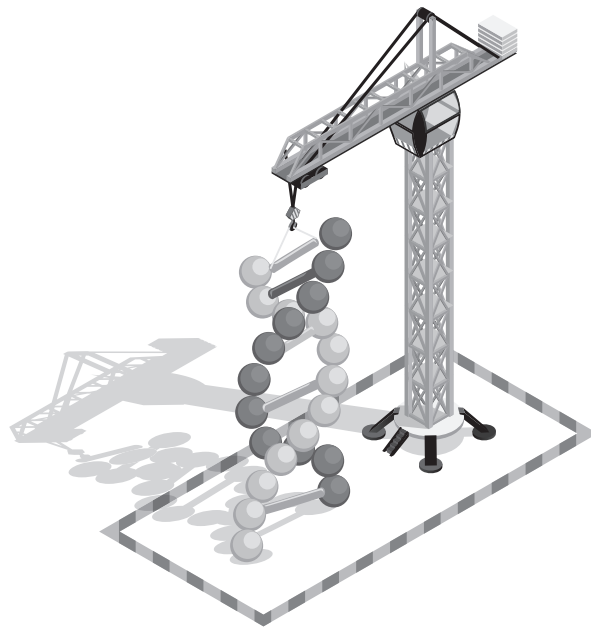


工程 研究与应用

Engineering Research and Application



ART AND DESIGN PRESS INC.

(626 810 4480)

119 S Atlantic Blvd, Suite 300D

Monterey Park, CA 91754

Copyright © 2025 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3卷 第4期 2025年4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.artdesignnp.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:

1. 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。
2. 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。
3. 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。
4. 论文未曾以任何形式公开发表过。
5. 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 | CO/CO ₂ 催化加氢双功能催化剂探讨
Discussion on Bifunctional Catalyst for CO/CO ₂ Catalytic Hydrogenation | 王少聪, 吴明铂
Wang Shaocong, Wu Mingbo |
| 008 | 导叶安装角度对离心泵叶轮结构特性的影响
Influence of Guide Vane Installation Angle on Structural Characteristics of Centrifugal Pump Impeller | 韩闯, 杨培生
Han Chuang, Yang Peisheng |
| 011 | 人工岛深基坑支护降水及开挖技术探究
Exploration on Precipitation and Excavation Technology of Deep Foundation Pit Support on Artificial Island | 刘泽山
Liu Zeshan |
| 015 | 钢结构工程中的质量风险评估与防控措施
Quality Risk Assessment and Prevention and Control Measures in Steel Structure Engineering | 何万龙
He Wanlong |
| 018 | 环境因素对船舶结构长期耐久性的影响研究
Effect of Environmental Factors on the Long-term Durability of Ship Structure | 郭栋栋
Guo Dongdong |
| 021 | 道路施工中的自动化设备应用技术
Application Technology of Automation Equipment in Road Construction | 郭峰
Guo Feng |
| 024 | 道路与桥梁工程施工中的施工组织与协调技术
Construction Organization and Coordination Techniques in Road and Bridge Engineering | 贾创业
Jia Chuangye |
| 027 | 水平井尾管下部附件失效原因分析及预防应对措施
Analysis of the Causes of Failure and Preventive Measures for the Lower Part of the Horizontal Well Liner Attachment | 谭家旭
Tan Jiaxu |
| 030 | 深部钻探技术进展及其在地质勘探中的前景探讨
Advances in Deep Drilling Technology and Its Prospects in Geological Exploration | 吴佳颖
Wu Jiaying |
| 033 | K、P 型站土建工程辅助设备选型和验收管理探讨
Discussion on Auxiliary Equipment Selection and Acceptance Management in Civil Engineering of K and P Type Stations | 陈业辉
Chen Yehui |
| 036 | EASA 计划维修要求评审政策研究:
与 CAAC 对比及对飞机制造商的启示
Research on EASA's Scheduled Maintenance Requirements Review Policy: Comparison with CAAC and Implications for Aircraft Manufacturers | 陈桥曦, 李平
Chen Qiaoxi, Li Ping |
| 039 | 新建铁路桥梁工程穿越既有高铁桥梁安全性影响评估
Safety Impact Assessment of the New Railway Bridge Project Crossing Through the Existing High-Speed Railway Bridge | 吕忠楷
Lv Zhongkai |
| 042 | 中国 3000 米级超深水脐带缆光连接器 (CFT)
关键技术突破与应用
Key Technical Breakthroughs and Applications of China's 3000-meter Ultra-deepwater Umbilical Cable Fiber-optic Connector (CFT) | 吴勇强
Wu Yongqiang |
| 046 | 汽车底盘用超高强度钢及铸造铝合金的
应用研究 李子曰, 薛丰盛, 江亚, 武玉英, 唐长刚, 糜仁泽, 石玉勇
Research on the Application of Ultra-High Strength Steel and Cast Aluminum Alloy in Automobile Chassis
Li Ziyue, Xue Fengsheng, Zhu Xinde, Jiang Ya, Wu Yuying, Tang Changgang, Mi Renze, Shi Yuyong | |

049	全生命周期视角下科研项目隐性成本精益控制方法 Lean Control Method of Hidden Cost of Scientific Research Project from the Perspective of Whole Life Cycle	刘冰 Liu Bing
052	基于复杂地形地质条件下岩土工程勘察技术 Geotechnical Engineering Survey Technology Based on Complex Topographic and Geological Conditions	沈玥 Shen Yue
055	探讨 Fe 基 CO ₂ 加氢制 C ₂ + 醇催化剂 Discussion on Fe Based Catalysts for CO ₂ Hydrogenation to C ₂ + Alcohols	余治甫, 吴明铂 Yu Zhifu, Wu Mingbo

建筑科学 | BUILDING SCIENCE

058	国土空间规划体系下的城市更新思路探讨 Exploring Urban Renewal Approaches under the National Land Spatial Planning System	赵笑峰, 刘毅 Zhao Xiaofeng, Liu Yi
061	浅析房建土建工程中高支模施工中设备运用 A Brief Analysis of Equipment Application in Medium and High-Support Formwork Construction in Civil Engineering of Housing Construction	黄益涛, 傅丽红, 俞国金 Huang Yitao, Fu Lihong, Yu Guojin
064	SPCS 空腔柱在装配式建筑中的结构性能优化与工程应用研究 Research on Structural Performance Optimization and Engineering Application of SPCS Cavity Column in Prefabricated Buildings	程高, 曾治国 Cheng Gao, Zeng Zhiguo
067	超高层建筑消防供水系统设计研究 Research on the Design of Fire Water Supply System for Super High-rise Buildings	范永岭 Fan Yongling
070	国土空间规划体系下村庄规划的协同性分析 Collaborative Analysis of Village Planning under the National Land Spatial Planning System	刘毅, 赵笑峰 Liu Yi, Zhao Xiaofeng
073	预制装配整体式 PC 结构施工质量对策探析 Exploration of Construction Quality Countermeasures for Prefabricated and Integral PC Structures	杨以顺 Yang Yishun
076	工程造价管理在装配式建筑施工中的应用探讨 Exploration of the Application of Engineering Cost Management in Prefabricated Building Construction	梁剑 Liang Jian
079	基于全过程造价管理的工程项目成本控制策略 Cost Control Strategy for Engineering Projects Based on Whole-Process Cost Management	邵青峰 Shao Qingfeng

能源科学 | ENERGY SCIENCE

082	环境工程污水处理中膜生物反应技术的应用分析 Application Analysis of Membrane Bioreactor Technology in Environmental Engineering Wastewater Treatment	景溢 Jing Yi
085	氢燃料混合动力机车氢燃料电池布置设计及结构疲劳强度评估 Layout Design and Structural Fatigue Strength Evaluation of Hydrogen Fuel Cells for Hydrogen Fuel Hybrid Locomotives	蒋宽, 张瑾, 刘逸, 闫玉凤 Jiang Kuan, Zhang Jin, Liu Yi, Yan Yufeng
088	深部开采条件下煤矿采掘应力分布规律与安全控制技术 Study on Stress Distribution Law and Safety Control Technology of Coal Mining under Deep Mining Conditions	胡国辉, 张喜峰 Hu Guohui, Zhang Xifeng
091	历史遗留矿山生态修复与综合治理技术探讨 Exploration on Ecological Restoration and Comprehensive Management Technologies for Historic Abandoned Mines	刘凯 Liu Kai
095	化工企业污水处理技术方法研究与应用 Research and Application of Wastewater Treatment Technology Methods in Chemical Enterprises	胡朝丽 Hu Chaoli

电子与通信工程 | ELECTRONIC AND COMMUNICATION ENGINEERING

098	网约车计程计时量检测校准的关键技术与监管策略研究 Research on Key Technologies and Regulatory Strategies for Metering, Timing, Measurement, Detection, and Calibration of Online Car-hailing Services	吕永强 Lv Yongqiang
101	基于物联网的机电设备远程监控与自动化维护研究 Research on Remote Monitoring and Automated Maintenance of Electromechanical Equipment Based on Internet of Things	郝彦钊, 刘志磊, 负井贺, 于水, 高超 Hao Yanzhao, Liu Zhilei, Yun Jinghe, Yu Shui, Gao Chao
104	基于区块链技术的储能系统分布式检修与运行协同机制研究 Research on Distributed Maintenance and Operation Coordination Mechanism of Energy Storage Systems Based on Blockchain Technology	陈浩 Chen Hao

CO/CO₂催化加氢双功能催化剂探讨

王少聪, 吴明铂*

中国石油大学(华东) 新能源学院, 化学化工学院, 山东 青岛 266580

摘 要 : 文章主要以 CO/CO₂催化加氢双功能催化剂探讨为重点, 首先对双功能催化剂的关键组成进行分析, 其次从不同反应体系中的应用阐述对催化性能的影响, 最后提出切实、可行的优化对策, 致力于提升这种双功能催化剂作用, 真正为相关研究提供参考资料。

关 键 词 : CO/CO₂; 催化加氢; 双功能; 催化剂

Discussion on Bifunctional Catalyst for CO/CO₂ Catalytic Hydrogenation

Wang Shaocong, Wu Mingbo*

College of New Energy, College of Chemistry and Chemical Engineering, China University of Petroleum (East China),
Qingdao, Shandong 266580

Abstract : This paper focuses on the discussion of bifunctional catalysts for CO/CO₂ catalytic hydrogenation. Firstly, the key components of bifunctional catalysts are analyzed. Secondly, the effects on catalytic performance are elaborated from the application of different reaction systems. Finally, practical and feasible optimization countermeasures are put forward to improve the role of bifunctional catalysts and provide reference for related research.

Keywords : CO/CO₂; catalytic hydrogenation; dual function; catalyst

引言

全球化能源需求增长背景下, 如何高效利用含碳资源、实行绿色转化逐渐成为化学领域的重要内容。CO/CO₂作为关键碳源, 进行催化加氢转化非常关键, 一方面可助力更多工业排放、自然中含碳气体转化, 成为一些有高附加值的化学品, 如醇类等, 从本质上减少温室气体排放, 不再单一依赖化石能源; 另一方面制定科学的催化反应方式, 有效丰富化学原料来源路径, 助力化工产业实现可持续发展目标。然而双功能催化剂, 在 CO/CO₂催化加氢期间占据关键地位, 可整合多种催化作用, 一起参与化学反应, 提升反应物吸附、活化、产物生成等诸多环节。因此, 相关人员有必要提升对 CO/CO₂催化加氢双功能催化剂的重视, 详细探索其组成、性能、以及应用等多个方面, 一方面助力优化相似催化剂设计, 另一方面加速有关领域朝着高效方向发展, 在绿色碳资源转化方面迈入新阶段。

一、CO/CO₂催化加氢反应概述

CO/CO₂催化加氢能发生诸多反应, 反应期间所产生的产物在化工原料、燃料方面有广泛应用, 可有效缓解对传统化石能源的依赖, 进一步提升碳资源循环利用效果。

一般需要在特定温度、压力, 合适碳氢比条件下发生反应, 各种目标会对应不同的最佳反应条件, 并且对催化剂活性、选择性等都有较高要求, 促使相关人员持续探索高性能、应用广泛的双功能催化剂^[1]。

二、双功能催化剂的关键组成

(一) 活性组分

双功能催化剂中, 活性组分占据关键催化效果, 不仅是影响反应是否可有序进行的重要条件, 更是影响产物生成的关键因素, 一般活性组分包含金属组分, 如铁、钴、镍等, 还有金属氧化物, 如氧化锌等。比如, 费托合成反应过程中, 铁基催化剂正是发挥自身水煤气合成活性、长链烃合成能力, 在这一领域受到广泛关注, 不仅可促进反应进行, 还能协助产生长链烃产物^[2]。再如, 合成甲醇反应过程中, 铜基催化技术具有更强的活性位点,

不管是对 CO，还是 CO₂ 都有较强的活性效果，促使反应生成甲醇类物质。各种金属活性组分彰显的差异化催化效果，主要体现在电子结构、晶体结构方面，以上特性一方面影响对反应物吸附活化效果，另一方面也决定之后的反应催化方向，不一样的结构促使其在各种反应场景展现出不同的反应效果。

（二）载体

双功能催化剂体系中，载体在扮演着重要角色，起到多方面功能，可将活性组分均匀分散，避免活性组分团聚，以此来发挥活性组分的催化效能；载体还可以提高催化剂的稳定性，确保催化剂在反应期间保持更好的性能。还有一点是载体可有效调控活性中心的微环境。与此同时，氧化铝、二氧化硅、分子筛等都是常用的载体，氧化铝载体具有显著优势，凭借其较大的比表面积，为活性组分提供了充足的“附着点”，促使其分散更均匀，有较好的热稳定性，快速适应一定的高温反应环境；分子筛载体凭借自身独特的孔道结构占据优势，能够依据尺寸筛分效应，直接影响产物的选择性，引导反应生成特定链长的烃类产物，进一步精准调控产物组成。

（三）助剂

助剂可优化双功能催化剂，在诸多方面改善催化剂。比如，钾、钠这种碱金属助剂，可有效调控活性组分的电子功能，促使活性组分提升对 CO₂ 的吸附活化效果，进一步增强催化剂的 CO₂ 催化反应效果，即使面对一些复杂条件反应也能有效进行。再如，镧、铈这种稀土金属助剂，可有效调控催化剂抗烧结功能，尤其在长时间的反应中，催化剂易发生烧结问题，逐渐削减活性，引入稀土金属助剂，可增强催化剂稳定性，延长催化剂的使用时间，彰显催化剂在反应中的价值，带来最佳催化效果^[3]。

三、双功能催化剂在各种反应中的应用分析

（一）费托合成中的应用

费托反应是合成气——CO、氢气，转化为液态烃类的关键路径，双功能催化剂发挥着关键作用。这一反应期间，双功能催化加可精准协助 CO 解离吸附、碳链增长两种功能，如负载型铁基双功能催化剂，可在一定条件反应中彰显一定功能，一般温度为 200–350 °C，化学反应可处于平衡状态，一方面确保反应效率不低，另一方面还能规避高温带来的一些副产物、造成催化剂失活等等。压力条件也会控制在 1–5 MPa，这一压力环境可促进反应物分子充分吸附催化剂表面，助力反应朝着正向进行^[4]。与此同时，载体也发挥着关键分散功能，如二氧化硅作为一种常用载体，自身具有较大比表面积，促使铁基活性组分分散，有效减少活性组分团聚问题，进而提供更多的活性位点，促使反应物完成后续的接触反应。助剂添加对活性也起到促进效果，如碱金属助剂是，能有效更改铁基活性分子电子功能，一方面影响反应物吸附效果，另一方面从本质上优化反应过程。

通过上述物质协同作用，负载型铁基双功能催化剂，有效提升 CO 转化程度，说明更多原料可转化成最终产物。但针对一些目标烃类，如柴油蒸分烃，也展现一定的选择性，这种物质作为关

键燃料油品，依托这一高选择性加速费托合成反应，产生更契合市场所需、有较高经济价值的新产品，一方面提升反应带来的经济，另一方面也开辟资源高效利用的新路径。

（二）合成甲醇中的应用

CO/CO₂ 催化加氢领域中，合成甲醇反应是主要内容之一，产物甲醇在化工领域也得到广泛应用，不仅作为有机溶剂，更成为很多化学品的制作原料。例如，合成甲醇反应中，铜基这种活性组分双功能催化剂作用显著，尤其在特定的 200–300 °C 范围内，促使铜基保持高效活性，可对反应分子进行高效吸附、活化，压力一般在 5–10 MPa，这一环境反应分子浓度较高，更容易发生催化反应，以此提升整体反应效率^[5]。就双功能催化剂体系而言，载体、活性组分二者有着紧密联系，如分子筛载体自身的孔道结果，为铜基活性组分创建非常稳定的负载空间，可依托反应物、产物分子逐渐在孔道扩散，进一步对反应实施控制。助剂对活性位点也起到一定的优化作用，可有效调整铜基活性组分活性位点——电子结构、几何结构，进一步增强 CO、CO₂ 一起加氢的显著功能。正是这种强化加氢能力，促使甲醇产率逐渐升高，让越来越多的 CO/CO₂ 成为甲醇。另外，还能有效调控产物中甲醇和一些副产物的比例，如二甲醚，虽然在部分领域存在用途，但依据甲醇合成目标下，严格控制生成比例，才能有效管控甲醇产品纯度，进一步满足各行业对甲醇所需，从本质上提升合成甲醇反应的自身价值。

（三）其他反应中的应用

CO/CO₂ 催化加氢双功能催化剂在其他化学反应中也展现出一定的应用潜能。比如，制备低碳烯烃方面，工业生产低碳烯烃的传统方法，一般都会受来源局限、工艺复杂影响等，引入 CO/CO₂ 催化加氢双功能催化剂，全面开辟一条新的绿色途径。通过设计具有一定特殊结构的双功能催化剂，将合适的金属活性中心与具有择形功能的载体结合，促使 CO/CO₂ 和氢气直接、高效合成低碳烯烃，这种方法不仅能拓宽低碳烯烃原料来源，利用原本排放的 CO 和 CO₂ 资源，甚至在合成期间因反应条件温、环境友好特点，与当今绿色化学、可持续发展理念非常契合。芳烃的制备方面，双功能催化剂也具有非常重要的价值，芳烃作为重要化工原料，大多数应用在合成纤维、塑料、橡胶等领域。通过合理调配双功能催化剂的活性组分、载体以及助剂等要素，构建出一种高效的催化体系，促使 CO/CO₂ 和氢气在特定条件下转化为芳烃产物，不仅有利于丰富芳烃的生产途径，还能降低对传统芳烃原料（如石油等）的依赖，助力化学工业原料多元发展^[6]。

四、优化双功能催化剂性能对策

（一）优化催化剂制备方法

研究双功能催化剂应用过程中，优化制备方法非常关键，如，浸渍法、共沉淀法、溶胶-凝胶法等等，不一样的制备方法会激发催化剂不一样的性能。第一，浸渍法，这种制备方法比较简单、方便，采用浸渍方法将活性组分，负载到载体，但这种方式难以精准控制活性组分粒径大小、分散效果，甚至活性组分

也会发生团聚现象,进一步影响载体效果,不利于催化剂性能发挥。第二,共沉淀法,这种制备方法采用沉淀方式,促使活性组分、载体的前驱体进行沉淀,之后进行相关处理获取催化剂,该方法有效提升活性组分、载体的结合性,尤其在控制活性组分粒子上存在困难,甚至影响后续分散度,进一步削减催化性能。第三,溶胶-凝胶法,这种制备方式具备一定的独特性,可以分子水平为基础,促使活性组分、载体进行混合,整个制备期间,会经历溶胶、凝胶过程,活性组分也会十分均匀分散到凝胶网络,通过之后实施的干燥处理、焙烧处理等,获取活性组分粒子小,且有一定分散度的催化剂。正是这种均匀混合情况,促使活性组分、载体起到协同作用,有效增强催化剂稳定、活性,尤其在 CO/CO₂加氢反应过程中,可有效加速反应物吸附、活化,以及转化效果,提升反应性能,加速目标产物生成^[7]。因此,由此看出选择适合的催化制备方法至关重要,有必要从反应所需、活性组分、载体特点进行革新,进一步提升双功能催化剂性能。

（二）完善反应条件

调控双功能催化剂性能过程中,优化反应条件也至关重要,不管是反应温度,还是反应压力、氢碳比等变化,都会为催化剂性能带来一定影响。例如,从温度方面进行分析,选择合适的温度,可提升反应分子运动速率,不仅加速反应进行,更加速反应速度,有效提升反应物转化效果。若出现温度过高,就会造成催化剂活性组分结构损坏,严重情况导致催化剂失去活性。尤其在

一些 CO/CO₂加氢反应中,若不能科学控制温度,就难以生产所需产物,甚至造成催化剂损坏,不仅消耗更多使用成本,更增加更换频次。再如,从压力方面进行分析,可适当增加一定压力,此时使得反应物分子浓度增加,这样就能促使反应物分子和催化剂活性点有更多接触点,是提升反应物转化效率的关键^[8]。但提升压力期间,对设备也提出更高的要求,进而会增加一定的设备成本、运维挑战,工作人员必须做好权衡,探寻一种可提升反应速率,又能节省自己成本的反应控制区域。氢碳比是化学反应的一个关键参数,直接影响化学反应成效,严格控制氢碳比,可促使反应有序进行,提升反应物利用率,促使反应物与工业生产所需更契合。

五、结束语

综上所述,探索 CO/CO₂催化加氢双功能催化剂期间,清楚意识到其在能源与化工领域中占据的关键地位,深入探索其活性组分、载体、助剂等因素,进一步对各种反应进行剖析,进一步发现催化剂的应用潜能。未来发展中,科技发展会越来越越好,相关人员有必要引入新理念、新技术,加大对催化机制的研究,开发出更稳定的双功能催化剂,不仅提升碳资源转化率,更助力绿色低碳持续发展,真正为应对全球能源问题、环境问题做出一份贡献。

参考文献

- [1] 金科,王晨光,马隆龙,张琦.核壳纳米材料制备及其在 CO/CO₂热催化加氢中的应用[J].化工学报,2022,73(03):990-1007.
- [2] 党辉,陈胜利,王磊,张燕挺,蒋波,吴志杰.硫化物双功能催化剂上四氢苯加氢裂化制备 BTX 反应动力学和选择性研究(英文)[J].石油学报(石油加工),2023,39(06):1215-1230.
- [3] 张萌.CO₂催化加氢制备烯烃的研究进展[J].江西化工,2022,38(01):25-28.
- [4] 丁杰,韩爱哲,钟秦,王晓佳,安凤霞.燃煤电厂烟气中 CO₂捕集及其催化转化为短链烯烃研究进展[J].电力科技与环保,2021,37(06):8-17.
- [5] 韩飞,张朋泽,闫惊宇,关庆鑫,李伟.二氧化碳催化加氢及其研究进展[J].化学教育(中英文),2021,42(18):39-44.
- [6] 李龙泰,高彪,罗学彬,王钢,郭利民.二氧化碳催化加氢研究进展[J].工业催化,2021,29(07):1-10.
- [7] 孔令照,苗改,罗虎,孙予罕.生物质水热催化制备重要含氧化学品研究进展[J].高等学校化学学报,2020,41(01):11-18.
- [8] 吴会敏,白雪峰,刘洋.柠檬酸改性 SAPO-31 分子筛负载钨双功能催化剂催化加氢异构化反应研究[J].化学与黏合,2018,40(04):251-256.
- [9] 卢美贞,彭礼波,解庆龙,聂勇,刘学军,计建炳,董华军.Pt/Al-MCM-41 催化剂金属/酸性配比关系对生物烷烃加氢裂化制备生物航空煤油的影响[J].中国粮油学报,2018,33(05):60-65.
- [10] 邓京波.铁基纳米颗粒双功能催化剂可使生物质脂质一步加氢生成柴油[J].石油炼制与化工,2014,45(08):106-107.

导叶安装角度对离心泵叶轮结构特性的影响

韩闯, 杨培生

沈阳格瑞德泵业有限公司, 辽宁 沈阳 110326

摘 要 : 离心泵作为各类工业领域广泛应用的关键流体输送设备, 其性能表现直接关联系统运行的稳定性与效率。本研究将关注点聚焦于导叶安装角度这一核心参数, 深入探究其对离心泵叶轮结构特性的影响。研究综合运用理论分析、数值模拟以及实验研究等多元方法, 对不同导叶安装角度下叶轮所承受的流体作用力、内部应力分布状态、变形特征以及疲劳寿命等关键结构特性展开细致剖析。研究结果清晰表明, 导叶安装角度的变动会对离心泵叶轮的结构性能产生极为显著的影响。因此, 精准合理地选择导叶安装角度, 对于提升离心泵的可靠性、稳定性, 延长其使用寿命而言, 具有无可替代的重要意义。

关 键 词 : 导叶; 离心泵; 安装角度; 叶轮结构

Influence of Guide Vane Installation Angle on Structural Characteristics of Centrifugal Pump Impeller

Han Chuang, Yang Peisheng

Shenyang gered Pump Co., Ltd. Shenyang, Liaoning 110326

Abstract : centrifugal pump is a key fluid conveying equipment widely used in various industrial fields, and its performance is directly related to the stability and efficiency of system operation. This study focuses on the core parameter of guide vane installation angle, and explores its influence on the structural characteristics of centrifugal pump impeller. The research comprehensively uses multiple methods such as theoretical analysis, numerical simulation and experimental research to analyze the key structural characteristics such as the fluid force, internal stress distribution, deformation characteristics and fatigue life of the impeller under different guide vane installation angles. The research results clearly show that the change of guide vane installation angle will have a very significant impact on the structure and performance of centrifugal pump impeller. Therefore, the accurate and reasonable selection of guide vane installation angle has irreplaceable significance for improving the reliability and stability of centrifugal pump and prolonging its service life.

Keywords : guide vane; centrifugal pump; installation angle; impeller structure

引言

在离心泵的复杂构造中, 叶轮与导叶作为核心组件, 承担着能量转换与传递的关键使命。叶轮负责将原动机的机械能高效传递给液体, 赋予液体动能与压力能; 导叶则致力于收集叶轮排出的液体, 引导其平稳流动, 并将部分动能转化为压力能。而导叶安装角度, 作为离心泵设计与运行中的关键参数, 能够显著改变泵内流场的分布格局, 进而深度影响叶轮所受的流体作用力, 最终对叶轮的结构特性产生连锁反应^[1]。深入洞察导叶安装角度对离心泵叶轮结构特性的影响规律, 不仅有助于优化离心泵的设计方案, 提升其运行可靠性, 还能为相关领域的技术革新提供有力的理论支撑与实践指导。

一、离心泵工作原理及结构概述

(一) 工作原理

离心泵运行是基于离心力作用实现流体的高效输送。在启动离心泵电机后, 带动泵轴高速旋转, 进而驱动固定在轴泵上叶轮一同做高速圆周运动。叶轮上的叶片犹如动力传输器, 旋转期间与液体充分接触产生强大的附着力、摩擦力。在该作用力的影响

下, 原本处于叶轮中心的液体被叶片紧紧裹挟, 在叶轮高速旋转作用下, 液体所受离心力持续增大。在离心力不足以克服液体的惯性和重力等阻力时, 液体便会沿着叶片曲面从叶轮中心被迅猛甩向叶轮边缘。此过程中液体流速快速增加, 显著提升动能。同时, 液体从叶轮中心向边缘流动时, 流道逐步变窄, 结合流体连续性方程, 流速增加会导致压力上升, 因此液体不仅会获得动能, 其压力也会随之提升。离开叶轮的高速高压液体进入到导叶

内部，其流道设计为逐渐扩张方式，液体流经导叶时的流速逐步放缓，结合伯努利方程，动能减少会转化为压力能的进一步增加，使液体在离开本体时具备更高压力，实现流体的高效运输^[2]。

（二）结构

离心泵主要由叶轮、导叶、泵轴、泵壳、密封装置、轴承等装置组成。其中，叶轮为离心泵的核心部件，是由叶片、轮毂、盖板组成。叶片可将机械能传递给液体的直接元件，其数量、形状、角度对泵的性能有着直接影响。轮毂用于固定叶片并将其与泵轴连接，以保证叶片在高速旋转时的稳定性。盖板可封闭叶片，产生特定流道，引导液体的流动方向。导叶环绕在叶轮外周，由进口段、叶片、出口段组成。进口段用于平稳接收从叶轮流出的液体，叶片根据设计角度对液体导流，将其动能转化为压力能，出口段则是经过能量转换的液体引导至泵出口。泵轴用于连接叶轮和电机，传递扭矩，带动叶轮高速旋转。泵壳起到包容、保护内部件的作用，并合理规划液体流动路径^[3]。密封装置可防止液体泄漏、空气进入，确保本体高效运行。轴承负责支撑泵轴，减少旋转期间的振动与摩擦，保证离心泵运转的平稳性。

二、导叶安装角度对离心泵叶轮结构特性的影响

（一）导叶安装角度对叶轮受力的影响

从流体学原理出发，导叶安装角度变化会影响到叶轮出口流体速度方向与大小。结合动量定理，流体对叶轮作用力也将发生改变。假设叶轮出口流体为均匀、稳定的流动，通过建立动量方程分析叶轮所受轴向力和径向力与导叶安装角度的关系。设叶轮出口半径为 R_2 ，叶轮出口处流体绝对速度为 V_2 ，相对速度为 W_2 ，圆周速度为 U_2 ，导叶安装角度为 θ 。导叶安装角度改变，流体进入导叶入射角改变，影响叶轮出口速度三角形。根据速度三角形关系： $V_{2u}=U_2-W_{2u}$ ，其中 V_{2u} 为绝对速度圆周分量， W_{2u} 为相对速度圆周分量^[4]。

叶轮所受径向力 F_r 主要由流体在叶轮出口的动量变化引起，近似表示为： $F_r = \rho Q(V_{2u}\sin\theta + V_{2m}\cos\theta)$ ，其中 ρ 为流体密度， Q 为流量， V_{2m} 为绝对速度径向分量。叶轮所受轴向力 F_a 与叶轮两侧压力差及流体动量变化有关，导叶安装角度改变，叶轮两侧压力分布变化，导致轴向力改变。

采用计算流体动力学（CFD）软件模拟离心泵内部流场，分析导叶安装角度对叶轮受力的影响。建立离心泵三维模型，包括叶轮和导叶，采用 $k-\omega$ SST 模型（湍流模型的一种）模拟流体流动，设置不同导叶安装角度，如 $\theta=15^\circ$ 、 20° 、 25° 、 30° ，计算不同工况下叶轮所受流体的作用力。模拟结果显示，随着导叶安装角度增大，叶轮所受径径向力和轴向力先减少后增大。在导叶安装角度达到 20° 时，叶轮收缩径径向力、轴向力达到最小值。此时流体即可顺畅从叶轮流入到导叶内，叶轮出口流场也更加均匀，动量变化小、流体作用力减小。对此，搭建离心泵实验台验证模拟结果的精度，实验装置包括离心泵、电机、流量计、压力传感器、扭矩仪、数据采集系统^[5]。在实验期间保持离心泵转速、流量等工况参数不变，改变导叶安装角度，测量叶轮所受径

向力和轴向力。最终实验结果与数值模拟基本吻合，证明导叶安装角度会影响叶轮受力。同时发现，实际运行中由于制造误差、安装偏差、流体非定常性等因素，叶轮受力存在波动，且导叶安装角度变化对力的波动幅值也有影响。

（二）导叶安装角度对叶轮应力分布和变形的影响

获取到不同安装角度下叶轮所受流体作用后，将其作为荷载附加在叶轮有限元模型中，采用有限元分析软件计算叶轮应力分布、变形状况。合理划分叶轮的网格，使用线性弹性模型描述叶轮材料力学行为。结果表明，不同导叶的安装角度，叶轮内部应力分布也存在显著差异。叶片根部、轮毂与叶片连接部位的应力较为集中。导叶安装角度增大，这部位应力水平先降后增，叶轮变形量也出现类似特点。倒也安装角度较小时，叶轮受力大、变形量大；角度逐渐增大至适宜数值，叶轮受力减小、变形量减小；继续增大角度，叶轮轴力增大、变形量增大^[6]。

使用应变片测量技术和激光测量技术对不同导叶安装角度下的叶轮进行测量，包括应力分布、变形情况。将应变片安装在叶轮关键部位，测量应变片电阻变化值即可获得叶轮表面应变值，得出最终应力参数。使用激光测量仪非接触式测量叶轮变形。实验结果基本与数值模拟结果一致，但具体数值存在一定差异，这是因为实验测量误差和实际工况与模拟假设条件存在差异。不过，实验仍有效验证导叶安装角度对叶轮应力分布和变形的影响规律。

（三）导叶安装角度对叶轮疲劳寿命的影响

在长期流体作用力的影响下，叶轮会逐渐产生疲劳损伤，影响其使用寿命。导叶安装角度会直接影响叶轮的荷载量以及变化规律，进而影响其疲劳寿命。采用疲劳分析软件，根据数值模拟、实验得出应力分布结果以及材料疲劳特性参数（如 S-N 曲线），采用 Miner 线性累积损伤理论，预测不同导叶安装角度下叶轮的疲劳寿命^[7]。

计算结果表明，导叶安装角度对叶轮疲劳寿命影响显著。导叶安装角度处于合适范围时，叶轮载荷小且波动小，疲劳寿命长；偏离合适范围时，叶轮载荷增大且波动加剧，疲劳寿命明显缩短。例如，导叶安装角度从最佳值增减一定角度，叶轮疲劳寿命可能降低 30%–50%。

三、导叶安装角度控制措施

（一）精确设计计算

在离心泵设计当中，应采用先进流体力学计算软件和优化算法，结合具体的工况需求，精准计算导叶的最佳安装角度参数。设计中综合考虑多项因素，包括泵的流量、扬程、转速、输送介质等特性等，采用多参数耦合分析，即可确定叶轮最佳受力、最优结构性能的安装角度。以 ANSYS CFX 和 Fluent 为例，工程师们通过构建涵盖叶轮、导叶、泵体等关键部件的精细三维模型，高度还原离心泵内部的真实流场环境。在此基础上，精准设置各类边界条件，不仅包括进出口压力、流量以及流体的密度、黏度等物性参数，还充分考虑实际运行中的各种复杂因素，如温度变

化对流体性质的影响^[8]。

为了找出导叶最佳的安装角度，可引入多目标优化算法。以遗传算法为例，其模拟生物进化过程，可对大量不同导叶安装角度“个体”进行选择、交叉、变异操作，经历多个迭代筛选后得出最佳的安装角度。例如某离心泵的设计流量为200m³/h，扬程为80m。通过多轮CFD模拟与遗传算法的协同计算，确定在导叶安装角度为22°时，叶轮所受的径向力相较于初始设计角度降低了30%，轴向力降低了25%。这大幅减少了叶轮因受力不均引发的疲劳磨损，显著提升了泵在长期运行中的稳定性，同时降低了约8%的能耗。

（二）制造工艺控制

在离心泵制造中，采用高精度加工设备是确保导叶安装精度的重要一环。例如，五轴联动加工中心可将其定位精度控制在0.001mm以内，导叶叶片角度公差控制在±0.3°以内，确保叶片形状与设计高度契合。同时还要做好装配工艺优化，导叶与泵体装配期间，使用高精度定位销和定位键，配合激光测量技术，实时监测装配过程，并进行微调。采用此类先进装配工艺后，可将导叶安装角度偏差控制在±0.8°以内，极大提升了产品良品率以及市场竞争力^[9]。

（三）实施监测与调整

在离心泵运行期间，搭建一套完善的实时监控系統对保障导叶安装精度意义重大。将高精度应变片布置在叶轮关键部位，用于实时感知叶轮所承受应力的变化。一旦应力值超出设计允许值要求，则系统会自动发出警报型号，提示可能存在叶轮安装角度异常问题。同时，将高灵敏度振动传感器安装至泵体上，一旦振动幅度超过标准值要求，系统发出警报，代表导叶安装可能出现

偏移问题。

针对大型工业离心泵，为了能有效应对各类工况，可采用可调节导叶结构。例如在某大型污水厂水泵系统中，给离心泵配备电动可调节的导叶机构。通过实时监测系统反馈的流量、压力、温度等数据，智能控制系统能够根据实际工况的动态变化，自动、精准地调整导叶安装角度。在污水流量高峰期，将导叶安装角度从初始的20°调整至22°，泵的实际输送流量提升了10%，同时能耗降低了约6%，确保了污水处理厂的高效稳定运行^[10]。这种实时监测与智能调整机制，不仅延长了离心泵的使用寿命，减少了设备维护成本，还为整个工业系统的稳定运行提供了坚实保障。

四、结束语

综上所述，导叶安装角度对离心泵叶轮的结构特性有着多方面的显著影响。通过理论分析、数值模拟和实验研究可知，导叶安装角度的改变会引起叶轮所受的流体作用力（包括径向力和轴向力）大小和方向的变化，进而导致叶轮内部的应力分布、变形情况以及疲劳寿命发生改变。在一定范围内，随着导叶安装角度的增大，叶轮所受的流体作用力、应力水平和变形量先减小后增大，而疲劳寿命则先增大后减小。因此，在离心泵的设计和运行过程中，必须充分考虑导叶安装角度对叶轮结构特性的影响，通过优化导叶安装角度，使叶轮处于较为理想的受力状态，以降低叶轮的应力水平、减小变形量，提高叶轮的疲劳寿命，从而提高离心泵的整体可靠性和稳定性。

参考文献

- [1] 裴吉, 刘总帅, 王文杰, 等. 导叶安装角度对离心泵叶轮结构特性的影响 [J]. 排灌机械工程学报, 2024(03):42.
- [2] 喻德辉, 陈燕, 马文生, 等. 导叶叶片数对离心泵特性的影响 [J]. 水电能源科学, 2022(05):40.
- [3] 喻德辉, 王超, 杨由超, 等. 叶轮斜切对导叶式离心泵特性的影响 [J]. 水电能源科学, 2021(05):155-157.
- [4] 江伟, 朱相源, 田辉, 等. 半高导叶对离心泵压力脉动影响的数值模拟与试验研究 [J]. 中南大学学报(自然科学版), 2021(04):24.
- [5] 彭小娜, 朱相源, 李国君, 等. 导叶时序位置对离心泵叶片载荷影响的数值模拟 [J]. 排灌机械工程学报, 2019, 37(3):192-198.
- [6] 符杰, 金永鑫, 宋文武, 等. 叶轮相位交错对多级离心泵非定常外特性的影响 [J]. 热能动力工程, 2018, 33(2):10-11.
- [7] 冀春俊, 张雪薇, 时茂, 等. 多级离心泵叶轮与流道式导叶的匹配特性 [J]. 风机技术, 2019(S1):7-13.
- [8] 郭荣, 李仁年, 张人会. 射流离心泵动静叶栅匹配的水力与声学性能优化设计 [J]. 农业机械学报, 2019, 50(5):11-17.
- [9] 朱相源, 江伟, 李国君, 等. 导叶与隔舌相对位置对离心泵水力性能影响的数值研究 [J]. 武汉大学学报: 工学版, 2018, 51(1):844.
- [10] 史赞. 选导叶周向安装位置对离心泵叶轮径向力的影响 [J]. 信息记录材料, 2017, 18(10):30-32.

人工岛深基坑支护降水及开挖技术探究

刘泽山

中交一航局城市建设工程有限公司，河南 郑州 450000

摘 要： 随着经济社会的不断发展以及海洋工程的不断发展，人们对交通出行的需求日益剧增，跨海跨江高速应运而生。为满足通航要求，方案设计时往往选用桥隧结合，在桥隧结合部需建设人工岛作为转换结构，岛上建设部分配套功能用房和附属建筑。故人工岛建设成为了人们关注的焦点。本文将就人工岛深基坑相关施工技术展开研究，旨在为人工岛建设提供技术支持和参考。

关 键 词： 人工岛；深基坑；降水；支护

Exploration on Precipitation and Excavation Technology of Deep Foundation Pit Support on Artificial Island

Liu Zeshan

CCCC First Harbor Urban Construction Engineering Co., Ltd. Zhengzhou, Henan 450000

Abstract： With the continuous development of economy and society and the continuous development of marine engineering, people's demand for transportation is increasing day by day, and cross-sea and cross-river expressways have come into being. In order to meet the requirements of navigation, the combination of bridges and tunnels is often selected in the scheme design, and an artificial island needs to be built at the junction of the bridge and tunnel as a conversion structure, and some supporting functional buildings and ancillary buildings are built on the island. Therefore, the construction of artificial islands has become the focus of people's attention. In this paper, we will study the construction technology related to the deep foundation pit of artificial islands, aiming to provide technical support and reference for the construction of artificial islands.

Keywords： artificial island; deep foundation pit; precipitation; support

引言

深中通道西人工岛作为深中通道关键控制性枢纽工程，采用人工填砂筑岛，整体岛面采用在岛内埋设降水井，打设排水板开展降水联合堆载预压进行地基处理，满足岛上建筑建设需求。岛上房建项目深基坑施工时面临场地狭小、水位难控制、砂层不易支护等诸多技术难题。通过对人工岛现状、设计方案以及施工条件分析，在深中通道西人工岛深基坑施工过程中，结合岛面规划，大部分采用了自然放坡加面层设钢筋网片喷锚，受场地影响部位采用混凝土灌注桩排桩支护形式；降水主要采用管井降水^[1-2]。

一、相关技术综述

深基坑支护降水及开挖技术是人工岛建设的关键环节，涉及到多个学科和技术领域。支护设计需综合考虑基坑深度，基坑周边环境及荷载情况，还需对工程造价和施工环境、施工周期综合考虑。人工岛地层为回填砂，过水速率快，且处于海洋环境，水位受潮汐影响较大，支护设计需综合考虑其特殊环境。同时，降水技术的选择对于防止人工岛沉降和破坏具有重要意义。

深中通道西人工岛主体建筑基坑深度在7.1m ~ 9.2m，基坑范围内土层以回填砂为主，经振冲后与初始力学指标存在较大差异。通过标贯试验对振冲后的回填砂区域进行检测，其中，表层2m标贯击数为12 ~ 20击，表层2.0m以下标贯击数18 ~ 49击，

根据《建筑地基基础设计规范》，振冲后的内摩擦角 φ_k 可根据修正后的标准贯入试验击数 N_k 值、标贯击数按下式计算：

$$\varphi_k = \sqrt{20N} + 15$$
$$N = a_1 N'$$

式中： N —实测平均锤击数

a_1 —触探杆长校正系数

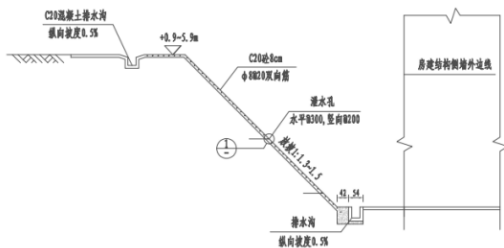
砂土地层中存在粘聚力，根据相关参考文献和案例其值处在3~8KPa之间，与现场试验获得的值很相近。考虑到主体建筑基坑边坡保留时间短，岛内回填砂已完成振冲，回填砂层含水量丰富根据既有基坑边坡情况及反演分析，本工程基坑在设计计算分

析中砂层粘聚力按3Kpa 计算。基坑开挖过程中分层开挖、及时支护，保证砂层含水率在4%~9%之间。大面按照坡度不小于1: 1.3自然放坡能满足基坑安全需求，局部因不满足放坡条件或上部荷载较时采用排桩支撑形式。

本工程位于珠江的内伶仃洋海域，根据地勘察揭示的含水层的岩性、埋藏条件及地下水的赋存条件，主体建筑深基坑部分主要位于松散岩类承压水含水岩组，水位约在5.7m（距现场地面）左右，人工岛渗透系数 $k=2.04 \times 10^{-2} \text{cm/s}$ 。孔隙承压水径流表现在相同层位间的相互流通，但受含水层岩性的控制。海水潮水位变化的同时，传导给孔隙承压水的压力不同，潮水位涨，传导给孔隙承压水的压力大，承压水头高，潮水位落，传导给孔隙承压水的压力相对较小，承压水头相对较低。针对孔隙承压水，主要是通过岛面降水井集中抽水排入周边海域。孔隙承压水动态变化上表现为动态型，受潮水位和岛内人工降水措施控制影响，通过管井降水能够满足现场施工需要，设计考虑施工期降水的水位至基底1m 以下，满足建筑物基础施工需要。

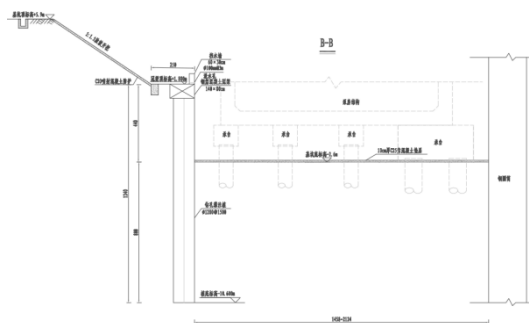
二、设计方案探讨

深中通道西人工岛岛上房建深基坑根据岛面拌合站、施工道路布置，结合基坑深度进行设计。大面采用自然放坡。放坡断面见图1。坡度控制在1:1.3 ~ 1:1.5，在坡面留设泄水孔，坡顶和坡底设截（排）水沟，坡面喷射混凝土面层。因拌合站影响上部荷载较大，无法自然放坡区域采用排桩支护形式。



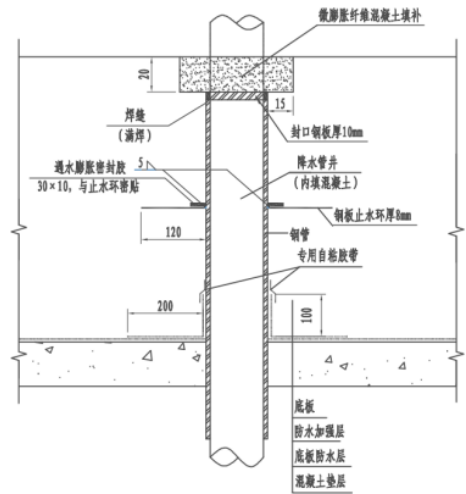
> 图1 基坑放坡断面图

因受拌合站影响，距离不满足自然放坡，此区域采用上部放坡下部排桩支撑形式。排桩直径1.2m，间距1.5m。此部位断面图见图2；灌注桩上部设置连续冠梁，为防止地表雨水等流入基坑顶部设截水沟。



> 图2 拌合站部位支护断面图（图中单位 cm）

综合考虑地层及降水效果，本工程基坑降水选用管井降水法，降水井直径550mm，采用273mm 无缝钢管，两侧填滤料，底部设置不小于1m 的沉沙管。基坑内降水井底标高至基坑底有效长度为6m，降水井主要布置在基坑周边，并在基坑内布置疏干井，达到整体降水效果。基坑外侧设水位观测井，定期进行水位监测。基坑内与结构相连的降水井留置在基础筏板内，停止降水时封闭处理。筏板内降水井节点处理见图3。

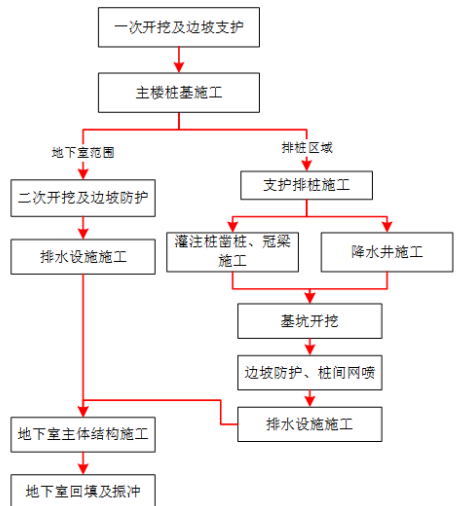


> 图3 基坑内降水井示意图（单位 mm）

三、施工方案及施工技术措施

（一）基坑施工工艺

在施工前现场先进行场地平整，局部进行表层开挖满足建筑物桩基施工，桩基施工完成后再进行基坑开挖和边坡支护（土方开挖分层开挖，每层不大于2m，边坡喷锚与开挖交替进行，随时开挖随时支护）；在建筑物桩基施工时可同步进行基坑支护灌注桩施工。施工工艺流程见图4。



> 图4 基坑施工工艺流程图

（二）方案要点及注意事项

1. 机械设备选择
根据地质情况及工期要求，本工程灌注桩及降水成孔施工均

采用旋挖机成孔。

2. 施工注意事项

因支护排桩和降水井等施工工艺与常规工艺相似，此处不再赘述，主要对一些施工过程中的注意事项进行阐述说明。

①为保证桩基施工质量，钻孔灌注桩施工时，先行试桩施工，验证工艺的可操作性。试桩施工合格后，方可大面积施工，施工时严格执行国家标准规范有关规定进行过程质量控制，并按做好每道工序施工记录。

②为防止施工对地层扰动，影响桩基施工，刚浇筑完成的桩与成孔桩间距大于4倍桩径，施工采用跳打法，本工程施工时采用隔三打一，循环跳打。

③灌注桩在砂层成孔时为防止塌孔提高成孔效率，施工需用泥浆护壁工艺。泥料以膨润土为主要原料，配制时选择水化性能好、出浆率高、成浆快、含砂量少的材料。同时可添加纯碱及羧甲基纤维素（CMC）等材料，进一步提高泥浆性能。在施工前进行泥浆配合比试验以指导现场造浆，根据施工中实际情况随时调整泥浆配比。在回填砂层钻进时，成孔时间宜尽量缩短，及时进行桩基浇筑。本工程采用的泥浆配合比见表1。

表1 泥浆配合比表

地层	水（kg）	膨润土（kg）	纯碱（kg）	CMC（kg）	备注
一般地层	100	6 ~ 8	0.3 ~ 0.5	0.1	CMC 视现场实际情况确定参量

④在施工时安排专人负责对泥浆性能进行检测并做好记录，不符合要求时进行调整。泥浆检测应根据现场地质条件变化随时进行。当地层条件发生变化时，及时对泥浆的各项参数进行调整，确保满足护壁施工要求。根据施工工艺和现场地层情况，本工程施工过程中泥浆性能指标见表2。

表2 泥浆性能指标表

钻孔方法	地层情况	泥浆性能指标			
		相对密度	粘度（Pa.s）	含砂率（%）	胶体率（%）
旋挖	砂层	1.10 ~ 1.25	18 ~ 28	≤ 2	> 95

⑤施工中应严格按照相关规范进行二次清孔操作，清孔采用反循环工艺，并采取必要的施工措施，以减少桩底沉淤。在钢筋笼沉放到位且浇筑混凝土前对孔底中心点的沉淤厚度进行测量，沉淤厚度 <100mm。

⑥灌注桩采用水下导管浇筑工艺，浇筑时要确保水下混凝土的浇注质量，浇注操作必须符合施工规范规定。

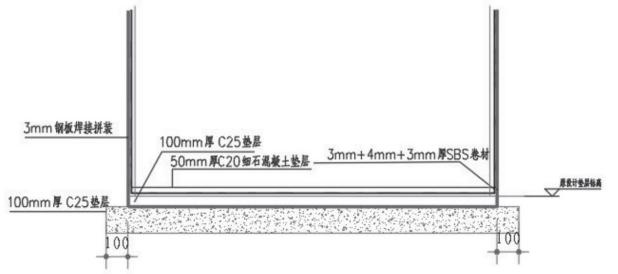
⑦在下放钢筋笼前，每根桩须用超声波检测成孔形状，或采用探笼检测，以确保孔径、孔壁粗糙度。

⑧坡面泄水孔必须严格按照设计方案埋设，泄水孔为直径50mm、长65cm 排水管，间距2m×3m，泄水孔后方四周开孔，并包有土工布，避免过水时回填砂流出。

⑨降水井安装完成后需要进行井管内清洗，清除井壁护壁泥浆，将成孔时护壁泥浆置换为清水。基坑外侧水位变化较快或水位较低时需采取回灌措施进行补水。

3. 针对电梯井等较深部位采取的降水措施

因本工程工期相对紧，基坑内水量较大，降水周期相对长。在水位降至筏板底1m 时，整体能满足大面施工，但在电梯井等较深部位降水效果不佳，需持续降水，为加快建设速度采取局部明排方式。在四周做排水沟明排，并在电梯井部位增设铁箱作为止水及支护结构。铁箱做法见图5。为防止铁箱上浮，及时在铁箱内施工100厚垫层、防水及防水保护层，做完后周边分层回填，回填完成后及时进行垫层及后续工作施工。



> 图5 铁箱示意图

4. 人工岛深基坑施工质量要求

①本工程各项目检验验收应严格执行地基基础及基坑作业相关规范标准要求。

②因岛内水位与海水潮水位变化息息相关，在施工过程中根据涨潮落潮情况对现场降水措施进行动态调整。在涨潮阶段抽水频率适当增大，落潮后根据监测水位调整抽水频率。

③在深基坑降水抽水过程中对水中含砂量进行观测，除初期外若水中有砂时需分析原因并采取措施，避免对基底或基坑周边环境造成影响。

5. 人工岛深基坑施工安全注意事项

①要保证现场电力供应不断。由于本工程属于外海孤岛施工，在施工前需综合考虑机械设备及材料的运输情况，现场应充分备齐柴油发电机、潜水泵、防雨电闸箱，设置应急电源，避免在基坑开挖过程中降水工作长时间中断，导致降水失效，水位上升，造成不必要损失。同时要根据潮汐变化对降水强度进行实时调整，确保基坑水位保持稳定。

②深基坑施工时需结合项目实际做好应急管理。尤其在雨季及台风季节施工时，需加强天气预报和气象观测。遇到暴雨、台风等特殊天气要采取必要的防范措施，降水可采用自动控制装置。在人员撤退前，应对基坑进行必要的防护。

③因人工岛为砂回填，降水必须降至开挖面以下，大面开挖前先小范围进行试挖，验证水位满足施工要求再进行大面施工。施工过程中需关注基底隆起、涌水、涌砂等常见基坑问题的排查和治理工作。

④岛上作业雨水较多，时常做好基坑上部排水沟的清理和检查，确保排水沟顺畅，集水井不渗漏，抽水设备完好随时可启用。

（三）基坑监测监控要求

基坑监测是深基坑安全管理的重要保障，基坑施工及基坑开挖过程中要根据不同施工阶段对水平位移及沉降、坑底水位变

化、周边构筑物位移等进行监测。具体监测频率见表3所示。若监测数据出现异常，需立即分析原因并适当提高监测频率。

表3 各项目监测频率一览表

序号	监测项目	施工进度				
		开挖深度： ≤ 5m	开挖深度： 5 ~ 10m	底板浇筑 后时间： ≤ 7d	底板浇筑 后时间： 7~28d	底板浇筑 后时间： > 28d
1	围护结构顶水平位移	1次 /2d	1次 /1d	2次 /1d	1次 /1d	1次 /3d
2	地下水位	1次 /2d	1次 /1d	2次 /1d	1次 /1d	1次 /3d
3	地面沉降	1次 /2d	1次 /1d	2次 /1d	1次 /1d	1次 /3d
4	周边构筑物位移	1次 /2d	1次 /1d	2次 /1d	1次 /1d	1次 /3d

本工程基坑支护结构安全等级按照二级控制，为了保证基坑安全，对于各监测项目，超出预警值时及时上报，并及时进行原因分析并根据原因采取有效措施，待处置后消除安全隐患，监测数据正常后方可继续施工。本工程监测控制值见表4，报警值为控制值的0.7倍。

表4 各监测项目控制值一览表

序号	监测内容	控制值		变化速率
		基坑安全等级 一级	基坑安全等级 二级	
1	坡顶、坡底水平位移	0.3%H 和 30mm 较小值	0.6%H 和 50mm 较小值	10 ~ 15mm/d
2	灌注桩顶水平位移	0.2%H 和 25mm 较小值	0.5%H 和 45mm 较小值	4 ~ 6mm/d
3	灌注桩顶最大竖向位移	0.1%H 和 10mm 较小值	0.3%H 和 25mm 较小值	3 ~ 4mm/d
4	坡顶最大竖向位移	0.3%H 和 20mm 较小值	0.6%H 和 50mm 较小值	5 ~ 8mm/d
5	地下水位	变化幅度 1.0m	变化幅度 1.0m	500mm/d

本项目实施后，最终基坑监测结果显示：基坑边坡顶部水平位移累计水平位移量介于 -1.65mm ~ 1.67mm 之间；顶部地表沉降累计沉降量介于 1.85mm ~ 5.59mm 之间；观测水位变化速率值介于 -67mm/d ~ 131mm/d 之间；均满足规范要求。

四、结论与展望

通过本项目深基坑工程的实施，支护形式大面采用放坡喷锚局部采用排桩，降水采用管井降水，该设计及施工方案能满足人工岛施工需要，基坑整体稳定性和变形均满足规范及设计要求。项目结合项目实际在施工过程中为加快施工进度，在电梯井、集水坑等局部部位选用特殊处理措施，取得不错效果，对类似工程有借鉴意义。

本文结合深中通道西人工岛深基坑施工技术总结，对人工岛深基坑施工相关技术进行了深入系统研究。在项目建设中也取得了良好的应用效果，为类似人工岛建设提供了有力的技术支持，也有助于推动海洋工程技术的进步和创新。然而，仍存在许多不足之处，如对复杂地质条件的考虑不足、降水技术的选择不够灵活等。在人工岛深基坑的施工过程中，实施有效的信息化智能化监测和信息化施工手段可提高工程质量和施工安全。未来，我们将进一步改进和完善该技术，为人工岛建设提供更加可靠和高效的技术支持。

参考文献

[1]GB50330-2013《建筑边坡工程技术规范》[S].
[2] 中交港珠澳大桥岛隧工程项目总经理部. 港珠澳大桥岛隧工程施工技术 [M]. 科学出版社, 2021-04.

钢结构工程中的质量风险评估与防控措施

何万龙

重庆旭之鑫建设工程有限公司，重庆 401332

摘 要： 钢结构工程因其自重轻、施工速度快、抗震性能好等优点，在现代建筑中得到了广泛应用。然而，钢结构工程的质量风险不容忽视。在钢结构工程的施工过程中，存在多种可能导致质量问题的风险，如材料质量不达标、施工技术不规范、现场管理不善等。这些风险不仅影响工程的进度和质量，还可能对工人的安全造成威胁。因此，对钢结构工程的质量风险进行全面评估，并制定相应的防控措施，对于确保工程安全、提高施工质量具有重要意义。本文将对钢结构工程中的质量风险进行详细分析，并探讨有效的防控措施。通过科学的风险评估和严格的防控措施，可以降低质量事故的发生率，保障工程的顺利进行和工人的安全。

关 键 词： 钢结构工程；质量风险评估；防控措施

Quality Risk Assessment and Prevention and Control Measures in Steel Structure Engineering

He Wanlong

Chongqing Xuzhixin Construction Engineering Co., Ltd. Chongqing 401332

Abstract： Steel structure engineering has been widely applied in modern architecture due to its advantages such as light self-weight, rapid construction speed, and excellent seismic performance. However, the quality risks associated with steel structure engineering cannot be ignored. During the construction process of steel structure engineering, there are various risks that may lead to quality issues, including substandard material quality, non-standard construction techniques, poor site management, and more. These risks not only affect the progress and quality of the project but may also pose threats to workers' safety. Therefore, conducting a comprehensive assessment of the quality risks in steel structure engineering and formulating corresponding prevention measures is of great significance for ensuring project safety and improving construction quality. This paper conducts a detailed analysis of the quality risks in steel structure engineering and explores effective prevention measures. Through scientific risk assessment and stringent prevention measures, the incidence of quality accidents can be reduced, ensuring the smooth progress of the project and the safety of workers.

Keywords： steel structure engineering; quality risk assessment; prevention measures

引言

随着现代建筑技术的不断发展，钢结构工程因其独特的优势，如自重轻、强度高、施工速度快、抗震性能好等，逐渐成为建筑领域的重要组成部分。然而，钢结构工程在带来便利的同时，也伴随着一系列的质量风险。这些风险可能源于材料的选择、施工技术的运用、现场管理的实施等多个方面。因此，对钢结构工程的质量风险进行科学评估，并制定相应的防控措施，对于确保工程质量和施工安全至关重要。本文将从五个方面对钢结构工程中的质量风险评估与防控措施进行深入探讨。

一、钢结构工程中的质量风险来源分析

（一）材料质量不达标的风险

在钢结构工程中，材料的质量是工程质量的基石。若材料质量不达标，将直接导致钢结构工程的整体质量受损。材料质量不达标的主要源于供应商的选择不当、材料采购过程中的疏忽

以及材料检验的缺失。

供应商的选择不当是材料质量不达标的首要原因。在激烈的市场竞争中，一些不良供应商为了降低成本、提高利润，可能会采用劣质材料或掺杂不合格成分。若钢结构工程团队未能对这些供应商进行严格的筛选和考察，就极易采购到质量不过关的原材料。^[6]

材料采购过程中的疏忽也是导致材料质量不达标的重要原

因。在采购过程中,若未能对材料的规格、型号、产地等进行详细核对,或者未能对材料的生产日期、保质期等进行严格把关,就可能导致采购到不符合工程要求的材料。此外,若采购过程中缺乏必要的监督和检验机制,也可能使不合格材料混入工程现场。

材料检验的缺失同样是材料质量不达标不可忽视的风险点。在钢结构工程中,对采购的材料进行严格的检验是确保材料质量的关键环节。然而,若检验流程不完善、检验设备不先进或检验人员不专业,就可能导致检验过程流于形式,无法及时发现和处理不合格材料。这将给钢结构工程带来巨大的质量隐患。

(二) 施工技术不规范的风险

施工技术是钢结构工程质量的关键因素之一。若施工技术不规范,将直接影响工程的整体质量和安全性。施工技术不规范的风险主要源于施工人员的技能水平不足、施工工艺的不合理以及施工管理的不到位。

施工人员的技能水平不足是施工技术不规范的首要原因。在钢结构工程中,施工人员的技能水平直接影响工程的施工质量。^[6]若施工人员缺乏必要的专业知识和操作技能,就难以保证施工工艺的准确性和规范性。这将导致工程质量参差不齐,甚至引发安全事故。

施工工艺的不合理也是导致施工技术不规范的重要原因。在钢结构工程中,施工工艺的选择应充分考虑工程特点、材料性能以及施工环境等因素。若施工工艺选择不当或执行不严格,就可能导致工程质量问题频发。例如,焊接工艺的不合理可能导致焊缝质量不达标,进而影响钢结构的整体强度和稳定性。

施工管理的不到位同样是施工技术不规范不可忽视的风险点。在钢结构工程中,施工管理是确保施工工艺得到有效执行的关键环节。若施工管理不严格、不规范,就可能导致施工人员随意更改施工工艺、忽视施工规范等问题。这将给工程质量带来极大的不确定性。

(三) 设计缺陷与现场管理不善的风险

设计缺陷和现场管理不善是钢结构工程中另外两个重要的质量风险来源。设计缺陷可能导致工程结构不合理、材料浪费或安全隐患等问题;而现场管理不善则可能导致施工过程中的混乱、资源浪费以及安全事故等问题。^[7]

设计缺陷主要源于设计人员的专业素养不足或设计过程中的疏忽。在钢结构工程中,设计人员应具备扎实的专业知识和丰富的实践经验。若设计人员缺乏这些素质,就可能导致设计方案存在缺陷。例如,设计人员在计算结构承载力时未能充分考虑各种因素,就可能导致结构在实际使用中发生破坏。

二、钢结构工程中的质量风险评估方法

(一) 专家打分法

专家打分法是一种基于专家经验和专业知识的风险评估方法。在钢结构工程中,该方法通过邀请具有相关背景和经验的专家,对潜在的质量风险进行打分和评估。每位专家根据自己的专业知识和实践经验,对风险发生的可能性和潜在影响进行主观判断,并给出相应的分数。^[8]

在具体操作中,首先需要确定评估的风险类型和范围,然后设计合理的问卷或打分表,邀请专家进行打分。打分标准可以根

据风险的严重程度、发生概率等因素进行设定。收集完所有专家的打分结果后,进行统计和分析,得出每个风险的平均得分和总体分布情况。通过这种方法,可以直观地了解各个风险的大小和优先级,为后续的防控措施提供依据。^[1]

值得注意的是,专家打分法虽然简单易行,但受到专家主观因素的影响,可能存在一定的偏差。因此,在选择专家时,应注重其专业性和代表性,同时尽量扩大专家范围,以提高评估结果的准确性和可靠性。

(二) 层次分析法

层次分析法是一种结构化的多目标决策分析方法,适用于复杂系统的风险评估。在钢结构工程中,该方法通过将质量风险分解为多个层次和子风险,构建层次结构模型,然后利用判断矩阵确定各风险因素的相对重要性,最终得出风险的综合评估结果。

在应用层次分析法时,首先需要明确评估目标和风险范围,然后构建层次结构模型。模型通常包括目标层、准则层和方案层等多个层次。接下来,利用专家打分或问卷调查等方式,收集关于各风险因素相对重要性的数据,构建判断矩阵。^[9]通过计算判断矩阵的特征向量和特征值,可以确定各风险因素的权重。最后,根据权重和风险因素的实际影响,得出综合评估结果。

层次分析法具有系统性、灵活性和实用性等优点,能够综合考虑多个风险因素及其相互关系,得出较为全面的评估结果。然而,该方法的应用过程相对复杂,需要一定的专业知识和经验支持。

(三) 模糊综合评价法

模糊综合评价法是一种基于模糊数学原理的风险评估方法。在钢结构工程中,该方法通过构建模糊评价模型,对潜在的质量风险进行模糊处理和综合评价。该方法能够处理评估过程中的不确定性和模糊性,提高评估结果的准确性和可靠性。

在具体操作中,首先需要确定评估的风险类型和范围,然后构建模糊评价模型。模型通常包括风险因素集、评价集和模糊关系矩阵等多个部分。接下来,利用专家打分或问卷调查等方式,收集关于各风险因素的评价数据,构建模糊关系矩阵。通过模糊运算和合成,可以得出每个风险因素的综合评价结果。最后,根据评价结果的大小和优先级,确定需要重点关注和防控的风险因素。^[3]

模糊综合评价法具有处理模糊性和不确定性的能力,能够得出较为准确的评估结果。然而,该方法的应用过程相对复杂,需要具备一定的数学基础和专业背景。同时,评价结果的准确性还受到专家打分和问卷调查等主观因素的影响。因此,在应用该方法时,应注重数据的准确性和专家的代表性,以提高评估结果的可靠性。

三、钢结构工程中的质量风险防控措施

(一) 加强材料质量控制

在钢结构工程中,材料的质量直接关系到整个工程的结构安全和使用寿命。因此,加强材料质量控制是防控质量风险的首要任务。

要实现材料质量控制,首先需要从源头抓起,严格筛选供应商。在选择供应商时,应充分考虑其生产规模、技术实力、信誉度等因素,确保所采购的材料符合相关标准和要求。^[14]同时,还应建立供应商评估和反馈机制,定期对供应商进行评估,及时淘汰

不符合要求的供应商。

在材料采购过程中，应加强对材料的检验和测试。这包括检查材料的外观质量、尺寸精度、化学成分等，确保材料满足设计要求。对于关键材料和重要部件，还应进行更为严格的检测和试验，如力学性能测试、无损检测等，以确保其质量和性能符合标准。

此外，还应建立完善的材料管理制度，对材料的存储、运输和使用进行严格控制。在存储过程中，应防止材料受潮、锈蚀、变形等；在运输过程中，应采取必要的保护措施，避免材料受损；在使用过程中，应严格按照施工规范和设计要求进行使用，避免浪费和损坏。

（二）规范施工技术操作

施工技术操作的规范性对于保证钢结构工程的质量至关重要。因此，必须采取一系列措施来规范施工技术操作。

首先，应加强对施工人员的培训和教育。通过举办培训班、技术交流会等活动，提高施工人员的专业技能和知识水平，使其能够熟练掌握施工技术和操作规范。同时，还应加强对施工人员的安全教育，提高其安全意识，确保施工过程中的安全。

其次，应建立完善的施工技术管理制度。这包括制定详细的施工流程、操作规范和质量控制标准等，确保施工过程中的每个环节都有明确的要求和规定。^[9]同时，还应建立施工日志和记录制度，对施工过程中的关键环节和数据进行记录和跟踪，以便及时发现和解决问题。

此外，还应加强对施工过程的监督和检查。通过定期或不定期的巡视、检查和验收等活动，对施工过程中的质量、安全、进度等方面进行全面检查和评估。对于发现的问题和隐患，应及时采取措施进行整改和处理，确保施工过程的顺利进行和工程质量的稳定。

（三）优化设计方案与加强现场管理

优化设计方案和加强现场管理也是防控钢结构工程质量风险的重要措施。

在优化设计方案方面，应注重提高设计的科学性和合理性。通过采用先进的设计理念和方法，充分考虑工程特点、材料性能、施工环境等因素，制定出更加符合实际、经济、安全的设计方案。同时，还应加强对设计方案的审查和审批工作，确保设计方案符合相关标准和要求。^[10]

在现场管理方面，应注重提高管理的规范化和精细化水平。通过建立完善的现场管理制度和流程，明确各岗位的职责和权限，确保施工现场的秩序井然。同时，还应加强对施工现场的监督和检查，及时发现和纠正施工现场存在的问题和隐患。此外，还应加强对施工人员的调度和管理，合理安排施工任务和资源分配，确保施工过程的顺利进行和工程质量的稳定。

综上所述，加强材料质量控制、规范施工技术操作、优化设计方案与加强现场管理等方面是防控钢结构工程质量风险的有效措施。通过这些措施的实施，可以有效地降低工程质量风险的发生概率和影响程度，确保钢结构工程的安全、稳定和可持续发展。

四、防控措施的实施与监督

为了确保防控措施的有效实施，本小节探讨如何建立有效的实施与监督机制。这包括制定详细的实施计划、明确责任分工、

加强过程监督等方面。通过这些机制的建立，我们可以确保防控措施得到切实执行，从而进一步提高钢结构工程的质量水平。

（一）制定详细的实施计划

为确保钢结构工程质量风险防控措施的有效实施，首要任务是制定详细且可行的实施计划。该计划应明确各阶段的具体任务、时间节点、所需资源及预期目标，确保每一步骤都有据可依、有序进行。同时，实施计划应具有灵活性，以便根据实际情况进行适时调整。

（二）明确责任分工

责任分工的明确是实施计划得以顺利执行的关键。应根据防控措施的具体内容，将责任细化到个人或团队，确保每项措施都有专人负责。通过建立责任追究机制，增强相关人员的责任感和紧迫感，促使防控措施得到有效落实。

（三）加强过程监督与反馈

过程监督是确保防控措施实施效果的重要环节。应设立专门的监督机构或岗位，对实施过程进行全面跟踪和检查，及时发现并纠正偏差。同时，建立有效的反馈机制，鼓励相关人员积极反映实施中遇到的问题和困难，以便及时采取措施加以解决。通过持续的监督和反馈，确保防控措施得以切实执行，不断提高钢结构工程的质量水平。

五、结论

综上所述，钢结构工程中的质量风险评估与防控措施是确保工程质量和施工安全的重要环节。通过对质量风险来源的全面分析、科学的评估方法以及有效的防控措施的实施，我们可以显著降低钢结构工程的质量风险，提高工程的整体质量水平。同时，建立有效的实施与监督机制也是确保防控措施得到有效执行的关键。未来，随着建筑技术的不断进步和质量管理水平的不断提升，我们有理由相信钢结构工程的质量风险评估与防控措施将更加完善，为建筑领域的发展提供更加坚实的保障。

参考文献

- [1] 张体辉, 张新辉, 俞龙家. 高层钢结构的质量管理要点 [J]. 科海故事博览, 2021(9).
- [2] 林全成, 王芃然, 孙勇军, 孙伟策, 王晨. 钢结构质量控制工程中的探讨 [J]. 中国金属通报, 2022(21): 171-173.
- [3] 武慧. 装配式钢结构质量控制措施的探讨 [J]. 建材发展导向, 2021(10).
- [4] 邓鹏明, 水峰, 孙吉华, 郑栋, 赵飞宇, 阙子雄, 王笛, 杜冰冰. 建筑钢结构质量控制及关键工艺研究 [J]. 金属加工 (热加工), 2021(6): 79-83.
- [5] 刘腾. 浅析建筑钢结构质量控制与管理 [J]. 建筑与装饰, 2019(6): 54-55.
- [6] 王友光, 冯依林, 李花. 装配式钢结构质量控制技术研究与应用 [J]. 建筑与装饰, 2020(27): 192-193.
- [7] 施定国. 建筑工程钢结构质量监督与管理 [J]. 中国房地产业, 2016(11): 93, 95.
- [8] 禹仲, 李佳娜, 张金亮, 李茜茹. 详细设计阶段钢结构质量预估 [J]. 造船技术, 2018(6): 14-19.
- [9] 罗森. 建筑工程钢结构质量监督与管理 [J]. 中华建设, 2018(4): 76-77.
- [10] 李云涛. 建筑钢结构质量控制要点 [J]. 新材料·新装饰, 2021(11): 174-175.

环境因素对船舶结构长期耐久性的影响研究

郭栋栋

海军装备部驻上海地区第一军事代表室，上海 201913

摘 要： 本文旨在探讨环境因素对船舶结构长期耐久性的影响，通过分析不同环境因素（如腐蚀、温度波动、海生物附着等）对船舶材料性能、结构完整性和使用寿命的潜在作用机制，提出相应的防护措施和改进建议。研究采用实验测试、数值模拟与现场调研相结合的方法，综合评估了环境因素对船舶结构安全性的长期影响，为船舶设计与维护提供了科学依据。

关 键 词： 船舶结构；环境因素；长期耐久性；腐蚀

Effect of Environmental Factors on the Long-term Durability of Ship Structure

Guo Dongdong

The First Military Representative Office in Shanghai, Shanghai 201913

Abstract： This paper aims to explore the influence of environmental factors on the long-term durability of ship structure, analyze the potential mechanism of different environmental factors (such as corrosion, temperature fluctuation, Marine biological attachment, etc.) on the material performance, structural integrity and service life of ships, and put forward the corresponding protective measures and improvement suggestions. Experimental test, numerical simulation and field investigation are used to comprehensively evaluate the long-term impact of environmental factors on ship structural safety, which provides a scientific basis for ship design and maintenance.

Keywords： ship structure; environmental factors; long-term durability; corrosion

随着全球贸易的增长和海洋资源的开发，船舶作为海上运输和作业的重要工具，其结构安全性和长期耐久性日益受到关注。船舶长期暴露于复杂的海洋环境中，遭受着多种环境因素的侵蚀，这些因素直接或间接地影响着船舶结构的稳定性和使用寿命。因此，深入研究环境因素对船舶结构的影响，对于保障航行安全、延长船舶使用寿命具有重要意义。

一、环境因素概述及其对船舶结构的直接影响

（一）腐蚀作用船舶结构的隐形威胁

在浩瀚的海洋中，船舶的金属结构时刻遭受着海水的侵蚀。海水中的盐分含量极高，这为电化学腐蚀提供了丰富的电解质环境。同时，溶解在海水中的氧气与金属结构形成原电池，加速了腐蚀进程。此外，海水中的微生物活动也不容忽视，它们通过附着在金属表面、分泌腐蚀性物质等方式，进一步加剧了船舶结构的腐蚀。这种电化学腐蚀作用不仅导致船舶材料逐渐劣化，还严重影响了结构的整体强度，给船舶的安全航行带来了巨大隐患。因此，腐蚀作用是船舶结构维护中必须高度重视的问题，需要采取有效的防腐措施来延长船舶的使用寿命^[1]。

（二）温度波动船舶结构的隐形考验

在广阔的海洋环境中，船舶不仅要面对海水的腐蚀，还要应对极端温差带来的挑战。由于海洋环境的复杂性，船舶在航行过程中可能会经历从炎热的赤道海域到寒冷的极地海域的巨大温差

变化。这种极端的温度变化会导致船舶结构材料发生热胀冷缩效应。热胀冷缩是物体在温度变化时的一种自然现象，对于船舶结构来说，这种效应可能会引发一系列问题。特别是在结构连接处、焊缝等关键部位，由于材料热胀冷缩系数的不同，以及结构设计的局限性，温差变化可能导致这些区域产生额外的应力集中。长期以往，这种应力集中不仅会加速材料的疲劳损伤，还可能成为裂纹萌生的温床，严重威胁到船舶的结构完整性和航行安全。因此，温度波动是船舶结构设计和维护中不可忽视的重要因素^[2]。工程师们需要在设计阶段就充分考虑到这一点，通过选用合适的材料、优化结构设计等措施，来降低热胀冷缩效应对船舶结构的影响，确保船舶在各种极端温差条件下都能保持稳定的性能。

（三）海生物附着船舶性能的隐形负担

在船舶长期的海上航行中，贝类、藻类等海洋生物往往会选择船体表面作为它们的栖息地。这些生物的附着看似微不足道，实则对船舶性能产生了显著影响。

首先，海生物的附着增加了船体的粗糙度，从而提升了航行时的阻力。这不仅导致船舶燃油消耗量的增加，降低了航行效率，还可能因为需要额外的动力来克服阻力，而加速了发动机的磨损，缩短了设备的使用寿命。更为严重的是，这些附着在船体表面的生物还可能通过其生命活动，如分泌腐蚀性物质，加速船体的腐蚀过程。特别是对于一些金属结构，生物腐蚀与电化学腐蚀相互作用，使得船体材料的劣化速度大大加快，严重威胁到船舶的结构安全。因此，海生物附着是船舶维护中必须认真对待的问题^[3]。定期的船体清洁和防污处理，不仅是保持船舶良好性能的需要，更是确保航行安全的重要举措。

二、环境因素对船舶材料性能的影响

（一）材料强度下降

长期的海水腐蚀是导致船舶材料强度下降的主要原因之一。海水中的盐分、溶解氧以及微生物活动，会不断地侵蚀船体表面的金属材料，导致其厚度逐渐减薄。这种厚度的减薄不仅影响了材料的外观，更重要的是，它降低了材料的抗拉、抗压强度，使得船体结构在承受外力作用时，更容易发生形变甚至破裂。材料强度的下降，意味着船舶整体结构的承载能力受到了削弱。这不仅降低了船舶的航行性能，更在无形中增加了航行过程中的安全风险。因此，对于船舶材料的腐蚀防护，必须给予足够的重视，以确保船舶在恶劣的海洋环境中仍能保持良好的性能状态^[4]。

（二）疲劳寿命缩短

船舶在海洋环境中航行，持续的环境因素作用，如海浪的冲击、盐雾的腐蚀等，对船舶材料的疲劳寿命构成了严峻挑战。这些因素不仅加剧了材料的自然老化过程，更在应力集中区域，如焊缝、结构连接点等关键部位，加速了疲劳裂纹的萌生和扩展。疲劳裂纹是材料在反复应力作用下逐渐形成的微小裂缝，它们一旦产生，就会迅速扩展，最终导致材料的断裂。在船舶结构中，这种断裂往往意味着结构的失效，严重时甚至可能导致船舶沉没。而环境因素的持续作用，无疑加速了这一进程，使得船舶材料的疲劳寿命大大缩短。因此，对于船舶材料的疲劳寿命管理，必须采取积极有效的措施，如优化结构设计、选用抗疲劳性能优异的材料、加强维护保养等，以确保船舶在长期的航行过程中，仍能保持良好的耐久性和安全性^[5]。

（三）脆性增加

在特定的环境条件下，如低温海域航行时，船舶材料可能会面临脆性增加的严峻挑战。低温环境会导致材料内部的分子链段运动减缓，从而使得材料的韧性显著下降。这种韧性的降低，使得材料在受到外力作用时，更难以通过塑性变形来吸收能量，因此更容易发生脆性断裂。脆性断裂是一种灾难性的失效模式，它往往在没有明显预兆的情况下突然发生，给船舶的安全航行带来极大威胁。在低温环境中，船舶的关键结构部件，如船体、甲板、舱壁等，如果材料的脆性增加，一旦发生断裂，后果将不堪设想。因此，对于在低温海域航行的船舶，必须特别关注材料的

脆性问题。通过选用低温韧性好的材料、加强结构的保温措施、限制航行速度以降低结构应力等措施，可以有效降低脆性断裂的风险，确保船舶在恶劣环境中的航行安全。

三、环境因素对船舶结构完整性的挑战

（一）结构变形

船舶在浩瀚的海洋中航行，其结构完整性时刻面临着环境因素的严峻考验。其中，结构变形是一个尤为突出的问题。长期承受来自环境的各种荷载，是船体结构发生变形的主要原因。波浪的冲击，如同无数巨锤不断敲击着船体，使其承受着巨大的动态压力。而海流的拖拽，则像无形的大手，时刻拉扯着船体，使其处于持续的应力状态^[6]。这些环境荷载的长期作用，使得船体结构逐渐发生形变，从微小的弹性变形到不可逆转的塑性变形，甚至可能导致结构失效。结构变形不仅影响了船舶的美观和航行性能，更重要的是，它降低了船舶的结构强度，使其在应对极端天气和海况时更加脆弱。一旦变形超过一定限度，就可能引发结构破裂、漏水等严重问题，对船舶的航行安全构成巨大威胁。因此，船舶结构变形是一个不容忽视的问题，需要深入研究和有效应对。

（二）焊缝失效

在船舶结构中，焊缝作为连接各个部件的关键环节，其性能直接影响着整个结构的稳定性和安全性。然而，焊缝也是结构中最薄弱的环节之一，极易受到环境因素的侵蚀和应力集中的影响。海水中的盐分、溶解氧等腐蚀性物质，会不断侵蚀焊缝处的金属材料，导致焊缝区域出现腐蚀现象。这种腐蚀不仅削弱了焊缝的机械性能，还可能成为裂纹萌生的温床。同时，由于焊缝处的几何形状和尺寸变化，往往会造成应力集中，使得焊缝在承受外力作用时更容易发生断裂。焊缝失效的形式多种多样，包括裂纹、断裂等，这些失效模式一旦发生，将对船舶的结构完整性造成不可逆转的损害。因此，焊缝失效是船舶结构维护中必须高度重视的问题，需要密切关注焊缝的状态，及时发现并处理潜在的失效风险。

（三）密封性丧失

船舶的密封性是保障其正常航行和货物安全的重要基础。然而，舱壁、甲板等关键部位的腐蚀和老化，却成为了威胁这一基础的重要因素。随着时间的推移，这些部位长期暴露在恶劣的海洋环境中，受到海水的侵蚀和氧化作用，金属材料的性能逐渐下降。腐蚀不仅破坏了材料的表面结构，还可能导致材料厚度减薄，进而影响到舱壁和甲板的密封性能。同时，老化现象也使得这些部位的密封材料逐渐失去弹性，无法有效阻挡水分和气体的渗透。一旦密封性丧失，船舶的水密性和气密性将受到严重影响。这不仅可能导致货物受潮、变质，还可能引发船舶进水、沉没等严重后果^[7]。因此，密封性丧失是船舶维护中必须密切关注的问题，需要定期检查和维修舱壁、甲板等部位的密封性能，确保船舶的安全航行。

四、应对策略与防护措施

（一）防腐涂层应用

在应对船舶腐蚀问题上，防腐涂层的应用显得尤为重要。高性能防腐涂料，以其卓越的耐腐蚀性、附着力和耐候性，成为保护船舶免受海水侵蚀的关键手段。这些涂料通常由特殊的树脂、颜料和添加剂组成，能够在金属表面形成一层致密的防护膜，有效隔离海水和腐蚀介质对金属基材的侵蚀。通过定期维护和更新防腐涂层，可以确保船舶在长期的海洋航行中，保持其结构的完整性和稳定性。同时，高性能防腐涂料还具有施工方便、成本效益高等优点。它们不仅能够延长船舶的使用寿命，减少因腐蚀导致的维修和更换成本，还能提升船舶的航行性能和安全性。因此，在船舶维护和保养中，选用并正确应用高性能防腐涂料，是确保船舶长期安全航行的关键措施之一^[8]。

（二）结构优化设计

为了提升船舶在恶劣海洋环境中的耐久性，结构优化设计成为了不可或缺的一环。在材料选择上，采用耐腐蚀性能优异的合金钢、不锈钢或复合材料，能够有效抵抗海水的侵蚀，延长船舶的使用寿命。同时，优化结构设计也是提高船舶耐久性的关键。通过合理布局结构部件，减少不必要的应力集中点，可以降低结构在受力时的损伤风险。例如，采用圆滑过渡的边角设计，避免尖锐边角造成的应力集中；在焊缝设计上，采用合理的坡口形状和焊接工艺，减少焊接缺陷，提高焊缝的强度和韧性^[9]。此外，结构优化设计还包括对船舶整体结构的评估和改进，以确保其在长

期航行中能够保持良好的稳定性和安全性。通过综合考虑材料、设计和工艺等因素，结构优化设计为船舶的耐久性和安全性提供了坚实的保障。

（三）定期检测与维护

为确保船舶在海洋环境中的长期安全运行，建立完善的船舶检测体系至关重要。这一体系涵盖了从日常巡检到定期全面检测的各个环节，旨在利用先进的无损检测技术，及时发现并修复潜在的缺陷和损伤。无损检测技术，如超声波检测、磁粉检测和射线检测等，能够在不破坏材料结构的前提下，对船舶的关键部位进行深入的检测和分析。这些技术能够精确识别出材料内部的裂纹、腐蚀、夹杂物等缺陷，为维修和更换提供了准确的依据^[10]。通过定期的检测与维护，不仅可以及时修复船舶的潜在缺陷，防止其进一步恶化，还能延长船舶的使用寿命，提高航行的安全性和经济性。

五、结论

环境因素对船舶结构的长期耐久性构成显著挑战，但通过科学的防腐措施、结构优化设计以及定期的维护检测，可以有效减缓环境因素的不利影响，保障船舶的安全运行和延长使用寿命。未来，随着材料科学和监测技术的进步，将进一步推动船舶结构耐久性研究的发展，为构建更加安全、环保的海洋运输体系贡献力量。

参考文献

- [1] 谢孟华. 船舶动力定位系统及其控制分析研究 [J]. 珠江水运, 2024, (13): 147-149. DOI: 10.14125/j.cnki.zjsy.2024.13.043.
- [2] 李九. 考虑环境因素船舶到港时间预测及可视化研究 [D]. 大连海事大学, 2024.
- [3] 詹建辉. 港口船舶引航风险与控制措施 [J]. 珠江水运, 2023, (24): 100-102. DOI: 10.14125/j.cnki.zjsy.2023.24.034.
- [4] 张文君. 智能船舶航行风险评价与管控策略研究 [D]. 大连海事大学, 2023. DOI: 10.26989/d.cnki.gdlhu.2023.000081.
- [5] 刘超. 基于贝叶斯定理的船舶交通事故环境因素分析 [J]. 山东交通学院学报, 2023, 31(03): 162-166.
- [6] 罗意. 多因素耦合影响下的船舶运动建模与仿真研究 [D]. 重庆交通大学, 2023. DOI: 10.27671/d.cnki.gcjtc.2023.001058.
- [7] 金洪禹. 船舶系统声学性能影响因素研究 [J]. 电声技术, 2023, 47(01): 12-16. DOI: 10.16311/j.audioe.2023.01.004.
- [8] 毕芳文. 港口水域碰撞风险的环境因素影响研究 [D]. 大连海事大学, 2022. DOI: 10.26989/d.cnki.gdlhu.2022.001804.
- [9] 梅佳雪. 腐蚀环境下船舶结构极限承载力及可靠性研究 [D]. 天津大学, 2022. DOI: 10.27356/d.cnki.gtjdu.2022.000881.
- [10] 潘伟, 董其林, 许小卫, 等. 考虑通航环境因素的智能船舶航线规划 [J]. 上海海事大学学报, 2021, 42(03): 76-84. DOI: 10.13340/j.jsmu.2021.03.013.

道路施工中的自动化设备应用技术

郭峰

张家口路缘公路工程有限责任公司, 河北 张家口 076250

摘 要： 随着道路施工技术的不断进步，自动化设备的应用逐渐成为提升施工效率、确保工程质量的重要手段。现代道路施工中，自动化设备广泛应用于测量、铣刨、摊铺、压实等多个环节，通过精确控制和智能化操作，不仅缩短了施工周期，还有效降低了人工成本和安全风险。此外，自动化设备的智能化发展趋势使得施工过程更加精细化、可控化，为道路建设的可持续发展提供了技术保障。

关 键 词： 道路施工；自动化设备；施工效率；智能化；工程质量

Application Technology of Automation Equipment in Road Construction

Guo Feng

Zhangjiakou Luyuan Highway Engineering Co., Ltd. Zhangjiakou, Hebei 076250

Abstract： With the continuous progress of road construction technology, the application of automation equipment has gradually become an important means to improve construction efficiency and ensure project quality. In modern road construction, automation equipment is widely used in surveying, milling, paving, compaction, and other links. Through precise control and intelligent operation, it not only shortens the construction cycle but also effectively reduces labor costs and safety risks. In addition, the intelligent development trend of automation equipment makes the construction process more refined and controllable, providing technical support for the sustainable development of road construction.

Keywords： road construction; automation equipment; construction efficiency; intelligence; engineering quality

引言

随着科技的迅猛发展，自动化技术逐渐渗透到各个行业，尤其在道路施工领域，自动化设备的应用成为提升工程效率和质量的重要推动力。传统的道路施工方式往往依赖人工操作，存在着效率低、误差大和安全隐患等问题，而自动化设备通过智能控制和精准操作，不仅大幅提升了施工精度，也大大缩短了工期。自动化技术的普及与创新，为现代道路建设带来了前所未有的变革，推动了行业的高效发展。

一、自动化设备在道路施工中的应用现状

随着道路建设需求的不断增长，传统的人工操作方式已逐渐无法满足现代施工的高效性与精确性要求，自动化设备在道路施工中的应用愈加广泛。目前，自动化设备已涵盖了道路施工的各个环节，包括测量、挖掘、摊铺、压实、养护等多个阶段。这些设备通过智能化控制系统，能实时获取施工现场的数据，快速进行精准调整，显著提升了施工精度和施工效率。例如，在道路摊铺过程中，自动摊铺机能够精确控制摊铺的厚度、宽度和速度，保证道路表面平整度和厚度的一致性，大大减少了人工操作的误差，降低了返工率。

随着科技的发展，自动化设备在道路施工中的应用正逐步实现高精度、低能耗和智能化。特别是在路面铣刨、压实以及测量等环节，智能化设备的引入使得施工更加高效、环保。例如，智

能铣刨机通过传感器和控制系统，可以自动调整工作深度和速度，提高了铣刨作业的均匀性和效率^[1]。与此同时，智能压路机配备的自动控制系统能够实时监测地面压实状态，根据现场变化自动调整压力，确保压实质量的同时降低能耗，减少对环境的影响。

尽管自动化设备在道路施工中的应用取得了显著成效，但也面临着一些挑战。首先，自动化设备的高昂投资成本使得许多中小型施工企业难以承担，限制了其普及速度。其次，设备的技术要求较高，操作人员需要具备一定的专业技能，这对工人的培训提出了更高的要求。此外，自动化设备的维护与保养也是一个不容忽视的问题，设备的稳定运行需要定期的检查与维修。因此，为了进一步推动自动化设备的普及与应用，相关技术的研发、设备的成本控制以及人员的培训等方面都需要得到加强。随着技术的不断创新与应用模式的不断完善，未来自动化设备将在道路施

工中发挥更大的作用，为行业的发展带来更为深远的影响。

二、自动化设备对施工效率和质量提升作用

自动化设备在道路施工中的引入显著提高了施工效率，缩短了工程周期。传统道路施工方式往往依赖人工操作，施工速度相对较慢，且容易受到天气、人员熟练度等因素的影响。自动化设备的应用使得各项施工环节能够高效而精确地执行。比如，在摊铺作业中，自动化摊铺机通过精准的系统调节摊铺厚度、宽度及速度，确保每一次摊铺的均匀性和一致性，而不必依赖经验丰富的工人来进行复杂的手动调整。这种高效的作业方式不仅减少了施工时间，而且提高了工程整体的完成速度，从而大大缩短了项目的工期^[2]。

自动化设备的应用大大提升了施工质量，减少了人为操作的误差。以压实作业为例，智能压路机能够通过实时监控地面压实状态，根据实际情况自动调整工作压力和速度，确保每一段路面的压实效果达到设计标准。这种设备能够进行精确的质量控制，消除人工操作带来的不均匀压实和遗漏现象，避免了传统压实方式中可能出现的低压或过压情况，提升了路面质量的稳定性和耐久性。此外，自动化设备配备的传感器和数据分析系统，能够持续检测并记录施工过程中的各种参数，使得施工过程更加透明和可追溯，一旦出现问题，能及时发现并纠正，防止因质量不合格而需要返工，进一步确保了施工质量^[3]。

自动化设备的精确性和智能化程度不仅提高了施工质量，还对施工安全性起到了积极作用。传统的道路施工中，许多高风险环节都依赖人工操作，如高空作业、重物搬运等。自动化设备能够通过遥控或预设程序完成这些高风险工作，减少了人员在危险环境下的工作时间，降低了安全隐患。例如，在复杂的山区或桥梁施工中，自动化设备能够在高空或狭窄空间内执行精准操作，而无需工人进入危险区域，极大地减少了事故的发生概率^[4]。同时，设备的智能化也能够实时监控施工现场的安全状况，通过传感器监测施工过程中的异常情况，一旦发现潜在的安全隐患，系统会自动报警，避免了因人为疏忽而导致的事故。通过引入自动化设备，施工现场的安全性得到了显著提升，人员的伤害风险大大降低，保障了施工人员的生命安全。

三、自动化技术在不同施工环节中的应用分析

自动化技术在道路施工中的广泛应用，极大地推动了各个施工环节的技术进步，尤其是在测量、摊铺、铣刨、压实等多个关键工序中。以测量为例，传统的道路施工中，测量往往依赖人工操作，效率较低且容易出现误差。自动化技术引入后，激光扫描仪和自动化全站仪等高精度设备被广泛应用。这些设备能够迅速获取大量现场数据，并通过自动化系统进行分析与调整，确保每一项工程都能够精确到位。此外，自动化测量设备不仅能够提高数据采集的精确性和效率，还能实时监控施工过程中的变动，确保设计与实际施工状态之间的一致性。

在摊铺环节，自动化技术同样起到了至关重要的作用。传统的摊铺作业依赖于经验丰富的操作工人，而自动化摊铺机则能够在没有人工干预的情况下，精准控制摊铺的厚度、宽度以及摊铺速度。这种设备能够根据施工环境的不同，自动调节摊铺参数，以应对不同地质和气候条件的变化。智能摊铺机配备的传感器系统还能够实时监测路面状态，在施工过程中自动进行微调，确保摊铺效果的均匀性和稳定性^[5]。相比传统人工操作，自动化摊铺机不仅提高了摊铺作业的精确度，还大幅提高了施工效率，减少了工程延误的风险。

压实作业是道路施工中至关重要的一环，直接影响到路面的质量与耐用性。传统的压路机需要依赖人工判断压力大小，常常出现压实不均匀或过度压实的问题。而自动化技术的引入，使得智能压路机成为现代道路施工中不可或缺的设备。这些压路机通过内置传感器监控土壤的湿度、密实度等关键参数，并通过自动控制系统调整施加的压力，确保压实过程的高效与均匀性。智能化的压实技术还能够根据施工现场的实时情况调整工作进度和压实力度，避免了人工操作时的误差，极大地提高了压实质量。同时，智能压路机还能够实时记录工作数据，施工方可以随时查看施工进度与质量情况，确保整个压实过程的可追溯性和透明度。

自动化技术在铣刨、养护等其他施工环节中的应用同样展现了巨大的优势。铣刨机能够根据预设的铣刨深度和宽度自动工作，极大地提升了工作精度与效率^[6]。在养护阶段，自动化设备也能够根据天气和施工环境的变化，智能调整养护措施，确保路面保持最佳状态。

四、智能化发展趋势对道路施工自动化设备的影响

随着智能化技术的不断发展，道路施工自动化设备的功能和应用范围也在持续拓展，推动了道路施工行业的技术革新。智能化的发展使得自动化设备不仅具备更高的精度，还能够适应更加复杂和多变的施工环境。通过大数据、云计算和人工智能等技术的融合，现代自动化设备能够进行实时数据采集与分析，动态调整施工参数，从而提高施工精度和效率^[7]。例如，智能化摊铺机可以根据路面状况和施工进度自动调整摊铺速度和厚度，确保路面的均匀性和稳定性，同时减少施工过程中的资源浪费。智能化技术使设备更具自主性，减少了对人工的依赖，也减少了由于人为操作不当导致的误差。

智能化技术不仅仅体现在设备的自主控制上，还在信息共享和协同作业方面发挥了重要作用。通过物联网技术，施工现场的各类设备可以相互连接，实时共享数据，形成一个高度集成的信息网络。在这种智能化的施工环境中，施工现场的管理者可以通过移动设备或控制中心实时监控施工进度、设备状态和质量指标。一旦发现施工偏差或设备故障，系统可以迅速发出警报，提前预防潜在风险。这种信息化管理模式极大提升了施工过程的透明度和可控性，使得施工过程中每一个环节都能得到精准监控和调整，进一步提高了施工效率和质量。

智能化发展趋势还促进了自动化设备的智能化维护与自我优

化。传统设备在使用过程中往往需要依赖人工进行维护和修理，而智能化设备则具备自我诊断功能，通过传感器和数据分析技术实时监控设备的运行状态，及时发现潜在故障并进行预警。这不仅能减少设备因故障停工的时间，还能有效延长设备的使用寿命。此外，智能化技术还可以根据施工环境的变化对设备进行自动优化调整，例如自动调节施工参数以适应不同土壤条件或气候变化，从而确保施工质量始终处于最佳状态^[8]。随着智能化技术的不断进步，未来的道路施工自动化设备将更加智能、精确、可靠，并在提升施工效率、降低成本、保障安全等方面发挥更大的作用。

五、道路施工自动化设备的未来发展与挑战

道路施工自动化设备在过去几年中取得了显著进展，未来的发展潜力巨大。随着智能化技术、物联网、大数据分析和人工智能等技术的不断融合，自动化设备的功能将更加全面和高效。未来的自动化设备将能够通过更加精准的数据采集与分析，进一步提升施工精度和质量。例如，通过 AI 技术的深度学习，设备将能够从历史数据中不断优化自己的工作模式，精确适应不同地质、气候和环境条件。智能化的道路施工设备能够更好地与施工现场其他设备协同工作，实现信息共享与动态调整，从而大大提高施工效率，减少人工干预，降低操作误差。此外，随着技术的不断成熟，设备的智能化程度将进一步提高，从单一功能向多功能整合方向发展，逐步实现更加智能化和无人化的施工过程^[9]。

尽管自动化设备在道路施工中具有巨大潜力，未来的普及与发展仍面临挑战。首先，高昂的初期投资成本是中小型企业的主要障碍，限制了设备的普及。其次，设备智能化程度提高带来了

更高的操作和维护技术要求，施工人员需要接受专业培训，增加了企业的人力资源负担。此外，设备在复杂环境下的适应能力和稳定性仍需改进，尤其在恶劣天气或极端地形中，设备表现可能受限。因此，技术创新、人员培训和设备适应性提升是未来发展的关键。

设备的维护与管理也是未来发展过程中需要重点关注的问题。虽然自动化设备具备自我诊断和智能优化功能，但它们仍然需要定期进行维护和保养。随着设备数量的增加和施工现场的复杂性提升，如何有效管理和维护这些设备，确保它们始终处于最佳运行状态，将是一个严峻的挑战。同时，自动化设备在长期使用过程中，可能会出现硬件老化、软件更新滞后等问题，这需要相关企业和研发机构加强设备的技术支持和服务保障^[10]。面对这些挑战，未来的道路施工自动化设备发展将更加依赖于技术创新、成本控制和人员培训等多方面的综合推动。只有在不断克服这些挑战的过程中，自动化设备才能在未来的道路施工中发挥更大的作用，进一步提升施工效率、降低成本、确保施工安全。

六、结语

自动化设备在道路施工中的应用显著提高了施工效率、质量和安全性，推动了行业的技术革新。随着智能化技术的不断发展，未来的自动化设备将更加高效、精确，进一步优化施工过程，减少人工干预。然而，高成本、技术要求和设备维护等挑战仍需克服。通过持续的技术创新、人员培训和管理提升，自动化设备将在未来道路建设中发挥更大作用，助力实现高质量、高效率的施工目标，推动行业的可持续发展。

参考文献

- [1] 宗学军, 袁德成, 褚飞辉. 沥青拌和设备的机电一体化设计技术 [J]. 沈阳电力高等专科学校学报, 1999(02): 35-37.
- [2] 徐松南, 韩大明. 城市道路施工机械简述 [J]. 林业机械与木工设备, 2003(02): 9-11.
- [3] 张夏威. 太原道路施工养护机具及新技术、新工艺的发展 [J]. 科学之友, 2010(05): 40-41.
- [4] 高畅. 基于 CBR 的道路施工方案智能生成研究 [D]. 华中科技大学, 2021.DOI: 10.27157/d.cnki.ghzku.2021.005673.
- [5] 郑思治. 市政道路施工中沥青路面摊铺技术应用研究 [J]. 新城建科技, 2024, 33(08): 149-151.
- [6] 邹兆政, 王睿. 基于人工智能的市政道路智能化施工技术研究 [J]. 建设科技, 2024(15): 72-74.DOI: 10.16116/j.cnki.jskj.2024.15.018.
- [7] 安永. 市政工程施工城市道路施工技术探讨 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2024(08): 118-120.DOI: 10.19569/j.cnki.cn119313/tu.202408040.
- [8] 苏培元. 市政工程施工质量控制与管理研究 [J]. 运输经理世界, 2024(20): 55-57.
- [9] 王文光. 无人压实技术在路面施工的研究及应用 [J]. 四川建材, 2024, 50(08): 212-215.
- [10] 乔震霖. 基于多智能体强化学习的道路施工自动化监控系统 [J]. 电子设计工程, 2024, 32(23): 85-88+93.DOI: 10.14022/j.issn1674-6236.2024.23.018.

道路与桥梁工程施工中的施工组织与协调技术

贾创业

张家口通泰高速公路投资股份有限公司, 河北 张家口 075000

摘 要 : 道路与桥梁工程施工中, 施工组织与协调技术是保证项目顺利进行的重要环节。通过科学合理的施工组织设计, 合理安排各施工环节与资源配置, 有效提升施工效率、保证工程质量和安全。在施工过程中, 协调各方工作、优化资源使用以及提前识别潜在风险, 是成功完成工程的关键。施工组织与协调技术涉及项目管理、人员调度、设备利用以及施工流程的持续监控与调整, 确保各项工作有序进行, 为工程按期完成提供保障。

关 键 词 : 道路桥梁工程; 施工组织; 施工协调; 项目管理; 施工效率

Construction Organization and Coordination Techniques in Road and Bridge Engineering

Jia Chuangye

Zhangjiakou Tongtai Expressway Investment Co., Ltd. Zhangjiakou, Hebei 075000

Abstract : In road and bridge engineering, construction organization and coordination techniques are crucial for ensuring the smooth progress of projects. Through scientific and rational construction organization design, reasonable arrangements of various construction links and resource allocations can effectively improve construction efficiency, ensure project quality and safety. During the construction process, coordinating the work of various parties, optimizing resource utilization, and identifying potential risks ahead of time are key to successfully completing the project. Construction organization and coordination techniques involve project management, personnel scheduling, equipment utilization, and continuous monitoring and adjustment of construction processes, ensuring that all work proceeds in an orderly manner and providing guarantees for the timely completion of the project.

Keywords : road and bridge engineering; construction organization; construction coordination; project management; construction efficiency

引言

道路与桥梁工程作为基础设施建设的核心部分, 承载着提升交通流通效率和促进区域经济发展的重要任务。然而, 复杂的施工过程往往伴随诸多挑战, 如施工进度、质量控制及资源协调等问题。如何高效组织和协调各施工环节, 是确保工程成功的关键。施工组织与协调技术通过合理的规划与调度, 优化施工流程、确保各项任务的顺利推进, 直接影响到工程的经济效益与社会价值。掌握这些技术, 不仅是施工人员的必备技能, 更是工程顺利完成的重要保障。

一、施工组织在道路与桥梁工程中的重要性

施工组织在道路与桥梁工程中具有至关重要的作用, 其核心目标是确保各个施工环节能够高效、顺利地进行。科学的施工组织设计能够明确施工目标, 合理安排施工顺序, 并通过对施工资源的优化配置, 提高施工效率。道路与桥梁工程常常涉及多个环节, 且每个环节的工作内容和要求不同。通过精确的施工组织设计, 可以避免因工作交叉和资源浪费而导致的时间延误, 确保项目按照计划进度推进^[1]。此外, 科学的施工组织设计还能够在施工的早期阶段预见潜在的困难, 进行有效的前期准备, 减少后期施工中可能出现的延误和不必要的调整, 从而节省时间和资金。

施工组织直接影响到施工现场的协调管理。施工过程中, 多个专业队伍和设备在同一工地内交替作业, 施工组织的合理性决定了施工人员、材料、设备的调度与协调是否顺畅。良好的组织设计有助于优化资源配置, 避免工序上的冲突和重复作业, 减少不必要的停工和等待时间。此外, 施工组织还应考虑现场安全管理, 确保各个施工环节都符合安全操作规程, 防止发生事故。因此, 施工组织不仅需要各项任务进行合理安排, 还要注重细节的统筹与协调。对施工现场的全面规划和管理, 不仅能够提高工作效率, 还能降低由于组织不当而引发的安全隐患。

施工组织的有效性决定了工程项目的质量和成本控制。在道路与桥梁工程中, 施工质量直接关系到工程的耐久性和安全性,

而施工成本则决定了项目的经济效益。通过合理的施工组织，可以减少由于施工不规范或工期延误带来的额外费用，控制工程成本。此外，施工组织还能够通过对质量管理体系的完善实施，保证各个施工环节的质量要求得到落实。施工组织不仅需要确保每个施工阶段的质量符合标准，还需要在各环节之间建立严格的质量控制机制，以防止因施工过程中的细节疏忽而导致的质量问题。施工组织在项目管理中的核心作用，正是通过这些具体的措施，推动工程按时、按质、按预算完成，确保项目成功交付^[9]。有效的施工组织能在节省成本的同时，保证高质量的工程交付，从而增强项目的经济效益和社会价值。

二、施工协调技术的核心要素与应用

施工协调技术在道路与桥梁工程中扮演着至关重要的角色，它是确保各项施工任务能够高效、有序进行的关键技术手段。施工协调技术的核心要素之一是施工计划的合理编制。一个全面而科学的施工计划能够为工程项目提供明确的时间表、资源分配和任务安排。在道路与桥梁工程中，施工过程通常涉及多个阶段和环节，每个环节的顺利衔接对整体项目进度至关重要。通过施工协调技术，可以对各项工作进行有效规划，确保每个施工单位和作业工人都清楚自己的任务，并在既定的时间内完成。合理的计划不仅有助于提高施工效率，还能够避免资源浪费和时间拖延^[9]。

施工协调技术还包括资源的有效调度与管理。道路与桥梁工程项目的规模庞大，所需的材料、设备和人力资源都非常丰富，因此，资源的合理配置和高效使用是确保项目顺利进行的基础。施工协调技术通过对现场资源的实时监控和调度，确保设备、材料和工人能够在需要的时间和地点提供支持。通过智能化管理手段，可以实时掌握项目各阶段的资源需求情况，及时调整和优化资源的使用，避免出现物资短缺或设备闲置等问题。这样不仅能提高施工效率，还能减少项目成本，确保工程能够按预算完成。

施工协调技术在风险管理和问题解决方面也具有重要作用。在实际施工过程中，各种突发状况和问题时常发生，如天气变化、设备故障、工人不按计划作业等，施工协调技术的应用可以帮助及时识别这些问题，并采取有效的应对措施。通过建立完善的应急管理机制，可以快速响应并调整施工计划，避免因突发情况造成项目延误。同时，施工协调技术还通过定期的进度检查和质量控制，确保施工质量始终如一，防止因为管理不当导致的工程返工和质量隐患^[9]。通过这些手段，施工协调技术不仅保障了施工过程的顺利进行，还为整个项目的质量、安全、进度和成本控制提供了保障，确保了道路与桥梁工程的顺利完成。

三、资源优化配置与施工效率提升

在道路与桥梁工程中，资源优化配置与施工效率提升是保证工程顺利实施的关键因素。资源优化配置的核心在于充分利用有限的施工资源，包括人力、物力、设备和时间等。通过科学的资源规划和调度，能够在确保工程质量和安全的前提下，提高施工

效率，减少资源浪费。例如，合理安排施工材料的采购和运输计划，确保材料能在需要时准时到位，避免因材料短缺而影响施工进度。合理调配施工设备与工人，使得每个环节都有足够的资源支持，避免因资源过剩或短缺而出现效率低下的现象。通过精确的资源配置，可以最大限度地利用现有资源，减少不必要的成本支出，提高整体施工效率^[9]。

施工效率提升的另一个关键是通过现代化技术手段来优化施工流程。在道路与桥梁工程中，施工环节繁多且复杂，传统的人工调度和管理方式往往存在一定的滞后性和误差。随着信息技术和智能化设备的发展，施工现场管理逐渐实现了数字化与智能化。例如，利用建筑信息模型（BIM）技术，可以在施工前模拟整个施工过程，精准预测施工中可能出现的问题，提前进行调整。通过实时监控和数据分析，施工团队能够实时掌握项目的进度、质量和资源使用情况，及时作出调整。这种数字化手段不仅提高了施工效率，还能够大大减少人为失误和施工周期中的不确定性因素，从而加速工程进度。

资源优化配置与施工效率提升还需要施工管理团队的协调与合作。在复杂的道路与桥梁工程中，多个专业团队需要紧密配合，才能确保各项工作顺利开展。施工管理团队需要对各施工环节进行详细的规划与分配，确保每个团队都明确自己的任务和职责，避免工作重复或进度滞后。同时，施工管理团队还需要时刻关注项目的整体进度，及时调整各环节的资源配置与作业计划，以确保项目的顺利推进。有效的团队沟通和协调，能够提升项目各方的执行力，减少误差，保证资源的最优利用。此外，施工管理团队的经验积累和解决问题的能力也是提升施工效率的重要保障^[9]。通过不断总结经验 and 优化流程，施工管理团队能够在遇到新的挑战时，快速应对并找到最佳解决方案，为工程顺利完成提供有力支持。

通过优化资源配置和提升施工效率，不仅能够加快工程进度，降低项目成本，还能确保工程质量，为道路与桥梁建设提供坚实的基础。

四、风险识别与应对策略在施工中的作用

在道路与桥梁工程施工过程中，风险识别与应对策略的作用至关重要。施工项目通常面临诸多不确定因素，如气候变化、设备故障、材料短缺、工人安全等，这些风险如果没有得到及时识别和有效应对，可能会导致工期延误、成本超支或工程质量问题。因此，风险识别是施工管理中的重要环节，能够帮助项目管理团队提前发现潜在问题，制定相应的应对方案。通过系统的风险评估，可以识别出施工过程中可能影响进度、质量和安全的各类风险因素，从而为后续的管理决策提供依据，确保工程顺利推进^[7]。

有效的应对策略能够降低风险发生的概率，并减轻其可能带来的负面影响。应对策略包括提前预防、实时监控、应急处理和后期修复等多个方面。在施工过程中，管理团队应制定风险预防措施，尽量避免风险的发生。例如，在施工前对设备进行全面检

查, 确保其性能良好, 避免因设备故障导致工程中断。同时, 加强对气候条件的监测, 提前了解可能影响施工的天气情况, 做好施工计划的调整。此外, 施工过程中还需实时监控项目进展和资源使用情况, 发现异常及时采取纠正措施, 减少潜在风险的发生。有效的应对策略可以减少突发风险对施工进度和质量的影响, 保障项目的顺利实施。

即便如此, 无法完全避免所有风险, 因而应急管理措施也显得尤为重要。工程项目往往涉及多个工序和环节, 每个环节都存在一定的风险, 任何一个环节的风险发生, 都可能对整个项目造成重大影响。因此, 施工过程中应建立健全的应急管理机制。应急处理不仅需要及时响应突发情况, 还需要迅速调动资源, 采取切实有效的措施进行处置。例如, 遇到突如其来的设备故障, 可以通过预先准备好的应急设备或备用材料, 尽快恢复施工。同时, 施工团队应具备快速应变能力, 对各类突发状况制定应急预案, 并定期进行演练, 确保团队在真正的风险发生时能够迅速做出反应^[8]。通过完善的风险识别和应对策略, 不仅能确保道路与桥梁工程的顺利推进, 还能有效控制施工过程中的各类不确定性因素, 保障工程的安全、质量与进度。

五、施工组织与协调技术对工程质量和安全的保障

施工组织与协调技术在道路与桥梁工程中的应用, 直接关系到工程的质量和安全保障。首先科学的施工组织能够有效安排各项施工任务, 确保各环节按时顺利进行。在施工前, 合理的组织设计为各项任务提供了明确的时间节点和操作标准, 通过精确的工序安排和资源调配, 减少了因资源错配或工序衔接不当造成的质量问题。同时, 良好的施工组织能够优化现场施工环境, 降低施工现场的混乱程度, 减少意外事故发生的可能性, 从而提高施工质量和保证安全^[9]。

施工协调技术能够有效避免多方作业冲突, 确保各施工团队之间的顺利协作。在道路与桥梁工程中, 施工通常涉及多个专业队伍, 如土建、电气、机械等, 不同专业间的协调对于保障工程质量和安全至关重要。施工协调技术通过合理调度工人、设备、材料等资源, 确保各个施工环节按计划有序进行。通过实时监控和信息共享, 各团队能够在第一时间获得施工进展情况和潜在风险, 及时调整工作计划和作业顺序, 避免因作业时间重叠或资源冲突导致的施工质量下降或安全事故。

施工组织与协调技术的应用还能够确保工程施工过程中的安全管理得到有效实施。在施工过程中, 安全管理是最为重要的环节之一, 施工现场的安全隐患时刻存在。科学的施工组织能够对安全生产进行全方位部署, 确保每一项作业都符合安全操作规范^[10]。此外, 协调技术能够有效整合项目管理中的安全监控系统, 确保施工团队按照安全规范操作并及时发现潜在的安全隐患。通过完善的安全管理体系, 施工组织和协调技术在保障工程质量的同时, 也能有效降低安全事故发生的概率, 确保项目顺利完成。

六、结语

施工组织与协调技术在道路与桥梁工程中的应用, 对于确保工程质量、提高施工效率和保障安全具有重要意义。科学的施工组织能够合理配置资源、优化施工流程, 而高效的协调技术则能确保各环节顺畅衔接、降低风险。通过有效的风险识别与应对策略, 施工管理能够及时解决突发问题, 确保项目按期完成。总之, 施工组织与协调技术的综合运用, 是提升工程建设水平、降低成本、保证工程质量和安全的关键保障, 为项目的顺利实施提供坚实的基础。

参考文献

[1] 钱月. 如何提高道路桥梁工程现场监理质量的措施 [J]. 四川水泥, 2015(03): 182.
[2] 张维垣. 关于市政道路桥梁工程建设的协调性管理 [J]. 建设科技, 2017(11): 79-80.DOI:10.16116/j.cnki.jskj.2017.11.032.
[3] 向聃. BIM 技术在道路桥梁施工管理中的应用研究 [J]. 湖南交通科技, 2017, 43(03): 165-170.
[4] 徐建伟. 如何提高道路桥梁工程现场监理质量 [J]. 江西建材, 2017(20): 154-155.
[5] 李世军, 孙小蒙, 张高亮, 张振德, 韦明明. 论 BIM 技术助推市政道路桥梁施工新机遇 [J]. 中国住宅设施, 2018(12): 44-45.
[6] 孟谷红. 市政道路桥梁工程的施工管理策略 [J]. 工程技术研究, 2019, 4(07): 122+128.DOI:10.19537/j.cnki.2096-2789.2019.07.062.
[7] 张昱. BIM 关键技术在道路桥梁施工管理中的应用研究 [J]. 工程建设与设计, 2019(17): 260-261+267.DOI:10.13616/j.cnki.gcjsysj.2019.09.092.
[8] 谷淑慈. 道路桥梁工程项目建设协调管理要点分析 [J]. 工程建设与设计, 2022(03): 235-237.DOI:10.13616/j.cnki.gcjsysj.2022.02.068.
[9] 殷路路. BIM 技术在道路桥梁施工阶段的应用研究 [J]. 居业, 2022(08): 13-15.
[10] 俞晓寅. 市政道路桥梁建设中的工程施工与监理管理研究 [A]. 中国智慧工程研究会. 2024智慧施工与规划设计学术交流会论文集 [C]. 中国智慧工程研究会: 中国智慧工程研究会, 2024: 3.DOI:10.26914/c.cnkihy.2024.027373.

水平井尾管下部附件失效原因分析及预防应对措施

谭家旭

西南油气田工程院监督中心, 四川 成都 610017

摘 要 : 水平井钻井和尾管固井技术在海内外广泛使用, 而在尾管固井施工中, 尾管下部附件性能稳定可以为尾管固井施工顺利进行提供保障, 然而, 由于某些因素的影响, 尾管下部附件会失效, 给固井施工带来风险, 以及使固井质量受到影响。下面针对尾管下部附件失效原因、预防和应对措施进行分析, 并列举了成功应对案例。

关 键 词 : 尾管固井; 下部附件; 失效; 风险和质量; 预防和应对措施

Analysis of the Causes of Failure and Preventive Measures for the Lower Part of the Horizontal Well Liner Attachment

Tan Jiaxu

Supervision Center of Southwest Oil and Gas Field Engineering Institute, Chengdu, Sichuan 610017

Abstract : Horizontal well drilling and liner cementing technology is widely used at home and abroad, and in liner cementing construction, the stable performance of the lower part of the liner attachment can provide a guarantee for the smooth progress of liner cementing construction, however, due to the influence of some factors, the lower part of the liner attachment will fail, which brings risks to the cementing construction and affects the cementing quality. The following analyzes the causes, prevention and countermeasures of the failure of the lower accessories of the tailpipe, and lists successful response cases.

Keywords : liner cementing; lower annex; lapse; risk and quality; prevention and response measures

引言

在石油钻井工程中, 水平井的钻井与生产是一项重要技术, 水平井尾管固井也在广泛使用。尾管下部附件作为尾管的重要组成部分, 其性能的稳定和可靠性对保证固井的顺利进行具有重要作用。虽然水平井尾管固井施工时尾管下部附件失效的情况比较少, 但也会偶有发生, 一旦发生和应对不当, 就会导致固井事故, 以及影响固井质量, 需要进行挤水泥补救作业或进行回接作业, 从而会增加施工费用和工期。因此, 对尾管下部附件失效原因进行分析及采取预防应对措施是必要的。

一、尾管下部附件的结构及功能

尾管下部附件主要包括浮鞋(引鞋)、浮箍、自锁座(碰压座)和自锁胶塞等组成, 主要起引导、单向限制流动、碰压、预留水泥塞长度等作用。浮鞋和浮箍一般安装有半球式回压凡尔, 主要由凡尔杆、半球、凡尔座、导向杆、导向板、弹簧、螺帽等组成。当流体自套管内向环空流动正循环时可过通过、当流体自环空向套管内流动反循环时不可通过, 起到单向限制流动和单向密封作用。自锁座和自锁胶塞另外组成一套锁紧密封系统, 自锁胶塞由钻杆胶塞和尾管胶塞组成, 两个胶塞上各有多道密封胶圈和一道金属自锁环。当固井施工释放钻杆胶塞时, 钻杆胶塞在下行流体的推动下向下移动, 当到达安装在尾管悬挂器上的尾管胶塞时, 会进入尾管胶塞并通过钻杆胶塞上的金属自锁环嵌入尾管胶

塞内腔的凹槽中, 组成一套整体胶塞(固井施工称之为“胶塞重合”)。接着, 两个重合胶塞在下行流体的推动下继续下行, 当到达碰压座时在压力的推动下进入碰压座内腔, 并通过尾管胶塞上的金属自锁环嵌入碰压座内腔的凹槽中, 形成锁紧和密封状态。

二、水平井尾管下部附件失效的风险和危害

1. 在水平井尾管固井施工时, 当发生尾管下部附件全部失效的情况下, 即防回流的密封失效, 拔中心管后由于管外水泥浆液柱压力通常大于管内液柱压力, 水泥浆会回流到尾管内, 在管内形成大段水泥塞, 固井事故称之为“灌香肠”。

2. 由于返至环空的水泥浆大量回流到尾管内, 导致尾管环空中的水泥浆返高不够, 未能达到完全封固尾管外全部环空的固井

目的。尾管外仍然可能存在一段没有水泥环的环空，未能完全封固套管和阻隔地层，若发生地层窜通和喇叭口窜气，将会给后续钻采作业留下隐患。

3. 由于尾管内有大量水泥塞，下步需要钻水泥塞，因而会对尾管内壁产生磨损，钻水泥塞的振动对已封固的水泥环也会产生不利影响。

4. 钻水泥塞和挤水泥补救作业、或者进行回接作业，增加了工期和施工费用。

三、水平井尾管固井时下部附件失效原因分析

导致水平井尾管固井时下部附件失效，可能有以下原因：

尾管下部附件在设计上有缺陷，不能保证附件在井下复杂环境中性能的适应性和稳定性。

2. 尾管下部附件的材料质量差、老化衰退快（特别是橡胶和塑料部件），容易受高温、高压、腐蚀性流体影响，受热膨胀、高压变形，导致密封失效^[1]。

3. 尾管下部附件加工精度差，导致密封不严、失效。

4. 由于水平井下套管时摩擦阻力大，套管顺利下到位难度高，可能会使套管发生屈曲变形，从而导致套管附件也发生变形、不能居中，造成回压凡尔密封失效、自锁胶塞锁紧失败。

5. 井底环境情况，如高温、高压、腐蚀性流体等，都会对附件产生不利影响，可能导致其损伤、变形、性能降低或直接失效。

6. 下完尾管后长时间不进行固井施工或长时间循环，在高温和高压环境中以及腐蚀性流体的冲蚀下，浮球、密封胶圈和弹簧等部件也可能受到侵蚀，造成损伤或变形，导致密封失效。

7. 尾管下部附件位于水平段时，在径向的重力或浮力的作用下，不能完全居中复位，导致密封失效。

8. 泥浆和水泥浆中含有块状硬物体，卡在密封接触面上使浮球和胶塞不能完全复位，导致密封失效。

9. 在上述一些因素的综合影响下，钻杆胶塞未能完全进入尾管胶塞内腔锁紧或尾管胶塞未能完全进入碰压座内腔并锁紧，导致密封失效^[2]。

四、针对以上问题，可以采取以下措施来预防和应对水平井尾管下部附件失效问题

（一）设计生产方面

1. 对附件的设计进行优化，确保其适应工程要求和使用环境，提高其性能和可靠性。

2. 采用性能稳定、受高温、高压、腐蚀性流体影响小的材料，加工生产套管附件。

3. 提高产品的加工精度，同时使用先进的检测技术，提高产品的检测精度，确保产品出厂时完全符合设计标准和要求。

4. 改进型产品或新产品，在入井使用前要进行多次反复试验，经现场不同场景试用合格，才能批量生产和推广使用^[3]。

（二）现场使用方面

1. 选用经过现场使用，质量和性能可靠、稳定的尾管下部附件。

2. 通井钻具组合的刚度要大于所下套管的刚度，下套管前的通井作业，要把井壁上容易松动的岩层刮掉循环出来、缩径井段进行扩眼、把井眼轨迹修理平滑无台肩，经过静提静放无阻卡、下探井底无沉砂，为顺利下套管和固井创造良好条件。

3. 尾管下部附件入井前，仔细检查保证附件的规格型号符合设计要求。

4. 采用旋转下套管方法或漂浮加旋转下套管方法，保证套管能顺利下到位而不发生屈曲变形^[4]。

5. 下完套管后尽量避免长时间不进行固井施工。

6. 固井施工前避免长时间大排量循环，一般循环1.5至2个循环周、井眼清洁情况和泥浆性能符合固井要求，即可进行固井施工。

7. 尾管倒扣坐挂前，环空反向加压（以不压漏地层为前提）验证浮鞋和浮箍密封性正常后，再进行倒扣丢手和固井施工。

8. 在固井设计上，适当增加缓凝与快干水泥浆的稠化时间差、增加缓凝水泥浆的稠化时间、以及减少水泥浆的附加量。为现场应对、起钻和循环洗井创造更多的安全时间，降低“插旗杆”风险^[5]。

9. 采取压力平衡法施工，即设计尾管段顶替的泥浆密度不小于水泥浆密度。

五、水平井尾管下部附件失效的现场应对措施

应对措施1：为了防止钻杆被水泥浆固住，发生“插旗杆”固井事故，因此要强行拔中心管，任由水泥浆回流尾管内，再进行补救作业。

应对措施2：把注入井内的水泥浆循环排出井外，重新进行第二次固井施工。

应对措施3：等候快干水泥浆稠化后再拔中心管。（成功应对案例见后面第七章）几种应对措施优劣对比：

措施1优点：操作风险不大。缺点：由于需要钻水泥塞和挤水泥补救施工作业，增加了工期和施工费用。

措施2因为施工风险大，现场一般很少使用，不进行优劣对比。

措施3优点：能保证水泥浆返高和管内水泥塞长度执行设计要求，避免了后续要进行补救施工作业。缺点：如果水泥浆（领浆）的稠化时间把握不准确，不能把多余水泥浆在稠化流不动前完全排出井外，就可能会发生水泥浆把送入钻杆固住，发生“插旗杆”固井事故，因此也存在一定的操作风险^[6]。

六、成功应对案例

1. 基本资料

H2610井是中石油位于哈萨克斯坦阿克纠宾地区的一口生产

井,完钻井深4930m,水平段长4499~4930m,下139.7mm尾管,悬挂器位置2160m,封固井段2160~4930m。上层套管为244.5mm技术套管,下深2359.17m。

2. 管串结构: 浮鞋×0.96m+139.7mm套管1根×11.65m+浮箍×0.27m+139.7mm套管1根×11.63m+浮箍×0.27m+碰压球座×0.28m+139.7mm套管串(90SS)×2694.37m+悬挂器×5.74m+127.0mm送入钻杆×2204.83m。

3. 水泥浆性能: 领浆和尾浆密度均为1.90 g/cm³, 领浆稠化时间340min/30BC, 尾浆稠化时间210min/30BC。

4. 尾管下部附件入井前检查正常。

5. 通井、下套管及洗井情况简述:

该井电测完通井使用完钻具通井,通井正常,2017年8月23日14:00开始下套管,24日9:00下完,25日15:00下完送入钻具,并开始洗井,用排量25L/S.,泵压8MPa,洗井至17:00停泵。下放至90吨倒扣,正转5圈,无倒转,再转5圈,无倒转,再转10圈,无倒转,再转15圈上提1.2米,悬重指示在90吨无变化,倒扣正常^[7]。

6. 施工过程描述:

17:55~18:00通管试压25MPa;

18:00~18:20注密度为1.00g/cm³的前置液13m³;

18:20~20:00注密度为1.90g/cm³的水泥浆87m³;

20:00~21:00替密度为1.15g/cm³的泥浆,替浆至48.8m³碰压,替浆量与理论计算量相符。碰压从17~23MPa;

21:00~21:30来回5次放回水不断流,确认回压凡尔、钻杆胶塞与套管胶塞锁紧和密封失效,后期平衡压力9MPa,附加2MPa,憋压11MPa候凝,~22:30水泥浆稠化时间到,放回水至5.4MPa,保持压力平衡不让水泥浆回流到套管内,继续憋压候凝至23:00,放回水至0MPa,回水断流。卸掉水泥头,接方钻杆,开泵,憋压至8MPa,上提钻具拔出中心管,悬重90吨,无变化^[8]。开泵洗井,排量30L/s,返出混浆约5m³。

7. 该井尾管下部附件失效原因分析: 根据该井管串结构来看,一个浮鞋、二个浮箍加上自锁胶塞共有四道防水泥浆回流密封防线,四道防线同时失效非常罕见,但还是发生了。参照上述导致尾管下部附件失效的8条原因以及本井的施工过程分析,该井下套管顺利,而且水平段较短,第一条原因即套管发生屈曲变形的可能性小,因此,其余7条原因都有可能导导致尾管下部附件失效^[9]。

8. 该井固井质量情况: 水泥浆返高符合设计要求,固井质量合格。

9. 总结: 该井应对措施成功的实施,有几个关键条件和把控要点: 一是水泥浆的稠化时间试验数据与在井底的实际环境基本一致,避免因水泥浆的稠化时间相差太大造成误判及增加应对风险。二是等候尾浆稠化时间到之后,领浆还有足够被循环排出井外的安全时间。三是放回水不断流要经过多次操作和尝试恢复进行确认之后,才能最终下结论尾管下部附件已失效,而且在这多次操作和尝试过程中,要控制好压力平衡、以及保持顶替进去的液体量与放出的回水量相同,防止多留水泥塞或替空。四是不要

一定要等到尾浆试验数据的稠化时间到了之后才开始操作去验证放回水是否断流,可以提前操作进行验证,因为在井底环境条件下水泥浆的稠化时间可能会与试验数据有出入,若可以在尾浆试验数据的稠化时间内得到提前验证,就能为喇叭口以上多余的水泥浆循环洗出井外争取到更多的安全时间,从而降低发生“插旗杆”固井事故的风险。五是若在操作尝试时发现尾浆试验数据的稠化时间延迟太久,应优先考虑给起钻和循环洗井留出安全操作时间,防止“插旗杆”固井事故发生。六是固井队在应急操作和尝试过程中,钻井队的起钻和循环设备、工具、操作人员要准备就绪,一接到起钻和循环指令,能迅速实施^[10]。

七、认识和建议结论

(一) 认识

虽然在尾管第一次固井质量不好、或者经过挤水泥补救作业后依然不理想,导致喇叭口窜气影响后续钻井施工作业时,可以通过尾管回接作业进行补救。虽然对于某些天然气井或页岩气井已设计了进行回接作业。而对于固井施工来说,不论回接与否,为了给后续钻采作业创造良好条件、以及延长油井的生产生命周期,追求每一次固井施工质量优良是我们的责任和目标。

(二) 建议

上述分析以及案例中该井成功的应对措施,对于在固井设计上由于现场条件的限制、没有采取压力平衡法施工的井,当碰到类似的问题时,对于现场实施正确应对、降低施工风险和保证固井质量,具有积极的参考价值和意义。虽然存在一定操作风险,但只要精准把控,还是可以安全实施的。建议根据现场实际情况,在保证施工安全的前提下,灵活参考实施。同时,始终坚持“预防为主、应对为辅”的工作理念开展工作。

参考文献

- [1] 陈勇; 吴欣袁; 蒋祖军; 练章华; 陈敏. 水平井钻井减摩降阻工具研制及流场分析 [J]. 石油矿场机械, 2014(08) 27-30.
- [2] 冯光彬; 唐世忠; 蔺玉水; 王宇. ZH8Es-H5大位移水平井钻井技术 [J]. 石油钻采工艺, 2009(03) 14-17.
- [3] 谢桂芳. 水力加压器在钻井施工中的作用 [J]. 石油矿场机械, 2009(05) 89-91.
- [4] 刘晖. 梁9-平1水平井井眼轨迹控制技术 [J]. 石油钻采工艺, 2005(04) 9-11+89.
- [5] 张桂林. 胜利油田水平井钻井技术现状与发展趋势 [J]. 石油勘探技术, 2005(02) 66-70.
- [6] 肖建波, 雷宗明. 水平井井底钻压的研究 [J]. 天然气工业, 2001(03) 41-44+7.
- [7] 王海栋; 刘义坤; 孟文波; 张崇. 水平井环空预设多级井底控锥增油实验 [J]. 特种油气藏, 2020(05) 145-150.
- [8] 肖建波, 雷宗明, 晏凌. 水平井井底钻压的研究 [J]. 钻采工艺, 2001(03)6.
- [9] 席境阳. 基于有限元法的井底应力场随井底压差变化规律研究 [J]. 钻探工程, 2021(05) 60-68.
- [10] 黄志强; 单代伟; 李琴; 谭军; 杨茂君; 刘少彬. 潜孔钻头井底流场数值模拟研究 [J]. 石油机械, 2006(08) 11-14+18+85.

深部钻探技术进展及其在地质勘探中的前景探讨

吴佳颖

新疆科林思德新能源有限责任公司, 新疆 昌吉 831500

摘 要 : 新疆地域广袤, 地质构造复杂, 板块碰撞造就多样地质单元, 蕴藏丰富矿产资源。在全球资源短缺背景下, 深部钻探技术对新疆地质勘探意义重大。该技术历经发展, 在国内外取得众多突破, 针对新疆特殊地质条件, 如地层坚硬、高温高压等, 发展出特殊合金钻头、智能钻探系统等适配技术。通过准噶尔盆地石油勘探、西天山金矿勘探等项目实例可知, 先进技术提高了钻探效率, 提升了数据准确性, 增强了勘探深度与范围。未来, 借助深部钻探技术有望发现更多优质矿体, 推动新疆资源开发与经济发展, 同时为地质研究提供一手资料, 助力构建完善地质模型, 服务于区域地质灾害防治。

关 键 词 : 新疆; 深部钻探技术; 地质勘探; 资源开发; 地质研究

Advances in Deep Drilling Technology and Its Prospects in Geological Exploration

Wu Jiaying

Xinjiang Kelinside New Energy Co., Ltd. Changji, Xinjiang 831500

Abstract : Xinjiang is a vast region with complex geological structures. Plate collisions have created diverse geological units, resulting in abundant mineral resources. In the context of global resource shortages, deep drilling technology is of great significance for geological exploration in Xinjiang. This technology has undergone development and achieved numerous breakthroughs both domestically and internationally. For the special geological conditions in Xinjiang, such as hard strata, high temperature, and high pressure, adaptive technologies such as special alloy drill bits and intelligent drilling systems have been developed. Through project examples such as oil exploration in the Junggar Basin and gold mine exploration in the West Tianshan Mountains, it can be seen that advanced technology has improved drilling efficiency, enhanced data accuracy, and increased exploration depth and scope. In the future, with the help of deep drilling technology, it is expected to discover more high-quality ore bodies, promote resource development and economic development in Xinjiang, provide first-hand information for geological research, help build a perfect geological model, and serve regional geological disaster prevention and control.

Keywords : Xinjiang; deep drilling technology; geological exploration; resource development; geological research

引言

在全球资源需求呈指数级增长, 地质科学持续向未知领域探索的宏观背景下, 深部钻探技术宛如一把精巧的钥匙, 开启了通往地球深部奥秘与珍贵资源宝库的大门。我国新疆地区, 地域广袤无垠, 地下地质构造犹如一座巨大的宝藏库, 蕴藏着丰富多样的地质资源。然而, 其独特且复杂的地质条件, 对深部钻探技术提出了极为迫切且具有针对性的特殊要求。伴随浅部资源因长期开采而逐渐枯竭, 人类的资源勘探目光不得不战略性地转向地球深部。深部钻探技术, 不仅是获取深部矿产资源最直接、有效的手段, 更是深入洞察地球内部精细结构、精准解析地质演化漫长过程的关键路径。新疆所蕴含的丰富矿产资源, 在维护国家能源安全、推动经济稳健发展等方面, 发挥着举足轻重的作用。借助先进的深部钻探技术, 有望在这片土地上发现更多大型乃至超大型矿床, 为新疆经济的腾飞注入强劲动力。这一技术的深入应用, 还将填补我国在特定地质区域研究方面的诸多空白, 极大地推动地质科学的全面进步。

一、新疆地质勘探需求概述

新疆地域辽阔，地质构造复杂多样。从阿尔泰山脉到昆仑山脉，不同的地质单元蕴含着不同类型的矿产资源。当前，在全球资源急剧短缺的情况下，矿产资源的重要性却显得尤为明显，因此要加强对深层钻探技术的分析和研究，使其能够更好地契合当前的发展需求，在不断提升装备和技术的同时满足资源的需求。

（一）深部钻探技术进展

钻探技术在多年的持续发展进程中，于全球范围内实现了诸多关键突破。地质钻探技术就是一种向地下钻孔，通过提取地下的相关物质然后进行分析，可以更好地明了地下的矿石成分以及相关含量，地质钻探技术是我国一种常用的探测物质的技术，并且根据地质以及物质的不同，地质钻探技术又分为多种，有绳索取芯钻探技术、反循环钻探技术、液动冲击回转钻探技术、遥感技术以及高精度受控定向钻探技术等^[1]。在地质条件错综复杂的新疆地区，适配的钻探技术堪称地质勘探工作平稳、高效推进的核心要素。新疆部分区域地层坚硬且存在高温高压环境，这要求钻探技术具备高抗压、耐高温特性。特殊合金制成的钻头，在新疆硬岩地层中表现卓越，显著提高钻进速度，减少钻头损耗。同时，能实时感知地层变化、自动调整钻进参数的智能设备，在新疆复杂地质条件下，极大地保障了钻探工作的安全性与高效性，为新疆地质勘探工作注入强大动力。

（二）国内外先进钻探技术介绍

在国际领域，先进的深部钻探技术层出不穷。新型超深孔钻探设备便是其中的杰出代表，它能在极深地层中稳定运转，较以往设备大幅提升钻进效率，且可靠性更强，极大地拓展了人类对深部地层的探索深度。与此同时，随钻测量技术（MWD）与随钻测井技术（LWD）取得显著进展，钻探作业时可实时采集地层信息，通过对这些数据的精准分析，钻探人员能及时调整作业参数，让钻探的精准度实现质的飞跃。国内在深部钻探技术研发方面同样全力以赴，持续加大投入^[2]。自主研发的高温高压钻探技术成果斐然，面对诸如新疆部分区域高温、高压的特殊地质条件，该技术展现出良好的适应性与稳定性，出色完成钻探任务，为我国深部钻探作业提供了更多可靠的技术方案，有力推动了地质勘探事业向纵深发展。

（三）适用于新疆地质条件的技术特点

新疆地质状况极为复杂，部分区域地层坚硬程度超乎寻常，同时伴有高温高压环境，这对钻探技术提出了极为严苛的挑战。适用于新疆的钻探技术，必须具备卓越的高抗压与耐高温性能。以新疆部分硬岩地层为例，传统钻探技术在这类地层中面临诸多难题，难以有效施展。而采用特殊合金钻头的钻探技术则展现出显著优势。该特殊合金钻头凭借其独特的材质配方，能够在坚硬地层中有效提升钻进速度，与传统钻头相比，可极大程度减少磨损，从而实现高效作业。与此同时，智能钻探系统的应用为新疆地质钻探工作带来了全新变革。该系统具备敏锐的地层感知能力，在钻探过程中可实时监测地层信息，如岩石硬度、地层压力等关键数据^[3]。并依据这些精准数据，自动、精确地调整钻进参数，如钻头转速、钻压等。无论地层条件如何复杂多变，智能钻探系统都能灵活应对，不仅大幅提高钻探效率，还进一步保障了

钻探作业的安全性，为新疆地质勘探工作的顺利推进提供了坚实可靠的技术支撑。

二、新疆地质特征与钻探挑战

深入了解新疆的地质特征，是开展深部钻探工作的基础。而在这片广袤土地上进行钻探，面临着诸多特殊困难，只有精准识别并制定有效的应对策略，才能保障钻探工作的顺利推进。

（一）新疆主要地质构造与地层特点

新疆地处多个板块碰撞交汇的关键区域，地质构造呈现出超乎寻常的复杂性。这里广泛发育着褶皱、断裂等多样构造形式，不同构造单元内的地层岩性大相径庭。从形成于久远年代的变质岩系，到新生代新近堆积的沉积地层，岩石类型丰富繁杂，涵盖了花岗岩、玄武岩这类岩浆岩，以及砂岩、页岩等沉积岩。在漫长的地质历史进程中，这些地层在空间上相互叠置、穿插，它们独特的分布与组合关系，不仅造就了新疆复杂多变的地质面貌，还深刻影响着资源的赋存与分布规律，形成了极具特色的资源分布格局^[4]。这种地质的复杂性与资源分布的独特性，既为地质勘探工作带来巨大挑战，也意味着新疆地下蕴藏着丰富的资源潜力，亟待先进技术 with 科学勘探手段去发掘与揭示。

（二）钻探面临的特殊困难及应对策略

在新疆开展深部钻探作业，困难重重。复杂地层致使钻孔极易坍塌，频繁出现卡钻状况。高温高压的特殊环境，对钻探设备的材料品质与性能规格，提出了近乎苛刻的要求。再者，新疆部分地区存在沙漠、高山等恶劣自然环境，极大地提升了钻探施工难度。为攻克这些难题，业内采取了一系列针对性策略。一方面，着力研发高强度、抗高温高压的钻探管材，从硬件基础上保障钻探作业。同时，对钻孔结构设计进行优化，增强钻孔稳定性，有效降低坍塌风险。先进的钻井液体系也被引入，通过平衡地层压力，实现对孔壁的高效保护。另一方面，借助地理信息技术，科学规划钻探场地选址，精准避开自然环境恶劣区域，最大程度降低自然因素对钻探工作的干扰，确保深部钻探工作能够安全、高效地推进^[5]。

三、技术应用案例分析

对新疆地区成功钻探项目实例展开深入剖析，能够直观洞察深部钻探技术在实际作业中的成效，进而为后续的勘探工作积累宝贵经验，助力后续勘探工作更加科学、高效地开展。

（一）新疆地区成功钻探项目实例

在准噶尔盆地的深部石油勘探中，采用了前沿的随钻测井（LWD）技术与大位移定向钻井技术。该区域深部地层复杂，存在多层不同岩性交互的情况，且目标油层分布不规则。通过大位移定向钻井技术，成功在复杂地层中设计并钻出长达数千米的斜井，精准定位到深部油层。随钻测井技术实时监测地层参数，如电阻率、伽马射线等，帮助地质人员实时判断钻头位置与油层关系。在钻探过程中，克服了地层压力变化导致的井壁失稳问题，成功钻至目标深度，获取了丰富的油层岩芯样本。

西天山地区地质构造复杂，岩石坚硬且断裂带发育。在金矿勘探项目中，运用了新型的空气钻探技术与智能化钻探设备。空气钻

探技术以压缩空气为循环介质，在坚硬岩石地层中显著提高了钻进速度，相比传统泥浆钻探，减少了泥浆对岩芯的污染，更清晰地识别金矿脉^[6]。智能化钻探设备搭载先进传感器，可实时监测钻头的扭矩、转速、钻压等参数，并根据地层变化自动调整钻进参数。通过该技术，成功穿透多条断裂带，精准定位到深部金矿体，钻探深度达到了前所未有的深度，发现了新的大型金矿体。

（二）技术应用效果评估

在准噶尔盆地石油勘探项目中，大位移定向钻井与随钻测井技术协同发力，使钻探周期较过往缩短约30%，且随钻测井技术实时提供的地层参数误差极小，为油层评价提供精准数据，同时突破以往钻探深度限制，拓展了深部油层勘探范围。西天山金矿勘探项目里，空气钻探技术与智能化设备相互配合，钻进速度提升近50%，不仅减少了岩芯污染，借助智能化设备对钻进参数的精确监测，还大幅提高了地质人员对金矿体定位和储量评估的准确性，并且成功穿透多条断裂带，达到前所未有的钻探深度，发现新的大型金矿体，打开了该地区深部金矿勘探新局面^[7]。

四、深部钻探技术在新疆地质勘探中的前景

展望未来，深部钻探技术在新疆地质勘探领域有着广阔的发展空间，无论是在资源勘探潜力方面，还是对地质研究的推动作用上，都将产生深远影响。

（一）资源勘探潜力预测

新疆地质构造极为复杂，高山深壑与广袤盆地相间分布，板块长期碰撞的痕迹在这片土地上清晰留存。基于过往积累的丰富勘探成果，结合不断进步的先进深部钻探技术，在更深地层探寻到大型金属矿、油气田等珍贵资源的前景十分广阔。地质学家深度分析现有地质数据，并借助模拟技术，已锁定部分特定区域。经推测，这些区域的深部极有可能隐匿着尚未被发现的优质矿体，或许是蕴藏着丰富金属矿物的大型矿脉，又或许是富含油气资源的储层^[8]。随着深部钻探技术的持续创新，钻探设备不断升级，其钻探精度与深度均得到显著提升，这无疑大幅增加了发现新资源的概率。一旦新资源成功被发掘，将为新疆的资源开发注入全新活力，有力推动地区经济向更高水平迈进，助力新疆在能源领域实现新的重大跨越，进一步提升其在全国能源格局中的地位。

（二）对新疆地质研究的推动作用

深部钻探所获取的岩芯样本与实时数据，构成新疆地质研究

的关键一手资料。科研人员借助这些资料，深入探究新疆地区板块运动历史。通过对样本及数据的分析，回溯远古时期板块间的碰撞、俯冲、离散等运动过程，进而明确其对现今地质格局的塑造机制与深远影响^[9]。同时，利用这些资料可精准解析地层演化进程。从古老地层的沉积特征，包括沉积物类型、粒度分布、沉积构造等方面，到复杂地质构造，如褶皱、断裂的形成过程，逐步还原地质变迁的漫长历史。在此基础上，深入研究成矿规律，剖析矿产资源的形成条件、控矿因素以及富集机制，揭示矿产资源形成的内在奥秘。

通过对深部地质信息的深度挖掘与系统分析，科研人员能够构建更为完善的地质模型。该模型能够清晰呈现新疆地质的独特性，例如复杂的构造样式、特殊的岩性组合以及独特的地层序列等^[10]。这不仅推动地质科学理论的发展，丰富对地球演化过程的科学认知，还为区域地质灾害防治提供坚实的科学依据，助力地质灾害的早期预测与精准评估，为保障新疆地区人民生命财产安全提供有力支撑。

五、结束语

本研究系统地梳理了国内外深部钻探技术的发展历程，深入剖析了新疆独特的地质特征以及钻探作业面临的重重挑战。通过对多个成功案例的细致剖析，明确了先进技术在新疆地质勘探中所展现出的显著有效性。研究结果表明，深部钻探技术在新疆具有巨大的应用潜力，能够为资源勘探和地质研究带来突破性成果。展望未来，为进一步推动新疆地质勘探事业迈向新高度，需从多方面协同发力。在技术研发层面，应持续加大对深部钻探技术的投入力度，针对新疆特殊地质条件，着力研发更为高效、可靠的钻探设备与技术，以提升钻探效率与质量。在学科融合方面，强化地球物理、地球化学等多学科与深部钻探技术的交叉融合，充分利用各学科优势，提高勘探的精准度，为深部资源探测提供更全面、准确的数据支持。在人才培养领域，注重培养专业的深部钻探技术人才，打造一支高素质、高水平的专业队伍，为相关工作提供坚实的人力保障。在政策支持上，制定鼓励深部勘探的相关政策，积极促进产学研合作，营造良好的创新环境，推动深部钻探技术在新疆地质勘探领域广泛应用，助力新疆地质勘探事业蓬勃发展。

参考文献

[1] 张亚坤, 李家峰, 邵吉亮. 地质勘察和深部地质钻探找矿技术研究 [J]. 世界有色金属, 2023, (17): 49-51.
[2] 张嵩. 探讨固体矿产地质勘查中深部地质钻探找矿技术 [J]. 世界有色金属, 2023, (17): 55-57.
[3] 贾岩. 固体矿产地质勘查中深部地质钻探找矿技术的应用实践 [J]. 中国金属通报, 2023, (07): 240-242.
[4] 白鸿祖. 矿产地质勘查与深部地质钻探找矿技术研究 [J]. 西部探矿工程, 2023, 35(06): 171-173+176.
[5] 张嵩. 地质勘查和深部地质钻探找矿技术分析 [J]. 中国金属通报, 2023, (06): 89-91.
[6] 杨鹏. 矿产地质勘查与深部地质钻探找矿技术 [J]. 中国金属通报, 2023, (05): 73-75.
[7] 师晓林. 地质勘查与深部地质钻探找矿技术探讨 [J]. 冶金与材料, 2023, 43(03): 115-117.
[8] 陈国荣, 闫博, 孙汉勇, 等. 地质勘查与深部地质钻探找矿技术工作探讨 [J]. 现代盐化工, 2023, 50(01): 69-71. DOI: 10.19465/j.cnki.2095-9710.2023.01.013.
[9] 朱道军. 深部探矿钻探特点及技术要点探究 [J]. 矿业装备, 2022, (06): 175-177.
[10] 杨靖. 基于地质勘查与深部地质钻探找矿技术的研究 [J]. 当代化工研究, 2022, (18): 102-104.

K、P 型站土建工程辅助设备选型和验收管理探讨

陈业辉

上海电院电力电子实业有限公司，上海 200090

摘 要： 城市化进程不断加快的背景下，电力需求量呈不断增长态势。设备选型和验收管理在 K、P 型站土建工程中占据着举足轻重的位置，即科学的设备选型标准可在保证工程质量的同时，降低工程的建设成本，而细化验收管理方案则可有效延长设备的使用寿命，减少设备维修与更换次数，对于提高供电可靠性至关重要。本文主要采用文献研究法、案例分析法等，深入探讨 K、P 型站土建工程辅助设备选型和验收管理总则与分工，并从多维度分析 K、P 型站土建工程辅助设备选型和验收管理要点，以期为企业开展工作提供有益参考。

关 键 词： K 型站；P 型站；土建工程；辅助设备；选型验收

Discussion on Auxiliary Equipment Selection and Acceptance Management in Civil Engineering of K and P Type Stations

Chen Yehui

Shanghai Dianyuan Power Electronic Industry Co., Ltd. Shanghai 200090

Abstract： With the accelerating process of urbanization, the demand for electricity is continuously increasing. Equipment selection and acceptance management play a pivotal role in the civil engineering of K and P type stations. Scientific equipment selection criteria can ensure project quality while reducing construction costs, and detailed acceptance management plans can effectively extend the service life of equipment, reduce the number of equipment repairs and replacements, which is crucial for improving the reliability of power supply. This article mainly adopts literature research method, case analysis method, etc., to deeply explore the general principles and division of labor for auxiliary equipment selection and acceptance management in civil engineering of K and P type stations, and analyzes the key points of auxiliary equipment selection and acceptance management in civil engineering of K and P type stations from multiple dimensions, aiming to provide a useful reference for related companies to carry out their work.

Keywords： K-type station; P-type station; civil engineering; auxiliary equipment; selection and acceptance

前言

K、P 型站土建工程落实辅助设备选型和验收管理工作的主要目标是确保所选设备性能稳定可靠，与工程实际需求紧密贴合，且验收流程合理，保证工程质量。然而，从当前相关企业设备选型和验收管理工作的整体情况来看，所选设备同 K、P 型站实际工况不匹配、验收标准细化程度不足、相关人员专业水平参差不齐等问题时有发生，极大影响着 K、P 型站土建工程质量。如何细化辅助设备选型和验收管理方案，或将成为 K、P 型站土建工程顺利推进的重要保障。

一、K、P 型站土建工程辅助设备选型和验收管理的总则

配电网系统中，K 型站和 P 型站是重要的电力设施。K 型站即开闭所（开关站、中心站），在整个供电网络中发挥着枢纽作用，主要用于电力分配与转供，即将上级电源的电能，根据不同区域的用电需求，合理分配到各个 P 型站或其他用电终端；P 型站属于社区供电用的变电所，主要负责将 K 型站分配的电能进行

降压处理，从 10kV 降至 0.4kV 供给用户，直接服务于居民和各类小型商业用户，且分布广泛，可覆盖到社区的各个角落。设备选型和验收管理在 K、P 型站土建工程中占据至关重要的位置，是确保工程质量、保障供电可靠性的关键环节。从工程效益角度来看，明确设备选型标准可在满足供电需求的情况下，实现设备投资优化，而严格的验收管理则将确保设备质量符合工程要求，减少设备运行成本，提高设备使用寿命^[1]。在工作落实过程中，相关企业应明确具体目标，并遵循相关标准与规范，详见下表 1。

表1 K、P 型站土建工程辅助设备选型和验收管理总则

要点	主要内容
目标	规范电业 K、P 型站土建工程辅助设备的选型, 严把设备投运前的验收环节, 确保设备安全稳定运行, 提高变电运行管理水平
	充分考虑所选设备的性价比, 保证验收质量, 降低土建工程成本, 提高经济效益
	结合未来发展趋势, 保证所选设备的扩展性和适应性, 为后续升级改造预留空间
标准	《投光灯具安全要求》GB7000.7-2005; 《火力发电厂和变电站照明设计技术规定》DL/T5390-2007; 《建筑电气工程施工质量验收规范》; 《通风与空调工程施工质量验收规范》GB50243-2002; 《门、窗用未增塑聚氯乙烯(PVC-U)型材》GB/T8814; 《电气装置安装工程接地装置施工及验收规范》GB 50169-2006; 《110kV ~ 1000kV 变电(换流)站土建工程施工质量验收及评定规程》Q/GDW183-2008
条件	具备居住区规划平面图、土建竣工图纸及有关测试报告、土建监理资料等资料; 同期项目 K、P 型站作为一个验收批次验收; 验收过程由建设方、运检方、工程建设方、土建施工单位、监理单位、电气施工单位等多主体参与

二、K、P 型站土建工程辅助设备选型和验收管理的分工

(一) 参与部门及职责划分

K、P 型站土建工程辅助设备选型和验收管理涉及多个部门, 各部门职责明确且相互关联, 共同保障具体工作的落实质量, 具体如下。

技术部: 提供设备选型指导意见, 基于工程实际需求, 评估设备性能、参数等; 协助解决验收中出现的技术问题。

工程部: 落实设备选型过程中的现场考察和调研工作, 提出选型建议; 参与设备性能、功能等方面的验收测试, 确保设备正常运行。

物资部: 负责供应商选择、合同签订等设备采购工作, 提供设备价格、供应情况等信息, 完善验收资料。

质量安全部: 负责设备验收过程中的质量检查和监督工作, 基于 K、P 型站土建工程施工标准, 有针对性地处理验收过程中出现的质量问题。

(二) 部门间协同机制

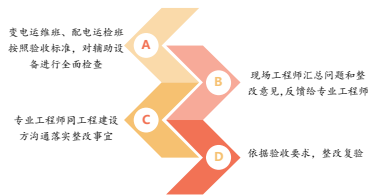
部门协作是 K、P 型站土建工程辅助设备选型和验收管理工作效率与质量的重要保障, 通过有效协同, 各部门可充分发挥各自的优势, 达成资源共享、信息互通共识, 共同解决出现的各种问题。一方面, 运行专业工程师应同各部门保持密切联系, 在验收过程中, 负责接收基建相关部门的验收通知, 并依据具体内容合理安排变电运维班、配电运检班各项工作; 验收完成后, 及时将验收结果反馈给工程建设方, 并密切关注整改情况, 保证验收工作的完整性。另一方面, 变电运维班、配电运检班现场工程师需专注于土建工程验收中出现的问题和整改意见, 系统分析具体情况后, 加快落实具体的整改工作, 同时定期向专业工程师汇报, 以便相关主体实时把控整改进度。此外, 变电运维班、配电运检班是验收工作的直接执行者, 其需凭借自身专业知识与经验, 收集、整理与核对整改意见后, 反馈给现场工程师, 且在整改完成后, 负责复验工作, 确保工程质量达到预设标准^[2]。

三、K、P 型站土建工程辅助设备选型和验收管理的要点

(一) 案例分析

某市新建住宅小区规划入住居民500户, 用电需求较大。为满足小区供电需求, 电力部门规划建设一座 K 型站和二座 P 型站。其中, K 型站占地约 100 m², 室内布置, 主要负责小区高压侧电力分配; P 型站占地约 80 m², 为室内站, 承担低压侧配电任务, 两站均按照现代化

标准进行系统设计, 具备较高的可靠性和安全性。该项目中所涉及的辅助设备有 220V 软导线、照明灯具、配电电源箱、排风系统、气体泄漏检测装置、防小动



> 图1 某市新建住宅小区 K、P 型站土建工程验收要点

物挡板、空调、接地扁铁及引下线等, 由专业的技术人员系统分析供电需求与供电稳定性、安全性要求后进行选型设计, 并按照下图1验收管理, 为 K、P 型站设备运行提供了良好的运行环境, 极大降低了设备的故障率, 提高了供电可靠性。

(二) 设备选型要点

不同类型的 K、P 型站功能定位和所服务区域的负荷特性具有极大的差异性, 设备选型时应以满足工程的实际需求为首要目标, 这是确保 K、P 型站稳定、高效运行的基石。需求分析是基础环节, 即相关人员在选用具体设备之前, 需充分了解 K、P 型站土建工程的实际需求, 明确设备用途、性能参数、产能等, 旨在确保所选设备同工程情况相符^[3]。以上述住宅小区为例, 以居民小区为例, 据电力数据显示, 夏季用电高峰时段集中在晚上 7-10 时, 空调、照明等各类电器大量使用, 平均每户用电功率可达 3-5kW, 负荷呈现出明显的时段性波动特点, 此时对设备的耐压性能、绝缘性能要求较高, 为确保各区域用电的稳定性, 需配备高精度的配电电源箱, 且须具备强大的散热性能, 以应对用电高峰时段的高热量问题。市场调研与对比选择是关键环节。通过广泛收集市场信息, 系统对比不同设备的性能、价格、质量等, 更有助于筛选出与 K、P 型站土建工程相匹配的设备^[4]。例如, 当前市场上常见的通风设备有轴流风机和离心风机, 其在性能与使用方面存在一定差异性, 详见下表 2。

表2 通风设备对比数据

对比项	轴流风机	离心风机
风量	数千 m ³ /h	低30%-50% (同等功率下)
风压	数千帕	数百帕
能耗 (30000m ³ /h)	功率15kW	功率20kW
噪声	70-85 分贝	65-75 分贝
安装空间	设备价格的 5%-10%	设备价格的 10%-15%

上述项目 K 型站通风设备选型过程中, 通过实际测试与数据对比, 发现站内空间较大且通风管道较短, 轴流风机可在满足通风需求的同时, 能耗比离心风机低 20%, 且从材质方面来看, 不锈钢低噪音轴流风机耐腐蚀、阻燃能力更强, 运转噪音 ≤ 45 分贝, 更具应用优势, 最终选择了轴流风机。此外, 专家评审不可或缺。相关企业可组织专家对设备选型方案中的技术参数、设备配

置等展开详细审查,明确其是否符合 K、P 型站土建工程的实际需求和技术规范,并就设备选型可能带来的潜在风险进行全面评估,提出技术不成熟、维护难度大等问题的应对方案,以此确保设备的运行效率与运行质量。

(三) 验收管理要点

1. 验收流程规范化

K、P 型站土建工程辅助设备验收管理流程包括前期验收、性能测试、功能验证等,相关人员应切实把握每个环节的关键点,提高验收管理质量。在验收前,组建包括电气工程师、土建工程师、设备运维人员等多主体在内的专业验收团队是重要环节,还需广泛收集、整理采购合同、技术规格书、安装图纸、出厂检验报告等相关资料,旨在为后续验收工作的落实提供准确依据。安装时,相关人员需监督安装工艺是否符合规范,如“壁灯安装是否牢固端正、排列整齐、标高一致”“配电箱所处位置是否安全、干燥且易操作”“配电箱内二次线安装是否弧度一致”等,安装工作全部完成后,开展调试工作,系统测量设备

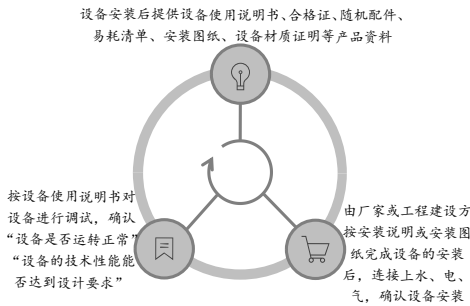


图2 某市新建住宅小区 K、P 型站土建工程气体泄漏检测装置验收流程

的各项功能,以便做出针对性整改,保证 K、P 型站土建工程设备运行质量^[6]。以上述项目气体泄漏检测装置验收为例,相关人员依据具体规范明确其具体流程详见下图2。

2. 验收标准精细化

验收标准是 K、P 型站土建工程辅助设备验收的基本参考,一定程度上决定着设备运行的稳定性和安全性。相关企业应立足相关文件,将设备验收的具体数值明确到具体的文件中,以此为验收人员工作提供有力指导^[6]。以上述项目为例,相关人员对 220V 软导线、照明灯具、配电电源箱、排风系统、气体泄漏检测装置、防小动物挡板、空调、接地扁铁及引下线等辅助设备的验收规范作出了明确规定,具体如下。

220V 软导线:规格 $\geq 4\text{mm}^2$,选用线电流 25A 以上的铜质绝缘导线。

吊杆式灯具:采用高效节能的 LED 灯具,无机械损伤、变形、涂层剥落、灯罩破裂等缺陷;吊管内径 10mm,壁厚

$\geq 1.5\text{mm}$;灯头室外对地距离 $\geq 2.5\text{m}$,室内 $\geq 2.4\text{m}$ 。

配电电源箱:同一配电室采用统一型号配电箱,箱体高度统一,为配电箱下沿距地 1.5m 处;入箱管线长短合适、间距均匀、排列整齐,采用专用绑扎带固定。

接地系统:接地干线沿墙面敷设,同墙上的预埋件焊接固定,明敷接地引下线及室内接地

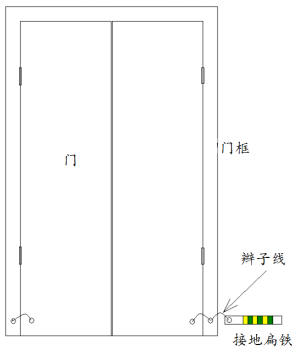


图3 门接地标准

干线的支撑件间距需遵循均匀原则,水平直线部分 0.5–1.5m,垂直直线部分 1.5–3m,弯曲部分 300–500mm。

接地扁铁:通过辫子线同门框相连接,门框再通过辫子线与大门连接。无门框情况下,直接将接地扁铁连接至大门(见下图3)。

3. 验收记录详细化

在实际验收过程中,相关人员需对每一项验收内容进行详细记录,明确设备名称、型号、验收时间、验收标准、实测数据、验收结论等各项信息,并由验收人员签字确认,确保其可追溯性。对于验收过程中出现的具体问题,需分类整理下来,以便采取针对性地整改措施。例如,设备表面有少量灰尘、标识牌轻微磨损等轻微问题,要求施工方立即整改;设备性能参数不达标、存在安全隐患等严重问题,需下达整改通知书,明确具体的整改要求、期限和责任人。此外,在整改工作结束后,应开展复验工作,即对整改的问题进行再次检查,复验合格后,方能投入使用,以消除使用安全隐患^[7]。

四、结束语

K、P 型站土建工程辅助设备选型和验收管理工作至关重要,可有效确保工程的顺利推进,整体提高设备运行质量。施工企业应基于 K、P 型站土建工程实际情况,制定一套包含 220V 软导线、照明灯具、配电电源箱、排风系统、气体泄漏检测装置、接地系统等辅助设备在内的选型与验收方案,明确验收流程与标准,并完善相关的验收信息,以此为 K、P 型站土建工程的顺利进行提供有力保障。未来,人工智能、大数据、物联网等新技术飞速发展背景下,设备选型与验收将向更加规范化、智能化、现代化层面迈进,进一步提高工作协同性与效率。

参考文献

- [1] 马文亮,陆莹,王荣,等.基于 BIM 的变电站土建工程质量验收管理[J].土木工程与管理学报,2022,39(03):55–60+74.
- [2] 程亮,于德龙,肖睿,等.500 千伏变电站 500kV 配电装置布置土建设计研究[J].建材世界,2023,44(01):112–114.
- [3] 马成.火电厂电气设备节能管理的典型技术路线[J].能源科技,2022,20(02):90–95.
- [4] 徐云飞.10kV 配电线路电缆土建设施施工及验收探析[J].科海故事博览,2023,(03):115–117.
- [5] 段涛.土建工程项目管理中常见问题分析及对策探讨[J].科技与创新,2020,(10):110–111.
- [6] 王晓冬.电力土建设计中的全过程管理研究[J].住宅与房地产,2021,(25):171–172.
- [7] 韩理想,张鹏,李路.城市轨道交通工程质量验收管理系统设计研究[J].工程质量,2024,42(S1):201–203.

EASA 计划维修要求评审政策研究： 与 CAAC 对比及对飞机制造商的启示

陈峤曦¹, 李平²

1. 中国商飞上海飞机客户服务有限公司, 上海 200241
2. 奥凯航空有限公司, 天津 300300

摘 要： 本文深入梳理了 EASA 计划维修要求评审政策，详细研究其 MRB 过程规则和 MRBR 批准流程，并与 CAAC 计划维修要求评审政策进行全面对比。旨在为飞机制造商申请欧洲型号合格证提供有力支持，助力其清晰把握不同政策要求，高效开展相关工作。

关 键 词： EASA; CAAC; 计划维修要求; MRB ; MRBR

Research on EASA’s Scheduled Maintenance Requirements Review Policy: Comparison with CAAC and Implications for Aircraft Manufacturers

Chen Qiaoxi¹, Li Ping²

- 1.Shanghai Aircraft Customer Service Co., Ltd., COMAC, Shanghai 200241
2.Okay Airways Company Limited, Tianjin 300300

Abstract： This paper thoroughly examines the EASA Scheduled Maintenance Requirements Review Policy, delves into its MRB process rules and MRBR approval procedures, and conducts a comprehensive comparison with the CAAC Scheduled Maintenance Requirements Review Policy. The aim is to provide strong support for aircraft manufacturers applying for European type certificates, assist them in clearly understanding different policy requirements, and efficiently carry out related work.

Keywords： EASA; CAAC; scheduled maintenance requirements; MRB; MRBR

引言

在航空领域，确保飞机的持续适航性至关重要，而计划维修要求评审政策是保障这一目标的关键环节。EASA（欧洲航空安全局）和 CAAC（中国民用航空局）的相关政策在飞机型号审定和维修管理中发挥着重要作用。随着全球航空业的发展，飞机制造商常常需要同时满足不同地区的审定要求。因此，深入研究 EASA 计划维修要求评审政策，并与 CAAC 政策进行对比，对飞机制造商申请欧洲型号合格证意义重大。

一、参考文件

本文参考了一系列与航空维修审定相关的文件，如 AC - 91 - 11R2《航空器的持续适航文件》、AC - 91 - 26R1《航空器计划维修要求的编制》、CM - MRB - 001 issue02《Maintenance Review Board Report/Maintenance Type Board Report Development process MRB/MTB 报告开发流程》以及 IMPS《International MRB/MTB Process Standard 国际 MRB/MTB 过程标准》等。这些文件为研究提供了坚实的理论基础和规范依据。

二、术语、缩略语

缩略语	英文全称	中文释义
AFM	Aircraft Flight Manual	飞机飞行手册
CA	Certifying Authority	审定局方
CS	Certification Specification	审定规范
CCMRs	Candidate Certification Maintenance Requirements	候选审定维修要求
EASA	European Union Aviation Safety Agency	欧洲航空安全局
EIS	Entry into Service	首架投入运营
EZAP	Enhanced Zonal Analysis Procedure	增强区域分析程序

缩略语	英文全称	中文释义
FEC	Failure Effect Category	失效影响级别
IMRBPB	International Maintenance Review Board Policy Board	国际 MRB 政策委员会
ISC	Industry Steering Committee	工业指导委员会
LHSI	Lightning/HIRF Significant Items	闪电 / 高强度辐射场重点项目
MRB	Maintenance Review Board	维修审查委员会
MRBR	Maintenance Review Board Report	维修审查委员会报告
MSI	Maintenance Significant Item	维修重点项目
MSG	Maintenance Steering Group	维修指导委员会
MTB	Maintenance Type Board	维修型号委员会
MTBR	Maintenance Type Board Report	维修型号委员会报告
MWG	Maintenance Working Group	维修工作组
PCM	Project Certification Manager	项目审定经理
PPH	Policy and Procedures Handbook	政策和程序手册
SSI	Structural Significant Item	结构重要项目
STC	Supplemental Type Certificate	补充型号合格证
TC	Type Certificate	型号合格证
TCH	Type Certificate Holder	型号合格证持有人
VA	Validating Authority	认可当局
WG	Working Group	工作小组

三、EASA 计划维修要求评审政策概述

计划维修要求是开发 Part – M 要求的航空器维修方案的重要输入。EASA 通过制定发布审定备忘录《MRBR/MTBR 开发流程》（CM – MRB – 001），并结合 IMPS，为制造商开发计划维修要求提供指导。制造商可借助 MRB 过程，开发衍生型、新型号或补充型号合格产品初始最低建议的计划维修要求，以表明对 CS 2X.1529 条的符合性，最终这些要求以 MRB 批准的 MRBR（Maintenance Review Board Report，维修审查委员会报告）形式发布。

对于最大起飞重量超过 15000 公斤（33000 磅）的大型飞机，EASA 建议型号合格证持有人实施 MRB 过程，其核心是应用 MSG – 3 逻辑开发初始最低建议的计划维修要求，且申请人需使用提出 TC（Type Certificate，型号合格证）申请时最新版本的 MSG – 3 方法。针对非欧盟国家申请人，EASA 的介入程度依据双边协议技术实施程序相关规定而定。

四、MRB 过程规则

（一）EASA MRB 组织规则

EASA 作为审定局方收到申请人申请文件后，会指派符合资质的人员担任 MRB 主席。MRB 主席负责挑选人员组建 MRB，并为各工作小组（WG）指定顾问。同时，MRB 主席承担着与审定部门、ISC（Industry Steering Committee，工业指导委员会）协调 MRB 活动，以及提供各类信息、指南和帮助的重要职责，其组建要求和具体职责遵循 IMPS 4.1 的规定。

（二）型号合格证持有人（TCH）组织规则

TCH 在 MRB 过程中扮演着关键角色，需向 CA（和 VA，如有必要）提出 MRB 过程申请，并指派代表担任 ISC 联席主席。

TCH 要制定 PPH（Policy and Procedures Handbook，政策和程序手册）提交给 ISC 和 MRB，提供会议时间表，开展相关培训，提供各类清单，安排人员参会、技术支持，及时通报设计更改细节，确保手册包含相关信息和程序，记录活动以及提供 MRBR 建议稿支持材料副本等。

（三）工业指导委员会（ISC）组织规则

ISC 由 TCH 与预期运营人、飞机 / 发动机制造商以及受邀请的供应商共同组建。ISC 主席由 TCH 飞机的运营人或相似机型的运营人担任，与 TCH 一同指导 WG 工作。ISC 负责审查批准 PPH，并提交给 MRB 主席，同时在 MRBR 建议稿提交 MRB 主席前进行审查接受，其具体组织规则和工作职责详见 IMPS 4.3。

（四）工作小组（WG）组织规则

WG 由 TCH、供应商、运营人和维修单位的代表组成，MRB 成员以顾问身份参与。WG 组长由选举产生并经 ISC 认可，通常由运营人或其代表担任。WG 的主要任务是依据最新认可的 PPH 和规定的 MSG – 3 版本，开发初始最低计划维修任务，编制 MRBR 建议稿，具体规则和职责参照 IMPS 4.4。

（五）政策和程序手册（PPH）规则

PPH 由 WG 编写，为 ISC、WG 应用 MSG – 3 分析方法开展维修任务分析提供规范和指导，并明确管理要求。编写完成后需经 ISC 批准，再提交给 MRB 主席（和认可局方，适用时）审查认可。PPH 是动态文件，会根据初始 MRBR 的变化在飞机服役期限内更新，其编写规范和批准程序详见 IMPS 4.5。

（六）对 MSI, LHSI, SSI 的具体考虑

TCH 需向 ISC 提供候选的 MSI（Maintenance Significant Item，维修重点项目）、LHSI（Lightning/HIRF Significant Items，闪电 / 高强度辐射场重点项目）和 SSI（Structural Significant Item，结构重要项目）清单，以及未列入的项目清单，具体考虑因素在 IMPS 4.7 – 4.9 中有详细规定。

（七）与 IMPS 相比附加技术指南

EASA 在认可 IMPS 政策为 MRB 过程执行规范的基础上，提出了一些附加技术指南。包括要求申请人开发维修验证程序，明确 MRB 过程会议可采用虚拟会议等替代方式但需在 PPH 中规定相关政策程序并经 MRB 主席同意，强调 EASA MRB 主席负责与审定部门协调，以及建议尽早开展 MSI、LHSI、SSI 选择流程并确保清单得到 PPH 筛选过程支持和记录。

（八）EASA 与 CAAC MRB 过程规则差异

EASA CM – MRB – 001 和 CAAC AC – 91 – 026 均依据 IMRBPB 发布的 IMPS 制定，在 MRB、TCH、WG 的组织规则和职责以及 PPH 编写规范和 MSG – 3 逻辑应用方面要求一致。不同的是，CAAC 在 2018 年发布 AC – 91 – 026R1 后，将 ISC 称为维修技术委员会（MTC），但其组成和职责与 EASA ISC 相同。

五、MRBR 的批准

（一）MRBR 的内容和格式

MRBR 由 TCH 编制，ISC 认可并由 CA 批准，是飞机持续

适航文件的一部分。其内容和格式要求在 CM - MRB - 001 和 IMPS 中均有规定,包括标题页、目录页、更改摘要、人员清单、序言、术语定义等,还包含任务间隔参数转换、维修方法替代、安全任务限制、国家差异说明等信息,且批准包需包含签署方批准信函,可使用物理或电子签名。CAAC AC - 91 - 026R1 虽在国与国之间 MRB 要求差异说明方面规定略有不同,但在涉及多民航当局型号合格审定情况时会协调联合评审,总体上 EASA 与 CAAC 在 MRBR 编制内容和格式上要求一致。

(二) MRBR 的批准流程

TCH 编写 MRBR 建议稿后提交给 ISC 主席确认,再在预期批准日期前 90 个日历日提交给 MRB 主席审查批准。MRB 主席根据 EASA 的角色(审定局方或认可局方)收集或转发意见,并与其他认可局方协商批准日期、解决协调性问题。当所有问题解决后,EASA MRB 主席建议 EASA 航空器维修部门批准 MRBR,并向相关方提供批准信函,非欧盟项目批准信函由审定局方协调签发。MRBR 中列出局方差异要求的章节或附录仅由各自监管局方批准,EASA 航空器维修部门会在官网上传批准文件。

(三) 争议的解决

申请人和 EASA 之间的分歧应尽量在低水平解决,EASA MRB 主席、申请人和 ISC 主席是主要决策者。若无法达成一致,问题及支撑材料将提请 EASA 航空器维修部门主管裁量,各方需提交报告供其考虑。

(四) MRBR 的完整性和及时可用性

批准的 MRBR 不要求在取得 TC 时提供,但需在航空器交付使用或颁发第一张适航证(以时间较晚者为准)时提供。由于 MRB 过程与审定过程同步,部分支持 MRBR 批准的条件临近 TC 或取得 TC 时才具备,所以 MRBR 一般不会在 TC 时获得批准。若申请人希望在 TC 之前或 TC 时取得批准,需做好设计更改管理和跟踪。此外,在 EIS(Entry into Service,首架投入运营)之前,申请人应检查 MRBR 建议稿中的更改情况并提交影响分析,以确保 MRBR 能代表飞机交付或首次签发适航证时的初始最低建议计划维修/检查要求。CAAC AC - 91 - 11R2 在这方面的

要求与 EASA 基本一致,但未对 TC 时取得 MRBR 批准及 EIS 前评估所有更改进行明确规定。

六、非欧盟项目 MRBR 批准

EASA MRB 核心人员依据 IMPS 政策和双边协议,与审定局方 MRB 主席协调 MRB 过程。为确保 PPH 在 30 个日历日内被接受,EASA MRB 主席需在收到 PPH 的 25 个日历日内向审定局方 MRB 主席提交意见。关于 MRBR 批准,申请人要确保 EASA MRB 主席收到建议稿及支持文件,审定局方 MRB 主席与 EASA MRB 主席协商审查和批准日期,EASA MRB 主席协调审查并反馈意见,EASA 航空器维修部门是否参与签署批准信函取决于双边协议技术实施程序规定。

七、总结

CAAC 与 EASA MRB 政策均基于 IMRBPB 发布的 IMPS 制定,在 MRB 过程规则、MRBR 编写、MRBR 批准流程等方面大部分要求高度一致,不存在重大差异。飞机制造商若同时申请 CAAC 和 EASA 的型号合格审定并希望同时开展计划维修要求评审,可向 CAAC AEG 部门提出请求,CAAC AEG 部门将协调 EASA 按照 IMRBPB 政策联合开展评审工作。这为飞机制造商提供了明确的方向和途径,有助于其高效开展型号审定和计划维修要求评审工作。

八、展望

随着航空技术的不断发展和国际航空合作的日益紧密,EASA 和 CAAC 的计划维修要求评审政策可能会持续优化和调整。未来,飞机制造商应持续关注政策动态,加强与各方的沟通协作,不断提升自身在计划维修要求评审方面的能力,以更好地适应不同地区的审定要求,推动航空产业的稳健发展。

新建铁路桥梁工程穿越既有高铁桥梁安全性影响评估

吕忠楷

中铁第六勘察设计院集团有限公司, 天津 300308

摘 要： 依托新建雄商高铁衡水特大桥下穿既有高铁石济客专跨京九铁路特大桥工程, 采用 Midas GTS-NX 有限元数值模拟计算分析了新建铁路桥梁工程施工对既有高铁桥梁变形的影响, 结果表明: 新建雄商高铁衡水特大桥施工引起既有高铁石济客专跨京九铁路特大桥桥墩最大竖向位移为 -0.835mm , 最大横向水平位移为 0.103mm , 最大纵向水平位移为 -1.887m , 所有的变形均小于变形控制值, 确保既有高铁石济客专运营安全。

关 键 词： 铁路桥梁; 穿越; 既有高铁桥梁; 数值模拟; 安全性

Safety Impact Assessment of the New Railway Bridge Project Crossing Through the Existing High-Speed Railway Bridge

Lv Zhongkai

CHINA RAILWAY LIUYUAN GROUP CO., LTD. Tianjin 300308

Abstract： Relying on the new Xiongshang high-speed railway Hengshui large bridge under the existing high-speed railway shiBeijing-Kowloon railway bridge project, The effect of construction on the deformation is analyzed by Midas GTS-NX, The results show that the maximum vertical displacement of the existing high-speed bridge caused in the construction of the new high-speed railway is -0.835mm , The maximum lateral horizontal displacement is 0.103mm , The maximal longitudinal horizontal displacement was -1.887m , All the deformations are less than the deformation control value, Ensure the safety of the existing high-speed rail passenger operation.

Keywords： railway bridge; crossing; existing high-speed rail bridge; numerical simulation; safety

随着我国城镇化建设的持续推进和高速铁路网不断发达完善, 邻近既有铁路营业线施工建设需求与工程数量日益增多, 其中新建铁路工程穿越既有高铁的情况越来越普遍^[1-6]。由于高速铁路运营速度快, 邻近施工引起的变形可能会对高速铁路运营产生较大的影响, 加上高铁对变形的限制要求比较严苛, 本文依托新建雄商高铁衡水特大桥下穿既有高铁石济客专跨京九铁路特大桥工程, 针对新建铁路桥梁工程穿越既有高铁桥梁安全性影响进行评估, 确保高铁的运营安全。

一、工程概况

新建雄商高铁衡水特大桥于 777#~778# 墩下穿既有高铁石济客专跨京九铁路特大桥 49#~50# 墩, 交叉角度 88° , 桥下净空约 7.07m 。衡水特大桥 777# 墩承台距跨京九铁路特大桥 50# 墩承台边缘最小距离为 8.16m ; 衡水特大桥 778# 墩承台距跨京九铁路特大桥 50# 墩承台边缘最小距离为 10.23m 。平面位置关系图如图 1 所示。

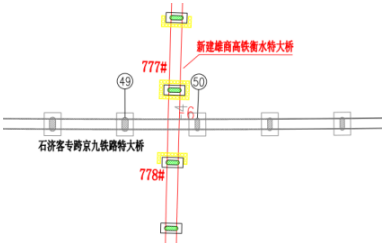


图 1 新建衡水特大桥下穿跨京九铁路特大桥平面关系图

新建雄商高铁衡水特大桥为双线有砟轨道, 下穿处衡水特

大桥上部结构采用 32m 双线简支梁, 下部结构桥墩采用双线圆端形实体墩, 基础均采用钻孔桩基础, 每个桥墩 8 根基桩, 桩径 1.0m 。既有高铁石济客专跨京九铁路特大桥为双线有砟轨道, 下穿处跨京九铁路特大桥上部结构为 32m 双线简支箱梁, 下部结构桥墩采用双线圆端形实体墩, 基础均采用钻孔桩基础, 每个桥墩 12 根基桩, 桩径 1.0m 。

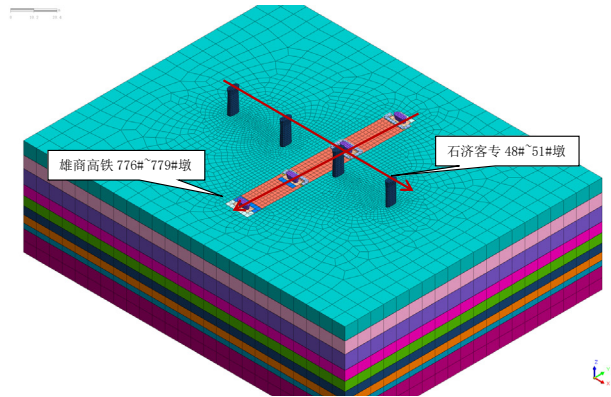
二、有限元模型分析

(一) 三维有限元建模

本文采用有限元分析软件 Midas GTS-NX 建立三维有限元模型进行计算分析, 模型范围长度为 200m , 宽度为 160m , 深度为 60m 。土体采用修正摩尔-库伦模型进行模拟土体的本构关系, 桥梁的桩基、钻孔支护桩采用梁单元模拟, 其他结构均采用实体

单元模拟。铁路桥梁的上部结构以荷载形式加载在桥墩上进行模拟，运营荷载采用均布荷载加载在桥墩上进行模拟。土体水平四周边界采用水平约束，底边界采用竖向约束。三维空间有限元模型如图2所示。

计算范围内的土层以黏土、粉土、粉砂和粉质黏土为主。有限元计算采用的土层参数取值如表1所示。



> 图2 三维有限元模型图

表1 计算土层物理力学参数表

土层编号	土层名称	层厚 (m)	深度 (m)	天然容重 (kN/m ³)	内摩擦角 (度)	粘聚力 (kN/m ²)	压缩模量 (MPa)
1	黏土	8.7	8.7	18.3	10.6	38.2	5.6
2	粉土	7.2	15.9	19.0	26.3	15.1	8.88

3	粉砂	8.5	24.4	18.7	30.0	2.0	9
4	粉砂	5.9	30.3	19.0	30.0	2.0	15
5	粉质黏土	5.6	35.9	19.1	10.7	31.0	8.9
6	粉砂	4.8	40.7	19.0	30.0	2.0	18
7	粉质黏土	4.4	45.1	19.2	15.0	32.0	12
8	粉砂	3.1	48.2	19.0	30.0	2.0	20
9	粉质黏土	11.8	60.0	20.0	18.0	32.0	21

(二) 计算工况及计算步骤

在 Midas GTS-NX 有限元软件中按照实际施工过程进行模型计算。计算步骤为：平衡地应力并位移清零→建立既有高铁石济客专相关结构→位移清零→桩基施工→防护桩施工→基坑开挖→下部结构施工→地基加固、支架预压、梁体浇筑、支架拆除、运营阶段。

(三) 计算结果分析

新建雄商高铁衡水特大桥引起的石济客专跨京九铁路特大桥桥墩累计附加竖向变形、横向及纵向水平变形结果如表2所示。计算结果中，竖向变形结果正值表示隆起，负值表示沉降；横向水平变形结果正值表示指向铁路左侧（面向大里程），负值表示指向铁路右侧；纵向水平变形结果正值表示指向铁路大里程，负值表示指向铁路小里程。以下结果均是施工引起的桥墩累计附加变形，不包括铁路桥梁工后沉降。

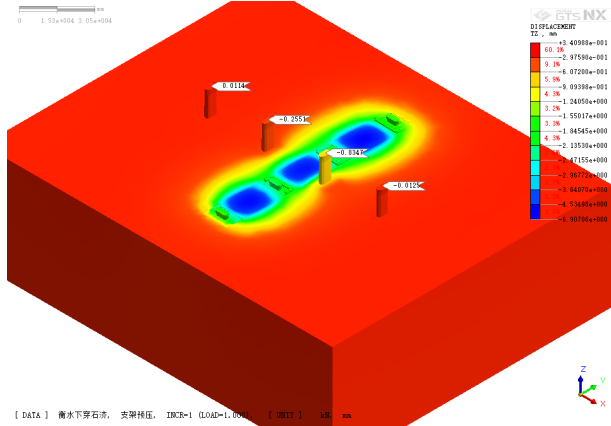
表2 各施工阶段累计附加变形值表

变形值	墩号	施工阶段								
		桩基施工	防护桩施工	基坑开挖	下部结构施工	地基加固	支架预压	梁体浇筑	支架拆除	运营阶段
竖向变形	48	0.001	0.003	0.001	0.005	0.005	0.011	0.012	0.017	0.020
	49	-0.014	-0.048	-0.024	-0.064	-0.070	-0.255	-0.242	-0.215	-0.242
	50	-0.039	-0.138	-0.071	-0.185	-0.204	-0.835	-0.780	-0.607	-0.684
	51	0.000	-0.001	-0.002	-0.001	-0.002	-0.012	-0.012	-0.004	-0.004
横向水平	48	0.000	-0.002	-0.005	-0.004	-0.004	-0.002	-0.003	-0.010	-0.011
	49	-0.003	0.015	0.022	0.002	0.002	-0.017	-0.016	-0.068	-0.073
	50	0.018	0.103	0.099	0.099	0.100	0.094	0.096	0.018	0.032
	51	0.000	0.001	-0.002	-0.002	-0.002	0.002	0.002	-0.007	-0.008
纵向水平	48	0.005	0.007	0.012	0.012	0.010	-0.048	-0.042	0.003	0.002
	49	0.055	0.167	0.099	0.238	0.251	0.626	0.607	0.690	0.772
	50	-0.071	-0.273	-0.149	-0.372	-0.416	-1.887	-1.753	-1.089	-1.220
	51	-0.013	-0.031	-0.024	-0.046	-0.046	-0.018	-0.025	-0.103	-0.113

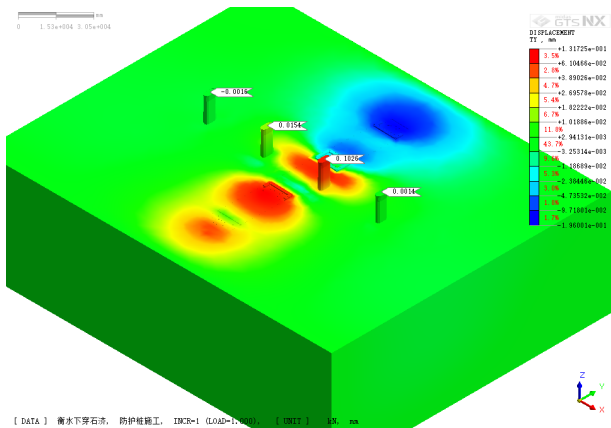
计算结果表明：新建雄商高铁衡水特大桥施工引起的既有高铁石济客专跨京九铁路特大桥桥墩累计附加竖向变形最大值为 -0.835mm，发生在50# 桥墩支架预压阶段，如图3所示；

累计附加横向水平变形最大值为0.103mm，发生在50# 桥墩防护桩施工阶段，如图4所示；累计附加纵向水平变形最大值为 -1.887mm，发生在50# 桥墩支架预压阶段，如图5所示。累计

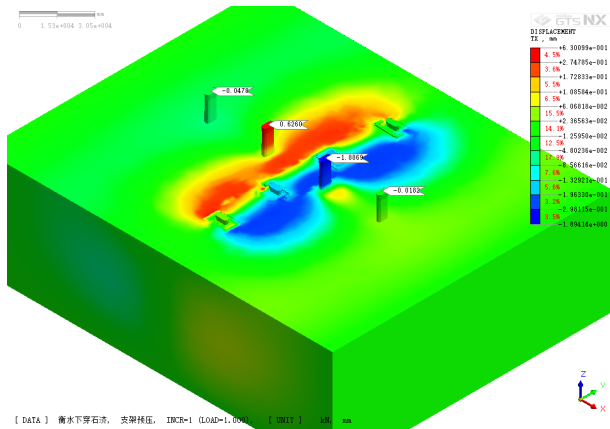
附加竖向变形最大值、横向及纵向水平变形最大值均满足《邻近铁路营业线施工安全监测技术规程》(TB 10314-2021)中规定的高速铁路桥梁墩台 $\pm 3\text{mm}$ 控制值要求^[9]。



> 图 3 支架预压阶段竖向变形云图



> 图 4 防护桩施工阶段横向水平变形云图



> 图 5 支架预压阶段纵向水平变形云图

三、结论

新建雄商高铁衡水特大桥下穿既有高铁石济客专跨京九铁路特大桥工程,本文依托该实际工程,通过现场调研、有限元模拟计算和理论分析,探讨了新建雄商高铁衡水特大桥施工对既有高铁石济客专跨京九铁路特大桥安全性的影响,结果表明:新建雄商高铁衡水特大桥施工引起的既有高铁石济客专跨京九铁路特大桥桥墩累计附加最大竖向变形为 -0.835mm 、最大横向水平变形为 0.103mm 、最大纵向水平变形为 -1.887mm ,所有变形均小于变形控制值 $\pm 3\text{mm}$,同时施工期间应加强对既有高铁桥墩变形监测,确保既有高铁石济客专运营安全。

参考文献

[1] 谢浩. 新建路基小角度斜穿对既有高铁桥梁的影响研究 [J]. 路基工程, 2020, (05): 18-22.
[2] 解建超. 新建铁路下穿对运营高铁桥梁变形影响研究 [J]. 铁道勘察, 202, 47(03): 51-55+60.
[3] 张华. 新建铁路桥梁斜穿既有高铁对高铁桥墩基础的影响分析 [J]. 山西建筑, 2025, 51(03): 141-145.
[4] 孙宗磊, 李悄. 石济客专桥梁下穿京沪高铁沉降影响分析 [J]. 铁道工程学报, 2013, 30(02): 53-57.
[5] 王景春, 刘旭菲, 侯卫红. 新建桥梁对运营高铁基础变位的影响研究 [J]. 铁道工程学报, 2017, 34(07): 60-65+83.
[6] 蒋小锐, 黄杰, 李楠. 城际铁路明挖隧道下穿既有高铁施工控制技术 & 标准探讨 [J]. 铁道标准设计, 2020, 64(06): 104-111.
[7] 吕晓楠. 新建铁路下穿既有高速铁路桥梁施工风险评价研究 [D]. 西南交通大学, 2018.
[8] 曾宪明. 重载铁路下穿京沪高铁的路基结构设计研究 [J]. 路基工程, 2013, (06): 165-169.
[9] 国家铁路局. 邻近铁路营业线施工安全监测技术规程: TB 10314—2021[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2018.

中国3000米级超深水脐带缆光连接器（CFT） 关键技术突破与应用

吴勇强

上海蓝梭电子科技有限公司，上海 201906

摘 要： 本文聚焦于3000米级超深水脐带缆光连接器（CFT）关键技术与应用。鉴于其在深海能源、科研、国防等领域的重要性，为突破技术封锁展开研究。在关键技术上，实现了光缆抗蠕变密封、光纤高压穿舱、密封橡胶改性及与金属粘结等技术突破。完成了总体结构设计、材料选型与制造工艺研究。经耐压、密封、光学性能等测试，性能可靠，在陵水25-1气田项目中成功应用。研究成果不仅填补国内空白，还为深海能源开发、海底观测网建设及海洋国防等领域提供有力支撑。

关 键 词： 脐带缆光连接器（CFT）；关键技术；性能测试；应用案例

Key Technical Breakthroughs and Applications of China's 3000-meter Ultra-deepwater Umbilical Cable Fiber-optic Connector (CFT)

Wu Yongqiang

Shanghai Lansuo Electronic Technology Co., Ltd. Shanghai 201906

Abstract： This article focuses on the key technology and applications of the 3000-meter ultra-deepwater umbilical cable fiber-optic connector (CFT). Given its importance in deep-sea energy, scientific research, defense, and other fields, research has been conducted to break through technological blockades. In terms of key technologies, breakthroughs have been achieved in creep-resistant sealing of optical cables, high-pressure fiber optic cable penetration, modification of sealing rubber, and bonding with metal. The overall structural design, material selection, and manufacturing process research have been completed. After undergoing pressure resistance, sealing, and optical performance tests, the product has proven to be reliable and has been successfully applied in the Lingshui 25-1 gas field project. The research results not only fill a domestic gap but also provide strong support for deep-sea energy development, underwater observation network construction, and marine defense.

Keywords： umbilical cable fiber-optic connector (CFT); key technology; performance testing; application cases

引言

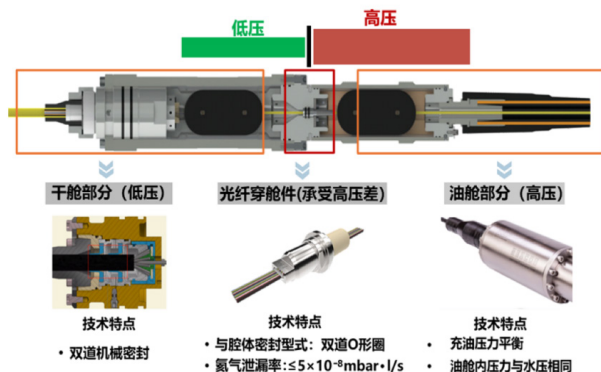
在深海开发领域，3000米级超深水脐带缆光连接器（CFT）至关重要。它是深海能源开采、科研观测及国防建设等的关键装备，实现自主研发对突破技术封锁意义重大。目前，国外在CFT技术上领先，相关企业产品优势显著，占据主要市场。国内虽有进展，但在关键技术、产品性能和可靠性等方面仍存差距，如密封技术、材料性能等问题亟待解决。本研究旨在突破CFT关键技术，实现国产化应用，填补国内空白。通过对密封、穿舱、粘结等关键技术的创新研究，以及产品设计、制造和测试，提升我国在该领域的技术水平，为深海开发提供有力支撑。

一、CFT 技术概述

（一）CFT 的含义

CFT 即超深水脐带缆光连接器，是深海工程中的关键设备。它主要用于连接脐带缆内干式环境光缆和充油缆内湿式环境光缆，实现光缆干式低压环境到深海装备充油高压环境的过渡连

接。在深海能源开发、海底观测网建设、海洋国防等领域，CFT起着稳定传输信号和保障系统运行的关键作用。但该技术研发制造难度大，我国此前依赖进口，后通过自主研发突破了技术封锁，成功应用于陵水25-1气田项目，推动了我国海洋工程技术的发展。



> 图1-1 CFT 结构及工作原理

（二）CFT 应用前景

深海领域探索的持续推进，使3000米级超深水脐带缆光纤连接器（CFT）的应用前景极为广阔。在深海能源开发领域，CFT是关键基础。随着陆地能源渐趋紧张，深海油气资源成为重要战略储备。CFT可在超深水环境下，稳定地为深海油气田勘探、开采设备传输信号，保障设备间的高效通信和精准控制，有力推动深海能源的高效开发，提升能源开采效率。在海底观测网建设方面，CFT不可或缺。通过在海底部署各类传感器，借助CFT技术，能将海量的海洋环境数据实时、稳定地传输至陆地，为海洋生态、地质、气象等多学科研究提供丰富一手资料，助力科学家深入了解海洋变化规律。于海洋国防建设而言，CFT是提升海洋管控能力的重要支撑。它可确保水下监测、通信系统稳定运行，保障信息的可靠传输，进而提升国家的海洋安全防御水平，维护国家海洋权益。

（三）CFT 研制的意义

3000米级超深水脐带缆光纤连接器（CFT）的研制具有多方面重要的必要性和意义，主要体现在保障国家安全、顺应国家政策以及推动产业升级三个关键层面。

1. 保障国家能源和国防安全

在深海资源开发领域，石油与天然气行业对海底通信系统的性能和稳定性要求极高，CFT技术作为深海作业中不可或缺的技术支撑，其光纤连接的可靠性对海底通信系统的稳定运行至关重要。过去我国在该技术上依赖国外供应商，而CFT技术涉及军事敏感领域，国外的技术封锁和供应链中断，严重威胁海底通信系统建设与维护，可能导致深海油气项目停滞，对国家能源安全和海洋资源开发构成严峻挑战。因此，自主研发CFT技术，掌握核心科技，对保障海洋资源开发独立性、维护国家海洋权益和国防安全意义重大。

2. 契合国家政策导向

国家高度重视深海通信技术，出台了一系列支持政策。2024年政府工作报告提出大力发展海洋经济、建设海洋强国；科技部发布的国家重点研发计划，明确支持“深海和极地关键技术与装备”专项。这些政策为CFT技术研发提供了有力的政策支持和引导，鼓励加大研发投入，推动产学研结合，加速技术突破和产业化进程。

3. 推动产业升级与提升竞争力

CFT技术是水下脐带缆系统的核心，实现其本地化研发和生产，有助于企业从产品供应商向综合系统解决方案服务商转变，

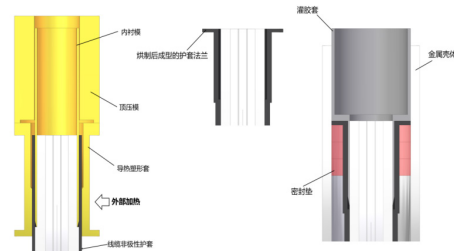
提升高端制造能力，推动产业向高层次发展。产业升级能够激发技术创新，促进产业集群形成，优化资源配置，带动产业链协同发展，吸引高端人才和投资，提升区域经济竞争力和产业多元化水平，增强企业在国内外市场的竞争力，实现可持续发展。

二、超深水脐带缆光连接器关键技术

在3000米级超深水脐带缆光连接器（CFT）的研发中，攻克了三项关键技术，为其在深海环境稳定运行奠定基础。

（一）光缆抗蠕变密封技术

为解决脐带光缆在深海长期受压导致的密封问题，设计了独特工艺和结构。采用护套“烘制法兰”工艺，给光缆护套整形并引入刚性金属套支撑，防止密封件因护套蠕变失效，还通过特种硫化封装解决非极性护套材料硫化难题。同时，设计多级层叠式组合密封结构，内部用V型密封圈增加密封接触面积和自密封功能，外部采用“密封垫片-PEEK斜面衬垫环”结构加强气液阻隔。

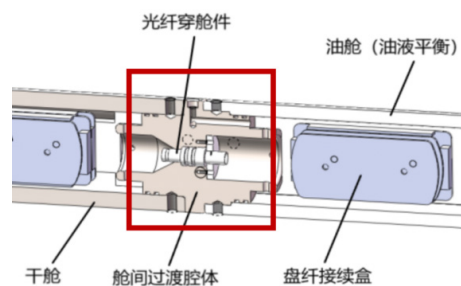


> 图2-1 烘制法兰机械压紧式密封工艺图

此外，利用COMSOL软件和蠕变理论预测光缆在深海环境的蠕变寿命，保障25年使用需求。

（二）光纤高压穿舱技术

光纤穿舱件位于CFT干舱和油舱间，承受巨大压力差，还需保护易弯折的光纤。为此设计单个“中”字型结构穿舱件，中部两道密封圈实现腔体密封，轴向均布16芯光纤穿舱孔，两端设缓冲孔避免应力集中，并借助有限元分析优化结构，确保3000米深海工作安全。在密封方法上，高压湿端用树脂弹性复合灌封密封并缓冲应力，低压干端用玻璃烧结刚性灌封阻隔纵向压力。同样通过



> 图2-2 CFT 光纤穿舱件安装位置

COMSOL软件和蠕变理论对穿舱件进行蠕变寿命预测，确保满足25年使用要求。

（三）密封橡胶的改性及与金属粘接技术

为使密封橡胶适应深海环境，先结合性能测试实验改进橡胶配方、优化制造工艺，通过水压、疲劳和加速老化试验，利用ABAQUS软件构建本构模型，探索优化和抗疲劳措施，并预测其蠕变、疲劳和老化寿命。在粘结技术方面，研究“间-甲-白-钴”粘体系确定黏合剂，再研究界面处理方法、喷涂工艺和粘结处理工艺，提高橡胶与金属的粘接性能，确保粘接层强度和稳

定性。

这三项关键技术从不同方面提升了 CFT 的性能和可靠性，解决了深海应用的难题，为我国在超深水脐带缆光连接器领域实现自主研发和应用提供了核心技术支撑，使 CFT 能更好地服务于深海能源开发、海底观测等海洋工程。

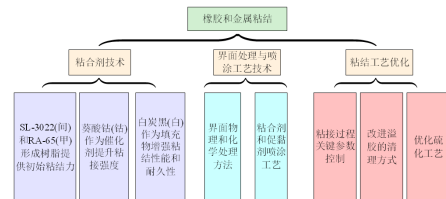


图2-3 密封橡胶与金属粘接技术研究思路

三、超深水脐带缆光连接器设计与制造

超深水脐带缆光连接器（CFT）的设计与制造是一项复杂且极具挑战性的工作，涉及总体结构设计、材料选型以及制造工艺等多个关键环节。

（一）总体结构

CFT 产品的主体结构由干、湿两个舱段组成。首先，依据该产品在 UTA/UTH 中的布放空间位置、充油管接口的材料和结构尺寸确定舱体材料及外形结构尺寸，并确认产品的安装方式，并以此作为设计依据；其次，按照材料选型及壳体外形尺寸通过仿真校核确定产品的壁厚及相应结构；第三，针对相关的标准设置密封结构并确定密封弹性件及结构件的材料；第四，完成内部器件的材料选型；第五，细化部件设计，特别是密封结构设计。

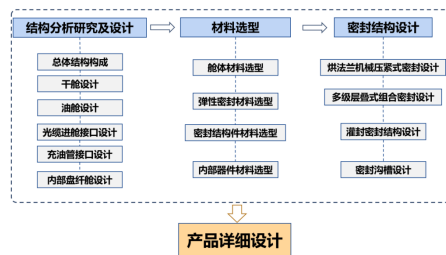


图3-1 产品的总体技术路线图

本产品应用深度大，应用年限长，产品长期在海水环境下能够稳定工作是研制核心，其关键技术是光缆密封技术和光纤密封穿舱技术，产品的总体技术路线详见下图。

（二）详细设计

1. 光缆密封设计

本项目采用 HDPE 护套的 16 芯单模光缆，因其为非极性材料，光缆进舱处采用多道多层组合密封结构。通过护套“烘制法兰”工艺，套入刚性金属套筒，防止护套蠕变导致密封失效。设计多级层叠式组合密封垫，增强密封效果。利用特种硫化封装，使光缆护套与金属壳体形成一体化密封缓冲结构。在光缆进干舱处，对光纤复合灌封，避免气液泄漏，确保整体密封可靠性。

2. 光纤穿

舱设计

光纤穿舱件位于干、油舱间，承受较大压力差，且



图3-2 光缆特种硫化封装

要保护易弯折的光纤。其采用“中”字型结构，中部两道密封圈实现腔体密封，轴向均布 16 芯穿舱孔，两端设台阶孔缓冲应力。进行力学仿真和强度校核，保证在 45MPa 单侧压力下安全。采用复合特种灌封，油液压力端弹性灌封缓冲应力，干端刚性灌封阻隔纵向压力。

3. 油管接

口设计

油舱终

端需适配 1-4

根 PBOF 充油

管输出，并与

MK II 充油管接

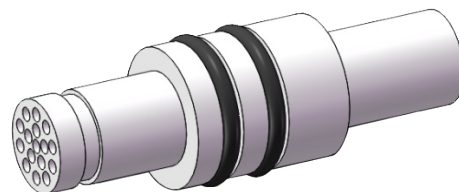


图3-3 CFT 光纤穿舱件结构示意图

口匹配。因此将油舱终端设计为可更换拆卸的端盖，径向两道密封与舱体密封。根据使用需求，可设置 1-4 个充油管出口，出口尺寸严格按照 MK II 相关技术文件设计，满足实际使用要求。

4. 盘纤及熔接设计

光纤穿舱件两端引出的光纤，分别在干舱、油舱与脐带光缆及充油管侧光纤在熔纤盒中熔接。熔纤盒除固定熔接管外，还整理余长光纤。两处熔纤盒均为双层结构，这种设计优化了光纤在器件中的排布，有利于提高空间利用率和信号传输稳定性。

（三）材料选型

材料的选择直接关系到 CFT 在深海恶劣环境中的性能和使用寿命。舱体材料选用 S32750 超双相不锈钢，这种材料具备良好的抗压、耐腐蚀性能，能够承受深海的高水压和海水的侵蚀。内部器件材料的选型也极为关键，需根据各器件的功能和工作环境要求，选择具有相应特性的材料，以保障 CFT 整体性能的可靠性。例如，对于密封材料，选用氟橡胶，其密封性能良好，能有效应对深海环境中的压力和腐蚀。

（四）制造工艺

零部件加工工艺是 CFT 制造的重要环节。在加工过程中，对精度要求极高，需采用先进的加工设备和工艺方法，确保每个零部件的尺寸精度和表面质量符合设计要求。例如，光纤穿舱件的加工，其复杂的结构和高精度的要求，需要通过精密加工技术来实现。装配与调试工艺同样不容忽视，装配过程严格按照工艺流程进行，确保各个零部件的安装位置准确无误。调试阶段，对 CFT 的各项性能进行全面检测和调整，如密封性能、光学性能等，确保产品达到设计标准，能够在深海环境中稳定可靠地运行。

四、CFT 性能测试与应用实践

（一）CFT 性能测试

1. 性能测试指标与方法

CFT 性能测试涵盖多方面关键指标与对应方法。耐压性能测试模拟深海高压环境，检测产品在规定压力下的结构完整性，通过专用压力设备施加压力并观察是否有损坏、变形等。密封性能测试以氦气泄漏率为指标，采用高精度检测设备，检测产品是否有泄漏，确保满足 $\leq 5 \times 10^{-8}$ mbarl/s 的氦气泄漏率要求。光学性能测试则针对插入损耗、串扰等参数，使用专业光学检测仪器在 1310/1550/1625nm 波长下测量，保证信号传输的低损耗和稳定

性，各项测试共同保障 CFT 能在深海稳定可靠运行。

2. 测试数据分析与结论

对 CFT 本地化设计产品与 Siemens、TeledyneODI、TE Seacon 产品的测试数据进行对比。在工作温度上，本地化设计为 -10℃ -50℃，与部分国外产品接近。工作水深方面，本地化设计≥3000 米，国外产品≥4000 米。设计寿命本地化设计≥25 年，国外多为≥30 年。插入损耗、串扰等光学性能指标，本地化设计与国外产品相当，均能满足≤0.25dB（穿舱本体）、≤0.1dB（熔接接头）、≤-60dB（串扰）的要求。整体来看，本地化设计产品性能有竞争力，但在部分指标上与国外仍有差距，如表 4-1。

表 4-1 国内外 CFT 技术参数对比

性能指标	本地化设计	Siemens	Teledyne ODI	TE Seacon
工作温度	-10℃ - 50℃	-4℃ - 50℃	-10℃ - 50℃	-5℃ - 40℃
工作水深	≥ 3000m	≥ 4000m	≥ 4500m	≥ 4000m
设计寿命	≥ 25 年	≥ 30 年	≥ 25 年	≥ 25 年
插入损耗—穿舱本体 @1310/1550/1625nm	≤ 0.25dB	≤ 0.25dB	≤ 0.25dB	≤ 0.25dB
插入损耗—熔接接头 @1310/1550/1625nm	≤ 0.1dB	≤ 0.05dB	≤ 0.1dB	≤ 0.05dB
串扰—每个光路 @1310/1550/1625nm	≤ -60dB	≤ -60dB	≤ -60dB	≤ -60dB
最大光纤芯数	32 芯	48 芯	8 芯	32 芯
壳体材料	S32750 超双相不锈钢	SSDS	Ti GR2/316L	Ti GR2/316L
密封材料	氟橡胶	丁腈橡胶	丁腈橡胶	丁腈橡胶 / 氟橡胶
抗拉强度	≥ 2500N	≥ 2500N	≥ 2500N	≥ 2500N

（二）CFT 在陵水 25-1 气田项目中的应用

1. 应用背景

陵水 25-1 气田位于南海北部琼东南盆地乐东凹陷东北部，距三亚约 132km，在陵水 17-2 半潜平台西南约 70km 处，水深 890-970m。该项目 CFT 原由贝克休斯采购自英国西门子公司，但因英方出口管制未获批，其于 2023 年 9 月 14 日申诉。即便获批，最早 2024 年 3 月 25 日才能发货，这使工期紧张且影响其他项目，给 2024 年 9 月 30 日投产带来风险，因此寻求 CFT 本地化解决方案势在必行，这也是本研发的最初的动力。

2. 应用效果分析

在实际应用过程中，CFT 展现出了良好的性能和可靠性。在耐压方面，成功经受住了气田所在海域约 900 米水深的水压考验，未出现任何结构损坏或性能下降的情况。这得益于其优化的结构设计和高性能的材料选择，能够有效抵御海水的巨大压力。在密封性能上，氦气泄漏率始终保持在极低水平，确保了内部设

备的干燥和安全，防止了海水的侵入。先进的密封技术和工艺保证了 CFT 在复杂海洋环境下的密封性，为信号

传输提供了稳定的环境。在光学性能方面，稳定地实现了光信号的低损耗传输，保证了数据的准确和及时传输，满足了气田生产和监测的需求。

通过在陵水 25-1 气田项目中的实际应用，CFT 的性能和可靠性得到了充分验证。这不仅为该气田的开发和生产提供了有力支持，也为国产 CFT 在其他深海项目中的推广应用积累了宝贵经验。未来，随着技术的不断进步和完善，国产 CFT 有望在更多深海领域发挥重要作用，为我国的深海开发事业做出更大贡献。

五、结论与展望

在 3000 米级超深水脐带缆光连接器（CFT）的研究中，我国成功突破关键技术。研发出烘制法兰工艺及组合密封结构解决密封难题，创新光纤隔离密封方法实现低损穿舱，优化橡胶配方及粘结工艺提升密封性能。产品经测试符合标准，获 DNV 认证并应用于陵水 25-1 气田项目，打破国外技术垄断。

展望未来，CFT 技术将朝着更高性能、更深海应用发展，提升耐压、密封和光学性能。同时拓展应用领域，在深海能源开发、海底观测网建设和海洋国防等领域发挥更大作用。建议持续加大研发投入，加强产学研合作，培养专业人才，完善产业链，推动我国海洋工程技术迈向新高度。

参考文献

[1]Kim Y K.Optical Waveguide Technology and and Applications[M]. IntechOpen: 2024-09-11. DOI:10.5772/INTECHOPEN.114644.

[2]Yang Z ,Shen J Yan C , et al. Failure analysis and numerical drive structure optimization design of Cr12Mo1V1 electrical connection die [J]. Engineering Failure Analysis, 2024, 160 108211-.

[3]Sun G ,Shan B ,Kang J , et al. Flexural behavior of steel-UHPC composite beams with different connectors in negative moment [J]. Journal of Constructional Steel Research, 2024, 216 108617-.

[4]Liang L T ,Cheng X ,Yu M , et al. Design of efficient and compact adiabatic couplers based on adiabatic mode evolutions [J]. Optics and Laser Technology, 2024, 174 110659-.

[5]Yamazaki K ,Nozaki K ,Matsuura Y , et al. Wiring connector-terminated cables based on manipulation planning with collision-free EMD net [J]. Robotics and Autonomous Systems, 2024, 175 104673-.

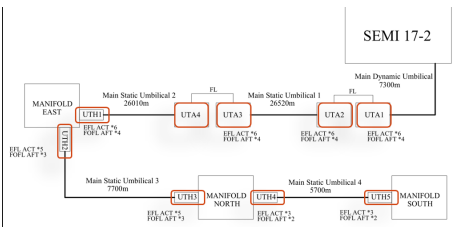


图 4-1 陵水 25-1 气田开发工程项目脐带缆 CFT 需求情况

汽车底盘用超高强度钢及铸造铝合金的应用研究

李子曰¹, 薛丰盛³, 朱新德^{1,2*}, 江亚³, 武玉英^{1,2}, 唐长刚³, 糜仁泽³, 石玉勇³

1. 山东大学材料科学与工程学院, 山东 济南 250061

2. 建新赵氏集团有限公司博士后工作站, 浙江 宁波 315612

3. 宁波建新底盘系统有限公司, 浙江 宁波 315821

摘 要 : 随着汽车工业的不断发展, 汽车减重与减少尾气污染将是未来大势所趋。汽车底盘作为汽车的基础部件, 对汽车性能和质量有着重要影响。以超高强度钢为代表的材料广泛应用于汽车底盘, 同时, 铸造铝合金也被广泛应用在新能源汽车底盘中, 不仅解决汽车尾气带来的环境污染问题, 也为汽车轻量化提供了新的方案。基于国内外的大量研究, 本文简要介绍了汽车底盘用超高强度钢的种类及铸造铝合金对汽车底盘轻量化的作用, 并对超高强度钢和铝合金的发展趋势进行了展望。

关 键 词 : 汽车底盘; 超高强度钢; 铝合金; 轻量化; 力学性能

Research on the Application of Ultra-High Strength Steel and Cast Aluminum Alloy in Automobile Chassis

Li Ziyue¹, Xue Fengsheng³, Zhu Xinde^{1,2*}, Jiang Ya³, Wu Yuying^{1,2}, Tang Changgang³, Mi Renze³, Shi Yuyong³

1. School of Materials Science and Engineering, Shandong University, Jinan, Shandong 250061

2. Jianxin Postdoctoral Workstation of Zhao Group Co., LTD. Ningbo, Zhejiang 315612

3. Ningbo Jianxin Chassis System Co., Ltd. Ningbo, Zhejiang 315821

Abstract : With the continuous development of the automobile industry, the automobile weight reduction and reduce the exhaust pollution will be the general trend of the future. As the basic part of automobile, automobile chassis has an important influence on the performance and quality of automobile. Materials represented by ultra-high strength steel are widely used in automobile chassis. At the same time, casting aluminum alloy is also widely used in the chassis of new energy vehicles, which not only solves the environmental pollution problem brought by automobile exhaust, but also provides a new solution for automobile lightweight. Based on a large number of studies at home and abroad, this paper briefly introduces the type of ultra-high strength steel and the role of cast aluminum alloy in automobile chassis, and prospects the development trend of ultra-high strength steel and aluminum alloy.

Keywords : automotive chassis; ultra-high strength steel; aluminum alloy; lightweight; mechanical properties

前言

超高强度钢是指在室温下, 一种拉伸强度高于1479 MPa、屈服强度高于1380 MPa的合金钢^[1]。采用超高强度钢可以实现车辆的轻量化, 进而改善车辆的燃油经济性并且降低碳排放量, 在提高汽车的抗碰撞能力和安全性方面具有重要意义。底盘作为车辆的关键部件, 其自重占汽车总质量的30 %以上, 其轻量化不但能减少燃油消耗, 而且能提高车辆的乘坐舒适性, 因此实现汽车底盘的轻量化是非常重要的。目前汽车轻量化设计的途径有三种: (1) 结构优化设计 (2) 有限单元分析技术 (3) 新型材料的应用^[2], 其中在新型材料的应用中, 采用轻质材料是汽车轻量化的一种重要措施, 超高强度钢与其他轻质材料相比, 焊接性能好, 弹性模量高, 刚性好, 抗冲击性能好, 性价比高, 易于购买, 耐撞击, 抗疲劳强度高^[3], 将其应用在汽车底盘中可降低汽车的整体质量。各类汽车板材抗拉强度与延伸率之间关系如图1所示。

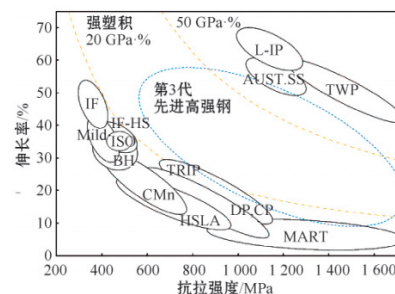


图1 各类常规与先进高强度钢强度与伸长率数据汇总^[4]

同样作为轻质材料的铝合金也具有强度高的特性，新能源汽车底盘常用铸造铝合金主要有 Al-Si 系合金和 Al-Mg-Si 系合金将其应用在汽车底盘中，能很大程度地减少汽车自重，减重效果好，且不易腐蚀，回收难度低，利用率高，具有绿色环保的优势。

本文对当前应用在汽车底盘上的高强低合金钢（HSLA）、相变诱发塑性钢（TRIP）、铁素体贝氏体高强度钢（FB）的组织性能、生产工艺技术方面以及新能源汽车铝合金轻量化发展现状进行了综述。

一、超高强度钢

（一）高强度低合金钢（HSLA）

高强度低合金钢因其优越性能和低成本，在汽车底盘用钢中应用广泛。其主要成分为析出强化铁素体，含少量珠光体和贝氏体。与双相钢相比，高强度低合金钢的精冲性能更佳，这得益于其极少的硬质相。低碳和低合金含量使其具备更高的延展性、韧性和可焊性。此外，低合金含量和无需成形后热处理的特点，使其成为汽车底盘应用的理想选择。使用这种钢材可直接提升汽车部件的强度并实现轻量化。目前，热轧 Docol 高强度低合金钢已在底盘制造中得到应用。

双相高强度低合金钢的塑性和延展性优于传统高强度低合金钢，但两者的拉伸强度相近。为降低碳含量并提升焊接性和强度，钢中添加了合金元素 Cu，形成 Cu 沉淀相。Cu 析出相可显著提高钢材强度，从而替代碳素强化，使钢材在保持高强度的同时，无需预热或仅需低温预热即可焊接，降低了生产成本并改善了焊接性能。此外，Cu 的加入增强了钢材的耐蚀性^[6]。居殿春等人研究了硼元素对高强度低合金钢机械性能的影响，发现固溶硼能有效控制 $\gamma \rightarrow \alpha$ 相变，抑制珠光体形成，增加贝氏体含量并细化亚结构，从而提升强度并保持低温韧性^[6]。杨红来等人开发的细晶粒低合金高强钢 HC420LA，具有良好的成形性和焊接性，适用于汽车底盘^[7]。李堃等人进一步优化了 HC420LA 的生产工艺，通过调整 C、Si、Mn 和 Nb 的含量、降低退火温度以及提高冷轧压下率来增强其强度^[8]。目前，我国通过引入先进生产工艺，改进了微合金钢的冶炼、控轧和控冷技术，钢铁企业和科研机构也在不断研发优质钢种。

（二）相变诱发塑性钢（TRIP）

TRIP 钢由铁素体、贝氏体和残余奥氏体组成，其高强度和高延伸率源于三种组织的合理配比及相变诱发原理。TRIP 钢兼具高强度、高塑性和优异的抗腐蚀性能，因此广泛应用于底盘设计。叶平等人利用 600 MPa 级 TRIP 钢研制车架横梁件，通过结构分析和 CAE 仿真模拟，预计可将钢板厚度减至 1.9 mm 以下，同时显著提升横梁件的耐疲劳性和耐腐蚀性^[9]。化学成分对 TRIP 钢的性能起到了关键作用，李志峰等人认为残余奥氏体量是否稳定受热处理温度及其含碳量的影响^[10]，碳元素控制在 0.10 % ~ 0.20 % 之间可平衡奥氏体的稳定性。硅是影响 TRIP 效应的关键元素，李壮等人研究发现，硅倾向于存在于铁素体中，提高碳的化学位，从而增加残余奥氏体的碳含量和稳定性，同时提升机械稳定性^[11]。史文等人进一步研究表明，随着两相区退火温度升高，残余奥氏体量及其碳含量增加，屈服强度和拉伸强度也随

之提高^[12]。锰作为 TRIP 钢中的重要组分，可以增大奥氏体相区，降低 Ac3、Acl 的相变点及马氏体转变温度，获得适当的奥氏体结构，在 1 %Mn 的作用下，Ms 点可下降 30 °C^[13-14]。添加 Mn 元素可显著改善 TRIP 钢中的奥氏体稳定性及残留奥氏体含量，是影响 TRIP 钢综合性能的关键因素。采用合适的热工艺也可使 TRIP 钢获得更优的性能。

（三）铁素体 - 贝氏体高强度钢（FB）

热轧铁素体 - 贝氏体高强度钢（FB）由非常细小的铁素体和贝氏体晶粒组成。铁素体具有很高的伸长率性能，贝氏体则提升边缘拉伸性。它们的相间硬度差异最小，使 FB 钢的高扩孔率（HHE）性能与拉伸翻边性能得以提升，这两者都是局部成形性的主要衡量指标。与强度相似的高强度低合金（HSLA）钢相比，铁素体 - 贝氏体钢具有更高的总伸长率和更高的加工硬化指数（n 值）^[15]。热轧铁素体 - 贝氏体高强度钢的高局部成形性使其非常适合翻孔成型，且具有高扩孔率、抗拉强度和抗疲劳性能，适用于承受交变载荷的汽车零部件。福特标准 WSS-M1A368-HRFB450 铁素体贝氏体可用于制造汽车底盘中的支撑架、悬挂臂等部件，能够承受较大的载荷和冲击。合金成分对 FB 钢性能有较大影响。热轧过程中，硅的固溶和细晶强化效应明显，其加入提高了屈服强度，减小了两相间硬度差异，从而提升了扩孔率^[16]。Nb 元素的增多，不仅使钢的微观结构得到细化，而且其沉淀相增强了基体组织的强度，减小了铁素体与贝氏体之间的强度差异^[17]。合适的冷却过程可以保证 FB 钢的最优性能。随空冷时间的延长，铁素体体积含量增大，钢的强度降低，延伸率和孔隙率增大；在 150 °C /s 的冷速率下，由于马氏体的相变引起扩孔性显著降低；在 450 °C 的卷制条件下，中间空冷时间 6—9 秒，冷却速率 50 °C /s，可以得到具有良好扩孔性的热轧高扩孔钢^[18]。

二、新能源汽车底盘铝合金轻量化发展现状

（一）铝合金的特性

铝合金是以铝为基体，加入铜、镁、锌和硅等元素制成的轻金属材料。其密度为 2.63—2.85 g/cm³，质量仅为钢的 30%，强度高（ σ_b 为 110—650 兆帕），比刚度接近高合金钢。具有良好的铸造性、塑性加工性、导电性、导热性、耐腐蚀性和可焊性。由于其密度低，碰撞时变形较小，吸收碰撞能量的能力优于钢，从而显著提高了汽车安全性。此外由于铝合金的可回收性高，因此在使用过程中一旦发生损坏或失效后还可以进行回收循环利用，属于绿色环保材料^[19]。

（二）铝合金在新能源汽车底盘中的应用

新能源汽车的传动系统与传统燃油汽车不同，不再依靠发动机进行传动，而是由单电机传动、主电机、轮毂电机传动、双电机双轴传动等3种方案进行传动^[20]。为减轻重量，新能源汽车底盘设计中常用铝合金替代钢材。控制臂、制动钳和转向节等底盘安全件对性能要求较高，因此在轻量化设计中，不仅要减轻重量，还需确保零部件功能，保障整车的主、被动安全。目前，发达国家材料学专家正深入研究合金性能，尝试将T6铝合金转化为RRA状态，以提高其耐腐蚀性、抗拉强度和峰值硬度^[21]。在汽车用铝材中，铸造铝件占八成左右。ZL120、ZL119、YL118广泛应用于新能源汽车底盘中。美国福特汽车公司、路虎、凯迪拉克等汽车品牌都广泛使用铝合金应用在底盘零件中^[22]。

三、未来发展方向探讨

（一）超高强度钢与铸造铝合金发展趋势

随着汽车行业的快速发展，超高强度钢在汽车领域的广泛应用已成为必然趋势，其需求量持续增长。人们对超高强度钢的耐疲劳性、耐腐蚀性和塑性韧性提出了更高要求。由于钢铁材料的合金体系复杂、工艺繁琐且组织性能多样，高通量计算与设计研究有助于推动特殊钢的更新换代。在传统淬火-碳配分工艺基础

上改进的淬火-碳配分-回火工艺，可显著提升钢材的强韧性能，为超高强度钢的研发提供支持。

铝合金冶炼过程能耗大、设备需求多，导致价格远高于钢铁。要扩大铝合金的应用范围，需加大研发投入，优化合金性能并控制成本，以提升市场竞争力，从而实现车辆轻量化目标。目前，国内车身用铝合金板材的研究主要基于现有牌号，尚未开发出具有自主知识产权的新型变形铝合金。与欧美日等国际先进企业相比，我国在铝合金研究方面存在明显差距。因此，应加快铝合金研发进程，优化加工技术，改进铸造和热处理工艺，尽快开发出安全可靠、实用性强的自主知识产权铝合金板材。

四、结语

综上所述，随着科技水平的不断提高和汽车行业的不断进步，对车辆底盘材料的要求不断提高。汽车轻量化可以促进汽车性能的提升，更好地进行生态环境保护，响应国家号召。超高强度钢与铸造铝合金在未来汽车制造行业的发展中将会发挥越来越重要的作用，有助于提高我国汽车工业的国际竞争力。本文通过对汽车底盘用超高强度钢性能、工艺及新能源汽车铝合金轻量化发展现状进行论述，希望未来科技工作者能研发出更多、性能更优的汽车底盘用材，帮助我国汽车制造技术迈入新的台阶！

参考文献

- [1] 牛艳娥, 赵茆沛, 李宁等. 国内外超高强度钢的研究现状及应用[J]. 兵器装备工程学报, 2021, 42(07): 274-279.
- [2] 李云. 汽车车身轻量化设计方法探析[J]. 科技资讯, 2018, 16(17): 79-80.
- [3] 贺敬舒. 高强度低合金钢弯曲性能及耐磨性能研究[D]. 郑州大学, 2022.
- [4] 赵征志, 陈伟健, 高鹏飞等. 先进高强度汽车用钢研究进展及展望[J]. 钢铁研究学报, 2020, 32(12): 1059-1076.
- [5] 张中武. 高强度低合金钢(HSLA)的研究进展[J]. 中国材料进展, 2016, 35(02): 141-151.
- [6] 居殿春, 刘家琪, 卢军辉等. 固溶硼对高强度低合金钢机械性能的影响[J]. 钢铁研究学报, 2010, 22(03): 38-41.
- [7] 杨红来, 杨源华, 张亚君. 低合金高强度冷轧产品HC420LA的研制与开发[J]. 江西冶金, 2020, 40(03): 18-22.
- [8] 李莹, 厚健龙, 向华等. 低合金冷轧高强度HC420LA生产工艺优化[J]. 河南冶金, 2021, 29(05): 28-30.
- [9] 叶平, 张梅, 苏钰等. TRIP钢在汽车底盘结构件中的应用[J]. 汽车工艺与材料, 2006, (09): 23-25+27.
- [10] 李志峰, 符仁钰, 马娟等. 热处理工艺对高强度TRIP钢组织与性能的影响[J]. 上海金属, 2011, 33(06): 10-14+27.
- [11] 李壮, 王铁利, 曹仁焕等. 硅、锰合金元素含量对TRIP结构钢力学性能的影响[J]. 东北大学学报, 1999, (03): 79-82.
- [12] 史文, 李麟, 符仁钰. 两相区退火对不同硅含量TRIP钢残留奥氏体和力学性能的影响[J]. 金属热处理, 2003, (03): 10-14.
- [13] 马鸣图. 双相钢-物理和力学冶金[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1988: 64.
- [14] 方鸿生, 冯春, 郑燕康等. 新型Mn系空冷贝氏体钢的创制与发展[J]. 热处理, 2008, (03): 2-19.
- [15] 王刚, 叶盛薇, 孙自来等. 热轧酸洗高扩孔性铁素体贝氏体钢板的应用[J]. 汽车工艺与材料, 2014, (08): 60-63+67.
- [16] 郭子峰, 张衍, 李秋寒等. Si对580 MPa级热轧高扩孔钢组织性能及表面质量的影响[J]. 上海金属, 2020, 42(01): 45-49+54.
- [17] 董毅, 韩斌, 时晓光等. Si和Nb对高强热轧高扩孔钢组织和性能的影响[J]. 材料科学与工艺, 2016, 24(02): 53-57.
- [18] 王孟, 刘斌, 刘永前等. 冷却工艺对热轧高扩孔钢组织与性能的影响[J]. 钢铁研究, 2016, 44(04): 30-33.
- [19] 杨甄鑫, 廖抒华. 轻质合金在汽车轻量化中的应用[J]. 汽车零部件, 2021, (01): 107-113.
- [20] 叶正挺. 新能源汽车铝合金轻量化及其连接技术发展现状[J]. 科技创新与应用, 2023, 13(20): 155-158.
- [21] 陈璋文. 汽车底盘常用金属材料机械性能分析[J]. 时代汽车, 2022, (11): 150-151.
- [22] 侯世忠. 汽车用铝合金的研究与应用[J]. 铝加工, 2019, (06): 8-13.

全生命周期视角下科研项目隐性成本精益控制方法

刘冰

中国船舶集团有限公司第七〇三研究所, 黑龙江 哈尔滨 150078

摘 要 : 本文聚焦全生命周期视角下科研项目隐性成本精益控制方法。全生命周期涵盖科研项目各阶段, 与隐性成本紧密相关, 隐性成本具有隐蔽性与难量化性, 涉及人力、时间、知识技术及管理等多方面。通过在项目构思与立项、研究与开发、成果转化与应用及项目结束后各阶段实施精益控制, 如组建专业调研小组、建立激励机制、优化时间管理等, 能有效降低隐性成本。精益控制方法在各环节应用成效显著, 提升了科研项目管理效率与整体效益, 为科研事业可持续发展助力。

关 键 词 : 全生命周期; 科研项目; 隐性成本; 精益控制

Lean Control Method of Hidden Cost of Scientific Research Project from the Perspective of Whole Life Cycle

Liu Bing

China Shipbuilding Industry Corporation 703 Research Institute, Harbin, Heilongjiang 150078

Abstract : This paper focuses on the lean control method of the hidden cost of scientific research projects from the perspective of the whole life cycle. The whole life cycle covers all stages of scientific research projects and is closely related to hidden costs, which are hidden and difficult to quantify, involving many aspects such as manpower, time, knowledge, technology and management. Through the implementation of lean control in each stage of project conception and establishment, research and development, achievement transformation and application, and after the completion of the project, such as the establishment of professional research teams, the establishment of incentive mechanisms, and the optimization of time management, the hidden costs can be effectively reduced. The application of lean control method in each link has achieved remarkable results, improved the management efficiency and overall benefit of scientific research projects, and helped the sustainable development of scientific research.

Keywords : whole life cycle; scientific research projects; hidden cost; lean control

一、全生命周期与科研项目隐性成本概述

(一) 全生命周期理论

全生命周期理论广泛应用于多个领域, 其核心在于将研究对象从开始到结束的整个过程视为一个有机整体, 进行系统性的分析与管理。对于科研项目而言, 全生命周期涵盖了项目的构思与立项、研究与开发、成果转化与应用以及项目结束后的评估与反馈等阶段。在项目的构思与立项阶段, 科研团队需对项目的可行性、创新性以及潜在价值进行深入调研与论证。这一过程中, 不仅要考虑项目的技术可行性, 还需评估其在经济、社会等方面的可行性。例如, 一项关于新型药物研发的科研项目, 在立项阶段就要分析该药物的市场需求、研发成本以及预期收益等因素^[1]。进入研究与开发阶段, 科研人员专注于技术攻关, 按照既定的研究方案开展实验、测试等工作。此阶段需要大量的人力、物力和财力投入, 同时对时间进度的把控也至关重要。成果转化与应用阶段是将科研成果推向市场、实现其社会和经济效益的关键环节。

这要求科研团队与企业、市场等多方进行有效沟通与协作, 确保科研成果能够顺利转化为实际生产力。项目结束后的评估与反馈阶段, 对整个科研项目进行全面复盘, 总结经验教训, 为后续的科研项目提供参考与借鉴。通过对项目各个阶段的绩效评估, 能够发现项目管理过程中的优点与不足, 进而优化项目管理流程。

(二) 科研项目隐性成本

科研项目隐性成本是指那些不直接体现在财务报表中, 但却对科研项目的顺利开展和最终效益产生重要影响的成本。与显性成本(如设备购置费用、人员薪酬等可以直接计量的成本)不同, 隐性成本往往具有隐蔽性、难以量化的特点。

科研人员的工作积极性、创造力以及团队协作效率等因素所带来的成本影响。例如, 科研人员因工作压力过大、缺乏激励机制而导致工作效率低下, 这将间接增加项目的时间成本和人力成本。另外, 团队成员之间沟通不畅、协作不紧密, 可能导致重复劳动、项目进度延误等问题, 这些都是人力资源隐性成本的体现。科研项目的进度安排不合理, 可能导致项目周期延长,

从而增加了项目的隐性成本。例如，由于研究计划制定不科学，导致某些关键实验环节多次重复，浪费了大量的时间。而时间的浪费意味着在这段时间内所投入的人力、物力等资源的无效消耗，同时也可能错失市场机遇，造成潜在收益的损失。在科研过程中，知识的获取、转化以及技术的更新换代等方面存在的成本。比如，科研团队对最新研究成果和技术动态掌握不及时，可能导致研究方向出现偏差，需要重新调整研究方案，这无疑增加了项目的成本。此外，技术的快速更新可能使项目在研发过程中所采用的技术逐渐落后，为了保证项目的先进性，不得不进行技术升级，这也会带来额外的成本支出。科研项目管理过程中的决策失误、管理流程不顺畅等因素导致的成本增加^[2]。

（三）全生命周期与科研项目隐性成本的关系

全生命周期的各个阶段都与科研项目隐性成本密切相关。在项目的构思与立项阶段，若对项目的可行性分析不充分，可能导致项目在后续阶段出现各种问题，从而增加隐性成本。例如，对市场需求判断失误，可能使项目成果无法满足市场需求，造成成果转化困难，增加了时间和经济成本。

在研究与开发阶段，科研项目的管理水平、技术创新能力以及人员的工作状态等因素直接影响隐性成本的大小。有效的项目管理能够合理安排资源、优化研究流程，降低隐性成本。而技术创新能力的不足可能导致项目进展缓慢，增加时间隐性成本。

成果转化与应用阶段，与市场的对接程度、产品的推广难度等因素会带来隐性成本。如果不能及时有效地将科研成果推向市场，不仅会增加项目的时间成本，还可能因竞争对手的出现而失去市场份额，造成潜在收益的损失。

项目结束后的评估与反馈阶段，对隐性成本的分析与总结能够为后续科研项目提供宝贵的经验。通过对以往项目隐性成本的研究，能够发现项目管理过程中的薄弱环节，从而在新项目中采取针对性的措施加以改进，降低隐性成本。

综上所述，全生命周期视角为深入研究科研项目隐性成本提供了全面、系统的框架。只有在全生命周期的各个阶段对隐性成本进行有效的识别、分析和控制，才能实现科研项目的高效管理和资源的优化配置，提高科研项目的整体效益。

二、全生命周期视角下科研项目隐性成本精益控制方法

（一）构思与立项阶段的隐性成本精益控制

在科研项目的构思与立项阶段，精准把控方向是降低隐性成本的基石。科研团队需组建专业多元的调研小组，成员涵盖技术专家、经济分析师、市场调研人员等。技术专家凭借深厚专业知识，研判项目技术可行性，分析所需技术成熟度及潜在技术难题。经济分析师则聚焦经济层面，核算研发、运营成本，预测收益，评估项目经济合理性。市场调研人员深入市场，收集客户需求、市场规模、竞争态势等信息。通过全面收集行业数据、前沿研究成果，运用 SWOT 分析法等科学模型，综合评估项目在技术、经济、社会等多方面的优势、劣势、机会与威胁，为项目决

策提供坚实依据，避免因方向偏差导致后续隐性成本激增。

（二）研究与开发阶段的隐性成本精益控制

研究与开发阶段是隐性成本产生的关键时期，精益控制措施尤为重要。在人力资源管理上，建立全面激励机制，物质奖励与精神激励并行。设立科研成果奖项、提供晋升机会、给予公开表彰，激发科研人员的积极性与创造力。加强团队建设，组织定期交流活动，促进成员间沟通协作，减少因沟通不畅造成的重复劳动与误解，降低人力资源隐性成本。在时间管理方面，引入精益生产中的准时化（JIT）理念，依据项目规划制定详细的每日、每周工作计划，明确任务优先级与交付时间。利用项目进度监控软件实时跟踪，一旦发现进度偏差，迅速分析原因并采取纠偏措施，防止时间延误带来的隐性成本增加^[3]。同时，强化知识与技术管理，搭建内部知识库，鼓励成员分享研究成果与经验，及时掌握行业最新技术动态，避免因技术滞后或研究方向错误产生隐性成本。

（三）成果转化与应用阶段的隐性成本精益控制

成果转化与应用阶段关乎科研项目的最终价值实现，对隐性成本控制同样不容忽视。一方面，加强市场调研与对接工作，深入了解市场需求与行业趋势，与潜在客户、合作伙伴保持紧密沟通，确保科研成果精准契合市场需求。通过举办产品发布会、参加行业展会等方式，提升成果知名度与影响力，加速转化进程，减少因成果转化缓慢导致的时间与经济隐性成本。另一方面，优化成果转化流程，组建高效转化团队，整合科研、生产、营销等多方资源，简化中间环节，提高转化效率。创新与企业的合作模式，采用技术入股、联合开发等形式，实现互利共赢，降低因合作矛盾或流程繁琐引发的隐性成本。

（四）项目结束后的评估与反馈阶段的隐性成本精益控制

项目结束后的评估与反馈是持续改进隐性成本控制的重要环节。全面梳理项目周期内的隐性成本，分析各阶段隐性成本的发生情况及根源，如人力资源管理不善、时间规划不合理、成果转化流程不畅等。建立详细的隐性成本数据库，为后续科研项目提供数据参考。根据评估结果总结经验教训，制定针对性改进措施，融入科研项目管理标准流程与规范。组织项目经验分享会，让项目参与者分享隐性成本控制的成功经验与失败教训，促进团队整体管理水平提升，实现隐性成本控制的持续优化，为未来科研项目的高效开展奠定基础。

三、精益控制方法在科研项目隐性成本管理中的应用

（一）人力资源管理应用

在人力资源管理方面，为激发科研人员的最大潜能，应推行多元化激励机制。除了传统的物质奖励，精神激励同样不可或缺。设立“科研创新先锋奖”，对在项目中提出突破性理论或创新性解决方案的科研人员给予公开表彰，增强其职业荣誉感。同时，建立人才成长通道，根据科研人员的技能水平与项目贡献，提供专项培训、参与高级别学术交流活动等机会，助力其职业发展。此外，定期组织团队建设活动，通过户外拓展、学术沙龙等

形式，增进团队成员间的沟通与协作，营造积极向上的科研氛围，减少因内部矛盾与沟通不畅导致的隐性成本增加。

（二）时间管理策略

时间管理对于科研项目隐性成本控制至关重要。首先，运用项目管理工具，如关键路径法（CPM），精准识别项目中的关键任务与非关键任务。依据任务的优先级合理分配资源，确保关键任务按时推进，避免因关键路径延误导致项目整体延期。例如，在大型科研设备研发项目中，设备核心部件的研发制造属于关键任务，需重点保障人力、物力与时间投入。其次，引入敏捷项目管理理念，将项目分解为多个短周期迭代，每个迭代设定明确的目标与交付成果^[4]。定期对项目进度进行评估与调整，及时发现并解决潜在的时间浪费问题，如不必要的会议、繁琐的审批流程等，提高项目执行效率，降低时间隐性成本。

（三）知识与技术管理

在知识与技术管理维度，构建完善的知识共享体系是关键。搭建内部科研知识库，鼓励科研人员将研究过程中的实验数据、技术文档、研究报告等知识成果上传至平台，实现知识的沉淀与共享。为促进知识流通，设立知识贡献奖励制度，对积极分享高质量知识内容的人员给予积分奖励，积分可用于兑换科研资源或参与科研项目的优先权。同时，加强与外部科研机构、高校的合作交流，定期邀请行业专家开展技术讲座与研讨会，及时掌握前沿技术动态。针对行业内的新技术、新方法，组织内部科研人员进行学习与应用探索，避免因技术滞后导致的科研项目隐性成本增加。

（四）成果转化与应用应用

成果转化与应用阶段的精益控制，重点在于紧密对接市场需

求。在项目研发前期，开展深入的市场调研，通过问卷调查、用户访谈、行业数据分析等方式，精准把握市场对科研成果的功能需求、价格预期以及应用场景。根据市场反馈，及时调整项目研发方向与产品设计，确保科研成果具有市场竞争力。在成果转化过程中，创新合作模式，与企业建立产学研深度合作关系。科研机构提供技术支持，企业负责生产与市场推广，实现资源共享、优势互补^[5]。例如，通过技术入股、联合开发等形式，与企业共同承担风险、分享收益，加速科研成果的转化与应用，降低因成果转化不畅导致的隐性成本。

四、总结

在全生命周期视角下，科研项目隐性成本管理对科研项目的成功实施与资源优化配置意义重大。全生命周期理论将科研项目从构思至结束的全过程视为有机整体，各阶段紧密相连且与隐性成本密切相关。科研项目隐性成本涵盖人力资源、时间、知识技术及管理等多方面，具有隐蔽性与难以量化的特性，对项目效益影响深远。在项目构思与立项阶段，充分的可行性分析能避免方向偏差，减少后续隐性成本。研究与开发阶段，通过构建全面激励机制、引入准时化理念及强化知识技术管理，可有效降低隐性成本。成果转化与应用阶段，加强市场对接和优化转化流程，能减少时间与经济隐性成本。项目结束后的评估反馈，则为持续优化隐性成本控制提供依据。

参考文献

- [1] 任泽；许相东；施颖；胡心如. 煤炭企业科技项目经费管理优化策略研究 [J]. 煤炭工程, 2023(12).
- [2] 陈思思；马吉阳；王君；张翔. 航天基础科研项目经费特点与优化管理 [J]. 现代企业, 2021(08).
- [3] 蔡学铭. 新形势下公立医院科研经费精细化管理探究 [J]. 会计师, 2023(02).
- [4] 刘松. 以成果管理为导向的科研项目精细化管理探究 [J]. 中国集体经济, 2021(32).
- [5] 李春华. 科研单位财务精细化管理研究与问题探析 [J]. 现代商业, 2020(21).

基于复杂地形地质条件下岩土工程勘察技术

沈玥^{1, 2}

1. 江苏省中成建设工程总公司, 江苏 南京 210041

2. 江苏南京地质工程勘察院, 江苏 南京 210041

摘 要 : 岩土工程是土木工程中的一个重要依据, 勘察工作是否准确可靠直接影响着工程建设质量, 安全及成本等。复杂的地形地质条件给岩土工程勘察带来了许多困难和挑战。地形地貌复杂, 高山峡谷, 岩溶地貌发育, 多年冻土区域发育, 同时地质构造变化大, 断层, 褶皱, 节理发育, 使岩土体性质表现出高度空间不均匀性与复杂性。这样既加大了勘察工作难度, 又对勘察技术选择与运用提出更高的要求。准确把握复杂地形与地质条件岩土工程勘察技术能为工程设计与施工提供翔实可靠的地质资料并有效减少工程风险, 保障工程建设顺利实施。所以, 对复杂地形和地质条件岩土工程勘察技术进行深入的研究有着非常现实的意义。

关 键 词 : 复杂地形地质; 岩土工程; 勘察技术; 挑战应对

Geotechnical Engineering Survey Technology Based on Complex Topographic and Geological Conditions

Shen Yue^{1,2}

1. Jiangsu Zhongcheng Construction Engineering Corporation, Nanjing, Jiangsu 210041

2. Nanjing Institute of Geological Engineering Survey, Nanjing, Jiangsu 210041

Abstract : Geotechnical engineering is an important basis in civil engineering, and the accuracy and reliability of survey work directly affect the quality, safety, and cost of engineering construction. Complex topographic and geological conditions bring many difficulties and challenges to geotechnical engineering surveys. The complex topography, including high mountains and deep valleys, developed karst landforms, and permafrost regions, coupled with significant geological structural changes such as faults, folds, and joint development, result in highly spatially uneven and complex geotechnical properties. This not only increases the difficulty of survey work but also places higher demands on the selection and application of survey technology. Accurately grasping geotechnical engineering survey technology in complex terrain and geological conditions can provide detailed and reliable geological data for engineering design and construction, effectively reducing engineering risks and ensuring the smooth implementation of engineering construction. Therefore, conducting in-depth research on geotechnical engineering survey technology in complex terrain and geological conditions has very practical significance.

Keywords : complex terrain and geology; geotechnical engineering; survey technology; challenge response

一、复杂地形地质条件的特征

(一) 地形起伏大

复杂地形地质区域地形常表现出强烈的波动。山区地形落差较大, 峰谷高差可达几百米乃至几公里。这种地形起伏使勘察工作在进行过程中遇到了很多困难, 交通不方便、设备运输、人员通行等方面都受到限制。陡山坡勘察作业给勘察人员安全造成威胁, 还加大勘察设备安装作业难度。^[1]

(二) 地质构造复杂

复杂地形地质区域一般都要经过一个较长且比较复杂的地质演化历程, 地质构造也是复杂多变。断层, 褶皱等地质构造普遍发育, 造成地层结构碎裂, 岩土体完整性与稳定性大打折扣。断

层周围岩土体力学性质发生显著改变, 可产生软弱夹层和破碎带等恶劣地质现象。褶皱构造又使地层产状改变, 加大了岩土工程勘察时地层分布及岩土体性质评判的困难。

(三) 岩土体性质多变

受复杂地质历史及地质作用的影响, 岩土体性质在复杂地形地质中表现出高度多变性特征。岩土体组成, 构造, 物理力学性质等都存在着显著的空间差异。同一地区可能会同时出现多种岩土体类型, 硬岩石, 疏松砂土, 软塑质黏土等等, 这些岩土体在横向和纵向上性质都会有明显改变。岩土体这种多变性, 为岩土工程勘察时准确求取岩土体参数提出了巨大的挑战。

(四) 不良地质现象频发

复杂地形地质区域通常是不良地质现象高发地区。滑坡, 泥

石流,岩溶塌陷,地面沉降等不良地质现象频发。滑坡与泥石流是山区比较常见的一种灾害,由于地形,降水以及岩土体性质的原因给工程建设带来了严重的威胁。岩溶地区受岩溶作用的影响,地下溶洞和暗河十分发育,易造成地基塌陷的问题。由于地下水的过度开采和地层结构的变动等多种因素,地面沉降有可能发生,从而对工程设施的正常运行造成影响。^[2]

二、复杂地形地质条件下的岩土工程勘察技术

(一)地质测绘技术

1.传统地质测绘

在岩土工程勘察中,传统的地质测绘属于一种基本手段。采用实地观察与测量相结合的方法,详细勘察并记录了地形地貌,地层岩性,地质构造及不良地质现象的情况。面对复杂的地形和地质情况,地质测绘人员必须要攻克地形的难关,对每一个地区都要深入调查。用罗盘,地质锤和放大镜对岩土体出露情况进行观测,查明地层岩性,产状及接触关系。编制了地质草图并对各类地质信息进行了标记,为以后的勘察工作提供了基础资料。传统的地质测绘可以直观的了解地区的地质概况,但是在地形比较复杂的地区,效率低下,对于人员专业素质也提出了更高的要求。^[3]

2.航空地质测绘与卫星遥感地质测绘

伴随着航空航天技术的进步,航空地质测绘与卫星遥感地质测绘被广泛地应用于复杂地形地质勘察。航空地质测绘是指使用飞机携带航空摄影仪和成像雷达在地面上进行大范围航空摄影与遥感探测。从航空影像中分析可得到地形地貌,地层岩性和地质构造。卫星遥感地质测绘技术是通过搭载在卫星上的传感器来收集地球表面的遥感信息。卫星遥感图像因其广泛的覆盖范围和丰富的信息内容而受到赞誉,它能够迅速地识别出区域内的地质特征,例如大型断层、褶皱构造和岩性分布等。这些技术摆脱了地形限制,可以在短期内获得大范围地质信息并对后续勘察工作起到宏观指导作用。

(二)地球物理勘探技术

1.电法勘探

电法勘探利用岩土体电学性质不同,对地质结构及岩土体的分布进行检测。复杂地形和地质条件下常采用电阻率法和激发极化法进行电法勘探。电阻率法是通过地下岩土体电阻率分布规律的测定,反演地层结构,地下水分布和岩溶洞穴信息。岩溶地区由于溶洞中填充物质与其周边岩土体电阻率不同,采用电阻率法可对溶洞位置及大小进行有效检测。激发极化法多应用于金属矿及地下水探测,通过观察人工电场中岩土体所形成的二次电场判断井下有无极化体进而推测地质结构及岩土体性质。^[4]

2.地震勘探

地震勘探就是利用岩土体人为激发地震波传播特征,对地质结构进行检测。对于复杂的地形和地质情况,可利用地震勘探来检测地层界面,断层位置和岩土体的弹性参数。反射波法是地震探测中经常采用的技术之一,它通过捕获地震波在各种地层交界处的反射,从而准确地确定地层的深度和构造。山区地震勘探中,因地形起伏较大,需使用专门的观测系统及数据处理方法来消除地形对于地震波传播过程中的各种影响。地震勘探在探测深

度和分辨率等方面都有很大优势,但是对于地形条件以及观测环境都有很高要求。

3.重力勘探与磁力勘探

重力勘探利用岩土体密度不同所产生的重力异常,对地质结构进行勘探。复杂地形地质区域内不同岩性岩土体的密度是不一样的,可通过实测地面重力场变化推测地下地质构造及岩土体的分布情况。寻找隐伏岩体和探测断层时重力勘探有其优越性。磁力勘探是一种通过利用岩土体的磁性差异产生的磁力异常来探测地质结构的技术。有些特定的岩石,例如磁铁矿和玄武岩,它们展现出强烈的磁性。通过监测地面磁场的波动,我们能够确定这些磁性岩石的具体分布和界限。重力勘探与磁力勘探都有工作效率高,费用比较低廉等优势,但是在解释异常时还需综合其他勘察资料。^[5]

(三)钻探技术

1.常规钻探

常规钻探为取得岩土体实物样本提供了一种重要手段。复杂地形地质条件下用钻探可直接取得岩土体岩芯或者土样进行室内试验分析并测定其物理力学性质。山区钻探,因地形复杂需选用适宜的钻探设备及钻进方法。对坚硬的岩石地层一般用金刚石或硬质合金进行钻进;对松散地层既可用泥浆护壁钻进也可用套管护壁钻进。常规钻探可以提供岩土体的直观样品,但是在钻探时可能对岩土体产生一定的干扰,从而影响样品的代表性。

2.特殊钻探技术

在某些特殊而又复杂的地形和地质情况下,必须使用专门的钻探技术。岩溶地区为精确检测溶洞分布及发育规律,可以通过定向钻探技术实现钻孔按预定走向钻进并取得溶洞岩土体样品。在冻土地带,鉴于冻土的独特性质,有必要使用低温钻探方法,以确保冻土的融化不会对钻探活动和岩土体样本产生不良影响。特殊钻探技术可以解决常规钻探难以突破的难题,但其工艺要求高、装备复杂、费用比较昂贵。^[6]

(四)原位测试技术

1.静力触探试验

静力触探试验就是把圆锥形探头均匀地压入土体,并通过测定探头受到的阻力而测定土体物理力学性质的一种原位测试手段。在复杂的地形和地质环境中,对于土层分布相对均匀的区域,静力触探试验能够迅速且连续地获取土壤的各种力学参数,例如比贯入阻力、锥尖阻力和侧摩阻力等。这些参数可用来估计土体的承载力,压缩模量和其他指标。静力触探试验因其试验速度快,资料连续,受人为因素影响少等特点,但是对设备要求很高,限制了其在坚硬地层或者含较大孤石地层的使用。

2.标准贯入试验

标准贯入试验就是用标准贯入器打入土体一定深度并记录贯入要求锤击次数,从而对土体物理力学性质及工程特性进行评判的一种原位测试。标准贯入试验对复杂地形和地质条件的砂土,粉土和一般黏性土中的各种土层均有良好的适应性。标准贯入试验所得锤击数可预估土体承载力和砂土密实度。标准贯入测试装置简单易操作,但是测试结果会受到很多因素的影响,比如装置的规格,落锤方式以及土体的特性等等,这就要求测试时必须对测试条件进行严格的控制。^[7]

3. 旁压试验

旁压试验就是把旁压器置于钻孔内,通过给旁压器充水或者充气使之膨胀并给周围土体以径向压力来测定土体变形与压力之间的关系,进而测定土体力学参数的一种原位试验方法。复杂地形和地质条件下旁压试验可以较精确地确定土的变形模量和承载力,特别是软土和黏性土土层。旁压试验受土体扰动很小,其试验结果能很好的反应土体原位特性,但是其实验过程比较复杂,且对操作者有很高的工艺要求。

三、复杂地形地质条件下岩土工程勘察技术应用面临的挑战及应对策略

(一) 面临的挑战

1. 技术难题

勘察技术在复杂的地形地质中面临着许多技术难点。地球物理勘探技术应用于地形起伏较大地区,受地形干扰地球物理场,数据采集与处理变得更加困难,致使勘探结果精度大打折扣。地质构造复杂地区各地质体间地球物理性质相差不显著,给异常解释带来较大困难。钻探技术应用于坚硬岩石地层或者有破碎带和溶洞的特殊地质条件时钻进效率不高,易发生卡钻和掉钻事故。原位测试技术应用于岩土体性质变化较大的地区时,其测试成果的代表性与准确性很难得到保障。

2. 设备适应性

复杂的地形,地质条件,对勘察设备适应性有了更高的要求。在地形起伏较大,交通不方便的地区,要求勘察设备重量轻,便于携带与安装。这些地区很难发挥传统大型勘察设备的优势,同时小型化,便携式的装备也会出现功能与性能方面的缺陷。在多年冻土地区和岩溶地区等特殊地质条件下要适应低温和地质结构复杂的环境,必须有专用设备。当前,一些勘察设备对复杂地形地质条件适应性不足,从而影响勘察工作顺利开展。^[8]

3. 人员素质

岩土工程勘察工作在复杂地形,地质等情况下,对于勘察人员提出了更高的质量要求。勘察人员既要具有坚实的岩土工程专门知识,通晓多种勘察技术与手段,又要有处理复杂地形与地质情况的本领,例如山区野外作业技能,应对突发地质情况能力。当前,勘察行业不仅懂得专业技术,而且有丰富实践经验的高素质人才较为缺乏,这就限制了岩土工程勘察在复杂地形与地质情况下的工作质量与效益。

(二) 应对策略

1. 技术研发与创新

加大复杂地形地质条件岩土工程勘察技术与开发投入力度,鼓励科研机构、企业进行技术创新。为解决地球物理勘探技术难点,研发抗干扰数据采集与处理手段,以提高勘探结果精度。研究开发适合复杂地质条件下的新型钻探技术与装备,以提高钻进效率与安全性。强化原位测试技术,增强测试结果代表性与可靠性。通过技术研发和创新不断提高勘察技术水平以满足复杂地形和地质条件需求。^[9]

2. 设备改进与优化

强化勘察设备完善与优化,增强复杂地形地质条件设备适应性。研究开发轻便,高效,多功能勘察设备方便复杂地形区域携

带作业。根据特殊地质条件研制专用装备,冻土钻探装备和岩溶探测装备。强化装备智能化开发,提升装备自动化程度与数据处理能力,降低人为因素对于勘察结果影响。通过对设备的改进和优化为复杂地形地质条件岩土工程勘察提供了强大的设备支持。

3. 人才培养

加大岩土工程勘察专业人才培养力度。各院校要对相关专业课程进行优化,加入复杂地形地质条件勘察技术及实践等方面的内容,以培养学生实际操作能力与问题解决能力。企业应加大在职人员培训力度,定期举办技术培训与交流活动,请专家授课与辅导,提升勘察人员专业素质与实践经验。建立人才激励机制吸引并保留优秀勘察人才,从而为复杂地形地质岩土工程勘察提供人才保障。^[10]

四、结论

总之,复杂的地形和地质条件对岩土工程勘察提出很多挑战,勘察技术的合理应用是解决上述难题的关键所在。地质测绘技术可以对区域地质概况有一个直观的认识,而航空地质测绘与卫星遥感地质测绘提供了宏观的地质信息;地球物理勘探技术是利用岩土体物理性质的不同来检测地质结构的技术;钻探技术取得岩土体的实物样本;原位测试技术对岩土体的力学参数进行现场测量。但这些技术的运用面临着技术难题,设备适应性以及人员素质方面的挑战。通过对技术的研发和创新,装备的完善和优化,人才的培养等应对策略的实施,能够有效地促进复杂地形和地质条件岩土工程勘察技术水平的提高,为工程建设提供了准确可靠的地质数据,确保了岩土工程质量和安全,推动了复杂地形地质地区岩土工程行业可持续发展。

参考文献

- [1] 梁瀚元,苏欢.复杂地形地质条件下的岩土工程勘察技术研究[J].城市建设理论研究(电子版),2022(34):85-87.
- [2] 岳小飞.复杂地质条件下岩土工程勘察技术的运用[J].有色金属设计,2022,49(03):117-120.
- [3] 项文楷.复杂地形地质条件下的岩土工程勘察技术分析[J].城市建设理论研究(电子版),2022(23):121-123.
- [4] 徐李鑫,马丽.岩土工程勘察中的综合勘察技术运用分析[J].中国设备工程,2022(10):231-233.
- [5] 祁曜刚.复杂地质条件下岩土工程勘察技术的应用探究[J].房地产世界,2022(4):82-83.
- [6] 杨君平.复杂地质条件下岩土工程勘察技术的运用分析[J].城市建设理论研究(电子版),2023,(32):163-165.
- [7] 康果,朱斌,刘君.岩土工程勘察技术在复杂地形地质条件下的应用实践[J].世界有色金属,2019,(23):259+261.
- [8] 周四海.基于复杂地形地质条件下岩土工程勘察技术的研究[J].资源信息与工程,2018,33(03):103-104.
- [9] 徐念望.岩土工程勘察在复杂地质条件下的技术应用[J].江苏建材,2024(1):127-129.
- [10] 李左林.基于复杂地形地质条件下岩土工程勘察技术的研究[J].新疆有色金属,2023,46(3):20-21.

探讨 Fe 基 CO₂ 加氢制 C₂+ 醇催化剂

余治甫, 吴明铂*

中国石油大学(华东), 山东 青岛 266580

摘 要 : 随着全球对清洁能源和可持续发展的关注度不断提高, CO₂ 加氢转化为有价值的化学品成为研究热点。Fe 基催化剂由于其成本低、储量丰富以及对 C₂+ 醇具有独特的催化性能, 在 CO₂ 加氢制 C₂+ 醇领域受到广泛关注。本文综述了 Fe 基 CO₂ 加氢制 C₂+ 醇催化剂的研究现状, 包括催化剂的活性相、助剂的作用、载体的影响以及反应机理等方面, 分析了目前该领域存在的问题, 并对未来的研究方向进行了展望。

关 键 词 : 催化剂; CO₂

Discussion on Fe Based Catalysts for CO₂ Hydrogenation to C₂+ Alcohols

Yu Zhifu, Wu Mingbo*

China University of Petroleum (East China), Qingdao, Shandong 266580

Abstract : With the increasing global attention to clean energy and sustainable development, CO₂ hydrogenation into valuable chemicals has become a research hotspot. Due to its low cost, abundant reserves and unique catalytic performance for C₂+ alcohols, Fe based catalysts have attracted extensive attention in the field of CO₂ hydrogenation to C₂+ alcohols. In this paper, the research status of Fe based catalysts for CO₂ hydrogenation to C₂+ alcohols was reviewed, including the active phase of catalysts, the role of promoters, the influence of supports and reaction mechanism. The existing problems in this field were analyzed, and the future research direction was prospected.

Keywords : catalyst; CO₂

引言

CO₂ 作为主要的温室气体, 其大量排放导致全球气候变暖等环境问题。同时, CO₂ 也是一种丰富、廉价且可再生的碳资源。将 CO₂ 加氢转化为高附加值的化学品, 如 C₂+ 醇 (乙醇、丙醇等), 不仅可以有效减少 CO₂ 排放, 还能缓解能源危机, 具有重要的环境和经济意义^[1]。在众多用于 CO₂ 加氢的催化剂中, Fe 基催化剂因其具有成本低、储量丰富、对 C-C 键的形成具有良好活性等优点, 成为研究的重点之一。

一、Fe 基催化剂的活性相

Fe 基催化剂在 CO₂ 加氢反应中, 活性构成相对复杂, 其中包括 Fe₃O₄、Fe₅C₂ (Hägg carbide)、 α -Fe 等。这些活性在反应期间并非一成不变, 而是根据反应条件产生相互转化。在低温条件下 Fe₃O₄ 作为活性先驱体存在。随着反应开启, 其中的 H₂ 会对 Fe₃O₄ 发起还原作用, 使其逐渐转化为 α -Fe 或者碳化铁。进一步分析发现, Fe₅C₂ 在 CO₂ 加氢制 C₂+ 醇反应中具有核心作用, 其能有效促进 CO 吸附与活化。这是由于 Fe₅C₂ 独特晶体结构以及电子特性, 能为 CO 分子提供十分适宜的吸附点位, 使 CO 分子化学键产生一定程度上的弱化, 更容易参与后续反应, 极大促进了 C-C 键的形成, 显著提升 C₂+ 醇的选择性^[2]。

此外, α -Fe 在其中也发挥着重要角色作用。在特定反应条件下, α -Fe 与碳化铁之间存在协同效应。 α -Fe 对催化剂表面电子云分布起到调节作用, 影响反应物的吸附与反应中间体的形成。与 Fe₅C₂ 相互配合, 优化催化剂整体性能, 共同推动 CO₂ 加氢制 C₂+ 醇反应的高效进行。并且, 不同活性相的占比和分布, 会随着温度、压力以及 H₂/CO₂ 比例等反应条件的改变而变化, 对反应活性与产物选择产生复杂影响, 这也成为了深入研究催化剂性能调控的重要一环。

二、助剂的作用

为了全面提升 Fe 基催化剂的活性、选择性、稳定性, 需向其

中添加各类助剂，其可细分为电子助剂、结构助剂。

（一）电子助剂

在众多电子助剂中，K 是典型代表。K 原子的电负性较低，在 Fe 基催化剂中加入 K 原子时，会持续向 Fe 原子传递电子，使 Fe 原子的电子云密度发生变化。此类电子云密度的改变可让催化剂对 CO₂ 和 H₂ 的吸附能力显著增强，CO₂ 和 H₂ 能更快地在催化剂表面富集并参与反应。同时，K 还有具备 CO 脱附作用，避免 CO 在催化剂表面上过度吸附造成催化剂中毒，促进反应向生成 C₂₊ 醇的方向进行。需要注意的是，实际操作中应严控 K 添加量，适宜添加量可极大提升 C₂₊ 醇的选择性；一旦添加量过多，会让催化剂表面积炭急速增加，使活性位点被覆盖，最终造成催化剂活性大打折扣^[3]。

（二）结构助剂

以 Al₂O₃ 为例，其是一种十分常见且有效的结构助剂。Al₂O₃ 具有高比表面积以及稳定的物理结构，可将 Fe 物种均匀分散开来，抑制 Fe 颗粒在反应中的团聚现象，有效提升了催化剂比表面积，为后续反应提供更多活性位点。同时，Al₂O₃ 与 Fe 物种间会产生相互作用，形成更加稳定的结构，有助于活性相生成以及稳定存在。此外，SiO₂、TiO₂ 等结构助剂，也能够通过自身的特点改善催化剂性能。其中，SiO₂ 能有效调节催化剂表面的 pH 值，优化反应物和产物的吸附与脱附过程；TiO₂ 在光辅助 CO₂ 加氢反应中，凭借自身光催化性能，拓展催化剂对光的影响范围，为反应提供额外能量激发途径，展示出特有的优势^[4]。

三、载体的影响

在 Fe 基催化剂性能表面中，载体在其中发挥着不可或缺的角色。不同载体由于物理、化学性质不同，如比表面积、孔结构、酸碱性等，这些特性会对活性组分在载体上的分散度、催化剂与反应物间相互作用以及反应选择性等方面有显著影响。

（一）活性炭载体

活性炭的比表面积较大，这也使得 Fe 活性组分能高度分散在表面上，极大提升了活性点数量，有助于 CO₂ 和 H₂ 在催化剂表面的吸附与反应。同时，活性炭中的孔结构丰富，不仅能为反应物、产物提供扩散通道，还可以在在一定程度上限制产物分子扩散途径，对其反应性造成影响。此外，活性炭表面含有多种官能团，如羟基、羧基等，这些官能团与 Fe 物种之间产生相互作用，改变 Fe 原子电子云密度，进而影响催化剂的电子结构以及反应性能。但是，活性炭的稳定性不足，在 CO₂ 加氢反应的高温、高压、强氧化还原环境中，可能出现部分氧化情况，导致结构破坏以及活性位点损失，对催化剂使用寿命造成影响^[5]。

（二）分子筛载体

分子筛最显著的特点就是孔道结构规整、可调节酸碱性。分子筛上负载 Fe 时，分子筛上的孔道犹如分子级别的“筛子”，对产物分子起到择形作用。例如 ZSM-5 分子筛的三维孔道尺寸恰好能限制多大分子产物生成，让反应更加倾向于生成 C₂-C₄ 醇，有效提升了该部分产物的选择性。此外，分子筛表面的酸性点位与

Fe 活性组分间存在协同效应。酸性位点可存进 CO₂ 和 H₂ 活化，生成的活性中间体再与 Fe 活性中心相互作用，促进 C-C 键形成和加氢反应，优化催化剂活性以及选择性，为 CO₂ 加氢制 C₂₊ 醇反应提供独特的催化环境。

四、反应机理

目前，有关于 Fe 基 CO₂ 加氢制 C₂₊ 醇反应机理尚未完全清晰，存在多种理论与模型，当前普遍认为该反应是一个多步骤、复杂的过程。

整个反应流程中，反应起始于 CO₂ 在催化剂表面的吸附与活化。由于 Fe 基催化剂表面存在特定活性位点，CO₂ 分子可通过化学吸附作用与这些点位结合，其分子结构发生一定程度上的变形以及电子云重排，从而被活化。活化后的 CO₂ 与 H₂ 发生反应，会先生成 CO 和 H₂O，该过程也被成为逆水煤气变换反应（RWGS），是整个反应体系中的核心环节。生成 CO 进一步在催化剂表面吸附、活化，之后通过一系列 C-C 键偶联和加氢反应生成 C₂₊ 醇^[6]。

在 C-C 键偶联中，存在多种可能反应路径。一种观点认为，CO 首先加氢生成 CH_x 物种，这一过程涉及 H 原子逐步加成到 CO 分子上，打破 C-O 键并形成 C-H 键。随后，CH_x 物种之间发生偶联反应，通过 C-C 键的形成生成 C₂₊ 物种，再经过进一步加氢生成 C₂₊ 醇。另一种观点则主张，CO 分子之间直接发生偶联形成 C₂ 物种，然后 C₂ 物种逐步加氢转化为 C₂₊ 醇。实际反应中，反应机理受催化剂组成、结构以及反应条件（如温度、压力、H₂/CO₂ 比例等）等多种因素共同影响。例如，高温可能促进某些反应步骤的进行，而不同的 H₂/CO₂ 比例会改变反应物在催化剂表面的吸附竞争关系，进而影响整个反应路径和产物分布^[7]。

五、现存问题以及未来发展方向

（一）现存问题

1. C₂₊ 醇选择性较低

虽然 Fe 基催化剂在 CO₂ 加氢反应中对生成 C₂₊ 醇具有一定倾向性，但其选择性依然未达到理想状态。在实际反应期间，除了目标产物 C₂₊ 醇外，还会不可避免产生一些副产物，其中 CH₄ 和 CO 生成量最多。产生大量的 CH₄ 代表在反应期间碳资源过度地向甲烷化方向转化，这不仅会影响 C₂₊ 的产生率，也会导致其反应选择性降低，增加后续产物分离难度以及成本。但 CO 生成则与逆水煤气变换反应（RWGS）过度发生有关，过多的 CO 难以进一步转化为 C₂₊ 醇，会浪费更多原材料，导致产物纯度下降，限制了 Fe 基催化剂在工业领域的应用价值。

2. 催化剂稳定性不足

在高温、高压、复杂化学环境下，CO₂ 加氢反应中 Fe 基催化剂的稳定性欠佳。首先，高温环境可能造成 Fe 颗粒出现烧结情况，使得原本分散良好的活性组分团聚增大，减少催化剂比表面积，活性点数量大量降低，导致催化剂活性快速下降。其次，

反应期间不可避免产生积炭，积炭会逐渐覆盖在催化剂表面活性点位上，阻碍反应物与活性点位相接处，抑制反应进行。另外，Fe 基催化剂活性相在长期反应期间可能发生转变，从生成 C₂₊ 醇有利的活性相转变为其他不利于反应的状态，丧失催化剂对 C₂₊ 醇的选择性，长期反应还可能导致助剂流失，进一步破坏催化剂各个组分间的协同作用，对催化剂整体性、使用寿命造成影响^[8]。

3. 反应条件苛刻

目前 CO₂ 加氢制 C₂₊ 醇的反应通常需要在较高的温度（一般 300–500 °C）和压力（3–10 MPa）下进行。苛刻的反应条件对反应设备提出了更高的要求，需要采取特殊的耐高温、高压材料制造反应器，这也会增加前期的设备投资成本。同时，高压环境也会增大安全风险，对反应系统密封、压力控制等方面有着严格要求。此外，苛刻反应还会影响到催化剂性能以及寿命，高温加速催化剂烧结、积炭，高压会导致催化剂结构发生改变，限制了该反应在工业化应用的进程。

（二）未来研究方向

1. 催化剂的设计与优化

采用理论计算与实验深度融合的方法，全方位探索催化剂的活性中心结构。采用量子化学计算法，精准剖析活性位原子的电子结构、几何构型，明确其反应物吸附与转化微观作用机制。并通过实验表征技术，如 X 射线光电子能谱、高分辨电镜等技术，直观观察活性中心在反应前后变化情况，验证最终的理论计算结果。深入研究助剂和活性组分间的协同效应，采用原位表征技术实时监测助剂对活性组分电子云密度、晶体结构的动态影响，并筛选出最佳的主机类型以及添加量^[9]。此外，深度探索载体与活性组分间的强相互作用机制，借助表面腐蚀、界面调控等策略，对催化剂微观结构优化，最大程度上提升 C₂₊ 醇的选择性。

2. 新型催化体系开发

积极探索新型催化体系，为 CO₂ 加氢制 C₂₊ 醇开辟新的途径。

双功能催化剂作为核心研究方向之一，将 CO₂ 加氢活性中心与 C–C 键偶联活性中心巧妙集成在同一催化剂中，让两个关键反应步骤在空间中相互靠近、协同进行。例如，将具有高 CO₂ 吸附活化能力的金属氧化物与擅长 C–C 键构建的分子筛复合，实现反应物在不同活性中心间的高效传递与转化，大幅提升反应效率和选择性。多功能复合催化剂同样作为一大发展方向，如将光催化材料与 Fe 基催化剂复合，借助光生载流子特殊性质，在光照条件中激发额外化学反应，实现光热协同催化，降低反应温度、提升反应活性^[10]。

3. 改进反应工艺

研究更温和反应条件，降低对设备的要求，减少成本成本以及风险。可借助等离子体技术，在低温环境下可产生高能电子、离子等活性粒子，让 CO₂ 分子产生电离和激发作用，实现 CO₂ 高效活化、转化。积极探索电化学方法，借助电极反应在温和条件下驱动 CO₂ 加氢反应，精准调控反应路径、产物分布情况。此外，优化既有反应流程，改进原料气预处理、产物分离技术，提升材料利用率，降低产物分离能耗量，促进反应工艺朝向高效、绿色的发展进程。

六、结束语

综上所述，Fe 基 CO₂ 加氢制 C₂₊ 醇催化剂具有广阔的应用前景，但目前仍存在问题需要解决。通过深入研究催化剂的活性相、助剂和载体的作用以及反应机理，不断优化催化剂的设计和开发新型催化体系，并改进反应工艺，有望提高 Fe 基催化剂的性能，实现 CO₂ 加氢高效转化为 C₂₊ 醇，为缓解全球能源和环境问题做出贡献。未来，随着相关研究的不断深入和技术的不断进步，Fe 基催化剂在 CO₂ 加氢领域将展现出更大的潜力。

参考文献

- [1] 吴彬, 姚如伟, 牛琴琴, 等. 二氧化碳催化加氢制高级醇催化剂研究进展 [J]. 低碳化学与化工, 2024(10):12–14.
- [2] 陈永杰, 邢小芳, 王阳, 等. Fe 基 CO₂ 加氢制 C₂₊ 醇催化剂研究进展 [J]. 燃料化学学报 (中英文), 2024, 52(11):1–14.
- [3] 白博坤. Fe 基催化剂亲疏改性及其对 CO 加氢产物分布的影响研究 [D]. 宁夏大学, 2023.
- [4] 张倩, 温月丽, 王斌, 等. 双配体 CuFe@MOFs 材料为前驱体的催化剂的组分调控对 CO₂ 加氢制 C₂₊ 醇性能的影响 [J]. 无机化学学报, 2021, 37(8):148.
- [5] 佚名. Ni 改性 Cu–Fe 基催化剂的制备及其在 CO 加氢制低碳醇中的性能研究 [J]. 现代化工, 2018, 38(8):58–60.
- [6] 曾壮, 李阿志, 苑志伟, 等. CO/CO₂ 加氢制低碳醇改性费托合成催化剂研究进展 [J]. 化工进展, 2024, 43(6):3061–3079.
- [7] 盛海兵, 孙燕, 孙启文. Mn 助剂对 KFeCuZn 催化剂结构及其 CO₂ 加氢制 C₂₊ 醇催化性能的影响 [J]. 低碳化学与化工, 2024(05):56–57.
- [8] 万紫轩. 金属卟啉修饰铜基催化剂调控电还原二氧化碳产 C₂ 性能及机理研究 [D]. 华南理工大学, 2023.
- [9] 蔡紫薇, 吕帅, 张煜华, 等. 不同碳化铁物相的 Fe@C 催化剂对 CO₂ 加氢的影响 [J]. 化学与生物工程, 2022(05):39–40.
- [10] 刘洋洋, 孙超, Malhi Haripal Singh, 等. 载体对铁基催化剂结构及 CO₂ 加氢制烯烃反应性能的影响特性 [J]. 化工学报, 2020, 71(10):11–12.

国土空间规划体系下的城市更新思路探讨

赵笑峰¹, 刘毅²

1. 身份证号码: 410328199106231019, 陕西 西安 710000

2. 身份证号码: 612525199009021811, 陕西 西安 710077

摘 要 : 国土空间规划是对国土空间开发保护进行的全面安排, 为各类建设活动提供基本依据。城市更新作为优化城市空间结构、提升城市品质、促进城市可持续发展的重要手段, 在国土空间规划体系下具有重要地位。在新的发展阶段, 探讨国土空间规划体系下的城市更新思路, 对于实现城市高质量发展、满足人民美好生活需要具有重要意义。因此, 本文聚焦国土空间规划体系下城市更新思路。阐述国土空间规划与城市更新的关系, 探讨城市更新思路, 分析面临问题并提出解决策略, 为城市更新实践提供理论参考。

关 键 词 : 国土空间规划; 城市更新; 规划体系; 更新思路

Exploring Urban Renewal Approaches under the National Land Spatial Planning System

Zhao Xiaofeng¹, Liu Yi²

1.ID : 410328199106231019, Xi'an, Shaanxi 710000

2.ID : 612525199009021811, Xi'an, Shaanxi 710077

Abstract : National land spatial planning is a comprehensive arrangement for the development and protection of national land space, providing a basic foundation for various construction activities. Urban renewal, as a crucial means to optimize urban spatial structure, enhance urban quality, and promote sustainable urban development, holds a significant position under the national land spatial planning system. In the new development stage, exploring urban renewal approaches within the framework of national land spatial planning is of great significance for achieving high-quality urban development and meeting people's needs for a better life. Therefore, this paper focuses on urban renewal approaches under the national land spatial planning system. It elaborates on the relationship between national land spatial planning and urban renewal, explores urban renewal approaches, analyzes challenges faced, and proposes solutions, providing a theoretical reference for urban renewal practices.

Keywords : national land spatial planning; urban renewal; planning system; renewal approaches

一、国土空间规划与城市更新的关系

(一) 国土空间规划对城市更新的引领作用

1. 战略引领: 国土空间规划从区域和城市整体发展战略出发, 明确城市的功能定位、发展目标和空间布局。城市更新应依据国土空间规划的战略导向, 确定更新的重点区域和方向, 使城市更新与城市整体发展相契合。例如, 国土空间规划确定城市为区域科技创新中心, 城市更新可围绕这一定位, 在相关区域布局科技研发、创新创业等功能空间。2. 底线约束: 国土空间规划划定生态保护红线、永久基本农田保护红线和城镇开发边界, 严守资源环境底线。城市更新活动必须在这些底线约束下进行, 避免过度开发和破坏生态环境。例如, 在城市更新中, 不得侵占生态保护红线内的土地, 确保城市生态系统的完整性和稳定性。3. 资源统筹: 国土空间规划统筹各类自然资源和空间资源, 实现资源的合理配置。城市更新过程中, 通过国土空间规划的统筹协调, 优化土地利用、基础设施布局等, 提高资源利用效率。例如, 整合零散土地资源, 进行集中开发, 提高土地利用强度; 合理布局

基础设施, 避免重复建设。^[1]

(二) 城市更新对国土空间规划的落实作用

1. 空间优化: 城市更新通过对城市建成区的改造、整治和提升, 优化城市空间结构, 完善城市功能布局。这有助于落实国土空间规划中关于城市空间布局的要求, 提高城市空间的品质和活力。例如, 对老旧街区进行更新改造, 增加公共空间、改善交通条件, 实现国土空间规划中提升城市宜居性的目标。2. 功能完善: 城市更新可以根据城市发展需求, 补充和完善城市功能。通过更新, 增加教育、医疗、文化等公共服务设施, 提升城市的综合承载能力, 落实国土空间规划中关于公共服务设施配置的要求。例如, 在城市更新项目中, 配套建设幼儿园、社区医院等设施, 满足居民的生活需求。3. 品质提升: 城市更新注重提升城市的环境品质和文化内涵, 塑造城市特色风貌。这与国土空间规划中关于提升城市品质、传承历史文化的要求相一致。例如, 对历史文化街区进行保护性更新, 保留和修复历史建筑, 传承城市历史文化, 提升城市的文化品位。^[2]

二、国土空间规划体系下的城市更新思路

（一）目标导向的更新思路

1. 明确更新目标：结合国土空间规划的总体目标和城市发展需求，明确城市更新的目标。包括提升城市功能、改善人居环境、促进产业升级、保护历史文化等。例如，对于老旧工业区的更新，目标可以是将其改造为集创新研发、产业孵化、文化创意等功能于一体的产业园区，同时改善周边居民的生活环境。2. 制定更新策略：根据更新目标，制定相应的更新策略。对于不同类型的更新区域，如老旧小区、商业区、工业区等，采取差异化的策略。例如，老旧小区更新以改善居住条件、完善配套设施为主；商业区更新注重提升商业活力、优化业态布局；工业区更新侧重于产业转型和空间重构。^[3]

（二）空间利用的更新思路

1. 优化土地利用：在国土空间规划的土地利用规划指导下，对城市更新区域的土地进行优化利用。通过土地用途调整、土地混合利用等方式，提高土地利用效率。例如，将闲置的工业用地转变为居住用地或商业用地；在城市更新项目中，推行土地混合利用，实现居住、工作、休闲等功能的融合。2. 拓展空间资源：通过城市更新，挖掘和拓展城市空间资源。例如，利用地下空间，建设地下停车场、地下商业设施、地下管廊等，缓解城市地面空间紧张的问题；对城市边角地、废弃地等进行再利用，建设口袋公园、小微绿地等，增加城市绿色空间。

（三）产业发展的更新思路

1. 产业转型与升级：根据城市的产业发展规划和国土空间规划的产业布局要求，推动城市更新区域的产业转型与升级。引导传统产业向高端化、智能化、绿色化方向发展，培育新兴产业。例如，在城市更新中，将传统制造业园区改造为智能制造产业园区，引入高新技术企业和创新平台。2. 产业融合发展：促进城市更新区域的产业融合发展，推动一二三产业融合、制造业与服务业融合等。例如，发展观光农业、工业旅游等产业融合项目，实现产业协同发展，提升产业附加值。^[4]

（四）公共服务设施的更新思路

1. 补齐设施短板：依据国土空间规划中公共服务设施配置标准，对城市更新区域的公共服务设施进行评估，找出设施短板。加大对教育、医疗、养老、文化等公共服务设施的投入，补齐短板，提高公共服务水平。例如，在老旧小区更新中，配套建设社区养老服务中心、小型图书馆等设施。2. 提升设施品质：不仅要增加公共服务设施的数量，还要注重提升设施品质。通过优化设施布局、完善设施功能、提高设施运营管理水平等方式，为居民提供更加优质的公共服务。例如，建设现代化的社区医院，配备先进的医疗设备和专业的医护人员；打造高品质的文化活动中心，举办丰富多彩的文化活动。^[5]

（五）生态环境的更新思路

1. 生态修复与保护：在城市更新中，加强对生态环境的修复与保护。对受损的生态系统进行修复，如修复河流湖泊生态、治理土壤污染等；保护城市的自然山体、水体、植被等生态要素，

构建城市生态网络。例如，对城市内河进行清淤、截污，恢复河流生态功能；划定山体保护范围，禁止乱砍滥伐和违法建设。

2. 绿色空间营造：增加城市更新区域的绿色空间，提高城市绿化率。建设公园、绿地、绿道等绿色基础设施，改善城市生态环境，提升居民的生活品质。例如，利用城市更新腾退的土地，建设城市公园；串联城市的公园、绿地，打造城市绿道系统，为居民提供休闲健身的场所。

三、国土空间规划体系下城市更新面临的问题

（一）规划衔接不畅

1. 与上位规划衔接问题：城市更新规划在目标、空间布局等方面与国土空间规划的上位规划衔接不紧密。存在更新规划目标与上位规划不一致，更新区域的空间布局不符合上位规划的空间管制要求等问题，导致城市更新活动与区域整体发展不协调。2. 与相关专项规划衔接问题：城市更新涉及多个领域，需要与交通、市政、环保等相关专项规划进行衔接。但目前存在衔接不畅的问题，如城市更新项目中的交通组织与交通规划不匹配，市政设施建设与市政专项规划不一致，影响城市更新的实施效果。^[6]

（二）利益协调困难

1. 产权复杂：城市更新区域往往存在产权复杂的问题，涉及多个产权主体。不同产权主体的利益诉求不同，在更新过程中难以协调，导致更新项目推进缓慢。例如，老旧小区更新中，涉及多个业主的产权问题，在拆除重建、改造升级等方面难以达成一致意见。2. 利益分配不均：城市更新过程中，利益分配不均问题较为突出。开发企业、原产权人、政府等各方在利益分配上存在矛盾，容易引发社会问题。例如，在城市更新项目中，开发企业追求利润最大化，可能导致原产权人的利益受损；政府在土地出让、税收等方面的利益与其他方也需要平衡。^[7]

（三）资金短缺

1. 更新成本高：城市更新需要投入大量资金，包括土地征收、房屋拆迁、基础设施建设、公共服务设施配套等方面的成本。尤其是在老旧城区更新中，由于建筑密度大、人口密集，更新成本更高。例如，拆除重建老旧建筑的成本远高于新建建筑，增加了资金压力。2. 融资渠道有限：目前城市更新的融资渠道相对有限，主要依赖政府财政投入和开发企业自筹资金。政府财政资金有限，难以满足大规模城市更新的需求；开发企业自筹资金压力大，且融资难度较大，导致城市更新项目资金短缺，影响项目的顺利实施。

（四）实施管理机制不完善

1. 审批流程繁琐：城市更新项目的审批流程繁琐，涉及多个部门和环节。从项目立项、规划审批到施工许可等，审批周期长，影响项目进度。例如，一个城市更新项目可能需要经过规划、住建、环保、消防等多个部门的审批，各部门之间协调困难，导致审批效率低下。2. 监管不到位：在城市更新项目实施过程中，存在监管不到位的问题。对项目的建设质量、安全、环保等方面的监管存在漏洞，容易出现违规建设、质量安全事故等问

题。例如,部分城市更新项目在施工过程中,存在偷工减料、违规操作等现象,影响项目质量和居民安全。^[9]

四、国土空间规划体系下城市更新问题的解决策略

(一) 加强规划衔接

1. 强化与上位规划衔接:在编制城市更新规划时,充分研究国土空间规划的上位规划,明确城市更新的定位和方向。确保更新规划目标与上位规划一致,更新区域的空间布局符合上位规划的空间管制要求。建立规划审查机制,对城市更新规划进行严格审查,保障与上位规划的有效衔接。2. 加强与相关专项规划协同:建立城市更新规划与交通、市政、环保等相关专项规划的协同机制。在规划编制过程中,加强各部门之间的沟通与协调,实现信息共享。例如,在城市更新项目规划设计阶段,邀请交通、市政等部门参与,确保更新项目的交通组织、市政设施建设等相关专项规划相匹配。^[9]

(二) 完善利益协调机制

1. 明晰产权关系:对城市更新区域的产权进行全面梳理,明确产权主体和产权范围。通过政策引导、法律手段等方式,解决产权纠纷,为城市更新创造良好的产权环境。例如,对于老旧小区的产权问题,可通过政府组织协调、业主协商等方式,明确产权归属,推动更新项目顺利进行。2. 合理分配利益:建立公平合理的利益分配机制,充分考虑开发企业、原产权人、政府等各方的利益诉求。制定科学的利益分配方案,明确各方在土地增值收益、税收优惠等方面的分配比例。例如,在城市更新项目中,通过土地出让金返还、税收减免等方式,保障原产权人的利益;同时,合理确定开发企业的利润空间,调动其参与城市更新的积极性。

(三) 拓宽资金渠道

1. 加大政府投入:政府加大对城市更新的财政投入,设立城市更新专项资金,用于支持城市更新项目中的基础设施建设、公

共服务设施配套等。同时,通过政府购买服务、PPP 模式等方式,吸引社会资本参与城市更新项目,缓解资金压力。例如,采用 PPP 模式建设城市更新项目中的污水处理设施,由政府和社会资本共同出资、运营。2. 创新融资方式:鼓励金融机构创新金融产品和服务,为城市更新项目提供多样化的融资渠道。例如,开展城市更新项目贷款、发行城市更新专项债券、设立城市更新产业基金等。同时,探索利用资产证券化等方式,盘活城市更新项目中的资产,提高资金使用效率。^[10]

(四) 优化实施管理机制

1. 简化审批流程:建立城市更新项目审批绿色通道,简化审批流程。整合相关部门的审批职能,实行一站式审批,缩短审批周期。例如,设立城市更新项目审批服务中心,集中办理规划、住建、环保等部门的审批业务,提高审批效率。2. 加强监管力度:建立健全城市更新项目实施监管机制,加强对项目建设质量、安全、环保等方面的监管。制定严格的监管标准和规范,加强对施工过程的监督检查。例如,建立质量安全巡查制度,定期对城市更新项目进行检查,对违规行为进行严肃处理,确保项目质量和安全。

五、结论

总之,在国土空间规划体系下,城市更新对于推动城市可持续发展具有重要意义。通过明确国土空间规划与城市更新的关系,探索目标导向、空间利用、产业发展、公共服务设施、生态环境等方面的更新思路,能够有效指导城市更新实践。然而,目前城市更新面临规划衔接不畅、利益协调困难、资金短缺、实施管理机制不完善等问题。为解决这些问题,需要加强规划衔接、完善利益协调机制、拓宽资金渠道、优化实施管理机制。在未来的城市发展中,应不断完善国土空间规划体系下的城市更新思路和方法,提高城市更新的质量和效率,实现城市的高质量发展,满足人民群众对美好生活的向往。

参考文献

- [1] 刘伟凯. 国土空间规划背景下城市更新路径探索 [J]. 智能城市, 2021, 7(16): 97-98.
- [2] 陈群弟. 国土空间规划体系下城市更新规划编制探讨 [J]. 中国国土资源经济, 2022, 35(05): 55-62, 69.
- [3] 栾景亮. 国土空间规划视角下的城市更新 [J]. 北京规划建设, 2021(01): 5-8.
- [4] 陈珊珊. 国土空间规划语境下的城市更新规划之“变” [J]. 规划师, 2020, 36(14): 84-88.
- [5] 张磊. “新常态”下城市更新治理模式比较与转型路径 [J]. 城市发展研究, 2015, 22(12): 57-62.
- [6] 杨慧祯. 城市更新规划在国土空间规划体系中的叠加与融入 [J]. 规划师, 2021, 37(08): 26-31.
- [7] 王鹏飞. 国土空间规划视角下的城市更新 [J]. 中华建设, 2022(10): 99-100.
- [8] 陈群弟. 国土空间规划体系下城市更新规划编制探讨 [J]. 中国国土资源经济, 2022, 35(05): 55-62+69.
- [9] 刘伟凯. 国土空间规划背景下城市更新路径探索 [J]. 智能城市, 2021, 7(16): 97-98.
- [10] 彭长歆. 国土空间视角下城市更新与空间优化 [J]. 西部人居环境学刊, 2021, 36(03): 4.

浅析房建土建工程中高支模施工中设备运用

黄益涛，傅丽红，俞国金

浙江浙兰建设有限公司，浙江 金华 321100

摘 要： 随着城市化进程的不断推进，房建土建工程的规模和复杂性日益增加。其中，高支模施工因其在高层建筑和复杂结构中的广泛应用而备受关注。本文旨在探讨高支模施工中设备的运用，分析其在提高施工效率、保证施工质量及安全性方面的重要性，并提出了具体的操作要点，希望为从业人员提供系统化的参考，推动高支模技术的进一步发展和应用。

关 键 词： 房建土建工程；高支模施工；设备运用；支撑系统；起重设备；脚手架

A Brief Analysis of Equipment Application in Medium and High-Support Formwork Construction in Civil Engineering of Housing Construction

Huang Yitao, Fu Lihong, Yu Guojin

Zhejiang Zhejiang Lan Construction Co., Ltd. Jinhua, Zhejiang 321100

Abstract： With the continuous advancement of urbanization, the scale and complexity of housing construction and civil engineering projects are increasing. Among them, high-support formwork construction has attracted much attention due to its wide application in high-rise buildings and complex structures. This article aims to explore the application of equipment in high-support formwork construction, analyze its importance in improving construction efficiency, ensuring construction quality and safety, and put forward specific operation points, hoping to provide systematic reference for practitioners and promote Further development and application of high-support mold technology.

Keywords： civil engineering of housing construction; high-support mold construction; equipment application; support system; lifting equipment; scaffolding

引言

高支模施工作为房建土建工程中的关键环节，其重要性不可忽视。随着建筑结构日益复杂化，高支模技术不断发展。高效、安全的高支模设备不仅能提高施工效率，还能大大降低安全隐患，保障施工人员的生命安全。因此，深入研究高支模施工中设备的运用，对于推动建筑业的技术进步和施工安全具有重要的现实意义。

一、高支模施工的基本概念

高支模施工是指在建筑工程中，当模板支撑的高度、跨度或荷载达到一定标准时的施工活动，其基本概念包括模板、支撑和连接的合理配置，以确保施工过程中的安全性与稳定性。高支模通常用于高层建筑、大跨度结构等项目，能够有效承受施工荷载和混凝土的自重。施工过程中，必须严格按照设计要求进行模板的安装、加固和拆除，同时需注意施工环境和天气变化对模板的影响。合理的高支模施工不仅提高了工作效率，还能减少工程事故的发生，从而确保工程质量和安全。

传统支撑系统以钢管和扣件作为支撑框架，通常用于大体积混凝土结构和多层建筑的模板支撑。钢管支撑具有较高的承载力和稳定性，可以满足各种复杂施工场景下的需求。施工过程中，钢管支撑结构需要根据建筑物的实际情况，进行详细的计算和设计，确保支撑架的刚度和稳定性。支撑系统的每个单元（包括支撑立柱、横梁、斜撑等）之间通过扣件连接，确保支撑系统整体的刚性和稳定。

在具体施工过程中，在搭设支撑体系时，要保证支撑点的对称分布以及与模板之间的联接。支撑立柱在安装时，要根据实际情况进行高度调整，确保模板与支撑架的水平度，以免在混凝土浇筑过程中出现下沉或倾斜现象。此外，所有的扣件连接处要加强检查，避免松动，防止安全事故发生。

2. 轻型支撑系统

轻型支撑系统的主要特点是支撑架体积较小，重量轻，便于搬运和安装，常见的轻型支撑系统包括铝合金支撑和高强度钢支

二、房建土建工程中高支模施工中的设备运用

（一）模板支撑系统

1. 传统支撑系统

撑等。与传统支撑系统相比,轻型支撑系统具有更高的施工效率和更低的劳动强度,但承载力相对较低,适用于模板支撑需求较为简单、结构相对简单的施工现场。在使用轻型支撑系统时,通常需要配备更多的支撑点和加固措施,确保其在受力过程中不会发生变形或失稳。特别是在高层建筑的施工中,轻型支撑系统需要严格计算支撑立柱的高度和布置位置,避免支撑点集中造成局部超载现象。

（二）起重设备

1. 塔吊

塔吊作为建筑工地常见的起重设备之一,具有较大的提升高度和较高的载重能力。在模板支撑系统的安装过程中,塔吊常用于将模板和支撑材料从地面运输至高空,特别是在高层建筑或大型建筑中,塔吊能够有效节省人工搬运的时间与成本。塔吊在施工中要根据建筑物的布局 and 施工顺序合理设置其塔身位置,确保覆盖范围最优化。塔吊的操作需要特别注意吊装时的稳定性,特别是在高风速天气下,要控制塔吊的使用,以避免发生倾斜或其他安全事故。吊装前需要严格检查起重设备的各项参数,确保吊具与模板支撑系统的连接牢固^[1]。

2. 倒吊机

倒吊机主要用于施工现场有限空间内的吊装作业,适用于模板和其他重型构件的精确安装。在高支模施工中,倒吊机能精准地将模板通过竖直吊装方式放置到预定位置,避免了由于空间受限或其他设备无法到达而导致的施工难度。倒吊机通常具备较强的灵活性和适应性,能够在狭小空间内进行复杂的吊装作业。使用倒吊机时,必须要确保吊装路径的畅通,避免吊装时与周围结构发生碰撞。此外,在使用倒吊机时要注意对重物的平衡控制,避免过度晃动而导致模板位置不稳定。

（三）脚手架

1. 移动脚手架

移动脚手架通常用于高度相对较低、面积较小的施工场合,具有较高的灵活性和可调节性。在高支模施工中,移动脚手架可用来为施工人员提供操作平台,尤其是在一些立面细部施工中,移动脚手架能够根据施工进度不断调整其位置。通过轮式支撑结构,移动脚手架能够在施工现场轻松搬移,适用于临时性工作平台的搭建。施工人员需要在使用前仔细检查脚手架的支撑点是否稳固,并做好防滑措施。此外,移动脚手架的稳定性在施工过程中要时刻监控,避免在人员操作时发生倾斜或坍塌。

2. 固定脚手架

固定脚手架常用于高层建筑和大型结构的施工,具有较强的承载能力和稳定性。在高支模施工中,固定脚手架主要用于支撑和固定模板支撑系统,确保整个支撑系统在施工过程中不发生位移。固定脚手架搭设时需要根据建筑物的层高、结构形态和施工工艺进行设计,确保其能够承受施工过程中产生的荷载。安装固定脚手架时,必须保证每一个连接点的牢固性,避免因接头松动造成脚手架的倾斜。特别是在高层施工中,脚手架的稳定性必须得到重点检查。在施工过程中,施工人员要定期检查脚手架的承载力,确保其能够满足施工需要。

（四）混凝土浇筑设备

1. 砼泵

砼泵主要用于混凝土的高效输送,特别是在高层建筑中,砼泵能够将混凝土通过管道快速输送到施工楼层。砼泵在施工中需要进行定期的检查和维护,确保泵送过程中无堵塞现象。通过合理布置管道,可以在最大程度上减少泵送过程中的混凝土损失。在高支模施工中,砼泵通常用于混凝土浇筑过程的中转工作。施工人员需要根据混凝土的种类和浇筑的难度选择适当规格的砼泵,以确保泵送压力和混凝土流量的平衡^[2]。

2. 砼搅拌机

砼搅拌机用于在施工现场对混凝土进行现场搅拌,确保混凝土的均匀性和稳定性。在高支模施工中,砼搅拌机通常配合其他设备使用,确保在浇筑过程中混凝土的配比精确。为了确保混凝土的质量,砼搅拌机需要定期检查其搅拌效果和搅拌时间,避免搅拌不均导致混凝土质量问题。在混凝土浇筑的高支模施工中,搅拌机的使用频繁,特别是在多次浇筑和不同楼层的施工过程中,搅拌机的输出能力和操作稳定性尤为重要。

三、设备运用中的技术要点

（一）设备选择的原则

在高支模施工中,设备选择是保证施工顺利进行的关键因素。选择设备时,必须充分考虑建筑项目的特点和具体施工需求。首先,设备的承载能力是最重要的选择依据。高支模施工中,模板支撑系统和混凝土浇筑常涉及较大的荷载,因此所选设备需要具备足够的承载能力。比如塔吊和起重机的起重量,必须满足模板、支撑架和混凝土材料的吊装要求,否则会导致设备超负荷运转,甚至出现故障。其次,设备的适应性和灵活性也至关重要。在复杂的建筑工地中,起重设备需要能够在有限空间内灵活移动,准确吊装材料。以倒吊机为例,它特别适用于狭小空间和精密操作的环境,能够有效解决其他起重设备无法到达的区域。而在一些高层建筑中,塔吊因其较大的工作半径和高度,成为主要的起重设备。最后,设备的操作性和稳定性必须保证。设备的操作平台、控制系统需要易于操作和调试,能够在高风险环境下持续高效运转。

（二）设备的安装与调试

设备的安装和调试是高支模施工中至关重要的步骤,直接影响施工效率和施工安全。设备安装时,需要进行详细的现场勘察,确保安装位置符合设计要求,并且能保证设备的稳定性。比如塔吊的安装,要根据建筑物的布局 and 施工进度,选择合适的塔身位置,并确保周围没有障碍物影响设备的正常运行。特别是在高层建筑施工中,塔吊的基础需要特别加固,确保设备能够在高负荷情况下依旧稳固运行。安装过程中,设备各部件的配合与连接十分关键。以砼泵为例,在安装前,需要仔细检查泵送管道的连接处,确保连接紧密,避免泄漏或堵塞。泵送管道的布置也要合理,确保混凝土能够顺畅地从地面输送到高层,减少混凝土搅拌时间。在设备安装完成后,应做好调试工作。在调试过程中,

需要严格监控设备各项参数，比如塔吊的起升高度、起重能力是否达到预定要求。砼泵的泵送压力和流量也需要进行反复调试，确保混凝土能够顺利输送至预定位置。

（三）设备的维护与保养

高支模施工中，设备的日常维护和保养直接影响施工进度和安全性。设备在长时间高强度运行后，容易出现磨损和故障，因此必须采取有效的维护措施。对于塔吊这种大型设备，定期检查塔身、钢丝绳、驱动系统和吊钩等关键部件的工作状态，是确保设备安全运行的基础。特别是在高风速天气下，塔吊的稳定性会受到较大影响，因此每次使用前，必须检查吊钩和钢丝绳的安全性，确保无松动、损坏等隐患。砼泵和混凝土搅拌机的保养也尤为重要。砼泵长时间工作后，泵送管道容易出现堵塞和磨损。因此，在每次施工结束后，要对泵送管道进行彻底清洗，避免残留的混凝土造成堵塞。此外，混凝土搅拌机需要定期检查搅拌器的

运转情况，确保搅拌均匀，避免因搅拌不均造成混凝土质量问题。此外，所有起重设备和泵送设备的转动部件，都需要定期加油和更换易损件，防止因润滑不良或零件老化导致的设备故障。通过完善的设备保养计划，可以显著提高施工效率，减少设备停机时间，确保高支模施工的顺利进行^[3]。

四、结语

高支模施工在房建土建工程中占据着重要地位，现代化设备的合理运用对于提升施工效率和安全性具有不可替代的作用。通过对高支模设备的深入研究和应用实践，可以进一步优化施工流程，降低施工风险，确保工程质量。未来，应加强高支模施工技术的研究和设备的创新应用，不断提升施工水平，为建筑行业的可持续发展奠定坚实基础。

参考文献

- [1] 董刚刚. 超高层建筑中高支模关键施工技术的应用研究 [J]. 价值工程, 2025, 44(03): 131-134.
- [2] 陈佳正. 高支模施工过程中的关键技术分析与应用 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2024, (32): 138-140.
- [3] 蔡震, 刘彪, 周前明, 等. 高支模施工技术在房建工程施工中的实践研究 [J]. 中国建筑装饰装修, 2024, (21): 126-128.

SPCS 空腔柱在装配式建筑中的结构性能优化与工程应用研究

程高, 曾治国

湖南省第二工程有限公司, 湖南 长沙 410015

摘 要 : 本研究围绕 SPCS 空腔柱在装配式建筑中的应用展开, 重点探讨其结构性能优化策略与实际工程应用效果。通过优化设计、改进材料性能和创新施工工艺, 显著提升 SPCS 空腔柱的力学、抗震和防火性能, 为其在装配式建筑中的广泛应用提供理论与实践支撑, 推动装配式建筑行业发展。

关 键 词 : SPCS 空腔柱; 装配式建筑; 结构性能优化

Research on Structural Performance Optimization and Engineering Application of SPCS Cavity Column in Prefabricated Buildings

Cheng Gao, Zeng Zhiguo

Hunan Construction Engineering Group No.2 Co., Ltd. Changsha, Hunan 410015

Abstract : This study focuses on the application of SPCS cavity column in prefabricated buildings, and focuses on its structural performance optimization strategy and practical engineering application effect. By optimizing design, improving material performance and innovating construction technology, the mechanical, seismic and fire performance of SPCS cavity column are significantly improved, providing theoretical and practical support for its extensive application in prefabricated buildings, and promoting the development of prefabricated building industry.

Keywords : SPCS cavity column; prefabricated building; optimization of structural performance

引言

装配式建筑凭借施工效率高、质量可控、环保节能等优势, 近年来在建筑行业迅速崛起。SPCS 空腔柱作为装配式建筑结构体系的核心构件, 其性能对建筑结构的安全与稳定至关重要。SPCS 空腔柱是一种内部空心的预制混凝土柱, 通过合理配筋和构造设计, 能减轻结构自重、提高空间利用率。然而, 在实际应用中, 其力学、抗震和防火性能仍需优化, 以满足不断增长的建筑需求。因此, 开展相关研究意义重大。

一、SPCS 空腔柱结构性能分析

(一) 力学性能

1. 抗压性能

SPCS 空腔柱的抗压性能是承受竖向荷载的关键。竖向荷载包括建筑物自重和使用中的活荷载。其抗压强度与混凝土强度等级、配筋率、截面尺寸和空腔率密切相关^[1]。提高混凝土强度等级和配筋率可提升抗压性能, 但过高配筋率会降低柱的延性。合理控制空腔率既能减轻自重, 又能保证抗压承载能力。如混凝土强度等级从 C30 提升到 C40, 抗压强度可提高约 20%–30%; 配筋率从 1.0% 增加到 1.5%, 抗压强度也会相应提高。

2. 抗弯性能

在水平荷载作用下, 良好的抗弯性能是保证 SPCS 空腔柱结构稳定的关键。其抗弯性能取决于纵筋配置、箍筋间距和截面形状等因素。纵筋承受拉力, 箍筋约束混凝土、提高抗剪和抗弯能力^[2]。增加纵筋数量、减小箍筋间距, 可显著提高抗弯刚度和极限抗弯承载力。合理设计截面形状, 如采用异形截面, 能优化抗弯性能^[3]。研究显示, 相同配筋条件下, 异形截面的 SPCS 空腔柱抗弯承载力比矩形截面柱高 15%–25%。

(二) 抗震性能

1. 延性

延性是衡量结构在地震作用下变形能力的重要指标。SPCS 空

腔柱的延性受配筋率、混凝土强度等级和箍筋约束效应等因素影响。降低配筋率、采用延性好的钢筋、加密箍筋,可提高柱的延性。延性好的柱在地震时能通过自身变形消耗能量,避免脆性破坏。例如,在柱端设置加密箍筋,可使延性系数提高20%–30%,增强结构抗震性能^[4]。

2. 耗能能力

耗能能力反映结构在地震中吸收和耗散能量的能力。SPCS 空腔柱可通过混凝土开裂、钢筋屈服和节点摩擦等方式耗能。设计时合理配置耗能装置,如在柱梁节点设置阻尼器或采用耗能型连接件,能进一步提高耗能能力。设置阻尼器后,耗能能力可提高30%–50%,减轻地震对结构的破坏。

(三) 防火性能

1. 混凝土保护层厚度

混凝土保护层厚度对 SPCS 空腔柱防火性能至关重要。足够的保护层厚度能延缓火灾时高温对钢筋的影响,保证钢筋在一定时间内维持力学性能。不同防火等级对保护层厚度有相应要求,如一级防火等级下,保护层厚度一般不小于30mm。保护层厚度不足时,火灾中钢筋过早失强,柱承载能力迅速下降,危及结构安全^[5]。

2. 防火材料的应用

在 SPCS 空腔柱内部或表面涂抹防火材料,如防火涂料、防火板等,是提高防火性能的有效手段。防火涂料在高温下膨胀形成隔热层,阻止热量向柱内传递;防火板直接覆盖柱表面起保护作用。涂抹防火涂料后,柱的耐火极限可提高1–2小时,增强结构在火灾中的安全性^[6]。

二、SPCS 空腔柱结构性能优化策略

(一) 优化设计

1. 合理的配筋设计

依据结构受力特点和设计要求,利用先进结构分析软件(如 ANSYS、ABAQUS)精确计算纵筋和箍筋用量及布置方式。模拟不同荷载工况下 SPCS 空腔柱的受力情况,确定最优配筋方案。对承受较大竖向荷载的柱,适当增加纵筋配筋率;对抗震要求高的区域,加密柱端箍筋,提高柱的延性和耗能能力。优化配筋设计可使柱承载能力提高10%–20%,满足不同工程需求。

2. 优化截面形式

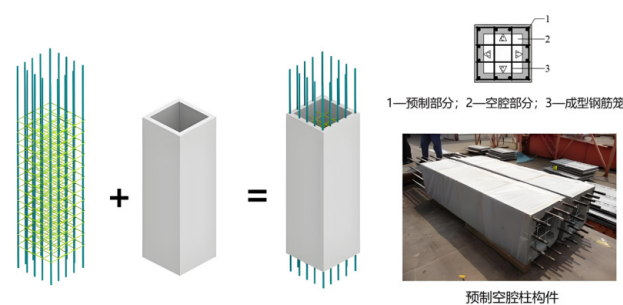
根据建筑功能和结构受力要求选择合适的 SPCS 空腔柱截面形式。除常见的矩形、圆形截面外,还可采用异形截面(如十字形、T形等)。异形截面能更好地适应建筑空间布局,相同截面积下,其惯性矩更大,抗弯性能更优。在大跨度建筑中,采用十字形截面的 SPCS 空腔柱,可提高空间利用率和承载能力,减少柱的数量,降低建筑成本^[7]。

(二) 材料性能改进

1. 高性能混凝土的应用

高性能混凝土具有高强度、高流动性、高抗渗性等特点,能弥补普通混凝土的不足。在 SPCS 空腔柱中使用高性能混凝土,

可使抗压强度提高30%–50%,同时增强抗渗、抗冻融等性能,延长结构使用寿命。在恶劣环境下的建筑工程中,使用高性能混凝土的 SPCS 空腔柱能更好地抵御外界侵蚀,保证结构长期稳定。



> 图1 预制空腔柱构件示意图

2. 新型钢材的选用

选用高强度、高延性的新型钢材作为纵筋和箍筋,可提高 SPCS 空腔柱的力学性能和抗震性能。新型钢材屈服强度和抗拉强度高,且具有良好的延性和可焊性。采用高强钢筋作纵筋,可不增加配筋率提高柱承载能力;使用高延性箍筋,能有效约束混凝土,提高柱的延性和耗能能力^[8]。使用新型钢材后,柱的抗震性能可提高20%–30%。

(三) 施工工艺创新

1. 预制与现浇结合的施工方法

预制与现浇结合的施工方法,兼具预制构件工业化生产优势和节点整体性、可靠性。SPCS 空腔柱施工时,柱身预制,现场吊装就位,再通过现浇混凝土将柱与梁、板等构件连成整体。这种方法减少现场湿作业,提高施工效率,保证节点混凝土密实性和钢筋锚固性能,增强结构整体性和抗震性能^[9]。实践证明,该方法可使 SPCS 空腔柱与其他构件连接强度提高15%–25%。

2. 精准的安装定位技术

研发和应用精准的安装定位技术,确保 SPCS 空腔柱吊装时位置准确、垂直度符合要求。利用全站仪、激光测距仪等先进测量设备实时监测和调整柱的位置和垂直度,优化吊装工艺,采用合理吊具和吊装顺序,保证安装精度。精准安装定位技术可将安装误差控制在3mm 以内,提高结构整体性能^[10]。

三、SPCS 空腔柱在装配式建筑中的工程应用案例分析

(一) 工程概况

某装配式住宅小区,总建筑面积15万平方米,由10栋50–60米高层住宅组成。该项目采用 SPCS 空腔柱作为竖向承重构件,旨在提高施工效率、降低成本,并满足7度抗震设防要求。

(二) SPCS 空腔柱的应用设计

1. 结构设计

根据结构受力分析,SPCS 空腔柱采用矩形截面,尺寸为600mm×600mm,空腔率30%。纵筋采用 HRB400E 级钢筋,配筋率1.2%;箍筋采用 HPB300级钢筋,柱端箍筋加密区间距100mm,非加密区间距200mm。混凝土强度等级为 C35,通过优

化配筋和截面设计,确保满足竖向和水平荷载承载要求,具备良好的抗震性能。

2. 防火设计

为满足一级防火等级要求,SPCS 空腔柱混凝土保护层厚度设计为 30mm,并在柱表面涂抹厚型防火涂料,耐火极限为 3 小时,确保火灾时柱能在规定时间内维持承载能力,为人员疏散和消防救援争取时间。

(三) 施工过程

1. 预制构件生产

SPCS 空腔柱在预制构件厂生产,采用先进工业化设备和工艺,严格控制原材料质量,对钢筋除锈、调直,精确设计和控制混凝土配合比。柱内预埋连接套筒、吊环等部件,方便现场吊装和连接。

2. 现场安装

施工现场用大型塔吊吊装 SPCS 空腔柱。吊装前精确放线定位,设置临时支撑。吊装过程中用全站仪实时监测垂直度和位置偏差,调整吊具和临时支撑保证安装精度。柱安装就位后及时临时固定,通过现浇混凝土将柱与基础、梁等构件连成整体,浇筑时振捣密实,保证混凝土强度。



> 图2 预制空腔柱施工流程

(四) 应用效果评估

1. 施工效率

与传统现浇混凝土柱施工相比,采用 SPCS 空腔柱的装配式施工方法,施工效率提高约 30%。预制构件在工厂生产,现场主要进行吊装和连接作业,减少湿作业和施工时间,有效缩短项目

工期。

2. 结构性能

通过现场检测和结构监测,SPCS 空腔柱各项结构性能指标均满足设计要求。竖向荷载作用下,柱的沉降量和变形在允许范围内;模拟地震作用下,结构位移和加速度响应符合抗震设计标准,表明其力学性能和抗震性能良好,能保证建筑结构安全稳定。

3. 经济效益

核算显示,采用 SPCS 空腔柱的装配式建筑与传统建筑相比,材料成本和人工成本有所降低。虽预制构件生产成本略高于现浇构件,但施工效率提高减少了现场人工和设备租赁费用,综合成本降低约 10%~15%。此外,SPCS 空腔柱减轻结构自重,降低基础工程成本,进一步提高经济效益。

四、结论与展望

(一) 研究结论

SPCS 空腔柱结构性能受多种因素影响,合理设计和优化这些因素可有效提升其力学、抗震和防火性能。优化设计、改进材料性能和创新施工工艺是提高 SPCS 空腔柱结构性能的有效策略,能满足不同建筑工程需求。实际工程案例验证了 SPCS 空腔柱在装配式建筑中的可行性和优势,为装配式建筑发展提供有力技术支持。

(二) 展望

未来可深入研究 SPCS 空腔柱在复杂受力状态下的力学性能和破坏机理,为结构设计提供更精确理论依据。研发高性能、环保建筑材料,进一步提升 SPCS 空腔柱性能和可持续性。结合智能化技术(如 BIM、智能监测系统)实现智能化设计、生产和施工,提高工程质量和效率。加强在不同建筑类型和环境条件下的应用研究,拓展应用范围,推动装配式建筑行业全面发展。

相信随着技术进步和研究深入,SPCS 空腔柱在装配式建筑中的应用将更加广泛和成熟,为建筑行业可持续发展做出更大贡献。

参考文献

- [1] 周进. 预制钢筋混凝土空腔柱施工技术研究[J]. 建筑机械化, 2024, 45(09): 129-131+135.
- [2] 王勇; 梁栋; 程庚; 胡岩松; 骆国辉. 装配式预制空腔柱 T63 钢筋连接技术研究[J]. 中国建筑装饰装修, 2024(17): 112-114.
- [3] 赵成文. 装配式混凝土建筑施工技术要点与现场质量控制研究[J]. 建筑技术开发, 2024, 51(06): 60-62.
- [4] 潘菁. 浅谈装配式混凝土框架结构设计要点[J]. 工程设计与设计, 2024(11): 30-32.
- [5] 徐俊杰. 预制空腔模壳免支模免振捣构造柱 - 圈梁一体化技术研究[J]. 建筑技术开发, 2024, 51(05): 62-64.
- [6] 张海潮. 二次结构预制空腔模壳砌块免支模施工技术[J]. 建筑技术开发, 2024, 51(04): 45-47.
- [7] 蒋胜; 高军; 郝宁; 周伟; 董远超. 装配式预制柱定位、吊装及注浆工艺研究[J]. 建筑技术开发, 2023, 50(S1): 88-90.
- [8] 滕鸣翰; 刘亮. 桥梁 UHPC 连接预制立柱空腔承压安装施工对策[J]. 建筑施工, 2023, 45(07): 1356-1359.
- [9] 邵志兵; 王欣平; 叶文启. 装配整体式混凝土空腔结构节点连接质量管控[J]. 建筑施工, 2021, 43(11): 2300-2302.
- [10] 李胜强; 杨博; 金煥; 杨云英. 装配式混凝土结构体系研究及探讨[J]. 建筑技术开发, 2021, 48(19): 3-6.

超高层建筑消防供水系统设计研究

范永岭

奥意建筑工程设计有限公司, 广东 深圳 518000

摘 要： 基于超高层建筑建筑楼层高、救援难度大的特点，安全、可靠、合理且经济的消防供水系统的设计，可有效控制初期火灾蔓延、并为火灾救援提供重要保障。本文通过分析深圳某 198.5m 超高层办公楼的临时高压消防给水系统，梳理超高层建筑消防供水系统设计的要点、难点、以及应对措施。

关 键 词： 超高层建筑；初期火灾控制；消防供水系统

Research on the Design of Fire Water Supply System for Super High-rise Buildings

Fan Yongling

A+E Construction Engineering Design Co., Ltd. Shenzhen, Guangdong 518000

Abstract： Based on the characteristics of high floors and difficult rescue in super high-rise buildings, a safe, reliable, reasonable, and economical fire water supply system can effectively control the initial spread of fires and provide important guarantees for fire rescue. This article analyzes the temporary high-pressure fire water supply system of a 198.5m super high-rise office building in Shenzhen, and summarizes the key points, difficulties, and countermeasures of the fire water supply system design for super high-rise buildings.

Keywords： super high-rise buildings; initial fire control; fire water supply system

随着我国城市化进程的加快的发展，超高层建筑作为城市地标和现代化的象征在我国各个城市中的建设变得更加常见。相较于一般建筑的消防供水系统，超高层建筑消防供水系统在设计的过程中，需要综合考虑建筑的类型、高度、结构、消防法规要求以及地方消防救援条件等因素，确保消防供水的有效性和可靠性。特别是在近几年我国持续加强消防安全治理的过程中，随着超高层建筑的消防安全标准和规范不断更新、完善，也进一步明确要求超高层建筑消防设计需要严格遵守最新的安全标准^[1]。而从经济性和实用性的角度来讲，合理的消防供水系统设计可以减少消防供水系统的维护成本，在满足规范标准要求、发挥消防安全作用的同时，降低消防供水系统的建设与维护成本。

一、工程概述

本工程是深圳市南山区，本项目总建筑面积约 32 万平，地上由 2 座办公楼、1 座公寓式办公楼、商业楼及商业裙房组成，地上建筑面积 24.5 万平。地下室 3 层，功能为商业、地下车库、配套用房、机电设备用房组成，地下建筑面积 82610m²。1# 座办公、2# 座办公均为地块内最高建筑高度：198.50m。

本项目最高办公楼建筑高度约为 198.5m，属一类高层建筑，消防设计立足于自救。设有室内消火栓给水系统、湿式自动喷水灭火系统、七氟丙烷气体灭火系统、室外消火栓给水系统及移动式灭火器等辅助消防设施。本项目根据各功能后期物业运行管理维护需求合理规划消防设施。各业态共用消防水池，其中办公、公寓、商业三个功能合用地下一层消防水泵房、消防水池；公寓消防泵房、消防供水设备及管网独立设置，其余办公与商业合用一套消防系统及泵房功能合用；办公为超高层，双塔高区消防由

各自塔楼避难层消防泵房独立供水。本文重点介绍超高层办公室楼内临高压消防供水系统。

办公楼 22 避难层及以下楼层属于 1、2 区 1、2 区消火栓系统分别设置消防增压泵由，增压泵设于地下一层水泵房内的加压消防泵供水，竖向采用减压阀分区，并通过屋顶消防水箱重力减压稳压维持 1、2 区静水压力需求；3、4 区消火栓系统由地下一层消防水泵房转输水泵提升至 22 层的消防转输水箱（1# 座、2# 座办公高区分别独立设置），再分别由 22 层的消防水泵加压供水至屋顶各楼层，自喷系统分区同室内消火栓系统。

1# 座办公、2# 座办公楼分别于 11 层、22 层、33 层设置避难层。1# 座办公、2# 座办公楼 22 层以下消防供水分别由 B1 层低位消防水泵直接供水，1#、2# 座办公 22 层分别设置 60m³ 转输水箱以及高区消防水泵，屋顶分别设置 100m³ 高位消防水箱及稳压设备。1#、2# 座低区合用下消防转输水泵。本设计合并低区消防水泵以及管网，高区独立消防水箱、消防泵、稳压水箱，保证每栋楼最短的供水管网，低区合用水泵、供水管网，在保证每栋塔楼

的消防供水可靠性的同时，适当降低了初期建设投入成本，便于后期运营管理。

二、消防供水系统概述

（一）消防用水水源与水量需求

本项目消防给水水源采用市政自来水，由室外引入2路进水管（设消防用水总表）。引入管接口压力约0.25MPa。并通过设计环状供水网络，确保在网络中的某一部分发生故障或堵塞时，水流仍然可以通过其他路径到达消防设施。同时，室外环状管网于地下室车位高位敷设，便于后期检修维护。

消防给水一次火灾灭火用水量应按需要同时作用的室内外下消防用水之和计算，两座及以上合用时是，应取最大^[2]。本项目室外消防给水设计流量40L/s,火灾延续时间3h，室外消防设计用水量432m³；室内消火栓系统给水设计流量40L/s,火灾延续时间3h，室内消火栓设计水量432m³；室内自动喷水灭火系统设计流量60L/s（大堂净高大于12m且小于15m的高大净空），火灾延续时间1h，自动喷水灭火设计水量216m³。故建筑消防给水一起火灾灭火用水总量为1080m³。室外消防水量不计入低位消防贮水池。本项目于地下一层消防水池以及消防水泵房，消防水池有效贮存水648m³。

（二）消火栓与自动喷水灭火系统设计

室内消火栓系统与自动喷水灭火系统均采用临时高压供水系统，以满足消防救援的要求。1#、栋2#办公楼栋建筑22层以下区域使用的消防泵设置在地下1层设备房，并配备1组消火栓、低区喷淋以及消火栓、低区喷淋转输专用泵以及备用的1组专用泵，以保障水压满足要求各系统分别设置一组备用水泵。高区消火栓、喷淋系统的泵房设置在22层的转输泵房，设置高区消火栓供水泵、高区自动喷水灭火供水泵，1#、2#办公楼屋顶设置高位消防水箱100m³，并配备1组消火栓、喷淋稳压设备，保证每栋塔楼消防系统服务的最不利点的所需静水压力的可靠性^[1]。

三、消防供水系统设计要点

（一）消防供水系统选型

现阶段超高层建筑消防供水系统可采用常高压消防系统、临时高压消防系统供水方式。恒高压消防系统常高压给水系统即能始终保持满足水灭火设施所需要的工作压力和流量，火灾时无需消防水泵直接加压的供水系统是将50%。超高层建筑需按常高压消防系统屋顶需要设高位消防水池，中部设减压水箱，高位消防水池、地面（地下）消防水池的有效容积应分别满足火灾延续时间内的全部消防用水量。次此方案较临高压消防系统更安全可靠，但是所需要的初期投资成本更高，按根据照《建筑高度大于250m民用建筑防火设计加强性技术》要求，超过250m的超高层建筑要求设置常高压消防系统。不超过250m的建筑综合分析后，深圳地区常采用临高压消防系统。

临高压串联分区供水则通过对建筑垂直消防给水进行分区的方式，通过串联增压的方式，保证消防供水系统的可靠性。现阶段串联分区供水在我国的应用较为广泛，成功案例较多，且该类型的消防供水系统可以保证各个区域较为稳定、相近的水泵

压力，并在实际使用的过程中，可以与消防车辆展开有效的配合，满足中、高区域的消防灭火要求^[3]。综合考虑各种方案的适用性与经济性，本文基于环形消防供水管网的设计思路，选择串联分区供水系统，使用消防泵直接串联转输水箱进行串联供水，并在消防水泵上设置减压防倒流器，出水管按照供水分区设置减压阀组，调整系统的供水压力，使其保证较好的稳定性。同时，在高区水泵位置额外增加手摇水泵，以避免水泵失效带来的不利影响。

（二）消防供水转输

根据消防供水传输的要求，以及供水管线最大的运行工作压力，需要将消防供水压力控制在2.4MPa以内，而本工程若采用一泵到顶的设计方式，会导致垂直供水距离超过180m，从而使系统供水压力高于2.4MPa。为了保证系统供水压力符合要求，提升系统的可靠性，将整体供水方式调整成串联供水，避免系统流量压力大于相关的规范标准。而转输的过程中，若采用直接串联的方式，可以不建设转输水箱和溢流管，从而有效节省相关设施建设成本，早期投资效益相对较高。但是，在后期运行和维护的过程中，直接串联需要保证水泵联动工作的可靠性，并且需要定期检测压差，并维护倒流防止器^[4]。同时，直接串联方式也很难应对两级消防泵小流量高扬程运行时出现的扬程叠加现象，从而对消防灭火工作带来不利的影响^[4]。虽然转输水箱建设会使用避难层、设备层的建筑空间，但综合研究判定分析后依然有转输水箱建设的空间余量，并且不会因为转输水箱建设对工程成本带来较大的影响，故在本项目中建设转输水箱，以提升串联供水系统的可靠性。

（三）消防分区规划

本项目可采用共用一套消防水泵以及消防管道，但因为工程建筑的体量较大，管线的线路长度、管径尺寸、阀门数量都会对后期的检修维护带来直接的影响。本项目系统分区以及泵房设置如下：

表1 办公楼消防系统分区及泵房服务范围

分区	1#办公楼	2#办公楼	地下室车库	商业	备注
低位消防水池	办公、商业、地下车库 消防合用				有效容积648m ³
地下室消防水泵	办公、商业、地下车库 消防合用				1区：B3~10F 2区：11F~21F
消防转输水泵	办公塔楼1#座、2#座合用转输泵				
消防转输水箱	独立，22层设置	独立，22层设置			3区：21~32F 4区：33F~RF
高区消防水泵	独立，22层设置	独立，22层设置			
消防高位水箱	A座、B座屋顶均设置，车库及商业消防通过管网与办公塔楼合用				
室外消防系统	合用				

因此，需要综合进行系统的分区规划，以便于减少后期管网检修维护可能带来的影响。首先，在设计的过程中，1#、2#办公塔楼如果合用高区消防泵房，塔楼高区不连通且水平距离较远，泵后管网需要通过地下室做连通，故水泵后管道服务距离最远达600m，且其中一栋塔楼核心筒管井需要增加很多。综合考虑后，1#、2#1#2#办公塔楼高区分别设置高区转输泵房，缩短了泵后管网距离，简化了供水管网同时增加了供水系统得可靠性，方便后期运营管理。另外将水平管网优先设置在离转输水箱、水泵等设施较近的避难层，同时办公塔楼#1、#2号避难间之间的垂直距离约为50m。在消防分区划分的过程中，消火栓1区负责地下B3层~10层，消火栓2区负责11~21层…后按照每11层一个消防分区的方式，划分出4个分区。低区管网分别与1#、2#1#2#办公塔楼高位防水箱相连，以构成环状供水网络。

（四）高位消防与传输水箱设计

本项目属于一类高层建筑，且建筑高度大于150m，故屋顶高位水箱容积不小于100m³，1#、2#办公楼屋顶分别设置有效容积100m³得高位水箱。同时，采用消防水泵传输水箱串联供水方式时，传输水箱得有效容积不得小于60m³。而根据本工程一次消防用水量的需求进行计算，常水位传输水箱的有效容积应当>89m³，而结合实际使用的要求以及最低有效水位的需求，设计的过程中采用13.8m×4m×2m的方式尺寸，确保传输水箱尺寸和容积满足要求^[9]。此外，由于火灾的蔓延会导致火灾跨越预先设置的防火分区，而传输水箱在满足供水要求的同时，还需要做好持续吸水、供水的准备，因此在系统可靠性设计的过程中，保安证消防水泵从接到启泵信号到水泵正常运转的自动启动的时间不应大于2min 需要确保消防水泵能在2min 内完成从接收信号~全速运转的状态。而在应急的过程中，水泵应当在报警后在5min 内完成启动正常工作，因此传输水箱的调节有效容积最小不低于60m³，且需要根据每个项目的实际情况按照 $90L/s \times [(5+2) \min \times 60]s$ 的公式进行校核进行计算^[9]。同时，还需要结合传输水箱浮球阀关闭后的常水位+0.10m的标准，确保有效容积符合要求。

（五）水箱溢流管设计

虽然现阶段我国相关的规定并没有针对水箱溢流管的设计进行明确，但从工程整体消防供水能力的角度来讲，需要从传输流量的角度进行合理的计算，确保水平悬吊管水充满度大于0.8，从而确定溢流管的排水能力符合相应的要求。并且使用能够主动控制传输水箱溢流管的紧急关闭阀，从而保证在应急情况下能够从消防控制中心关闭溢流管，提升传输水箱的吸、供水能力。按照80L/s的流量要求，悬吊管需要采用DN300直径的镀锌钢管，并保证其的坡度在1%左右，而垂直管则采用DN250直径的镀锌钢管^[10]。由于在应急处理的过程中，紧急关闭阀需要根据传输水箱的液位变化情况及时调整开闭状态，因此需要选用可靠性较高、稳定性较高的电动阀，以减少传输泵运行过程中可能面临的安全隐患和问题。同时，将电动阀的控制方式改为根据溢流情况自动或手动控制的方式，通过增加液压水位控制阀，提升系统的可靠性，并使用旁通管测量溢流量，提升控制的精度、减少传输泵空转的情况。此外，由于溢流管运行的过程中，因为消防水池设置在地下1层，溢流管的运行可能引起漏水的风险，并且管口末端容易出现淹没出流的情况，极易使溢流管排水能力受到影响，进而导致传输池溢出。因此，本工程设计尝试将溢流管设置在消防水池上方，并优化管线路径，避免穿梁情况。并提升溢流管管口标高，使其高于原来设计标准的150mm，从而避免相关问题带来的影响。

三、超高层建筑消防供水系统设计思考

（一）一次传输到位

为了提升消防供水的可靠性，需要直接将水输送至所需高度，而不需要通过多级的中间加压泵房进行中转，这样可以减少中转环节，避免中间加压泵房故障带来的影响，从而提高系统的整体可靠性。本次超高层建筑消防系统的设计因为楼层较高，管线输水压力会大于2.5MPa，因此缺乏一次性输水到位的条件。但在具备一次传输到位的条件下，应当积极采用相应的设计，不但可以减少中转环节，还可以减少加压泵房、传输水池等设施的建

设，从而降低建设与维护成本^[6]。但同时，也需要从能效优化的角度，充分考虑一次传输到位设计中的各种能耗，以便于提升消防供水系统的可靠性与经济性。

（二）传输管路空管

超高层建筑传输管网较长、容积较大，当出现空管时会导致管网短时失效的情况，对消防灭火工作带来不利影响。在设计的过程中，需要充分考虑传输管路空管的现象，做好平时工况管理的同时，还应当使用多级止回阀倒流防止器，减少可能出现的漏损和空管现象。同时，由于消防传输水泵并不是常时运转，在停运时，为了避免管路空管，还应当尝试使用合用水箱进行补水，并使用止回阀防止可能出现的泄露，并使用管径较小的管道进行补水，从而实现在传输水泵运行时，补水回路因传输压力而关闭，停运时自动充水的效果。

（三）水箱容积计算

水箱容积计算是超高层建筑消防供水系统设计的重点，而在实际使用的过程中，水箱容积会被分为最大容积和有效容积、实际容积，特别是采用两路消防供水、环状消防供水的情况下，水箱容积的合理设计，可以在保证可靠水源的同时，保证供水的持续性^[7]。因此，必须详细根据建筑消防用水的需求、传输的要求，确保有效容积满足相关的标准和要求。

四、结语

综上所述，超高层建筑消防供水系统的设计，对建筑的合规性、安全性有直接的影响。因此在设计的过程中应当充分考虑各种要求，按照高标准设计的思路，确保消防供水系统的可靠性，为超高层建筑使用的安全性、可靠性打下良好的基础。

参考文献

- [1] 聂文力, 刘璞, 王勇锋, 等. 170m 以下超高层建筑(群)消防给水设计探讨[J]. 给水排水, 2024, 60(03): 114–118.
- [2] 消防水及消火栓系统技术规范 [M]. GB50974, 2014, :21.
- [3] 鲁凯强. 高层建筑消防给水设计存在的问题分析与应对措施[J]. 石材, 2023, (12): 46–48.
- [4] 严振兴. 高层建筑给排水消防系统设计与注意事项探析[J]. 消防界(电子版), 2023, 9(13): 52–54.
- [5] 吴帆, 焦玲玲, 冯静慧. 既有建筑消防水源及供水设施改造之设计难点及改进对策[J]. 建筑科技, 2023, 7(02): 26–28.
- [6] 郭淑文. 广州琶洲某超高层办公楼给排水及消防设计[J]. 低碳世界, 2021, 11(08): 128–129.
- [7] 唐炜鸿. 超高层建筑消防供水系统探析[J]. 时代农机, 2018, 45(04): 207.
- [8] 谭斌, 韩德广, 田波. 140m 至 170m 超高层住宅消防系统传输供水设计探讨[J]. 给水排水, 2023, 08.
- [9] 黎承. 超高层建筑消防供水系统设计探析[J]. 中国给排水, 2014, 06.
- [10] 裴婷. 基于负荷预测的超高层建筑供水系统能耗综合优化方法[J]. 河南科学, 2021, 39(07): 1086–1091.

国土空间规划体系下村庄规划的协同性分析

刘毅¹, 赵笑峰²

1. 身份证号码: 612525199009021811, 陕西 西安 710077

2. 身份证号码: 410328199106231019, 陕西 西安 710000

摘 要 : 国土空间规划是对一定区域国土空间开发保护在空间和时间上作出的安排, 是国家空间发展的指南、可持续发展的空间蓝图, 是各类开发保护建设活动的基本依据。村庄作为国土空间的重要组成部分, 村庄规划在国土空间规划体系中具有基础性地位。在国土空间规划体系下, 村庄规划的协同性至关重要, 它关系到村庄资源的合理配置、功能的有效发挥以及乡村振兴战略的顺利实施。因此, 本文对国土空间规划体系下村庄规划的协同性进行了分析。

关 键 词 : 国土空间规划; 村庄规划; 协同性

Collaborative Analysis of Village Planning under the National Land Spatial Planning System

Liu Yi¹, Zhao Xiaofeng²

1.ID : 612525199009021811, Xi'an, Shaanxi 710077

2. ID : 410328199106231019, Xi'an, Shaanxi 710000

Abstract : National land spatial planning refers to the spatial and temporal arrangements made for the development and protection of a certain region's land space. It serves as a guideline for national spatial development, a spatial blueprint for sustainable development, and a fundamental basis for various development, protection, and construction activities. Villages, as an important component of national land space, occupy a fundamental position in the national land spatial planning system. Under this system, the collaboration of village planning is crucial, as it relates to the rational allocation of village resources, the effective functioning of villages, and the smooth implementation of the rural revitalization strategy. Therefore, this paper analyzes the collaboration of village planning under the national land spatial planning system.

Keywords : national land spatial planning; village planning; collaboration

一、国土空间规划体系与村庄规划概述

(一) 国土空间规划体系构成与层级关系

国土空间规划体系包括总体规划、详细规划和专项规划。总体规划是对国土空间发展作出的全局性、战略性、系统性安排, 明确国土空间开发保护格局。详细规划是对具体地块用途和开发建设强度等作出的实施性安排, 是开展国土空间开发保护活动、实施国土空间用途管制、核发城乡建设项目规划许可、进行各项建设等的法定依据。专项规划是对特定区域、特定领域的国土空间开发保护作出的专门安排, 如交通、水利等专项规划。各层级规划之间相互关联、层层传导, 上级规划指导下级规划, 下级规划落实上级规划要求。^[1]

(二) 村庄规划在国土空间规划体系中的定位

村庄规划属于详细规划层次, 是国土空间规划体系的重要组成部分。它是对乡村地区国土空间开发保护的具体安排, 以村落为规划范围, 统筹考虑农村生产、生活、生态空间, 对土地利用、产业发展、居民点布局、基础设施和公共服务设施建设等进行综合部署, 是实施乡村振兴战略的法定依据, 也是促进乡村地区高质量发展的重要手段。

二、村庄规划协同性内涵及意义

(一) 协同性内涵

1. 目标协同: 村庄规划的目标应与国土空间规划的总体目标相一致, 同时也要与乡村振兴战略目标相契合。在保障国家粮食安全、生态安全的基础上, 促进乡村经济发展、社会进步和环境改善, 实现农村地区的可持续发展。

2. 空间协同: 实现村庄内部各类空间的合理布局与有效衔接, 包括农业生产空间、农村生活空间和生态保护空间。同时, 也要确保村庄空间与周边城镇空间、生态空间等的协调统一, 避免空间冲突和资源浪费。^[2]

3. 要素协同: 统筹考虑土地、水资源、生态环境、产业、基础设施、公共服务等各类要素, 实现要素之间的相互促进、协同发展。例如, 产业发展要与土地利用、水资源保障相匹配, 基础设施建设要与居民点布局相协调。

4. 部门协同: 村庄规划涉及多个部门, 如自然资源、农业农村、住建、交通等。各部门应打破行政壁垒, 加强沟通协作, 形成工作合力, 共同推进村庄规划的编制与实施。

（二）协同性意义

1. 提高规划科学性：通过协同性分析，能够全面、系统地考虑村庄发展的各种因素，避免规划的片面性和局限性，使村庄规划更加科学合理。2. 促进资源优化配置：实现各类资源的有效整合和优化配置，提高资源利用效率，避免资源的重复建设和浪费，促进农村地区的可持续发展。3. 增强规划实施性：各部门协同参与规划编制与实施，明确各自职责和任务，能够有效减少规划实施过程中的矛盾和冲突，提高规划的实施效果。4. 推动乡村振兴战略实施：协同性的村庄规划能够更好地统筹乡村地区的经济、社会、生态等各项事业发展，为乡村振兴战略的实施提供有力支撑。^[3]

三、村庄规划在不同层面的协同要点

（一）与上位规划的协同

1. 发展目标协同：深入研究上位国土空间规划的发展目标和战略定位，结合村庄实际情况，将上位规划目标细化分解到村庄规划中，确保村庄发展与区域整体发展方向一致。在这一过程中，需对村庄的人口规模、产业基础、资源禀赋等要素进行详细调研。例如，若上位规划将区域定位为生态涵养区并着重发展生态农业，村庄规划就要依据自身的土壤条件、气候特点以及现有的农业生产基础，合理布局粮食种植区、经济作物种植区和特色养殖区等，确定诸如绿色农产品产量增长目标、农业生态环境改善指标等具体发展目标，推动村庄在生态农业方向上稳步发展，实现与上位规划目标的深度融合。^[4]

2. 空间布局协同：严格落实上位规划确定的生态保护红线、永久基本农田保护红线和城镇开发边界，确保村庄空间布局符合上位规划的空间管制要求。在具体操作中，对于生态保护红线内的区域，村庄规划应明确禁止开发建设活动，制定生态修复和保护措施，如植树造林、湿地保护等；对于永久基本农田，要严格保护其数量和质量，防止被随意占用和破坏，同时优化农田水利设施布局，提高农业生产效率；在城镇开发边界方面，村庄规划要预留合理的发展空间，与城镇发展形成有机联系，避免无序扩张。同时，在村庄建设用地规模、布局等方面，与上位规划进行充分对接，根据村庄人口变化趋势、产业发展需求等因素，合理确定建设用地规模，优化居住、产业、公共服务等功能区的布局，实现空间的有序衔接。

3. 重大基础设施和公共服务设施协同：依据上位规划对重大基础设施和公共服务设施的布局安排，合理确定村庄内部基础设施和公共服务设施的配置标准和建设规模。例如，上位规划确定了区域交通干线的走向，村庄规划应考虑如何与交通干线进行连接，通过建设通村公路、设置公交站点等方式，完善村庄内部道路网络，提高村庄的交通可达性。在公共服务设施方面，根据村庄人口规模和分布情况，合理配置教育、医疗、文化等设施。若上位规划要求在一定区域内建设一所中心小学，村庄规划就要结合自身适龄儿童数量，确定学校的规模和选址，确保学校的服务半径能够覆盖村庄内的所有适龄儿童，同时配套建设相应的道

路、水电等基础设施，提高设施的服务效率和覆盖范围。^[5]

（二）与相关专项规划的协同

1. 产业规划协同：结合村庄的资源禀赋和产业基础，与农业产业规划、旅游产业规划等相协同，确定村庄的主导产业和特色产业。在与农业产业规划协同方面，若村庄拥有肥沃的土地和适宜的气候条件，可依据农业产业规划中对优势农产品的布局要求，发展优质粮食、蔬菜、水果等种植产业，同时配套建设农产品加工、仓储物流等设施，延长农业产业链。对于拥有丰富自然资源和历史文化资源的村庄，与旅游产业规划相结合，可打造乡村旅游景点，开发农家乐、民俗体验、农事活动等旅游项目，挖掘村庄的历史文化内涵，修缮古建筑、古遗址等，提升村庄旅游的文化品位，吸引更多游客前来观光旅游，促进村庄经济发展。

2. 生态环境保护规划协同：与生态环境保护规划相衔接，加强对村庄生态环境的保护和修复。明确村庄生态保护的重点区域和措施，对村庄内的河流、湖泊、森林等生态资源进行详细调查，划定生态保护空间，如水源保护区、森林保护区等。在生态保护措施方面，制定严格的污染防治措施，控制农业面源污染，推广绿色农业生产技术，减少化肥、农药的使用量；加强对生活污水和垃圾的处理，建设污水处理设施和垃圾收集站点，实现污水达标排放和垃圾无害化处理；开展生态修复工程，对受损的生态系统进行恢复和重建，如矿山废弃地复绿、水土流失治理等，确保生态功能的完整性。^[6]

3. 基础设施规划协同：与交通、水利、电力、通信等基础设施专项规划相协同，统筹考虑村庄基础设施的建设需求和布局。在交通规划协同上，根据村庄的地形地貌、产业布局和居民点分布，合理规划村庄道路的等级和走向，建设主次干道和支路，形成完善的道路网络，方便村民出行和货物运输。在水利规划协同方面，保障村庄的水资源供应和防洪安全，建设灌溉渠道、蓄水池等水利设施，优化水资源配置，提高水资源利用效率；加强防洪工程建设，加固河堤、建设防洪排涝设施，提高村庄抵御洪水的力量。在电力和通信规划协同上，合理布局变电站、通信基站等设施，确保村庄电力供应稳定、通信畅通，满足村民生产生活和产业发展的需求。

（三）村庄内部各类要素的协同

1. 土地利用协同：统筹安排村庄各类土地利用，实现农用地、建设用地和未利用地的合理布局 and 高效利用。在农用地方面，根据土壤质量、灌溉条件等因素，合理调整农用地结构，保障耕地质量和数量，划定高标准农田建设区域，提高农田的产出能力；发展特色农业，如建设花卉种植基地、中药材种植园等，提高农业经济效益。在建设用地方面，优化建设用地布局，根据村庄产业发展和居民生活需求，合理划分居住用地、产业用地、公共服务用地等功能区，避免功能区混杂，提高土地利用效率。对于未利用地，进行科学评估，在符合生态保护要求的前提下，合理开发利用，如将荒地开发为休闲农业用地或生态旅游用地。

2. 产业发展与居民点布局协同：根据村庄产业发展需求，合理布局居民点。发展农产品加工业的村庄，居民点应靠近加工产业园区，方便村民就业，减少通勤时间和成本，同时配套建设

相应的生活服务设施，如超市、诊所等，提高居民生活便利性。发展乡村旅游的村庄，居民点应考虑游客接待需求，进行合理布局，在旅游景点周边设置民宿集中区，统一规划建筑风格和服务标准，打造具有地方特色的乡村旅游接待区；同时，完善居民点与旅游景点之间的交通连接，提高游客的游览体验。^[7]

3. 基础设施与公共服务设施协同：根据村庄人口规模和分布情况，合理配置基础设施和公共服务设施。学校、医院等公共服务设施应与道路、水电等基础设施相配套，在学校周边建设便捷的交通道路，确保学生上下学安全；保障学校、医院的水电供应稳定，配备应急发电设备和储水设施。在公共服务设施的布局上，充分考虑人口分布的均衡性，对于人口较为集中的区域，增加公共服务设施的数量和规模，提高设施的服务效率和覆盖范围；对于人口分散的区域，通过建设小型服务站点或采用流动服务车等方式，满足村民的基本公共服务需求。

四、提升村庄规划协同性的策略

（一）统一规划理念

加强对国土空间规划体系和村庄规划的宣传和培训，提高各部门和利益主体对规划理念的认识和理解。树立可持续发展理念，坚持生态优先、绿色发展，注重经济、社会和环境的协调统一。通过举办专题讲座、培训课程等方式，让各部门工作人员深入了解国土空间规划的目标和要求，引导他们从全局和长远的角度看待村庄规划。同时，利用通俗易懂的方式，如制作宣传手册、开展乡村规划科普活动等，加强对村民的规划宣传教育，提高村民的规划意识和参与能力。^[8]

（二）建立统一的数据标准

制定统一的数据标准和规范，明确各部门数据的采集、整理、更新和共享要求。建立国土空间规划数据平台，整合各部门的数据资源，实现数据的互联互通和共享共用。在数据采集方面，统一数据采集的指标、方法和频率，确保数据的一致性和准确性。在数据整理环节，制定统一的数据分类和编码规则，便于数据的管理和查询。利用大数据、云计算等技术，建立数据更新

机制，确保数据的时效性。通过数据的统一管理和分析，为村庄规划的协同性提供数据支持。^[9]

（三）完善部门协调机制

建立健全部门协调机制，明确各部门在村庄规划编制和实施中的职责和任务。制定统一的规划编制流程和规范，确保各部门按照统一的标准和要求开展工作。加强部门之间的沟通和协作，建立定期的协调会议制度，及时解决规划过程中出现的问题。例如，每月召开一次部门协调会议，由各部门汇报工作进展和存在的问题，共同商讨解决方案。同时，建立规划实施的监督和评估机制，加强对各部门工作的监督和考核，对工作不力的部门进行问责。^[10]

（四）提高村民参与度

建立有效的村民参与机制，拓宽村民参与渠道。在规划编制前期，通过问卷调查、座谈会等方式，广泛征求村民的意见和建议。设计科学合理的调查问卷，涵盖村民对住房、基础设施、产业发展等方面的需求。在召开座谈会时，合理安排时间和地点，确保更多村民能够参与。在规划编制过程中，邀请村民代表参与规划方案的讨论和制定，让村民充分表达自己的想法。在规划实施过程中，加强对村民的宣传和培训，提高村民对规划的认同感和支持度，如定期组织村民参观规划实施成果，让村民切实感受到规划带来的好处。

五、结论

总之在国土空间规划体系下，村庄规划的协同性是实现村庄可持续发展的关键。通过与上位规划、相关专项规划以及村庄内部各类要素的协同，能够提高村庄规划的科学性、促进资源优化配置、增强规划实施性和推动乡村振兴战略实施。为提升村庄规划协同性，需要统一规划理念、建立统一的数据标准、完善部门协调机制和提高村民参与度。只有这样，才能编制出高质量的村庄规划，实现乡村地区的高质量发展。在未来的国土空间规划工作中，应进一步加强对村庄规划协同性的研究和实践，不断完善村庄规划体系，为乡村振兴战略的实施提供有力保障。

参考文献

- [1] 郭洁. 乡村振兴视野下村庄公益用地法律制度改革研究 [J]. 法学评论, 2020(05): 125-139.
- [2] 何文茜. 国土空间规划体系下的乡村振兴规划初探 [J]. 工程建设与设计, 2020(14): 38-39.
- [3] 林旭. 新形势下村庄规划的变革与思考 [J]. 住宅与房地产, 2020(33): 64+74.
- [4] 李丽娟. 基于国土空间规划的实用性村庄规划探究 [J]. 居业, 2022, (03): 115-117.
- [5] 袁兵. 国土空间规划体系下的村庄规划探析 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2019(18): 17.
- [5] 孙静. 实用性村庄规划的探讨 [J]. 南方农机, 2020, 51(21): 36-37.
- [6] 王祝根, 朱家宁, 刘慧. 城镇开发边界对城郊融合类村庄规划的多维影响与应对策略 [J]. 规划师, 2023, 39(2): 133-138.
- [7] 顾守柏. 上海：引领郊野单元空间治理精细化 [J]. 资源导刊, 2023(5): 57.
- [8] 陈琳, 沈高洁. 郊野地区空间规划：面向行动管理的上海创新实践 [J]. 城市规划学刊, 2022(2): 90-95.
- [9] 赵民, 王理. 我国土地发展权与规划控制的关系初探 [J]. 城市规划, 2023, 47(11): 67-76.
- [10] 钟长春. 城乡规划中土地资源管理和资源环境研究 [J]. 居舍, 2023, (25): 142-145.

预制装配整体式 PC 结构施工质量对策探析

杨以顺

上海建工房产有限公司, 上海 200000

摘 要 : 为了避免预制装配整体式 PC 结构施工过程中存在的质量通病, 给后续工程带来了很大的影响。本文主要从 PC 结构预制生产阶段、运输安装阶段、施工阶段等方面阐述了预制整体式 PC 结构的施工质量控制措施及技术要点, 并结合某工程实例提出了相应的解决方案和对策, 指出为提高预制构件的施工质量, 需要建立健全预制构件的质量保证体系, 严格把控预制构件原材料、工艺、设备选择和验收等环节, 同时还要加强对预制构件安装过程的质量控制, 确保其安装符合设计要求。

关 键 词 : 预制; 装配整体式; PC 结构; 施工质量

Exploration of Construction Quality Countermeasures for Prefabricated and Integral PC Structures

Yang Yishun

Shanghai Construction Real Estate Co., Ltd. Shanghai 200000

Abstract : To avoid common quality issues during the construction of prefabricated and integral PC structures, which can have a significant impact on subsequent projects, this article mainly focuses on the construction quality control measures and technical points of prefabricated integral PC structures from the stages of prefabrication, transportation and installation, and construction. Combining with a project example, corresponding solutions and countermeasures are proposed, pointing out that to improve the construction quality of prefabricated components, it is necessary to establish a sound quality assurance system for prefabricated components, strictly control the selection and acceptance of raw materials, processes, and equipment for prefabricated components. Additionally, it is essential to strengthen the quality control of the installation process of prefabricated components to ensure that their installation meets the design requirements.

Keywords : prefabricated; assembled integral; PC structure; construction quality

引言

目前, 在我国经济发展的带动下, 装配式建筑得到迅猛发展。《中国制造 2025》提出: “到 2025 年, 培育形成若干具有国际影响力和竞争力的装配式建筑品牌企业; 到 2030 年, 实现装配式建筑占新建建筑面积 30% 以上”。装配式建筑的推广将有利于提升建筑业节能减排水平, 提高劳动生产率, 减少施工现场噪音、粉尘污染等环境问题^[1]。预制整体式混凝土构件 (简称 PC 构件) 是以工业化方式生产的预制混凝土构件, 由钢筋、水泥、砂、石、外加剂等材料组成, 其自身强度较高, 尺寸精度较高, 并通过与相应的连接件配套使用而构成完整的结构体系, 主要用于高层建筑及大跨度结构的内外墙板、楼板、楼梯、阳台、梁柱节点等^[2, 3]。该技术最早于 20 世纪 60 年代在欧美发达国家得到应用, 70 年代引入我国, 并快速推广开来, 尤其是近年来, 随着国家对绿色建筑的倡导以及相关政策法规的出台, PC 结构作为一种新型结构形式受到了广泛关注, 逐渐被越来越多的工程项目所采用^[4]。据统计, 截至 2022 年底, 全国已有 PC 预制构件生产线 400 多条, 累计生产 PC 构件约 2 亿平方米。但也应看到, 当前我国预制装配式建筑依然处于起步阶段, 整体技术水平还不够高, 其中影响 PC 结构施工质量控制的因素很多。

一、工程概况

浦东新区惠南东城区中单元 (PDS3-0203) A1-3 地块 (“城中村” 改造项目——红光村地块) 项目地处上海市浦东新区惠南镇, 基地东至 A1-5、A1-7 地块, 南至 A1-6、A1-7、A1-8 地

块, 西至南祝路 A1-4 地块, 北至规划拱晨路。目前场地东侧为规划幼儿园地块与待建靖海路; 场地南侧为红光小区, 最近处距离地下室外边线约 10m; 场地西侧为市政道路南祝路, 距离地下室外边线约 18m; 场地北侧为规划拱晨路及无名河支流, 宽约 15m, 距离地下室外边线约 62m。

由于施工场地狭小,构件运输难度大,无法搭设满堂脚手架,故采用平板车进行吊装。此外,该工程构件规格多、数量大,在搬运过程中容易发生磕碰、破损等现象,对其外观质量影响较大。为了保证构件质量,项目部积极与构件生产方沟通协调,优化了构件运输方案,并通过合理安排生产计划、改进构件包装方式等措施来提高构件的生产效率和运输能力,减少了运输过程的损伤风险。同时,项目部还制定了严格的质量验收标准,从源头上把控构件的质量,确保构件运输、吊装和安装等各个环节都能符合设计要求。

二、存在的问题及影响因素

(一) 存在的问题

目前国内PC结构应用最多的是多层住宅、商业综合体以及酒店类建筑,而高层建筑由于建筑高度高、施工难度大、施工周期长等因素,导致在高层建筑中应用PC结构的并不多见。而且一般高层建筑中上部采用现浇结构,下部采用预制整体结构,形成“上大下小”的总体布置形式^[6]。与传统的现浇板结构相比,PC结构有许多优点,但也存在一些问题^[6]。例如:在高层建筑中,构件的尺寸较大,运输成本增加;构件需要现场拼装,无法进行模数化生产,制作精度降低;构件制作时受到模具形状、模具刚度、脱模时间、钢筋绑扎等因素的影响,产生变形;构件在工地进行拼装时,构件间接接位置会受到温度、湿度、混凝土收缩徐变等因素的影响,容易出现开裂、漏浆等现象,上述这些问题都会对施工质量造成一定的影响。

本工程中,1.因图纸设计原因导致预制构件无法安装。在项目中,由于预埋件未进行复核或预埋错误、梁底板间存在构造柱等原因导致预制构件不能正常安装。2.构件生产环节质量控制不足。部分预制构件厂加工工艺落后,机械化程度低,采用人工操作多,容易出现质量隐患,造成后期返工,影响工程进度。此外,部分构件厂为了降低成本,没有按照设计要求控制混凝土配合比,甚至偷工减料,也会导致产品质量不稳定,严重影响施工质量。3.预制构件安装前,需对装配式梁柱节点钢筋进行绑扎。若此时预留孔洞内的钢筋尚未绑扎完成,就可能会产生位移或弯曲变形等现象,导致连接部位混凝土浇筑不密实,影响工程质量。

(二) 影响因素分析

对上述问题进行分析,归纳总结主要有以下几个方面的影响:

1. 设计方面。由于PC结构形式较传统混凝土现浇结构而言,其各个构件之间不再是由钢筋连接在一起,而是通过预埋件来连接,因此对于构件的节点设计和构造要求更加严格。首先,必须保证预制柱与现浇柱的节点能很好地结合;其次,预制梁与现浇梁的节点处需要设置钢筋加强区,以满足刚度要求,并保证梁内不出现空腔;再次,板与墙的节点处也同样需设置钢筋加强区。

2. 材料方面。当前工程中使用的水泥、砂等原材料均为一般合格产品,但在实际施工过程中会存在各种质量隐患。例如,砂

浆凝结时间不符合规范要求,导致混凝土浇筑后不能及时养护,从而降低了结构的整体强度;砂中含泥量过多,在振捣过程中因含泥量过大而引起混凝土振捣不密实,从而使混凝土密实度不够,降低了结构的抗压强度。

3. 施工工艺方面。一是施工人员素质参差不齐,在安装过程中存在野蛮操作现象,造成施工现场的施工垃圾及杂物较多,不仅影响到美观,而且严重阻碍了后续工序的顺利进行;二是由于各分包单位现场作业人员流动性大,导致相关技术交底没有形成书面文件或没有交底到位,给现场施工带来极大的安全风险。

三、预制装配整体式PC结构施工质量控制措施

(一) 施工准备阶段

本工程的预制构件主要包括2700个混凝土楼板、1860个预制梁、960个预制墙板和360个预制楼梯。为保证构件质量,项目部严格按照《混凝土结构工程施工及验收规范》(GB50204-2015)要求,从原材料选择、运输、浇筑到养护,均进行了严格的质量控制。

1. 在原材料方面,项目部优选品牌商品混凝土,并对进场原材料进行质量抽检,确保质量合格后才允许使用;同时,还对水泥、砂石、外加剂等材料进行复验,不符合标准的一律不得用于混凝土生产中^[7]。此外,在混凝土配合比设计中,根据不同的混凝土强度等级及坍落度要求,设置相应的粉煤灰掺量,以改善混凝土的和易性。

2. 在施工工艺方面,项目部优化了楼板与梁的连接节点,采用现浇楼板加锚栓或套管措施,避免了楼板开裂现象发生;加强了内外模板的拼缝处理,避免因缝隙过大而产生渗漏问题;采取多道防水措施,有效地控制了地下室底板的渗漏问题。

3. 在构件安装方面,项目部将各项工序安排在同一平台内,便于现场作业人员操作,减少交叉作业带来的质量隐患。

(二) 运输安装阶段

预制混凝土构件在运输和安装过程中,不可避免会受到碰撞、振动、挤压等因素的影响,进而影响到构件的质量。因此,必须严格控制其运输过程。

1. 严格控制预制构件出厂前的检验工作,包括外形尺寸、垂直度、平整度、预埋件位置、钢筋间距及保护层厚度等^[8];同时还要对构件进行复试检验,以保证构件质量合格后方可发运。2. 根据工程实际情况确定合理的运输方式,如采用公路运输或水运等,并与相关单位签订安全协议,明确各方责任。3. 装车时要保持车辆平稳行驶,禁止急刹车,以免造成构件变形^[9]。4. 运输过程中,应由专业人员全程跟踪监控,发现异常情况及时处理,确保构件安全到达施工现场。5. 卸车时应尽量避免撞击,注意轻拿轻放,不得随意堆放,防止发生构件损坏^[10]。6. 构件运至施工现场后,应尽快拆除包装,做好成品保护工作。7. 运输和安装所用机具设备也应经过有关部门检测合格后才能使用。

(三) 施工阶段

1. 基坑监测:本工程基坑拟对明挖法基坑工程主体结构、地

表、3倍深度范围内建构筑物、管线等周边环境。其他工程影响范围的地表、建构筑物（含驳岸等）、管线等周边环境设置的监测项目如下：建构筑物的垂直位移，坑外地表沉降剖面监测，围护结构顶部垂直位移、水平位移监测，围护结构侧向位移监测，支撑轴力监测，立柱桩垂直位移监测，现场巡视，按规定需要监测的其他项目（如建筑物裂缝等）以上各项监测标准按三级基坑要求控制。监测工作要周密仔细，认真严格，及时提供监测数据和信息，做到信息化施工，确保基坑围护及基坑周围工程环境的安全。

2. 连接节点。为确保预制构件和现浇混凝土之间的有效衔接，需要做好节点设计、模板制作以及安装工作。首先，在设计方面，应对施工图纸进行深入分析，明确构件节点设计内容^[11]；其次，在模板制作方面，需要按照实际情况，科学合理地选择模板材质，以便于提高模板的耐久性；最后，在施工安装方面，要根据施工图纸，及时准确地将相关节点安装到位，以便有效保障连接效果。

3. 质量验收。为进一步确保预制构件的质量，可以通过建立一套完善的质量管理体系，实现全过程质量控制，包括原材料质量检验、现场实体工程检测、成品保护措施等。此外，还可以采用信息化手段来实现全过程管控，利用智能终端设备，实现信息共享，从而提升企业生产效率。

四、经济效益分析

预制构件在工厂生产，现场只需进行组装，大大减少了现场湿作业时间。通过严格的质量控制，可以确保预制构件的尺寸精度和安装质量，从而减少现场调整时间，进一步缩短工期；质量控制能够预防施工中的质量问题，减少返工和停工现象，这不仅节省了时间和人力成本，还避免了因延误工期而产生的额外费用，根据统计，返工成本通常占工程总成本的5%~10%，而通过质量控制可以将这一比例降低至2%~3%；标准化生产和施工可以大幅提高施工效率，缩短工期，根据实际案例，预制装配整体式PC结构的施工速度比传统现浇结构快30%~50%，从而减少人工成本和机械租赁费用；严格的质量控制能够确保预制构件在生产、运输和安装过程中的完整性，减少因损坏而导致的材料损

耗，材料浪费的减少可以降低材料采购成本，根据统计，传统施工中材料浪费率约为5%~10%，而通过质量控制可以将这一比例降低至2%~3%。总体来说，项目工期比传统现浇结构缩短了40%，节省了人工成本和机械租赁费用约200万元；通过精确的材料使用和优化库存管理，材料浪费率降低至2%，节省材料成本约150万元；项目交付后未出现重大质量问题，减少了维修成本和纠纷处理费用约100万元；高品质的建筑吸引了更多的客户，项目销售价格比周边同类项目高出10%，销售速度提高了20%。

五、结论

综上所述，预制装配整体式PC结构因其良好的综合性能和经济性，被广泛应用于大型公共建筑、住宅项目等工程中。但是由于其构件尺寸大、节点构造复杂、施工工序多，从而造成了质量通病频发的问题。通过分析上述工程中存在的质量问题，发现主要原因有两方面：一是设计人员在计算结构内力时没有充分考虑施工误差及拼装过程中的变形，导致构件截面不满足要求；二是现场施工方存在未严格按照设计图纸进行施工的现象，使构件连接件无法满足装配式结构的要求。

基于以上原因，提出以下建议，应加强预制混凝土结构的生产管理，严格控制其质量；PC构件运输和安装应进行分段运输，防止产生裂缝；当发现预制构件存在影响施工质量的缺陷时，应及时采取相应措施进行处理；对成品保护不到位的情况下，在搬运、吊装等施工过程中，应注意避免对成品造成损伤，以免影响后续施工；为保证钢筋连接质量，钢筋绑扎完成后，需要将外露钢筋擦净并涂上防锈漆后才能进行后续工作；当出现弯曲、变形或严重锈蚀等现象时，需要立即更换新的材料，确保连接质量；在施工阶段，由于工人缺乏相关技术培训，且工序流程繁琐复杂，导致施工人员可能会存在操作不当的问题。因此，对于PC构件的安装，需要制定出详细的作业指导书，并对现场工人进行技术交底，提高工人的施工水平。预制装配整体式PC结构施工质量控制后的经济效益分析表明，严格的质量控制不仅能够确保建筑物的安全性和耐久性，还能为企业带来显著的经济效益。因此，加强PC结构施工质量控制是提升项目经济效益的重要途径之一。

参考文献

- [1] 苑庆涛, 梁少岗, 龚志伟, 等. 基于六西格玛的PC预制构件吊装质量管理研究[J]. 工程质量, 2023, 41(S1): 1-3+8.
- [2] 蔡信团. 预制装配式混凝土结构施工质量控制——以东南大数据产业园研发楼为例[J]. 福建建材, 2022, (07): 100-103.
- [3] 沙会清, 邢乾, 杨晓方. 装配式混凝土结构全流程图解[M]. 化学工业出版社: 202207.369.
- [4] 周旭东. 预制装配式钢筋混凝土框架结构施工质量控制通病防治[J]. 安徽建筑, 2022, 29(06): 75-76+95.
- [5] 苗小芒. 装配式建筑PC结构施工阶段控制要点分析[J]. 四川水泥, 2021, (11): 91-92.
- [6] 张文. 预制装配式剪力墙结构施工质量控制研究[J]. 中国建筑金属结构, 2021, (10): 50-51.
- [7] 张来彩. 装配式住宅施工组织设计与进度管理研究[J]. 住宅与房地产, 2021, (24): 134-135.
- [8] 韩子毅. 预制装配式混凝土剪力墙结构施工及质量控制要点[J]. 建筑技术开发, 2021, 48(11): 12-13.
- [9] 钟海云. 预制装配整体式PC结构施工质量控制措施[J]. 建设监理, 2020, (05): 68-71.
- [10] 贾广前. PC结构施工质量控制要点[J]. 工程质量, 2018, 36(06): 37-40.
- [11] 段柯佑. 装配式建筑PC构件施工质量控制及施工管理[J]. 建筑技术开发, 2022, 49(24): 155-157.

工程造价管理在装配式建筑施工中的应用探讨

梁剑

呼伦贝尔市海拉尔区海创建设建筑有限责任公司，内蒙古 呼伦贝尔 021000

摘 要： 本文聚焦于工程造价管理在装配式建筑施工中的应用，首先阐述了装配式建筑的概念和在我国的现状。其虽在我国发展迅速，但面临产业链不完善、技术人才短缺等问题。接着对比了装配式与传统建筑在工程造价管理方面的差异，涵盖成本构成、计价方式及管理重点等维度，重点探讨了工程造价管理在装配式建筑施工各阶段的应用。旨在为装配式建筑工程造价管理提供参考，促进其更好发展。

关 键 词： 工程造价管理；装配式建筑；传统建筑

Exploration of the Application of Engineering Cost Management in Prefabricated Building Construction

Liang Jian

Hulunbeier Hailar Haichuang Construction Investment Building Co., Ltd. Hulunbeir, Inner Mongolia 021000

Abstract： This article focuses on the application of engineering cost management in prefabricated building construction. Firstly, it elaborates on the concept of prefabricated buildings and their current application status in China. Although they have developed rapidly in our country, they still face problems such as imperfect industrial chains and shortages of technical talents. Then, it compares the differences between prefabricated and traditional buildings in terms of engineering cost management, covering dimensions such as cost composition, pricing methods, and management priorities, focusing on exploring the application of engineering cost management in various stages of prefabricated building construction. The aim is to provide a reference for prefabricated building engineering cost management and promote its better development.

Keywords： engineering cost management; prefabricated buildings; traditional buildings

引言

装配式建筑作为一种颠覆传统建造模式的新兴力量，正凭借其独特优势在全球范围内迅速崛起。我国紧跟国际建筑发展潮流，积极推动装配式建筑的广泛应用，一系列利好政策的出台，有力促进了装配式建筑项目数量与规模的稳步增长。然而装配式建筑相较于传统建筑，其独特的生产与施工流程给工程造价管理带来了诸多新的挑战与难题。若无法妥善解决工程造价管理方面的问题，可能导致项目成本失控、资源浪费，阻碍装配式建筑行业的持续前行。因此深入探究工程造价管理在装配式建筑施工中的应用，剖析装配式建筑与传统建筑在造价管理上的差异，梳理施工各阶段造价管理要点，具有极为重要的现实意义与实践价值。

一、装配式建筑与工程造价管理

（一）装配式建筑概述

装配式建筑是一种新型的建筑方式，指将建筑的部分或全部构件在工厂预制完成，然后运输到施工现场进行组装。这些预制构件在工厂通过标准化、机械化的生产流程制造，具有精度高、质量稳定的特点。与传统现浇建筑相比，装配式建筑大大缩短了施工周期，减少了施工现场的湿作业，降低了建筑工人的劳动强度。同时由于构件在工厂生产，受天气等自然因素影响小，能更好地保证建筑质量。随着人们对建筑质量和可持续性要求的不断提高，装配式建筑已成为一个备受关注的领域。然而，尽管装配

式建筑的潜力巨大，但在实际应用中仍然存在一系列挑战，如质量控制、安全管理、技术创新等问题需要解决。因此，对装配式建筑施工管理技术的深入研究迫在眉睫^[1]。

（二）装配式建筑在我国的应用现状

近年来我国装配式建筑发展迅速，政府出台了一系列鼓励政策推动装配式建筑在全国范围内的应用。在一些大城市，如北京、上海、深圳等地，装配式建筑的应用比例逐年提高。许多大型建筑项目，包括住宅、商业建筑和公共建筑等，都采用了装配式建造技术。以住宅项目为例，不少房地产开发商积极尝试装配式住宅的开发，一些保障性住房项目也大规模采用装配式建筑方式，以提高建设效率和质量。然而目前我国装配式建筑在应用中

仍存在一些问题：部分地区的装配式建筑产业链尚未完善，预制构件生产企业规模较小，技术水平参差不齐，导致预制构件的供应能力和质量难以满足市场需求^[2]。由于装配式建筑在设计、施工等环节与传统建筑存在差异，专业技术人才短缺，使得一些项目在实施过程中出现技术难题。

（三）工程造价管理概述

工程造价管理是对建设项目从投资决策、设计、施工到竣工验收全过程的造价进行控制和管理，其目标是在保证工程质量和进度的前提下，合理确定和有效控制工程造价，使建设项目的投资效益最大化。工程造价管理涵盖了多个方面，包括投资估算、设计概算、施工图预算、工程结算和竣工决算等。通过科学的造价管理方法，如制定合理的计价依据、进行准确的工程量计算、严格控制工程变更等，可以确保建设项目的造价处于可控范围^[3]。在项目决策阶段，工程造价管理为项目投资决策提供重要依据，通过对不同建设方案的造价分析帮助决策者选择最优方案。在设计阶段，通过限额设计等手段将工程造价控制在投资估算范围内，避免设计浪费。

（四）工程造价管理现状及存在的问题

当前我国工程造价管理在传统建筑领域已经形成了一套相对成熟的体系，但在装配式建筑方面还存在一些不足。在计价依据方面，由于装配式建筑的构件生产和施工工艺与传统建筑不同，现有的计价定额不能完全适应装配式建筑的需求，导致工程造价计算不准确。在工程造价控制方面，由于装配式建筑项目涉及多个参与方，包括构件生产企业、设计单位、施工单位等，各方之间信息沟通不畅，容易出现设计变更频繁、施工进度延误等问题^[4]。此外目前工程造价管理专业人员对装配式建筑的了解和掌握程度不够，缺乏装配式建筑造价管理的专业知识和技能，难以准确评估装配式建筑项目的成本。

二、装配式建筑与传统建筑在工程造价管理方面的差异

（一）成本构成差异

装配式建筑成本构成中，预制构件的生产、运输和安装成本占据较大比重。在预制构件生产环节，工厂需要投入大量资金用于购置先进的生产设备、建设标准化的生产线以及模具开发等。相比之下，传统建筑没有预制构件相关的生产和运输成本，主要成本集中在施工现场的原材料采购、人工浇筑和现场加工等方面。

传统建筑现场施工成本较高，因为其需要大量的建筑工人进行长时间的湿作业。人工成本在传统建筑成本中占比较大，随着劳动力价格的上涨，这一成本压力愈发明显。而装配式建筑现场施工以构件组装为主，所需劳动力数量相对较少，且施工周期短，能有效降低现场人工成本^[5]。但装配式建筑在施工现场需要配备专业的吊装设备和技术人员，这部分设备租赁和专业人员费用是传统建筑所没有的。

装配式建筑由于采用预制构件，对材料的质量和规格要求更为严格，可能导致部分材料成本上升。同时为了保证构件连接的

可靠性，可能会使用一些特殊的连接材料，增加了材料成本。传统建筑虽然在材料选择上相对灵活，但由于施工现场管理难度较大，材料浪费现象较为普遍，在一定程度上也影响了材料成本。

（二）计价方式差异

传统建筑工程计价主要依据各地的定额标准，这些定额是基于传统施工工艺和方法制定的，对于装配式建筑并不完全适用。装配式建筑的预制构件生产、运输和安装等环节在现有定额中缺乏详细明确的规定，导致在计价时难以准确套用定额。预制构件的安装定额子目划分不够细致，无法准确反映不同类型、不同规格预制构件的安装难度和成本差异。装配式建筑计价需要考虑预制构件的生产价格、运输费用以及现场安装费用等多个方面。目前一些地区针对装配式建筑制定了补充定额或计价指引，但整体上还不够完善^[6]。在计价时除了要按照常规的工程量计算规则计算工程量外，还需要对预制构件的生产工艺、运输距离、安装方法等因素进行详细分析，以确定合理的计价方式。在传统建筑计价中，虽然也开始应用一些信息化软件辅助工程量计算和造价编制，但整体上信息化程度相对较低。而装配式建筑由于其构件标准化、生产工业化的特点，更适合采用信息化计价手段。通过建立建筑信息模型（BIM）可以对装配式建筑的全生命周期进行造价管理，实现工程量自动计算、造价信息实时更新和共享等功能，提高计价的准确性和效率。

（三）管理重点差异

传统建筑设计阶段管理重点主要在于满足建筑功能和外观要求，同时控制设计深度和质量，以避免施工阶段出现过多设计变更。而装配式建筑设计阶段管理更为复杂，不仅要考虑建筑功能和外观，还需要与预制构件生产企业密切配合，进行构件拆分设计、深化设计等。设计阶段的管理重点在于实现设计与生产、施工的一体化，避免因设计不合理导致构件生产困难或施工效率低下，从而增加工程造价^[7]。传统建筑施工阶段管理重点在于施工现场的组织协调，包括劳动力调配、材料供应、施工进度控制和质量安全管理等。而装配式建筑施工阶段管理重点除了常规的施工组织协调外，还需要加强对预制构件生产进度和质量的监控。由于预制构件生产环节在工厂完成，如果生产进度滞后或质量出现问题，将直接影响施工现场的组装进度和工程质量。因此施工单位需要与预制构件生产企业建立紧密的沟通协调机制，及时掌握构件生产情况，确保构件按时、按质供应到施工现场^[8]。同时施工现场要合理安排吊装作业顺序，提高施工效率，降低施工成本。传统建筑供应链相对简单，主要涉及原材料供应商、施工单位和分包商等。装配式建筑供应链更为复杂，涉及预制构件生产企业、原材料供应商、运输企业、施工单位等多个参与方，需要对各个环节进行有效的协调和管理，确保预制构件的质量、供应及时性和成本控制。

三、装配式建筑施工中工程造价管理的应用

（一）设计阶段工程造价管理

在装配式建筑设计阶段，推行限额设计是控制工程造价的关

键手段。设计团队应根据项目的投资估算和设计任务书，合理确定建筑的规模、标准以及预制构件的选用。以某装配式住宅项目为例，设计团队经过多轮方案比选，将原本复杂的户型设计简化，减少了预制构件种类 20%，使得整体工程造价降低了 8%。由于装配式建筑涉及多个专业领域，设计单位、预制构件生产企业以及施工单位应紧密合作，实现设计与生产、施工的深度融合^[9]。在设计过程中，充分考虑预制构件的生产工艺、运输条件以及现场安装的可行性，避免因设计不合理导致的变更和成本增加。运用价值工程方法对设计方案进行分析，在满足建筑功能要求的前提下，通过优化设计降低成本。对预制构件的选型、材料选用等进行价值评估，寻找性价比更高的替代方案。比如在某装配式公共建筑项目中，通过价值工程分析将部分预制外墙板的材料由高性能混凝土改为普通混凝土并增加保温层，在不影响建筑功能的情况下，大幅降低了材料成本。

（二）招投标阶段工程造价管理

招标人应在招标文件中明确装配式建筑的技术要求、质量标准以及计价方式等关键信息。对于预制构件的生产、运输和安装等环节，要详细规定其工作内容和计量规则，避免后期因理解不一致产生纠纷。同时合理设置招标控制价，确保价格既具有竞争力又能保证工程质量和进度。采用合理的评标方法，综合考虑投标单位的技术实力、报价合理性以及类似项目经验等因素^[10]。对于装配式建筑项目，不能单纯以低价中标，应注重投标单位在预制构件生产、施工技术以及项目管理等方面的能力。签订合同时要明确双方的权利和义务，特别是关于工程造价调整的条款。对于可能影响造价的因素，如材料价格波动、设计变更等，应约定合理的调整方法。

（三）施工阶段工程造价管理

密切关注预制构件的生产进度和质量，确保按时、按质供应到施工现场。与预制构件生产企业协商合理的采购价格，并加强

对运输过程的管理，降低运输损耗和成本。合理安排施工进度，避免因工期延误导致成本增加。装配式建筑施工过程中，要协调好预制构件的安装顺序和施工节奏，确保各工序紧密衔接。严格控制设计变更和工程变更，对于必须的变更，要进行严格的审批和造价核算。任何变更都可能导致预制构件的重新生产或施工工艺的调整，从而增加工程造价。例如某装配式建筑项目在施工过程中，因业主需求变更，对部分预制构件进行了重新设计，通过严格的变更管理流程，对变更产生的费用进行了准确核算和控制。

（四）竣工验收阶段工程造价管理

认真审核竣工结算文件，确保结算的准确性和合理性。对预制构件的数量、价格以及各项费用的计算进行仔细核对，防止出现高估冒算的情况。将工程质量验收结果与工程造价结算挂钩，如果工程质量未达到合同约定标准，应按照合同约定扣除相应的质量保证金。对装配式建筑项目进行后评价，总结项目在工程造价管理方面的经验教训，为后续项目提供参考。分析项目实际造价与预算造价的差异原因，评估工程造价管理措施的有效性，以便在今后的项目中不断改进和完善工程造价管理工作。

四、结束语

装配式建筑作为建筑行业创新发展的重要方向，其在提升施工效率、保障建筑质量及践行环保理念等方面的优势显著。通过对装配式建筑与传统建筑在造价管理多方面差异的剖析，以及对施工全流程各阶段造价管理应用要点的梳理，我们清晰地认识到，精准有效的造价管理贯穿于装配式建筑项目的始终，是决定项目成败的核心因素之一。随着装配式建筑技术的不断进步与推广应用，工程造价管理领域也必将迎来更多创新机遇。

参考文献

- [1] 季丽莎. 装配式建筑施工技术视域下的施工管理 [J]. 中国建筑金属结构, 2023, 22(12): 166-168. DOI: 10.20080/j.cnki.ISSN1671-3362.2023.12.055.
- [2] 柯燕燕, 朱小珍, 彭东勤, 等. 全生命周期视角下装配式建筑项目增量成本与增量收益研究 [J]. 建筑经济, 2023, 44(12): 41-46. DOI: 10.14181/j.cnki.1002-851x.202312041.
- [3] 青海省装配式建筑示范管理暂行办法 [N]. 青海日报, 2023-12-26(011). DOI: 10.28625/n.cnki.nqhrb.2023.005452.
- [4] 孙乾, 孔德泽. 装配式建筑在现代建筑领域的应用分析 [J]. 居舍, 2023, (36): 157-160.
- [5] 李连清. 装配式建筑工程造价预算与成本控制策略探析 [J]. 居舍, 2023, (29): 166-168+172.
- [6] 王丽霞. 装配式建筑工程的成本管控研究 [J]. 有色金属设计, 2023, 50(04): 76-79+91.
- [7] 韩建伟. 装配式建筑工程造价管理的探究 [J]. 陶瓷, 2023, (08): 170-172. DOI: 10.19397/j.cnki.ceramics.2023.08.056.
- [8] 徐景新. 基于预算定额的装配式混凝土建筑结构工程造价因素分析 [J]. 建筑与预算, 2023, (09): 26-28. DOI: 10.13993/j.cnki.jzyys.2023.09.009.
- [9] 施彬. 装配式建筑工程造价预算及成本控制策略探讨 [J]. 工程技术研究, 2023, 8(11): 123-125. DOI: 10.19537/j.cnki.2096-2789.2023.11.041.
- [10] 徐广财. 装配式建筑工程造价预算与成本控制策略探析 [J]. 工程机械与维修, 2023, (02): 69-71.

基于全过程造价管理的工程项目成本控制策略

邵青峰

杭州诚奕工程咨询有限公司, 浙江 杭州 312000

摘 要： 为解决建筑工程成本控制存在的问题，如人员综合素质不足、预算编制不合理、工程结算管理不完善等，避免影响工程成本控制的效果。本文首先介绍了全过程造价管理的内涵及作用；其次，对工程项目全过程造价管理中存在的问题进行了分析；最后，针对工程项目全过程造价管理中存在的问题提出了有效对策，旨在为相关工作人员提供一定的参考与借鉴。结果表明，在实际施工过程中，对工程项目成本进行全过程造价管理，不仅能有效控制项目投资成本，还能保障建筑工程质量。

关 键 词： 全过程造价管理；工程项目；成本控制

Cost Control Strategy for Engineering Projects Based on Whole-Process Cost Management

Shao Qingfeng

Hangzhou Chengyi Engineering Consulting Co., Ltd. Hangzhou, Zhejiang 312000

Abstract： To address the issues in construction project cost control, such as inadequate overall quality of personnel, unreasonable budgeting, and imperfect project settlement management, which can affect the effectiveness of project cost control, this paper first introduces the connotation and function of whole-process cost management. Secondly, it analyzes the problems existing in the whole-process cost management of engineering projects. Finally, effective countermeasures are proposed for the problems in the whole-process cost management of engineering projects, aiming to provide certain reference and lessons for relevant staff. The results show that in the actual construction process, whole-process cost management of engineering project costs can not only effectively control project investment costs but also ensure the quality of construction projects.

Keywords： whole-process cost management; engineering project; cost control

引言

在我国社会经济快速发展的背景下，我国建筑工程项目数量不断增加，工程项目规模不断扩大。随着建筑行业竞争压力的不断加大，建筑企业需要采取有效措施提升自身核心竞争力，进一步扩大市场份额，保证企业经济效益持续稳定增长。随着施工技术水平的不断提高，建筑工程项目造价管理也得到了快速发展。在当前建筑工程项目投资过程中，不仅要考虑到工程质量问题，还要对成本进行严格控制，实现全过程造价管理目标^[1]。全过程造价管理是对建筑工程项目施工全过程的造价控制及成本管理，其可以在很大程度上提高建筑工程项目的经济效益与社会效益。建筑工程项目全过程造价管理包括投资决策阶段、设计阶段、施工阶段和竣工结算阶段四个阶段。通过对各个阶段进行严格控制和管理，可以有效避免不必要的投资浪费问题，保证了整个施工过程的顺利进行^[2]。然而，目前我国大部分建筑企业在实际施工中并未开展全过程造价管理工作，这会影响到工程项目的经济效益与社会效益。因此，为进一步提升我国建筑行业的整体水平与市场竞争力，必须加强对工程项目成本的全过程控制与管理。

一、全过程造价管理的内涵及作用

全过程造价管理是指对工程项目建设的全过程进行造价管理，即对项目投资决策阶段、设计阶段、招标阶段以及施工阶段等各个环节进行控制，从而降低工程投资成本，提高建筑工程质量。全过程造价管理能有效提升项目成本控制效果，使工程项目的整体经济效益得到保障。全过程造价管理工作的开展，需要从

以下几个方面入手：首先，要全面了解工程项目建设中所涉及的各个方面，同时在这个方面明确自身职责，这样才能从源头上把控住工程造价；其次，要对工程造价管理工作的具体内容进行明确，做到责任到人、明确分工^[3]；最后，要合理设置资金预算，科学编制投资估算。通过对投资估算进行合理设置，可在一定程度上保障项目投资的合理性。由此可见，全过程造价管理具有重要意义，在工程项目成本控制中发挥着重要作用。

（一）优化项目管理模式

工程项目的管理模式是影响造价控制效果的关键因素，因此需要从工程项目管理模式入手，对工程造价进行有效控制。通过优化项目管理模式，可使造价管理工作更具科学性和合理性，使工程项目成本控制效果得到提升。具体而言，在实际工作中，施工单位应根据工程项目实际情况，对组织机构进行科学设置，从而优化工程项目管理模式^[4]。同时，施工单位应对招投标环节进行有效控制，并在合同签订前对相关内容进行详细审查。在合同签订阶段，施工单位应全面考虑项目建设中可能存在的风险因素，并依据合同规定确定相关责任主体的职责范围以及责任划分等内容，以此使项目投资成本得到有效控制。

（二）实现对成本的有效控制

全过程造价管理的应用，能够对建筑工程项目成本进行有效控制，在实现项目成本控制目标的同时，促进建筑企业经济效益的提升。全过程造价管理是一项系统性较强的工作，它不仅涉及各部门、各岗位的职责划分，同时也需要多个部门共同协作完成。因此，在开展全过程造价管理工作时，需要各个部门共同参与，从而将各项成本控制目标落到实处。同时，在开展全过程造价管理工作时，要根据工程实际情况进行设计与施工方案的制定^[5]。由于项目设计、施工以及竣工验收等环节均会涉及成本控制内容，因此需要相关部门共同参与成本控制中来。通过对这些环节进行全面把控，能够有效降低工程成本，实现工程项目经济效益的提升。

（三）提升投资效益

在建筑工程项目中，投资估算是工程项目开展的主要依据，对整个工程项目的效益具有决定性作用。建筑工程项目开展中，需要结合工程项目的具体情况，进行投资估算的编制工作。在编制投资估算过程中，需要对建筑工程项目建设中所涉及的各个方面进行全面了解，并且将其与实际情况相结合，从而保证投资估算的准确性^[6]。通过科学合理的投资估算，能够对项目建设成本进行有效控制，使成本得到有效控制。并且在投资估算的基础上对建筑工程项目进行科学规划，能够使建筑工程项目建设效果得到保障，促进建筑工程项目经济效益的提升。此外，在全过程造价管理中还可以对投资估算进行有效控制，进而使投资效益得到提升。

二、工程项目全过程造价管理中存在的问题

建筑工程项目施工过程中，会涉及多个部门与多个环节，各部门在工程建设中具有较大的自主权。然而，在实际施工过程中，相关部门与人员对工程造价管理重视程度不足，导致工程造价管理与实际施工不能达到良好的契合状态。此外，相关工作人员缺乏专业的造价管理知识和技能，导致其无法有效控制工程项目成本。具体而言，主要存在以下几点问题：

（一）相关工作人员对造价管理重视程度不足

在实际施工过程中，建筑企业需根据实际情况开展工程施工，在项目建设期间需对投资成本进行控制。然而，部分工作人

员没有认识到工程造价管理的重要性，导致项目投资成本控制效果较差。此外，部分工作人员对工程造价管理的内容不够了解，导致其在具体施工过程中没有发挥应有的作用。同时，部分工作人员缺乏专业技能和素养，导致工程造价管理与实际施工不匹配。

（二）预算编制不合理

在建筑工程项目施工过程中，相关工作人员对预算编制不够重视。具体而言，部分工作人员没有正确认识到预算编制的重要性，导致预算编制内容与实际施工情况不相符^[7]。此外，部分工作人员缺乏专业素养和能力，导致预算编制内容不符合实际施工情况。

（三）工程结算管理不完善

在工程项目施工过程中，相关工作人员无法按照合同约定完成所有施工任务。在此期间会涉及多个部门与环节。由于没有严格按照合同约定对工程进行结算管理，导致工程结算存在一定的问题和漏洞。

（四）财务管理制度不健全

在工程项目工程造价管理过程中需对财务管理制度进行完善和优化。具体而言，针对施工阶段存在的问题能够及时进行处理与解决。然而部分工作人员缺乏健全的财务管理制度和手段，导致工程成本控制效果不佳^[8]。

（五）设计变更管理不规范

在工程项目工程施工过程中需对设计变更进行科学合理地进行控制，从而有效控制投资成本投入^[9]。然而部分工作人员在具体施工过程中未按照设计要求开展工作或对设计变更的内容不理解，导致工程项目工程无法顺利开展。

三、工程项目成本控制对策

（一）加强成本控制意识

在建筑工程施工阶段，应以成本为导向，加强对各项成本的管控力度，有效控制工程造价，使整个施工过程处于可控范围内。建筑企业应强化成本意识，加强对各部门和人员的管控力度，培养全员参与的成本管理理念，全面提升建筑企业经济效益。

（二）优化管理制度

在建筑工程施工阶段，应根据工程实际情况构建全过程造价管理体系，优化完善管理制度。该体系应涵盖预算编制、造价管理、现场签证等方面的内容。其中预算编制主要是在项目工程开工前对建筑工程设计图纸进行审核，对其施工内容进行详细分析与研究，并结合相关标准要求开展预算编制工作；造价管理主要是在建筑工程施工前，根据建筑工程施工的具体情况对各项费用进行准确计算；现场签证主要是在建筑工程施工过程中对工程量和单价进行现场核实。在对以上内容进行全面掌握后，根据实际情况合理地确定各项成本控制的标准。

（三）提高人员综合素质

在工程项目施工阶段，应加大对从业人员的培养力度。应加

强对项目经理、成本经理的培训工作，使其掌握科学、有效的成本控制方法。同时，应强化对管理人员的监督力度，定期对管理人员进行考核。通过定期考核与培训工作，可以进一步提高管理人员的综合素质和专业技能。

（四）建立科学规范的预算编制体系

在工程项目施工阶段，应严格按照工程设计图纸要求和建筑工程预算定额进行工程造价的编制工作。在制定预算编制体系时应遵循以下原则：一是全面；二是协调；三是动态；四是科学合理。

（五）完善现场签证管理机制

在工程项目施工阶段，应制定完善的现场签证管理制度和现场签证工作流程，明确职责划分、完善施工现场签证管理制度和现场签证工作流程等内容；加强对施工现场签证工作人员的培训力度；加强对现场签证工作人员的监督力度。

（六）建立造价信息化系统

在建筑工程施工阶段，应建立造价信息化系统和造价信息数据库。该系统可实现信息资源共享、提高数据处理效率、降低成本支出等功能，对提升建筑工程项目成本控制效果具有重要作用^[10]。

（七）提高工程结算管理水平

在工程项目施工阶段，应根据施工合同及设计图纸对实际工程量进行准确计算和编制；同时还应严格按照施工合同规定的工程结算流程和规定进行结算工作；加强对工程结算工作的监督管理力度；建立健全工程造价信息化系统和造价信息数据库等内容，以进一步提高工程结算管理水平。

（八）加强材料采购管理

在建筑施工过程中，材料是影响成本控制的重要因素之一。因此，必须重视材料的采购管理，严格控制材料价格和质量。企业应该建立健全的采购制度，明确采购流程和职责分工，加强采购人员的培训和考核，提高他们的专业素质和业务能力，保证材

料质量和数量符合合同要求，降低施工成本。同时，企业还应该积极与供应商沟通协调，争取获得更优惠的价格和更好的服务。此外，对于一些特殊材料，如模板、脚手架等，企业应该根据实际需要及时更换，减少浪费和损失。

（九）强化施工现场管理

在施工过程中，施工现场的管理非常重要，直接关系到工程进度和质量，也会影响到整个项目的成本控制效果。为了保证施工现场的安全、有序和高效，企业应该制定科学的施工计划，合理安排人力、物力和财力资源，并及时解决施工过程中出现的问题。同时，企业还应该加强对施工现场的监督和检查工作，定期对施工工艺和材料使用进行检查和评估，确保施工质量符合要求，避免出现返工和维修的情况。

四、结束语

为了提高工程项目建设质量，提高项目工程经济效益，建筑企业需要在工程项目施工阶段加强成本管理，对建筑工程成本进行全过程管理。然而，在实际施工过程中，建筑企业对项目成本控制不到位，导致项目建设质量难以保证。因此，建筑企业应加强全过程造价管理工作，以确保建筑工程的整体质量。为此，相关工作人员应积极采取措施进行改进。本文首先介绍了全过程造价管理的内涵及作用，其次分析了我国工程项目成本管理中存在的问题，如缺乏专业人员、预算编制不合理、工程结算不完善等，最后提出了相应的对策，以期对相关工作人员提供一定的参考与借鉴。在经济全球化趋势下，建筑企业要想实现可持续发展目标，就需要充分了解市场信息。在此基础上，建筑企业应提高自身综合素质，合理进行资源配置。在项目施工阶段加强全过程造价管理工作，不仅能有效控制建筑工程成本支出、保障工程质量、降低施工成本、提高企业经济效益；还能有效提高施工人员的专业素质和综合能力。

参考文献

[1] 孙艳艳. 建筑造价成本预算风险成因及控制措施 [J]. 工程施工新技术, 2025, 4(10).
[2] 伍方赓. 精细化管理下高层建筑工程全过程造价控制 [J]. 中国建筑金属结构, 2025, 24(4): 181-183.
[3] 朱巧林. 建筑经济管理中全过程工程造价的重要作用及有效运用研究 [J]. 建材与装饰, 2025, 21(10): 127-129.
[4] 张德心. 全过程工程造价在建筑经济管理中的价值 [J]. 现代工程项目管理, 2025, 4(4).
[5] 王怡鸥. 建筑工程造价全过程管控及要点探析 [J]. 经济师, 2025(1): 255, 257.
[6] 付慧敏. 基于 BIM 技术的建筑工程造价全过程动态控制 [J]. 现代工程项目管理, 2024, 3(24).
[7] 文作福. 建筑工程造价管理中的全过程控制分析 [J]. 工程建设与技术, 2024, 3(2).
[8] 王威. 基于 BIM 技术的建筑施工全过程造价自适应控制 [J]. 新乡学院学报, 2024, 41(12): 57-62.
[9] 祁婧. 工程总承包模式下建筑工程全过程造价控制与管理 [J]. 中国住宅设施, 2024(12): 80-82.
[10] 陆佳禾. EPC 模式下装配式建筑成本影响因素识别及评价研究 [J]. 广东建材, 2024, 40(12): 115-118.

环境工程污水处理中膜生物反应技术的应用分析

景溢

中交机电工程局有限公司第六工程分公司，北京 100000

摘 要： 膜生物反应技术是集膜分离与生物处理为一体的新型污水处理工艺，近年来备受关注。文章首先阐述了膜生物反应技术的基本原理，指出其利用膜组件截留活性污泥、强化污水处理过程的特点。在分析影响膜生物反应技术应用的关键因素时，文章从膜性能与组件配置、操作条件优化、曝气方式与清洗策略三方面进行了详细论述，以期为该技术的工程应用和创新发展提供参考。

关 键 词： 环境工程；污水处理；膜生物反应技术；应用措施

Application Analysis of Membrane Bioreactor Technology in Environmental Engineering Wastewater Treatment

Jing Yi

China Communications Mechanical and Electrical Engineering Bureau Co., Ltd. Sixth Engineering Branch, Beijing 100000

Abstract： Membrane bioreactor technology is a new type of wastewater treatment process that integrates membrane separation and biological treatment, and has received much attention in recent years. The article first elaborates on the basic principles of membrane bioreactor technology, pointing out its characteristics of using membrane components to intercept activated sludge and enhance sewage treatment processes. When analyzing the key factors affecting the application of membrane bioreactor technology, the article provides a detailed discussion from three aspects: membrane performance and component configuration, optimization of operating conditions, aeration mode and cleaning strategy, in order to provide reference for the engineering application and innovative development of this technology.

Keywords： environmental engineering; wastewater treatment; membrane bioreactor technology; application measures

引言

随着工业化和城市化进程的快速推进，水环境污染问题日益突出，对人类健康和生态安全构成严重威胁。传统污水处理技术已难以满足日益严格的排放标准和回用要求，亟需开发高效、经济、环境友好的新型污水处理技术。在此背景下，膜生物反应技术应运而生，凭借其独特的优势迅速成为污水处理领域的研究热点和应用前沿。深入探究膜生物反应技术的原理特点、影响因素及应用实践，对于推动环境工程领域的技术进步与创新发展具有重要意义。

一、膜生物反应技术的特点

- 出水水质好：膜组件对污泥和大分子溶解性污染物具有良好的截留作用，严格控制了处理水中的 SS、COD、氨氮等指标，出水可达到水回用标准。
- 装置紧凑：取消了二沉池，整个工艺流程简化，占地面积大幅减小，尤其适合空间受限的城市污水处理厂改扩建。
- 污泥浓度高：膜截留使 MLSS 可维持在较高水平，强化

了生物处理效果，提高了污水的去除效率，有利于难降解污染物去除。

- 管理相对简便：污泥龄长，剩余污泥产量低，无需设置独立的污泥回流系统。运行控制简单，自动化程度高，降低了人工操作强度。
- 较强的抗冲击负荷能力：高浓度 MLSS 赋予系统更大的容量，可有效缓冲进水水质和水量的波动，确保稳定达标排放。

二、膜生物反应技术应用中的关键影响因素

膜生物反应技术在污水处理领域的应用日益广泛。为充分发挥该技术的优势,实现稳定高效运行,需重点关注以下三个关键影响因素:

(一) 膜性能与膜组件配置

膜材料的选择和膜组件的合理配置是影响膜生物反应系统性能的首要因素。当前污水处理中常用的膜材料主要包括聚偏氟乙烯(PVDF)、聚醚砜(PES)等有机高分子材料和陶瓷等无机材料^[1]。不同材质膜的亲水性、抗污染能力、耐化学性、机械强度等性能存在差异,需结合污水特性、运行条件等因素综合考虑。此外,平板膜与中空纤维膜在截留效果、能耗、清洗难易程度等方面也各有特点。膜孔径的大小则影响污染物去除效果和膜通量。合理匹配膜材料、形式和孔径参数,对于保障处理效果和提高运行效率至关重要。

(二) 操作条件优化

膜生物反应系统的实际运行效果受进水水质、污泥浓度(MLSS)、膜通量、跨膜压差(TMP)、水力停留时间(HRT)等多个操作参数的影响。其中MLSS和膜通量是两个关键参数。MLSS过低会降低处理效率,过高则易引发膜污染;膜通量增大有利于提高处理量,但过高则加剧膜堵塞^[2]。因此,需针对不同水质和处理规模,优化设定各项操作参数,既可保证良好的出水水质,又能延长膜使用寿命,降低运行成本。TMP和HRT的动态调整也有助于在不同进水负荷下实现稳定达标排放。

(三) 曝气方式与清洗策略

曝气作为维持MBR运行的动力,其方式与强度配置对控制膜污染、减少能耗具有显著影响。合理布置曝气区,采用间歇曝气、大气泡/小气泡组合曝气等方式,可在满足供氧需求的同时,最大限度地降低动力消耗。池内溶解氧(DO)浓度宜控制在3~4mg/L,避免过量曝气。针对膜污染问题,定期的物理和化学清洗必不可少^[3]。优化清洗频率和强度,配合在线剪切、反吹等措施,是控制污染、恢复膜通量的有效手段。采用温和、环保的清洗剂,延长清洗间隔,也有助于减少化学品消耗和二次污染。

三、膜生物反应技术在环境工程污水处理中的应用分析

(一) 在生活污水处理中的应用

随着城镇化进程的不断推进,人口的快速聚集导致生活污水排放量激增,给城市水环境带来巨大压力。传统活性污泥法虽在污水处理中得到广泛应用,但其出水水质难以满足日益严格的排放标准和回用要求^[4]。膜生物反应(MBR)技术正是在这一背景下应运而生,成为解决当前生活污水深度处理难题的重要手段。MBR技术融合了膜分离与生物降解两大原理,具有去除效率高、出水品质优、占地面积小、自动化程度高等显著优势。引入MBR工艺,可显著提升污水处理厂脱氮除磷能力,使COD、氨氮、总氮、总磷等关键指标稳定达到国家一级A排放标准,为改

善受纳水体水质奠定坚实基础。与此同时,MBR系统产水可直接用于城市杂用、工业循环冷却、景观环境等用途,在缓解城市供水压力的同时,也为水资源的梯级利用和循环经济发展开辟了新路径。

以北京某污水处理厂升级改造项目为例,通过采用预处理+MBR+紫外消毒组合工艺,使污水处理规模由8万吨/日提升至12万吨/日,出水水质全面达到北京市再生水水质标准,成为国内单体规模最大的中水回用项目之一。再生水经处理后分别用于城市绿化、道路清扫、卫生冲洗等杂用水用途,每年可为城市节约4380万吨新鲜水资源^[5]。

又如上海市某水质净化中心二期工程,通过对现有活性污泥工艺实施MBR提标改造,不仅使出水COD浓度由30mg/L降至10mg/L以下,总磷也实现了由1mg/L至0.3mg/L的大幅提升,出水稳定达到苏州河Ⅳ类水标准,为上海中心城区主要河道水质改善作出了突出贡献。

在海绵城市建设与黑臭水体治理的大背景下,分散式MBR技术也逐渐成为解决支流污染、削减河道入湖(海)污染负荷的有力抓手。通过在初期雨水弃流污染控制、溢流污染控制等关键节点布设MBR一体化设备,可有效拦截面源污染,并通过尾水生态补水改善河湖水质。在此基础上,因地制宜开发构建MBR+人工湿地、MBR+景观水等多种形式的组合工艺,既可实现污水就地收集、就近处理与回用,又可打造形态多样、生态宜人的滨水景观,为提升城市品位和宜居水平提供了新思路。

(二) 在工业废水处理中的应用

工业废水处理是MBR技术应用的重点领域,工业废水水质复杂多变,污染物种类繁多,给深度处理和回用带来巨大挑战。MBR技术具有优异的适应性和抗冲击负荷能力,可有效应对不同行业和工艺条件下的废水处理需求。在工业园区或企业端引入MBR工艺,可充分利用其高效截留、耐受性强等特点,在去除有机污染物的同时,有效阻隔重金属、悬浮物等复合污染物,确保出水稳定达标。这为工业废水的循环利用提供了可靠保障^[6]。此外,MBR工艺模块化、集约化的设计特点,便于在原有污水站基础上实施提标改造,也为水量水质波动频繁的中小企业量身定制处理方案创造了条件。

对化工、印染、电镀等重点行业废水,建议优先考虑采用水解酸化+二级A/O+MBR组合工艺。该工艺可发挥水解酸化单元对难降解有机物的预处理作用,并利用A/O工艺强化脱氮除磷。末端MBR单元进一步去除残留污染物,确保出水稳定达到回用标准。实践表明,该工艺可使COD、色度去除率达95%以上,总氮、总磷去除率超过85%,为印染、化工等行业废水资源化利用提供了有力支撑。

对于石化、煤化工等高浓度有机废水,宜优化集成MBBR+MBR组合工艺。MBBR工艺在降解芳香烃和氨氮方面具有独特优势,与MBR技术的常压、常温运行特性相结合,可在节约能耗的同时实现高效深度处理^[7]。两者协同作用,可使COD、氨氮等关键指标去除率稳定在95%以上。

针对钢铁、煤化工等高盐废水,建议先采用厌氧/缺氧MBR

工艺进行预处理，利用电渗析或反渗透技术脱盐，并将浓缩液送至蒸发结晶系统，实现固液分离和盐分回收利用。同时，将电渗析或反渗透产生的淡水返回 MBR 系统补充，构建起高盐废水减量减污与梯级利用的新模式。

（三）在医疗废水处理中的应用

医疗废水具有水质变化大、病原微生物含量高、抗生素残留多等特点，若处理不当，极易引发公共卫生安全和环境污染事件。MBR 技术凭借其出色的截留性能和消毒能力，为规范医疗废水处置、防范环境风险提供了有力保障。将 MBR 工艺应用于医院污水处理系统，可充分发挥膜组件对病毒、细菌等致病性微生物的高效拦截作用，可使大肠杆菌等常规指标去除率达到 99.99% 以上，远优于传统二级处理工艺。同时，MBR 工艺对抗生素、内分泌干扰物等特征污染物也表现出良好的去除效果，为后续废水的安全排放与回用创造了条件^[8]。此外，MBR 技术具有模块化设计、抗冲击负荷能力强等优点，便于医院污水处理设施的快速部署和应急处置。一旦发生重大疫情或公共卫生事件，可迅速启动 MBR 应急处理系统，最大限度降低污染风险，为保障公众健康提供坚实屏障。

针对综合性医院污水，建议采用预处理+MBR+深度消毒组合工艺。预处理单元应重点关注悬浮物和大颗粒杂质的去除，并控制进水水质的均衡性。MBR 单元宜优化设计参数，提高污泥浓度（MLSS），延长污泥龄（SRT），以强化对抗生素、消毒剂等特征污染物的去除。深度消毒单元可选用臭氧、紫外等非氯消毒工艺，进一步确保尾水水质安全。实践表明，采用该工艺可使 COD 去除率达 95% 以上，氨氮去除率超过 97%，粪大肠菌群数降至 100 个 /L 以下，各项指标均优于国家医疗机构水污染物排放标准^[9]。

对于传染病医院污水，可进一步强化消毒措施，在 MBR 出水端增设正渗透（FO）单元。利用 FO 膜对病毒、细菌、抗生素等污染物的高效截留能力，可使尾水水质达到饮用水标准，杜绝疫情通过污水扩散的风险。值得注意的是，FO 产水盐度较高，回用时应避免长期对人体接触^[10]。可优先考虑用于冲厕、绿化、道路清扫等城市杂用，同时控制回用水在医院用水中的配比，避免造成二次污染。

在抗生素污染治理方面，可重点关注 MBR 与光催化、电催化等高级氧化技术的协同耦合。利用催化剂在紫外或外加电场等条件下产生高活性羟基自由基，能有效打开抗生素分子结构，大幅提升抗性基因的去除效率，降低细菌抗药性风险。实践表明，该工艺可使四环素、磺胺类等典型抗生素去除率达 90% 以上，为遏制环境中抗生素污染、保障公众用药安全开辟了新途径。

四、结束语

综上所述，膜生物反应技术以其优异的污水处理效果、资源化利用潜力以及环境友好特性，已成为环境工程领域的重要工具。在生活污水深度处理、工业废水达标排放、医疗废水安全处置等方面，MBR 技术均取得了广泛应用，发挥了重要作用。然而，MBR 技术在实际应用中仍面临一些技术瓶颈有待攻克。未来，应着力突破膜污染控制、系统能耗降低、运行成本优化等关键共性技术，加快 MBR 工艺与其他新工艺的集成耦合，不断提升污水深度处理及资源化利用水平，同时，还需立足区域水环境特征，开发具有针对性的差异化 MBR 组合工艺，加快成熟技术的推广应用。相信随着技术进步和产业发展，MBR 技术必将迎来更加广阔的应用前景。

参考文献

- [1] 景晓晖. 环境工程污水处理中膜生物反应技术的应用探讨 [J]. 区域治理, 2024(18):0126-0128.
- [2] 刘佳乐. 中试厌氧膜生物反应器处理市政污水效能研究与技术评价 [D]. 西安建筑科技大学, 2023.
- [3] 陈天舒. 膜生物反应技术在环境工程污水处理中的应用 [J]. 地质研究与环境保护, 2023, 2(7): 25.
- [4] 陈洁. 膜生物反应技术下的环境工程污水处理 [J]. 科学技术创新, 2023(26):17-20.
- [5] 于莹, 胡月明, 刘连杰. 探究环境工程水处理中超滤膜技术的应用 [J]. 中文科技期刊数据库 (全文版) 工程技术, 2023(3):4.
- [6] 程一蕾. 菌藻共生-动态膜生物反应器处理生活污水的性能研究 [D]. 南昌大学, 2023.
- [7] 田金华. 膜生物反应技术在环境工程污水处理中的应用 [J]. 皮革制作与环保科技, 2024, 5(4):16-18.
- [8] 王滢. 环境工程水处理中超滤膜技术的应用分析 [J]. 装饰装修天地, 2023(4):64-66.
- [9] 焦城璠, 张嘉雯, 赵鹤翔, 等. 温度对厌氧膜生物反应器处理生活污水效能的影响 [J]. 环境工程学报, 2024(5).
- [10] 覃燕英. 环境工程中的化学反应技术及其应用 [J]. 工程建设 (维泽科技), 2023, 6(1):198-200.

氢燃料混合动力机车氢燃料电池布置设计及结构疲劳强度评估

蒋宽¹, 张瑾², 刘逸³, 闫玉凤⁴

1. 苏州中车氢能动力技术有限公司, 江苏 张家港 215634

2. 广州电力机车有限公司, 广东 广州 510850

3. 西南交通大学, 四川 成都 610031

4. 中车戚墅堰机车有限公司, 江苏 常州 213003

摘 要 : 基于氢能的能量密度高、可再生、绿色低碳等, 以轨道交通外走廊式调车机车应用为基础, 介绍了一种氢燃料电池布置设计并按照 GB/T 21563-2018 中结构性能评价指标对氢燃料电池框架进行疲劳分析, 各指标都满足要求, 证实了该设计的合理性以及氢燃料电池在轨道交通应用的可行性。

关 键 词 : 氢燃料电池; 调车机车; 结构设计; 疲劳强度

Layout Design and Structural Fatigue Strength Evaluation of Hydrogen Fuel Cells for Hydrogen Fuel Hybrid Locomotives

Jiang Kuan¹, Zhang Jin², Liu Yi³, Yan Yufeng⁴

1. CRRC Hydrogen Power Technology (Suzhou) Co., Ltd. Zhangjiagang, Jiangsu 215634

2. Guangzhou Electric Locomotive Co., Ltd. Guangzhou, Guangdong 510850

3. Southwest Jiaotong University. Chengdu, Sichuan 610031

4. CRRC Qishuyan Co., Ltd. Changzhou, Jiangsu 213003

Abstract : Based on the high energy density, renewability and green low-carbon characteristics of the hydrogen energy, this paper introduces a hydrogen fuel cell layout design based on the application of shunting locomotives in railway. The fatigue analysis of the fuel cell frame is conducted according to the structural performance evaluation indicators specified in GB/T 21563-2018. All indicators meet the requirements, confirming the rationality of the design and the feasibility of applying hydrogen fuel cells in railway.

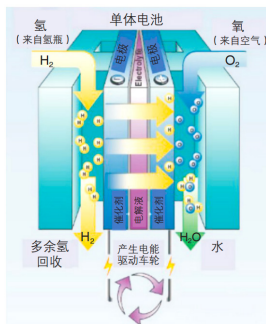
Keywords : Hydrogen fuel cell system; shunting locomotive; structural design; fatigue strength

随着全球气候变化加剧,“碳达峰、碳中和”已然成为国家战略,氢能能量密度高、可再生、无污染等优点,成为能源变革的重要组成部分。随着氢能技术迭代更新及产业链的不断完善,氢燃料电池应用并助力轨道交通节能减排、绿色低碳和环保发展。本文主要介绍了一种基于轨道交通外走廊调车机车的氢燃料电池应用,并对承载的框架结构进行仿真分析,旨在说明氢燃料电池在调车机车上的应用是切实可行的。

一、氢燃料电池概述

氢燃料电池实质是一种能量转换装置,通过在催化剂的作用下以非燃烧的方式,将氢气和氧气中蕴含的化学能转化为电能和热能,最后生成物为水^[1-2]。氢燃料电池工作原理如图1所示。

储氢瓶内的高压氢气通过减压阀调压后进入氢燃料电池电堆的



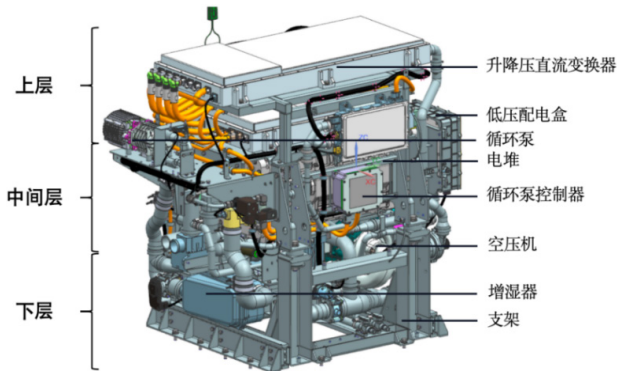
> 图1 氢燃料电池工作原理示意图^[3]

阳极,在催化剂的作用下失去电子,电子通过外接电路到达电堆阴极,而氢质子以水合氢质子形态通过质子交换膜迁移到电堆阴极。同时空压机增压的过滤空气(氧气)进入电堆的阴极,在催化剂的作用下接收电子与从阳极迁移而来的氢质子生成水,并释放热量。

二、氢燃料电池布置设计

构成适用于该机车的单个氢燃料电池采用集成式简化设计,以电堆为设计的中心,遵循氢电、高低压隔离的原则,采用

竖向三层式布置结构，即上层为升、降压直流变换器；中间为电堆及电气部件；下层为空气和热管理部件，如图2所示。



> 图2 单氢燃料电池布置示意图

氢燃料电池总布置设计上遵循机车模块化和氢燃料电池集群化，将氢燃料电池和与之配套的散热系统集成在一起，以实现模块化整体拆装。在保证散热系统高效工作的前提下，将其布置在氢燃料电池的上方；整车功率匹配所需求的四组氢燃料电池采用 2×2 矩阵式布置在下方，兼顾应用维护需求把维护部件布置在车辆过道两侧。

三、框架静强度和疲劳强度分析

（一）框架设计概述

框架（如图3所示）结构形式为框架横梁式，由底架、顶架、立柱及若干加强梁焊接而成，以实现上下承载的要求。根据使用要求设有氢燃料电池、线束及管路固定座等。所用矩形钢管、板材折弯件等，材料为 Q345B，屈服极限为 355MPa。

（二）载荷计算及工况组合

在车体承受和传递的随机振动激励下，可能引发框架振动疲劳破坏。依据标准 GB/T 21563^[4] 对框架进行随机振动分析，并基于 Steinberg 方法和 IIW-2259 标准对框架结构进行疲劳损伤评估。

1. 振动疲劳

基于幅值增强方法在约束点施加相应的加速度功率谱，载荷参照标准 GB/T 21563-2018 中 1 类 A 级车体安装 ASD 频谱的加载方式，分别施加标准规定的功率谱以及实测功率谱。

当 $M > 1250\text{kg}$ 时， $f_1 = 2\text{Hz}$ 、 $f_2 = 60\text{Hz}$ （ M 为框架重量（含氢燃料电池）），不同频率下加载的 ASD 值如表 1 所示。

表 1 框架各向 ASD 加载值

频率 (Hz) 方向	f_1 (m/s^2) ² / Hz	5 (m/s^2) ² / Hz	20 (m/s^2) ² / Hz	f_2 (m/s^2) ² / Hz
垂向	0.067	1.034	1.034	0.116
横向	0.016	0.250	0.250	0.028
纵向	0.029	0.452	0.452	0.051

2. 静强度

基于机车实际运用速度低的特点，对于静强度载荷，考虑垂向 $\pm 2g$ 振动作用，横向 $1g$ 振动作用，纵向 $3g$ 振动作用。以垂

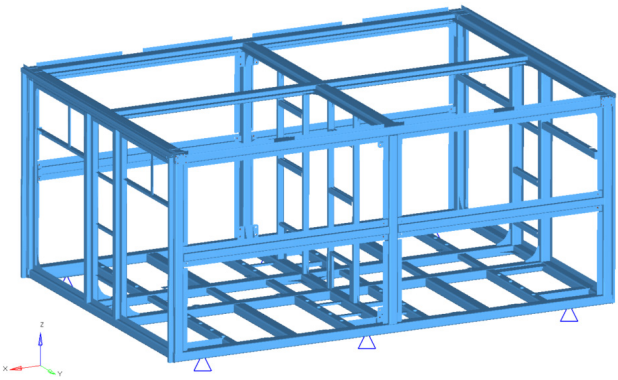
向、横向和纵向为基本载荷，工况组合如表 2 所示。

表 2 框架静强度工况组合

工况	载荷工况		
	Y 向（纵向）	X 向（横向）	Z 向（垂向）
1	F_y	F_x	F_z
2	F_y	F_x	F'_z
3	--	F_x	F_z
4	--	F_x	F'_z
5	--	--	F_z
6	--	--	F'_z
7	起吊工况		

（三）有限元计算模型

取整个框架进行建模，采用 SHELL181 壳单元，计算模型节点总数为 1331963 个，单元总数为 1339625 个。计算模型（如图 3 所示）的约束条件用刚性边界，边界条件施加在框架底部安装座处。



> 图 3 框架有限元模型

框架自重、散热系统和氢燃料电池重量以质量形式分配在计算模型中并进行计算。

（四）强度分析评估

1. 静强度

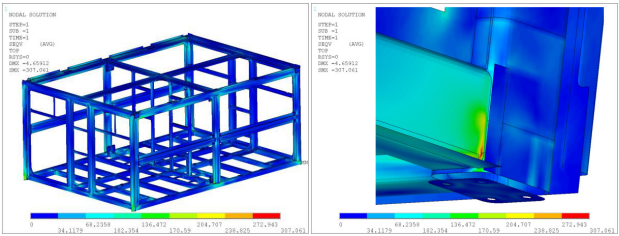
静强度工况下框架最大 Von Mises 等效应力见表 3，最大等效应力静强度工况为工况 1 其应力云图见图 4 和图 5。框架最大 Von Mises 等效应力值均小于材料的屈服极限 345N/mm^2 。通过计算可知，满足静强度对框架的强度要求。

表 3 静强度工况计算结果

工况	最大 Von Mises 应力 /MPa	屈服强度 /MPa	安全系数
1	307.06	345	0.89
2	286.76	345	0.83
3	166.50	345	0.48
4	109.75	345	0.32
5	154.72	345	0.45
6	51.58	345	0.15
7	136.30	345	0.40

2. 疲劳母材损伤

框架的疲劳损伤评估，选用 IIW 标准中 FAT 值为 140MPa 的母材曲线，曲线斜率 $m=3$ 。基于母材应力值计算不同概率区间下的载荷循环次数和许用寿命次数，最终获得框架的母材随机振动应力情况与疲劳损伤值 D ，疲劳损伤结果如表 4 所示。



> 图4 工况1 Von Mises 整体等效应力云图 > 图5 工况1 Von Mises 局部等效应力云图

表4 框架母材疲劳损伤计算结果

纵向 随机 振动	$n_{1\sigma}$	$n_{2\sigma}$	$n_{3\sigma}$	$N_{1\sigma}$	$N_{2\sigma}$	$N_{3\sigma}$	D
	3.8×10^5	1.5×10^5	2.4×10^4	2.5×10^6	1.0×10^9	9.2×10^4	0.900
横向 随机 振动	$n_{1\sigma}$	$n_{2\sigma}$	$n_{3\sigma}$	$N_{1\sigma}$	$N_{2\sigma}$	$N_{3\sigma}$	D
	3.8×10^5	1.5×10^5	2.4×10^4	2.5×10^6	3.1×10^5	9.2×10^4	0.797

表5 框架焊缝 SN 疲劳寿命曲线

焊缝	位置	图示	描述及编号	FAT 值 /MPa	曲线斜率值 /m
1001 ~ 1011 2001 ~ 2005 3001 ~ 3004 ZZ1 ~ ZZ11 S1 ~ S7	钢管与钢管角的焊缝		圆形或矩形空心截面，与另一截面焊接成角。(No.531)	71	3

对于纵向随机振动，每条焊缝在各概率区间的应力值及最终损伤值，都小于阈值1；其中角焊缝 S2在 1σ 下应力值为67.47MPa，最大损伤值为0.961。焊缝都满足疲劳强度要求。

对于横向随机振动，每条焊缝在各概率区间的应力值及最终损伤值，都小于阈值1；其中角焊缝1001在 1σ 下应力值为63.10MPa，最大损伤值为0.786。焊缝都满足疲劳强度要求。

对于垂向随机振动，每条焊缝在各概率区间的应力值及最终损伤值，都小于阈值1；其中角焊缝1001在 1σ 下应力值为0.07MPa，最大损伤值为0.001。焊缝都满足疲劳强度要求。

四、结语

基于氢能的绿色低碳，在社会发展中扮演着越发重要的角

垂向 随机 振动	$n_{1\sigma}$	$n_{2\sigma}$	$n_{3\sigma}$	$N_{1\sigma}$	$N_{2\sigma}$	$N_{3\sigma}$	D
	3.8×10^5	1.5×10^5	2.4×10^4	1.0×10^9	1.0×10^9	1.0×10^9	0.001

母材纵向随机振动在 1σ 下应力值为130.33MPa，最大损伤值为0.900；母材横向随机振动在 1σ 下应力值为125.00MPa，最大损伤值为0.797；母材垂向随机振动在 1σ 下应力值为0.06MPa，最大损伤值为0.001。框架结构的最大损伤值D均小于1，因此随机振动疲劳强度满足设计要求。

3. 疲劳焊缝损伤

选择框架中的主要焊缝进行疲劳损伤计算，共选择38条焊缝。焊缝的疲劳曲线 FAT 值及其相关描述如表5所示。

色，为促进在轨道交通中的应用，提出了一种适用于外走廊式调车机车的氢燃料电池，并形成了以下结论：

1) 布置设计方案满足该机车的应用要求，并已交付客户并进行装车应用认证。

2) 通过对框架进行静强度评估，框架最大 Von Mises 等效应力值小于其材料的屈服极限345MPa，满足静强度要求。框架母材和焊缝在纵向、横向及垂向随机振动最大损伤值均小于阈值1，焊缝满足疲劳强度要求。

参考文献

[1] 冯轩, 韩国鹏, 高伟尧, 汪星华, 王艳琴, 刘楠, 赵丽丽. 燃料电池氢气排气管路堵水的研究 [J]. 铁道车辆, 2023, 61 (6): 95-98.
[2] 袁磊, 吕婷婷, 李康, 贾红洋, 常洪, 杜平. 一种机车用氢燃料电池热管理系统 [J]. 铁道机车与动车, 2024 (1): 35-37+44.
[3] 云祉婷, 张蕾蕾, 黎妍, 孙琪深. 氢燃料电池在现代有轨电车上的运用 [J]. 新能源汽车, 2024 (01): 97-99.
[4] GB/T 21563-2018, 轨道交通 机车车辆设备 冲击和振动试验 [S].

深部开采条件下煤矿采掘应力分布规律与安全控制技术

胡国辉¹, 张喜峰²

1. 陕西延长石油榆林可可盖煤业有限公司, 陕西 榆林 719000

2. 陕西延长石油集团横山魏墙煤业有限公司, 陕西 榆林 719000

摘 要 : 随着煤炭资源的不断开采, 浅部煤炭资源逐渐减少, 深部开采成为必然趋势。陕北地区煤炭资源丰富, 深部开采也在逐步推进。本文旨在研究深部开采条件下煤矿采掘应力分布规律, 并提出有效的安全控制技术。通过理论分析、数值模拟等方法, 深入探讨了原岩应力、采动应力的分布特征以及影响因素, 同时对安全控制技术进行了详细阐述, 包括巷道支护、开采顺序优化等, 为陕北地区深部煤矿的安全高效开采提供理论依据和技术支持。

关 键 词 : 深部开采; 采掘应力; 分布规律; 安全控制技术; 陕北地区

Study on Stress Distribution Law and Safety Control Technology of Coal Mining under Deep Mining Conditions

Hu Guohui¹, Zhang Xifeng²

1. Shaanxi Yanchang Petroleum Yulin Kekegai Coal Industry Co., Ltd. Yulin, Shaanxi 719000

2. Shaanxi Yanchang Petroleum Group Hengshan Weiqiang Coal Industry Co., Ltd. Yulin, Shaanxi 719000

Abstract : With the continuous exploitation of coal resources, shallow coal resources are gradually decreasing, making deep mining an inevitable trend. Northern Shaanxi is rich in coal resources, and deep mining is gradually being promoted in this region. This paper aims to study the stress distribution law of coal mining under deep mining conditions and propose effective safety control technologies. Through theoretical analysis and numerical simulation, the distribution characteristics and influencing factors of in-situ stress and mining-induced stress are deeply explored. At the same time, safety control technologies are elaborated, including roadway support and optimization of mining sequence, providing a theoretical basis and technical support for safe and efficient deep coal mining in Northern Shaanxi.

Keywords : deep mining; mining stress; distribution law; safety control technology; northern Shaanxi region

引言

煤炭作为我国重要的能源资源, 在当前能源结构中占据着举足轻重的地位。陕北地区凭借丰富的煤炭储量, 成为我国极为重要的煤炭生产基地之一。但随着浅部煤炭资源历经长期开采, 逐渐走向枯竭, 深部开采已成为保障煤炭稳定供应的关键途径。然而, 深部开采面临着高地应力、复杂地质条件等诸多挑战, 采掘应力分布规律复杂, 容易引发一系列安全问题, 如巷道变形、冲击地压等。因此, 深入研究深部开采条件下煤矿采掘应力分布规律, 并提出切实有效的安全控制技术, 对于保障陕北地区深部煤矿安全生产、提高煤炭开采效率, 具有不可忽视的重要现实意义。

一、深部开采相关理论基础

在深入探究陕北地区深部煤矿采掘应力分布规律与安全控制技术前, 需先夯实理论根基。原岩应力和采动应力是影响煤矿开采安全与效率的关键因素。本章节将详细阐述原岩应力的构成, 包括自重应力和构造应力, 以及采动应力在巷道开挖和采煤工作面回采时的变化, 为后续研究筑牢基础。

(一) 原岩应力

原岩应力是指存在于地层中未受工程扰动的天然应力, 原岩

应力包括自重应力、构造应力、膨胀应力、地热应力等, 其中自重应力及构造应力为组成原岩应力场的主要部分^[1]。在陕北地区, 由于其复杂的地质构造运动, 原岩应力分布较为复杂。

自重应力是由上覆岩层的重力引起的, 其计算公式为: $\sigma_v = \gamma h$, 其中 σ_v 为垂直方向的自重应力, γ 为上覆岩层的平均容重, 25kN/m^3 为深度。根据陕北地区的地质资料, 上覆岩层平均容重约为 h 。随着开采深度的增加, 自重应力呈线性增加。例如, 当开采深度为 1000m 时, 自重应力 $\sigma_v = 25 \times 1000 = 25000\text{kPa} = 25\text{MPa}$ 构造应力在构造形成后的千百年内已经得到充分释放, 因此研究中

认为构造应力为0^[2]。然而,构造应力实际上是因地壳运动和地质构造作用而产生的应力。就拿陕北地区来说,该区域历经了多期构造运动,这使得构造应力在原岩应力中占据着重要比重。

构造应力的方向和大小在不同区域有很大差别。其分布受褶皱、断层等地质构造的影响显著。通常情况下,在断层附近,由于岩石的连续性被破坏,应力容易集中;在褶皱轴部,岩层变形强烈,同样会出现构造应力集中的现象。这些区域构造应力的集中,极有可能引起原岩应力场的显著变化,对煤矿开采等地下工程活动产生不可忽视的影响。

（二）采动应力

采动应力是指在煤炭开采过程中,由于采掘活动破坏了原岩应力的平衡状态,在采掘空间周围引起的应力重新分布。

当巷道开挖后,巷道周围的煤岩体应力发生变化,形成应力集中区和应力降低区。在巷道周边一定范围内,应力集中系数可达2~3^[9]。例如,采用数值模拟软件对陕北某深部煤矿巷道开挖进行模拟,结果显示在巷道顶角处应力集中最为明显,应力集中系数达到2.5左右。随着距离巷道壁的距离增加,应力逐渐恢复到原岩应力水平。

采煤工作面回采过程中,采场周围的应力分布更为复杂。在工作面前方,存在超前支承压力,其峰值位置一般在工作面前方10—30m范围内,峰值应力可达原岩应力的3倍~5倍。在工作面后方,随着采空区的形成,顶板垮落,应力逐渐降低,但在采空区边缘仍存在一定的应力集中。

二、陕北地区深部开采条件下煤矿采掘应力分布规律

了解陕北地区深部煤矿采掘应力的分布规律,对保障开采安全和提高效率至关重要。本章节将基于实际测量数据,分析原岩应力随深度和地质构造的变化情况,以及采动应力在巷道掘进和采煤工作面回采过程中的动态分布,揭示应力分布的内在规律。

（一）原岩应力分布规律

科研人员对陕北地区多个深部煤矿展开了全面且深入的地应力测量工作,并对获取的数据进行了细致分析。研究发现,随着开采深度不断增加,垂直应力和水平应力都呈现出增大的趋势。不过,两者的比值在不同区域存在明显差异。在构造相对简单、地层较为规则的区域,水平应力与垂直应力的比值通常处于0.8~1.2之间,并且随着深度的持续加深,该比值会逐渐趋近于1^[4]。然而,在构造复杂的区域,像存在大型断层、褶皱的地方,情况则大不相同,水平应力与垂直应力的比值可能大于1.5,这充分表明构造应力对原岩应力场的影响十分显著。

整体来看,陕北地区深部煤矿的原岩应力与开采深度呈现出线性增长关系。通过大量实测数据统计可知,深度每增加100m,原岩应力大约会增加2.5~3.5MPa。在这个过程中,垂直应力的增加速率相对稳定,而水平应力的增加速率在不同区域会有细微差别,这主要是因为其受地质构造的影响较大,地质构造的复杂程度直接左右着水平应力的变化情况。

（二）采动应力分布规律

在巷道掘进过程中,巷道周围煤岩体的应力分布随掘进距离

的增加而不断变化。在掘进头前方,应力集中区域逐渐向前移动,且应力集中程度逐渐增大。当掘进头距离已掘巷道一定距离后,应力集中区域和应力降低区域的范围基本稳定^[5]。在巷道两帮和顶板,应力集中系数在巷道掘进初期增长较快,之后逐渐趋于稳定。

采煤工作面回采过程中,采场周围的应力分布呈现动态变化。在工作面前方,超前支承压力随着工作面的推进而向前移动,其峰值应力和影响范围也在不断变化。在工作面推进初期,超前支承压力峰值较小,影响范围较窄;随着工作面的持续推进,峰值应力逐渐增大,影响范围逐渐扩大。在工作面后方,采空区顶板垮落后,形成了应力降低区,但在采空区边缘存在侧向支撑压力,其大小和范围与顶板垮落情况、煤柱尺寸等因素有关。

三、影响采掘应力分布的因素

采掘应力分布受多种因素影响,明确这些因素对制定有效控制策略意义重大。本章节从地质构造和开采技术两个方面展开探讨,分析断层、褶皱等地质构造如何改变应力分布,以及巷道布置和开采顺序等开采技术因素对采掘应力的影响机制。

（一）地质构造因素

断层是影响采掘应力分布的重要地质构造。在煤矿开采中,断层附近的原岩应力场会发生明显畸变,致使应力集中现象十分突出。当巷道或采煤工作面逐渐靠近断层时,问题会进一步加剧^[6]。这是因为断层带的岩体破碎,其内部结构松散,强度远低于正常岩体,无法有效分散应力。因此,在这种情况下,应力集中程度会急剧上升,大大增加了巷道变形和破坏的风险。一旦巷道出现变形,不仅会影响正常的通风、运输等工作,还可能威胁到作业人员的安全。

褶皱构造同样对采掘应力分布有着显著影响。在褶皱轴部,岩层经历了强烈的挤压和拉伸作用,内部应力高度集中。当采煤工作面在褶皱轴部附近回采时,顶板所受压力不均衡,极易发生顶板垮落事故;煤壁也因应力集中变得不稳定,容易出现片帮现象^[7]。而且,褶皱的形态和规模不同,应力分布的范围和程度也有所差异。大型紧闭褶皱相较于小型开阔褶皱,其应力集中范围更广、程度更高,对采掘工作的危害也就更大。

（二）开采技术因素

巷道的布置方式对采掘应力分布有重要影响。合理的巷道布置可以减少应力集中,降低巷道维护难度。例如,采用沿空掘巷技术时,巷道布置在采空区边缘,由于采空区的应力已经得到释放,巷道所受的应力相对较小。但如果沿空掘巷的位置选择不当,如距离采空区太近或太远,可能会导致巷道处于应力集中区域,增加巷道变形的风险^[8]。

开采顺序的不同会导致采动应力的叠加和转移情况不同。合理的开采顺序可以使采动应力得到有效释放,避免应力集中。例如,采用下行式开采顺序时,先开采上部煤层,使上部煤层开采后形成的应力降低对下部煤层的开采产生有利影响,降低下部煤

层开采时的应力集中程度。相反,如果采用不合理的开采顺序,如上行式开采,可能会导致下部煤层开采时受到上部煤层采动应力的叠加影响,增加开采难度和安全风险。

四、深部开采条件下煤矿安全控制技术

针对陕北地区深部煤矿采掘应力分布规律及影响因素,必须制定切实可行的安全控制技术。本章节将着重介绍巷道支护技术,包括锚杆锚索支护和联合支护;优化开采顺序的方法;以及应力监测与预警技术,为煤矿安全生产提供有力保障。

(一) 巷道支护技术

锚杆锚索支护在深部煤矿巷道支护中应用广泛。锚杆通过特殊的锚固方式牢牢扎根于煤岩体内部,将巷道周边相对破碎、稳定性欠佳的煤岩体,与深部坚实稳定的岩体紧密相连,从而构建起一个协同工作的承载结构,有效提升煤岩体的整体强度与稳定性。锚索凭借其强大的锚固力以及较长的长度,在应对深部高应力巷道时优势显著,成为此类巷道支护的得力手段^[9]。以陕北地区深部煤矿为例,需依据巷道围岩的岩性、完整性等条件,以及所受应力的方向等情况,科学合理地确定锚杆锚索的规格尺寸与布置参数。

在深部复杂地质条件下,单一的支护形式往往力不从心。联合支护技术应运而生,像锚网喷联合支护,先均匀喷射混凝土,将巷道围岩表面严密封闭,有效阻挡围岩风化,抑制膨胀现象。接着铺设金属网,增强防护能力,最后安装锚杆实现稳固锚固,形成稳固的整体支护结构。在地质条件极为复杂的巷道,还可采用锚网喷索+U型钢支架的联合支护方式,进一步强化支护强度,确保巷道安全稳定。

(二) 开采顺序优化

在煤矿开采作业中,根据煤层赋存条件和地质构造情况来合理安排采煤工作面的开采顺序至关重要。尤其是在多煤层开采的情况下,优先开采保护层是极为关键的举措。保护层开采能够有效释放被保护层的瓦斯压力和地应力,这一过程是基于开采保护层后,被保护层周围的应力场重新分布,瓦斯得以逸散,从而大大降低了被保护层开采时的安全风险,减少瓦斯突出、冲击地压等事故发生的可能性^[10]。

对于深部煤矿中地质条件复杂、应力分布不均匀的区域,采

用分区开采的方法是保障开采安全与效率的有效手段。具体做法是将开采区域细致划分为不同的小区块,针对每个区块独特的应力特点和地质条件,量身定制相应的开采方案和安全措施。比如在应力集中区域,采取适当减小开采强度的策略,避免因过度开采引发应力突变,同时增加支护强度,提升巷道和采煤工作面的稳定性;而在应力相对较低的区域,则可提高开采效率,充分利用有利条件,最终实现整个开采过程的安全高效。

(三) 应力监测与预警技术

在深部煤矿开采过程中,建立一套完善的应力监测系统是保障安全生产的关键环节。通过这一系统,能够实时、精准地监测采掘空间周围的应力变化情况。具体而言,采用钻孔应力计、锚杆应力计等专业监测设备,对巷道和采煤工作面周围的应力进行全方位、不间断地监测。这些设备能够收集到应力变化的详细数据,并及时传输反馈。

依据收集到的监测数据,结合现场的实际地质条件、开采进度等情况,科学合理地确定应力预警指标。当监测到的应力值超出预警指标时,系统会迅速、及时地发出预警信号。例如,一旦超前支承压力峰值达到原岩应力的3.5倍,此时便立即启动预警机制。相应地,马上停止采煤作业,防止因继续开采导致应力进一步增大引发危险。同时,迅速加强巷道和采煤工作面的支护,提高其承载能力,并且采取卸压措施,释放集中应力,以此有效防止冲击地压等重大事故的发生。

五、结束语

本文通过对陕北地区深部开采条件下煤矿采掘应力分布规律的研究,得出以下结论:原岩应力中,垂直应力和水平应力随深度增加而增大,水平应力与垂直应力的比值在不同地质构造区域存在差异;采动应力在巷道掘进和采煤工作面回采过程中呈现出复杂的分布特征,且受地质构造和开采技术等因素的影响。针对这些应力分布规律,提出了相应的安全控制技术,包括巷道支护技术、开采顺序优化和应力监测与预警技术等。这些研究成果对于指导陕北地区深部煤矿的安全高效开采具有重要意义,同时也为其他地区深部煤矿开采提供了参考。在未来的研究中,还需要进一步深入研究深部开采过程中应力的动态变化规律,不断完善安全控制技术,以应对深部开采面临的更多挑战。

参考文献

- [1] 周涛,宁琛瑶,王琛,等.地表山体对煤层原岩应力场分布规律的影响[J].煤炭技术,2014,33(05):141-144.DOI:10.13301/j.cnki.ct.2014.05.053.
- [2] 李佳琳.管道通过煤矿采掘空化区的应力分析与措施研究[J].石化技术,2020,27(02):3-5+185.
- [3] 魏跃东.煤矿地质构造分析在沙坪煤矿安全生产中的应用[J].煤炭工程,2018,50(S1):107-109.
- [4] 蒋金泉,李小裕,张培鹏,等.复杂采动条件下煤矿巷道围岩稳定性研究[J].中国煤炭,2018,44(09):43-48+53.DOI:10.19880/j.cnki.ccm.2018.09.008.
- [5] 刘忠,张聪,彭鹤,等.煤矿采掘区煤层气开发规律及模式探讨[J].中国煤层气,2014,11(01):8-11.
- [6] 陕西陕北矿业有限责任公司韩家湾煤矿[C]//中国煤炭工业安全高效矿井建设年度报告(2010).[出版者不详],2011:2.
- [7] 胡亚伟.煤层采掘应力路径下断层活化过程的力-变-形演化规律实验研究[D].中国矿业大学,2020.
- [8] 廉常军.四川煤矿迎采掘巷护巷煤柱宽度及围岩控制技术研究[D].江苏:中国矿业大学,2014.
- [9] 王子锐.锦瑞煤矿迎采掘巷围岩应力演化规律及控制[D].陕西:西安科技大学,2022.
- [10] 刘全.煤矿区域应力场的分布特征及其对冲击矿压的影响[D].中国矿业大学,2021.

历史遗留矿山生态修复与综合治理技术探讨

刘凯

河北省煤田地质局环境地质调查院, 河北 石家庄 050010

摘 要 : 为深入贯彻习近平生态文明思想, 落实好历史遗留矿山综合治理工作, 结合河北省地域特色, 以河北省太行山区一处露天历史遗留矿山综合治理项目为例, 从地质灾害、地形地貌景观的破坏、土地资源占用和破坏、水资源和水环境问题四方面综合分析其矿山生态环境问题, 提出主要技术与实施方案, 为类似工程提供借鉴参考。

关 键 词 : 矿山生态修复; 综合治理; 地质环境

Exploration on Ecological Restoration and Comprehensive Management Technologies for Historic Abandoned Mines

Liu Kai

Institute of Environmental Geological Survey, Hebei Bureau of Coal Geology, Shijiazhuang, Hebei 050010

Abstract : To implement the comprehensive management of historic abandoned mines, combined with the regional characteristics of Hebei Province, taking a comprehensive management project of an open-pit historic abandoned mine in the Taihang Mountain area of Hebei Province as an example, this paper comprehensively analyzes the mine ecological environment problems from four aspects: geological disasters, damage to topographic and geomorphic landscapes, occupation and damage of land resources, and water resources and water environment problems. It also puts forward the main technical methods and implementation plans, providing reference for similar projects.

Keywords : mine ecological restoration; comprehensive management; geological environment

引言

河北省作为我国重要的矿产资源大省, 成矿地质条件优越, 拥有种类丰富、储量可观的矿产资源。早期在经济发展的迫切需求下, 对矿产资源的开发利用缺乏长远规划与科学布局, 开采方式简单粗放, 往往只注重短期经济效益, 忽视了对生态环境的保护和治理。历史遗留矿山存在严重的生态破坏问题, 这些问题不仅影响了当地的生态景观, 还破坏了生态平衡, 威胁到生物多样性。矿山生态修复不仅仅是指恢复和复垦原始的生态环境, 还需要进行整治和重建, 以满足社会发展的需求^[1]。

党的十八大以来, 历史遗留矿山生态修复问题已受到以自然资源管理与规划部门为首的社会各界的普遍关注^[2]。此背景下, 广大专家学者开始投入研究, 致力于从生态恢复、法律政策、采矿技术等方面寻求解决方案, 也提出了一系列防治矿山地质环境问题的建议^[3]。本文以河北省某历史遗留矿山为例, 对历史遗留矿山修复实施开展分析, 旨在为河北省内历史遗留矿山的生态环境治理提供科学依据和实践指导, 推动采矿业的生态友好型转型。

一、工程概述

矿区地处太行山东麓山前丘陵区, 整体地势西低东高, 地形起伏较大。该矿为群采矿山, 开采矿种为超贫磁铁矿, 露天开采, 公路运输开拓, 台阶法开采。多年来, 由于无序地开发利用矿产资源导致脆弱的地质环境遭到极大破坏。矿山开采造成山体破损、岩石裸露和废石无序堆放, 致使植被、地形地貌景观遭到严重破坏, 并浪费了大量的土地资源。目前矿区及附近矿山已全

部关停, 经济主要发展种植业、养殖业, 种植的农作物主要为玉米、花生、板栗、核桃等, 养殖业以养鸡、养猪为主。

二、环境条件

(一) 自然环境

本区地处暖温带半干旱大陆性季风气候, 四季分明。气象年变化为一峰一谷型, 年平均气温为12~13℃。雨季集中在6~9月,

受大陆季风气温和地形地貌的影响,区内降水量地域分布差异较大,自西向东逐渐递减,年平均降雨量535.5mm。矿区北侧有河流通过,所在区域属海河流域。系统内地下水补给主要来源于大气降水,其动态随大气降水而变化。地下水类型主要为基岩裂隙水,富水性较好。所在区域地貌为以变质岩为主的丘陵小区,周边多为旱地及灌木林地,土壤以褐黄色、黄褐色粉质粘土为主。

（二）地质环境

矿区内出露地层主要为王家崇组（Wgn）片麻岩和第四系（Q），分述如下：

1. 王家崇组（Wgn）片麻岩

王家崇组（Wgn）片麻岩在区内广泛分布，其岩石类型为黑云斜长片麻岩，岩石呈灰色、黑灰色。副矿物种类较多，主要为磁铁矿、磷灰石、榍石、锆石，少量绿帘石、褐帘石、金红石等。

2. 第四系（Q）

第四系分布面积较小，主要由残坡积物组成，岩性为褐黄色、黄褐色粉质粘土、碎石、角砾组成，分布于山坡、沟谷及两侧，厚度0.2~0.6m不等。

三、矿山环境现状

（一）地质灾害

该区为丘陵区，崩塌、滑坡、泥石流等地质灾害不发育。根据《滑坡防治工程勘查规范》（GB/T32864-2016），采用折线滑动法，推测基岩面作为潜在的滑面，计算斜坡稳定性系数，判断斜坡的稳定性^[4]。区内露天采场边坡高陡，在降雨、风化及强震动作用下，可能发生小型崩塌掉块现象，一般规模较小，加之露天采场内一般少有人畜活动，对当地群众的危害较小。

（二）地形地貌景观的破坏

现状条件下，矿山治理区内存在16处露天采场、45处碎石堆、1处残山、2处岩墙、2处渣坡。易发生扬尘污染，与周边环境极不协调。对地形地貌景观破坏严重。

（三）土地资源占用和破坏

项目区范围内主要为灌木林地、果园、其它草地和旱地；矿山治理区破坏和占用土地资源的主要为露天采场、碎石堆破坏和占用土地资源总面积为14.81公顷，其中灌木林地10.83公顷，果园1.82公顷，其它草地1.75公顷，裸地0.41公顷，对土地资源破坏严重。

（四）水资源和水环境问题

该矿区开采方式为露天开采，且开采最低标高位于当地地下水水位之上，加之目前已停采多年，对水资源和水环境的影响较小。

四、工程治理原则

治理区依据土地利用规划及土地利用现状，规划地类为基本农田保护区、一般农地区、林业用地和自然保留地，土地利用现

状为灌木林地、其他草地、果园和裸地。该区土地归村集体所有，经当地主管部门和村集体开会协商，治理区恢复为林地和其他草地。在矿山生态修复重建中，使用混合种，将草、灌、藤、乔多层配置结合起来可取得更好的效果^[5]。

根据矿山地质环境现状及特点，治理工程应采用工程措施与生物措施相结合的综合治理方法^[6-8]。对于区内不受采矿活动扰动或受采矿活动轻微扰动区划定为自然恢复区，没有人造的破坏经过一定的时间，植被总会按照自然的演替规律而慢慢恢复^[9]。已转型利用和拟转型利用的划为转型利用区，其他受采矿活动扰动严重需人工治理的划定为工程治理区。因地制宜原则。经工程治理后，边坡上的植被在视觉和环境上与周边植被融为一体，并与附近的绿化和谐统一^[10]。

五、主要技术方法

本工程主要采用边坡/平台覆土生态修复。

（一）技术介绍

渣堆（排土场）分为多级台阶，矿山生态修复时采取在上层台阶向下覆土，分为翻斗车运输倾倒和输送带输送两种方式。

（二）技术特点

该技术应用广泛，土壤自上而下滑下，形成自然安息角，稳定性好；不足之处在于该技术所覆土层上下薄厚差异大，常常造成上部土层1m以上、下部坡脚碎石裸露的问题，坡角一般再利用铲车、挖掘机等机械重新覆土，以保证绿化效果。

六、治理工作方案

（一）总体施工顺序

液压锤破碎→挖掘机挖碎石→推土机推碎石→客土换土→绿化。

（二）平整工程

本项目土石方工程主要为土石混方推、运、平整，施工中遵循以下技术要求。

施工工序：施工准备→测量→分区→机械整治→地形整治验收。

施工方法：挖方废渣按照设计就地平整，采用推土机进行场地平整。

施工技术要求

1. 挖、填方边界必须符合施工图纸要求，坡面最终轮廓均不得欠挖或超挖。

2. 开工前应制定应急预案。施工中应采取一切必要的措施，防止土质边坡局部塌方。如果发现有可能坍塌的迹象，应采取必要的应急措施。

3. 区内最短距离进行土石方调配。机械铲运渣、地势低洼处碾压回填这两部分工作具有连贯性，同时开展。施工过程中，严格按照治理工程设计进行施工测量放线和质量控制。拟采用挖掘机对碎、块石土等固体堆积物进行挖掘，装载机、推土机等配合

进行就近回填碾压。

4. 场地平整区域面应随地势平整，以便雨水排放。

（三）渣堆整治

1. 施工顺序

施工准备→测量放线→土石方开挖、回填、碾压→分项工程竣工。

2. 回填施工技术要求

（1）回填料采用治理区内边坡台阶状削方废渣及渣堆碎石土，边平整边碾压，分层回填；

（2）回填顺序自下而上，分层回填，每层厚度为1.0m，分层碾压、夯实。气候干燥时，碾压前要适当洒水，遇到阴雨等天气，采取翻晒及挖取深层土料进行混合等措施处理，以利充分压实；

（3）回填施工时，应按照碎石在下，尾矿砂在上的顺序回填，其中碎石粒径不得大于50cm。

3. 平整技术要求

（1）开工前用配备的施工机械和选定的填方料进行试验段的回填，确定一层回填厚度、设备、组合方式、走行速度、最佳含水量等施工参数，经监理确认后，制定出标准化施工工艺；

（2）平整：回填到设计高程后，应对整个平台进行平整，要求平整后平台坡度小于3‰，且外缘按5‰坡度略向内倾。

（四）覆土工程

本次施工用土均为购置客土覆土。

1. 施工工序

运土→覆土

2. 覆土厚度

本次治理工程覆土厚度要求为：平台、边坡种树绿化区采用坑内换土种树。不具备挖坑区域覆土50cm后种树。

3. 覆土技术要求

（1）客土选择土质必须达到种植要求，土壤要求疏松、透气、排水性能好；

（2）本工程土方主要用自卸汽车运至覆土处或堆土场，自卸汽车运输不便的区域可辅以小型农用车和手推车进行二次倒运；

（3）覆土后要经常进行松土，保持土壤的通气性，防止植物移植后“闭气”死亡。

（4）覆土施工作业方法：

1）自卸汽车为成堆卸土，须配以推土机推土、摊平。

2）填土可利用汽车行驶作部分压实工作，行车路线须均匀分布于填土层上。

3）汽车不能在虚土上行驶，卸土推平和压实工作须采取分段交叉进行。

（五）生态景观恢复工程

1. 施工顺序：

施工准备→测量放线→挖乔木树坑→栽植乔木→养护→分项工程竣工。

2. 种植技术要求：

（1）树坑为穴状坑，呈圆形，直径0.5m，深0.4m；树坑呈

“品”字形布置，株距为2.0m，行距为3.0m。要求成活率不低于90%，保存率不低于85%。

（2）栽植时间：

本项目采用春季造林方式，苗木栽植时间一般秋季落叶后霜冻前。

（3）种植方法：

平面处松树采用普通栽植方式种植，坡面处松树采用“郝景香”模式种植。

苗木栽植前应进行苗木根系修剪，宜将劈裂根、病虫根、过长根剪除，并对树冠进行修剪，保持地上地下平衡。

树苗置入坑穴前，应先检查坑穴大小及深度，不符合根系要求时，应修整栽植穴。填土时应先填表土、湿土，后填生土干土。在墒情不好时，要浇灌透水，以利保墒。栽植时应将树苗扶直，栽正，根系舒展，深浅适宜。树苗栽植后应在略大于植穴的周围，筑成高10～15cm的灌水土堰，堰应筑实不得漏水。

苗木入坑前，先将表土（营养土）填入坑穴至一个小土包，以便树苗放入树穴后根系自然伸展。苗木栽植前必须将包装物全部清除坑外，避免日后气温升高，包装材料腐烂发热，影响根系正常生长。

种植步骤：树木种植遵循“挖坑—回填（换土掺肥）至地平—清水踏坑—苗木浸泡与修剪—定植（根系舒展、根茎与地面平，根土密接，树干直立）—浇水—修剪—过一周再浇水一次—松土—半月后再浇水一次”的操作程序。要求成活率不低于90%，保存率不低于85%。

1）挖树坑：挖坑整地秋季落叶后霜冻前；种植前，挖好坑后浇水。

2）栽植：苗木运到后，先在水中把苗干整株浸泡1天，使之充分吸水后再取出种植。栽植时，应将太长的侧根剪短，以防止窝根，将伤根、断根。栽种时先将坑内填满虚土，浇满水后晾置至锹不粘泥时，再挖稍小的坑放入苗木，培土，踏实，常规操作为“三埋两踩一提苗”。培土的土质要求肥、土混匀。

3）苗木地灌水3～5天后及时进行松土，以增加透气性，防止土板结。

3. 绿化养护技术要求：

（1）浇水

植被恢复工程施工过程中及施工结束后，应及时进行浇灌，浇水时应注意以下几方面：

1）让植被尽量处在相对干旱的条件下。

2）养护期根据不同季节，调整浇灌时间。

3）新植树木应在当日浇透第一遍水，以后应视情况及时补水。

①12月上冻前，应浇一遍冻水，应浇足浇透。

②上冻后至次年2月底，地面封冻，植被处于休眠期，基本无生长，需水量小，但要加强巡视，观察植被的生长情况和土壤的干湿度，及时浇水。

③2月底或3月初，视气温及土地苗木缺少情况及时浇水；本次浇水应浇足浇透，促使植被提前复绿，满足植物生长。在

这之后，可少浇水，如果出现干旱，宜在中午浇水。

④3月初至6月中旬，降水较少，应加强巡视，及时浇水；一般浇水频率为2次/月；当遇到高温酷暑的干旱天气时，应加密浇水一次。

⑤6月中旬至8月中旬雨季时，应加强巡视，及时浇水，一般浇水频率为1次/月；当遇连续降雨天气，土壤水分充足时，可视具体情况适当降低浇水频率。

⑥8月下旬至上冻前，应加强巡视，及时浇水，一般浇水频率为2次/月。

(2) 夏季高温，地面蒸发及植被蒸腾量都大，植被需水量大，应及时浇水。夏季以上午浇水为好。

(3) 种植后发现有无萎或生长情形不良者，予以去除，进行

补植。

七、结语

科学合理的技术应用是修复成功的关键。根据矿山的自然条件和土壤特点，选择适合当地生长的乡土植物品种，这些植物适应性强、抗逆性好，能够在恶劣的矿山环境中快速扎根生长。针对不同的地形和土壤条件，因地制宜地进行植被种植，提高了植被的成活率和覆盖率。该废弃矿山生态修复项目实施过程中积累了丰富的成功经验，这些经验对于其他类似矿山的生态修复具有重要的借鉴意义。

参考文献

- [1] 邓小芳. 中国典型矿区生态修复研究综述 [J]. 林业经济, 2015, 37(7): 14-19.
- [2] 张星星, 宋旭东, 冯德俊, 等. 长江经济带矿山生态修复的对策及建议探讨: 以成都市废弃露天矿为例 [J]. 资源与人居环境, 2023(1): 67-71.
- [3] 周聪, 张冲, 赵天尧, 等. 迁安市钰善露天白云石矿矿地质环境问题与综合治理技术研究 [J]. 内蒙古煤炭经济, 2022(21): 169-171.
- [4] 高海峰, 刘浩东, 李晚楠. 矿地质环境问题研究及治理对策分析 [J]. 西部资源, 2023, (4): 36-37+49.
- [5] 刘英. 半干旱煤矿区受损植被引导型恢复研究 [D]. 徐州: 中国矿业大学, 2020.
- [6] 任岐山, 高召奎, 杨德根, 等. 废弃采石矿地质环境问题及治理对策 [J]. 能源与环保, 2022, 44(2): 73-79.
- [7] 周兵, 左全虎, 张国祥. 浅析冕宁县大顶山铁矿矿地质环境治理 [J]. 四川有色金属, 2023, (2): 66-69.
- [8] 王鹏辉. 黄河流域青石岭废弃矿地质环境问题及恢复治理研究 [J]. 中国锰业, 2023, 41(4): 49-54+60.
- [9] 周进生, 石森. 矿区生态恢复理论综述 [J]. 中国矿业, 2004, 13(3): 10-12.
- [10] 申书楷, 杨溢, 徐世光. 某废弃矿区生态环境治理工程研究 [J]. 安全与环保, 2015, (9): 77-79.

化工企业污水处理技术方法研究与应用

胡朝丽

贵州黔希化工有限责任公司, 贵州 毕节 551500

摘 要： 本文聚焦化工企业污水处理技术，全面剖析其技术方法与应用，介绍物理、化学、生物处理等基础技术，阐述其原理、操作方式、优缺点。深入研究预处理、主处理和深度处理技术，说明各阶段技术目的、常用方法及对污水处理的关键作用。分析技术发展趋势，指出多元技术融合、纳米技术应用拓展、原位修复技术兴起的方向，同时探讨政策与产业支持以及广阔前景。旨在为化工企业污水处理技术的优化与发展提供理论支撑与实践参考。

关 键 词： 化工企业；污水处理技术；技术方法；发展趋势

Research and Application of Wastewater Treatment Technology Methods in Chemical Enterprises

Hu Chaoli

Guizhou Qianxi Chemical Co., Ltd. Bijie, Guizhou 551500

Abstract： This article focuses on wastewater treatment technology in chemical enterprises, comprehensively analyzes its technical methods and applications, introduces basic technologies such as physical, chemical, and biological treatment, and explains their principles, operating methods, advantages, and disadvantages. It conducts in-depth research on pretreatment, main treatment, and advanced treatment technologies, explaining the technical purpose of each stage, common methods, and their key roles in wastewater treatment. It analyzes technology trends, pointing out the direction of multi-technology integration, the expansion of nanotechnology applications, and the rise of in-situ remediation technologies, while exploring policy and industrial support as well as broad prospects. The aim is to provide theoretical support and practical reference for the optimization and development of wastewater treatment technology in chemical enterprises.

Keywords： chemical enterprises; wastewater treatment technology; technical methods; development trends

引言

当今工业快速发展，化工行业作为国民经济的重要支柱产业之一，生产活动极为活跃。然而化工企业在生产过程中不可避免地会产生大量污水，这些污水成分复杂，往往含有重金属、有机物、酸碱物质以及各种有毒有害物质。未经有效处理的化工污水若直接排放到自然环境中，会对水体、土壤造成严重污染，破坏生态平衡。污水中的重金属离子会在土壤和水体中不断积累，导致土壤肥力下降、农作物减产，并且通过食物链进入人体，危害人体健康，引发各种疾病。大量有机污染物排入水体，会消耗水中的溶解氧，使水生生物因缺氧而死亡，破坏水生态系统的平衡。随着环保意识的不断增强和环保法规的日益严格，对化工企业污水处理提出了更高的要求。如何高效、经济地处理化工污水，实现达标排放甚至水资源的循环利用，成为化工企业面临的紧迫问题。深入研究化工企业污水处理技术方法，探索其发展趋势与应用实践，对于推动化工行业的可持续发展、保护环境和保障人类健康具有至关重要的意义。

一、化工企业污水处理技术概述

（一）化工企业污水概述

化工企业在生产过程中会产生大量污水，这些污水来源广泛且成分复杂，对环境 and 人类健康构成潜在威胁。化工企业污水来源多样，涵盖了生产工艺废水、设备清洗水、地面冲洗水以及初期雨水等。在化工合成反应中，未完全反应的原料、副产物以及

催化剂等可能会随废水排出；设备清洗过程中会带走附着的化学物质，形成高浓度的清洗废水。化工企业污水具有成分复杂的显著特点，其中往往含有大量的有机污染物，如苯、酚、醛等，这些物质大多具有毒性和生物难降解性。同时污水中还可能含有重金属离子，像汞、镉、铅等，它们在环境中难以自然降解，会长期积累并造成严重污染。此外化工污水的酸碱度变化大，部分污水呈强酸性或强碱性，这也增加了污水处理的难度。在化工废水

中,如果不经处理直接排放,会对环境造成非常严重的污染。化工废水中包含的碱、酸、化学毒物以及重金属等物质对环境的污染非常严重。化工废水中的许多污染物是带有气味或者颜色。如果排入湖泊和河流,很容易污染水体。不仅水面出现奇怪的颜色和气味,非常烦人,而且还会给人造成很大的伤害^[1]。

（二）物理处理技术

物理处理技术主要依靠物理作用来分离和回收污水中呈悬浮状态的不溶解污染物,其原理基于物质在密度、粒径、吸附性等物理性质上的差异。沉淀利用重力使污水中的悬浮颗粒下沉实现与水分离,沉淀池按水流方向分为平流式、竖流式和辐流式,操作简便、成本低,能有效去除大颗粒悬浮物,不过对微小颗粒和溶解性污染物去除效果欠佳;过滤通过砂滤池、活性炭过滤器等过滤介质截留悬浮颗粒来净化水质,可进一步降低污水浊度,但设备需定期反冲洗,增加了运行成本与管理难度;气浮是向污水中通入空气,让悬浮颗粒黏附在气泡上随其上浮至水面以实现固液分离,适用于处理含油废水、乳化液废水等疏水性污染物,只是设备投资大,运行费用高^[2]。

（三）化学处理技术

化学处理技术是借助化学反应去除污水中的溶解性污染物或胶体物质,基于化学反应原理,通过投加化学药剂,让污染物发生反应转化为无害或易分离的物质。中和用于调节污水 pH 值,使其符合排放标准或后续处理要求,酸性污水投加石灰、氢氧化钠等碱性药剂,碱性污水则投加硫酸、盐酸等酸性药剂,操作简单但需精准控制药剂投加量,防止二次污染;混凝是向污水中添加聚合氯化铝、聚丙烯酰胺等混凝剂,使胶体颗粒和微小悬浮物凝聚成大絮体以便沉淀或过滤去除,能有效去除浊度、色度、重金属离子等污染物,但混凝剂的选择和用量需依据污水水质优化,否则影响处理效果;氧化还原通过氧化还原反应将有害物质转化为无害或低毒性物质,如利用臭氧、过氧化氢等强氧化剂氧化有机物,使其分解为二氧化碳和水,利用铁粉、锌粉等还原剂还原重金属离子使其沉淀去除,处理效率高,但药剂成本高,还可能产生需进一步处理的副产物^[3]。

（四）生物处理技术

生物处理技术是利用微生物的代谢作用,把污水中的有机物转化为二氧化碳、水和微生物细胞物质,从而净化污水。其基于微生物的生命活动原理,利用其分解有机物的能力将污染物转化为无害物。活性污泥法向污水中通入空气,让微生物在有氧条件下大量繁殖形成活性污泥,活性污泥中的微生物吸附、分解有机物来净化污水,处理效率高、应用广泛,但需要较大的曝气设备和污泥处理设施,运行成本高;生物膜法使微生物附着在固体载体表面形成生物膜,污水流经时其中的有机物被生物膜上的微生物分解利用,具有处理效率高、耐冲击负荷、污泥产量低等优点,但生物膜的生长和脱落需要控制条件,否则影响处理效果;厌氧生物处理法在无氧条件下,依靠厌氧微生物将污水中的有机物分解为甲烷、二氧化碳等气体,适用于处理高浓度有机废水,具有能耗低、污泥产量少、可回收能源等优点,但处理过程复杂,对温度、pH 值等条件要求严苛^[4]。

二、化工企业污水处理技术方法研究

（一）预处理技术

预处理的主要目的是去除污水中对后续处理工艺有害的物质,降低污染物浓度,减轻主处理单元的负荷,保证后续处理流程的稳定运行。常见的预处理技术有格栅、调节池、隔油等。格栅通过拦截污水中较大的漂浮物和悬浮物,如树枝、塑料等,防止其堵塞后续处理设备的管道和泵体。调节池则用于调节污水的水质和水量,使污水的 pH 值、污染物浓度等指标保持相对稳定,避免因水质、水量波动过大对后续处理工艺造成冲击^[5]。隔油主要针对含油废水,通过自然上浮、气浮等方式将污水中的浮油和分散油分离出来,减少油类物质对后续生物处理单元中微生物的毒害作用。预处理技术操作相对简单,成本较低,却是整个污水处理流程中不可或缺的一环,为后续处理创造良好条件。

（二）主处理技术

主处理技术是污水处理的核心环节,旨在大幅度去除污水中的主要污染物,使污水达到基本的排放标准。物理、化学和生物处理技术都广泛应用于主处理阶段。物理处理中的沉淀、过滤等方法可进一步去除污水中的悬浮固体。化学处理中的混凝沉淀、氧化还原等方法,能够有效去除污水中的重金属离子、色度、部分有机物等污染物^[6]。生物处理技术是主处理阶段的主力军,活性污泥法通过活性污泥中微生物的代谢作用,将污水中的大部分有机物分解为无害物质;生物膜法利用附着在载体表面的生物膜对污水进行净化,耐冲击负荷能力较强;厌氧生物处理法对于高浓度有机废水的处理效果显著,在分解有机物的同时还能产生沼气等清洁能源。主处理技术根据污水的水质特点和处理要求进行合理选择和组合,以实现高效的污水处理。

（三）深度处理技术

经过主处理后的污水,虽然大部分污染物已被去除,但可能仍含有一些微量的污染物和营养物质,无法满足更高的排放或回用标准,此时就需要深度处理技术。深度处理技术主要包括膜分离技术、高级氧化技术、离子交换技术等。膜分离技术包括反渗透、超滤等,利用半透膜的选择透过性,将污水中的微小颗粒、溶解性盐类、有机物等进一步分离去除,出水水质优良,可满足高品质的回用要求,但膜组件成本较高,运行过程中需要防止膜污染^[7]。高级氧化技术通过产生具有强氧化性的自由基,将难降解的有机物彻底氧化分解为二氧化碳和水,有效提高污水的可生化性和去除难降解污染物。离子交换技术利用离子交换树脂与污水中的离子进行交换反应,去除污水中的特定离子,如氨氮、重金属离子等。深度处理技术能够进一步提升污水的处理效果,为污水的达标排放和回用提供有力保障。

三、污水处理技术发展趋势

（一）技术发展趋势

化工企业污水处理在未来将不再局限于运用单一技术,而是朝着多元技术深度融合的方向发展。生物处理技术与高级氧化技

术的结合，便是极具潜力的发展路径。微生物在污水处理中一直发挥着重要作用，它们能够高效分解污水中大部分易降解的有机物，为后续处理减轻负担。但面对一些结构复杂、难以被微生物直接分解的有机物，高级氧化技术就派上了用场。高级氧化技术利用强氧化性的自由基，如羟基自由基（ $\cdot\text{OH}$ ），能够将这些顽固的难降解有机物分解为小分子物质，甚至彻底矿化为二氧化碳和水^[8]。通过这种先生物处理、后高级氧化处理的协同方式，既能充分发挥微生物处理成本低、效率高的优势，又能借助高级氧化技术攻克生物处理难以解决的难题，大幅提高整体处理效果。

不仅如此，物理、化学和生物处理技术之间的协同效应也将愈发明显。物理处理技术如沉淀、过滤等，能够快速去除污水中的悬浮物和大颗粒杂质，为后续化学和生物处理创造良好条件；化学处理技术通过添加化学药剂，实现污染物的转化和去除；生物处理技术则利用微生物的新陈代谢作用，进一步净化水质。这三种处理技术相互配合、取长补短，形成一套更加高效、稳定的处理工艺，满足日益严格的污水处理标准。

纳米技术凭借其独特的物理化学性质，在污水处理领域展现出巨大的潜力。纳米材料的粒径通常在 1 - 100 纳米之间，这赋予了它们极大的比表面积和特殊的表面活性。以纳米催化剂为例，其独特的结构和高活性位点，能够显著加快化学反应速率。在污水处理中，纳米催化剂可以加速化学氧化、还原等反应进程，大大提升化学处理效率。而纳米过滤膜更是具有卓越的性能，它的孔径极小，能够精确过滤掉污水中的微小颗粒、重金属离子以及有机污染物^[9]。与传统过滤膜相比，纳米过滤膜具备更高的过滤精度和更强的抗污染性能，能有效延长使用寿命，降低运行成本。随着纳米技术的不断突破和发展，其在化工企业污水处理中的应用必将更加广泛和深入。

（二）政策与产业支持

近年来政府持续加大对环保领域的资金投入力度，设立了专门的污水处理技术研发专项资金。这些资金主要用于鼓励企业和科研机构开展前沿技术研究，对那些致力于研发新型高效污水处

理技术的项目给予重点资助。同时政府积极支持产学研合作，搭建起高校、科研机构与企业之间的沟通桥梁，加速科研成果从实验室走向实际生产的转化进程。通过这种合作模式，高校和科研机构能够充分发挥其科研优势，为企业提供技术支持和创新思路；企业则凭借其丰富的实践经验和生产能力，将科研成果进行产业化应用，实现互利共赢^[10]。

在产业层面，化工企业、环保设备制造商、科研院校等各方积极响应，纷纷组建产业联盟。产业联盟整合了各方的资源优势，形成强大的合力，共同推动化工企业污水处理技术的整体进步。

（三）前景

随着环保意识增强和环保法规日益严格，化工企业对污水处理技术和设备的需求不断增长，新建化工项目和现有企业的技术改造都为污水处理市场带来广阔发展空间，预计未来几年，化工企业污水处理技术市场规模将保持稳定增长态势。并且在全球环保形势日益严峻的背景下，各国在化工企业污水处理技术领域的合作与交流更加频繁，通过引进国外先进技术和经验，同时将国内成熟的技术和设备推向国际市场，既能促进我国化工企业污水处理技术水平的提升，也能推动我国环保产业走向世界。

四、结束语

化工企业污水处理技术涵盖了从基础的物理、化学、生物处理技术，到各阶段针对性的预处理、主处理和深度处理技术，并且正朝着多元融合、创新应用的方向发展。技术的不断革新与政策、产业的有力支持相互促进，共同推动化工企业污水处理水平的提升。尽管目前已经取得了显著进展，但化工企业污水处理仍面临诸多挑战，如复杂污水成分的高效处理、新技术的成本控制与推广应用等。未来需要进一步加强科研创新，促进产学研深度合作，加快技术转化与实际应用。同时化工企业应积极承担社会责任，加大污水处理投入，严格遵守环保法规。

参考文献

- [1] 罗玉萍. 探讨化工污水处理技术方法实施 [C]// 上海筱虞文化传播有限公司. Proceedings of 2023 Seminar on Engineering Technology Application and Construction Management. 新疆圣雄电石有限公司, 2023:2.D0I:10.26914/c.cnkihy.2023.026441.
- [2] 张孝添, 孙萌萌. 化工企业污水处理技术方法研究与应用 [J]. 清洗世界, 2024, 40(09): 163-165.
- [3] 李凤. 石油化工污水处理技术现状及发展趋势 [J]. 化工设计通讯, 2018, 44(12): 210.
- [4] 李华, 贾美如. 石油化工企业污水处理技术综述 [J]. 化工设计通讯, 2017, 43(10): 192-193.
- [5] 朱宏国. 石油化工污水处理技术研究 [J]. 化工管理, 2014, (33): 219.
- [6] 裴守信. 我国石油化工企业污水处理技术的现状及发展趋势 [J]. 山西化工, 2018, 38(05): 208-210.D0I:10.16525/j.cnki.cn14-1109/tq.2018.05.75.
- [7] 李伟. 石油化工污水处理技术现状及发展趋势 [J]. 化工设计通讯, 2018, 44(09): 208.
- [8] 韦浩. 石油化工污水处理技术的现状与发展趋势 [J]. 化工管理, 2014, (32): 273.
- [9] 刘晓燕. 当议化工污水处理问题 [J]. 现代经济信息, 2015, (11): 270.
- [10] 马桂香. 石油化工污水处理技术的现状与发展趋势 [J]. 化工管理, 2017, (21): 113.

网约车计程计时计量检测校准的关键技术与监管策略研究

吕永强

河北省计量监督检测研究院廊坊分院，河北 廊坊 065000

摘 要： 网约车作为新兴出行方式，其计程计时的准确性直接关乎乘客权益与市场秩序。本文深入剖析网约车计程计时计量检测校准的关键技术，涵盖卫星导航定位技术、传感器技术、时间同步技术等网约车计程计时中的应用及面临的挑战，并提出对应的优化措施。同时，探讨监管策略，从完善法规标准、加强监管技术手段、建立投诉处理机制等方面构建全方位监管体系，旨在提升网约车计程计时的准确性与可靠性，促进网约车行业健康发展。

关 键 词： 网约车；计价器；计量检测校准；关键技术；监管策略

Research on Key Technologies and Regulatory Strategies for Metering, Timing, Measurement, Detection, and Calibration of Online Car-hailing Services

Lv Yongqiang

Langfang Branch, Hebei Provincial Institute of Measurement and Testing, Langfang, Hebei 065000

Abstract： As an emerging travel mode, the accuracy of metering and timing for online car-hailing services directly affects passengers' rights and the market order. This paper deeply analyzes the key technologies of metering, timing, measurement, detection, and calibration for online car-hailing services, covering the application and challenges of satellite navigation and positioning technology, sensor technology, and time synchronization technology. Corresponding optimization measures are also proposed. Simultaneously, this paper explores regulatory strategies, constructing a comprehensive regulatory system from improving regulatory standards, strengthening regulatory technical means, and establishing a complaint handling mechanism. The aim is to improve the accuracy and reliability of metering and timing for online car-hailing services, promoting the healthy development of the online car-hailing industry.

Keywords： online car-hailing services; taximeter; measurement, detection and calibration; key technologies; regulatory strategies

引言

随着互联网技术与共享经济的蓬勃发展，网约车已成为现代城市交通体系的重要组成部分。与传统出租车相比，网约车借助移动互联网平台实现了乘客与司机的高效匹配，提供了更为便捷、个性化的出行服务。然而，网约车的计程计时准确性问题逐渐成为社会关注焦点。计程计时不仅是网约车费用结算的直接依据，更关系到乘客的切身利益和市场的公平竞争。不准确的计程计时可能导致乘客多付费用，损害消费者权益，也会扰乱市场秩序，影响网约车行业的健康可持续发展。因此，深入研究网约车计程计时计量检测校准的关键技术，并制定有效的监管策略具有重要的现实意义。

一、网约车计程计时原理

网约车的计程主要基于卫星导航定位系统，如全球定位系统（GPS）、北斗卫星导航系统（BDS）等。通过导航终端（手机终端或车载终端）接收卫星信号，获取车辆的实时位置信息，平台根据相邻位置点的坐标变化计算行驶里程。在实际应用中，为提高计程精度，还会结合惯性导航技术、基站定位技术等进行辅助

定位。例如，在卫星信号遮挡严重的区域，惯性导航技术可通过测量车辆的加速度和角速度，推算车辆的行驶轨迹，从而弥补卫星定位的不足。

计时方面，网约车平台通常以服务器时间为基准，终端设备通过网络与平台服务器进行时间同步。当乘客下单、行程开始和结束等关键节点，终端设备记录对应的时间戳并上传至平台，平台根据时间戳计算行程时长。同时，为确保计时的准确性，还会

采用高精度的时钟芯片，并定期进行时间校准。

二、网约车计价器计量检测校准关键技术

（一）传感器技术

传感器在网约车计价器系统中承担着数据采集的关键任务，是获取车辆行驶基础信息的核心部件。常见的传感器类型主要包括速度传感器、陀螺仪传感器、地磁传感器等。速度传感器通过特定的物理原理实现对车辆行驶速度的实时监测^[1]。其中，螺仪传感器用于测量车辆的旋转角度，可辅助确定车辆的行驶方向。地磁传感器则利用地球磁场来确定车辆的方位。在实践中，将这些传感器与卫星导航定位系统相结合，能够有效提高计程计时的准确性。当卫星信号丢失或受到干扰时，传感器可根据车辆的运动状态推算行驶轨迹，保证计程计时的连续性。通过传感器还可以实时监测车辆的行驶状态，如急加速、急刹车等，为平台提供更全面的车辆运行数据，有助于优化计程计时算法。

（二）定位技术

在网约车计价过程中，定位技术发挥着至关重要的作用，其中全球定位系统（GPS）和北斗卫星导航系统（BDS）应用最为广泛。GPS 通过接收多颗卫星发射的信号，运用三角定位原理精确定车辆的地理位置^[2]。BDS 作为我国自主研发的卫星导航系统，具备高精度、高可靠性等特点，同样能够为网约车提供精确的定位服务。这些定位技术不仅能够实时获取车辆的位置信息，还能结合电子地图数据，精确计算出车辆行驶路径的长度^[3]。为了进一步提升定位精度，差分定位技术应运而生。差分定位技术通过在已知精确位置的基准站上设置 GPS 接收机，与车载 GPS 接收机同时观测相同卫星。基准站将观测数据与已知位置信息进行对比，计算出误差信息，并将其发送给车载接收机。车载接收机利用这些误差信息对自身定位结果进行修正，从而显著提高定位精度，为计价器提供更准确的行驶距离数据，有效保障计价的准确性^[4]。

为优化卫星导航定位技术在网约车计程计时中的应用，可采取以下措施：一是采用多系统融合定位技术，即同时接收 GPS、BDS 等多个卫星导航系统的信号，通过数据融合算法提高定位精度和可靠性。二是利用实时动态差分（RTK）技术，通过建立地面基准站，向移动终端发送差分改正信息，消除卫星信号传播过程中的误差，进一步提高定位精度。三是加强对卫星信号的抗干扰技术研究，采用屏蔽、滤波等手段减少外界干扰对卫星信号的影响。

（三）数据融合与处理技术

网约车计程计时过程中会产生大量的数据，包括卫星导航定位数据、传感器数据、时间数据等。数据融合与处理技术能够将这些多源数据进行整合和分析，从而提升计程计时精度。在数据处理方面，采用滤波算法、卡尔曼滤波等方法对原始数据进行去噪和优化。通过建立数学模型，对车辆的行驶状态进行模拟和预测，进一步提高计程计时的精度和稳定性。数据融合是将来自不同传感器的数据进行综合处理，充分发挥各传感器的优势，提高数据的准确性和完整性。如，将速度传感器数据与定位系统获取

的速度信息进行融合，能够得到更精确、稳定的车辆行驶速度。计价算法则是根据相关法规政策、市场运营规则以及各地实际情况，将处理后的数据转化为具体的费用^[5]。常见的计价算法充分考虑行驶里程、时长、时段加价、拥堵附加费等多种因素，通过设定合理的费率和科学的计算规则，得出准确、公平的计价结果。

（四）时间同步技术

时间同步技术是保证网约车计时准确性的关键。网约车平台的服务器和终端设备需要保持精确的时间同步，才能确保行程计时的一致性。目前，常用的时间同步方法有网络时间协议（NTP）、全球定位系统定时（GPS-T）等。

NTP 是一种通过网络传输时间信息的协议，它利用网络中的时间服务器作为时间基准，客户端通过与时间服务器进行时间同步，获取准确的时间。NTP 具有较高的时间同步精度，一般可达毫秒级。GPS-T 则是利用 GPS 卫星信号中的时间信息进行时间同步。GPS 卫星搭载有高精度的原子钟，其时间精度极高。通过 GPS 接收机接收卫星信号，提取其中的时间信息，可实现与 GPS 时间的精确同步。

为进一步提高时间同步的准确性，可采用多种时间同步技术相结合的方式。在网络信号良好的情况下，优先使用 NTP 进行时间同步；当网络信号不佳时，切换到 GPS-T 进行时间同步。还可以通过定期对时钟芯片进行校准，补偿时钟漂移带来的时间误差。

三、网约车计价器计量监管现状与问题

（一）现有监管政策与法规

为规范网约车计价行为，保障乘客与司机合法权益，我国各地政府出台了一系列监管政策法规。国家层面，交通运输部等七部门联合发布的办法，要求网约车平台合理定价、明码标价并提供发票。地方层面，各省市依据本地实际制定实施细则，如北京规定网约车平台要依规使用计程计价设备，不得擅自改装等。这些政策法规明确了网约车计价器的计量标准、计价方式和监管职责，为计价监管提供基本依据^[6]。但随着网约车行业快速发展与技术创新，现有政策法规在新兴计价模式（如动态定价、分时计价）方面，规定不够细化，缺乏具体监管标准与操作流程，给实际监管带来困难^[7]。

（二）监管体系与机制

目前，我国构建了以市场监管部门为主导，交通运输部门、网约车平台等多方参与的网约车计价器计量监管体系。市场监管部门负责计价器计量准确性的检测校准及作弊行为查处；交通运输部门监管平台运营，督促其落实计价管理责任；网约车平台承担平台内计价器的日常管理维护。

监管机制采用定期检测与不定期抽查相结合的方式。市场监管部门定期强制检定计价器，不定期抽查计价行为，以保障计价准确。但当前监管体系与机制存在问题，各监管部门协同配合不足、信息共享不畅，影响监管效率，如市场监管部门发现问题后难以及时传递信息^[8]。对网约车平台的监管约束机制也不完善，部分平台计价器管理责任落实不力，存在监管漏洞。

（三）监管中存在的问题与挑战

1. 技术更新带来的监管难题

随着网约车行业技术的不断更新，如自动驾驶技术、智能网联技术在网约车中的应用，给计价器计量监管带来了新的难题。以自动驾驶网约车为例，其计价器的计量方式可能与传统网约车有所不同，需要基于车辆的自动驾驶系统获取行驶数据进行计价。然而，目前针对自动驾驶网约车计价器的计量检测校准技术与标准尚不完善，监管部门在对其进行监管时缺乏有效的技术手段与依据^[9]。

同时，智能网联技术使网约车计价器的数据传输与处理更加复杂，增加了数据被篡改的风险。一些不法分子可能利用技术漏洞，篡改计价器数据，谋取不正当利益。如何在技术快速发展的背景下，加强对网约车计价器的技术监管，确保计价准确、数据安全，是当前监管面临的重要挑战。

2. 监管技术手段落后

现有的监管技术手段难以满足网约车计程计时监管的需求。传统的出租车计价器可以通过专门的检测设备进行定期检定，但网约车的计程计时依赖于网络和多种技术的融合，监管部门缺乏有效的实时监测和远程检测手段。在实际监管中，往往只能通过乘客投诉或事后抽查的方式发现问题，难以做到事前预防和事中监管。

四、网约车计价器计量监管策略优化

（一）完善监管法规与标准

完善法规标准体系是加强网约车计程计时计量监管的基础。相关部门应制定统一的网约车计程计时计量法规和标准，明确计程计时误差的允许范围、检测方法、检测周期等内容。规定网约车计程误差应控制在一定范围内，如 $\pm 2\%$ ，计时误差应小于一定时间，如 ± 1 秒。制定详细的检测流程和操作规程，确保检测的准确性和公正性。同时，根据技术发展和市场需求，及时对法规标准进行修订和完善。

（二）强化监管技术手段

强化监管技术手段是实现有效监管的关键。监管部门应加大对监管技术研发的投入，建立网约车计程计时计量监管平台。该

平台可通过与网约车平台进行数据对接，实时获取网约车的计程计时数据，并进行分析和监测。利用大数据分析技术，对计程计时数据进行比对和筛选，及时发现异常数据和违规行为^[10]。监管部门还可采用移动检测设备，对网约车终端设备进行现场检测，提高监管的灵活性和效率。

（三）创新监管技术手段

密切关注网约车行业的发展动态，根据行业的新变化、新需求，及时修订和完善相关监管政策法规。明确对新型计价器技术、新兴运营模式的监管要求，填补政策空白，使监管工作有法可依、有章可循。细化对违规计价行为的处罚标准，提高违法成本，增强监管政策的威慑力。例如，对于故意篡改计价器数据、恶意多收费等严重违规行为，除给予高额罚款外，还可依法吊销平台运营资格或司机从业资格。加强不同地区监管政策的协调统一，建立区域间的监管协作机制，避免因地区政策差异导致网约车跨区域运营时出现监管漏洞，确保监管政策的一致性和有效性。建立监管政策动态调整机制，定期对政策实施效果进行全面评估，根据评估结果及时调整和完善政策，使监管政策能够始终适应网约车行业的快速发展。

五、结束语

网约车计程计时计量检测校准的关键技术与监管策略是保障网约车行业健康发展的重要环节。通过对卫星导航定位技术、传感器技术、时间同步技术、数据融合与处理技术等关键技术的深入研究和优化，能够有效提高网约车计程计时的准确性和可靠性。针对当前面临的技术、设备与运营、监管等层面的挑战，采取相应的技术优化措施和监管策略，完善法规标准体系，强化监管技术手段，加强行业自律与协同监管，建立投诉处理与反馈机制，能够构建全方位、多层次的监管体系，促进网约车行业在公平、公正、规范的环境中持续发展，为广大乘客提供更加优质、可靠的出行服务。未来，随着技术的不断进步和监管的持续完善，网约车计程计时计量检测校准将更加精准、高效，为网约车行业的创新发展奠定坚实基础。

参考文献

- [1] 高永，安健，全宇翔. 网络约租车对出行方式选择及交通运行的影响 [J]. 城市交通, 2016, 14(5): 1-8. DOI: 10.13813/j.cn11-5141/u.2016.0501.
- [2] 臧晓伟，胡文华，陆君一，等. 网约车计程计时的检测方法和计价器检定规程的比较 [J]. 上海计量测试, 2020, 47(02): 43-45+49.
- [3] 网约车是如何计费的 [J]. 计测技术, 2017, 37(03): 67.
- [4] 高咏玲，陈永东，庞清阁，等. 基于相对价格法的网约车市场统一开放、竞争有序指数构建与应用 [J]. 交通运输研究, 2024, 10(05): 27-38. DOI: 10.16503/j.cnki.2095-9931.2024.05.003.
- [5] 赖宇，应卓君. 超大城市网约车交通问题及防控对策——以成都市为例 [J]. 汽车画刊, 2024, (10): 68-70.
- [6] 杨晓妍，李佳子，丁博洋. 在机场接乘客网约车司机要付3元“调度费”？ [N]. 河南商报, 2024-07-29(A09). DOI: 10.28373/n.cnki.nhnsb.2024.000656.
- [7] 郭美婷，李润泽子. 交通运输部实施“阳光行动”网约车平台将公开计价规则及抽成上限 [N]. 21世纪经济报道, 2022-02-25(002). DOI: 10.28723/n.cnki.nsjbd.2022.000695.
- [8] 郑满男，桑昱，胡立志. 网约车计程计时现状分析及新型检测技术 [J]. 上海计量测试, 2020, 47(06): 2-5+12.
- [9] 祝歆，李静，李千惠，等. 网约车时代出租车分时计价方法应用研究——基于北京市数据的模拟测算 [J]. 价格理论与实践, 2018, (02): 147-150. DOI: 10.19851/j.cnki.cn11-1010/f.2018.02.037.
- [10] 杨月涵，吕银玲. 公开计价规则网约车抽成比例告别“不能说的秘密” [N]. 北京商报, 2022-02-25(002). DOI: 10.28036/n.cnki.nbjxd.2022.000233.

基于物联网的机电设备远程监控与自动化维护研究

郝彦钊, 刘志磊, 负井贺, 于水, 高超

国家电投集团内蒙古白音华煤电有限公司露天矿, 内蒙古 锡林浩特 026200

摘 要 : 随着物联网技术快速发展, 机电设备的远程监控以及自动化维护成了工业领域十分重要的研究方向。本文对当前机电设备远程监控和自动化维护的现状还有挑战做了分析, 指出在数据采集、实时传输、异常检测等方面存在不足。给出了基于物联网的机电设备系统架构设计, 有硬件和软件的设计方案, 在这基础上探讨了远程监控技术里的监控数据采集、实时数据传输处理、异常检测与报警机制等关键技术。最后研究了自动化维护技术, 如维护策略与决策支持系统、自动化维护流程设计以及维护效果评估与优化方法。研究显示, 基于物联网的机电设备远程监控与自动化维护能明显提高设备运行效率, 降低维护成本, 给工业智能化发展提供了有力支持。

关 键 词 : 物联网; 机电设备; 远程监控; 自动化; 维护分析

Research on Remote Monitoring and Automated Maintenance of Electromechanical Equipment Based on Internet of Things

Hao Yanzhao, Liu Zhilei, Yun Jinghe, Yu Shui, Gao Chao

Open-pit mine of Inner Mongolia Baiyinhua Coal and Electricity Co., Ltd. of State Power Investment Corporation Limited.
Xilinhot, Inner Mongolia 026200

Abstract : With the rapid development of Internet of Things (IoT) technology, remote monitoring and automated maintenance of electromechanical equipment have become very important research directions in the industrial field. This paper analyzes the current status and challenges of remote monitoring and automated maintenance of electromechanical equipment, pointing out the deficiencies in data collection, real-time transmission, and anomaly detection. It presents the system architecture design of the electromechanical equipment based on IoT, including hardware and software design solutions. On this basis, it discusses key technologies in remote monitoring, such as monitoring data collection, real-time data transmission and processing, anomaly detection and alarm mechanisms. Finally, it studies automated maintenance technologies, such as maintenance strategies and decision support systems, automated maintenance process design, and maintenance effect evaluation and optimization methods. The research shows that remote monitoring and automated maintenance of electromechanical equipment based on IoT can significantly improve equipment operation efficiency, reduce maintenance costs, and provide strong support for the intelligent development of industry.

Keywords : Internet of Things; electromechanical equipment; remote monitoring; automation; maintenance analysis

引言

机电设备是现代工业生产中重要的一部分, 它的运行状态会直接影响到生产效率以及安全性。传统的设备监控和维护方式主要依靠人工巡检还有定期维护, 存在效率较低、成本较高、响应较慢等问题。随着物联网技术的兴起, 机电设备的远程监控以及自动化维护变成可能。物联网技术借助传感器、通信网络和数据处理平台, 可达成对设备运行状态的实时监控以及智能分析, 能够提前预警故障并且自动执行维护操作。

一、机电设备远程监控与自动化维护的现状与挑战

(一) 现状

在工业 4.0 和智能制造的大环境中, 机电设备远程监控与自

动化维护有了明显进步。从市场常见情况来讲, 在大型制造业、能源电力行业以及现代化的物流仓储领域, 远程监控与自动化维护系统被广泛使用, 汽车制造工厂布置远程监控系统后, 能随时了解生产线上各种机电设备的运行参数。自动化维护方面, 部分

企业引进了依据预设规则的自动诊断与修复程序，当设备出现一些常见故障时，系统会自动发出警报并试着进行初步修复操作^[1]。在技术运用方面，物联网技术成熟让设备能方便地接入网络，达成数据的实时传输。传感器技术发展也给设备状态监测提供了有力支撑，高精度传感器能精准感知设备的细微变化，云计算与大数据技术负责数据存储与分析，对大量设备运行数据做研究来预测设备潜在故障^[2]。

（二）挑战

虽然机电设备远程监控与自动化维护已经有了一些成果，但依然面临着较多挑战。从技术角度分析，不同品牌和型号的机电设备，它们的接口标准不一样，使得在搭建统一的远程监控系统时，设备之间实现互联互通变得很困难。例如有一家工厂，可能同时用了不同供应商的数控机床和自动化生产线设备等，因为接口协议有差别，因此很难做到数据的无缝对接以及统一管理。安全问题方面，远程监控系统传输的设备运行数据里有企业核心生产信息，如果遭到黑客攻击，数据泄露会给企业造成很大损失。在管理方面，企业内部缺少那种既懂机电设备专业知识，又熟悉远程监控与自动化维护技术的复合型人才，现有维护人员大多只擅长传统的设备维护方式，对新的技术手段掌握得不够，无法有效处理自动化维护系统的管理和故障问题^[3]。企业在制定设备维护策略时难以平衡好自动化维护和人工维护的关系，过度依赖自动化可能会导致一些复杂故障处理不及时，而传统人工维护又不能充分发挥远程监控系统的优势。

二、基于物联网的机电设备系统架构设计

（一）系统总体架构

基于物联网的机电设备系统运用分层架构设计，主要划分为感知层、传输层、平台层以及应用层。感知层的作用是采集机电设备的各类运行数据，例如设备的温度、压力、振动、转速等这些关键参数都包含在内，借助大量布置在设备不同部位的传感器来达成数据采集。传输层肩负数据传输的重要任务，运用通信技术例如 4G、5G、Wi-Fi 等以及有线通信技术比如以太网，将感知层收集到的数据安全且快速地传送到平台层。平台层是整个系统的核心关键所在，它对来自传输层的数据进行整合与存储，并且利用大数据分析、云计算等技术对数据开展挖掘与处理工作，为应用层提供数据方面的支持以及决策的依据^[4]。应用层直接面对用户，通过可视化界面呈现设备运行状态、故障预警信息等内容，方便用户可实时对设备进行监控，可以实现远程控制设备的启动停止、参数调整等操作，以此满足不同用户对于机电设备管理的多样需求。

（二）硬件设计

传感器：选用多种类型的传感器来适应不同的监测需求。温度传感器采用高精度热敏电阻或者热电偶，可精准地测量设备关键部位的温度，以此来防止设备因为过热而出现损坏的情况。振动传感器运用压电式或者加速度式传感器，可实时监测设备的振动状况，及时发现设备部件存在的松动、磨损等潜在故障^[5]。压力

传感器可以选用应变片式或者压阻式传感器，用来监测设备内部的压力，保障设备安全运行，这些传感器会把物理量转化成电信号，给系统提供准确的设备运行数据。

控制器：控制器作为设备控制的核心部分，采用可编程逻辑控制器或微控制器。PLC 适用于复杂工业环境下的机电设备控制，拥有强大的逻辑运算以及顺序控制能力，可以依据预设程序和传感器反馈回来的数据，精确控制设备的运行。MCU 则常常被用于对成本、体积有较高要求的小型机电设备，它的集成度高而且功耗低，可以灵活实现对设备的基本控制功能。通信模块：为了实现数据的高效传输，支持多种通信协议，在无线通信模块方面，4G/5G 模块适用于远程、广域范围内的设备通信，可快速传输大量的数据，Wi-Fi 模块用于近距离、高速率的数据传输场景，例如在工厂内部局域网络环境下，实现设备与本地服务器的快速数据交互。有线通信模块主要是以太网模块为主，通过网线进行连接，具有稳定性高、传输速率快的特点，被用于对数据传输稳定性要求极高的关键设备通信^[6]。

（三）软件设计

数据采集方面：在感知层，通过编写特定的驱动程序，让传感器可和微控制器或者 PLC 实现数据交互，借助定时中断或者事件触发机制，按照周期性或者实时的方式采集传感器数据。数据处理方面：在传输层以及平台层，对采集到的原始数据开展预处理工作，运用滤波算法把数据里的噪声干扰给去除掉，采用归一化算法将不同类型传感器的数据统一到相同的量级，这样便于后续进行分析，与此同时，对数据进行初步的特征提取，例如计算设备振动的峰值、均值等特征参数，以此减少数据量，提高数据处理的效率^[7]。

数据存储方面：平台层采用分布式数据库（像是 HBase）和关系型数据库（比如 MySQL）相结合的办法来存储数据，对于海量的、对实时性要求高的设备运行原始数据，存储在分布式数据库当中，利用其高扩展性以及高并发读写能力，保障数据存储的高效性。对于经过处理的、用于分析与决策的结构化数据，例如设备故障诊断结果、设备运行统计报表等，存储在关系型数据库里，便于进行复杂查询和数据管理。

数据分析方面：运用数据挖掘算法以及机器学习模型对存储的数据做深度分析。通过聚类分析算法，将设备运行状态分成正常、异常等不同的类别，利用关联规则挖掘算法，找出设备运行参数之间的潜在关系，经过大量历史数据训练可实现对设备故障的精准预测和诊断，为设备维护提供科学依据。

三、基于物联网的机电设备远程监控技术研究

（一）监控数据采集技术

监控数据的采集是依靠各种各样的传感器来达成，温度传感器中的热敏电阻式传感器，可精确地感知机电设备关键部位的温度，并把温度的变化转变成电信号输出，还有振动传感器，通过感应设备振动产生的电荷，获取设备振动的频率、幅度等数据，依靠这些数据来判断设备运转是否平稳。压力传感器采用压阻式

原理，可测量设备内部的压力参数，这些传感器被合理地部署在机电设备容易发热、容易磨损以及关键传动的部位，数据采集系统采用定时采集和事件触发采集相结合的办法，定时采集可保证数据的连续性，事件触发针对突发的异常情况，例如设备温度突然变化，可在第一时间捕捉到关键数据，为后续的分析提供全面又及时的数据基础。

（二）实时数据传输与处理技术

实时数据传输是依靠多种通信技术来实现，在广域的范围，4G/5G 网络具有高速率以及低延迟的特性，可快速地传输大量设备的数据。在工厂内部等局域场景中，Wi-Fi 或者以太网会发挥出稳定且高效的数据传输优势^[8]。在传输的过程中会采用数据加密技术，以此保障数据的安全。到达接收端的数据，首先要做预处理，运用滤波算法去除噪声干扰，让数据变得更加精准；通过归一化处理，统一不同类型数据的量级，方便后续进行分析，接下来利用分布式计算技术，将大量数据分发给多个计算节点并行处理，大幅提升处理效率。

（三）异常检测与报警机制

异常检测依靠机器学习算法和预设阈值，例如支持向量机这样的机器学习算法，通过学习大量设备正常运行的数据来构建正常行为模型。一旦实时数据和模型的偏差超出了一定范围，就判定可能存在异常。结合预设阈值，系统会马上触发异常检测流程。一旦确认有异常，报警机制会迅速启动，通过短信、邮件、系统弹窗等多种方式给设备管理人员发送报警信息，报警信息会详细说明异常类型、发生时间、设备位置等关键信息，管理人员能及时作出响应，采取维护措施，防止设备故障扩大，保障机电设备稳定运行。

四、基于物联网的机电设备自动化维护技术研究

（一）维护策略与决策支持系统

维护策略是依靠设备运行数据以及故障预测模型来制定，系统会不断收集设备的温度、振动、压力等方面的实时数据，通过运用机器学习算法去分析数据的趋势，预测设备可能出现的潜在故障。例如基于历史数据训练而成的神经网络模型，可精准地预估设备关键部件的剩余使用寿命。根据预测得出的结果制定预防性的维护策略，在部件快要临近失效之前安排维护工作，以此来避免突发故障的发生。决策支持系统会整合设备信息、维护记录以及成本数据，给管理者提供多种维护方案，同时还会评估各个方案的成本效益^[9]。当面对设备出现轻微故障的时候，系统会对比立即维修、延缓维修以及加强监测等不同方案的成本与风险，辅助管理者做出最为合适的决策。

（二）自动化维护流程设计

自动化维护流程是从设备状态监测开始，传感器会实时收集设备数据，一旦数据触发了预设的异常阈值或者故障预测模型发出了预警，流程会自动启动，一开始系统会自动生成维护工单，工单里会详细说明故障类型、设备位置等信息，并且会依据故障的紧急程度来安排优先级。随后要调度维护资源，派遣有相应技

能的机器人或者通知维护人员前往现场，在维护的过程中，智能工具会和设备协同工作，准确地完成设备部件的拆卸与安装。维护完成之后，系统会自动对设备进行性能测试，确认故障已经排除，更新设备维护记录，整个流程效率高、精准度高，减少了人工干预，提高了维护效率。

（三）维护效果评估与优化

维护效果评估借助多维度指标，在设备性能方面，对比维护前后设备的关键运行参数，例如设备运行稳定性以及生产效率有没有恢复到正常水平。从可靠性角度来看，统计设备再次出现故障的间隔时间，以此来评估维护有没有有效地延长设备无故障运行周期。在成本效益方面，核算维护所花费的人力、物力以及时间成本，与维护后设备运行效益的提升做对比，依据评估结果，持续对维护策略与流程进行优化^[10]。若发现某类故障频繁出现，需要分析维护流程中的漏洞，改进维护方法；若某个维护方案成本过高，需要调整资源配置，探索更经济高效的维护方式，不断提高自动化维护水平。

五、结语

本文开展基于物联网的机电设备远程监控与自动化维护技术研究，分析完整的系统架构设计方案，研究了远程监控与自动化维护的关键技术。物联网技术的应用能明显提升机电设备的监控效率与维护水平，降低设备故障率，延长设备使用寿命。伴随物联网技术持续发展，机电设备的远程监控与自动化维护会更智能、精准，为工业生产的智能化转型给予有力的技术支持，但仍要研究怎样优化数据传输效率、提高异常检测精度以及完善自动化维护策略，来应对复杂多变的工业环境。

参考文献

- [1] 侯强. 选煤厂机电设备远程监控系统架构与功能实现 [J]. 电站辅机, 2024, 45 (04): 71-74.
- [2] 张永, 赵伟, 吴永东. 矿山机电设备的远程监控与管理技术研究 [J]. 世界有色金属, 2024, (20): 174-176.
- [3] 李默涵. 高速公路机电设备远程监控与控制系统优化 [J]. 中国机械, 2024, (27): 101-104.
- [4] 朱虎, 杨琳. 基于物联网技术的高速公路机电设备远程监控研究 [J]. 智能物联技术, 2024, 56 (05): 145-148.
- [5] 聂健, 王正. 探究机电设备的嵌入式远程监控系统设计 [J]. 长江信息通信, 2024, 37 (09): 89-91+94. DOI:10.20153/j.issn.2096-9759.2024.09.027.
- [6] 蔚新. 煤矿井下机电设备安全供电技术应用研究 [J]. 自动化应用, 2024, 65 (14): 94-96. DOI:10.19769/j.zdhy.2024.14.030.
- [7] 李勇, 杨阳. 煤矿机电设备的远程监控与故障诊断系统研究 [J]. 中国高新科技, 2024, (12): 46-48. DOI:10.13535/j.cnki.10-1507/n.2024.12.13.
- [8] 王磊, 宋维勇, 赵常亮. 基于物联网技术的智能化机电设备远程监控与管理研究 [J]. 中国战略性新兴产业, 2024, (18): 49-51.
- [9] 王宇. 基于物联网的高速公路机电设备远程监控系统研究 [J]. 汽车周刊, 2024, (06): 52-54.
- [10] 谢李丰. 基于互联网技术的机电设备远程监控与维护系统研究 [C]// 中国智慧工程研究会. 2024智慧施工与规划设计学术交流会议论文集. 杭州冉思科技有限公司, 2024: 3. DOI:10.26914/c.cnkihy.2024.027254.

基于区块链技术的储能系统分布式检修与运行协同机制研究

陈浩

贵州西能电力建设有限公司, 贵州 贵阳 550000

摘 要 : 本文旨在深入研究基于区块链技术的储能系统分布式检修与运行协同机制, 尤其针对以磷酸铁锂电池为代表的化学储能系统展开深入探讨。通过剖析区块链技术在储能系统中的应用原理、分布式检修模式以及运行协同机制等关键层面, 创新性地提出一种储能系统管理新模式, 旨在提升储能系统的运行效率、可靠性与安全性, 为能源领域的可持续发展提供坚实的理论支撑与技术参考。

关 键 词 : 区块链技术; 储能系统; 化学储能

Research on Distributed Maintenance and Operation Coordination Mechanism of Energy Storage Systems Based on Blockchain Technology

Chen Hao

Guizhou Xineng Electric Power Construction Co., Ltd. Guiyang, Guizhou 550000

Abstract : This paper aims to conduct an in-depth study on the distributed maintenance and operation coordination mechanism of energy storage systems based on blockchain technology, with a particular focus on chemical energy storage systems represented by lithium iron phosphate batteries. By analyzing the application principles of blockchain technology in energy storage systems, distributed maintenance modes, and operational coordination mechanisms, this paper innovatively proposes a new management model for energy storage systems. The goal is to improve the operational efficiency, reliability, and safety of energy storage systems, providing solid theoretical support and technical references for the sustainable development of the energy sector.

Keywords : blockchain technology; energy storage system; chemical energy storage

引言

在全球能源转型的大背景下, 储能系统作为平衡能源供需、提升电力系统稳定性的关键技术, 备受瞩目。以磷酸铁锂电池为代表的化学储能系统, 在这一过程中扮演着重要角色。随着太阳能、风能等可再生能源大规模接入电网, 电力系统的间歇性和波动性显著加剧, 储能系统的重要性愈发突出。它能解决能源供需时间错配问题, 增强能源系统可靠性与灵活性。

一、区块链技术基础与储能系统

(一) 区块链技术原理与特性

区块链技术是一种结合了计算机、网络、通信和密码学等多种现代化技术的综合性技术, 其本质上是一种链式数据结构。区块链技术通过链式结构保证了数据的不可篡改性和可验证性, 通过分布式网络技术保障了区块链网络中数据的一致性, 通过点对点传输技术保证了数据交换的高效性, 通过密码学技术保证了数据的安全性^[1]。

区块链特性为储能系统分布式检修与运行协同提供支持。去中心化使储能系统摆脱集中式管理, 各储能单元可自主通信协作; 不可篡改确保运行数据真实可靠, 为故障诊断等提供依据;

可追溯让储能系统运行轨迹清晰, 便于管理和故障排查; 智能合约实现储能系统自动化控制与交易, 如按电网负荷自动调节充放电, 自动结算能量交易^[2]。

(二) 储能系统概述

储能系统是一种能储存和释放能量的系统, 在能源领域地位关键, 可调节能源供需, 提升能源利用效率, 保障能源系统稳定, 是实现可再生能源利用和构建智能电网的重要支撑^[3]。其主要分为物理、化学、电磁储能三类。

化学储能以其显著特点在能源领域占据重要地位, 其中磷酸铁锂电池作为锂离子电池的一种典型代表, 进一步凸显了这些优势。磷酸铁锂电池具备较高的能量密度, 能够在较小的体积和较轻的重量下存储大量的能量, 这一特性使其特别适用于对空间和

重量要求苛刻的应用场景，如电动汽车，能够在有限的空间内为车辆提供充足的续航能力；在便携式电子设备中，也能满足设备长时间使用的电力需求^[4]。

从技术成熟度来看，以铅酸电池和磷酸铁锂电池为代表的化学储能技术已经实现商业化，并在多个领域得到广泛应用。磷酸铁锂电池凭借其稳定的性能和较长的循环寿命，在储能市场中逐渐占据重要份额。

此外，化学储能还具备良好的灵活性和可扩展性，磷酸铁锂电池系统能按需便捷扩展容量，应用范围从小型电子设备储能到大规模电网储能系统，为各类能源存储需求都能提供有效方案。

二、化学储能系统的运行与检修挑战

（一）化学储能系统运行特性

在化学储能系统进行充放电操作时，能量转换效率的高低极为关键，它作为输出电能与输入电能的比值，对系统的经济性和实用性有着直接影响。在实际运行状态下，这一效率受到多种因素干扰。以磷酸铁锂电池为例，其电池内阻会导致能量以热能形式损耗，这是因为电极材料的离子、电子传导速率会影响内阻大小，从而对效率产生作用；同时，电池极化现象会让电极电位偏离平衡电位，进而造成能量损失，降低了能量转换效率。

化学储能系统寿命衰减问题不容忽视，主要体现为电池容量下降与充放电性能恶化。充放电深度是关键影响因素，深度充放电会让活性物质发生不可逆反应，磷酸铁锂电池也不例外，会加速容量衰减。充放电倍率和温度同样影响显著，高倍率充放电产热、加剧极化，高温与低温都会不同程度缩短电池寿命^[5]。

安全性是化学储能系统稳定运行的重要保障，然而却存在着多种风险。电池热失控是严重问题，锂离子电池过充时锂枝晶或刺穿隔膜致短路引发热失控，磷酸铁锂电池虽热稳定性较好，极端情况也有此风险。过充、过放隐患常见，分别破坏电极、消耗材料。高温、潮湿、振动等外部环境也影响安全，威胁电池性能^[6]。

（二）传统检修模式的局限性

传统集中式检修模式在面对分布式储能系统时存在诸多局限。在数据获取上，依赖有限传感器与人工巡检，因分布式储能系统分布广、节点多，传感器难以全面覆盖，人工巡检效率低、主观性强，无法保证数据准确完整，如大规模分布式储能系统人工巡检耗时费力，易遗漏问题^[7]。

在故障诊断及及时性层面，故障数据需经多级传输至中央控制中心。由于传输层级较多，信息传递存在延迟，这极大影响了故障诊断的及时性。若紧急故障未能及时察觉并处置，极有可能使故障范围扩大，进而破坏系统的稳定性。例如，电池热失控在初期若未得到有效处理，便可能诱发严重事故。

检修成本上，需大量人工巡检与专业人员诊断维修，人力成本高，还要储备大量备品备件，增加物资成本，且故障诊断修复时间长，会导致储能系统长时间停机，造成能源供应中断，给用户带来经济损失。

三、基于区块链的分布式检修与运行协同机制设计

（一）总体架构设计

区块链技术的储能系统分布式检修与运行协同机制架构，融合了前沿技术与创新理念，旨在确保储能系统的高效、可靠运行，并为检修维护工作提供便利。

在该架构下，区块链节点呈广泛分布态势，其中磷酸铁锂电池构成的每个储能单元都作为节点，借助分布式网络达成互联互通，进而构建出去中心化的结构。以分布式储能电站来说，由磷酸铁锂电池组成的储能电池组作为独立节点，可直接开展通信交互。这种模式不仅强化了系统的可靠性与灵活性，还保障了在个别节点出现故障时，整体系统依旧能够正常运转。

数据流向呈现多向且高效的特点。储能单元的实时运行数据，如电压、电流等，会被实时采集并上传至区块链网络，通过分布式账本进行存储和共享，各节点均可获取最新数据。储能单元的充放电数据同样记录在区块链上并同步，便于各参与方全面了解系统运行状态，为决策提供有力依据。

（二）运行协同机制

在能源领域数字化与智能化转型的进程中，区块链技术凭借其独特的分布式账本与智能合约特性，为储能系统的高效运行与精细化管理提供了创新路径，显著提升能源利用效率与系统稳定性^[8]。

1. 分布式能量管理

区块链的分布式账本与智能合约，是储能系统能量协调分配的关键。分布式账本按时间戳记录电量、功率等数据，提供可靠数据基础。智能合约依供需算法、价格信号及用户规则，自动执行能量分配与交易。

在实际电网运行场景中，储能系统通过区块链共享能量状态，一旦出现电量供需差异，智能合约将自动触发能量转移，调控关键要素，优化策略以实现效益最大化。

分布式能量管理与可再生能源发电系统的深度融合，进一步拓展了能源综合利用的边界。当可再生能源发电过剩时，储能系统在智能合约的控制下自动启动储电模式，将多余电能存储起来；而在可再生能源发电不足时，储能系统则依据电网需求释放能量，实现可再生能源的平滑接入与高效利用，有效提升能源系统的稳定性与可靠性。

2. 实时状态监测与预警

在区块链节点部署传感器，实时采集磷酸铁锂电池储能系统的电压、电流、荷电状态（SOC）等关键数据，经区块链网络加密传输后分布式共享。运用大数据分析和机器学习算法挖掘历史数据，构建运行状态预测模型，实现实时监测与故障预警，有效防范过充等风险。机器学习算法还能依据长期数据对储能系统性能进行预测，为运维人员制定维护计划提供参考依据，从而降低故障率，提升系统的可靠性与使用寿命。

（三）分布式检修机制

1. 故障诊断与定位

在储能系统运维中，区块链技术实现的数据共享是快速诊

断、精准定位故障的关键，对检修意义重大。区块链按时间顺序记录储能系统全生命周期数据，故障发生时，检修人员可借区块链获取数据用于诊断。

借助对区块链上磷酸铁锂电池的电压、电流等关键数据的分析，再结合诊断算法，能够快速判定故障类型及其成因。举例来说，当出现电池电压异常情况时，对相关数据进行剖析，就能够精准判断出具体问题所在。并且，凭借区块链的可追溯特性，还能够回溯操作过程以及环境数据，从而准确确定故障的根源。

分布式故障诊断技术进一步提高了故障定位的精准度。各区块链节点依据本地采集的数据独立诊断分析，再把结果上传至区块链网络共享汇总。综合研判各节点的诊断结果，就能更准确地确定故障位置和影响范围。在大型分布式储能系统中，不同节点对故障信号的判断可能不同，借助区块链的共享协同机制整合分析，能有效解决这个问题，实现精准定位。

2. 检修任务分配与执行

在工业设备运维管理中，借助智能合约实现检修任务自动化分配，是优化检修流程、提升效率和秩序的关键。智能合约依照预设的严格规则和流程，在故障诊断完成后，综合考虑检修人员的技能水平、工作负荷和地理位置等因素，将任务精准分给合适人员或团队，同时实时监测、动态调整。

检修执行时，智能合约全程监督。检修人员完成任务上传结果和数据，智能合约依据预设标准进行验证，保障质量。若有新问题，人员通过区块链沟通，智能合约依新情况调整任务，确保检修顺利进行。

四、协同机制的优势与效益分析

（一）技术优势

在技术维度上，区块链的储能系统分布式检修与运行协同机制展现出显著优势，为储能系统的高效稳定运行筑牢坚实基础。

在数据安全上，区块链为储能系统提供保障。传统储能依赖中心化服务器，数据易受攻击，服务器故障会危及数据安全。区块链用哈希、非对称加密技术加密数据，链式结构防篡改，分布式账本多节点存储，消除单点故障隐患，保障数据安全可用^[9]。

系统可靠性方面上，区块链的去中心化架构和共识机制是关键。传统集中式储能中央控制中心故障易致系统瘫痪。区块链储能系统采用去中心化架构，节点平等参与管理，规避单点故障；共识机制确保节点数据一致，经多节点验证的数据才能写入区块链，保障系统稳定。

故障处理中，分布式检修机制较为突出。它能快速诊断定位故障，提升检修效率。检修人员借区块链共享数据，结合数据分析和机器学习判断故障类型与原因，如监测电池数据预测故障。智能合约按预设规则自动分配执行任务，跟踪进度，相比传统模式，大幅缩短故障处理时间，提高储能系统可用性和可靠性。

（二）经济效益

区块链的储能系统分布式检修与运行协同机制，对储能产业经济效益增长和可持续发展意义重大。

运维成本上，传统集中式检修人工成本高，信息传递过程中的问题易造成物资浪费与过度储备。区块链赋能的分布式检修机制，借助远程诊断和智能分析，能减少人工巡检，降低人力成本；通过智能合约调配人员和管理备品备件，可以降低物资成本，缩短故障处理时长，减少停机损失。

能源利用效率方面，运行协同机制让储能系统与电网等高效协同。分布式能量管理系统依据电网需求和能源价格，可以自动调整充放电策略，削峰填谷，避免能源浪费^[10]。与可再生能源发电系统协同，能平滑输出波动，提高消纳能力，降低生产成本。

储能市场发展上，该协同机制营造良好环境。区块链的去中心化使储能交易更公平透明，降低成本和门槛，吸引更多参与者。智能合约实现交易结算自动化，提升效率和透明度。分布式检修与运行协同机制提高储能系统可靠性和性能，降低用户风险和成本，增加市场需求与认可度，推动储能产业规模化、商业化发展，为经济可持续发展助力。

五、结束语

本研究聚焦化学储能系统，深入剖析基于区块链技术的分布式检修与运行协同机制。结果显示，该机制在解决化学储能系统运行与检修难题上成果显著。以磷酸铁锂电池为例，能实时监测能量转换效率、寿命衰减和安全性，借分布式账本和智能合约分析数据、预测寿命、预警隐患，实现故障快速诊断与定位，智能合约分配执行检修任务，提升效率、降低成本，还能协调能量分配、监测预警，优化配置，保障系统稳定运行。

未来，该协同机制前景广阔。技术上需优化区块链性能，加强与人工智能、大数据、物联网等新兴技术融合，实现智能化管理和决策。应用层面，要拓展应用场景，加强与能源市场结合。政策层面，政府和相关部门应加大政策支持引导，制定标准规范，出台鼓励政策，推动能源产业转型升级。

参考文献

- [1] 刘博涵. 面向共享储能电站的区块链技术研究 [D]. 华北电力大学 (北京), 2024.
- [2] 王帆, 李欣然, 王振. 基于区块链的能源局域网储能优化调度研究 [J]. 东北电力技术, 2024, 45(05): 1-5.
- [3] 孙童. 基于区块链技术的多微网共享储能能源交易研究 [D]. 东北石油大学, 2022. DOI: 10.26995/d.cnki.gdqsc.2022.000367.
- [4] 谭敏生, 徐国庆, 丁琳, 等. 基于 POW 的区块链共识机制的改进 [J]. 计算机应用与软件, 2024, 41(11): 117-122.
- [5] 闫铮. 基于区块链的共享储能应用及交易模式探讨 [J]. 储能科学与技术, 2022, 11(02): 733-734.
- [6] 鲁恒聪. 基于区块链的分布式能源多主体交易决策及平台研究 [D]. 华北电力大学 (北京), 2021. DOI: 10.27140/d.cnki.ghbbu.2021.000344.
- [7] 管明杰, 闫军, 王鑫. 基于区块链的危险源管理方法研究 [J]. 民航学报, 2024, 8(06): 97-102.
- [8] 王磊, 胡清. 储能技术在新能源电力系统中的应用 [J]. 通讯世界, 2024, 31(10): 88-90.
- [9] 国家化学储能材料及产品质量检验检测中心 (广东)、广东省动力电池安全重点实验室简介 [J]. 中国计量, 2024, (02): 51-52.
- [10] 王哲. 储能技术在新能源电力系统中的应用 [J]. 光源与照明, 2024, (01): 237-239.