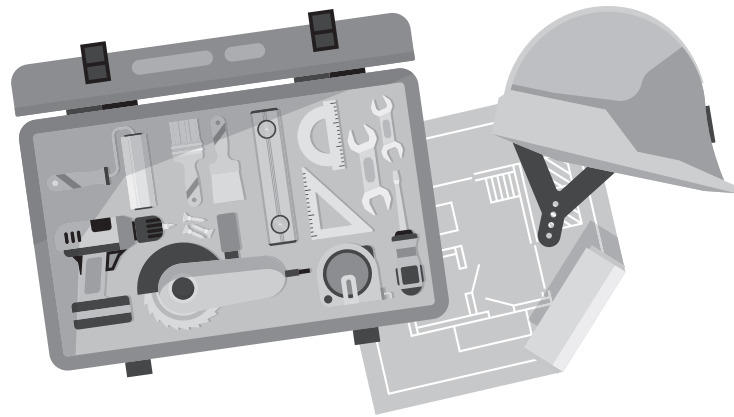


工程技术 与质量管理

Engineering Technology and Quality Management



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



Editors-in-Chief

Yulei Chao

Heze Dehe Construction Engineering Group Co. LTD.

Haizhong Gao

Zhejiang Zhongnan Construction Group Co. LTD.

Associate Editor

Pengyue Yu

Shandong Construction Engineering (Group) Co., LTD.

Editorial board member

Sanath Alahakoon

School of Engineering and Technology Centre for Railway Engineering

Salahuddin Azad

School of Engineering and Technology Institute for Future Farming Systems,
Centre for Regional Economies and Supply Chains

Yungang Wang

Ordos Sports Development Center

Qigui Chi

Expert Committee of China Construction Supervision Association

Danhui Chi

Fujian Provincial Institute of Engineering Supervision and Project Management
Association

Yahui Chi

Fujian Provincial Civil Engineering and Construction Industry Association

Chunxiu Liu

Fujian Provincial Association of Engineering Construction Quality and Safety

工程技术与质量管理

Engineering Technology and Quality Management

第3卷 第9期 2025年9月刊

主管 ART AND DESIGN PRESS INC.

主办 ART AND DESIGN PRESS INC.

编辑 《工程技术与质量管理》编辑部

ISSN(O): 2992-9806

ISSN(P): 2995-3170

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

网址: <https://www.artdesignp.com>

本刊说明:

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

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



工程技术 | ENGINEERING TECHNOLOGY

- | | | |
|-----|--|-----------------------|
| 001 | 三维激光点云在无人机倾斜模型中应用
Application of 3D Laser Point Cloud in UAV Oblique Model | 齐发
Qi Fa |
| 004 | 建筑工程造价管理的现状及对策研究
A Study on the Current Status and Countermeasures of Construction
Cost Management | 张宏春
Zhang Hongchun |
| 007 | 高速公路桥梁养护与维修加固处理方法
Maintenance, Repair and Reinforcement Methods for Highway Bridges | 陈鹏飞
Chen Pengfei |
| 010 | 机械制造企业技术管理对售后服务的影响及优化策略
The Influence of Technical Management on After-Sales Service and Optimization
Strategy of Machinery Manufacturing Enterprises | 叶伟
Ye Wei |
| 013 | 市政工程技术演进与工程风险管理协同策略研究
Research on the Collaborative Strategy of Technological Evolution and
Engineering Risk Management in Municipal Engineering | 莫金莉
Mo jinli |
| 016 | 公路施工技术管理对工程质量的影响探究
Investigation on the Influence of Highway Construction Technology
Management on Project Quality | 岳欢欢
Yue Huanhuan |
| 019 | 双支撑系统在托梁拔柱改造项目中的运用
Application of Double Support System in Beam Pulling Column
Renovation Project | 汪晓刚
Wang Xiaogang |
| 022 | 水泥系统流化板安装及卸货系统效用
Installation of Fluidisation Plates and Unloading System Efficiency in
Cement Systems | 董祥东
Dong Xiangdong |
| 025 | 超低能耗建筑外墙保温一体化施工技术研究
Research on Integrated Construction Technology of Prefabricated
Exterior Wall Insulation in Ultra-Low Energy Consumption Buildings | 王志兵
Wang Zhibing |
| 028 | 钢结构桥梁制造中的焊接质量控制与检测技术
Welding Quality Control and Inspection Technology in Steel Structure
Bridge Fabrication | 邓定付
Deng Dingfu |
| 031 | 地理信息数据管理与技术优化: 提升数据处理与分析效率
Geographic Information Data Management and Technology Optimization:
Improve the Efficiency of Data Processing and Analysis | 潘婷婷
Pan Pingting |
| 034 | 建筑工程管理中的技术管理与风险防控策略研究
Research on Technical Management and Risk Prevention Strategies in Construction
Engineering Management | 杨勇
Yang Yong |
| 037 | 双碳目标下建筑暖通空调系统低碳运行优化与能效提升技术研究
Research on Optimization of Low-Carbon Operation and Energy Efficiency Improvement
Technologies for Building HVAC Systems under the Dual Carbon Goals | 岳振泳
Yue Zhenyong |
| 040 | 房建工程管理中的精细化实践: 从造价到质量的全方位把控
Refined Practice in Construction Project Management: Comprehensive
Control from Cost to Quality | 郑洪杰
Zheng Hongjie |
| 043 | 建筑工程项目管理中的技术与风险管理探究
Exploration of Technology and Risk Management in Construction
Project Management | 刘思明
Liu Siming |

046	土建工程对消防专项施工的影响及技术管理策略 The Influence of Civil Engineering on Special Fire Protection Construction and Technical Management Strategy	衡霖 Heng Lin
049	桂林宋静江府城墙修缮与保护措施研究 Research on the Restoration and Protection Measures for the City Walls of Songjingjiang Prefecture in Guilin	刘笑 Liu Xiao
052	防渗漏施工技术在房屋建筑施工中的运用 The Application of Anti leakage Construction Technology in Building Construction	何文 He Wen
055	工程项目中房屋建筑施工质量管理的关键因素分析 Analysis of Key Factors in Quality Management of Building Construction in Engineering Projects	杨志文 Yang Zhiwen
058	BIM视角下PC建筑施工技术分析 Analysis of PC Building Construction Technology from the Perspective of BIM	艾慧斌 Ai Huibin
061	传统建筑语汇的数字化转译与当代适应性研究 Digital Translation and Contemporary Adaptability Research of Traditional Architectural Vocabulary	胡可 Hu Ke

水电工程 | HYDROPOWER ENGINEERING

064	新能源光伏发电电站项目建设管理难点与对策 Challenges and Countermeasures in the Construction Management of New Energy Photovoltaic Power Stations	何清跃 He Qingyue
067	面向碳中和目标的火电厂汽轮机低碳运行技术探索 Exploration of Low-Carbon Operation Technology of Steam Turbine in Thermal Power Plant towards Carbon Neutral Goal	蒲远 Pu Yuan
070	电动闸阀频发无法开启问题处理 Frequent Failure to Open Problem Handling of Electric Gate Valves	吴星龙, 刘瑜 Wu Xinglong, Liu Yu
074	水利水电工程监理的质量控制要点与实践 Quality Control Points and Practice of Supervision in Water Conservancy and Hydropower Projects	陈和君 Chen Hejun
077	物流高架配电及电气控制柜温湿度合并 Logistics Overhead Power Distribution and Electrical Control Cabinet Temperature and Humidity Combined	刘梁梁, 陈航, 罗增, 钟超 Liu Liangliang, Chen Hang, Luo Zeng, Zhong Chao
080	区域供冷与集中供热系统中电气设备的运维管理及节能优化策略 Operation, Maintenance Management and Energy-saving Optimization Strategies for Electrical Equipment in District Cooling and Centralized Heating Systems	钟煌 Zhong Huang
083	航空电子航电系统架构设计与舰载系统架构设计的对比研究 A Comparative Study of Avionics and Avionics System Architecture Design and Shipborne System Architecture Design	唐海勇 Tang Haiyong
086	基于数字孪生的通信基站外电引入智能设计体系构建 An Intelligent Design System for External Power Introduction of Communication Base Station Based on Digital Twin is Constructed	张迎曦 Zhang Yingxi
089	智能矿山视野下煤矿机电技术管理创新路径研究 Research on Innovative Pathways for Coal Mine Electromechanical Technology Management under the Perspective of Smart Mining	白东方, 牛嵩 Bai Dongfang, Niu Song

安全质量 | SAFETY QUALITY

092	金属矿山安全管理中的风险评估与控制策略研究 Research on Risk Assessment and Control Strategies in Safety Management of Metal Mines	田健健, 高志龙 Tian Jianjian, Gao Zhilong
095	低温甲醇洗净化气总硫超标的原因分析及解决办法 Analysis of the Causes and Solutions for Excessive Total Sulfur in Purified Gas from Low-Temperature Methanol Washing	陈治君 Chen Zhijun
098	高烈度地震区水库大坝抗震优化设计与安全评估 Seismic Optimisation Design and Safety Assessment of Reservoir Dams in High-Intensity Earthquake Zones	张立娟 Zhang Lijuan
101	复杂地质条件下深基坑支护结构优化设计与变形控制研究 Optimised Design and Deformation Control of Deep Excavation Retaining Structures under Complex Geological Conditions	施炳军, 刘湘 Shi Bingjun, Liu Xiang
104	房屋承载能力检测对房屋安全性鉴定的重要性及应用 The Importance and Application of Building Load-Bearing Capacity Testing in Building Safety Appraisal	沈焱林 Shen Yanlin

三维激光点云在无人机倾斜模型中应用

齐发

太原市国土空间规划测绘院（太原市城市雕塑研究院），山西 太原 030000

DOI:10.61369/ETQM.2025090033

摘 要： 在无人机技术快速发展过程中，在无人机倾斜模型中三维激光点云的应用越来越广泛。现如今，传统的二维遥感技术已经无法满足高精度测量复杂建筑物以及地形的要求。基于此，本文将研究三维激光点云在无人机倾斜模型的应用，在实际研究中首先介绍了三维激光点云和无人机倾斜模型的基本概念与技术原理，之后分析了在无人机倾斜模型中应用三维激光点云的优势与必要性，最后探讨了三维激光点云在无人机倾斜模型中的应用。

关 键 词： 倾斜模型；三维激光点云；无人机倾斜摄影测量

Application of 3D Laser Point Cloud in UAV Oblique Model

Qi Fa

Taiyuan National Land Spatial Planning and Surveying Institute (Taiyuan City Sculpture Research Institute),
Taiyuan, Shanxi 030000

Abstract： With the rapid development of drone technology, the application of 3D laser point clouds in drone oblique models is becoming increasingly widespread. Nowadays, traditional two-dimensional remote sensing technology can no longer meet the requirements of high-precision measurement of complex buildings and terrain. Based on this, this article will investigate the application of 3D laser point clouds in drone oblique models. In practical research, it first introduces the basic concepts and technical principles of 3D laser point clouds and drone oblique models, and then analyzes the advantages and necessity of applying 3D laser point clouds in drone oblique models. Finally, it explores the application of 3D laser point clouds in drone oblique models.

Keywords： oblique model; 3D laser point cloud; drone oblique photogrammetry

前言

现如今，无人机遥感技术已经被广泛应用于城市规划、地形测绘等方面。但是传统的无人机摄影测量中主要使用二维图像，在很多情况下无法准确反映地物的实际信息。与此同时，三维激光点云技术凭借自身密度高、精度高的优势在地形测绘中展示出巨大潜力。在无人机倾斜模型中应用三维激光点云能够发挥出丰富地物信息、提升测量精度的作用，对其应用情况展开研究非常有必要。

一、基本概念和技术原理

（一）三维激光点云

三维激光点云简单理解就是在激光扫描技术支持下获取的具备属性信息与三维坐标的点数据集。在获取三维激光点云数据时主要需要使用激光扫描仪，该设备主要是由扫描系统、激光测距等组成。在激光测距仪使用过程中会发射和回收激光束，借助两者之间的时间差可确定激光测距仪与地物之间的距离，从而明确空间点的三维坐标^[1]。在采集激光点云数据时，其发射的激光会在地物表面多个点产生反射现象，进而形成海量散乱点，以空间分布进行划分这些点会形成点云。在使用合理方法处理与分析这

些点云数据后，可以呈现出地物的结构、形状等信息。三维激光点云数据不但可以为相关人员建立三维模型提供依据，还能够与遥感数据、二维影像数据等进行融合应用，借此保证三维激光点云数据的作用充分发挥。

（二）无人机倾斜模型

无人机倾斜模型就是以无人机倾斜摄影影像为依据构建三维模型的一种技术。在制作无人机倾斜模型时需要利用专业软件，具体需要按照如图1所示步骤操作。



图1 无人机倾斜模型构建流程

(1) 像控点布设：首先需要合理选择模型中使用的高程系统与坐标系统，之后完成像控点布置，像控点数量应与测量区域实际情况相符。

(2) 三维数据采集：使用无人机倾斜摄影从多个角度拍摄测量区域影像，若是飞机上只配备了一个镜头，可以选用五航带法完成无人机飞行，倘若镜头可同时覆盖五个方向，则可将航带减少到一个^[2]。

(3) 影像处理：首先需要规范落实影像处理措施，具体包含图像配准、去畸变、色彩还原等，以此保证图像达到更高的质量。

(4) 刺点及计算空三：在实施计算工作前需要保证高程系统和坐标系足够明确。之后以各个像控点的三维坐标为依据，确定各个图像中像控点位置的值，也就是刺点工作。当完成刺点工作后，利用软件完成空三计算，同时以计算结果为依据将精度较低的影像排除。

(5) 拼接模型：在软件中设置需要的成图质量以及拟合范围，之后利用最小二乘原理在程序中拼接出三维倾斜模型。

二、无人机倾斜模型中应用三维激光点云的优势与必要性

(一) 提高数据处理与分析效率

在开展测绘工作时，很多时候借助单一数据无法满足测绘精度等方面的要求，在此过程中就需要在无人机倾斜模型中应用三维激光点云。需要注意的是，无人机影像数据与激光点云数据在表达方式和数据结构方面存在差异，若是均单独进行分析与处理工作，有一定几率会出现处理效率低、数据冗余等问题。在无人机倾斜模型中应用三维激光点云，可以在统一的数据结构中整合两者的关键信息，从而降低数据处理难度^[3]。而且，整合后的数据能够促使相关数据信息变得更加丰富，帮助相关人员更精准、全面地了解测绘目标实际情况。

(二) 提升空间数据完整性与精度

在无人机倾斜模型中应用三维激光点云，两者的数据会深度融合，达到相辅相成的效果，从而促使空间数据达到更高的完整性与精度。激光点云数据能够较为精确地呈地物的空间位置和几何形状，而无人机影像数据中颜色与纹理方面的信息非常丰富。在将三维激光点云应用到无人机倾斜模型中后，激光点云数据可为模型提供精确的三维坐标，会在一定程度上提升模型的精度。

(三) 扩大应用领域和提升应用效果

在无人机倾斜模型中应用三维激光点云中能将更为精确、全面的信息提供到各个领域。相关人员在开展应急救援、城市规划、环境监测等工作时，借助融入三维激光点云数据的无人机倾斜模型，可更为清晰地了解植被分布、地形地貌、建筑物等方面的实际情况，进而制定出科学合理的决策。除此之外，相关模型还可作为开展防灾减灾、城市设计、基础设施建设等工作的重要依据^[4]。

三、三维激光点云在无人机倾斜模型中的应用

本文将以某建筑数据采集项目为例研究三维激光点云在无人机倾斜模型中的具体应用，具体操作步骤包括地面三维激光扫描测量、无人机倾斜摄影测量、模型构建与精度分析。

(一) 地面三维激光扫描测量

在实际开展采集相关数据的工作前，相关人员需要亲自前往现场了解该建筑实际情况，之后以自身了解的情况为依据设计合理的架站方案，在此过程中各个测站测量范围应有一定重叠，在正常情况下两个相邻的测站应该保持超过30%的重叠度，同时重叠区域应满足空间特征轮廓显著的要求，从而确保后期获取的数据能够组成一个整体，出于保证点云密度和数据精度的目的，相邻两个测站间应保持低于30m的间距。在充分考虑以上情况后，相关人员确定了如图2所示的架站方案。在进行作业的过程中，应选择无障碍物和人员遮挡的区域作为具体的布设地点，为后续内业处理工作提供方便。

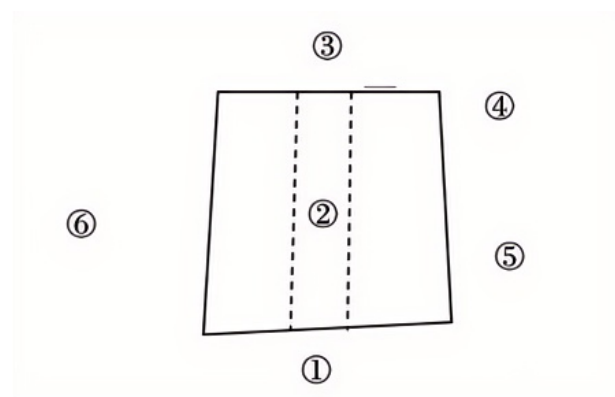


图2 三维激光扫描架站方案

当完成外业数据采集工作后，内业首先需要整合所有测站的点云数据，并使用合理的拼接方法完成拼接，主要可以使用以下三种拼接方法：第一种是以空间视图为基础完成拼接，此种方法在使用过程中需要保证两个测站点云之间公共区域充足，而且该公共区域空间轮廓特征要非常明显，在实际实行拼接操作时需要旋转与平移两个测站点云的平面俯视图，直至两者公共区域重叠，之后再对齐俯视图；第二种是使用空间特征点或标靶，在实际操作中针对两个相邻的测站，借助公共空间特征点同步扫描和布设测站之间标靶的方式匹配和拼接两个测站的点云；第三种是利用视觉追踪技术，现如今市场中的扫描仪很多都配备了具有该技术的自动拼接扫描仪，这种扫描仪在IMU和视觉追踪相机的支持下能够完成两个测站相对位置的确定^[5]。在开展相关作业时，视觉追踪相机不仅能够识别和提取高清影像的空间特征，还能够利用先进的模型，在考虑机身运动状态的情况下明确空间环境，连续追踪相应的特征点，最终完成自动拼接相邻测站点云的工作。为了进一步缩短该工作所需时间，在实际开展该项目时相关人员使用了此种三维激光扫描仪采集数据，提升了点云拼接自动化水平。

当将所有三维激光点云拼接成一个整体后，出于提升点云数据质量的目的需要采取抽稀、去噪等操作，其中去噪简单理解就

是剔除点云中没有利用价值的部分，具体包含离散点、人、障碍物等，主要是使用建立围栅的方式剔除。在实际操作中，相关人员还可使用适宜的滤波算法删除离散点，也就是提取离散点空间形态特征，如点群之间的距离、点群中点的数量等。

在附近环境和测量区域地形的影响下，在地面三维激光扫描测量中并未得到建筑顶部的三维数据。

（二）无人机倾斜摄影测量

要想得到测量区域大场景三维模型，并收集建筑顶部数据，相关人员决定使用配备五镜头的无人机开展倾斜摄影测量，同时在无人机上还搭载了多个传感器，可从多个维度、多个角度收集地面影像，在将相关影像传输到软件中后，能够得到与该建筑物实际情况相符的三维空间模型^[6]。相关人员在充分考虑现场实际情况的基础上规划了无人机倾斜摄影测量的线路，确定了如表1所示的飞行技术参数。

表1 倾斜摄影测量主要技术参数

项目	参数
倾斜相机焦距	35mm
地面分辨率	2.3cm
下视相机焦距	20mm
倾斜相机角度	45°
航向重叠度	80%
飞行高度	100m
旁向重叠度	70%

内业在处理相关数据时主要使用 ContextCapture，在将相关无人机倾斜摄影测量数据导入该软件中后，其能自动完成三维建模工作。但是在落实工作前，相关人员要对影像信息、相机参数信息等进行有效整理，之后导入相关数据并设置空三参数并执行空三。在开展自由网空三解算工作的过程中，相关人员需要维持1/2 ~ 1个像素内的像方误差，并对三维视图中的特征点和POS进行检查；在进行控制点空三解算时，各个相机在刺点时需要刺的影像数量为3 ~ 5张，在此阶段，要想使精度达到更高水平，影响将高清晰度影像作为重要的刺点对象^[7]。

四、模型构建和精度分析

（一）模型构建

在完成以上两种方法模型构建工作后可以发现，两种方法所构建的模型存在不同的优点，其中三维激光扫描测量能够获取与建筑物实际情况高度相符的彩色三维点云，但是其数据采集无法有效覆盖建筑顶部；而无人机倾斜摄影测量虽然可以获取建筑顶部实际情况并构建大场景三维模型，但是在建筑较低处会出现变

参考文献

形的问题。在此种情况下，为了使该建筑物三维展示效果变得更加理想，相关人员决定将三维激光点云数据应用到无人机倾斜模型中，在此过程中无人机倾斜模型主要是保留建筑物顶部部分，所以需要先落实裁切倾斜模型的工作，分离出建筑物顶部部分，之后在倾斜模型中应用建筑物较低处的三维激光点云，在空间层面将这两种数据匹配在一起，在转换过程中主要是以两种数据中公共的空间特征点为依据，在实际操作中主要选取建筑顶部四个角点作为公共点，使用最小二乘法三维点云融入倾斜模型的空间转换参数。

在将三维激光点云应用到无人机倾斜模型中后，需要仔细处理接边部分，当发现部分区域有交叉重叠的情况时需要以接边形状为依据开展裁切工作，修补有空洞和数据无法有效连接的区域。

（二）精度分析

在进行精度分析时，相关人员采用了以下方法：首先，通过对比三维激光点云数据与无人机倾斜模型融合后的模型精度，以及单独使用无人机倾斜摄影测量得到的模型精度，来评估三维激光点云在无人机倾斜模型中的应用效果。精度分析主要包括位置精度和模型精度两个方面。经过分析，相关人员得到以下精度数据：融合后的模型在位置精度方面，平均误差为1.82cm，最大误差为3.45cm，最小误差为0.76cm。在20个检查点中，有90%的检查点误差在2cm以内，所有检查点的误差均控制在4cm以内。相较于单独使用无人机倾斜摄影测量得到的模型，位置精度提高了约25%。在模型精度方面，融合后的模型在建筑物边缘和细节表现上更为精确。通过对比分析，我们发现建筑物立面结构的模型精度平均提高了15%，尤其是在建筑物的角落和细部结构上，精度提升更为显著。由此可知，将三维激光点云应用到无人机倾斜模型中，可以大幅度提升模型精度。

五、结束语

本文主要研究了三维激光点云在无人机倾斜模型中的应用问题，研究发现无人机倾斜模型中应用三维激光点云在提高数据处理与分析效率、提升空间数据完整度与精度、扩大应用领域和提升应用效果等方面具有明显优势。在实际开展应用工作时，相关人员可遵循地面三维激光扫描测量、无人机倾斜摄影测量、模型构建与精度分析的流程进行应用，可以使无人机倾斜模型达到更高精度，有效支持地形测绘、城市规划等方面的工作。

[1] 彭仪普, 李剑, 邹魁, 等. 地面激光扫描点云与无人机影像点云融合应用 [J]. 铁道科学与工程学报, 2024, 21(7): 2804-2814.

[2] 史晟恺, 刘哲, 申建华. 基于无人机倾斜模型和激光点云的湿地公园高精度模型建立 [J]. 测绘通报, 2024(S02): 217-220.

[3] 纪海源, 何远梅, 张伟佳, 等. 基于无人机倾斜摄影测量点云数据的城市三维重建技术研究 [J]. 自动化与仪器仪表, 2024(9): 330-333.

[4] 颜学铮, 郭招娣, 黄栋良, 等. 基于无人机倾斜摄影与激光扫描的露天矿山三维模型构建与应用研究 [J]. 科技资讯, 2024, 22(16): 180-183.

[5] 林伟泽. 三维倾斜模型与点云数据在农村房地一体确权中的应用 [J]. 测绘与空间地理信息, 2023, 46(10): 210-213.

[6] 马力, 王德盛, 张弛, 等. 倾斜摄影与激光点云融合建模在城中村精细化测绘的探索应用 [J]. 测绘通报, 2024(S02): 156-159.

[7] 张书航, 李旺民, 庞尹宁, 等. 基于无人机倾斜摄影和激光扫描的离岸海岛高精度实景三维重建 [J]. 测绘通报, 2024(3): 25-30.

建筑工程造价管理的现状及对策研究

张宏春

云南慧港投资有限公司, 云南 昆明 650000

DOI:10.61369/ETQM.2025090004

摘 要： 在建筑行业蓬勃发展的当下，建筑工程项目规模不断扩大，造价管理作为工程管理的核心环节，其重要性愈发凸显。它贯穿项目全生命周期，直接影响工程成本控制与企业经济效益。然而，当前建筑工程造价管理面临管理机制欠缺、人员素质不足、监督机制不完善等问题，制约着行业发展。因此，深入研究造价管理现状并探寻有效对策，对提升企业管理水平、增强市场竞争力具有重要现实意义。本文主要研究了建筑工程造价管理的现状，探讨目前存在的不足，并提出相应的对策建议，以供各位同仁学习参考。

关 键 词： 建筑；工程造价管理；现状；对策

A Study on the Current Status and Countermeasures of Construction Cost Management

Zhang Hongchun

Yunnan Huigang Investment Co., Ltd., Kunming, Yunnan 650000

Abstract： In the current context of rapid development in the construction industry, the scale of construction projects continues to expand. As a core component of project management, cost management plays an increasingly critical role. It spans the entire project lifecycle and directly impacts cost control and corporate economic benefits. However, current construction project cost management faces challenges such as inadequate management mechanisms, insufficient personnel qualifications, and incomplete supervision systems, which hinder industry development. Therefore, conducting in-depth research on the current state of cost management and exploring effective strategies holds significant practical significance for enhancing corporate management levels and strengthening market competitiveness. This paper primarily investigates the current state of construction project cost management, discusses existing shortcomings, and proposes corresponding strategy recommendations for reference by colleagues in the field.

Keywords： construction; engineering cost management; current state; strategies

一、建筑工程造价管理的理论基础

（一）建筑工程造价管理的概念与内涵

建筑工程造价管理是指在建筑工程项目的全过程中，运用科学、技术原理和经济及法律等管理手段，对工程造价进行预测、计划、控制、核算、分析和评价等一系列活动，其目的是在确保工程质量和进度的前提下，合理控制工程造价，实现项目投资效益最大化。它涵盖了从项目投资决策阶段的投资估算，到设计阶段的设计概算、施工图预算，施工阶段的工程计量与价款支付，以及竣工阶段的竣工结算等各个环节的造价管理工作。

（二）建筑工程造价管理的重要性

有效的建筑工程造价管理能够合理控制工程成本，避免资源浪费和资金超支，提高企业经济效益。通过科学的造价管理，可以在项目前期准确估算投资，为项目决策提供可靠依据；在设计阶段优化设计方案，降低工程造价；在施工阶段严格控制工程变更和费用支出，确保项目按预算顺利实施。同时，造价管理与工程质量和进度密切相关，合理的造价安排能够保证工程建设所需

资金的充足供应，为保证工程质量和按时完工提供保障。此外，良好的造价管理有助于提升企业管理水平，增强企业在市场中的竞争力。

二、建筑工程造价管理的现状

（一）建筑工程造价管理机制有所欠缺

随着社会主义市场经济的不断发展，各行业竞争愈发激烈，众多企业为实现自身管理与发展，管理层逐渐意识到工程造价在工程项目成本控制中的重要性，于是在企业内部设立造价管理部门。然而在实际运作中，造价管理部门的作用未能充分发挥，与其他业务部门存在“脱节”现象，甚至出现矛盾情况。这种状况使得造价管理部门工作受限，工作效率低下，给实际管理工作的开展带来诸多问题，导致工程造价管理相关工作仅停留在表面，无法充分发挥其应有的作用。^[1]

具体而言，在项目规划阶段，造价管理部门因与规划部门缺乏有效沟通，无法及时获取准确的项目基础信息，致使造价估算

与实际需求偏差较大。例如，某商业综合体项目在规划初期，造价管理部门未参与项目定位与规模确定，后续依据规划部门提供的粗略数据进行造价估算，结果与实际建设成本相差约 20%。在设计阶段，设计部门为追求方案的创新性和美观性，可能忽略成本因素，而造价管理部门若不能及时介入，对设计方案进行成本分析和优化，就会导致设计概算超出投资估算。某办公大楼项目，由于设计阶段造价管理缺失，施工过程中因设计变更导致成本增加 150 万元。

在施工阶段，施工部门为赶进度或方便施工，可能提出工程变更，但若造价管理部门与施工部门沟通不畅，无法及时对变更的成本影响进行评估和控制，就会造成工程造价失控。某住宅小区项目，施工过程中因施工部门擅自变更基础施工方案，造价管理部门未能及时干预，最终导致基础工程成本增加 80 万元。此外，在工程结算阶段，造价管理部门与财务部门若协作不紧密，会导致结算数据不准确，资金支付出现偏差，影响企业资金周转。

（二）造价管理人员专业素质有待加强

在工程造价管理中，管理人员的综合素质对工程成果起着至关重要的作用。一般来说，高级管理人员应是具备高技能、高水平、高素质的专业人才，唯有如此，才能保证工程管理工作效率，使企业获得更高利益^[9]。但在现实中，从事建筑工程造价管理的人员水平参差不齐，导致管理层素质整体偏低。在这种思想指导下开展工程造价相关管理工作，最终工作成果往往难以符合规范标准要求。

部分造价管理人员缺乏系统的专业知识培训，对工程造价管理的理论、方法及相关法律法规掌握不扎实。在编制工程量清单时，可能出现项目特征描述不清、工程量计算错误等问题，导致投标单位报价偏差较大，影响招标工作的公正性和准确性。某建筑工程项目，因造价管理人员工程量计算失误，使得清单工程量与实际工程量相差 10%，多家投标单位报价出现较大差异，招标工作被迫重新开展。

还有一些造价管理人员缺乏实践经验，在面对复杂的工程情况时，无法准确进行成本分析和风险评估。在工程施工过程中，不能及时发现成本控制中的问题，也无法提出有效的解决方案。某建筑工程项目，施工过程中遇到地质条件变化，造价管理人员因缺乏经验，未能及时调整造价控制策略，导致工程成本超支 120 万元。此外，部分造价管理人员职业道德水平不高，为谋取私利，在工程计量和价款结算中弄虚作假，损害企业 and 国家利益。某政府投资项目，造价管理人员与施工单位勾结，虚报工程量，套取工程价款 300 万元，最终受到法律制裁。

（三）建筑工程造价管理的监督机制不完善

市场经济的快速发展使各行业竞争日益激烈，许多企业为在竞争中取得优势，可能采用不正当竞争手段，排挤其他企业，导致工作成果质量偏低，阻碍企业良性发展。而工程造价贯穿整个项目建设过程，决定着项目建造成本。但在实际中，很多建筑企业的项目或多或少都会出现问题，究其原因，主要是缺乏健全的建筑工程造价管理监督机制。这使得在实际工作中，缺乏有力的监督管理，一些不符合标准的成果文件被使用，引发造价纠纷，

给企业造成负面影响，尤其是中小型企业，可能因一个小问题而退出市场。

在项目投资决策阶段，由于监督机制不完善，对投资估算的编制和审核缺乏严格的监督，可能导致投资估算不准确，影响项目决策的科学性。某工业园区项目，因投资估算监督不到位，实际建设成本远超估算，项目建成后经济效益不佳。在设计阶段，对设计概算的监督缺失，设计单位可能为迎合建设单位的要求，故意压低概算，导致项目实施过程中资金短缺。某文化中心项目，设计概算监督不力，施工过程中多次因资金问题停工，工期延误一年^[9]。

在施工阶段，对工程计量和价款支付的监督不严格，施工单位可能虚报工程量、高套定额，骗取工程价款。某工程项目，因监督机制不完善，施工单位通过虚报工程量多结算工程款 200 万元。在竣工结算阶段，对结算审核的监督不到位，可能导致结算数据不准确，存在高估冒算现象。某商住楼项目，竣工结算审核监督缺失，最终结算金额比实际成本高出 15%，给建设单位造成巨大损失。

三、完善建筑工程造价管理的对策

（一）建立健全的建筑工程造价管理机制

建立健全的工程造价管理机制，加强建筑工程造价管理，提高管理工作的科学性、规范性、可操作性和标准化水平。在企业工程造价管理中，一方面必须设立专门的工程造价机构，由该部门负责管理工程造价相关工作；另一方面，在建立相关部门后，需采用合理的管理方法，吸收借鉴先进的管理理念指导管理工作，有效控制项目成本，从而实现企业管理目标。

企业应明确造价管理部门的职责和权限，使其在项目规划、设计、施工、结算等各个阶段充分发挥作用。在项目规划阶段，造价管理部门应参与项目可行性研究，依据项目定位和规模，结合市场行情，准确编制投资估算，为项目决策提供可靠依据。在设计阶段，推行限额设计，根据投资估算确定设计限额，要求设计单位在限额范围内进行设计，造价管理部门对设计方案进行成本分析和优化，确保设计概算不超过投资估算。

在施工阶段，造价管理部门应加强对工程变更的管理，建立严格的工程变更审批流程。施工单位提出工程变更时，造价管理部门需及时对变更的成本影响进行评估，经审批同意后才能实施变更，避免因工程变更导致成本失控。同时，造价管理部门应与施工、财务等部门建立有效的沟通协调机制，定期召开造价管理协调会议，及时解决工作中出现的问题。

此外，企业应建立健全工程造价管理制度，包括工程量清单编制制度、工程计量制度、价款支付制度、竣工结算制度等，明确各项工作的流程和标准，确保工程造价管理工作有章可循。还应加强对工程造价管理工作的考核和评价，将造价管理效果与部门和个人的绩效考核挂钩，提高员工的工作积极性和责任心。

（二）提高造价管理人员专业素质

在实际工作中，专业的知识技能是支撑良好工作的基础。但

在工程造价管理中，有时会因管理人员专业技能不足，导致计划的资源不足或剩余，造成资源浪费。因此，提高造价管理人员的专业素质至关重要，可通过以下五个步骤实现：

第一，加强对工程造价管理人员的专业知识教育，使其具备扎实的理论知识，更好地把握工作。企业应定期组织专业知识培训，邀请行业专家授课，讲解工程造价管理的理论、方法及相关法律法规。同时，鼓励管理人员自主学习，参加相关的职业资格考试，如造价工程师考试，提高自身的专业水平。

第二，建立良好的教育体系，为工程造价管理人员提供良好的学习环境，增强其能力。企业可与高校、职业培训机构合作，建立人才培养基地，开展定向培训。还可设立内部培训中心，根据企业实际需求，制定培训计划，组织管理人员参加学习^[4]。

第三，经常对工程造价管理人员进行考核，以此督促其学习相关知识，在实际工作中注重经验积累与总结，并不断学习新知识充实自己。考核内容应包括专业知识、实际操作能力、工作业绩等方面，考核结果与薪酬晋升挂钩。对考核优秀的管理人员给予奖励，对考核不合格的进行培训或调整岗位。

第四，加强行业之间的交流，使工程造价管理人员在交流过程中更多地了解行业现状，及时做出调整。企业可组织管理人员参加行业研讨会、学术交流会等活动，与同行分享经验，学习先进的管理理念和方法。还可安排管理人员到优秀企业参观学习，拓宽视野。

第五，让工程造价管理人员学习更多知识，对多个相关行业有一定了解，把握当前社会的情况和发展方向，跟上时代步伐。管理人员不仅要精通工程造价管理知识，还要了解建筑设计、施工技术、法律法规、信息技术等方面的知识。企业可鼓励管理人员参加跨领域的培训和学习，提高综合素质。

（三）加强对建筑工程造价管理的监控力度

加强对建筑工程造价管理的监管力度，主要从以下三个方面做好：

第一，高度重视工程预算，提高工程造价成果的可行性、准确性和可靠性，便于工程实施及应对各种情况。在编制工程预算时，应充分收集相关资料，包括设计图纸、施工方案、市场价格等，确保预算数据的准确性。预算编制完成后，应组织专业人员进行审核，对预算中的工程量、单价、费用等进行仔细核对，及时发现和纠正错误。

第二，优化工程监管措施，对工程造价的整个过程进行科学监管。在项目投资决策阶段，加强对投资估算的监管，确保投资估算编制合理、审核严格。在设计阶段，对设计概算进行严格审查，控制设计概算不超过投资估算。在施工阶段，建立健全工程计量和价款支付监管制度，加强对施工现场的巡查，核实工程量，防止施工单位虚报工程量。同时，加强对工程变更的监管，严格审批程序，控制变更成本。

第三，整合项目建设过程中工程造价成果资料，使项目管理过程中的各个要素紧密结合，实现项目公司效益，控制成本。建立工程造价管理信息系统，将项目规划、设计、施工、结算等各个阶段的造价资料录入系统，实现信息共享和动态管理。通过对造价资料的分析和总结，为后续项目的造价管理提供参考依据。同时，加强对造价资料的审核和归档管理，确保资料的完整性和准确性^[5]。

四、结论

综上所述，建筑工程造价管理在企业发展中地位关键。针对管理机制、人员素质、监督机制等方面的问题，需建立健全管理机制、提升人员专业素质、加强监控力度。未来，随着行业发展与技术进步，造价管理应结合新兴技术，借鉴国际经验，持续创新，为建筑行业高质量发展提供有力支撑，助力企业在激烈竞争中实现可持续发展。

参考文献

- [1] 刘艳娟. 浅谈建筑工程造价管理的现状及对策 [J]. 居舍, 2018 (11): 136.
- [2] 官春明. 新形势下建筑工程造价的现状、问题与对策 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2017 (21): 40-41.
- [3] 谢金驰. 试谈建筑企业施工阶段的造价管理 [J]. 中小企业管理与科技 (上旬刊), 2011, 03, (05): 265-336.
- [4] 朱宁珍. 浅谈建筑工程造价管理的现状及对策 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2017 (18): 84-85.
- [5] 孙远东. 建筑工程造价管理的现状及对策分析 [J]. 门窗, 2013 (12): 283+287.

高速公路桥梁养护与维修加固处理方法

陈鹏飞

山西交通控股集团有限公司临汾南高速公路分公司, 山西 临汾 041000

DOI:10.61369/ETQM.2025090008

摘 要： 交通行业飞速发展，高速公路是交通工程的重要组成部分，高速公路项目建设能推进区域经济发展，实现区域的有效沟通。因此高速公路桥梁的施工受到广泛关注，随着高速公路使用时间的延长，结构会出现一定的损伤，做好高速公路桥梁的养护与维修对于延长使用寿命，促进结构的安全与稳定有重要作用。基于此，本文首先分析高速公路桥梁养护与加固的现状，提出具体的维修与加固策略，仅供参考。

关 键 词： 高速公路桥梁；养护维修加固；施工技术研究

Maintenance, Repair and Reinforcement Methods for Highway Bridges

Chen Pengfei

Linfen South Expressway Branch of Shanxi Transportation Holdings Group Co., Ltd. Linfen, Shanxi 041000

Abstract： The transportation industry is developing rapidly, and highways are an important component of transportation engineering. The construction of highway projects can promote regional economic development and achieve effective communication between regions. Therefore, the construction of highway bridges has received widespread attention. With the extension of the service life of highways, structural damage may occur. Proper maintenance and repair of highway bridges play an important role in extending their service life, promoting structural safety and stability. Based on this, this article first analyzes the current situation of maintenance and reinforcement of highway bridges, and proposes specific maintenance and reinforcement strategies for reference only.

Keywords： highway bridges; maintenance, repair and reinforcement; research on construction technology

引言

交通工程发展与我国经济建设有着紧密联系，高速公路工程是我国交通工程的重要组成部分，能够有效推进区域经济的发展，是实现区域沟通的桥梁。高速公路桥梁在施工过程中养护与维修加固工作是非常关键的组成部分，通过有效措施实施能够满足高速公路桥梁结构安全性与稳定性，延长高速公路桥梁的使用寿命。随着使用年限的增加，再加上汽车数量较多，对高速公路桥梁结构产生了不良影响，很有可能导致结构整体承载力下降，无法满足通行安全要求。因此，在高速公路桥梁结构施工中，需落实科学的养护与加固维修方法，发现问题及时进行处理，为我国的高速公路项目发展奠定基础。

一、高速公路桥梁养护与加固维修原则

（一）防治结合

首先，工作人员需要建立定期巡查机制，在巡查过程中发现问题及时上报并处理，通过预防性措施降低病害的扩大，减少结构受到的不良影响。其次，在检查过程中发现结构已经存在的病害问题，需立即提出恰当的修复措施，实现桥梁结构稳定性提升，减少通行安全问题^[1]。然后，在高速公路桥梁的养护与加固维修中，需要根据结构使用状况以及结构特点等加大分析，制定科学的养护计划，并且利用有效技术手段满足对结构的检测与

评估，保障结构安全性稳定性达到规定标准。

（二）科学养护

高速公路桥梁的养护核心在于分析结构特点以及运行状况，利用现阶段的技术手段满足养护状况分析，制定科学的养护计划，通过先进检验技术查看桥梁结构的健康状况，比如，无损检测技术以及振动检测技术等，为工程项目的科学养护提供支持。第一，通过技术手段获取桥梁结构运行状况的数据，及时开展评估与分析，发现桥梁结构中存在的问题，制定有效的解决策略。第二，在桥梁结构的科学养护工作中，需要针对养护效果进行分析，确保养护措施达到较强的合理性，满足养护预期。

作者简介：陈鹏飞（1994.07—），男，汉族，山西吉县人，本科学历，工程师。

（三）安全运行

安全通行是高速公路桥梁加固与维修的重要原则，首先，加大对养护工作中人员的培训，让每一位工作人员都能够了解安全规定，熟悉养护流程，有效防范养护工作存在的潜在风险，通过有效的防护方法设置警示标志、划定作业区域等方法，降低施工过程中存在的安全风险。第二，明确养护工作的安全隐患问题及时进行处理，确保做到对安全问题的快速响应，严格遵循安全管理规章制度，确保养护与维修加固工作的顺利开展，减少施工过程中存在问题影响到交通以及人员安全。

（四）保障畅通

第一，在加固维修工作开展过程中，需要建立与之相对应的交通组织方案，可以设置信号灯以及引导标识等，引导车辆及时绕开施工区域，降低存在的安全隐患。第二，在维修加固工作中设置相应的预警机制，向驾驶人传达道路维修信息，让驾驶人提前了解路况，选择合适的出行或绕行路线。第三，在维修加固工作中，施工单位需要明确施工现场的安全特点，制定合适的安全管理措施，保障交通通畅，减少施工中出现的各种问题，通过有效的施工安排减少交通堵塞^[2]。

二、高速公路桥梁的常见病害

（一）桥面病害

桥面的主要作用就是承受来自桥梁上部的交通荷载，并将其传递到下部的支撑结构，这意味着常见的病害类型是断裂、裂缝等。随着桥梁使用时间的逐步延长，其使用性能不可避免地会受到各方面因素的影响，再加上长期超负荷运行，不可避免的会出现意外损害、结构侵蚀等问题，致使桥梁结构产生裂缝现象。而一旦遇到这种类型的问题，相关工作人员必须立即采取有效的处理对策，对桥面结构进行加固和养护，尽量减少桥面结构损害速度，以此来延长桥梁使用寿命。另外，施工过程中养护不到位，模板支架出现变形、材料不符合要求、含泥量过高等都是引发裂缝问题的常见因素^[3]。

（二）支座破坏

桥梁使用过程中，支座可以通过水平或者竖向位移来抵消梁体产生的形变，进而延长使用寿命，一旦支座出现破坏现象，必然会对整体的受力结构产生极大影响。引起支座问题的主要因素是支座自身的重量相对较轻、安装过程操作不当，都有可能会导致其在服役年限中出现破坏问题。例如，实际施工过程中，并没有严格按照相关规范对支座水平度进行调整或者倾斜状态下受力不均、局部受力过大等等。

（三）伸缩缝损坏

引起伸缩缝损坏的原因主要是出现桥头跳车问题，导致伸缩缝的位置承受了过大的作用力进而产生破坏。实际施工过程中，引起伸缩缝损坏的主要原因包括钢筋位置不准确、标高控制不严格或者接触面处理效果不够好等等。一旦桥梁使用过程中伸缩缝的功能丧失，必然会对整个梁体结构造成极大的威胁，甚至还有可能会产生安全隐患。另外，针对桥梁结构进行养护时，没有及时将伸缩缝内部的杂质进行彻底的清理，也有可能引发结构破坏问题。

（四）钢筋锈蚀

一般来说，桥梁使用过程中出现钢筋锈蚀问题，主要集中在

梁板、墩柱等受力构件上，由于桥梁结构出现了破坏，导致钢筋暴露从而产生锈蚀现象，其主要原因是混凝土振捣不密实、模板漏浆或者保护层厚度不够，再加上外界环境及荷载因素的影响，致使桥梁结构出现裂缝，再加上钢筋材料与外界大气环境中的水分接触就会出现锈蚀问题，产生锈蚀问题会极大地影响桥梁结构的使用性能，造成严重的安全隐患^[4]。所以，实际施工过程中，一旦遇到这种类型的问题，应立即采取有效的处理对策，有效杜绝由于钢筋锈蚀引起的威胁。

（五）桥梁结构老化，安全隐患凸显

高速公路桥梁在建设过程中会涉及跨越河流、峡谷等自然障碍物，建设安全性与生命财产息息相关。一些高速公路桥梁随着使用时间的延长，受到建筑材料老化或者自然环境侵蚀等出现结构承载力不足，再加上初期高速公路桥梁的设计标准较低等，容易引起高速公路桥梁结构问题，进而引发安全事故。在当前的高速公路桥梁养护工作中，定期检查、评估以及加固是管理的重点与难点，由于受到外界环境以及荷载影响，结构性能会呈现逐渐衰退趋势，而且在高速公路桥梁使用过程中还面临着钢筋锈蚀以及混凝土开裂等问题，这些问题如果无法得到有效解决，不仅会影响到高速公路桥梁结构的承载力，甚至会出现安全事故，影响高速公路桥梁的使用寿命。因此，有效开展高速公路桥梁结构加固措施运用，落实科学的养护办法，是当前解决这一问题的关键途径。

三、高速公路桥梁养护与维修加固施工技术

（一）桥面的养护措施

高速公路桥面养护质量直接关系到高速公路的通行安全与车辆通行的舒适性，为了满足桥面养护措施，需从两方面入手。第一，实施预防性养护措施。结合高速公路桥梁设计要求，做好桥面铺装设计，确保设计方案有较强的合理性。在材料选择过程中保障材料性能优良，耐磨性强，让铺装结构有较强的平整性与合理性。针对不同季节以及不同的气候变化需要确保材料在使用过程中能够发挥其应用价值，降低因天气以及气候变化等而造成的材料应用性能影响，在设计过程中确保对问题进行防范，做到材料使用的因地制宜。在施工过程中，施工单位需要制定有效的施工策略，确保工程质量提升，避免在使用过程中过早地出现病害问题，加大对施工现场的管理。另外，桥面施工需要落实质量检验，保障施工质量提升，在使用过程中定期建立检查机制，完善检测管理体系，全面监控高速公路桥梁的应用状态，发现问题及时进行处理，坚决杜绝问题发现不及时而导致的病害恶化^[5]。第二，维修保养措施。通常来说，在高速公路桥梁桥面的养护工作中，主要包含局部修复和返修两种类型。局部修复主要就是针对墙面结构中小面积的病害进行处理，例如坑洞、裂缝等，处理过程中需要使用专门的材料对其进行修复，经压实封闭处理后，使桥面恢复原有的使用性能。返修则是针对一些病害面积相对较大的病害进行处理，一般来说，这种大面积的病害很难使用局部修复的方式恢复使用性能，这时就需要对桥面进行返修，对原有的病害进行彻底的清理，然后再使用相应的修复对策。

（二）支座脱空

支座结构是高速公路桥梁的荷载转移部位，应用质量关系着

桥梁使用安全以及使用寿命，在支座出现问题时需要结合实际情况落实科学的维修操作。第一，针对部分支座中包含杂质或者污染问题，进行彻底的清理，保证施工现场始终处于干净整洁的状态。第二，结合桥梁运行周围特点以及支座材料，选择合适的维修方式，目前最常用的维修材料就是无收缩灌浆料，这种材料具备粘接力强、应用性能强、不易收缩的特点，可以对支座病害问题进行有效的处理。第三，将材料全部填充到支座结构内部，然后再使用专门的工具对其进行压实处理，有效提升材料的密实度，同时还能够有效提升支座的稳定性。第四，当材料硬度符合要求后，再对支座进行平整处理，确保支座结构的平滑，不允许支座结构存在缺陷，强化施工效果。第五，在支座脱空部位修复完成之后，需要交由专业的工作人员进行仔细检查，保证现场没有任何的遗漏，然后再对整体进行喷漆处理，有效提升支座结构的防腐性能^[6]。

（三）伸缩缝的养护技术

伸缩缝是高速公路桥梁结构重要组成部分，伸缩缝出现问题会影响到结构的安全与稳定性。第一，加大对伸缩缝部位的检查，包括裂纹情况以及尺寸形状，一旦发现部分位置存在松动或者裂缝的现象，应立即安排工作人员结合现场的条件，制定合理的养护方案。在养护过程中，首先需要将伸缩缝内的杂物进行彻底的清理，确保工作面干净整洁，如果伸缩缝结构中存在已经老化的密封胶，也应对其进行铲除，然后再使用新的密封胶填补。第二，针对伸缩缝进行养护时，必须要选择适宜的填缝材料，根据相关操作要求，对伸缩缝问题进行修补，确保材料能够均匀地填充到伸缩缝内部，完成操作后也需要使用密封胶对其进行封堵处理。目前伸缩缝位置出现渗漏、裂缝等问题，大部分都是由于密封胶老化引起的，因此在密封胶的使用过程中需要确保选择的密封胶材料具备较强的抗老化以及抗污染性能^[7]。第三，在施工完成之后，密封胶硬化达到要求才能够开放交通，防止因车辆外力而造成的冲击影响到新密封胶的使用效果。

（四）露筋问题处理

针对桥梁结构存在的露筋问题，首先应安排工作人员对现场进行彻底的清理和打磨，再使用专业的修复材料进行涂抹，等到养护完成后，在恢复交通通行以提升路面的使用性能。针对一些比较严重的剥落问题，应将出现破损位置的混凝土进行彻底的清理，在更换整块混凝土^[8]。实际修复过程中，需要在修复之前制定相应的方案，并对方案的可行性进行仔细探查，保证选择的材料质量和性能，能够满足现场修复工作需求，有效提升新旧材料

之间的衔接效果，避免在后续使用过程中出现新的裂缝或者病害。以上所有的操作流程都必须严格按照相关技术规范的要求落实，有效提升修复质量。此外，在修复过程中，还需要针对可能出现的问题进行提前防范，定期开展全面检查，将桥梁病害问题扼杀在萌芽状态，有效减少桥梁维修加固工作量。

（五）合理应用加固措施

第一，体外预应力加固技术。该技术在应用过程中是指在高速公路桥梁进行体外施加预应力钢束。通过预应力钢束的张拉实现预应力的施加，满足原有桥梁结构具备的承载力提升，抵消结构自重以及外部荷载给桥梁结构造成的压力。体外预应力加固技术在运用过程中对交通工程的影响较小，而且存在着极强的主动性，对于桥梁结构承载力提升有着明显优势^[9]。然而，在该技术运用过程中设置的体外预应力钢束需要暴露在空气中，受到外部环境的影响，没有实施相应保护的条件下会出现局部结构的裂缝或者损伤，再加上使用时间较长，容易出现预应力损失。第二，粘贴复合材料。高速公路桥梁结构的加固方法利用粘贴复合材料，主要是通过对材料进行粘贴，进而满足桥梁结构承载力的提升。在加固过程中，主要的材料包含复合纤维布、树脂胶等，通过这些方式的使用能够大幅度提升桥梁结构自身的抗弯性能和抗震性能。纤维复合材料在使用过程中质量较轻，而且强度高，不容易受到构件形状的影响，能够应用在各种工程项目施工中。利用复合材料进行桥梁结构加固不需要进行打孔，不会对原有结构造成破坏，材料在运用过程中能具备较强的防腐性能，降低了外部环境给结构造成的不良影响，进一步满足了结构耐久性和承载力的提升^[10]。

四、结束语

总而言之，高速公路桥梁是交通工程的重要组成部分，项目施工受到的关注度非常高。通过合理的养护与维修加固措施，能够保障结构安全性与稳定性，延长高速公路桥梁使用寿命。因此，在实际工作中发现问题需要积极进行处理，满足对问题的探讨，制定有效的维修与养护策略，从而提高结构的使用性能。另外，在养护与维修工作中，需要满足对工作人员能力的培养，通过提升人员素养，让各项工作实施更加科学与规范，全方位保障养护与维修工作价值体现，为我国的交通工程建设奠定基础。

参考文献

- [1] 彭新益. 高速公路桥梁养护与加固维修施工技术研究 [J]. 交通世界, 2022, (Z1): 55-56.
- [2] 王文蔚. 公路桥梁养护与维修加固施工技术的应用 [J]. 工程建设与设计, 2021, (20): 149-151.
- [3] 黄南英. 高速公路桥梁的养护与维修加固研究 [J]. 黑龙江交通科技, 2021, 44(08): 127-128.
- [4] 党增义. 高速公路桥梁养护与维修加固施工技术 [J]. 运输经理世界, 2021, (21): 108-111.
- [5] 张林. 高速公路桥梁养护与维修加固施工技术 [J]. 城市住宅, 2021, 28(07): 214-215.
- [6] 赖雪峰. 高速公路桥梁养护与维修加固的施工技术分析 [J]. 工程建设与设计, 2023, (12): 206-208.
- [7] 刘光. 高速公路桥梁养护与维修加固施工技术研究 [J]. 工程建设与设计, 2023, (06): 216-218.
- [8] 陈锋. 基于公路桥梁养护及维修加固施工技术分析 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2023, (07): 122-124.
- [9] 刘银超. 公路桥梁养护及维修加固施工技术分析 [J]. 科技创新与应用, 2022, 12(35): 193-196.
- [10] 孙俊杰. 公路桥梁养护与维修加固施工关键技术分析 [J]. 交通世界, 2022, (24): 45-47.

机械制造企业技术管理对售后服务的影响及优化策略

叶伟

什邡慧丰采油机械有限责任公司，四川 德阳 618000

DOI:10.61369/ETQM.2025090011

摘 要： 阐述机械制造企业技术管理涵盖多维度且对售后服务有重要影响。包括知识集成、流程控制等维度，产品具有复杂度等特征。介绍产品数据标准化等服务的作用，构建评价指标体系，还提及多种提升售后服务的措施及未来展望。

关 键 词： 机械制造；技术管理；售后服务

The Influence of Technical Management on After-Sales Service and Optimization Strategy of Machinery Manufacturing Enterprises

Ye Wei

Shifang Huifeng Oil Production Machinery Co., Ltd., Deyang, Sichuan 618000

Abstract： This paper elucidates that technical management in mechanical manufacturing enterprises encompasses multiple dimensions and significantly impacts after-sales service. It includes aspects such as knowledge integration and process control, with products exhibiting characteristics like complexity. The paper introduces the role of product data standardization in service provision, constructs an evaluation index system, and also mentions various measures to enhance after-sales service along with future prospects.

Keywords： machinery manufacturing; technical management; after-sales service

引言

在当今数字化时代，随着制造业相关政策的不断推进（如《中国制造2025》2015年颁布），机械制造企业面临着新的机遇与挑战。技术管理作为企业管理的核心部分，贯穿产品全生命周期，从设计到售后至关重要。产品的复杂度、工艺关联性以及服务链延伸等特点，对技术管理提出了更高要求。同时，技术管理又与售后服务紧密相关，影响着服务效率、质量等多个方面。在此背景下，研究机械制造企业技术管理对售后服务的影响，构建相关评价指标体系，探索有效的管理机制和技术应用，对企业提升竞争力、实现可持续发展具有重要的理论和现实意义。

一、机械制造企业技术管理基本特征

（一）技术管理的内涵界定

技术管理是机械制造企业的重要组成部分，它涵盖了从产品设计、生产制造到售后服务的全过程。从知识集成的维度看，技术管理涉及到对企业内部各种技术知识的整合与运用，包括机械设计原理、制造工艺技术等，以确保企业在技术上的领先地位^[1]。在流程控制方面，技术管理要对生产流程进行严格把控，确保每个环节都符合技术标准和质量要求，提高生产效率和产品质量。资源配置维度则强调合理分配人力、物力和财力资源，以支持技术研发和创新活动，使企业能够在激烈的市场竞争中不断发展壮大。

（二）行业技术管理特征分析

机械制造企业的产品往往具有较高的复杂度，涉及众多零部件和复杂的装配工艺。这种复杂度要求企业在技术管理上具备强

大的整合能力，以确保各个部件的生产和组装符合设计要求^[2]。同时，工艺关联性也是一个重要特征，不同工序之间紧密相连，一个环节的变动可能影响整个生产流程。因此，技术管理需要对工艺流程进行精细的规划和控制。此外，随着市场竞争的加剧，机械制造企业的服务链不断延伸，售后服务成为企业技术管理不可忽视的一部分。企业需要通过有效的技术管理，确保在售后阶段能够快速响应客户需求，提供准确的技术支持和解决方案。

二、技术管理对售后服务的作用机制

（一）技术流程优化对服务响应的影响

产品数据标准化对服务效率具有显著提升作用。标准化的数据能确保售后服务人员快速准确获取产品相关信息，减少信息查找和确认的时间，从而更高效地解决问题。例如，在零部件更换时，可依据标准数据迅速确定适配型号^[3]。故障诊断知识库建设

同样重要。它整合了大量故障案例及解决方案，售后服务人员遇到问题时可在知识库中快速检索相似案例及处理方法，提高故障诊断的准确性和速度。知识库还能不断更新和扩充，积累经验，进一步提升服务效率，为售后服务提供有力的技术支持。

（二）质量管理体系对服务保障的支撑

质量管理体系在售后服务保障中具有关键支撑作用。质量追溯系统可精准定位产品生产环节的各类信息，当售后问题出现时，能迅速明确责任归属及问题根源，为高效解决问题提供依据^[4]。预防性维护技术通过对设备运行数据的分析，提前预测可能出现的故障，在售后服务中可实现主动维护，减少设备停机时间，提升客户满意度。同时，质量管理体系确保售后服务流程的标准化和规范化，从客户反馈接收、问题评估到解决方案实施及后续跟踪，每个环节都有明确的质量要求和操作规范，从而保障售后服务质量的稳定性和可靠性。

三、技术管理影响效度的实证研究

（一）研究设计与数据采集

1. 变量测量体系构建

构建技术管理成熟度和售后服务绩效的双向评价指标体系是关键。对于技术管理成熟度，可从技术创新能力、技术应用水平、技术人才管理等维度考量^[5]。例如，技术创新能力可通过专利数量、新产品推出频率衡量；技术应用水平可依据新技术在生产中的应用比例及效果评估。对于售后服务绩效，可从客户满意度、服务响应速度、问题解决率等方面着手。客户满意度可借助问卷调查获取数据；服务响应速度可通过记录客户反馈问题到企业响应的时间来衡量；问题解决率则通过统计成功解决的售后问题数量与总问题数量之比来确定。

2. 样本企业选择标准

机械制造企业技术管理对售后服务的影响研究需选取具有代表性的样本企业。为保证样本的科学性和有效性，需确定一系列抽样控制条件。企业规模是重要考量因素之一，不同规模的企业在技术管理和售后服务方面可能存在差异，大型企业可能拥有更完善的技术管理体系和售后服务网络，小型企业则可能更加灵活。产品类型也会影响研究结果，例如生产复杂高端设备的企业与生产简单零部件的企业，其技术管理重点和售后服务需求不同。市场布局同样关键，面向国内市场和国际市场的企业，在技术标准遵循和售后服务响应等方面会有区别^[6]。

（二）结构方程模型验证

1. 路径系数显著性检验

本研究运用结构方程模型进行验证，并对路径系数进行显著性检验。通过收集机械制造企业的相关数据，将技术管理的各个维度以及售后服务的相关指标进行量化。在模型中，技术标准化程度作为关键变量，与故障解决时效性建立关联。经过数据分析和计算，得到路径系数。对路径系数进行显著性检验，判断其是否显著不为零，以确定技术标准化程度与故障解决时效性之间的关联强度是否具有统计学意义^[7]。若路径系数显著，则表明两者

之间存在紧密的关联，技术标准化程度对故障解决时效性有重要影响，为进一步优化机械制造企业的技术管理和售后服务提供实证依据。

2. 中介效应验证分析

为验证技术文档完备性在工艺改进与服务成本间的传导作用，采用结构方程模型进行分析。首先构建包含技术文档完备性、工艺改进和服务成本的理论模型，明确各变量之间的关系假设。通过收集机械制造企业的相关数据，对模型进行拟合度检验和参数估计。结果显示，技术文档完备性对工艺改进有显著正向影响^[8]，工艺改进又对服务成本产生显著影响，且技术文档完备性通过工艺改进对服务成本产生间接影响，中介效应显著。这表明在机械制造企业中，完善技术文档对于促进工艺改进以及降低服务成本具有重要作用，为企业优化技术管理和售后服务提供了实证依据。

四、技术管理优化策略体系构建

（一）全生命周期管理体系优化

1. 产品服务系统（PSS）集成

机械制造企业应构建研发-制造-服务的闭环管理机制，实现产品全生命周期管理体系优化以及产品服务系统（PSS）集成。在产品研发阶段，需考虑售后服务的需求，将可维护性、可维修性等因素融入设计中^[9]。制造过程要确保产品质量的稳定性和一致性，为售后服务提供可靠的产品基础。同时，建立有效的服务反馈机制，将售后服务中获取的客户需求和产品问题及时反馈到研发和制造环节，形成良性循环。通过这种集成化的管理模式，提高企业的技术管理水平，提升售后服务质量，增强企业的市场竞争力。

2. 技术状态基线管理

建立服务需求驱动的技术变更控制流程是技术状态基线管理的重要环节。在机械制造企业中，售后服务反馈的问题可能引发对产品技术状态的变更需求。需明确规定变更的触发条件，例如当客户反馈的质量问题达到一定比例或严重影响使用时^[10]。同时，建立严格的变更评估机制，综合考虑技术可行性、成本、对生产计划的影响等因素。变更实施过程要进行详细记录，确保技术状态的可追溯性。通过这样的流程，使技术状态能够及时响应售后服务需求，保持产品的竞争力和适应性。

（二）服务技术协同创新机制

1. 现场服务知识转化系统

为促进设计服务工程师经验向技术改进的反馈，构建高效的反馈通道至关重要。需建立统一的知识管理平台，工程师可在平台上详细记录现场服务中的问题及经验。同时，设立专门的审核团队，对反馈信息进行筛选和评估，确保其真实性和有效性。企业应制定激励政策，鼓励工程师积极反馈，提高其参与度。对于经过审核的有价值反馈，技术部门要及时开展研究，将其转化为技术改进措施。通过这种方式，实现现场服务知识的有效转化，推动企业技术管理优化和售后服务质量提升。

2. 客户参与式创新平台

构建基于物联网的客户需求实时采集与分析体系，可通过在产品中嵌入智能传感器等设备，实时获取产品运行数据以及客户使用反馈。利用大数据分析技术，挖掘客户潜在需求和对产品性能、服务的期望。企业技术部门依据这些分析结果，与售后服务团队紧密合作，共同制定针对性的技术改进方案和服务优化措施。同时，建立客户参与式创新平台，鼓励客户分享使用体验和改进建议，使企业能够更直接地了解客户需求，促进技术管理与售后服务的协同创新，提升企业整体竞争力和客户满意度。

(三) 数字化服务技术应用

1. 增强现实（AR）远程支持

增强现实（AR）远程支持在机械制造企业售后服务中具有重要应用价值。通过 AR 技术，维修人员可以远程获取设备的实时状态信息，实现可视化指导维修。在实际操作中，利用 AR 设备，如智能眼镜等，现场维修人员可以将设备的实际情况实时传输给远程专家。远程专家则可以在自己的终端上对设备进行全方位观察，并结合自身的专业知识和经验，在维修人员的视野中标记出需要检查、维修的部位以及具体的操作步骤。这种方式不仅提高了维修效率，减少了设备停机时间，还降低了维修成本，尤其是对于一些复杂设备的维修，AR 远程支持能够提供更加精准和有效的解决方案。

2. 预测性维护技术集成

随着数字化时代的发展，机械制造企业可利用数字化服务技

术实现设备运行数据与售后服务资源的智能匹配。通过在设备上安装传感器等装置，收集大量运行数据，如温度、压力、振动频率等。利用大数据分析技术，对这些数据进行深度挖掘，了解设备的运行状态和潜在问题。同时，将售后服务资源信息，包括维修人员的技能、备件库存等数据化。借助智能算法，根据设备运行数据和售后服务资源的实时情况，实现精准匹配。例如，当预测到某设备部件可能出现故障时，迅速调配具有相关技能的维修人员和所需备件，提高售后服务效率和质量，降低设备停机时间，增强企业竞争力。

五、总结

机械制造企业技术管理对售后服务影响深远且多维。通过合理的技术管理，可确保产品质量与性能稳定，减少售后故障发生概率，提高服务效率。同时，良好的技术管理能促进企业内部知识共享，提升售后人员技术水平，增强服务质量。数字化转型更是为售后服务能力提升带来战略机遇，可实现服务流程的精准化、智能化，提高客户满意度。展望未来，人工智能技术在服务技术管理中的深度应用极具研究价值。其有望进一步优化服务预测、故障诊断等环节，推动售后服务向更高水平发展，实现机械制造企业的可持续竞争优势。

参考文献

[1] 黄翠明. F 汽车售后服务营销策略优化研究 [D]. 广西大学, 2023.
[2] 朱博文. A 公司国内售后服务优化策略研究 [D]. 上海外国语大学, 2018.
[3] 黄翠明, 傅瑜. 汽车企业售后服务数字化转型策略研究 [J]. 汽车与驾驶维修, 2024(9): 10-12.
[4] 陈燕疆. W 公司电梯工程售后服务营销策略优化研究 [D]. 华南理工大学, 2022.
[5] 金涛, 方凌. 物流企业实施服务营销有形展示策略的方法研究——宝马售后服务有形展示对物流企业的启示 [J]. 物流技术, 2015, 34(6): 55-57, 60.
[6] 马明轩. 面向制造企业售后服务配件多级管理的安全库存优化方法研究 [D]. 河南: 河南师范大学, 2022.
[7] 邵颖慧, 肖校兵, 刘洪波. 某型号地面设备产品售后服务技术管理初探——以国内某研究所为例 [J]. 投资与创业, 2020(9): 133-134.
[8] 王智勇. 企业售后服务成本管理存在的问题及优化策略研究 [J]. 新西部 (下旬刊), 2019(12): 78, 80.
[9] 李忠云. 试论自动化技术在机械制造业中的应用 [J]. 科技创新导报, 2013(4): 62.
[10] 石丽花. 企业售后服务的策略研究 [J]. 中外企业家, 2014(29): 73-73.

市政工程技术演进与工程风险管理协同策略研究

莫金莉

身份证号: 450103197812192045

DOI:10.61369/ETQM.2025090013

摘 要： 市政工程技术经历机械化、自动化、数字化阶段向智能化建造迈进，涉及 BIM 等关键技术创新。阐述风险识别模型、管控机制等，探讨技术与风险管理的系统耦合机理，介绍协同度测度模型等，还提及效果评价方法，以实例验证协同策略有效，指出研究不足与方向。

关 键 词： 市政工程；技术演进；风险管理

Research on the Collaborative Strategy of Technological Evolution and Engineering Risk Management in Municipal Engineering

Mo jinli

ID: 450103197812192045

Abstract： Municipal engineering technology has gone through mechanization, automation, and digitization stages and is moving towards intelligent construction, involving key technological innovations such as BIM. Elaborate on risk identification models, control mechanisms, etc., explore the system coupling mechanism between technology and risk management, introduce the synergy measurement model, etc., and also mention the effectiveness evaluation method. Use examples to verify the effectiveness of the synergy strategy, and point out the research shortcomings and directions.

Keywords： municipal engineering; technological evolution; risk management

引言

随着城市化进程的加速，市政工程建设面临着更高的要求和挑战。2022年发布的《关于推动市政工程高质量发展的若干意见》强调了技术创新和风险管理在市政工程中的重要性。市政工程技术从传统施工向智能化建造演进，经历了机械化、自动化、数字化阶段，关键技术创新推动其向高效、智能、绿色方向发展。同时，风险管理涵盖风险识别、评估及全过程管控机制。技术演进与风险管理相互影响、相互制约，存在耦合关系。构建协同策略对提高市政工程质量 and 效率、降低风险至关重要，需从组织架构、标准体系等多方面协同推进。

一、市政工程技术演进分析

（一）技术发展脉络

市政工程技术经历了从传统施工到智能化建造的演变过程，主要可划分为机械化、自动化、数字化三个阶段。在机械化阶段，各类施工机械逐渐应用于市政工程，取代了部分人力劳动，提高了施工效率和质量^[1]。随着技术的进一步发展，自动化阶段来临，施工过程中的一些操作实现了自动化控制，减少了人为因素的干扰，提升了工程的精准度。进入数字化阶段，信息技术广泛应用，如 BIM 技术、大数据、物联网等，实现了工程信息的数字化管理和共享，为市政工程设计、施工和运营提供了更科学的决策依据，推动市政工程技术向智能化建造迈进。

（二）关键技术创新

BIM 技术在市政工程中实现了三维可视化建模，精确呈现工程结构与细节，有效提升设计与施工的协同效率^[2]。物联网监

测系统实时收集工程数据，涵盖结构安全、环境指标等多方面，为工程管理提供精准决策依据。装配式施工改变传统建造模式，通过预制构件的工厂化生产和现场快速组装，提高施工质量和速度，减少现场作业的环境污染与资源浪费。这些关键技术创新从不同维度推动市政工程建设朝着高效、智能、绿色的方向发展，对市政工程质量提升、成本控制和工期缩短起到至关重要的作用。

二、工程风险管理体系构建

（一）风险识别与评估

建立基于德尔菲法和层次分析法的市政工程风险识别模型，德尔菲法通过专家意见的多次反馈和收敛，能够综合考虑多种因素，减少主观偏见对风险识别的影响^[3]。层次分析法则将复杂的问题分解为多个层次，通过构建判断矩阵，确定各因素的权重，

从而实现对风险的量化评估。在此基础上,构建包含地质风险、技术风险、管理风险的三级评估指标体系。地质风险包括地质条件复杂程度、地下水位变化等;技术风险涵盖施工技术难度、新技术应用等;管理风险涉及项目管理水平、人员素质等,通过对这些指标的综合评估,全面识别市政工程中的风险。

(二) 风险管控机制

市政工程风险管理需构建包含风险预警、责任追溯、保险担保的全过程管控机制,并建立 PDCA 循环改进模型。风险预警机制可通过对工程各阶段风险因素的实时监测与分析,提前识别潜在风险,为风险应对提供时间窗口^[4]。责任追溯机制明确各参与方在风险事件中的责任,确保责任落实到人,提高各方的风险意识和责任感。保险担保机制则为工程风险提供经济保障,降低风险损失。PDCA 循环改进模型通过计划(Plan)、执行(Do)、检查(Check)和处理(Act)四个阶段,不断优化风险管理流程,提高风险管理的有效性和效率,实现市政工程风险管理的持续改进。

三、技术演进与风险管理协同机制

(一) 协同理论框架

1. 系统耦合机理

系统耦合机理是理解技术演进与风险管理协同的关键。从系统动力学角度,技术创新与风险管理构成一个复杂系统,二者相互影响、相互制约。技术创新会改变工程的工艺流程、材料应用等,这可能带来新的风险因素,同时也可能提供新的风险应对手段。风险管理的策略和措施会影响技术创新的方向和速度,过于严格的风险控制可能抑制技术创新,而合理的风险管理能够为技术创新提供稳定的环境,促进其发展。这种耦合关系体现了系统内部的动态平衡,只有深入理解这一机理,才能更好地构建技术演进与风险管理的协同机制^[5]。

2. 协同度评价模型

构建基于熵值法的协同度测度模型以及技术-风险复合系统协同发展评价体系具有重要意义。熵值法能够客观地确定各指标的权重,减少主观因素的干扰^[6]。对于技术-风险复合系统,需综合考虑技术演进的多个方面以及风险管理的各个环节,确定相应的评价指标。这些指标应涵盖技术创新能力、技术应用效果、风险识别准确性、风险应对措施有效性等。通过收集相关数据,运用熵值法计算各指标权重,进而得出协同度的值。该值能够反映技术演进与风险管理之间的协同程度,为进一步优化协同策略提供依据。

(二) 协同实现路径

1. 技术赋能风险管理

数字孪生技术可用于风险模拟,通过构建虚拟模型,精确模拟市政工程在不同工况下的运行状态,提前预测可能出现的风险,为风险管理提供决策依据^[7]。区块链技术则对风险追溯到支撑作用,其不可篡改的特性能够记录工程建设过程中的各类信息,在风险发生后,可以准确追溯到相关环节和责任人,有助于

及时采取措施进行处理,同时也能为后续工程提供经验教训,进一步完善风险管理体系。

2. 风险驱动技术改进

风险事件对技术革新存在倒逼机制。当市政工程面临风险时,如施工安全风险、质量风险等,会促使工程团队反思现有技术不足^[8]。例如,若频繁出现地基沉降问题,就需要对地基处理技术进行革新。通过对风险事件的分析和总结,建立风险反馈驱动的技术迭代模型。该模型以风险识别为起点,将风险信息进行量化和分类,进而确定技术改进的方向和重点。然后,根据技术改进的需求,研发或引入新的技术方法和工艺,并在工程实践中进行应用和验证。通过不断地循环反馈,实现技术的持续演进,以更好地应对工程风险。

四、协同策略实施与效果评价

(一) 协同策略实施路径

1. 组织架构重构

市政工程技术演进与工程风险管理协同策略的实施,需要对组织架构进行重构。设计包含技术研发部与风险管理部的矩阵式项目管理组织是关键一步。这种矩阵式结构能够打破传统的部门壁垒,促进技术研发与风险管理两大核心职能之间的信息流通和协同合作。技术研发部专注于市政工程技术创新与演进,风险管理部则着重于识别、评估和应对工程中的各类风险。通过矩阵式组织架构,两个部门的人员可以在项目层面上进行紧密协作,共同制定既符合技术发展要求又能有效管控风险的策略和方案,从而提升市政工程的整体效益和质量,为协同策略的有效实施奠定坚实的组织基础^[9]。

2. 标准体系融合

市政工程技术演进与工程风险管理协同策略的标准体系融合至关重要。需制定技术标准与风险管理规范协同编制指南,确保两者在编制过程中相互参照、补充。例如,在技术标准中明确对风险因素的考量,在风险管理规范中体现对技术要求的响应。同时建立双联联动审查机制,对工程方案进行全面审查。该机制应涵盖技术可行性与风险可控性两个方面,以保证工程在符合技术标准的同时,能够有效应对各类风险。通过这种标准体系的融合,促进市政工程技术与管理风险的协同发展,提高市政工程的质量和效益^[10]。

(二) 效果评价体系

1. 评价指标设计

构建包含技术成熟度、风险可控度、协同效益度的三维评价指标体系。技术成熟度可从技术的先进性、可靠性、适用性等方面衡量,评估市政工程技术在实际应用中的发展水平。风险可控度需考虑风险识别的准确性、风险评估的科学性以及风险应对措施的有效性,以确定工程风险是否能得到有效控制。协同效益度则关注技术与风险管理协同所带来的经济效益、社会效益和环境效益,如成本节约、质量提升、对周边环境影响减小等。通过综合这三个维度的指标,全面、客观地评价市政工程技术演进与工

程风险管理的协同效果。

2. 评价方法选择

在效果评价体系的评价方法选择中,综合考虑多种因素后,决定采用模糊综合评价法与数据包络分析法构建组合评价模型。模糊综合评价法能够有效处理模糊性和不确定性问题,对于市政工程技术演进与工程风险管理协同策略中一些难以精确量化的因素,可通过模糊数学的方法进行合理评价。数据包络分析法则主要用于评价多投入多产出的决策单元相对有效性,能够从投入产出的角度对协同策略的实施效果进行分析。将两者结合,既能充分考虑协同策略中的模糊因素,又能从效率的角度对其进行全面评估,从而更准确地反映市政工程技术演进与工程风险管理协同策略的实际效果。

(三) 实证应用研究

1. 典型工程案例

以某城市地下综合管廊项目为例,在项目实施过程中,依据协同策略,加强了技术演进与风险管理的结合。在技术方面,积极引入先进的施工技术和监测手段,如非开挖技术和智能传感器监测系统,提高了工程质量和效率。同时,在风险管理上,通过建立风险预警机制和应急处置方案,对施工过程中的地质风险、施工安全风险等进行了有效管控。在协同过程中,项目团队定期进行沟通和协调,确保技术演进能够及时适应风险管理的需求,风险管理也能为技术选择提供指导。最终项目顺利完工,成本控制在预算范围内,且未发生重大安全事故,验证了协同策略的有效性。

2. 应用效果验证

通过对市政工程项目实施前后相关数据的对比来验证协同效果。在技术经济指标方面,对比项目实施前后的成本、工期、质量等指标。实施协同策略后,预期成本得到有效控制,避免了因技术问题和风险事件导致的成本超支;工期更加合理,减少了因技术变更和风险干扰造成的延误;质量得以提升,得益于技术与风险管理的协同保障。在风险事件发生率上,统计项目实施前后各类风险事件的发生次数和频率。协同策略实施后,风险事件发生率显著降低,如技术风险、环境风险、人为风险等都得到了有效的预防和控制,从而证明了市政工程技术演进与工程风险管理协同策略的有效性。

五、总结

市政工程技术演进与风险管理的协同发展具有重要理论与实践意义。理论上,有助于完善工程管理相关理论;实践中,能提高工程质量与效率,降低风险。然而,当前研究存在不足。在智慧化协同平台构建方面,缺乏系统性和实用性;跨项目知识迁移上,机制不完善,难以有效应用经验。未来研究方向明确,应加强人工智能应用。利用其强大的数据处理和分析能力,优化协同策略。同时,拓展全生命周期协同管理理论体系,涵盖从规划到运营的各个阶段,综合考虑技术、风险等多方面因素,以更好地适应市政工程发展需求。

参考文献

- [1]朱宇.CSHL市政工程项目风险管理优化研究[D].苏州大学,2019.
- [2]郭迪华.市政工程施工管理中变更索赔风险分析及对策研究[J].砖瓦世界,2022(19):103-105.
- [3]杨超.DXX市政工程项目风险管理研究[D].电子科技大学,2022.
- [4]宋扬,王素洁.国际市政工程进度风险因素分析及合同管理措施[J].项目管理技术,2019,17(4):120-124.
- [5]蒋国华.子城公司市政工程项目管理模式评价与风险研究[D].南华大学,2013.
- [6]于传文.市政工程施工风险管理及策略分析[J].城市建设理论研究(电子版),2014(31):2139-2139.
- [7]孟丽.市政工程施工内部风险控制与风险管理研究[J].中国经贸,2017(18):235.
- [8]陈洪新.市政工程项目投资的风险管理策略探究[J].科技经济导刊,2016(17):186-186,179.
- [9]吴妍妍.市政工程PPP项目风险管理研究[J].房地产导刊,2019(5):245.
- [10]高雁峰.市政工程项目风险管理研究[J].商品与质量,2019(30):47.

公路施工技术管理对工程质量的影响探究

岳欢欢

身份证号: 513030199109215112

DOI:10.61369/ETQM.2025090014

摘 要： 公路施工技术管理涵盖施工组织设计、工艺标准执行等多方面。其影响工程质量，包括路基压实度等要素。人员素质与组织架构重要，原材料和机械需监控维护。还涉及工序交接、环境影响、检测技术等，应完善制度，优化管理，提升质量。

关 键 词： 公路施工；技术管理；工程质量

Investigation on the Influence of Highway Construction Technology Management on Project Quality

Yue Huanhuan

ID: 513030199109215112

Abstract： Highway construction technology management covers multiple aspects such as construction organization design and the implementation of process standards. It affects project quality, including factors like subgrade compaction. Personnel competence and organizational structure are crucial, while raw materials and machinery require monitoring and maintenance. It also involves process handover, environmental impact, and testing techniques. Systems should be improved, management optimized, and quality enhanced.

Keywords： highway construction; technical management; project quality

引言

公路施工技术管理是确保公路工程质量的关键。近年来，我国不断强调基础设施建设高质量发展（相关政策于近年持续推进），这对公路施工技术管理提出了更高要求。公路施工技术管理涵盖施工组织设计、工艺标准执行、技术创新应用等多方面，同时涉及人员素质、原材料质量监控、施工机械效能维护等关键环节。这些要素相互关联，共同影响公路工程质量，包括路基压实度、路面平整度等多个质量构成要素。合理的技术管理手段能够确保各环节符合标准，避免质量隐患，而智能化管理技术研发和复合型人才培养将为其带来新机遇，推动公路工程建设质量提升。

一、公路施工技术管理概述

（一）公路施工技术管理内涵

公路施工技术管理内涵丰富，涵盖多个关键要素。施工组织设计是核心之一，它统筹规划施工流程、资源配置等，确保施工有序进行^[1]。合理的施工组织设计能提高效率、降低成本。工艺标准执行同样重要，严格按照既定的工艺标准操作，是保证公路工程质量的关键。任何偏离标准的施工行为都可能导致质量问题。技术创新应用也是公路施工技术管理的重要方面。随着科技发展，不断引入新技术、新材料和新设备，能提升公路的性能和质量，增强其耐久性和安全性，同时也有助于提高施工效率，推动公路建设行业的进步。

（二）工程质量构成要素分析

公路工程质量是一个综合性的概念，涉及多个构成要素。

其中，路基压实度至关重要，它直接关系到路基的强度和稳定性，若压实度不足，可能导致路基沉降等问题，影响公路的使用寿命^[2]。路面平整度也是关键指标之一，它不仅影响行车的舒适性，还与车辆的行驶安全密切相关，不平整的路面会增加车辆的磨损和油耗。结构层厚度同样不可忽视，合理的结构层厚度能保证公路在承受荷载时的力学性能，厚度不符合要求可能使公路结构过早破坏。这些要素相互关联、相互影响，共同构成了公路工程质量评价体系，任何一个环节出现问题都可能对整体质量产生不利影响。

二、技术管理影响因素分析

（一）人员素质与组织架构

公路施工技术管理中人员素质与组织架构至关重要。技术人

员的专业能力直接影响施工技术的应用效果，专业知识扎实、经验丰富的技术人员能更好地理解 and 执行施工方案，确保技术措施的正确实施^[3]。管理团队的协作效应也不可忽视，高效协作的团队能够合理调配资源，及时解决施工过程中出现的技术问题，保证施工进度和质量。良好的组织架构则为人 员发挥作用提供了保障，明确各部门和人员的职责，避免职责不清导致的管理混乱，从而提高技术管理的效率和效果，最终对工程质量产生积极影响。

（二）材料设备管理机制

原材料质量监控是公路施工技术管理的关键环节。优质的原材料是确保工程质量的基础，需对其来源、规格、性能等进行严格把控。从采购源头抓起，选择符合工程设计要求和质量标准的材料供应商，对进场材料进行严格检验检测，确保其质量合格后方可使用。同时，要做好材料的储存和保管工作，防止材料因受潮、变质等原因影响其性能。施工机械效能维护同样对工程质量至关重要。施工机械的正常运行和高效性能是保证施工进度和质量的关键因素。定期对施工机械进行维护保养，检查其关键部件的磨损情况，及时更换损坏部件，确保机械处于良好的运行状态。合理安排机械的使用时间和频率，避免机械过度使用造成损坏，提高机械的使用效率和寿命，从而保障工程实体质量^[4]。

三、技术管理对质量的作用路径

（一）现场施工过程控制

1. 工序衔接质量把控

公路施工中，基层处理、摊铺碾压等工序间的技术交接标准至关重要。基层处理的质量直接影响后续摊铺的平整度和稳定性^[5]。若基层处理不当，如平整度不够或压实度不足，会导致摊铺厚度不均匀，影响路面的承载能力和使用寿命。摊铺过程中，对摊铺温度、速度和厚度等技术参数的严格控制是保证摊铺质量的关键。同时，摊铺与碾压工序的衔接要紧密，碾压应在摊铺后的合适时间内进行，以确保沥青混合料的压实效果。碾压的次数、速度和压路机的重量等都需按照技术标准执行，否则会出现压实度不够或路面出现裂缝等质量问题，影响公路工程的整体质量。

2. 环境适应性管理

温湿度对公路施工质量有重要影响。例如，混凝土浇筑过程中，适宜的温湿度可保证其强度发展符合设计要求，否则可能出现裂缝等质量问题^[6]。施工单位需通过技术管理手段对温湿度进行控制，如在炎热夏季采取遮阳、降温措施，在寒冷冬季采取保温措施。雨季施工同样面临诸多挑战，合理的技术方案是保障工程质量的关键。应提前制定雨季施工计划，包括对原材料的防潮保护，对施工场地的排水处理等。同时，根据雨情合理调整施工进度和工序，避免雨水对已完成工程部位造成冲刷破坏，确保工程质量在不同环境条件下的稳定性。

（二）质量检测技术应用

1. 无损检测技术实施

地质雷达和红外热像仪作为无损检测技术在公路施工隐蔽工

程质量控制中具有重要应用。地质雷达通过发射高频电磁波并接收反射波来探测地下结构，能够清晰地检测出隐蔽工程中的空洞、不密实区域等缺陷，为工程质量评估提供准确依据^[7]。红外热像仪则利用物体的热辐射特性，对隐蔽工程表面温度进行检测，通过分析温度差异来发现潜在的质量问题，如渗漏、空鼓等。这些技术的创新应用极大地提高了隐蔽工程质量检测的效率和准确性，有助于及时发现和解决质量隐患，保障公路工程的整体质量。

2. 数据化质量监控

BIM 技术与传感器网络结合可构建有效的实时质量预警系统。通过在公路施工中合理布置传感器，可实时获取如温度、湿度、压力等关键数据^[8]。这些数据能反映施工过程中的各种状态，为质量监控提供基础。BIM 技术则可对传感器获取的数据进行整合与分析，构建三维模型直观呈现施工情况。一旦数据出现异常，系统能迅速发出预警，使管理人员及时采取措施纠正偏差，确保施工质量符合标准。这种数据化质量监控方式实现了对施工质量的动态监测，改变了传统的事后检测模式，有效提高了公路施工质量的可控性。

四、技术管理优化对策研究

（一）标准化管理体系构建

1. PDCA 循环应用

在技术管理制度完善中应用 PDCA 循环，需从多方面着手。计划阶段，要全面分析公路施工技术管理现状，找出存在的问题，制定针对性的改进计划^[9]。执行阶段，严格按照计划实施各项技术管理措施，确保施工过程中的技术操作符合规范。检查阶段，建立有效的监督机制，对施工技术的应用情况进行实时检查，及时发现偏差。改进阶段，根据检查结果，对技术管理制度进行调整和优化，不断提高技术管理水平。通过 PDCA 循环的持续应用，实现技术管理制度的动态完善，进而提升公路施工工程质量。

2. 风险预警机制建设

公路施工技术管理的优化对工程质量至关重要。在标准化管理体系构建方面，应制定统一的技术标准和操作规范，确保施工过程的一致性和规范性^[10]。同时，加强对施工人员的培训，使其熟悉并严格遵守标准。在风险预警机制建设上，基于模糊综合评价法构建施工技术风险动态评估模型。通过对施工过程中的各项技术指标和潜在风险因素进行综合评估，及时发现风险并发出预警。利用该模型可以量化风险程度，为制定针对性的应对措施提供依据，从而有效降低风险对工程质量的影响。

（二）信息化管理平台开发

1. 数字孪生技术集成

数字孪生技术在公路施工技术管理中可通过构建施工过程的数字映射实现质量偏差预控。利用该技术对施工场地、设备、材料等进行精准数字化建模，实时反映实际施工状态。通过传感器等设备采集施工过程中的各类数据，如温度、湿度、应力等，传

输至数字孪生模型中进行分析比对。当出现数据异常时，能够及时预警可能出现的质量偏差，以便施工人员采取相应措施进行调整。同时，数字孪生模型还可对不同施工方案进行模拟，预测其对工程质量的影响，为施工方案的优化提供依据，从而有效提高公路施工工程质量。

2. 移动端管理系统

开发具备实时数据采集功能的施工现场管理 APP，可极大提升公路施工技术管理水平。该 APP 应能实现对施工过程中各类关键数据的实时采集，如材料使用量、设备运行参数、施工进度等。通过在施工现场设置传感器与 APP 相连，确保数据的准确获取。同时，APP 应具备数据上传功能，将采集到的数据及时传输至信息化管理平台，以便管理人员进行分析决策。此外，APP 还需有直观的操作界面，方便施工人员在现场快速录入相关信息，如质量检测结果、安全隐患情况等，这有助于及时发现问题并采取施加以解决，保障公路工程质量。

（三）人员能力提升策略

1. 专业技能培训体系

公路施工技术不断发展，为提升人员专业技能，应设计包含新型施工技术、智能装备操作等模块的阶梯式培训方案。针对不同技术水平和工作经验的人员，设置基础、进阶和高级培训阶段。基础阶段着重介绍公路施工的基本技术原理和常见工艺，为后续学习打基础。进阶阶段引入新型施工技术，如新型材料应用、节能环保技术等，使学员了解行业前沿动态。高级阶段聚焦智能装备操作，包括自动化施工设备、智能监测系统等的操作与维护，确保人员能够熟练掌握先进技术和设备，提高施工效率和

工程质量。

2. 绩效考核激励机制

建立技术管理成效与职业发展相挂钩的多维度考核评价制度是提升人员能力和加强绩效考核激励的关键。通过明确技术管理目标与岗位责任，制定量化的考核指标，涵盖技术创新应用、质量控制效果、施工进度保障等方面。对表现优秀的人员给予晋升机会、奖金激励以及荣誉表彰，激发其工作积极性和创新精神。同时，考核结果应及时反馈给员工，帮助其了解自身优势与不足，制定针对性的提升计划。对于未达标的员工，提供培训和指导，促使其改进工作方法，提高技术管理水平，从而推动整个公路施工技术管理的优化和工程质量的提升。

五、总结

公路施工技术管理对工程质量有着至关重要的影响。通过合理规划施工流程、严格把控施工材料质量、精确控制施工工艺等技术管理手段，能够确保公路工程的各个环节符合质量标准。同时，有效的技术管理还能及时发现和解决施工过程中出现的问题，避免质量隐患的积累。未来，智能化管理技术的研发将为公路施工技术管理带来新的机遇。借助智能化手段，可以实现对施工过程更精准、高效的监控和管理。复合型人才的培养也是关键，他们能够更好地适应技术创新和管理模式优化的需求。只有不断推动技术创新和优化管理模式，才能持续提升我国公路工程建设的质量水平，打造出更多高质量的公路工程。

参考文献

[1] 杨洲, 付小雷. 公路工程质量与进度的管理研究 [J]. 现代工程科技, 2023, 2(12): 119-122.
[2] 张尧. 交通公路工程施工质量管理的分析研究 [J]. 模型世界, 2023(26): 150-152.
[3] 王会军. 建筑施工技术管理对质量的影响及改进研究 [D]. 中国科学院大学, 2019.
[4] 李颖. 浙江省庆景青公路温州寮大桥工程施工与使用阶段技术管理研究 [D]. 同济大学, 2018.
[5] 张树全. 浅谈高速公路施工的技术管理 [J]. 黑龙江交通科技, 2020, 43(10): 148-149.
[6] 武晓栋. 公路施工技术管理措施探究 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2013.
[7] 郑鑫. 探究公路施工技术管理及公路养护 [J]. 消费导刊, 2019(32): 41.
[8] 何建. 公路施工技术管理及公路养护措施探究 [J]. 建筑工程技术与设计, 2016.
[9] 刘伟. 浅谈公路施工的技术管理 [J]. 技术与市场, 2014, 21(5): 307.
[10] 姚永辉. 浅谈公路施工的技术管理及加强措施 [J]. 建筑工程技术与设计, 2016(16): 2738.

双支撑系统在托梁拔柱改造项目中的运用

汪晓刚

上海同宴土木工程咨询有限公司, 上海 201900

DOI:10.61369/ETQM.2025090015

摘 要： 老旧建筑经过改造重新使用为当前结构设计热门，在建筑物改造过程中，因建筑功能及建筑物空间布局发生变更，可能需拔除既有房屋结构中的一些竖向承重构件，如混凝土柱、墙等，但对于既有结构而言，拔除出现承重构件的施工风险性较大，本文的双支撑系统通过实际工程运用，对既有建筑拔除混凝土柱的一些工程经验进行分享。

关 键 词： 托梁拔柱；既有结构改造；临时支撑

Application of Double Support System in Beam Pulling Column Renovation Project

Wang Xiaogang

Shanghai Tongyan Civil Engineering Consulting Co., Ltd., Shanghai 201900

Abstract： The renovation and reuse of old buildings has become a popular trend in current structural design. During the renovation process, changes in building functions and spatial layouts may necessitate the removal of vertical load-bearing components, such as concrete columns and walls. However, removing these load-bearing components poses significant construction risks for existing structures. This article shares practical engineering experiences from the application of the double support system in the removal of concrete columns in existing buildings.

Keywords： beam pulling; renovation of existing structures; temporary support

一、工程概况

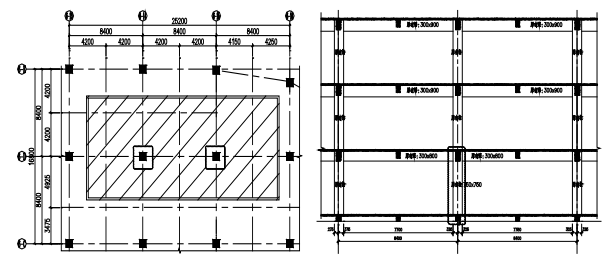


图1 一层泳池区域底层平面图

图2 改造区域结构剖面图

上海某商业中心为三层（局部四层）混凝土框架结构房屋，该房屋建于2017年，建筑平面近似椭圆形，房屋基本柱距为8.400m，一楼层高为4.500、二~三楼层高均为4.550m，房屋建筑面积约为15763m²。由于房屋商业业态功能要求，业主方拟在一层6-13轴、6-16轴区域增设泳池，根据泳池设置要求，业主方需拔除一层既有6-14/6-D、6-15/6-D轴混凝土柱，具体平面图详见图1~2。改造加固方案时，曾提出过两种设计方案，一种为采用体外预应力对转换梁进行加固，另一种为采用拆除既有混凝土梁柱，新设预应力转换梁的方式进行加固。经多方讨论，最终业主采用拆除既有混凝土梁柱、新增预应力转换梁的方案以承担上部混凝土柱的荷载，但由于此方案在施工过程中将出现混凝土柱

拆除、预应力转换梁未达到设计强度的极端不利工况，此工况有极大的安全隐患，为此，我方设计人员还需对此极端不利施工工况进行临时支撑设计。针对此极端工况，本项目采用双支撑系统对拔柱区域进行托换卸荷。

二、施工工况分析

根据多方确定的改造方案，房屋改造加固施工分为如下施工工序^[1]：

1. 设置临时支撑；
2. 拆除既有混凝土柱及既有混凝土梁；
3. 新增预应力转换梁并对周边混凝土梁、板、柱进行加固施工；
4. 拆除临时支撑。

其中，在拆除既有混凝土梁柱、新设预应力转换梁的过程中，将出现一段一层混凝土柱、二层混凝土梁被拆除、二层混凝土柱悬空、新增预应力转换梁尚未开始浇筑或未达到设计强度的危险工况，此工况中，二层混凝土柱完全悬空没有支点，二层柱的竖向荷载无法传递到基础中，可能会出现房屋拔柱区域局部坍塌或二层以上结构严重破坏的安全隐患，此阶段结构情况见图3，故此阶段的临时支撑设计为本项目的重难点。

作者简介：汪晓刚（1993—），男，浙江台州人，工程师，主要从事既有建筑检测鉴定、加固设计。

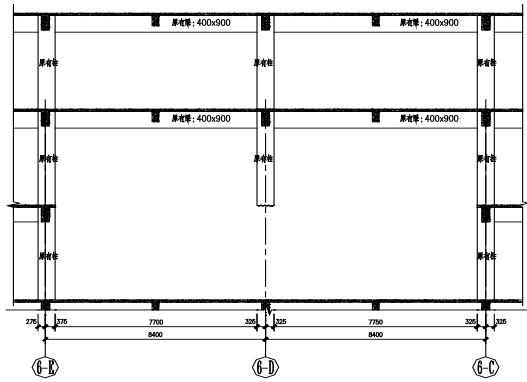


图3 最不利工况时，结构状态图

三、支撑系统设计

针对本文第2节所述施工极端工况，为解决此类工况所产生的安全隐患，本项目采用新增钢围套及新增柱间斜拉杆支撑进行托换设计。

（一）钢围套系统

钢围套系统为沿柱四周增设钢牛腿，牛腿与混凝土之间通过化学螺栓连接，二层柱与一层柱通过新增牛腿与四根钢柱连接，理论计算时，围套传力路径为：二层柱柱底轴力→二层钢牛腿围套→四根钢柱→一层钢牛腿围套→一层混凝土柱，新增钢牛腿围套与混凝土柱之间通过化学螺栓进行传力，具体围套传力路径如下图4，具体围套做法见图5~7。设计计算时，根据传力路径，按照相关规范^[1]严格验算各构件承载力，钢围套系统具体计算思路如下^[2]：

二层柱底轴力通过化学螺栓将竖向力化为剪力传递至二层钢围套，故此阶段需按照规范公式^[2]验算锚栓钢材的承载力、柱基材混凝土的承载力、钢围套与混凝土柱之间的连接节点承载力；

二层钢围套将二层柱柱底竖向力通过层间钢柱传递至一层钢围套，故此阶段需验算钢围套作为悬臂梁在竖向力作用下的承载力及层间钢柱受荷时的承载力、钢柱与围套之间的连接焊缝承载力；

一层钢围套通过化学螺栓将上部传来的竖向力传递至一层柱尚未拆除区域，此阶段验算同上文第一项。

综上，通过计算分析可知，该围套系统在竖向力作用下产生的变形仅为钢柱在竖向荷载作用的轴向压缩变形及钢牛腿围套作为悬臂梁时所产生的挠度，故支撑系统对托换处产生的局部构件整体竖向位移较小，避免了支座沉降对周边混凝土梁柱产生的额外内力，减少对周边的混凝土受力构件的影响。

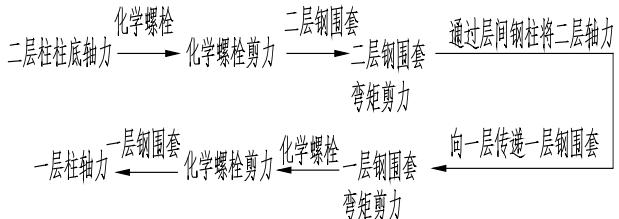


图4 围套传力路径图

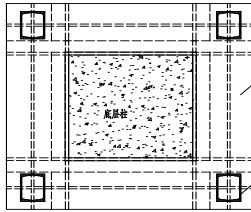


图5 钢围套系统平面图

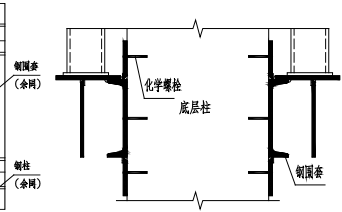


图6 钢围套系统剖面图

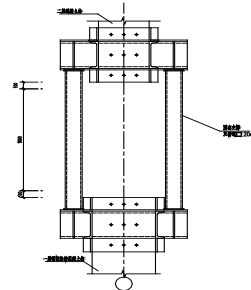


图7 钢围套系统立面图

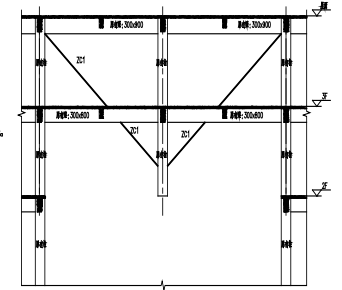


图8 斜拉杆系统立面图

（二）斜拉杆系统

在此项目施工过程中，由于安全隐患较大，为保证施工阶段的安全性，额外设计了一套斜拉杆系统用以防止围套系统失效后结构出现的不利坍塌工况。

斜拉杆系统主要在二层、三层柱间设置柱间拉杆，二层混凝土柱柱底的轴力转换为斜拉杆的拉力，通过斜拉杆传递至周边混凝土柱，斜拉杆立面图见图8。

斜拉杆系统计算与构造：

1. 钢管与混凝土柱连接节点：钢管端部与既有混凝土柱之间通过化学螺栓与节点板进行连接。设计验算时，需根据拉杆轴力验算化学螺栓拉剪时的锚栓钢材的承载力、与二层柱基材混凝土的承载力、节点板承载力。

2. 钢管与混凝土梁连接节点：设计时，为保证斜拉杆有足够的角度，将钢管跨楼层截断，故钢管在楼层混凝土梁区域需由连接节点传递钢管轴力。设计时采取对混凝土梁钢板抱箍的形式进行加固，跨层钢管与抱箍钢板采用节点板连接。设计验算时，需根据斜拉杆轴力验算混凝土梁承载力、抱箍钢板承载力。如混凝土梁承载力不足，建议对混凝土梁采用外包型钢法加固，与抱箍钢板的加固方式合并，节省工程造价。

3. 新增斜拉杆后，引起的周边混凝土构件的加固：设计斜拉杆时，不考虑围套系统的作用，利用斜拉杆单独承担二层柱柱底轴力，故在计算时，斜拉杆轴力对三层既有混凝土梁柱产生不利影响，需对其加固处理，加固时，主要针对梁柱节点核心区采取加大截面法加固、混凝土梁、柱采取外包型钢法进行加固处理^[3]。

综上，通过计算分析，由于采用斜拉杆时，二层混凝土柱的柱底竖向位移较大，故设计时，将围套系统作为房屋的第一道防线，斜拉杆系统作为房屋的第二道防线，通过双系统双防线确保房屋在极端施工工况时的安全性。

四、实际施工情况

为了解房屋施工时位移变化情况，我方在设计图纸中要求业主方委托专业资质单位对房屋拔柱过程中的二层柱柱底竖向位移进行连续监测^[3]。监测结果表明，房屋二层混凝土柱柱底竖向位移仅为1mm（含测量误差），拔柱期间，结构施工状态稳定，无明显大变形，表明该支撑系统方案成功可行。图9~12为双支撑系统施工完成状态，此时一层6-14/6-D轴、6-15/6-D轴混凝土柱及其上二层混凝土梁均已被拆除，新增预应力转换梁钢筋笼正在绑扎，结构稳定未出现安全事故。



图9 围套和斜拉杆远景照片

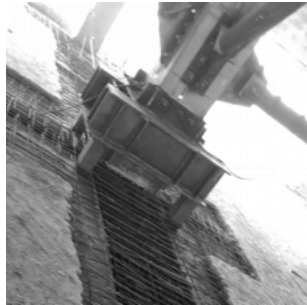


图10 围套和斜拉杆远景照片



图11 斜拉杆与二层混凝土柱连接节点



图12 围套近景照片

五、结论

随土地资源的紧缺及城市更新的加速进行，既有建筑加固改造项目在新增的工程项目中占比越来越重，而建筑改造过程中，因建筑建筑功能、建筑空间布局发生变化，对既有结构的竖向承重构件的改造越来越多，其中根据建筑方大开间的要求，既有结构托梁拔柱的改造也越来越多，但多层结构底层拔柱具有较大的安全隐患，尤其在施工过程中，柱身分离与加固构件尚未达到设计强度的阶段中，如不进行正当设计，房屋将出现极大的安全隐患，严重者可能影响人员的生命安全。故结构设计时，不应单独针对房屋拔柱时的改造设计，还应对施工阶段进行谨慎分析，对有严重安全隐患的施工阶段，应当对最不利的施工阶段进行专项分析与验算。本文双支撑系统通过实际案例为此类加固改造项目提供另外一种思路，供大家参考交流。

参考文献

- [1]GB50017-2017, 钢结构设计标准 [S].
- [2]GB50367-2013, 混凝土结构加固设计规范 [S].
- [3]JGJ8-2016, 建筑变形测量规范 [S].

水泥系统流化板安装及卸货系统效用

董祥东

中国船级社实业有限公司南京分公司，江苏 南京 210015

DOI:10.61369/ETQM.2025090016

摘 要： 本文通过对水泥系统卸货系统中的流化板安装及过程控制进行分析，介绍前期结构开孔、中期安装、后期调试的相关注意事项，为整体质量控制做好铺垫，避免系统使用中出现大的质量问题。

关 键 词： 流化板；空气管；数切开孔；定位安装；橡皮垫片；密性检查；系统效用

Installation of Fluidisation Plates and Unloading System Efficiency in Cement Systems

Dong Xiangdong

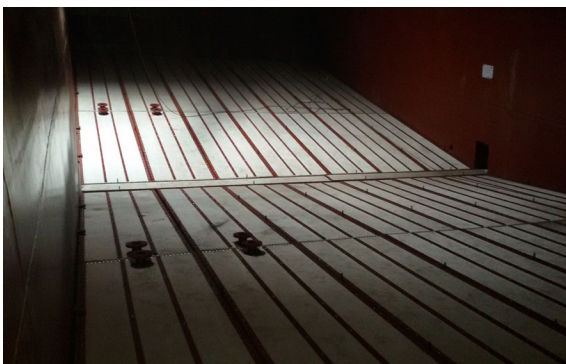
China Classification Society Co., Ltd. Nanjing Branch, Nanjing, Jiangsu 210015

Abstract： This paper analyses the installation and process control of fluidisation plates in cement system unloading systems, introducing key considerations for preliminary structural openings, mid-term installation, and post-installation commissioning to lay the groundwork for overall quality control and prevent major quality issues during system operation.

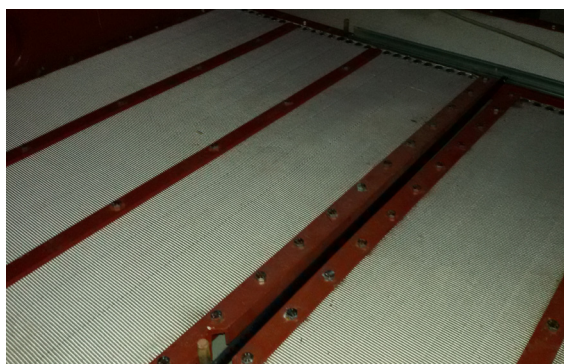
Keywords： fluidisation plates; air pipes; numerical control cutting; positioning installation; rubber gaskets; airtightness testing; system performance

引言

水泥运输船是专用途船舶，相关系统及配套根据水泥的特性进行设计，经过在南京金陵船厂为太古集团建造的9000T水泥船的施工经验。将水泥系统关键性的流化板系统安装进行梳理分析。流化板是将散装水泥从静态堆积在货舱内，转变为流动状态的从而流向码头储藏罐内的关键性舾装件。他既要承载装载的散装水泥的重量，又是需要专用空压机产生的压缩空气通过系统管路达到流化板，然后经过流化板上的特殊材质的面板将压缩空气平均分配到整个面，这样散装水泥就被压缩空气吹起成流体状；然后流经水泥泵再经水泥泵及卸货管路的压缩空气吹响码头。



货舱内流化板的整体布置



流化板上特殊材质的表面

一、流化板的保管及转运

1. 由于流化板表面的特殊尼龙织物需要禁火、禁水、禁油及紧碰撞。因此保存需专用室内场地，且外部使用防水膜进行全包裹进行防潮^[1]。

2. 转运吊装注意起吊点，避免因起吊受力导致流化板变形，

转运时尽量使用厂家来货的托盘整体吊装转运。吊装上船后尽快转运进货舱避免露天摆放^[2]。

3. 对厂家到货的流化板进行抽检，确认到货批次，到货的货舱编码，并与图纸进行核对，为船上的空气管开孔及定位螺栓之间距离尺寸核对做好基础，同时领用时严格按照到货货舱编号领用，并根据当天的工作量合理规划领用数量。

5. 流化板的领用及安装应有专人负责，做好每个流程的组织护理，并对领用及每天的工作进行统计。

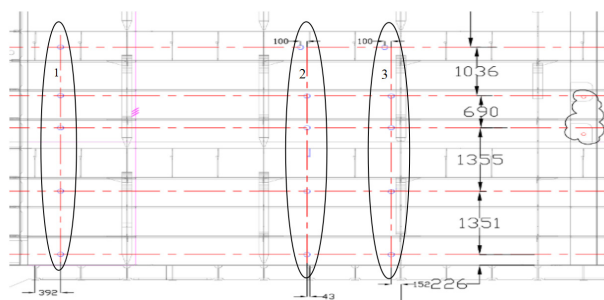
因为流化板的下方有压缩空气系统的管路接头, 需要从货舱内底板开孔内插入到货舱下方的空舱内。为保证每块流化板顺利平铺安装不出现互相干扰、打架的现象, 内底板的开孔坐标只管重要^[4]。

1.纵向开孔：根据图纸开孔尺寸确认 1 处孔的开孔位置与图纸一致，然后根据 1 来核对 2 的位置，根据流化板的图纸以及开孔的图纸可以看出这两个孔之间的距离（流化板上 1、2 两个孔在同一块流化板上，因此这两个孔之间距离与图纸一致，流化板就能顺利安装到位^[5]。（注意：不同的流化板两者之间的距离不同，要提前根据图纸或流化板的尺寸进行确认，有两种尺寸一种 3715mm，一种 3815mm）。3 孔根据开孔图进行核对，孔的最大误差可以参考厂家提供给的误差范围，不同的水泥系统厂家有不同的要求，要提前与厂家沟通^[6]。

2. 横向开孔：货舱内底板左右方向的开孔应提前根据货舱整体横向尺寸进行布局，根据图纸进行核对分段建造时的数切开口尺寸，考虑流化板安装的空间留有一定的余量，确保安装尺寸及安装空间。

3.内底板开孔可以提前数切,但是在分段装配建造过程中应做好精度控制^[7]。后期安装过程中如出现开孔位置无法安装流化板可以根据厂家建议对开口进行扩大,但扩大尺寸应符合厂家资料要求,避免运营中出现流化板位移,导致水泥从孔内扩散到下方空舱内导致水泥污染。

4. 所有现场打孔或者现场破坏货舱内底板油漆的位置应及时进行涂装修补, 确保整个货舱的尤其完整性, 因为涉及到货舱底部的空舱, 空舱内还有流化板空气管的安装, 待相关安装工程结束后应对这些舱室进行涂装修补并进行完工验收。

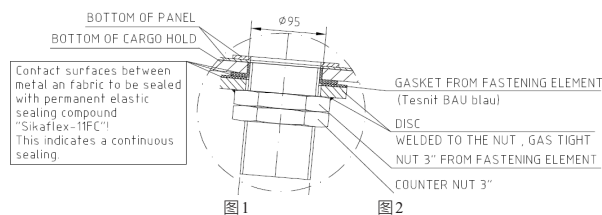


1.根据厂家技术交底的安装顺序建议,从最远端角度一块开

始安装（领用时就要根据图纸编号领用转运到现场），由于第一块流化板两端都有空气管，因此前期数切孔及定位螺栓件相互尺寸检查很重要。若流化板上空气管无法放到孔内，那就需要根据厂家的最大扩孔10mm要求进行扩孔，大于10mm就需要对孔进行长肉确保管子与甲板之间间隙不超过13mm，否则后期系统使用时会出现水泥从此间隙流到下方空舱的现象^[9]。

2. 流化板放置到甲板上要做到与甲板贴合,不能有间隙,固定流化板用的螺栓应根据流化板放置的位置现场定位烧焊再内底板上,且焊接后进行油漆修补,确保内底板油漆的完整性。螺栓使用 8.8 级螺栓采用双螺栓形式并设有防松动垫片,且固定螺栓要双螺母并且根据螺栓扭力要求进行扭力紧固^[9]。

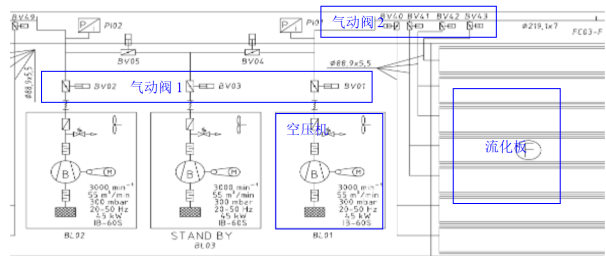
3. 流化板安装固定到位后就可以进行下方空气管与甲板间隙封堵的作业了, 根据厂家图纸及工艺要求将间隙内用厂家提供的硅胶填充, 之后为厂家提供的普通硬质垫片, 然后硅胶涂抹之后为盖板压紧再用锁紧螺帽锁紧即可(下图1)。(厂家提供的工艺存在泄漏隐患, 在后期营运中出现了大量水泥泄露到下方空舱的售后问题。根据现场实际情况以及船东的运营经验, 经过与厂家沟通对此安装工艺进行优化。将流化板安装后使用硅胶填充空气管与孔之间的间隙, 然后将 GASKET FROM FASTENING ELEMENT 更换为有压缩量的橡皮, 且增加一块面积比下方由令接头稍大的钢制垫片用于压紧橡皮。橡皮与船体结构之间涂抹硅胶用于密封, 橡皮有补偿量会补偿货舱水泥重量带来的压缩, 同时在运营过程中定期对由令接头进行收紧, 这样一段时间后流化板就固定在有水泥重压的位置, 散装水泥就不会从内底板孔与流化板空气管之间的间隙泄漏(下图2)。整改后经过船东营运验证此方式大大减少了水泥的泄漏, 满足运营要求。)



4.待压盖锁紧之后就可以安装空气管的油令接头了,根据现场服务商意见此油令接头应该使用麻绳加专用油漆混合使用,这样能保证密性;由于这种很古老的密性形式我厂已长时间未使用,经与服务商商定使用生料带加厂家推荐的 Sikaflex-11FC型硅胶形式密封,全船共计252个油令接头。

5. 所有管系安装要确保管系中心线要对中，误差不能超2mm，同时安装油令接头时内外螺纹都要进行清洁，生料带与硅胶的使用要求均匀涂抹，配合螺牙要有一定距离，确保进牙量在2/3之上。

6. 流化板的充气过程是一个间断性的动作，因此在整个过程中，流化板表面的纤维布始终与周围的物件进行摩擦，如果由于在纤维布与钢板之间存在飞溅，焊渣、垃圾、毛刺、刺边、锐角等，会加速这种摩擦损耗。一旦某个局部出现损坏造成漏气。则会使整块昂贵的纤维布报废，并产生重大的返工。因此，要避免这种情况的发生，就不能简单采用常规批、磨、补的手段，而必须组织专门队伍采取专门的方法进行处理，否则是很难避免这种情况发生的。事实上船东和设备服务商也对其格外注意，完全超乎常规的打磨方法①。



四、系统调试及接头密性检查

在水泥卸货系统完善后，要经过系统联动检验整个系统使用的稳定性，并对流化板的空气管接头进行注意查漏，确保每个接头不会有泄漏，从而保证进入货舱流化板的空气压力将散装水泥流动化，通过水泥泵的流转至卸货管路，最终流向码头水泥储藏罐。同时还要经过长时间的联动检查水泥泵的各部件运转是否正常，确认系统各项需监控参数以及各管路的配备是否正确。卸货系统主要联动需准备及关注的有：

- 1. 确保流化板整个系统正常运转需要3台专用螺杆空压机用于流化板的供气使用压力0.3bar左右，1台控制空压机用于提供系统中气动控制阀的开闭，2台空压机间风机用于空压机吸气量的供气；密性检查前应将整个货舱的舱口盖，导门全部封闭，以确保空气在货舱内形成一定的压力。
- 2. 由于流化板压缩空气系统是有3台专用的螺杆空压机供气，因此在空压机动车，管路中的控制气动阀效用测试后；整个流化板系统接头即可进行密性检查，使用高浓度肥皂水，使用2台空压机，每次开启两个控制阀，用于确保检查管路中有充足的压力用于密性检查，（系统压力在0.3bar，使用检查密性压力会在0.4~0.5之间，这样细小泄露即可检查出来。每个货舱逐一排查，发现泄

漏可先标记再处理，最后进行复查。

- 3. 在检查每个货舱的流化板空气管接头的同时对压缩空气路上的气动截止阀进行效用及核对，确认每个阀与电脑端控制的——对应，（如上图气动阀1与气动阀2）

- 4. 确认整个货舱区域所有流化板接头密性后即可进行独立货舱的效用试验。因为货舱甲板安装有压力释放装置，因此按照正常卸货使用的2台流化板空压机，将独立的货舱所有流化板的空气阀打开，向整个货舱输送压缩空气，运转水泥泵，打开卸货管路主控阀，压缩空气随着管路排放至大气，从而可以检查管路系统上各个阀件的动作是否正确。重点需要关注水泥泵的长时间运转，因为水泥泵的密封装置是特殊材料的，在长时间运转过程中会出现发热磨损的现象，对此应提前注入油脂进行润滑，减少磨损出现的损耗。同时在控制电脑上核对每个参数是否满足厂家推荐要求。在系统效用的同时也应对整个水泥系统的卸货管路进行渗漏检查，虽然此管路独立做过密性试验，但是在效用期间仍要关注是否存在渗漏现象^[10]。注意：系统效用期间卸货管路出口是露天的，压缩空气排出压力较大，应注意周围安全防护，避免人员在周围，同时通过系统效用将管路中的残留的施工残留吹干净。

- 5. 经过长时间的系统运转效用，卸货系统的效用结束，因为此系统运转效用需要整个水泥各个系统之间的配合，因此之前各系统的调试已经具备使用，无需再进行调试，所以此系统运转效用结束后水泥系统的船厂调试基本结束，待后期进行装卸载的时候进行实际使用验证。

五、结束语

由于专用散装水泥运输船用途专一、市场存在感不强，导致于刚开始建造时能参考案例不足。现场根据厂家以及船东的使用要求进行图纸梳理，施工方案细化，现场施工组织，以至于现场施工中出现问题较多，特别是流化板的安装定位。在安装过程中出现因分段建造精度控制没有考虑流化板的空气管安装孔的事情，导致流化板安装过程中有约30%的孔需要扩孔补孔的情况，由于货舱分段建造及合拢过程中没有对合拢缝的焊角高度进行控制，导致于流化板安装不水平出现无法与货舱内底板紧密贴合的事情，由于流化板反手即货舱下方空舱内的固定方式存在泄漏隐患，导致于后期营运过程中出现大量水泥泄露到空舱的售后。因此对于流化板的固定安装在整个水泥系统的施工中至关重要，需在施工中给与重点关注。

参考文献

[1] 陆方东. 9000T 自卸式散装水泥船设计与建造中的若干关键技术研究 [D]. 上海海事大学, 2006.

[2] 董一晨, 张亚新. 多晶硅气固流化床数值模拟与结构优化 [J]. 化学工程, 2023, 51(08): 49-54.

[3] 马春龙. 循环流化床锅炉安装技术探讨 [J]. 黑龙江科技信息, 2011(26): 42.

[4] 裴未迟, 韩炬, 李耀刚. 散装水泥运输罐车流化床改进方案的研究及仿真 [J]. 中国粉体技术, 2011, 17(04): 5-7+19.

[5] 杨振乾, 丛龙成, 唐永江, 董磊. 水泥磨系统优化实践 [J]. 水泥工程, 2025, 38(02): 50-52. DOI: 10.13697/j.cnki.32-1449/tu.2025.02.011.

[6] 李伟. 水泥工厂火灾自动报警系统设计 [J]. 水泥技术, 2025(02): 52-57. DOI: 10.19698/j.cnki.1001-6171.2025.02.052.

[7] 陈星华, 周晓刚. 散装水泥长距离输送及贸易计量系统设计与应用 [J]. 水泥, 2025(02): 53-56. DOI: 10.13739/j.cnki.cn11-1899/tq.2025.02.014.

[8] 李浩文, 翁思浩, 汪峥. 应用于水泥熟料烧成系统实时优化的煤耗建模 [J]. 工业控制计算机, 2025, 38(01): 25-26+29.

[9] 许越, 万群, 樊华, 郑峰, 陈琼. 3G-CK490 外循环水泥立磨终磨磨系统的应用 [J]. 水泥, 2025(01): 54-57. DOI: 10.13739/j.cnki.cn11-1899/tq.2025.01.016.

[10] 冯传华. 水泥粉磨系统机械故障停机防范措施分析 [J]. 中国机械, 2024(36): 110-113.

超低能耗建筑外墙保温一体化施工技术研究

王志兵

中建七局安装工程有限公司, 河南 郑州 450000

DOI:10.61369/ETQM.2025090018

摘 要： 本文聚焦超低能耗建筑领域的装配式外墙保温一体化施工技术，系统剖析其技术原理，即通过预制装配工艺实现保温与围护结构的一体化集成，以减少热桥效应、提升气密性。在材料选择上，重点探讨高性能保温板材、连接件及密封材料的性能指标与适配性。施工工艺环节，详细阐述预制构件生产、现场安装、节点处理的全流程技术要点，包括垂直度控制、拼缝密封等关键工序。结合实际工程案例，实证该技术在降低建筑能耗、缩短施工周期、减少现场湿作业及保障保温系统耐久性等方面的综合优势，为超低能耗建筑的规模化应用提供技术支持和实践参考。

关 键 词： 超低能耗建筑；装配式外墙；保温一体化；施工技术

Research on Integrated Construction Technology of Prefabricated Exterior Wall Insulation in Ultra-Low Energy Consumption Buildings

Wang Zhibing

Installation Engineering Co., Ltd. of CSCEC 7th Division, Zhengzhou, Henan 450000

Abstract： This article focuses on the integrated construction technology of prefabricated exterior wall insulation in ultra-low energy buildings, systematically analyzing its technical principles. This technology integrates insulation and envelope structures through prefabrication and assembly processes to reduce thermal bridging and enhance air tightness. In terms of material selection, it emphasizes the performance indicators and compatibility of high-performance insulation boards, connectors, and sealing materials. The construction process is detailed, covering key technical points such as verticality control and joint sealing in the production, on-site installation, and node treatment of prefabricated components. Real-world engineering cases demonstrate the comprehensive benefits of this technology in reducing building energy consumption, shortening construction periods, minimizing on-site wet work, and ensuring the durability of the insulation system. This provides technical support and practical references for the large-scale application of ultra-low energy buildings.

Keywords： ultra-low energy consumption building; prefabricated exterior wall; thermal insulation integration; construction technology

引言

随着全球能源危机和环境污染问题的日益严峻，建筑行业的节能减排成为重要课题。超低能耗建筑作为一种新型的绿色建筑形式，通过采用高效的保温隔热材料和先进的施工技术，能够显著降低建筑能耗，提高室内环境质量。装配式外墙保温一体化施工技术作为超低能耗建筑的关键技术之一，将保温层与外墙结构集成在一起，实现了工厂化生产、现场装配，具有施工速度快、质量可控、节能效果好等优点。因此，研究超低能耗建筑装配式外墙保温一体化施工技术具有重要的现实意义^[1,2]。

一、超低能耗建筑装配式外墙保温一体化技术原理

（一）保温结构一体化设计

超低能耗建筑装配式外墙保温一体化技术采用保温结构一体化设计理念，将保温层与外墙结构通过预制装配工艺实现有机结合。保温层设置于外墙结构外侧，形成连续的保温屏障，可有效

阻断室内外热传导路径，降低热桥效应影响，提升建筑整体保温性能（如图1所示）。保温层与结构层之间通过高强度连接件进行可靠连接，该连接件需满足抗拔、抗剪等力学性能要求，同时具备良好的耐久性与抗腐蚀性，以确保保温系统在长期使用中保持稳定。该设计既实现了保温与围护结构的功能集成，又通过预制化生产提升了构件精度，为建筑能效提升奠定基础。^[3]

作者简介：王志兵（1990.11—），男，汉族，河南南阳人，本科，中级工程师，研究方向：工程管理。

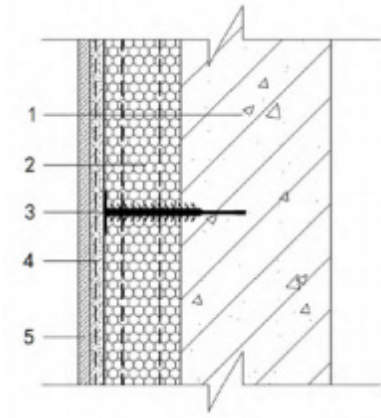


图1 硅墨烯外墙保温一体板基本构造

1-砌墙; 2-硅墨烯; 3-锚固件; 4-抹面层(抗裂砂浆内压耐碱网布); 5-饰面层

(二) 无热桥设计

热桥是围护结构中热流密集区,易造成室内热量散失。超低能耗建筑装配式外墙保温一体化技术通过无热桥设计^[4],优化外墙构造与连接方式以阻断热传导。针对窗洞口、阳台等典型热桥部位,采用断热桥连接件、保温延伸层等构造措施,确保保温层连续闭合。如窗洞口周边保温层超出窗框边缘 $\geq 100\text{mm}$,阳台与主体结构连接处设保温隔离件,有效降低热桥散热风险,提升建筑节能。

(三) 气密性设计

气密性是超低能耗建筑的核心指标,直接影响室内外空气渗透量与建筑能耗。装配式外墙保温一体化技术通过密封体系提升气密性:采用硅酮密封胶、三元乙丙橡胶条等耐候材料,对墙板拼缝、门窗洞口、穿墙管线孔等部位进行密封处理。施工中严格执行基层清理、密封胶施打、密封条压入等标准化工艺,确保接缝处形成连续密封屏障,经检测可使外墙空气渗透量 $\leq 0.6\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,有效降低供暖制冷能耗。^[5]

二、材料选择

1. 在建筑外墙施工中,多种高性能材料协同作用,保障建筑节能与美观。硅墨烯免拆模保温板以石墨聚苯乙烯颗粒为骨料,经硅质材料混合裹壳、内嵌双层热镀锌钢丝网等工艺制成,具备不燃性。其双层钢丝网设计增强与饰面层粘结力,还赋予一定弯曲能力,相比传统无机保温材料^[6],在抗拉、抗压强度及导热系数上表现优异,可用于混凝土剪力墙施工、PC 墙板及楼板底模。抹面胶浆作为外墙外保温体系关键材料,是抗裂无机干粉材料。其环保绿色,粘结性、耐候性良好且强度高,用于埋设网格布形成防护面层,为外保温面层及防裂工程提供可靠保护。外墙柔性耐水腻子需符合 GB/T 23455—2009 标准,经 7 天养护后,柔韧性达直径 50mm 无裂纹要求,增强外墙表面平整性与耐久性。外墙涂料常选真石漆,由底、主、面涂料构成,能赋予外墙丰富质感与色彩,提升建筑美观度。这些材料相互配合,共同构建起性能优良的建筑外墙体系。

2. 连接件是保温层与外墙结构之间的连接部件,其性能直接

影响保温层的稳定性和耐久性。连接件通常采用不锈钢、铝合金等材料制成,具有强度高、耐腐蚀等优点。同时,连接件的设计应考虑热桥问题,采用具有降低热桥效果的连接件。

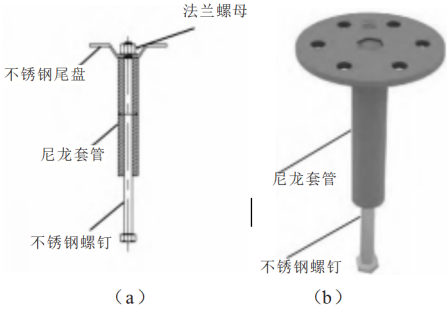


图1 专用连接锚固件示意

(a) 剖面示意; (b) 立面示意

三、实际案例分析

(一) 项目概况

以上海市某住宅项目为例,超低能耗设计采用硅墨烯保温一体板技术。建筑外墙采用 100mm 硅墨烯保温(模)板(导热系数: $0.055 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$)+200mm 钢筋混凝土,内部采用微陶涂层+改性保温膏料/XPS。项目在建筑节能设计方面,住宅建筑 1-4# 楼采用了独特的外墙保温系统。一二层采用现浇混凝土复合保温模板外墙保温系统,三层及以上则采用预制混凝土反打保温外墙板系统与现浇混凝土复合保温模板外墙保温系统相结合的方式,以此实现超低能耗目标,响应国家绿色建筑发展理念。^[7]

(二) 重点施工工艺

1. 施工工艺流程

硅墨烯保温一体板板安装前应做好免拆保温模板排版、弹线以及裁切。准备工作完成后,整体施工流程为:绑扎钢筋并验收合格→加焊限位支架(首层)→立外侧硅墨烯免拆保温模板→安装限位卡件及锚固件→立内侧模板→校正模板后安装对拉螺杆→安装模板竖向背楞→安装模板横向主楞→校正两侧模板并加固→浇筑混凝土并养护→拆除支护系统和内模板^[8]。

2. 硅墨烯保温一体板切割及安装

保温一体板切割及安装是施工的关键环节。切割时,最小宽度不应小于 200mm,且四周侧面需平直,保证安装精度。安装前,先在板与梁交接处粘贴一圈泡沫双面胶,起到密封和缓冲作用。保温一体板拼装遵循先安装阴阳角,再从一边向另一边顺序安装的方式,拼缝宽度不宜大于 5mm。安装就位后,使用线锤和经纬仪对其垂直度进行测量和纠偏,在垂直度和平整度符合设计要求后,加固支撑体系关键部位。拼缝处理方面,安装完成后,所有拼缝位置采用水泥砂浆填缝或专用胶粘缝,防止混凝土浇筑过程中漏浆。此外,在不燃型复合保温模板上用 8mm 钻头钻孔,孔呈梅花状布置,每平米不少于 5 个,孔内钉入直径为 10mm、有倒刺连接件,连接件在外墙结构混凝土中的有效锚固深度不小于 50mm,确保保温一体板与主体结构连接牢固。不燃

型复合保温模板按组合设计采用单块就位方式从四周向中央铺设,当板跨度 $\geq 4\text{m}$ 时,模板起拱,本工程主梁起拱高度为梁跨的 $3/1000$,保证模板受力均匀。

3. 硅墨烯保温板表面处理

拆除内侧木模板及外侧硅墨烯加固体系后,及时拔除硅墨烯板表面的U型固定钢筋,及时清理硅墨烯保温板表面的浮渣、灰尘等杂物。硅墨烯保温板预留的对拉螺杆洞,应按照设计节点要求,及时进行防水和封堵处理。螺杆洞封堵时,外墙硅墨烯厚度范围应使用高强封堵料进行封堵,严禁外露聚氨酯发泡剂,封堵后外侧涂刷 1.5mm 厚聚合物防水涂料,待防水涂料干燥后,涂抹抗裂砂浆并内埋 $100\text{mm}\times 100\text{mm}$ 耐碱网格布。硅墨烯免拆保温板安装时应紧密排列,保温板相邻两板对接缝的安装允许偏差为 3mm 以内。

4. 抹面层施工

抹面层宜分两道工序施工:将抹灰抹平整,趁湿压入耐碱网布,不得干搭接,阴阳角、硅墨烯保温板间拼缝应增设一层附加耐碱网布;待抹面胶浆稍干后,再次进行二次抹面胶浆抹平^[9]。

5. 接缝防水施工

外墙水平缝封堵应采用内嵌式封堵做法,其余侧水平缝可采用内嵌式封堵做法或外倒角封堵做法。封堵施工应依次按照两侧水平缝、外侧水平缝、分仓缝(如有)、内侧水平缝的先后顺序进行。水平缝封堵完成后,应重点检查封堵是否有遗漏、随意填塞、表面干缩裂缝等情况,确保各处水平缝均封堵密实。

外墙竖向缝施工要将硅墨烯保温板与预制构件进行 50mm 的错缝处理,并在侧面设置键槽、凹槽等构造防水,延长水流渗漏通道。混凝土浇筑过程中应避免将放料口直接对着不锈钢锚固件、限位装置,防止松动、倾斜,乃至连同硅墨烯保温板一起破坏导致报废,同时应避免直接对着硅墨烯保温板放料,宜尽量朝内侧木模板面放料。

(三) 经济与环境效益分析

在建筑行业持续追求绿色节能与高效发展的背景下,超低能

耗外墙保温一体板施工技术研究意义深远。其在经济效益与社会效益方面展现出显著优势,推广应用前景广阔。经济效益层面,该技术对工程建设的成本控制与效率提升成效显著。在建设周期上,通过创新施工工艺与流程优化,大幅缩短工期,加速项目交付与资金回笼;投资与成本方面,凭借精准的材料排版设计与施工方案,减少材料浪费与返工损耗,同时先进技术的应用降低人工成本,提升资金使用效率;质量与管理维度,技术创新保障施工质量,减少后期维护成本,现代化管理手段与技术结合,提高管理水平与决策科学性,进而推动行业科技进步,创造可观经济效益。社会效益上,该技术研究使工程建设技术达到国内先进水平,为行业树立标杆。其研究为国家制定相关技术规范、规程和指南提供理论支撑与实践依据,助力行业标准化发展,对提升建筑行业整体技术水平、推动绿色建筑理念普及意义重大。在推广应用方面,本研究完善了超低能耗外墙保温一体板施工技术体系。基于关键技术形成的成果,可为项目安全、质量与工期提供坚实保障,具备在全国范围内推广应用的潜力,契合建筑市场绿色节能发展需求,拥有良好市场前景^[10]。

四、结束语

超低能耗建筑装配式外墙保温一体化施工技术是一种具有广阔应用前景的新型施工技术。该技术通过保温结构一体化设计、无热桥设计和气密性设计,能够有效降低建筑能耗,提高室内环境质量。同时,该技术采用工厂化生产、现场装配的施工方式,具有施工速度快、质量可控、节能效果好等优点。在实际应用中,应根据建筑的特点和要求,合理选择保温材料、外墙结构材料和连接件,严格按照施工工艺进行施工,加强质量控制,确保施工质量。通过实际案例分析可以看出,超低能耗建筑装配式外墙保温一体化施工技术具有良好的应用效果,值得在超低能耗建筑中推广应用。

参考文献

- [1]王欣平,侯义芬,邵志兵等.超低能耗装配式住宅外墙保温施工[J].建筑施工,2023,45(6):1107-1110.
- [2]王志勇.装配式建筑夹芯保温板一体化施工技术分析[J].佛山陶瓷,2024,34(07):158-160.
- [3]黄国君.装配式建筑外墙保温一体化施工技术分析[J].工程技术研究,2024,9(08):81-83.
- [4]姜勇,赵凤伟,马耀,等.装配式建筑外墙保温一体化施工技术要点[J].中国建筑装饰装修,2023,(21):155-157.
- [5]轩莉,何东亮,余海洋,等.装配式建筑保温一体化预制外墙防水技术[J].建筑结构,2022,52(S2):1636-1639.
- [6]王金玉.探讨装配式建筑保温结构一体化外墙连接与固定技术[J].建设科技,2021,(19):107-110.
- [7]黄弘.装配式建筑外墙保温一体化施工技术[J].建筑机械化,2021,42(06):39-41.
- [8]吴吉,宋耀辉,凡科,等.装配式建筑保温结构一体化外墙连接与固定技术[J].施工技术,2020,49(S1):1039-1041.
- [9]王希政.保温一体化技术在装配式建筑施工中的应用[J].建筑施工,2019,41(08):1460-1463.
- [10]李杨,李广东,魏书辉.装配式建筑外墙保温一体化施工技术[J].居业,2021,(12):112-113.

钢结构桥梁制造中的焊接质量控制与检测技术

邓定付

身份证号: 420982197909206013

DOI:10.61369/ETQM.2025090019

摘 要： 钢结构桥梁的焊接质量直接影响其结构安全与耐久性，当前研究聚焦工艺参数优化、缺陷机理分析及智能化检测技术应用。通过数值模拟与实验验证协同调控电流、电压等参数，结合超声波、相控阵超声（PAUT）等多技术融合检测，显著提升气孔、裂纹等缺陷识别精度。基于《钢结构焊接规范（2025）》要求，构建涵盖设计、施工、验收的全流程质量管理体系，集成物联网动态监控与PDCA持续改进机制，推动焊接工艺标准化与人员技能认证规范化。未来需突破高成本检测设备环境适应性局限，强化数字化平台与人工智能算法的协同创新。

关 键 词： 钢结构桥梁；焊接质量控制；无损检测技术

Welding Quality Control and Inspection Technology in Steel Structure Bridge Fabrication

Deng Dingfu

ID: 420982197909206013

Abstract： The welding quality of steel bridges directly affects their structural safety and durability, and the current research focuses on the optimisation of process parameters, the analysis of defect mechanisms and the application of intelligent detection technology. Through numerical simulation and experimental verification of the synergistic regulation of current, voltage and other parameters, combined with ultrasonic, phased array ultrasound (PAUT) and other multi-technology fusion detection, significantly improve the accuracy of identification of defects such as porosity, cracks and so on. Based on the requirements of "Steel Structure Welding Code (2025)", build a whole-process quality management system covering design, construction and acceptance, integrate IOT dynamic monitoring and PDCA continuous improvement mechanism, and promote the standardisation of welding process and personnel skills certification. In the future, it is necessary to break through the limitations of the environmental adaptability of high-cost testing equipment, and strengthen the digital platform and the synergistic innovation of artificial intelligence algorithms.

Keywords： steel bridge; welding quality control; non-destructive testing technology

引言

钢结构桥梁作为现代交通基础设施的核心承载单元，其焊接质量直接决定了桥梁的力学性能与服役寿命。随着大跨度、高负荷桥梁工程的增多，焊接接头的复杂性及服役环境严苛性显著提升，传统质量控制方法面临气孔、裂纹等缺陷检出率不足、工艺参数动态调控滞后等挑战。近年来，政策层面持续强化钢结构焊接标准化建设，如《钢结构焊接规范（2025）》明确要求采用全流程质量管理框架，并强调焊接工艺评定（WPS/PQR）与无损检测技术的协同应用。同时，2025年新修订的《钢结构工程施工质量验收规范》进一步细化焊缝尺寸偏差与内部缺陷的验收标准，推动超声波、相控阵超声检测（PAUT）等技术的普及。在此背景下，焊接质量控制体系逐步向智能化与数字化方向演进，例如基于物联网的焊接参数动态监控系统与数字孪生技术的集成，可实现工艺自适应调整与缺陷预测。本文旨在系统探讨焊接工艺优化、缺陷机理、检测技术革新及管理体系构建等关键问题，为提升钢结构桥梁焊接质量提供理论支撑与实践路径。

一、焊接工艺参数对焊接质量的影响

（一）焊接工艺参数的关键性

焊接工艺参数是决定焊缝成形质量的核心变量^[1]，其物理作用机理直接影响焊缝的微观组织与宏观性能。电流强度作为主要能量输入参数，通过调节电弧热源密度控制熔池深度与宽度：电流过高易导致熔深过大、热影响区晶粒粗化，增加裂纹敏感性；电流不足则可能引发未熔合缺陷。电压与电弧长度呈正相关，影响熔滴过渡稳定性及熔池表面张力，电压过高时易形成飞溅与气孔，电压不足则导致电弧不稳定，造成焊缝表面凹凸不平。焊接速度直接关联热输入量，速度过快时熔池冷却速率加快，可能引发淬硬组织与残余应力集中；速度过慢则导致热输入过量，加剧母材变形与晶界偏析^[2]。三者相互制约，需基于材料特性与接头形式实现动态平衡，以保障焊缝致密性、力学性能及抗疲劳能力。

（二）工艺参数优化方法

焊接工艺参数的优化需结合数值模拟与实验验证构建多尺度协同调控体系^[4]。数值模拟技术通过有限元分析（FEA）或计算流体力学（CFD）模型，可精准预测不同参数组合下的温度场、应力场分布及熔池流动行为，揭示热循环过程对微观组织演变的影响规律^[3]。例如，基于热-力耦合模型可量化焊接速度与冷却速率对残余应力的贡献度，为抑制变形提供理论依据。实验验证则通过正交试验设计或响应曲面法，系统分析参数交互作用对焊缝成形质量的影响权重，结合金相观察、硬度测试及拉伸试验获取实际性能数据。通过模拟结果与实验数据的迭代修正，可建立参数优化数据库，并开发自适应控制算法，实现焊接过程的动态闭环调控。该策略已在厚板多层焊与异种钢焊接中成功应用，显著降低返修率并提升接头服役寿命。

二、常见焊接缺陷类型及成因分析

（一）内部缺陷分析

焊接内部缺陷的成因与材料特性、工艺条件及环境因素密切相关。气孔的形成主要归因于熔池内气体逸出受阻，氢、氧等气体在快速凝固过程中滞留，其来源包括焊材受潮、保护气体纯度不足或环境湿度过高。裂纹可分为热裂纹与冷裂纹：热裂纹由低熔点共晶物在晶界处偏析引发，常见于硫、磷含量较高的钢材^[5]；冷裂纹则与氢致脆性（HIC）及残余应力叠加相关，尤其在厚板焊接或预热不足时显著^[6]。夹渣多因熔池流动性差或焊道清理不彻底，熔渣未能充分上浮至表面，焊材中非金属夹杂物含量超标或焊接速度过快进一步加剧此类缺陷。

（二）外部缺陷分析

外部缺陷主要由工艺参数失配或操作规范性不足导致。咬边表现为母材与焊缝交界处的凹陷，源于电弧对母材的过度熔化，电流过高、焊枪角度偏离或焊接速度过慢是典型诱因。未熔合指焊缝与母材间未完全熔接，多发生于多层焊的层间区域，焊接热输入不足、坡口设计不合理或焊枪行进轨迹偏移均可能引发该缺陷。焊缝尺寸偏差包括余高不足、宽度不均等，与送丝速度波动、电弧电压不稳定或操作者技能水平直接相关。此类缺陷不仅降低结构承载能力，还可能成为应力集中源，加速疲劳失效

进程。

三、焊接质量检测技术的分类与应用

（一）传统检测技术

1. 目视检测与渗透检测的适用场景与局限性

目视检测作为最基础的表面缺陷筛查手段，通过直接观察或借助放大工具识别焊缝表面的裂纹、咬边及成形不良，适用于施工初期的快速质量评估，但其有效性受限于检测人员经验与环境光照条件^[7]。渗透检测通过毛细作用将显影剂吸附至表面开口缺陷中，可检测微米级裂纹与气孔，尤其适用于非磁性材料或复杂曲面结构，但对内部缺陷无响应，且检测前需彻底清洁表面油污与氧化层^[8]。两者的共同局限性在于仅能评估表面或近表面缺陷，对焊接接头深层质量缺乏定量分析能力。

2. 超声波检测在内部缺陷识别中的应用实例

超声波检测利用高频声波在材料中的反射与衰减特性，可精准定位气孔、夹渣及裂纹等内部缺陷的尺寸与埋深^[9]。在钢结构桥梁焊接中，纵波斜探头常用于检测厚板对接焊缝的未熔合缺陷，横波探头则适用于角焊缝内部裂纹的识别^[10]。通过调整探头频率与入射角度，可优化缺陷分辨力，例如采用2.5MHz探头检测20mm厚钢板时，灵敏度可达Φ1mm平底孔当量。实际工程中，结合B扫描成像技术可重构缺陷三维分布，为返修决策提供可视化依据，但其准确性受耦合剂均匀性、材料晶粒度及操作者判读水平影响。

（二）先进无损检测技术

1. 射线检测（RT）与相控阵超声检测（PAUT）的技术对比

射线检测通过X射线或γ射线穿透焊缝生成二维投影图像，对体积型缺陷（如气孔、夹渣）的检出率较高，且结果直观易存档，但存在辐射防护成本高、对裂纹类面状缺陷灵敏度不足的缺陷。相控阵超声检测采用多阵元探头动态聚焦声束，可实现焊缝截面实时成像与缺陷三维定位，尤其适用于异形接头与狭窄空间检测，其多角度扫描能力显著提升未熔合与微小裂纹的检出概率。两者在检测效率上呈现互补性：射线检测更适用于批量焊缝的快速抽检，而PAUT在复杂工况下的精细化检测中更具优势。

2. 红外热像检测在焊接残余应力分析中的潜力

红外热像检测通过捕捉焊接过程中材料表面的温度场分布，间接表征热循环引起的残余应力状态。焊接接头冷却时，高应力区域因热弹性效应呈现温度异常，通过红外热像仪可非接触式获取全场温度数据，结合热-力学模型反演应力分布。该技术在识别焊接变形敏感区与评估后热处理效果方面展现出潜力，例如在桥梁钢箱梁焊缝中，红外热像可快速定位应力集中区域，指导局部锤击或加热消应力工艺。然而，其精度受表面发射率稳定性与环境热噪声干扰，需与数字图像相关（DIC）或X射线衍射法交叉验证以提升可靠性。

四、钢结构桥梁焊接质量控制体系的构建

（一）质量管理体系的建立

1. 焊接质量全流程管理框架

焊接质量全流程管理需贯穿桥梁钢结构的设计、制造与验收

阶段。设计阶段需明确接头形式、坡口尺寸及材料匹配性，通过有限元仿真验证焊缝受力合理性，并制定焊接工艺预研方案。施工阶段实施动态监控，包括焊前环境温度湿度控制、焊材烘干管理及工艺参数实时记录，采用数字孪生技术模拟焊接变形趋势以指导工艺调整。验收阶段依据规范对焊缝进行分级检测，结合无损检测报告与力学性能测试数据形成质量档案，确保缺陷闭合率达标。全流程管理通过信息化平台整合设计参数、施工记录与检测结果，实现质量溯源与责任划分。

2. 基于 PDCA 循环的持续改进机制

PDCA 循环通过计划（Plan）、执行（Do）、检查（Check）、处理（Act）四阶段驱动焊接质量持续优化。计划阶段基于历史缺陷数据与工艺短板制定改进目标，如降低气孔率或提升检测效率；执行阶段通过工艺试验与参数优化落实改进措施；检查阶段借助统计过程控制（SPC）分析质量波动规律，识别系统性偏差；处理阶段将有效方案固化为标准作业程序（SOP），并更新培训教材与检测规程。该机制依托大数据分析工具，实现质量问题的快速闭环，推动管理体系从合规性向卓越性演进。

（二）焊接工艺标准化

1. 焊接工艺评定（WPS/PQR）的关键要求

焊接工艺评定（WPS/PQR）是标准化作业的核心依据，需严格遵循 AWS D1.1 或 ISO 15614 标准。评定试件的母材、焊材及坡口形式须与实际工程一致，覆盖全位置焊接工况。试验项目包括宏观金相检验、弯曲试验及冲击韧性测试，重点关注热影响区硬度梯度与缺陷容限。评定报告需明确参数允许波动范围，如电流 $\pm 5\%$ 、层温 $\leq 150^{\circ}\text{C}$ ，并通过回归分析验证参数组合的鲁棒性。未通过评定的工艺需重新设计或引入焊后热处理补偿措施。

2. 焊接参数动态监控与实时反馈技术

动态监控系统通过高精度传感器实时采集电流、电压、送丝速度及层间温度数据，结合物联网（IoT）技术传输至中央处理器。算法基于工艺评定数据库与机器学习模型，对偏离预设阈值的参数发出预警，并自动调整焊接电源输出特性。例如，电弧跟踪系统通过激光视觉实时修正焊枪位姿，避免未熔合缺陷；红外测温模块可动态调控预热温度，抑制冷裂纹产生。该技术将人工经验转化为数字化规则，显著提升工艺稳定性与缺陷预防能力。

（三）人员技能与培训机制

1. 焊工资质认证与技能考核标准

焊工资质认证需依据 ISO 9606 或 EN 287 标准分级实施，考

核内容包括平、立、横、仰四种位置的板对接与管对接操作。理论测试涵盖材料特性、缺陷成因及安全规范，实操考核采用盲样检测与破坏性试验结合，如射线检测合格率 $\geq 95\%$ 、弯曲试样无开裂。资质证书需定期复审，并针对特殊材料（如高强钢、耐候钢）增设专项认证。焊工技能档案纳入企业管理系统，确保人员能力与工程难度匹配，降低人为失误风险。

2. 焊接质量意识教育与典型案例分析

质量意识教育通过定期培训、缺陷图片展及事故案例复盘强化焊工责任认知。培训内容涵盖标准焊缝形貌图谱、常见缺陷的即时自检方法及纠正措施，例如通过调整焊枪角度避免咬边。典型案例分析聚焦高频缺陷的工艺诱因与连锁后果，如某桥梁因层间未熔合导致疲劳裂纹扩展的失效过程。通过虚拟现实（VR）模拟焊接缺陷产生场景，使操作者直观理解参数偏差的影响，促进从“被动遵守”到“主动防控”的行为转变。

五、总结

焊接质量控制与检测技术的研究表明，工艺参数动态调控、缺陷精准识别与全流程管理体系是保障钢结构桥梁服役安全的核心要素。通过数值模拟与实验验证协同优化焊接参数，可有效抑制气孔、裂纹等缺陷的产生；传统检测技术（如超声波、射线检测）与先进无损方法（如相控阵超声、红外热像）的组合应用，显著提升了缺陷检出率与应力评估精度。质量控制体系的构建强调工艺标准化、参数实时监控与人员技能认证的闭环联动，PDCA 循环机制推动质量管理的持续改进。

未来发展方向聚焦于多技术融合与智能化升级：基于物联网的焊接参数动态反馈系统可与数字孪生平台集成，实现工艺自适应调整；人工智能算法嵌入无损检测设备，通过缺陷图像特征库训练模型，提升裂纹自动识别效率；区块链技术应用质量档案管理，确保数据不可篡改与全程追溯。当前技术局限性体现在高精度检测设备的购置与运维成本较高，复杂环境（如高湿度、低温）下传感器稳定性不足，以及跨平台数据融合的兼容性壁垒。改进建议包括开发低成本嵌入式传感模块、增强检测算法的环境抗干扰能力，并建立行业级焊接质量数据库，推动检测标准与工艺规范的协同优化。

参考文献

- [1] 郑健. 公路桥梁钢结构焊接质量控制与检验 [J]. 城市建设理论研究：电子版，2011(34).
- [2] 周立红, ZHOU Li-hong, 等. 浅析大型钢结构焊接变形控制技术 [J]. 工程建设与设计, 2017(5):4.
- [3] 沈高飞, 汤泓. 公路桥梁钢结构焊接结构可靠性控制及其检验 [J]. 中国建筑金属结构, 2013(9X):1.
- [4] 徐小宝, 张志伟, 刘晓斌, 等. 超大跨度钢结构桥梁焊接质量控制技术 [J]. 焊接技术, 2015(9):2.
- [5] 郭自创. 桥梁钢结构施工质量控制措施 [J]. 引文版：工程技术, 2016, 000(006):92-92.
- [6] 高伟, 陈永松, 罗剑. 关于高速公路钢结构桥梁焊缝的无损检测应用探讨 [J]. 工程与建设, 2023, 37(1):209-213.
- [7] 李淑义, 张吉海. 加强钢结构桥梁焊接质量控制的策略 [J]. 汽车博览, 2022(27):239-242.
- [8] 王志强. 钢结构桥梁焊缝超声波无损检测质量控制研究 [J]. 2021.
- [9] 姜松波, 李拯. 钢结构桥梁施工质量控制研究 [J]. 冶金丛刊, 2021, 006(017):152-153.
- [10] 文正辉, 王茂欣. 钢结构箱型桥梁焊接质量控制技术 [J]. 建材发展导向 (下), 2016.

地理信息数据管理与技术优化： 提升数据处理与分析效率

潘娉婷

广东省国土资源技术中心，广东 广州 510000

DOI:10.61369/ETQM.2025090020

摘 要： 地理信息数据管理与技术优化是提升房地产工程效率与装配式建筑工业化水平的关键路径。研究聚焦多源数据集成、边缘计算预处理及机器学习模型优化，构建从数据采集到智能决策的技术框架，解决数据处理效率低、跨平台协作难及工程风险预警滞后等问题。通过 GIS 与 BIM 协同技术优化模块化设计定位，结合动态路径规划降低装配式物流成本，并依托云平台与数据安全策略实现多角色协同。实践表明，技术优化可提升施工效率23%以上，减少工期延误风险18%。研究响应《“十四五”建筑业发展规划》的智能建造目标，为建筑行业数字化转型提供理论支撑与实践范式。

关 键 词： 地理信息数据管理；技术优化；房地产工程

Geographic Information Data Management and Technology Optimization: Improve the Efficiency of Data Processing and Analysis

Pan Pingting

Guangdong Provincial Land Resources Technology Center, Guangzhou, Guangdong 510000

Abstract : Geographic information data management and technology optimization is the key path to improve the efficiency of real estate engineering and the industrialization level of prefabricated buildings. The research focuses on multi-source data integration, edge computing pre-processing and machine learning model optimization, and builds a technical framework from data acquisition to intelligent decision making to solve problems such as low data processing efficiency, difficult cross-platform collaboration and lagging engineering risk early warning. Through GIS and BIM collaborative technology to optimize modular design positioning, combined with dynamic path planning to reduce assembly logistics costs, and relying on cloud platform and data security strategy to achieve multi-role collaboration. Practice shows that technology optimization can improve the construction efficiency by more than 23% and reduce the risk of construction delay by 18%. The study responds to the intelligent construction goal of the "14th Five-Year Construction Industry Development Plan", and provides theoretical support and practical paradigm for the digital transformation of the construction industry.

Keywords : Geographic information data management; technology optimization; real estate engineering

引言

随着新型城镇化与建筑工业化进程加速，地理信息数据（GIS）在房地产工程规划、施工风险管理及装配式建筑供应链优化中的核心作用日益凸显。2022年《“十四五”建筑业发展规划》明确提出推动智能建造与数字化转型，要求强化BIM、GIS等技术在工程全周期中的应用。当前房地产工程面临多源数据整合效率低、跨平台协作壁垒高、灾害风险预警滞后等挑战，制约了绿色低碳与工业化目标的实现。例如，装配式建筑预制构件物流调度依赖静态路径规划，难以动态响应交通与环境变量，导致资源浪费与碳排放增加。本研究聚焦地理信息数据管理技术优化路径，结合《关于推动智能建造与建筑工业化协同发展的指导意见》（2020年）提出的“数据驱动、系统集成”要求，探索边缘计算、机器学习与云协同技术在工程风险防控、资源调度等场景的落地模式，旨在为行业提供兼顾效率与安全的技术框架，支撑“双碳”目标下的建筑产业升级。

一、地理信息数据管理的基础理论与技术框架

（一）地理信息数据采集与存储技术

地理信息数据的多源集成是房地产工程数字化的核心基础。遥感影像、物联网传感器与建筑信息模型（BIM）等异构数据的融合，需通过统一时空基准与语义映射实现标准化整合，其技术框架可依托信息化生产管理平台实现多源数据动态关联^[1]。针对海量数据的高效存储需求，分布式存储架构（如基于 GeoStar 的数据库管理系统）结合云平台弹性扩展能力，能够实现多源数据的实时存取与动态更新^[2]。以房地产工程为例，移动 GIS 技术支撑的云平台可支持多部门协同调取地块地形、地下管线及周边环境数据，降低传统本地化存储的硬件成本与数据孤岛风险^[3]。

（二）数据质量与标准化管理

地理信息数据的可靠性直接影响房地产工程决策的准确性。数据清洗需针对空间拓扑错误（如面域重叠、线段断裂）设计自动化校验算法，其逻辑规则可参考城市基础地理信息数据库的拓扑关系模型^[4]。标准化管理则依赖行业规范约束，如《建筑工程地理信息数据交换标准》明确了房地产项目中 GIS 数据的格式、精度与元数据要求，其框架设计需兼容多系统数据互操作需求。跨平台数据共享需遵循 OGC（开放地理空间联盟）标准，通过 WFS、WMS 等服务接口实现装配式建筑供应链中预制构件定位与运输路径规划的全局一致性。

二、地理信息数据处理与分析技术优化

（一）数据处理效率提升技术

地理信息数据的实时性与海量特征对计算效率提出更高要求。基于边缘计算的预处理技术通过在数据采集终端部署轻量化计算节点，可对传感器与遥感影像进行噪声过滤与特征提取，减少云端传输负荷并提升实时响应能力^[5]。针对复杂空间分析任务（如三维地形建模或洪水淹没模拟），并行计算框架结合 GPU 加速技术能够显著缩短运算时间。例如，基于 CUDA 架构的栅格数据处理算法可并行化空间插值与叠加分析，其实现可借鉴地球化学数据处理中的分布式计算框架^[6]。此类技术突破为大规模空间数据动态分析提供了可行性支撑。

（二）智能分析与模型优化

机器学习算法通过融合多维度数据优化房地产风险评估模型。基于随机森林与深度神经网络的灾害预测模型，可结合历史灾害数据、地质条件与气象信息，动态修正风险概率并提升预警精度。在装配式建筑领域，空间聚类算法（如 DBSCAN）可识别预制构件运输热区，结合蚁群算法优化物流路径规划，降低运输成本与碳排放。例如，某装配式住宅项目通过 GIS 驱动的路径优化模型，其技术框架参考交通地理信息系统动态路网分析方法^[7]，将构件运输效率提升 23%，同时减少施工延误风险。智能分析技术的深度应用，推动了地理信息数据从静态描述向动态决策支持的转型。

三、房地产工程中的 GIS 技术应用场景

（一）工程风险管理与决策支持

1. 地质灾害与环境风险评估

地理信息系统通过整合遥感影像、地质勘探数据与实时传感器信息，构建基于 3D GIS 虚拟场景的场地稳定性动态监测模型^[8]。基于 InSAR（干涉合成孔径雷达）技术的地表形变监测数据，结合历史滑坡与地震活动记录，可量化评估场地地质风险等级。例如，三维可视化技术通过模拟泥石流运动轨迹与建筑群空间关系，能够动态展示灾害影响范围，为灾后重建规划提供直观决策支持^[9]。多源数据融合技术还可模拟极端气候（如暴雨、洪水）对边坡稳定性的影响，通过动态阈值设定触发风险预警，辅助工程规划规避高灾害风险区。

2. 施工安全与进度风险预警

时空数据分析技术通过追踪施工过程中的人员、设备与环境变量，构建多维风险预警体系。基于 UWB（超宽带）定位的工人活动轨迹数据，结合 GIS 空间叠加分析，可识别高空作业碰撞或危险区域滞留等安全隐患。在进度管理方面，BIM 与 GIS 集成的 4D 模型通过关联施工计划与实际工程量，其三维大场景技术可优化资源调配路径，减少设计冲突。例如，基于机器学习算法分析历史延误案例的特征（如供应链中断、天气异常），预测关键路径节点偏差概率。某高层建筑项目通过时空拓扑关系挖掘，提前 14 天识别混凝土浇筑阶段的资源调配瓶颈，验证了三维数字勘察技术在施工流程优化中的有效性^[10]。此类技术将静态工程数据转化为动态决策知识，显著提升风险管理效能。

（二）装配式建筑中的 GIS 技术集成

1. 模块化设计与空间布局优化

地理信息系统与建筑信息模型（BIM）的协同技术为装配式建筑模块化设计提供空间决策支持。通过整合 GIS 场地环境数据（如地形高程、地下管线分布）与 BIM 构件参数化模型，可优化预制构件空间定位精度。例如，基于日照模拟与风环境分析的 GIS 空间叠加技术，能够动态调整装配式建筑外立面模块布局，提升能源利用效率。某高层装配式住宅项目中，利用 GIS 缓冲区分析确定塔吊覆盖范围，结合 BIM 构件重量与尺寸约束，自动生成吊装顺序方案，减少现场施工冲突并缩短工期 12%。此类技术将地理空间约束融入模块化设计流程，实现从宏观规划到微观组装的全局优化。

2. 供应链与施工过程管理

基于 GIS 的供应链管理通过空间网络分析优化预制构件运输与施工调度。实时交通路网数据与构件生产进度结合，利用蚁群算法动态规划多目标运输路径，规避拥堵路段并匹配施工节点需求。例如，某装配式产业园项目通过 GIS 平台集成供应商位置、构件库存量及施工现场地理围栏信息，构建运输优先级模型，使预制墙板日均配送效率提升 19%。施工阶段，UWB 定位技术与 GIS 空间拓扑分析结合，可实时追踪构件吊装位置偏差，触发自动纠偏指令。此类技术通过地理空间数据驱动供应链与施工流程的精细化管控，降低资源浪费与工期延误风险。

四、技术管理策略与系统优化路径

（一）数据安全与隐私保护

房地产地理信息数据的安全防护需构建多层次加密体系，采用混合加密技术（如 AES 与 RSA 结合）保障数据存储与传输安全。基于角色的访问控制（RBAC）模型可精细化划分权限层级，例如施工现场人员仅能调取局部地形数据，而设计团队拥有完整 BIM 模型编辑权限。合规性管理需同步遵循国际通用准则（如 GDPR）与行业规范，通过数据脱敏技术处理敏感信息（如业主位置数据），并建立审计日志追踪异常访问行为。针对装配式建筑供应链中的第三方协作场景，零信任架构可动态验证设备与用户身份，确保跨系统数据交换的合法性。

（二）跨平台协作与资源共享

云 GIS 平台通过微服务架构与 API 标准化接口，支持多角色协同作业。例如，设计方可通过 WebGIS 界面标注场地约束条件，施工方实时调取更新后的数据并反馈施工可行性，监理单位则基于版本对比功能监控变更合规性。数据开放标准需统一地理信息编码规则与元数据格式，如采用 CityGML 规范描述房地产项目的三维空间属性，避免多平台数据语义歧义。某智慧园区项目中，通过制定私有化数据交换协议，实现政府规划部门、开发商与物流企业的动态数据共享，缩短审批周期 34%。此类机制打破信息孤岛，推动全产业链高效协作。

（三）技术人才培养与跨学科融合

GIS 与工程管理的交叉学科培训需强化空间分析工具（如

ArcGIS、QGIS）与工程软件（如 Revit、Navisworks）的协同应用能力。高校课程可增设“地理信息工程实践”模块，模拟房地产项目中的 GIS-BIM 集成场景，培养数据驱动决策思维。在装配式建筑团队中，技术协作需建立“地理信息工程师-结构工程师-供应链经理”三角沟通机制，定期开展空间数据质量评审会。例如，某预制构件工厂通过跨部门工作坊，将 GIS 路径优化模型嵌入生产排程系统，使库存周转率提升 21%。此类融合模式推动技术从理论到实践的闭环转化，支撑行业数字化转型。

五、结束语

地理信息数据管理与技术优化为房地产工程与装配式建筑提供了系统性解决方案，通过多源数据集成、智能算法优化及跨平台协同机制，显著提升了数据处理效率与工程决策精度。技术框架的构建从数据采集、存储到分析应用形成闭环，尤其在灾害风险评估、施工进度预警及装配式物流规划中展现了实践价值。管理策略层面，数据安全体系与跨学科协作模式的创新，为行业数字化转型提供了制度保障。未来研究需进一步探索数字孪生与 GIS 的深度融合，实现房地产全生命周期动态仿真；区块链技术的引入可增强工程数据溯源与可信度，而低碳目标驱动的空间分析模型将推动装配式建筑绿色化发展。技术优化与管理策略的协同演进，不仅需要持续突破算法与算力瓶颈，更依赖标准化生态的构建与复合型人才培养，最终支撑智慧城市与新型建筑工业化体系的可持续发展。

参考文献

[1] 张红波，于清. 信息化条件下地理信息框架生产管理技术探讨 [C]// 测绘出版社；测绘通报编辑部. 测绘出版社；测绘通报编辑部，2012.

[2] 邓跃进，雷振，任放勇. 基于 GeoStar 的国家基础地理信息数据库管理系统设计与实现 [J]. 测绘与空间地理信息，2010(6):3.

[3] 刘全海，罗迪，冉慧敏，等. 移动 GIS 数据集成管理技术研究与示范应用 [J]. 城市勘测，2018(4):4.

[4] 史琼芳，肖昶，聂小波，等. 城市基础地理信息数据库管理系统设计与实现 [J]. 北京测绘，2012.

[5] 朱会保. 遥感内业数据处理关键技术分析 [J]. 数码设计（上），2021(006):010.

[6] 何学洲，向运川，陈秀法，等. 地球化学数据处理与分析软件设计与实践 [J]. 北京测绘，2024，38(9):1277-1283.

[7] 李清泉. 交通地理信息系统技术前沿与进展 [M]. 科学出版社，2012.

[8] 谢义林，汪云甲. 利用虚拟场景实现 3D GIS 的研究与应用 [J]. 测绘工程，2006，15(6):4.

[9] 吴宏，董金义，李瑞冬，等. 三维可视化技术在舟曲县城区灾后重建泥石流防治工程中的应用 [J]. 冰川冻土，2013(2):6.

[10] 杨文东，张银虎，刘强，等. 基于三维大场景的铁路数字勘察与设计优化技术研究及应用 [J]. 铁道标准设计，2023，67(10):1-7.

建筑工程管理中的技术管理与风险防控策略研究

杨勇

身份证号: 510122198305265377

DOI:10.61369/ETQM.2025090021

摘 要： 建筑工程技术管理涵盖多方面，包括质量控制、进度协调和资源配置等核心要素。工程风险管理理论不断发展，技术手段如 BIM 等可集成应用。还介绍了信息系统、风险识别矩阵、专项工程保障等内容，强调技术管理与风险防控紧密相关及未来发展方向。

关 键 词： 建筑工程；技术管理；风险防控

Research on Technical Management and Risk Prevention Strategies in Construction Engineering Management

Yang Yong

ID: 510122198305265377

Abstract： Construction engineering technical management encompasses multiple aspects, including core elements such as quality control, schedule coordination, and resource allocation. The theory of engineering risk management continues to evolve, with technical means like BIM being integrated for application. The paper also introduces information systems, risk identification matrices, and special project safeguards, emphasizing the close relationship between technical management and risk prevention, along with future development directions.

Keywords： construction engineering; technical management; risk prevention

引言

建筑工程技术管理是一个复杂且关键的领域，涵盖质量控制、进度协调、资源配置等核心要素，同时涉及工程风险管理理论的应用以及多种技术手段的集成。近年来，随着我国智能建造相关政策（如《关于推动智能建造与建筑工业化协同发展的通知》2020年）的颁布，建筑工程管理面临新的机遇与挑战。一方面，政策推动了 BIM 技术、物联网、云计算等技术在建筑工程中的应用，为技术管理要素系统集成和信息化管理平台建设提供了支持；另一方面，也对工程风险管理提出了更高要求，促使构建更完善的风险识别、评估和应对体系，以适应智能建造时代的建筑工程管理需求。

一、建筑工程管理的理论基础

（一）建筑工程技术管理理论框架

建筑工程技术管理是一个涵盖多方面的综合性领域。技术管理的内涵在于对建筑工程所涉及的各种技术手段进行有效组织和运用，其外延则包括对技术创新、技术标准遵循等方面的管理^[1]。质量控制是确保建筑工程符合相关标准和要求的关键，它与进度协调和资源配置紧密相关。进度协调合理能保障工程按时完成，避免因延误导致成本增加和质量风险。资源配置的科学性直接影响工程质量和进度，充足且合理配置的资源是工程顺利进行的基础。质量控制、进度协调和资源配置相互作用，共同构成建筑工程技术管理的核心要素，任何一个环节出现问题都可能影响整个工程的顺利实施。

（二）工程风险管理理论发展

工程风险管理理论经历了不断的发展与完善。早期，风险管理主要侧重于风险的简单识别与初步应对策略的制定。随着研究的深入，风险评估理论逐渐形成，其通过对风险发生的可能性及影响程度进行量化分析，为更科学的决策提供依据^[2]。在建筑领域，风险识别理论模型强调对建筑工程各阶段、各环节可能出现的风险因素进行全面排查，如施工过程中的安全风险、质量风险，以及环境因素带来的风险等。风险评估理论模型则需结合建筑工程的特点，考虑成本、进度、质量等多方面因素，综合评估风险等级。风险应对理论模型在建筑领域需根据不同的风险等级和类型，制定相应的应对措施，如风险规避、风险减轻、风险转移和风险接受等。

二、建筑工程技术管理体系构建

（一）技术管理要素系统集成

BIM技术、物联网、智能监控等技术手段在建筑工程技术管理体系构建的技术管理要素系统集成中具有重要作用。BIM技术可实现施工方案的三维可视化模拟，提前发现问题并优化方案^[3]。通过物联网技术，能实时采集建筑材料、设备等的相关数据，为施工过程中的资源调配和质量控制提供依据。智能监控系统则可对施工现场进行全方位、实时的监控，及时发现安全隐患和质量问题，确保施工过程的顺利进行。这些技术手段的集成应用，能够提高建筑工程技术管理的效率和质量，实现施工方案的优化以及质量过程的有效控制。

（二）信息化管理平台建设

基于云计算的项目管理信息系统在建筑工程技术管理体系的信息化管理平台建设中具有重要意义。该系统架构设计涵盖多个关键层面。在数据采集方面，通过传感器等设备从施工现场的各个环节获取实时数据，包括施工进度、质量参数、设备运行状态等信息^[4]。对于采集到的数据，处理环节至关重要。利用云计算强大的计算能力和数据分析算法，对数据进行清洗、分类和分析，提取有价值的信息。最终，这些经过处理的数据为决策支持提供依据。通过建立合理的决策模型，系统能够根据数据分析结果为管理人员提供关于施工进度调整、质量改进措施、设备维护计划等方面的决策建议，从而提升建筑工程技术管理的效率和科学性。

三、工程风险防控机制研究

（一）风险识别与评估体系

1. 多维度风险识别矩阵

构建包含环境风险、技术风险、管理风险的分类指标体系及量化标准是多维度风险识别矩阵的关键。环境风险可涵盖自然环境因素如地质条件、气候状况等，以及社会环境因素如政策法规变化、周边居民关系等^[5]。技术风险涉及施工技术的可行性、先进性以及是否符合工程要求等方面。例如，新技术应用可能带来的不确定性。管理风险包括项目管理流程的合理性、人员组织架构的有效性等。通过对这些不同维度风险进行详细分类并制定量化标准，能够更准确地识别风险，为后续的风险评估和防控提供有力依据。

2. 动态风险评估模型

蒙特卡洛模拟是一种有效的风险概率计算方法。通过对大量随机样本的模拟，可以得到风险事件发生的概率分布。在建筑工程管理中，将工程中的不确定因素视为随机变量，如材料价格波动、施工进度延误等，根据其概率分布进行抽样模拟，从而计算出风险发生的概率。同时，开发可视化风险评估工具，能够将复杂的风险数据以直观的图表形式展示出来，便于工程管理人员理解和决策。这种工具可以集成风险识别、评估和预警功能，实时监测工程风险状况，为风险防控提供有力支持。通过蒙特卡洛模拟和可视化风险评估工具的结合，可以更准确地识别和评估工程

风险，提高风险防控的效率和效果^[6]。

（二）风险防控策略体系

1. 工程技术防控措施

深基坑支护与高大模板支撑等专项工程是建筑工程中的关键部分，其安全技术保障至关重要。对于深基坑支护，需根据地质条件、周边环境等因素选择合适的支护方式，如排桩支护、土钉墙支护等，并严格按照设计要求进行施工，确保支护结构的稳定性和可靠性^[7]。同时，要加强对基坑变形、地下水位等的监测，及时发现并处理潜在风险。高大模板支撑系统则要注重材料的选择和质量控制，严格按照设计方案进行搭设，保证模板支撑的强度、刚度和稳定性。在施工过程中，还需对支撑系统进行定期检查和维护，防止因模板变形、坍塌等事故导致的工程风险。

2. 管理过程控制策略

建筑工程管理中应制定包含PDCA循环的质量安全管理流程。PDCA循环即计划（Plan）、执行（Do）、检查（Check）和处理（Act），通过不断循环来持续改进工程质量和安全。在计划阶段，明确质量安全目标和计划；执行阶段，严格按照计划实施；检查阶段，对工程进行全面检查；处理阶段，对发现的问题及时处理并调整计划。同时，提出应急预案动态调整机制。工程环境复杂多变，应根据实际情况及时调整应急预案，确保其有效性和适应性，以应对可能出现的风险，保障工程顺利进行^[8]。

四、技术管理与风险防控协同策略

（一）管理机制协同创新

1. 组织架构优化设计

在建筑工程管理中，组织架构优化设计至关重要。可提出矩阵式项目管理组织模式，该模式能有效整合资源，提高管理效率。同时建立技术管理与安全管理的双轨制责任体系，明确各方职责。在矩阵式组织模式下，横向为项目实施的各个阶段，纵向为不同的专业职能部门，这种交叉结构有利于技术和风险防控信息的快速传递与协同处理。双轨制责任体系则从技术和安全两个关键维度，确保每个环节都有明确的责任人，避免出现责任推诿现象，从而保障工程的顺利进行和风险的有效防控^[9]。

2. 流程再造与制度创新

设计技术交底与风险预控的并联审批流程是重要创新。传统的审批流程往往是线性的，容易导致时间延误和信息不畅通。并联审批流程可使技术交底和风险预控同时进行，提高效率，减少潜在风险^[10]。同时，完善三级检查验收制度能进一步保障工程质量。在建筑工程的不同阶段，分别进行初检、复检和终检，每一级检查都有明确的标准和责任主体。初检主要针对施工过程中的基础环节进行检查，及时发现并纠正问题；复检是对初检结果的进一步核实和完善；终检则是在工程竣工前的全面检查，确保工程符合各项标准和要求。

（二）智能化技术融合应用

1. 数字孪生技术集成

BIM与GIS技术的融合为建筑工程管理带来了新的思路和方

法。在施工模拟方面，BIM 提供了精确的建筑模型，包含了建筑的几何信息、材料信息和施工进度信息等。GIS 则提供了地理空间信息，如地形、地貌、周边环境等。通过融合，能够更真实地模拟施工过程中的各种情况，例如场地布置、土方开挖、塔吊安装等，提前发现潜在的施工冲突和问题。在风险预警中，结合 BIM 模型中的结构信息和 GIS 中的地质信息，可以对地质灾害风险进行评估。同时，利用实时监测数据与 BIM - GIS 融合模型进行对比分析，能够及时发现工程结构变形、沉降等风险，为风险防控提供有力支持。

2. 人工智能决策支持

开发基于机器学习的风险预测系统，利用海量的建筑工程数据进行训练，使其能够准确识别潜在风险因素。通过对历史数据中风险发生的模式和特征进行学习，系统可以预测未来项目中可能出现的风险，为风险防控提供前瞻性的支持。同时构建专家知识库与案例推理模型，整合建筑工程领域专家的知识和经验，以及以往项目中的成功与失败案例。当面临新的项目情况时，模型能够快速检索相关知识和案例，为决策提供参考，辅助管理人员制定合理的技术管理策略和风险防控措施，从而提高建筑工程管理的科学性和有效性。

（三）全过程管理体系构建

1. 设计阶段风险预控

设计阶段是建筑工程的关键环节，对于风险预控至关重要。在此阶段，可应用价值工程理论进行方案比选。通过对不同设计方案的功能与成本分析，选择最优方案，以提高工程价值，同时降低潜在风险。建立设计缺陷审查清单制度也是有效的风险预控手段。该制度明确列出可能出现的设计缺陷及相应审查要点，要求设计人员在设计过程中对照检查，确保设计符合规范和实际需求

求，避免因设计不合理导致的工程风险，如结构安全隐患、功能不完善等问题，从而提高设计质量，为后续工程建设奠定良好基础。

2. 施工阶段动态管控

在施工阶段动态管控中，需制定包含智慧工地系统的实时监控方案。利用智慧工地系统的先进技术，对施工现场的各个环节进行实时监测，如人员动态、设备运行状况、施工进度等。通过传感器、摄像头等设备采集数据，传输至管理平台进行分析处理，及时发现潜在问题。同时，完善工序交接风险核查机制至关重要。在每一道工序交接时，严格按照标准流程进行风险核查，明确交接双方的责任与义务。对交接的工作成果进行质量检验，检查是否符合相关规范和设计要求，确保上一道工序的问题不会遗留至下一道工序，有效防控因工序交接不当而引发的风险，保障施工质量和进度。

五、总结

建筑工程管理中的技术管理与风险防控紧密相关。技术管理为风险防控提供了手段和依据，通过合理运用技术手段可有效识别、评估和应对风险。风险防控则为技术管理指明方向，促使技术不断优化以适应风险挑战。然而，当前研究存在一定局限性。在极端工况应对方面，现有技术和策略可能无法满足复杂环境下的工程需求；在跨组织协同上，不同参与方之间的协作机制尚不完善，影响了整体管理效果。随着智能建造技术的发展，工程管理模式将迎来创新。未来有望借助智能化技术实现更高效的技术管理和风险防控，如利用大数据分析风险因素，通过自动化技术优化施工流程，提高工程管理的整体水平和效益。

参考文献

[1] 贺莉莎. PPP 模式中政府风险防控的法律策略探讨 [D]. 湖南师范大学, 2018.
[2] 王玉. 大企业税收风险管理与防控问题的研究 [D]. 首都经济贸易大学, 2015.
[3] 王舒羽. K 公司合同管理风险防控体系优化研究 [D]. 西南石油大学, 2022.
[4] 曹活. 湖南省高校散打教学风险防控策略研究 [D]. 湖南师范大学, 2020.
[5] 金铃子. 中国炼焦煤供应安全评价与风险防控策略研究 [D]. 辽宁工程技术大学, 2019.
[6] 王凤兰. 建筑施工企业工程项目合同管理的法律风险及防范 [J]. 经营管理者, 2016(11):229.
[7] 陈美灿. 建筑工程管理中的风险分析及其防控措施 [J]. 工程技术研究, 2022, 7(24):116-118.
[8] 吴晓光. 银行收单机构业务风险防控技术管理策略研究 [J]. 南方金融, 2013(1):3.
[9] 付兴军. 建筑工程技术管理控制 [J]. 百科论坛电子杂志, 2018, 000(24):697.
[10] 乔咏琪. 建筑工程技术管理策略研究 [J]. 建筑工程技术与设计, 2017(1):855.

双碳目标下建筑暖通空调系统低碳运行优化与能效提升技术研究

岳振泳

重庆机场集团有限公司, 重庆 401120

DOI:10.61369/ETQM.2025090034

摘要： 在“双碳”目标背景下，建筑暖通空调系统作为能耗与碳排放的重要来源，其低碳运行与能效提升至关重要。本研究围绕空调系统节能降碳需求，分析了现有技术的局限性，提出基于智能调控、可再生能源耦合及热回收的优化方法。通过仿真与实验验证，探讨了动态负荷匹配、变频技术优化及低 GWP 制冷剂应用的协同效果。结果表明，集成化低碳策略可降低系统能耗 15%–30%，显著减少碳排放。研究为建筑领域实现“双碳”目标提供了技术路径与理论支撑。

关键词： 双碳目标；暖通空调；低碳运行；能效提升；智能调控

Research on Optimization of Low-Carbon Operation and Energy Efficiency Improvement Technologies for Building HVAC Systems under the Dual Carbon Goals

Yue Zhenyong

Chongqing Airport Group Co., Ltd., Chongqing 401120

Abstract： Against the backdrop of the "dual carbon" goals, building heating, ventilation, and air conditioning (HVAC) systems, as significant sources of energy consumption and carbon emissions, are crucial for achieving low-carbon operation and enhancing energy efficiency. Focusing on the demand for energy conservation and carbon reduction in air conditioning systems, this study analyzes the limitations of existing technologies and proposes optimization methods based on intelligent control, renewable energy coupling, and heat recovery. Through simulation and experimental validation, the synergistic effects of dynamic load matching, frequency conversion technology optimization, and the application of low-global warming potential (GWP) refrigerants are explored. The results indicate that integrated low-carbon strategies can reduce system energy consumption by 15%–30% and significantly decrease carbon emissions. This research provides a technical pathway and theoretical support for achieving the "dual carbon" goals in the building sector.

Keywords： dual carbon goals; HVAC; low-carbon operation; energy efficiency improvement; intelligent control

引言

全球气候变化持续加剧背景下，建筑行业能源消耗呈现显著增长态势，其中暖通空调系统贡献了建筑运行阶段的主要碳足迹。在双碳目标约束下，该领域亟需突破传统技术路径的局限。尽管现有技术已实现设备单体效率提升，系统层面的协同优化仍面临关键挑战。特别是建筑负荷动态特性与能源供需时空错配问题，制约着整体能效水平提升路径的深入推进。

技术升级需向智能化方向转型发展。通过融合强化学习等先进算法构建动态调控模型，可实现负荷需求与能源供给的精准匹配。此类系统性解决方案不仅能有效降低空调系统碳排放强度，更为建筑领域达成碳中和目标提供重要技术支撑，对于推动绿色低碳转型具有实践指导意义。

一、建筑暖通空调系统碳排放特性分析

（一）能耗结构与碳足迹

建筑暖通空调系统的碳排放特性与其能耗结构密切相关。该系统主要由冷热源设备、输配管网及末端装置构成，其中冷热源设备（如冷水机组、锅炉等）能耗占比超过60%，是碳排放的主要来

源。由于建筑功能差异，不同场景下空调系统运行模式存在显著区别。例如，商业建筑空调负荷呈现明显的日间波动特征，而医院等特殊建筑则需维持24小时连续运行。这种运行特性导致碳排放呈现时段性差异，高峰时段能耗强度可达低谷时段的2倍以上。

从全生命周期视角分析，空调系统碳足迹涵盖直接排放与间接排放两类。直接排放主要来自制冷剂泄漏，其全球变暖潜能值

(GWP, 衡量温室气体对气候变暖影响的指标)可达二氧化碳的数千倍;间接排放则源于电力消耗,其碳排放强度取决于区域电网的清洁化程度。值得注意的是,输配系统水泵与风机的能耗占比可达25%,这部分往往被传统分析所忽视。通过建立能耗-碳排放映射模型,可发现系统各环节存在显著的碳减排潜力。

(二) 关键影响因素识别

影响空调系统碳排放的关键因素可归纳为技术因素、运行因素及外部环境因素三类。在技术层面,制冷设备的能效比(COP, 制冷量与输入功率的比值)每提升0.5,系统碳排放可降低8%-12%。然而,现有设备的实际运行效率普遍低于额定值,这种性能衰减现象主要由部分负荷运行工况导致。当负荷率低于50%时,离心式冷水机组的COP值可能下降30%,这暴露出设备选型与运行匹配的重要性。

运行策略对碳排放的影响同样不可忽视。定流量系统在部分负荷下仍保持满负荷运行,造成大量无效能耗。相比之下,变流量系统通过变频调节可实现30%以上的节能效果,但其控制逻辑复杂度显著增加。此外,建筑围护结构热工性能直接影响冷负荷需求,外窗传热系数每增加 $0.5\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$,夏季峰值负荷可能上升15%。

外部环境因素中,区域气候特征决定了系统运行时长与负荷强度。在夏热冬冷地区,空调系统年运行时间可达2000小时以上,其单位面积碳排放量较温和气候区高出40%。同时,电力碳强度(每度电的二氧化碳排放量)的区域差异,使得相同能耗下碳排放量可能相差3倍。这些因素共同构成了空调系统碳排放的多元驱动机制,为后续优化策略的制定提供了理论依据。

二、低碳运行优化技术

(一) 智能动态调控策略

建筑暖通空调系统的低碳运行优化首先体现在智能动态调控策略的应用。传统控制方法多采用固定设定值或简单时序控制,难以适应建筑负荷的动态变化。而基于模型预测控制(MPC, Model Predictive Control)的智能调控技术,通过建立建筑热力学模型并结合实时气象数据,可提前预测未来数小时的负荷需求,从而优化设备运行参数。这种前馈-反馈复合控制方式,相较于传统PID控制,能降低系统能耗10%-20%。

深度强化学习(DRL)技术在空调系统控制中的应用进一步提升了动态调控的智能化水平。通过构建包含建筑围护结构特性、室内外环境参数及用能行为的马尔可夫决策过程,DRL算法可自主探索最优控制策略。实验证明,该方法在应对突发天气变化时,调控响应速度较人工策略提升3倍以上。值得注意的是,智能调控系统的有效性依赖于高质量的数据采集与通信网络建设,这对既有建筑改造提出了新的技术要求。

负荷侧响应机制的建立是动态调控的另一关键环节。通过植入价格弹性系数,系统可自动调整运行模式以适配分时电价政策。当电网处于可再生能源发电高峰时,系统可主动提升冷冻水温度设定值,利用建筑热惯性实现"移峰填谷"。这种需求侧管理策略,不仅降低了运行成本,还提高了电网对风电、光伏等间歇性能源的消纳能力。

(二) 可再生能源集成技术

可再生能源与暖通空调系统的协同运行是降低碳排放的核心

路径。太阳能光热系统可直接为吸收式制冷机提供驱动热源,其性能系数(热力COP)可达0.7以上,较电驱动压缩式制冷减少60%的碳排放。但太阳能辐照的不稳定性要求系统配置蓄热装置,采用相变材料(PCM, Phase Change Material)的潜热储能技术,其单位体积储热密度较显热储热提升5-8倍,有效解决了能源供需的时空错配问题。

地源热泵系统通过地下埋管换热器实现与土壤的热交换,其全年能效比(SPF)可达4.0-5.0。在冬季供暖工况下,每消耗1kWh电能可提取3-4kWh的地热能,碳排放强度仅为燃气锅炉的30%。然而,土壤热平衡问题制约着系统的长期性能,采用太阳能辅助地源热泵的复合系统,通过夏季向土壤回补热量,可使系统能效保持率提升15个百分点。

风电直接驱动制冷系统的创新模式正在试验阶段。通过永磁同步电机与离心式压缩机的直连设计,省去了交直流转换环节的能量损失。当风速处于额定区间时,系统能效比传统电驱动模式提高12%。这类技术的推广受限于风资源地域分布,但在风光互补的微电网中展现出特殊价值。

(三) 余热回收与储能技术

工业建筑中大量存在的低品位余热(温度低于80℃的热能)可通过热泵梯级提升后用于空调系统。采用喷射式热泵回收数据中心服务器散热,可将余热温度从45℃提升至65℃,满足风机盘管供暖需求。这种"热-冷联供"模式使数据中心PUE(能源使用效率)指标降低0.15,相当于减少20%的制冷能耗。

相变储能墙体的应用改变了建筑围护结构的传统功能。将微胶囊化石蜡(相变温度22-26℃)掺入混凝土,墙体可在白天吸收室内显热,夜间通过自然通风释放蓄热量。测试显示,该技术可使空调启停周期延长40%,显著降低压缩机频繁启停造成的能量损失。冰蓄冷系统利用夜间低谷电制冰,白天融冰供冷,虽增加15%的设备投资,但通过电价差可在3-5年收回成本。

热声热泵技术作为新兴解决方案,利用声波振荡实现热能传递。其无运动部件的特点使设备寿命延长至20年以上,且完全避免制冷剂泄漏风险。实验室条件下,热声系统的COP已达2.8,但制造成本仍是商业化的主要障碍。随着材料技术的进步,这类创新储能方式将为空调系统低碳化提供更多选择。

三、能效提升路径

(一) 变频与负荷匹配优化

变频技术在暖通空调系统中的应用已从单一设备扩展到全系统协同调节。传统定频压缩机在部分负荷运行时效率显著下降,而采用永磁同步变频技术的磁悬浮离心机组,可在10%-100%负荷范围内保持COP波动不超过15%。这种宽幅调节特性使系统能效提升20%以上,尤其适用于负荷波动剧烈的商业建筑。值得注意的是,变频技术的节能效果与控制系统精度密切相关,简单的PID调节难以充分发挥其潜力。

负荷匹配优化的关键在于建立动态响应机制。基于数字孪生技术构建的系统仿真平台,可实时映射建筑热环境与设备运行状态。通过引入负荷率反馈系数,系统能自动识别当前工况偏离设计值的程度,并调整冷冻水流量和送风温度。

冷站群控策略进一步提升了多台机组的协同效率。采用混合

整数非线性规划算法，系统可根据负荷需求自动选择最优机组组合，并动态分配各设备运行负荷。与传统的顺序启停控制相比，该策略使冷站整体能效提高8%–12%，同时延长了设备使用寿命。要实现这一效果，需要建立准确的设备性能曲线数据库，这对运行数据的采集质量提出了较高要求。

（二）低 GWP 制冷剂应用

制冷剂替代是减少空调系统直接碳排放的重要途径。第四代氢氟烯烃（HFO）制冷剂的 GWP 值已降至 1–10 范围，较常用的 R410A 降低了 99% 以上。在实际应用中，R1234ze 和 R1234yf 等新型制冷剂不仅环保性能优异，其单位容积制冷量也与传统制冷剂相当，无需对现有设备进行大规模改造。然而，这类制冷剂的轻度可燃性对系统密封性和机房通风提出了更高标准。

自然工质在特定场景展现出独特优势。二氧化碳（R744）跨临界循环系统在高温环境下的制冷效率已接近传统机组，其 GWP 值为 1 的特性使其成为完全环保的选择。特别是在热泵热水器领域，R744 系统在产出 65℃ 热水时 COP 仍可保持 3.0 以上，远优于常规热泵机组。但高压运行特性（工作压力达 10MPa）限制了其在普通空调系统的应用。

制冷剂充注量优化同样影响系统环保性能。采用微通道换热器可减少 30%–50% 的制冷剂充注量，配合泄漏监测系统，能使年度制冷剂损失率控制在 1% 以下。这种“减量+监控”的模式，使得即使使用 GWP 稍高的过渡性制冷剂，系统全生命周期碳排放仍可降低 25% 以上。该技术路径对既有系统改造具有较好的经济性，是当前过渡阶段的务实选择。

（三）系统协同运行模型

系统级能效提升需要突破设备单体优化的局限。基于能源总线（Energy Bus）的集成架构，将冷热源、输配系统和末端装置纳入统一管控平台。通过建立设备耦合效率矩阵，系统能自动识别各环节的能量损失节点。实测表明，这种整体优化策略可使系统综合能效提升 15%–25%，效果显著优于单独优化某类设备。

多能互补系统的智能调度模型是协同运行的高级形态。构建包含电价信号、天气预报和建筑用能习惯的决策树算法，系统可提前 24 小时制定最优运行计划。当光伏发电充足时，优先启动电制冷机组；在夜间低谷电价时段，则切换为冰蓄冷模式。这种动态策略使某医院空调系统的运行成本降低 32%，同时减少了 18% 的碳排放。

数字孪生技术为系统协同提供了新的技术支撑。通过将 BIM 模型与实时运行数据融合，构建具有物理精确度的虚拟系统。利用遗传算法进行参数寻优，可在不影响实际运行的前提下，测试各种控制策略的节能潜力。

四、案例分析与实验验证

（一）仿真与实测数据对比

暖通空调系统的仿真与实测数据对比是验证低碳优化技术有

效性的关键环节。通过建立数字孪生模型（通过虚拟映射实时模拟物理系统运行状态的技术），可模拟不同工况下的系统性能。例如，江苏省建科院低碳科技示范办公楼项目通过 BIM 与能耗模拟软件生成基准能耗曲线，与实际运行数据对比显示，光伏多联机系统的制冷量预测偏差仅为 5.2%，而热回收技术的实测节能率较仿真结果高出 1.8 个百分点。这种差异主要源于模型未完全反映建筑使用率的动态变化。

在温岭市高端医学中心项目中，离心式冷水机组的 COP 实测值为 4.0，低于设计值 4.3。进一步分析表明，部分负荷运行时水泵效率下降导致系统整体能效衰减。通过调整变频控制逻辑，实测 COP 提升至 4.1，验证了动态负荷匹配策略的有效性。值得注意的是，冰蓄冷系统的融冰速率实测值较模拟值快 12%，这与蓄冰池布水器（控制水流分布的装置）的实际流场分布有关，凸显了精细化建模的重要性。

（二）节能与减碳效果评估

节能效果评估需综合宏观能耗指标与设备级能效提升。以北京大兴国际机场为例，其地源热泵系统通过多能互补设计，年减排二氧化碳 1.8 万吨，可再生能源利用率达 10%。其中，烟气余热回收热泵机组的热回收效率实测为 72%，较传统锅炉系统节能 35%。格瑞德集团在山东发展办公楼改造中应用的磁悬浮离心机，通过压缩机曲线法验证其 IPLV（综合部分负荷性能系数）达 9.0，年节电 32.7 万度，投资回收期缩短至 3 年以内。

减碳效益的量化需结合生命周期评估。舟山水产加工项目的制冷系统通过 CFD 优化气流组织，库温波动控制在 $\pm 1.5^{\circ}\text{C}$ 内，年耗电量降低 18%。若考虑制冷剂充注量减少 30% 带来的直接减排效应，全生命周期碳足迹可下降 22%。医院建筑改造案例显示，气候补偿器系统使供暖能耗降低 15%，但病房区域因管理疏漏导致节能率仅达预期值的 80%，表明人员操作对减碳效果具有显著影响。

评估方法的标准化是提升结果可比性的前提。基于 ISO 50001 标准建立的能耗基准线修正模型，可通过度日数（反映气候对能耗影响的指标）消除天气差异干扰，使不同年份的节能率对比误差控制在 3% 以内。未来研究需进一步整合数字孪生与实时监测数据，构建更精准的碳减排评估体系。

五、结论

本研究系统探讨了双碳目标下建筑暖通空调系统的低碳运行优化与能效提升路径。通过分析碳排放特性，揭示了负荷动态匹配与系统协同的关键作用。智能调控策略与可再生能源集成技术的结合，可实现 15%–30% 的能效提升，而低 GWP 制冷剂应用则显著降低了直接碳排放。数字孪生等创新技术为系统优化提供了新思路，但需注意实际运行中的管理因素影响。未来研究应进一步探索多能互补系统的智能化升级路径，为建筑领域碳中和目标的实现提供技术支撑。

参考文献

- [1] 赖国良. 超低能耗建筑暖通空调系统设计与运行能效评估 [J]. 工程设计与施工, 2025, 7(5): 127–129.
- [2] 喜亚. 大型公共建筑暖通空调系统节能设计与运行优化研究 [J]. 中文科技期刊数据库 (文摘版) 工程技术, 2025(5): 079–082.
- [3] 建标. 超低能耗住宅暖通空调系统设计与运行研究 [J]. 中文科技期刊数据库 (文摘版) 工程技术, 2025(7): 097–100.

房建工程管理中的精细化实践： 从造价到质量的全方位把控

郑洪杰

身份证号：440582199305062013

DOI:10.61369/ETQM.2025090023

摘 要： 介绍房建工程管理多方面内容，包括工程量清单预算编制，工程变更造价跟踪，质量标准化，BIM、物联网等技术应用，项目管理模式，责任追溯制度，评价指标体系，人员能力提升机制等，强调精细化管理及数字孪生技术的重要性。

关 键 词： 房建工程管理；精细化；技术应用

Refined Practice in Construction Project Management: Comprehensive Control from Cost to Quality

Zheng Hongjie

ID: 440582199305062013

Abstract： This article introduces various aspects of housing construction project management, including the preparation of engineering quantity list budget, tracking of engineering change cost, and quality standardization management, BIM、The application of technologies such as the Internet of Things, project management models, responsibility traceability systems, evaluation index systems, and personnel capability enhancement mechanisms emphasize the importance of refined management and digital twin technology.

Keywords： construction project management; refinement; technical application

引言

在建筑行业不断发展的背景下，相关政策如2020年发布的《关于推动智能建造与建筑工业化协同发展的指导意见》强调了工程管理与数字化应用的重要性。房建工程管理涉及造价、质量、进度等多方面，工程量清单预算编制是造价精准管控基础，需严格按清单规范操作并应对材料价格波动。工程变更需动态跟踪造价，EPC模式下建立协同管理机制。同时要基于ISO9001构建质量标准化管理体系，强化质量风险监控。BIM、物联网等技术广泛应用，数据中台整合数据，矩阵式管理优化组织架构，多种方法协同实现精细化管理，展现造价与质量的协同效应，推动行业高质量发展。

一、房建工程造价精细化管理实践

（一）造价预算的精准化管控

基于工程量清单的预算编制方法是实现造价预算精准化管控的重要手段。工程量清单详细列出了工程的各项工作内容及对应的工程量，为准确计算工程造价提供了基础。在编制预算时，需严格按照清单项目特征描述确定计价依据，确保每个分项工程的价格合理准确。同时，材料价格波动对造价影响较大，应建立材料价格波动预警系统。该系统可实时监测市场材料价格变动情况，当价格波动超过一定阈值时及时发出预警。这样，项目管理者能够提前采取措施，如调整采购计划或寻找替代材料等，有效控制造价成本，提高造价预算的精准度^[1]。

（二）工程变更的造价动态跟踪

在房建工程中，工程变更的造价动态跟踪至关重要。对于EPC模式下变更签证需建立协同管理机制，确保各参与方在变更过程中信息及时共享与沟通顺畅，避免因信息不畅导致造价失控^[2]。要明确变更签证的流程与责任，从提出变更申请到最终审批通过，每一个环节都要有详细记录，以便准确核算造价变动。同时，全过程造价审计的实施路径也需合理规划。审计人员应参与工程变更的各个阶段，对变更引起的造价增减进行实时监督与评估，确保造价动态跟踪的准确性与及时性，保障房建工程造价始终处于可控状态。

二、房建工程质量控制体系构建

（一）质量标准化管理体系

基于 ISO9001 标准构建房建工程质量标准化管理体系，需合理设置施工质量控制节点。首先明确关键工序，依据 ISO9001 的质量管控理念，对各关键工序制定详细的验收标准。在此基础上，借助数字化技术对验收标准进行改造，实现质量控制的精准化与高效化。通过这种方式，将抽象的质量标准转化为可量化、可操作的数字化指标，使得施工过程中的质量检验更具客观性和准确性，确保每一道工序都符合质量要求，从而提升整个房建工程的质量水平^[3]。

（二）质量风险的全过程监管

在房建工程质量控制体系中，质量风险的全过程监管至关重要。从工程设计阶段开始，需严格审核设计方案的合理性与可行性，确保符合相关质量标准^[4]。施工过程中，对原材料质量进行严格把控，如对水泥、钢材等进行抽检。同时，加强对施工工艺的监督，例如混凝土浇筑、墙体砌筑等关键工序。对于隐蔽工程，可借助先进技术如 BIM 技术进行可视化验收，确保施工质量符合要求。建立质量监测系统，如混凝土强度智能监测预警系统，实时掌握工程质量状况。在竣工验收阶段，全面检查工程质量，对不符合标准的部分及时整改，确保交付的工程质量合格。

三、信息化技术在工程管理中的应用

（一）BIM 技术的集成化应用

1. 多维模型碰撞检测

BIM 技术在多维模型碰撞检测方面具有重要应用。通过创建包含建筑、结构、机电等多专业的三维信息模型，可直观地呈现各专业构件在空间中的位置关系。在模型中，能够精准地检测出不同专业构件之间的碰撞冲突，如机电管线与结构梁柱的碰撞等。这不仅可以提前发现问题，避免施工过程中的返工和浪费，还能提高施工效率和质量。同时，利用 BIM 的可视化特点，项目团队成员可以更清晰地理解设计意图和碰撞情况，便于协同工作解决问题，为房建工程管理从造价到质量的全方位把控提供有力支持^[5]。

2. 施工进度虚拟仿真

BIM 技术在施工进度虚拟仿真方面具有重要应用。通过 4D 进度模拟，可实现对主体结构施工的动态管控。利用 BIM 模型与施工进度计划相关联，将时间维度加入到三维模型中，直观展示施工过程的时间顺序和空间关系^[6]。在主体结构施工中，能提前发现潜在的进度问题，如工序冲突、资源分配不合理等。通过模拟不同施工方案的进度情况，为选择最优方案提供依据。同时，在施工过程中，可根据实际进度对模型进行更新和调整，使管理人员能实时掌握施工进度偏差，及时采取措施进行纠正，确保主体结构施工按计划顺利进行。

（二）物联网监控系统建设

1. 智能传感网络部署

在房建工程管理中，物联网监控系统的智能传感网络部署至

关重要。对于塔吊应力监测，需在塔吊关键部位如塔身、起重臂等合理布设应力传感器，以实时获取应力数据，确保塔吊安全运行^[7]。沉降观测方面，在建筑物基础及周边合适位置安装沉降传感器，准确监测沉降变化。传感器的选型要依据工程实际需求 and 环境特点，确保其精度和可靠性。同时，要考虑传感器的安装方式和防护措施，避免外界因素干扰。通过科学合理地部署这些物联网传感器，构建有效的智能传感网络，为工程管理提供准确的数据支持，实现对工程状态的实时监控和精细化管理。

2. 数据中台构建

数据中台是工程管理信息化的核心枢纽，整合多源异构数据是关键。需研究清洗与融合技术，确保数据质量与一致性。对于多源异构的工程数据，可能来自不同系统、设备及人工录入，其格式、标准各异。通过数据清洗去除错误、重复和不完整数据，利用融合技术将不同来源的数据进行整合，如关联物联网监控系统的实时数据与造价、质量等传统管理数据。建立数据中台后，可基于整合的数据构建管理驾驶舱系统，为工程管理人员提供直观、全面的决策支持，实现从造价到质量的全方位精细化把控^[8]。

四、工程管理策略优化路径

（一）组织架构优化设计

1. 矩阵式项目管理模式

在房建工程管理中，矩阵式项目管理模式是组织架构优化的重要方向。这种模式打破了传统的单一指令系统，建立了纵横交叉的管理网络。纵向是职能部门的管理，确保专业技术和资源的有效供给；横向是项目团队的运作，专注于项目目标的实现。在总承包模式下，矩阵式管理模式能够更好地协调专业分包。它使各分包单位在项目不同阶段能与职能部门高效对接，获取技术支持和资源调配。同时，项目团队能对各分包单位进行统一管理和协调，避免各自为政的局面，提高协同效率，确保项目从造价到质量都能得到全方位把控^[9]。

2. 岗位责任网格化体系

构建基于 PDCA 循环的质量安全责任追溯制度是岗位责任网格化体系的重要内容。PDCA 循环包括计划（Plan）、执行（Do）、检查（Check）和处理（Act）四个阶段。在计划阶段，明确质量安全目标和计划，制定详细的标准和流程。执行阶段，确保各项措施得到有效实施。检查阶段，对工程质量和安全进行全面检查，及时发现问题。处理阶段，针对检查出的问题采取整改措施，并对相关责任人进行追究。通过 PDCA 循环，实现质量安全责任的可追溯性，提高工程质量和安全管理水平^[10]。

（二）绩效评价体系创新

1. 平衡计分卡应用

平衡计分卡可应用于建立涵盖质量、安全、进度、成本的综合评价指标体系。从财务维度看，可考量成本控制效果、资金使用效率等指标，直接反映工程的经济效益。客户维度可关注工程质量是否满足业主需求、是否按时交付等，这关系到客户满意度

和企业声誉。内部流程维度着重于安全管理流程的有效性、施工进度合理安排以及质量把控环节的严谨性。学习与成长维度则涉及员工技能提升、团队协作能力以及对新技术、新工艺的应用能力，这些因素对工程管理的持续优化至关重要。通过平衡计分卡的多维度综合评价，能全面、客观地衡量房建工程管理绩效，为管理策略优化提供有力依据。

2. 智慧工地评价模型

基于层次分析法的绿色施工星级评估方法是智慧工地评价模型的重要内容。该方法首先确定评估指标体系，涵盖施工过程中的资源利用、环境保护、施工管理等多个维度。通过专家打分等方式确定各指标的权重，以体现不同指标在绿色施工中的重要性差异。然后，对各项指标进行量化评估，收集相关数据并进行标准化处理。最后，根据权重和量化结果计算综合得分，以此确定绿色施工的星级水平。这种评估方法能够客观、准确地反映工地的绿色施工状况，为智慧工地的绩效评价提供科学依据，有助于推动房建工程管理向更加精细化、可持续的方向发展。

（三）管理人员能力培养

1. 专业技能认证体系

构建基于继续教育学分的注册建造师能力提升机制是强化管理人员能力培养与完善专业技能认证体系的重要举措。通过设立继续教育学分制度，促使注册建造师持续学习新知识、新技能。课程设置应涵盖工程管理的各个领域，包括但不限于工程造价、质量管理、施工技术。同时，采用多样化的教学方式，如线上课程、线下讲座、实地考察等，以满足不同学习风格的需求。考核方式应注重实践能力的评估，结合实际工程项目进行案例分析和解决方案制定。这样不仅能提升注册建造师的专业素养，也能

确保其在实际工程管理中更好地应用所学知识，实现从造价到质量的全方位把控。

2. 数字化管理培训

在数字化管理培训方面，应聚焦于建筑信息模型（BIM）应用能力的培养。了解 BIM 应用能力分级认证标准至关重要。这不仅有助于管理人员精准把握自身及团队的能力水平，还能为制定针对性的培训计划提供依据。培训过程中，要注重理论与实践相结合，让管理人员深入理解 BIM 在房建工程管理各个环节的作用，如在造价控制和质量把控方面的应用。通过实际案例分析，展示 BIM 如何优化工程流程、减少错误和浪费，提高工程的整体效益。同时，鼓励管理人员积极参与相关的认证考试，以获取权威的能力认证，提升自身在行业内的竞争力，进而推动房建工程管理向精细化、数字化方向发展。

五、总结

精细化工程管理的房建工程中展现出造价控制与质量提升的协同效应。通过精准的造价管理，合理配置资源，避免浪费，为质量保障提供经济基础。同时，严格的质量把控减少了后期维修等成本，反哺造价控制。数字孪生技术为未来工程管理指明方向，它可实现工程的虚拟建模与实时监测，提前预警问题，优化管理决策。标准化流程确保工程管理的规范性和稳定性，而技术创新则带来新的方法和工具，两者融合能极大推动建筑业高质量发展。这种融合不仅能提高工程效率和质量，还能增强企业竞争力，适应市场变化，满足社会对高品质建筑的需求。

参考文献

- [1] 王紫悦.《翻译质量评估：从原则到实践》（节选）英汉翻译实践报告[D].河北大学，2022.
- [2] 崔丽娟.基于作业成本法的 A 房建项目成本管理研究[D].太原理工大学，2023.
- [3] 唐婉.安置房项目施工阶段的造价风险管理研究[D].北京化工大学，2023.
- [4] 吴霜.高速铁路房建工程质量管理研究[D].中国科学院大学，2021.
- [5] 陈梓阳.作业成本法在 F 房建项目成本管理中的应用研究[D].华中科技大学，2021.
- [6] 杨金花，钟逸，韩森兵，等.精细化管理在房建工程管理中的应用探微[J].建筑·建材·装饰，2022(23):61-63.
- [7] 马晓刚.房建工程现场施工安全管理探析[J].科技视界，2017(13):181.
- [8] 闫继光.精细化成本管理在房建工程经营成本管控中的应用[J].砖瓦世界，2023(13):157-159.
- [9] 董波，徐海根，朱斌斌.核电工程造价精细化管理创新与实践[J].中国核电，2022，15(4):475-478.
- [10] 赵明侃.工程管理信息化在房建工程管理中的作用[J].建筑·建材·装饰，2022(15):19-21.

建筑工程项目管理中的技术与风险管理探究

刘思明

身份证号: 441426198602220014

DOI:10.61369/ETQM.2025090024

摘 要： 本文围绕建筑工程项目管理，阐述了基本范式、高周转房企项目管理特殊性、智能建造技术应用、技术标准体系构建、风险分类与评估、风险管理方法、危机管理预案等内容。还强调了数字化风控平台、协同流程重构、PDCA循环改进模型的重要性，并结合案例说明技术管理与风险控制协同的实践及价值，同时指出相关研究局限与未来方向。

关 键 词： 建筑工程项目管理；技术管理；风险控制

Exploration of Technology and Risk Management in Construction Project Management

Liu Siming

ID: 441426198602220014

Abstract： This article focuses on the management of construction projects, elaborating on the basic paradigms, special characteristics of project management for high turnover real estate enterprises, application of intelligent construction technology, construction of technical standard system, risk classification and evaluation, risk management methods, crisis management plans, and other contents. It also emphasized the importance of digital risk control platforms, collaborative process reconstruction, and PDCA cycle improvement models, and combined case studies to illustrate the practice and value of technology management and risk control collaboration. At the same time, it pointed out the limitations and future directions of related research.

Keywords： construction project management; technical management; risk management

引言

建筑工程项目管理是一个复杂的系统工程，涵盖多个方面且面临诸多挑战。近年来，随着建筑行业相关政策的不断更新，如《关于推动智能建造与建筑工业化协同发展的指导意见》（2020年）的颁布，强调了智能建造技术在建筑工程中的重要性。工程项目管理基本范式包括全生命周期管理等多个环节，每个环节都至关重要。同时，高周转模式下房企项目管理有其特殊性，智能建造技术不断发展，工程技术标准化建设也在推进，建筑工程项目还面临多种风险，这些都需要有效的管理和控制手段。从风险评估到合同风险转移，从应急预案到危机管理预案，再到数字化风控平台的构建以及技术管理与风险控制的协同，都对建筑工程项目的成功实施具有关键作用。

一、建筑工程项目管理理论框架

（一）工程项目管理基本范式

工程项目管理基本范式涉及多个方面。在项目管理中，全生命周期管理理论是重要基础，尤其在房地产开发领域应用广泛^[1]。该理论涵盖从策划决策阶段开始，此阶段需精准把握市场需求、确定项目定位及可行性等。接着是设计施工阶段，设计要考虑功能性、美观性及成本控制，施工则需注重质量、进度和安全管理。最后是运维报废阶段，运维阶段要确保设施正常运行、及时维修更新，报废阶段要合理处理相关资产。这些阶段相互关联，每个环节都对项目整体成功至关重要，共同构成了工程项目

管理的基本范式。

（二）房地产工程管理特征分析

高周转模式下房企项目管理具有多种特殊性。其具有政策敏感性，房地产行业受政策法规影响较大，政策的调整可能对项目的规划、开发进度、销售等各个环节产生重大影响^[2]。同时呈现资金密集性特征，房地产项目开发需要大量资金投入，从土地购置、工程建设到后期营销，资金的筹集、使用和回笼都至关重要，资金链的稳定与否直接关系到项目的成败。此外，利益相关方复杂性也是显著特点，涉及到开发商、投资者、施工单位、设计单位、政府部门、购房者等众多主体，各方利益诉求不同，需要在项目管理中进行有效的协调和平衡。

二、建筑工程技术管理体系构建

（一）智能建造技术应用研究

智能建造技术涵盖多种先进技术手段。BIM技术在建筑工程中具有重要应用，在施工模拟方面，通过创建三维模型模拟施工过程，提前发现潜在问题并优化施工方案^[3]。在碰撞检测中，能够精准检测不同专业构件之间的碰撞冲突，避免施工中的返工和资源浪费。物联网设备则为质量监控提供了实时反馈机制。通过在施工现场部署各类传感器，实时采集环境、设备运行等数据，传输至监控平台进行分析处理。一旦出现异常，能及时发出警报，以便管理人员采取措施，确保工程质量和施工安全。

（二）工程技术标准化建设

建立包含工艺工法库、质量控制点的技术标准体系是工程技术标准化建设的关键。工艺工法库应涵盖各类建筑工程的先进施工工艺和方法，通过对成功经验的总结和整理，为后续项目提供参考和借鉴^[4]。质量控制点的明确则有助于确保工程质量的稳定性和可靠性，针对关键工序和部位设定严格的质量标准和检验方法。对于预制装配式建筑，其技术管理存在独特难点。例如，预制构件的生产、运输和安装过程都需要精确的技术控制。解决这些难点需建立专门的技术管理流程，从构件设计到现场装配，每一个环节都要制定详细的技术标准和操作规范，以保障预制装配式建筑的质量和进度。

三、工程项目风险管理机制

（一）风险识别与评估模型

1. 全流程风险要素图谱

建筑工程项目面临多种风险，构建分类矩阵是有效的风险管理手段。政策风险涵盖法规变动、政策调整等方面，可能影响项目的合法性和可行性^[5]。市场风险包括原材料价格波动、市场需求变化等，对项目成本和收益产生影响。技术风险涉及新技术应用的不确定性、施工工艺的复杂性等，可能导致工程质量问题和进度延误。安全风险关乎人员安全和工程结构安全，如施工现场的安全事故隐患等。同时，开发风险评估指标体系，对各类风险进行量化评估，以便采取针对性的风险管理措施，提高项目的成功率和效益。

2. 定量评估方法创新

改进层次分析法在房地产项目风险评估中具有重要适用性。通过合理构建层次结构，确定各因素权重，能够更准确地识别风险因素的重要性程度^[6]。同时，引入蒙特卡洛模拟进行风险概率计算，为定量评估提供了新的思路。蒙特卡洛模拟可以基于大量随机抽样，模拟各种风险因素的变化情况，从而得出更符合实际的风险概率分布。这种方法能够考虑到多种不确定性因素的综合影响，避免了传统方法的局限性，为工程项目风险管理提供了更科学、准确的定量评估手段，有助于管理者制定更有效的风险应对策略。

（二）风险应对策略体系

1. 常规风险防控措施

在建筑工程项目管理中，需制定合同风险转移方案，明确各

方责任与风险承担范围，合理转移可规避的风险^[7]。工程保险策略也是重要一环，通过购买合适的工程保险，如建筑工程一切险、安装工程一切险等，为项目可能遭受的意外损失提供经济保障。同时，应急预案编制标准要完善，涵盖各类可能出现的风险情况，包括自然灾害、工程事故等。应急预案应明确应急响应流程、责任分工以及资源调配方式，确保在风险发生时能够迅速、有效地进行应对，减少损失，保障项目的顺利进行。

2. 危机管理预案设计

在建筑工程项目管理中，需建立有效的危机管理预案。对于舆情管理，应设立监测机制，及时捕捉相关信息，分析舆情走向，制定针对性的应对策略，避免负面舆情对项目造成不良影响^[8]。在资金链断裂应对方面，要提前规划资金储备和融资渠道，制定资金应急预案。当出现资金紧张情况时，能够迅速启动预案，通过合理调配资金、寻求合作伙伴或金融机构支持等方式，确保项目资金的正常流转。同时，还需设计项目翻身管理路径，综合考虑技术、管理、市场等多方面因素，对项目进行重新评估和调整，以实现项目的可持续发展。

四、技术管理与风险控制协同机制

（一）数字化风控平台构建

1. 多源数据融合架构

为有效实现建筑工程项目的技术管理与风险控制协同，构建数字化风控平台至关重要，其中多源数据融合架构是关键部分。需设计整合BIM模型、进度数据、质量检测信息等的中央数据库系统。BIM模型可提供建筑的三维信息及各构件的详细参数，为技术管理提供可视化基础^[9]。进度数据能反映项目的时间进展情况，有助于分析潜在的进度风险。质量检测信息则关乎项目的质量安全，是风险评估的重要依据。通过整合这些多源数据，能够打破数据孤岛，实现数据的共享与交互，从而为全面、准确地进行风险识别、评估和控制提供有力支撑，提升建筑工程项目管理的整体效能。

2. 风险预警算法模型

数字化风控平台的风险预警算法模型构建至关重要。通过机器学习算法，可对建筑工程项目中的各类风险数据进行分析挖掘。利用历史数据和实时监测数据，对不同类型的安全隐患进行特征提取，如从施工环境、人员操作、设备状态等方面获取关键特征^[10]。基于这些特征，构建合适的机器学习模型，如决策树、神经网络等，实现对风险的自动识别和分类。同时，为了提高预警的准确性和及时性，模型需不断进行优化和更新，结合新的数据和实际应用情况调整参数。通过这种方式，能有效提前发现潜在风险，为项目管理中的风险控制提供有力支持，保障建筑工程项目的顺利进行。

（二）管理流程再造策略

1. 并行工程管理机制

在建筑工程项目管理中，重构设计施工协同流程至关重要。技术交底应与风险预控紧密联动，设计阶段需全面考虑施工技术

可行性及潜在风险，将关键技术要点和风险因素准确传达给施工团队。施工方依据技术交底内容，深入分析可能出现的风险，制定针对性预控措施。同时，建立动态反馈机制，施工过程中发现的技术问题和新风险及时反馈给设计方，以便优化设计。并行工程管理机制要求设计与施工并行推进，设计过程中融入施工经验和风险考量，施工依据设计及时调整技术方案，确保项目在技术合理、风险可控的状态下高效推进。

2. 动态反馈控制系统

构建 PDCA 循环改进模型，是实现技术标准与风险预案持续优化的关键。在计划（Plan）阶段，需全面分析建筑工程项目的技术需求和潜在风险，制定相应的技术标准和风险预案。执行（Do）阶段则要严格按照既定标准和预案实施项目管理。检查（Check）过程中，对技术应用效果和风险控制情况进行细致评估，找出存在的问题。最后在处理（Act）阶段，针对检查出的问题进行改进，调整技术标准和风险预案，从而进入下一个 PDCA 循环。通过这种循环往复的过程，不断优化技术管理与风险控制的协同机制，提高建筑工程项目管理的质量和效率。

（三）实证案例研究

1. 超高层建筑项目管理

某地标超高层建筑项目在施工中面临诸多挑战。项目引入 BIM 技术结合风险预警系统，形成有效的技术管理与风险控制协同机制。BIM 技术构建了精确的三维模型，使各参与方对建筑结构、系统布局等有直观清晰的了解，提前发现潜在技术问题，如复杂节点的施工顺序与工艺冲突。同时，风险预警系统整合各类风险因素，包括环境风险、安全风险等。当 BIM 模型中识别出的技术问题可能引发风险时，系统及时发出预警。例如，在深基坑

施工中，BIM 模型提示支撑结构设计可能存在不足，风险预警系统迅速关联相关风险指标，评估风险等级，促使项目团队及时调整设计方案，从而有效规避施工难题，确保项目顺利推进。

2. 烂尾楼项目翻身管理

烂尾楼项目翻身管理涉及到技术管理与风险控制的协同。在实际案例中，首先要对烂尾楼的现状进行全面评估，包括建筑结构、施工进度、质量问题以及潜在风险等。针对这些问题，制定技术重组方案，例如对不合理的建筑设计进行调整，采用新的施工技术和工艺来解决遗留的质量隐患。同时，建立风险控制体系，识别重启过程中可能出现的资金风险、政策风险、市场风险等，并制定相应的应对措施。在项目实施过程中，技术管理与风险控制要紧密配合，根据技术方案的调整及时更新风险评估，确保风险始终处于可控状态，最终实现烂尾楼项目的成功翻身。

五、总结

智能建造技术与风险防控体系的融合具有重要价值。它能够提高建筑工程项目管理的效率和质量，有效应对各种风险挑战。然而，当前相关研究存在一定局限性。在数据治理方面，数据的准确性、完整性和及时性有待提高，这可能影响技术应用效果。算法精度也存在不足，无法完全满足复杂工程环境下的精确分析需求。展望未来，数字孪生技术在工程管理中具有广阔发展前景。它可以通过创建虚拟模型，实现对建筑工程全生命周期的精准模拟和优化，为技术与风险管理带来新的突破，有助于进一步提升建筑工程项目管理的水平。

参考文献

- [1] 侯硕. A 装配式建筑工程项目采购风险管理研究 [D]. 北京 : 北京交通大学, 2021.
- [2] 姚榕谦. ZYDX 生活区建筑工程项目风险管理研究 [D]. 电子科技大学, 2016.
- [3] 陈露. 公路工程项目群风险管理研究 [D]. 南华大学, 2014.
- [4] 江黎. 基于系统动力学的建筑工程项目风险管理研究 [D]. 扬州大学, 2017.
- [5] 卞桦. 冶金工程项目建设的风险控制与管理 [D]. 上海交通大学, 2015.
- [6] 张大生. BIM 技术在建筑工程项目管理中的应用探究 [J]. 建筑·建材·装饰, 2020(24): 171-172.
- [7] 张智文. 建筑工程项目管理中的合同、索赔和风险管理 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2011.
- [8] 李晓瑞. BIM 技术在建筑工程项目管理中的应用探究 [J]. 砖瓦世界, 2021(3): 305.
- [9] 唐承珍. 探究 BIM 技术在现代建筑工程项目管理中的应用 [J]. 装饰装修天地, 2021(3): 27-28.
- [10] 陈寿南. BIM 技术在全过程工程咨询中的应用价值研究 [D]. 内蒙古 : 内蒙古科技大学, 2023.

土建工程对消防专项施工的影响及技术管理策略

衡霖

四川正平消防科技有限公司, 四川 凉山 615000

DOI:10.61369/ETQM.2025090028

摘 要 : 阐述土建工程与消防专项施工的紧密联系, 包括结构工程对消防系统布局影响, 非消防隐蔽工程的潜在风险, 门窗工程对防排烟影响等。介绍设计阶段协同管理措施, 如 BIM 应用、消防审查前置。还提及工序衔接、进度预警等, 提出全过程管理对策体系及不足与展望。

关 键 词 : 土建工程; 消防专项施工; 协同管理

The Influence of Civil Engineering on Special Fire Protection Construction and Technical Management Strategy

Heng Lin

Sichuan Zhengping Fire Technology Co., Ltd., Liangshan, Sichuan 615000

Abstract : This paper highlights the close relationship between civil engineering and specialized fire protection construction, including how structural engineering impacts the layout of fire protection systems, the potential risks associated with non-fire protection concealed works, and the influence of door and window projects on smoke control. It also introduces collaborative management measures during the design phase, such as the application of BIM and the pre-review of fire protection. Additionally, it discusses process coordination and progress warnings, proposing a comprehensive management strategy, along with its shortcomings and future prospects.

Keywords : civil engineering; special fire protection construction; collaborative management

引言

土建工程与消防专项施工紧密相关, 相互影响。近年来, 随着消防安全相关政策的不断完善, 如《中华人民共和国消防法》(2021 年修订) 强调了建筑消防安全的重要性以及各相关方的责任。在土建工程中, 结构工程影响消防系统布局, 非消防隐蔽工程影响消防设施安装与验收, 生活用水管道施工与消防水箱及供水有冲突, 门窗工程影响防排烟系统等。同时, 设计阶段的协同管理、施工阶段的界面交接与过程质量监测以及验收阶段的严格把控和整改跟踪都至关重要。因此, 探讨土建工程与消防专项施工的全过程管理技术对策具有重要的现实意义。

一、土建工程对消防专项施工的影响机制

(一) 结构工程对消防系统布局的影响

土建工程中的结构工程对消防系统布局有着重要影响。在主体结构施工阶段, 会对消防管道预埋产生空间限制。例如, 梁柱等结构构件的位置和尺寸, 可能会使消防管道无法按照理想的路径进行预埋, 需要根据结构实际情况进行调整, 以确保管道安装合理且不影响结构安全^[1]。同时, 防火分区的设置也受到土建结构的制约。结构墙体的位置和布局决定了防火分区的边界, 若土建结构不合理, 可能导致防火分区面积过大或过小, 不符合消防规范要求, 影响火灾发生时的阻隔效果, 增加火灾蔓延的风险。

(二) 隐蔽工程对消防验收的影响

给排水预埋件、电气穿线管等非消防工程作为土建工程中的

隐蔽工程, 对消防设施安装质量及消防验收存在潜在风险。这些隐蔽工程施工不当可能导致后续消防设施安装困难, 例如预埋件位置不准确可能使消防管道无法正确连接, 影响消防水系统的正常运行^[2]。电气穿线管若未按规范铺设, 可能干扰消防电气系统的布线, 导致火灾报警系统、消防联动控制系统等出现故障。在消防验收时, 这些隐蔽工程的问题可能不易被发现, 但却会严重影响消防系统的整体性能, 因此在土建施工过程中, 需加强对隐蔽工程的质量控制, 确保其符合消防专项施工的要求。

二、非消防工程对消防专项的协同影响

(一) 水电工程对消防供水系统的干扰

生活用水管道施工可能会与消防水箱位置及供水压力要求产

生冲突。生活用水管道的铺设路径若规划不合理，可能会占据消防水箱的预设位置，影响其正常安装^[9]。同时，生活用水系统的压力需求与消防供水压力要求不同，在施工过程中，如果没有采取有效的隔离措施，可能会导致相互干扰。例如，生活用水管道的压力波动可能会传递到消防供水系统中，影响消防供水的稳定性和可靠性。这不仅会在日常使用中造成不便，在火灾发生时，更可能会延误灭火时机，降低消防系统的有效性。因此，在土建工程施工过程中，需要合理规划生活用水管道与消防水箱的位置，并确保两者的供水系统相互独立且稳定。

（二）门窗工程对防排烟系统的影响

建筑门窗工程对防排烟系统存在多方面影响。门窗开孔尺寸需与防烟分区设计相匹配，若开孔过大，会破坏防烟分区的完整性，导致烟气蔓延不受控制，影响防排烟效果^[4]。而开孔过小则可能影响通风排烟的效率。材料的耐火等级同样关键，耐火等级低的门窗材料在火灾时易被破坏，无法有效阻挡烟气扩散，使防排烟系统的功能大打折扣。合理选择门窗材料的耐火等级，并确保开孔尺寸符合防烟分区设计要求，对于保障防排烟系统正常运行，提高建筑消防安全至关重要。

三、消防专项施工技术管理框架

（一）设计阶段协同管理

1. BIM技术应用

在消防专项施工的设计阶段协同管理中，BIM技术应用至关重要。通过建立多专业协同设计模型，能够有效解决空间碰撞问题。BIM技术可整合建筑、结构、给排水、电气等各专业信息，实现信息共享与协同工作。各专业设计人员可在同一平台上进行设计，实时查看其他专业的设计成果，及时发现并解决空间上的冲突。例如，消防管道与结构梁柱的碰撞、消防设备与电气线路的干涉等问题都能通过该模型提前暴露并解决，避免施工过程中的返工和延误，提高施工效率和质量，确保消防专项施工的顺利进行^[9]。

2. 消防审查前置机制

在设计阶段协同管理中，消防审查前置机制至关重要。需建立土建施工图消防要素专项审查流程，这要求相关设计单位和消防审查部门密切协作。设计单位在绘制土建施工图时，应依据消防规范标准，将消防要素融入其中，如合理规划消防通道、疏散楼梯位置及数量等，并确保消防设施的预留空间符合要求。同时，消防审查部门应提前介入，在初步设计阶段就对施工图中的消防要素进行严格审查，及时反馈问题，督促设计单位修改完善，以避免施工过程中的消防隐患，确保消防专项施工的顺利进行^[6]。

（二）施工过程控制

1. 工序衔接优化

土建工程与消防专项施工存在紧密联系，工序衔接至关重要。需编制详细的工序交接标准，明确各工序的交接条件、责任划分及质量要求。例如，在土建主体结构施工完成后，消防管道

安装前，需对预留孔洞的位置、尺寸进行精确检查，确保符合消防管道安装要求，避免后期因孔洞偏差导致管道安装困难或无法安装^[7]。同时，在消防设施安装过程中，要考虑土建装饰工程的进度和施工要求，如消防喷头的安装高度应结合天花装饰面确定，确保喷头在装饰完成后处于正确位置且不影响美观和使用功能。通过合理编制工序交接标准，优化工序衔接，可提高施工效率和质量，减少施工过程中的问题和矛盾。

2. 进度协调管理

为保障消防施工窗口期，建立周界工程进度预警系统至关重要。该系统可实时监测相关周界工程进度，对比预设的进度计划，及时发现潜在的延误风险^[8]。当出现可能影响消防施工的进度偏差时，系统发出预警信号，相关管理人员迅速采取措施进行调整。这可能涉及协调各方资源，如人力、物力的重新分配，对施工顺序进行合理优化等。同时，加强与周界工程施工团队的沟通协作，共同解决进度问题，确保消防施工能在合适的时间窗口顺利开展，避免因周界工程进度延误而导致消防施工工期压缩或质量受影响。

四、全过程技术管理策略实施

（一）设计阶段管理

1. 消防设计交底制度

在土建工程的设计阶段，建立消防设计交底制度至关重要。该制度应涵盖多专业联合设计交底，以确保消防参数得以有效落实。设计团队需包含建筑、结构、给排水、电气等多个专业人员，共同对消防设计进行详细交底。在交底过程中，明确各专业在消防设计中的职责和任务，如建筑专业确定防火分区、疏散通道等布局，结构专业确保消防设施的承载结构合理，给排水专业设计灭火系统的管道布局，电气专业保障消防报警和应急照明系统的供电及布线。通过这种联合交底方式，各专业人员能深入了解消防设计的整体要求和自身的工作重点，避免因专业间沟通不畅导致消防参数在施工过程中无法准确落实^[9]。

2. 预留预埋核查

在设计阶段的预留预埋核查中，建立土建施工中的消防设施预埋件三维定位复核机制至关重要。通过先进的测量技术与三维建模软件相结合，对预埋件的位置进行精确测定和模拟^[10]。在土建施工过程中，严格按照设计要求对消防设施预埋件的坐标、高程等参数进行实时监测，确保其准确性。同时，与消防专项设计进行细致比对，检查是否存在偏差。对于发现的问题及时进行调整和修正，避免在后续施工中出现因预埋件位置不准确而导致的消防设施安装困难等问题，从而保障消防工程的顺利实施和整体性能。

（二）施工阶段管理

1. 界面交接管理

在施工阶段的界面交接管理中，制定混凝土浇筑前消防预埋系统验收标准至关重要。这需要明确预埋管道的材质、规格、型号是否符合设计要求，其壁厚、管径等参数需精准测量。检查管

道的连接方式是否牢固、密封，避免出现渗漏隐患。同时，要确保预埋管道的位置准确无误，其水平度和垂直度应在允许偏差范围内，与其他结构构件的间距符合防火规范。对于管道的防腐处理也需进行验收，保证其具备良好的耐久性。此外，消防预埋系统中的各类预埋件，如套管、支架等，其数量、规格和安装质量都要严格把控，确保混凝土浇筑后消防预埋系统能正常运行，为后续消防专项施工奠定良好基础。

2. 过程质量监测

在施工阶段的过程质量监测中，应用智能传感技术进行隐蔽工程消防参数实时监测至关重要。通过在隐蔽工程关键部位安装智能传感器，可实时获取消防相关参数，如温度、湿度、烟雾浓度等。这些传感器能将数据实时传输至监测系统，一旦参数超出预设安全范围，系统立即发出警报。这有助于及时发现潜在的消防隐患，如因土建施工不当造成的通风不畅导致温度异常升高等问题。同时，监测数据可进行长期存储和分析，为后续的施工调整和质量评估提供有力依据，确保隐蔽工程的消防质量符合标准要求，保障整个土建工程的消防安全。

（三）验收阶段管理

1. 联合验收程序

建立消防专项与主体工程协同验收的数字化平台是联合验收程序的关键。该平台应整合各方验收数据，包括土建工程相关指标以及消防专项施工的各项参数。通过数字化手段，实现验收流程的标准化和可视化。各方参与验收的人员可在平台上实时上传、查看和审核验收资料，提高沟通效率，减少信息误差。同时，平台应具备智能提醒功能，确保验收环节无遗漏。对于验收中发现的问题，能够及时记录并跟踪整改情况，直至所有问题得

到妥善解决，从而保障土建工程与消防专项施工联合验收的顺利完成。

2. 整改跟踪机制

验收阶段需严格对照相关标准进行。对消防专项施工成果进行全面检查，包括消防设施的安装位置、功能运行等。利用先进技术手段辅助验收，如采用热成像仪检测消防管道的密封性。同时，建立详细的验收档案，记录各项验收指标及结果。

整改跟踪机制至关重要。开发基于 BIM 的消防缺陷整改可视化追踪系统，通过 BIM 模型直观呈现缺陷位置及整改情况。对整改过程设定明确的时间节点和责任人，确保整改工作按时、高效完成。定期对整改情况进行复查，只有当所有缺陷都得到妥善处理，且复查合格后，整个消防专项施工才算真正完成，从而保障土建工程中的消防施工质量达到标准要求。

五、总结

土建工程与消防专项施工相互影响，土建工程的质量、进度等会对消防专项施工产生作用，而消防专项施工也会对土建工程提出要求。基于此，提出了全过程管理的技术对策体系，涵盖土建工程的各个阶段以及消防专项施工的关键环节。通过工程实例验证，该管理策略在确保消防专项施工质量、保障工程整体进度等方面具有有效性。然而，当前研究在智能化管理工具开发方面存在不足，限制了管理效率的进一步提升。未来，随着建筑信息模型与物联网技术的深度融合，有望为土建工程中的消防专项施工管理带来新的突破，实现更加高效、精准的管理模式，提高建筑的消防安全性能。

参考文献

- [1] 杨艳茹. BIM 技术对装配式建筑项目管理绩效的影响研究 [D]. 西安建筑科技大学, 2022.
- [2] 袁晨. 专项奖补政策对马钢股份去产能的影响及效果分析 [D]. 重庆大学, 2021.
- [3] 薛惟奇. 基于速度的深蹲力量训练对蛙泳专项学生下肢爆发力及专项表现的影响研究 [D]. 南京体育学院, 2023.
- [4] 聂子轩. 基于预取感知的缓存管理策略研究 [D]. 北京工业大学, 2022.
- [5] 李雪莲. 水电工程地下洞室施工质量协同管理研究 [D]. 三峡大学, 2021.
- [6] 赵晓勇. 浅析土建工程施工技术管理 [J]. 风景名胜, 2021(3): 162.
- [7] 黄纬. 土建工程施工的现场技术管理核心探寻 [J]. 装饰装修天地, 2021(3): 202-203.
- [8] 赵学渊. 探讨土建工程施工技术管理实践 [J]. 砖瓦世界, 2021(1): 120.
- [9] 赵晋龙. 土建工程施工安全管理研究及改进策略 [J]. 砖瓦世界, 2021(5): 232, 234.
- [10] 罗文杰. 土建工程施工安全管理研究及改进策略 [J]. 砖瓦世界, 2021(6): 172, 174.

桂林宋静江府城墙修缮与保护措施研究

刘笑

百色学院，广西 百色 533000

DOI:10.61369/ETQM.2025090029

摘 要： 桂林宋静江府城墙作为岭南地区最具代表性的宋代城防遗存，其独特的建筑形制和营造工艺具有突出的历史、艺术与科学价值。本研究针对其在亚热带环境下面临的结构失稳、材料劣化等问题，采用多学科交叉研究方法，系统构建了“评估—研究—修复—监测”的全链条保护体系。研究创新性地提出以“最小干预、真实性保护、预防性维护”为核心原则的保护策略，重点突破传统工艺现代应用、微创加固、生物防治等关键技术难题，并建立智能化监测预警系统，最终形成具有示范价值的土石质城墙保护范式，为同类文化遗产的科学保护提供重要参考。

关 键 词： 桂林城墙；文化遗产保护；修缮技术；预防性保护

Research on the Restoration and Protection Measures for the City Walls of Songjingjiang Prefecture in Guilin

Liu Xiao

Baise College, Baise, Guangxi 533000

Abstract： the Song Dynasty Jingjiang Prefecture City Wall in Guilin represents one of the most exemplary remnants of ancient military fortifications in the Lingnan region, distinguished by its unique architectural form and construction techniques, which possess significant historical, artistic, and scientific value. This study addresses critical challenges such as structural instability and material degradation in the subtropical environment by employing an interdisciplinary research approach. A comprehensive "assessment-research-restoration-monitoring" conservation framework was systematically developed. Innovatively, the research proposes a conservation strategy centered on the principles of "minimal intervention, authenticity preservation, and preventive maintenance," with breakthroughs in key technical areas including the modern application of traditional craftsmanship, minimally invasive reinforcement, and biological control. Additionally, an intelligent monitoring and early-warning system was established. The study ultimately formulates a paradigmatic conservation model for earthen and stone city walls, offering valuable insights for the scientific preservation of similar cultural heritage sites.

Keywords： guilin city wall; cultural heritage conservation; restoration techniques; preventive conservation

引言

桂林宋静江府城墙是我国南方现存最完整的宋代城垣遗存之一，具有重要的历史、科学和艺术价值，是研究宋代军事防御体系和桂林历史文化的重要实物。然而，长期自然侵蚀和人为因素导致城墙出现开裂、风化和结构失稳等病害，严重威胁其保存。当前，文化遗产保护面临传统技术不适应南方湿热环境及城市化加剧保护难度等挑战^[1]。本研究通过实地调查、科学检测和文献研究，系统分析城墙病害成因，探讨适用于南方湿热地区的修缮和预防性保护措施，旨在为同类文化遗产保护提供理论和实践参考，从而延长其寿命并为桂林历史文化名城的保护与发展提供支撑^[2]。

一、宋静江府城墙的历史价值与现状评估

（一）历史沿革与核心价值

桂林宋静江府城墙由南宋广南西路经略安抚使胡颖主持修

建，是南宋政权经营西南、抵御蒙元的重要军事屏障，具有突出的历史地位。该城墙展现了卓越的营造特征：因地制宜地利用喀斯特孤峰与江河构建天然防御体系；采用工艺精湛的特制铭文青砖和大型料石基础，城垣呈梯形断面并设有女墙、垛口，现存东

镇门券拱式城门结构坚固；其城墙砖铭文和世界现存最大的古代城市防御石刻地图为研究宋代军事、城防技术及地方治理提供了珍贵史料。从价值维度来看，城墙不仅是南宋西南边疆经略的实物见证、古代军事工程与山地适应性营建技术的典范、宋代建筑与石刻艺术的代表，更是桂林城市历史记忆的核心标识与市民情感纽带。

（二）保存现状与主要病害诊断

通过对桂林宋静江府城墙现存重点区段（东镇门、宝积山、鸚鵡山、铁封山等）的系统勘察，发现其病害主要表现为三大类：自然侵蚀方面，包括结构失稳、材料劣化以及水害；生物病害方面，突出表现为植物侵害和微生物侵蚀；人为破坏则涉及历史性损毁、不当维修以及发展压力^[3]。此外，环境恶化因素如酸雨和空气污染进一步加剧了材料的化学风化进程。这些病害严重威胁着城墙的结构安全与历史信息的完整性^[4]。

二、保护原则与技术路线

（一）核心保护原则

- （1）原真性优先：保留历史修补痕迹^[5]。
- （2）最小干预：控制加固范围。
- （3）可逆操作：采用可拆卸锚杆。
- （4）预防为主：建立微环境监测网络。

（二）技术路线框架



三、关键保护技术措施

（一）结构性加固技术

- 1.基础稳固
微型钢管桩注浆（桩径80mm，深度8m）；石灰-火山灰三合土回填（配比 Ca(OH)_2 ：火山灰：砂 = 1：2：4）
- 2.砌体归安
采用分步减压复位法：临时支撑（碳纤维网格+液压千斤顶），逐层取出变形砌体（编号记录），夯土芯修补（竹筋增强土坯，抗压强度 $\geq 3\text{MPa}$ ），条石原位归位（误差 $< 2\text{mm}$ ）。

（二）材料修复技术

1.红砂岩修复

表1 红砂岩修复技术参数表		
技术措施	材料配方	适用范围
表面脱盐	纤维素敷贴法（去离子水+2%EDTA）	盐结晶区
渗透加固	纳米 SiO_2 /硅酸乙酯复合体系（浓度8%–12%）	粉化层深度 $< 3\text{cm}$
修补砂浆	红砂岩粉（80目）+水硬石灰+稻壳灰（配比6:3:1）	缺损修补

2.夯土芯强化

- （1）裂缝注浆：改性糯米浆（黏度350cP，收缩率 $< 0.5\%$ ）^[6-7]；

- （2）掏蚀修补：层压式夯筑（每层 $\leq 10\text{cm}$ ，含水率18%）。

（三）生物病害综合治理

- 1.物理清除
 - （1）激光清洗去除地衣^[8]；
 - （2）蒸汽热处理杀灭根系。
- 2.生态调控
 - （1）墙体周边种植驱虫植物；
 - （2）安装铜基防攀爬带（宽度 $> 15\text{cm}$ ）。

（四）微环境调控系统

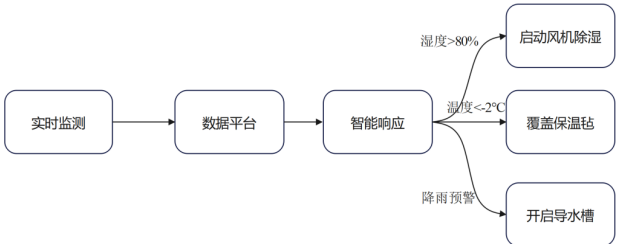


图2 微环境调控系统

四、预防性保护体系构建

（一）多参数监测网络

桂林宋静江府城墙多参数监测网络技术指标见表2。

表2 参数监测网络技术指标表

监测参数	监测设备	布点方案	预警阈值	技术依据
裂缝位移	光纤传感器	每2m设置1组	$> 0.5\text{mm}/\text{季度}$	《古建筑结构健康监测技术规范》GB/T 50344-2019
含水率	TDR时域反射仪	垂直3层/水平2m	$> 22\%$ 持续48h	《砌体结构现场检测技术标准》GB/T 50315-2011
盐分浓度	离子选择电极	关键高度0.5m/1.5m	$\text{Cl}^- > 1.2\%$	《石质文物病害分类与图示》WW/T 0002-2007
振动加速度	压电传感器	基础/墙顶各1组	$> 0.15\text{g}$	《建筑工程容许振动标准》GB 50868-2013

（二）风险预警模型

风险指数 $R = 0.3 \times S$ （结构）+ $0.25 \times M$ （材料）+ $0.2 \times E$ （环境）+ $0.25 \times H$ （人为），分级响应：
 $R < 30$ ：常规监测；
 $30 \leq R < 60$ ：加强巡查；
 $R \geq 60$ ：紧急干预^[9]。

（三）保护性展示设计

在保护性展示设计方面，创新采用“虚实结合”的展示策略，构建了多维度、立体化的展示体系^[10-11]。具体实施内容包括：首先，精选40米城墙核心区段进行原状保护展示，完整保留其历史风貌；其次，运用增强现实（AR）技术，通过扫码互动方式数字化复原已损毁的防御设施；最后，设置专门的剖面解剖展示区，采用树脂封装技术展示城墙内部的夯土结构层次，揭示其

独特的建造工艺。

五、结论与展望

桂林宋静江府城墙的保护需立足其“红砂岩-夯土复合结构”与“湿热岩溶环境”双重特殊性：

（1）结构性修复需平衡刚性石材与塑性夯土的变形协调，分步减压复位法可有效控制二次损伤；

（2）材料兼容性是修复关键，纳米 SiO₂增强红砂岩（渗透深

度>15mm）与竹筋夯土（抗剪强度提升40%）证明传统材料创新应用的可行性；

（3）预防性保护应建立“四维监测网络”（空间+时间），通过盐分-湿度-振动多参数耦合预警降低突发风险概率。

未来研究方向：

（1）深化生物矿化加固技术；

（2）开发城墙材料老化数据库；

（3）探索社区参与式保护机制。

参考文献

- [1] 张松.《文化遗产保护理论与方法》[M].北京：文物出版社，2018.
- [2] 王其亨，吴葱.《古建筑修缮技术》[M].北京：中国建筑工业出版社，2015.
- [3] ICOMOS. The Nara Document on Authenticity [R]. Paris: ICOMOS, 1994.
- [4] 李宏松.《石质文物劣化机理与保护技术研究》[M].北京：科学出版社，2016.
- [5] 刘托，陈同滨.《中国古城墙保护研究》[M].南京：东南大学出版社，2019.
- [6] 黄克忠.潮湿环境下土遗址保护技术[J].文物保护与考古科学，2017，29(3): 1-10.
- [7] 周双林.传统材料在古建筑修复中的应用研究[J].建筑学报，2020，(1): 45-50.
- [8] Feilden, B. M. Conservation of Historic Buildings [M]. Oxford: Architectural Press, 2003.
- [9] 张秉坚，周双林.不可移动文物保护风险评估方法研究[J].文物保护与考古科学，2015，27(3): 102-110.
- [10] 李宏松.文物建筑保护性展示设计导则[M].北京：文物出版社，2018: 56-78.
- [11] 吴永琪，等.增强现实技术在遗址展示中的应用研究[J].中国文化遗产，2020(4): 45-51.

防渗漏施工技术在房屋建筑施工中的运用

何文

中科兴宏项目管理有限公司, 四川 成都 610036

DOI:10.61369/ETQM.2025090030

摘 要： 房屋建筑渗漏问题作为当前工程建设的一大难点，为保障房屋建筑施工质量，需要结合工程建设标准，实施可行的施工技术，加强防渗漏施工，重点管理门窗、厨房、墙体等关键部位，通过运用防渗漏施工技术，保障房屋建筑工程建设质量。故此，文章将总结概括房屋渗漏的常见问题与根本原因，分析防渗漏施工技术在房屋建筑施工的运用方法，希望为房屋建筑工程施工提供可靠的参考依据，推动建筑行业高质量发展。

关 键 词： 防渗漏施工技术；房屋建筑；施工运用

The Application of Anti leakage Construction Technology in Building Construction

He Wen

Zhongke Xinghong Project Management Co., Ltd., Chengdu, Sichuan 610036

Abstract： As a major difficulty in current engineering construction, the problem of building leakage needs to be addressed. To ensure the quality of building construction, it is necessary to combine engineering construction standards, implement feasible construction techniques, strengthen anti-seepage construction, and focus on managing key parts such as doors, windows, kitchens, and walls. By using anti-seepage construction techniques, the quality of building construction can be guaranteed. Therefore, the article will summarize and generalize the common problems and root causes of house leakage, analyze the application methods of anti leakage construction technology in house construction, and hope to provide reliable reference for house construction projects and promote the high-quality development of the construction industry.

Keywords： anti leakage construction technology; building construction; construction application

引言

在城市化发展进程持续加快的今天，社会大众对防渗漏施工处理方法提出许多要求，防渗漏不但关乎房屋建筑的耐用性、安全性，还与生态环境建设息息相关。但是，当前在房屋建筑中运用防渗漏施工技术还面临许多难点，如设计不合理、材料选取不当、操作不符合标准等，导致房屋建筑结构漏水，缩短房屋建筑使用期限，影响用户的使用体验。为此，探索在房屋建筑施工中防渗漏施工技术的应用作用非常关键。

一、房屋渗漏的主要问题与根本原因

防渗漏施工技术作为房屋建筑工程项目建设的关键技术之一^[1]，主要目的是预防建筑物内部水分渗漏，确保建筑物结构稳定安全。在房屋建筑施工中，防渗漏施工技术的合理运用，需要选取高质量防水材料，运用可行的施工工艺，才能提高整体施工质量，达到防渗漏目的效果。

（一）房屋渗漏常见难题

1. 地下室渗漏难题

在房屋建筑施工环节，有关地下室施工项目，容易出现渗漏

难题，主要原因是止水钢板设置不符合设计标准、止水环焊接不当、混凝土浇筑冷风养护时长过短有关，使地下室防水施工失控，特别是关键部位的防水施工没有做到位，导致房屋地下室防水控制效果不达标。

2. 屋面外墙渗漏难题

在房屋建筑施工中，防水施工不到位或者施工技术应用不合理，导致闭水试验失败^[2]，影响整个房屋建筑屋面外墙渗透层。例如，结构施工、找平施工、防水保护施工混凝土建筑质量与标准不符，使房屋建筑的结构细部施工埋下隐患，进而出现屋面渗漏现状，导致房屋建筑结构安全风险升高。

3. 厨卫渗漏难题

在房屋建筑施工建设中，厨卫渗漏现象较为多见，厨卫渗漏常见于重要部位没有加装附加组织层级、防水高度过低，使厨卫部位渗漏现象更加常见，以至于房屋建筑结构防水性不足，降低居民的生活品质。

4. 门窗渗漏难题

房屋建筑出现门窗渗漏难题，主要是门窗密实性不足所致，特别在阴雨连绵季节，门窗积水更加严重，增加房屋建筑结构风险，使房屋建筑的稳定性下降，存在安全风险问题。

（二）房屋渗漏的根本原因

为提高房屋建筑施工质量，有效防范房屋渗漏问题的发生，需根据实际的房屋建筑工程项目，对房屋渗漏问题进行原因分析，以便做好质量管理工作，形成可行的房屋建筑防渗管理机制，给社会大众创造更好的生活条件。

通过分析房屋渗漏的根本原因，发现是建设质量不符合标准所致，在工程项目建设过程中，建设企业忽视进场防水材料验收管理环节，没有实施测试，促使防水材料在建设要求相差甚远，增加工程项目建设风险。现阶段，建筑市场材料十分丰富，建设企业未对现场场地予以勘察，便选取建设材料，进而使房屋建筑防水型带来影响，无法符合防渗漏设计标准，使整个房屋建筑施工质量令人担忧。除此之外，房屋渗漏还与工程项目设计方案不合理有关，为提高房屋建筑建设质量，需要根据实际的建设要求，完成工程设计方案制作，但是一部分建设企业在方案设计过程中，没有完全考量降水等外部因素^[5]，使项目方案设计不当，无法保证房屋建筑的排水质量，容易出现积水问题，影响房屋建筑安全性能。加之，对房屋建筑工程项目来讲，想要强化防渗漏性能，要重视项目验收环节，但一部分验收工作流于表面形式，建设企业更加重视建设进程，忽视阶段性验收总结，导致操作失误或者施工技术不符合标准问题始终存在，长此下去，便可对房屋建筑防水性能带来不利影响，出现渗漏问题。

二、防渗漏施工技术在房屋建筑施工的运用方法

为提高房屋建筑施工的防渗漏性能，需要做到规范化施工作业，制定完善可行的施工方案，才能提高房屋建筑施工质量，建立科学合理的防渗漏控制机制，保障房屋建筑防渗漏施工效果，以免遗留隐患问题，为人们构建高质量的居住环境。

（一）屋面防渗漏技术的运用

根据屋面结构特点，实施屋面防渗漏技术，能够保证屋面防渗漏质量，达到一体化建设目标。在房屋建筑工程设计中，要依照具体的建设要求，控制好预留波杜的稳定性，使排水管道处于顺畅状态，有效防范屋面渗漏难题的发生。与此同时，在钢筋混凝土铺设项目、浇筑工程中，也要符合有关建设要求，使混凝土配置、振捣浇筑都要与安全事故机制相契合。另外，根据房屋建筑项目施工建设要求，选取相应的建设材料，确保建设材料的购置与铺设施工都能满足设计要求。例如，选取防水卷材时，建设企业要全面考量建设材料的耐水性、密封性、持久性特点^[4]，保

证各项参数都与设计要求相一致，通过性能测试，掌握防水卷材的承载能力，保证防水卷材得到充分利用。通过对建设材料铺设施工进行全程监管，运用分次施工处理模式，完成铺装作业，当完成涂抹施工后24小时进行蓄水测试，通过蓄水测试及时了解房屋建筑屋面防渗效果，以便及时发现渗漏问题，提出可行的解决方案。同时，在建设材料市场蓬勃发展的今天，房屋建筑防渗漏项目要根据具体的工程要求，选购相关的建设材料，建设企业组织专业人士予以环境勘察，设计和房屋建筑工程有关的工程方案，购置新型建设材料。例如，当完成找平层施工任务后，便可合理应用高聚物改性沥青防水卷材，使坡度保持平整干燥。同时，当施工建设者完成铺设作业后，还可借助基层处理剂，为后期养护提供方便，提高整个屋面防水性能。

（二）外墙防渗漏技术的运用

在房屋建筑施工建设期间，外墙防渗漏施工主要应对雨水侵蚀^[6]，需根据外墙施工建设要求，制定完善的防渗漏施工方案，才能提高外墙防渗漏效果。通过对房屋建筑墙体质量进行监督，特别是在铺设环节，有效控制砖缝，能够在一定的防水性能。同时，在找平处理施工环节，施工建设者要有效防范空鼓问题、裂缝问题，保障房屋建筑施工安全。特别在粘贴外墙砖施工阶段，应控制好外墙砖的整体压实度，符合设计要求、防水标准，在处理水泥砂浆过程中，合理使用抗菌剂，提高墙体建设质量，以免渗漏现象的出现^[6]。除此之外，在外墙施工建设细节，也要做好墙体填充施工、抹灰施工，使其满足建设标准，配合浇水施工环节，让外墙镶嵌处于湿润桩，增强外墙砖粘贴稳定性。在施工脚手架进行施工时，施工建设者容易遗漏孔洞，可借助聚丙烯防水材料予以填充处理，使房屋建筑外墙防水性得到基本保证^[7]。

（三）厨卫防渗漏技术的运用

厨卫防水施工在房屋建筑施工中尤为关键，需结合设计要求，知晓各项建设过程，有效预防建设风险，提高房屋建筑厨卫施工的安全性、稳定性。在材料检验过程中，由于厨卫施工需要铺设许多管道结构，施工建设者要根据标准化作业要求，做好各项测试工作，集中检验厨卫施工所用的管道材料，通过检查材料质量、配件质量，使其符合建设要求^[8]。同时，根据房屋建筑实际情况，做好管道接头严密性测试，根据测试结果，对管道接头严密性不足的问题予以及时处理。另外，建设企业还要重视测试卫生间管道水压承受能力环节，在卫生间管道装置完毕后，经过通水测试，使测试结果符合设计要求，才能展开相应的建设项目^[9]。为提高厨卫找平层的平整度施工质量，有关防水材料铺设施工也要与设计要求、技术标准相一致，做好施工任务，才能使地面积水自然流入地漏之中。在防水涂膜施工环节，结合具体的施工情况，保证防水涂膜达到2-3遍，确保每次涂抹方向相一致，并与两层涂膜方向处于垂直状态，使涂膜频次、均匀效果、涂膜厚度与设计标准相同，增强厨卫防渗漏施工质量。在完成阶段性施工项目后，做好与之相配套的蓄水测试、流水测试等项目，以便第一时间发现厨卫渗漏难题，加强施工补救。

（四）门窗防渗漏技术的运用

为提高门窗防渗漏效果，应使门窗结构处于平稳状态，根据

设计要求,控制好门窗结构施工环节。在门窗防渗漏施工阶段,重视门窗水平角度的优化,预留排水口,避免门窗下端产生积水现象。另外,在门窗安装施工环节,使用细石混凝土浇筑,保证门窗部位和地面结构、墙体结构融为一体,并在细石混凝土配比施工环节,加入适当的抗裂剂,保证整个施工建设的稳定性,增强房屋建筑门窗防渗效果,将门窗渗漏问题对整个房屋建筑主体的影响降到最低。与此同时,门窗竖框结构和墙体之间还要利用发泡聚苯乙烯弹性材料填充,提高门窗竖框结构的稳定性与紧密度。当完成施工任务后,施工建设者使用玻璃胶,对门框结构部位予以密封处理,使门窗防水性得到基本保障。需要注意的是,建设企业在门窗防水施工期间,加强防水胶条测试,以便第一时间发现渗漏问题,提出相关的整改建议。同时,建设企业还要重

视建设材料质量检验与验收档案的建立,加大管理力度,使检验结果精准可靠,为建设企业提供可靠的防渗漏施工建议,提高防渗漏施工效果^[10]。

三、结束语

综上所述,在房屋建筑施工中,防渗漏施工属于最为关键的一环,建设企业要依照实际的项目要求,合理运用防渗漏施工技术,才能使屋面、外墙、厨卫、门窗等施工部位的防渗漏效果得到有效保障,提高防水施工质量,以免留下隐患问题,对房屋建筑带来安全影响,促进建筑行业可持续发展。

参考文献

[1] 张兴原. 浅析防渗漏施工技术在房屋建筑施工中的运用 [J]. 中文科技期刊数据库 (文摘版) 工程技术, 2025(2): 013-016.
[2] 张箭. 浅谈防渗漏施工技术在房屋建筑施工中的运用 [J]. 工程设计与施工, 2025, 7(1): 68-70.
[3] 王世成. 防渗漏施工技术在房屋建筑施工中的运用 [J]. 建筑与装饰, 2025(8): 157-159.
[4] 辛丽杰, 程素华. 防渗漏施工技术在房屋建筑施工中的运用研究 [J]. 中国地名, 2025(4): 0127-0129.
[5] 齐青天. 防渗漏施工技术在房屋建筑施工中的运用 [J]. 佛山陶瓷, 2024, 34(4): 162-164.
[6] 赵登峰. 房屋建筑工程中防渗漏技术运用分析 [J]. 中华建设, 2025, (06): 198-200.
[7] 王永刚. 房屋建筑施工中的防渗漏施工技术分析 [J]. 住宅与房地产, 2025, (14): 120-122.
[8] 王小波. 防渗漏施工技术在房屋建筑工程中的应用 [J]. 建材发展导向, 2025, 23(07): 34-36.
[9] 程康. 房屋建筑施工中防渗漏施工技术应用研究 [J]. 现代工程科技, 2025, 4(05): 61-64.
[10] 梁志强. 房屋建筑施工中的渗漏原因及防渗漏施工技术分析 [J]. 建材发展导向, 2025, 23(05): 73-75.

工程项目中房屋建筑施工质量管理的关键因素分析

杨志文

成都群星建设工程咨询有限公司，四川 成都 610031

DOI:10.61369/ETQM.2025090031

摘 要： 房屋建筑工程施工顺利推进并按期完工，强化质量管理非常必要。工程施工环节比较多，各个环节强化质量控制，关系到结构安全，也决定了功能是实现以及工程竣工投入使用之后所发挥的价值。工程施工管理需系统化控制，准确把握关键因素并全方位管理，以提升建筑品质，本论文针对工程项目中房屋建筑施工质量管理的关键因素展开研究。

关 键 词： 房屋建筑工程项目；施工质量；施工管理；关键因素

Analysis of Key Factors in Quality Management of Building Construction in Engineering Projects

Yang Zhiwen

Chengdu Qunxing Construction Engineering Consulting Co., Ltd., Chengdu, Sichuan 610031

Abstract： It is necessary to strengthen quality management for the smooth progress and timely completion of building construction projects. There are many construction stages in the project, and strengthening quality control in each stage is related to structural safety and determines whether the function can be achieved and the value that the project will play after completion and use. Engineering construction management requires systematic control, accurate grasp of key factors, and comprehensive management to improve building quality. This paper focuses on the key factors of building construction quality management in engineering projects.

Keywords： building construction projects; construction quality; construction management; key factors

引言

房屋建筑工程规模持续扩大，但施工质量问题屡禁不止，用户安全受到威胁，还因此引起矛盾纠纷。当前的建筑工程施工管理中，普遍存在的不足体现于质量管理体系不完善、施工材料缺陷以及人员缺乏管理能力等等^[1]。所以，施工质量管理要取得成效，要准确把握关键控制点，以技术标准为指导制定科学有效的管理策略，确保工程质量符合相关规定的同事，安全可靠性能显著提高。

一、人为因素

（一）建设单位领导者

工程建设单位的领导者是作为组织者存在的，同时也是决策者，其是否具有较高的综合素质，对项目是否具有实用价值起到决定性的作用，也决定了项目的功能性。其对于前期工作具备一定的组织能力，能够对项目做好论证工作，开展工程设计，并将各种审批手续办理好。建设单位领导者还要具备组织施工能力，与监理单位合理，以招标的方式采购设备以及各种类型的施工材料，所选择的施工企业在行业中知名度高且实力强，监理单位有很高的职业综合素质。同时，建设单位的领导者的人员都具有很高的素质，具有丰富的经验，能够承担监督工作和组织协调工作。

（二）监理单位监理工程师

监理工程师所承担的主要工作是对工程实施跟踪质量监督，其能够主动承担责任，职业素质良好，对于施工现场管理拥有丰富的经验。其开展各项工作中，能够严格按照国家出台的文件进行，能够自主完成工作。其开展监理工作的时候严格按照施工规范进行，操作上符合规定的监督流程，突出权威性。

（三）质量管理人员能力因素

质量管理工作成效很大程度上取决于管理人员的专业能力。目前，土木工程房屋建筑领域质量管理人员综合能力普遍较差，缺乏必要专业知识和技能培训。面对复杂工程问题时，质量管理人员难以做出准确判断和有效应对，增加了工程质量问题的风险。而且，随着时代发展和市场变化，质量管理方法和技术不断更新，许多管理人员缺乏学习动力和意识，无法及时提升自身能

作者简介：杨志文（1986.11—），男，汉族，四川攀枝花人，本科，西南科技大学，中级工程师，主要研究方向：建筑工程。

力和素质，制约了质量管理工作的提升。

二、机械设备因素

在现代房屋建筑施工中，机械设备的作用越来越重要。从土方开挖到混凝土浇筑，从垂直运输到装饰装修，每一个环节都离不开机械设备的支持。施工过程中应用高端机械设备，施工进度加快，效率提高，且不会出现施工质量问题。对于工作人员而言，劳动强度降低，不会有人为因素的干扰，施工质量有保证。

施工现场的所有技术人员以及设备操作人员对于机械设备的操作规程充分熟悉，严格按照规定操作，同时还加强对设备的日常保养工作，具备简单的维修能力，做好机械设备的管理工作，确保机械设备在施工中健康运行。施工技术人员了解机械设备性能的同时，还要探究操作方法，尤其是智能化机械设备，通过调整参数控制其运行状态，就要从施工情况出发，将设备参数调节之后，使其运行符合施工要求。

机械设备操作人员上岗之前要接受专业培训，即便其已经具备操作同种类型设备的操作经验，考虑到施工需求不同，需要设备发挥的功能不同，操作人员也要接受培训，经过考核合格之后才能上岗。操作人员使用机械设备的时候，有技术人员和管理人员现场指导，强调安全的重要性，使其严格按照操作规程进行操作。

操作人员使用机械设备的时候，对设备的运行情况要认真观察，如果设备出现异常状况，其应有的性能没有充分发挥，就要及时与技术人员沟通，由专门的人员现场处理，操作人员则在旁学习，以便同类问题出现能够自主处理^[2]。

同时，施工单位要定期对设备进行保养并做好技术维修工作，长期使用的机械设备必然存在零部件磨损问题，要及时更换新部件，确保设备正常发挥性能，提高运行可靠性。

三、环境因素

环境因素多种多样，而且不断变化，施工管理人员对此高度重视并实施把握，明确其对房屋建筑工程质量所产生的影响非常复杂，且不同的因素在不同的时段所带来的影响不同，具有多变性。所以，参与房屋建筑施工的人员要将有利的环境因素合理利用，能够带来负面影响的环境则要采取预防措施，避免造成不良后果。环境因素有很多种，包括地质因素、水文因素、气象因素、噪声因素、通风因素等等，此外，气候环境变化，包括温湿度、暴风雨以及酷暑严寒等等都会对工程质量造成负面影响。

房屋建筑施工过程中，进入到灌注环节，进行商品混凝土浇筑的时候，为了避免不良气候因素造成负面影响，对于气候变化情况要充分考虑，浇灌操作要连续进行，不能有简单，同时还要创造良好的养护条件，保证养护之后混凝土施工的各项指标符合要求。在炎热的夏季，要选择早晚气温较低的时候进行混凝土浇筑，同时要采取遮阳、降温等措施，防止混凝土失水过快。在冬季，要对混凝土进行保温养护，确保混凝土在适宜的温度下

强度能够正常增长。建设单位和施工企业应根据施工特点，将环境因素充分利用起来并采用科学有效的控制措施，发现有不利用因素，要采用科学有效的措施解决。例如，在噪音较大的施工场地，要采取隔音措施，减少对周边居民的影响；在通风不良的施工场地，要安装通风设备，改善施工环境。

如果工程所在区域地质条件不是很好，诸如软土环境中进行桩基础施工的时候，需要采取必要的加固处理措施，比如，应用打桩技术或者换填软土等等，提高基础的稳定性。整个的处理过程中的，都要有技术人员、安全管理人员等在现场监督，发现有不当操作及时纠正。任何微小的失误都会导致不良后果，所以，基于现场的环境因素开展监督工作，采取必要的预防措施。因为环境因素为客观存在，难以应对，预防是最好的方法^[3]。只有预防到位，才能将环境因素导致的质量问题发生率控制在最低。

比如，房屋建筑工程所在区域的水文条件复杂，尤其是进入到夏天的雨季，地下水位会比较高，施工的同时就要做好降水和排水工作，避免地下水影响基础和结构。气象条件如果对工程质量已经造成不良影响就难以遏制，当处于高温环境中，进行混凝土浇筑施工的过程中，混凝土表面的水分快速蒸发，而内部水分蒸发比较慢，这样就导致混凝土块内部与表面温差很大，导致温度裂缝；当处于低温环境中，混凝土增长强度的速度比较缓慢，容易出现冻害。所以，工程施工的时候，对于气候变化要密切关注，把握规定，针对恶劣气候环境要采取有效的应对措施，对于施工时间以及施工顺序都要合理安排，避免施工被天气因素影响而无法顺利推进。

四、安全因素

房屋建筑施工的风险性比较高，即便采取防护措施，也难免安全事故发生，不仅严重威胁现场人员，且因此造成财产损失，工程进度减慢，质量难以控制建设、施工和监理单位需共同抓好安全生产，建立和完善安全生产制度体系。施工单位要认真制订和落实各项制度，配备安全设备和管理员，实行文明施工；建设和监理单位要将监督检查作为日常工作中的重要内容，施工管理中不断完善监督检查制度。只有保证生产安全，才能确保施工团队凝聚力强且稳定可靠，且控制好工程质量。各单位具体安全管理责任如下：

（一）建设单位

工程建设单位要明确安全管理职责，并在实际工作中以行动呈现，此为施工安全的重要保障。建设单位还要组织施工单位、监理单位的安全管理人员从工程特点出发解读安全生产制度，对于不当之处及时调整，确保其对施工发挥指导了控制作用，促使监理人员在施工现场按照规定进行安全监督，如有安全隐患能够及时发现并消除^[4]。

（二）施工单位

其一，安全管理制度落实。进入到施工阶段，施工单位严格按照制度要求实施管理，按照操作规定施工设备，且现场有专门的管理人员实施监督。施工单位要考虑到工程自身所具备的特

点，还要了解施工现场的实际情况，基于施工需求将安全生产管理工作内容明确，并完善制度以及操作规程。同时，为还要定期组织施工人员进行安全管理制度以及操作规程学习，使其认识到施工安全的重要性，并注重约束自己不当行为^[5]。

其二，配置好安全设备。施工单位要将施工人员所需要的各种安全设备配置好，所有进入施工现场的人员都要戴好安全帽、安全带，并将安全网布设好，让施工人员在安全的环境中工作^[6]。安全管理人员要进入到施工现场巡查，不再现场的情况下，也要使用计算机或者智能手机对现场全方位监测，尤其是容易发生事故之处，全程监测，如果有违反规定的行为能够及时发现并及时制止，将安全隐患消除^[7]。

其三，文明施工。工程施工安全管理工作中，文明施工为重要内容。施工单位要保持施工现场干净、整洁，施工材料以及各种设备要放置在指定的地点，并有序摆放，便于施工中拿取使用^[8]。同时，文明施工还避免影响周边环境，发挥环保价值。

（三）监理单位

监理单位在日常的施工中做好监督工作，指导施工单位做好安全管理工作。进行指导和监督^[9]。如果施工现场出现安全事故，导致施工人员不安，不利于施工的顺利推进。同时，安全事故还会造成施工停止整顿，不能按期完成，工程成本增加。所以，监理单位要承担起安全管理责任，工程保质保量完成^[10]。具体工作中，要做好如下几项工作：

其一，把控现场施工。监理单位工作人员负责现场施工的监

督检查，确保施工过程与设计图纸以及相关规范相符合。通过定期的质量检查和验收，及时察觉并纠正施工中的质量问题。如对原材料进行抽检，确保其质量达到设计要求，防止因材料不合格引发的工程安全隐患。

其二，组织试验工作。组织并监督各类试验工作，以确保建筑物的结构安全。例如对预拌混凝土强度试件的见证取样与送检过程进行全过程旁站，保证检测结果真实可靠，从而为结构安全提供依据。

其三，审查施工方案。在审查混凝土施工方案时，重点审查不同强度等级混凝土的浇筑方案、分隔措施。如对有高低强度等级混凝土交界的区域，要审查分隔位置和措施是否合理，保障不同强度等级混凝土施工质量，避免结构安全问题。

五、结束语

通过研究明确，房屋建筑工程施工质量管理看似简单，实则结构复杂且操作繁琐，管理人员在实际工作中会遇到诸多不确定因素，需应对诸多挑战。为做好这项工作，树立质量管理意识的同时，还要基于实际优化管理模式，发挥其应有的效能，促使各方之间相互协作，有效沟通，即便施工环境持续变化，这种管理模式也能够适应，满足市场需求。只有如此，房屋建筑工程质量有保证，工程投入使用后，为用户提供安全可靠的室内空间，且具有较高的舒适度，对建筑行业持续、健康发展起到促进作用。

参考文献

- [1] 张博. 施工现场施工质量管理中的关键成功因素分析 [J]. 工程设计与施工, 2024, 006(5):70-72.
- [2] 白雪. 加强房屋建筑施工技术质量管理的方法分析 [J]. 工业 A, 2023, 000(4):147-150.
- [3] 范成杰. 土木工程项目施工进度管理和施工质量管理探析 [J]. Engineering Science Research & Application, 2023, 004(7):47-49.
- [4] 林海文. 房屋建筑工程质量管理中存在的问题及对策——基于建设单位管理视角 [J]. 建材发展导向, 2024, 022(20):91-93.
- [5] 卢扬. 如何优化建筑施工管理以提高建筑工程质量研究 [J]. 工业 A, 2023, 000(4):117-120.
- [6] 张博. 施工现场施工质量管理中的关键成功因素分析 [J]. 工程设计与施工, 2024, 006(5):70-72.
- [7] 刘艳, 杨超. 提高房屋建筑工程管理与施工质量的策略探讨 [J]. 工程管理与技术探讨, 2022, 004(2): 402-403.
- [8] 赖玉成. 房屋建筑施工进度管理中的关键节点 控制对策探究 [J]. 中国房地产业, 2022,000(2):101-103.
- [9] 郎立文. 建筑工程中进度管控与质量管理的关键因素研究 [J]. 葡萄酒, 2023,000(15):40-42.
- [10] 黄分明. 房屋建筑工程的施工质量管理中存在的问题与对策 [J]. 工程技术, 2022, 000 (1) : 89-90.

BIM视角下PC建筑施工技术分析

艾慧斌

浙江明康工程咨询有限公司, 浙江 杭州 310000

DOI:10.61369/ETQM.2025090035

摘 要 : 本文旨在从BIM视角下对PC建筑施工技术开展研究,从而总结如何实现BIM赋能PC建筑。研究阶段,运用文献阅读法对PC施工技术内涵以及技术应用期间BIM技术的赋能价值进行探讨。随后,从建筑模型设计、工程量汇总、项目设计失误排除等多维度入手,揭示BIM技术如何赋能PC建筑施工过程,提升施工效率与质量。希望本文可为我国建筑工程企业提供技术指导、借鉴价值,全面发挥BIM技术赋能价值,提升PC预制构件合格率,缩短施工周期并降低成本,为PC建筑施工的工业化升级提供持续性的技术支持。

关 键 词 : BIM技术; PC建筑施工; 建筑模型; 场地布置

Analysis of PC Building Construction Technology from the Perspective of BIM

Ai Huibin

Zhejiang Mingkang Engineering Consulting Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang 310000

Abstract : This paper aims to conduct research on PC (prefabricated concrete) building construction technology from the perspective of BIM (Building Information Modeling), with the goal of summarizing how to achieve BIM empowerment in PC building construction. During the research phase, the literature review method was employed to explore the connotations of PC construction technology and the empowerment value of BIM technology during its application. Subsequently, from multiple dimensions such as architectural model design, quantity takeoff, and elimination of project design errors, the paper reveals how BIM technology empowers the PC building construction process, enhancing construction efficiency and quality. It is hoped that this paper can provide technical guidance and reference value for construction engineering enterprises in China, fully leveraging the empowerment value of BIM technology to improve the qualification rate of PC prefabricated components, shorten construction periods, reduce costs, and provide continuous technical support for the industrial upgrading of PC building construction.

Keywords : BIM technology; PC building construction; architectural model; site layout

相比传统建筑工程现浇施工技术,PC建筑施工技术具有三重显著优势,第一是现场装配作业相比传统现浇作业在工期上可缩短30%~50%。第二是预制工厂的恒温养护环境、标准化的生产体系可让预制混凝土强度达标率提高到98%以上。第三是工厂生产预制构件可以有效减少80%以上现场建筑垃圾,降低60%左右的粉尘与噪声污染。而从BIM视角下对PC建筑施工技术进行分析,落实施工BIM技术赋能,是进一步促进PC建筑施工技术演进、升级,减少设计变更、提升装配效率的高价值研究举措。

一、PC建筑施工技术概述

PC建筑施工技术全称Prestressed Concrete,即预制混凝土构件施工技术。该技术通过工厂标准化生产混凝土构件如梁、柱、墙板、楼板等,随后经过运输、吊装、拼接、节点处理等工序,完成建筑装配的工业化建造技术。PC建筑施工技术的核心在于将传统现场浇筑作业转移到工厂预制,基于工业化的生产模式来替代分散式的施工,落实建筑构件的标准化设计、装配化施工以及批量生产。PC建筑施工技术的技术流程聚焦于工厂预制→现场装配→协同管控,并基于全过程的信息化管理实现PC建筑生产、运

输、装配数据的实时交互,保证各环节无缝衔接。

二、PC施工中BIM技术应用价值

PC施工过程中,BIM技术的应用价值聚焦为三维协同优化、资源动态配置以及数据追溯管控。如图1:

第一,BIM赋予的三维协同优化功能,能够有效破解构件拆分难题。基于BIM模型对PC构件的参数化拆分,能够提高预设墙板、梁柱、连接节点与配置方案的精准性,避免传统2D图纸导致的信息断层问题。有效减少现场装配期间的尺寸冲突问题,提

升预制构件匹配精准度20%以上。

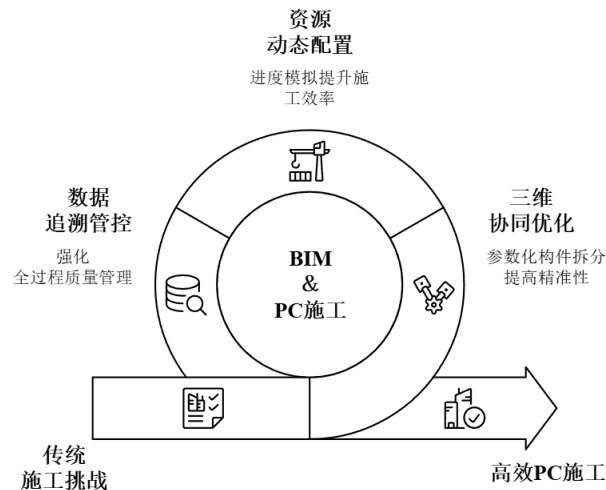


图1 PC施工中 BIM技术应用价值

第二，BIM技术可通过资源动态配置来提升施工组织的效率。利用 BIM_4D进度模拟，能够关联构件吊装计划、现场机械调度，同时自动预警塔吊作业冲突以及进场材料滞后等风险，让 PC施工工序衔接效率提升30%以上，减少因资源错配可能造成的窝工损失。

第三，BIM提供的数据追溯管控，能够强化全过程质量闭环管理。BIM平台能够整合预制构件生产、运输、吊装等全周期数据，基于植入 RFID芯片等技术实现构件身份的唯一标识，监理、质检队伍扫码即可调取工厂的养护记录、现场安装偏差等关键信息，保障质量整改周期压缩到48h之内^[1]。

三、基于 BIM技术视角的 PC施工技术研究

从 BIM技术视角开展 PC施工技术研究，可聚焦于建筑模型设计、工程量汇总、设计失误排除、图纸生成、施工场地布设、可视化交底六大环节。

（一）建筑模型设计

在 PC施工建筑模型设计期间，BIM技术主要以参数化建模为核心，打造涵盖构件生命周期信息的3D数字载体，这一技术过程贯穿了“拆分设计、信息集成、生产衔接”三大关键环节。

第一步，拆分设计期间，基于 BIM软件的模块化功能，对建筑工程项目构筑物整体进行构件拆解，以构件的受力特点、运输限定为依据确定拆分的单元，例如将剪力墙分解为3m×2.8m的预制标准墙板，同时在模型中预设吊装点坐标，如距离板顶1/3处，确定灌浆套筒的位置，利用碰撞检测工具对构件接缝部位钢筋的避让空间进行校验，确保相邻墙板的预埋钢筋在安装期间不会产生交叉冲突。

第二步，信息集成环节下，在模型中嵌入多维度参数。其中几何参数包括预留孔洞直径、构件尺寸偏差，材料参数包括钢筋屈服强度、混凝土强度等级，工艺参数则指向脱模时间、养护温度。构建多维参数库后，利用族库功能建立标准化构件库，将空调板、飘窗等建筑中的异形构件参数化模型进行分类存储，以支

持后期的调用以及一键尺寸修改。

第三步，生产衔接阶段，对模型数据利用专用接口导出使其成为工厂生产设备可识别的加工指令这一过程下，预制工厂内的数控钢筋弯箍机，或以模型中的钢筋参数为依据自动加工预制构件，生产线则会利用读取模型中的预埋件坐标，实现机器人操作精准埋置。该技术相比传统现场浇筑技术，构件的生产合格率可从80%左右提升到98%以上，并降低60%以上的设计变更率^[2]。

（二）工程量汇总

工程量汇总阶段，利用 BIM技术驱动 PC施工工程量汇总需要打造动态提取、分类统计、联动更新的全流程数字化链条，这一过程的技术聚焦于模型算量、规则构建、多维数据拆分以及实时校验三个维度。

首先，算量规则构建期间，在 BIM平台内预设建筑项目 PC构件工程量的计算逻辑，针对预制梁，按照长度乘以截面面积来计算混凝土的用量，同时同步关联钢筋的含量参数，如1.2t/m³。针对建筑物叠合板，需要区分预制部分与现浇部分，分别统计工厂预制混凝土量以及现场后浇层的用量。同时，利用构件属性标签的设置，如“地上三层预制柱”、“地下一层叠合板”等实现按照施工部位、构件类型进行工程量双维度归类。

其次，多维数据分析环节，使用 BIM的过滤功能生成专项工程量清单，按照生产阶段拆分，对工厂预制所需的水泥、砂石等原材料用量进行统计，同时统计现场安装的灌浆料、密封胶等辅材数量。随后按照合同维度拆分，将材料分为预制墙板等“甲供材”，连接钢筋等“乙供材”，并分别建立量单系统，自动关联价格信息，生成具体的造价明细。

最后，实时校验层面，工程量数据从模型变更保持高度联动，一旦发生设计参数调整，如预制板厚度从120mm增加到150mm，系统自动重新计算混凝土的用量以及相应钢筋的增重，同时推送变更前后的量差对比列表，为项目的材料采购计划提供高度精准的数据支撑。表1为不同构件类型的算量维度与核心参数标准：

表1 不同构件类型的算量维度与核心参数标准

构件类型	算量维度	数据输出形式	核心参数标准	偏差范围
预制梁	混凝土体积、钢筋重量	分楼层工程量清单、材料需用计划	截面尺寸偏差 ≤ ±5mm，钢筋间距 ±10mm	≤ 3%
叠合板	预制层/后浇层用量	工厂生产清单、现场浇筑量单	桁架筋间距 500mm，板厚偏差 ±3mm	≤ 2%
预制墙板	混凝土量、预埋件数量	构件加工图、辅材采购清单	预留孔洞位置偏差 ≤ 10mm	≤ 1.5%

（三）项目设计失误排除

基于 BIM技术开展 PC施工设计失误排除，是通过“多专业协同校验+节点性能模拟+施工过程预演”这一技术链条，让静态的图纸校验向动态风险预判演进，这一过程主要聚焦于三个技术环节。

环节1，多专业协同校验。该环节下，将建筑、结构、机电、BIM模型整合为统一的“协同平台”。针对结构专业模型下的预

制柱、机电专业预埋管线位置冲突等问题，系统会自动标记冲突的坐标，同时计算出最小的避让距离。针对建筑专业的预制外墙板、暖通专业空调洞口不匹配问题，专业协同校验会生成可视化的对比报告，推动洞口尺寸优化到合理的大小。

环节2，节点性能模拟。该环节，是对关键连接节点进行力学仿真。例如，针对预制梁、柱的灌浆套筒连接，可在BIM模型内导入材料力学参数，例如360MPa套筒抗压强度，85MPa灌浆料抗压强度。随后，模拟竖向荷载作用下的节点变形量，确保将其控制在0.3mm之内。一旦发现钢筋锚固长度不足或其他问题，系统自动发出预警。针对预制楼梯平台板的支座节点，节点性能模拟环节可以通过抗剪承载力模拟来验证预埋件的焊接质量是否满足技术要求，如焊缝高度是否 $\geq 8\text{mm}$ 。

环节3，施工过程预演。该环节主要利用4D模拟技术，对构件安装可行性进行校验。实施阶段，在模型内导入塔吊的参数，如最大起重量6t、作业半径50m，随后模拟预制楼板的吊装路径。模拟过程中，一旦发现吊装路径同已安装预制柱存在碰撞风险等问题，则系统自动给出吊装角度调整，如从 90° 调整为 45° 。随后，对预制墙板安装顺序进行模拟优化，从角部向中间推进吊装作业流程，有效避免后续构件无法就位问题，最终快速提前排查出预制构件、机电管线等分项工程可能存在的冲突，减少返工成本、缩短施工周期。

（四）自动生成图纸

在PC施工自动生成图纸环节，BIM技术可通过模型参数、图纸模板的关联映射，实现全类型图纸的一键生成，这一技术过程包含“参数提取、模板配置”两大核心步骤。

其一，在BIM模型内进行预制构件视图参数的预设。例如，预制墙板的配筋间距设置为150mm，预留孔洞定位为 $X=1200\text{mm}$ 、 $Y=900\text{mm}$ 等关键信息。利用属性关联功能，将三维模型数据转化为二维图纸线条、尺寸标注信息。

其二，配置分类图纸模板。其中，“生产加工图模板”包含钢筋大样、预埋件坐标。“安装指导图模板”主要关联吊装点位置、节点连接方式。图纸生成期间，系统会根据构件类型自动调用对应模板，同时同步嵌入材料参数如HRB 400钢筋规格、C35混凝土用量等技术说明^[3]。

（五）施工场地布设

PC施工场地布设期间，BIM技术围绕“三维模拟+冲突校验+动态优化”实现精准化管理。这一过程的技术应用聚焦于“构件的堆放规划、吊装路径模拟、资源配置可视化”技术链条。

首先，构件堆放区规划期间，利用BIM模型导入场地的地形数据，并以构件类型为依据划分堆放区域。例如，预制墙板规划

采用立放架，设置间距800mm，叠合板使用水平叠放形式，层数 ≤ 6 层。同时，模型中会标注吊装半径、运输通道宽度，确保重型卡车可以在运输期间通畅运行。

其次，吊装路径模拟环节，BIM平台将塔吊参数、构件的重量进行关联，利用4D模拟校验的形式分析吊装过程中同已建结构的安全距离，倘若发现与脚手架或其他部位存在冲突，则自动优化吊装角度。

最后，资源配置可视化维度，在BIM模型内植入施工机械、临时设施的坐标位置，利用颜色来区分不同施工阶段场地的占用状态，“绿色”表示预制阶段，“黄色”为安装阶段。同时，生成《场地使用计划表》，如每日构件进场量为20件。这一过程，可全面提升场地利用率，并有效缩短构件二次搬运距离，提升吊装效率。

（六）节点可视化交底

PC施工节点可视化交底环节，旨在利用BIM技术来突破传统二维图纸的局限性，利用“参数化节点建模+施工工序模拟+移动端交互”的技术路径提升交底的精准度。

首先，针对梁、柱、连接墙板拼接关键节点开展精细化建模，植入材料参数与施工操作标准，通过剖切视图来展示内部的构造。其次，利用BIM模型开展施工工序模拟。以墙板安装为例，这一施工过程下，系统分步演示吊装对位、临时固定、灌浆作业具体操作流程，同时同步标注质量控制点如灌浆孔溢浆顺序等。最后，移动交互环节负责将模拟视频与节点模型导入平板电脑中，让施工现场可以通过扫码调取对应节点的3D指导施工文件，且文件支持缩放、旋转进行细节查看。例如，针对预埋件焊接位置可进行细节分析。此外，系统可支持时长3~5min的工序动画播放，全面提升节点合格率，降低工人对施工设计意图的理解时间，有效解决传统技术交底过程中“图纸难懂、工艺模糊”的工程痛点^[4]。

四、结束语

综上所述，本文对BIM视角下的PC施工技术进行了系统化的梳理，涵盖了基于BIM的PC施工建筑模型设计、工程量精准核算、设计失误排除等六大环节，最终形成了“参数化建模+协同管理+动态优化”的技术框架体系。将本文研究成果应用于实践，可以显著提升PC建筑施工效率，降低质量风险。未来研究，学界与相关从业者可进一步探索BIM技术如何实现与人工智能、物联网的融合应用，进一步优化构件生产、现场装配实施的协同效果，为PC建筑的全寿命周期管理提供高度智能化的解决方案。

参考文献

- [1] 张金鑫. 装配式建筑综合施工技术研究与应用[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2025, (23): 136-138.
- [2] 李华健, 王旭东, 覃鑫林, 等. BIM技术在波形钢腹板PC箱梁桥施工新工艺发展中的应用[J]. 公路与汽运, 2023, (06): 118-122.
- [3] 蒋华明. BIM视角下PC建筑施工技术探讨[J]. 中国住宅设施, 2023, (07): 175-177.
- [4] 伏斌. 建筑密集区BIM协同PC构件施工技术研究[J]. 建筑科技, 2023, 7(03): 40-42.

传统建筑语汇的数字化转译与当代适应性研究

胡可

天津市建筑设计研究院有限公司, 天津 300074

DOI:10.61369/ETQM.2025090036

摘 要： 传统建筑语汇承载地域文化、工艺特征与历史记忆，其数字化转译为建筑信息化与现代设计提供了可能。通过三维建模、BIM技术及虚拟现实手段，传统构件、装饰符号和空间语义能够实现精确表达与动态呈现。同时，结合当代建筑功能需求与审美趋势，对传统语汇进行适应性改造与创新应用，可在保留文化意象的基础上增强空间实用性与技术兼容性，为文化传承与现代建筑设计融合提供有效路径。

关 键 词： 传统建筑；数字化转译；适应性设计；BIM；文化传承

Digital Translation and Contemporary Adaptability Research of Traditional Architectural Vocabulary

Hu Ke

Tianjin Architectural Design Institute Co., Ltd., Tianjin 300074

Abstract： Traditional architectural vocabulary embodies regional culture, craftsmanship characteristics, and historical memories. Its digital translation offers possibilities for architectural informatization and modern design. Through 3D modeling, BIM technology, and virtual reality methods, traditional components, decorative symbols, and spatial semantics can be accurately expressed and dynamically presented. Meanwhile, by integrating contemporary architectural functional requirements and aesthetic trends, adaptive transformations and innovative applications of traditional vocabulary can enhance spatial practicality and technical compatibility while preserving cultural imagery. This approach provides an effective pathway for the integration of cultural heritage and modern architectural design.

Keywords： traditional architecture; digital translation; adaptive design; BIM; cultural heritage

引言

传统建筑语汇不仅承载历史文化与工艺记忆，也是地域性建筑特色的重要标识。然而，随着城市化与现代设计需求的变化，许多传统元素面临消解或功能脱节的困境。数字化技术的兴起为传统建筑语汇的精确表达与动态呈现提供了新的手段，使其在三维建模、BIM与虚拟现实环境中得到保存与再造^[1]。同时，结合当代建筑功能与审美，传统语汇可以通过适应性转化实现创新应用，为文化传承与现代建筑设计的有机融合开辟可行路径。

一、传统建筑语汇的文化内涵与表现特征

传统建筑语汇作为历史文化的重要载体，深刻体现了地域文化、社会制度、宗教信仰和生活习俗的多重内涵。建筑构件、装饰符号、空间布局及材料选择不仅具有功能性和结构性意义，更蕴含丰富的文化象征。例如，屋檐的翘角、斗拱的层次排列、窗棂的花纹设计，不仅承载力学与空间组织的需求，也体现了审美观念、风水理念和社会等级制度。这些元素通过代代传承形成独特的视觉语言，使建筑成为历史记忆和文化认同的具象表达^[2]。不同地域的建筑语汇在材料使用、色彩搭配和构造形式上呈现差异，山地、平原、水乡等环境因素塑造了各具特色的空间感知与建造技法，使建筑本身成为地理环境、气候条件与文化背景的综合反映，同时也体现了地方工匠的智慧积累与社会价值观的折射。

从形式上看，传统建筑语汇具有高度符号化和系统化的特征。构件、装饰和空间元素往往遵循一定的比例关系和规范体系，形成可识别的语言规则。例如，梁柱结构的承重逻辑、院落布局的轴线秩序以及屋顶的层叠形式，不仅体现工艺技术水平，也表达社会文化秩序和象征意义。装饰纹样如花鸟、龙凤、云纹等，既有美学价值，也承载吉祥如意或文化信仰，形成视觉与符号的双重体验。这种系统化使得传统建筑语汇能够跨越时间与空间传递文化信息，即使在材料老化或功能变化后，其文化象征仍具识别性和延续性。同时，建筑语汇与民俗、宗教仪式和地方工艺密切相关，构成一套完整的文化表达体系，是理解历史社会结

构和人文精神的重要窗口，也为现代建筑提供了形态、比例和符号语言上的参考与借鉴。

在历史传承与现代研究中，理解传统建筑语汇的文化内涵不仅有助于保护历史遗产，也为当代建筑设计提供了丰富的创意源泉。文化内涵的把握要求对建筑语言的符号意义、空间功能和工艺技术进行整体分析，从而理解其社会、历史与环境背景。例如，木结构建筑中的榫卯技艺不仅体现结构合理性，也体现人与自然的和谐理念与工匠精神；青砖灰瓦的材料选择反映气候适应性和地域特色。这些内涵为数字化转译和当代适应性提供了基础参考，使现代设计能够在保留文化意象的同时，满足功能需求与技术标准的要求^[9]。进一步地，建筑语汇的文化象征还可转化为现代设计的创意元素，通过色彩、纹理、结构和空间关系的创新运用，使现代建筑在视觉和精神层面与历史文脉产生呼应。通过对传统建筑语汇的深入解析与价值挖掘，能够实现历史文化价值的再现与创新应用，为文化传承和现代建筑实践之间建立桥梁，推动建筑语言在现代社会中延续其独特生命力。

二、数字化转译技术在建筑语汇表达中的应用

数字化转译技术为传统建筑语汇的精准表达和可视化呈现提供了全新路径。通过三维建模、BIM（建筑信息模型）及虚拟现实（VR）等技术手段，建筑师和研究者能够将传统构件、装饰纹样及空间布局以数字化方式进行精确重构，实现历史信息的完整保存。三维建模能够在虚拟空间中再现屋顶、梁柱、斗拱等复杂构造，使传统工艺和比例关系以可视化形式呈现，便于理解其结构逻辑和文化象征意义^[4]。BIM技术进一步将构件的尺寸、材质、力学性能以及装饰符号的符号信息整合，实现多维度、多属性的数据管理，使建筑语汇不再局限于静态平面或二维图纸，而是形成可以交互、可分析的动态信息系统。这种数字化表达不仅有助于历史建筑的研究与保护，也为当代设计提供了可操作的创作资源，使传统语汇能够在现代建造环境中得到精确应用和再造，并为后续的设计迭代和功能拓展提供可靠的数据支撑。

在实际应用中，数字化转译技术不仅是对建筑形式的再现，更是对文化内涵的解析与传递。通过参数化设计和数字化构件库，建筑师可以将传统纹样、构造方法及空间比例转化为可调整的设计元素，实现对历史语言的灵活运用。例如，斗拱或雕花窗棂在数字化建模中可以被拆解为标准模块，通过参数化设置调整其尺寸、层次和形态，使其既保留原有的文化意象，又能够适应现代建筑功能和空间尺度。虚拟现实和增强现实技术的引入，使研究者、设计师甚至公众能够在沉浸式环境中感知传统语汇的空间效果与文化氛围，加深对历史建筑美学和工艺的理解。同时，数字化转译能够支持结构仿真、力学分析与施工模拟，通过对材料性能、荷载分布及施工流程的精准计算，确保传统元素在现代建筑中应用的安全性及可行性，实现文化传承与技术实现的有机结合，进一步拓展了建筑语汇的功能边界和应用价值。

数字化转译技术在建筑语汇表达中的应用不仅体现在形式复现和技术支持，还为当代适应性设计提供了基础条件。数字化手

段能够将传统语汇与现代设计需求紧密结合，通过数据化、模块化和可调控的方式实现创新应用^[6]。例如，传统院落布局可以通过数字化模拟优化空间使用效率，屋顶飞檐和窗棂纹样能够在满足现代防水、隔热和安全规范的前提下进行形态创新。数字化记录与建模还能够建立完整的建筑语汇数据库，为文化遗产保护、学术研究以及当代设计实践提供可追溯的资料支撑。这种技术不仅促进了建筑文化的传承，也为建筑师在现代设计中引入传统元素提供了可操作的工具，实现传统与现代的有机融合。通过数字化转译，传统建筑语汇不再是静态符号，而成为可分析、可应用、可创新的设计语言，为文化传承、教育推广及现代建筑实践之间搭建了坚实桥梁，同时为建筑语言的创新发展提供了持续动力与方法论支持。

三、当代设计需求下的传统语汇适应性改造

在现代建筑设计中，传统建筑语汇的直接应用往往面临功能性、尺度和技术标准等方面的限制，因此适应性改造成为实现传统文化与现代需求融合的关键途径。适应性改造首先需要传统元素的文化价值、结构特性和空间功能进行系统分析，明确其核心意象与可变部分。以斗拱、飞檐或雕花窗棂为例，其文化象征性和视觉辨识度是不可替代的核心，而尺寸比例、材料选择和安装方式则可以根据现代建筑标准进行优化调整。通过这种“保核心、调细节”的策略，传统语汇既能延续其文化内涵，又能够满足现代建筑的承重、安全、舒适及施工规范要求，为建筑功能性与文化表现力的兼容提供解决方案^[9]。同时，这一过程能够激发设计者的创造性思维，使传统元素在新材料、新技术和现代建筑体系中焕发新的表现力。

在设计实践中，适应性改造强调技术手段与创意设计的结合。借助数字化模型、参数化设计和模块化构件，建筑师可以将传统元素进行灵活组合，实现多样化的空间表达。例如，传统院落格局可以通过数字化模拟优化通风、采光与空间利用效率，使其在现代住宅、公共建筑或商业空间中发挥实用功能。装饰纹样和构件形式可以通过可调参数进行尺度缩放、材料替换或形态创新，同时保持其文化象征性和视觉节奏。这种方法不仅提升了设计的灵活性和可控性，也为施工和维护提供便利，使传统语汇在当代环境中具有可操作性和可持续性，避免了文化元素在现代应用中流于表象或形式化的困境。同时，通过与现代建筑工艺和施工流程的深度融合，也使适应性改造的成果更易于实现标准化与模块化生产，提升建筑设计与建造效率。

适应性改造还需要与用户体验和社会需求紧密结合，确保传统语汇在现代建筑中发挥实际价值。现代建筑强调空间舒适性、功能合理性和人性化体验，传统语汇在改造过程中应考虑通行便利、空间尺度、光照、通风、隔声等因素，使文化元素服务于使用者的实际需求^[7]。例如，在公共建筑中，传统屋顶或檐口的设计不仅需要美学考量，也要兼顾雨水排放、日照调节和安全规范；在住宅建筑中，雕花窗棂或屏风装饰需要平衡美观、采光和隐私保护。同时，适应性改造应关注建筑的长期使用价值与维护

便利性，考虑材料耐久性、构件可更换性及维护成本，使文化元素在现代环境中得以持续呈现。通过这种多维度、多层次的适应性改造，传统建筑语汇能够在现代设计中被赋予新的功能与意义，实现文化传承与现实需求的有机统一，为建筑创作提供兼具历史深度、现代技术支持与当代价值的综合设计策略。

四、数字化与文化遗产融合的实践路径与案例

数字化技术的引入为传统建筑语汇的保护与创新应用提供了系统化的方法论，使文化传承与现代设计能够在实践中实现深度融合。通过建立数字化数据库，将传统建筑的构件、装饰纹样、空间布局及历史文献进行系统整理和三维建模，不仅可以实现信息的完整存储与可追溯管理，还能够为后续设计和施工提供可靠数据支撑。这种数据库不仅涵盖形态、比例、材质等物理属性，还可以记录其文化象征意义、地域差异及历史背景，使传统语汇在数字化环境中得到多维度的呈现与分析^[8]。通过这种方式，设计师可以快速调取所需元素进行创新应用，同时保证文化内涵的准确传递，避免传统符号在现代设计中流于表面化或符号化。

在具体实践中，多种数字化手段为文化传承与现代应用提供了有效路径。例如，BIM技术可以将传统元素与现代建筑体系融合，实现从设计到施工全过程的可控管理；虚拟现实和增强现实技术可以将历史建筑场景在沉浸式环境中重现，为设计决策、教育推广及公众体验提供直观感知；参数化设计和模块化构件则使传统语汇在功能、尺度和材料上可调整，满足现代建筑的规范要求与空间使用需求。通过这些技术手段，不仅可以在保护历史建筑的同时进行精准复原，还可以将传统语汇创新应用于现代建筑

项目中，使文化意象与现代功能形成有机统一。多个实践案例显示，通过数字化转译与适应性改造，传统屋顶、斗拱、雕花窗棂等元素能够在公共空间、住宅、商业综合体中被灵活运用，同时保持视觉美感和文化象征意义，实现文化传承的现实价值。

数字化与文化遗产的融合还强调跨学科协作和社会参与，以形成可持续的实践模式。建筑师、历史学者、数字技术专家和施工团队需要在设计早期就建立协同机制，确保文化内涵、技术可行性与建筑功能的平衡。同时，公众参与和教育推广也是实现文化传承的重要环节，通过数字化展览、虚拟体验和互动式学习，使历史建筑语言不仅被专业人士理解和应用，也被社会大众认知和欣赏。这种多层次的实践路径不仅促进了文化的保护与传播，也为现代建筑设计注入深厚的历史价值与地域特色。数字化技术因此不仅是一种工具，更是一座桥梁，将传统建筑语汇的历史深度与当代建筑的创新实践紧密连接，实现文化、技术与功能的综合优化，为未来建筑创作提供可复制、可推广的实践经验。

五、结语

传统建筑语汇承载深厚的文化内涵，其数字化转译不仅实现历史信息的精准保存，也为当代设计提供可操作的创作工具。通过参数化设计、BIM建模及虚拟现实技术，传统元素得以在现代建筑中灵活应用，同时保持文化象征与视觉辨识。适应性改造与实践案例表明，数字化与文化遗产的融合不仅促进了历史价值延续，也提升了建筑功能与空间体验，为建筑设计提供文化深度与创新活力的有机结合路径，推动传统与现代的协调发展。

参考文献

- [1] 潘峰, 吴雪. 徽州传统建筑纹样的数字转译与设计传承 [J]. 当代文坛, 2025, (05): 8–9. DOI: 10.19290/j.cnki.51-1076/i.2025.05.039.
- [2] 刘家广, 巩志强. 浅析数字时代背景下传统建筑文化符号在现代建筑设计中的解构与重构 [J]. 中原文化与旅游, 2025, (10): 134–136.
- [3] 唐陈, 张莉, 蔡雨欣, 等. 国内传统建筑数字化保护研究现状与趋势 [J]. 城市建筑, 2025, 22(04): 1–4+34. DOI: 10.19892/j.cnki.csjz.2025.04.01.
- [4] 陈方晔. 传统建筑工程数字化转型升级路径探索 [J]. 科技视界, 2024, 14(36): 92–95.
- [5] 晋恒, 齐琪, 陈秋月, 等. 传统建筑装饰的数字化保护传承策略研究——以螭吻为例 [J]. 家具与室内装饰, 2024, 31(11): 118–123. DOI: 10.16771/j.cn43-1247/ts.2024.11.017.
- [6] 纪家冉, 李斯雨. 江南传统民居建筑数字博物馆交互设计研究 [J]. 城市建筑空间, 2024, 31(05): 103–105.
- [7] 陈甜甜, 李国华, 王利青, 等. 数字技术在传统建筑木作技艺传承中的应用 [J]. 建筑与文化, 2024, (03): 217–219. DOI: 10.19875/j.cnki.jzywh.2024.03.069.
- [8] 李艺洋, 马云. 传统建筑遗产数字化视觉转译研究综述 [J]. 建筑与文化, 2024, (01): 294–297. DOI: 10.19875/j.cnki.jzywh.2024.01.094.

新能源光伏电站项目建设和管理难点与对策

何清跃

蒙江流域开发有限公司, 贵州 都匀 558000

DOI:10.61369/ETQM.2025090002

摘 要 : 全球对清洁能源的需求增长很快, 新能源光伏电站是可持续能源发展的重要部分, 在我国发展速度很快。不过, 项目建设和管理有很多难题。项目前期, 规划审批流程麻烦, 要协调多个部门。因为政策和地域不同, 获取土地资源也非常困难。设备采购时, 供应商情况不一样, 质量控制也不够严格。施工的时候, 有安全隐患, 进度也容易延误。到了并网和后期运维阶段, 多方配合也存在问题。为了解决这些问题, 需要采取一些办法。前期要优化规划流程, 经常和政府部门沟通, 让审批更顺利。可以通过租赁、合作开发等多种方式获取土地, 尝试农光互补、渔光互补这些新的土地利用模式。设备采购要完善制度, 严格把控质量。施工管理要用信息化手段, 随时监控安全和进度。还要建立多方协作机制, 解决并网和运维环节的问题。

关 键 词 : 新能源; 光伏电站; 项目建设和管理; 难点; 对策

Challenges and Countermeasures in the Construction Management of New Energy Photovoltaic Power Stations

He Qingyue

Mengjiang River Basin Development Co., Ltd., Duyun, Guizhou 558000

Abstract : The global demand for clean energy is growing rapidly, and new photovoltaic power stations are an important part of sustainable energy development, experiencing rapid growth in China. However, there are many management challenges in project construction. In the early stages, the planning approval process is complicated, requiring coordination with multiple departments. Due to differences in policies and regions, obtaining land resources is also very difficult. During equipment procurement, supplier conditions vary, and quality control is not strict enough. During construction, there are safety hazards, and progress can easily be delayed. In the grid connection and later operation and maintenance phases, cooperation among various parties also presents issues. To address these problems, some measures need to be taken. Early on, the planning process should be optimized, frequent communication with government departments should be maintained to facilitate smoother approvals. Land acquisition can be achieved through leasing, joint development, and other methods, exploring new land use models such as agrivoltaics and fishery photovoltaics. Equipment procurement should improve systems and strictly control quality. Construction management should employ information technology to monitor safety and progress in real-time. Additionally, a multi-party collaboration mechanism should be established to resolve issues in the grid connection and operation and maintenance phases.

Keywords : new energy; photovoltaic power station; project construction management; challenges; countermeasures

引言

全球能源结构转型和应对气候变化背景下, 新能源产业发展良好。光伏发电因清洁、可再生等优势, 成为新能源重要发展方向。近年来, 我国大力推进新能源光伏电站项目建设, 装机容量不断增加。不过, 新能源光伏电站项目建设是复杂系统工程, 涉及规划设计、土地征用、设备采购、施工建设、并网发电等多个环节, 每个环节都有不同程度管理难点。若这些难点不解决, 会影响项目建设进度、成本控制和工程质量, 阻碍光伏发电产业高质量发展。所以, 分析建设管理难点并提出可行对策, 有重要理论和现实意义。

一、新能源光伏电站项目建设管理难点

（一）项目前期规划与审批复杂

新能源光伏电站项目前期规划要考虑光照资源、地形地貌、电网接入条件等多种因素。光照资源决定发电站发电效率和经济效益，需通过长时间气象数据监测和专业分析评估。但实际操作中，有些地区气象数据不完整、不准确，导致光照资源评估有偏差，影响项目选址和规模设计。

地形地貌复杂也给项目规划带来挑战。山地、丘陵地区光照资源丰富，可地形起伏大，施工难度高，建设成本增加；平原地区施工方便，可土地资源紧张，还可能涉及基本农田保护问题。另外，电网接入条件不确定，也增加规划难度。要是附近没有合适变电站或输电线路，就需新建配套输电设施，这不仅增加投资成本，还可能造成电网接入审批延迟。

项目审批方面，新能源光伏电站项目涉及多个部门和多项审批手续，像发展和改革部门的项目核准、自然资源部门的土地审批、生态环境部门的环境影响评价等。各部门审批标准和流程不一样，审批周期长，不同地区审批政策也有差异，容易出现审批环节衔接不好、重复提交材料等问题，使项目前期准备时间大幅延长，耽误项目建设进度^[1]。

（二）土地资源获取难度大

新能源光伏电站项目占地面积大，土地资源获取成为项目建设关键难题。一方面，国家加强耕地保护政策，基本农田不能用于光伏发电项目建设，可利用土地资源范围受限。另一方面，非耕地资源中，适合建设光伏电站的土地也少。比如，荒山、荒坡等未利用土地，存在地形复杂、交通不便、配套基础设施不完善等问题，增加项目建设成本和施工难度。

而且，土地权属问题复杂。土地流转过程中，涉及很多土地所有者和使用者，协调难度大。有些地区土地产权不清晰，历史遗留问题多，导致土地流转协议难以达成，甚至引发纠纷，严重影响项目推进。同时，土地租赁或征用成本不断上升，给项目投资带来压力，压缩项目利润空间。

（三）设备采购与质量管控困难

新能源光伏电站设备种类繁多，主要有太阳能电池板、逆变器、支架、汇流箱等。设备采购环节有很多挑战。首先，市场上设备供应商多，产品质量不一样。有些供应商为追求利润，用低价竞争策略，产品在原材料选用、生产工艺等方面有缺陷，导致设备性能不稳定、使用寿命短。项目建设单位采购设备时，因缺乏专业技术评估能力，难以准确判断设备质量，容易买到低质量产品。

其次，设备采购价格波动大。太阳能电池板等核心设备价格受原材料价格、市场供需关系等因素影响明显。比如，多晶硅是太阳能电池板主要原材料，其价格大幅波动会直接引起电池板价格变化。另外，国际市场环境变化、行业政策调整等因素，也会影响设备采购价格，增加项目成本控制难度。

设备质量管控方面，项目建设单位往往没有完善的质量检验体系，也缺乏专业质检人员。设备到货后，只进行简单外观检查

和数量清点，很难发现内部潜在质量问题。有些设备在安装调试时才暴露出质量问题，这时更换设备不仅增加成本，还会延误工期^[2]。

二、新能源光伏电站项目建设管理难点的对策

（一）优化项目前期规划流程，加强审批沟通

项目前期规划阶段，项目建设单位应和专业机构合作，利用先进技术手段和专业知识，全面、准确评估光照资源、地形地貌、电网接入条件等。比如，用卫星遥感技术和地理信息系统（GIS）分析项目选址区域地形地貌，结合气象数据建立光照资源评估模型，提高项目选址和规模设计科学性、合理性。

同时，建立项目前期规划多部门协同机制，组织规划、设计、工程等部门人员共同参与，从项目建设全流程考虑各方面因素，避免规划设计不合理导致后期变更。项目审批方面，加强和政府部门沟通协调。项目建设单位应提前了解当地审批政策和流程，安排专人对接各审批部门，及时掌握审批进度，积极配合解决审批过程中出现的问题。还可以建立项目审批信息共享平台，实现各部门信息互通，减少重复提交材料，提高审批效率。

（二）多渠道拓展土地资源获取途径

为解决土地资源获取难题，项目建设单位应积极探索多样化土地利用模式。一方面，和当地政府合作，在符合政策要求前提下，开发荒山、荒坡等未利用土地建设光伏电站，并配套建设相关基础设施，改善当地环境和交通条件。另一方面，创新土地利用方式，采用“农光互补”“渔光互补”等模式。“农光互补”项目中，太阳能电池板下方可以种植农作物或开展畜牧养殖，实现土地立体利用，不影响农业生产，又满足光伏电站用地需求；“渔光互补”模式在鱼塘上方建设光伏电站，下方进行水产养殖，提高土地和水面综合利用率。

土地流转过程中，加强和土地所有者、使用者沟通协商，建立合理利益分配机制。通过公开透明方式确定土地租赁或征用价格，保障各方利益。借助政府部门协调作用，解决土地产权不清晰等历史遗留问题，确保土地流转工作顺利进行^[3]。

（三）完善设备采购制度，强化质量管控

项目建设单位应建立完善设备采购管理制度，规范采购流程。选择设备供应商时，制定严格供应商准入标准，全面评估供应商资质、生产能力、产品质量、售后服务等方面。可以通过实地考察、参考以往项目案例等方式，筛选出信誉好、产品质量可靠的供应商。同时，建立供应商评价和考核机制，定期评价供应商供货质量、交货期、售后服务等，淘汰表现不好的供应商，形成优胜劣汰竞争环境。

设备质量管控方面，加强设备进场检验环节。项目建设单位应配备专业质检人员，用先进检测设备和技術，对设备进行全面检测，包括外观检查、性能测试、参数验证等。对于太阳能电池板和逆变器核心设备，可委托第三方检测机构检测，确保设备质量符合要求。此外，建立设备质量追溯体系，记录设备生产、运输、安装等环节，一旦出现质量问题，能及时追溯责任，采取

处理措施。

（四）运用信息化手段提升施工过程管理水平

为加强施工过程管理，项目建设单位应引入信息化管理手段，建立施工管理信息系统。该系统可实现对施工进度、安全、质量等实时监控和管理。在施工现场安装传感器、摄像头等设备，将施工数据实时传输到管理平台，管理人员能随时了解施工现场情况，及时发现和解决问题。

施工安全管理方面，利用信息化系统重点监控危险作业环节，设置安全预警机制。出现违规操作或安全隐患时，系统自动发出预警信息，提醒相关人员采取措施。通过信息化系统加强施工人员安全教育培训，定期推送安全知识和案例，提高施工人员安全意识和操作技能。

施工进度管理方面，用项目管理软件动态管理施工进度。根据施工计划制定详细进度网络图，对比分析实际施工进度和计划进度，及时发现进度偏差，采取调整措施。加强和设备供应商、设计单位等相关方沟通协调，建立信息共享机制，确保设备按时供应，减少设计变更对施工进度的影响。

施工质量管理方面，利用信息化系统建立质量检验数据库，记录和分析施工过程中质量检验数据。通过数据分析及时发现质

量问题规律和趋势，采取针对性改进措施。加强对施工单位和监理单位管理，明确各方质量责任，通过信息化系统实现质量问题在线反馈和处理，提高质量管理效率^[3]。

三、结论

新能源光伏电站项目建设管理面临着项目前期规划与审批复杂、土地资源获取难度大、设备采购与质量管控困难、施工过程管理存在风险以及并网与后期运维协调不畅等诸多难点。这些难点问题严重影响了光伏电站项目的建设进度、成本控制和工程质量，制约了光伏发电产业的可持续发展。通过优化项目前期规划流程、多渠道拓展土地资源获取途径、完善设备采购制度、运用信息化手段提升施工过程管理水平以及建立多方协同机制等对策，可以有效解决这些管理难点问题，提升新能源光伏电站项目建设管理水平，保障项目顺利建设和高效运行，促进我国光伏发电产业的健康发展，为实现“双碳”目标贡献力量。未来，随着技术的不断进步和管理经验的积累，新能源光伏电站项目建设管理将不断完善和创新，推动光伏发电产业迈向更高的发展阶段。

参考文献

[1] 邱嵩. 新能源光伏电站项目建设管理创新分析 [J]. 中国设备工程, 2025, (01): 11-14.

[2] 吴凡. 新能源光伏电站项目建设管理 [J]. 产品可靠性报告, 2024, (09): 47-48.

[3] 刘磊. 新能源光伏电站项目建设管理研究 [J]. 企业科技与发展, 2022, (03): 191-193.

[4] 张国俊. 新能源光伏电站项目建设管理的几点浅见 [J]. 中国高新区, 2018, (07): 142.

[5] 李杰. 新建建筑屋顶分布式光伏方案研究 [J]. 云南水力发电, 2024, 40(04): 4-8.

[6] 钟蕊, 王娇月, 徐婷婷, 等. 光伏 + 矿山生态修复模式的减碳增汇潜力评估 [J]. 应用生态学报, 2024, 35(05): 1379-1387.DOI: 10.13287/j.1001-9332.202405.022.

[7] 赵旭光, 杨林霏. 电力企业建设施工环境合规问题研究——以电力企业中的光伏产业为切入点 [J]. 华北电力大学学报 (社会科学版), 2024, (01): 24-33.DOI: 10.14092/j.cnki.cn11-3956/c.2024.01.004.

[8] 张泽华. 储能背景下家庭分布式光伏发电项目投资决策综合评价研究 [D]. 河北地质大学, 2024.DOI: 10.27752/d.cnki.gsjzj.2024.000248.

[9] 许一丹. M 电化学储能电站并网工程项目风险管理研究 [D]. 山东大学, 2023.DOI: 10.27272/d.cnki.gshdu.2023.003324.

[10] 李桐. 大型光储电站并网运行的协调优化控制研究 [D]. 山东大学, 2023.DOI: 10.27272/d.cnki.gshdu.2023.001319.

面向碳中和目标的火电厂汽轮机低碳运行技术探索

蒲远

贵州黔西中水发电有限公司，贵州 黔西 551500

DOI:10.61369/ETQM.2025090003

摘 要： 本文围绕碳中和目标，对火电厂汽轮机低碳运行技术展开深入探索。系统阐述了火电厂汽轮机运行现状及碳排放问题，从汽轮机本体优化、热力系统改进、能源综合利用等方面，分析了实现低碳运行的关键技术，包括高效通流设计、余热回收利用、多能互补集成等。通过理论研究与技术剖析，为火电厂汽轮机低碳化改造和运行提供技术参考，助力电力行业实现碳中和目标。

关 键 词： 碳中和；火电厂；汽轮机；低碳运行；节能技术

Exploration of Low-Carbon Operation Technology of Steam Turbine in Thermal Power Plant towards Carbon Neutral Goal

Pu Yuan

Guizhou Qianxi Zhongshui Power Generation Co., Ltd., Qianxi, Guizhou 551500

Abstract： This article focuses on the carbon neutrality goal and delves into the low-carbon operation technology of steam turbines in thermal power plants. It systematically examines the current operational status and carbon emission issues of steam turbines in thermal power plants, analyzing key technologies for achieving low-carbon operation from aspects such as turbine optimization, thermal system improvements, and comprehensive energy utilization. These technologies include efficient flow design, waste heat recovery, and multi-energy integration. Through theoretical research and technical analysis, this article aims to provide technical references for the low-carbon transformation and operation of steam turbines in thermal power plants, thereby supporting the power industry's efforts toward carbon neutrality.

Keywords： carbon neutral; thermal power plant; steam turbine; low-carbon operation; energy saving technology

引言

随着全球气候变化问题日益严峻，实现碳中和已成为世界各国应对环境挑战的重要战略目标。我国提出力争 2030 年前实现碳达峰，2060 年前实现碳中和的“双碳”目标，这对各行业的绿色低碳转型提出了迫切要求。电力行业作为碳排放的主要领域，其碳减排成效对实现碳中和目标至关重要。火电厂在我国电力供应结构中占据主导地位，而汽轮机作为火电厂能量转换的核心设备，其运行效率和能耗水平直接影响着火电厂的碳排放。因此，探索火电厂汽轮机低碳运行技术，提高汽轮机的能源利用效率，降低其运行过程中的碳排放，是推动电力行业实现碳中和目标的关键举措。目前，国内外在汽轮机低碳运行技术方面已开展了诸多研究，但仍存在技术应用深度不足、系统集成度不高等问题。本文将系统探讨面向碳中和目标的火电厂汽轮机低碳运行技术，以期为行业发展提供有益参考。

一、火电厂汽轮机运行现状与碳排放分析

（一）汽轮机运行效率现状

当前，火电厂汽轮机的运行效率受到多种因素的制约。从设备本身来看，部分火电厂的汽轮机设备老化，通流部分存在磨损、腐蚀等问题，导致蒸汽流动阻力增大，能量转换效率降低。例如，叶片表面的磨损会改变其气动外形，使蒸汽在叶片通道内

的流动状态恶化，造成能量损失增加。同时，汽轮机的调节系统性能也对运行效率有重要影响。传统的调节方式响应速度较慢，在负荷变化时难以快速、精准地调节汽轮机的进汽量和功率输出，容易导致汽轮机偏离最佳运行工况，从而降低运行效率。此外，运行环境和维护管理水平也会影响汽轮机的运行效率。例如，蒸汽品质不达标会导致汽轮机内部结垢，进一步增大流动阻力，降低效率^[1]。

作者简介：蒲远（1993.02-），男，汉族，贵州黔西人，本科，工作领域：火电厂集控运行。

（二）汽轮机碳排放来源

火电厂汽轮机的碳排放主要源于其热力循环过程中化石燃料的燃烧。在常规火电厂中，煤炭、天然气等化石燃料在锅炉内燃烧释放热量，将水加热成高温高压蒸汽，蒸汽推动汽轮机做功，实现热能向机械能的转换。然而，化石燃料燃烧过程中会产生大量的二氧化碳等温室气体。此外，汽轮机在运行过程中还存在一些辅助设备的能耗，如润滑油系统、冷却系统等，这些设备消耗的能源也间接产生碳排放。而且，汽轮机热力系统的泄漏问题也不容忽视，蒸汽泄漏不仅造成能量损失，还会导致碳排放增加^[2]。

（三）碳中和目标对汽轮机运行的挑战

碳中和目标对火电厂汽轮机的运行提出了前所未有的挑战。一方面，要求汽轮机在保证电力供应稳定的前提下，大幅降低能耗和碳排放，这需要对汽轮机的设计、运行和管理进行全面优化。例如，提高汽轮机的热效率，减少单位发电量的碳排放，就需要采用更先进的热力循环方式和高效的设备部件。另一方面，随着可再生能源在电力系统中的占比不断提高，电网对火电厂的灵活性要求也越来越高。汽轮机需要具备更强的调峰能力，能够快速响应电网负荷变化^[3]。但频繁的负荷调整会对汽轮机的运行稳定性和寿命产生不利影响，同时也增加了实现低碳运行的难度。此外，碳中和目标还促使火电厂加快技术升级和改造，这对企业的资金、技术和人才都提出了更高的要求。

二、汽轮机本体优化低碳运行技术

（一）高效通流设计技术

高效通流设计是提高汽轮机能量转换效率、实现低碳运行的关键技术之一。通过采用先进的气动设计方法，对汽轮机的叶片、喷嘴等通流部件进行优化设计，可以有效降低蒸汽在通流部分的流动阻力，提高蒸汽的做功能力。例如，采用三维气动设计技术，能够精确地模拟蒸汽在通流部件内的流动状态，根据模拟结果对叶片的型线、安装角等参数进行优化，使蒸汽在叶片通道内的流动更加顺畅，减少涡流和分离损失。同时，新型材料的应用也为高效通流设计提供了支持。采用高强度、低摩擦系数的材料制造叶片等部件，可以进一步降低能量损失，提高汽轮机的运行效率。此外，对通流部分的密封结构进行优化，减少蒸汽泄漏，也能有效提高汽轮机的效率，降低碳排放^[4]。

（二）新型叶片材料与制造工艺

新型叶片材料和制造工艺的发展为汽轮机的低碳运行提供了新的途径。传统的叶片材料在高温、高压和高速蒸汽的冲刷下，容易出现磨损、腐蚀等问题，影响汽轮机的运行效率和寿命。而新型高温合金材料具有优异的高温强度、抗氧化和抗腐蚀性能，能够在更高的温度和压力条件下稳定运行，提高汽轮机的进气参数，从而提升热效率。例如，采用镍基高温合金制造叶片，可使汽轮机的进气温度提高，增加循环热效率^[5]。在制造工艺方面，先进的增材制造技术（3D 打印）可以实现叶片复杂结构的精确制造，优化叶片的内部流道，进一步提高蒸汽的流动性能。同时，增材制造技术还可以减少材料浪费，降低制造成本。

（三）先进调节系统应用

先进调节系统的应用能够显著提高汽轮机的运行灵活性和效率，助力实现低碳运行。现代数字电液调节系统（DEH）相比传统调节系统，具有响应速度快、调节精度高的优点。它能够实时监测汽轮机的运行参数，根据电网负荷变化和运行要求，快速、精准地调节汽轮机的进汽量和功率输出，使汽轮机始终保持在最佳运行工况。此外，基于智能控制技术的调节系统，如采用人工智能算法和专家系统，能够对汽轮机的运行状态进行智能分析和预测，提前调整运行参数，避免因负荷突变等因素导致汽轮机偏离最佳工况。这种先进的调节系统不仅提高了汽轮机的运行效率，还增强了其对电网负荷变化的适应能力，减少了不必要的能耗和碳排放^[6]。

三、汽轮机热力系统改进低碳运行技术

（一）余热回收利用技术

余热回收利用是提高火电厂能源利用效率、降低碳排放的重要手段。汽轮机在运行过程中，会产生大量的余热，如排汽余热、疏水余热等。通过采用合适的余热回收装置，将这些余热进行回收利用，可以提高整个热力系统的能量利用率。例如，利用凝汽器余热加热生活用水或厂区供暖系统，实现能源的梯级利用。此外，采用余热锅炉回收高温烟气余热，产生蒸汽驱动汽轮机发电，进一步提高了能源的转换效率^[7]。在余热回收利用过程中，关键在于选择高效的换热设备和合理的工艺流程，确保余热能够得到充分回收和有效利用，减少能源浪费，降低碳排放。

（二）热力系统优化集成

对汽轮机热力系统进行优化集成，能够消除系统中的能量损失环节，提高系统的整体性能。通过对热力系统进行全面分析和诊断，找出存在的不合理之处，如管道布置不合理导致的阻力过大、系统匹配不当等问题，并进行针对性的改进。例如，优化蒸汽管道的走向和管径，减少蒸汽在管道内的流动阻力；合理调整热力系统中各设备的参数匹配，使整个系统在最佳工况下运行。同时，采用先进的热力系统仿真技术，对不同的优化方案进行模拟分析，选择最优的系统集成方案。热力系统的优化集成不仅可以提高汽轮机的运行效率，还能降低系统的能耗和碳排放，实现火电厂的低碳运行。

（三）新型热力循环方式应用

新型热力循环方式的应用为火电厂汽轮机的低碳运行提供了新的思路。传统的朗肯循环在能源利用效率上存在一定的局限性，而一些新型热力循环方式，如联合循环、回热循环等，能够更好地利用能源，提高热效率。例如，燃气-蒸汽联合循环将燃气轮机和蒸汽轮机有机结合，先利用燃气轮机燃烧天然气产生高温高压燃气推动燃气轮机做功，排出的高温烟气再进入余热锅炉产生蒸汽驱动蒸汽轮机发电，实现了能源的梯级利用，提高了整个系统的发电效率，降低了单位发电量的碳排放。此外，先进的回热循环通过增加回热加热器，将汽轮机抽汽用于加热给水，提高了给水温度，减少了锅炉的燃料消耗，

从而降低了碳排放。

四、汽轮机能源综合利用低碳运行技术

（一）多能互补集成技术

多能互补集成技术是实现火电厂低碳运行的重要发展方向。将火电厂汽轮机与可再生能源发电系统，如太阳能、风能等进行有机集成，形成多能互补的能源供应体系。例如，在火电厂周边建设太阳能光伏电站或风力发电场，将可再生能源产生的电力与火电厂的电力进行统一调配和管理。当可再生能源发电充足时，火电厂可以降低负荷运行，减少化石燃料的消耗和碳排放；当可再生能源发电不足时，火电厂再增加负荷，保证电力供应的稳定。同时，还可以将火电厂的余热、余压等能源与其他能源形式进行互补利用，进一步提高能源的综合利用效率，降低火电厂的整体碳排放^[8]。

（二）储能技术结合应用

储能技术与汽轮机的结合应用能够有效提高火电厂的灵活性和能源利用效率。在火电厂中配置适当的储能装置，如电池储能系统、抽水蓄能等，可以在电力负荷低谷时，将汽轮机多余的电能储存起来；在电力负荷高峰时，再将储存的电能释放出来，满足电网的用电需求。这样既可以减少火电厂在负荷低谷时的不必要发电，降低燃料消耗和碳排放，又能提高火电厂在负荷高峰时的供电能力，增强对电网的支撑作用^[9]。此外，储能技术还可以平抑可再生能源发电的间歇性和波动性，使火电厂与可再生能源更好地协同运行，实现能源的优化配置和低碳利用。

（三）碳捕集与封存（CCS）技术

碳捕集与封存（CCS）技术是实现火电厂近零排放的关键技

术之一。在火电厂汽轮机运行过程中，对燃烧产生的二氧化碳进行捕集，然后通过管道运输或其他方式将其封存于地下深处，如枯竭的油气田、深部咸水层等。目前，碳捕集技术主要有化学吸收法、物理吸附法等。化学吸收法是利用化学溶剂与二氧化碳发生化学反应，将其吸收分离；物理吸附法则是利用吸附剂对二氧化碳的物理吸附作用进行捕集。虽然 CCS 技术在应用过程中还存在成本较高、能耗较大等问题，但随着技术的不断发展和完善，其将在火电厂实现碳中和目标的过程中发挥重要作用，为火电厂汽轮机的低碳运行提供有力支持^[10]。

五、结论

实现碳中和目标是我国电力行业面临的重大挑战和发展机遇。火电厂汽轮机作为电力生产的核心设备，其低碳运行技术的研究与应用对于推动电力行业的绿色低碳转型至关重要。本文通过对火电厂汽轮机运行现状与碳排放分析，探讨了汽轮机本体优化、热力系统改进、能源综合利用等方面的低碳运行技术。高效通流设计、新型叶片材料与制造工艺、先进调节系统等技术能够提升汽轮机本体的性能；余热回收利用、热力系统优化集成、新型热力循环方式等技术有助于改进汽轮机热力系统；多能互补集成、储能技术结合应用、碳捕集与封存等技术为汽轮机能源综合利用提供了新途径。这些技术的综合应用和不断创新，将有效提高火电厂汽轮机的能源利用效率，降低碳排放，助力我国电力行业实现碳中和目标。未来，还需要进一步加强相关技术的研发和应用推广，解决技术应用过程中面临的成本、技术集成等问题，推动火电厂汽轮机低碳运行技术的持续发展。

参考文献

- [1] 景斯阳, 朱艺蒙, 倪尔璐. 面向碳中和目标的中国新一代核电站公众性与感官设计创新 [J]. 包装工程, 2025, 46(08): 27-37. DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2025.08.003.
- [2] 郑贵滨, 李燕, 吴卓. 面向碳中和目标的广州市土地利用优化与碳储量评估 [J/OL]. 环境科学, 1-15[2025-05-31]. <https://doi.org/10.13227/j.hjks.202410257>.
- [3] 党海生. 面向碳中和目标的绿色给排水设计策略探讨 [J]. 绿色中国, 2025, (02): 130-132.
- [4] 朱婧, 刘金娜, 房学宁, 等. 面向碳达峰碳中和目标的省域碳减排仿真与对策研究——以河北省为例 [J]. 生态经济, 2024, 40(07): 20-26.
- [5] 陈诗一, 王畅, 郭越. 面向碳中和目标的中国工业部门减排路径与战略选择 [J]. 管理科学学报, 2024, 27(04): 1-20. DOI: 10.19920/j.cnki.jmsc.2024.04.001.
- [6] 谭雪萍, 耿涌, 宋晓倩, 等. 构建面向碳中和目标的物质流分析研究框架——基于文献计量视角 [J]. 中国人口·资源与环境, 2023, 33(12): 145-158.
- [7] 任松彦, 汪鹏, 林泽伟, 等. 面向碳中和目标的不同碳达峰时间对经济社会的影响研究——以广东省为例 [J]. 生态经济, 2023, 39(05): 34-42+117.
- [8] 孙晓伟. 面向碳中和目标的循环经济发展路径与治理理路分析 [J]. 乌鲁木齐职业大学学报, 2023, 32(01): 21-26.
- [9] 潘继平, 焦中良. 面向碳达峰碳中和目标的中国油气发展战略思考 [J]. 国际石油经济, 2022, 30(08): 1-15.
- [10] 张铜柱, 赵明楠, 孙铎, 等. 面向碳中和目标的汽车产品碳足迹标识应用研究 [J]. 中国汽车, 2022, (07): 17-23.

电动闸阀频发无法开启问题处理

吴星龙, 刘瑜

中广核电运营有限公司, 广东 深圳 518000

DOI:10.61369/ETQM.2025090006

摘 要 : 针对电动闸阀频发无法开启问题, 通过分级管理的技术处理策略, 根据不同的阀门类型和运行工况, 制定了短期、中期及长期措施, 短期措施为动作排水、回退操作、测绘计算与设定力矩优化; 中期措施为对所有常规岛电动阀设定力矩进行校核计算, 必要时对电动头或阀杆等进行替代; 长期措施为发起力学评估, 对单向密封的闸阀开泄压孔或发起阀瓣升级替代。相关措施已取得良好应用效果。所提相关方法及结论可为电动阀开关故障评价提供参考。

关 键 词 : 电动闸阀; 无法开启; 处理策略; 设定力矩

Frequent Failure to Open Problem Handling of Electric Gate Valves

Wu Xinglong, Liu Yu

CGN Nuclear Power Operation Co., Ltd., Shenzhen, Guangdong 518000

Abstract : In addressing the frequent failure of electric gate valves to open, a hierarchical technical strategy was employed, tailored to different valve types and operating conditions. Short-term measures included optimizing set torque through mapping calculations, implementing retreat operations, and ensuring proper drainage during operation. Medium-term measures involved recalibrating the set torque for all conventional island electric valves, with necessary replacements of electric actuators or valve stems. Long-term measures encompassed initiating a mechanical evaluation, opening pressure relief holes for unidirectional sealed gate valves, or upgrading and replacing valve discs. These measures have yielded favorable results, and the proposed methods and conclusions offer valuable references for evaluating electric valve opening and closing failures.

Keywords : electric gate valve; failure to open; handling strategy; set torque

引言

某发电厂近年来在常规岛汽水系统电动闸阀频发动作异常问题, 需操作人员通过紧急干预才可顺利打开阀门。该类阀门无法正常远程电动开关, 将严重影响阀门正常执行其系统功能。几起典型的紧急干预案例如下:

2019年, 某发电厂2号机组 GSS1203/2203VL 阀门无法开启, 且 GSS2203VL 离合器故障无法手动。通过敲击振动阀体, 对阀门中腔进行泄压, 手动强制开启 GSS1203VL, 电动开启 GSS2203VL, 分析为锅炉效应造成摩擦力矩异常增大。

2021年, 某发电厂3号机组 GSS2201VV 阀门无法开启, 通过敲击振动阀体, 手动无法开启。最终通过分开电动头与阀架一定间隙后, 电动操作阀门顺利开启。分析为阀门关闭力矩过大造成闸板与阀座摩擦力过大。

2022年, 某发电厂4号机组 GSS1302VV 电动头堵转无法开启, 且无法切换至手动。现场检查电动头离合器损坏, 更换完成后, 手动开启顺畅, 电动全开。

电动闸阀作为管道上的重要启闭装置, 由于受安装空间及使用条件的限制, 要求该类阀门必须具有结构简单、密封性能好、开启灵活、抗冲击、使用寿命长、便于维修等特点^[1]。项目组对130余台电动闸阀进行分类管理, 根据不同阀门类型(楔形闸阀和平行板闸阀, 其阀体结构图见图1)和运行工况(温度、压力等), 给出不同的管理策略, 主要为对电动闸阀进行动作排水、回退操作及阀门的开关设定力矩优化。其中阀门的开关设定力矩优化作为主要优化方向, 通过对130余台电动闸阀设定力矩进行逐一核算, 最终, 有51台电动楔形

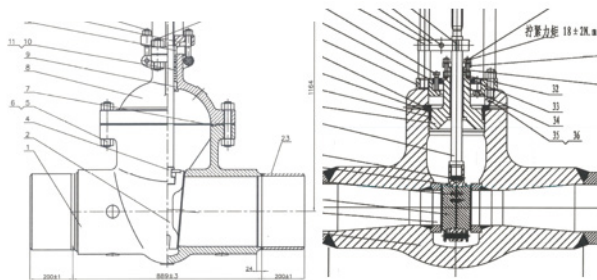


图1 楔形闸阀(左)和平行板闸阀(右)结构图

闸阀需重新调整电动头设定力矩。该电厂按照上述技术策略，经多轮大修，已完成对电动闸阀的调整，目前电动闸阀运行良好，未出现动作异常问题。

一、故障分析

电动闸阀无法正常开启，从阀门开关动力学分析，其直接原因为有效开启动力不足，具体为电动头的输出力不足以克服阀体阻力。阀门开关过程的受力分析见图2，具体可从如下几个方面分析。

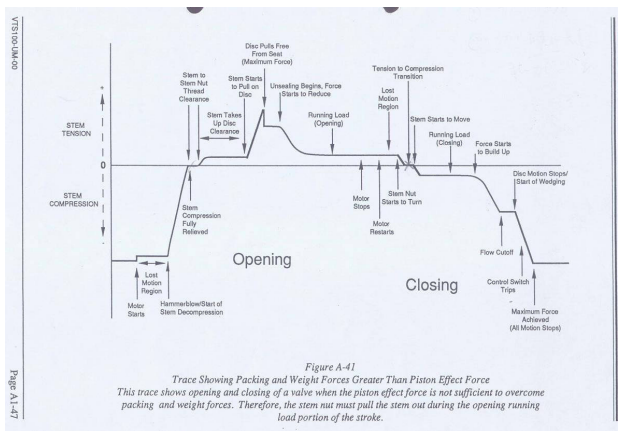


图2 阀门开关过程的受力分析

（一）开启动力不足

电动头的设定力矩不足或电动头故障导致输出力矩不足。从故障频发性分析，电动头故障导致输出力矩不足的可能性极低，电动头也有定期校验工作。因此，应主要从电动头的设定力矩进行复核计算。设定力矩不足还可能跟电装选型不当有关，电装最大输出力矩不足，阀门存在无法开关的风险^[2]。

（二）开启阻力过大

阀门开启过程中所受的阻力主要有阀杆螺纹摩擦力、盘根阻力、介质不平衡力、阀瓣摩擦力、锅炉效应等。从历次解体部件检查情况及运行工况来看，盘根阻力、介质不平衡力较为稳定，不会出现异常增大的情况。需对阀杆螺纹摩擦力、阀瓣摩擦力增大及锅炉效应做进一步分析^[3]。

1. 阀杆螺纹摩擦力偏大分析

阀杆的传动螺纹一般为单线或双线的T形螺纹，配合阀杆螺母进行传动，当螺纹出现润滑不良、磨损或损坏时，会导致传动效率降低，导致有效开启力减小。此种情况出现概率较小，可在阀门解体时发现并进行处理^[4]。

2. 阀瓣摩擦力增大分析

阀门开启时的阀瓣摩擦力主要由上下游介质压差及阀门关闭力决定（参见图3），当阀门关闭力过大时，会导致阀瓣阀座产生楔入力，以阀瓣下游密封比压进行反向计算，可得出最小的阀门关闭力，与当前设定力矩进行比对，可对阀门关闭力矩进行优化，进而达到降低阀门开启时的阀瓣摩擦力^[5]。

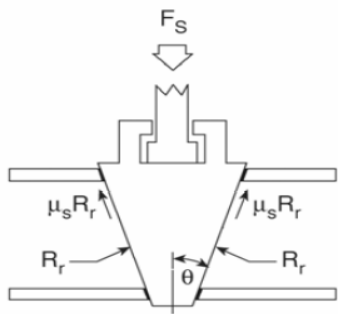


图3 阀瓣受力示意图

3. 锅炉效应分析

当闸阀处于关闭状态时，其上游或下游流体温度升高导致其阀腔流体温度也升高，从而产生热膨胀使阀腔压力升高，且升高的压力同时作用在两个阀座上，示意图参见图4。该情况适用于机组热态转换时，仍然处于全关的水介质高温阀门^[6]。

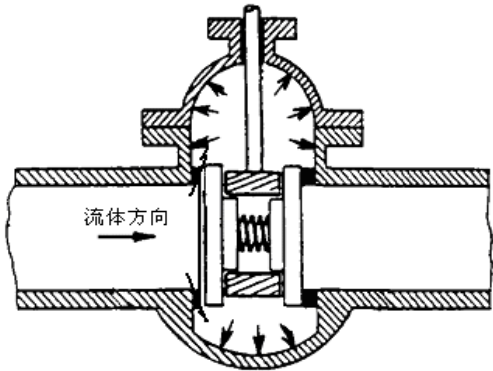


图4 闸阀锅炉效应示意图

二、改进措施

通过上述故障原因分析，需从电动头的开关设定力矩、锅炉效应、阀瓣摩擦力增大进行针对性改进，并根据阀门检查检修窗口，分别给出短期、中期及长期措施^[7]。

（一）短期措施

1. 动作排水

收集机组上行时容易发生开启异常的电动阀门清单（无中腔平衡阀的），当前轮次大修无解体工作的阀门电动开启一次阀门，排出阀门中腔内可能的积水，消除锅炉效应。

2. 回退操作

对于当次大修没有解体工作的楔形闸阀，根据系统投运状态分析存在卡涩风险的阀门。根据闸板的最大静摩擦力及阀杆应变计算电动闸回退量，在投运前最后一次电动关闭操作后，手动将阀门手轮进行回退操作，再恢复到电动状态，以减少开启时阀

瓣楔入力。此方法在电动头力矩复核优化后,可取消^[8]。

3. 测绘计算与设定力矩调整

对当前轮次大修有解体工作的阀门,测量相关零部件尺寸信息,将电动阀门关闭时的动能-冲量转换带来的附加关闭力以及闸板密封比压纳入计算考虑,对电动头设定力矩的计算方法进行优化。对阀门电动头力矩进行校核计算,根据计算结果,对电动头设定力矩调整。

(1) 闸阀阀杆受力计算

闸阀执行机构关闭或打开阀门时所需的最小推力,主要来源于阀瓣摩擦力、阀杆不平衡力、填料摩擦载荷和其他载荷,一般如阀芯重量、导轨摩擦等可忽略不计。

阀门关闭所需的最小推力:

$$F_{close} = F_{DP} + F_{SE} + F_{SP} + F_{AT}$$

阀门开启所需的最小推力:

$$F_{open} = F_{DP} - F_{SE} + F_{SP} + F_{AT}$$

其中:

F_{DP} ——阀瓣摩擦力

F_{SE} ——阀杆不平衡力 (Stem Ejection Load)

F_{SP} ——阀杆克服填料产生的摩擦载荷,即填料摩擦载荷

F_{AT} ——附加密封力

理论上阀门关闭时因截断流体,所需推力大于阀门开启的需求。另外,阀门开启初始阶段,在电气旁路的作用下,正常情况下也无需考虑阀门的开启力需求。因此,阀门设计推力仅考虑阀门关闭时的最小作用力。

(2) 阀瓣摩擦力计算

阀瓣摩擦力是指阀门运动过程中在流体压力作用下阀瓣与阀座之间产生的摩擦力,用如下公式计算:

$$F_{DP} = \frac{\mu_1}{\cos \theta \times (\cos \theta - \mu_1 \times \sin \theta)} \times (\Delta P + 2S_p) \times \frac{\pi}{4} D_s^2 \times 2F_R$$

其中:

ΔP ——阀门动作时上下游的最大压力差

θ ——密封面倾角 (V、W 型闸阀 θ 为 0)

D_s ——平均密封直径

F_R ——弹簧施加于阀盘上的力,仅适用于 V 型闸阀,一般情况下可忽略不计

μ_1 ——阀瓣与阀座摩擦系数,介质温度小于等于 180℃ 时,取 0.5,介质温度大于 180℃ 时,取 0.4;

S_p ——活塞效应,仅适用于水介质的 W、V 型闸阀, C 型闸阀不考虑活塞效应。

(3) 阀杆不平衡力计算

阀杆不平衡力是由系统介质压力作用在阀杆横截面上产生的力,该作用力在关方向为正,开方向为负。

$$F_{SE} = (PMS + S_p) \times \left(\frac{\pi}{4} D_t^2 \right)$$

其中:

PMS——系统最大工作压力

D_t ——盘根位置的阀杆直径

(4) 填料摩擦载荷

阀门填料摩擦载荷的方向与阀杆运动方向相反,填料摩擦载荷是变化的,并且受填料材料、填料压盖预紧力的影响较大。所以,设计计算时输入的填料摩擦载荷值应选取其上限值。但是,如果填料摩擦载荷的实测值高于设计值,则应以实测值计算最小设计推力。所有柔性石墨填料的闸阀推荐如下公式计算:

当 1.5PMS ≤ 100bar 时:

$$F_{SP} = 10S$$

当 1.5PMS ≥ 100bar 时:

$$F_{SP} = 10S \times 0.01 \times 1.5PMS$$

$$S = \pi D_t h$$

其中:

F_{SP} ——填料摩擦载荷 (daN)

10——压紧修正系数 (daN/cm²)

S——填料的有效摩擦面积 (cm²)

h——盘根有效高度 (mm) $h = D_t + 15_{-0}^{+5}$

(5) 附加密封力 F_{AT}

阀门为保证阀瓣、阀座的密封性,驱动机构需在硬密封接触时能提供足够的密封力,闸阀阀瓣、阀座接触时不需要附加密封力。所以,通常 $F_{AT}=0$,除非有其它规定。

(6) 阀杆系数

阀杆通过阀杆螺纹将力矩转化为推力,两者之间的关系是由螺纹的几何尺寸和两者表面的摩擦系数决定,ACME 梯形螺纹的阀杆系数确定方法如下:

$$S_F = \frac{d \times (\cos \beta \times \tan \alpha + \mu_2)}{2000 \times (\cos \beta - \tan \alpha \times \mu_2)}$$

式中:

$$\tan \alpha = Lead / (\pi \times d)$$

$$Lead = P_p \times n$$

S_F ——阀杆系数;

μ_2 ——阀杆螺纹摩擦系数,取值 0.12;

β ——螺纹牙型角的 1/2;

Lead——阀杆螺纹导程, mm;

P_p ——阀杆螺纹螺距;

n——阀杆螺纹螺纹头数;

d——螺纹中径;

(7) 最小设计设定值的确定

设计最小设定值的确定即将驱动机构需求转矩和阀杆推力进行换算,换算方法如下:

$$T = \frac{F \times S_F \times K_1}{K_2}$$

T——驱动机构设计力矩

F—— 阀杆推力
K₁—— 安全系数
K₂—— 远机传动效率

(二) 中期措施

对所有常规岛电动阀设定力矩进行校核计算，如有设计不合理的，提出调整方案并对可能造成的影响进行评估，方案明确后对电动头设定力矩进行修改，必要时对电动头或阀杆等进行替代^[9]。

(三) 长期措施

对于机组热态转换时，仍然处于全关的水介质高温阀门。发

起力学评估，对单向密封的闸阀开泄压孔或发起阀瓣升级替代。另外，引入电动阀在线诊断技术，能够在以后阀门运行中提前发现其隐性缺陷，保障设备安全运行，并使阀门的检修更具针对性。^[10]

三、结束语

针对常规岛电动闸阀频发性无法开启问题处理给出了短期措施、中期措施及长期措施，按该技术策略实施后，目前电动闸阀运行良好，未出现动作异常问题。

参考文献

[1]周丽琴,吕召政,张娜,等.电动闸阀阀杆断裂失效分析[J].理化检验-物理分册,2019,55(6):412-418.
[2]柏冰,成云龙,王淑红,等.阀门诊断技术在核电厂设备采购中的应用[J].化工自动化及仪表,2012,40(3):387-389.
[3]沈云海,谭木洋,周宁,等.电动闸阀温度场有限元仿真分析研究[J].科技视界,2022,(12):30-36.
[4]徐仁义,王航,彭敏俊,等.核电厂电动闸阀外漏故障预测方法研究[J].哈尔滨工程大学学报,2022,43(12):1759-1765.
[5]万耀阳.电动闸阀直驱永磁电机研究[D].沈阳工业大学,2023.
[6]童法松,李志杰,金菊,等.核级闸阀闸板脱落原因分析[J].阀门,2023,(03):364-369.
[7]童法松,王树森.某型电动闸阀流阻系数数值模拟与计算[J].阀门,2023,(03):370-373.
[8]高丽艳,曲洛剑,祝彬,等.电动闸阀关阀反弹的机理分析与结构改进[J].阀门,2024,(07):820-826.
[9]王璐璐.基于有限元分析法的电动闸阀故障分析应用[J].甘肃科技,2024,40(10):35-39+45.
[10]王力军.电动闸阀力矩开关频繁动作根本原因分析[J].化学工程与装备,2018,(1):169-174.

水利水电工程监理的质量控制要点与实践

陈和君

四川力合工程质量检测技术有限公司，四川 南充 637000

DOI:10.61369/ETQM.2025090012

摘 要： 本文围绕水利水电工程监理质量控制展开。阐述其涵盖工程全过程，有法规依据。介绍施工各阶段质量控制要点及多种检测方法。强调管理机制创新等优化策略，以及提升人员素质的措施。指出检测技术创新的重要性及未来智能化发展方向。

关 键 词： 水利水电工程；监理质量控制；检测技术

Quality Control Points and Practice of Supervision in Water Conservancy and Hydropower Projects

Chen Hejun

Sichuan Lihe Engineering Quality Testing Technology Co., Ltd., Nanchong, Sichuan 637000

Abstract： This article focuses on the quality control of water conservancy and hydropower project supervision. It elaborates that it covers the entire process of the project and is supported by legal regulations. The paper introduces key points of quality control at various stages of construction and multiple testing methods. It emphasizes optimization strategies such as innovation in management mechanisms, as well as measures to improve personnel competence. The importance of technological innovation in testing and future trends towards intelligent development are highlighted.

Keywords： water conservancy and hydropower project; supervision quality control; testing technology

引言

水利水电工程作为基础设施建设的重要组成部分，对社会经济发展具有关键作用。2019年颁布的《水利工程建设质量与安全生产监督检查办法（试行）》强调了工程质量控制的重要性。水利水电工程监理质量控制涵盖工程建设全过程，包括施工前规划、施工过程中及施工后验收等环节。其核心在于对原材料、施工工艺及人员素质等方面的把控，旨在确保工程符合设计标准与规范，具备安全性、可靠性和耐久性。质量控制具有明确的法规依据，如《建设工程质量管理条例》等，同时行业技术标准也具法律效力。在各阶段都有相应质量控制措施，且检测技术不断创新，对监理工程师和检测人员素质提升也有相关举措，以推动行业高质量发展。

一、水利水电工程监理质量控制的理论基础

（一）质量控制的基本内涵与目标

水利水电工程监理质量控制是确保工程质量达到预期标准的关键管理活动。它涵盖了对工程建设全过程的监督与管理，包括施工前的规划、施工过程中的操作规范以及施工后的验收等环节。其核心要素包括对原材料质量的把控、施工工艺的监督以及施工人员素质的管理等。质量控制的目标在于确保水利水电工程符合相关的设计标准和规范要求，具备良好的安全性、可靠性和耐久性，能够在长期运行中稳定发挥其功能，满足社会经济发展对水利水电工程的需求^[1]。

（二）监理质量控制的法规依据

水利水电工程监理质量控制具有明确的法规依据。《建设工程质量管理条例》等法规体系为质量控制提供了基本框架和准

则^[2]。这些法规明确了各方主体在工程建设中的质量责任和义务，包括监理单位的监督职责。同时，水利行业自身的技术标准在质量控制中也具有重要的法律效力。这些技术标准是在长期的工程实践和科学研究基础上制定的，详细规定了水利水电工程各个环节的质量要求和验收标准。监理人员必须严格依据这些法规 and 标准开展工作，确保工程质量符合要求，从而保障水利水电工程的安全和正常运行。

二、水利水电工程质量控制的关键要点

（一）施工准备阶段质量预控措施

在施工准备阶段，需从多维度构建预防性质量保障体系。对于设计图纸，应组织专业人员进行详细审查，确保其符合工程要求与相关标准规范^[3]。施工组织方案需进行严谨论证，综合考虑

施工工艺、施工顺序、资源配置等因素，保证施工过程的合理性与高效性。原材料进场验收至关重要，严格检查原材料的质量证明文件，对其规格、型号、性能等进行检验，杜绝不合格原材料进入施工现场，从源头上把控工程质量，为水利水电工程的顺利施工和高质量完成奠定坚实基础。

（二）施工过程动态监控方法

隐蔽工程验收是施工过程动态监控的关键。在水利水电工程中，像基础处理、钢筋布置等隐蔽工程，需严格按照设计和规范要求进行检查。监理单位要对隐蔽工程施工全过程进行监督，确保每一道工序符合标准后才能进行下一道工序，验收资料应完整记录^[4]。关键工序旁站同样重要，对于混凝土浇筑、灌浆等关键工序，监理人员必须在现场旁站，实时监控施工操作是否规范，材料使用是否正确，及时发现并纠正违规行为。质量缺陷闭环处理要求在发现质量缺陷后，及时记录并分析原因，制定整改措施，监督整改过程，直至缺陷完全消除，形成有效的质量控制闭环，确保工程质量。

三、质量检测技术在监理实践中的应用

（一）材料质量检测技术

1. 混凝土性能检测技术

在水利工程中，回弹法和钻芯法是常用的混凝土强度检测方法。回弹法是通过回弹仪检测混凝土表面硬度来推算其强度，具有操作简便、快速、对结构损伤小等优点^[5]。它适用于对大量混凝土构件进行快速检测和筛选，但受表面碳化、湿度等因素影响较大。钻芯法是直接从混凝土结构中钻取芯样进行抗压试验，能直接反映混凝土内部的实际强度，结果较为准确可靠。然而，该方法对结构有一定损伤，且操作相对复杂、成本较高。在实际应用中，需根据工程具体情况合理选择检测方法，或结合使用两种方法，以提高检测结果的准确性和可靠性。

2. 钢筋力学性能检测

在水利水电工程监理实践中，钢筋力学性能检测至关重要。拉伸试验是常用手段之一，通过对钢筋施加轴向拉力，测定其屈服强度、抗拉强度和伸长率等指标，以此判断钢筋是否符合工程要求^[6]。屈服强度是钢筋开始产生明显塑性变形时的应力，抗拉强度则反映钢筋抵抗破坏的最大能力，伸长率体现钢筋的塑性变形能力。弯曲试验也是关键检测方法，将钢筋绕某一规定直径的弯心弯曲一定角度后，观察钢筋表面是否有裂纹、起皮等缺陷，从而评估钢筋的韧性和质量。这些检测手段都有严格的实施标准，监理人员需严格把控，确保工程中使用的钢筋质量合格。

（二）工程实体质量检测

1. 防渗结构检测技术

注水试验是一种常用的防渗结构检测技术。通过在坝体特定位置钻孔并注水，测量水的渗透速率等参数，以评估防渗体系的有效性^[7]。该试验可直观反映坝体的渗透特性，为判断防渗结构是否存在缺陷提供依据。探地雷达则是一种无损检测技术，它利用高频电磁波在不同介质中的传播特性差异，对坝体防渗结构进

行探测。能够快速获取坝体内部结构信息，检测防渗层的厚度、连续性以及是否存在空洞、裂缝等缺陷。这两种技术在水利水电工程监理实践中，对于及时发现坝体防渗体系质量问题，保障工程安全运行具有重要意义。

2. 金属结构无损检测

在水利水电工程监理实践中，金属结构无损检测至关重要。超声波探伤技术可用于检测闸门等金属构件内部的缺陷。它通过发射高频超声波，根据反射波的特征来判断构件内部是否存在裂缝、气孔等缺陷^[8]。磁粉检测则主要用于检测金属构件表面和近表面的缺陷。将磁粉施加在被检测构件表面，若构件存在缺陷，磁力线会发生畸变，磁粉会聚集在缺陷处，从而直观地显示出缺陷的位置和形状。这些无损检测技术在保证金属结构质量，确保水利水电工程安全运行方面发挥着不可替代的作用。

四、水利工程监理质量控制的优化策略

（一）管理机制创新

1. 全过程质量追溯体系建设

水利工程监理质量控制的优化需注重管理机制创新与全过程质量追溯体系建设。在管理机制创新方面，应积极探索适应新时代水利工程特点的新模式，引入先进的管理理念和技术手段，提高管理效率和决策科学性。例如，可建立多元化的监督主体机制，加强各方协作与沟通。对于全过程质量追溯体系建设，可借助先进的信息技术如 BIM 技术构建质量信息管理系统^[9]。通过该系统，详细记录工程建设各个环节的质量信息，包括原材料来源、施工工艺参数、质量检测结果等。一旦出现质量问题，能够迅速准确地追溯到问题根源，为质量问题的解决提供有力支撑，确保水利工程质量符合标准要求。

2. 监理检测标准化流程再造

在水利工程监理质量控制的优化策略中，管理机制创新与监理检测标准化流程再造至关重要。对于监理检测标准化流程再造，可制定包含 98 个质量控制节点的标准化监理手册^[10]。这一标准化手册能够明确监理工作的各个环节和质量控制点，使监理人员在检测过程中有章可循。通过对检测流程的细致规范，能够提高检测的准确性和可靠性，确保工程质量符合相关标准和要求。同时，标准化流程也有助于提高监理工作的效率，减少人为因素导致的误差和失误，为水利工程的质量提供有力保障。

（二）检测技术创新

1. 智能传感技术应用

智能传感技术在水利工程监理质量控制中具有重要应用。以光纤传感技术为例，其在混凝土温度应力监测方面有创新实践。光纤传感技术可精确感知混凝土内部温度变化及应力分布情况。通过在混凝土结构中合理布置光纤传感器，能够实时获取大量数据。这些数据有助于监理人员及时了解混凝土的性能变化，提前发现潜在质量问题。例如，在大坝混凝土浇筑过程中，利用光纤传感技术可监测到不同部位的温度差异，从而判断是否存在不均匀冷却导致的裂缝风险。这为监理人员采取相应措施提供了依

据,确保水利工程质量符合标准。

2. 无人机巡检系统开发

开发集成红外热成像的无人机大坝表面缺陷检测系统具有重要意义。利用无人机的机动性和灵活性,可快速覆盖大面积的大坝表面。红外热成像技术能够检测到肉眼难以察觉的温度差异,从而发现潜在的缺陷。该系统通过将无人机与红外热成像设备集成,在飞行过程中实时采集大坝表面的热图像数据。然后利用先进的图像处理算法对采集的数据进行分析,识别出可能存在的裂缝、渗漏等缺陷。同时,为了确保检测的准确性和可靠性,还需要对系统进行校准和验证,建立相应的质量控制标准和流程。通过这种创新的检测技术,可以提高水利工程监理的质量控制水平,及时发现和处理大坝表面的缺陷,保障水利工程的安全运行。

(三) 人员素质提升

1. 监理工程师能力矩阵构建

为提升监理工程师素质,构建能力矩阵至关重要。需建立包含质量风险识别等8项核心能力的评价体系。质量风险识别能力要求工程师能精准察觉工程各环节潜在风险。质量标准掌握能力确保其熟知水利工程各项质量标准。工程进度把控能力使工程师可有效监督工程进度符合计划。合同管理能力保障对合同条款的准确理解与执行。沟通协调能力促进各方有效交流。问题解决能力让其迅速应对工程中的突发问题。安全管理能力注重工程安全监督。成本控制能力确保工程在预算范围内高质量完成。通过此能力矩阵评价体系,全面提升监理工程师素质,保障水利工程质量。

2. 检测人员继续教育机制

为提升检测人员素质,建立有效的继续教育机制至关重要。应设计包含新技术应用等5大模块的年度培训计划。在新技术应用模块,着重介绍水利工程领域的新兴技术,如先进的检测仪器使用方法和数据分析技术,使检测人员能紧跟行业发展。理论知识强化模块,深入讲解水利工程相关的基础理论和质量控制标准,确保检测人员理论根基扎实。实践技能提升模块,通过实际案例和模拟操作,增强检测人员的实践动手能力。职业道德培养模块,强化检测人员的职业操守和责任意识。管理知识普及模块,让检测人员了解工程管理流程,以便更好地配合监理工作,全面提升检测人员的综合素质,为水利工程监理质量控制提供有力保障。

五、总结

水利水电工程监理质量控制至关重要。需明确核心要点并探索实践路径,涵盖从工程前期规划到施工各环节的严格把控。检测技术创新为质量提升提供有力支撑,通过先进技术手段能更精准地发现问题、评估质量。基于PDCA循环的持续改进机制,可实现对工程质量的动态管理,不断优化监理过程。展望未来,智能化检测装备在行业数字化转型中具有广阔应用前景,其将提高检测效率和准确性,进一步提升水利水电工程质量。综合而言,水利水电工程监理要不断强化质量控制,融合新技术、新机制,推动行业高质量发展。

参考文献

- [1] 李平,胡坚,冯宏伟.谈水利水电工程移民综合监理与水利水电工程监理的差异[J].水力发电,2020,46(07):34-37.
- [2] 储正刚.水利水电工程施工组织设计与工程造价关系浅析[J].黑龙江水利科技,2023,51(12):183-186.
- [3] 王增翼.水利水电工程建设施工阶段的工程造价管理[J].工程设计与施工,2023,5(11):121-123.
- [4] 陈希.水利水电工程控制工程造价的有效途径研究[J].黑龙江水利科技,2023,51(10):15-19.
- [5] 杨朝碧.新时代水利工程设计阶段造价控制策略研究[J].中国招标,2023,(07):144-145.
- [6] 王贾玉.水利水电工程监理质量控制的工作要点分析[J].工程建设与设计,2022,(22):244-246.
- [7] 张茜.水利水电工程监理质量控制工作要点分析[J].治淮,2023,(07):77-78.
- [8] 王海清.水利水电工程监理质量控制的工作要点分析[J].湖北农机化,2019,(14):18-18.
- [9] 丁冬.水利水电工程监理质量控制的工作要点探讨[J].智能城市,2020,6(07):241-242.
- [10] 毕瑶.水利水电工程监理质量控制的工作要点分析[J].中国水运,2016,(08):68-69.

物流高架配电及电气控制柜温湿度合并

刘梁梁, 陈航, 罗增, 钟超^{*}
赣州卷烟厂, 江西 赣州 341000
DOI:10.61369/ETQM.2025090017

摘 要 : 本研究基于某高架库设备在2025年2月2日至2月21日期间的温度与湿度监测数据, 分析了单一节点下温度与湿度的变化趋势及其相互关系。通过时间序列分析、统计相关性检验及周期性模式识别, 发现温度与湿度呈现显著负相关关系, 且两者均受昼夜变化影响。研究结果验证了自然环境中温湿度变化的基本规律, 并为设备运行环境的优化提供了数据支持。

关 键 词 : 温度-湿度关系; 时间序列分析; 周期性波动; 工业仓储环境; 单节点监测

Logistics Overhead Power Distribution and Electrical Control Cabinet Temperature and Humidity Combined

Liu Liangliang, Chen Hang, Luo Zeng, Zhong Chao^{*}
Ganzhou Cigarette Factory, Ganzhou, Jiangxi 341000

Abstract : This study analyzed temperature and humidity trends at a high-altitude equipment facility using monitoring data from February 2 to 21, 2025, focusing on their interrelationships. Through time series analysis, statistical correlation tests, and periodic pattern recognition, we identified a significant negative correlation between temperature and humidity levels, with both variables being influenced by diurnal variations. The findings validate fundamental patterns of environmental temperature-humidity changes in natural settings while providing data-driven insights for optimizing equipment operating environments.

Keywords : temperature-humidity relationship; time series analysis; periodic fluctuation; industrial storage environment; single node monitoring

引言

温湿度监测是工业仓储环境管理的重要环节, 其动态关系直接影响设备稳定性与存储物品的质量。本研究以某高架库设备的长期监测数据为基础, 旨在揭示温度与湿度的变化规律及其内在关联, 为环境控制策略的制定提供科学依据。数据覆盖连续20天, 记录间隔为5分钟, 共计5760组数据, 具有高时间分辨率与连续性优势。

一、数据与方法

(一) 数据来源

数据来自设备30089881的节点1, 记录因子为“温度1”与“湿度1”, 时间范围为2025年2月2日00:00至2月21日15:30。数据完整无缺失, 温度范围13.3℃—19.2℃, 湿度范围41.4%—65.1%, 均在合理范围内。

(二) 分析方法

本研究采用了描述性统计分析、相关性分析、时间序列分析和异常值分析等方法, 对于温湿度相关的数据进行了深入地挖掘。而这些分析方法均基于成熟的统计学和数据分析理论。具体

的应用阐述如下表所示。

方法应用分析表

分析方法	理论基础	具体操作	在本研究中的作用
描述性统计分析	统计学基础理论	计算均值、中位数、标准差等统计量, 刻画温湿度数据的集中趋势和离散程度	快速掌握监测期间温湿度总体水平与波动幅度, 为后续分析提供基础信息
相关性分析	线性回归理论	计算 Pearson 相关系数 (取值 -1 到 1, 绝对值越接近 1 线性关系越强), 量化温度与湿度的线性关系	验证温度与湿度是否存在理论上的负相关关系

时间序列分析	自回归模型 (AR)、移动平均模型 (MA)、自回归移动平均模型 (ARIMA) 等	识别温湿度变化的周期性模式，分解时间序列数据为趋势项、季节项和随机项	展现温湿度随时间变化的趋势和周期性特征
异常值分析	正态分布理论	依据正态分布中约 99.7% 数据落在均值 +3 个标准差范围内的特性，计算 Z-score 识别异常值	找出数据中的异常值，分析其产生原因，车辅助理解温湿度变化特殊情况及潜在影响因素

二、结果与讨论

结果分析一览表

分析项目	具体内容	结论
温湿度变化趋势	观察期内，温度从 17.1℃ 升至 17.9℃，湿度从 61.1% 降至 59.5%	符合理想气体状态方程原理，温度升高使空气容纳水汽能力增强，在水汽质是不变时相对湿度降低，工业环境中设备产热、通风等遵循此热力学规律
温湿度相关性分析	Pearson 相关系数 $r = -0.85$, $p < 0.01$ ，呈显著负相关	温度升高时，水分子动能增加，更多水汽进入空气使饱和水汽压增加，相对湿度降低；工业仓储中设备、货物、通风等因素会影响该关系
周期性变化模式	温湿度变化与昼夜交替相关，白天温高湿低，夜晚温低湿高	由外部环境昼夜温度变化和内部热惯性共同作用导致
滞后效应	湿度变化滞后温度变化 10–15 分钟	热惯性致使温度变化传导至空气并影响湿度存在时间差
异常值分析	2 月 4 日 08:25，温度突降至 17.6° °C ($Z\text{-score} = -3.1$) 湿度突升至 56.2%	可能因设备短暂停机或局部通风异常，验证温湿度负相关关系

（一）温湿度变化趋势

从整体上来看，温度与湿度呈现的是相反的变化趋势。具体来说：观察期间温度从 17.1℃ 逐渐地升至 17.9℃，而湿度却从 61.1% 降至 59.5%。该变化趋势与自然环境中的温湿度变化规律相符。若从热力学的角度进行解释，便需要结合理想气体状态方程 $pV = nRT$ （其中 p 为压强， V 为体积， n 为物质的量， R 为气体常数， T 为温度）。即在封闭空间内，当温度升高时，空气分子的热运动就会加剧，而分子间的距离便会增大，使得空气容纳水汽的能力增强。此时在水汽质量不变的情况下，相对湿度就会降低，进而导致温度与湿度呈现相反的变化趋势。虽然在工业仓储环境当中空间并非完全封闭，但设备运行产生的热量、通风系统的气流交换等因素同样地遵循着这一基本的热力学原理，因此会影响温湿度的变化趋势。

（二）温湿度相关性分析

Pearson 相关系数分析显示，温度与湿度之间存在显著的负相关关系（ $r = -0.85$, $p < 0.01$ ）。这表明温度升高时，湿度倾向于下降，反之亦然。而这种负相关关系的理论基础可以从水分蒸发与凝结的物理过程来解释。即当温度升高时，水分子的动能增加，此时更多的水分子能够克服表面张力从液态转变为气态，然后进入到空气当中，导致空气的饱和水汽压增加。由于相对湿度是实际水汽压与饱和水汽压的比值，所以在实际水汽压不变或

变化较小的情况下，饱和水汽压的增加就会使相对湿度降低。反之，当温度降低的时候，饱和水汽压就会减小，此时相对湿度就会升高。就工业仓储环境来说，设备运行产生的热量、货物本身的含水量以及通风系统的换气效果等因素，均会对这一过程产生一定的影响，因此会强化或削弱温度与湿度之间的负相关关系^[1]。

（三）周期性变化模式

时间序列分析揭示，温湿度变化存在明显的周期性模式，与昼夜交替相关。白天温度较高，湿度较低；夜晚温度较低，湿度较高。这种周期性变化可能是由于外部环境温度的昼夜变化以及设备内部热惯性的共同作用。

（四）滞后效应

进一步分析发现，湿度变化略滞后于温度变化，通常滞后 10–15 分钟。这体现了热惯性对湿度的影响，即温度变化需要一定时间才能传导到空气中，进而影响湿度。

（五）异常值分析

在 2 月 4 日 08:25，温度突降至 17.6℃（ $Z\text{-score} = -3.1$ ），同时湿度突升至 56.2%。这种异常变化可能与设备短暂停机或局部通风异常有关，进一步验证了温湿度之间的负相关关系。

（六）可能影响因素

分析发现，08:00–09:00 时段的温湿度波动较大，可能与以下因素有关：

设备运行状态：该时段为设备启动或者交接班的阶段，此时运行状态的变化就可能会导致温湿度产生波动。因为在设备启动的过程中，电气元件的通电发热、机械部件的运转摩擦等都会产生热量，进而使设备的内部温度升高。同时设备启动时的气流扰动，也影响着空气的湿度分布。如果从能量转换的角度来看，在设备启动时，电能会转化为机械能和热能，而这些热量的释放则会打破原有的热平衡状态，导致温度的上升。而温度的上升又会影响空气的湿度，进而使得温湿度发生波动。不仅如此，在交接班时段，操作人员对设备的检查、调试等操作也可能会改变设备的运行参数，最终影响到温湿度。

外部环境：外部气温和湿度变化通常会通过通风系统影响到内部环境。其中通风系统的主要功能之一，就是实现室内外空气的交换，以调节室内的温湿度。通常当外部环境温度和湿度发生变化时，通风系统引入的空气会将这些变化传递到室内。例如，早晨的外部气温一般较低，且湿度相对较高，此时通风系统引入的冷空气就会降低室内的温度，同时还会增加室内的湿度。此外风向和风速的变化也影响着通风的效果，进而会影响到室内温湿度。如果风向发生了改变，则可能会导致通风系统的进气口和出气口的气流分布发生变化，进而影响到空气的交换效率，最终便会引起温湿度的波动。

人为操作：如货物搬运等操作均可能会引入外部空气，进而导致温湿度发生波动。因为在货物搬运的过程中，仓库门会被频繁地开启，此时外部空气就会大量地涌入室内。而外部空气的温湿度与室内存在着差异，便会破坏室内原有的温湿度平衡。特别是在不同季节和天气条件之下，外部空气的温湿度变化非常之

大，此时对室内温湿度的影响就更为显著。比如，在冬季寒冷干燥的天气中，外部冷空气的进入就会使室内温度迅速地下降，湿度也会降低；而在夏季炎热潮湿的天气之中，外部热湿空气的进入会使室内的温度升高，湿度也会有一定的增加。此外货物本身的含水量和温度也会对室内的温湿度产生一定的影响。如果搬运的货物含水量较高或温度较低，那么在放置到仓库之后，就会通过水分蒸发或热量传递影响到周围空气的温湿度^[2]。

三、结论与建议

本研究表明，08:00–09:00时段温湿度变化呈现显著的负相关关系，且受设备运行状态和外部环境的影响较大。为优化该时段的环境控制，建议：

1. 加强监测：在08:00–09:00这个时段应该增加监测的频率，以确保能够及时地发现异常波动。原因如下：从数据采集和分析的理论角度出发来看，增加了监测频率，则能够获取更为密集的时间序列数据，此举有助于更加准确地捕捉温湿度的变化趋势和异常情况。而通过高频次的数据采集，还可以运用更精细的时间序列分析方法，如高频时间序列模型，来深入地分析温湿度的动态变化规律，进而能够为环境控制提供更及时、准确的信息支持。

2. 优化通风：根据温湿度的变化规律，来调整通风的策略，如在温度上升前可以增加换气频率。就通风系统的优化方面而言，可运用流体力学和热交换理论，建立起通风模型，用于模拟不同通风策略下温湿度的变化情况。而后通过模型分析，便能够确定出最佳的通风时间、通风量和通风方式，以实现对于温湿度的

的有效调节。举个例子，在温度上升前可以增加换气的频率，从而提前将外部相对低温的空气引入室内，达到降低室内温度上升幅度的目的，同时还能调节湿度，以维持环境的稳定性。

3. 自动化控制：自动化控制系统主要基于控制理论和传感器技术，可以通过实时地监测温湿度数据，再运用反馈控制原理，实现自动调节设备运行参数和通风系统状态。如当系统检测到温湿度偏离设定范围时，就会自动地启动或调整通风设备、空调设备等，使温湿度可以迅速地恢复到正常水平。即自动化控制系统能够避免人为操作的延迟和误差，并且提高环境控制的精度和效率，进而能够保障设备运行与存储物品的质量。

通过以上措施，可有效提升08:00–09:00时段的环境稳定性，保障设备运行与存储物品的质量^[3]。

四、总结

本文通过详细分析设备30089881节点1在2025年2月2日至2月21日的温湿度数据，揭示了单一节点下温湿度的动态关系及其变化趋势。研究发现，温度与湿度呈现显著负相关关系，且受昼夜变化影响。而异常值分析表明，设备运行状态和外部环境对温湿度波动有较大的影响。为此本研究综合地运用了热力学、气象学、统计学、传热传质学以及控制理论等多学科知识，为工业仓储环境管理提供了科学的依据，并且提出了优化环境控制的建议，以此为未来研究提供了方向。未来相关的研究可以进一步地拓展监测节点，着重分析多个节点之间温湿度的协同变化规律，同时也可以深入地研究不同季节、不同地区工业仓储环境下温湿度的变化特征，进而完善环境控制策略的理论和实践体系。

参考文献

[1] 张莹. 刍议电气工程中成套配电柜及配电箱的安装[J]. 建材发展导向(下), 2020, 18(5): 377.
[2] 河南众智天诚电力科技有限公司. 一种电气自动化控制柜及配电柜柜内安全监控系统: CN202411834516.6[P]. 2025-02-18.
[3] 浙江京能电力设备有限公司. 一种电气集成配电控制柜: CN202410920557.0[P]. 2025-04-22.

区域供冷与集中供热系统中电气设备的运维管理及节能优化策略

钟煌

广州大学城能源发展有限公司, 广东 广州 510006

DOI:10.61369/ETQM.2025090025

摘要： 本文围绕区域供冷与集中供热系统展开，介绍其架构，分析制冷机组等设备特性及能耗关联，阐述电气设备运维痛点与解决措施，包括远程监测平台等，还探讨节能策略如冷凝热回收、设备群控算法等，并结合案例说明效果及效益评估方法。

关键词： 区域供冷；集中供热；电气设备

Operation, Maintenance Management and Energy-saving Optimization Strategies for Electrical Equipment in District Cooling and Centralized Heating Systems

Zhong Huang

Guangzhou University Town Energy Development Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong 510006

Abstract： This paper focuses on district cooling and centralized heating systems. It introduces their architecture, analyzes the characteristics and energy consumption correlation of equipment such as chillers, and elaborates on the pain points and solutions for electrical equipment operation and maintenance, including remote monitoring platforms. Energy-saving strategies such as condensation heat recovery and equipment group control algorithms are discussed, with case studies demonstrating their effectiveness and benefit evaluation methods.

Keywords： district cooling; centralized heating; electrical equipment

引言

随着城市化进程的加快，能源需求不断增长，区域供冷与集中供热系统作为一种高效的能源利用方式受到广泛关注。2022年我国发布的相关能源政策强调了提高能源利用效率和加强能源管理的重要性。区域供冷与集中供热系统涵盖冷热源机组、输配管网和终端换热装置等部分，各部分协同工作满足制冷或制热需求。制冷机组等设备的特性研究、电气设备运维管理、基于物联网的监测平台构建、最佳频率调节策略探讨、冷凝热回收利用以及设备群控算法开发等方面都对系统的高效运行和节能至关重要，这些研究符合政策导向，有助于推动区域供冷与集中供热系统的可持续发展。

一、区域供冷与集中供热系统技术特征

（一）系统架构与设备组成

区域供冷与集中供热系统的架构主要包括冷热源机组、输配管网和终端换热装置等部分。冷热源机组是系统的核心，其配置特点根据能源形式和需求不同而有所差异，例如采用电制冷机组、吸收式制冷机组或热泵等作为冷源，锅炉、热电联产等作为热源^[1]。这些机组通过能源转换为系统提供冷量或热量。输配管网负责将冷热源产生的能量输送到各个区域，其设计要考虑管网的布局、管径、保温等因素，以减少能量损失。终端换热装置则实现能量在用户端的转换和利用，如板式换热器、空调末端设

备、散热器等，与冷热源机组和输配管网相互配合，满足用户的制冷或制热需求，形成一个功能耦合的系统。

（二）电气设备运行特性分析

制冷机组、循环水泵、变频器等设备在区域供冷与集中供热系统中至关重要。研究其负荷时变特性与能耗关联机制具有重要意义。制冷机组的负荷随环境温度和用户需求变化，其能耗受制冷效率等多种因素影响^[2]。循环水泵的负荷取决于系统的水流量需求，其能耗与水泵的运行效率和扬程有关。变频器通过调节电机转速来控制设备的运行频率，其负荷特性与所控制设备相关，能耗受频率调节精度和效率影响。通过对这些设备的深入研究，建立设备运行效率与工况参数的数学模型，可为系统的优化

运行和节能提供理论依据。

二、电气设备智能运维管理体系

（一）运维管理痛点与挑战

区域供冷与集中供热系统中的电气设备运维面临诸多痛点与挑战。设备老化是常见问题，随着使用时间增长，电气设备的性能下降，可能导致运行不稳定^[9]。参数失配也较为突出，例如设备的实际运行参数与设计参数不符，影响设备的正常运行和能效。控制逻辑冲突同样不容忽视，不同设备之间或设备与控制系统之间的逻辑不一致，可能引发故障。这些典型运维问题会对系统能效产生影响。设备故障可能导致能源浪费，降低系统的整体运行效率。准确识别和量化这些问题及其对能效的影响程度，是实现高效运维管理的关键。

（二）智能化运维技术路径

构建基于物联网的远程监测平台，实现电气设备运行数据的实时采集与传输^[4]。通过传感器网络，全面感知设备的运行参数，如温度、电压、电流等。利用云计算技术对海量数据进行存储和处理，为后续的分析提供数据支撑。提出设备状态评估算法，基于机器学习和数据分析技术，对设备的健康状态进行准确评估。通过建立设备的性能模型，对比实际运行数据与模型预测值，及时发现潜在故障隐患。同时，制定预防性维护策略，根据设备的运行状态和历史维护记录，合理安排维护计划，降低设备故障率。设计多源数据融合的故障诊断模型，综合利用设备的运行数据、维护记录以及相关领域知识，提高故障诊断的准确性和效率。

三、系统节能优化关键技术

（一）设备级能效提升技术

1. 变频调速优化控制

研究水泵风机类设备在变工况下的最佳频率调节策略对于设备级能效提升至关重要。通过建立能耗最小化控制模型，可以实现变频调速的优化控制。在实际运行中，设备的工况会不断变化，传统的固定频率运行方式往往无法满足节能需求。通过分析设备的运行特性和负载变化规律，结合能耗最小化目标，确定最佳的频率调节方案。这不仅可以提高设备的运行效率，降低能耗，还可以延长设备的使用寿命。同时，该控制模型还可以考虑到系统的整体运行情况，实现设备之间的协调运行，进一步提高系统的节能效果^[6]。

2. 余热回收技术集成

制冷机组在运行过程中会产生大量的冷凝热，若直接排放，会造成能源的浪费。因此，探讨冷凝热回收利用方案具有重要意义。可以通过设计合理的热回收装置，将冷凝热进行有效回收，并用于其他需要热能的环节，如预热生活热水、加热建筑物的供暖水等^[6]。同时，热泵耦合的新型能源梯级利用系统也是一种有效的节能措施。该系统能够根据不同的温度需求，对能源进行梯

级利用，提高能源的利用效率。例如，在区域供冷与集中供热系统中，利用热泵将低品位的热能提升为高品位的热能，满足不同用户的供热需求，同时减少对传统能源的依赖，实现节能减排的目标。

（二）系统级协同优化策略

1. 多设备协调运行控制

开发基于模型预测控制的设备群控算法是实现多设备协调运行控制的关键。通过建立精确的系统模型，考虑冷热源与输配系统的特性及相互关系，预测系统未来的运行状态^[7]。在此基础上，算法能够根据预测结果对设备进行动态调控，使冷热源的输出与输配系统的需求达到最佳匹配。这种动态匹配不仅能提高系统的运行效率，减少能源浪费，还能提升系统的稳定性和可靠性。同时，模型预测控制算法可适应不同的工况和负荷变化，为区域供冷与集中供热系统的节能优化提供了有效的技术手段。

2. 负荷预测与调度优化

构建深度学习负荷预测模型，利用历史数据挖掘负荷变化规律，提高预测精度^[8]。考虑区域供冷与集中供热系统的复杂性，如不同区域的需求差异、不同时段负荷波动等。通过对大量数据的学习，模型能够准确捕捉这些特征，为调度优化提供可靠依据。在此基础上，提出分时分区差异化供能调度方案。根据不同时段和区域的负荷预测结果，合理分配能源，避免能源浪费。例如，在负荷低谷期减少供能，在高峰期合理增加供能，同时针对不同区域的需求特点进行个性化供能调整，提高系统整体能效。

四、实证研究与效益分析

（一）典型工程案例分析

1. 项目概况与数据采集

某园区供冷供热系统作为研究案例，其原有系统在电气设备运维管理及节能方面存在一定不足。为深入研究并实施改造，在该园区部署了传感器网络。传感器网络覆盖了供冷供热系统中的关键电气设备及主要运行环节，能够实时采集设备的运行参数，如温度、压力、电流、电压等数据^[9]。通过对这些数据的持续监测和分析，为后续的运维管理优化及节能策略制定提供了准确的数据基础。同时，对园区供冷供热系统的基本概况进行详细梳理，包括系统的规模、服务范围、设备类型及数量等信息，以便全面了解系统的运行现状和特点。

2. 优化方案实施效果

通过对典型工程案例的研究分析，对比改造前后设备故障率、能耗强度等核心指标变化显著。改造前，设备故障率较高，影响系统稳定运行，同时能耗强度较大，造成能源浪费^[10]。经过实施节能优化策略，设备故障率明显降低，这得益于对电气设备运维管理的加强，包括定期巡检、及时维修更换老化部件等措施。能耗强度也大幅下降，例如采用智能控制系统，根据实际需求合理调节设备运行功率，避免了不必要的能源消耗。这些数据表明优化方案在提高系统可靠性和节能方面取得了良好的实施效果。

（二）节能效益量化评估

1. 直接节能效益计算

采用 IPMVP（国际节能效果测量和验证规程）方法计算直接节能效益。首先确定基准能耗模型，考虑区域供冷与集中供热系统中电气设备在无节能措施下的能耗情况，包括设备运行时间、功率等关键参数。然后对比采取节能优化策略后的实际能耗数据。通过精确测量和分析，计算出节能量。设备效率提升带来的经济收益可通过节能量与能源价格相乘得出。同时，考虑到设备使用寿命延长、维修成本降低等间接因素对经济收益的影响，综合评估节能优化策略在经济方面的效益，为区域供冷与集中供热系统的运维管理和节能优化提供有力的数据支持。

2. 间接效益综合评价

区域供冷与集中供热系统中电气设备的运维管理及节能优化策略带来的间接效益需综合评价。从可靠性提升维度看，优化后的系统可减少故障发生频率，降低因设备故障导致的生产停滞等间接损失，提高整体运行效率，保障生产生活的连续性。在维护成本降低方面，合理的运维管理和节能优化可减少设备维修次数和零部件更换频率，节约人力、物力和财力资源。同时，这也有助于提升企业形象，增强市场竞争力，带来潜在的经济效益。此外，节能优化还有利于环境保护，减少能源消耗带来的污染排放，符合可持续发展的要求，产生良好的社会效益。

（三）技术推广可行性研究

1. 适用性条件分析

不同气候区对区域供冷与集中供热系统中电气设备运维管理及节能优化策略有不同要求。寒冷地区可能更注重供热设备的稳定运行及热量高效传递，而炎热地区则侧重于供冷设备的制冷效果及节能。对于建筑类型，商业建筑可能因人员密集、用能时间集中，对设备的快速响应和负荷调节能力要求高；居住建筑则需

考虑设备运行的噪音、安全性及与居民生活习惯的适配。改造约束条件包括既有建筑的结构限制，可能影响设备的安装空间和管道布局；原有电气系统的容量和兼容性，可能制约新设备的接入和节能策略的实施；以及资金投入的限制，这影响着设备更新换代和节能改造的程度。

2. 投资回报周期测算

建立全生命周期成本模型是评估电气设备运维管理及节能优化技术经济可行性的关键。首先需考虑设备采购成本、安装成本、运行成本（包括能源消耗、维护保养等）以及设备报废处理成本等。通过收集区域供冷与集中供热系统中电气设备的相关成本数据，结合优化技术实施前后的对比，计算出成本的变化量。同时，分析因节能优化带来的收益，如能源节约费用、设备使用寿命延长所减少的更换成本等。以这些数据为基础，运用合适的经济评价方法，如净现值法、内部收益率法等，测算投资回报周期，从而确定优化技术在经济上是否可行，为技术的推广提供有力依据。

五、总结

区域供冷与集中供热系统中电气设备的运维管理及节能优化至关重要。研究成果显示智能运维与节能优化技术能有效提升系统能效，幅度可达 18%–25%。这为系统的高效运行提供了有力支撑。未来，数字孪生技术在设备管理中的应用前景广阔，通过构建虚拟模型，可实现对设备的实时监测和精准管理，进一步提升运维效率。同时，基于区块链的能源交易模式也值得探索，其有望促进系统的优化，通过去中心化的交易方式，提高能源利用的合理性和经济性，推动区域供冷与集中供热系统朝着更加智能、高效、节能的方向发展。

参考文献

- [1] 吴海平. 区域供冷系统冷冻水供回水温差优化研究 [D]. 湖南大学, 2013.
- [2] 徐玉珍. 夏热冬冷地区区域供能系统供冷季的运行策略研究 [D]. 湖南大学, 2015.
- [3] 王海霞. 空调系统经济节能性分析 [D]. 郑州大学, 2010.
- [4] 张海涛, 赵建成. 基于外融冰蓄冷的区域供冷优化运行研究 [J]. 山西建筑, 2011, 037(015): 108–109.
- [5] 龙惟定, 马宏权, 梁浩, 等. 上海世博园区能源规划: 回顾与反思 [J]. 暖通空调, 2010, 40(8): 9.
- [6] 赵胜强. 自建冷源与区域冷源技术经济比较分析 [J]. 建筑与装饰, 2020, (11): 170–171.
- [7] 同军威. 区域供冷系统节能优化运行与控制方法研究及系统实现 [D]. 华南理工大学, 2012.
- [8] 卢洁莹, 唐志康, 卢锦祥. 中国香港启德发展计划区域供冷系统——设计及工程管理 [C]//2018 亚太城市建设与管理实务论坛. 北京: 北京建筑大学, 2018.
- [9] 杨斌, 吕静, 朱鹏. 新疆某区域供冷系统节能改造与经济分析 [J]. 上海节能, 2020(9): 5.
- [10] 贺继超, 丁理峰, 李著萱, 等. 区域供冷管网系统中冷损耗分析与计算 [J]. 工程建设与设计, 2012(7): 3.

航空电子航电系统架构设计与舰载系统架构设计的对比研究

唐海勇

广州航新航空科技股份有限公司, 广东 广州 510000

DOI:10.61369/ETQM.2025090026

摘 要 : 本文对比分析航空电子航电系统与舰载系统。阐述航电系统架构核心要素、硬件设计特性, 舰载系统的相关标准、硬件配置。比较两者在实时性、架构设计、硬件实现、接口标准等方面差异, 探讨系统耦合度控制、容错架构等难题及发展趋势, 提及验证方法革新与融合设计方法。

关 键 词 : 航电系统; 舰载系统; 系统架构

A Comparative Study of Avionics and Avionics System Architecture Design and Shipborne System Architecture Design

Tang Haiyong

Guangzhou Hangxin Aviation Technology Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong 510000

Abstract : This paper comparatively analyzes the avionics and avionics system and the shipborne system. Elaborate on the core elements and hardware design characteristics of the avionics system architecture, as well as the relevant standards and hardware configurations of the shipborne system. Compare the differences between the two in terms of real-time performance, architecture design, hardware implementation, interface standards, etc., discuss the difficulties and development trends such as system coupling degree control and fault-tolerant architecture, and mention the innovation of verification methods and integrated design methods.

Keywords : avionics system; shipborne system; system architecture

引言

随着航空航天和船舶行业的发展, 相关系统架构设计受到广泛关注。2022年发布的《航空航天产业发展政策》强调提升航空电子系统性能和可靠性, 同时船舶行业也有相关政策推动舰载系统优化。航电系统架构涵盖核心要素及硬件设计特点, 舰载系统在网络、硬件配置等方面有自身要求。两者在实时性、架构设计、标准遵循等多方面存在差异, 在联合式架构演进、智能容错架构及验证方法革新等方面面临挑战与机遇, 需进一步研究完善相关理论与方法以促进交流融合。

一、航空电子航电系统架构设计

(一) 航电系统架构核心要素

航电系统架构核心要素涵盖多个关键方面。模块化设计原则是基础, 它将系统划分为多个功能模块, 提高可维护性与可扩展性^[1]。实时操作系统要求确保系统能在规定时间内对各种事件做出准确响应。航空总线标准在其中起着关键作用, 例如 AFDX 和 ARINC429。AFDX 具有高带宽和确定性等优点, 能满足航电系统大量数据传输需求; ARINC429 则广泛应用于航空电子设备间的通信。系统安全完整性等级 (DAL) 的划分依据也至关重要, 它根据系统功能对飞行安全的影响程度进行分级, 为系统设计和验

证提供了明确的安全目标和要求^[1]。

(二) 航电硬件设计特性

航电硬件设计需考虑诸多特性。在 LRU 与 SRU 设计规范方面, 应遵循严格标准以确保系统的可维护性与可靠性^[2]。LRU 需便于在航线中快速更换, 以减少飞机停机时间; SRU 则侧重于在车间环境下的高效维修。对于抗辐射加固技术, 由于航空环境存在宇宙射线等辐射源, 航电硬件必须采用特殊材料和设计方法来抵御辐射对电子元件的损害。在电磁兼容性设计上, 飞机内部众多电子设备相互干扰, 需通过合理的布线、屏蔽等措施, 确保航电系统在复杂电磁环境中正常工作^[2]。

二、船载系统架构设计

（一）船舶系统架构要求

IEC61162标准对船载网络有诸多约束条件。该标准规定了船载设备间数据通信的接口和协议，确保系统的兼容性和互操作性^[3]。在船舶动力系统和导航系统中，冗余架构设计至关重要。动力系统关乎船舶运行，采用冗余设计可在部分组件故障时保障动力供应。导航系统的冗余架构则能提高定位和导航的准确性与可靠性，例如采用双套传感器和处理器。分布式架构和集中式架构各有适用场景。分布式架构适用于对实时性要求高、局部故障不影响整体的系统；集中式架构则便于统一管理和控制，适用于对资源集中调配要求高的系统。

（二）船载硬件配置特点

船载硬件配置需充分考虑海洋环境的特殊性。对于IP防护等级，要依据相关标准确保设备能抵御海水、盐雾等侵蚀^[4]。在材料选择上，耐腐蚀材料至关重要，以保证硬件在高盐高湿环境下的使用寿命。同时，振动抑制结构设计不可或缺，海洋环境中的船舶会受到海浪等因素影响产生振动，合理的结构设计可减少振动对硬件的损害。与航电系统相比，船载系统在可靠性验证标准上也存在差异，其更侧重于在海洋复杂环境下长期稳定运行的能力验证，这也影响着硬件配置的各个方面，从防护到结构再到材料选择都需围绕此核心要求进行优化。

三、系统架构对比分析

（一）架构特征对比

1. 实时性要求差异

航空电子航电系统与船载系统在实时性要求上存在显著差异。航电系统通常需要 μs 级的响应，这是因为航空操作涉及到高速飞行、复杂的导航和精确的控制，任何微小的延迟都可能导致严重的安全问题^[5]。而船舶系统的响应时间通常在ms级即可满足需求，其运行环境相对较为稳定，对实时性的要求不如航电系统那么苛刻。在技术实现方面，航电系统为满足 μs 级响应需求，往往采用更高速的处理器、更优化的算法以及更高效的通信协议。同时，航电系统更倾向于使用时间触发机制，以确保任务在精确的时间点执行，满足严格的实时性要求。而船载系统则可能根据具体情况，在一些对实时性要求不是极高的部分采用事件触发机制，以降低系统复杂度和成本。

2. 环境适应性对比

航空电子航电系统与船载系统所处环境差异显著，这对其架构设计产生了不同影响。航电系统面临高空辐射环境，需考虑辐射对电子元件的损害以及温度冲击等因素。例如，在高空温度变化剧烈，要求系统架构能适应这种温度冲击，确保各部件正常工作^[6]。而船载系统处于海洋腐蚀环境，盐雾腐蚀是关键问题。系统架构需采用抗腐蚀材料和防护措施，以防止金属部件生锈腐蚀，影响系统性能。同时，船舶上还存在电磁干扰，这也需要在架构设计中加以考虑，通过合理布局和电磁屏蔽等手段降低

干扰。

（二）硬件实现对比

1. 处理器选型差异

航电系统常采用PowerPC架构，而船载系统多选用ARM架构。PowerPC在航电领域应用广泛，因其具有高性能、高可靠性以及成熟的技术支持，能够满足航空电子设备对处理能力和稳定性的严格要求^[7]。其设计和验证流程遵循DO-178C标准，该标准对处理器的可靠性和安全性有严格规定。而ARM架构在船载系统中受青睐，主要是因为其具有低功耗、低成本和较高的集成度等优势，符合船载设备对能耗和成本的考量。船载系统的处理器验证依据IEC61508标准，该标准在功能安全方面有特定要求，与航电系统的标准有所不同。这些不同的选型依据和标准要求，反映了航电系统和船载系统在不同应用场景下的特定需求。

2. 接口标准对比

在系统架构对比分析中，硬件实现方面，航空电子航电系统与船载系统因应用环境不同而存在差异。航电系统对硬件的可靠性和稳定性要求极高，需适应高空复杂环境；船载系统则要考虑防潮、防盐雾等因素。在接口标准对比上，MIL-STD-1553B总线常用于航电系统，NMEA2000协议则应用于船载系统。MIL-STD-1553B总线传输速率较高，能满足航电系统大量数据快速传输的需求，其拓扑结构多为集中式控制；NMEA2000协议传输速率相对较低，但足以满足船载系统数据传输要求，拓扑结构更为灵活多样。在错误检测机制方面，MIL-STD-1553B总线具备完善的错误检测和纠正能力，以保障航电系统的准确性和安全性^[8]。

四、系统集成挑战与发展趋势

（一）跨领域技术融合难点

1. 标准化体系冲突

航空电子航电系统主要遵循DO系列标准，而船载系统多依据IEC标准。在认证流程方面，DO系列标准注重航空环境下的特定要求，如高海拔、高速飞行等条件下系统的可靠性认证^[9]。而IEC标准侧重于船舶运行环境的考量，如海水腐蚀、船舶晃动等对系统的影响。这导致两种标准在认证流程上存在较大差异，难以直接兼容。在测试方法上，DO系列标准可能采用航空专用的测试设备和环境模拟手段，IEC标准则有其针对船舶的独特测试方法。这些不同的测试方法使得在跨领域融合时，难以统一评估系统性能，给系统集成带来了挑战。

2. 系统耦合度控制

在联合式架构向综合模块化架构演进过程中，航电与船载系统面临诸多系统耦合度控制难题。航电系统和船载系统在资源分配上存在差异，航电系统对信息处理的实时性和准确性要求极高，而船载系统需考虑更多的环境因素和设备兼容性，如何合理分配资源以满足各自系统的关键需求，同时又能实现协同工作，是一大挑战^[10]。故障隔离方面，两者的故障模式和影响不同，航电系统故障可能导致飞行安全问题，船载系统故障可能影响船舶

的航行和作业。在集成过程中，需要建立有效的故障隔离机制，确保一个系统的故障不会扩散到另一个系统，这需要深入研究系统之间的耦合关系和相互影响，以实现高效的系统集成和可靠的运行。

（二）新型技术应用前景

1. 智能容错架构

在智能容错架构方面，无论是航空电子航电系统还是船载系统，都面临着复杂的集成挑战与发展趋势。随着新型技术的不断涌现，其应用前景也为智能容错架构带来了新的机遇与变革。对于航空电子航电系统，其对可靠性和实时性要求极高，智能容错架构需要能够快速准确地检测和纠正故障，以确保飞行安全。而船载系统由于其运行环境的特殊性，如海洋环境的复杂性和不确定性，智能容错架构需要具备更强的抗干扰能力和适应性。基于AI的故障预测与健康管理（PHM）技术在这两类系统中的适配性存在差异，需要根据各自系统的特点进行针对性的设计和优化，以实现高效的智能容错架构。

2. 开放式架构演进

在系统集成挑战与发展趋势方面，航空电子航电系统与船载系统均面临诸多难题。新型技术应用前景上，两者都需紧跟时代步伐。对于开放式架构演进，航电系统的FACE标准强调开放性与模块化，通过定义统一接口，促进不同模块的集成与替换，提高系统可扩展性。而船舶系统的NAUTIS架构也注重模块化设计，以实现功能的灵活组合与扩展。然而，两者在技术路线上存在差异。航电系统更关注飞行安全与实时性，其架构演进紧密围绕航空需求。船载系统则需考虑海洋环境的复杂性与任务多样性，NAUTIS架构在满足船舶功能需求的同时，还要兼顾可靠性与适应性。这些异同反映了不同领域系统架构设计的特点与需求。

（三）验证方法革新方向

1. 数字孪生技术应用

随着科技的发展，数字孪生技术在航电系统和船载系统验证

中逐渐崭露头角。在航电系统适航认证方面，数字孪生可构建虚拟的航电系统模型，精确模拟其在各种飞行环境下的运行状态，提前发现潜在问题，减少实际飞行测试的风险和成本。对于船载系统的型式认可，数字孪生能够对船舶的复杂环境和各种设备的协同运行进行模拟，如模拟不同海况下船载系统的性能，优化系统设计。通过数字孪生技术，实现了从传统的物理测试为主向虚拟验证与物理测试相结合的转变，极大地提高了系统集成的效率和可靠性，推动了航电系统和船载系统验证方法的革新。

2. 混合验证体系构建

随着航空电子航电系统与船载系统的不断发展，其验证方法面临革新需求。混合验证体系的构建是关键方向之一。在该体系中，需综合考虑硬件在环（HIL）测试与实物台架试验的特点及优势。对于不同系统，其权重分配规律至关重要。要深入分析两类系统在功能、性能、可靠性等方面的验证需求差异，以此确定HIL测试和实物台架试验各自所占比重。同时，要考虑如何将两者有机结合，实现优势互补。例如，HIL测试可在早期对系统的关键部分进行高效验证，而实物台架试验则能在更接近实际工况的条件下对系统进行全面检验。通过合理构建混合验证体系，提高系统验证的准确性和效率，推动两类系统架构设计的不断优化。

五、总结

航空电子航电系统架构设计与船载系统架构设计存在多方面差异。在架构设计理念上，航电注重飞行任务需求，船载更关注船舶运行特点。硬件实现路径方面，因航空和船舶环境不同而有别。环境适应策略也因各自所处环境而各异。现有跨领域标准体系存在互认障碍。基于此提出MBSE融合设计方法，但在动态环境模拟和长期可靠性评估存在局限。后续需开展多物理场耦合仿真等研究，以进一步完善跨领域系统架构设计的理论与方法，促进航空与船舶领域在系统架构设计上的交流与融合，提升设计的科学性与合理性。

参考文献

- [1] 艾山·白克热. 对高考报名系统架构的研究与设计的分析 [J]. 电脑知识与技术, 2021, (8): 226-227.
- [2] 张志慧, 钟雪涛. 基于SOA架构的电子政务系统集成技术应用 [J]. 电脑与电信, 2010(5): 2.
- [3] 王琨. 航电系统综合诊断数据采集系统设计 [D]. 电子科技大学, 2017.
- [4] 宋扬. 综合航电系统试验环境激励系统的设计与实现 [D]. 西安电子科技大学, 2016.
- [5] 张宇龙. 航电全任务数字仿真系统架构设计与验证 [D]. 电子科技大学, 2015.
- [6] 安康, 侯伶. 对IMA架构航电系统多级故障管理的设计与实现研究 [J]. 军民两用技术与产品, 2018(12): 1.
- [7] 王亮, 王璇, 谢博琳. 基于FACE的航电系统软件架构设计 [J]. 信息技术与信息化, 2021, 000(010): 125-127.
- [8] 刘元斌, 占日新. 航电系统仿真环境通信架构研究 [J]. 中国新技术新产品, 2021(3): 16-18.
- [9] 成燕. 基于系统架构的航电系统技术状态控制方法 [J]. 军民两用技术与产品, 2018(14): 1.
- [10] 朱克植. 面向民用直升机的航电系统架构改进设计 [J]. 直升机技术, 2020(2): 6.

基于数字孪生的通信基站外电引入智能设计体系构建

张迎曦

中时讯通信建设有限公司, 广东 广州 510000

DOI:10.61369/ETQM.2025090027

摘 要 : 本文构建基于数字孪生的通信基站外电引入智能设计体系, 包括数字孪生技术架构各方面内容, 通信基站外电系统特征, 模块化设备分级协同等机制, 线缆路径等算法及规则, 还涉及智能机电设备相关规范及设计, 最后介绍了应用效果及未来研究方向。

关 键 词 : 数字孪生; 通信基站; 外电引入

An Intelligent Design System for External Power Introduction of Communication Base Station Based on Digital Twin is Constructed

Zhang Yingxi

Zhongshixun Telecommunications Construction Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong 510000

Abstract : This paper constructs an intelligent design system for the external power introduction of communication base stations based on digital twin technology. It covers various aspects of the digital twin technology architecture, the characteristics of the external power system of communication base stations, mechanisms for modular equipment classification and coordination, algorithms and rules for cable routing, as well as standards and designs for intelligent electromechanical equipment. Finally, it introduces the application outcomes and future research directions.

Keywords : digital twin; communication base station; external power introduction

引言

随着科技的不断发展, 数字孪生技术在各领域的应用日益广泛。2020年发布的《关于推动5G加快发展的通知》强调了通信基础设施建设的重要性, 这为通信基站外电引入智能设计体系的研究提供了政策支持。通信基站外电系统具有供电可靠性、环境适应性等独特特征, 数字孪生技术体系架构涵盖多源传感数据融合、三维可视化建模等多方面内容。在此基础上, 本研究构建了基于数字孪生的通信基站外电引入智能设计体系, 包括模块化设备分级协同机制、线缆路径优化算法等关键要素, 旨在提升工程实施效率和质量, 推动行业发展。

一、数字孪生技术在电力工程设计中的应用框架

(一) 数字孪生技术体系架构

数字孪生技术体系架构包含多方面内容。首先是多源传感数据融合机制, 通过融合多种传感器获取的数据, 为电力工程设计提供全面准确的信息基础。这其中涉及到对不同类型、不同精度传感器数据的处理和整合, 以确保数据的一致性和有效性^[1]。其次是三维可视化建模技术, 它能够将电力工程的物理实体以三维模型的形式呈现出来, 直观地展示工程的结构、布局等关键信息。这有助于设计师更好地理解工程全貌, 进行空间分析和优化设计。再者, 实时状态监测技术可对电力工程的运行状态进行实时跟踪, 及时反馈异常情况。最后, 虚拟调试技术允许在虚拟环境中对电力工程设计进行调试和验证, 提前发现潜在问题并进行

改进。

(二) 通信基站外电系统特征分析

通信基站外电系统具有独特的特征。从供电可靠性角度来看, 基站作为通信网络的关键节点, 需保证持续稳定供电, 以避免通信中断。其供电可靠性受多种因素影响, 如市电接入的稳定性、备用电源的配置及切换能力等^[2]。环境适应性也是核心设计指标之一, 基站可能分布在各种复杂环境中, 包括高温、低温、潮湿、沙尘等恶劣条件。这些环境因素对电力设备的性能和寿命有显著影响, 要求电力设备具备良好的防护能力和适应能力。同时, 站址特殊工况下的电力设备布局受到诸多约束, 例如空间限制可能影响设备的选型和安装方式, 需要综合考虑设备的尺寸、散热要求等因素, 以确保电力系统的正常运行。

二、外电引入智能设计体系构建原理

（一）模块化设备分级协同机制

在基于数字孪生的通信基站外电引入智能设计体系中，模块化设备分级协同机制至关重要。构建包含终端设备层、网络传输层与平台决策层的三级架构，各层级承担不同功能且相互协同。终端设备层负责数据采集与初步处理，为后续层级提供基础信息^[3]。网络传输层确保数据的高效、稳定传输，将终端设备层的数据准确无误地传递给平台决策层。平台决策层则依据接收到的数据进行综合分析与决策。同时，提出设备互操作性与状态联动规范，保障不同模块设备之间能够有效协同工作，实现信息的顺畅交互与状态的实时联动，提升整个外电引入系统的智能性与可靠性。

（二）智能设计要素解析

线缆路径优化算法是智能设计的关键要素之一。通过精确的算法，综合考虑地理环境、障碍物等因素，规划出最优的线缆铺设路径，提高施工效率并降低成本^[4]。防护等级自适应规则也至关重要。依据不同的环境条件和使用场景，智能系统能够自动确定合适的防护等级，确保外电引入系统的安全性和可靠性。设备预安装仿真验证则为实际安装提供了有效的指导。通过虚拟仿真技术，对设备的安装位置、连接方式等进行模拟验证，提前发现可能存在的问题，优化设计方案，保障外电引入系统的正常运行。

三、智能机电设备模块化设计标准体系

（一）电气接口标准化设计

1. 设备物理接口规范

智能机电设备的设备物理接口规范对于确保设备间的兼容性和稳定性至关重要。首先需制定防水防尘等级标准，不同环境下设备对防水防尘要求各异，明确的等级标准可保障设备在相应环境中的正常运行^[5]。其次是机械尺寸公差规范，精确的尺寸公差能保证设备物理接口的紧密连接，避免因尺寸不符导致的连接松动或无法连接等问题。再者，电气参数匹配标准也不可或缺，只有电气参数相互匹配，才能实现设备间的有效通信和协同工作，确保整个智能机电系统的稳定运行。

2. 数据通信协议架构

在智能机电设备模块化设计标准体系中，电气接口标准化设计与数据通信协议架构至关重要。对于数据通信协议架构，需定义设备状态编码格式与 Modbus/TCP 协议扩展规范^[6]。合理的设备状态编码格式能够准确传达设备的各种状态信息，确保不同模块间对设备状态的理解一致。而 Modbus/TCP 协议扩展规范则是在原有协议基础上，根据智能机电设备的特殊需求进行定制化扩展，以满足更高效、准确的数据通信要求。这不仅有助于实现设备间的无缝对接和协同工作，还能提升整个系统的可靠性和稳定性，为智能机电设备的模块化设计提供坚实的通信协议基础。

（二）智能化功能集成设计

1. 自适应调节机制设计

在智能机电设备模块化设计标准体系中，智能化功能集成设计至关重要。它需综合考虑多种因素，将不同功能模块有效整合，以实现设备的高效运行。而自适应调节机制设计是智能化的关键体现。以通信基站外电引入智能设计体系为例，开发基于环境传感器的安装参数自校正算法是重要环节。通过环境传感器实时获取环境数据，为设备的自适应调节提供依据。该算法能够根据环境变化自动校正安装参数，确保设备在不同环境条件下都能保持最佳工作状态，提高设备的稳定性和可靠性，这对于整个智能机电设备的性能提升具有重要意义^[7]。

2. 数字预安装验证流程

在智能机电设备模块化设计标准体系的智能化功能集成设计及数字预安装验证流程中，对于构建 BIM 模型与物理实体同步校准的调试验证体系至关重要。通过先进的数字化技术，实现 BIM 模型对物理实体的精准映射^[8]。在智能化功能集成设计方面，要确保各模块的功能与整体设计目标高度契合，且能在数字环境中有效协同。在数字预安装验证流程中，利用 BIM 模型进行虚拟安装调试，提前发现可能存在的问题，如空间干涉、线路冲突等。同时，依据相关标准体系，对各项参数进行严格验证，保证智能机电设备在实际安装和运行过程中的准确性和可靠性，从而实现高效的智能化机电系统运行。

四、典型设备智能设计应用实例

（一）智能线缆定位装置

1. 多模态定位算法设计

在智能线缆定位装置中，多模态定位算法设计至关重要。通过集成 UWB 定位与激光测距的复合定位模块，综合利用两种定位技术的优势。UWB 定位技术具有高精度、抗干扰能力强等特点，能够在复杂环境下提供较为准确的位置信息^[9]。激光测距则可进一步精确测量距离，弥补 UWB 定位在距离测量上可能存在的不足。通过合理融合这两种技术，构建多模态定位算法。算法需考虑不同模态数据的权重分配，以适应不同场景下的定位需求。同时，要对采集到的数据进行实时处理和分析，不断优化定位结果，提高线缆定位的准确性和可靠性。

2. 典型应用场景验证

在山地基站复杂地形条件下，智能线缆定位装置展现出显著优势。该装置通过高精度传感器与先进算法，能够精确获取线缆位置信息^[10]。在布线过程中，它克服了地形崎岖、植被茂密等困难，为施工人员提供准确的引导。与传统方法相比，大大提高了布线精度，减少了线缆铺设的误差。同时，该装置可实时监测线缆状态，及时发现潜在问题，如线缆移位、损坏等，保障了通信基站外电引入的稳定性和可靠性。这一应用案例充分证明了智能线缆定位装置在复杂地形条件下的有效性和实用性，为通信基站外电引入智能设计体系的构建提供了有力支撑。

（二）智能防护装置设计

1. 防雷击保护系统优化

基于瞬态电磁场仿真，对通信基站防雷击保护系统的三级防

护电路进行改进。通过精确模拟雷击瞬间的电磁场变化,深入分析现有防护电路在不同雷击强度下的响应特性。针对发现的问题,优化各级防护元件的参数,如调整压敏电阻的标称电压和通流容量,使其能更精准地在相应雷击电压下启动保护。同时,优化防护电路的布局,减少线路电感和电容对防护效果的影响,确保雷击电流能更高效地通过泄放通道导入大地,从而提升整个防雷击保护系统的可靠性和有效性,保障通信基站在复杂雷电环境下的安全稳定运行。

2. 防盗监测功能集成

振动传感与视频监控联动报警系统是智能防护装置防盗监测功能的关键部分。该系统通过在基站相关设备及周边关键位置安装振动传感器,实时感知异常振动情况。当振动传感器检测到超出正常阈值的振动信号时,会立即触发系统。同时,视频监控设备持续对基站周围环境进行监测,一旦振动传感器触发报警,视频监控系统会迅速定位到相应区域,并对该区域进行重点拍摄和记录。系统将振动传感数据和视频监控数据进行整合分析,判断是否存在盗窃等异常行为。若确认异常,会及时将报警信息发送给相关维护人员,以便快速采取措施,保障基站设备的安全。

(三) 智能布线装置创新

1. 自适应线径匹配机构

自适应线径匹配机构部分重点在于开发基于形状记忆合金的柔性夹持装置。形状记忆合金具有独特的记忆效应,在不同温度条件下呈现出不同的形状特性。利用这一特性设计的柔性夹持装置能够依据线径大小自适应调整夹持力度和形状。当遇到不同直径的线缆时,装置通过形状记忆合金对温度的敏感性,自动改变

自身形状以实现紧密且合适的夹持。这种自适应的匹配方式确保了在布线过程中,无论是较细还是较粗的线缆,都能被稳固夹持,有效避免了因线缆直径差异导致的夹持不牢或损坏线缆的问题,为智能布线装置的高效稳定运行提供了可靠保障。

2. 智能散热系统设计

在智能散热系统设计方面,基于温度场分布的主动式通风冷却方案是一项重要创新。通过对通信基站内温度场的精确监测和分析,系统能够实时掌握设备的散热需求。当温度达到设定阈值时,主动式通风冷却装置启动。该装置根据温度场的分布情况,智能调节通风方向和风速,确保冷空气能够精准地输送到温度较高的区域,实现高效散热。同时,系统还能根据外界环境温度和基站内设备负载的变化,自动调整冷却策略,以达到最佳的散热效果和能源利用效率,保障通信基站设备的稳定运行。

五、总结

本研究构建了基于数字孪生的通信基站外电引入智能设计体系,涵盖18类设计参数的标准化体系显著提升了工程实施效率,达到40%。同时,智能设备模块在典型案例中展现出强大作用,将返工率控制在5%以下。这一体系的构建为通信基站外电引入工程带来了更高效、更精准的设计和实施方式。未来,深化AI算法在设备智能诊断方面的融合应用将是进一步研究的方向,有望为该领域带来更多的技术突破和创新,持续提升通信基站外电引入工程的质量和效率,推动行业的发展。

参考文献

[1] 豆保林. 智能分拣单元的数字孪生系统构建方法研究 [D]. 大连理工大学, 2023.
[2] 杨帅. 基于数字孪生的喷漆车间智能监测系统设计 [D]. 山东农业大学, 2022.
[3] 过豪. 基于智能视觉的制造资源宏观数字孪生模型快速构建技术 [D]. 南京理工大学, 2022.
[4] 高志杰. 基于数字孪生的智能制造车间调度问题研究 [D]. 哈尔滨工程大学, 2023.
[5] 刘利. 基于容器的智能电表数字孪生方法研究 [D]. 天津理工大学, 2022.
[6] 张伟雄, 张旭宁. 基于数字孪生的智能产线的设计与研究 [J]. 电脑编程技巧与维护, 2022, (09): 151-153+160.
[7] 隋林珊, 刘立强. 基于数字孪生技术的智慧图书馆体系构建研究 [J]. 科技传播, 2023, 15(16): 107-110.
[8] 裴兴林. 基于数字孪生技术的智能产线设计与实现 [J]. 中国新通信, 2023, 25(13): 54-56.
[9] 马玉静. 基于数字孪生的博物馆智能运行中心构建探析 [J]. 博物院, 2022, (06): 6-12.
[10] 戴璐, 邵一夫, 郭宇元, 等. 基于数字孪生的卫星装备智能设计系统 [J]. 兵工学报, 2022, 43(S02): 139-145.

智能矿山视野下煤矿机电技术管理创新路径研究

白东方, 牛嵩

陕西中太能源投资有限公司朱家茆煤矿, 陕西 榆林 719000

DOI:10.61369/ETQM.2025090032

摘 要 : 煤矿是国家重要能源, 伴随工业4.0时代的到来, 煤矿产业也需要重视当前管理存在的种种弊端, 由粗放型管理向集约化智能管理方向不断转变, 由管理创新带动经济效益提升。机电工程作为辅助煤矿生产的重点工程, 目前机电技术管理依然存在诸多漏洞, 未来较长时间段内, 机电技术管理依然需要革新, 以全面提升管理水平。本文将结合智能矿山发展现状与机电技术管理新要求, 讨论智能矿山视野下煤矿机电技术管理创新路径, 希望可以为相关人士带来一定参考价值。

关 键 词 : 智能矿山; 煤矿机电; 技术管理; 管理创新

Research on Innovative Pathways for Coal Mine Electromechanical Technology Management under the Perspective of Smart Mining

Bai Dongfang, Niu Song

Zhujiamao Coal Mine, Shaanxi Zhongtai Energy Investment Co., Ltd., Yulin, Shaanxi 719000

Abstract : Coal mines are a vital energy source for the nation. With the advent of the Industry 4.0 era, the coal mining industry must address the various shortcomings in its current management practices, transitioning from extensive management to intensive intelligent management, and driving economic efficiency improvements through management innovation. As a key supporting engineering discipline for coal mine production, mechanical and electrical engineering currently faces numerous management shortcomings. Over the coming years, mechanical and electrical engineering management will require further innovation to comprehensively enhance management standards. This paper combines the current state of smart mine development with new requirements for mechanical and electrical engineering management to explore innovative management pathways for coal mine mechanical and electrical engineering within the context of smart mines, aiming to provide valuable insights for relevant professionals.

Keywords : smart mines; coal mine mechanical and electrical engineering; technical management; management innovation

一、智能矿山发展现状与机电技术管理新要求

智能矿山本质上是现代化矿山体系, 集合了多种信息技术优势, 包括大数据、云计算、5G通信、人工智能、物联网、数字孪生等, 旨在全面收集矿山信息, 提高信息互联互通水平, 通过系统的自动分析与决策功能, 实现机电设备的自主控制。分析智能矿山发展历史, 主要可分成三个阶段: 21世纪的第一个十年, 为数字化阶段。这一阶段可数字化采集矿山生产有关数据, 监测矿山生产环节各参数, 包括通风风压、输送机转速等; 第二个十年为网络化阶段, 这一阶段工业环网成功建立, 可支持数据远程传输, 打破时间和空间的限制, 一些视频监控系统可大量应用在矿井内部, 方便人员对矿井下工况进行监测; 2020年到如今, 则是智能化阶段, 这一阶段的系统和设备, 基于人工智能技术, 自主性大大加强, 可以根据环境调整作业方式, 极大减轻了人工作业

压力^[1]。

随着技术飞速发展, 智能矿山主要表现为以下特征: (1) 泛在感知。矿山大量布置各种类型的传感器, 数量成千上万, 广泛收集矿山生产环境、设备运行等参数, 为矿山生产带来有效指导。(2) 数字孪生。智能矿山通过全矿井三维虚拟模型的建立, 实时映射物理实体, 误差可低于1%。(3) 边缘计算。将边缘服务器部署在井下, 基于数据本地处理功能, 提高数据处理效率, 将响应时间控制在50ms以内。相较于传统机电技术管理单纯控制能耗、排除故障和维护设备的核心任务, 智能矿山机电技术管理将管理内涵, 拓宽至全生命周期, 设备从初始采购阶段, 到后续安装过后, 直至报废, 都可以实现全流程数字化管控。同时可和运输、通风、地质等系统联动, 提高管理的智能化水平。此外, 机电管理还可基于大数据技术优势, 收集设备运行历史信息, 对设备故障进行及时判断和精准预测, 结合实际情况制定维护策

略^[2]。

智能矿山视野下,机电技术管理模式势必迎来新的改变。具体而言,传统管理精度允许设备发生故障之后检修,故障排除存在一定滞后性。智能矿山机电技术管理可实现故障提前预测,并对故障进行预警。响应速度上,传统管理故障处理时间最长可达48h,智能矿山管理可自动诊断和处理,时间最短只需不到1h。人员要求上,过往技术人员只需要了解机械电气操作技能,智能矿山视野下,人员需要熟悉复合技能,学会数据分析和智能系统知识等。数据应用方面,传统管理只需记录数据,智能矿山系统还需要对数据进行融合分析,最大程度挖掘其潜在价值^[3]。

二、智能矿山视野下煤矿机电技术管理创新路径

(一) 创新技术应用

1. 强化数字化基础

智能矿山视野下,煤矿机电技术管理应从以下方面出发:

(1) 实现设备广泛联网。煤矿企业应重视改造现有生产设备,例如水泵、皮带运输机等,为设备装通信模块,提高设备智能化水平。网关设备应支持 OPC UA、Modbus TCP 协议,引进能够无缝对接生产设备的物联网系统。有条件的情况下,煤矿企业应安排基金,优化设备联网,在短时间内加快煤矿企业升级^[4]。(2) 升级传感器性能。煤矿企业应提高传感器可靠性和精度,例如选择光纤光栅传感器,对设备振动情况进行监测,使测量误差低于1%。传感器还需要抵抗强烈腐蚀和电磁干扰能力,即使面对井下恶劣环境也同样适用。每隔一段时间,人员应校准并维护传感器,以不超过5%的标准控制故障率,保证可采集到完整与准确数据。(3) 统一通信协议标准。煤矿行业应与行业协会联合,规定新采购设备支持同意协议。针对存量设备进行协议转换工具的开发,即使设备不同,也不会影响系统集成和交互性,实现数据互通率的提升。(4) 应用三维建模和数字孪生技术。煤矿企业可构建三维模型,融合摄影测量和激光扫描等技术优势,与设备运行数据结合,完成设备数字孪生体的创建。基于数字孪生系统,可视化展示设备空间关系、安装位置和自身结构,令设备管理效率得到明显提升^[5]。

2. 增强智能装备应用

煤矿企业应重视智能装备自主决策能力的提升,使智能装备控制系统融入人工智能算法。举例而言,可以将人工智能识别系统与地质雷达,加装在现有智能掘进机上,通过这种方式,掘进机能够收集地质结构异常情况信息,对岩体硬度进行感知。一旦发现前方岩体不利于掘进,掘进机可随时对当前参数进行调整,重新确定角度和速度等,代替人工操作,减少人工压力,实现设备环境适应性的提升。设备兼容性优化也是重要一环,相关部门应保证智能装备软件与硬件的统一,设备制造企业应依照统一标准开发设备,这样即使设备生产时期和厂家不同,也可开发数据价值,实现协同作业。最后,需在原有基础上,将智能运维覆盖面进一步扩大。煤矿企业可使用在线监测系统和机器人等,远程监控设备,诊断设备故障,落实设备调度维护。在此基础上,煤

矿企业可构建立体化运维体系,提高巡检的智能化水平^[6]。

(二) 创新管理模式

1. 简化组织结构

组织架构需符合扁平化管理原则,使原有三级架构,简化为两级组织架构,实现技术部门和运维部门之间的直接联系。管理层级的简化,可避免信息多路径传播,令决策效率进一步提升。部门人员需要定岗定责,以个人为单位明确职责范围,防止职责空白,影响工作落实。此外,应完善工作机制,适应协同工作要求。煤矿企业应构建协同工作组,组成人员包括关乎煤矿生产各环节生产的负责人。人员应每隔一段时间召开协调会议,对煤矿生产、设备检修等事项进行统筹。协同工作平台同样有助于打破信息壁垒,共享部门间信息,无缝对接各项业务流程,合理安排煤矿生产与设备检修的优先级,最大化提高资源利用率。最后,为适应智能矿山生产要求,应安排新岗位,例如数字技术工程师、智能系统运维人员和数据分析师等,成立专业团队,做好数据分析与设备智能运维各项工作,实现机电技术管理智能水平的提升^[7]。

2. 优化管理流程

管理流程的优化有助于管理工作的妥善开展,煤矿企业可选择流程自动化技术,优化机电设备业务流程,包括采购、检修和升级改造等,避免审批环节过多,从而使设备采购审批时间控制在30d之内。也可构建线上平台辅助设备审批,跟踪审批流程,实现审批透明度与效率的双重提升。企业同时应重视信息共享平台的搭建,发挥物联网、大数据和5G通信技术的优势,实时传输信息。实际生产中,应大力推广移动办公 APP 和电子工单的使用,一旦设备出现故障信息,需要及时维修,相关人员可快速获知相关信息,避免耽误设备的正常使用^[8]。此外,可通过大数据分析设备运行历史数据,通过人工智能技术预测设备后续运行状态,并由人员结合分析结果,对设备参数、检修计划等进行动态调整。实践中,人员参考设备能耗数据,就可以设定设备最佳运行模式,避免设备能耗过高。当设备有异常风险提醒,人员也可以结合生产需求安排检修事项,避免非计划停机时间过长^[9]。

3. 优化考核体系

煤矿企业需使原有考核指标进一步丰富,不仅要保留传统指标,还需要增加智能矿山生产考核指标,包括系统协同效率、数据应用效果、设备智能化水平等,帮助人员判断当前机电技术管理水平。考核指标需量化,为每个考核指标规定通过率,指导工作进行。举例而言,故障预测准确率需不低于90%,数据完整率需不低于95%,设备联网率需不低于85%。考核方法需公平科学,可选择平衡记分卡、关键绩效指标等,保证考核公平进行。最后,考核体系的制定不能天马行空,而是应当结合智能矿山发展目标,深入挖掘数据价值,强化智能装备应用,为煤矿企业智能化转型发展注入新动力^[10]。

(三) 强化数据管理

1. 提高数据质量

煤矿企业应重视数据质量的提升,使数据完整性、一致性和准确性,符合数据应用规范。数据完整性要求企业数据采集方案

尽量全面细化，尤其是关键数据，采集频率、范围和存储要求都需明确。可通过边缘计算技术预处理数据，同时应重视数据恢复和备份，避免传输阶段数据丢失。数据一致性要求企业数据治理体系与标准应统一，对数据格式、编码和定义等需要做出详细规定。针对采集的数据需校验，验证数据是否符合一致性要求，若数据之间存在矛盾，应及时解决^[11]。数据准确性要求针对数据采集设备（如传感器），应建立预警和修复机制，通过人工智能技术监测传感器异常数据。发现传感器存在故障，应及时预警，快速检修。传感器应每隔一段时间校准并维护，保证各项数据准确。

2. 强化数据分析

企业应重视先进技术和工具的引进，包括人工智能算法库、大数据分析平台等，深度分析设备海量数据，队数据潜在价值进行挖掘。同时应构建各类模型，辅助设备故障预测、能耗预测和性能优化。数据应用场景也需进一步拓宽，企业在预警设备故障和监测设备运行状态，应对设备不同场景应用进行探索，包括成本控制、生产调度等，实现生产效率的提升^[12]。此外，应重视复合型人才的培养。煤矿企业应重视现有机电技术管理人员综合素质的提升，为员工争取更多外部学习的机会，每隔一段时间，应组织内部培训，树立员工学习意识，令其具备数据分析能力。在人才招聘上，应重视对人员机电技术管理能力的考察，通过人才的鲑鱼效应，打造技术素养过硬的专业团队，成立复合型人才队伍。

（四）强化安全管理

1. 提高预警能力

企业应重视多类型传感器的部署，包括红外热像仪、油液传感器和振动传感器等，监测设备隐性故障。同时引进声发射监测技术，检测设备内部缺陷，一旦发现安全隐患，人员可及时做出

反应。当前预警方式也需进一步优化，在阈值报警基础上，应用关联报警、趋势报警等技术，使预警响应更及时。同时，需依靠人工智能技术减少传感器数据滤波，避免传感器产生较大噪声，尽量将环境的负面影响降至最低。可构建专家系统，辅助故障诊断，通过设备历史数据的浏览，智能分析报警信息，使误报率不超过10%，让传感器数据真正对人员操作起到重要的辅助作用^[13]。

2. 提高应急处理水平

煤矿企业应基于当前智能矿山生产各环节要求，制定应急预案，指导机电事故的及时排除和处置。预案应尽量细化，具备可操作性，且需覆盖各类事故场景，包括电力中断、网络攻击、设备故障等。企业管理人员应每隔一段时间修订应急预案，使应急预案符合实际生产场景要求。企业应重视应急预案的演练，以年度为单位，组织应急演练次数应在5次左右。演练应结合VR和AR技术优势，模拟事故现场真实情况，增强人员对事故处理的熟悉程度，了解处理流程，提高团队协同性^[14]。

三、结束语

综上所述，智能矿山视野下，煤矿企业为适应现代化生产要求，机电技术管理也势必迎来新一轮转变，重视智能化和专业化水平的提升。企业应从技术应用，管理模式、数据管理和安全管理等方面入手，改变当前机电技术管理面貌，这不仅需要企业重视设备的更新和技术的引进，用设备辅助人员排除设备故障，还需要加强人才培养，通过应急演练等方式，提高人员安全意识，促进机电技术管理水平全面提升。

参考文献

[1]杜生堂.智能矿山背景下煤矿机电技术管理创新研究[J].现代工业经济和信息化,2022,12(11):204-205.

[2]岳磊,冯永.浅析基于智能矿山的煤矿机电技术管理创新[J].工程建设(维泽科技),2022,5(3):108-110.

[3]李红勇,张俊峰,马忠强.基于智能矿山建设环境的煤矿机电管理技术研究[J].自动化应用,2023,64(10):195-197.

[4]邱善义,孙健,田野,张磊.基于智能矿山的煤矿机电设备管理创新研究[J].内蒙古煤炭经济,2023(18):43-45.

[5]谢明军,白晶,郭建军,李阴保,谢小飞,李婷.提升神东煤矿机电设备管理效益的探究[J].煤矿现代化,2024,33(3):53-57.

[6]潘成龙,屈云祥,侯佳浩.基于智能矿山的煤矿机电技术管理创新[J].内蒙古煤炭经济,2024(18):160-162.

[7]刘钦.浅谈智能矿山的煤矿机电技术管理创新[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2020(10):286-287.

[8]崔希国,王统海,陈亚华,乔鹏飞,张亮.山东能源临沂矿业集团有限责任公司打造智能化设备管理及监测诊断平台[J].中国设备工程,2020(17):150-152.

[9]张琨.浅谈故障检测诊断技术在智能化煤矿机电设备中的应用[J].中国设备工程,2021(12):185-186.

[10]陈浩.变频节能技术在煤矿机电设备中的应用研究[J].现代工业经济和信息化,2024,14(11):153-154.

[11]段铭钰.煤矿机电设备智能化维护研究现状与发展趋势[J].内蒙古煤炭经济,2022(13):120-122.

[12]郝波涛,张云飞,李少华.转动设备的故障诊断与预防维护策略研究[J].山东化工,2024,53(14):211-213.

[13]崔聪,舒龙勇,梁银泉,杨建,刘正帅,朱南南.瓦斯异常涌出预警系统架构设计与平台开发[J].煤炭技术,2024,43(3):160-164.

[14]刘朋朋,杨彪.探究煤矿机电技术管理与煤矿安全生产的关联性[J].石油石化物资采购,2024(8):154-156.

金属矿山安全管理中的风险评估与控制策略研究

田健健¹, 高志龙²

1. 金诚信矿业管理股份有限公司南方分公司, 云南 昆明 650501

2. 金诚信矿业管理股份有限公司, 云南 昆明 650501

DOI:10.61369/ETQM.2025090001

摘 要 : 随着我国经济的高速发展, 矿业行业已经成为国民经济中不可忽视的重要组成部分。由于金属矿产资源在生产过程中具有较高的风险系数和对环境的破坏程度, 使得矿山企业在安全生产管理方面面临着巨大的挑战。本文主要从金属矿山的安全管理中存在的风险入手, 分析了矿山安全管理控制策略。通过分析, 文章旨在为金属矿山企业加强安全管理提供参考。

关 键 词 : 金属矿山; 安全管理; 风险评估; 控制策略

Research on Risk Assessment and Control Strategies in Safety Management of Metal Mines

Tian Jianjian¹, Gao Zhilong²

1. Southern Branch of JCHX Mining Management Co., Ltd., Kunming, Yunnan 650501

2. JCHX Mining Management Co., Ltd., Kunming, Yunnan 650501

Abstract : With the rapid development of China's economy, the mining industry has become an indispensable component of the national economy. Due to the high risk factors and environmental impact associated with the production of metal mineral resources, mining enterprises face significant challenges in terms of safety management. This paper focuses on the risks present in the safety management of metal mines and analyses control strategies for mine safety management. Through this analysis, the paper aims to provide references for metal mining enterprises to strengthen their safety management.

Keywords : metal mines; safety management; risk assessment; control strategies

引言

随着经济的发展, 人们的生活水平不断提高, 对物质的需求也越来越高。而在社会发展中, 金属矿业是国民经济中的重要组成部分, 是国民经济建设和发展的基础产业之一。但是由于资源有限, 开采难度大、成本高, 因此具有很高的风险性。近年来, 我国矿山事故频发, 不仅造成了巨大的经济损失, 而且还会给人民生命财产安全带来严重威胁。为有效防范和化解安全风险, 保障矿工的人身安全和生产设备的安全运行, 需要加强矿山安全管理工作, 实现人与自然的和谐共处。当前, 许多矿山企业都采取了一系列措施来加强安全管理工作。例如: 建立健全安全管理体系; 完善各项规章制度; 严格执行安全操作规程; 加大安全投入力度; 开展安全培训教育等。这些措施虽然能起到一定作用, 但仍存在一些问题, 如: 重效益轻管理、重结果轻过程、安全责任落实到位、安全投入不足等。特别是在金属矿山领域, 由于其受地质条件和生产工艺等因素的影响, 存在着较高的风险因素和潜在危害。因此, 要想降低风险发生概率, 就必须加强风险评估和控制工作。

一、金属矿山安全管理中的风险识别

(一) 地质灾害风险

在金属矿山开发中, 存在着严重的地质灾害问题。矿山地质情况十分复杂, 岩体稳定性差, 地质构造发育等是矿区地质灾害频发的主要原因之一。在地下采矿过程中, 由于采场和巷道的开挖, 使岩石内部的原应力状况发生变化, 极易发生冒顶和片帮事故。当巷道内支护不够或未及时得到及时的支护时, 顶板就会因失稳

而发生坍塌, 将下方工作的工人与装备压入地下; 片帮是指巷道侧壁上的岩石出现滑落的现象, 给周围的工作人员带来了很大的危险。

在露天采矿过程中, 也面临着滑坡和泥石流等地质灾害的威胁。采矿活动导致的大量土方开挖破坏了原本的山体平衡, 如果不合理的边坡设计, 坡度过陡, 或遇到强降雨和地震等外界因素, 会导致坡体结构发生整体滑移, 引发滑坡灾害。另外, 在强降雨的作用下, 地表的松散堆积体容易形成泥石流, 造成采矿设

备的破坏，运输受阻，严重时还会对周围的人民群众的人身和财产安全造成危害。

（二）机械与电气事故风险

在金属矿山作业中，由于各种机器和装备的使用，导致了机械损伤的事件不断发生。在采矿、运输、破碎等作业过程中，有很多机器在以很快的速度运行着，例如皮带运输机的皮带、破碎机的转动构件等，如果保护装置缺少或者破损，工人一旦碰到，就容易遭受被卷入、挤压、切割等伤害^[1]。另外，如果设备维修保养不当，零件会出现老化或松动，这也可能造成机器失效，引发事故。

金属矿山作业中的电气安全问题也不可忽视。矿井下多潮湿，电气设备长时间处于这种条件下，会使设备的绝缘性变差，从而引起电泄漏。在矿井中，如果出现泄漏事故，不但会导致工人触电伤亡，而且还会在矿井中形成电火花，引燃瓦斯、烟尘等，从而引起更大的灾难。加之矿山井下的电气系统十分复杂，如果出现不规范的电缆敷设、过载和短路等情况，将大大提高电气的火灾事故发生率，对矿山的生产和运行造成极大的危害。

（三）火灾与爆炸风险

金属矿山存在诸多的火灾和爆炸事故。这是因为在进行井下开采时会生成大量的矿石粉尘，其中一些矿石粉尘是可燃的，当其在大气中的含量较高时，遇火即会引起粉尘爆炸。另外，有些金属矿山在采矿时会排放大量的瓦斯等易燃气体，如果不能及时将其排出，当其积累到一定程度时，一旦遇上火源，便会发生剧烈爆炸。

矿山生产中各种易燃、易爆的物质，例如炸药，地下照明用的燃料等，如果贮存、利用不恰当，也有可能引起火灾、爆炸。在运输和贮存过程中，如果发生碰撞或摩擦，可能引起炸药的爆炸；一旦发生泄漏，遇上火源，将快速燃烧并引起大火，进而导致更大规模的损失^[2]。

（四）职业危害风险

金属矿区工作条件对工人的身体健康也构成了很大的威胁。在矿山生产中，会形成矽尘、煤尘等多种有害物质，人体长期吸入这些，可诱发尘肺病等多种职业性疾病。尘肺病是一种不可逆的肺部疾病，其危害极大，它会严重影响患者的呼吸功能。同时，矿山井下作业过程中也会产生一氧化碳、硫化氢和二氧化硫等有毒有害气体，这些有毒有害气体对人体的呼吸系统和神经系统都有一定的损伤作用，在高浓度情况下甚至会引起人员中毒和窒息。矿山井下作业噪声大、振动大，长时间接触极易诱发噪声性耳聋、振动病等职业病，对工人的身体和心理健康都会造成极大危害。

二、金属矿山安全管理中的风险控制策略

（一）构建安全风险控制体系

安全风险控制体系首先要建立风险识别和评估程序，针对矿山的实际情况开展危险源辨识工作。对与安全生产相关的生产要素进行综合分析，确定可能出现的风险种类，并制定相应的风险

管理制度和操作规程。风险识别完成后要利用专家打分法、层次分析法等方法，对矿山存在潜在威胁的各个风险因素进行定量分析，获得其等级权重，并对风险事件的概率进行计算；然后根据计算结果，制定出符合企业实际的安全风险等级标准。再将所采集到的矿山数据进行科学整合后，运用动态监测技术对其中存在的风险因素进行实时监控。另外，还可以建立完善的风险预警系统，当有异常情况发生时及时向有关部门发出警报。

（二）构建风险评估模型及权重确定

为了更好地进行风险评价，要将金属矿山安全管理的主要风险源作为一个整体来考虑，构建出金属矿山安全管理风险评估模型。其中，第一级为目标层，表示的是对矿山安全管理效果的评价；第二级为准则层，包括作业环境、安全设施、岗位操作、人员素质、管理制度等5个方面；第三级为指标层，包括设备完好性、生产工艺、规章制度、操作规程、应急救援6个方面；第四级为方案层，包括隐患排查治理、技术改造、专项整治、教育培训、监督检查等5个方面。

该模型从影响金属矿山安全性的因素出发，以层次结构法为基础，运用层次分析法，确定各风险源之间的权重系数，从而更加科学地评估矿山的风险水平。其中，利用专家调查法和熵权法分别计算各个风险因素的重要性，再用德尔菲法或者其他方法确定风险因素的相对重要度。在此过程中，需要注意的是：①每个因素的权重不是固定的，要根据实际情况确定其相对重要性；②如果某一项指标出现了大量不合格样本，则需适当调整其权重。

（三）加强企业文化建设，提升员工安全意识

随着经济的快速发展，人们对物质生活的需求越来越高，但是对于生命安全的关注度却大大降低了。因此，金属矿山企业应该重视企业文化建设工作，通过树立正确的安全观念，增强员工的安全意识，从而减少事故发生的概率。具体来说，可以通过组织各种形式的安全教育活动，如安全知识竞赛、安全演讲比赛等；同时，还可以开展一些以安全为主题的文艺表演、摄影展览等活动，以此来增强员工对企业安全文化的认同感和归属感^[3]。

（四）完善安全管理体系，提高安全管理水平

作为金属矿山的重要保证，安全管理制度的健全与否，将直接影响到预防和控制事故的水平。在此基础上，金属矿山应构建从采矿设计到设备运行到紧急救助的完整的管理流程和工艺规范。如：在巷道支护方面，必须对各种地质情况下的支护材料选择、施工技术及施工质量进行规定；在进行爆破作业时，要将炸药的贮存、运输、使用和警戒区域标准化，以保证每个操作都能按程序进行。

制度的生命力在于执行与更新。企业需建立动态审查机制，结合新技术应用、法规修订和行业事故教训，每年度对安全管理制度进行系统性评估与优化^[4]。同时，通过内部审计与第三方审核相结合的方式，确保制度执行的有效性。安全培训是落实制度的关键环节，企业应构建分层分类的培训体系：新员工需通过涵盖安全法规、操作规程和应急逃生技能的“三级安全教育”；特种作业人员要接受专业技能培训并持证上岗；管理层则需定期

参与安全领导力培训，强化责任意识与决策能力。通过系统化培训，使员工不仅掌握安全生产技能，更能在日常工作中主动识别风险、规范操作行为，从根本上降低人为失误导致事故风险。

（五）加大安全投入力度，改善安全生产条件

充足的安全投入是金属矿山安全生产的物质基础。企业应结合矿山规模、开采工艺和风险等级，制定科学的安全投入规划，确保资金向关键领域倾斜。在设备设施方面，优先保障老旧设备的更新换代，引入智能监测系统、自动化采掘设备等先进装备。例如，为井下运输车辆安装防撞预警装置，在采场布置在线监测传感器，实时监控顶板压力、瓦斯浓度等参数，实现风险早期预警。同时，加强对通风、排水、供电等基础系统的维护升级，确保其长期稳定运行。

危险源管理是预防事故的重要抓手。企业需建立全面的危险源辨识与评估机制，运用LEC 风险评价法、作业条件危险性分析等工具，对井下采空区、爆破区域、电气设备等危险源进行分级管控^[1]。针对高风险源，制定专项防控方案：如对采空区采用充填法或隔离法进行处理，为电气设备加装漏电保护装置和防火设施。此外，安全投入还应向应急救援领域倾斜，配备专业的救援设备、建设应急避难硐室，并定期开展实战化应急演练，确保在突发情况下能够快速响应、有效处置，切实提升矿山整体安全保障能力。

（六）优化生产布局，提高生产效率

金属矿山企业要按照市场需要，结合矿山地质条件、资源赋存特征和采矿工艺水平，对生产布置进行优化，对采矿次序和工作进度进行适当的规划，最大限度地降低在生产环节中的人力和材料损耗，以此来提升企业的生产率。在此基础上，将数字化矿山技术应用于采矿生产规划设计中，利用3D模型和仿真方法，可以对各种采矿规划方案进行高效、经济地评价。在开采顺序的布置上，采取下行开采、后退回采等技术，可以减轻采场的顶板控制难度，并使矿石的贫化率和损失率大大降低。与此同时，要建立能够对人员、设备和材料进行动态配置的智能调度系统，对生产进度进行动态监测，并据此及时调节作业计划，使生产流程能够进行无缝连接，将停工待料、设备空转等各种资源的浪费情况

都降到最低，使整个生产和资源的综合利用程度达到最大。

（七）加强监督检查，落实安全责任

金属矿山企业应该建立起一套科学有效的安全监管机制，定期对各部门、各岗位进行安全检查，发现问题及时整改。同时，还要加强对各级领导干部的安全考核，将安全指标纳入各级领导干部的绩效考核体系，实行“一票否决制”，对安全责任履行不到位、隐患整改不力的部门和个人严肃追责。通过层层签订安全责任书，将安全责任细化分解到岗位、落实到个人，形成领导带头、部门协同、全员参与的齐抓共管格局，确保安全管理各项要求落到实处。

（八）建立应急救援体系，提高应对突发事件的能力

金属矿山企业应该建立起一套完善的应急救援体系，配备充足的应急救援装备和物资，制定出具体的应急预案，并建立应急预案动态更新机制，确保预案的针对性与可操作性。一旦发生安全事故，可以迅速启动应急预案，组织相关人员进行紧急处置，最大限度地减少损失和伤害。

（九）强化舆论引导，营造良好的安全氛围

金属矿山企业应该加强对员工的安全宣传教育，普及安全知识，提高员工的自我保护意识。同时，也要加强与媒体的合作，积极开展安全宣传活动，通过广播、电视、报纸等多种渠道，向公众传递安全信息，营造良好的安全氛围。

三、结语

总之，目前国内金属矿山企业安全管理工作，由于缺乏安全意识和安全基础设施，致使安全生产事故频繁发生。为此，需要对其进行有效的风险控制管理。未来，随着人工智能、物联网和大数据等新技术的广泛应用，金属矿山安全管理将更加智能化和动态化，风险评估模型将更加精准，控制策略也将更具时效性与前瞻性。不断深入开展金属矿山开采过程中的风险评估和防控对策研究，促进产学研用协同创新，可以为我国金属矿山行业构筑起一道安全屏障，也能保证我国能源安全，还能达到经济效益和社会效益共赢，为构建本质安全型矿山打下良好的基础。

参考文献

[1] 曾章林. 矿山安全生产事故的原因与预防措施探讨 [J]. 中国金属通报, 2024, (09): 198-200.
[2] 吴全付. 露天开采矿山中的采矿技术及安全问题分析 [J]. 低碳世界, 2025, 15(03): 76-78..
[3] 吴钊. 基于超前支护的矿山工程安全管理体系构建与优化探讨 [C]//《中国建筑金属结构》杂志社有限公司. 2024 新质生产力视域下智慧建筑与经济发展论坛论文集（五）. 合山市应急管理局, 2024: 127-128.
[4] 赵开林, 保丹梅, 张照伦, 等. 浅谈煤炭开采过程中的开采技术与安全管理建议 [J]. 内蒙古煤炭经济, 2025, (05): 94-96.
[5] 代夫平, 王明, 闫珍, 等. 煤矿安全管理存在的问题及应对策略探讨 [J]. 内蒙古煤炭经济, 2024, (19): 94-96.

低温甲醇洗净化气总硫超标的原因分析及解决办法

陈治君

国能新疆化工有限公司, 新疆 乌鲁木齐 831400

DOI:10.61369/ETQM.2025090005

摘 要 : 低温甲醇洗工艺是在低温高压条件下, 以甲醇作为吸收剂, 脱除原料气中 H_2S 、 CO_2 等成分, 从而为下游工段供给合格净化气的工艺。此工艺具备气体净化程度高、选择性良好的特点, 气体的脱硫与脱碳能够在同一台塔内分阶段、有选择性地开展。低温甲醇洗工艺在合成氨、合成甲醇、其他羰基合成、城市煤气、工业制氢以及天然气脱硫等气体净化装置中有着广泛应用。目前国内主要的煤化工装置均采用这一技术。

关 键 词 : 低温甲醇洗; 净化气硫含量; 解决办法

Analysis of the Causes and Solutions for Excessive Total Sulfur in Purified Gas from Low-Temperature Methanol Washing

Chen Zhijun

CHN Energy Xinjiang Chemical Co., Ltd., Urumqi, Xinjiang 831400

Abstract : The low-temperature methanol washing process is a technology that uses methanol as an absorbent under low-temperature and high-pressure conditions to remove H_2S , CO_2 , and other components from raw gas, thereby supplying qualified purified gas to downstream processes. This process features high gas purification efficiency and excellent selectivity, enabling desulphurisation and decarbonisation to be conducted in stages and selectively within the same tower. The low-temperature methanol washing process is widely applied in gas purification units for synthetic ammonia, synthetic methanol, other carbonyl synthesis processes, city gas, industrial hydrogen production, and natural gas desulphurisation. Currently, most major coal chemical plants in China adopt this technology.

Keywords : low-temperature methanol washing; sulphur content in purified gas; solutions

一、鲁奇低温甲醇洗工艺简介

(一) 工艺原理

低温甲醇洗是指在低温条件下, 利用其对 H_2S 、 COS 、 CO_2 等气体的高效溶解和吸附, 而对 CO 、 H_2 等气体的溶解和吸附性能差的特点, 实现对变换气中的酸性气体的高效净化。该工艺为物理吸附法, 在吸附酸性气体后, 经减压、脱碳、加热再生等工序, 将甲醇溶液中 CO_2 、 H_2S 、 COS 等酸性气体解析出来, 并实现甲醇的回收利用。

(二) 工艺流程简介

低温甲醇洗工序的主要任务是脱除变换气中的酸性气体成份, 即二氧化碳、硫化氢、有机硫等。来自变换工序的变换气经过原料气遇冷后进入吸收塔 (2320C1002), 通过预洗段除去原料气中少量的 NH_3 和 HCN 然后进入吸收塔的硫化氢洗涤段, 除去 H_2S 和 COS 再经过 CO_2 脱除段除去大部分二氧化碳, 得到合格的净化气送往甲醇合成装置。预洗甲醇经精洗甲醇 / 预洗甲醇换热器 2320E1022 加热后被送到预洗闪蒸罐 2320V1004 闪蒸, 闪蒸后的预洗甲醇被送到热再生塔 2320C1006 再生。富硫甲醇通过硫化氢闪蒸塔 2320C1004 二段闪蒸, 一段闪蒸, 再经过氢气气提回收 CO 和 H_2 后进入硫化氢浓缩塔 2320C1005。富碳甲醇通过 CO_2 闪

蒸塔 2320C1003 四段闪蒸, 三段闪蒸加氢气气提, 回收 CO 和 H_2 后进入硫化氢浓缩塔 2320C1005 一段继续减压闪蒸后再经过 CO_2 闪蒸塔 2320C1003 一段, 二段闪蒸, 产生的尾气送往尾气系统, 得到的半贫甲醇通过泵 2320P1001 送往吸收塔作为洗涤甲醇用。富硫甲醇在硫化氢浓缩塔 2320C1005 通过氮气气提除去大部分的二氧化碳后, 富硫甲醇进入热再生塔 2320C1006 进行热再生, 除去甲醇中的 H_2S 、 COS 、 CO_2 得到合格的再生甲醇, 产生的酸性气送往硫磺回收装置进行硫磺生产。为维持甲醇溶液对酸性气体的吸收能力, 需降低其中的水含量。具体操作是从热再生塔底部抽出部分甲醇溶液, 输送至甲醇 / 水分离塔进行脱水处理。甲醇 / 水分离塔塔顶产生的甲醇蒸汽会返回热再生塔, 实现系统内的循环利用, 而分离出的废水则排至界区外。

二、净化气中总硫超标的影响因素

(一) 洗涤甲醇的温度

吸附温度对甲醇中酸性气体溶解度的影响很大, 低温条件下, 吸附酸性气体的能力增强。如果温度提高, 则会使甲醇吸附氢硫的能力减弱, 从而使合成的气体指标达不到要求。因此, 准确的控制洗涤甲醇溶液的温度是保证净化气质量达标的关键

因素。

低温甲醇洗冷量来源主要有：丙烯压缩提供冷量，水冷器，二氧化碳闪蒸。其中二氧化碳闪蒸是系统最大的冷量来源。当丙烯压缩运行异常，二氧化碳闪蒸不充分，这样就会造成洗涤甲醇温度偏高，从而使净化气中的总硫超标。

（二）洗涤甲醇的循环量

主洗甲醇，精洗甲醇循环量如果和进入系统的变换气量不匹配的话，势必会造成净化气质量不合格。循环量过大，对洗涤酸性气有力，但是过大的循环量会使二氧化碳在甲醇中的饱和度下降，二氧化碳闪蒸不充分，也会使系统冷量损失，洗涤甲醇温度升高，从而造成净化气中硫含量超标。所以，系统甲醇的循环量要综合考虑，在保证产品气净化度的同时合理控制液气比。

（三）原料气负荷大幅波动与系统压力不稳定

对于上游煤气化厂而言，当负荷发生波动时，其粗煤气流量将会发生明显的变化。在这种情况下，如果不能按照实际情况进行相应的调节，则可能导致净化气中的总硫含量超标。在低温甲醇清洗过程中，一部分甲醇是靠压差来完成的，所以在进入气体的剧烈变化时，会引起压力的脉动，从而引起液面的波动。这种现象特别容易出现在设备启动、停机和切断过程中。在甲醇液面剧烈波动时，液面自动调节阀频繁开闭，很难保证甲醇的持续稳定供给，造成精制气硫值超标。当系统压力波动较大，也不利于甲醇的对酸性气的吸收，同时甲醇洗涤量也随着压力的波动在波动，从而造成净化气质量不合格。

（四）CO₂闪蒸塔和H₂S闪蒸塔气提氢过量

气提氢过量，势必会使回收的氢气、一氧化碳气体中硫化氢超标，在洗涤量还是没变的情况下，就会造成净化气中硫含量超标。

（五）甲醇再生不合格

本装置对再生甲醇合格的标准是再生甲醇中硫化氢含量小于0.1ppm,实际生产中，通过分析可知，再生甲醇中硫化氢含量都在10—30ppm以内，远远超过我们的合格标准，再生甲醇不合格也会造成净化气中总硫超标。

（六）再生甲醇中水含量超标

水含量超标大大影响甲醇对酸性气的吸收能力，在正常运行中，对循环甲醇中的水含量要求不超过0.5%,通过研究证明，当系统中的水含量增加1%,洗涤甲醇对酸性气的吸收能力大大降低，所以，再生甲醇中水含量偏高也会造成净化气中总硫不合格^[1]。

（七）系统中氨含量高

甲醇系统中氨含量高，氨在热再生塔与硫化氢反应生成硫胺，硫胺溶解在贫甲醇中，再进入吸收塔时减压分解成硫化氢和氨，从而造成净化气中总硫超标。氨的来源主要是来自变换工序，氨洗涤塔的运行是否正常，直接影响着低温甲醇洗系统中氨含量的多少。

（八）循环甲醇中杂质太多

由于设备长期运行，存在不同程度的腐蚀，系统中的机械杂质也会增多，循环甲醇中杂质增多也影响甲醇的吸收能力，从而造成净化气质量不合格。

三、影响国能新疆化工有限公司净化装置净化气总硫超标的原因分析

本装置在开车运行初期，净化气中硫含量一直小于0.1ppm,符合设计要求。但在试车结束后，停车检修完后，开车以来净化气中的总硫经常超标。净化气中硫含量长期超标，会对下游合成装置催化剂造成毒害，势必会影响合成催化剂的使用寿命，为了解决净化气中总硫超标的问题，我们分析了一下几个原因。

（一）净化气中总硫超标原因分析

净化装置开车初期，低温甲醇洗系统吸收塔的压力控制在5.27~5.3MPa,贫甲醇温度在-50~-52℃,贫甲醇中的流量大于实际变换气负荷，主洗甲醇量小于相对应变换气量的设计负荷，在试车期间，净化气中的总硫在0.1ppm以下。在检修之后，开车后净化气中的总硫就开始超标了。根据这一情况，我们做了以下详细分析。

1. 系统负荷波动大及压力波动大

在试车初期，系统负荷波动大的时候的，净化气中的二氧化碳波动较大，但是硫化氢也在波动，但是没造成净化气中的总硫超标。停车检修后开车以来，变换气负荷波动大，压力波动大的时候会造成净化气中二氧化碳指标波动，硫化氢指标随着二氧化碳的升高而升高，会出现系统负荷、压力波动的时候净化气中的总硫超标，可以看出，系统负荷，压力波动是影响净化气中总硫超标的原因之一。

2. 洗涤甲醇温度高

试车阶段，贫甲醇的温度在-50~-52℃,净化气中的硫含量在指标范围内。停车检修后开车，贫甲醇温度最低控制在-53~-55℃,净化气中的硫含量还是超标，由此可见，贫甲醇温度不是影响净化气中总硫超标的原因。

3. 洗涤甲醇循环量小

试车阶段，贫甲醇的洗涤量一直大于实际变换气负荷，主洗甲醇洗涤量小于实际变换气负荷，净化气中的总硫在指标范围内；停车检修后开车，起初，工艺操作人员按试车操作方法操作，净化气中硫含量开始超标，后来改变操作方法，将主洗甲醇量大于贫甲醇量，贫甲醇的温度开始降低，系统整体冷量较好，各工艺指标接近设计指标，净化气中的总硫有所控制，但是还是偶尔超标。由此可见，洗涤甲醇循环量也影响净化气中总硫指标的原因之一。

4. 再生甲醇不合格

试车阶段，我们对再生贫甲醇中的水做过分析，水含量在1%—1.5%之间，净化气合格；停车检修后，再生贫甲醇中的水含在1%以下，说明，水含量高不是影响净化气中硫含量超标的因素。

再生甲醇中的硫化氢含量，试车阶段没做分析，无从考证。停车检修后，对贫甲醇的硫化氢含量做了分析，发现当贫甲醇中的硫化氢含量小于10ppm以下时，净化气中的硫含量在正常范围内，可见，再生甲醇中硫化氢含量高是影响净化气中总硫超标的因素之一。

5.循环甲醇中氨含量高

高浓度 NH₃进入甲醇清洗装置后，将不断累积，并与甲醇吸附产生的硫化氢进行化学反应。该过程中产生的硫胺会使贫油中的硫含量超标；同时，由于硫胺再循环到吸附塔，在吸附塔中又会发生氢硫、氮氧等物质的分解，也会使纯化气体中的总硫含量超标。通过对贫甲醇中氨含量分析，贫甲醇中的氨含量远远超标，但是变换气中与吸收塔预洗段都未分析出氨，通过排氨操作，贫甲醇中的硫含量下降了，净化气中的总硫也在下降，由此证明，循环甲醇中氨含量超标是影响净化气指标不合格的因素^[2]。

6.循环甲醇机械杂质多

试车初期，我们对贫甲醇精密过滤器未做过清洗，停车检修后，当发现精密过滤器压差高于50KPa,就对其清洗，净化气指标不受影响，证明机械杂质对净化气中的总硫指标影响不明显。

（二）净化气中总硫超标的解决办法

经过对净化气中总硫超标的原因作了详细分析后，针对这些问题，采取了如下措施。

1.控制系统压力稳定

加强上下游装置的沟通，联系气化装置，在加減负荷时，提前告知净化装置，对工艺情况进行及时调整；联系合成装置，确保压力在5.27-5.3MPa内，有偏差及时告知合成装置，同时控制氢碳比在指标范围内。

2.调整甲醇循环量靠近设计指标

严格按照设计操作，主洗甲醇量不能小于精洗甲醇量，循环

量跟设计量偏差10吨以内，跟据气化负荷波动，对洗涤甲醇循环量及时调整。

3.控制系统中的氨含量

氨含量对系统的影响颇大，为了解决这一问题，当贫甲醇中的硫含量超过20ppm时，就开始系统排氨操作，每次排10个小时；加强变换系统的操作，变换工序洗氨塔的洗涤水大于设计量。

当发现净化气中的硫含量超标时，及时联系分析检测中心加样，及时对工况进行调整。

通过以上努力，净化气中的硫含量控制在指标范围内，如图所示：

年月	贫甲醇中的硫含量	净化气中的总硫	合格率
2016年6月	12ppm	<0.1ppm	98%
2016年7月	15ppm	<0.1ppm	90%
2016年8月	20ppm	0.1-0.2ppm	50%
2016年9月	25ppm	0.1-0.2ppm	45%
2016年11月	10ppm	<0.1ppm	98%
2016年12月	7ppm	<0.1ppm	99%

四、总结

造成低温甲醇洗单元净化气硫含量超标原因较多，发现问题及时处理，找到原因及时调整，精心操作，严格按照操作法操作，遵从设计理念，不要盲目操作。

参考文献

[1]唐宏青.低温甲醇洗技术 [J].中氮肥, 2008.[1].2013.[9].
[2]付长亮.张爱民.现代煤化工生产技术,北京:化学工业出版社, 2009.7.

高烈度地震区水库大坝抗震优化设计与安全评估

张立娟

天津市水务规划勘测设计有限公司，天津 300204

DOI:10.61369/ETQM.2025090007

摘 要： 本文聚焦高烈度地震区水库大坝抗震优化设计与安全评估，系统分析了高烈度地震区地震动特性对大坝的作用机制，阐述了不同坝型的抗震设计原则与方法，并从多方面探讨了抗震优化策略。同时构建了涵盖结构、地质、运行状态的安全评估指标体系，介绍了传统经验法、数值模拟法、现场检测法及机器学习法等评估方法，明确了从前期准备到报告编制的全流程评估体系。研究成果为高烈度地震区大坝的抗震设计优化与安全保障提供了理论依据和技术参考。

关 键 词： 高烈度地震区；水库大坝；抗震设计；优化策略；安全评估

Seismic Optimisation Design and Safety Assessment of Reservoir Dams in High-Intensity Earthquake Zones

Zhang Lijuan

Tianjin Water Resources Planning, Survey and Design Co., Ltd., Tianjin 300204

Abstract： This paper focuses on the seismic optimization design and safety assessment of reservoir dams in high-intensity earthquake zones. It systematically analyses the mechanisms by which seismic motions in high-intensity earthquake zones affect dams, outlines the seismic design principles and methods for different dam types, and explores seismic optimization strategies from multiple perspectives. Additionally, a safety assessment indicator system encompassing structural, geological, and operational conditions is established. Traditional empirical methods, numerical simulation methods, field testing methods, and machine learning methods are introduced as assessment techniques, and a comprehensive assessment framework from preliminary preparation to report compilation is clarified. The research findings provide theoretical foundations and technical references for the seismic design optimisation and safety assurance of dams in high-intensity seismic zones.

Keywords： high-intensity seismic zones; reservoir dams; seismic design; optimisation strategies; safety assessment

引言

水库大坝作为水资源调配与防洪减灾的核心基础设施，其安全运行对区域经济社会发展意义重大。然而在高烈度地震区，频繁且强烈的地震活动给大坝安全带来巨大威胁，一旦发生震害导致溃坝，将引发灾难性后果。因此深入研究高烈度地震区水库大坝抗震优化设计与安全评估方法，成为保障大坝安全、守护人民生命财产的关键课题。

一、高烈度地震区水库大坝抗震设计理论

（一）高烈度地震区地震动特性分析

在高烈度地震区，地震动呈现出复杂且独特的特性，这些特性对水库大坝的抗震设计有着至关重要的影响。高烈度地震区的地震动峰值加速度往往较高，这意味着大坝在地震发生时会受到巨大的惯性力冲击。例如在某些处于板块交界地带的高烈度区域，地震动峰值加速度可达 0.3g 甚至更高，这种强大的冲击力会使大坝结构产生剧烈振动，对大坝的整体稳定性构成严重威胁。地震动的频谱特性也十分关键，不同场地条件下，地震动的卓越

周期存在差异。在软土地基，地震动卓越周期较长，容易与具有相似自振周期的大坝结构产生共振效应，加剧大坝的破坏程度；而在坚硬场地，地震动卓越周期较短，其高频成分较多，会对大坝的局部结构造成较大损伤。此外，地震动的持时也是不容忽视的因素，较长的地震持时会使得大坝结构经历多次循环加载，导致结构材料的疲劳损伤积累，即使地震动峰值加速度相对较小，长时间的振动也可能使大坝出现裂缝扩展、地基液化等问题，最终影响大坝的安全性。

（二）水库大坝抗震设计原则及方法

地震烈度分为基本烈度和设防烈度。一般情况下，工程场地

采用《中国地震烈度区划图》确定的基本烈度，抗震设计时也一般采用基本烈度作为设计烈度。《导则》里抗震安全计算方法有拟静力法和动力法，给出了采用不同方法的计算结果相对应的允许系数。除复核计算外，应对大坝原设计抗震措施的有效性进行确认。综合复核计算结果与抗震措施的有效性，对大坝抗震安全性综合评价^[1]。水库大坝抗震设计需遵循一系列科学合理的原则与方法，以确保大坝在高烈度地震作用下能够保持安全稳定。设计时必须充分考虑各种可能的地震工况，确保大坝在遭遇设计地震和罕遇地震时，都能满足相应的抗震安全要求，避免发生溃坝等灾难性事故，保障下游人民生命财产安全^[2]。在保证大坝抗震安全的前提下，要综合考虑工程建设成本，优化设计方案，避免过度设计造成资源浪费。例如通过合理选择大坝材料和结构形式，在满足抗震性能的同时降低工程造价。在设计方法上，目前常用的有拟静力法、动力分析法等。拟静力法是将地震惯性力以静力荷载的形式施加在大坝结构上进行分析，该方法计算简便，适用于初步设计阶段对大坝抗震性能的粗略评估；动力分析法则考虑了地震动的时程和结构的动力响应，通过建立大坝-地基-库水相互作用模型，利用有限元等数值计算方法，更准确地模拟大坝在地震作用下的实际受力和变形情况，常用于大坝抗震设计的详细分析阶段。

（三）不同类型水库大坝抗震设计特点

土石坝是常见的大坝类型，其材料主要为土石料，属于散粒体结构，抗剪强度相对较低，在地震作用下容易出现坝坡失稳、坝体裂缝等问题^[3]。为提高其抗震性能，设计时应合理选择坝坡坡度，避免坡度过陡，同时采用合适的防渗措施，如设置防渗心墙或斜墙，防止因地震导致的渗透破坏引发坝体失稳；在坝体材料选择上，优先选用抗液化性能好的土石料，并通过压实等措施提高坝体的密实度，增强其抗剪强度。混凝土重力坝依靠自身重力来维持稳定，在抗震设计方面与土石坝有所不同，地震作用下，其主要破坏形式包括坝体裂缝、坝踵开裂和坝体沿建基面滑动等^[4]。为增强其抗震能力，可采用加强坝体结构整体性的措施，如设置纵、横缝的键槽，增强坝体各部分之间的连接；优化坝体断面形状，使坝体在地震作用下的应力分布更加均匀；在坝基处理上，采用固结灌浆等方法提高地基的承载能力和抗变形能力，减少坝体与地基之间的相对位移。拱坝是一种空间壳体结构，其抗震性能与坝体的几何形状、材料特性以及地基条件密切相关，在地震作用下，拱坝的拱圈和坝肩是容易发生破坏的部位。针对拱坝的抗震设计，需要合理设计拱圈的曲率和中心角，优化拱坝的体型，以提高拱坝的整体刚度和抗震能力；加强坝肩的稳定分析和处理，通过对坝肩岩体进行锚固、灌浆等加固措施，增强坝肩的抗滑稳定性；同时考虑坝体-库水-地基的相互作用，采用精确的动力分析方法，准确评估拱坝在地震作用下的动力响应。

二、高烈度地震区水库大坝抗震优化设计

（一）坝体结构抗震优化设计

在高烈度地震区，坝体结构需从材料选择、体型设计和构造

措施多方面进行优化。在材料方面，新型高性能材料的应用为坝体抗震带来新突破。例如纤维增强混凝土具备良好的韧性和抗裂性能，将其应用于坝体关键部位，可有效抑制裂缝扩展，提高坝体在地震作用下的完整性。同时纳米改性材料通过优化微观结构，进一步增强坝体材料的耐久性与抗震韧性。在体型设计上，通过优化坝体轮廓和断面形状，能够调整地震作用下的应力分布。如将土石坝的坝坡设计为变坡形式，上部坡度较缓、下部坡度较陡，既保证坝坡稳定性，又能减少坝体工程量；对于混凝土重力坝，采用倒悬式坝体断面，可降低坝踵拉应力，增强坝体抗倾覆能力^[5]。此外，通过设置流线型坝体外形，还能有效降低地震波的反射与叠加效应。构造措施方面，设置合理的分缝分块和连接方式，能增强坝体结构的整体性。如在混凝土坝的纵、横缝处设置键槽并进行灌浆处理，使坝体各部分协同工作，共同抵御地震作用。同时引入预应力锚固技术，可进一步提升坝体结构的整体稳定性。

（二）坝基处理抗震优化设计

坝基作为支撑大坝的“根基”，其抗震性能不仅关乎大坝自身稳定，更直接关系到下游人民生命财产安全与区域生态环境安全。在高烈度地震区，地震动的强烈冲击极易诱发坝基失稳，进而导致大坝溃决等灾难性后果，因此科学合理的坝基处理优化设计成为大坝抗震的关键环节。针对不同的坝基地质条件，需“因地制宜”采取优化措施。当坝基存在软弱夹层或松散土层时，振冲碎石桩与强夯法是行之有效的加固手段。振冲碎石桩施工时，通过振冲器的振动和水冲作用，在软弱地基中形成桩孔，随后填入碎石并振密，最终形成密实的桩体，显著提高地基的承载力与抗液化能力；强夯法则凭借巨大的夯击能，使地基土产生瞬间压缩和重塑，有效降低土的压缩性，增强地基密实度。而对于存在裂隙发育问题的岩基，固结灌浆与帷幕灌浆是常用处理措施^[6]。固结灌浆通过向岩体裂隙注入浆液，增强岩体的整体性和强度；帷幕灌浆则在坝基中形成连续防渗帷幕，大幅降低坝基渗透压力，从根源上避免渗透破坏引发的坝基失稳风险。此外，在坝基与坝体的连接部位，合理设置垫层或过渡层同样重要。这类特殊结构能够有效调整应力传递路径，缓冲地震作用下坝基与坝体间的变形差异，减少不均匀沉降和应力集中现象，使坝体-坝基系统在地震中形成协同受力的整体，全方位提升大坝抗震性能。

（三）基于性能的抗震优化设计方法

基于性能的抗震优化设计方法以大坝在不同地震水准下应达到的性能目标为导向，改变了传统设计仅满足抗震规范最低要求的模式，为大坝抗震设计提供了更科学合理的途径。该方法首先明确大坝在小震、中震和大震作用下的性能指标，如小震时要求大坝结构基本完好，不影响正常运行；中震时允许结构出现一定损伤，但经过简单处理后可恢复使用；大震时要保证大坝不发生溃坝等灾难性破坏，确保下游人民生命财产安全^[7]。在设计过程中，通过建立精细化的数值分析模型，结合可靠度理论和优化算法，对大坝的结构参数、材料特性等进行优化调整。例如利用有限元软件模拟大坝在地震作用下的动力响应，根据性能目标不断优化坝体尺寸、配筋率等参数，使大坝在满足抗震性能要求的同

时,实现经济效益最大化。同时基于性能的设计方法还注重考虑不确定性因素对大坝抗震性能的影响,通过概率分析等手段,评估大坝在不同地震工况下的失效概率,为大坝的抗震设计和风险管理提供更全面的依据。

三、高烈度地震区水库大坝抗震安全评估

(一) 抗震安全评估指标体系

构建完善的抗震安全评估指标体系是准确判断高烈度地震区水库大坝抗震性能的基础,该体系需涵盖大坝结构、地质条件、运行状态等多维度指标。在结构方面,坝体材料强度、结构完整性、关键部位应力应变水平等是重要指标。例如混凝土坝的抗压强度、裂缝宽度与分布,土石坝的抗剪强度、坝坡稳定性系数等,这些指标直接反映坝体结构在地震作用下的承载能力。地质条件指标包括坝基地质类型、岩土层特性、地震液化可能性等,软弱地基或存在液化土层的大坝,地震风险更高^[9]。运行状态指标则关注大坝的使用年限、维修养护情况、渗流异常等,长期运行且缺乏维护的大坝,抗震性能可能因材料老化、结构损伤累积而下降。此外,还应考虑环境因素指标,如周边地震活动频率、库水位变化等,这些因素会与地震作用相互影响,共同作用于大坝安全。通过综合这些不同层面的指标,形成层次分明、逻辑严谨的评估体系,为大坝抗震安全评估提供全面依据。

(二) 抗震安全评估方法

高烈度地震区水库大坝抗震安全评估方法丰富多样,各有其适用场景。传统经验法依据工程技术人员的实践经验,结合类似工程案例,对大坝抗震安全进行定性或半定量评估,在初步评估阶段或数据有限时较为实用,但主观性较强。数值模拟法借助有限元、离散元等计算软件,建立大坝-地基-库水耦合模型,模拟地震作用下大坝的动力响应,能精确分析坝体应力、变形、位移等,为大坝抗震性能提供定量评估结果,常用于详细评估阶段。现场检测法通过地质勘探、无损检测等手段获取大坝实际参数,如利用钻孔取芯检测坝体材料强度,采用声波检测技术探测

坝体内部缺陷,结合检测数据评估大坝抗震安全,可直观反映大坝的实际状况^[9]。还有基于机器学习的评估方法,如神经网络算法,通过大量历史数据训练模型,学习大坝抗震性能与各指标间的关系,实现对大坝抗震安全的快速、准确预测,尤其适用于海量大坝数据的批量评估。实际应用中,常综合多种方法,取长补短,以提高评估的准确性和可靠性。

(三) 抗震安全评估流程

高烈度地震区水库大坝抗震安全评估需遵循严谨规范的流程,前期准备阶段收集大坝设计资料、施工记录、运行监测数据、区域地震地质资料等信息,明确评估目的和范围,同时组建由地质、结构、抗震等多专业人员构成的评估团队。现场调查与检测环节,对大坝外观进行详细检查,查看是否存在裂缝、渗漏等异常现象,开展地质勘探和材料检测,获取坝体和坝基的实际参数。评估分析阶段运用选定的评估方法和指标体系,对收集的数据进行处理和分析,模拟大坝在不同地震工况下的响应,评估大坝抗震性能。结果判定阶段依据相关标准和规范,将评估结果与安全阈值进行对比,判断大坝抗震安全等级,若存在安全隐患,明确隐患类型和严重程度^[10]。报告编制与建议阶段,撰写详细的抗震安全评估报告,阐述评估过程、结果及结论,针对发现的问题提出切实可行的加固、维护或管理建议,为大坝后续抗震决策提供支撑。整个流程环环相扣,确保大坝抗震安全评估科学、有序开展。

四、结束语

高烈度地震区水库大坝的抗震优化设计与安全评估是一项系统且复杂的工程,需要多学科知识的融合与创新。从地震动特性的深入剖析,到不同坝型针对性的优化设计,再到科学全面的安全评估体系构建,每一个环节都至关重要。随着新材料、新技术的不断涌现,以及计算技术和监测手段的持续进步,未来可进一步探索大坝抗震设计的智能化、精细化路径,加强地震与大坝相互作用的动态研究,完善基于风险的全生命周期安全管理体系。

参考文献

- [1] 周文渊,徐海波.水库大坝安全评价技术探讨[J].治淮,2016,(08):16-17.
- [2] 秦继辉,张颖,王宇,等.水库大坝地震基础液化动力分析[J].水利科技与经济,2015,21(11):1-4.
- [3] 伯桐震.花溪水库大坝抗震安全复核[J].水利科技与经济,2015,21(11):26-27.
- [4] 何洋,尹刚.黄仁水库震液化评价与抗震加固设计[J].山东水利,2015,(08):31-32.DOI:10.16114/j.cnki.sdsl.2015.08.017.
- [5] 邢喜梅.卡尔特水库大坝抗震安全评价[J].水利技术监督,2014,22(01):13-15.
- [6] 覃克非.武都水库大坝震损处理及抗震设计[J].四川水利,2016,37(01):21-24.
- [7] 梁伟宁,黄彩林.关于水库大坝设计重点探究[C]//云南省水利学会.云南省水利学会2018年度学术交流会论文集.楚雄欣源水利水电勘察设计有限责任公司,2018:590-592.
- [8] 陈小妮,马雅慧.土石坝抗震加固措施研究[J].陕西水利,2014,(01):83-84.
- [9] 岑威钧,王建,王帅,等.水库骤降期偶遇地震作用时高土石坝抗震安全性分析[J].岩土工程学报,2013,35(S2):308-313.
- [10] M.维兰德,胡云鹤.地震与大坝安全[J].水利水电快报,2011,32(02):33-35.DOI:10.15974/j.cnki.slsdkb.2011.02.004.

复杂地质条件下深基坑支护结构优化设计与变形控制研究

施炳军¹, 刘湘²

1. 云南奕辉建筑设计有限公司, 云南 昆明 650000

2. 中国电建集团昆明勘测设计研究院有限公司, 云南 昆明 650000

DOI:10.61369/ETQM.2025090009

摘 要 : 在城市化进程中, 深基坑工程常面临软弱土层、高渗透性地层、岩溶区等复杂地质条件, 导致支护结构受力不均、变形失控等风险。本文系统分析复杂地质条件的类型与特征, 揭示其对支护结构的力学作用机理, 对比不同支护形式的适用性, 提出基于数值模拟、智能算法与动态监测的优化设计方法, 并构建“预测 – 控制 – 反馈”的变形管控体系。研究表明, 通过差异化支护选型、参数智能优化及信息化施工, 可有效提升复杂地质条件下深基坑的安全性及经济性, 为同类工程提供理论与技术参考。

关 键 词 : 复杂地质条件; 深基坑; 支护结构优化; 变形控制

Optimised Design and Deformation Control of Deep Excavation Retaining Structures under Complex Geological Conditions

Shi Bingjun¹, Liu Xiang²

1. Yunnan Yihui Architectural Design Co., Ltd., Kunming, Yunnan 650000

2. PowerChina Kunming Engineering Corporation Limited, Kunming, Yunnan 650000

Abstract : In the process of urbanisation, deep foundation pit engineering often faces complex geological conditions such as soft soil layers, highly permeable strata, and karst regions, leading to risks such as uneven stress distribution and uncontrolled deformation in support structures. This paper systematically analyses the types and characteristics of complex geological conditions, reveals their mechanical action mechanisms on support structures, compares the applicability of different support forms, proposes an optimised design method based on numerical simulation, intelligent algorithms, and dynamic monitoring, and establishes a ‘prediction–control–feedback’ deformation control system. The study demonstrates that through differentiated support selection, intelligent parameter optimisation, and information–based construction, the safety and economic efficiency of deep excavations in complex geological conditions can be effectively enhanced, providing theoretical and technical references for similar projects.

Keywords : complex geological conditions; deep excavations; support structure optimisation; deformation control

引言

随着城市地下空间开发的深度与广度不断拓展, 深基坑工程日益增多, 而复杂地质条件给基坑支护设计与施工带来严峻挑战。传统支护设计常基于简化地质模型, 难以精准反映地层非均质性与地下水耦合作用, 易导致结构受力超限或变形过大。因此开展复杂地质条件下支护结构优化设计与变形控制研究, 对保障基坑工程安全、降低工程造价具有重要工程意义。本文结合典型地质问题, 从勘察分析、支护选型、优化设计及变形控制等维度构建系统性解决方案, 以期工程实践提供理论支撑与技术路径。

一、复杂地质条件分析及其对基坑工程的影响

（一）复杂地质条件的类型与特征

复杂地质岩石稳定性差，土层结构、岩性、岩相存在显著变化，如岩层中可能含有多种不同的岩石类型，且岩石的物理力学性质差异较大。复杂地质条件主要包括软弱土层、高渗透性土层、不均匀地层、破碎岩体与断层带、膨胀性土或湿陷性黄土等类型，其特殊工程性质对工程建设构成显著威胁。软弱土层中的淤泥及淤泥质土，具有高压缩性和低强度特性。在基坑工程中，此类土体力学性能差，易发生塑性变形，导致基坑底部产生隆起现象；同时支护结构承受的侧向土压力增大，易出现过大的侧向位移，危及工程安全。高渗透性土层如砂层、砾石层，因渗透系数大，地下水流动能力强^[1]。在工程降水过程中，地下水渗流作用显著，极易引发管涌、流砂等不良地质现象，增加降水施工难度，提高工程风险。不均匀地层呈现软硬交替或透镜体分布特征，导致支护结构受力状态复杂。在工程荷载作用下，不同区域土体变形量存在差异，致使支护结构受力不均，产生差异沉降，影响工程结构稳定性与耐久性。破碎岩体与断层带节理裂隙发育，结构完整性差，若存在承压水，水体压力会进一步降低岩体稳定性。在工程支护过程中，破碎岩体与断层带易发生滑动、坍塌，严重威胁支护结构的整体稳定性，增加工程支护难度与风险。膨胀性土与湿陷性黄土对含水率变化响应敏感，膨胀性土遇水后，土颗粒间的水化膜增厚，土体体积膨胀；湿陷性黄土浸水后，土颗粒间的胶结强度降低，土体产生显著塌陷。两种土体含水率变化均会产生附加应力，加剧支护结构裂缝发展，破坏支护结构完整性。

（二）地质勘察与信息获取

为准确获取复杂地质条件信息，地质勘察需综合运用多种方法。常规勘察通过工程地质测绘、钻探取样、原位测试，分别从地表调查、岩土试样试验、现场测试等角度了解地层结构与岩土性质；物探与遥感技术利用地质雷达、地震勘探、高密度电法、卫星影像等手段，探测浅部地层、地质构造、宏观地质特征；信息化勘察与监测则通过三维地质建模直观展示地层分布，实时监测获取动态数据辅助设计。

（三）复杂地质条件对基坑支护结构受力与变形的影响机理

复杂地质条件通过改变岩土体力学行为和人文条件，显著影响基坑支护结构的受力与变形。在力学机制上，侧向土压力因软土蠕变或膨胀土遇水膨胀而重分布，渗流力降低土体有效应力，导致支护桩弯矩突变；动态荷载如断层带附近的地震波放大效应可能加剧结构疲劳损伤。典型变形模式包括深层滑移和局部破坏^[2]。设计上需采取差异化支护、降水控制及变形协调等措施，如复合支护结构、悬挂式帷幕及可调支撑系统，以适应复杂地质条件的不确定性，确保基坑安全稳定。

二、深基坑支护结构形式及其适用性分析

（一）常见深基坑支护结构形式

基坑支护技术伴随城市化建设发展而不断演进。目前，国内外基坑支护方式多种多样，包括放坡支护、土钉墙、桩墙支护（如排桩、地下连续墙、型钢水泥土墙）、逆作拱墙、三轴搅拌桩等，这些支护结构在不同地质条件、基坑深度和环境要求下具有

不同的适用性与局限性^[3]。桩墙式支护结构以排桩和地下连续墙为代表，通过桩体或墙体抵抗土压力，适用于开挖深度较大、对变形控制要求较高的工程；重力式支护结构通常采用水泥土搅拌桩、高压旋喷桩等形成重力式挡墙，依靠自身重量维持稳定，适用于软土地层且开挖深度较浅的基坑；组合式支护结构则是将多种支护形式结合，如桩锚支护、内支撑支护，能够根据不同地质条件和工程需求灵活调整，有效控制基坑变形。

（二）不同支护结构在复杂地质条件下的力学特性与优缺点

桩墙式支护结构中，排桩在硬土地层中承载力高、刚度大，但在软土或砂层中易产生较大位移，且施工时需注意泥浆护壁防止塌孔。地下连续墙整体性和防渗性能优越，可适应复杂地质，但造价高、施工工艺复杂。重力式支护结构在软土地层中施工简便、成本较低，能有效控制地下水渗流，然而其自重重大、占用空间大，开挖深度受限，在土质不均匀或存在流砂层时稳定性易受影响^[4]。组合式支护结构中，桩锚支护通过锚索提供主动拉力，可减少墙体变形，但在破碎岩层或高水位地区，锚索锚固力可能不足。内支撑支护对基坑变形控制效果好，但支撑体系会占用大量施工空间，影响土方开挖和主体结构施工效率。

（三）复杂地质条件下支护结构选型的原则与策略

复杂地质条件下，支护结构选型需遵循安全性、经济性、适用性和可操作性原则。安全性原则方面，确保支护结构在施工和使用阶段能够抵抗土压力、水压力及其他荷载，避免发生整体失稳或局部破坏；经济性维度，综合考虑地质条件、基坑深度、周边环境等因素，平衡支护结构的造价与施工成本；适用性方面，根据地层特性选择适配的支护形式，如软土地层优先考虑重力式或组合式支护，岩质地层可采用排桩或地下连续墙；最后结合现场施工条件和技术水平，选择便于施工、工期可控的方案^[5]。在具体选型策略上，应通过详细的地质勘察和力学计算，分析不同支护结构在复杂地质条件下的受力特性和变形规律。例如对于存在承压水的地层，优先选择止水性能好的地下连续墙或水泥土搅拌桩形成截水帷幕；在岩溶地区，需提前对溶洞进行注浆加固后，再采用桩墙式支护结构；针对软土基坑，可采用内支撑或预应力锚索增强支护体系的稳定性。同时引入信息化施工理念，在施工过程中实时监测支护结构的位移、内力及周边环境变化，动态优化支护方案，确保深基坑工程安全高效推进。

三、复杂地质条件下支护结构优化设计

（一）支护结构优化设计的目标与原则

支护结构优化设计以工程安全为核心，兼顾经济性与施工效率，实现综合效益最大化。安全性作为设计的首要原则，确保支护体系在复杂地质条件下具备足够的稳定性，能够有效抵抗土压力、水压力及周边环境荷载，严格控制基坑变形，防范倾覆、滑移及局部破坏等风险^[6]。经济性优化需贯穿设计全过程，通过科学选材、合理布局及工艺创新降低工程造价，同时考虑全生命周期成本，包括施工投入、维护费用及潜在风险成本。施工效率的提升同样不容忽视，优化的支护方案应便于实施，避免因结构复杂导致工期延误或作业空间受限。在具体实施过程中，设计需遵循四大原则：安全性优先原则，严格执行规范要求，对特殊地质风险进行专项分析；因地制宜原则，结合地层特性选择适配的支

护形式与参数；综合效益最大化原则，平衡安全投入与经济回报，避免过度设计或设计不足；动态优化原则，利用施工监测数据实时反馈调整设计，确保方案贴合实际地质变化。

（二）支护结构优化设计的变量与约束

优化设计变量涵盖结构、材料、施工及地质四大维度，结构变量包括排桩直径、间距、嵌入深度，地下连续墙厚度，支撑体系的水平间距与竖向布置等，直接影响结构受力性能；材料变量涉及混凝土强度等级、钢材型号、锚索预应力值，决定结构承载能力与耐久性；施工变量包含开挖分层厚度、速率、降水方案参数，关系到施工安全与效率；地质变量则通过优化岩土体力学参数，修正设计模型以匹配实际地质条件。约束条件是保障设计可行性的关键，分为力学性能、变形控制、施工条件和地质适配四类^[7]。力学性能约束要求支护结构满足抗倾覆、抗滑移稳定系数，结构内力不超过材料强度设计值；变形控制约束限制基坑侧壁水平位移与周边地表沉降，避免影响周边建筑物与管线；施工条件约束需考虑场地空间、设备能力和工艺可行性，例如在狭窄场地避免使用大型支撑设备；地质适配约束针对特殊地质设置专属限制，如膨胀土地区需控制支护结构与土体接触压力，岩溶区需确保桩基避开溶洞。

（三）复杂地质条件下支护结构优化设计方法

复杂地质条件下的优化设计需结合多学科方法，形成系统性解决方案。基于数值模拟的正向设计通过有限元软件建立三维地质-结构耦合模型，模拟不同工况下支护结构的受力与变形，为方案设计提供数据支撑；智能算法优化引入遗传算法、粒子群优化算法等智能技术，通过全局搜索与迭代计算，在多变量、多目标的复杂函数中寻找最优解，突破传统算法易陷入局部最优的局限；反分析与参数校准利用现场监测数据反演岩土体力学参数，修正设计模型，使理论计算更贴合实际地质条件；动态设计与反馈优化建立“设计-施工-监测-调整”的闭环流程，根据施工过程中揭露的地质变化或监测异常，实时优化支护参数，确保设计动态适应复杂地质环境。

四、支护结构变形预测与控制技术

（一）变形预测方法

变形预测方法主要分为理论计算、数值模拟和数据驱动三类，理论计算法基于经典土力学理论，如朗肯土压力理论、库仑

土压力理论，结合经验公式估算支护结构内力与变形，适用于地质条件简单、对精度要求不高的工程。数值模拟法借助有限元软件（如 ANSYS、ABAQUS）建立三维地质-结构模型，通过模拟开挖、支护、降水等施工工况，直观呈现变形发展过程，能有效处理复杂地质与边界条件，但计算结果依赖参数准确性^[8]。数据驱动方法则利用监测数据构建预测模型，常见的有灰色预测模型、神经网络模型和支持向量机模型^[9]。灰色预测模型适用于数据量少、信息不完全的场景；神经网络模型通过学习历史数据特征，可实现非线性变形预测；支持向量机模型在小样本数据下具有良好的泛化能力^[10]。实际工程中，常将多种方法结合，如用数值模拟提供理论变形趋势，以监测数据校准模型参数，提升预测精度。

（二）变形控制关键技术

设计阶段，通过合理选择支护形式与参数增强结构刚度，如软土地区采用刚度大的地下连续墙结合内支撑体系，或在排桩间增设旋喷桩形成组合支护；针对地下水问题，设计有效的截水帷幕与降水方案，减少水位变化对土体的影响。施工过程中，严格遵循“分层分段、限时支撑”原则，控制开挖深度与暴露时间，及时施加支撑预应力；采用信息化施工技术，根据实时监测数据动态调整施工参数，如发现墙体位移速率加快，可提前增设临时支撑或调整开挖顺序。动态监测是变形控制的关键防线，通过在支护结构及周边环境布置位移、沉降、应力监测点，利用自动化监测系统实时采集数据，结合预警阈值（如日变形量超过 3mm 或累计变形量达到 30mm 时触发预警），一旦出现异常立即启动应急预案，采取注浆加固、回填反压等措施控制变形发展，确保基坑工程安全。

五、结束语

复杂地质条件下深基坑支护设计需突破传统经验方法，通过精细化勘察、多形式组合支护、智能优化算法与动态监测技术的协同应用，实现对结构受力与变形的精准调控。未来研究可进一步融合物联网、人工智能等新技术，构建智能化基坑安全管控系统，提升复杂环境下地下工程的可靠性与经济性。

参考文献

- [1] 曾昭艺. 复杂地质条件下明挖宽大基坑施工技术研究 [J]. 建筑机械化, 2025, 46(05): 150-153.
- [2] 孙晓阳, 周军红. 复杂地质条件下基于变形控制的深基坑支护设计与施工优化 [J]. 施工技术, 2012, 41(07): 44-48.
- [3] 宗长青, 宋康南. 复杂地质条件下深基坑支护设计与优化分析 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2025, (02): 115-117. DOI: 10.19569/j.cnki.cn119313/tu.202502039.
- [4] 林华湘, 胡泽铭, 蔡宏观, 等. 临海复杂地质条件下深基坑支护优化设计 [J]. 工程技术研究, 2023, 8(07): 161-163. DOI: 10.19537/j.cnki.2096-2789.2023.07.051.
- [5] 宁冠翔. 复杂地质条件下深基坑支护设计及施工技术应用要点——以山西省某市中医院门诊楼项目为例 [J]. 房地产世界, 2023, (10): 145-147.
- [6] 游应峰. 复杂地质条件下深基坑支护方案研究及稳定性分析 [J]. 江西建材, 2023, (01): 175-176+183.
- [7] 张道通. 复杂环境及地质条件下深基坑支护施工技术 [J]. 城市住宅, 2021, 28(08): 225-227.
- [8] 湛铠瑜. 敏感环境及复杂地质条件下深基坑支护工程设计 [J]. 路基工程, 2016, (02): 148-153. DOI: 10.13379/j.issn.1003-8825.2016.02.32.
- [9] 黄训平. 复杂地质条件下深基坑支护技术与监测分析 [J]. 山西建筑, 2010, 36(12): 106-107. DOI: 10.13719/j.cnki.cn14-1279/tu.2010.12.145.
- [10] 方雄, 杨瑾薇, 牛勋强. 复杂地质条件下深基坑支护施工技术 [J]. 施工技术, 2015, 44(S2): 104-106.

房屋承载能力检测对房屋安全性鉴定的重要性及应用

沈焱林

广东合正建筑物鉴定检测有限公司, 广东 广州 510000

DOI:10.61369/ETQM.2025090010

摘 要： 本文围绕房屋承载能力展开。阐述其概念、关键要素，介绍建筑安全鉴定规范及相关检测技术，分析不同结构体系特点、损伤及材料性能对承载能力的影响，强调检测的重要性，并以实例说明其应用，还探讨了未来研究方向。

关 键 词： 房屋承载能力；安全鉴定；检测技术

The Importance and Application of Building Load-Bearing Capacity Testing in Building Safety Appraisal

Shen Yanlin

Guangdong Hezheng Building Appraisal and Testing Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong 510000

Abstract： This article focuses on the load-bearing capacity of houses. Elaborate on its concept and key elements, introduce the building safety appraisal norms and related detection technologies, analyze the influence of the characteristics, damages and material properties of different structural systems on the bearing capacity, emphasize the importance of detection, illustrate its application with examples, and also discuss the future research directions.

Keywords： house load-bearing capacity; safety appraisal; detection technology

引言

房屋承载能力是房屋结构安全的关键要素，涉及荷载传递机制、极限状态理论、承载力计算模型等多个方面。2019年发布的《建筑结构可靠性设计统一标准》强调了结构安全性的重要性，为房屋承载能力研究提供了政策依据。不同结构体系的传力路径差异、渐进性损伤、材料性能退化等因素均会影响承载能力。同时，现行建筑安全鉴定规范中的技术指标对承载力检测提出了要求。多种检测方法各有优劣，且承载力检测结果在结构加固、震后筛查及历史建筑保护等方面都起着关键作用。然而现有检测方法存在局限，未来应注重基于 BIM 技术的智能检测系统开发及多源数据融合分析。

一、房屋承载能力与安全鉴定的理论基础

（一）房屋承载能力的基本概念

房屋承载能力是指房屋结构在规定的使用条件下，能够承受各种荷载作用而不发生破坏或过度变形的能力。它涉及多个关键要素。结构荷载传递机制是核心之一，荷载通过不同的结构构件以特定的路径传递，如梁、柱、板等构件协同工作，将楼面荷载传递至基础^[1]。极限状态理论为评估承载能力提供了准则，分为承载能力极限状态和正常使用极限状态。前者关注结构是否会发生破坏，后者侧重于结构的适用性和耐久性。承载力计算模型则是基于力学原理和试验数据建立的，用于准确计算结构在不同荷载组合下的承载能力。同时，在静力与动力荷载作用下，结构会呈现出不同的响应特征。静力荷载作用下，结构主要产生变形和内力；动力荷载作用时，结构还会产生振动等复杂响应，这些都对房屋承载能力评估至关重要。

（二）安全性鉴定的标准体系

现行建筑安全鉴定规范包含一系列技术指标。这些指标涵盖了房屋结构的多个方面，如材料强度、构件尺寸、结构稳定性等。通过对这些指标的精确检测和分析，能够全面评估房屋的安全状况。其中，承载力检测尤为关键。它是衡量房屋结构能否承受预期荷载的重要依据。在安全性分级评定中，承载力的状况直接决定了房屋所属的安全等级。如果承载力不足，房屋可能面临变形、裂缝甚至倒塌的风险，严重威胁居住者的生命财产安全。因此，承载力检测在整个安全性鉴定标准体系中处于核心地位，是确保房屋安全鉴定准确性和可靠性的关键环节^[2]。

二、关键检测技术研究

（一）静载试验与动态监测技术

传统静力加载试验通过在结构上施加静力荷载，测量结构的

变形、应变等响应来评估其承载能力。其原理基于结构力学理论，当施加的荷载达到一定程度时，结构会产生相应的变形和内力变化。实施流程包括试验方案设计、加载设备安装、荷载分级施加以及数据采集等环节。在精度控制方面，需精确测量荷载大小和作用位置，保证测量仪器的准确性和稳定性^[9]。新型光纤光栅监测技术则利用光纤光栅的应变敏感特性，实时监测结构的应变变化。其原理是当结构发生变形时，光纤光栅的光栅周期会发生改变，从而导致反射光波长变化。实施流程包括光纤光栅传感器的安装、光路连接以及数据采集与处理。精度控制要点在于传感器的粘贴质量和光路的稳定性。

（二）无损检测技术应用要点

超声波检测在混凝土构件内部缺陷识别中具有独特优势。它能够穿透混凝土结构，通过接收和分析反射波来检测缺陷。其技术优势包括对微小缺陷的高灵敏度检测以及非破坏性的检测方式，不会对结构造成损伤^[10]。冲击回波法同样具有重要作用。它通过冲击混凝土表面产生应力波，根据反射波的特性来识别内部缺陷。这种方法对于检测混凝土内部的空洞、分层等缺陷较为有效。在数据解译方面，需要遵循严格的规范。对于超声波检测，要准确分析反射波的幅值、频率等参数，以确定缺陷的位置和大小。冲击回波法的数据解译则关注反射波的时间和频率特征，从而准确判断缺陷情况。

三、结构安全影响因素解析

（一）结构体系影响因素

1. 结构形式与传力路径

不同结构体系的结构形式与传力路径存在差异，这对结构安全有重要影响。框架结构由梁、柱等构件组成，其传力路径较为明确，荷载主要通过楼板传递给梁，再由梁传递给柱，最终传递到基础。这种结构形式使得框架结构在承受水平荷载时具有较好的性能，能够有效地抵抗侧向力。砌体结构则主要依靠砌体墙来承受荷载，传力路径相对复杂。墙体不仅要承受竖向荷载，还要承受水平荷载，如风力和地震力。在砌体结构中，荷载通过墙体的砌筑方式和连接节点进行传递。不同结构体系在承载力分布和传力路径上的差异，要求在进行房屋安全性鉴定时，需充分考虑结构形式的特点，采用合适的检测方法和评估标准^[5]。

2. 损伤累积效应

渐进性损伤如裂缝开展、节点松动等会对结构承载能力产生衰减作用。裂缝的开展会改变结构的受力分布，使原本均匀受力的构件出现应力集中现象，从而降低构件的承载能力^[9]。节点松动会影响结构的整体性，削弱结构各构件之间的协同工作能力，导致结构在荷载作用下的变形增大，承载能力下降。这些损伤随着时间的推移和荷载的反复作用会不断累积，对结构安全构成严重威胁。因此，研究其衰减规律对于准确评估结构安全性至关重要，可为房屋承载能力检测及安全性鉴定提供理论依据。

（二）材料性能影响因素

1. 材料老化机理

混凝土碳化是一个复杂的物理化学过程，会导致混凝土碱性降低，从而影响钢筋的钝化膜稳定性，使钢筋容易发生锈蚀。钢筋锈蚀会使其有效截面积减小，同时降低钢筋与混凝土之间的粘

结力，进而影响构件的承载力。研究表明，碳化深度的增加会使构件的承载能力呈下降趋势，其具体的量化关系受到多种因素的影响，如混凝土的配合比、环境条件等。钢筋锈蚀对构件承载力的影响同样复杂，锈蚀产物的膨胀会对混凝土产生内应力，导致混凝土开裂，进一步削弱构件的整体性和承载能力。这些材料性能的退化过程相互关联，共同对结构安全产生不利影响，是房屋承载能力检测中需要重点关注的因素。^[7]

2. 施工质量变异

材料性能对结构安全有重要影响，其影响因素众多。材料强度离散性是关键因素之一，不同批次、不同生产工艺的材料强度可能存在较大差异，这会导致结构实际承载能力与设计预期不符^[8]。构造缺陷也是不容忽视的问题，在施工过程中，若构造节点处理不当，如钢筋锚固长度不足、连接不牢固等，会严重影响结构的整体性和稳定性。施工质量变异还体现在施工工艺的不规范上，例如混凝土浇筑时振捣不密实，可能产生蜂窝麻面等缺陷，降低混凝土的强度和耐久性，进而影响结构安全。这些施工因素引发的承载力不确定性，强调了房屋承载能力检测在房屋安全性鉴定中的重要性。

四、工程实践应用研究

（一）既有建筑安全评估

1. 典型案例分析

以某老旧厂房为例，该厂房建成多年，结构出现老化迹象，存在安全隐患。首先对厂房结构进行详细的承载力检测，包括对梁、柱、板等主要受力构件的强度、刚度及稳定性检测，获取了大量的检测数据。通过对这些数据的分析处理，结合相关规范标准，对厂房的承载能力进行综合评估。结果显示，部分构件的承载能力已不能满足原设计要求，根据评估结果对厂房进行安全等级判定，判定该厂房为危险房屋。在此基础上，提出针对性的加固改造建议，为后续的厂房改造提供了科学依据，确保厂房在后续使用过程中的安全性。这充分展示了承载力检测数据在既有建筑安全评估及安全等级判定中的重要性及实际应用价值^[9]。

2. 加固决策支持

承载力检测 results 在结构加固方案比选过程中起着关键支撑作用。准确的承载力检测能够清晰地反映既有建筑结构的实际承载能力，为加固决策提供重要依据。通过对检测数据的分析，可以了解结构的薄弱环节，从而针对性地选择合适的加固方法。不同的加固方案在成本、施工难度、对既有结构的影响等方面存在差异，而承载力检测结果能够帮助评估各方案的可行性和有效性。例如，当检测发现某结构构件的承载力不足时，若采用增大截面加固法可能对空间有一定要求且施工相对复杂，而粘贴纤维复合材料加固法可能在满足承载力提升要求的同时更具优势，这些决策都依赖于准确的承载力检测结果^[10]。

（二）灾后应急鉴定应用

1. 灾损快速评估

震后建筑安全快速筛查技术体系对于灾损快速评估至关重要

要。基于承载力检测，可综合考虑多种因素。首先要对建筑结构的基本信息进行收集，包括建筑类型、结构形式、建造年代等。利用先进的检测设备和技术手段，如非破损检测方法，获取结构构件的实际承载力相关数据。通过对这些数据的分析，结合结构力学原理和相关规范标准，判断结构在地震作用后的损伤程度和剩余承载能力。同时，考虑地震动参数、场地条件等对建筑的影响，建立合理的评估模型。以此实现对大量受灾建筑的快速、准确评估，为后续的救援决策、资源分配以及灾后重建提供科学依据。

2. 残余寿命预测

建立考虑检测数据的结构剩余使用寿命评估模型是灾后应急鉴定应用中残余寿命预测的关键。通过对房屋承载力检测所获取的数据进行深入分析，包括结构材料性能、损伤程度等。利用先进的数据分析方法和力学原理，构建符合实际情况的评估模型。该模型需综合考虑多种因素，如环境影响、使用荷载历史等。将检测数据代入模型中，能够较为准确地预测房屋结构在未来一段时间内的剩余使用寿命。这对于灾后房屋的合理利用和安全决策具有重要意义，为相关部门提供科学依据，以便采取适当的措施，如修复、加固或拆除等，确保房屋的安全性和适用性。

（三）历史建筑保护工程

1. 特殊结构检测

木结构、石砌体等传统建筑材料在历史建筑中广泛应用。对于木结构，需考虑木材的种类、含水率、腐朽程度等因素对承载能力的影响。可采用无损检测技术，如应力波检测，通过测量应力波在木材中的传播速度来推断木材内部的缺陷情况，进而评估其承载能力。对于石砌体结构，要分析石材的强度、砌筑方式以及灰缝质量等。可利用超声波检测技术，检测石材内部的裂缝和

缺陷，同时结合现场取样进行抗压强度试验，综合评估石砌体的承载能力。通过这些适配技术的研究和应用，能更准确地了解历史建筑的结构安全状况，为其保护和修复提供科学依据。

2. 保护性利用策略

历史建筑承载着丰富的文化内涵和历史记忆，其保护工程中的保护性利用策略至关重要。在探讨检测数据指导下的历史建筑功能改造承载力适配方法时，需综合考虑多方面因素。首先要对历史建筑进行全面的房屋承载能力检测，获取准确的数据。依据这些数据，分析原结构的承载能力和薄弱环节。在功能改造过程中，合理调整空间布局和使用功能，确保改造后的荷载分布与原结构承载能力相适配。同时，采用适当的加固措施来提升结构的承载能力，如增加构件截面、粘贴碳纤维布等。还应注重施工过程中的质量控制，避免对原结构造成损伤。通过这些方法，在保护历史建筑的同时，实现其功能的合理改造和有效利用。

五、总结

房屋承载能力检测对房屋安全性鉴定至关重要。它为建筑安全鉴定提供了关键的技术支撑，能准确评估房屋的实际承载能力，确定其是否符合安全标准。然而，现有的检测方法在面对复杂结构时存在局限性，影响了检测的准确性和全面性。为了更好地保障房屋安全，未来应注重基于BIM技术的智能检测系统开发，利用其可视化、信息化的优势提高检测效率和精度。同时，多源数据融合分析也是重要方向，通过整合不同来源的数据，更全面地了解房屋结构状况。这些研究方向的推进将有助于完善房屋承载能力检测技术，进一步提升房屋安全性鉴定的科学性和可靠性。

参考文献

[1] 许添. 房屋安全检测鉴定的发展研究 [D]. 天津大学, 2015.
[2] 方兴. 超厚砂卵石层大直径深桩基承载力分析与试验研究 [D]. 武汉理工大学, 2015.
[3] 张志猛. 钢结构火灾损伤识别及安全性鉴定研究 [D]. 西安工业大学, 2016.
[4] 潘长明. 西北农村地区房屋调查分析与危险性鉴定方法研究 [D]. 西安建筑科技大学, 2013.
[5] 骆光威. 多层砌体结构房屋震后鉴定及加固研究 [D]. 西南交通大学, 2010.
[6] 王泽林. 关于既有房屋结构安全检测鉴定技术要点探讨 [J]. 建筑工程技术与设计, 2014, 000(034):861-862.
[7] 李爱民, 孙军锋, 王静丽. 房屋安全管理及房屋安全鉴定之我见 [J]. 建筑工程技术与设计, 2016, 000(019):3089.
[8] 谢 鹏. 房屋安全管理及房屋安全鉴定探讨 [J]. 住宅与房地产, 2017(3X):1.
[9] 赵冰芝. 房屋安全之我见 [J]. 房地产导刊, 2019, (6):252.
[10] 蔡欣宇. 静态应变检测在房屋安全鉴定检测中的应用 [J]. 城市周刊, 2018(48):1.