实现整体性能和效率的提升。创新扩散理论指出技术创新的传播和应用

需要中介机构的介入，如技术经纪，以促进其在社会中的扩散。资源基础理论认为企业通过获取、整合和利用资源来获得竞争优势，而技术经纪机构作为资源整合者，在促进技术创新中扮演着重要角色。^[4] 这些理论基础共同支撑了化工工程项目技术创新与技术经纪协同发展的模式，强调了系统内各要素的协同合作、中介机构在技术传播中的关键作用，以及资源整合在推动技术创新中的重要性。

（二）协同发展模式的构建

1. 合作机制：建立一个包括技术供需双方、技术经纪机构、研究机构等多方的合作机制，形成一个紧密的合作网络。这样的网络有助于各方资源的优化配置和共享，促进技术创新的快速推进。

2. 信息共享平台：构建一个高效的信息共享平台，实现技术信息、市场信息、政策信息等的快速流通和共享。这样的平台能够提高信息透明度，加速技术创新的进程。

3. 风险管理机制：建立一个包括风险识别、评估和分摊在内的风险管理机制，以降低技术创新过程中的不确定性风险。这有助于各方在风险可控的范围内开展技术创新和技术经纪活动。

4. 激励机制：设立激励机制，鼓励各方积极参与技术创新和技术经纪活动，并共享创新成果。这种机制能够激发各方的创新动力，推动技术创新和技术经纪的持续发展。

（三）协同发展模式的实施策略

1. 加强政策支持：政府应制定相关政策，鼓励化工企业、研究机构和技术经纪机构之间的合作，为技术创新和技术经纪提供政策保障和财政支持。

2. 培育专业人才：加强技术经纪人才的培养和引进，提高技术经纪服务的专业水平。

3. 搭建服务平台：建立和完善技术交易平台、信息服务平台等，为技术供需双方提供便利。

4. 推广成功案例：通过宣传和推广成功的协同发展案例，增强各方对协同发展模式的认知和信任。^[5]

五、促进化工工程项目技术创新与技术经纪协同发展的政策建议

（一）完善政策体系，优化创新环境

1. 制定和实施支持技术创新和技术经纪的政策措施，如税收优惠、资金支持、知识产权保护等。

2. 建立健全相关法律法规，明确技术经纪的法律地位和责

任，规范技术交易市场。

3. 优化创新环境，鼓励企业、高校和研究机构之间的合作，促进知识转移和技术扩散。

（二）加强技术经纪人才培养与引进

1. 设立技术经纪相关专业和课程，培养专业化的技术经纪人才。

2. 引进国内外优秀的技术经纪人才，提升行业整体服务水平。

3. 定期举办技术经纪培训和专业研讨会，提高技术经纪人员的能力和素质。

（三）搭建技术创新与技术经纪的交流平台

1. 建立和完善技术交易平台，提供技术展示、交易撮合等服务。

2. 创建技术信息数据库，提供技术趋势分析、市场调研等信息服务。

3. 组织技术交流会、展览会等活动，促进技术供需双方的沟通与合作。

（四）加大资金投入，完善激励机制

1. 设立技术创新和技术经纪专项资金，支持关键技术研发和转化。

2. 鼓励和引导社会资本投资技术创新和技术经纪领域，形成多元化的投资体系。

3. 建立科技成果转化激励机制，奖励在技术创新和技术经纪中取得显著成果的个人和团队。

通过以上政策建议的实施，可以为化工工程项目技术创新与技术经纪的协同发展提供有力的支持，推动化工行业的技术进步和产业升级。

结束语

在全球化与科技进步的大背景下，化工工程项目的创新发展离不开技术经纪的协同作用。本文针对这一议题进行了探讨，分析了技术创新的成就与难题，并强调了技术经纪在其中的推动作用。期待化工行业在技术创新与技术经纪方面能够实现新的飞跃。为此，政府、企业、研究机构及技术经纪机构需携手合作，促进资源共享、风险共担和利益共享，以实现深度融合。同时，也欢迎更多研究者参与这一领域的研究，为化工工程项目的持续发展提供支持。

参考文献

[1] 张郑. 我国化工企业创新发展面临的问题及对策刍议[J]. 中氮肥, 2024,(03):73-76.DOI:10.16612/j.cnki.issn1004-9932.2024.03.008.

[2] 周焯. 蒋军成:推进有组织协同科研创新化工安全技术[J]. 中国科技产业, 2024,(04):18.DOI:10.16277/j.cnki.cn11-2502/n.2024.04.004.

[3] 朱文科, 解伟宇, 莫勇. 化工技术在精细化工产业中的创新应用[J]. 化工管理, 2024,(05):80-82.DOI:10.19900/j.cnki.ISSN1008-4800.2024.05.024.

[4] 王昱杰, 张国良. 高端化工企业实施技术发展战略探析[J]. 化工管理, 2024,(03):15-19.DOI:10.19900/j.cnki.ISSN1008-4800.2024.03.004.

[5] 陈庭强, 何雯, 刘梦, 等. 碳中和背景下绿色化工的技术创新路径研究[J]. 生态经济, 2023,39(12):72-78.

人工智能在光纤通信网络运维管理中的应用

姚质彬, 黄玲琳, 蒋晓瑜, 黄艳

华信咨询设计研究院有限公司, 浙江 杭州 310000

摘 要 : 在光纤通信网络技术不断发展的过程中, 其与人们日常生活与工作的联系更加密切, 因此, 光纤通信网络运行存在的各类风险问题直接威胁各个用户权益, 人工智能技术在光纤通信网络运维管理中的应用可有效减少此类问题的出现, 在最大程度上维护用户权益。本文主要剖析了人工智能在光纤通信网络运维管理中的详细应用, 并研究了光纤通信网络运维管理措施, 以期为通信行业技术人员提供参考。

关 键 词 : 人工智能; 光纤通信网络; 运维管理

The Application of Artificial Intelligence in the Operation and Maintenance Management of Fiber Optic Communication Networks

Yao Zhibin, Huang Linglin, Jiang Xiaoyu, Huang Yan

Huaxin Consulting Design and Research Institute Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang 310000

Abstract : With the continuous development of fiber optic communication network technology, its connection with people's daily life and work has become closer. Therefore, various risk issues in the operation of fiber optic communication networks directly threaten the rights and interests of users. The application of artificial intelligence technology in the maintenance and management of fiber optic communication networks can effectively reduce the occurrence of such problems and maximize the protection of user rights. This article mainly analyzes the detailed application of artificial intelligence in the operation and maintenance management of fiber optic communication networks, and studies the measures for fiber optic communication network operation and maintenance management, in order to provide reference for technical personnel in the communication industry.

Keywords : artificial intelligence; optical fiber communication network; operation and maintenance management

引言:

光纤通信自身具有传输速度快、传输稳定性等特点, 在通信网络中得到广泛应用, 但光纤通信网络运行中存在线路敷设混乱等问题, 导致光纤通信网络运行稳定性难以得到根本保障。光纤通信技术详细可划分为传输与交换技术两种, 如何有效融合以上两种技术, 减少各类因素对光纤通信网络运行可靠性的影响是现阶段通信行业研究的重点问题。在云计算技术与物联网技术创新升级的背景下, 人工智能在光纤通信网络运维管理中的优势逐渐凸显出来, 其可有效促进传输技术与交换技术的融合, 提升通信系统运行可靠性。

一、光纤通信网络运维管理及人工智能技术概述

(一) 光纤通信网络构成

光纤通信网络主要由光纤线路、光纤连接器、光纤收发器、光纤交换机、光纤网卡、传输线路辅助设备等构成。光纤线路主要由高纯度玻璃或塑料制成的光纤光缆, 其具有传播光脉冲信号的功能, 属于一种传输介质; 光纤连接器具有连接光纤线路元件的功能, 其详细可划分为 SC、LC、ST、FC 等规格形式, 可为光源及用户之间连接构件渠道; 光纤收发器具有将电信号转化为光信号或将光信号转化为电信号的功能, 其详细可划分为单模形式与多模形式两种, 不同形式传输距离存在差异性; 光纤交换机属于光纤通信网络中的交换设备, 具有共享、过滤、划分通信数据

的功能, 其可详细划分为不同速率等级; 光纤路由器具有路由与转发光纤信号的功能, 可使光纤信号在不同网络区域进行传播, 且整体信号传播环节较为安全与稳定; 光纤网卡具有将计算机网络接口卡转换为光纤接口卡的功能, 可有效连接计算机设备与光纤通信网络; 传输线路辅助设备包括调制解调器、多路传输器、分配器、光纤放大器等装置, 其中调制解调器可转换电信号与光纤信号, 多路传输器可同时传输多路光纤信号, 分配器可将传输线路分配至不同用户设备中, 光纤放大器可延伸远距离范围内光信号传输效果^[1]。

(二) 光纤通信网络运维管理

光纤通信网络运维管理工作的常态化可维护整体通信系统运行稳定性, 减少通信故障问题的出现。光纤通信网络运维管理主

要包括定期或不定期检查光纤通信硬件设备及汇总光纤通信系统运行中存在的各类故障问题，从而为后续通信系统维修保养提供参考。在光纤通信网络敷设、安装及运行调试工作结束后，运维管理工作的重点则需放在光纤通信设备工作状态检查环节，以保障各个光纤通信设备处于稳定运行状态，但是，在通信技术及互联网技术不断发展的过程中，光纤通信网络规模逐渐增加，网络运维管理难度随之上升，运维管理人员难以实时追踪复杂网络体系下故障问题状况，导致故障问题出现概率较高，且光纤通信网络所存在的故障问题难以得到及时处理，人工智能技术在光纤通信网络运维管理中的应用可在较大程度上保障光纤通信装置与设备运行的稳定性与可靠性。

（三）人工智能技术概述

人工智能技术是将人类知识与计算机相融合的应用技术，且可借助计算机设备模拟人类思维与行为，以发挥计算机辅助价值，帮助人类生产与生活。现阶段发展最为成熟的人工智能技术为机器学习技术，该项技术可实践应用多种学科知识，在各个社会生产领域应用较为广泛。从技术本质的角度来看机器学习技术是计算机系统累积与表达知识的过程，计算机设备在学习与锻炼的过程中，数据处理能力与处理效率也会随之上升，从而使计算机设备可模拟人类推理、判断、识别、决策等行为，帮助人类处理复杂问题；从计算机学习方式的角度来看，其详细可划分为监督学习与非监督学习两种形式监督学习是指计算机可在学习大量样本数据、训练数据的基础上进行有效判断与预测的方式，非监督学习是指不以样本数据及训练数据为支撑的自主学习形式；从数学的角度来看，计算机学习方式均属于寻找数学模型最优解的过程，监督学习可通过训练数据或样本数据等构建模型，预测事件处理结果，在事件回顾分析与事件类型识别环节的应用较为广泛，此种学习形式中计算机设备所应用算法包括深度学习法、神经网络等，而非监督学习则可以寻找样本数据规律的方式，分类处理数据，在数据异常信息检测等环节应用较为广泛，此种学习形式中计算机设备所应用的算法包括增强学习法等^[2]。人工智能计算在光纤通信网络运维管理中的应用可有效缓解运维工作人员压力，提升光纤通信网络运维管理效率与准确性，减少各类通信故障问题的出现。

二、人工智能技术在光纤通信网络运维管理中的应用

在信息技术不断发展的过程中，智能化时代随之到来。为提升运维环节效率，降低通信网络运维成本，云计算技术、大数据技术、人工智能技术在通信网络中的应用更加广泛，其可实现将集约化运维管理模式转化为智能化运维管理模式的目的。人工智能技术在光纤通信网络运维管理中应用可及时发现与处理光纤通信网络运行中存在的故障问题，提升光纤通信网络运行可靠性。人工智能在光纤通信网络运维管理中的应用主要体现在以下几个方面：（1）优化管理与调度。人工智能技术在光纤通信网络运维管理中的应用可以通信数据源类型为依据构建专家管理系统，详细来讲，人工智能技术应用可以专家经验为支撑，从光纤通信

网络运行维护工作类型的角度入手划分管理模式，例如通过模糊逻辑等机器学习方式智能化分配日常设备巡检范围、巡检任务紧急程度、巡检人员工作职责等，进而对光纤通信网络运维管理工作进行智能化分配与调度。（2）辅助光纤通信网络路线运维。大数据技术、云计算技术等人工智能技术在光纤通信网络运维管理中应用可设置多巡检点，并将巡检信息实时传输至运维管理中心，使运维管理中心在整合巡检数据、分析巡检数据与处理巡检数据的基础上规划光纤通信网络故障维修方案，且巡检数据可成为后续各类故障问题处理的参考依据，以体现光纤通信线路运行管理环节智能化特点与自动化特点^[3]。（3）快速排除光纤故障。光纤线路故障位置排查是光纤通信网络运行维护中的重要内容，及时排查故障点位置可为光纤线路故障、光纤连接器故障、光纤收发器故障等问题的快速处理提供支撑，且可在处理故障问题的基础上，维护光纤通信网络运行稳定性。小型光纤通信网络中可以变化信号速率的方式检测与寻找故障点位置，但受到长距离大规模光纤通信网络结构复杂特点的影响，故障检测环节存在一定难度，此环节中可借助神经网络技术等人工智能技术检测光纤故障数据，以快速排除光纤故障，例如，可以光时域反射仪所距离的光脉冲信号传输信息为依据绘制测试曲线，从而在分析与判断光脉冲信号测数曲线特性的基础上，定位光纤故障点，提升光纤通信网络故障信息处理效率^[4]。（4）集中智能化管理光纤通信网络。人工智能技术应用可集中智能化管理光纤通信网络，以延伸光纤通信网络运维范围，且可简化光纤通信网络运行流程，判断网络体系性能，分析网络运行预警信息，同时，人工智能技术应用可为用户查询通信信息提供便捷，以集中管控整体光纤通信网络运行信息，在全面分析光纤通信系统运行状况的基础上，发现与处理潜在故障问题。（5）测试光纤通信网络优化方案。人工智能技术可深入分析光纤通信故障优化方案，且以模拟方式测试不同光纤通信网络优化方案的可行性，从而帮助运维管理人员选择最优光纤通信网络优化措施，以提升光纤通信网络运行效果与质量。（6）性能优化。性能优化可提升光纤通信网络质量与用户体验感，人工智能技术的应用可在分析光纤通信网络性能数据的基础上，发现网络性能缺陷问题，从而在优化光纤网络资源配置与运行参数的过程中，提升光纤通信网络性能，例如，人工智能算法可优化光纤连接器参数，以减少光纤信号传输延迟等问题的出现。

三、人工智能技术在光纤通信网络运维管理中的应用策略

（1）优化光纤通信网络交换系统。光纤通信网络结构由光纤线路、光纤连接器、光纤收发器、光纤交换机、光纤网卡、传输线路辅助设备 etc 构成具有较强的复杂性特点，其中各个模块之间都存在一定联系，在某模块出现故障问题的情况下网络交换系统也会受到限制，存在传输效率下降的问题，难以满足现代化网络通信需求，为减少管线通信网络故障问题的出现，提升人工智能技术在光纤通信网络运维管理中应用效率，可借助信令负荷的方

式优化光纤通信网络结构,将路由模板设计为独立模式,之后,整合全部网络结构,此过程中需结合光纤通信网络运行需求,综合考虑光纤线路等影响因素,规划优化方案,使路由模块可在整体光纤通信网络动态变化的过程中满足网络交换系统信号传输等需求,同时,可设置备份路由装置,以减少路由故障对光纤通信网络交换系统运行稳定性的影响,且需针对光纤交换系统构建数据库,促进系统各个模块的连接^[5]。(2)开拓各项资源。光纤通信网络运行会受到多项因素的影响,其中不同因素影响程度存在差异性,其中,最大影响因素为人为因素。人员是整体光纤通信网络运行管理中的关键,受到人员技术水平、职业素养等因素的影响,光纤通信网络运行故障问题随之出现,因此,需加强对运维维护人员专业技能的培训,且严格把控光纤通信网络结构设计环节,以减少各类因素对其运行稳定性的影响,在设计网络结构中需详细规划各模块资源配置,例如设置主用系统与备用系统两种资源,在连接主次系统的基础上,减少主用系统故障对网络结构的影响,且整体网络结构设计环节需坚持独立性原则,合理控制系统各模块连接距离,以保障路由设备运行可靠性^[6]。除此之外,网络结构设计环节需协调处理各节点之间关系,提升路由节点连接效果。(3)MESH组网与自愈技术的应用。MESH组网是一种网络拓扑形式,可延伸光纤通信网络体系范围,加强光纤网络系统各节点的连接,详细来讲,基于光纤网络结构各节点所具有的路由功能,MESH组网与自愈技术的应用可全面处理通信网络故障问题,控制故障问题恶化程度,其根本原因在于网络

管理系统具备测试结构简单、业务配置灵活、界面简洁等特点,MESH组网可全面优化管理网络体系,结合运维管理需求深入优化光纤通信网络结构,而自愈技术的应用,可实时监测网络体系运行状况,从而以人工处理、记录故障问题、计算光纤光源功率及信号峰值、测试光缆性能等方式,提升光纤通信网络运维管理效率^[7]。(4)应用防火墙维护技术。防火墙维护技术的应用可保障用户信息安全性,且可深入分析光纤通信网络传输数据,评估光纤通信网络运行状况,全面检查光纤通信网络体系,且该项技术的应用可防御黑客及病毒等因素攻击光纤通信信息的行为,在实时监控网络体系的过程中,发现与处理非法入侵行为,查杀网络病毒^[8]。

结语:

综上所述,人工智能技术在光纤通信网络运维管理环节的应用较为广泛,基于光纤通信网络自身结构复杂性特点^[9]。通信技术人员需深入剖析人工智能在光纤通信网络运维管理中的应用,在明确人工智能技术实际应用内容的基础上,研究该项技术应用策略,以优化光纤通信网络交换系统、开拓网络体系资源、应用MESH组网与自愈技术、应用防火墙维护技术等方式,降低各因素对人工智能技术应用的影响,从而充分发挥人工智能技术优势,减少光纤通信网络运行出现故障问题的概率,推动通信行业智能化与自动化发展^[10]。

参考文献:

- [1] 钟耀霞,苏华,翟书娟. 物联网环境下复杂光纤通信传输网络节点调度[J]. 激光杂志, 2024, 45 (04): 196-201. DOI
- [2] 徐玉滨. 全光网络中光纤通信传送网的性能监测与提升[J]. 通讯世界, 2024, 31 (04): 10-12.
- [3] 陈扬. 高速公路光纤通信网络线路故障点定位方法研究[J]. 网络安全和信息化, 2023, (11): 151-153.
- [4] 谭荣华,王俊. 基于深度学习网络的光纤通信网络信道均衡方法[J]. 激光杂志, 2023, 44 (10): 157-161. DOI
- [5] 翟广辉. 基于大数据技术的光纤通信安全性防御方法研究[J]. 激光杂志, 2023, 44 (09): 177-181. DOI
- [6] 张镔心. 人工智能技术在通信网络运维管理中的应用[J]. 信息记录材料, 2023, 24 (06): 151-153. DOI
- [7] 于海波,王君宇,孙建东. 人工智能在光纤通信网络运维管理中的应用探讨[J]. 通讯世界, 2020, 27 (06): 76+78.
- [8] 姚文杰,施加轮,陈新星,等. 电力光纤通信环网的可靠路由与可靠性测评[J]. 南京邮电大学学报(自然科学版). 2021,(3).
- [9] 梁剑雄,陈锦洪,吴飞鹏. 一种户外配电网光纤通信网络架空机箱的研制[J]. 中国高科技, 2022, (04): 40-41. DOI:10.13535/j.cnki.10-1507/n.2022.04.14.
- [10] 药炜,张凯,原军,等. 基于数字信号处理的电力光纤通信网络状态监测[J]. 机械与电子, 2021, 39 (07): 24-27.

基于声学原理的耳机音质提升策略探讨

王欣, 李治宏, 冯凯

陕西烽火宏声科技有限责任公司, 陕西 宝鸡 721000

摘要：随着科技的发展和消费者对音质需求的提高，耳机音质已成为评价耳机性能的重要指标。本文基于声学原理，探讨了耳机音质提升的策略，包括驱动单元的优化、频响特性的调整、失真控制的提升以及声音重现过程的优化。通过分析这些策略，旨在为耳机制造商和消费者提供有效的音质提升方案。

关键词：声学原理；耳机音质；驱动单元；频响特性；失真控制；声音重现

Exploration of Sound Quality Improvement Strategies for Headphones Based on Acoustic Principles

Wang Xin, Li Zhihong, Feng Kai

Shaanxi Fenghuo Hongsheng Technology Co., Ltd., Baoji, Shaanxi 721000

Abstract： With the development of technology and the increasing demand for sound quality from consumers, headphone sound quality has become an important indicator for evaluating headphone performance. This article explores strategies for improving headphone sound quality based on acoustic principles, including optimization of the driving unit, adjustment of frequency response characteristics, improvement of distortion control, and optimization of the sound reproduction process. By analyzing these strategies in detail, the aim is to provide effective sound quality improvement solutions for headphone manufacturers and consumers.

Keywords： acoustic principles; earphone sound quality; drive unit; frequency response characteristics; distortion control; sound reproduction

引言

在数字化音乐时代，耳机已成为人们日常生活中不可或缺的音乐播放设备。随着技术的进步，消费者对于耳机音质的要求也在不断提高。因此，研究基于声学原理的耳机音质提升策略具有重要的现实意义和应用价值。本文将从驱动单元、频响特性、失真控制和声音重现等方面，探讨耳机音质提升的有效策略。

一、驱动单元的优化

驱动单元，作为耳机声音产生的核心部件，其性能的好坏直接决定了耳机的音质。而一个高性能的驱动单元不仅仅关乎其单一的元素，更是需要材料选择、结构设计以及制造工艺等多方面的精细打磨与深度优化。

（一）材料选择的精进

在驱动单元的研发与制造过程中，材料选择无疑是一个至关重要的环节。我们深知，材料的选择不仅决定了产品的基本性能，更是其能否在激烈的市场竞争中脱颖而出的关键。因此，在材料的选择上，我们始终坚持精益求精、追求卓越的原则。磁性材料，作为驱动单元中的核心组件，其性能的优劣直接影响着磁场的强弱和驱动力的大小。在这个方面，我们特别注重选用高性能的磁性材料，如稀土磁体，这类材料能够在有限的空间内产生足够的驱动力，确保驱动单元能够高效、稳定地工作。同时，它

们还能够长时间使用过程中保持稳定的性能，极大地延长了产品的使用寿命。当然，振膜材料的选择也同样不容忽视。振膜，作为驱动单元中负责将电能转化为声能的部件，其材质的选择直接关系到声音的传递效率和音质表现。在这个方面，我们特别注重选用优质的振膜材料，如生物纤维或特殊合金。这些材料不仅具有出色的弹性，能够快速、准确地响应电信号的变化，将电能高效地转化为声能，而且它们还具有良好的阻尼性能，能够有效减少声音的失真，确保音质的纯净和清晰。

（二）结构设计的创新

驱动单元的结构设计同样对音质有着重要影响。合理的结构设计能够减少共振和失真，提高声音的清晰度和纯净度。在结构设计中，我们需要关注磁场分布、线圈布局以及振膜的形状和尺寸等多个因素。磁场分布是驱动单元设计中的关键一环。通过优化磁场分布，我们可以确保磁场更加均匀、稳定，减少磁通量泄露，提高驱动效率。同时，精心设计的线圈布局可以降低电磁干

扰，减少失真，使声音更加纯净。振膜的形状和尺寸也是影响音质的的重要因素。通过调整振膜的形状和尺寸，我们可以改变其振动特性，从而优化声音的频响特性。例如，采用特殊的振膜形状可以突出某个频段的声音，使音乐更具表现力。

（三）制造工艺的升级

制造工艺的升级对于驱动单元的性能提升同样至关重要。采用先进的制造工艺和技术可以确保驱动单元的一致性和稳定性，减少制造过程中的误差和偏差。首先，精密的模具设计是制造工艺中的重要环节。通过精密的模具设计，我们可以确保驱动单元各部件的尺寸和形状精度达到最高标准，从而提高驱动单元的性能和音质。其次，高精度的加工设备也是制造工艺中不可或缺的一部分。采用高精度的加工设备可以确保驱动单元各部件的加工精度和表面质量达到最高水平，从而减少制造过程中的误差和偏差。最后，严格的质量控制流程也是制造工艺中不可忽视的一环。通过严格的质量控制流程，我们可以确保每一个驱动单元都经过严格的测试和筛选，确保它们的性能和音质达到最佳状态。随着科技的进步和不断的创新，新的材料和工艺不断涌现，为驱动单元的优化提供了更多可能性。例如，纳米技术、3D 打印技术等先进技术的应用将为我们带来更多创新和突破。我们相信通过不断的技术创新和工艺优化我们将能够为用户带来更加出色的音质体验。

二、频响特性的调整

频响特性，作为衡量耳机音质的核心指标，直接关联着声音在不同频率下的表现。为了提供最佳的音质体验，我们需要根据人耳的听觉习惯以及不同的音乐类型来精心调整耳机的频响特性。

（一）平坦化频响曲线：追求声音的自然与平衡

在音频世界中，平坦化频响曲线是耳机设计追求的理想状态。它意味着耳机在播放音乐时，各个频段——从深沉的低音到清脆的高音——都能保持均衡的音量输出，为听者呈现一个自然且平衡的听觉体验。要实现这一目标，我们需要对耳机的驱动单元和声音传导路径进行精细的设计和调校。驱动单元，作为耳机发声的核心，其性能直接关系到频响曲线的平坦度。设计师们会精心挑选高性能的驱动单元，通过调整其结构、材料和制造工艺，使其在宽频范围内都能产生均衡且准确的声音。同时，声音传导路径也是影响频响曲线的重要因素。声音从驱动单元发出后，需要经过耳机腔体、耳塞或耳罩等部件传导到听者的耳朵。这些部件的材质、形状和尺寸都会影响到声音的传导效果。设计师们会利用先进的声学技术和模拟软件，对这些部件进行精确的建模和测试，确保声音在传导过程中不会产生过多的失真和变形。为了验证和调校频响曲线的平坦度，我们借助专业的测试设备和分析软件。这些设备能够模拟各种音源和听音环境，对耳机的频响特性进行精确的测量和分析。通过分析测试结果，我们可以发现耳机在不同频率下的音量输出是否存在差异，以及哪些频段可能存在过强或过弱的情况。基于这些分析结果，设计师们会

对驱动单元和声音传导路径进行微调。这包括调整驱动单元的参数、改变声音传导路径的结构或材质等。每一次调整都需要经过反复的测试和验证，以确保频响曲线的平坦度得到了提升。经过精细的设计和调校，一款具有平坦化频响曲线的耳机能够为听者带来更加自然和平衡的听觉体验。这种体验不仅减少了听感上的疲劳，还使声音更加舒适和自然。无论是欣赏流行音乐、古典音乐还是电影原声，都能感受到声音的清晰度和层次感。

（二）突出特定频段

除了平坦化频响曲线外，我们还可以根据音乐类型和用户需求来突出或削弱特定频段的声音。这种调整有助于改善音质表现，使耳机在不同音乐类型下都能呈现出最佳的音质效果。例如，在流行音乐中，低频段（如低音鼓和贝斯）往往占据重要地位。为了增强音乐的节奏感，我们可以适当突出这些频段的声音。通过调整驱动单元的结构和材料，以及优化声音传导路径的设计，我们可以确保低频段的音量得到适当的增强，同时保持其他频段的平衡。相反，在古典音乐中，高频段（如小提琴和长笛）则更为突出。为了突出音乐的细腻度，我们可以适当增强这些频段的声音。通过类似的调整方法，我们可以确保高频段的音量得到适当的提升，同时保持低频和中频段的平衡。在调整频响特性时，我们需要综合考虑音乐类型、用户需求以及耳机的整体性能。通过精确的调校和测试，我们可以找到最佳的频响特性设置，使耳机在不同音乐类型下都能呈现出最佳的音质效果。这种个性化的调整不仅提升了音质表现，还为用户带来了更加丰富的听觉体验。

三、失真控制的提升

在追求卓越耳机音质的过程中，失真控制是一项至关重要的任务。失真，作为音质中的一大隐患，会严重影响声音的纯净度和清晰度，给听者带来不佳的听觉体验。为了有效地提升失真控制水平，我们需要采取一系列先进的策略和技术。

（一）平坦化频响曲线

在追求高品质的耳机音质时，平坦化频响曲线是一个至关重要的目标。这意味着耳机需要在整个音频频谱范围内，从低音到高音，都保持均衡的音量输出，从而确保声音的自然和平衡。这样的设计能够让听者感受到音乐中各个频段的细节，而不会让某些频段过于突出或显得不足。要实现平坦化频响曲线，我们需要对驱动单元和声音传导路径进行精细的设计和调校。驱动单元作为声音产生的核心部件，其设计和材料选择对频响特性有着直接影响。我们需要选择高性能的磁性材料和振膜材料，确保驱动单元在不同频率下都能产生足够的驱动力，同时减少失真和噪声。声音传导路径的优化同样关键。我们需要通过合理的声学设计，减少声音在传导过程中的损失和畸变。例如，耳塞或耳罩的材质、形状和尺寸等都会影响到声音的传导效果。我们需要选择柔软且贴合耳道的材质，确保声音能够均匀地传递到用户的耳朵中，同时减少外界噪声的干扰。在设计和调整过程中，我们需要借助先进的声学技术和精确的调校方法。通过专业的测试设备和

分析软件，我们可以对耳机的频响特性进行精确的测量和分析。这些测试设备能够模拟各种音源和听音环境，确保测试结果的准确性和可靠性。一旦我们获得了耳机的频响特性数据，就可以根据测试结果进行微调。通过调整驱动单元的参数、改变声音传导路径的结构等方式，我们可以逐步优化耳机的频响曲线，直至达到理想的平坦化效果。这个过程需要耐心和细致，因为每一个微小的调整都可能对音质产生显著的影响。平坦化频响曲线的实现不仅有助于提高音质纯净度和清晰度，还能够减少听感上的疲劳。当耳机在各个频段上的音量输出保持均衡时，听者可以更加舒适地享受音乐，而不会产生不适感或疲劳感。这种设计不仅适用于专业音乐制作和监听，也适用于普通消费者在日常生活中的音乐欣赏。

（二）优化电源设计：确保音质纯净与稳定

在追求耳机音质的道路上，电源设计的重要性不容忽视。电源的稳定性直接关联到耳机驱动单元的工作状态，进而影响到音质的纯净度和清晰度。一个不稳定的电源供应，就如同为乐器提供不稳定的演奏环境，必然会导致音乐表现的不完美。为了确保耳机获得稳定的电源供应，我们需要对电源设计进行精细的优化。首先，选择高性能的电源转换器是关键。这类转换器通常具备低噪声、高效率的特点，能够确保电源输出的稳定性，减少因电源波动引起的失真。想象一下，如果电源转换器如同一位技艺高超的乐师，那么它就能为耳机提供稳定而纯净的“音符”，让音质更加纯净。除了电源转换器，我们还需要考虑电源管理策略。这包括合理的电源分配、节能模式和过载保护等。通过精细的电源管理，我们可以确保耳机在不同工作状态下都能获得稳定的电源供应，从而避免因电源问题导致的音质下降。此外，独立供电的设计也是提升音质的有效手段。通过将耳机驱动单元和音频处理电路分别供电，我们可以减少它们之间的干扰和相互影响。这种设计不仅提高了音质纯净度，还增强了耳机的稳定性和可靠性。这就像是为乐团的每个成员提供了独立的演奏空间，让他们能够更好地发挥自己的才能，共同演绎出美妙的音乐。在优化电源设计的过程中，我们还需要关注电源保护机制。这包括过压保护、过流保护和过热保护等。这些保护机制能够确保耳机在异常情况下也能得到妥善的保护，避免因电源问题导致的损坏或安全事故。

四、声音重现过程的优化

声音重现是耳机音质表现的核心，它直接影响着用户听感的舒适度和自然度。为了优化声音重现过程，我们可以从声音传导路径和数字信号处理技术两个方面着手。

（一）优化声音传导路径

声音在传导过程中，无论是通过空气传导还是通过耳机内部的物理结构传导，都会受到各种因素的影响。为了减少声音在传导过程中的损失和畸变，我们需要对声音传导路径进行优化。首先，耳塞或耳罩的材质选择至关重要。柔软的材质可以减少声音在内部的反射和共振，从而降低噪声干扰，使声音更加纯净。同

时，这些材质还能提供更好的贴合度和隔音效果，让用户沉浸在音乐的世界中。其次，合理的形状和尺寸设计也是关键。通过精确计算和设计，我们可以确保声音能够均匀地传递到用户的耳朵中，避免声音在某些频段上的损失或增强。此外，耳塞或耳罩的设计还需要考虑人体工学原理，以确保用户佩戴的舒适度。

（二）引入数字信号处理技术

数字信号处理技术为声音重现过程带来了更多的可能性。通过引入数字信号处理技术，我们可以对音频信号进行精细的加工和调整，以改善音质表现。首先，数字滤波器可以有效地去除音频信号中的噪声和干扰。这些滤波器可以识别并滤除不需要的频率成分，提高音频信号的信噪比，让声音更加清晰。其次，数字均衡器可以调整音频信号的频响特性。通过调整不同频段上的增益，我们可以使音频信号的频响特性更加符合人耳的听觉习惯，让声音更加自然和舒适。此外，数字降噪技术也是一项重要的应用。通过识别并消除环境噪声，我们可以让用户更加专注于音乐本身，提高听感的清晰度。这种技术尤其适用于户外或嘈杂环境下使用耳机的情况。

结束语

基于声学原理的耳机音质提升策略是一个复杂而重要的课题。通过优化驱动单元、调整频响特性、提升失真控制水平和优化声音重现过程等策略，我们可以有效提升耳机的音质表现。未来，随着科技的不断发展，我们有理由相信，基于声学原理的耳机音质提升策略将会得到更加深入的研究和应用，为消费者带来更加出色的音质体验。

参考文献

- [1] 伍晓琳, 程晓斌, 桑晋秋, 等. 有源降噪入耳式耳机声衰减实验测量及对比研究[J]. 声学学报, 2024, 49(03): 577-586.
- [2] 保护听力 耳机你戴对了吗[J]. 大众健康, 2024, (03): 56-57.
- [3] 张宇, 刘春杰. 智能耳机技术专利布局与分析[J]. 中国科技信息, 2024, (05): 22-24.
- [4] 王二朋, 石泽宇, 吴越峰. 基于评论挖掘消费者偏好的蓝牙耳机设计策略[J]. 包装工程, 2024, 45 (02): 134-141+179.
- [5] 郭剑锋, 高智超, 刘思辰, 等. 存在声反馈的前馈有源降噪耳机设计方法[J/OL]. 应用声学, 1-9.2023.
- [6] 与噪声说再见 Bose QC3有源降噪耳机[J]. 家庭影院技术, 2023, (16): 6-8.
- [7] 迟欣, 姜德军. 次声波对通话性能干扰的研究[J]. 电声技术, 2023, 47 (07): 131-133+139.
- [8] 本刊记者. 设计真正的无线耳机的声学挑战[J]. 家庭影院技术, 2022, (14): 60-61.
- [9] 歌尔股份: 智能声学整机产品遭大客户砍单[J]. 股市动态分析, 2022, (22): 38.
- [10] 陈植文. 一款新型入耳式圈铁耳机的设计与仿真[J]. 电声技术, 2022, 46 (08): 48-51.

喇叭声学结构创新对音质提升的影响分析

李治宏, 王欣, 罗斌成

陕西省宝鸡市陕西烽火宏声科技有限责任公司, 陕西 宝鸡 721000

摘要： 随着科技的不断进步，喇叭作为音频播放的重要设备，其声学结构的创新对音质提升起到了关键作用。本文旨在探讨喇叭声学结构创新对音质提升的影响，通过深入分析声学结构的关键要素，提出有效的创新策略，以期为喇叭音质的提升提供参考。本文首先介绍了喇叭声学结构的基本概念和重要性，随后分析了声学结构创新对音质提升的意义，并详细阐述了创新方法和具体策略。最后，对喇叭声学结构创新对音质提升的影响进行了总结，并对未来研究进行了展望。

关键词： 喇叭；声学结构；音质提升；创新策略

Analysis of the Impact of Speaker Acoustic Structure Innovation on Sound Quality Improvement

Li Zhihong, Wang Xin, Luo Bincheng

Shaanxi Fenghuo Hongsheng Technology Co., Ltd., Baoji, Shaanxi 721000

Abstract： With the continuous advancement of technology, speakers, as important devices for audio playback, have played a key role in improving sound quality through innovative acoustic structures. This article aims to explore the impact of acoustic structure innovation on sound quality improvement of speakers. By analyzing the key elements of acoustic structure in depth, effective innovation strategies are proposed to provide reference for the improvement of speaker sound quality. This article first introduces the basic concepts and importance of horn acoustic structure, then analyzes the significance of acoustic structure innovation in improving sound quality, and elaborates on the innovative methods and specific strategies. Finally, the impact of innovative speaker acoustic structures on sound quality improvement was summarized, and future research was discussed.

Keywords： loudspeaker; acoustic structure; sound quality improvement; innovation strategy

引言

喇叭作为音频播放设备的重要组成部分，其音质的好坏直接影响着用户的听觉体验。随着消费者对音质要求的不断提高，喇叭声学结构的创新成为了提升音质的关键。本文将从声学结构的角度出发，探讨喇叭声学结构创新对音质提升的影响，以期为喇叭设计和制造提供理论支持和实践指导。

一、深入探究喇叭声学结构的基本概念及重要性

喇叭作为声音传播的重要载体，其声学结构的优劣直接关系到我们所能听到的音质效果。喇叭声学结构并非简单的机械组合，而是由多个精密部件经过精心设计、制造和布局而成的复杂系统。这些部件包括振膜、音圈、磁路系统等，每一个部分都承载着特定的声学功能，它们共同协作，形成了喇叭独特的音质特性。

首先，振膜是喇叭发声的核心部件。它的材质、厚度和形状等因素直接决定了其振动特性和频响特性。优质的振膜材料，如金属、高分子材料等，能够提供出色的振动响应和声音还原度；而合理的厚度和形状设计则能确保振膜在发声过程中具有足够的

刚性和稳定性，避免产生不必要的失真和杂音。

其次，音圈是连接振膜与电源的关键部件。音圈的匝数、线径和材质等因素会影响其电阻和电感等电学特性。这些电学特性直接决定了音圈对电流的响应速度和稳定性，进而影响喇叭的音质表现。合理的音圈设计能够确保喇叭在发声过程中具有快速的响应速度和稳定的音质表现。

最后，磁路系统为音圈提供了驱动力。磁路系统的磁场强度和分布等因素会影响音圈的驱动力和振动稳定性。强大的磁场能够确保音圈在发声过程中获得足够的驱动力，使振膜产生足够的振动幅度和频率；而均匀的磁场分布则能确保音圈在振动过程中保持稳定，避免产生杂音和失真。

综上所述，喇叭声学结构的优化和创新对于提升音质具有重

要意义。通过不断研究和改进喇叭声学结构的设计和制造工艺，我们能够不断提升喇叭的音质表现，为人们带来更加美妙的听觉享受。

二、声学结构创新对音质提升的意义

声学结构的创新在音质提升方面扮演着至关重要的角色。这种创新不仅推动了音频技术的进步，更为我们带来了前所未有的听觉体验。下面，我们将从三个方面详细探讨声学结构创新对音质提升的重要意义。

（一）提高声音传导效率

声音在传递过程中往往会受到各种因素的影响，如空气阻力、材料吸收等，导致能量损失。通过优化振膜、音圈等关键部件的构造和布局，我们可以减少这些能量损失，使声音更加高效地传导到听众的耳中。例如，采用轻质且高弹性的振膜材料，可以减少振动过程中的能量损耗，使声音更加清晰、明亮。同时，合理设计音圈的匝数和线径，也能降低电阻和电感，提高电流的传导效率，从而进一步提升声音传导效率。

（二）扩大频率响应范围

频率响应范围是衡量喇叭性能的重要指标之一，它决定了喇叭能够还原的最低频和最高频声音。通过改进磁路系统和音圈的设计，我们可以提高喇叭对低频和高频声音的响应能力。例如，增强磁路系统的磁场强度，可以为音圈提供更大的驱动力，使其能够更轻松地产​​生低频声音。同时，优化音圈的材质和形状，也能提高其对高频声音的响应灵敏度，从而扩大整个喇叭的频率响应范围。这使得音质更加饱满、自然，能够更好地还原原始声音^[1]。

（三）改善音质保真度

在声音传递过程中，由于各种因素的影响，声音往往会发生失真和畸变，导致音质下降。通过优化声学结构，我们可以减少这些失真和畸变，提高音质保真度。例如，合理设计振膜的形状和厚度，可以使其更好地匹配音圈的振动特性，减少振动过程中的非线性失真。同时，优化磁路系统的磁场分布，也能确保音圈在振动过程中保持稳定，进一步降低失真和畸变的可能性。这使得声音更加真实、还原度高，为我们带来更加沉浸式的听觉体验。

三、声学结构创新的方法

在声学结构创新的过程中，科学家和工程师们采用了多种方法来实现音质的显著提升。这些创新方法主要包括对振膜、音圈和磁路系统等方面的改进和优化。

首先，振膜创新是声学结构创新的关键一环。振膜作为喇叭发声的核心部件，其性能直接影响到音质的好坏。为了提升振膜的性能，研究人员不断探索新型材料或改进材料配比，以提高振膜的刚度和柔韧性。新型材料如碳纤维、纳米复合材料等，不仅具有优异的力学性能，还能有效减少振动过程中的能量损失，使

声音更加清晰、明亮。此外，改变振膜的形状和尺寸也是优化其振动特性和频响特性的重要手段。通过精细的设计和计算，研究人员能够找到最适合的振膜形状和尺寸，以满足不同频段声音的需求^[2]。

其次，音圈创新也是声学结构创新的重要组成部分。音圈作为连接振膜与电源的关键部件，其性能对喇叭的音质表现具有重要影响。为了提升音圈的性能，研究人员采用了高导电率的材料来制作音圈，以降低电阻和电感等电学特性。高导电率材料如铜、银等，能够有效减少电流在音圈中的损失，提高电流的传导效率，从而使喇叭具有更快的响应速度和更稳定的音质表现。此外，优化音圈的匝数和线径等参数也是提高音圈性能的重要手段。通过精细的设计和计算，研究人员能够找到最适合的音圈参数，以满足不同应用场景的需求。

最后，磁路系统创新也是声学结构创新的关键之一。磁路系统为音圈提供了驱动力，其性能直接影响到喇叭的驱动效率和振动稳定性。为了提升磁路系统的性能，研究人员采用了强磁体材料来制作磁路系统，以提高磁场强度和分布均匀性。强磁体材料如钕铁硼等，具有极高的磁能积和矫顽力，能够为音圈提供强大的驱动力。此外，优化磁路系统的设计和布局也是提高喇叭性能的重要手段。通过精细的设计和计算，研究人员能够找到最适合的磁路系统设计和布局，以提高喇叭的驱动效率和振动稳定性，从而使音质更加饱满、自然^[3]。

四、声学结构创新的策略

（一）综合考虑

声学结构创新的首要策略是综合考虑喇叭的音质、功率、体积和成本等因素。音质是音频设备最为核心的性能指标，直接决定了用户的使用体验。在创新过程中，我们需要始终以提升音质为导向，不断探索和优化声学结构的设计。同时，我们也要关注功率、体积和成本等其他因素。功率决定了喇叭的最大发声能力，而体积和成本则直接影响了产品的市场竞争力和消费者的接受程度。首先，音质提升是声学结构创新的核心目标。为了实现这一目标，我们需要从多个角度入手，包括优化振膜材料、改进音圈设计、调整磁路系统等。在创新过程中，我们要注重各个部件之间的协调与配合，确保音质提升的同时，不损害其他性能指标。其次，功率、体积和成本等因素也是我们需要综合考虑的重要因素。在创新过程中，我们要根据市场需求和产品定位，合理设定功率、体积和成本的目标值。同时，我们还要关注这些目标值之间的平衡关系，确保在达到音质提升的同时，也能满足其他性能指标的要求。具体而言，我们可以通过以下几个方面来实施综合考虑的策略：

首先，制定详细的创新计划和目标。在创新开始前，我们需要制定详细的创新计划和目标，明确音质、功率、体积和成本等方面的具体要求。这有助于我们在创新过程中保持清晰的方向和重点^[4]。其次，进行全面的市场调研和需求分析。在创新过程中，我们需要进行充分的市场调研和需求分析，了解消费者对于音

质、功率、体积和成本等方面的需求和期望。这有助于我们更好地把握市场趋势和消费者需求，为创新提供有力支持。再次，评估现有技术和资源。在创新过程中，我们需要对现有技术和资源进行评估，了解自身在声学结构创新方面的优势和不足。这有助于我们制定更加科学合理的创新策略，并充分利用现有资源。最后，进行多次优化和迭代。在创新过程中，我们需要进行多次优化和迭代，逐步调整声学结构的设计方案。这有助于我们逐步接近目标值，并最终实现音质提升和其他性能指标的提升^[6]。

（二）循序渐进

声学结构创新需要循序渐进，逐步优化声学结构的各个部分。一次性进行大规模改动可能会导致音质下降或不稳定，因此我们需要逐步推进创新过程，确保音质的稳定性和可靠性。循序渐进的策略要求我们按照一定的顺序和步骤进行创新。首先，我们可以从声学结构的核心部件入手，如振膜、音圈和磁路系统等。通过优化这些核心部件的设计和性能，我们可以显著提升音质。然后，我们可以逐步扩展到其他部件和子系统，如箱体结构、散热系统等。这些部件和子系统的优化也可以对音质产生积极影响。在循序渐进的过程中，我们需要注意以下几点：

首先，保持创新方向的稳定性和连续性。在创新过程中，我们需要保持创新方向的稳定性和连续性，避免出现大幅度的调整或改变。这有助于我们保持创新过程的稳定性和可靠性。其次，逐步优化和迭代。在创新过程中，我们需要逐步优化和迭代声学结构的设计方案。通过多次实验和测试，我们可以逐步接近目标值，并最终实现音质提升和其他性能指标的提升。最后，关注细节和品质。在创新过程中，我们需要关注细节和品质，确保声学结构的每一个部分都得到精细化的设计和优化。这有助于我们提升产品的整体性能和品质水平^[6]。

（三）借鉴经验

在声学结构创新过程中，借鉴前人的研究成果和经验教训是非常重要的。通过借鉴前人的经验，我们可以避免重复走弯路和浪费资源，提高创新效率和质量。借鉴经验的策略要求我们广泛收集和分析相关领域的学术文献、技术报告和专利资料等。这些资料为我们提供了丰富的理论基础和实践经验，有助于我们了解当前的研究动态和技术趋势。同时，我们还可以与同行进行交流合作，分享彼此的创新成果和经验教训。这有助于我们拓宽视野、激发创新思维并提升创新能力。在借鉴经验的过程中，需要注意以下几点：

首先，选择合适的参考资料。在收集和分析参考资料时，我们需要选择具有权威性和代表性的资料作为参考。这有助于我们了解当前的研究动态和技术趋势，并为我们的创新提供有力支持^[7]。其次，深入理解和分析参考资料。在借鉴前人的经验时，我们需要深入理解和分析参考资料中的理论和方法。这有助于我们理解其背后的原理和机制，并为我们的创新提供思路 and 方向。最后，结合实际情况进行创新。在借鉴前人的经验时，我们需要结合实际情况进行创新。我们不能简单地复制或模仿前人的成果，而需要根据自己的需求和实际情况进行创新和改进。这有助于我们实现具有自己特色的创新成果并提升市场竞争力^[8]。

（四）实验验证

在声学结构创新的过程中，实验验证扮演着至关重要的角色。为了确保创新方案的科学性、有效性和可靠性，我们需采取严谨的实验验证策略。首先，我们需要明确实验的目标和范围，确定所需验证的关键声学特性和性能指标。接着，制定详细的实验方案，包括实验设备的选择、实验环境的搭建、实验步骤的设定以及数据收集和分析的方法。在实验过程中，我们应确保实验条件的稳定性和可重复性，以消除外界因素对实验结果的影响。同时，采用多种实验方法和手段，如静态测试、动态测试、模拟分析等，以全面评估创新方案的性能。在数据收集和分析阶段，我们应运用统计学和信号处理等专业知识，对实验数据进行深入分析和解读。通过对比实验数据与预期目标，我们可以评估创新方案的可行性和效果，并发现其中存在的问题和不足。最后，基于实验结果的分析 and 评估，我们可以对创新方案进行优化和改进。这可能包括调整结构参数、改进材料选择、优化制造工艺等。通过不断的实验验证和优化改进，我们可以不断提高创新方案的性能和可靠性，为声学结构的创新和发展提供有力的支持。综上所述，实验验证是声学结构创新过程中不可或缺的一环。通过严谨的实验验证策略和方法，我们可以确保创新方案的科学性、有效性和可靠性，为声学结构的创新和发展奠定坚实的基础^[9-10]。

结语

本文通过分析喇叭声学结构创新对音质提升的影响，提出了有效的创新方法和策略。随着科技的不断进步和消费者需求的不断提高，喇叭声学结构的创新将继续深入发展。未来研究可以进一步探索新型材料和新型结构在喇叭声学结构中的应用，以及智能化和数字化技术在喇叭设计和制造中的应用。同时，还需要加强声学结构的实验验证和测试评估工作，确保创新方案的有效性和可靠性。

参考文献

- [1] 夏百战, 杨天智. 声学超材料和声子晶体研究进展 [J]. 动力学与控制学报, 2023, 21(7).
- [2] 温华兵, 黄惠文, 史自强, 等. 声学黑洞加筋板结构的声振特性分析 [J]. 船舶力学, 2024, 28 (03): 442-449.
- [3] 何川, 应童, 陶猛. 含螺旋结构的水下声学覆盖层吸声特性研究 [J]. 噪声与振动控制, 2024, 44 (03): 50-55.
- [4] 梁江妹, 柳政卿, 朱兵斌, 等. 多胞复合型声学结构吸声性能研究 [J]. 噪声与振动控制, 2024, 44 (01): 70-74.
- [5] 许磊, 张维声, 朱宝, 等. 数据驱动下的声学器件音质优化 [J]. 应用数学和力学, 2024, 45 (03): 253-260.
- [6] 史自强, 温华兵, 黄惠文. 基于半解析法的声学黑洞梁结构参数响应面优化 [J]. 噪声与振动控制, 2024, 44 (03): 62-66+74.
- [7] 桑晋秋. 穿孔耳塞非线性隔声特性的研究 [D]. 2009.
- [8] 邹铭鑫, 夏利娟. 基于阻尼结构-声腔耦合的声学拓扑优化研究 [J]. 船舶力学, 2023, 27 (11): 1707-1717.
- [9] 魏建红, 向阳, 廖琳, 等. 声学黑洞在圆柱壳上的应用及结构优化研究 [J]. 噪声与振动控制, 2023, 43 (05): 59-65.
- [10] 陆胜男. 自适应滤波在广播电视音质优化中的应用 [J]. 电声技术, 2023, 47 (10): 85-88.

声学耳机的频响特性及其对音乐再现的影响

王丹彤, 白涛, 李银鹏

陕西烽火宏声科技有限责任公司, 陕西 宝鸡 721000

摘要： 本文探讨了声学耳机的频响特性及其对音乐再现的影响。首先介绍了频响特性的基本概念和组成，接着分析了平坦频响曲线以及不同频响曲线类型（如 V 型、U 型、W 型）对音质表现的影响。文章还深入探讨了声学设计在耳机声音特性、音频传输和声音重现等方面的作用，并讨论了声学耳机在音乐再现中的实际应用。最后，文章强调了声学耳机频响特性在音乐欣赏中的重要性，并对未来声学耳机的发展进行了展望。

关键词： 声学耳机；频响特性；音乐再现；声学设计；音质表现

The Frequency Response Characteristics Of Acoustic Headphones And Their Impact On Music Reproduction

Wang Dantong, Bai Tao, Li Yinpeng

Shaanxi Fenghuo Hongsheng Technology Co., Ltd., Baoji, Shaanxi 721000

Abstract： This article explores the frequency response characteristics of acoustic headphones and their impact on music reproduction. Firstly, the basic concepts and components of frequency response characteristics were introduced, followed by an analysis of the impact of flat frequency response curves and different types of frequency response curves (such as V-shaped, U-shaped, W-shaped) on sound quality performance. The article also delves into the role of acoustic design in the sound characteristics, audio transmission, and sound reproduction of headphones, and discusses the practical application of acoustic headphones in music reproduction. Finally, the article emphasizes the importance of the frequency response characteristics of acoustic headphones in music appreciation and provides prospects for the future development of acoustic headphones.

Keywords： acoustic earphones; frequency response characteristics; music reproduction; acoustic design; sound quality performance

引言

随着科技的快速发展，声学耳机已成为人们日常生活中不可或缺的一部分。无论是音乐欣赏、游戏娱乐还是语音通讯，声学耳机都发挥着重要作用。然而，不同的声学耳机在音质表现上存在差异，其中频响特性是影响音质的关键因素之一。因此，本文旨在探讨声学耳机的频响特性及其对音乐再现的影响，以期声学耳机的设计和应用提供参考。

一、频响特性的基本概念和组成

频响特性，全称为频率响应特性，是耳机性能评估中不可或缺的关键参数。它详细描述了耳机在不同音频频率上的音量输出能力，进而揭示了耳机在音质表现上的优势和局限性。对于音乐爱好者和专业音频工作者来说，了解频响特性对于选择合适的耳机产品至关重要。首先，需要明确频响特性的基本概念。频响特性是指耳机在播放不同频率的声音时，其音量输出的变化情况。具体来说，频响特性反映了耳机在低频、中频和高频等不同频段上的音量输出能力。通过频响特性，可以了解到耳机在各个频段上的音量是否均衡，以及是否存在明显的音量波动或失真。频响特性通常以图表的形式展示，这就是我们所熟知的频响曲线。在

频响曲线中，横轴代表频率范围，覆盖了从大约 20 赫兹（Hz）的低频到 20 千赫兹（kHz）的高频，这一范围涵盖了人类听觉系统能够感知的音频频率。而纵轴则代表在这些频率下的音量水平，通常以分贝（dB）为单位来衡量。分贝是一个相对单位，用于表示音量或功率的相对大小。频响曲线是评估耳机音质表现的重要工具。通过观察频响曲线，我们可以直观地了解到耳机在不同频率下的声音输出情况。例如，如果频响曲线在低频区域较为突出，那么这款耳机可能具有较为强劲的低音效果；如果频响曲线在中频区域相对平坦，那么这款耳机可能在人声或乐器的音色还原上更为准确。通过频响曲线，我们还可以更准确地了解耳机的音质特点。比如，如果频响曲线存在明显的波峰或波谷，那么这款耳机可能在某些频段上的表现过于突出或不足，导致音质失

衡。此外，频响曲线的平滑度也反映了耳机对音频信号的还原能力。如果频响曲线较为平滑，那么这款耳机在播放音乐时可能更加自然、流畅。

二、平坦频响曲线及其对音质的影响

平坦频响曲线在耳机音质表现中的重要性不言而喻。首先，得理解什么是平坦频响曲线。简单来说，它是指耳机在整个音频频率范围内（通常是20Hz到20kHz）具有相对一致的音量输出，也就是说，在各个频段上，耳机都能够以相同的音量水平来播放声音。这种均衡的声音输出特性使得平坦频响曲线的耳机在音质表现上独具优势。由于不存在明显的音量起伏或波动，耳机能够更准确地还原录制音频中的原始信号，从而减少了音色的失真和扭曲。想象一下，当你聆听一首精心制作的乐曲时，每一个音符、每一个乐器的声音都能够被耳机以相同的音量和清晰度展现出来，这将是一种怎样的音乐体验！在音乐欣赏中，平坦频响曲线的耳机更是发挥了至关重要的作用。它们能够准确还原每个乐器的音调，无论是低音的深沉、中音的饱满还是高音的明亮，都能够一一呈现，使听众仿佛置身于现场之中。这种清晰、逼真的声音表现，让音乐听起来更加立体、生动，仿佛每一个音符都在耳边跳跃、回响。此外，平坦频响曲线的耳机还具有出色的适应性。无论是流行音乐、古典音乐还是摇滚音乐等不同类型的音乐风格，它们都能够提供均衡、准确的音质表现。这使得平坦频响曲线的耳机成为了众多音乐爱好者和专业人士的首选。无论是在家中享受私人音乐时光，还是在舞台上为观众带来震撼的听觉盛宴，平坦频响曲线的耳机都能够满足你的需求。

三、不同频响曲线类型及其对音质的影响

除了平坦频响曲线外，市场上还存在多种其他类型的频响曲线，这些曲线在低频、中频和高频处呈现出不同的音量增强或减弱特点，从而对音质产生显著影响。这些不同类型的频响曲线满足了不同听众的个性化需求，也反映了耳机制造商在音质设计上的多样化思路。首先，V型频响曲线在低频和高频区域具有显著的音量增强，而在中频区域则相对较弱。这种设计使得耳机在低音和高音部分表现得尤为突出，给听众带来更为震撼和鲜明的听感。然而，由于中频区域相对较弱，某些中音乐器的声音可能会被压制或模糊，导致整体音质的平衡性受到一定影响。尽管如此，V型频响曲线仍然受到许多喜欢强劲低音和明亮高音的听众的青睐。相比之下，U型频响曲线在低频和高频处同样有音量增强，但中频区域的表现则更为均衡。这种设计在保持低音和高音优势的同时，也确保了中频区域的清晰度和准确度。因此，U型频响曲线的耳机在音质上更加全面和均衡，能够呈现出更加真实、自然的声音效果。这种耳机适合欣赏各种类型的音乐，尤其是那些需要中频区域清晰度的音乐风格。最后，W型频响曲线则是一种更为复杂的设计。它在低频、中频和高频处都有音量增强，但增强的程度各不相同。这种设计使得耳机在整个音频范围

内都有出色的表现，但同时也增加了声音处理的难度。如果处理不当，W型频响曲线可能会导致声音听起来过于强烈和明亮，甚至产生失真现象。因此，这种设计需要更加精细的音频处理技术来确保音质的准确性和平衡性。

四、声学设计在耳机音质表现中的作用

（一）声音特性方面

在耳机音质的表现中，声学设计占据着举足轻重的地位，特别是在声音特性的塑造上。声音特性，简单来说，是指耳机在播放音频时展现出的音色、音调、音量等各方面的综合表现。而声学设计则是通过科学的手段来优化这些声音特性，使耳机能够呈现出更加真实、自然的声音效果。首先，声学设计需要精心平衡高音、中音和低音等各个频段。这是因为不同频段的声音在听感上有着不同的特点，高音区域通常表现为清脆、明亮，中音区域则富有层次感和饱满度，而低音区域则带来深沉、有力的听感。通过合理的频段平衡，声学设计可以确保耳机在播放音频时，每个频段都能得到准确的再现，从而使声音听起来更加自然、和谐。在低音区域，声学设计会注重音色的清晰度和透明度。通过优化高音单元的设计和材料选择，可以使得高音区域的音色更加明亮、纯净，避免出现刺耳或过于尖锐的声音。同时，声学设计还会考虑高音区域的响应速度和衰减特性，以确保高音在快速变化时也能保持清晰、准确的听感。在中音区域，声学设计会注重声音的层次感和饱满度。中音是音乐中最为重要的部分之一，它承载着人声、乐器等关键信息。因此，声学设计会通过优化中音单元的结构和材料选择，来确保中音区域的音色丰富、饱满，同时保持清晰的层次感。这样，用户在聆听音乐时就能更加真实地感受到乐器和人声的细节和韵味。在低音区域，声学设计会注重声音的深度和力度。低音是音乐中营造氛围、增强动感的重要元素。声学设计会通过优化低音单元的结构和材料选择，来确保低音区域的音量足够大、深度足够深，同时保持适当的衰减特性。这样，用户在聆听音乐时就能感受到深沉、有力的低音效果，从而更加沉浸在音乐的氛围中。

（二）音频传输方面

音频传输是耳机音质表现中不可忽视的一环。音频信号在传输过程中往往会遇到多种挑战，如电磁干扰、线材质量不佳导致的信号衰减等。这些因素都可能影响音质的纯净度和清晰度。因此，声学设计在音频传输方面也发挥着重要作用。首先，声学设计会采用高质量的音频线材。这些线材通常具有较低的电阻和电容，能够有效减少信号在传输过程中的损失。同时，线材的屏蔽设计也能有效抵抗外界电磁干扰，保证信号的纯净性。这样，音频信号就能以更高的质量传输到耳机中，从而提升音质表现。其次，声学设计会运用先进的连接技术来确保音源设备与耳机之间的良好连接。这包括使用高质量的接口、优化连接电路等。这些技术手段可以确保音频信号能够无损地传输到耳机中，避免在传输过程中产生噪声和失真。最后，声学设计还会考虑耳机的阻抗和灵敏度等参数。阻抗是耳机对电流的阻力，而灵敏度则是耳机

对音频信号的响应能力。通过合理的阻抗和灵敏度匹配，可以确保耳机与音源设备之间的兼容性，从而实现更加优秀的音质表现。例如，高阻抗的耳机需要更高的电压来驱动，而低阻抗的耳机则更容易受到电流噪声的影响。因此，声学设计会根据耳机的阻抗选择合适的音源设备或音频放大器来驱动耳机，以获得最佳的音质表现。

（三）声音重现方面

声音重现是耳机音质表现的核心环节，它直接决定了耳机能否将音频信号准确、真实地转化为我们所能听到的声波。在这一环节中，驱动单元作为声音重现的关键组件，其设计对音质的影响至关重要。首先，驱动单元的材料和结构是影响音质的的重要因素。不同的材料因其独特的物理特性而具有不同的声音特性。例如，铝合金和钛合金等材料因其高刚性和低重量，能够提供更为清晰、响亮的声音，这使得它们在高端耳机驱动单元的制作中备受青睐。同时，不同的结构也会影响声音的扩散和指向性，进而影响听感。例如，开放式设计允许声音更自然地扩散，营造出更为宽广的音场，而封闭式设计则能减少外界噪声的干扰，提供更纯净的听音环境。声学设计在驱动单元的选择上需要综合考虑耳机的定位和用户需求。对于追求音质纯净度和清晰度的用户，可以选择采用高刚性、低重量材料的驱动单元；而对于追求宽广音场和沉浸感的用户，开放式设计的驱动单元可能更为合适。通过精心选择材料和结构，声学设计可以打造出符合用户需求、具有优秀音质表现的驱动单元。其次，声学设计在驱动单元确定后还需要进行精细的调试和优化。这包括调整驱动单元的频响曲线、控制失真等。频响曲线反映了驱动单元在不同频率下的音量输出能力，通过调整频响曲线，可以确保驱动单元在各个频段都能保持均衡的音量输出，避免某个频段过于突出或不足。同时，控制失真也是确保音质纯净度和清晰度的关键。通过采用先进的音频处理技术和精细的调试，可以最大限度地减少失真，确保音频信号在传输和转换过程中保持原样。在调试和优化过程中，声学设计师会借助各种专业的测试设备和软件来评估驱动单元的音质表现。会对不同频段下的音量输出、失真度、频率响应等指标进行精细的调整和优化，以确保驱动单元在不同频段下都能保持出色的音质表现。此外，他们还会考虑耳机的阻抗和灵敏度等参数，

以确保耳机与音源设备之间的兼容性，从而实现更加优秀的音质表现。

（四）音质优化方面

在耳机音质优化的过程中，均衡器和立体声效果的营造是两大核心技术，它们极大地丰富了用户的听觉体验，让音质更加符合个人喜好，同时也增强了音乐的沉浸感。首先，均衡器（Equalizer）是音质优化中不可或缺的工具。它允许用户根据个人的听觉偏好，调整不同频率段的音量和音色。低音、中音和高音分别对应着不同的音频频率，而每个人对这些频率的敏感度都有所不同。通过均衡器的设置，用户可以轻松地强调或削弱某个频率段的声音，以获得最佳的听觉感受。比如，喜欢听流行音乐的人可能更倾向于增加低音部分的音量，而喜欢听古典音乐的人则可能更偏好中高音段的音色。除了均衡器，立体声效果的营造也是音质优化中的一大亮点。立体声效果是通过模拟左右声道之间的相位差和延迟差等参数来实现的。在立体声效果下，耳机能够营造出更加宽广、立体的音场，使音乐仿佛在身边环绕，增强了音乐的沉浸感。这种效果在听演唱会、电影原声等场景时尤为明显，能够为用户带来更加逼真的听觉体验。在音质优化的过程中，均衡器和立体声效果的结合使用能够产生更加出色的效果。用户可以根据自己的喜好，通过均衡器调整音色，再通过立体声效果增强音乐的沉浸感。这样，不仅能够使音质更加符合个人需求，还能够带来更加震撼的听觉体验。

结语

声学耳机的频响特性是影响音质的核心要素。一个具有平坦频响曲线的耳机，能够精确还原音频信号，带来平衡、自然的声音体验。不同频响曲线的耳机，则会根据设计目的产生各异的音质风格。声学设计在耳机音质塑造中占据关键地位，通过巧妙平衡各频段，减少失真和干扰，让声音重现更为真实。随着科技日新月异，声学耳机在音乐欣赏、游戏娱乐等领域的应用将更加广泛。展望未来，我们有理由期待，随着声学设计技术的不断进步，耳机将为我们带来更加卓越、细腻的音质体验，让每一次聆听都成为一次享受。

参考文献

- [1] 赵爽, 袁豪, 王志敏. 基于纳维-斯托克斯方程的次同步振荡特征值的快速估算 [J/OL]. 南方电网技术, 1-8.2024-05-22.
- [2] 张涛, 周韶泽, 刘义峰. 铁路货车牵引梁振动频响特性分析 [J]. 机械工程与自动化, 2024, (03) 69-70+73.
- [3] 肖枫, 邓傲, 孔律东, 等. 车载扬声器网罩开孔率对其频响及音质的影响 [J]. 汽车实用技术, 2024 49 (09): 80-84.
- [4] 洪玉萌, 宋志强, 杨元元, 等. 分布反馈光纤激光器应用技术研究进展 [J]. 应用激光, 2024, 44 (03): 179-191.
- [5] 陈力行, 陈大龙, 沈胤, 等. TT-1 装置磁探针设计与频响特性研究 [J]. 核聚变与等离子体物理, 2024, 44 (01): 105-110.
- [6] 陈先锋. 车铣复合加工中心进给系统机械传递环节频响特性研究 [J]. 模具制造, 2024, 24 (03): 155-157.
- [7] 杨帆. 非遗音乐的空间形塑与文本再现——以兰州“西厢调”为例 [J]. 大众文艺, 2024, (01): 214-216.
- [8] 郭剑锋, 高智超, 刘思辰, 等. 存在声反馈的前馈有源降噪耳机设计方法 [J/OL]. 应用声学, 1-9.2023-10-19.
- [9] 孙庆磊, 方非凡, 王文清, 等. 含类金刚石薄膜的铝镁合金振膜的制备及其声学特性研究 [J]. 稀有金属材料与工程, 2023, 52 (10): 3470-3478.
- [10] 陈植文. 一款新型入耳式圈铁耳机的设计与仿真 [J]. 电声技术, 2022, 46 (08): 48-51.

基于大数据的电子通信技术的发展分析

白涛, 吴宇东, 樊繁

陕西烽火宏声科技有限责任公司, 陕西 宝鸡 721000

摘 要 : 随着大数据时代的到来, 数据呈现出规模大、类型多、处理速度快等特点, 电子通信技术作为信息传输、交换的重要手段, 在大数据背景下也面临着新的发展机遇与挑战。大数据为电子通信技术的发展提供了海量的数据资源及广阔的应用前景, 海量数据的采集、传输、存储、处理也对电子通信技术提出了更高的要求。因此, 本文将从大数据背景下电子通信技术的发展优势、存在的问题以及未来的发展策略等方面进行深入分析, 希望能够为电子通信技术的发展提供借鉴。

关 键 词 : 大数据; 电子通信技术; 发展

Development Analysis of Electronic Communication Technology Based on Big Data

Bai Tao, Wu Yudong, Fan Fan

Shaanxi Fenghuo Hongsheng Technology Co., Ltd., Baoji, Shaanxi 721000

Abstract : With the advent of the big data era, data presents characteristics such as large scale, multiple types, and fast processing speed. Electronic communication technology, as an important means of information transmission and exchange, is also facing new development opportunities and challenges in the context of big data. Big data provides massive data resources and broad application prospects for the development of electronic communication technology. The collection, transmission, storage, and processing of massive data also pose higher requirements for electronic communication technology. Therefore, this article will conduct in-depth analysis on the development advantages, existing problems, and future development strategies of electronic communication technology under the background of big data, hoping to provide reference for the development of electronic communication technology.

Keywords : big data; electronic communication technology; development

电子通信技术是现代社会信息传输及交换的重要基础设施, 其发展水平直接关系到经济社会能否实现数字化转型及高质量发展。当前, 以大数据、人工智能、云计算、物联网等为代表的新一代信息技术正在蓬勃兴起, 对电子通信技术的发展产生了深刻影响。特别是大数据技术的广泛应用, 为电子通信技术注入了新的活力, 在此背景下, 分析基于大数据的电子通信技术发展, 能够有效把握电子通信技术发展的新趋势、新特点, 推动电子通信技术与大数据的深度融合。

一、大数据背景下电子通信技术发展优势

(一) 兼容性

随着信息技术的不断发展, 各种新型通信技术、设备不断涌现, 实现不同技术与设备之间的互联互通成为电子通信领域面临的重要挑战, 大数据技术的出现为解决该问题提供了新的思路。借助对海量数据的采集、存储、分析, 能全面了解不同通信技术、设备的特性与需求, 实现不同系统之间的无缝对接。同时, 大数据技术还能通过机器学习及人工智能等手段, 不断优化电子通信系统的兼容性, 使其能够适应不断变化的技术环境及用户需求。

(二) 多样化

传统的电子通信技术主要集中在语音、文本传输方面, 而在大数据背景下, 电子通信技术的应用领域与服务类型不断拓展, 呈现出多样化的发展趋势。一方面, 大数据技术能对海量的多媒体数据进行采集、存储、分析, 使得图像、视频、音频等多种形式的都可以借助电子通信网络进行传输并共享, 极大地丰富了通信内容。另一方面, 大数据分析技术也能深入挖掘用户需求, 为用户提供个性化、差异化的通信服务, 满足不同用户的多样化需求。此外, 大数据还为电子通信技术的应用拓展提供了新的思路, 包括物联网、智慧城市、远程医疗等领域都对电子通信技术提出了新的要求, 推动了电子通信技术的多样化发展, 也拓

宽了电子技术的应用范围，为用户提供了更加丰富、便捷、智能的通信服务体验。

（三）抗干扰性

在大数据背景下，电子通信技术的抗干扰性得到了显著增强。传统的电子通信系统受到电磁、多径效应、信道衰落等各种内外部干扰源的影响，导致通信质量下降，甚至出现通信中断的情况。大数据技术的出现，有效解决了这一问题。通过对海量通信数据的实时采集和分析，及时发现、定位干扰源，并采取有效措施进行干扰抑制、消除。同时，大数据技术还能通过机器学习与人工智能算法，对通信系统的参数进行智能优化以及动态调整，使其能够自适应地应对各种复杂多变的干扰环境。此外，大数据还能通过对历史干扰数据的挖掘，预测、规避潜在的干扰风险，提高通信系统的可靠性、稳定性。此种大数据驱动的抗干扰技术能有效提升电子通信系统的抗干扰能力，降低抗干扰的成本及复杂度，为电子通信技术的发展及应用创造了更加广阔的空间。

二、基于大数据的电子通信技术发展存在的问题

（一）能量损耗问题

海量数据的采集、传输、存储、处理都需要消耗大量的能源，导致电子通信系统的能耗水平不断攀升。特别是随着物联网、5G 等新兴技术的快速发展，连接设备的数量呈指数级增长，能量消耗问题更加突出。据统计，全球数据中心的能耗已经占到了全球电力消耗的 2% 左右，并且还在不断增加。这就会增加电子通信系统的运营成本，对环境产生负面影响，加剧能源短缺与碳排放等问题。同时，高能耗也限制了电子通信技术在偏远地区、野外环境等一些能源供应受限的场景下的应用。此外，电子通信设备自身的发热问题也变得越来越突出，高温会影响设备的性能及可靠性，还会导致安全隐患。

（二）资源合理分配问题

目前，许多电子通信系统的资源分配仍然依赖于人工经验及静态规则，无法适应大数据环境下动态多变的资源需求，导致资源分配的效率、公平性难以保证，一些应用或服务由于资源不足而无法正常运行，而另一些应用或服务却出现资源浪费的情况。同时，不同应用、服务对资源的需求特点及优先级也存在差异，由此，在保证关键业务的同时，兼顾其他业务的需求，也是难点问题。此外，大数据环境下的资源需求呈现出突发性、不确定性的特点，传统的静态资源分配方式难以及时响应并做出调整，导致资源利用率低下，影响电子通信系统的性能及效率，也制约了新业务应用的发展。

（三）电子通信网络部署存在问题

大数据背景下，电子通信网络的部署存在诸多问题，制约了电子通信技术的进一步发展。首先，网络覆盖不均衡的问题比较突出。城市地区的网络基础设施相对完善，但在农村及偏远地区，网络覆盖率、质量仍然较低，数字鸿沟问题依然存在，导致一些地区难以充分享受大数据带来的便利，限制了当地经济及社

会的发展。其次，网络容量与传输速率无法满足大数据应用的需求。随着海量数据的产生，现有的网络基础设施出现带宽瓶颈及网络拥塞等问题，影响了数据的实时传输。特别是在一些重大事件或节假日期间，网络流量激增，更加凸显了网络容量不足的问题。最后，网络管理与运维方面也存在挑战。大数据应用中需要实现网络的智能化、自动化、可视化管理，以应对海量数据带来的复杂性与动态性。但是，当前的网络管理工具仍然较为滞后，无法有效支撑大数据应用的发展 影响大数据在电子通信领域的应用以及价值发挥，亟须引起重视。

（四）网络安全威胁

在大数据时代，电子通信技术面临着严重的网络安全威胁。海量数据的采集、存储、传输为黑客与网络犯罪分子提供了更多的攻击目标，网络安全问题日益突出。首先，数据泄露与窃取事件频发。许多企业或组织储存了大量的用户数据，一旦遭到黑客入侵，就会导致数据泄露，给用户以及企业造成巨大的损失。其次，网络攻击手段不断升级。在大数据背景下，网络攻击呈现出自动化、智能化、规模化的特点。黑客利用机器学习、人工智能等技术，开发出更加先进的攻击工具，如僵尸网络、勒索软件等，对网络安全构成严重威胁。再次，物联网设备的安全漏洞凸显。随着物联网的快速发展，大量的智能设备接入网络，而这些设备往往缺乏必要的安全防护措施，成为黑客攻击的薄弱环节。黑客可以利用这些设备发起大规模的分布式拒绝服务攻击，或者窃取设备中的敏感数据。最后，网络安全意识及管理存在不足。许多企业或个人对网络安全的重视程度不够，缺乏必要的安全防护意识与防护措施。此外，在大数据时代，海量数据的管理与维护也面临着更大的挑战，需要投入更多的资源与人力加强网络安全管理 网络安全威胁不仅会影响电子通信技术的正常运行与服务质量，也给国家安全及社会稳定带来隐患。

三、大数据下电子通信技术发展策略

（一）综合多项技术降低成本

为降低成本，需要综合运用多项技术。云计算技术的应用能显著降低电子通信系统的部署及运维成本。通过将计算、存储、网络资源集中于云端，实现资源的动态调配与按需使用，避免了传统专用设备带来的高额投资及闲置浪费。同时，网络功能虚拟化技术的引入，也能将传统的专用硬件设备转换为通用服务器上的软件，提高了网络资源的灵活性及可扩展性，降低了网络建设与升级改造的成本。软件定义网络技术的应用，实现网络控制与转发的解耦，提高网络管理的自动化及智能化水平，减少人工操作、维护的成本。同时，大数据分析技术也要应用于电子通信领域，通过对海量网络数据的挖掘并分析，优化网络部署和资源配置，提高网络运营效率，降低总体成本。最后，要积极应用先进的无线通信技术，如大规模多入多出、毫米波等，提高频谱利用效率，扩大网络容量，降低单位数据传输的成本。

（二）优化资源配置

面对海量数据的采集、传输、处理需求，电子通信系统需要

合理调配各种资源,提高资源利用效率及服务质量。首先,需要建立智能化的资源管理及调度机制。通过对海量通信数据的实时分析,准确预测不同业务与应用的资源需求,并根据优先级进行动态调配。此种智能化的资源管理能有效避免资源的过度配置或不足配置,提高资源利用率。其次,需要采用虚拟化与云计算技术,实现资源的弹性伸缩及按需分配。将物理资源抽象为虚拟资源池,根据业务负载的变化动态调整资源的分配,避免资源的浪费。云计算技术还能实现资源的跨域共享及协作,提高资源的整体利用效率。再次,需要优化资源的配置。通过合理规划网络拓扑与资源布局,减少数据传输的距离及延迟,提高服务质量。还需要根据不同业务的特点以及需求,合理配置计算、存储、带宽等各类资源,避免资源的过度配置或不足配置。最后,需要建立完善的资源监控与预警机制。实时监测各类资源的使用情况以及当前性能指标,及时发现并定位资源故障,并采取相应的补救措施,保证系统的稳定运行。

(三) 电子通信技术数字化

传统的电子通信系统主要依赖于模拟技术及专用硬件设备,无法满足大数据环境下的灵活性、可扩展性及智能化需求。由此,需要加快电子通信技术的数字化进程,全面推进通信网络、设备与服务的数字化升级。在此过程中需要建设全光网络与数字化网络基础设施。通过部署光纤到户(FTTH)、下一代无源光网络(NG-PON)等技术,提高网络的带宽容量及传输速率,满足大数据应用的高速传输需求。同时,采用软件定义网络(SDN)、网络功能虚拟化(NFV)等技术,实现网络架构的扁平化、灵活化,提高网络的可编程性以及智能化水平。同时,需要推进通信设备的数字化与智能化。通过采用数字信号处理(DSP)、现场可编程门阵列(FPGA)等技术,将传统的专用硬件设备转换为软件化的通用设备,提高设备的灵活性。还要利用人工智能(AI)、机器学习等技术,赋予通信设备智能感知、分析、决策的能力,实现设备的自动化配置。此外,需要发展数字化的通信服务。利用大数据技术,对海量通信数据进行采集、存储、分析及挖掘,

提供个性化、智能化的通信服务。并积极拓展数字化应用场景,如工业互联网、车联网、智慧城市等,促进各行各业的数字化转型。

(四) 加强网络安全防护

随着电子通信网络的规模不断扩大,业务种类不断增多,网络安全问题日益突出,各类安全威胁和攻击事件频发,由此需要不断完善网络安全法律法规及标准规范体系,明确各方主体的安全责任与义务,加大对违法违规行为的惩处力度,营造良好的网络安全环境。同时,需要建立健全网络安全管理制度及组织体系,加强网络安全风险评估、监测预警、应急处置等方面的管理,提高网络安全治理的制度化、规范化、专业化水平。此外,需要加强关键信息基础设施的安全防护。采用入侵检测、防火墙、数据加密等先进的安全技术,提升关键信息基础设施的物理安全、网络安全与数据安全防护能力,保证其稳定可靠运行。此外,还需要加强网络安全监测,及时发现并响应安全威胁事件,降低安全风险及损失。此外,需要大力发展网络安全产业,突破核心技术及关键设备,掌握自主可控的网络安全防护能力。

结束语:

在大数据时代,电子通信技术正面临着前所未有的发展机遇及挑战。一方面,大数据的海量性、多样性、实时性对电子通信网络的性能提出了更高的要求,推动着电子通信技术的不断创新、升级;另一方面,电子通信技术的发展也为大数据的应用提供了重要的基础设施,促进了大数据技术与垂直行业的深度融合。但是,当前电子通信技术的发展存在着网络覆盖不均衡、资源利用效率低、能耗问题突出、安全隐患加剧等问题,在一定程度上制约了电子通信技术对大数据应用的支撑。因此,需要通过优化技术架构、完善管理机制、创新应用模式等多种途径,不断提升电子通信网络的智能化、灵活性、可扩展性,推动电子通信技术与大数据技术的协同创新及融合发展。

参考文献:

- [1] 韩凌云. 基于大数据的电子通信技术发展研究[J]. 信息记录材料. 2023,24(1): 142-144.
- [2] 刘晓峰. 浅析大数据时代电子技术在通信工程中的应用[J]. 中国新通信. 2023, 25(12):69-71.
- [3] 胡兴望. 大数据时代电子技术在通信工程中的应用探究[J]. 通讯世界. 2023, 30(10):28-30.
- [4] 栾德显. 基于大数据的电子通信技术发展探讨[J]. 长江信息通信. 2021,34(12): 86-88.
- [5] 党晓明. 基于大数据的电子通信技术发展探讨[J]. 通信电源技术. 2021,38(23): 170-172.
- [6] 张磊. 大数据下电子信息技术在通信指挥中的应用策略分析[J]. 中国高科技. 2023(1):129-131.
- [7] 王永朝. 大数据背景下电子技术在通信工程中的应用[J]. 中国新通信. 2021, 23(4):5-6.
- [8] 陆静. 大数据背景下电子技术在通信工程中的应用研究[J]. 科学与信息化. 2021(8):11.
- [9] 倪志东. 大数据背景下电子技术在通信仿真工程中的应用研究[J]. 通信电源技术. 2021,38(3):179-181.
- [10] 王丽达. 大数据背景下电子技术在通信工程中的应用研究[J]. 科学与信息化. 2021(5):6-7.
- [11] 王宇欣. 基于大数据的电子通信技术发展探讨[J]. 电子测试. 2020(18):133-134,140.
- [12] 宋芳. 大数据背景下电子技术在通信工程中的应用研究[J]. 信息通信. 2020(10):201-203.
- [13] 穆开热姆·麦海提. 基于大数据的电子通信技术发展研究[J]. 电脑校园. 2024(2):289-291.
- [14] 文晓晴. 大数据背景下电子技术在通信工程中的应用研究[J]. 中国航班. 2023(12):27-30.

不同类型声学耳机性能对比分析

王丹彤, 闫江波, 杜昊

陕西烽火宏声科技有限责任公司, 陕西 宝鸡 721000

摘要：科技飞速发展，耳机市场蓬勃发展，涌现出很多新型声学耳机，包括入耳式、开放式、头戴式等耳机，不同的声学耳机性能有所不同，需要用户结合实际需求购买适宜的耳机。文章主要对比分析不同类型声学耳机性能，选择市场上几种常见类型的耳机，对比这些声学耳机的音质表现、佩戴舒适度、隔音效果、连接性和便捷性、耐用性和可靠性，并结合具体市场上的实例全面分析，期待为广大消费者提供更加客观的购买建议。

关键词：声学耳机；性能对比；音质表现；隔音效果；头戴式耳机

Comparative Analysis Of Performance Of Different Types Of Acoustic Earphones

Wang Dantong, Yan Jiangbo, Du Hao

Shaanxi Fenghuo Hongsheng Technology Co., Ltd., Baoji, Shaanxi 721000

Abstract： With the rapid development of technology, the headphone market is flourishing, and many new types of acoustic headphones have emerged, including in ear, open, and head mounted headphones. Different acoustic headphones have different performance, and users need to purchase suitable headphones according to their actual needs. The article mainly compares and analyzes the performance of different types of acoustic earphones, selects several common types of earphones in the market, compares the sound quality performance, wearing comfort, sound insulation effect, connectivity and convenience, durability and reliability of these acoustic earphones, and comprehensively analyzes them with specific market examples, hoping to provide more objective purchasing advice for consumers.

Keywords： acoustic earphones; performance comparison; sound quality performance; sound insulation effect; headset

科技发展，当代社会水平持续提升，声学耳机已经成为人们日常生活中不可或缺的音频设备，其性能和质量高低则受到了广大消费者的关注和重视。目前声学耳机市场十分繁荣，但市场竞争也日趋白热化，不同品牌和不同类型的声学耳机大规模涌现，为消费者带来了更多的选择。但实际上，不同类型声学耳机的性能存在显著差异，消费者往往难以做出最佳的选择。因此，加强对不同类型声学耳机性能对比分析，对于广大消费者而言具有重要意义。

一、声学耳机类型概述

（一）开放式耳机

声学耳机领域，开放式耳机是一种较为常见的音频设备，依据不同功能可以划分为多种类型，其中开放式耳机最具代表性。开放式耳机是指其外壳允许外部声音进入到耳机内部，但同时耳机内部的声音也会泄漏到外部空间，此种设计使得开放式耳机声音更具空间感，带给用户更加宽广的听音感受。开放式耳机的扬声器主要是经过振动产生声波，经过耳机内部反射与扩散后，在耳罩开口中传入到用户耳朵中。而且由于耳罩开口设计使得外部声音能够轻松进入到耳机内部，同用户所听到的音频混合早起一

起^[1]。实际上，开放式耳机适用场景较为多样，由于其宽广的音场和空间感，使得开放式耳机适合观看电影、听音乐以及玩游戏，而且允许外部声音进入特点，开放式耳机更适宜在具有一定环境感知环境下使用，如，图书馆和办公室等场所。由于开放式耳机允许外部声音进入，所以不会为用户带来过多的压迫感，整体的佩戴舒适度较高，但隔音效果较差，嘈杂环境下容易受到外部噪音干扰，影响用户的听觉体验。

（二）封闭式耳机

封闭式耳机也是一种常见的声学耳机类型，在市场上占据着较大的份额，相较于开放式耳机而言，其耳罩可以较为紧密的包裹住耳朵，形成较为封闭的空间。此种耳机设计使得内部声波不

容易泄漏到外部，也会阻隔外部的噪音进入到耳机内部，提供给用户相较于私密的听音环境^[2]。封闭式耳机的扬声器借助振动产生声波，经过反射和扩散后，传播到用户耳朵，由于耳罩密闭性，可以较好的保证用户听音质量，不受外界干扰影响。

封闭式耳机具有良好的隔音效果，在隔绝外界噪音的场合得到了广泛应用。在一些找茬的办公室环境，或是公共交通工具上，封闭式耳机可以为用户提供一个相较于舒适和安静的听音环境。同时，封闭式耳机适合观看电影和玩游戏，提供给用户沉浸式的体验。但封闭式耳机也会为用户带来一定的压迫感，长时间佩戴下会感到不适，存在闷热或是出汗的库热闹。而且封闭式耳机隔绝外界声音的效果较强，长时间佩戴可能忽略很多环境信号，为用户带来一定的安全隐患^[3]。

（三）入耳式耳机

入耳式耳机也称之为耳道式耳机，插入到人体耳道内部的升级，将耳塞与耳道紧密贴合，形成相对的封闭环境，不仅可以减少外部噪音干扰，还可以有效增强耳机音频输出效果。就入耳式耳机的特点来看，主要包括以下几点：①音质良好。入耳式耳机的密封性良好，可以提供真实、清晰的声音体验，而且此类耳机采用高品质的音频技术，如动铁式单元，可以提供优质的音频表现^[4]。②密封性。入耳式耳机紧紧贴合耳道，可以形成较为密封的听力环境，有效减少外部噪音的干扰影响，即便是嘈杂的外部环境下，仍然能够保持较低音量清晰听到音频内容。③舒适性。入耳式耳机贴合着耳廓，适合长时间佩戴，不容易滑落。而且入耳式耳机还可以提供多尺寸的耳塞选择，以此来满足广大用户的佩戴需求。④入耳式耳机的整体体积较小，便于携带，可以轻松的放入到口袋和包中，更加便捷的享受到音频内容。入耳式耳机的音质表现较为真实、清晰，能够带给用户高品质的饮品体验，但长时间佩戴可能会导致耳朵不适，在跑步或是跳跃时，入耳式耳机可能会掉落^[5]。

（四）头戴式耳机

头戴式耳机在日常生活中同样较为常见，轻巧便捷是其最为典型的特色。头戴耳饰耳机设计成耳罩和头梁的结构，可以在头部稳稳地固定，适合长时间佩戴。此类耳机低频表现较为理想，低音较为深沉有利，而且大多配备主动降噪技术，能够有效减少外部噪音干扰影响。头戴式耳机耳罩部分多是采用较为舒适的材料制成，长时间佩戴较为舒适，而且一些价格高、配置高的头戴式耳机还有自适应调节功能，用户可以依据实际情况自行调整。有些头戴式耳机还配备语音助手和触控面板等功能，提供多样的功能服务^[6]。

（五）其他类型耳机

除了上述几种类型的声学耳机以外，还有很多其他声学耳机。骨传导耳机，不需要插入耳道，主要是通过骨骼来传递声音，不会对耳道产生压力或不适感。此种耳机适合长时间佩戴，尤其是运动式佩戴较为舒适，但是音质表现一般。蓝牙耳机，采用无线方式连接，打破了传统耳机线材束缚，可以提供较为舒适和便捷的体验，可以实现远距离传输，连接性能较为稳定。有些蓝牙耳机配备了语音助手和触控面板等功能，为用户提供较为丰富的交互方式。

二、不同类型声学耳机性能对比

（一）音质表现

音质表现是评估不同类型声学耳机性能的核心指标之一，直接关系到用户听音体验，也在一定程度上反映出耳机设计和制造水平。对比不同类型声学耳机音质表现，其中耳塞式耳机音质表现较为一般，主要是由于此种耳机的驱动器单元口径较小，难以提供丰富的声音层次和宽阔的音场，但是隔音效果有限，受到外界噪音干扰影响较大^[7]。但有些高端的耳塞式耳机可以借助优质的驱动单元和音频技术，提供给用户较为优质的音质表现。入耳式耳机的音质表现较之耳塞式耳机更加有益，驱动器单元口径较大，提供较为宽广的音场，隔音效果良好，可以有效隔绝外界噪音，提供给用户优质、纯净的音频体验。市场上有些高端入耳式耳机则是选择动铁式驱动单元，可以提供给用户较为明亮、清晰的音色。头戴式耳机的驱动器单元口径大，音场宽广，隔音效果优异，可以将外界的大部分噪音隔绝，提供给用户纯净音频体验。开放式耳机可以可以提供较为宽广、自然的听音体验，外部声音允许进入到内部，并且适合长时间听音，但是开放式耳机隔音效果差，受到外部噪音干扰较大。

（二）佩戴舒适度

耳塞式耳机小巧便捷，佩戴较为舒适，可以较为轻松的放入到耳朵中，不会对耳朵产生较大的压迫感。但是耳塞式耳机要紧密贴合耳道，用户长时间佩戴会感到不适，长时间佩戴下不适感会逐步增强。入耳式耳机的佩戴舒适度优良，能够较好的贴合耳道，提供给更加优质的佩戴体验。但是，由于较为贴合耳道，所以有些用户可能感到不适，而且长时间佩戴容易积聚污垢和细菌，需要定期清洁和更换。开放式耳机佩戴较为舒适，可以自然感知周围环境，能够有效避免长时间佩戴的封闭感，但重量较大，容易为头部带来一定负担。头戴式耳机采用较为柔软、透气材料制成，能够显著减少对耳朵的压迫感，适合长时间佩戴^[8]。

（三）隔音效果

耳塞式耳机隔音效果一般，可以紧密贴合耳道，即便可以隔绝部分外界噪音，但高频噪音隔绝效果较差。入耳式耳机深入耳道，物理隔音效果较好，有些高端入耳式耳机配备主动降噪技术，内部还配备了降噪算法和麦克风，生成反向声波来抵御外界噪音，能够大大提高整体隔音效果。头戴式耳机的隔音效果较为突出，凭借其宽大的耳罩完全包裹住耳朵，形成相较于封闭的空间，而且此类耳机大多配备了降噪技术，主动降噪或是被动降噪，即便是嘈杂环境下仍然有着较为清晰的饮品体验。开放式耳机允许外部声音进入内部，在他领导音频内容时还可以听到周围环境声音，音质表现更加宽广、自然，但隔音效果差，更适合在安静的环境下使用^[9]。

三、用户需求与市场趋势

（一）不同用户群体的需求特点

（1）音乐爱好者。音乐爱好者对于耳机音质要求普遍较高，

更加追求细腻、纯净和层次分明的声音体验，大多选择 HIFI 耳机或高端无线蓝牙耳机，能够较好的满足音乐细节追求。同时，要求耳机配备降噪功能，即便是嘈杂环境下仍然能够享受到高品质的音乐^[10]。

（2）运动爱好者。运动爱好者对于耳机需求有别于音乐爱好者，更加倾向于稳定性和舒适性，希望耳机在运动中不容易掉落，并且挺较为清晰的音质和降噪功能，运动时可以享受音乐或是与外界沟通。所以，运动式耳机和无线蓝牙耳机是首选。

（3）商务人士。商务人士对于耳机需求多体现在通话质量，或是携带便捷性方面，倾向于选择一款能够清晰传递语音消息，并且减少外部噪音干扰，在电话沟通或是商务会议等场合使用。因此，连接便捷的无线耳机成为商务人士的首选。

（二）市场趋势分析

（1）技术创新的方向。声学耳机未来优化改进中，无线蓝牙是主流方向。随着无线技术持续优化创新，技术创新重点在于传输速度和传输稳定性。未来无线耳机性能将进一步优化，提供流畅和稳定的音乐体验。随着 Wi-Fi 和 5G 等新兴通信技术普及应用，无线耳机传输延迟问题将得到明显改善。未来主动降噪技术持续优化完善，耳机能够更好地消除外界噪音，提供纯净音频体验。未来的耳机可以根据环境，自动化调整降噪性能，为用户提供优质体验。另外，随着人们的健康意识提高，很多消费者希望

耳机中加入健康监测功能，或是血压监测、心率监测等功能，进而为用户提供全面、可靠的健康保障^[11]。

（2）消费者偏好的变化。随着消费者音质需求持续提升，高端音质耳机市场占比持续升高，消费者开始关注音质纯净度、细节表现和层次感，对于高品质耳机产品有着更高的要求。消费者对于耳机舒适度和便捷性也有着较高的要求，希望耳机可以提供舒适、便捷的佩戴体验，便于收纳和携带，未来折叠式和轻便的耳塞将成为耳机发展主流方向。嘈杂环境下，消费者希望耳机能够主动消除外界噪音，提供纯净、优质的音频体验。随着消费者的个性化需求持续增加，对于耳机外观设计、颜色搭配有着更高的要求，很多消费者希望通过耳机来展现自己的品味和个性，个性化和定制化设计未来将成为耳机市场的主流。

结论：

综上所述，目前市场上声学耳机类型多样，耳机功能持续丰富优化，为消费者提供了更多的选择空间。因此，未来耳机产品的更新迭代背景下，应重点关注消费者的个性化需求，从便捷性、舒适性、音色音质等角度优化完善耳机功能，以此来满足市场需求，提升产品竞争力。

参考文献：

[1] 王学研, 陈卫松, 牛锋. 主动降噪耳机的降噪性能测量方法研究 [J]. 计量科学与技术, 2023, 67 (12): 34-39+58.
[2] 张云艳, 丁秀峰, 胡峰. 基于可见光通信技术的光通信耳机设计 [J]. 中国新技术新产品, 2022, (20): 52-55.
[3] 文星. 降噪耳机不降噪, 还可能损伤听力? 风险监测结果惊人 [J]. 产品可靠性报告, 2021, (07): 49-52.
[4] 钟琳. TWS 耳机、智能手表、智慧眼镜, 谁将是下一个市场风口? [J]. 中国集成电路, 2021, 30 (06): 19-21.
[5] 谢豫娟, 谢锡海. 基于改进的 FXLMS 算法的主动降噪耳机系统研究 [J]. 电声技术, 2021, 45 (06): 71-75.
[6] 陈兰香, 黄奕云. 基于语料库的亚马逊平台耳机类产品说明语的语篇特点 [J]. 韶关学院学报, 2021, 42 (04): 94-98.
[7] 罗华明. 基于 Creo Simulate 的头戴式耳机头带的多目标优化设计 [J]. 科技创新与应用, 2020, (36): 22-24.
[8] 吴睿, 金向峰, 兰春. 压力场和入耳式耳机的声学特性研究 [J]. 电声技术, 2020, 44 (11): 13-17.
[9] ALONG. 舒心安静听歌——入耳式降噪耳机选购 [J]. 电脑知识与技术 (经验技巧), 2020, (04): 54-56.
[10] 吴王震. 降噪耳机降噪性能测试方法研究 [J]. 电子质量, 2020, (03): 34-36.
[11] 何涵. 震撼音质无畏运动性能 JBL/UA FLASH ROCK 真无线运动耳机 [J]. 计算机与网络, 2019, 45 (16): 29-30.

