



www.viserdata.com

# 城市建设与规划

URBAN CONSTRUCTION AND PLANNING

季刊

■ 主办单位: Viser Technology Pte.Ltd.

■ ISSN 3041-0568(online) 3041-0525(print)

中国知网 (CNKI) 收录期刊

RCCSE权威核心学术期刊

2025 6

第2卷 总第12期



## COMPANY INTRODUCTION

# 公司简介

维泽科技文化有限公司(Viser Technology Pte. Ltd.)成立于新加坡，是一家科技与文化高度融合的创新型企业。我们拥有一支具有较高文化素质、管理素质和业务素质的团队，聚焦于国际开源中英文期刊、体现文化含量与学术价值图书的出版发行。秉承“传播科技文化，促进学术交流”的理念，与国内外知名院校，科研院所及数据库建立了稳定的合作关系。坚持开拓创新，实施“跨越-融合”的发展战略，立足中国、新加坡两地，辐射全球，并于中国设立河北和重庆两个分部。我们将紧紧围绕专业化、特色化的发展道路，不断营造“有情怀，有视野，有梦想”的企业文化氛围，独树一帜，做一家“有血、有肉、有温度”的创新型出版企业。

Viser Technology Pte. Ltd. was founded in Singapore with branch offices in both Hebei and Chongqing, China. Viser focuses on publishing scientific and technological journals and books that promote the exchange of scientific and technological findings among the research community and around the globe. Despite being a young company, Viser is actively connecting with well-known universities, research institutes, and indexation database, and has already established a stable collaborative relationship with them. We also have a group of experienced editors and publishing experts who are dedicated to publishing high-quality journal and book contents. We offer the scholars various academic journals covering a variety of subjects and we are committed to reducing the hassles of scholarly publishing. To achieve this goal, we provide scholars with an all-in-one platform that offers solutions to every publishing process that a scholar needs to go through in order to show their latest finding to the world.





# 城市建设与规划

Urban Construction and Planning

2025年·第2卷·第6期（总第12期）

主办单位：Viser Technology Pte. Ltd.

I S S N：3041-0568 (online)

3041-0525 (print)

数据库收录：中国知网收录期刊

RCCSE权威核心学术期刊

发行周期：季刊

出版时间：12月

期刊网址：www.viserdata.com

投稿/查稿邮箱：viser-tech@outlook.com

地 址：195 Pearl's Hill Terrace, #02-41,

Singapore 168976

学术主编：李 哲

学术副主编：金光虎 王 鑫 曾忠忠

编 委：骆 辉 张学玲 郑育新 汪 洋

范 涛 柴蓓蓓 王 彤 赵 逵

赵鹏飞 赵 京 周福川 张晓瑞

张 弛 张学军 张远翼 洪小春

阎 飞 张 聪

责任编辑：金 星

美工编辑：李 亚 Anson Chee

定 价：SGD 20.00

## 本刊声明

本刊所载的所有文章均不代表本刊编辑部观点；作者文图责任自负，如有侵犯他人版权或者其他权利的行为，本刊概不负连带责任。

版权所有，未经许可，不得翻译、转载本刊所载文章。

警告著作权人：稿件凡经本刊使用，如无电子版或书面的特殊声明，即视为作者同意授权本刊及本刊网络合作媒体进行电子版信息网络传播。

## 目 录

### CONTENTS

#### 建筑工程

城市高密度环境下的中小学增容扩建设计策略研究 .....	涂 芸 1
装配式住宅轻质隔墙与主体结构连接处开裂问题的构造优化 .....	刘志远 4
建筑工程全过程咨询项目中设计单位的角色探讨 .....	韩世诚 郭涵坤 7

#### 建筑设计

装配式混凝土框架结构设计优化与施工协同研究 .....	王子晗 11
文旅融合视角下乡村民宿建筑设计与地域文化表达 .....	贾 娟 14
绿色建筑中自然通风设计的应用研究 .....	张瑞娇 17
基于“以人为本”理念的住宅建筑空间优化设计研究 .....	张铭昊 21
地域文化融入当代建筑设计的路径研究 .....	程 浩 李心田 24
框架结构抗震设计的关键要点分析 .....	刘利杨 27
混凝土框架结构的抗震设计要点分析 .....	郭秀峰 31
高层工业厂房建筑防火设计研究 .....	周永法 34
植物景观设计在风景园林施工中的应用策略 .....	刘亚芳 37
超低能耗建筑中暖通空调系统匹配性设计与能效分析 .....	王旭斌 40
游泳馆设计的经济性、宜人性、复合性——谈楚雄师范学院游泳馆项目 .....	田 梦 杨 欣 王宇舟 44

#### 城市建设

智能交通系统在市政工程中的应用与发展 .....	杨思岚 留 焱 48
城市轨道交通运营安全管理协同机制分析 .....	陈 妮 51
上海市健身步道管理困境与优化路径 .....	车启标 54
土地一级开发全生命周期管理创新与实践 .....	田 微 谢 豪 57

规划设计

城市街道界面优化中的建筑立面设计研究 ..... 侯皞冉 60

城市更新背景下高密度城区建筑容积率与空间品质的平衡设计研究 ..... 李玉鹏 63

城市快速路纵断面设计中坡长与视距协调优化方法研究 ..... 袁 野 梁朝阳 67

工程管理

山区水利工程项目全过程质量控制与监督研究 ..... 韩小飞 71

新能源 EPC 项目造价与施工进度协同管理 ..... 赵学校 74

新时代水利工程建设与水利工程管理探讨 ..... 宋 扬 周 洁 78

造价预结算在工程项目中的应用要点分析 ..... 冯立男 81

水利水电工程施工中的安全管理措施研究 ..... 王永刚 85

冶金矿山

复杂难选铜矿的浮选工艺优化及工业实践 ..... 侯君一 88

勘察测绘

临长江大堤基坑立体防渗体系构建与沉降控制 ..... 雷亚玲 92

节能环保

家庭电路安全设计与节能优化研究 ..... 田义娜 98

既有建筑暖通系统改造中的能耗降低技术应用 ..... 冯 探 102

生态安全屏障建设下呼伦贝尔水污染治理对策 ..... 肖金生 吴文佳 106

信息化助力环保技术咨询服务质量提升的路径分析 ..... 王先琴 110



## 城市高密度环境下的中小学增容扩建设计策略研究

涂 芸

江西省商业建筑设计院有限公司, 江西 南昌 330000

[摘要]当下城市化进程持续推进,城市高密度环境里中小学教育设施增容扩建的需求日益紧迫。文章全面探讨城市高密度环境下中小学增容扩建设计策略,依据空间集约化、功能复合化、环境友好性等原则,给出立体化空间拓展、功能整合及时段错峰使用、环境品质与空间体验优化、交通组织与出入口优化等策略,结合结构改造、绿色建筑技术、安全规范与分期建设等实施路径,给高密度城市校园扩展提供理论依据与实践指导。

[关键词]城市高密度环境;中小学增容扩建;设计策略

DOI: 10.33142/ucp.v2i6.18567

中图分类号: V351

文献标识码: A

### Research on Design Strategies for Capacity Expansion and Expansion on Primary and Secondary Schools in High Density Urban Environments

TU Yun

Jiangxi Commercial Building Design Institute Co., Ltd., Nanchang, Jiangxi, 330000, China

**Abstract:** With the continuous advancement of urbanization, the demand for capacity expansion and expansion of primary and secondary education facilities in high-density urban environments is becoming increasingly urgent. The article comprehensively explores the design strategies for capacity expansion and expansion of primary and secondary schools in high-density urban environments. Based on principles such as spatial intensification, functional complexity, and environmental friendliness, it provides strategies for three-dimensional space expansion, functional integration and staggered use of time periods, optimization of environmental quality and spatial experience, traffic organization and entrance and exit optimization. Combined with implementation paths such as structural transformation, green building technology, safety regulations, and phased construction, it provides theoretical basis and practical guidance for campus expansion in high-density cities.

**Keywords:** urban high-density environment; capacity expansion and expansion of primary and secondary schools; design strategy

随着经济的不断发展,社会对于教育的重视程度正不断提高,以教育理念为主导的校园新模式对教学空间提出了更高的要求。与此同时,随着城市进程的不断发展,人口逐步向一线城市聚集,高容高密的环境出现了义务教育“一位难求”的现象或高容低品质的教育环境,校园扩容升级迫在眉睫。但是,由于人口密集、用地紧缺,重新划拨用地进行扩容显然难以为继,同时我国城市建筑已经从“增量发展”进入到了“存量发展”的时期,在当下倡导“资源节约型社会”的主旋律下,单纯的拆建或者大兴土木的新建方式已然不合时宜,这不仅会造成城市资源的严重浪费,也会造成城市记忆的缺失。因此,原址增容扩建的方式成为了解决上述矛盾所青睐的一种方法。

#### 1 城市高密度环境下中小学增容扩建的背景与挑战

##### 1.1 城市发展与教育资源供需矛盾

城市化推进快,人口往城市扎堆,中小学学位不够了。城镇人口十年增两亿,教育设施需求猛涨。城市发展,教育资源分配不均,中心城区学校用地常被挤占。高密度环境下,基础设施老化,增容扩建复杂,得综合看交通、环境、社区影响。

##### 1.2 高密度环境对校园扩展的制约因素

在高密度的城市环境当中,中小学增容扩建所受到的制约因素主要呈现于多个方面,像用地方面较为紧张、建筑布局显得十分紧凑,还有环境存在干扰等情况。就城市中心区而言,其土地资源是极其稀缺的,能够用于校园扩建的空地数量并不多,这就迫使学校只能朝着垂直方向或者地下空间去探寻发展的可能性。在高密度这样的环境下,周边的建筑十分密集,校园在扩展的时候常常会受到相邻建筑的遮挡或者是干扰,而这些环境方面的因素会给学生的学习体验以及健康状况带来直接的影响。除此之外,城市存在着交通拥堵的情况,并且基础设施的负荷也比较大,如此一来便让增容扩建过程中物料的运输以及施工组织变得更加复杂了。

#### 2 中小学增容扩建的总体设计原则

##### 2.1 空间集约化原则

空间集约化原则在中小学增容扩建设计里,着重于尽可能提升空间利用的效率。其借助紧凑的布局安排以及对多种功能加以整合的方式,达成对有限土地资源的高效利用目的。此原则在拓展空间的时候,是要求在垂直方向以及水平方向同时展开的。对地下空间进行开发,以此来让



教学、活动还有储藏所占的面积都能够有所增加<sup>[1]</sup>。在具体实施空间集约化原则的过程中,得全面且细致地考量到结构的安全性以及使用的舒适性这两个方面,要防止因为布局过于紧凑而导致采光情况变差、通风效果不好以及疏散安全受到威胁这样的状况出现。

## 2.2 功能复合化原则

功能复合化原则提倡在中小学增容扩建期间达成同一空间于不同时间段或者特定条件之下能够服务多种功能的目的,进而提升空间的使用效率以及灵活性。学校运动场及大报告厅面向社区开放,可以推动校园和社区展开互动交流,强化教育设施所具备的社会价值。在开展设计工作的进程里,得要科学合理地设计各个功能区域,各流线互不干扰,从而保证各功能区域彼此之间不会相互产生干扰,与此同时还可借助可变化的家具以及智能设备来助力实现快速的转换操作。

## 2.3 环境友好性原则

环境友好性原则着重于在中小学增容扩建设计环节,把生态可持续性以及环境舒适性放在首要位置予以考量,借助绿色技术以及材料的应用方式,以此来削减资源的消耗量,并且减轻对环境所造成的污染情况。这一原则涵盖着运用自然采光、通风以及雨水收集系统等方面,凭借这样的做法能够降低能源的使用程度,同时还能促使室内外环境的质量得以改善。环境友好性原则同样涉及到对现有环境给予尊重以及加以保护。需现场考察现场空间环境,然后在进行扩建设计的过程当中,最大范围的去保留原有的植被以及地形状况,尽力减少施工行为给周边生态系统所带来的破坏影响。

# 3 高密度环境下中小学增容扩建设计策略

## 3.1 立体化空间拓展策略

立体化空间拓展策略主要是依靠向上或者向下延伸建筑体量的方式去增加可使用的面积,比如开发地下的活动室又或者是屋顶的运动场,以此来应对高密度环境下土地资源极为匮乏的状况。该策略可以充分利用垂直空间,把传统意义上单层分布的各项功能叠加到一起,进而在有限的建筑基底面积范围内大幅度提升校园的容纳量,不过得要解决结构承重、消防疏散以及可达性等一系列问题。立体化拓展往往会结合架空连廊或者地下通道,把不同的建筑部分连接起来,优化流线组织并且减轻地面的拥挤情况,与此同时借助立体绿化等办法来改善空间环境的质量。在设计立体化空间的时候,务必充分考虑到采光、通风以及视觉舒适性等方面的情况,防止因为过度密集而产生压抑的感觉,这就需要凭借模拟分析以及创新材料来平衡空间扩展和用户的体验。

## 3.2 功能整合与时段错峰使用策略

功能整合以及时段错峰使用策略,其目的在于借助空间共享以及时间调度的方式,以此提升资源的利用率。比

如把图书馆、餐厅还有报告厅设计成能够转换的空间,在不同的时间段里分别用于教学、开展各类活动或者服务社区等用途。这种策略需要针对校园日常的运行展开细致的规划,制定出详尽的使用时间表,如此一来便能防止出现功能方面的冲突,同时还能保证各项活动能够有条不紊地开展,并且要借助智能管理系统来实时对空间分配加以监控以及做出调整<sup>[2]</sup>。功能整合还涉及到把教学区、办公区以及公共区相互有机地结合起来,推动不同功能之间产生互动与协作,进而强化校园整体的效能以及活力。时段错峰使用能够起到缓解高峰期空间压力的作用,比如说通过将课时安排错开或者在课后开放等方式,让有限的设施能够满足更多的需求,不过这得学校和社区进行协商,以此来确保方案的可行性。

## 3.3 环境品质与空间体验优化策略

环境品质与空间体验优化策略主要借助设计手段来提升校园的物理环境以及心理感受,比如对自然采光予以改善,让通风效果得以增强,引入绿化元素,以此营造出健康且舒适的用于学习以及开展各类活动的场所。该策略涵盖了运用高性能建材以及节能技术,降低噪声与污染带来的干扰,在此基础上,凭借对色彩、材质以及尺度进行合理的搭配组合,营造出积极向上的空间氛围,推动学生身心方面的发展。环境品质优化同样涉及到室外场地的设计工作,像是去打造庭院、平台以及绿地这类过渡空间,进而为师生提供可供休息以及开展社交活动的场所,以此丰富校园生活的多样性。就空间体验而言,设计者得关注流线组织所具备的逻辑性以及趣味性,避免出现单调且冗长的走廊情况,可以在走廊设置艺术装置或者互动设施的方式,激发学生内心深处的探索欲望以及创造力,走廊栏板可设计成花坛形式,这样功能与美感完美的结合。

## 3.4 交通组织与出入口优化策略

在上下学高峰时段,人流车流密集,校园周边出现的交通拥堵状况以及存在的安全风险,需对人流、车流路线予以合理规划,并且借助地下停车场或者周边的共享设施来分散车辆停放,进而降低校园周边的交通负荷。地下停车场出入口与学生人行出入口分开设置,并且配备诸如人行天桥或者信号灯等安全设施,以此确保学生在上下学期间的安全。在管理上,学校可以按年级错开上学、放学时间,来缓解交通压力,另外倡导绿色出行方式,并且在校内大力推广慢行系统,借此减少对城市交通产生的负面影响,提高整体的运行效率。

# 4 实施路径与技术保障

## 4.1 结构改造与空间重构技术

结构改造以及空间重构技术,在中小学增容扩建方面充当着核心保障的角色。其涉及到针对既有建筑展开的加固操作、扩建举措或者重新布局事宜,以此来契合新的功能需求以及空间拓展的需求。这其中所涵盖的技术包含运



用轻质且强度高的材料来减轻附加的荷载,借助模块化构造达成快速组装的目的,还通过建筑信息模型这类数字化工具来进行精准的模拟与优化工作,进而保证改造进程具备安全性与经济性。结构改造在开展的时候,还得考量与原有建筑的协调情况,像是保留历史方面的元素或者适应现有的结构形式,防止因为不妥当的改动而诱发安全隐患。与此空间重构技术能够使得传统单功能区域转变为灵活且有多用途的空间,以此提升使用的效率<sup>[4]</sup>。在整个实施的流程当中,务必要依照相关的建筑规范与标准,细致地去做结构计算以及现场测试,从而确保扩建的部分可以和既有体系实现无缝的集成,并且能够满足长期使用的各项要求。

#### 4.2 绿色建筑与节能技术应用

绿色建筑以及节能技术在中小学增容扩建方面有着极为重要的作用,其主要是借助太阳能利用、雨水回收还有高效保温等一系列举措来降低能耗,进而提升环境性能。这些技术一方面能够助力削减运营成本,另一方面可以给学生带来生动的环保教育实例,比如借助可视化系统来呈现能源数据,以此强化师生的可持续发展意识。绿色建筑的应用还涉及到选用本地可再生材料以及低挥发性有机化合物产品,通过这种方式来减少碳足迹并且改善室内空气质量,与此结合被动式设计策略,像是优化朝向和遮阳等方式,从而实现最大限度地利用自然资源。节能技术的集成需要综合考量初始投资与长期收益这两方面的情况,要通过生命周期评估来挑选适宜的方案,并且定期开展维护升级工作,以此保证持续的效能,这就为高密度环境之下的校园扩展给出了生态友好的解决办法。

#### 4.3 安全规范与适应性设计

安全规范以及适应性设计在中小学增容扩建当中属于不可被忽视的关键方面,这就要求严格依照消防、抗震还有无障碍等相关标准来执行,并且要借助灵活的设计方式去应对未来可能出现的各种变化需求。安全规范具体落实起来,像是需设置数量充足的疏散通道,得安装自动灭火系统,还要开展定期的应急演练等,如此才能确保在紧急情况发生时人员能够安全无虞<sup>[5]</sup>。而适应性设计着重于运用那些可调节的构件以及多功能的布局形式,让空间可以根据教育模式或者人口方面的波动情况做出相应的调整。比如说,教室就可以设计成可扩展的单元,这样方便进行合并操作或是加以分隔处理,进而满足不同班级规模所提出的各种需求。处在高密度的环境之下,安全与适应性设计在实际操作中还应当充分考虑到周边存在的各类风险因素,像交通流量的情况或者是相邻建筑的高度等方面,通过设置缓冲区域或者采取防护方面的相关措施,以此来降低来自外部的种种威胁,最终营造出一个安全且可靠的学习环境。

#### 4.4 分期建设与运营衔接机制

分期建设与运营衔接机制,其目的在于借助分阶段去推进增容扩建项目的方式,降低对正常教学活动所产生的干扰,与此还要保证建设以及运营过程能够实现较为平滑的过渡。这一机制需要制定详尽的计划,把急需建设的设施放在优先位置来建设,而且要对校园布局做出临时性的调整,以此来维持教学秩序。还需组建跨部门的协调团队,对设计、施工以及运营各个环节加以统筹安排,以便及时处理可能出现的各种问题。分期建设还会涉及到资金以及资源的合理分配事宜,比如可以采用滚动投资或者公私合作模式来缓解财务方面的压力,并且利用过渡期去测试新设施的性能,收集用户的反馈信息,从而对后续阶段做出优化。运营衔接着重于在建设完成之后快速地将新老部分整合起来,依靠培训以及更新管理制度等手段,达成高效的运维状态,并且要建立起长期的监测机制,去评估扩建的效果,进而为未来的改进工作提供相应的依据。

#### 5 结束语

城市高密度环境下中小学增容扩建设计是复杂且迫切的议题,需综合运用空间集约化、功能复合化以及环境友好性原则,借助立体化拓展、功能整合、环境优化和交通组织等策略,凭借结构改造、绿色技术、安全规范及分期建设等途径来达成目标。本研究全面梳理了相关背景、所面临的挑战与相应解决方案,着重指出在高密度限制条件下,依靠创新设计与技术应用,可有效提升校园容量与品质,缓解教育资源供需矛盾。未来,伴随城市化进程不断推进,中小学增容扩建将会遭遇更多未知挑战,这就要求持续探寻适应性更强、可持续性更高的设计方法,强化跨学科合作与政策支持,推动城市教育设施实现均衡发展 with 长期繁荣。

#### 【参考文献】

- [1]周伦.高密度背景下的中小学增容扩建设计策略研究[D].广东:深圳大学,2023.
  - [2]劳杰锋.学校建筑空间复合化设计与功能优化策略研究[J].城市建设,2025(22):53-55.
  - [3]陈哲昕.中小学校建筑设计中易被忽视的关键细节研究[J].建设科技,2025(19):85-88.
  - [4]彭茜,谢亚男,罗志军.体教融合构建高效校园——以合肥市裕溪路学校改扩建项目为例[J].安徽建筑,2025,32(10):89-90.
  - [5]康皓,郝楠,朱峰磊,等.设计阶段寒冷地区教育建筑运行碳排放预测研究——以北京为例[J].建筑节能(中英文),2025,53(10):123-127.
- 作者简介:涂芸(1985.9—),女,汉族,籍贯:江西奉新,单位-江西省商业建筑设计院有限公司,高级工程师,本科,研究方向:中小学校建筑规划设计相关。



## 装配式住宅轻质隔墙与主体结构连接处开裂问题的构造优化

刘志远

石家庄新空间建筑设计有限公司, 河北 石家庄 050001

**[摘要]**随着装配式建筑技术的广泛应用,轻质隔墙作为内部空间分隔的重要构件,在提升施工效率和实现绿色环保目标方面发挥着关键作用。然而在实际工程中,轻质隔墙与主体结构连接处频繁出现开裂问题,这不仅影响建筑的使用功能与美观性,还削弱了整体结构的耐久性和安全性。文中通过对轻质隔墙材料特性、连接节点构造形式及应力传递机制的深入分析,探讨了开裂问题的成因,并提出构造优化的思路与路径。研究表明,开裂现象的出现与材料性能差异、结构变形协调性不足以及施工工艺缺陷密切相关。通过在设计阶段引入柔性连接构造、在施工环节加强工艺控制、在使用过程中优化维护策略,可以有效改善轻质隔墙与主体结构的协调变形能力,显著降低开裂概率。文中研究为装配式住宅的高质量发展提供了技术参考,也为今后隔墙构造标准的完善与推广奠定了实践基础。

**[关键词]**装配式住宅;轻质隔墙;主体结构;连接处;开裂问题;构造优化

DOI: 10.33142/ucp.v2i6.18552

中图分类号: TU528.72

文献标识码: A

### Structural Optimization of Cracking Problem at the Connection between Lightweight Partition Wall and Main Structure in Prefabricated Residential Buildings

LIU Zhiyuan

Shijiazhuang Xinkongjian Architectural Design Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050001, China

**Abstract:** With the widespread application of prefabricated building technology, lightweight partition walls play a key role in improving construction efficiency and achieving green environmental protection goals as important components for internal space separation. However, in practical engineering, cracking frequently occurs at the connection between lightweight partition walls and the main structure, which not only affects the functionality and aesthetics of the building, but also weakens the durability and safety of the overall structure. Through in-depth analysis of the characteristics of lightweight partition wall materials, connection node construction forms, and stress transmission mechanisms, this article explores the causes of cracking problems and proposes ideas and paths for structural optimization. The research results indicate that the occurrence of cracking is closely related to differences in material properties, insufficient coordination of structural deformation, and construction process defects. By introducing flexible connection structures during the design phase, strengthening process control during construction, and optimizing maintenance strategies during use, the coordinated deformation ability between lightweight partition walls and the main structure can be effectively improved, significantly reducing the probability of cracking. The research in the article provides technical reference for the high-quality development of prefabricated housing, and also lays a practical foundation for the improvement and promotion of partition wall construction standards in the future.

**Keywords:** prefabricated housing; lightweight partition wall; main structure; connection point; cracking problem; construction optimization

### 引言

近年来,随着建筑工业化进程的不断推进,装配式住宅逐渐成为住宅产业发展的重要方向。作为室内空间划分的主要构件,轻质隔墙不仅满足了功能性要求,还因其重量轻、施工快捷、绿色环保等优势而被广泛应用。然而,在装配式住宅工程中,轻质隔墙与主体结构连接处的开裂问题频繁发生,成为制约其推广和应用的关键因素。开裂不仅降低了室内环境的舒适度和美观性,还可能导致结构耐久性下降,甚至影响建筑安全,因此必须得到重视。造成这一问题的根源主要包括材料性能差异引起的变形不协调、节点构造设计的不合理以及施工工艺的控制不足。

为解决这一技术难题,学界和工程界进行了多方面的探索,但在理论研究与实际应用之间仍存在一定差距。本文将结合装配式住宅的结构特征,从开裂问题的成因分析入手,提出有针对性的构造优化策略,以期提升轻质隔墙使用性能和促进装配式住宅高质量发展提供参考。

### 1 轻质隔墙与主体结构连接处开裂的成因分析

#### 1.1 材料性能差异引起的应力集中

装配式住宅中的轻质隔墙常采用加气混凝土条板、轻质石膏板以及其他新型轻质墙材,这些材料在物理力学性能上与钢筋混凝土主体结构存在显著差异。主体混凝土结构具有较高的强度和刚度,同时在使用过程中会出现徐变

与收缩效应,而轻质隔墙则因吸水率高、强度低和变形能力弱而难以与之保持一致。当主体发生收缩或温度变形时,隔墙因自身材料刚度不足而无法随动,导致节点处产生应力集中。这种差异性随着时间累积最终会诱发裂缝,且裂缝多集中在墙体与梁、柱交接部位,表现出材料间不协调的固有特性。尤其在环境湿度和温差频繁变化的条件下,材料性能差异的作用更加显著,裂缝的发展速度也随之加快。

### 1.2 结构变形协调性不足造成的破坏

在实际建筑运行中,主体结构因荷载作用、地基不均匀沉降、地震动和风荷载等作用会产生一定范围的变形,这些变形表现为竖向沉降和水平位移。轻质隔墙多为非承重构件,在整体刚度上远低于主体结构,因此在遭遇这种变形时难以完全协调。当连接形式采用刚性方式时,隔墙无法吸收主体变形带来的应力,极易在节点处开裂。尤其在大跨度框架结构中,楼板的挠度变形会对隔墙施加强大的约束力,使裂缝问题尤为明显。

### 1.3 施工工艺与质量控制的不足

工程实践中,施工工艺是决定隔墙连接质量的重要因素。若施工人员在节点处理上未能严格执行设计要求,例如砂浆饱满度不足、嵌缝材料性能不达标或安装偏位,都可能埋下裂缝隐患。此外,施工过程中常因赶工期而忽视养护环节,造成材料未能充分固化便承受变形应力,从而出现早期裂缝。施工质量控制的薄弱不仅影响节点结合牢固度,还会削弱结构整体的耐久性,使得裂缝在后期不断扩展。

## 2 开裂对建筑使用功能的影响

### 2.1 美观性与舒适度的降低

裂缝一旦出现在室内隔墙处,首先对室内环境的视觉效果造成破坏。细小裂缝虽然对承载力影响有限,但其在墙面的不规则分布会严重影响居住美观,导致业主心理上的不适。若裂缝较大,则可能伴随灰尘积聚、表面饰面层剥落等问题,进一步降低室内的舒适度。对于追求品质和精细化装修的现代住宅而言,裂缝问题成为影响住宅价值的重要因素。

### 2.2 耐久性与安全性的削弱

隔墙裂缝不仅影响表观质量,还可能加速墙体和节点的劣化。裂缝为水分、空气和腐蚀性介质的渗透提供通道,使得钢制连接件更易锈蚀,砂浆和板材更易碳化,长此以往,节点处的整体耐久性将显著下降。在一些特殊情况下,若裂缝发展严重,可能导致局部脱落甚至危及人员安全。虽然轻质隔墙不承担主体结构荷载,但其耐久性问题一旦出现,将直接影响住宅的长期使用功能。

### 2.3 功能性与使用价值的减损

裂缝的发展会导致隔音、保温和防火性能下降。轻质隔墙本身多用于满足分隔与隔音功能,但裂缝使隔音路径被破坏,显著降低居住私密性。同时,裂缝也影响墙体的

整体密封性,从而削弱其保温与防潮效果。在部分情况下,裂缝还会阻碍管线布设及后期维修,增加使用难度与成本,使住宅的功能性和使用价值大幅下降。

## 3 现有构造形式的不足与改进方向

### 3.1 刚性连接构造的局限性

传统轻质隔墙的节点多采用刚性连接方式,例如砂浆填缝、钢筋直连等,这类构造在早期使用阶段能够提供较好的整体稳定性和承载力。然而,由于刚性连接缺乏对结构位移和温湿度变化的缓冲能力,随着主体结构在长期运行中逐渐产生收缩、徐变或不均匀沉降,连接部位往往会出现显著的应力集中。不同材料在弹性模量、热胀冷缩系数等方面存在差异,刚性连接无法实现有效的协调,最终导致裂缝沿节点位置扩展。尤其在高层建筑或装配式住宅中,这种问题更加突出,不仅影响隔墙的使用寿命,还可能危及整体建筑的美观与安全。刚性连接的单一化设计忽视了材料间的相互适应性,成为墙体开裂的主要诱因之一。因此,在未来构造优化中,应探索柔性连接或复合连接方式,以实现结构安全与耐久性的双重保障。

### 3.2 柔性连接构造应用不足

柔性连接作为缓解轻质隔墙与主体结构变形差异的重要手段,在理论与实验研究中已被证明能够显著降低应力集中,延缓裂缝的产生与扩展。其基本原理是通过在节点位置设置弹性垫层或柔性材料,使隔墙具备一定的位移协调能力,从而减少刚性连接带来的不利影响。然而,在实际工程应用中,柔性连接的普及程度仍然有限。一方面,相关设计标准与施工规范尚不完善,缺乏统一的技术指导,使得设计与施工人员难以形成系统认知。另一方面,柔性连接工艺对施工精度与材料选择有较高要求,部分工程在应用过程中因经验不足或缺乏质量控制,导致最终效果不理想。这种应用不足不仅制约了柔性连接技术的推广,也在一定程度上削弱了装配式住宅的整体耐久性与适应性。

### 3.3 标准化与模块化水平不高

当前装配式住宅中轻质隔墙的构造体系在标准化和模块化方面存在明显不足。由于缺乏统一的设计规范和通用的节点构造方案,不同工程往往依据项目特点自行制定节点处理方式,导致施工方法多样化,质量水平参差不齐。这种现象不仅增加了施工过程中的不确定性,也给工程管理和质量控制带来了较大挑战。对于后期的维修与养护而言,非标准化的构造形式往往缺乏可复制性和兼容性,使得维护难度和成本显著增加。长期来看,这种低水平的标准化制约了装配式住宅的规模化推广,不利于形成行业化、产业化的成熟路径。未来的发展应以提升标准化和模块化程度为核心,建立统一的构造设计与节点处理规范,推广可组合、可替换的模块化构件,从而实现施工工艺的简化与质量的稳定,为装配式住宅的高效发展奠定坚实基础。



## 4 构造优化的策略与路径

### 4.1 柔性连接节点的优化设计

在装配式住宅的节点构造中,柔性化设计被认为是提升整体性能的重要突破口。通过在轻质隔墙与主体结构之间设置柔性嵌缝、弹性垫层或专用的柔性连接件,能够有效缓冲由于温度变化、荷载作用或结构沉降所引起的位移差,使隔墙在保持稳定的同时具备一定的适应能力。这种设计思路不仅增强了结构的变形协调性,还能避免因刚性约束导致的应力集中现象。现代研究普遍采用有限元分析方法,对不同连接方式下的应力分布与变形规律进行模拟,从而科学确定柔性节点的最优构造参数。工程实践表明,柔性连接在减弱局部应力峰值、延缓裂缝出现和扩展方面具有明显成效,为延长轻质隔墙的使用寿命提供了有力保障。通过推广柔性节点设计,可以在保证结构安全的同时提升居住舒适度,为装配式住宅的高质量发展提供技术支撑。

### 4.2 施工工艺与质量管理的提升

在装配式住宅中,构造优化能否取得理想效果,很大程度上取决于施工工艺与质量管理的落实。设计再合理,如果施工环节缺乏规范与严谨,最终也难以保障整体性能。施工过程中应严格控制砂浆饱满度,保证连接件的正确安装位置与固定强度,对关键节点进行重点检查与多次验收,确保结构稳固与细部完善。养护环节同样不可忽视,合理的温湿度控制和养护周期能使材料保持最佳性能,从而延长使用寿命。为了实现全过程的精细化与可控制化管理,可以引入信息化手段,如 BIM 技术对节点构造进行三维建模与虚拟演示,再结合施工质量追踪系统进行实时监测与记录,做到每一环节均可可视化、可追溯。

### 4.3 新型材料与技术的推广应用

在装配式住宅的发展过程中,新型材料与先进技术的推广应用是提升轻质隔墙系统性能的重要方向。高性能轻质隔墙材料的使用,如纤维增强石膏板和高强度轻质混凝土板,能够显著改善隔墙的抗裂性能和承载能力,同时保持轻质化特征,减少结构荷载压力。柔性高分子嵌缝材料在节点处理中的应用,使缝隙具备更强的适应性和耐久性,有效降低裂缝出现的概率。高可靠性的连接件则为隔墙整体稳定性提供了坚实保障,延长结构使用寿命。在施工环节, BIM 技术和智能建造手段的结合,使得节点设计和施工过程更为精确,通过数字化建模和智能检测能够提前发现潜在问题并进行调整,从而减少人为误差。

## 5 未来发展趋势与研究展望

### 5.1 多学科融合推动技术进步

装配式住宅的高质量发展离不开多学科的共同参与与深度融合。结构工程学为整体框架与受力机制提供理论支持,材料学则在新型高性能混凝土、钢材和复合材料研发中发挥核心作用,施工学关注工艺优化与装配精度,建筑物理学则为热工性能、隔声效果与耐久性提供技术保障。

单一学科的研究难以全面解决开裂这一复杂问题,唯有推动多领域的交叉与整合,才能建立起“材料-结构-施工”一体化的研究与实践体系。在这种体系下,不同学科的优势能够形成合力,从设计源头到施工环节再到使用维护环节,构建完整的技术链条。

### 5.2 智能化与信息化管理的应用

随着智能建造理念的不断深入,信息化与智能化技术在装配式住宅中的作用愈发凸显。BIM、物联网和人工智能等先进技术的融合应用,使施工与运营阶段能够实现更高层次的精细化与科学化。在裂缝控制领域,通过布设智能传感器,可以实时监测节点应力、结构变形及裂缝扩展情况,形成动态数据流,为管理者提供即时预警与干预依据。这种方式不仅能够显著提升风险防控能力,还能为施工与维护提供科学决策支持。未来,随着大数据平台的建设与完善,裂缝监测将逐渐从单点信息采集走向全方位系统分析。

### 5.3 标准规范与评价体系的完善

随着装配式住宅的规模化推进,建立健全的标准与规范体系已成为行业发展的核心任务。构造设计与施工环节的规范化不仅关系到建筑的安全性与耐久性,更直接影响整体居住体验。针对不同节点构造,应在标准中明确适用条件、设计参数及施工要求,形成可操作性强的指导文件,为设计与施工人员提供统一依据。在裂缝控制方面,需要构建科学的评价体系,从材料性能、连接方式到施工工艺进行多维度考察,使质量验收更加精准和系统。评价体系的完善能够实现对工程质量的全过程监控,推动问题的早期发现与及时修正。

## 6 结论

轻质隔墙与主体结构连接处开裂问题是装配式住宅推广应用过程中亟待解决的技术难题。本文通过分析材料性能差异、结构变形协调性不足以及施工工艺缺陷等成因,指出开裂不仅影响建筑的美观与舒适,还削弱耐久性与使用价值。通过柔性连接节点的优化设计、施工工艺与质量管理的提升以及新型材料与技术的应用,可以有效缓解开裂现象。未来,随着多学科融合与智能化管理的发展,以及标准规范的不完善,装配式住宅隔墙构造优化将逐步走向系统化、科学化和标准化,从而为住宅产业现代化提供有力支撑。

### 【参考文献】

- [1]王玉军,李晓东.装配式建筑轻质隔墙施工质量控制研究[J].建筑技术,2021,52(4):412-417.
  - [2]张伟,刘建华.装配式住宅轻质隔墙开裂机理与防治措施探讨[J].住宅科技,2020,40(6):56-60.
  - [3]陈亮,赵海波.轻质隔墙与主体结构连接节点优化设计研究[J].建筑结构学报,2022,43(2):98-106.
- 作者简介:刘志远(1998.7—),男,汉族,毕业学校:武汉轻工大学,现工作单位:石家庄新空间建筑设计有限公司。

## 建筑工程全过程咨询项目中设计单位的角色探讨

韩世诚\* 郭涵坤

济南城建集团有限公司, 山东 济南 250000

[摘要]随着建筑工程行业的快速发展,全过程工程咨询模式以其对强化成本管控,提升投资效益、保障建设质量、提高管理效率,把控整体工期等独特优势被越来越多的建设工程项目所采用,国家发改委和住建部的相关政策意见也规定政府投资类项目优先采用全过程工程咨询模式。而设计单位作为全过程工程咨询模式中“1+X”或“N+X”服务组合中重要组成单位扮演着不可或缺的角色。本文将探讨设计单位在全过程工程咨询项目中的角色定位,以及如何更好地在此模式下作为服务组合的一份子帮助建设单位实现提高工程质量及控制工程造价的目的。

[关键词]全过程工程咨询项目;设计单位;角色定位

DOI: 10.33142/ucp.v2i6.18550

中图分类号: TU241.2

文献标识码: A

### Discussion on the Role of Design Units in the Whole Process Consulting Project of Construction Engineering

HAN Shicheng\*, GUO Hankun

Ji'nan Urban Construction Group Co., Ltd., Ji'nan, Shandong, 250000, China

**Abstract:** With the rapid development of the construction industry, the whole process engineering consulting model has been increasingly adopted by construction projects due to its unique advantages in strengthening cost control, improving investment efficiency, ensuring construction quality, enhancing management efficiency, and controlling overall project duration. Relevant policy opinions from the National Development and Reform Commission and the Ministry of Housing and Urban Rural Development also stipulate that government investment projects should prioritize the use of the whole process engineering consulting model. As an important component of the "1+X" or "N+X" service combination in the entire process engineering consulting model, the design unit plays an indispensable role. This article will explore the role positioning of design units in the entire process of engineering consulting projects, and how to better serve as a part of the service portfolio in this mode to help construction units achieve the goal of improving project quality and controlling project costs.

**Keywords:** whole process engineering consulting project; design unit; role positioning

#### 1 全过程工程咨询项目概述

全过程工程咨询模式是由建设单位或投资人委托一家具有综合能力的咨询单位(或联合体)单位,对相关建设项目提供综合性、一体化全过程咨询服务的模式,涵盖整个建设项目的各个周期如项目决策阶段、设计阶段、施工阶段、竣工阶段、项目管理运营阶段等,建设单位或投资人可根据实际需求委托咨询单位提供建设工程的部分或全部建设阶段服务。相对于传统工程的碎片化建设模式,全过程工程咨询项目最大的优势在于由单一责任主体或牵头联合体单位统一调度,打破原有各个单位的碎片化、壁垒式工作模式,最大程度上降低协调成本,提升工作效率,为建设单位提供最全面的工程建设服务,实现建设项目整体效益的最大化<sup>[1]</sup>。全过程工程咨询项目与传统咨询模式的区别见表1。

#### 2 全过程工程咨询项目中设计单位的角色定位

设计单位作为整个建设工程项目过程中重要组成部分,既可以作为牵头单位整合咨询、勘察、造价、监理、项管、施工等资源,提供多样的一体化服务,最明显的优势在于提高设计落地性减少变更以控制造价保证工程质

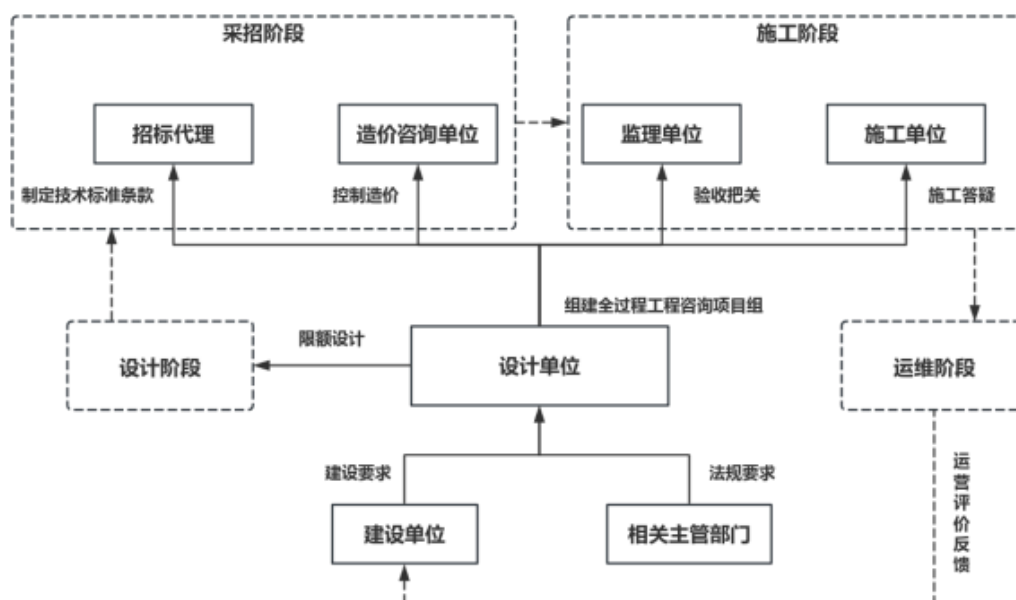
量;亦可以作为联合单位成为全过程工程咨询项目中的一员,配合主体单位实现建设项目全生命周期内的技术协同,为主体单位提供专业技术支撑,为项目建设的各个环节提供专业服务,以实现各个环节的顺利衔接。无论是作为牵头单位还是联合体单位的一员,设计单位都不再是单一的图纸提供者,而是要在建设过程中全方位参与,贯穿建设项目全生命周期各个阶段,这就要求设计单位更深度地参与到建设过程中,为项目建设提供更多的服务,同时此模式下也对设计单位的从业者素质提出了更高的要求。

##### 2.1 设计单位为主体单位的角色定位

随着我国建设的飞速发展,建设项目逐渐向规模化、复杂化、多元化发展,这就要求全过程工程咨询项目中的牵头单位需要提供从策划到运营的一体化服务,以更好的满足建设项目更高的要求,而设计单位作为牵头主体单位更要摒弃传统模式下“绘图者”身份,不再仅仅对图纸的合规性负责,而是要升级为项目的“总调度师”,对项目各个环节各个阶段负责,整合各个参与单位,实现项目的整体化服务,如图1。



对比维度	全过程工程咨询模式	传统咨询模式
服务主体	单一牵头单位（或联合体）	多家咨询单位独立作业
服务范围	建设项目全生命周期一体化咨询服务	分阶段、分专业碎片化服务
责任划分	单一责任主体	各咨询单位对各自工作环节负责
管理逻辑	系统协调、统筹管理，沟通高效	建设单位与多家咨询单位分别对接管理，协调成本高
核心优势	（1）全周期统筹，有效控制投资，提升工程质量 （2）责任集中，管理成本低 （3）各环节协同联动，提升建设项目整体效益 （4）方便搭建数字化管理平台实现全流程管控	（1）专业分工明确，各单位在细分领域经验成熟 （2）服务模式成熟，市场准入门槛低 （3）建设单位对各环节的优质咨询单位自主选择权高
主要缺点	（1）对主体或牵头单位业务能力、资源整合能力要求高 （2）市场成熟度尚有不足，缺少优质全咨单位 （3）业主认知度不足	（1）各环节独立运作，容易产生信息壁垒 （2）建设单位管理负担重，需承担大量沟通工作 （3）责任划分不明确，经常出现各单位责任推诿 （4）缺少成本控制意识，影响工程造价 （5）难以保证建设项目整体效益



作为主体或牵头单位,设计单位不再单纯提供设计图纸,而是要需要承担更多的责任与义务。首先作为“技术负责人”,设计单位的首要责任也是核心责任是把控整个项目的品质,这就要求设计单位的工作重点从对施工图纸质量的把控升级为对项目全生命周期内各个环节的质量把控,从前期阶段与建设单位项目策划、产品功能定位、运营策略意向的制定,到设计阶段的造价控制、优化方案、新技术应用,再到施工阶段的图纸答疑、变更内容控制、现场服务,最后到运营阶段的优化改进建议、“拨乱反正”,设计单位需要始终把握技术决策的大方向,从各个环节把控项目落地质量,平衡项目品质与经济性。其次,作为“统筹者”,设计单位需要比传统模式下更早的介入项目决策阶段,除在设计时满足建设单位最基本的要求,如外立面

风格、建筑使用功能、生产需求等外，还需要将建设单位的投资目标、进度目标、质量目标、运营目标提前落实到设计过程中，建立造价前置、限额设计的设计思维模式，确保项目达到建设单位的建设要求。另外，作为“资源协调者”，设计单位需要整合自身资源或联合其他单位组成全过程工程咨询项目组，统一调度各个参建者，搭建合理高效的协同工作平台，统一把控各单位的工作进度，解决项目过程中各单位交叉作业产生的矛盾，在实际工作中，扮演着建设单位的角色，由此降低建设单位的协调沟通成本。作为“责任承担者”，设计单位不再仅仅对设计成果负责，而是单一责任主体，需要对全过程咨询项目整体服务质量、服务进度、建设成果负责，这就要求设计单位在项目策划阶段组建合理的服务团队，制定好各参与单位的全责边

界,明确各阶段各单位的工作界面,分散项目进行中的潜在的责任风险。最后作为“运营评价者”,在组织项目竣工验收、结算后,设计单位仍要提供运营、维护的咨询服务,如制定建设项目移交使用手册、后续设备维护手册等,在项目运营阶段协助建设单位分析项目实际效益完成度,为建设单位后期项目建设总结经验,并结合实际运营情况提出改进措施,最终实现全过程工程咨询项目的流程闭环。

为扮演好主体、牵头单位的角色,设计单位需要根据建设单位的委托要求,组建符合要求的咨询项目组,制定整个项目建设的实施流程,根据要求编制详细的全过程工程咨询服务方案,服务方案通过建设单位审查后作为咨询服务的指导性文件;建立各个单位与建设单位的沟通机制,打破各单位间的信息壁垒,提高咨询服务的沟通效率;全方位参与项目建设的全流程,为建设单位把控建设成本、质量、进程<sup>[2]</sup>。

由设计单位作为牵头单位在实际项目建设过程中具有先天优势,对建设单位而言,如何在控制成本、实现建设项目功能的前提下保证施工质量是着重关心的,而设计单位作为前端引领环节在项目策划阶段可以为业主提供更多的方案比选,更为直接的实现建设单位要求,在策划阶段实现功能与造价的平衡,提前规避后期原则性修改带来的造价变动;在设计阶段阶段可提前对接造价或施工单位,更为直接地将设计意图与工程造价成本链接,实现为建设单位控制成本基线的目的;在招标采购阶段,以设计单位作为主体单位牵头编制工程清单与技术标准,更好地

控制招标文件与设计意图的统一性;在施工阶段,设计单位作为协调施工、监理的核心,严格控制工程的施工标准与变更项,实现工程质量与造价控制的动态统一;在竣工阶段,设计单位牵头验收管理、资料整理、移交、结算等工作,为建设单位打通交付的最后一公里;在运营维护阶段,设计单位协助建设单位建立合理有效的运维方案,协调各参建单位对运营工作的服务响应,并对后期运营情况进行分析,对运营过程中存在的问题提出解决方案,实现从项目决策到运营项目建设全过程的闭环。

## 2.2 设计单位为协同单位的角色定位

不同于主体单位、牵头单位的角色,全过程工程咨询项目中的设计单位作为协同单位不需要承担更多的统筹协调工作,而是作为设计技术支持方参与建设工作,配合主体单位完成项目建设全生命周期的设计协同。

与传统设计模式类似的是,设计单位的核心任务相同,都是提供专业的设计服务,不同的是,大多数传统模式下设计单位仅需要满足建设单位的设计要求及使用意图,而全过程工程咨询项目下的设计单位除了满足牵头单位的总体要求,还要与参建单位如造价咨询机构、监理或施工单位等协调沟通,提供更多环节的技术支持,以实现控制工程造价、施工进度、质量的要求,更多地参与配合主体单位要求的设计优化工作,通过技术手段节约投资,提升施工效率,设计单位的协同角色在全过程工程咨询项目中是传统模式下与建设单位点对点服务模式到与各参建单位点对面的转变,如图2。

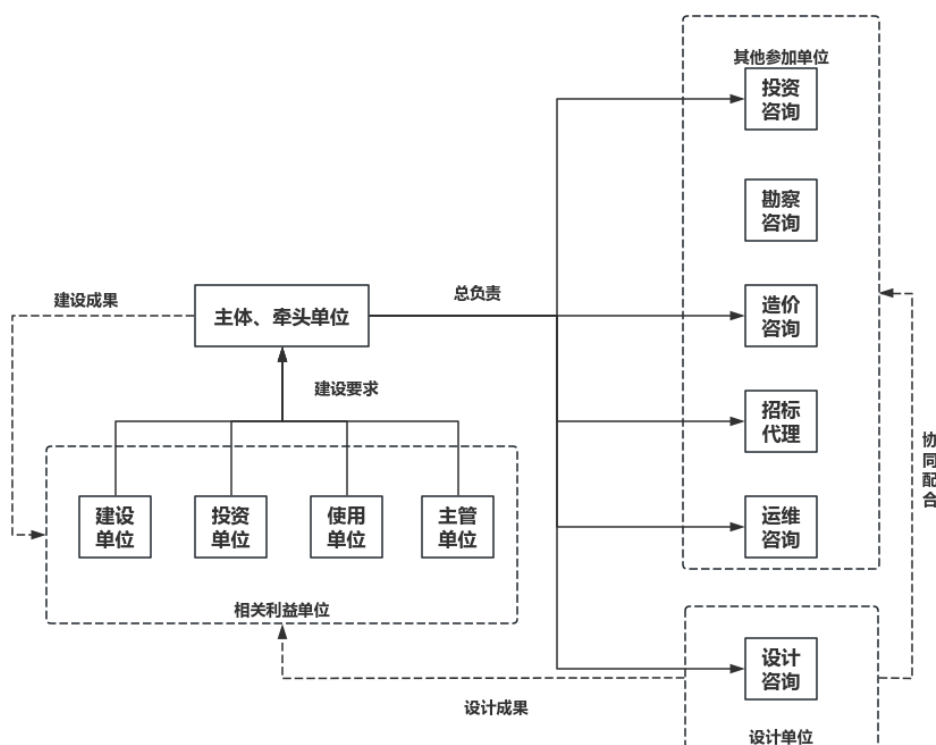


图2 设计单位为协同单位的角色定位(作者自绘)



在全过程咨询项目中,扮演协同者角色的设计单位作为“设计服务提供者”,根据建设单位及主体单位的总体要求,进行建设项目的设计工作,完成方案设计、初步设计、施工图设计及其他专项设计服务,切实落实主体单位的限额设计要求及对安全、经济、功能的既定目标;作为“设计顾问”,需配合主体单位及时参与到项目策划阶段,提供项目功能定位评价、技术路线选型等建议,配合造价单位完善工程量清单,制定技术标准条款,协助施工单位解决施工疑难,控制设计变更内容,降低工程造价,辅助监理单位做好验收的技术把关,并参与结算工作,做好结算审核的技术把关;作为“设计优化把控者”,设计单位需基于专业能力帮助建设单位评估需求调整的可行性及必要性,提出优化解决方案,避免不合理设计要求调整而导致的工期影响、造价增加。作为“运维阶段评价者”,设计单位需与主体单位对建设项目对策划阶段制定的设计目标达成情况进行系统性分析,为建设单位后期项目建设提供经验支持。

### 3 全过程工程咨询模式下设计单位的发展建议

无论是以牵头单位的角色还是协同单位的角色参与全过程工程咨询项目的建设,都要求设计单位更全面更深度的参与,与传统设计单位所承担的单一设计任务原则不同,全过程工程咨询模式不是单一叠加服务组合,而是对整个建设项目生命周期中所有相关参与单位的有机整合,这就需要设计单位在自身优势的基础上通过各种服务模式升级转型以更好适应在全过程工程咨询项目中的角色定位。

#### 3.1 多方位发展,完善企业相关资质

对于全过程工程咨询项目,设计单位的资质是承接业务的核心。设计资质作为设计单位的基础要求,提升设计资质等级以提高在项目建设过程中的技术话语权。而作为牵头单位,仅仅提升设计资质是不够的,更要基于自身设计业务,对全过程工程咨询项目上下游环节进行战略拓展,补充配套工程类咨询资质,如咨询、监理等资质,开展多元化业务,形成“设计、造价、监理、项目管理”一体化服务,使设计企业更灵活的应对建设项目要求,《关于在房屋建筑和市政基础设施工程领域推进全过程工程咨询服务发展的实施意见》更是倡导设计企业完善补充自身资质以更好的实现在建设过程中的服务角色要求。

#### 3.2 加强设计单位项目管理能力

作为牵头单位的设计单位,是建设项目的信息中枢,

既是技术负责者也是流程把控者、资源整合协调者、风险管控者、运营推动者,相关服务工作涵盖了项目管理、造价、监理、招投标、建设单位、施工单位、政府相关部门等各个单位,因此需要企业提升项目管理能力以实现设计单位服务模式的转型。提高设计单位的项目管理能力,最直接的方法就是培养项目建设所需要的复合型人才<sup>[3]</sup>,面对更多的服务要求,了解前期服务、设计、成本、施工的“总设计师”才能更好承担这一任务。在项目建设过程中,设计企业应着重培养综合服务型人才的跨专业整合、沟通、协调能力,助理企业更好应对全过程工程咨询项目复杂要求。

#### 3.3 提升设计理念

对全过程工程咨询项目中的设计单位而言,不能再仅仅以提交合格的设计文件为目标,而是要统筹各个建设环节的要求与目标,从流程、成本、造价、施工质量、运营等多维度全面考虑设计要求,借助 BIM 技术、数字化平台建设等手段<sup>[4]</sup>,在满足设计要求基础上制定详细全面的设计标准与计划,更经济、更精准、更高效的完成工程建设任务。

### 4 结语

文章分析了设计单位在全过程工程咨询项目中牵头单位和协同单位的角色定位,并针对设计单位所承担的工作内容进行了建议。在当前建筑行业发展趋势下,越来越多的全过程工程咨询项目得以实施,设计单位面临的挑战更加复杂,设计单位应做出针对性改进措施,更好地为建设单位提供咨询服务。

#### [参考文献]

- [1]查蕾.基于项目全过程咨询模式的设计企业发展研究[J].乡镇企业导报,2025(3):165-167.
- [2]李志,罗舒予.设计主导的全过程工程咨询集成化管理模式研究[J].建筑经济,2021,42(7):23-27.
- [3]林深,赵玲娴,张振.生全过程工程咨询集成化管理模式案例研究[J].工程管理学报,2025,39(6):39-44.
- [4]王婷.创新视角下建筑工程全过程咨询的几点思考[J].居业,2025(5):148-150.

作者简介:韩世诚(1994—),男,汉族,硕士研究生,主要从事工作方向:建筑工程设计;郭涵坤(1997—),男,汉族,本科,主要从事工作方向:给排水设计。

## 装配式混凝土框架结构设计优化与施工协同研究

王子晗

九易庄宸科技（集团）股份有限公司，河北 石家庄 050000

[摘要]随着建筑工业化水平的不断提升,装配式混凝土框架结构因其绿色、节能、高效的特点在我国建筑工程中得到广泛应用。然而,设计与施工环节之间缺乏有效衔接,往往导致结构性能与施工效率难以兼顾。文中以装配式混凝土框架结构为研究对象,探讨其设计优化路径与施工协同机制。通过对构件标准化、节点连接合理性、施工工艺适应性等方面的分析,总结设计环节中的关键优化策略,并结合施工组织的协同要求,提出一套设计与施工一体化的技术框架。研究结果表明,基于设计优化与施工协同的系统方法不仅能够提升装配式混凝土框架结构的整体性能,还能够显著缩短工期、降低能耗,推动建筑工业化高质量发展。

[关键词]装配式; 混凝土框架结构; 设计优化; 施工协同; 一体化管理

DOI: 10.33142/ucp.v2i6.18570

中图分类号: TU375.4

文献标识码: A

### Research on Design Optimization and Construction Coordination of Prefabricated Concrete Frame Structure

WANG Zihan

Jiuyi Zhuangchen Technology (Group) Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

**Abstract:** With the continuous improvement of the level of construction industrialization, prefabricated concrete frame structures have been widely used in construction projects in China due to their green, energy-saving, and efficient characteristics. However, the lack of effective connection between design and construction often leads to difficulties in balancing structural performance and construction efficiency. The article takes the prefabricated concrete frame structure as the research object, exploring its design optimization path and construction coordination mechanism. By analyzing the standardization of components, the rationality of node connections, and the adaptability of construction processes, key optimization strategies in the design process are summarized. Combined with the collaborative requirements of construction organization, a technical framework for integrating design and construction is proposed. The research results indicate that the system approach based on design optimization and construction collaboration can not only improve the overall performance of prefabricated concrete frame structures, but also significantly shorten the construction period, reduce energy consumption, and promote the high-quality development of building industrialization.

**Keywords:** prefabricated; concrete frame structure; design optimization; construction collaboration; integrated management

#### 引言

近年来,随着节能减排政策与建筑工业化进程的推进,装配式混凝土框架结构成为建筑行业发展的方向。其优势不仅体现在减少现场湿作业、缩短施工周期,还能通过工厂预制提高构件质量,符合绿色建筑的发展要求。然而,在实际应用中,装配式混凝土框架结构的推广仍面临诸多挑战。设计环节中存在标准化程度不足、节点设计不合理、构件装配精度偏差等问题;施工阶段则面临构件吊装难度大、施工工序衔接复杂、现场管理不协调等困境。若设计与施工之间缺乏有效的协同机制,容易导致施工效率下降、成本增加甚至结构性能隐患。为此,本文聚焦装配式混凝土框架结构的设计优化与施工协同研究,旨在通过理论探讨与系统分析,提出具有可操作性的路径,为推动装配式建筑的高质量发展提供参考。

#### 1 装配式混凝土框架结构的特点与发展需求

##### 1.1 装配式结构的基本特征

装配式混凝土框架结构是一种以工厂预制构件为基础,在施工现场进行拼装和连接的结构体系。这类结构的显著特征是将生产环节从施工现场转移到工厂中,通过流水线式的生产方式保证构件的一致性和质量稳定性。由于采用工厂化生产,构件尺寸精度和力学性能得以有效保障,使得整体工程的结构可靠性明显提高。装配式框架结构还具有施工速度快、工期短的优势,在劳动力成本日益上升的背景下展现出较强的经济竞争力。与此同时,它能够有效减少施工现场的噪声、粉尘和建筑垃圾,具有明显的环保效益,与当前绿色建筑的发展理念高度契合。

##### 1.2 发展中的政策与市场驱动

近年来,国家层面对装配式建筑的发展提出明确要求,《装配式建筑行动方案》等政策文件为行业发展提供了制



度保障。在政策推动下,越来越多的建筑企业开始布局装配式产业链,从构件生产、运输到现场施工形成完整的体系。在市场层面,随着城市化进程加快和人们居住需求的多样化,建筑企业更加强调工程品质与施工效率。装配式框架结构能够满足快速开发与高质量建造的双重需求,市场需求呈现持续增长的态势。

### 1.3 存在的主要问题

虽然装配式混凝土框架结构优势明显,但在推广过程中仍存在诸多问题。首先,构件标准化程度不足,导致不同项目之间的互换性差,增加了生产与管理难度。其次,节点设计与施工衔接不到位,部分工程中出现连接强度不足、施工操作复杂等情况,影响结构整体性能。再次,设计与施工单位之间缺乏高效的信息沟通渠道,导致施工现场出现设计图纸无法完全落地的现象。这些问题制约了装配式建筑在更大范围的推广与应用。

## 2 装配式混凝土框架结构的设计优化路径

### 2.1 构件标准化与模块化设计

设计优化的第一步是实现构件的标准化与模块化。构件标准化能够在很大程度上减少设计工作量,提高生产效率,降低因构件尺寸差异带来的误差风险。通过标准化,不同工程之间能够共享构件模型和生产模具,从而降低整体生产成本。模块化设计则强调构件之间的自由组合和灵活拼接,使建筑能够适应不同功能和空间需求。模块化的实现不仅为施工提供便利,也为后期改造和扩展创造条件,延长建筑的生命周期。

### 2.2 节点设计合理性

节点是装配式框架结构的关键部位,承载着传力与连接的双重任务。在设计阶段,应充分考虑节点的力学特性和施工便利性。传统的焊接节点虽然强度高,但施工要求严苛,且现场质量难以保证;相比之下,灌浆套筒连接、机械式连接等新型节点方式不仅能够保证传力的可靠性,还能够显著降低施工难度。合理的节点设计应兼顾力学性能、施工效率和经济成本,并通过有限元分析与实验验证其性能,确保结构整体安全性与耐久性。

### 2.3 构件与结构整体性能的协调

单个构件的优化设计并不意味着整体性能的最优。在设计过程中,应注重构件拼装后的整体协调性。采用信息化建模工具进行全局分析,确保结构在承载力、抗震性能和耐久性方面达到预期目标。例如,在抗震设防地区,设计应强化节点延性和整体刚度,以保证在地震作用下仍具备较高的稳定性。设计优化的目标在于形成“构件-节点-整体”的协调体系,避免出现局部优而整体劣的情况。

## 3 施工环节的协同管理要求

### 3.1 施工工序的组织与优化

装配式施工过程涉及运输、吊装、拼装、节点灌浆等多个环节,每一个环节的衔接都会对整体效率产生影响。科学合理的施工组织能够避免工序交叉冲突,提高整体施

工速度。例如,运输环节应与现场吊装节奏保持一致,避免出现构件到场过早导致堆放空间不足,或到场过晚造成工序延误的情况。施工组织优化的核心在于实现各工序的有序衔接和资源的高效利用。

### 3.2 施工精度控制

装配式框架结构在施工过程中对安装精度的要求远高于传统现浇结构。由于各个构件均为预制产品,若在安装中出现较大偏差,不仅会影响整体受力的合理性,还可能导致节点连接困难,甚至埋下结构安全隐患。因此,在施工现场必须采用高精度的测量工具与先进技术,对构件位置进行实时监测与校正。全站仪能够实现对空间坐标的精准定位,激光扫描技术则可以快速获取构件的三维数据,为安装提供直观依据。通过全过程的精度控制,从构件吊装到最终定位,确保每一步操作均符合设计要求,使整体结构保持稳定与协调。严格的精度管理不仅提升了施工质量,也为后期建筑的长期安全运行提供了可靠保障。精度控制的落实,体现了装配式建筑高标准与高质量的建设要求,是推动建筑工业化发展的关键环节。

### 3.3 施工与设计的反馈机制

在装配式建筑施工过程中,常常会遇到设计阶段未能充分预料的问题,例如吊装路径受到场地限制,或节点拼装操作存在一定复杂性。如果缺乏有效的反馈机制,这些问题往往难以及时解决,可能导致工期延误,甚至对工程质量造成不利影响。因此,建立施工与设计之间的双向沟通渠道显得尤为重要。通过这一机制,施工中遇到的实际问题能够迅速反馈至设计团队,由设计人员结合现场情况进行优化调整,确保方案更加契合施工需求。这样的互动不仅可以解决当前工程中的突发问题,还能在项目积累过程中不断丰富经验库,为后续类似工程提供参考。随着这种机制的长期运行,设计与施工之间的协作关系将更加紧密,整体管理效率与质量水平也会得到全面提升,从而推动装配式建筑形成良性发展的循环模式。

## 4 设计优化与施工协同的技术融合

### 4.1 基于 BIM 技术的集成应用

BIM 技术作为装配式建筑的重要工具,为设计与施工提供了全方位的技术支持。在设计阶段,BIM 能够通过三维建模直观呈现构件的拼装方式与整体结构效果,使设计人员能够清晰掌握空间布局和细节处理。在这一过程中,潜在问题能够被及时发现,并在施工前进行优化调整,从而减少后期修改带来的资源浪费。在施工阶段,BIM 的应用同样展现出独特优势,它不仅能够为构件吊装顺序提供精准指导,还能对施工进度进行合理规划,对质量控制进行全过程监督。借助可视化管理,施工人员能够直观了解各环节的具体要求,提高执行的准确性与效率。通过这一技术,设计与施工之间的信息传递更加顺畅,避免因信息不对称引发的返工与误差。BIM 的应用为装配式建筑实现高效、安全与绿色化发展提供了强有力的技术保障。

## 4.2 信息化平台的建设

在装配式建筑的设计与施工过程中,仅依靠 BIM 技术并不足以彻底解决协同问题。为实现高效的全流程管理,需要建立统一的信息化平台,将设计图纸、构件数据、施工进度以及质量检测结果等关键资料集中存储和共享。借助这一平台,设计单位、施工单位与监理单位之间能够实现实时沟通与信息互通,避免因数据割裂而形成的信息孤岛,也能有效减少管理上的断层与重复工作。信息化平台的应用使项目参与各方能够在同一系统中获取最新动态,并根据数据反馈及时调整方案与进度安排。这种基于平台的管理模式不仅提升了工程协作的效率,还在质量控制、进度管理和资源配置方面展现出更高的精准度。通过统一的信息化平台,装配式建筑项目能够实现更加科学的协同管理,推动行业整体向数字化与智能化方向迈进。

## 4.3 绿色施工理念的融入

在装配式建筑的发展过程中,将绿色施工理念融入设计与施工协同是实现可持续发展的重要路径。通过在设计阶段进行科学优化,可以有效减少材料的浪费,使结构构件在满足功能需求的同时更加高效与环保。在施工环节,采用先进工艺与高效设备能够显著降低能耗,减少因传统施工方式带来的资源消耗和环境负担。在施工现场推行节能减排措施,如循环利用建筑废料、推广清洁能源设备和降低噪声污染,也能够进一步提升装配式混凝土框架结构的环保价值。绿色理念不仅是一种工程实践要求,更是建筑行业未来发展的必然趋势。它使装配式建筑在满足安全与功能的同时,还能够实现对生态环境的友好与保护,推动行业向高质量和低碳化方向迈进,为智慧城市和绿色建筑的建设提供坚实支撑。

## 5 装配式混凝土框架结构的未来发展趋势

### 5.1 智能化与自动化的应用

随着智能建造技术的不断进步,装配式施工正迎来更加高效与精细化的发展阶段。在施工过程中,自动化设备与智能化系统的引入正在逐步普及。例如,智能吊装设备能够实现对预制构件的精准定位,通过传感器与控制系统的配合,大幅提升了安装的精度与安全性。机器人在节点拼装与灌浆环节的应用,使作业过程更加稳定可靠,减少了因人工操作带来的误差和不确定性。这些技术的使用不仅缩短了施工周期,还降低了劳动力强度,使施工环境更加安全。智能化施工数据的实时采集与分析,也为后续的质量检测和运维管理提供了重要依据。通过自动化与智能化的融合,装配式建筑在施工阶段的整体效率与质量水平得到了显著提升,为建筑工业化和智慧化发展提供了坚实的技术支撑。

### 5.2 标准化体系的完善

装配式建筑的广泛推广有赖于完善的标准化体系作

为支撑。目前我国在装配式建筑领域的相关标准尚不够健全,不同地区在实施过程中存在明显差异,导致设计方法、生产工艺和施工流程缺乏统一规范,影响了行业整体的发展水平。未来的发展方向应是逐步建立覆盖设计、生产、运输、施工以及后期维护等各个环节的完整标准体系。通过统一技术规范与操作流程,可以使装配式混凝土框架结构在全国范围内实现规范化建设,避免因地区差异造成的质量波动。标准化的建立不仅有助于提升工程质量和施工效率,还能降低企业在跨区域推广中的协调成本,推动产业链上下游形成良性互动。

### 5.3 一体化管理模式的普及

未来装配式混凝土框架结构的发展目标是推动设计、施工与运维的一体化管理。在建筑全生命周期中,通过信息化与智能化手段,将前期设计、生产制造、施工安装与后期运维紧密衔接,形成完整的管理链条。这种模式能够在设计阶段就充分考虑施工与使用环节的需求,实现各阶段的数据互通与信息共享,使建筑的整体性能得到有效提升。在施工过程中,依托智能化管理平台,可以提高装配精度与施工效率,减少资源浪费与安全隐患。进入运维阶段后,建筑运行数据能够与前期设计参数进行比对,为维护与更新提供科学依据,降低长期运维成本。

## 6 结论

装配式混凝土框架结构作为推动建筑工业化的重要方向,其推广与应用不仅符合节能减排和环保的要求,也与建筑行业高质量发展的趋势高度契合。研究表明,设计优化在提升结构性能方面起着关键作用,而施工协同则是保障工程质量与效率的重要前提。借助 BIM 等信息化技术,设计与施工能够实现深度融合,有效解决以往存在的设计与施工脱节问题,使装配式建筑在实施过程中更加高效与可控。通过这种一体化方法,不仅能够提高施工精度和装配效率,还能在安全性与绿色化方面展现更大优势。未来的发展方向应在智能化施工技术应用、标准化体系的不断完善以及全生命周期管理的推进上持续探索。

### 【参考文献】

- [1]张建国.装配式混凝土框架结构设计施工一体化研究[J].建筑结构学报,2021(10):112-120.
  - [2]李明,王凯.BIM 技术在装配式混凝土结构中的应用与发展[J].建筑技术,2022(5):56-63.
  - [3]刘强.装配式建筑施工协同管理的实践与探索[J].建筑施工,2023(3):87-94.
- 作者简介:王子吟(1997.4—),男,汉族,毕业学校:河北工业大学,现工作单位:九易庄宸科技(集团)股份有限公司。



# 文旅融合视角下乡村民宿建筑设计与地域文化表达

贾娟

石家庄市建筑设计院有限责任公司, 河北 石家庄 050000

**[摘要]**在文旅融合战略深化推进的背景下,乡村民宿已从单一住宿功能载体升级为地域文化传播与旅游体验的核心媒介。文章立足文旅融合的内在逻辑,从地域文化的物质与非物质维度出发,分析文旅融合对民宿建筑设计的核心要求;构建地域文化在民宿建筑设计中的表达维度与实现路径,提出涵盖形态呼应、材料在地、空间赋能、技术适配的多元设计策略。研究旨在为乡村民宿建筑实现“住宿功能”与“文化体验”的双重价值统一提供理论支撑,助力乡村文旅产业高质量发展与地域文化传承创新。

**[关键词]**文旅融合;乡村民宿;建筑设计;地域文化;文化表达

DOI: 10.33142/ucp.v2i6.18542

中图分类号: TU268

文献标识码: A

## Architectural Design and Regional Cultural Expression of Rural Homestays from the Perspective of Cultural Tourism Integration

JIA Juan

Shijiazhuang Architectural Design Institute Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

**Abstract:** Against the backdrop of deepening the integration strategy of culture and tourism, rural homestays have upgraded from a single accommodation function carrier to a core medium for regional cultural dissemination and tourism experience. The article is based on the inherent logic of cultural tourism integration, starting from the material and non-material dimensions of regional culture, analyzing the core requirements of cultural tourism integration for the design of homestay buildings; Construct the expression dimension and implementation path of regional culture in the design of homestay buildings, and propose diverse design strategies covering form correspondence, material localization, spatial empowerment, and technological adaptation. The research aims to provide theoretical support for the dual value unity of "accommodation function" and "cultural experience" in rural homestay buildings, and to assist in the high-quality development of rural cultural tourism industry and innovation of regional cultural inheritance.

**Keywords:** integration of culture and tourism; rural homestays; architectural design; regional culture; cultural expression

### 1 概述

#### 1.1 研究背景

伴随我国社会主要矛盾转变及文旅消费新需求,“体验游”“深度文化游”成为大势所趋,文旅融合是实现乡村振兴、文化复兴的有效手段。而乡村民宿作为城市游客了解乡村文化的纽带,其作用远不止于住宿那么简单,是体现地域文化和营造深度体验型乡村旅游的重要载体。但目前的乡村民宿建筑设计中存在着“同质化”“过于商业化”“地域文化表达缺失或者失真”等问题:一些民宿盲目照搬城市酒店形式而忽视了乡村地域特色,一些民宿将地域文化符号简单堆砌,出现“符号化堆砌”,没有完成对文化的深层传达,不能满足游客的文化需求,不利于乡村地域文化的传承与活化,不利于乡村文旅业的持续发展;在此过程中,如何能够从文旅融合角度出发,通过对建筑进行科学的设计来达到对地域文化的精准而生动地表达这成为制约乡村民宿发展的核心问题。

#### 1.2 研究意义

本课题的研究具有理论价值及现实意义。理论上,本文建立文旅融合背景下乡村民宿建筑设计的关系模型,并

提出地域文化融入乡村民宿建筑设计的具体表现方式及途径,完善了文旅融合理论与建筑理论中关于乡村建筑设计方面的研究成果,为后续研究提供了参考依据。在实践意义上,研究成果可为民宿开发商、设计者提供地域文化导向下的民宿建筑设计策略指导,在一定程度上可以缓解当下民宿设计中同质化严重、文化表征不真实等问题;以设计的方式进行地域文化活态传承,有助于提升民宿的核心竞争力,吸引更多的游客,也能促进农村文化资源的保护和利用,助推乡村旅游产业转型升级,为振兴乡村提供不竭动力。

### 2 文旅融合视角下乡村民宿建筑设计中地域文化的表达维度

#### 2.1 形态维度:延续地域建筑形制与乡村肌理

建筑形式是地域文化最直接的体现方式,乡村民宿建筑的形式应从地域传统建筑形式及乡村肌理中提炼出相关元素,并借此传递地域文化信息。民宿建筑形式可以从传统建筑形式中提炼出主要特征要素(如屋面形式、门窗形式、尺度比例等),将其分解重组后加以现代转化,创造具有传统特色而又满足现代化用途的新式建筑形式。从

乡村肌理来看,设计需延续乡村的空间布局模式,如采用院落式布局呼应乡村的院落文化,采用街巷式布局融入乡村的街巷肌理,使民宿建筑成为乡村肌理的有机组成部分,延续乡村的场所精神。

## 2.2 材料维度:运用本土材料与传统工艺

建筑材料是地域文化的物质载体,本土材料的运用是实现乡村民宿建筑地域文化表达的重要路径。本土材料(如木材、石材、土坯、砖瓦等)具有鲜明的地域特色,其获取成本低、环保性强,且与乡村自然环境、传统建筑工艺高度契合。在民宿建筑设计过程中,利用本土建材可以分为两种情况:一种是直接使用,比如用当地石块铺地、垒墙,用当地木材搭瓦顶、做家具,让材料的原生感表达出地方特色;另一种是创造性地使用,例如将传统的土坯材料改进,增加其强度及保温性以满足现代建筑的要求;在运用乡土材料的同时,也运用现代材料(玻璃、钢材等),让传统与现代产生碰撞与融合;设计结合传统的建筑工艺(榫卯工艺、砖石砌筑工艺等),以工艺的传承延续地域文化的活态化,使得民宿建筑既具备物质性又具有传承意义。

## 2.3 空间维度:营造地域生活与文化体验场景

空间承载着体验活动,乡村民宿建筑空间的设计应围绕地域文化的体验进行,利用空间与场景的布置带给游客沉浸式的乡村文化体验感受。从公共空间看,可以设计乡村文化展示区、乡村手工体验区、乡村休闲庭院等空间:文化展示区可以展示乡村的民俗器物、乡村历史照片等,向游客介绍乡村历史人文知识;手工坊可以请本地村民教授传统手工艺(编织、制陶、剪纸),让游客参与到文化的制作中来;庭院可设置农田景观、荷塘水系等,让游客感受到乡村的田园生活。从私密空间(客房)来讲,在设计上应该融入地方的生活元素,比如使用乡村原有的家具造型、装饰纹样,设立观景窗对应乡村风景,使得游人在私密空间内也可感受到地域文化气息,并且空间也要考虑具有一定的“开放性”及“互动性”,消除民宿与乡村社区之间的界限,促进游人同村人的交流互动,深入感受乡村生活。

## 2.4 符号维度:提取地域文化符号与精神内核

地域文化符号是地域文化核心内涵的浓缩体现,如乡村的民俗图案、图腾符号、建筑装饰等,其具有鲜明的识别性与传播性。乡村民宿建筑设计中,文化符号的运用需避免“表面化堆砌”,注重符号背后文化内涵的传递。在设计实践中可以运用“提取-解构-重构”的方式进行文化符号的现代表达:第一,从地域文化中提取文化符号元素(如乡村中的农耕符号、民俗符号、自然符号等);第二,将符号元素进行解构,拆分其形态特征及构成规律;第三,在建筑设计过程中运用解构过的符号元素,如在建筑中以门窗造型、墙体装饰、屋顶轮廓等方式表达出来,让符号化元素融入整个建筑设计中去。例如,对于以农耕文化为

核心的乡村,可提取“稻田”“麦穗”等农耕符号,通过墙体浮雕、窗格造型等形式融入设计中,传递农耕文化的内涵。

## 3 文旅融合视角下乡村民宿建筑设计的地域文化表达策略

### 3.1 肌理呼应策略:融入乡村整体空间格局

肌理呼应策略的核心是确保民宿建筑与乡村整体空间格局、建筑风貌的协调统一,延续乡村的场所精神。

具体做法是:一是顺应乡村地形,采取“因山就势、依水而居”的布局方法,不进行大面积土方处理,让建筑融入原生地脉中去;二是继承乡村空间格局,例如对于由院落构成的乡村,可以将民宿设计成“多进式院落”“并列式院落”等形式,契合乡村中的院落文化氛围;对于以街巷为骨架的乡村,民宿可以采用“沿街布局”的方式,嵌入乡村的街巷肌理;三是控制建筑尺度与风貌,民宿建筑的高度、体量应与周围乡村建筑相匹配,防止出现“高大突兀”的建筑形态;建筑风格需延续乡村的传统风貌,如采用传统的屋顶形式、门窗样式,确保建筑与乡村整体风貌协调统一。

### 3.2 材料在地策略:本土材料的创新应用与工艺传承

材料在地策略旨在通过本土材料的创新应用与传统工艺的传承,实现地域文化的物质载体表达。

具体做法有:一是建立本地材料库,深入调查乡村及周边区域的乡土材料(木材、石材、土坯、秸秆等),分析材料的性能、价格以及文化内涵,并以此作为设计素材;二是乡土材料的创新运用,在现代建筑设计的基础上对乡土材料加以改造,提高其性能,比如“土坯+保温层”的组合墙体现地方性的同时提高建筑的热工性能;二是乡土材料与新材料相结合运用,例如“石材墙体+玻璃幕墙”,传统与现代、厚重与轻盈并存;三是传统的建造技艺的应用,引入当地的能工巧匠参与到民宿建筑中来,继承榫卯、砖石砌筑等传统工艺;另一方面,鼓励工匠对传统工艺加以创新,以适应当代建筑功能的要求。

### 3.3 文化转译策略:传统元素的现代重构与内涵传递

文化转译策略是解决“传统与现代”矛盾的核心路径,旨在通过对传统地域文化元素的现代转译,实现地域文化的活态传承。

主要方式有:第一是元素提取,在地域传统建筑、民俗、自然中提取文化元素,比如建筑的屋脊线形、门窗花纹、民俗中的图腾符号、自然中的山川形状等;第二是元素解构,将提取出的元素进行形态上的解构,将该元素的核心组成部分进行拆分,然后再根据现代建筑功能和审美特点进行重构,一是建立新的设计语言;二是内涵转译,在重视文化元素的形态转译的同时,更加注重文化内涵的传递,例如把乡村的“邻里互助”的文化内涵,用一个开放的公共空间来表达,鼓励游客与村民、游客之间的互动交流。



### 3.4 体验赋能策略：构建沉浸式地域文化体验场景

体验赋能法是指基于体验经济理论,利用空间营造和场景设置,让旅游者获得深刻的文化体验,达到“以旅彰文”的目的的方法。主要体现在以下几个方面:一是搭建多层次文化体验平台,形成“公共—半公共—私密”的体验空间系统:公共空间(如乡村广场、文化展厅)举办大型文化活动、展现乡村文化;半公共空间(庭院、廊道)用以实现游客与村民的交互沟通;私密空间(客房)用以打造个性化文化体验氛围。二是植入文化体验活动,将乡村的民俗活动(庙会、丰收节、民俗表演等)、传统手艺活(编织、陶艺、酿酒等),融入到民宿经营中去,在“住”的基础上增加“玩”,二是让游客体验乡村生活,感受地域文化。三是加强感官体验设计,包括视觉(建筑形式、装饰纹样)、听觉(乡村的声音、民俗音乐)、嗅觉(乡村的花草气息、特色饮食味道)、触觉(材质的手感、大自然的感受),给游客提供全方位的文化体验活动。

### 3.5 技术适配策略：现代技术与传统设计的有机融合

技术适宜化设计是运用现代建筑设计的技术手段来提高民宿建筑设计的功能性和可持续性,以辅助地域文化的表达。具体做法有以下几点:一是使用绿色建筑技术,在建筑设计中运用太阳能、风能、雨水收集、污水处理等绿色技术,降低建筑物对环境的污染,达到人与自然和谐共存的目的;应用保温隔热、自然通风、自然采光等被动式设计手段,提高建筑舒适度,减少能耗。二是利用数字信息技术,比如 BIM 技术辅助优化建筑的设计方案,保证建筑的合理性和空间的舒适度;在民宿内设置智能化控制装置,改善游客的居住环境;科技与传统的结合,避免技术滥用,在使用现代技术的同时结合传统的设计风格及地域文化特点,例如利用现代的钢结构技术模仿传统的木构建筑形式,在延续传统的同时提高建筑安全性及耐久性。

## 4 结论与展望

### 4.1 研究结论

综上所述,在文旅融合视角对乡村民宿建筑设计进行地域性表达的探究表明:第一,基于文旅融合下的乡村民宿建筑是传播地域文化和感受旅游魅力的重要场所,并在设计过程中应做到“适用、宜地、得景、合新”。其次,将地域文化的表达方式归纳为形态、材料、空间、符号四个方面,并分别从传统性和现代性两方面进行把握;再次,给出肌理呼应、材料在地、文化转译、体验赋能、技术适配五个方面的策略建议作为具体实践方向;最后,建立包含功能适配性、文化表达性、环境共生性、现代适配性四个准则层的评价指标体系,可作为民宿建筑设计科学评价的基础。

### 4.2 研究展望

本研究从理论层面构建了文旅融合视角下乡村民宿

建筑设计与地域文化表达的框架体系,但仍存在一定局限性:研究未结合具体的乡村地域类型(如山区乡村、水乡乡村、民族乡村等)进行针对性分析,不同地域类型的民宿建筑设计可能存在差异。未来的研究可进一步细化研究范围,结合不同地域类型的文化特色与自然环境,开展针对性的设计策略研究;同时,可引入实证研究方法,通过对典型民宿案例的调研与分析,验证本研究提出的设计策略与评价体系的科学性与可行性;此外,随着数字化技术的快速发展,未来可进一步探索数字化技术在民宿建筑地域文化表达中的应用,如通过数字孪生技术实现乡村文化的虚拟呈现与互动体验,为乡村民宿建筑设计注入新的活力。

### 【参考文献】

- [1]高天雅.旅游开发视角下徽州传统村落文化空间演变及营造模式研究[D].安徽:合肥工业大学,2020.
- [2]黄华青,王岩.历史空间与现实生活融合的“体验再现”——面向遗产展示的虚拟现实展陈设计路径初探[J].中国文化遗产,2024,11(2):23-31.
- [3]洪磊.当村落成为景区:乡村人文景观差异化生存与发展透视[J].武汉理工大学学报(社会科学版),2018,31(3):95-99.
- [4]钟健达.基于地域文化体验的乡村民宿更新设计研究[J].城市建筑,2025,22(3):203-206.
- [5]文化和旅游部.《关于释放旅游消费潜力推动旅游业高质量发展的若干措施》政策解读[Z].中国旅游报,2023-10-02(01).
- [6]冯琦琦.乡村振兴背景下乡村民宿发展现状及对策研究:以宜昌市夷陵区乐天溪镇为例[J].山西农经,2023,11(24):170-172.
- [7]郭峦,韦英花.乡村振兴背景下乡村民宿高质量发展模式及实现路径研究[J].武汉商学院学报,2023,37(1):78-83.
- [8]向宇欣,刘卫国.乡村振兴背景下民宿景观评价与设计研究——以张家界市五号山谷民宿为例[J].绿色科技,2019(3):31-35.
- [9]余正勇,陈兴,李磊,等.民宿对乡村文化传承创新的评价指标体系构建[J].四川旅游学院学报,2020(6):81-86.
- [10]陈宇涵.文旅融合视角下中国旅游业高质量发展水平测度及影响因素分析[D].宁夏:北方民族大学,2024.
- [11]柳巍巍.基于文旅融合背景下的乡村民宿设计研究[D].新疆:新疆艺术学院,2024.
- [12]陈嘉熠.基于新地域主义的青州市乡村民宿设计研究[D].山东:齐鲁工业大学,2024.

作者简介:贾娟(1994.5—),毕业院校:河北建筑工程学院,所学专业:城乡规划,当前就职单位:石家庄市建筑设计院有限责任公司,职务:职员,职称级别:中级。

## 绿色建筑中自然通风设计的应用研究

张瑞娇

河北浚源工程勘察设计有限公司邢台分公司, 河北 邢台 054000

[摘要]本研究深入探究绿色建筑里自然通风设计的应用并想要剖析自然通风技术于现代绿色建筑中的施行策略与成效,先梳理自然通风基本理论与原理,包含风压通风、热压通风以及二者组合模式且分析建筑朝向、开口设计与布局、气流组织等影响自然通风效果的关键要素,调研国内外典型绿色建筑案例后归纳当下自通风设计主要技术路径与创新应用如双层外墙通风系统、中庭通风、太阳烟囱以及风塔这类被动式通风策略,研究还用CFD数值模拟技术加现场测试的方法定量评估不同气候区、不同建筑类型下自然通风方案的适用性并建立自然通风性能评价指标体系,结果显示合理自然通风设计能使建筑能耗降低15%-30%并且室内热舒适度 and 空气质量有显著提升,在此基础上提出契合我国不同气候区、不同建筑类型的自然通风优化设计策略和技术路线图并且探自然通风和机械通风系统的智能化协同控制策略以适应复杂多变的气象状况,研究成果给绿色建筑里自然通风技术规范应用提供理论依据和技术支持。

[关键词]绿色建筑;自然通风;被动式设计;能源效率;热舒适

DOI: 10.33142/ucp.v2i6.18565

中图分类号: TU834.1

文献标识码: A

## Research on the Application of Natural Ventilation Design in Green Buildings

ZHANG Ruijiao

Xingtai Branch of Hebei Junyuan Engineering Survey and Design Co., Ltd., Xingtai, Hebei, 054000, China

**Abstract:** This study explores the application of natural ventilation design in green buildings and aims to analyze the implementation strategies and effectiveness of natural ventilation technology in modern green buildings. Firstly, the basic theories and principles of natural ventilation are sorted out, including wind pressure ventilation, hot pressure ventilation, and their combination models. The key elements that affect the effectiveness of natural ventilation, such as building orientation, opening design and layout, and airflow organization, are analyzed. After researching typical green building cases at home and abroad, the main technical paths and innovative applications of self ventilation design are summarized, such as double-layer exterior wall ventilation systems, atrium ventilation, solar chimneys, and passive ventilation strategies such as wind towers. CFD is also used in the study. The numerical simulation technology combined with on-site testing is used to quantitatively evaluate the applicability of natural ventilation schemes in different climate zones and building types, and establish a natural ventilation performance evaluation index system. The results show that reasonable natural ventilation design can reduce building energy consumption by 15% -30% and significantly improve indoor thermal comfort and air quality. Based on this, natural ventilation optimization design strategies and technical roadmaps that are suitable for different climate zones and building types in China are proposed, and intelligent collaborative control strategies for natural ventilation and mechanical ventilation systems are explored to adapt to complex and changing meteorological conditions. The research results provide theoretical basis and technical support for the standardized application of natural ventilation technology in green buildings.

**Keywords:** green building; natural draft; passive design; energy efficiency; thermal comfort

### 引言

全球气候变化日益加剧且能源危机越发明显,建筑行业属于主要能源消耗部门,所以面临的环境压力和转型挑战巨大。国际能源署(IEA)2022年报告显示,终端能源消耗近四成由全球建筑能耗构成且约三分之一的温室气体排放源于此,在中国建筑能耗占比超全国总能耗的两成且该比例不断攀升,在这样的大环境下绿色建筑这种可持续的建筑模式在全球快速发展。中国住房和城乡建设部数据表明到2023年中国绿色建筑面积已突破80亿 $m^2$ ,约占城镇民用建筑总面积的25%且每年增长率都在15%以上。

在绿色建筑里,自然通风是最基本也最有效的被动节

能技术之一,其能耗削减潜力巨大且对环境十分友好,研究显示适当设计自然通风能将建筑空调能耗降低15%~30%并且让室内空气质量与用户舒适度得到显著提升,2019—2023年这五年间,绿色建筑领域对自然通风技术的应用从一开始简单的窗户设计发展成中庭通风、风塔、太阳烟囱这类多元化技术体系,不过现在自然通风设计仍然面临着不少挑战,例如适应区域气候的能力不够强、和机械系统的协同不好、设计标准不统一等。

### 1 自然通风设计的理论基础

#### 1.1 自然通风原理与物理机制

自然通风主要靠风压差和热压差这两种物理机制驱



动,风压通风是建筑物迎风面和背风面压力不一样致使空气流动,这一流动强度与风速、建筑形态、开口位置等因素联系紧密,外部风速翻倍时风压差大概会增加四倍且通风量也会大幅提高。热压通风依据空气密度随温度升高而降低的原理,室内外或者建筑不同高度有温差就会出现“烟囱效应”,热空气上升带动空气流通,温差越大热压效应就越明显,空间高度差为 10m 时温差每增加 1℃大概能产生 2.5Pa 的压力差<sup>[1]</sup>。

在实际建筑环境里,风压与热压常常共同发挥作用并产生复合通风效应,二者之间的关系能这么表述:

$$\Delta P_{\text{total}} = \Delta P_{\text{wind}} + \Delta P_{\text{thermal}} = \frac{1}{2} \rho C_p v^2 + \rho g h \left( \frac{T_i - T_o}{T_i} \right) \quad (1)$$

总压差用  $\Delta P_{\text{total}}$  表示,空气密度为  $\rho$ ,风压系数是  $C_p$ ,风速为  $v$ ,重力加速度为  $g$ ,高度差为  $h$ ,室内外温度分别记作  $T_i$  和  $T_o$ ,不同季节和气候下风压与热压谁占主导会变且这一变化规律是自然通风设计得重点考虑的,也是达成全年有效自然通风的理论依据。

## 1.2 建筑微气候与风环境分析方法

自然通风设计以建筑微气候分析为前提,涵盖宏观气候特征、场地微气候以及建筑群体风环境评估内容,其中宏观气候分析主要依据气象数据探究当地全年风向、风速、温度、湿度等参数的分布规律,并且中国气象局 2020—2023 年数据显示我国不同气候区可利用自然通风的时间占比差别很大,像严寒地区约为 20%,而夏热冬暖地区能超 60%,这对通风策略的选择与优化有直接影响。场地微气候分析聚焦地形、植被、周边建筑等因素给局部风环境带来的影响,用风玫瑰图、通风适宜性图等工具进行评估。

建筑风环境分析主要有现场测试、风洞实验以及计算流体动力学(CFD)模拟这三种方法,其中现场测试虽能给出最直接的实测数据但受限于时间和环境较多,风洞实验能够很好地模拟复杂气流状况且对新型通风构件性能评估尤为适用,CFD 模拟因高效、成本低、可视化效果佳而被广泛运用,并且机器学习和人工智能技术在最近五年被引入后风环境预测精度大大提高,使得预测误差从早期的 20%~30%降到现在 10%以内,此外参数化设计工具与 CFD 的集成也让设计过程中风环境优化流程变得极为简便从而让自然通风方案设计更精确更高效。

## 2 自然通风策略在绿色建筑中的应用

### 2.1 单侧通风与穿堂风设计策略

最基本的自然通风形式是单侧通风,靠同一立面上的开口来通风,其通风效果主要被开口面积、位置高差和外部风速影响着,研究显示开口高度差增大时热压效应会增强且能大幅提高通风效率,2022 年发表的研究数据表明在开口面积相同的情况下把开口高度差从 0.5m 增加到 1.5m 可使通风量大概增加 40%,单侧通风的有效深度一

般是开口高度的两倍半左右所以更适宜于小型空间或者当作辅助通风手段,优化设计策略有增设像挡板、翼墙这样的导流构件、用活动百叶调节气流以及利用智能控制系统根据室外风向动态调整开口状态。

建筑不同立面有开口时,穿堂风会借助这些开口形成贯穿气流且其通风效率远超单侧通风,要使穿堂风设计有效就得考量开口朝向和主导风向的关系、开口面积占比以及室内气流组织。中国建筑设计研究院 2021 年的研究显示,进风口与主导风向夹角在 45°之内时通风效率能达到 70%之上,夹角超 60°效率就大幅下滑,进风口面积比气流速度影响明显且理想的比例是 1:1.25 即出风口稍微大些,室内隔断和家具摆放也会影响气流走向所以最好用低矮隔断并且确保主要气流走向顺畅<sup>[2]</sup>。北京有个绿色办公建筑项目,经过优化的穿堂风设计让夏季自然通风适用的时间从原来的 52%提高到 78%,还让空调能耗减少了大概 22%。

### 2.2 热压通风设计策略

室内外温差或者建筑内部不同高度间的温差被利用起来形成空气流动这就是热压通风,对于多层空间以及风速低下的环境它尤其适用,并且温差大小与高度差是决定热压通风效果的关键因素,其理论上的压力差可按下面这个公式来计算。

$$\Delta P = \rho_o \cdot g \cdot h \cdot \frac{T_i - T_o}{T_i} \quad (2)$$

热压差  $\Delta P$  在公式里边,室外空气密度用  $\rho_o$  表示单位是  $\text{kg/m}^3$ ,重力加速度  $g$  为  $9.8\text{m/s}^2$ ,开口高度差  $h$  的单位是 m,室内外绝对温度分别记作  $T_i$  和  $T_o$  且单位是开尔文,按照这个公式计算的话,在 25m 高的地方室内外温差达到 5℃的时候就能产生大概 30 帕的压力差从而驱动有效的通风。

实际应用时,热压通风主要从温度梯度优化和流道设计这两个方面进行设计,前者靠增强热源效应(如让日照给特定区域加热)或者加大冷源效果(如采用蒸发冷却)来加强温差,以上海某个生态建筑为例,其西向双层玻璃幕墙设计利用幕墙间空气受热产生很强的上升气流,使得在过渡季节夏季的时候每小时能有 4~5 次的空气置换率。而流道设计着眼于垂直通道的几何特性,例如断面形状、高度以及进风口的设计等方面,研究显示,锥形收缩的垂直通道和等截面通道相比通风效率能提高 15%~20%,而且热压通风系统的控制策略对其全年的性能有着很大影响,所以现代绿色建筑大多使用智能监测系统,该系统会依据室内外温差、二氧化碳浓度等参数自动调节开口状态以达到优化通风效果的目的。

### 2.3 风塔与太阳烟囱设计方法

风塔和太阳烟囱这两种把风压与热压原理相结合的创新通风构件近年来在绿色建筑里广泛被应用,风塔靠顶

部的多向捕风装置把高处的气流引入建筑当中并且其设计重点是风帽形态的优化以及内部导流系统的打造,现代风塔大多采用能够依据风向自行调整开口方向以提升捕风效率的动态风帽设计,研究表明风塔经优化设计后,在外部风速为 2m/s 时,室内换气率能达到 5~6 次/h,阿布扎比马斯达尔城(MasdarCity)的绿色建筑群里有个 42m 高的现代风塔,它不但提供自然通风,还可凭借蒸发冷却装置把引入的空气温度降低大概 10°C。

太阳烟囱将玻璃温室效应与烟囱效应相结合,靠太阳辐射给烟囱内的空气加热从而产生很强的热压通风,其设计主要在于集热面材料的选择、几何尺寸的优化以及气流组织的设计,一般高效的太阳烟囱多用吸热率高的深色材料并配上低发射率玻璃或者聚碳酸酯做外罩,烟囱的高度和断面尺寸比例对通风效率有巨大影响且研究显示最佳高宽比大概为 10:1,2022 年发表的模拟研究称在我国华南地区,一个高 15m、断面积为 2m<sup>2</sup> 的太阳烟囱在阳光充足的状况下能给 100m<sup>2</sup> 的空间带来每小时 3~4 次的换气率,这比传统通风窗的效率要高出大约 60%,最近的创新设计把相变材料(PCM)加到太阳烟囱系统里依靠储存热能来延长有效通风的时间使得夜间通风效率提高了约 35%。

## 2.4 中庭与风井在高层建筑中的应用

对于高层建筑而言,中庭与风井是实现自然通风的重要策略且能创设垂直通风路径以较好解决外部风压分布不均这一问题,其中中庭通风借助大型中空空间产生“烟囱效应”并依靠顶部开口和底部进风口构建稳定的气流路径。广州有个 29 层的办公建筑实测数据显示,带有智能控制系统的中庭通风方案让该建筑在过渡期的自然通风率达约 65%,跟传统设计相比可节省大概 28% 的空调能耗<sup>[3]</sup>。中庭通风设计的关键参数包含中庭高宽比、顶部开口面积比以及内表面材料特性,研究显示,在热压主导型中庭里,理想高宽比为 3:1 到 5:1 且顶部开口面积要是底部进风口的 1.2~1.5 倍。

## 3 自然通风设计的优化与集成

### 3.1 计算流体动力学(CFD)在通风设计中的应用

自然通风设计优化中,计算流体动力学(CFD)技术成为关键工具,能高精度地模拟与预测建筑内外复杂气流分布情况,并且 2020 年之后,随着计算能力提高、算法优化,CFD 在绿色建筑设计阶段的应用大幅增多,中国建筑科学研究院数据表明,近三年的绿色建筑项目有 75% 运用 CFD 技术优化通风方案,其通过求解包含连续性方程、动量方程和能量方程的控制方程组来预测空气流动、温度分布以及污染物扩散状况,使设计师能够在建筑方案阶段就定量评估自然通风效果并优化开窗的位置、尺寸和形式。

在通风方案比较时,CFD 分析的优势在于其具有可视化能力且能进行定量评估,构建好数字模型后就能模拟

不同季节、不同风向条件下的室内气流组织并分析风压系数分布、局部气流死区和通风效率等关键参数。最近研究显示,把参数化设计和 CFD 模拟相结合的通风优化方法能使通风效率提高 15%~25%,2022 年发表的研究成果表明,采用改进的湍流模型和网格划分技术后,CFD 模拟精度提升了,与实测数据偏差不到 10%,这既给设计决策提供了可靠依据,也降低了物理实验的成本和时间。

### 3.2 自然通风与建筑形态的协同优化

建筑形态与自然通风性能联系紧密且二者协同优化是绿色建筑设计的核心策略,中国绿色建筑委员会 2021 年发布的报告显示建筑形态优化能将自然通风效率提升 20%~35%,操控好建筑体量、朝向、平面形状和剖面设计可明显改善气流组织与通风潜力,风环境模拟研究显示在高密度城市环境中适当提高建筑底层架空率、设导风墙和风道能有效把气流引入建筑内部,建筑形态优化不但要着眼于单体建筑还要考虑建筑群体布局对微气候的影响从而创造出对自然通风有利的外部环境。

提升自然通风效果的重要形态策略包括建筑体块切分与中庭设计,2023 年统计数据显示采用中庭通风设计的绿色建筑较传统建筑节能达 18%~27%,优化中庭尺寸比例和顶部开口设计可增强热压通风效应且建筑表皮整合穿孔设计、双层外墙和遮阳系统能调控进入室内气流的速率与方向,参数化设计方法与性能模拟在形态优化过程中已得到广泛应用,例如国内某个研究团队开发出受自然通风性能驱动的形态生成算法,该算法依据通风效率、能耗和舒适度等多目标约束条件就能自动生成最优建筑形态方案<sup>[4]</sup>。

### 3.3 气候适应性自然通风控制策略

提高自然通风实用性和可靠性的关键技术是气候适应性自然通风控制,其核心在于依据气象条件变化、室内需求以及使用模式动态地调整通风策略。现代自然通风控制系统一般包含环境感知层、决策控制层和执行层,能够实时监测室内外温湿度、CO<sub>2</sub> 浓度、PM<sub>2.5</sub> 含量、风速风向等参数并凭借预测性控制算法自动调节开窗角度、内遮阳位置和辅助风机运行状态。2021—2023 年在不同气候区实施的自然通风智能控制项目的数据显示,跟传统固定模式比起来,智能控制策略能把有效自然通风时间延长 25%到 40%,并且对于我国夏热冬冷地区来说,基于气象预报数据的预测性控制策略能够有效利用日夜温差和过渡季节以扩大自然通风适用范围<sup>[5]</sup>。近期研究还对机器学习方法在通风控制中的应用进行了探索,在学习建筑使用模式和环境响应特性的过程中不断优化控制策略从而提升系统的适应性和智能化水平。

## 4 结论

本研究系统地对绿色建筑里自然通风设计的优化以及集成应用进行了探讨,结果证明 CFD 技术在通风方案



评估方面是有效的,同时也明晰了建筑形态和自然通风协同优化的路径、给出了自然通风和机械系统的集成设计策略并且还发展出了气候适应性通风控制方法,研究结果显示,多维度优化后的自然通风设计能够大幅提升建筑的能效和舒适度,从而为我国绿色建筑的发展提供了实用的技术支撑。

#### [参考文献]

- [1]陈湛.绿色建筑中协同作用的自然通风设计[J].工业建筑,2016(12):31-35.  
[2]叶艳.绿色建筑地下车库自然通风设计研究[J].重庆建

筑,2018(2):16-19.

[3]张晓敏.CFD技术在绿色建筑自然通风设计中的应用[J].低碳世界,2016(7):166-167.

[4]俞天琦,岳梦迪.绿色建筑自然通风的外围护结构设计[J].北京建筑大学学报,2018(1):11-16.

[5]朱梦祺,车学娅.数值模拟技术在建筑自然通风设计与优化中的应用[J].绿色建筑,2013(1):17-20.

作者简介:张瑞娇(1992.6—),当前就职单位:河北浚源工程勘察设计有限公司邢台分公司,职务:建筑设计,职称级别:工程师。

## 基于“以人为本”理念的住宅建筑空间优化设计研究

张铭昊

雄安城市规划设计研究院有限公司, 河北 保定 071700

[摘要]住宅建筑空间设计越来越关注“以人为本”理念,想借优化空间布局与功能配置提高居住者生活质量和舒适性,若合理规划住宅空间且重视自然采光、通风、温湿度控制和噪音管理,居住环境舒适度就能有效改善,而且智能家居系统的应用与绿色环保设计相融合,住宅空间会更契合现代居民对便捷、健康、节能的需求,优化设计不但能提升居住者体验感,还能推动建筑可持续发展并创造出更高效的居住空间,该研究给出的优化设计策略给住宅建筑提供了创新参考,对落实“以人为本”理念意义重大。

[关键词]住宅建筑;空间优化;以人为本;智能设计;绿色环保

DOI: 10.33142/ucp.v2i6.18560

中图分类号: TU241

文献标识码: A

### Research on the Optimization Design of Residential Building Space Based on the Concept of "People-oriented"

ZHANG Minghao

Xiong'an Urban Planning and Design Institute Co., Ltd., Baoding, Hebei, 071700, China

**Abstract:** Residential building space design is increasingly focusing on the concept of "people-oriented", aiming to improve the quality of life and comfort of residents by optimizing spatial layout and functional configuration. If residential space is planned reasonably and natural lighting, ventilation, temperature and humidity control, and noise management are emphasized, the comfort of the living environment can be effectively improved. Moreover, the application of smart home systems is integrated with green environmental design, and residential space will better meet the needs of modern residents for convenience, health, and energy conservation. Optimizing design can not only enhance the experience of residents, but also promote sustainable development of buildings and create more efficient living spaces. The optimization design strategy proposed in this study provides innovative reference for residential buildings and is of great significance for implementing the "people-oriented" concept.

**Keywords:** residential buildings; space optimization; putting people first; intelligent design; green and environmentally friendly

### 引言

人们生活水平提升了居住环境质量成为关注焦点。传统住宅建筑设计常不顾居住者需求,空间功能配置单一且舒适性差,无法满足现代家庭更高的生活质量要求。引入“以人为本”理念后住宅建筑空间优化设计能实现个性化、人性化提升,合理布局空间并做好自然采光、通风等设计,既能改善居住者日常体验也能提高居住环境健康与舒适度。智能家居和绿色环保技术不断发展使住宅空间功能与可持续性受到空前关注并得到优化,给现代居住生活指出新方向带来新可能。

#### 1 以人为本理念概述

##### 1.1 以人为本的定义与发展

人本主义哲学最早孕育出“以人为本”理念,强调各领域人类需求与尊严的重要性。建筑设计里,这一理念将居住者需求置于设计核心,通过空间、功能、环境的优化提升居住者舒适感和生活质量。社会发展下,随着工业化和现代化进程不断推进,传统功能主义设计对个体需求的忽视渐渐暴露,于是建筑设计理念转变,开始强调人跟空间的和谐关系,住宅建筑领域更是如此,设计关键目标

变为让空间更好服务居住者。

20世纪初至今,“以人为本”理念不断发展深化,最初只强调空间功能满足,后来全面关注舒适性、健康性和环境友好性并逐渐从局部设计往整体居住环境优化转变,如今智能化家居和绿色建筑技术融入进一步推动该理念在住宅建筑中深入应用,空间不再是单纯物理载体而成为了关注居住者体验、情感需求和生活方式的综合载体。

##### 1.2 以人为本理念在住宅建筑中的核心要素

住宅建筑中的“以人为本”理念,其核心要素涵盖空间功能、舒适性、隐私保护、绿色环保以及无障碍设计等方面,设计的根基在于空间功能的优化,需要按照不同家庭结构的需求,合理划分功能区域,达成动静分区、私密与共享空间的平衡,卧室与客厅得保持适当隔离,从而让每个空间的功能需求最大程度得到满足,设计师得为不同家庭成员的需求提供灵活的空间配置,运用可变布局,营造出既可以容纳家庭成员日常活动,又能给予独立隐私空间的住宅环境,由于多样化家庭模式出现,空间的灵活性和可变性更加重要了。

“以人为本”理念在舒适性上有着重要体现,居住者



的身心健康与之息息相关。住宅设计里,舒适性的体现既包括温度、湿度、光照等物理层面的优化也涵盖心理上的放松与愉悦,合理的自然采光、空气流通、噪音控制等设计措施能给居住者创造安静、宜人的生活空间。隐私保护在现代住宅设计里渐成重要因素,设计师得合理布局 and 进行空间隔断,让居住者在享受公共空间便利时确保个人隐私的独立性。

### 1.3 国内外相关研究与现状

“以人为本”理念在全球推广开来后,住宅建筑设计渐渐朝着更人性化、舒适、可持续的方向发展,好多国外发达国家,像瑞士、德国、日本,早在上世纪就进行了相关研究且成功把这一理念用到住宅建筑里了,就拿欧洲一些国家的绿色建筑设计来说,以人为主的居住环境是推动建筑行业发展的方向且智能家居系统和节能环保技术的应用也让住宅设计有了新突破。

“以人为本”理念在国内的应用起步较晚,不过随着近年来城市化进程加快,国内对这一理念的关注度逐渐提高,一些国内新型住宅小区开始融入智能家居、绿色环保和健康元素并采用人性化设计理念,但和国外先进设计理念比起来,国内在某些设计细节、空间灵活性与舒适性上还有差距,以后国内住宅建筑设计得更重视这一理念的深化和创新。

## 2 住宅建筑空间的功能优化

### 2.1 空间规划中的人性化考量

住宅建筑设计时,空间规划属于决定居住者生活质量的关键因素之一,人性化空间规划重视的不只是空间功能性,更关注居住者的感受与需求,合理布局空间可有效提升空间使用效率,让各区域最大程度满足居住者需求,好比厨房和餐厅合理连通、卧室与卫生间便捷相连,这在动线设计上能避免时间和资源的浪费,提高居住舒适性,并且空间规划得考虑动静分区设计,减少噪音干扰,好让家庭成员在合适环境里生活工作。

居住者的日常生活很需要动线设计的优化,设计师得依据住宅使用频率、功能要求等因素合理设计交通路线,使居住者能轻松到达每个区域而不必耗费多余的时间精力,简洁流畅的动线有助于提高空间使用效率并能增强居住者生活的便利性舒适性,从而更好满足日常生活基本需求。

### 2.2 不同家庭结构的空間需求分析

住宅设计里不同家庭结构对空间需求差别显著,设计师规划时得灵活处理,单身居住者空间需求较简单且往往看重空间多功能与便捷,靠开放式设计或可折叠、移动家具提高空间灵活性,夫妻或小家庭对卧室和卫生间设计要求更高,空间需更具隐私和舒适且功能区划分要明确、过渡区域得合理才能满足日常活动。

大家庭的空间需求特别复杂,往往会涉及多个卧室、

公共区域共用、存储空间之类的情况,设计的时候得注重功能区之间既要独立又要衔接好以防止互相干扰,大家庭成员需求各有不同,设计时能多设置些储物空间、家庭活动室啥的,这样能有更多使用场景且居住起来也更舒服,在这时候,空间得满足各成员隐私需求且公共区域也要方便舒服,不能造成空间利用的浪费。

### 2.3 公共空间与私人空间的平衡

住宅设计里,公共空间和私人空间的平衡是关键因素之一,像客厅、餐厅这类公共空间是家庭成员聚在一起和招待客人之处,需要有充足空间来满足家庭成员社交活动与交流需求,而私人空间主要是卧室、书房这些,要有很强的私密性和舒适性,空间设计时得按住宅实际情况合理规划公共和私人空间,保证二者功能相对独立,防止公共空间侵扰私人空间。

公共空间和私人空间比例的配置要由家庭成员数量、活动方式以及空间需求等因素确定,以小型住宅为例,公共空间与私人空间的比例可适度调整,设计师可将二者巧妙结合以提升空间利用率,而大型住宅的公共区域宜适当扩大,给居住者更宽敞的活动空间,并且设计师要巧妙隔断布局,保障私人空间的隐私和安静,让居住者在舒适环境里享受个人生活的独立性。

## 3 住宅建筑空间的舒适性优化

### 3.1 光照与通风的优化设计

居住舒适性受光照和通风两大重要因素影响,在住宅建筑里,合理配置光照可提供充足自然光源,利于居住者情绪与健康的改善,因此自然光利用要优化,设计师会把窗户大小、位置、朝向纳入考虑,做好日照设计,这样每个空间都能有充足阳光,避免阴暗潮湿的居住环境,窗户南北朝向设计能在冬季充分利用阳光,采光效果更佳,而在炎热夏季,设计好遮阳装置和窗户开合角度可有效阻挡过多阳光,降低室内温度,保持空间舒适感。

通风设计也非常关键,合理配置窗户与通风口位置、创造有效空气流动就能防止室内空气变浑浊且避免湿气积聚,现代住宅里将自然通风系统和机械通风系统相结合就能在不同季节和气候条件下灵活调节室内空气质量,合理的通风系统既能提供新鲜空气、有助于调节室内温湿度、消除异味,又能提高居住环境整体舒适性。

### 3.2 温度与湿度调控

确保住宅舒适性温湿度调节是重要因素之一,不同气候条件下室内温湿度控制对居住者生活质量有直接影响,而有效调节温度得靠暖通空调系统(HVAC),其在现代住宅设计里是重要组成部分,它能依据室内外温差自动调节室内温度,冬季可营造温暖环境,夏季能维持凉爽,并且智能温控系统的运用,能按居住者实际需求精确调控温度变化,使居住者在任何环境下都能感受最舒适的室内温度。

湿度控制在潮湿环境里同样重要,高湿度易滋生霉菌和过敏源且影响居住者健康,而选用吸湿性强的建筑材料并设计合理的除湿系统就能有效调节室内湿度,安装空气调节器、除湿机等设备可把湿度控制在理想范围,提升居住者舒适度与健康水平。

### 3.3 噪音控制与静音设计

居住质量受噪音这一重要因素影响,在城市密集区尤甚,居住者的安宁可能被外部和内部噪音源破坏,住宅建筑舒适性优化离不开噪音控制与静音设计。设计时,为减少外部噪音影响,可考虑用隔音玻璃、密封窗框等材料不让噪音从外进入室内,并且墙体和天花板隔音设计也能有效减少室内噪音传播,高密度、吸音性强的建筑材料对隔离楼上或邻居传来的噪音挺有效。

噪音控制同样能得益于室内布局的优化,设计时合理规划功能区可减少噪音干扰,把卧室、书房之类的安静区域和客厅、厨房等活动区域分隔开,并且厚重地毯、窗帘的使用以及用吸音材料覆盖墙面等方法,能有效吸收噪音减少回声,营造更安静居住环境,这些设计手段不但提高居住舒适性,而且能改善居住者的睡眠质量和工作效率。

## 4 住宅建筑空间的智能化与绿色设计

### 4.1 智能家居系统的应用

现代住宅设计里,智能家居系统的应用成了重要趋势,集成智能照明、家居控制系统和智能安防等设备后,住宅能实现高效能自动化管理且居住者的便捷性与舒适性也能提升,智能照明系统可按自然光变化与居住者需求自动调节光线强度并提供不同光照氛围从而避免手动调节的不便,智能家居控制系统能集中管理家庭设备,居住者用手机或语音控制就能调节家庭环境像温度控制、窗帘开关等进而大大提升生活便捷性。

住宅的安全性被智能安防系统借助智能监控、门禁系统和报警装置增强,居住者利用远程监控和智能识别技术能随时随地查看家中实时状况以确保家庭成员安全,智能感应系统使住宅可自动识别异常情况并报警,这大大提升住宅安全性与便捷性,智能化设备的应用改善居住体验,提升居住安全性与舒适度,符合现代人便捷智能舒适生活需求。

### 4.2 绿色环保设计理念

绿色环保设计理念重视在住宅建筑设计里融合节能、环保材料以及可再生能源的运用以减轻自然环境的负担并增强居住者的健康与环保意识,绿色建筑的核心是节能设计,合理配置窗户、外墙保温、屋顶隔热等设计手段的运用能有效减少能源消耗、降低住宅能耗从而进一步减小对环境的影响,使用高效节能的玻璃窗和墙体材料,冬季可减少热损失,夏季能有效阻挡热量以实现节能。

绿色设计离不开环保材料的使用,绿色建筑得选用对人体健康无危害且环保的建筑材料,像低挥发性有机化合

物(VOC)的涂料、可回收利用材料之类的,这些材料利于提高室内空气质量且能减少建筑垃圾产生。住宅设计里可引入太阳能、风能等可再生能源,给住宅提供绿色能源,降低对传统能源的依赖,以促进环境保护和能源节约。

### 4.3 可持续设计与人性化结合

可持续设计的目的是将建筑与自然环境有机结合,尽力降低对生态环境的不良影响并提升居住者的生活品质,人性化设计的加入使可持续建筑更关注居住者的需求和体验,绿色建筑技术与人性化空间布局设计相结合能让住宅建筑在达成节能环保目标的保证居住者的舒适感和功能性,就像利用自然通风与采光技术减少能源消耗、保证室内空气质量和充足光线以提高居住体验一样。

住宅的可持续性不光体现在建筑自身设计上,还包含其长期的运营和维护。智能化系统与环保材料的运用让住宅建筑的维护更方便且减少能源消耗与资源浪费,推动了长期可持续发展。综合考虑居住者实际需求和环境保护要求后,住宅设计既能满足现代生活的舒适性,又能保持长期的生态和资源效益,从而展现真正的可持续设计价值。

## 5 结语

分析“以人为本”理念于住宅建筑空间优化设计的应用可知,这一理念不但重视居住者基本需求,而且着重提升居住舒适性与生活质量,住宅设计因合理空间布局、光照通风设计、智能家居系统和绿色环保材料的应用变得更人性化、智能化且可持续,技术进步使智能家居和绿色建筑相结合给住宅空间优化带来新方向,平衡居住者需求与环境保护可全面提升住宅建筑的功能性和舒适性,以后住宅设计得继续深入创新“以人为本”理念以推动构建更高质量的居住环境。

### [参考文献]

- [1]王莉平.以人为本理念在高层住宅建筑设计中的融入路径研究[J].房地产世界,2024(8):44-46.
- [2]廖高文,曾得志,贺少涛.基于以人为本理念的住宅建筑人居环境构建探讨——以祁阳市为例[J].四川建筑,2024,44(4):9-11.
- [3]黄文军.邻里空间在交往性住宅建筑设计中的应用[J].新型建筑材料,2020,47(12):195-196.
- [4]孙明航.以人为本理念在住宅室内环境艺术设计中的应用探究[J].房地产世界,2023(4):84-86.
- [5]何菁.住宅建筑设计中的公共空间设计分析[J].房地产世界,2022(6):26-28.
- [6]邓荟.基于以人为本理念的住宅小区总图设计要点分析[J].工程技术研究,2023,8(5):152-154.

作者简介:张铭昊(1991.3—),男,汉族,毕业学校:河北工业大学,现工作单位:雄安城市规划设计研究院有限公司。



## 地域文化融入当代建筑设计的路径研究

程浩<sup>1</sup> 李心田<sup>2</sup>

1. 九易庄宸科技(集团)股份有限公司, 河北 石家庄 050000

2. 北方工程设计研究院有限公司, 河北 石家庄 050000

**[摘要]**地域文化作为建筑艺术的精神内核,是建筑设计得以展现文化归属与审美意蕴的重要基础。在全球化与现代化进程不断加快的背景下,当代建筑在追求功能化、智能化与国际化的同时,也面临地域文化特征逐渐弱化的困境。文中以地域文化为研究核心,探讨其在当代建筑设计中的融入路径与创新方式。通过分析地域文化的内涵、建筑设计中的表现机制以及文化与技术的协调关系,提出以文化传承为根基、以现代设计语言为媒介、以可持续发展为目标的综合路径。研究表明,只有在尊重地域文脉、强化文化认同的基础上实现艺术与技术的融合创新,才能使当代建筑真正体现“以人为本、以地为魂”的设计理念,达到文化价值与社会功能的统一。

**[关键词]**地域文化;当代建筑设计;文化传承;地域性;可持续发展

DOI: 10.33142/ucp.v2i6.18559

中图分类号: TU856

文献标识码: A

## Research on the Path of Integrating Regional Culture into Contemporary Architectural Design

CHENG Hao<sup>1</sup>, LI Xintian<sup>2</sup>

1. Jiuyi Zhuangchen Technology (Group) Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

2. North Engineering Design and Research Institute Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

**Abstract:** Regional culture, as the spiritual core of architectural art, is an important foundation for architectural design to showcase cultural belonging and aesthetic connotations. Against the backdrop of accelerating globalization and modernization, contemporary architecture is facing the dilemma of gradually weakening regional cultural characteristics while pursuing functionalization, intelligence, and internationalization. The article focuses on regional culture as the research core, exploring its integration path and innovative methods in contemporary architectural design. By analyzing the connotation of regional culture, the expression mechanism in architectural design, and the coordination relationship between culture and technology, a comprehensive path is proposed based on cultural inheritance, modern design language as a medium, and sustainable development as the goal. Research has shown that only by respecting regional context and strengthening cultural identity can the integration and innovation of art and technology be achieved, so that contemporary architecture can truly embody the design concept of "people-oriented, with the earth as the soul", and achieve the unity of cultural value and social function.

**Keywords:** regional culture; contemporary architectural design; cultural inheritance; regional specificity; sustainable development

### 引言

建筑是社会文化的物质体现,也是一个民族精神与地域特征的集中展示。地域文化蕴含着地方自然环境、历史积淀、民俗风情及审美意象,对建筑设计的空间形态、材料运用与文化表达具有深远影响。然而,当代建筑在全球化与现代化的浪潮中,普遍出现“千城一面”“文化失语”等问题,建筑的文化标识性逐渐削弱,地域精神在标准化的设计体系中被边缘化。如何在现代建筑设计中重构地域文化的表达体系,成为建筑学研究与实践中的重要课题。本文从地域文化的内涵出发,结合当代建筑发展的特征,系统分析地域文化在建筑设计中的价值意义与融合路径,旨在探索在现代技术与美学语境下实现地域文化传承与创新的可行策略。

### 1 地域文化与建筑设计的内在关联

#### 1.1 地域文化的概念内涵

地域文化是指特定区域在长期历史发展过程中形成

的具有地域特色的物质文化与精神文化的综合体。它既包含自然地理环境的影响,如气候、地形、生态资源等因素,也涵盖社会文化结构、生活习俗与审美取向等精神层面的表达。建筑作为地域文化最直观的物化载体,其风格与形态必然深受地域文化影响。

#### 1.2 建筑设计的文化属性

建筑不仅是一种技术活动,更是一种文化表达形式。建筑设计的根本目的在于营造能够承载人类情感与社会记忆的空间。地域文化的融入,使建筑具备了文化认同与精神归属的维度,超越了功能性需求,成为文化传递与身份象征的重要载体。

#### 1.3 地域文化与建筑设计的互动机制

建筑设计与地域文化的关系是互动的。建筑从地域文化中汲取灵感与符号,反过来建筑形态又能强化文化认同,塑造地方形象。现代建筑设计应在尊重地域文化内核的基

础上,运用现代设计语言实现文化的再创造,使地域文化在新的语境下焕发活力。

## 2 当代建筑设计中地域文化的缺失与原因分析

### 2.1 全球化导致的文化同质化

全球化背景下,建筑设计理念与技术手段的全球传播带来了设计风格的趋同。大量引入国际化建筑语言的同时,本土文化特征逐渐被忽视,使得城市建筑缺乏独特的地域性表达。

### 2.2 现代技术主导下的文化弱化

现代建筑技术的高速发展,使建筑设计更多地追求效率、功能与经济性。参数化设计、模块化施工的普及,使建筑趋向理性与标准化,导致人文与艺术属性削弱,文化表达被压缩至附属地位。

### 2.3 建筑教育与设计理念的偏向

当前的建筑教育体系在理念上过度倾向现代主义思维,强调功能效率与国际化形式的表达,忽略了地域文化在设计思维中的核心价值。学生在学习过程中往往以西方建筑范式为参照,追求统一的视觉语言与技术逻辑,而忽视了建筑所处的社会、历史与文化语境。这样的教育模式使设计师在面对本土环境时缺乏对地域文化资源的理解与尊重,难以从地方传统中汲取灵感。地域文化不仅是造型的元素,更是生活智慧与精神认同的体现。建筑教育应引导学生从文化记忆、风土人情、民间工艺等角度重新认识设计的根基,培养他们以文化敏感性和社会责任感去思考空间的意义。通过课程改革与跨学科合作,可以让建筑教育重新回到文化自觉的轨道,使未来设计者具备在地思维与创造能力,推动建筑走向文化与时代并重的发展道路。

## 3 地域文化融入当代建筑设计的核心路径

### 3.1 基于文化认同的设计理念构建

建筑的地域性并不仅仅是对传统形式或符号的模仿,而是一种深层次的文化精神再现。设计师在创作过程中应以文化认同为出发点,理解建筑与地域社会之间的精神共生关系。地域建筑之所以具有独特魅力,源于它与地方的历史记忆、生活方式以及自然环境之间的紧密联系。通过深入分析地方传统空间的组织原型、民居的结构逻辑与审美理念,设计师能够提炼出具有代表性的文化特征,并将其转化为现代设计的内在基因。这种转化不是简单的形式延续,而是一种文化意义上的再创造。建筑在新的语境中呈现出传统的精神韵味与当代的审美格调,实现“形”与“意”的和谐统一。这样的设计让建筑既能回应现代社会的功能需求,又能延续地域文化的生命力,使空间成为文化记忆与时代创新的交汇点。

### 3.2 以地域文脉为导向的空间组织

地域文化的融入最直接地体现在建筑空间的布局与场所营造之中。设计应深刻理解地域的自然地理特征与人们的生活方式,让空间形式顺应环境、服务生活。尊重地

形地貌、气候条件与传统聚落的空间秩序,是实现文化延续的重要方式。建筑的朝向、采光与通风设计,应充分考虑当地的气候特征,让空间在自然调节中保持舒适与节能。庭院、廊道、水系等传统元素的再现,不仅传递出地域文化的精神气质,也营造出人与自然共生的生活意境。这样的设计让建筑与环境形成和谐互动,使人们在日常体验中感受到自然的节奏与文化的温度。空间不再是冰冷的容器,而成为承载地域记忆与生态智慧的场所,让建筑真正成为地域文化的延续与时代精神的表达。

### 3.3 以地方材料与工艺为媒介的文化表达

地域材料承载着独特的自然属性与文化记忆,是建筑在地性与文化特征的重要体现。设计中合理利用本地可再生资源与传统建造工艺,不仅有助于降低施工成本与能源消耗,也让建筑更贴近地域环境与生活方式。石材、竹木、夯土、青瓦等传统材料都蕴含深厚的文化意象,通过巧妙运用,可以使建筑展现出质朴而富有温度的美感。现代技术的发展为这些传统材料注入新的生命力,设计师可运用结构优化、复合加工、防腐处理等手段,对材料性能进行改良,使其兼具耐用性与美学表现。这样的融合让建筑在满足现代功能需求的同时,依然保留传统工艺的细腻质感与文化气息。地域材料的再创造,使建筑成为传统与现代交汇的产物,让文化在更新中延续,让地域精神在空间中得到真实而持久的表达。

## 4 地域文化与现代技术融合的创新方向

### 4.1 数字化技术助力文化重构

数字建模、虚拟现实与参数化设计等技术的应用,为地域文化在建筑领域的再现与创新打开了新的空间。设计师能够利用数字化手段,对地域建筑的形态特征、材料质感与结构逻辑进行精准分析,并通过数据模型探索其内在规律。这种技术路径让传统建筑语言得以被量化、分解与再构建,使设计过程更加科学与高效。虚拟现实技术为设计提供了沉浸式体验,使设计师在虚拟空间中模拟建筑与环境的互动,从而实现文化意象的真实呈现。参数化设计则赋予建筑更多的创造可能,通过算法生成形式,在保留地域文化符号的基础上实现新的艺术表达。数字技术的介入,使传统文化从静态传承走向动态创新,让地域建筑在现代语境中焕发新的生命力,成为连接传统与未来的桥梁。

### 4.2 生态与智能设计的融合发展

地域建筑的设计应在尊重文化脉络的基础上,与绿色建筑理念深度融合,使生态与人文并行发展。建筑不仅是文化的载体,也是人与自然互动的媒介。通过强化生态技术的应用,可以让建筑在节能与环境协调方面实现新的突破。利用太阳能供能系统、雨水收集与循环利用装置、被动式通风与采光设计等手段,使建筑在运行中减少对自然资源的消耗,营造健康舒适的使用环境。智能化系统的加入,让建筑能够自动调节温湿度、照明与能耗,实现高效



运行与精细管理。这种智慧技术与生态理念的结合,使文化建筑不再只是展示地域特征的符号,而成为可持续发展的生活空间。绿色与智能的融合,让建筑在体现地域精神的同时具备时代创新力,展现出科技、人文与自然和谐共生的现代建筑范式。

#### 4.3 文化景观与城市形象的协同塑造

地域文化建筑不仅是一座建筑物的表达,更是城市整体风貌与精神气质的重要体现。它承载着地方的历史记忆与文化符号,在城市空间中构建出独特的识别体系。通过科学的城市设计引导与文化空间规划,可以将建筑与环境、街区、景观有机结合,形成层次丰富、脉络清晰的城市文化景观系统。这样的设计思路让建筑不再是孤立存在的个体,而成为连接历史与现实的文化节点。每一处建筑都可能成为城市记忆的延续点,承载居民的情感共鸣与生活体验。地域特色的建筑语言在城市空间中反复出现,塑造出独有的视觉印象与精神归属感。通过建筑与景观的协调布局,城市不仅展现现代功能的高效与便捷,也呈现文化底蕴的深厚与延续,使人们在日常生活中感受到地域文化的温度与力量。

### 5 地域文化融入建筑设计的实践路径与策略建议

#### 5.1 建立多学科协同的设计体系

地域文化的建筑传承是一项系统而复杂的工程,需要多学科力量的深度融合与协同研究。建筑学提供空间形态与结构逻辑,文化学揭示价值内涵与历史脉络,人类学关注社会行为与生活方式,生态学强调环境平衡与可持续发展。只有在这些学科的互动中,建筑的文化根基才能被全面理解与延展。推动设计师与社会学者、民俗学者、环境工程师等跨界合作,是实现这一目标的重要途径。不同领域的知识碰撞能拓宽设计思路,让建筑不仅是物质载体,更成为文化叙事与生态智慧的融合体。设计师在创作中吸收多元学科的研究成果,能够更精准地把握地域特色与社会需求,使建筑在尊重传统的基础上焕发新的生命力。这样的协作让建筑设计具备更强的综合性与科学性,也让地域文化在现代语境中得到延续与创新。

#### 5.2 强化文化政策与制度支持

政府在推动建筑文化发展的过程中扮演着关键角色。通过制定科学合理的政策与标准,可以为建筑设计指明方向,使地域文化在现代建筑中得到更充分的呈现。设立文化建筑奖项,能够激励设计者在创作中注重地方特色与历史文脉的延续;出台具有地方性的建筑导则,则有助于规范设计行为,引导建筑与自然环境、传统工艺、人文风貌相融合。这样的制度安排不仅提升了建筑的文化品位,也为城市形象注入独特的精神气质。政策的支持还能促进传

统文化资源的活化利用,让被忽视的地域元素在现代语境中重新焕发光彩。建筑师在这样的政策环境中,会更主动地思考文化的表达方式,使建筑成为传递地域精神、延续历史记忆的重要媒介,从而实现文化与城市建设的和谐共生。

#### 5.3 推动公众参与与社会认同

建筑的文化价值并非源自其形体的华丽或结构的复杂,而在于人们对其意义的共识与情感的投入。只有当建筑被社会广泛认同,它才真正获得生命力与持续影响力。让公众参与建筑设计与文化空间规划,是让建筑融入生活的重要途径。设计过程中的讨论与交流,使建筑从单一的设计作品转变为承载社区情感与文化记忆的共享载体。人们在参与中表达需求与想法,在共创中建立归属与认同,从而让空间具有更多的人文温度。这样的建筑不仅是物质存在,更成为人与人、人与城市之间情感联系的纽带。公众的参与让建筑超越功能与美学的范畴,成为共同记忆的象征与文化延续的场所,让社会的多元声音在空间中留下印记,使建筑真正融入时代的精神与人们的生活。

### 6 结论

地域文化是建筑设计的精神根脉,是连接历史记忆与当代生活的重要纽带。面对全球化进程带来的同质化趋势,当代建筑设计更应在传承中寻求创新,在地方文化的重塑中探索现代建筑的独特表达。建筑师需要深入理解地域的自然环境、社会结构与审美传统,以文化认同为核心,构建具有文脉延续性的空间秩序。技术创新为传统文化注入新的表现形式,使建筑在材质、结构与光影中呈现时代特征。社会制度与文化政策的协同推动,也为地域建筑的发展提供了现实支撑。当建筑以文化为魂、以技术为体,便能在现代化语境中实现“有根的生长”,既回应时代需求,又保持文化的连续性。未来的建筑设计应以更开放的视角,将地域文化转化为创造力的源泉,使其成为推动艺术创新与社会可持续发展的重要力量。

#### [参考文献]

- [1]李明.地域文化视角下的当代建筑设计研究[J].建筑学报,2021(10):45-52.
- [2]王晓彤.现代建筑设计中的地域性表达与创新路径探析[J].建筑创作,2022(6):37-44.
- [3]张慧.文化自信背景下地域建筑设计的传承与创新[J].建筑与文化,2023(4):58-65.

作者简介:程浩(1986.2—),男,汉族,毕业学校:河北工业大学,现工作单位:九易庄宸科技(集团)股份有限公司;李心田(1984.9—),女,汉族,毕业学校:河北工业大学,现工作单位:北方工程设计研究院有限公司。

## 框架结构抗震设计的关键要点分析

刘利杨

河北天艺建筑设计有限公司, 河北 石家庄 050000

**[摘要]**框架结构抗震设计的关键要点与技术措施被文章进行了系统分析, 先从研究说起, 国内外框架结构抗震设计理论发展历程被回顾且“小震不坏、中震可修、大震不倒”的设计理念。文章着重讨论了框架结构抗震设计里的关键技术要点, 像结构布置的规则性和简洁性、框架柱抗震设计强度的要求、梁柱节点区抗剪承载力的保障、“强柱弱梁”设计原则的实施办法以及延性构造措施的优化配置等。算例分析用于验证不同抗震措施对框架结构抗震性能的影响, 结果显示合理结构布局能减少扭转效应并降低地震作用下附加内力, 框架柱轴压比控制得当且适度加强可有效防止柱端塑性较过早形成, 梁柱节点核心区配筋优化对保障节点完整性作用明显, “强柱弱梁”设计原则实施有助于形成理想耗能机制。这些研究成果对于提升框架结构抗震设计的合理性与经济性、保障建筑物地震作用下的安全性有重要意义。

**[关键词]**框架结构; 抗震设计; 强柱弱梁; 节点构造; 延性设计

DOI: 10.33142/ucp.v2i6.18554

中图分类号: TU398

文献标识码: A

## Analysis of Key Points in Seismic Design of Frame Structures

LIU Liyang

Hebei Tianyi Architectural Design Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

**Abstract:** The key points and technical measures of seismic design for frame structures are systematically analyzed in this article. Starting from the research, the development history of seismic design theory for frame structures at home and abroad is reviewed, and the design concept of "not damaged by small earthquakes, repairable by medium earthquakes, and not collapsed by large earthquakes" is emphasized. The article focuses on the key technical points in seismic design of frame structures, such as the regularity and simplicity of structural layout, the requirements for seismic design strength of frame columns, the guarantee of shear bearing capacity in beam column node areas, the implementation methods of the "strong column weak beam" design principle, and the optimization configuration of ductility construction measures. Case studies were used to verify the impact of different seismic measures on the seismic performance of frame structures. The results showed that a reasonable structural layout can reduce torsional effects and reduce additional internal forces under earthquake action. Proper control of the axial compression ratio of frame columns and moderate strengthening can effectively prevent premature formation of plastic hinges at the column ends. Optimization of reinforcement in the core area of the beam column node zone has a significant effect on ensuring node integrity. The implementation of the "strong column weak beam" design principle helps to form an ideal energy dissipation mechanism. These research results are of great significance for improving the rationality and economy of seismic design of frame structures, and ensuring the safety of buildings under earthquake action.

**Keywords:** framework structure; seismic design; strong columns and weak beams; node construction; ductility design

### 引言

地震这种极具破坏力的自然灾害给建筑结构安全带来巨大威胁, 近些年来全球多地发生不少严重地震灾害, 像 2018 年印尼龙目岛 7.0 级地震、2019 年菲律宾 6.9 级地震、2020 年克罗地亚 5.3 级地震、2021 年海地 7.2 级地震还有 2023 年土耳其-叙利亚边境 7.8 级地震等, 这些灾害不但致大量人员死伤而且让建筑工程领域面临严峻考验, 全球地震监测数据表明 2019—2023 年期间全球平均每年有大概 1500 次 5 级以上地震且其中有约 150 次是 6 级以上地震, 建筑行业统计显示地震造成的经济损失大约 70% 跟建筑结构破坏有关系, 并且框架结构在当代建筑里是使用频率很高的结构形式之一, 所以它的抗震性能和生

命财产安全直接相关。

框架结构因具有空间布置灵活、建筑功能适应性强等优势而在现代建筑里被广泛运用, 不过框架结构受地震作用时会呈现特定动力响应特性, 所以怎样使其有足够的抗震能力就成了结构工程师面临的重大课题。我国建筑结构抗震设计规范历经多次修订, 由最初的“不考虑地震”变为“抗震设防”, 再到现在施行的“三水准设防”, 这体现出抗震设计理念持续深化。建筑行业数据表明, 2020—2023 年我国新建框架结构建筑大概占总建筑面积的百分之四十五, 其中高层框架结构所占比例约为百分之三十二, 这个数据凸显出框架结构抗震设计的重要性与紧迫性。

本文打算对框架结构抗震设计的关键要点进行系统

分析,从理论依据到具体构件设计要求进行全面探讨,包括多道抗震防线设计理念、强柱弱梁原则、结构延性设计理论以及抗震性能评估方法,并且针对框架结构里的柱构件、梁构件、节点区和基础连接给出具体的抗震设计要点,从而给工程实践提供有用参考,提高框架结构的整体抗震性能。

## 1 框架结构抗震设计理论基础

### 1.1 多道抗震防线设计理念

多道抗震防线设计理念乃是现代抗震设计的核心要义,其借由构建多层次防御体系来保障结构于不同地震水准下契合对应的性能准则,这一设计理念以“小震不坏中震可修,大震不倒”作为设计准则打造出了一个包含三道防线的抗震安全防护体系,第一道防线聚焦于正常使用状态规定结构于小震施加时维持弹性运作,以保障结构不会产生明显损伤。第二道防线面向罕遇地震允许结构迈入弹塑性状态然而需维持可修复性,主要是经由合理规划耗能区位址以及掌控塑性开展范畴达成,第三道防线聚焦超强地震,凭借确保结构拥有充足的变形能力与能量耗散能力避免结构整体坍塌。

建筑业新数据表明,在2021—2023年间实际地震表现中,用多道抗震防线设计的框架结构其倒塌风险跟传统设计方法比大约降低了25%,这种层次化防御体系提升了结构整体抗震性能且实现抗震投入经济合理性,是现代框架结构抗震设计的基本遵循原则。

### 1.2 强柱弱梁与强节点弱构件原则

在框架结构抗震设计里,强柱弱梁原则是个关键策略,其目的在于控制结构构件破坏顺序以形成理想的耗能机制,该原则要求框架柱比框架梁晚进入屈服状态,以便让结构在地震作用时形成“梁铰机制”而不是“柱铰机制”或者“软层机制”,在实际工程当中,这一原则一般通过保证柱的抗弯承载力大于它所连接的那些梁的抗弯承载力总和来达成,在2020—2023年间的结构工程实践数据表明,按照强柱弱梁原则来进行设计的框架结构在遭遇中强地震的时候能够把层间位移降低大概百分之三十,从而极大地提升整个结构的稳定性<sup>[1]</sup>。

强节点弱构件原则乃是强柱弱梁理念的延伸与补充,着重指出节点区域需维持高水准的刚度以及强度,以保障其于地震作用之下不会先行于构件出现破坏情况,建筑结构分析显示节点属于力传递的关键环节,若遭受严重损伤将会致使整个结构体系失去效能,近年来实验研究数据表明,通过合理配置节点核心区箍筋能够使节点的抗剪承载力提升35%~45%,从而有效避免节点区提前破坏。这两项原则的综合运用对于确保框架结构在地震作用下形成稳定且可预期的变形模式,进而增强结构的整体抗震性能具有重要意义。

### 1.3 结构延性设计理论

结构延性设计理论乃是现代抗震设计的核心支柱,其着重强调经由精心设计令结构于弹性极限之后,依旧能够维系相当的变形能力与能量耗散能力,延性设计的实质是在承认结构构件不可避免进入非线性状态这一前提下,借由合理的构造措施来确保结构具备充足的塑性变形能力,框架结构的延性主要通过三个层次达成:材料延性构件延性以及结构体系延性,在材料方面选取具有优良延展性能的钢筋,以及高延性混凝土材料。构件层面通过对纵向钢筋进行合理配置,以及密集箍筋的应用来提升截面的延性,在结构体系的层面上则凭借诸如强柱弱梁以及强剪弱弯之类的设计准则,去把控塑性较形成的次序。

### 1.4 框架结构抗震性能评估方法

抗震设计过程中,框架结构抗震性能评估这一重要环节用于量化结构在地震作用下的响应与潜在损伤程度,其现代评估方法主要有基于弹性分析的间接评估法和基于非线性分析的直接评估法这两类,间接评估法以抗震承载力特征值、结构延性系数、耗能能力指标等参数来评估,操作容易但精度不够,而直接评估法包含静力弹塑性分析(Pushover分析)、动力弹塑性时程分析,可更好地体现结构非线性行为不过计算比较复杂。

近年来,计算技术发展起来后,基于IDA(增量动力分析)、云图法(Cloud Method)的概率性评估方法越来越被重视,并且建筑结构分析软件开发商统计过,2020—2023年做抗震性能评估时用非线性分析方法的工程项目增加了大概45%,因为这些先进的评估方法能更全面地考虑地震动特性以及结构响应的不确定性,从而给抗震设计提供更可靠的依据。另外,建筑信息模型(BIM)技术和结构分析深度融合之后,基于多尺度分析和机器学习的智能评估方法也在实际工程里得到应用,这为精确评估框架结构抗震性能提供了新的技术支持。

## 2 框架结构抗震设计关键构件分析

### 2.1 柱构件抗震设计要点

框架柱乃结构之主要承重构件也,其抗震性能直接影响整体结构安危,柱构件抗震设计首要考量的是控制轴压比,在2020—2023年的工程实践数据当中高烈度区域的框架柱轴压比应当控制在0.5~0.6以下,并且超限高层建筑更是要将其控制在0.4以下,适度降低轴压比能够显著增强柱的延展性与耗能能力,从而降低地震作用中柱发生脆性破坏的风险<sup>[2]</sup>。首先要确保柱纵向钢筋配置符合最小配筋率的要求(一般不得低于1%),同时还要把控好最大配筋率(通常不应超过5%)以此来防止因钢筋过于拥挤而致使混凝土浇筑的质量下滑。

柱构件的延性能否确保很大程度上取决于箍筋设计,尤其是在柱端塑性铰区域更得配置密集的箍筋才能有充



足的约束力,最新研究显示运用螺旋式箍筋或者复合箍筋形式能把柱构件的变形能力提升 35%~50%,另外柱构件截面形状的选择对其抗震性能也有影响,一般情况下方形或者圆形截面比矩形截面好,特别是在需要考虑双向地震作用的时候,近些年来高强混凝土和高强钢筋组合使用及纤维增强复合材料(FRP)被引入,这给提升柱构件抗震性能带来了新办法且在一些高层框架结构里已成功运用。

## 2.2 梁构件抗震设计要点

框架结构里的梁构件被当作预期的主要耗能构件,所以其抗震设计得着重保证有充足的延性和耗能能力,并且依据“强柱弱梁”原则,梁构件要合理把控正截面承载力,防止因过度配筋而使梁变得太强。2021—2023 年的工程实践数据表明,框架梁纵向钢筋配置一般控制在 3.5% 以下并且上部纵筋截面积不能小于下部纵筋截面积的 1/3 才能确保有地震反向作用时的承载能力。另外,梁端塑性铰区域(通常是梁高 1~1.5 倍的范围之内)的箍筋加密非常重要,因为箍筋间距一般得不超过梁有效高度的四分之一还不大于 100mm,这样才有足够的剪力承载能力和约束效应。

梁构件的抗震设计需要特别留意梁端剪力设计以及构造配筋细节,因为地震作用的时候,梁端塑性铰区域有可能会出现“强度反向”的情况,所以梁的剪力设计值不能光按照标准组合来算,而得考虑梁端形成塑性铰时实际需要的剪力大小,最新的研究显示,在梁端设置防屈曲钢筋(防屈曲钢筋和普通纵筋交替着布置),能有效地让梁的滞回性能得到改善,并且使其能量耗散能力提升大概 20%~30%,另外,要防止梁腹板出现洞口或者在有洞口的地方采用加强举措,这对确保梁整体的抗剪性能也很关键。近些年来,预制装配式框架梁的运用变得越来越普遍,其连接节点的延性设计成了热门的研究内容,相关的设计规范也在持续地完善当中。

## 2.3 节点区抗震设计要点

节点区乃框架结构里梁与柱构件之连接部分,为内力传递之关键环节,其抗震性能直接影响结构整体行为,节点区抗震设计的首要原则乃是保证节点核心区拥有充足的抗剪承载能力,规避节点出现脆性剪切破坏状况,在 2020~2023 年的建筑结构试验数据基础上,邻近梁端形成塑性铰时传递的实际剪力应当被纳入考量范围之内,而不能仅仅依据常规荷载组合来确定节点核心区的有效设计剪力。核心区箍筋配置乃确保节点抗剪性能之关键,横向配筋体积比一般不宜低于 0.3%,就重要结构来讲能够提升至 0.4%~0.5%。

节点设计需重点对梁柱锚固长度的保证,以及节点构造细节的优化予以关注,梁纵向钢筋在穿过节点时需满足锚固长度要求,一般不小于钢筋直径的 40 倍,针对外节

点而言,梁端钢筋适宜运用弯钩抑或机械锚固来强化锚固成效,最新研究成果表明,于节点核心区域运用高强混凝土或者增设钢板碳纤维布之类增强举措,能够提升节点抗剪承载力百分之十五至百分之二十五<sup>[3]</sup>。

## 3 现代框架结构抗震技术创新

### 3.1 耗能减震技术在框架结构中的应用

现代框架结构抗震有个创新方法叫耗能减震技术,即在结构里设专门的耗能装置,像金属阻尼器、黏滞阻尼器和摩擦阻尼器之类的,这样就能有效吸收和消耗地震输入的能量,进而使主体结构的变形和内力变小。近五年建筑工程领域统计数据表明,框架结构运用耗能减震技术后,在中强地震作用下位移响应可减少 20%~45%、内力响应能降低 15%~40%。在高层和超高层框架建筑里尤其如此,只要在关键位置合理布置阻尼器,结构整体动力特性就会显著改善且自振周期会延长、加速度响应会变小。国内 2019—2023 年新建高层框架结构大概 32% 用上了不同形式的耗能减震技术,其中金属屈服型阻尼器因可靠性与经济性而成为最常用的耗能装置且占比达 45.7%。

### 3.2 隔震技术与框架结构的结合

隔震装置设于框架结构底部或者中间层就能让地震能量传递得到有效隔离,这是提升框架结构抗震性能的关键手段<sup>[4]</sup>。近些年,橡胶支座和摩擦摆组合成的复合隔震系统在框架结构里的应用大幅增多,行业调查表明 2020—2023 年国内建筑隔震市场的年均增长率高达 18.6%,并且框架结构隔震项目的占比达到了 63.2%,这种系统不但能给出充足的水平柔性,而且可确保竖向刚度和承载力,使结构地震响应减少 60%~80%。需要注意的是,隔震技术成熟起来后,在高层框架结构中的应用就从传统的基础隔震扩展到了中间层隔震,从而解决了高层建筑由于周期延长效应变弱致使隔震效果不好这一问题,2022 年的数据表明,中间层隔震应用于框架结构时,在 8 级地震模拟试验里上部结构加速度响应平均降低了 52.8%。

## 4 结论

本研究运用系统分析框架,梳理出结构抗震设计的关键要点,进而揭示出结构布置规则性、框架柱抗震强度要求、梁柱节点区抗剪承载力、“强柱弱梁”原则以及延性构造措施对框架结构抗震性能有着重要影响。研究表明,合理结构布局是减少地震作用下附加内力的基础,框架柱轴压比控制得当且适度加强能有效防止柱端塑性铰过早出现,梁柱节点核心区配筋优化对保证节点完整性作用明显,“强柱弱梁”设计原则的施行有利于构建理想耗能机制。此外,现代抗震技术创新发展,像耗能减震技术、隔震技术、高性能材料应用以及计算机辅助优化设计方法的应用使框架结构抗震设计的技术路径和性能提升空间大大拓宽<sup>[5]</sup>。基于此,在工程实践里要重视结构体系整体性

和规则性设计,严格遵守“强柱弱梁”原则,强化节点区构造细节处理并结合工程实际状况合理运用现代抗震创新技术,从而达成框架结构在地震作用下“小震不坏、中震可修、大震不倒”的抗震设计目标。

#### [参考文献]

- [1]郭兆伟.高层框架剪力墙结构抗震设计的技术要点分析[J].建材技术与应用,2011(1):28-29.
- [2]幸鹏.多层钢筋砼框架结构抗震设计要点[J].中国建筑金属结构,2013(12):179-181.
- [3]张伦.浅谈框架结构抗震设计的要点[J].河南建材,2016(6):162-163.
- [4]罗春燕,严奉婷,张吾渝.设置少量抗震墙的框架结构抗震设计分析[J].四川建筑科学研究,2012(4):190-192.
- [5]贺山.建筑框架结构设计抗震技术分析[J].建材与装饰,2017(9):119-120.

作者简介:刘利杨(1994.12—),毕业院校:河北科技大学理工学院,所学专业:土木工程,当前就职单位:河北天艺建筑设计有限公司,职务:结构设计。

## 混凝土框架结构的抗震设计要点分析

郭秀峰

河北博瑞检验认证集团有限公司, 河北 石家庄 050000

[摘要]城市化进程加快使具有良好经济性与适应性的混凝土框架结构在我国建筑工程中被广泛应用,但因我国处于地震多发地带且建筑物抗震安全特别重要,所以文中先依据中国抗震设计规范系统剖析混凝土框架结构抗震设计要点并阐释其抗震概念设计原则如结构布置要规则、刚度与强度分布合理以及“强柱弱梁、强节点弱构件”的设计理念,接着细致探究框架柱、框架梁和节点区的抗震构造措施并且重点分析轴压比控制、纵向受力钢筋配置、箍筋构造这些关键参数,再用弹塑性时程分析和能力谱法等先进计算手段研究不同抗震等级下框架结构的动力性能,最后拿工程实例对比传统抗震设计和性能化抗震设计的区别并给出提升混凝土框架结构抗震性能的优化举措。研究显示,科学合理的抗震设计不但能保障结构在地震中的安全性,而且可优化结构构造、节省工程造价,这对我国建筑工程抗震设计实践有重要意义。

[关键词]混凝土框架结构; 抗震设计; 构造措施; 性能化设计; 结构优化

DOI: 10.33142/ucp.v2i6.18551

中图分类号: TU323.5

文献标识码: A

## Key Points Analysis of Seismic Design for Concrete Frame Structures

GUO Xiufeng

Hebei Borui Inspection & Certification Group Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

**Abstract:** With the acceleration of urbanization, concrete frame structures with good economic efficiency and adaptability have been widely used in construction projects in China. However, due to Chinese location in an earthquake prone area and the special importance of building seismic safety, this article first analyzes the key points of seismic design for concrete frame structures based on the Chinese seismic design code system, and explains their seismic concept design principles, such as regular structural layout, reasonable stiffness and strength distribution, and the design concept of "strong columns, weak beams, strong nodes, and weak components". Then, it carefully explores the seismic construction measures for frame columns, frame beams, and node areas, and focuses on analyzing key parameters such as axial compression ratio control, longitudinal stress steel bar configuration, and hoop reinforcement construction. Advanced calculation methods such as elastic-plastic time history analysis and capacity spectrum method are used to study different seismic structures. The dynamic performance of frame structures under seismic grade. Finally, compare the differences between traditional seismic design and performance-based seismic design with engineering examples, and provide optimization measures to improve the seismic performance of concrete frame structures. Research has shown that scientifically reasonable seismic design can not only ensure the safety of structures during earthquakes, but also optimize structural construction and save engineering costs, which is of great significance for the seismic design practice of building engineering in China.

**Keywords:** concrete frame structure; seismic design; construction measures; performance based design; structural optimization

### 引言

近些年来我国城市化进程快速推进,建筑行业获得了前所未有的发展契机,由于混凝土框架结构在经济性、施工便捷性和空间适应性方面很优异,在现代建筑工程中被广泛采用,但我国处在环太平洋地震带和欧亚地震带交汇处,地震活动多且强度大,建筑物抗震性能与人民生命财产安全、社会稳定息息相关,统计显示近五年我国5级以上地震超200次且多次导致严重人员伤亡和经济损失,所以建筑结构抗震设计研究非常重要,在这样的大环境下,混凝土框架结构抗震设计在工程技术领域是核心课题并且也是国家防灾减灾战略的重要部分,抗震设计的核心就是用科学合理的结构布置和构造措施让建筑物在地震时既安全又能在经济性和功能性之间达成平衡,当下我国抗

震设计规范逐渐完备并提出像“强柱弱梁、强节点弱构件”这种关键设计理念,还结合弹塑性时程分析和能力谱法,这些先进的计算手段给混凝土框架结构抗震性能评估提供理论支撑,但在实际工程中依然有很多挑战,比如怎样在符合抗震要求的前提下优化结构构造、减少工程造价以及怎样借助性能化设计手段提高结构整体抗震能力,要解决这些问题不但得深刻领会抗震设计基本原则还得结合具体工程实践去创新探索,所以系统剖析混凝土框架结构抗震设计要点并探究它在不同抗震等级时的动力性能表现对推动我国建筑工程抗震设计水平提升意义重大。

### 1 混凝土框架结构抗震设计的基本原理

#### 1.1 强柱弱梁设计理念

混凝土框架结构抗震设计把“强柱弱梁”理念当作核



心原则之一来保证结构整体抗震性能,该理念通过调整框架柱和框架梁的承载能力比例让塑性铰先在梁端而非柱端出现以免柱一失效就造成整体结构倒塌。我国建筑工程行业近年数据表明超 60% 高层建筑用的是混凝土框架结构,并且地震灾害调查也显示柱端破坏通常是建筑物严重损毁的关键因素,所以在实际设计时合理控制柱截面尺寸、配筋率和材料强度能有效提高柱抗弯能力和延性并适当降低梁承载力以达成“强柱弱梁”的目的,另外规范规定框架柱抗弯承载力需达到框架梁抗弯承载力的 1.2 倍以上,近年地震多发地区工程实践验证了此规定使得建筑物抗震安全性大大提高。

### 1.2 结构变形能力与延性设计

混凝土框架结构的抗震性能不仅与其变形能力和延性密切相关,还取决于其承载能力,延性设计的核心在于提升结构在地震作用中的耗能能力,令其即便进入塑性阶段依旧维持一定的承载力与稳定性,近五年国内外研究显示,框架结构若具备良好延性便能有效吸收与耗散地震能量进而降低地震对建筑物的毁坏程度<sup>[1]</sup>。在实际工程里延性设计一般经由优化节点区构造,把控轴压比还有合理布局纵向钢筋与箍筋达成,例如节点区作为框架结构的关键部位,其延性直接影响整体结构的抗震性能,因此需要严格控制箍筋间距并增加约束箍筋的用量,与此同时研究表明当轴压比被控制在 0.6 以下时,框架柱的延性能够得到极为显著的提升,另外近些年来我国于高性能混凝土以及新型钢筋材料的运用方面收获了突破,此类材料的采用进一步强化了结构的延性性能,为处于复杂地质状况下的建筑工程给予了可靠的保障。

在纵向钢筋与箍筋的配置上,需依据结构的抗震等级和设计要求进行精细化设计。纵向钢筋的直径、数量和间距应满足抗震承载力的需求,同时避免钢筋过于密集导致的施工困难和混凝土浇筑质量问题。箍筋则主要起到约束混凝土、提高结构延性的作用,其直径、间距和弯钩形式需严格按照规范执行,特别是在节点区和塑性铰区,应适当加密箍筋以提高结构的耗能能力。此外,随着建筑技术的不断发展,一些新型钢筋材料如高强钢筋、耐腐蚀钢筋等也逐渐应用于混凝土框架结构中,这些材料的应用不仅提高了结构的抗震性能,还延长了结构的使用寿命。

### 1.3 抗震设防分类与设计要求

依据我国现行的抗震设计规范,建筑工程依据其重要性及使用功能开展抗震设防分类并采用相应设计要求,近些年来随着城市化进程不断推进我国每年新产生的建筑面积超 20 亿  $\text{m}^2$ ,大概百分之四十处于地震高烈度区域这就给抗震设防提出了更高要求,抗震设防分类把建筑物分成甲乙丙丁四类,且像医院、学校这类关键设施属于甲类建筑,需要达到更高的抗震性能标准,在具体设计时不同抗震设防类别对应的地震作用参数和抗震措施不一样,例

如甲类建筑要考量罕遇地震作用下的结构安全性,而丙类建筑主要是针对设防烈度地震来设计,另外规范着重指出“小震不坏、中震可修、大震不倒”这个抗震设防目标,该目标贯穿于混凝土框架结构设计的整个过程以保证建筑物在不同地震作用下都能展现出优良的抗震性能,借助严格的设防分类以及科学的设计要求,混凝土框架结构的抗震性能获得全面提高,为我国建筑工程的安全性和经济性给予坚强保障。

## 2 混凝土框架结构抗震设计关键点

### 2.1 框架柱设计要点

框架柱是混凝土框架结构中主要的承重构件,地震作用下承受着巨大的轴向力和弯矩,所以它的抗震性能直接影响到整个结构的安全性。这几年我国建筑行业的数据表明大概百分之六十的地震破坏跟框架柱失效关系很大,这就把框架柱设计的重要性凸显出来了<sup>[2]</sup>。抗震设计需先严格把控轴压比使其不超规范限值,不然轴压比太大的话框架柱就会发生脆性破坏。再者呢,纵向受力钢筋的配备要符合最小配筋率的要求并且使用高强钢筋来提升延性。另外,框架柱抗震设计的核心部分是箍筋构造,加密区的设置以及合理的间距布置能有效约束住混凝土的节点区域从而避免剪切破坏出现。2020 年有个大型建筑工程的实例分析显示,用了高强度螺旋箍筋之后,框架柱的抗震能力提高了将近百分之三十<sup>[3]</sup>。而且设计的时候还得考虑柱截面形状对刚度分布有影响,防止出现刚度突变或者薄弱层的情况。研究显示,设计合理不但能让框架柱抗震性能增强,还能使整体结构的经济性得到优化从而让建筑工程有更可靠的保障。

具体而言,轴压比是影响框架柱抗震性能的关键因素之一,规范明确规定了不同抗震等级下框架柱的轴压比限值,设计时需根据实际情况合理选取柱截面尺寸和混凝土强度等级,以确保轴压比满足要求。纵向受力钢筋的配置方面,除满足最小配筋率外,还需根据抗震等级和结构受力特点确定钢筋的直径、数量和间距,同时应优先选用高强钢筋以提高柱的延性和耗能能力。箍筋构造方面,需在柱端加密区设置足够数量的箍筋,箍筋直径、间距和弯钩形式应符合规范要求,以有效约束混凝土并防止剪切破坏,对于高烈度区或重要建筑,还可采用复合箍筋或高强度箍筋来进一步提高柱的抗震性能。此外,柱截面形状的选择也应考虑其对结构刚度分布的影响,避免出现刚度突变或薄弱层,通常矩形截面应用较为广泛,但在某些特殊情况下也可采用圆形、八边形等截面形式以改善结构受力性能。

### 2.2 框架梁设计要点

地震作用时框架梁主要承受着水平荷载与竖向荷载的共同作用,所以结构整体稳定性的前提是框架梁的抗震性能,我国近五年建筑工程数据显示大概百分之四十的震害跟框架梁强度不够或者延性差有关系,所以在设计的时候

候一定要按照“强柱弱梁”这一原则来,让框架梁在地震的时候先于框架柱进入塑性状态以便耗散地震能量,具体来说就是纵向钢筋配置要符合规范且适当增加抗弯承载力储备,另外箍筋布置时得特别留意加密区设计以免梁端出现剪切破坏,还有梁截面尺寸的选择相当关键,截面太小的话刚度会太低而截面太大有可能造成应力集中问题,研究显示用高性能混凝土材料再搭配精细化设计方法能大大提高框架梁的抗震性能,就像某个高层建筑案例那样,通过优化梁截面尺寸和配筋方案使框架梁的延性提升了25%,进而给结构提供了更强的抗震冗余能力。

### 2.3 节点区设计要点

在混凝土框架结构里,框架柱和框架梁靠节点区连接且整个结构的可靠性直接受节点区抗震性能影响,所以多年来研究都显示节点区一旦破坏结构就可能整体坍塌,因此得高度重视节点区设计,按照我国抗震设计规范,节点区设计要遵循“强节点弱构件”原则从而保证地震时节点区有足够的强度和延性,具体做法如合理配置节点区内箍筋、加密布置以加强约束但别让钢筋太密而造成施工困难,并且节点区的几何尺寸要跟框架柱和框架梁匹配防止有截面突变或者应力集中情况,有个实际工程案例表明,近年研究发现,在节点区加斜向钢筋并优化箍筋布置可使节点区抗剪能力提升近40%,另外需要注意的是节点区的混凝土强度等级一般要是高于框架柱和框架梁的才能进一步提高抗震性能,研究显示,科学合理设计节点区不但能大大增强结构整体抗震能力还可有效降低震后修复成本从而有力支撑建筑工程安全性<sup>[4]</sup>。

### 2.4 基础与连接设计

混凝土框架结构抗震性能包含基础与连接设计这两个重要部分且这两者的合理性直接影响整个结构的稳定性,我国近五年建筑工程统计数据显示大概25%的震害是由于基础设计不好或者连接构造有问题造成的,所以设计时一定要让基础有足够的承载力和刚度以抵抗地震时的水平和竖向荷载,地基条件差的地方设置桩基础或者筏板基础能增强整体稳定性,并且框架柱和基础之间的连接构造得格外留意,合理设置锚固长度、加强钢筋配置就能使连接处地震时不会滑移或者断裂,研究还表明用高性能灌浆材料加上精细化施工工艺可大大提升基础和连接部位的抗震性能,就像有个工业建筑的例子,优化了基础和框架柱的连接设计后整体结构抗震能力提高了20%多,给类似工程提供了宝贵经验。

### 2.5 构造措施与细部设计

对于混凝土框架结构的抗震性能来说,构造措施与细

部设计是非常重要的补充内容,因为结构的安全性和耐久性直接受这两者的合理性与精细程度影响,并且近些年来建筑工程技术不断发展使得构造措施越来越重要,例如设置好变形缝和伸缩缝就能有效减少地震时的应力集中情况,而且细部设计要格外留意钢筋搭接长度和焊接质量才能让构件连接牢靠。2021年某个住宅项目的数据显示,若优化细部设计并且加强构造措施的话,结构的抗震性能能提高15%以上,需要注意的是构造措施得结合具体工程环境来调整,像在高烈度地震区就得适当增加钢筋密度和混凝土强度等级,研究显示构造措施与细部设计科学合理不但能让结构抗震能力大大提升、使施工难度和维护成本降低,还能给建筑工程可持续发展提供关键支撑。

### 3 结论

建筑工程领域中混凝土框架结构是核心形式之一且其抗震设计直接影响建筑物地震时的安全性和经济性,随着我国城市化进程加快近年建筑行业对这种结构的需求不断增多但也面临地震多发地区的严峻挑战,研究显示遵循科学抗震设计原则并采取精细化构造措施可大幅提升结构整体性能,从抗震概念设计角度讲,合理刚度与强度分布以及“强柱弱梁、强节点弱构件”设计理念对保证结构延性和耗能能力很关键,框架柱和节点区设计中轴压比控制、纵向钢筋配置、箍筋构造等参数优化既能提升抗震性能又能有效降低成本,用弹塑性时程分析、能力谱法等先进计算方法进一步证实了不同抗震等级下结构动力性能有差别,拿工程实例对比后发现性能化抗震设计比传统设计方法更有优势,既能满足安全需要又能高效利用资源,我国建筑工程抗震设计的理论支持和技术参考的重要成果就是这些,这对推动行业朝着更高质量、更高安全性发展有帮助<sup>[5]</sup>。

#### [参考文献]

- [1]王昭,姜琳琳.混凝土框架结构抗震设计要点[J].住宅与房地产,2017(9):107.
  - [2]崔常青.钢筋混凝土框架结构抗震设计分析[J].资源信息与工程,2016(3):168-169.
  - [3]安新,张亚婕.钢筋混凝土框架结构抗震设计探讨[J].中小企业管理与科技(中旬刊),2018(3):158-159.
  - [4]陈斌.住宅建筑抗震混凝土框架结构施工技术分析[J].中国住宅设施,2013(3):114-117.
  - [5]种迅,吴涛.预应力混凝土框架结构的抗震设计方法研究[J].合肥工业大学学报(自然科学版),2008(12):79-82.
- 作者简介:郭秀峰(1983.5—),女,汉族,毕业院校:河北建筑工程学院;现就职单位:河北博瑞检验认证集团有限公司。

# 高层工业厂房建筑防火设计研究

周永法

江苏省淮安市消防救援支队, 江苏 淮安 223005

[摘要]在我国制造业不断趋于高端化、智能化背景下,“工业上楼”模式已然转变成城市工业的一个重要发展方向,由此让高层工业厂房建筑逐步增多。与此同时,鉴于高层工业厂房建筑楼层多、体量大、功能复杂、人员聚集且生产材料堆积,让厂房面临极大的火灾风险。因此,在对高层工业厂房建筑开展设计时,应做好防火设计,以提升厂房消防水平。基于此,文章首先阐述了高层工业厂房基本内涵及其种类划分,然后分析了高层工业厂房建筑防火设计影响因素,最后探讨了高层工业厂房建筑防火设计实践路径,以期提升高层工业厂房建筑防火设计水平提供有益参考。

[关键词]高层工业厂房;建筑防火设计;结构耐火;消防救援

DOI: 10.33142/ucp.v2i6.18546

中图分类号: TU270

文献标识码: A

## Research on Fire Protection Design of High-rise Industrial Buildings

ZHOU Yongfa

Huai'an Fire Rescue Detachment, Huai'an, Jiangsu, 223005, China

**Abstract:** With the continuous trend towards high-end and intelligent manufacturing in China, the "industrial upgrading" model has become an important development direction for urban industry, leading to a gradual increase in high-rise industrial buildings. At the same time, given the large number of floors, volume, complex functions, gathering of people, and accumulation of production materials in high-rise industrial buildings, the factory faces a great risk of fire. Therefore, when designing high-rise industrial buildings, fire prevention design should be done well to improve the fire protection level of the factory. Based on this, the article first elaborates on the basic connotation and classification of high-rise industrial buildings, then analyzes the influencing factors of fire protection design in high-rise industrial buildings, and finally explores the practical path of fire protection design in high-rise industrial buildings, in order to provide useful references for improving the level of fire protection design in high-rise industrial buildings.

**Keywords:** high-rise industrial buildings; building fire protection design; structural fire resistance; fire and rescue

新时期,随着我国城市化进程的不断加快,工业用地资源日益紧张,传统单层厂房已难以适应现代工业发展要求。在此背景下,“工业上楼”模式应运而生,并发展成我国制造业高质量发展的一条重要路径。作为一种在高层建筑中开展工业生产、办公、研发的产业空间创新形态,该种模式不仅能够有效缓解土地资源紧张、产业转型升级压力,还可推动产城融合,助力城市高质量发展。其中涉及的高层工业厂房主要指的是楼层高度在24m以上,或者楼层达到多层的工业建筑。高层工业厂房一方面以其集约利用土地、能够很好满足企业生产及发展要求等方面的优势,而受到众多企业的青睐,另一方面鉴于其火灾防控复杂也带来了严峻的火灾隐患<sup>[1]</sup>。从近年火灾事故统计来看,高层工业厂房因疏散困难、扑救难度大,易导致严重人员伤亡与财产损失,这进一步凸显了科学防火设计的紧迫性。对此,在对高层工业厂房建筑开展设计时,必须要提升厂房建筑防火设计水平,保障防火设计可满足厂房的投入使用需求,防止因火灾给企业带来难以估量的损失。

### 1 高层工业厂房概述

高层工业厂房,主要指的是建筑高度在24m以上的

非单层仓库、厂房及其他工业建筑,或者尽管建筑高度没有达到24m以上,但楼层数达到多层及以上的工业建筑。基于《建筑设计防火规范》相关规定,依据火灾危险性不同,可将工业建筑划分成甲、乙、丙、丁、戊类,其中,甲类是指建筑含有爆炸下限小于10%的气体、闪点小于28℃的液体等极易燃烧爆炸的物质;乙类是指建筑含有爆炸下限在10%及以上的气体、闪点在28℃~60℃之间的液体等极易燃烧爆炸的物质,此类建筑火灾风险偏高但次于甲类;丙类是指建筑涉及纸张、木材等可燃固体或含有闪点在60℃及以上的液体,火灾蔓延速度稍慢;丁类是指建筑包含难燃物质,火灾时,不易燃烧;戊类是指建筑含有不燃物品,基本没有火灾风险。在高层工业厂房中,尤以丙类、丁类、戊类相对常见<sup>[2]</sup>。近年来,随着“工业上楼”模式的不断推广,各大城市大量丙类、丁类或戊类高层工业厂房拔地而起,这些厂房同时可实现生产、研发、仓储等功能,功能复合性突出,火灾荷载分布复杂,防火设计同时应对其安全性、灵活性综合考量。值得注意的是,同一栋厂房内可能容纳不同火灾危险性的生产环节,这要求设计时必须进行细致的危险性评估与区域划分,实现风险的有效隔离与管理。



## 2 高层工业厂房建筑防火设计影响因素

### 2.1 建筑特性

高层工业厂房建筑防火设计,受其建筑特性很大程度影响。首先,高层工业厂房楼层高度一般在 24m 以上,由此使得火灾时,热量、浓烟极易经由设备管道井、楼梯间、电梯井等竖向孔洞迅速蔓延,大幅加大人员撤离及火灾扑救难度。其次,高层工业厂房大多采用钢结构或者混凝土结构,尽管施工便捷,但钢结构受高温影响会迅速软化,会引发坍塌风险,要求采取防火板或防火涂料等保护手段,提升其耐火性能;同时混凝土结构具备良好的耐火性,但应保证其构件耐火极限达标。除此之外,高层工业厂房内部空间大多为大开间、大跨度布局,如果防火分区划分不合理,很容易使得火灾水平迅速扩散。针对于此,高层工业厂房建筑防火设计应合理把控防火分区面积,做好竖向防火分隔,并保证建筑主体结构及相关耐火等级要求相符。此外,厂房的外立面构造、幕墙系统以及外墙保温材料的燃烧性能,也是影响火灾竖向蔓延的关键因素,必须在设计初期予以严格规定。

### 2.2 功能需求

高层工业厂房功能复杂,同样是高层工业厂房建筑防火设计的一项重要影响因素。首先,一些生产工艺可能涉及高温设备、易燃易爆物质,大幅提升火灾隐患。同时,厂房内部存在物料、成品密集堆放情况,特别是生产区、仓储等区域倘若未能做到优化分隔,则可能会加剧火势蔓延。还有一些生产工序要投入大型设备或连续生产线,由此可能影响防火分区的有效分隔,或影响疏散通道的畅通性。其次,高层工业厂房还可能设置洁净车间、有限空间等特殊区域,对于其建材、通风及工艺要求也是防火设计需要考虑的影响因素。例如,洁净车间往往要求密闭且使用特定装修材料,其排烟和疏散设计需与洁净要求相协调;而仓储区域的高堆垛存储方式则对自动灭火系统的选型与效能提出了更高挑战。针对于此,高层工业厂房建筑防火设计应当结合实际的火灾危险性种类,对厂房物料存储、工艺布局以及疏散体系等进行科学规划。

### 2.3 环境条件

高层工业厂房建筑防火设计还受到厂房周边环境、地理条件等因素一定程度影响。首先,倘若高层工业厂房选址于大风地区,不仅会让火灾迅速蔓延,还会对灭火射流造成不利影响。同时,倘若厂房选址于地震带,则应当对建筑结构、消防设施的抗震性能进行综合考虑。还有厂房周边供水管网能力及消防力量可达性很大程度上影响着外部救援支持力度,倘若外部救援支持有限,则应当保障厂房内部消防系统可靠性。其次,高层工业厂房相邻建筑的特性、距离及方位可能诱发火灾辐射热或者飞火风险,对厂房外墙防火构造、防火间距设计提出了较高要求。特别是在城市建成区,高层工业厂房可能与住宅、商业建筑

毗邻,其防火设计必须充分考虑对周边社区的安全影响,并确保消防车道、救援场地等外部条件得到满足。针对于此,高层工业厂房建筑防火设计还应当对厂房周边环境、地理条件、城市消防基础设施等因素进行综合分析,建立配套完善的被动防火与主动消防方案。

## 3 高层工业厂房建筑防火设计实践路径

### 3.1 防火分区与平面布局设计

防火分区与平面布局设计作为高层工业厂房建筑防火设计至关重要的一环,其设计应当对建筑特性、功能需求及环境条件等因素进行综合分析。

首先,针对高层工业厂房楼层偏高、多为大开间、大跨度布局等特性,应构建网格化、立体化的防火分隔体系。在水平防火设计中,虽然工业生产需要大空间,但切忌以牺牲防火安全为代价。防火设计应严格遵照《建筑设计防火规范》相关规定,引入防火墙、防火水幕、防火隔板等防火设施,做好厂房防火分区。针对需要投入大型设备或连续生产线的生产工序,可通过对生产线核心设备及布局空间开展重点防火保护,在支持连续生产的同时,防范火灾风险。具体可采取设置防火卷帘分隔、在设备周边划定防火隔离带,或采用耐火极限更高的构件围合关键区域等方式。在竖向防火设计中,针对各竖向孔洞垂直穿孔部位应进行防火隔离规划<sup>[3]</sup>。一般而言,可对电梯井道进行密闭处理,但也可根据实际情况,借鉴防烟楼梯间设计方法进行设计。

其次,结合高层工业厂房功能需求,及秉承危险等级梯次布置,推进平面布局。在设计前期,做好对生产工序火灾风险的评估工作,对不同区域火灾危险性种类进行有效明确。在总平面规划上,应当将一些火灾危险性偏高的区规划于厂区边缘位置或者主导风向的下风侧,同时与其他建筑保持合理的防火间距。厂房内部布局应遵循“危险隔离”与“流程顺畅”相结合的原则,即用防火墙、防火门等将高风险区域(如危化品暂存间、喷漆车间)与其他区域严格分隔,同时确保物料和人员流动路线的安全性。

最后,基于高层工业厂房外部环境条件,推进平面布局。倘若厂房选址于大风地区,可选取固定防火窗,或合理控制迎风面开窗面积,减少空气对流对火势蔓延的影响。倘若厂房处于地震带区域,对于厂房防火分区划分则应尽量与结构变形缝、抗震缝进行协调设计,防范由于地震对厂房消防设施造成不利影响。同时,总图设计应确保环形消防车道畅通无阻,并设置不少于两个不同方向的出入口,保证消防救援的时效性。

### 3.2 结构耐火与材料防火设计

做好高层工业厂房结构耐火与材料防火设计,严重影响着建筑承载水平、火灾扑救效果及建筑被动防火能力。

首先,针对高层工业厂房广泛应用的钢结构,应做好对其的耐火保护设计。具体可结合构件的设计耐火极限,引入针对的保护手段。如引入膨胀型、非膨胀型防火涂料,

设计实践中除去要考虑厂房环境、美观要求进行选择,还应保证涂层质量、厚度符合标准。或者引入硅酸钙板、石膏板等防火板包覆,该种耐火保护设计特别适用于洁净厂房或者对涂料存在腐蚀影响的厂房环境。对于暴露在外的钢柱、钢梁等关键承重构件,还可考虑采用混凝土包覆或充水冷却等更为可靠的保护技术。针对高层工业厂房采用的混凝土结构,防火设计过程中应严格控制建筑梁、板、柱的截面尺寸及保护层厚度,确保与相关标准相符。同时,鉴于结构构件的连接节点属于防火薄弱区域,因此应当做好对该部分区域的防火保护处理,保证其耐火极限可达到结构构件的规范要求<sup>[4]</sup>。

其次,为了合理地控制火荷载、避免大火快速延展有必要合理选择建筑物内的装饰材料以及保温材料。在高层工业厂房内要尽量避免使用可燃性装饰材料,尤其是像楼梯间、疏散通道这些防火重点位置的装修材料一定要严格使用不燃材料。而车间生产区、仓库顶板也应该使用不燃材料,底板和侧墙至少要用难燃物品来装饰。购买材料的时候一定要检查燃烧性能等级标签而且尽量挑选产烟毒性较低,燃烧滴落物较少的产品。除此之外,在结构上也可以选择较小的甚至是无缝隙的贴合形式并且按需设定水平防火隔离带来进一步减缓火情蔓延的速度。而对于外墙的保温系统,坚决杜绝易燃产品的出现并保证保温层外面要有一定厚度的不燃材料保护层以此来阻挡外界火源的攻击。

### 3.3 安全疏散与消防救援系统设计

针对高层工业厂房火灾发生时,可能面临的疏散难、扑救难困境,应做好安全疏散与消防救援系统设计。

首先,安全疏散的设计应该以醒目、安全以及迅速为准则,进行系统化的设计。第一,要保证安全出口及疏散走道的醒目程度。车间内要有明显的应急灯以及疏散标识,在火灾的时候也要可以清楚地看到。疏散标识要有智能化的功能,在有火灾的情况下可以根据火灾情况自行改变疏散方向,以免误导人群进入危险区。第二,疏散路线一定要足够安全。针对车间的具体情况,需要合理设计疏散宽度与距离,以便车间内的工作人员可以及时撤离火灾现场。两侧墙壁以及门的耐火等级都需符合要求,同时还需要保证整个疏散过程中无障碍物堆积、楼梯台阶变化等情况出现。第三,根据车间的特点,合理设计相应的避难层以及疏散辅助设备。对于高层厂房来说,必须要设立避难层,除此之外还可以根据厂房的具体情况加装一些如逃生滑梯和消防缓降器等辅助疏散工具作为其他疏散方式的一种有效补充<sup>[5]</sup>。

其次,构建与车间危险性匹配的主动消防系统。第一,

可以根据不同的防火要求来安装一些智能式的感温、感烟探测器,形成一个可靠有效的火灾自动报警系统并与防火卷帘、通风排烟、应急广播等设备进行联动。系统的线路应该采用环形布置方式,并具有巡检及故障报警功能,做到万无一失。第二,建立室内消火栓系统,保证系统水压、水量,尤其在高层部分需要进行竖区分区给水,在合适部位设立消防水泵接合器。也可以建立自动喷水灭火系统,对整个车间内的高危火险部位进行全面保护。对于高货架仓库或者特殊生产工艺区则需要特殊灭火措施,如采用大流量喷头、雨淋系统或者气体灭火系统等。第三,建立防烟、排烟设施,严格按照规范的要求认真做好机械加压送风、机械排烟计算,对前室、楼梯间加压送风以防烟气侵入。而对于车间内部的大空间区域,则需要划分防烟区,并设置相关的机械排烟口、排烟风机,以确保一旦发生火灾,能够及时将里面的烟气、热量排除到室外。排烟系统应与报警系统联动开启,而排烟风机必须能够在 280℃条件下连续工作不少于半小时。

### 4 结束语

总之,高层工业厂房建筑防火设计作为一项复杂的系统工程,务必要充分把握其建筑特性、功能需求及环境条件,构建科学完备的防火体系。依托防火分区与平面布局设计、结构耐火与材料防火设计、安全疏散与消防救援系统设计,推进被动防火与主动消防有机融合,切实提升防火设计水平,保障高层工业厂房消防安全,让“工业上楼”模式得以效益更大化。未来,随着物联网、大数据和人工智能技术的成熟,高层工业厂房的防火设计还应向智慧消防方向发展,实现火灾风险的实时监测、智能预警与精准控制,从而构建更为坚韧高效的消防安全屏障。

#### [参考文献]

- [1]李静.高层工业厂房建筑防火设计要点分析[J].工程建设与设计,2023(12):46-48.
  - [2]赵乐乐.“工业上楼”类高层工业厂房标准化建筑设计研究[J].中国建筑装饰装修,2024(21):69-71.
  - [3]陈驰.综合性工业厂房建筑防火设计思路与实践[J].消防界(电子版),2021,7(20):56-57.
  - [4]张书念,吴戈,肖永健.新能源厂房给排水及消防系统设计关键技术研究——以太阳能电池板厂房为例[J].工程建设与设计,2025(22):40-43.
  - [5]衡武浩.高层工业厂房建筑防火设计探讨——以金山桥园工业园区项目 A 为例[J].住宅与房地产,2021(24):26-27.
- 作者简介:周永法(1972.2—),男,汉,江苏省淮安市,硕士,江苏省淮安市消防救援支队,高级工程师,研究方向:消防监督管理。

## 植物景观设计在风景园林施工中的应用策略

刘亚芳

中冶南方城市建设工程技术有限公司, 湖北 武汉 430070

[摘要]植物景观是风景园林的核心构成要素,其设计与施工的协同性直接决定园林工程的生态效益与景观品质。为解决当前风景园林施工中植物景观设计落地性差、生态适配性不足、后期养护成本高等问题,本篇文章从设计与施工的协同关系入手,在阐述风景园林施工中植物景观设计核心原则的基础上提出施工全周期的植物景观设计应用策略,涵盖前期场地勘察与植物选型优化、中期标准化施工工艺与群落动态调控、后期精细化养护与反馈迭代三大阶段,并结合实际工程案例验证策略的有效性与可行性,旨在为风景园林植物景观工程的高质量实施提供理论参考与实践范式。

[关键词]植物景观设计;风景园林施工;应用

DOI: 10.33142/ucp.v2i6.18545

中图分类号: TU986.2

文献标识码: A

## Application Strategies of Plant Landscape Design in Landscape Construction

LIU Yafang

WISDRI City Construction Engineering & Research Incorporation Ltd., Wuhan, Hubei, 430070, China

**Abstract:** Plant landscape is the core component of landscape architecture, and the synergy between its design and construction directly determines the ecological benefits and landscape quality of landscape engineering. In order to solve the problems of poor implementation of plant landscape design, insufficient ecological adaptability, and high maintenance costs in current landscape construction, this article starts with the collaborative relationship between design and construction. Based on the core principles of plant landscape design in landscape construction, it proposes a plant landscape design application strategy for the entire construction cycle, covering three major stages: site investigation and plant selection optimization in the early stage, standardized construction technology and community dynamic control in the middle stage, and refined maintenance and feedback iteration in the later stage. The effectiveness and feasibility of the strategy are verified by practical engineering cases, aiming to provide theoretical reference and practical paradigm for the high-quality implementation of landscape engineering in landscape plants.

**Keywords:** plant landscape design; landscape architecture construction; application

### 引言

风景园林作为城市生态系统的重要载体,承担着改善人居环境、维护生物多样性的关键职能。植物景观以其生态性、动态性与观赏性,成为区别于硬质景观的核心特征。近年来,随着生态文明建设的推进,风景园林工程规模持续扩大,但植物景观施工质量参差不齐的问题日益凸显,部分项目存在设计方案脱离施工实际、植物品种选择与场地条件不匹配、施工工艺缺乏标准化指导等缺陷,导致植物成活率低、景观效果难以持久,不仅造成资源浪费,还削弱了园林的生态功能。鉴于此,系统探讨植物景观设计的应用路径,构建兼具创新性与实用性的应用体系,可为风景园林行业的高质量发展提供理论支撑。

### 1 植物景观设计与风景园林施工的协同关系

#### 1.1 设计对施工的指导作用

植物景观设计方案是施工的核心依据,其科学性直接决定施工的方向与效果。设计阶段一定要明确植物的品种选择、群落结构、种植密度、空间布局等核心内容,同时充分考虑施工的可行性,避免出现过于天马行空、难以落地的设计。例如,在植物群落设计中,要充分考虑乔木、

灌木、地被的生长特性,规划合理的种植间距与层次结构<sup>[1]</sup>,避免施工中出现苗木拥挤或空间留白过大的问题;在品种选择上,建议提前标注植物的生长习性、适宜土壤条件及抗逆性,为施工阶段的场地整理与苗木定植提供明确指导。此外,设计方案还需包含种植穴规格、基肥类型、定植时间等施工技术要点,减少施工过程中的随意性,确保景观效果的精准落地。

#### 1.2 施工对设计的反馈优化作用

施工过程是检验设计方案合理性的实践环节,施工现场的不可控因素往往需要设计方案进行动态调整。由于场地条件的复杂性,土壤酸碱度、地形坡度、地下管线分布等实际情况可能与前期勘察存在偏差,施工阶段一定要及时反馈问题,推动设计方案的优化。譬如,某城市公园施工中,发现部分区域土壤盐碱度超标,原设计的樱花、紫薇等喜酸性植物难以存活,施工方与设计方协商后,将品种替换为耐盐碱的柞柳、沙棘,并调整群落结构,既保证了景观效果,又提高了植物成活率。施工对设计的反馈机制,能够有效避免“纸上谈兵”,使植物景观设计更贴合实际,实现从“理想设计”到“现实景观”的转化。



## 2 风景园林施工中植物景观设计的核心原则

### 2.1 生态适应性原则

生态适应性是植物景观设计的首要原则,也是保障植物存活与生长的基础。设计阶段应以场地的气候条件、土壤特性、水文状况等自然要素为依据,选择乡土植物为主、外来引种植物为辅的品种组合。这是因为乡土植物具有较强的抗逆性,适应当地的自然环境,不仅能降低苗木运输与养护成本,还能促进当地生物多样性保护。例如,北方地区风景园林可优先选择国槐、白蜡、连翘等乡土植物,南方地区则可侧重香樟、桂花、杜鹃等品种。同时,也应将植物的生态功能纳入考虑范畴,如选择固氮植物改善土壤肥力,配置蜜源植物吸引传粉昆虫,构建稳定的植物群落生态系统,避免盲目追求名贵品种而忽视生态适配性。

### 2.2 功能性与观赏性统一原则

植物景观需兼顾生态功能与景观美学功能,满足人们对园林的多元需求。在功能层面,植物景观可承担遮荫、降噪、净化空气、水土保持等作用,如在道路两侧种植高大乔木形成林荫道,在坡地种植根系发达的灌木与地被防止水土流失。在观赏性层面,相关人员应通过植物的形态、色彩、季相变化营造丰富的景观层次<sup>[2]</sup>,如春季的樱花、海棠,夏季的荷花、紫薇,秋季的银杏、红枫,冬季的腊梅、松柏,实现四季有景的视觉效果。设计与施工过程中,一定要将功能性与观赏性有机结合,比如在居住区园林中,将遮荫乔木与观花灌木、地被植物搭配,既可为居民提供休闲空间,又营造出优美的景观环境。

### 2.3 施工可行性与经济性原则

植物景观设计方案必须充分考虑施工的技术可行性与经济成本,避免过度追求复杂效果而增加施工难度。在施工可行性方面,要因地制宜,结合场地条件选择适宜的植物规格与种植方式,如在狭窄场地避免选择冠幅过大的乔木,在地下水位较高的区域选择耐水湿植物,同时简化种植工艺,降低施工技术门槛。在经济性方面,做好对苗木成本与养护成本的合理控制,优先选择价格适中、成活率高的乡土植物,避免引进珍稀品种增加采购与养护费用。最后,设计阶段应提前规划好植物的长期生长空间,减少后期因植物生长过密而产生的修剪、移栽成本。

## 3 基于施工全周期的植物景观设计应用策略

### 3.1 前期准备阶段:场地勘察与设计方案深化

前期准备阶段是植物景观设计落地的基础,核心任务是通过精准的场地勘察,优化植物选型与设计方案,为后续施工提供科学依据。进行场地勘察时,不应局限于传统的地形、土壤表层检测,应把目光放得长远一些,开展全方位的生态因子调研,包括土壤酸碱度、有机质含量、地下水位、光照时长、风速等指标,同时排查地下管线、建筑物基础等施工障碍。随后,基于勘察数据,建立场地生态因子数据库,以此为依据进行植物选型。例如,土壤

pH 值在 7.5~8.5 的盐碱地,优先选择柽柳、紫穗槐、枸杞等耐盐碱品种;光照时长不足 4h 的林下区域,配置玉簪、麦冬、八角金盘等耐阴地被植物。为提高选型效率,可整理不同土壤条件下适宜植物选型及施工要求(如表 1 所示),明确各类植物的施工关键参数,指导施工准备工作。

表 1 不同土壤条件下适宜植物选型及施工要求

土壤类型	pH 值范围	有机质含量	适宜植物种类	施工关键要求
酸性土壤	4.5~6.5	≥2%	杜鹃、山茶、马尾松	施加硫磺粉调节 pH; 定植后覆盖松针保湿
中性土壤	6.5~7.5	≥1.5%	国槐、紫薇、麦冬	常规种植; 基肥选用腐熟有机肥
盐碱土壤	7.5~8.5	≤1%	柽柳、沙棘、碱蓬	开挖排碱沟; 采用抬高种植池方式; 浇灌淡水洗盐

在场地勘察的基础上,可对初步设计方案进行施工深化。深化内容包括确定苗木的具体规格(胸径、冠幅、高度)、种植密度、定植点坐标,以及配套的土壤改良方案<sup>[3]</sup>。比如,针对土壤有机质含量低于 1% 的贫瘠场地,设计方案要明确施加腐熟有机肥的用量与方式;针对坡地景观,需设计植物固土方案,结合喷播技术与灌木种植,防止水土流失。同时,深化方案务必要将苗木运输与储存要求考虑在内,如常绿植物需带土球运输,土球直径不小于胸径的 6~8 倍,落叶植物要在休眠期移栽,降低苗木损耗。

### 3.2 中期实施阶段:标准化施工与群落动态调控

中期实施阶段是植物景观设计落地的核心环节,要以标准化施工工艺保障苗木定植质量,同时基于现场条件进行群落动态调控,实现设计方案的优化。一方面,植物定植施工时要遵循标准化流程,执行种植穴开挖、基肥施加、苗木定植、浇水固定四个步骤。种植穴的规格应根据苗木土球大小确定,一般比土球大 30~50cm,深度比土球高 10~20cm,避免出现“锅底坑”导致积水烂根;基肥选用腐熟的羊粪、牛粪等有机肥,与表层土壤混合均匀,防止直接接触根系造成烧根;苗木定植时调整朝向,保证树冠丰满的一面朝向主要观赏方向,定植深度以土球与地表平齐为宜;浇水采用“三遍水”法,即定植后立即浇透第一遍水,2~3d 后浇第二遍水,7d 后浇第三遍水,确保根系与土壤紧密结合。对于高大乔木,可搭设三角支架固定,支架与树干接触部位垫软垫,防止损伤树皮。

另一方面,采用群落动态调控,可摆脱“按图施工”的刻板做法,让植物生长更自然、更高效。施工过程中,要实事求是、灵活应变,根据现场光照、通风条件,对植物群落结构进行微调。譬如,如果原设计的乔木种植密度过高,导致林下光照不足,可适当疏伐部分乔木,增加灌木与地被的种植空间;部分区域因地形起伏出现积水较多情况时,可将喜干燥的植物替换为耐水湿品种。动态调控必须遵循植物群落的生态规律,确保乔木、灌木、地被的层次结构合理,形成稳定的生态系统。同时,建议施工方

建立施工日志,记录调控内容与原因,为后期养护与设计迭代提供数据支撑。

### 3.3 后期养护阶段:精细化养护与设计反馈迭代

后期养护阶段是保障植物景观效果持久的关键,应通过精细化养护措施提高植物成活率,同时将养护数据反馈至设计环节,形成“设计-施工-养护”闭环管理。精细化养护要求相关人员根据植物生长特性制定针对性方案,涵盖水肥管理、病虫害防治、修剪整形三大内容。水肥管理要遵循“薄肥勤施”原则,乔木生长期每月施加一次氮磷钾复合肥,花灌木花期前增施磷钾肥;浇水频率根据季节调整,夏季高温干旱时增加浇水次数,冬季减少浇水,防止冻害。病虫害防治应坚持“预防为主,综合治理”的原则,定期清理枯枝落叶,减少病虫害滋生,可采用生物防治与物理防治相结合的方式(如利用瓢虫防治蚜虫,悬挂诱虫灯诱杀蛾类)降低化学农药的使用量。最后,应根据植物的生长习性与景观需求进行修剪整形<sup>[4]</sup>,乔木修剪以疏枝、控高为主,花灌木修剪以促进开花为目标,地被植物修剪以保持整齐度为原则。

养护数据的反馈迭代是闭环管理的核心。养护期间需定期监测植物成活率、生长势、景观效果等指标,每月开展一次全面普查,每季度联合设计、施工团队进行专项评估,采用数字化工具(如植物生长监测 APP、无人机航拍)记录数据,建立涵盖苗木品种、栽植位置、养护措施、监测结果的动态数据库,确保指标反馈的精准性与时效性<sup>[5]</sup>。若出现大面积死亡或生长不良的情况,应保持冷静,仔细分析原因,追溯设计与施工环节的问题。例如,若某品种植物成活率低于 60%,需判断是品种选型不当还是施工工艺问题,进而优化下一轮设计方案。要将养护数据与设计图纸、施工日志联动归档,形成可追溯的全流程记录,确保“抓铁有痕、踏石留印”。通过养护反馈,植物景观设计可不断完善,形成适应不同场地条件的设计范式,推动植物景观从“建成即静态”向“动态优化升级”转变。

## 4 实证分析与效果评价

### 4.1 项目概况

为验证本文提出的植物景观设计应用策略的有效性,选取某城市“滨河生态公园”风景园林工程开展实证分析。该项目总面积 12hm<sup>2</sup>,植物景观占比 70%,施工期为半年。该公园位于城市河流沿岸,场地存在部分盐碱化土壤,地形起伏较大,原有植被以杂草为主。设计目标是构建兼具生态防护与景观观赏功能的滨河植物群落,项目采用本文提出的全周期协同策略,从前期场地勘察到后期养护全程融入植物景观设计理念。

### 4.2 策略应用与效果对比

项目实施过程中,根据表 1 的植物选型要求,选择桧

柳、国槐、麦冬等适宜品种,优化群落结构;中期采用标准化施工工艺,结合现场地形进行群落动态调控;后期实施精细化养护,建立养护数据台账。为量化评价效果,选取植物成活率、景观满意度、养护成本三个指标,与传统施工模式进行对比,结果如表 2 所示。

表 2 滨河生态公园植物景观施工效果对比表

评价指标	传统施工模式	全周期协同策略	提升/降低幅度
植物成活率	75%	93%	提升 18%
景观满意度(问卷调查)	72%	89%	提升 17%
后期养护成本(元/hm <sup>2</sup> ·年)	15000	9800	降低 34.7%

从表 2 可以看出,采用全周期协同策略后,植物成活率显著提升,景观满意度大幅提高,后期养护成本明显降低。同时,该公园的植物群落形成了稳定的生态系统,有效改善了滨河区域的微气候,空气湿度较周边区域提升 12%,PM2.5 去除率达到 25%,生态效益显著。

## 5 结束语

综上所述,植物景观设计在风景园林施工中的应用是一个系统性、全过程的工程,其核心在于打破设计与施工的单向传导模式,建立“设计-施工-养护”的闭环管理机制。实践证明,本文提出的全周期协同策略能够显著提升植物成活率、景观满意度,降低养护成本,兼具生态效益与经济效益。未来可引入数字化技术,借助 BIM 建模、植物生长模拟软件等工具,进一步提升设计与施工的精准度和协同效率,为风景园林行业打造更多兼具生态效益、美学价值与人文内涵的精品工程,为城市人居环境的持续优化注入源源不断的活力。

### [参考文献]

- [1]薛占.植物景观设计在风景园林施工中的应用策略[J].门窗,2025(2):109-111.
- [2]刘德武.植物景观设计在风景园林施工中的应用策略[J].中国林业产业,2024(4):111-113.
- [3]范润梅.植物景观设计在城市风景园林建设中的应用[J].石材,2024(2):156-158.
- [4]郑昊.园林植物环境艺术设计在植物景观造景中的应用[J].中国林业产业,2024(11):124-126.
- [5]杨奕.植物景观设计在风景园林中的应用实践[J].鞋类工艺与设计,2025,5(1):157-160.

作者简介:刘亚芳(1991.7—),女,毕业院校:四川大学;所学专业:景观设计,当前就职单位:中冶南方城市建设工程技术有限公司,职务:中级技术经理,职称级别:中级工程师。

# 超低能耗建筑中暖通空调系统匹配性设计与能效分析

王旭斌

石家庄市建筑设计院有限责任公司, 河北 石家庄 050000

[摘要]经济日益发展背景下,全球能源消耗也随之持续增长,社会能源供应压力日渐增大。本研究首先阐述了超低能耗建筑热工特性与系统匹配性设计原则。在此基础上,针对负荷预测、设备选型、系统架构及控制策略环节进行了设计优化,最后提出基于全生命周期的系统匹配性优化策略。研究表明,精准的负荷预测与动态匹配控制不仅能够降低能耗,另外,通过高效利用可再生能源,能够进一步降低碳排放,提升暖通空调技术应用的节能效果,为超低能耗建筑暖通空调系统的科学设计提供了参考。

[关键词]超低能耗建筑;暖通空调系统;匹配性设计;能效分析;负荷预测

DOI: 10.33142/ucp.v2i6.18544

中图分类号: TU83

文献标识码: A

## Matching Design and Energy Efficiency Analysis of HVAC Systems in Ultra-low Energy Buildings

WANG Xubin

Shijiazhuang Architectural Design Institute Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

**Abstract:** With the increasing development of the economy, global energy consumption has also continued to grow, and the pressure on social energy supply is increasing day by day. This study first elaborates on the thermal characteristics and system compatibility design principles of ultra-low energy buildings. On this basis, design optimization was carried out for load forecasting, equipment selection, system architecture, and control strategy. Finally, a system matching optimization strategy based on the entire lifecycle was proposed. Research has shown that accurate load forecasting and dynamic matching control can not only reduce energy consumption, but also further reduce carbon emissions and improve the energy-saving effect of HVAC technology applications by efficiently utilizing renewable energy, providing reference for the scientific design of ultra-low energy building HVAC systems.

**Keywords:** ultra low energy consumption buildings; HVAC system; matching design; energy efficiency analysis; load forecasting

### 引言

在全球能源危机与“双碳”目标背景下,节能减排是我国社会生产的重要政策<sup>[1]</sup>,超低能耗建筑成为建筑行业绿色转型的核心方向,致力于降低建筑的总体能耗<sup>[2]</sup>。与传统建筑比,超低能耗建筑借优化围护结构、提升门窗气密性等,大幅降低冷热负荷,采暖能耗通常 $<15\text{kWh}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$ ,制冷能耗 $<25\text{kWh}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$ 。在超低能耗建筑体系中暖通空调系统作为核心能耗单元,是建筑能源总消耗量中比重最大的模块。因此,系统的匹配性设计的研究与应用,有利于建筑暖通空调总体节能,降低建筑能耗,改善室内的舒适性<sup>[3]</sup>。当前超低能耗建筑的暖通空调系统设计领域中,仍然存在着一系列亟待解决的匹配性难题,包括负荷预测偏差较大、系统架构与建筑热工特性不匹配、控制策略僵化,严重束缚了超低能耗建筑节能潜力的充分释放与发挥。因此,对暖通空调系统的匹配性设计研究工作对于降低能耗、减少碳排放、实现超低能耗建筑发展具有重要意义<sup>[4]</sup>。本文立足超低能耗建筑热工特性,系统分析暖通空调系统匹配性设计的关键技术环节,构建多维度能效评价体系,提出优化策略,旨在为超低能耗建筑暖通空调系统的高效设计与运行提供技术参考。

### 1 超低能耗建筑热工特性与系统匹配性设计原则

#### 1.1 超低能耗建筑核心热工特性

超低能耗建筑热工特性是暖通空调匹配设计基础,核

心为“低负荷、大波动、强耦合”:(1)冷热负荷显著降低:用高效保温材料等使传热系数大降,采暖负荷降60%~70%,制冷负荷降50%~60%;(2)负荷波动幅度大:受多种因素影响,逐时负荷波动大,过渡季峰值与谷值差异达3~5倍;(3)负荷耦合性强:新风、围护结构传热及室内内扰负荷相互耦合,新风负荷占比升至30%~40%,影响系统设计。表1对比了超低能耗建筑与传统建筑的核心热工参数,明确两者的差异特征。

表1 超低能耗建筑与传统建筑核心热工参数对比

参数类型	超低能耗建筑	传统建筑	差异比例
外墙传热系数 [W/(m <sup>2</sup> ·K)]	≤0.15	0.4~0.6	降低 62.5%~75%
门窗传热系数 [W/(m <sup>2</sup> ·K)]	≤0.8	2.4~3.0	降低 66.7%~73.3%
气密性(10Pa下 换气次数)[h <sup>-1</sup> ]	≤0.6	1.5~2.5	降低 60%~76%
采暖负荷[kWh/ (m <sup>2</sup> ·a)]	≤15	40~60	降低 62.5%~75%
制冷负荷[kWh/ (m <sup>2</sup> ·a)]	≤25	50~70	降低 50%~64.3%

#### 1.2 暖通空调系统匹配性设计核心原则

结合超低能耗建筑热工特性,暖通空调匹配性设计核心原则:(1)负荷适配:精准预测逐时冷热负荷,让设备



容量与负荷峰值、均值动态适配。(2) 系统协同: 空调、新风、排风及可再生能源系统协同运行。(3) 动态响应: 运用动态控制策略实时监测环境参数与负荷变化, 对系统的运行参数进行及时、针对性的调整。(4) 全生命周期: 综合考量系统全生命周期能耗与经济性。

## 2 超低能耗建筑暖通空调系统匹配性设计关键环节

### 2.1 精准负荷预测: 匹配性设计的前提

负荷预测精准度关乎影响匹配设计的科学性, 超低能耗建筑负荷受多因素影响更突出, 应该用动态预测法结合热工模型与实时数据精准预测负荷。

#### 2.1.1 模型构建

依据建筑热平衡原理, 建立含围护结构传热等多种得热的动态预测模型。输入参数有室外气象、建筑热工、室内扰参数, 数学表达式如下:

$$Q(t) = Q_{\text{trans}}(t) + Q_{\text{solar}}(t) + Q_{\text{int}}(t) + Q_{\text{vent}}(t)$$

#### 2.1.2 预测方法优化

采用“机理模型+数据驱动修正”混合预测法, 用 EnergyPlus 等软件构建机理模型的初始预测值, 再结合建筑实际运行的历史负荷与气象监测数据, 用 BP 神经网络修正预测结果。实践显示, 此法可有效降低预测误差, 较单一机理模型预测精度提升。

### 2.2 设备选型: 负荷与设备性能的精准匹配

基于精准负荷预测, 开展空调主机、新风处理设备、水泵、风机等核心设备选型, 确保与负荷特性精准匹配。

#### 2.2.1 空调主机选型

超低能耗建筑冷热负荷低且波动大, 优先选变频多联机高效变频设备。根据逐时负荷曲线确定负荷率, 确保大部分时间高效运行, 地源热泵选型要结合土壤参数避免热失衡。

#### 2.2.2 新风设备选型

新风负荷占比高, 选带全热回收功能机组(效率 $\geq 75\%$ )。依人员密度确定新风量, 匹配换热效率, 确保处理后温湿度达标。

#### 2.2.3 水泵与风机选型

用变频设备, 依水量、风量需求调转速。计算系统阻力损失, 匹配扬程/全压与流量, 避免低效运行。

### 2.3 系统架构设计: 多系统协同匹配

在超低能耗建筑暖通空调系统架构的设计过程中, 为了能够达成高效的节能运行目标, 需要实现排风系统、空调系统以及可再生能源等各系统之间的协同与精准匹配<sup>[5]</sup>。通过排风系统与新风处理机组的联合应用, 在系统中配置高性能的全热换热器通过全热换热器回收排风的冷/热量, 实现对新风的有效预热或预冷处理, 可以有效控制新风处理的能耗<sup>[6]</sup>; 辐射供暖系统因其具备能耗低、舒适性表现良好等优势通常与变频空调系统协同运行, 在冬季,

辐射供暖系统主要承担起绝大部分的采暖负荷, 变频空调系统作为辅助调节可以避免辐射供暖系统单独运行时的温度滞后问题; 通过深度整合传统空调系统与地源热泵、太阳能集热器等先进可再生能源技术组件构建高效协同的复合能源体系, 可以高效实现能源的梯级利用。如, 太阳能热水优先供新风预热和生活热水, 余热用于辐射供暖; 地源热泵夏冬分担制冷供暖, 过渡季利用土壤特性提高系统的能效<sup>[7]</sup>。

### 2.4 控制策略设计: 动态负荷匹配

针对超低能耗建筑负荷波动大, 采用“分布式监测+集中控制”策略, 使系统参数与负荷变化实时适配。在室内各区、室外气象站及系统关键节点(新风入口等)设传感器, 采集温湿度等数据传至中央控制器<sup>[8-9]</sup>。中央控制器依实时数据与负荷预测调整设备参数, 按室内温湿度调节压缩机转速等, 湿度高时优先除湿, 依据  $\text{CO}_2$  浓度与人员密度调风机转速, 按照供回水温差与室温调水泵转速。实时监测水温参数以及制冷(热)系数(COP)指标, 基于监测数据, 采用动态优化算法精准分配供能比例, 确保系统始终维持高效运行状态。

## 3 超低能耗建筑暖通空调系统能效分析体系

### 3.1 能效评价指标构建

结合超低能耗建筑暖通空调运行特性, 构建含热力学效率、能源利用效率、经济性的多维能效评价指标体系, 具体指标如下:

表 2 为能效评价指标的定义、计算方法及评价标准, 为能效分析提供量化依据。

表 2 超低能耗建筑暖通空调系统能效评价指标体系

评价维度	指标名称	定义	计算方法	评价标准(优秀)
热力学效率	空调机组 COP	机组供能与输入功率的比值	$\text{COP} = Q/W$ (Q 为制热量/制冷量, W 为输入功率)	制冷 $\text{COP} \geq 4.5$ , 采暖 $\text{COP} \geq 4.0$
	热泵系统 COP	热泵系统总供能与输入功率的比值	$\text{COP} = Q/W$ (Q 为总供能, W 为热泵输入功率)	地源热泵 $\text{COP} \geq 3.5$ , 空气源热泵 $\text{COP} \geq 2.8$
	全热回收效率 $\eta$	回收冷/热量与理论可回收冷/热量的比值	$\eta = Q/Q \times 100\%$	$\eta \geq 75\%$
能源利用效率	一次能源利用效率 PER	系统总供能与消耗一次能源的比值	$\text{PER} = Q/E$ (E 为一次能源消耗量)	$\text{PER} \geq 3.0$
	能源节约率 $\Delta E$	匹配系统较传统系统的能耗节约比例	$\Delta E = (E - E)/E \times 100\%$	$\Delta E \geq 15\%$
经济性	全生命周期成本 LCC	系统全生命周期内的总费用	$\text{LCC} = C + C + C - C$	较传统系统降低 $\geq 10\%$
	投资回收期 P	初始投资增量回收所需时间	$P = \Delta C / \Delta C$ ( $\Delta C$ 为投资增量, $\Delta C$ 为年节约费用)	$P \leq 8$ 年

## 4 超低能耗建筑暖通空调系统匹配性优化策略

### 4.1 基于全生命周期的设计优化

突破传统设计理念中“重初始投资、轻运行能耗”的固有局限,采用全生命周期设计方法全面统筹考量系统的设计、运行以及直至报废处置各阶段的能耗表现与成本投入整个流程,在系统的设计环节,组织专业团队进行多方案的比选,从众多方案中筛选出寿命长、能效高、维修成本低等设备与系统。在施工建设环节,应该构建完善的质量管理体系,严格管控施工质量,确保施工人员可以严格按照相关规范与标准执行,避免出现系统管路泄漏等问题而增加能耗。在运行环节,完善设备系统的维护管理制度,通过定期检修变频设备、清洗空调滤网等措施确保系统的高效运行,延长使用周期。在报废阶段,对设备进行回收利用,降低环境影响。

### 4.2 负荷预测与设备选型的动态优化

采用“实时数据动态修正与机器学习深度优化”相结合的负荷预测精细化方法,以建筑实际运行过程中积累的历史负荷数据为依据,采用先进的机器学习算法对预测模型进行训练,从而提高负荷预测的精确度<sup>[10]</sup>。结合逐时负荷曲线的特征采用组合选型模式有效规避单一设备选型过大的弊端,主设备承担平均负荷,辅助设备承担峰值负荷,既可实现设备资源的合理配置,又可以提升设备运行效率。

### 4.3 控制策略的智能化升级

借助人工智能、大数据等前沿技术推动控制策略的智能化、精准化升级<sup>[11]</sup>。依靠建筑信息模型以及实时监测数据,创建起具有预测能力的负荷响应平台,收集和整理各项数据,通过 AI 算法对系统运行参数进行动态、精准的优化调整。运用无线传感网络技术实现监测点的灵活、高效布置,以确保各类数据能够稳定、安全的传输至管理平台。另外,为了能够随时随地的远程监控系统的运行状况,开发具有功能完备的移动端监控 APP,一旦系统发生故障或异常情况,能够第一时间响应,并及时处理故障,进而提高运维效率与质量。

### 4.4 可再生能源的深度集成

多能互补融合成趋势,将太阳能、地热能、风能等不同种类的可再生能源同暖通空调系统结合起来,依照各种能源的特点以及建筑的需求,实现能源的合理调配和高效利用<sup>[12]</sup>。充分对建筑所在地的资源条件进行考量,对于太阳能资源较为丰富的区域,创新性的采用“太阳能集热器+光伏板”复合系统,太阳能集热器凭借其高效的集热性能提供生活热水与新风预热,光伏板将丰富的太阳能转化为电能为暖通空调系统供电,实现能源的高效转化率利用,从而降低一次能源消耗。若建筑所处地区地下水资源丰富采用地源热泵与地下水换热系统,通过热泵机组实现热量从低温热源向高温热源的转移提升热泵 COP,降低运行

成本,提升能源的利用效率,达成节能减排的目的。

## 5 结论与展望

### 5.1 结论

暖通空调系统是超低能耗建筑的主要构成部分之一,在暖通空调系统中应用节能减排技术对低碳建筑发展有着非常重要的作用。本文研究对超低能耗建筑暖通空调系统的匹配性设计进行了深入的分析与探讨,得出以下主要结论:鉴于超低能耗建筑的低负荷、大波动、强耦合特性在匹配设计时应该遵循负荷精准适配原则,以建筑实际负荷需求为依据,合理进行配置,考虑到各系统之间的协作与配合,同时从系统的设计、运行到后期的维护各个阶段进行全面的优化。通过精准的负荷预测,根据具体情况合理选择设备,协同系统架构与动态控制策略可以实现对系统运行参数的实时调整与优化,进而降低能源消耗。从系统的整体生命周期出发,开展负荷预测与设备选型的动态优化,以建筑负荷的实时变化情况为依据,对负荷预测模型与设备的选型方案进行及时调整与优化,从而提高系统运行过程中的稳定性。依据先进的智能技术可以实现策略的自适应调整,利用地热能、太阳能等可再生能源,有利于降低建筑行业能源总体消耗量,提升能源的利用率,这对于缓解能源供应问题发挥了重要作用,同时为超低能耗建筑的可持续发展提供有力支撑。

### 5.2 展望

未来研究可从以下方向深入:

(1) 以建筑类型、不同气候期为依据合理开发超低能耗建筑负荷预测模型,提升模型的适用广度与预测精确度;

(2) 积极开展光伏发电系统、建筑围护结构与暖通空调系统之间的协同优化研究工作,实现建筑整体能源系统的运行效能、资源利用等方面提升;

(3) 深度融合数字孪生技术构建暖通空调系统数字孪生模型,凭借实时数据交互能力以及高保真映射精准实现系统运行状态的实时动态仿真,并运用先进的算法模型实现故障的预判,进而推进建筑能源的高效管理与稳定运行。

### [参考文献]

- [1] 范涛,李翰勃.建筑暖通工程节能施工技术研究[J].建筑机械化,2024,45(11):89-93.
- [2] 王蕾.节能减排理念在建筑暖通空调设计中的应用分析[J].城市建设理论研究(电子版),2024(24):79-81.
- [3] 徐广源,李岩,田善鹏.试析暖通空调中的节能技术以及自动化系统优化设计[J].房地产世界,2024(2):131-133.
- [4] 李晋超.采暖通风空调工程中的节能技术分析[J].电子技术,2022,51(5):200-201.
- [5] 王鹤霖.浅析城市暖通空调节能减排对应策略[J].房地产世界,2021(24):144-146.

- [6]魏斯胜.绿色建筑暖通空调的节能设计及降噪探究[J].设备管理与维修,2021(24):121-123.
- [7]肖帆.建筑暖通空调工程节能减排探究[J].建材与装饰,2019(23):241-242.
- [8]马辉.绿色超高层建筑暖通空调系统节能优化设计研究[J].中国建筑金属结构,2024,23(6):150-152.
- [9]何鸿展.建筑工程暖通空调设计与施工的质量控制措施[J].四川建材,2024,50(9):190-191.
- [10]张仲青.机电安装工程中暖通空调安装施工工艺的精

细化研究[J].中国高新科技,2024(17):155-157.

[11]吴勇,倪良永.BIM 技术在建筑节能设计评估中的应用[J].建筑机械化,2024,45(12):158-160.

[12]范涛,李翰劼.建筑暖通工程节能施工技术研究[J].建筑机械化,2024,45(11):89-93.

作者简介：王旭斌（1991.3—），毕业院校：沈阳工业大学，所学专业：建筑与土木工程专业，当前就单位：石家庄市建筑设计院有限责任公司，职务：职员，职称级别：中级工程师。



# 游泳馆设计的经济性、宜人性、复合性——谈楚雄师范学院游泳馆项目

田梦 杨欣 王宇舟

云南省设计院集团有限公司, 云南 昆明 650000

[摘要]文中以楚雄师范学院游泳馆项目为例,探讨新时期高校体育建筑设计如何实现经济性、宜人性与复合性三大核心价值的协同。通过集约化空间布局、适宜技术选用及多功能复合设计等策略,寻求在控制成本的前提下,打造舒适人性化体验并能承载教学、赛事与社群活动的综合性场馆,为同类项目提供实践参考。

[关键词]高校游泳馆; 经济性宜人性; 复合性; 绿色设计; 集约化设计

DOI: 10.33142/ucp.v2i6.18566

中图分类号: TU4

文献标识码: A

## Economy, Comfort, and Complexity in Swimming Pool Design — A Discussion on the Swimming Pool Project of Chuxiong Normal University

TIAN Meng, YANG Xin, WANG Yuzhou

Yunnan Design Institute Group Co., Ltd., Kunming, Yunnan, 650000, China

**Abstract:** Taking the swimming pool project of Chuxiong Normal University as an example, this article explores how the design of sports buildings in universities in the new era can achieve the synergy of the three core values of economy, comfort, and complexity. Through strategies such as intensive spatial layout, appropriate technology selection, and multifunctional composite design, we aim to create a comprehensive venue that is comfortable, humanized, and capable of hosting teaching, events, and community activities while controlling costs, providing practical references for similar projects.

**Keywords:** university swimming pool; economy is suitable for humanity; complexity; green design; intensive design

高校游泳馆作为校园内的重要设施,不仅是学生进行游泳锻炼的专业场所,更是一个融合社交互动与文化传播的多功能综合体。师生们在此既可参与游泳课程学习,也可凭校园“一卡通”在课余时间享受休闲时光,还可通过参与或观摩校级游泳联赛等活动,感受竞技体育的魅力。

### 1 功能及需求定位

在应用场景方面,楚雄师范学院游泳馆主要服务于学生体育教学工作,同时兼顾校内体育赛事需求。根据校方明确提出的建设要求,需配置标准 50m 长度、10 条泳道的游泳池。

### 2 场地关系

为什么这个游泳馆有一个三角形尖角?

游泳馆与东侧的体育馆及场前体育广场形成体育组团(图 1),位于楚雄师范学院的北部,与东西走向的长条形主教学楼共同形成该北区建筑群,形成半围合空间,迎接学校次入口大门。游泳馆南面与入口礼仪主干道及主教学楼山墙面平行,西面与校园规划道路平行,且与西侧山体缓缓相接。南、西两个场地因素形成了游泳馆南部的三角形界面。我们没有将该锐角倒角处理为弧线,因为校园建筑(除中心圆形图书馆外)都是直线风格,简洁有力,我们也想沿用此大气风格;同时相比于倒角,锐角会更有利于相关联面的交接,施工层面也更经济高效。

为了稍微弱化该锐角,我们没有在此直接置入实体功

能,而是做了一个三角形庭院(图 2),立面较通透,人们可从外部望到种着绿树的小庭院,为游泳馆增添生机。



图 1 游泳馆在校园所处位置



图 2 游泳馆的三角形小庭院

### 3 游泳空间体形系数控制

为什么中间高两边低？

游泳馆通常为大空间、高湿度环境，需维持恒温（水温 $26\sim 28^{\circ}\text{C}$ ，空气温度高 $1\sim 2^{\circ}\text{C}$ ），因此要有节能策略以使其经济高效地运行。优先选择紧凑型布局，如矩形、圆形或椭圆形平面，减少不必要的形体转折。我们设计的游泳馆主空间（10泳道水域）即一个标准长方形。另外，要控制建筑高度：降低层高可减少外墙面积，但需平衡空间使用需求（水面上净高 $\geq 8\text{m}$ ）。我们将游泳馆主空间这个长方体盒子进行了调整：中部为最高，13.2m层高，向两端下降（图3、4），靠近更衣等辅助功能的一端高度为8.1m，远端高度下降至5.5m。形成一个中部高两侧低的坡屋面空间盒子，这样既保证了高度及空间感，又极大地减小了空间体积，有效地节能。



图3 游泳馆外观

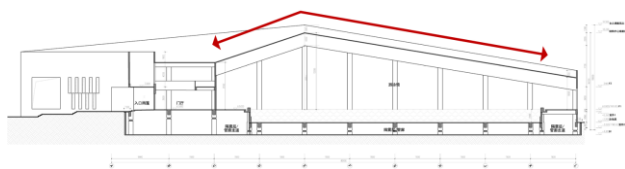


图4 游泳馆剖面

## 4 空间的复合功能及宜人性

### 4.1 门厅为交通空间及交往空间

门厅作为游泳馆的序厅与客厅，不仅承担着交通组织功能，也是一个交往空间（图5）。它紧邻游泳区，人们可透过玻璃看到游泳区。采用二层通高的设计手法，将空间尺度最大化，营造出一种豁然开朗的体验。

功能性：游泳前导、前台、售卖、休息几种功能有序组织在门厅中。前台正对入口，位于门厅后部，开放售卖区也在此处。一个工作人员即可办理入场、管理，又可以兼顾售卖泳具，很方便地注视一侧的泳者分男女刷卡区入更衣区。

交通性：一部生动的楼梯位于门厅另一侧，自然地将观赏游泳或等待朋友游泳的人们引到二层休闲平台。楼梯连接了一层门厅与二层休息平台、观赛区或健身房。人们在楼梯上行走、驻足、交谈，甚至可以在中间平台走出建筑，远眺游泳馆外的校园风景，与室外环境充分互动。到了二层还可以走到游泳区内部的观赏廊，近距离、真切地观赏泳者在水中徜徉。

空间性：挑空打破了建筑内部的隔阂，视觉上形成了较强的通透感和流动性。白天，自然光线洒入，在光洁的地面、墙面和楼梯上投下丰富的光影，随着时间流逝而不断变化，使静态的空间充满了动态的生命力。

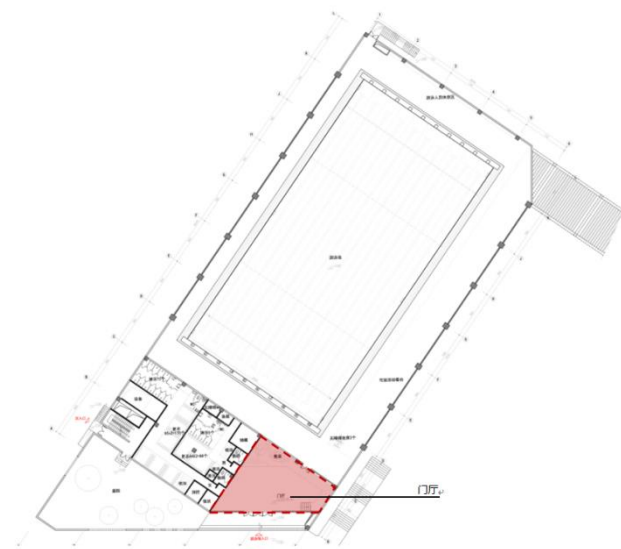


图5 游泳馆一层平面（门厅作为交往空间）

### 4.2 二层休闲平台丰富了游泳馆的社交休闲属性

这是一个悬浮的观景与社交客厅，一个休憩、交流的场所（图6）。它与游泳区大体量紧邻，人们透过通透的玻璃，游泳区景象尽收眼底。平台上错落有致地布置着舒适的休息座椅、小圆桌以及充电接口。这里成为了等待同伴、课后小聚、观察训练的绝佳地点。校方也可以在此设置一个咖啡点，让学生们更好地享用此环境。休闲平台后方布置了一个大训练室，是游泳馆功能的重要延伸，学生们可以在此训练。训练室采用大面积玻璃隔断，使其与休闲平台在视觉上连通。这不仅让空间显得更加开阔，也能让休息的人瞥见内部热火朝天的训练景象，传递出积极的运动氛围。

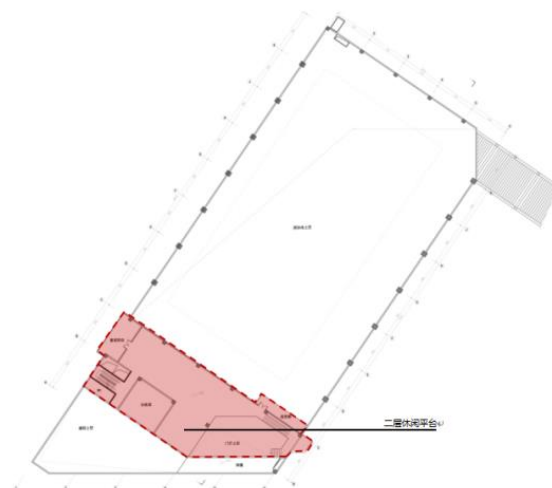


图6 游泳馆二层平面

在训练室一侧布置了一个无障碍卫生间,便于游泳馆中休息的师生们使用。

### 5 隔震层的功能性利用

由于建筑抗震与隔震设计规范的要求,本游泳馆项目特别设置了隔震层结构。经过综合考量,我们将隔震层合理布置于地下层空间,该层同时整合了设备用房和泳池专用管廊的功能,实现了空间的高效复合利用(图7、8)。结合项目场地的实际地形特征——游泳馆东侧场地自然标高较西侧低,我们巧妙地将游泳馆西侧的室外地面进行适度下挖处理,使原本位于地下的隔震层部分自然露出,形成与游泳馆主体和相邻体育馆之间过渡小广场的直接衔接。这一设计不仅优化了空间关系,更在暴露的隔震层边缘区域规划了商业配套功能,沿边缘带状布置体育用品专卖店、果汁饮品店等服务设施。该方案既充分挖掘了地下隔震层的潜在价值,通过商业运营为游泳馆创造了可持续的经济收益,又通过便捷的室内外空间过渡,极大提升了师生日常使用的便利性和体验感,实现了功能、经济与用户体验的多重优化。

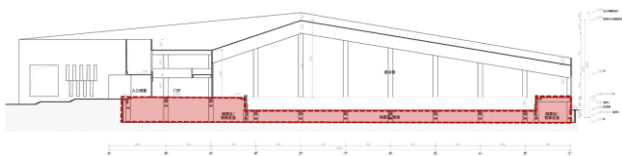


图7 游泳馆剖面(隔震层)



图8 游泳馆外观(隔震层)

### 6 屋面设备的“隐藏”

门厅、更衣洗浴区与二层平台共同构成的复合体量在整体竖向关系上低于游泳空间主体区域,其女儿墙设计高度控制在1.8m,该屋面层经过结构承重验算与机电管线综合排布后,被高效利用为专用的屋面设备功能区(图9、10),主要安置给排水机组、循环水泵等水专业相关设备,并通过隔音减震构造处理降低运行噪音。这样不仅通过高度差实现了设备间的隐蔽性收纳,避免了功能构件对游泳区景观视线的干扰,更使该过渡区域1.8m的女儿墙高度与二层平台的使用尺度、游泳馆主空

间的挑高要求形成了精准的竖向比例关系,在满足设备安装维护需求的同时,巧妙地将功能性设施转化为建筑造型的有机组成部分,最终达成建筑功能、空间体验与形式美学的和谐统一。

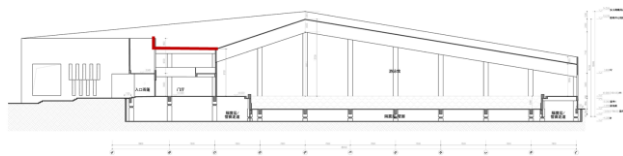


图9 游泳馆剖面(屋面层)



图10 游泳馆外观(屋面层)

### 7 立面设计虚实有秩

造型上,游泳馆前区空间(包括门厅、更衣洗浴区与二层平台)采用较为低矮的尺度处理,营造出亲切宜人的入口氛围;而作为主体功能的矩形游泳大厅则覆盖以舒展的人字形坡屋面,这一形态既赋予建筑整体轻盈灵动的视觉感受,又通过起伏的屋面线条强化了运动空间的活力特征,完美呼应了内部游泳活动的动态属性。基于这一特色体量进行立面设计时,着重对不同朝向的界面进行差异化处理——游泳区两个主要的长向立面采用通透化设计策略,以大面积高性能隔热保温玻璃结合上部错落有致的木格栅开窗为主(图11、12),既确保了宽敞水域获得均匀的自然光线漫射与空气流通,有效降低人工照明和机械通风的能耗,又通过虚实相间的立面肌理增强室内外环境的视觉联系;相对的短向山墙面则整体采用实体围合处理,严格控制开窗面积甚至完全取消窗户设置,这种设计既避免了游泳者在运动过程中受到外部视线的干扰,保障了使用者的私密性与专注度,又通过密闭的墙体构造增强了空间声学性能,共同塑造出既经济实用又符合功能逻辑的建筑表皮。

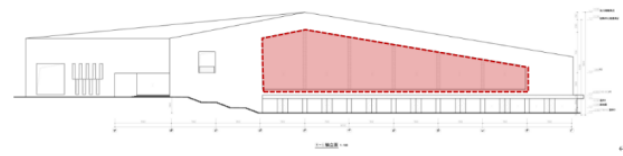


图11 游泳馆立面(玻璃面)





图 12 游泳馆外观（玻璃面）

## 8 结语

楚雄师范学院游泳馆项目的设计实践,是一次在特定地域条件与有限成本约束下,对高校体育建筑本质价值的深入探索与理性回归。本文通过从需求定位到建构的层层

递进分析,系统性地阐述了如何将经济性、宜人性与复合性三大核心价值贯穿于设计的全过程,并使之成为一个有机的整体。

### 【参考文献】

[1]宋晔皓,陈晓娟.《基于可持续性的体育建筑设计与技术策略——以若干奥运场馆为例》[J].建筑学报,2018(1):112-117.

[2]张弘,李振宇.《大型体育场馆赛后利用的“复合化”模式研究》[J].新建筑,2020(4):16-21.

作者简介:田梦(1986.1—),毕业院校:南京工业大学,所学专业:建筑,当前就职单位:云南省设计院集团有限公司,职务:建筑师,职称级别:高级工程师。

图 12

# 智能交通系统在市政工程中的应用与发展

杨思岚 留 焱

杭州萧山园林集团有限公司, 浙江 杭州 311200

[摘要]文中全面阐述了智能交通系统在现代市政工程框架之中的整合路径以及所具有的多维价值。该系统借助集成先进的感知技术、数据处理技术以及通信技术,可达成对城市交通的精准调控以及动态管理。文中对系统的各个核心构成部分以及各项关键技术加以梳理,并且着重剖析了其在交通信号控制领域、智能停车领域、公交调度领域以及设施运维等关键领域当中的应用模式。随后进一步探讨了系统对于提升通行效率、强化交通安全、优化资源配置以及改善出行体验等方面所产生的深刻影响。展望了在车路协同理念、数字孪生技术、人工智能技术与可持续发展理念相互融合情况之下的未来智慧交通生态系统的整体发展图景。

[关键词]智能交通系统;市政工程;交通信号优化

DOI: 10.33142/ucp.v2i6.18562

中图分类号: U491

文献标识码: A

## Application and Development of Intelligent Transportation Systems in Municipal Engineering

YANG Silan, LIU Yi

Hangzhou Xiaoshan Landscape Group Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang, 311200, China

**Abstract:** The article comprehensively elaborates on the integration path and multidimensional value of intelligent transportation systems in the framework of modern municipal engineering. This system utilizes advanced sensing technology, data processing technology, and communication technology to achieve precise control and dynamic management of paired urban traffic. The article summarizes the various core components and key technologies of the system, and focuses on analyzing its application modes in key areas such as traffic signal control, intelligent parking, public transportation scheduling, and facility operation and maintenance. Subsequently, the profound impact of the system on improving traffic efficiency, enhancing traffic safety, optimizing resource allocation, and enhancing travel experience was further explored. The overall development landscape of the future smart transportation ecosystem is envisioned under the integration of vehicle road collaboration concept, digital twin technology, artificial intelligence technology, and sustainable development concept.

**Keywords:** intelligent transportation system; municipal engineering; traffic signal optimization

全球城市化进程的加速与交通需求的指数级增长,对传统公路工程提出了严峻挑。在我国高速公路日均车流量已突破 3000 万辆次,但道路拥堵导致的经济损失年均千亿元,交通事故死亡率仍居高位,所以智能交通系统作为新一代信息技术与交通工程深度融合的产物,成为破解“交通困境”的关键路径。

### 1 智能交通系统概述

#### 1.1 智能交通系统的定义与核心构成

智能交通系统属于一种综合性的技术体系,其关键之处在于借助传感设备、通信网络、数据处理平台以及智能算法来达成对交通参与者、运载工具还有基础设施的全方位且实时的信息交互以及协同管控。这一系统的架构一般包含感知层、网络层、平台层以及应用层这几个层面。其中,感知层会通过布置各类各样的传感器来收集原始的数据;网络层依靠通信方面的技术来完成数据的传输工作;平台层主要负责针对海量数据展开汇聚、存储、清洗、融合以及挖掘等一系列操作;而应用层则是面向具体的场景去提供多种多样的智能解决办法。恰恰是这些彼此之间紧

密衔接并且协同开展工作的核心构成部分,一起撑起了系统那复杂而又高效的整个运行框架。

#### 1.2 智能交通系统的主要技术与功能

支撑系统运行的那些关键技术包含了车路协同通信方面的情况,还有基于计算机视觉以及雷达所开展的环境感知相关事宜,依托云计算和边缘计算来完成的数据处理工作,以及运用机器学习和深度学习所涉及的人工智能技术也都在其中<sup>[1]</sup>。依据这些情况,该系统能够达成对路网状态进行实时监测并且实现可视化的功效,同时具备让交通信号做到动态自适应优化的能力,还能够为出行者给予精准的路径规划并提供实时的诱导服务,对于公交车辆可以实施智能调度以及效能评估的操作,并且针对关键基础设施的结构健康状况能够开展在线监测预警等一系列颇为强大的功能,从根上彻底改变了传统交通那种被动响应且依靠经验来做决策的模式。

### 2 智能交通系统在市政工程中的关键应用领域

#### 2.1 城市交通信号智能控制与优化

在市政交通管理领域,交叉口信号灯控制对于达成路

网通行能力的最大化而言极为关键。传统的那种固定配时方案,往往很难去适应车流量所发生的动态变化情况。智能交通系统会凭借路口检测器来实时地采集车流方面的数据,并且依靠控制中心所具备的优化算法模型,动态地开展相关计算工作,进而将最优的信号相位以及绿灯时长给计算出来并下发下去。特别是在干线协调这样的情形之下,系统能够依据上游的车流状况,智能地对下游信号的起始时间做出相应的调整,从而形成连续的绿波带,如此一来便可以有效地减少停车的次数以及行程出现的延误情况。这项技术在城市主干道交通组织的优化方面有着十分广泛的运用。

## 2.2 智能停车管理与诱导系统

停车难的问题长期以来一直困扰着城市中心区域,智能停车管理系统给解决这个市政方面的难题开拓了一条途径。借助在泊位处部署检测器来精准地感知其占用状态,然后把空闲的相关信息经过物联网传送到管理平台,在那里进行整合处理。如此一来,一方面能够凭借可变信息板以及移动应用向驾驶员发布动态的空位信息还有导航路径,以此达成智能诱导的目的,进而减少巡游交通量;另一方面还能够支持无感支付、预约停车等一系列服务,而且还能针对违章停车做到自动识别取证,这使得停车资源的使用效率以及管理的精细化程度都得到了大幅度的提升。

## 2.3 公共交通智能化调度与服务

公共交通所具有的吸引力以及其服务水准,无疑是用来衡量城市交通发展质量的关键标尺。当在公交车辆上安装了定位模块、客流统计设备以及车载终端之后,调度中心便能够实时且清楚地知晓每辆公交车的具体位置、载客的实际状况以及到站的预报信息。凭借这些实时获取的数据,智能调度系统能够依据实际情况动态地去调整发车间隔,比如说在出行高峰期的时候增加班次,而在平峰期则相应削减运力。并且在遇到突发情况之时,还能够灵活地采用诸如跨线支援、开行区间车等一系列调度策略。与此有关的到站信息会通过电子站牌以及手机应用程序的方式提供给乘客,这无疑极大地改善了乘客的候车体验以及出行的计划性安排。

## 2.4 市政交通基础设施的智能监测与运维

桥梁、隧道这类大型市政基础设施的结构安全和公共安全紧密相关,传统的依靠人工定期去巡检的方式,存在着效率不高、风险较大以及难以察觉隐性病害等诸多不足之处。智能监测技术会布置光纤光栅传感器、应变计等物联网设备,针对基础设施的应力、变形、裂缝等各项参数展开不间断且自动化的采集与传输工作。将采集到的数据送入专业的分析平台之后,借助损伤识别算法来评估其安全状况,预测性能演变的走向,并且在出现异常情况的时候能够自动发出预警信息。这样的基于数据所构建的预防性养护模式,能够帮助市政部门从原先的被动维修状态转变为主动干预的状态,科学地制定养护计划,以此来确保

其长期的服役性能得以维持。

# 3 智能交通系统带来的市政工程效能提升

## 3.1 提升道路通行效率与缓解交通拥堵

智能交通系统在城市道路网络通行能力方面有着十分突出的效能体现。借助前文提到的自适应信号控制以及干线协调技术,路口通行效率能够提升 15%~30%,干线行程时间也会缩短 20% 以上<sup>[2]</sup>。区域交通信号控制系统还能够从整个路网层面来开展均衡调控,把拥堵区域的车辆合理地引导到非饱和路径,进而优化全路网的交通负荷分布情况。智能停车诱导系统通过减少寻泊巡游车辆,间接释放出了宝贵的道路空间。这些措施综合运用起来,可以有效遏制交通拥堵不断蔓延和加剧的态势,提高整个城市交通系统的运转效率。

## 3.2 增强交通安全性与应急管理能力

交通安全属于市政工程绝对不容触碰的红线范畴,智能交通系统借助技术手段让交通事故的发生风险以及危害程度都得到了明显降低。其中,基于视频分析的事故自动检测系统可在事故发生后的短短数秒之内便能识别出相关事件并且发出警报,相比于传统的依靠电话进行报警的方式而言,其为救援力量能够实现快速响应争取到了极为宝贵的宝贵时间。在遇到恶劣天气或者能见度比较低的情形下,智能路侧单元能够向过往车辆发送诸如道路出现结冰情况、存在团雾现象、有积水等各类预警信息。除此之外,该系统还能够针对超速行驶、闯红灯、逆行以及占用应急车道等一系列具有较高风险的违法行为展开全天候不间断的自动抓拍以及记录工作,进而形成一种颇为强大的执法方面的威慑作用。就应急管理来讲,一旦发生重大活动期间、出现交通事故或者是遭遇自然灾害等情况时,交通控制中心便能够快速启动相应的应急预案,通过采取远程调控信号灯、及时发布诱导信息、精心规划应急通道等多种多样的方式,以此来确保救援车辆能够优先顺利通行,并且对社会车辆进行有效疏散,如此一来便极大地提升了城市在应对突发事件时所具备的交通韧性以及处置能力。

## 3.3 优化城市资源配置与能源消耗

智能交通系统对城市时空资源以及能源的利用起到了促进作用,使其变得更加高效。其借助提升通行效率这一举措,让车辆不再因拥堵而出现怠速以及频繁启停的情况,如此一来便直接降低了燃油的消耗量以及尾气的排放量。智能公交调度能够让有限的公交运力和动态变化着的客流需求更好地契合起来,进而提高了公共交通这种集约化出行方式在资源利用方面的集约化程度<sup>[3]</sup>。智能停车管理则让存量停车资源得以活络起来,减少了对新建停车场所需土地的需求。从更为宏观的角度来讲,一个高效运转的交通系统能够减少社会经济在运行过程中所面临的摩擦以及时间成本,推动物流、人流、信息流实现高效流转,为城市整体资源配置的优化给予了基础性的支撑,对于推



动城市朝着绿色低碳方向发展有着十分深远的意义。

### 3.4 改善市民出行体验与公共服务水平

最终而言,所有的市政工程改进都应当以人为中心,要能够满足人的需求,智能交通系统在很大程度上提升了市民日常出行时的体验,让他们收获了满满的获得感。其精准的实时公交到站预报,使得候车的过程变得可以预知且能够把控;而多渠道的实时路况以及事件信息的发布,又可以帮助自驾者提前去规避可能出现的拥堵情况。它所提供的一体化出行规划服务,还能够支持多种交通方式实现无缝的衔接,并且还能实现一键支付的功能。并且,更为关键的是,这些智能化的服务大多都是通过智能手机应用等这样便捷的渠道来提供的,如此一来便打破了以往存在的信息壁垒,赋予了出行者更多的选择权以及控制权,进而使得出行的过程变得更加顺畅,更有计划性,出行者也更有尊严。这种把以用户为中心的服务理念切实落地的做法,意味着市政交通服务已经从传统的管理导向发生了深刻的转变,转而朝着服务导向的方向发展,这无疑有力地提升了城市公共服务的水平,也让城市的宜居形象得到了进一步的提升。

## 4 未来发展趋势

### 4.1 车路协同与自动驾驶的深度融合

系统正朝着和智能网联汽车自动驾驶技术深度融合协同的方向发展。未来的市政道路会升级成为拥有感知、计算以及通信服务功能的智能道路。借助广泛布置路侧单元的方式,能够达成车辆与道路之间毫秒级别的信息交互。路侧系统能够给自动驾驶车辆提供像超视距环境感知、信号灯状态以及危险预警等这类高价值的信息,以此来弥补单车智能存在的局限性。这样的深度融合状况,会在很大程度上提升自动驾驶的安全性,并且还会催生出编队行驶、协作式交叉口通行等一系列全新的、高效的交通组织模式。

### 4.2 基于数字孪生的交通系统全生命周期管理

数字孪生技术给系统从规划、建设到运营维护整个生命周期的管理工作带来了革命性的工具。借助构建和物理系统一一对应的虚拟模型,并且往其中输入实时以及历史数据,管理者便能够在数字空间里针对交通政策、基础设施改扩建方案等展开仿真推演以及评估预判其实施效果,进而做出科学决策,降低试错成本<sup>[4]</sup>。在运维阶段,数字孪生体能够实时反映出设施的健康状况,模拟性能衰减的过程,并且自动形成最优的维护策略,推动管理进入到前所未有的精细化、智能化的新阶段。

### 4.3 人工智能与大数据的深度赋能与决策优化

随着交通数据采集所涉及的维度变得更为广阔,粒度也变得更加细致,人工智能以及大数据分析所赋予的深度赋能,将会成为该系统不断实现进化的关键核心驱动力。未来的交通大脑,不但能够对当前的交通状况予以监测,并且能够进行简单的预测,而且还可以凭借复杂的深度学习模型,去深入理解交通现象背后的深层成因以及彼此间的关

联,进而达成从微观层面的个体出行情况,一直到宏观层面的路网运行态势的精准模拟与推演。基于这样的系统,其能够为管理者给出一系列更具战略意义的决策支持方案,比如从拥堵问题的溯源治理、公交线网的动态优化,再到停车价格的动态调节等方面,促使治理方式从单纯依靠经验驱动,向着由数据模型驱动的方向来实现极为深刻的转变。

### 4.4 面向可持续发展的智慧交通生态系统构建

未来的发展会超越单纯的技术效率提升,而是更为紧密地融入城市可持续发展的总体目标,努力去构建一个人车路环境能够和谐共生的智慧交通生态系统。这个系统会把清洁能源、共享出行、慢行交通等绿色要素进行深度融合,借助智能化的手段来引导公众去选择环保的出行方式<sup>[5]</sup>。在规划与运营方面,它会对能源消耗、碳排放、噪声污染等环境影响指标展开全面的评估,并且要和城市空间规划、环境管理、能源系统等跨领域协同起来进行优化,最终形成一个以数据作为纽带、以智能作为特征、以人的美好出行以及城市可持续发展作为根本价值的复合生态系统。

## 5 结束语

智能交通系统把前沿的信息技术充分融入到市政交通工程当中,已经成为推动现代城市交通治理模式发生变革以及效能得以提升的关键驱动力。它在交通信号控制、停车管理、公交服务、设施运维等重要领域得到广泛运用,实实在在地收获了诸如通行效率得以提升、安全保障有所加强、资源消耗减少以及出行体验获得改善等诸多方面的明显成效。往后的日子,伴随车路协同、数字孪生、人工智能等技术不断取得突破并实现融合创新,智能交通系统会向着更为协同、更加智慧、更趋绿色的方面去发展,最终促成与城市经济社会发展状况相匹配、与居民美好生活期盼相一致的智慧交通生态系统形成。

### 【参考文献】

- [1]李爽,白雨晴,张旭,等.基于数字模型的智能化装调工艺仿真探索[J].数字技术与应用,2025,43(9):93-95.
- [2]伍超扬,朱淘淘,丁雪.智能感知技术在高速交通机电系统与信息化融合中的关键作用[J].数字技术与应用,2025,43(8):90-92.
- [3]李金贵,刘薇.智能视频监控在公路机电工程质量检查中的应用探索[J].信息与电脑,2025,37(10):157-159.
- [4]王恩雨.基于信息时代的高速公路机电工程施工监理工作方法[J].大众标准化,2025(9):158-160.
- [5]陈伟.高速公路交通机电监控技术应用研究[J].运输经理世界,2024(36):147-149.

作者简介:杨思岚(1997.12—),毕业院校:浙江农林大学,所学专业:园林,当前就职单位:杭州萧山园林集团有限公司,职务:项目经理;留焱(1998.7—),毕业院校:江西科技学院,所学专业:土木工程,当前就职单位:杭州萧山园林集团有限公司,职务:现场管理人员。

## 城市轨道交通运营安全管理协同机制分析

陈 妮

重庆轨道交通运营有限公司, 重庆 400000

[摘要]城市轨道交通在城市公共交通领域占据着愈发重要的地位,其安全管理工作对于交通效率以及公共安全有着直接的影响。不过,当前的运营安全管理存在着诸如部门协同不够、信息共享迟滞以及应急响应不够完善等状况,这些情况对整体效率以及风险控制能力形成了限制。文章把城市轨道交通运营安全管理协同机制当作研究对象,剖析其现状与存在的问题,并且给出完善协同组织体系、搭建信息共享平台、健全风险预警与应急联动机制、提高技术支撑以及强化人员培训与责任落实等方面的优化策略。此研究可为提升轨道交通安全水准与管理效率给予理论方面的依据以及实践层面的参考。

[关键词]城市轨道交通;运营安全管理;协同机制

DOI: 10.33142/ucp.v2i6.18561

中图分类号: U298

文献标识码: A

## Analysis of Collaborative Mechanism for Safety Management of Urban Rail Transit Operation

CHEN Ni

Chongqing Rail Transit Operation Co., Ltd., Chongqing, 404100, China

**Abstract:** Urban rail transit plays an increasingly important role in the field of urban public transportation, and its safety management has a direct impact on traffic efficiency and public safety. However, current operational security management faces challenges such as insufficient departmental collaboration, delayed information sharing, and inadequate emergency response, which limit overall efficiency and risk control capabilities. The article takes the collaborative mechanism of urban rail transit operation safety management as the research object, analyzes its current situation and existing problems, and provides optimization strategies for improving the collaborative organizational system, building an information sharing platform, establishing a sound risk warning and emergency linkage mechanism, enhancing technical support, and strengthening personnel training and responsibility implementation. This study can provide theoretical basis and practical reference for improving the safety level and management efficiency of rail transit.

**Keywords:** urban rail transit; operational safety management; collaboration mechanism

### 引言

城市轨道交通是现代城市交通极为重要的一种支撑形式,其能否安全运营,这直接和城市经济的发展以及居民的日常出行紧密相关。随着网络规模变得越来越大,运营的复杂性也在不断增加,在这样的情况下,传统的那种仅仅依靠单一部门或者单纯依靠人工经验来进行管理的模式,已经很难再满足实际的需求了。这就要求管理体系能够达成跨部门之间的协同合作,做到信息的充分共享,还要具备风险预警的能力以及能够实现快速响应。信息技术在不断发展,它给安全管理带来了智能化以及数字化方面的有力支撑,使得协同管理成为了提升运营效率以及安全水平的一项关键举措。

### 1 城市轨道交通运营安全管理的重要性

#### 1.1 有效降低事故发生率

在现代城市中,轨道交通是一种高效便捷的出行方式,其运营安全至关重要。有效的安全管理不仅是降低事故发生率的重要手段,也是保障乘客生命财产安全的关键。在复杂且不断变化的城市环境中,各种因素可能引发意外事故,如设备故障、人为失误甚至自然灾害。然而,通过建立全面而完善的安全管理体系,可以提前识别并评估潜在

风险,从而采取预防措施以降低风险。

#### 1.2 提高轨道运营效率

在城市轨道交通运营中,安全管理不仅涉及降低事故率,还直接关系到整体运营效率。优化列车调度和行车组织可以最大化利用线路资源,使列车运行更顺畅。同时,智能系统的实时数据分析和预测功能帮助运营方及时调整计划,应对突发情况。这种高效的信息沟通机制确保了各部门间无缝协作,大大减少了因信息不准或延误带来的影响。

### 2 城市轨道交通运营安全管理现状分析

当前,我国城市轨道交通运营安全管理体系正逐步走向完善,已然形成一个多层次的管理框架,其中涵盖了组织架构、管理制度、风险识别以及应急机制等诸多方面。就组织结构来讲,多数城市轨道交通公司都设置了专门的安全管理部门,清晰地明确了安全管理方面的各项职责,这些职责涉及设备检修、运营调度、乘客服务还有应急响应等多个领域。与此各地还制定出了较为详尽的安全管理制度,像操作规程、检修计划、巡检制度以及安全考核办法等都有所包含,以此来保证日常运营能够具备规范性并且处于可控的状态。在风险识别与事故统计这块,轨道交通运营单位会去收集设备故障、运营异常以及乘客投诉等



相关数据,进而对潜在的风险展开分析,并且会联合历史事故数据来推行预防性的安全管理举措。除此之外,信息化手段在部分城市已经得到了运用,通过构建运营监控系统以及数据平台,能够达成对列车运行状态、设备健康状况以及乘客流量的实时监控目的,从而为决策给予数据方面的有力支撑。不过,在现有的管理模式之下,多个部门之间的协同依然存在着一定的局限性,信息传递的效率以及应急处置的能力也都存在差距,协同管理的水平还是需要进一步加以提升。整体来看,现行的安全管理体系在制度完善以及技术应用方面确实取得了一定的成效,然而在协同机制的整体设计以及执行效果方面仍旧面临着诸多挑战,有必要在组织体系、信息共享以及应急联动等多个方面做进一步的优化处理。

### 3 城市轨道交通运营安全管理协同机制存在的问题

#### 3.1 管理主体之间协同不足

在实际的运营进程当中,城市轨道交通的安全管理工作涉及到诸多主体,像运营单位、设备维护部门、交通管理部门还有应急救援机构等均包含在内。不过,这些主体在职能的划分、信息的传递以及工作流程等方面常常会呈现出一定程度的脱节状况,如此一来,协同管理的效率便受到了限制。部分单位在开展安全管理工作的時候,依旧是以部门自身的利益或者自身所承担的职责作为中心,欠缺跨部门协作的意识,这就致使在突发事件出现之时,难以构建起快速的反应机制。与此不同部门在风险评估、隐患排查以及日常巡检环节所采用的标准与方法存在差异,这使得信息没办法直接实现共享与整合,进而让问题的发现以及处理速度变得迟缓起来。这种协同方面的不足,一方面影响了安全管理整体的效能,另一方面也加大了运营过程里潜在风险累积的可能性,对城市轨道交通安全管理水平的提升起到了制约作用。

#### 3.2 信息共享与沟通机制不完善

信息共享以及沟通机制的不够完善,这已然成为制约轨道交通协同管理的一个关键因素。就多数城市轨道交通系统来讲,其运营数据、设备所处的状态信息还有安全预警信息,往往是各自由不同的部门来独立进行管理的,缺少一个统一的平台能够用来整合这些数据并实现数据的实时共享。而部门之间在进行信息沟通的时候,主要依靠的是召开会议、人工去报送或者通过电话来传达等方式,如此一来便存在着信息会出现延迟、数据并不准确并且还会有重复劳动等诸多情况。这样的一种状况,一方面增加了管理方面的成本,另一方面也对快速识别潜在风险以及应急决策的效率产生了影响。与此信息孤岛的现象在实际的运营当中是比较突出的,各个部门很难形成统一的安全态势感知,这就给对突发事件的研判以及处置带来了一定的阻碍,使得在应急响应以及协同调度方面,安全管理存在着比较明显的不足之处。

#### 3.3 风险预警与应急响应机制缺陷

虽然大多数轨道交通系统都搭建起了基本的应急预案,然而其风险预警以及应急响应机制依旧存在着较为明显的不足之处。就预警机制来讲,它欠缺针对性与时效性,对于设备故障、异常运营还有自然灾害等各类风险的监测以及预测能力是有限的,没办法达成在事故发生之前主动去防控的效果。再说应急响应体系,在跨部门协作方面存在一些不完善的地方,像调度、维修以及乘客疏散等环节的协调机制不够顺畅,如此一来便致使在出现突发事件的时候难以快速地形成统一的行动方案,使得处理时间被延长,也增加了发生事故损失的可能性。并且预案的更新以及演练的频次也不足,这就导致部分工作人员在应急状况下难以精准地执行自身职责,进而影响到了整体应急管理的效果。

#### 3.4 技术支撑与数据应用有限

当下城市轨道交通的安全管理于技术运用层面已收获些许进展,然而其整体的技术支撑实力依旧存有欠缺之处。部分运营单位针对智能监控、设备健康诊断、数据分析以及风险预测等方面所投入的技术力度较为有限,且对于大数据、物联网还有人工智能等现代信息技术也欠缺深度的应用举措。如此一来,在运营进程当中便很难实时且全面地掌握列车的运行状况、设备的健康情形以及潜在的各类安全隐患,没办法凭借数据驱动的方式去开展科学合理的决策事宜。与此各个技术平台彼此间兼容性欠佳,并且数据整合的能力也不足,这就致使各类信息难以达成统一的管理与分析效果,进而使得安全管理的智能化程度有所降低,对协同机制的高效运转形成了限制作用。

#### 3.5 人员培训与责任落实问题

在实际的管理过程当中,人员培训以及责任落实方面存在的不完善情况,同样是协同机制受到限制的关键因素所在。从一个方面来讲,有一部分岗位员工在安全管理方面的意识有所欠缺,并且跨部门协作的能力也较为薄弱,对于处在复杂运营环境之下的风险识别以及应急操作的掌握程度并不够到位。从另一个方面来看,责任划分得不够清晰明确,如此一来,在出现事故或者异常事件的时候,就容易出现相互推卸责任的现象,进而使得协同管理的效率有所降低。除此之外,培训所涉及的内容以及采用的方式都比较单一,缺少针对不同岗位以及突发情境展开的实战演练环节,这便致使员工在实际的操作过程中很难快速地去适应,从而难以妥善应对那复杂且多变的运营环境。这些诸多问题综合起来产生作用,对安全管理协同机制的有效施行以及整体运营安全的水平都造成了影响。

### 4 城市轨道交通运营安全管理协同机制优化策略

#### 4.1 完善协同管理组织体系

提升城市轨道交通安全管理整体协同效率,需从组织体系建设着手,构建统一指挥且有多个部门共同参与的管理体系。各个管理主体要清晰界定职责分工以及权限范围,



还需形成跨部门的协调机制,保障在日常管理以及突发事件处置过程中能达成信息共享和资源调度<sup>[1]</sup>。借助设立安全管理委员会或者联席会议制度的方式,把运营单位、设备维护方、应急救援机构以及交通管理部门归入同一协作平台,促成部门间常态化的沟通与决策。应当设置专门的协同管理岗位或者团队,负责对各部門在安全管理中的协作流程予以统筹安排,监督协同机制的实际执行状况,保证各项安全管理举措可切实得到落实。

#### 4.2 构建信息共享与数据整合平台

信息共享以及数据整合对于达成高效的协同管理而言,属于极为关键的支撑要素。需着手搭建起统一的信息管理平台,把列车运行方面的数据、设备所处状态的相关信息、乘客的流量情况还有安全监控方面的数据统统纳入到集中管理的范畴当中,以此来达成数据的实时采集工作、后续的处理事宜以及共享机制的构建。与此借助标准化的数据接口以及统一的信息格式,促成不同部门与各个系统彼此之间实现数据的互联互通,进而彻底清除掉信息孤岛这一状况,促使决策效率得以有效提升<sup>[2]</sup>。该平台同样需要具备权限管理的功能以及安全保护的相关举措,从而切实保障敏感信息以及核心数据能够处于安全无虞的状态。凭借数据整合以及信息共享这两大举措,管理者便可以实时且精准地掌握运营的实际状态,能够较为迅速地识别出潜在存在的各类风险,并且在突发事件发生之际,能够展开科学合理的调度安排以及联动式的响应行动。

#### 4.3 健全风险预警与应急联动机制

为了提高安全管理的预见性以及加快响应的速度,应当对风险预警体系予以完善,构建起依据数据分析以及监测情况的多层级预警机制,达成对设备出现故障、运营存在异常还有突发状况的提早察觉与预警目的。与此需要制定出统一的应急联动流程,把调度环节、维修环节以及乘客疏散环节等进行系统的整合,实现跨部门的快速响应状态。在这样的基础之上,定期举行应急演练活动,以此来检验并优化预案的实际可操作性,让各个部门在发生突发事件的时候能够依照既定的职责以及流程高效地展开协作配合。借助科学的风险预警以及应急联动机制,能够在很大程度上提升事故防控的能力以及应急处理的效率。

#### 4.4 提升技术支撑与智能化水平

现代信息技术在安全管理方面有着无可取代的重要作用,所以应当进一步加大针对智能化技术的应用力度以及投入资金的规模。通过引入物联网传感器、智能监控系统、大数据分析平台还有人工智能算法等方式,来对列车

的运行状态、设备的健康状况以及乘客的流量情况进行实时的监控操作,并且展开预测性的分析工作,以此达成科学合理的决策效果以及主动开展的干预举措<sup>[3]</sup>。与此需要强化各个系统之间相互的兼容性以及数据整合方面的能力,进而提升安全管理所处的智能化程度。技术支撑得以提升之后,不但能够对运营调度以及设备维护起到优化的作用,而且还可以增强协同管理所具有的可视化程度以及决策支持方面的能力,让各个部门可以在统一搭建起来的平台上高效地展开协作,促使安全管理能够从依靠经验来驱动的状态转变为依靠数据来驱动的新模式。

#### 4.5 强化人员培训与责任落实

人员素质以及责任意识对于协同机制有效运转而言是极为重要的保障。应当构建起系统性的培训体系,依据不同岗位与职责来设计专业的培训课程,而且要开展模拟演练以及应急处置方面的训练,以此提升员工的风险识别能力还有应急操作能力。与此需明确岗位职责与考核指标,把安全管理责任切实落实到具体的岗位以及个人身上,从而保证在发生突发事件的时候能够快速做出响应并且顺利执行任务。借助持续不断的培训以及严格的落实责任,可提升员工的协作能力以及安全管理水平,进而为城市轨道交通的运营给予稳固的人力方面的保障。

#### 5 结语

城市轨道交通运营安全管理的协同机制在当下的实际运用当中,碰到了一些问题,像主体协同做得不够到位、信息共享存在阻碍、风险预警以及应急响应机制不够完善、技术支撑方面有所欠缺,还有人员培训以及责任落实也做得不够彻底等。对于这些所存在的问题,采取诸如完善协同管理组织体系这样的方式,去构建起信息共享与数据整合的平台,让风险预警与应急联动机制得以健全起来,同时提升技术支撑以及智能化的水平,并且强化人员培训以及责任落实等方面的优化策略,如此一来便能够明显地提升城市轨道交通运营安全管理的整体成效。

#### [参考文献]

- [1]胡梅.城市轨道交通运营安全管理因素与优化[J].中国储运,2025(8):60-61.
- [2]吴洁.城市轨道交通运营安全管理的有效措施[J].人民公交,2024(20):82-84.
- [3]黄烜翔.城市轨道交通运营安全管理因素与优化对策[J].现代企业,2024(1):38-40.

作者简介:陈妮(1986—),毕业于兰州交通大学,电气工程及其自动化专业,从事轨道交通运营安全管理工作。

## 上海市健身步道管理困境与优化路径

车启标

上海理工大学 管理学院, 上海 200082

**[摘要]**运用文献资料、逻辑分析等方法,分析上海市健身步道建设与使用现状、当前管理困境,并提出管理维护优化路径。当前上海市健身步道建设形势总体向好,2025 年度已完成新建和改建市民健身步道 54 条,步道建设已取得阶段性成果,步道建设总体规模及智能化路径较为成熟,但在城部分布、运营机制、管理责任等层面仍存在部分问题。困境:步道资源设施分布不均,步道维护机制不完善,步道管理方责任不清。优化路径:重点推进均衡化布局,持续提高长效化管理,精准落实智慧化升级。

**[关键词]**健身步道;管理困境;健身步道优化路径

DOI: 10.33142/ucp.v2i6.18553

中图分类号: F119.9

文献标识码: A

## The Management Dilemmas and Optimization Path of Fitness Trails in Shanghai

CHE Qibiao

Business School, Shanghai University of Science & Technology, Shanghai, 200082, China

**Abstract:** By means of literature review and logical analysis, this paper examines the current status of construction and utilization, existing management predicaments of fitness trails in Shanghai, and further proposes targeted optimization strategies for their management and maintenance. Currently, the construction of fitness trails in Shanghai is on a sound upward trajectory. A total of 54 public fitness trails were newly built or renovated in 2025, representing the attainment of phased outcomes in trail development. The overall scale of trail construction and the intelligent development pathway have reached a relatively mature stage. That said, notable issues persist in terms of urban-suburban distribution, operational mechanisms and delineation of management responsibilities.

**Keywords:** fitness trail; management dilemma; optimization path of fitness trails

### 引言

2025 年的上海在体育赛事方面迎来多重挑战与丰收,全民健身的概念也随之逐渐铺开,在体育运动迈向更高质量发展阶段的过程中,人民对高品质运动场地的追求变得愈发迫切,健身步道因其使用门槛低、场地承载能力强、同时可容量多人使用的特色,其建设与投入使用与市民连接绿色运动、健康生活息息相关,打造“15min 健身圈”,让日常运动惠及全民已成为当前体育设施布局方面的重要目标,在上海推进体育设施布局的系统谋划框架下,将健身步道纳入城市空间规划,串联多体育设施的使用,构建网格化步道网络,以规范引领确保步道建设与城市发展同频,是上海真正落实全民健身的重要举措。

中国田径协会团体标准《健身步道指南》(T/CAAB 0001—2022)将健身步道的定义描述为:依托公共空间建设,供人们进行散步、健走、跑步等体育健身或比赛的专门道路<sup>[1]</sup>。对标国际经验,对比纽约曼哈顿绿道、新加坡公园连道等先进理念,上海健身步道整体建设的机制还有待完善,统筹推进健身步道建设是关乎国计民生的重大工程,也是贯彻落实全民健身国家战略的重要举措<sup>[2]</sup>,作为国内城市标杆,上海在全民健身公共服务体系建设始终在不断追求创新与改进,但面对市民日益增长的物质文化需求,健身步道建设仍面临诸多挑战,如城部分布资源不均、步道

网络覆盖广度尚有提升空间、多部门协同管理的体制机制待健全等。本研究通过例举上海健身步道建设与使用现状,综合分析管理困境与优化路径,立足城市特质,为上海更好推动健身步道建设实现高质量发展提供部分建议。

### 1 上海市健身步道建设与使用现状

健身步道因其便捷性、免费性成为市民日常运动健身的首选。从晨练老人到夜跑青年,从亲子家庭到职场白领,各类人群均能在步道中找到适宜空间,尤其在滨江步道、社区口袋公园步道,高峰期使用时间段人群密度较大,且市民使用步道不仅限于健身,还衍生出社交、休闲、亲子教育等多样化需求,如黄浦江、苏州河等滨江步道因其自然环境及串联的历史地标等优势成为市民、游客打卡首选,社区步道举办邻里健身活动促进独特的社区文化传播,部分步道结合文化元素设置历史导览,帮助实现“健身+文旅”融合;同时,通过健身步道改善市民体质,对于降低医疗成本而言也能产生潜在的长期社会价值。2024 年 7 月,上海市体育局联合卫健委等六部门发布《上海市运动促进健康计划(2024—2026)》,设定至 2026 年底人均体育场地面积达 2.7m<sup>2</sup>、经常参加体育锻炼人数比例提升至 51%的核心目标。在持续推进《健身设施建设补短板五年行动计划(2021—2025 年)》政策文件方面,截至 2025 年 3 月,上海全市已累计建成市民健身步道 2710 条、其

中包含 89 条智能健身步道，智能健身步道新增的功能包括精准运动数据监测、个性化健身方案定制、互动体验增强等，给使用者带来更丰富、更便捷的体验；另根据上海市体育局官方公布，截至 2025 年 10 月底，上海全市在本年度已完成新建和改建市民健身步道 54 条，上海市健身步道在建设和投入使用方面均已取得阶段性成果，成为城市健康生活的重要载体。未来需以人民需求为导向，持续完善体系、提升质量、创新管理，让步道真正成为市民触手可及的幸福空间，为上海建设全球健康城市提供坚实支撑。

## 2 当前存在的管理困境

### 2.1 步道资源设施分布不均

2024 年数据显示，上海市人均体育场地面积达到  $2.65\text{m}^2$ ，中心城区每平方千米拥有运动场地  $26914\text{m}^2$ ，而郊区仅为  $8994\text{m}^2$ ，城郊步道铺设的面积分布不均衡。即便是中心城区拥有更大面积的步道，但因城区人数显著多于郊区，致使中心城区人均体育场地面积仅约  $1\text{m}^2$ ，远低于郊区的  $2.35\text{m}^2$ ，这种现象反映了当前上海中心城区土地资源稀缺与人口密度高的矛盾，从现实情况分析，以健身步道为例的公共体育设施难以满足居民日常需求；从步道的建设属性分析，中心城区健身步道多为线性步道，缺乏环形步道设计，难以满足不同运动需求，而郊区虽有较多环形步道，但随之配套的公共设施不足，垃圾桶、公共卫生间、供休憩座椅等建设数量少的情况影响使用者体验，且郊区步道往往因远离居民区的原因，致使可达性不强，其实际使用率普遍低于中心城区，城郊发展不均衡的问题突出，制约了对应居民的使用。

部分郊区基础服务缺失，存在设施配置不达标的情况，根据 2023 年金山区调查显示，受访者对于绿化率和休憩场所的需求反映占比最高，但因资金分配不均、属地化管理失效等多因素存在，在调查后的更新阶段、实际响应效果不明显、覆盖率仍未能达理想状态；部分步道未按《上海市民健身步道建设导则》要求设置休息椅、照明设施或健身指导标识，也存在部分步道建设初期未能考虑各使用人群的使用体验，如 2023 年松江区审计发现，38 条新建步道中仅 12 条配备无障碍坡道，这也反映了无障碍设施空白的情况仍存在。另智慧化设施集中化建设，也反映了资源分布不均衡的情况较为显著，截至 2025 年，上海新建设的 89 条含心率监测等功能的智能健身步道主要分布于浦东、静安等沿河沿江核心区域，该区域因自然环境独特、或更具商业价值被重点关注及进行步道铺设，而远郊智慧步道在智能覆盖方面则数据不太理想，且设备类型单一，多为以基础计步器为主，市民在使用的过程中很难享受到智能该体验。

### 2.2 步道维护机制不完善

从美国健身步道建设标准分析，其建设以 NTSA 为总览，依据各级各类法律法规，通过对建设目标、开发条件、路线设计、技术规格、智能建设、管理经营、建设流程等方面进行引导与规范，使建设要素的整合更高质、组

合更有序<sup>[3]</sup>；上海在制度层面而言，通过发布《上海市体育设施管理办法》以及《上海市公园绿地市民健身体育设施设置导则（试行）》文件以明确提出，对超过使用年限的器材设施，各区要制定计划进行更新，确保器材安全使用，区体育部门要统筹协调健身步道及配套设施的管理维护，明确责任单位；在实际工作中，因责任主体模糊导致权责脱节的情况暴露了维护机制方面的不足，如青浦区崧泽大道的红色塑胶步道因代建单位未移交街道，导致杂草高过人肩、路灯破损倒地，2025 年 10 月才启动移交程序，养护空档期长达数月。

在问题发现与反馈方面，部分区域步道管理单位缺乏有效的日常巡查，未建立常态化巡查机制，问题反馈的流程尚不成熟，导致问题发现不及时、发现问题后处置流程周期长。部分有报修意愿的使用者因不熟悉报修单位和流程、多只能通过 12345 市民热线提供报修线索，但后续缺乏修理进度告知的反馈，此种情况易导致重复报修以及对对应投诉情况产生，一定程度上也挫伤了报修者的积极性，此种情况下暴露出步道报修渠道单一、低效的问题。对于维护单位而言，维护资金不足或是其未能及时安排对应工作人员进行日常巡查的主要原因之一，但如仅靠一些临时性、应急性维修方式以及使用者上报维修线索，难以即时、全面保障设施正常运转，该被动维修模式易使健身步道及周边设施长期超负荷运转，既影响使用体验、也存在一定隐患，在使用者主动报修的模式中，部分使用者往往也因“报修流程复杂”选择放弃报修，该情况对健身步道维护进程造成一定影响，反映出维护机制缺乏系统性和前瞻性。

### 2.3 步道管理方责任不清

实践中由于公共文体设施归属部门各不相同，对于健身步道的维护责任而言，建设单位代管、街道文体中心负责、依托公园管养方管理的情况都有，步道管理范围边界不清晰，存在多部门管辖冲突的情况，该运转模式下，居民发现问题、上报问题的后续处置单位难以及时认定，就松江区现实案例为例，关于一条沿河经公园和居民小区的健身步道，其因自身属性的问题，按当前的处置流程分析，河道周边健身步道归属水务局、公园周边健身步道归属绿容局、社区周边健身步道归属街道，该属地管理单位交错复杂、普通居民无从了解实际报修主体；《上海市体育设施管理办法》内容中要求明确责任单位，但实践中存在建设单位移交未完成、街道因各类现实问题不愿接手等矛盾，导致政策落实困难；尤其是在健身步道建设初期，一旦出现移交未完成的情况，就容易形成管理空档期，使步道设施处于无人管理、无人维护的状态，2025 年上海市民健身满意度调查显示，步道维护问题位列“最不满意”前三，65%的受访者认为“政府承诺未兑现”，这导致居民满意度不理想，健身步道管理方责任不清的问题本质，是公共资源配置中建设导向与服务导向的失衡。



### 3 健身步道管理维护优化路径

#### 3.1 重点推进均衡化布局

均衡化布局首先可以体现在差异化布局方面,根据《上海市体育发展条例》第五十三条规定,可在确保建筑安全和消防安全的前提下,利用高架桥下空间、闲置地、楼顶空间等场地资源,暂不变更土地性质建设公共体育设施。上海市长宁区北新泾街道在中环苏州河公共开放空间,将原本灰色的桥下空间改造为彩色运动场地,布局了桥下绿地、观景平台、健身步道和球场,为上海城区提供了可复制的经验;郊区可侧重提升设施质量与配套服务。通过“体绿融合”模式,将健身步道与公园绿地有机结合,以此提升居民的使用率,对于可达性较差、但其居民使用需求较高的区域,可规划较多的步行线路,来增加道路网络的关联性,以此来提升局部可达性<sup>[4]</sup>。

从专项资金的设置角度出发,能够实际帮助实现城郊均衡化布局,在重点支持中心城区和城乡接合部的健身步道设施建设的基础上,也应该考虑部分郊区面临的由于资金不足而导致设施布局落后的实际情况,上下一盘棋,实现全市设施的统一管理和调度,进一步向均衡化布局倾斜,在资金的使用方面要制定专项规划,确保钱要花在实处、力要使在刀刃上,通过明确分工的网络化管理,实现资源合理调配。

#### 3.2 持续提高长效化管理

长效化管理的核心要素,是确保管理主体责任明晰:《上海市体育设施管理办法》及《上海市公园绿地市民健身体育设施设置导则(试行)》已明确提出“区体育部门要统筹协调健身步道及配套设施的管理维护,明确责任单位”<sup>[5]</sup>。在各职级单位分布方面,应确保诸如“市-区-街镇-居村委”等多级管理网络模式正常运转,其中各环节不掉队、履行对应职责,尤其是对于健身步道在建设初期、移交阶段、后期维护等常规环节中,各级主体在工作落实方面应到实处,避免管理真空。如宝山区友谊路街道通过“街道吹哨、部门报到”的模式,形成治理合力,以简单高效的方式解决健身步道维护难题。

管理长效化离不开人才队伍建设的精细化管理,流水不争先,争的是滔滔不绝,应重视专业性人才队伍建设及发扬多方社会参与的力量,确保健身步道的建设、管理、维护人员队伍逐渐专业化、年轻化,另就上海自身的特质而言,在沪企业诸多,可以通过引导企业主动参与社区治理的模式、实现经济效益与社会效益的双赢,以此方式培育员工的民主素养和共同体意识,从“被动接受”到“主动参与”,不仅能帮助提高步道维护效率,也能增强对应企业、社区凝聚力。

#### 3.3 精准落实智慧化升级

2023年《上海市全民健身实施计划》明确提出“推动全民健身公共服务均等化、标准化、融合化、数字化”,为智慧化升级提供了政策依据,随着科技手段的不断进步,其被不断应用于发达国家健身步道建设,成为推动健身步道创新、服务大众健身步道参与的重要手段<sup>[6]</sup>,这对于上

海市健身步道智慧化、数字化建设有相当的借鉴意义。在数据融合方面,当前上海市民云“一网通办”系统的铺开使用已相当成熟,对于各区之间独立的健身步道管理平台的分布不均情况,应考虑将各区、各管理单位对应的资源整合、以市级单位主导进行统一规划管理,如通过与市民云“一网通办”衔接的方式,将健身步道基础数据、使用情况、维护记录等信息进行整合,避免单家单位仅凭经验作决策的粗放式管理,为管理者提供相对客观的决策依据。

另就步道实际使用需求的角度出发,打造各年龄阶层友好的智慧生态服务应是题中之义,考虑到上海当前老龄化的客观现实情况,步道使用者中老年人、残障人士的比例对比国内其他城市而言或更为突出,因此应简化智慧化操作界面、方便此类人群使用与体验智慧化步道所带来的便捷,对于部分人流较大的步道可引入智能摄像头和摔倒感应预警器,智能识别步道破损、人员摔倒等情况,当前以苏河湾步道党群服务站驿站为例的模式,通过在步道周边建设服务点、配套各项基础服务以及工作人员,能够帮助即时解决步道使用者的部分现实问题,获得较多使用者的好评,而该模式长期来看不应完全成为健身步道数字化转型的平替,人工与智能的双轮驱动模式或对于健身步道的管理起到更好、更有效的结果反馈。

### 4 结语

当前上海市健身步道建设已从多量转向质升阶段,步道铺设数量多、部分区域健身步道智能化应用建设已趋近成熟是当前取得的成果,而城郊发展不均、机制待完善、维护主体不明确的问题依然现实严峻,为构建覆盖广、功能全的全民健身公共服务体系,当前上海市健身步道在均衡布局、长效管理、智慧升级等方面仍有较多可供优化的空间。在中国式现代化不断推进的过程中,上海市健身步道建设既迎来发展机遇期、也始终面临诸多挑战,应秉持创新发展理念,强化系统谋划与制度规范,让步道成为串联文体、经济的纽带,为人民城市建设进程提供更稳定的保障。

#### [参考文献]

- [1] 中国田径协会.健身步道指南:T/CAAB 0001—2022[S].2022.
- [2] 王军利.我国健身步道建设价值与优化路径[J].体育文化导刊,2025(3):102.
- [3] 唐宏霖,敬艳,刘国琼,等.美国健身步道建设经验与启示[J].体育文化导刊,2022(12):71-78.
- [4] 史一飞,聂彤,李易朔.青岛市南区滨海健身步道可达性分析与优化策略[J].建筑与文化,2022(11):109-111.
- [5] 上海市人民政府.上海市体育设施管理办法[EB/OL](2018-03-21)[2025-11-16].
- [6] 马志杰,陈玉忠.经验与借鉴:发达国家健身步道发展与中国建设路径研究[J].体育科学,2024,44(1):59-68.

作者简介:车启标(1998—),男,湖南邵阳人,上海理工大学管理学院2024级公共管理专业硕士研究生。

## 土地一级开发全生命周期管理创新与实践

田微 谢豪

北京新航城开发建设有限公司, 北京 102600

**[摘要]**随着城市化进程持续加快,土地资源的高效开发利用成了推动区域经济发展的关键环节。文章探讨土地一级开发全生命周期管理的理论架构以及实际操作流程,着重剖析征地前期手续阶段里的权属审查和勘测定界工作,同时关注其与土地整理阶段的紧密衔接情况。通过对全流程节点把控、多部门协同机制以及资源统筹办法加以梳理,归纳出一套标准化且系统化的管理模式,此模式能够提升土地资源利用效率,保障项目合法合规,维护社会稳定,还能给同类项目提供可参考的管理途径。

**[关键词]**土地一级开发;全生命周期管理;权属审查;勘测定界;土地整理

DOI: 10.33142/ucp.v2i6.18543

中图分类号: X53

文献标识码: A

## Innovation and Practice of Whole Life Cycle Management for First level Land Development

TIAN Wei, XIE Hao

Beijing Xinhangcheng Development and Construction Co., Ltd., Beijing, 102600, China

**Abstract:** With the continuous acceleration of urbanization, efficient development and utilization of land resources have become a key link in promoting regional economic development. The article explores the theoretical framework and practical operation process of the full life cycle management of primary land development, with a focus on analyzing the ownership review and surveying and demarcation work in the early stage of land acquisition procedures, while paying attention to its close connection with the land consolidation stage. By sorting out the control of the entire process nodes, multi departmental collaboration mechanisms, and resource coordination methods, a standardized and systematic management model has been summarized. This model can improve the efficiency of land resource utilization, ensure the legality and compliance of projects, maintain social stability, and provide reference management approaches for similar projects.

**Keywords:** land primary development; whole life cycle management; ownership review; surveying and demarcation; land arrangement

### 引言

随着我国城市化进程的加速和土地管理制度的不断完善,土地一级开发作为城市规划建设中的重要环节,其管理质量直接关联着土地资源的合理配置以及城市发展目标的达成与否。在传统的开发模式里,因流程较为分散且部门间的协作不够充分等原因,便很容易出现资源被浪费的情况以及引发社会矛盾。所以,去构建起一套系统性的全生命周期管理体系,这已然成为提高土地开发的质量与效率的必由之路。

### 1 基本概念与内涵

土地一级开发指政府部门或者由政府指定的委托企业,对乡村集体土地或城市国有土地中特定的部分进行统一规划,同时对这一特定区域内的土地进行合理的配套设施建设,以保障这一区域实现“七通一平”或“五通一平”“三通一平”的建设目标,并在此基础上对土地采取转让或有偿出让的过程。在这个过程中,既涵盖了对土地资源展开物理层面的整理工作,同时也包含了对权属关系做出调整、对社会利益加以协调以及开展生态保护等诸多方面的内容。依据北京市所出台的相关政策来看,土地一级开发务必要在规划实施单元范围之内,将土地开发类项目以及非土地开发类项目一并统筹起来去实施,以此来切实落实城市总

体规划当中各项具体的要求。其最为关键的目标就在于达成土地资源的集约化利用,并且促使城市功能得以优化提升,进而为后续的二级开发以及城市建设筑牢稳固的基础。

### 2 土地一级开发全生命周期流程体系

#### 2.1 前期阶段

前期阶段在土地一级开发进程中占据着起点位置,此阶段涵盖诸多工作,像规划综合实施方案的编制工作、道路定线相关事宜、普测以及拨地钉桩等方面的工作均包含其中。在该阶段当中,要依照城市所制定的总体规划以及街区控规相关内容,去清晰界定出开发的具体范围、土地利用所指向的方向还有基础设施的布局情况,从而给后续开展的开发活动给予相应的法定依据<sup>[1]</sup>。就好比规划综合实施方案而言,它应当涵盖规划统筹、成本测算以及实施计划这三大篇章内容,并且还要配套开展专项规划方面的研究工作,以此来保证开发涉及的各项内容能够和城市的发展目标达成一致。拨地钉桩属于明确用地范围的法定程序,它是后续展开征地以及腾退工作得以顺利进行的前提条件,其最终所取得的成果会对土地开发的合法性以及精确性产生直接的影响作用。

#### 2.2 立项阶段

在立项阶段,其关键任务是要借助多规合一平台来开

展审查以及完成项目核准这两方面的工作,从而保证开发方案能够契合法律法规以及相关政策的规定。在实施多规合一审查期间,要把项目的相关材料推送到协同平台之上,接着由各个相关的委办局去研究并提出相应的意见,最后才会形成审查意见函。这个过程当中会涉及到规划、环保、交通等诸多不同部门之间的相互协调,它可算得上是检验项目是否具备可行性以及是否合规的一项极为重要的环节。而项目核准方面,则需要在获取到多规合一的意见之后,着手去编制项目申请报告,并且上报给主管部门请求其予以审批,以此来为后续的征地以及建设等工作奠定立项方面的依据。

### 2.3 征地前期手续阶段

在土地一级开发进程里,征地前期手续阶段属于极为关键的一个环节,此阶段主要涉及对土地权属关系以及土地现状予以确认的相关事宜。其核心要做的工作涵盖了权属审查以及勘测定界这两方面。就权属审查来讲,得依靠实地展开调查并且与地籍资料相互核对的方式,以此来清楚明确土地的所有权以及使用权究竟归属于谁,进而保证征地范围内权属清晰明确,不存在任何争议情况。而勘测定界则是借助控制测量、界址点测量还有地类对比分析等一系列操作,去编制出勘测定界报告以及相应的图纸,从而给征地审批提供极为精确的地理方面以及权属方面的相关数据。在整个这个过程当中,还得同步推进诸如社会稳定风险评估、地质灾害危险性评估、林地与耕地占用许可等一系列专项工作,全方位地去评估开发活动可能产生的社会层面以及生态层面的影响。唯有顺利完成了这些前期手续,才能够为后续的征地工作以及土地整理工作筑牢合法合规的基础,防止出现因权属不清晰或者程序有所缺失而致使项目进度延误以及引发社会纠纷等诸多不利情形。

### 2.4 搬迁腾退阶段

土地一级开发里的搬迁腾退阶段,在社会利益协调以及实物清理方面算得上是极为关键的一个环节。其具体包含着诸如委托协议的签订事宜、腾退实施方案的制定工作、地上物的清点登记事项以及补偿协议的签订等相关内容。在这一阶段当中,务必要依照北京市征地拆迁政策来严格予以执行,以此确保腾退过程能够做到公开且透明,并且保证补偿标准是合理的、公正的。与此还得去完成像林木采伐、线路移改还有渣土清运等一系列的现场实际工作,进而为土地后续的整理以及供应营造出相应的条件。搬迁腾退工作要是能够顺利地得以实施,那么这直接就会和征地的推进速度以及社会的稳定情况产生关联,它在土地一级开发里属于社会风险防控方面的重点所在。

### 2.5 土地整理阶段

土地整理阶段属于土地一级开发进程里极为关键的一个阶段,在这个阶段能够促使土地完成从“生地”到“熟地”的转变,其具体涉及的工作内容涵盖了征收土地预告相关事宜、征地补偿安置方案的制定工作、召开村民代表大会形成决议、征地组卷以及等待批复等一系列流程。

在此期间,得依照权属审查所获成果以及勘测定界得出的相关成果来清晰界定征地的具体范围以及相应的补偿标准,并且要借助公告、听证等程序来切实保障被征地人员的知情权利以及参与权利得以实现。征地组卷的时候需要对权属方面的情况、地类的相关情况、补偿方面的各项材料还有社会稳定风险评估等方面的各种材料加以汇总整理,然后呈报给市政府请求审批,最终拿到征地批复并且顺利完成结案程序。土地整理阶段和征地前期手续阶段是紧密关联在一起的,其中土地整理阶段对于征地前期手续阶段所产生的权属数据以及勘测数据有着较强的依赖性,而征地前期手续阶段则能够为土地整理阶段给予法律层面和技术层面的有力支撑,这两个阶段共同构成了土地一级开发的合法性根基以及操作方面的整体框架。

## 3 土地一级开发管理的创新路径

### 3.1 流程标准化与节点控制

土地一级开发全生命周期管理构建了标准化流程体系以及精准的节点控制机制。在征地前期手续阶段,权属审查与勘测定界工作被细化成多个关键环节,每个环节都明确了工作内容、责任部门以及完成时限。权属审查要经历业务需求提出、服务单位选定、外业指界盖章、规自分局审批四个核心节点,而勘测定界包含实地控制测量、界址点测量、权属调查、地类对比分析等标准化步骤。这些节点之间形成严格逻辑关联,前序节点完成质量直接决定后续节点推进条件。在土地整理阶段,征地组卷工作必须依据权属审查与勘测定界的完整成果才能启动,这种环环相扣设计确保了数据传递准确性与程序推进合法性。整个管理体系还建立节点预警机制,对于超过规定时限未完成的节点自动触发预警,通过专题协调会督办整改,提升项目推进确定性与可控性。

### 3.2 信息化与系统化管理

信息化建设给土地一级开发的全生命周期管理给予了极为有力的技术支撑,搭建起一个可覆盖全流程的数字化管理平台。这个平台把权属审查、勘测定界以及土地整理等核心业务都纳入到统一的系统当中,达成了数据共享以及业务协同的目的。在开展权属审查相关工作的过程当中,系统会自动去对接不动产登记数据库,实时对土地权属的状态加以校验,如此一来便使得传统的人工核查所需要花费的时间大幅缩减。勘测定界所取得的成果能够借助系统直接推送到征地组卷这个环节,如此便可以避免因数据重复录入而可能出现的误差情况。土地整理阶段像公告发布、补偿测算这类关键性工作也都已经全部实现在线上进行办理,系统会自动将每一个环节的操作痕迹以及审批意见都记录下来,进而形成了一整套完整的电子档案。

### 3.3 多部门协同与政府联动

土地一级开发全生命周期管理构建起了高效的多部门协同机制以及政府联动体系。在征地前期手续阶段,权属审查工作得要规自分局、属地政府、被征地村集体以及不动产登记中心等诸多主体一同参与进来,借助建立固定



的协调制度来保障各方信息对称且行动协调。勘测定界工作涉及到测绘单位、设计单位、评估机构等多种专业机构,运用联合办公模式可提升工作效率<sup>[2]</sup>。进入土地整理阶段之后,征地组卷更是需要临空区管委会、区级各委办局还有市级审批部门密切配合,通过建立分级协调机制,常规问题由业务层面直接对接去解决,重大事项则提交至专题会议做出决策。这种多部门协同既体现于横向的部门联动方面,也呈现于纵向的政府层级协调当中。项目创新性地采用了并联审批模式,把原本串联办理的多个审批事项调整成同步推进,有效缩减了审批时间,保证了政策执行的一致性与连续性。

### 3.4 资源统筹与成本控制

土地一级开发全生命周期管理构建起了科学合理的资源统筹体系以及严格缜密的成本控制机制。就资源统筹来讲,依据项目的总体目标以及分期实施计划,精准测算出各个阶段所需要的人力、资金、土地等诸多要素方面的投入情况,进而达成资源在时间维度以及空间维度上的优化配置状态。在征地前期手续这个阶段,着重对专业技术团队予以配置,以此来保证权属审查以及勘测定界工作的质量能够得以切实保障;而在土地整理阶段,则相应增加政策协调以及群众工作方面的人力资源配置,从而确保征地程序可以顺利地向前推进。在成本控制这块,搭建起了一套贯穿于整个流程之中的成本管控体系。从项目立项一开始,便着手编制详尽的成本预算内容,并且在每一个关键节点都设置上成本审核的相关环节。对于权属审查以及勘测定界的各项服务采购事宜,严格依照招标程序来执行,借此确保技术服务费用是处在合理范畴之内的;至于土地整理阶段所涉及的补偿安置成本方面,则借助第三方审计的方式来加以监督,坚决杜绝出现超标补偿的这类现象。

## 4 实施效果与展望

### 4.1 提升土地资源利用效率

实施全生命周期管理以后,土地一级开发在资源利用效率这块收获了颇为显著的成果。权属审查以及勘测定界工作得以精准落实,这便给土地资源的高效配置给出了科学方面的依据。在征地前期手续这个阶段当中,借助高精度的测绘技术来清晰明确土地的边界还有地类的具体构成情况,如此一来就规避掉了传统模式下常常会出现的边界纠纷以及地类认定方面的误差问题<sup>[3]</sup>。到了土地整理阶段,就会依照较为详尽的权属和地类数据,去制定出最为合理的征收范围以及补偿方案,进而最大程度地将土地资源的浪费给减少掉。

### 4.2 保障项目合法性与社会稳定性

全生命周期管理对于保障项目的合法性以及维护社会的稳定起到了颇为重要的作用。在权属审查这个环节当中,借助严格有序的程序规范以及多方共同确认的机制,切实保证了征地范围内权属的清晰明确且不存在争议的情况,从而从一开始便消除了可能出现的法律风险。勘测定界工作运用统一的技术标准并且采用规范化的成果格式,这无疑为征地审批事宜给出了可靠且有力的法律依据。在土地整理这一阶段,通过严格遵照执行预公告、将补偿

安置方案予以公示以及召开听证会等一系列法定程序,充分保障了被征地人所拥有的知情权以及参与权。该项目还专门建立起了社会稳定风险评估机制,在征地开展前期便针对有可能引发的社会矛盾展开系统的识别与细致的评估,并且相应地制定了预防以及化解这些矛盾的具体措施。

### 4.3 推动管理精细化与组织高效化

全生命周期管理的施行促使土地开发管理朝着精细化以及高效化的方向产生了颇为深刻的变革。就管理精细化而言,借助流程标准化以及节点控制等举措,把原先那种较为粗放的管理模式转变成了更为精准的管控模式。每一个工作环节都设有清晰的质量标准以及严格的时间要求,每一项管理行为都能做到有据可查且有迹可循。其中,权属审查已不再仅仅是简单的权属确认,而是发展成为包含历史沿革核查、权利限制调查等诸多内容在内的综合研判过程;勘测定界也不再是单一的地形测绘,而是拓展成了融合地籍调查、地类分析等多项内容的多维测绘形式<sup>[4]</sup>。在组织高效化方面,依靠信息化手段以及协同机制的构建,成功打破了部门之间存在的壁垒以及层级方面的障碍,进而形成了一种扁平化且呈网络化特点的高效组织形态。如此一来,项目团队便能够快速对各类问题做出响应,及时对相关资源进行调配,并且精准地作出各项决策,使得组织运作的效率得到了极大的提升。

## 5 结束语

土地一级开发全生命周期管理属于一种较为系统的管理模式,它是经过流程整合、节点控制以及部门协作等方式来达成的,进而实现了土地资源的高效开发以及合理利用。在征地前期手续这个阶段当中,权属审查还有勘测定界这两项工作给土地整理奠定了相应的法律以及技术方面的基础。等到了土地整理阶段,征地组卷以及批复这两方面的工作能够确保开发活动具备合法性,并且还能够让其具有较高的社会接受度。在未来的发展过程当中,伴随着政策环境不断地得以优化,同时技术手段也在持续不断地进行创新,土地一级开发全生命周期管理将会进一步朝着数字化、精细化这样的方向去发展,从而能够为城市的可持续发展给予更为有力的支撑作用。

### 【参考文献】

- [1]吴迪.G公司H地块土地一级开发风险管理研究[D].广东:广东财经大学,2024.
- [2]杨玉伟.土地一级开发项目成本控制路径研究[J].中国科技投资,2024(31):46-48.
- [3]于文波.土地一级开发项目成本管控路径研究[J].住宅与房地产,2025(6):73-75.
- [4]班宇良,王娟.在土地一级开发实施中企业如何选择收入确认模式[J].中国商界,2025(10):50-51.

作者简介:田微(1985—),女,籍贯:河北省廊坊市,中级经济师,2012年6月毕业于东北师范大学信息管理与服务专业,本科学历,就职于北京新航城开发建设有限公司。

# 城市街道界面优化中的建筑立面设计研究

侯皞冉

雄安城市规划设计研究院有限公司, 河北 保定 071700

[摘要]城市街道界面的重要组成部分是建筑立面,城市形象体现在建筑立面上且公共空间的视觉体验与环境品质也受其直接影响,分析建筑立面在空间尺度、材质运用、色彩搭配和功能整合等方面的设计要素可探讨其在优化城市街道界面中的作用,要知道立面设计需结合人性化尺度、地域文化和生态理念才能让界面协调统一又多样表达,立面设计合理就能塑造有序、美观且富有活力的街道空间并提升城市整体风貌和市民生活质量。

[关键词]建筑立面;城市街道界面;视觉体验;空间环境;城市形象

DOI: 10.33142/ucp.v2i6.18557

中图分类号: TU984

文献标识码: A

## Research on Building Facade Design in Urban Street Interface Optimization

HOU Haoran

Xiong'an Urban Planning and Design Institute Co., Ltd., Baoding, Hebei, 071700, China

**Abstract:** The important component of urban street interfaces is the building facade, which reflects the image of the city and directly affects the visual experience and environmental quality of public spaces. Analyzing the design elements of building facades in terms of spatial scale, material application, color matching, and functional integration can explore their role in optimizing urban street interfaces. It should be noted that facade design needs to be combined with humanized scale, regional culture, and ecological concepts to make the interface coordinated, unified, and diverse in expression. Reasonable facade design can shape orderly, beautiful, and dynamic street spaces and improve the overall urban style and quality of life of citizens.

**Keywords:** building facade; urban street interface; visual experience; spatial environment; city image

### 引言

城市街道可不单是交通通道,还是展现城市文化、引导公共活动的重要空间载体,街道界面的“面孔”——建筑立面担着环境美学与功能表达的双重使命,城市更新进程一加快人们就越来越关注街道空间品质了,对建筑立面设计也寄予更多期望,精细的立面设计如何能优化街道界面、打造出既有秩序又有活力的城市空间成了当代城市设计里的关键课题。

#### 1 建筑立面在城市街道界面中的作用定位

街道界面主要由建筑立面构成,由于城市空间的视觉层次与环境氛围直接由建筑立面决定,建筑立面的定位非常关键。

##### 1.1 建筑立面是街道界面的视觉主导

城市街道两侧建筑立面连续呈现,这让人们有了街道的空间感受,在城市界面里,建筑立面能起到视觉引导、空间界定的作用并由此形成街道轮廓和城市天际线,街道视觉语言的核心要素由立面高度、虚实关系、材质变化、色彩搭配等构成,立面序列合理既能保证界面连续又能实现风格多样和秩序统一的平衡进而营造出节奏明快、层次分明的街道氛围,而且立面尺度控制恰当与人视角相匹配会增强城市空间的亲和力和辨识度给行人带来好的视觉体验,建筑立面不但是城市外观的直接体现,更是塑造街道空间品质的核心视觉载体。

##### 1.2 建筑立面承载城市文化与地域性

城市文化印记常直观地体现在建筑立面上,其通过风格语汇、细部构造及装饰元素反映出所在地区的历史背景、文化传统与地域特征,在街道界面里,本土化元素像传统纹样、地方材质、气候适应性构造等经再解读后,立面设计可传递城市的文化身份,有地域性特征的立面能增强街道的文化记忆点并避免空间同质化的“千城一面”问题,提升市民的归属感与认同感,城市更新与街区再生之时,立面是连接历史与当下的重要媒介,它通过保留历史建筑风貌或者引入当代表达,激发城市文化的延续性与时代活力,立面设计不应只在美学层面,而更应成为文化遗产与地域表达的窗口。

##### 1.3 建筑立面对街道功能活动的组织作用

城市街道不单单是交通通道,还是多种公共活动集聚的场所,设置店铺橱窗、骑楼廊道、阳台、外摆空间等能让建筑立面把内部功能向街道延伸从而增强街道的开放性与互动性并激活街道的社会性和使用频率。立面设计若透明或者半开放会促进街道的可达性和可视性以吸引人群停留和参与,从而形成“可步行”“可交流”的活力界面。建筑立面在引导建筑功能布局与出入口组织方面也有作用,这有助于维护街道空间的秩序、组织人流,在功能复合、街道多样化发展的当下,建筑立面设计不再是只做单一的造型装饰,而是要积极回应和引导城市生活方式与空间行为。

## 2 街道空间品质提升中的立面设计关键要素

街道空间的视觉形象和使用体验与建筑立面直接相关,提升街道品质的核心在于协调和优化建筑立面设计要素。

### 2.1 立面尺度与街道空间的协调关系

人们在街道中感受到的空间压迫感或舒适感由建筑立面尺度决定,街道空间的围合度由立面的高度、进退关系以及和街道宽度之间的比例构成且对空间氛围影响很大,过高或者过密的立面往往会带来压迫感且人的活动意愿也会被削弱,立面过低或者疏散的话空间可能就松散且缺乏引导性,要按照不同街道类型和功能合理设置立面控制高度和分段节奏使其和街道横断面形成协调比例,在人行空间丰富、商业氛围活跃的街段,立面控制在3-5层比较好这样能保持宜人的人行感知尺度,在立面底层设置挑檐、退台、廊道等来实现空间过渡,这既能让空间层次感提升也能增强建筑和街道的互动关系从而让街道环境更人性化、更有亲和力了。

### 2.2 材质与色彩在视觉识别中的运用

街道界面视觉品质的塑造中建筑立面的材质与色彩是重要部分,街道的精致感与辨识度直接受材质的质感、光泽度和细部处理影响,石材、陶砖、木材等传统材质往往地域特色和文化感强烈且在历史街区或者特定文化语境下能有效唤起城市记忆,玻璃、金属、混凝土这类现代材质则着重体现技术性与时代表感且适用于现代化功能街区,街道界面中的材质应多样而不杂乱且在统一基调下适度变化以防止造成视觉干扰或者风貌破坏,色彩是最直观的视觉感知信息且搭配需遵循色彩心理和环境协调原则以构建层次清晰、主次分明的视觉体系,标志性节点或者重要街口位置可利用色彩凸显立面特征以增强导向性与识别性让城市界面更具视觉吸引力。

### 2.3 界面通透性与互动性的强化策略

建筑立面与街道之间的互动关系在很大程度上决定着街道空间的活力,高质量的立面不能只讲究造型美,还得有开放性和参与性,通透的玻璃橱窗、开敞的商业入口、街边座椅、绿化平台等元素设置于立面设计中,能有效打破建筑内外边界,加强建筑和人群的联系,商业街、社区配套区等人流量大的地方,底层立面的通透率非常关键,这与街道的可达性和使用效率直接相关,合理设置遮阳棚、骑楼、内退灰空间等过渡界面,既能减轻气候影响,又能营造出“半室外”交流空间,让市民更愿意驻留,夜间立面灯光设计也是互动性的一种延伸,灯光照明和动态视觉效果能丰富街道夜景,使街道全天都有活力,建筑立面就这样从静态界面变成参与城市生活的“活体”界面,空间品质得到真正提升。

## 3 建筑立面设计对城市形象与视觉秩序的塑造

城市外在形象主要靠建筑立面来表达,这对建立城市整体视觉秩序和识别特征有着直接且深远的影响。

### 3.1 立面风格统一构建城市视觉识别

城市整体形象的统一感与记忆点直接被建筑立面的风格类型影响,若立面设计风格杂乱、形式冲突,街道界面就会混乱且城市面貌也会缺乏辨识度,控制建筑风格协调性,在重点区域、主干道、历史街区等场所尤其是塑造城市识别性的重要策略,对高度、形态、材料和色彩加以控制引导,不同建筑风格能基本一致且还可保留个性表达空间,多样共存于整体秩序便得以实现,旧城改造或城市更新项目中,沿街立面经风格整合、视觉整理,城市面貌能焕然一新且城市品牌形象得以提升,地标性建筑或者重要节点建筑的立面设计采用突出视觉语言也行,强化空间层级与视觉焦点,引导人们视线流动,城市形象传播力与吸引力增强。

### 3.2 水平与垂直元素组织界面秩序

界面构成包含立面,街道视觉的韵律感与秩序性取决于立面水平和垂直元素的布局,街道界面分层关系可由横向构图的线条控制来统一,像底层商业界面、中层功能界面、顶部收尾处理等让界面分段逻辑清晰,柱网、立柱、窗洞节奏重复,垂直构图能引导街道视线、营造节奏感受以防止界面视觉断裂混乱,在街道整体尺度连续区域,立面元素对齐呼应很关键,这会大大提升街道空间完整性和视觉协调性,建筑群体间界面衔接也要重视比例和线型统一,檐口线、高差处理、转角过渡等细节都能强化街道立面连贯性,水平和垂直构图要素合理组织,建筑立面既能维持视觉秩序,又能给城市街道带来稳定有序的空间基调。

### 3.3 多样性控制下的整体视觉引导

城市界面的视觉秩序并非意味着要绝对统一而是要在一定规范下进行多样表达,建筑立面在风格、材料、形式方面的多样性对体现城市活力很重要但得在统一的城市设计框架内予以引导和控制,设定立面设计导则、城市色彩控制图则和街区设计协调机制能在保留建筑个性的防止立面失序,好比在大型街区或者城市干道沿线可以设定材料使用范围、立面通透率、广告位置等控制指标让开发主体在创作时遵循城市整体视觉导向,在实践里适度的差异化设计通过对比形成视觉焦点能增强城市界面的层次和节奏,建筑立面在达成视觉吸引力和空间连续性平衡的进程中不断促使城市形象从“混乱杂陈”转变为“有序生动”成为支撑城市可持续发展的视觉框架。

## 4 基于地域文化与环境协调的立面表达策略

城市街道文化与生态环境的外在载体是建筑立面,其在表达地域特质时需要实现与周边环境的融合共生。

### 4.1 借用地方传统元素强化文化认同

城市个性与空间记忆的重要源泉是地域文化,传递地方文化精神应是建筑立面要承担的责任,传统建筑语言、装饰图案、历史材料和构造方式经当代表达后立面设计就有了文化深度与地方识别性,南方水乡地区现代手法可对传统白墙黛瓦、马头墙、花格窗等元素抽象重构以形成熟



悉又新颖的视觉感受,西北干旱地区夯土墙面、木雕构件与厚重体量经再演绎能增强立面文化厚度,这种表达方式避免生搬硬套的“仿古”模式而让城市界面有了文化生机,而且文化节日、民俗活动也能成为立面艺术的灵感源泉,浮雕、图腾、雕塑、壁画等方式可把它们融入街道空间,从而让居民在日常生活中能潜移默化感受地域文化氛围并提升归属感与认同感。

#### 4.2 结合自然环境实现立面气候适应

地域文化涵盖人文维度并体现在适应自然环境的方式上,建筑立面的设计需依据当地气候条件和生态环境特征以达成节能环保与舒适体验的双重目的,高温湿热地区通过增加遮阳构件、设置可调节百叶、采用通风空腔墙体等方式使立面能降低热辐射、削减空调能耗,寒冷地区宜用保温层复合系统、减少开窗面积、增强密闭性来提高建筑热效能,而且融入绿色植物墙、雨水收集面板、光伏一体化幕墙等生态技术手段后立面会成为“会呼吸”的界面、具备调节微气候的功能,设计语言方面可选用像石材、木材、黏土这类与自然环境相协调的材质和色调,减少人工痕迹就能使建筑与地形、植被、气候和谐共融且让街道界面呈现出更自然、舒缓、生态的气质。

#### 4.3 区域语境中的文化与生态融合表达

“在地语境”需要被立面表达准确回应,要从城市的历史、文化以及自然环境里找设计切入点以达成文化和生态的融合,在历史街区旧建筑能用透明材质展示、留白处理或者嵌入式新建来协调新旧共存关系,在山地、滨水等自然区域要强调景观渗透、视野通达而不搞封闭立面并构建多层次空间界面以强化生态感受,而且得考虑居民审美偏好和生活习惯而不生硬复制外来风格让立面更亲切,因地制宜的设计策略能传递地域文化内涵并且有助于营造可持续的城市街道形象。

### 5 面向未来的建筑立面设计导向与街道界面优化路径

城市空间不断更新演进,使建筑立面设计面临智能化、绿色化与复合化的新挑战和发展方向。

#### 5.1 数字技术驱动立面智能演进

人工智能、物联网和建筑信息模型(BIM)等数字技术发展起来后,建筑立面从静态表达开始往动态智能界面转变,传感器、可变形幕墙、智能遮阳系统等装置集成后立面就能实时对环境变化作出响应以达成光照调节、通风控制和能耗优化,而且动态媒体立面、可互动显示系统等新兴技术手段给立面赋予了更多传播和交流功能使街道界面成为信息展示和公众参与的平台,夜间照明系统可按照节日氛围、城市活动或者人流密度来动态调节灯光以增强城市空间的情境感,以后立面不再是静止的装饰面而是有感知、反馈和学习能力的智能界面能参与城市运行和市民生活的多维

互动从而全面提升街道系统的响应效率和体验价值。

#### 5.2 绿色理念引导立面生态升级

在城市建设中,可持续发展理念日益成为重要的引导原则,建筑立面也慢慢成为城市生态系统里重要的一部分,未来要在立面设计方面加强绿色建筑技术的融合与创新以推动生态功能的整合表达,利用光伏集成玻璃、绿植墙系统、雨水循环模块等构件构建立面能源循环系统,使建筑成为能自我调节的生态单元,并且材料的选择也要朝着低碳、可再生、循环利用的方向进行以降低碳足迹和资源消耗,立面表皮的生态功能可兼顾节能、隔热、空气净化、隔音等多个目标,在满足美学和功能需求的应对气候变化和环境压力,广泛应用绿色立面有助于优化城市街道的微气候环境、提升居民的健康体验并促使更具韧性的城市街道界面系统形成。

#### 5.3 多元协同推进街道系统优化

未来建筑立面设计与街道界面的优化不会再被限制在单一建筑层面操作而是会基于系统性、协同性和城市治理理念综合推进,政策方面需制定更具引导性的立面设计导则与城市街道风貌管理机制以明确立面在城市视觉秩序、文化传承和环境保护方面的职责与规范,实施时建筑师、规划师、政府、社区、开发商等多个主体要协同合作将立面设计放到城市更新、慢行系统建设、街区活化等综合项目里完成从点状更新到面状治理的转变并且要鼓励公众参与立面风貌决策让市民对城市界面更有参与感与归属感,只有跨尺度、多专业、多主体协同治理,建筑立面才能真正成为面向未来、服务城市、引导街道高质量发展的有力工具。

### 6 结语

城市街道界面的关键构成是建筑立面,它承载着空间塑造、文化传达和环境调节的多重功能。城市快速发展、人居环境转型,在这样的背景下,立面设计不能只注重视觉美学,而要走向综合功能整合,将地域文化、生态理念和数字技术融合起来,回应城市形象塑造和街道品质提升的双重诉求。未来,立面要在秩序和多样间找平衡、在智能和人文里求共生,促使城市界面朝着更高质量更有温度的方向发展,从而构建宜人、可持续、有活力的街道空间。

#### [参考文献]

- [1]王明雪.基于空间失序理论的城市街道空间优化研究[D].哈尔滨:东北林业大学,2023.
  - [2]张雨卉.基于开放性理念的综合体建筑设计研究[D].西安:西安建筑科技大学,2024.
  - [3]蒋春于.城市街道建筑外立面装饰改造技术研究[J].居舍,2025(17):80-83.
- 作者简介:侯峰冉(1992.10—),女,汉族,毕业院校:昆明理工大学;现就职单位:雄安城市规划设计研究院有限公司。

# 城市更新背景下高密度城区建筑容积率与空间品质的平衡设计研究

李玉鹏

石家庄市万成民用建筑设计有限公司, 河北 石家庄 050000

[摘要]当下,城市发展模式已逐步转向“存量提质”阶段,高密度城区作为人口与功能的核心承载区,面临着建筑容积率与空间品质之间矛盾日益突出的严峻挑战,如何有效地平衡两者关系是城市更新工作中的关键。文章研究依托相关理论,对容积率指标与空间品质要素之间的机理进行了深入剖析,提出针对性的平衡设计路径,为高密度城区土地高效利用与宜居环境营造的矛盾提供了理论支撑与设计指引。

[关键词]城市更新;高密度城区;容积率;空间品质;平衡设计

DOI: 10.33142/ucp.v2i6.18547

中图分类号: TU984.2

文献标识码: A

## Research on the Balanced Design of Building Floor Area Ratio and Spatial Quality in High Density Urban Areas under the Background of Urban Renewal

LI Yupeng

Shijiazhuang Wancheng Civil Architecture Design Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

**Abstract:** Currently, the urban development model has gradually shifted towards the stage of "stock improvement". As the core carrier area of population and function, high-density urban areas are facing the increasingly prominent challenge of the contradiction between building plot ratio and spatial quality. How to effectively balance the relationship between the two is the key to urban renewal work. The article relies on relevant theories to deeply analyze the mechanism between plot ratio indicators and spatial quality elements, and proposes a targeted balanced design path, providing theoretical support and design guidance for the contradiction between efficient land use and livable environment creation in high-density urban areas.

**Keywords:** urban renewal; high-density urban areas; plot ratio; spatial quality; balanced design

### 1 概述

#### 1.1 研究背景

自20世纪80年代以来,我国经历了世界历史上规模最大、速度最快的城镇化进程<sup>[2]</sup>。国家部署了《国家新型城镇化规划(2014—2020年)》,明确指出新型城镇化是现代化的必由之路,也是一项重要的民生工程<sup>[2]</sup>。由过去的外延式扩张逐步转向内涵式更新。随着我国城市居民生活水平的日益提高,人们对居住空间的要求由以往一味地追求居住面积到现在住区外部空间环境与居住空间并重<sup>[3]</sup>。特别是在我国人口老龄化速度加快以及“二胎”“三胎”政策全面实施之后,城市人口中老年人和儿童的比例增加,他们对于住区公共空间的空间需求往往大于年轻人,这将会进一步凸显住区公共空间供需之间的矛盾<sup>[4]</sup>。高密度城区作为城市存量资源的重要组成部分,是存量更新的重点区域。然而这类区域面临着过度开发引发的品质恶化,开发不足导致的土地浪费双重困境<sup>[5]</sup>。核心城区的土地资源极度稀缺,为了提高土地利用效率常会提升容积率。另一方面,若对容积率进行无序的提升,将会引发一系列问题,例如公共空间被过度挤压、城市通风廊道受阻、部分区域采光不足等,直接对城市的空间品质造成严重的影响<sup>[6]</sup>,鉴于此,在确保城市高效开发推进的基础上,如何同步提

升空间品质,是当前高密度城区更新困境的核心课题。

#### 1.2 研究目的与意义

本研究将深入剖析容积率与空间品质之间的内在关联,从而基于实际构建兼顾两者平衡的具体实践路径,从而打破长期以来“效率优先”或“品质至上”的二元对立认知。从理论意义层面来看,本研究可以有效填补当前在容积率与空间品质优化这两个关键领域之间跨学科融合的研究空白,为高密度城区存量更新领域提供理论基础。从实践意义层面来看,本次研究结果能够为城市更新规划管理提供具有价值的量化参考依据,以及实用的设计工具,帮助城市规划者与管理者更好地进行规划决策,助力打造具备高效集约特征又能够提供宜居舒适体验的高密度城区空间环境,推进城市的整体发展,改善城市居民的生活质量水平。

### 2 核心概念界定与理论基础

#### 2.1 核心概念界定

所谓高密度城区主要是指城市核心功能高度集聚的区域,具体表现为人口密度极大,建筑密度处于较高、并且对土地资源的开发利用达到了较高的水平。从量化指标角度来看,通常为人口密度 $\geq 1.5$ 万人/平方公里、建成区容积率普遍高于2.0的区域。所谓建筑容积率即该块地内

总建筑面积与该块面积的比值,其取值情况会对建筑体量、空间形态间距有着直接的影响。所谓空间品质主要指空间环境质量的状况,同时也与品性有关,能够反映出人与空间的关系。在建筑学与城市规划领域,住区公共空间品质是指住区公共空间在量和质两方面满足居民综合需要和使用需求的程度,与居住生活息息相关<sup>[7]</sup>,主要涵盖通风、采光、日照、生态景观的构造,公共空间以及交通的可达性。

## 2.2 理论基础

空间生产理论是指城市空间应该兼具“生产资料”与“消费对象”的统一体,对容积率的调控,是对空间生产效率的深度优化,而空间品质主要集中体现了空间在消费层面的核心价值,二者的平衡本质是追求空间生产效率与消费价值之间的和谐与协调发展。环境行为理论主要强调空间环境与使用者行为之间的互动关系,容积率主要是通过改变建筑的形态特征与空间布局结构,对使用者的行为模式产生影响,而使用者会基于自身的实际需求所产生的行为反馈成为了决定空间品质优化方现的重要因素,这一相互作用机制为二者平衡设计提供科学的行为逻辑支撑。可持续发展理论明确指出,在高密度城区更新的进程中,在提高开发效率的同时,要切实保障生态环境,确保资源的可持续利用。这一理论为容积率与空间品质的平衡设定了严格的生态阈值<sup>[8]</sup>。

## 3 容积率与空间品质的互构机制及影响机理

### 3.1 容积率与空间品质的互构关系

容积率与空间品质之间呈现出一种“非线性互构”关系。在高密度城区发展的低开发强度阶段,通过提升容积率,有助于优化设施的布局与配置,降低设施的运营成本,产生显著的公共服务设施集聚效应,进而提高区域的空间品质,从而为居民提供更加便捷、优质的环境<sup>[9]</sup>。容积率有一个关键的临界阈值,一旦超过阈值,将不可避免地引发空间资源的过度消耗,造成公共空间挤压、环境恶化等一系列负面影响,随着容积率的提升,空间品质呈现下降趋势。(见图1)。

### 3.2 容积率对空间品质的影响机理

容积率通过“建筑形态传导-空间资源分配-环境性能

演变”这三个紧密关联的维度影响空间品质。在建筑形态传导方面,容积率的提升建筑高度不可避免的增加,同时间距也进一步压缩,影响采光通风廊道的分布与宽度,对空间品质造成严重影响,同时也会改变通风效果与光照强度。在空间资源分配层面,高容积的开发模式会优先保障建筑占地,这一倾向不可避免地挤压公共开放空间以及绿化空间的规模,造成公共活动载体不足。在环境性能演变层面,高密度的开发会导致交通拥堵状况频发、热岛效应,促使各类污染物的排放量增加影响空间的生态功能,对居民的生活质量构成威胁。

### 3.3 空间品质对容积率调控的反向约束

空间品质的核心诉求在于为容积率设定具有强制性的刚性约束阈值,从满足人类生理需求方面来看,物理环境指标均对容积率提出了明确的上限要求。以我国多数核心城市核心区为例,住宅容积率上限通常与冬至日日照时长 $\geq 1\text{h}$ 这一标准紧密关联,满足居民对通风日照的需求;从社会需求维度审视,交通可达性、公共空间人均占有量等关键指标对容积率的调控有了较为严格的要求,必须与公共服务设施的承载能力相适配。从生态需求层面进行分析,雨水渗透量、绿地率等生态指标成了开发强度的硬性约束,引导城市开发活动遵循生态规律,避免突破生态承载力。

## 4 容积率与空间品质平衡的核心设计框架

### 4.1 平衡设计的核心原则

容积率与空间品质平衡的核心设计应该遵循层级适配原则,主要以高密度城区不同功能层级为依据,科学合理的设定差异化容积率区间,以确保其与相应的空间品质标准可以适配,从而实现城市空间资源的合理应用。追寻协同共生的原则,将空间品质有机融入容积率赋值的整个过程,两者相互促进,进而实现城市发展的良性循环。除此之外需要结合城市的实际需求以及不同阶段的目标导向,合理的设置容积率体系,以更好地适应城市发展的动态变化。可以借助数字化技术构建更加高效精准的容积率与空间匹配模型,实时监测和评估两者之间的关系,为城市规划人员与管理人员提供科学的数据支撑。

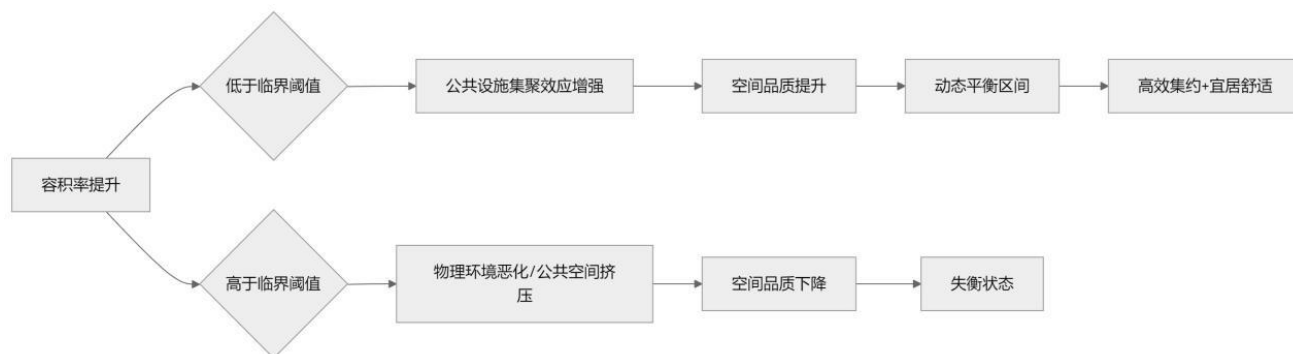


图1 容积率与空间品质的互构关系逻辑图



## 4.2 平衡设计的量化框架构建

基于“压力-状态-响应”(PSR)经典模型,加强完善容积率与空间品质平衡的量化框架。其中压力模块聚焦于精准量化容积率提升所引发的空间压力,包括交通负荷、人口密度、建筑的密度等相关指标,从不同维度可以反映容积率提升情景下空间的承载状况。状态模块重点是对空间品质的当前状态进行评估,核心指标主要涵盖通风效率、绿地率、人均公共空间的面积、日照时长等,全面考量空间品质,把握空间品质的现状全貌。响应模块主要是建立压力与状态的关联模型,运用科学合理的建模方法输出不同功能区域的容积率平衡阈值,并有针对性地提出品质提升策略。

采用层次分析法(AHP)对于各指标权重进行明确,结合熵权法进行修正,建立量化评估模型:

$$B = \sum_{i=1}^n W_i \times S_i - \sum_{j=1}^m V_j \times P_j$$

B 为平衡度指数 ( $B \geq 0$  平衡,  $B < 0$  失衡),  $W_i$  是  $S_i$  权重,  $V_j$  是  $P_j$  权重。B 达最优区间时,对应容积率为平衡阈值。

## 5 容积率与空间品质平衡的设计路径

### 5.1 容积率的层级化精准调控路径

以高密度城区不同功能板块的属性差异为依据,运用层级化的容积调控策略。例如对于核心商圈区域,可设定较高容积率区间(3.5~5.0),同时引入“容积率转移与平衡”机制,将部分开发强度合理转移到公共空间配套的建筑领域之中,以此来确保该区域的人均商业公共空间面积  $\geq 1.5\text{m}^2$ ,从而更好地实现空间品质与开发强度的协同优化;对于居住社区的规划,以打造适宜的环境为核心导向,将容积率控制在 2.0~3.0 的合理区间范围之内。在此过程中,要保障人均绿地面积达到  $\geq 1.0\text{m}^2$ ,居住空间的日照达标率  $\geq 90\%$ ,为居民提供舒适健康的居住环境。对于混合功能区域主要采用“基准容积率+弹性奖励”的创新规划模式,基准容积率设定为 2.5~3.5,如果为了提高区域品质需要开发主体额外配套建设社区服务设施、积极推进绿色建筑等,可给予 0.3~0.5 的容积率奖励,进而达到空间品质与功能混合的有机统一。

### 5.2 空间品质的系统性优化路径

对于高容积率开发所影响空间品质的相关问题,可以通过构建立体化公共区域网络体系弥补地面层公共空间资源匮乏的缺陷,具体应用过程中,通过构建“地面生态绿化基底+空中步行连廊网络+地下交通通廊”的三维空间布局模式,以此提高空间的可达性以及活动的多样性,形成多体化、多层次的城市公共活动载体<sup>[10]</sup>。在建筑形态优化设计方面,可根据实际情况运用立体化镂空设计、阶梯式退台处理、错层式建筑布局等形态策略,构建城市通风廊道与采光通道,有效降低高密度建筑群对周边环境的

遮挡,提升空间城市的视觉通透性,以及改善居民环境。除此之外,可以在建筑群间科学布局雨水花园、生态绿楔等生态空间,调节区域微气候,缓解热岛效应,同时也有助于提高空间生态品质。

### 5.3 技术赋能的动态平衡保障路径

借助前沿的数字化技术,可以有效实现空间品质与容积率精准适配以及动态保障。在设计容积率阶段,利用 BIM 技术构建三维空间模型,并以此为依据,对于不同容积率设定方案下的视线、通风效果、日照时长等关键空间品质指标进行全方位的模拟分析,而为后续的规划决策提供科学的参考依据。基于地理信息系统(GIS)技术在收集和整合城市人口分布密度、环境质量水平、交通流量状况等多维度的数据信息,对数据进行挖掘与分析,把握城市空间品质的规律变化,从而为容积率的精准调控提供科学的数据支撑,以此确保城市空间实际需求与容积率设定的相契合。与此同时搭建智能化动态监测平台,对于城市建设中容积率的执行情况以及空间品质动态变化,运用先进的传感器技术以及数据分析法进行实时追踪。当检测到品质指标低于阈值时,即刻启动容积率调整机制,依据实际情况提出针对性的调整建议,保障二者动态平衡的良性状态,从而推动城市建设的可持续发展,提高空间品质。

## 6 结论

在城市更新背景下,高密度城区容积率与空间品质存在着一个“动态平衡区间”的态势,其核心在于构建一套层级适配、精准、协同、共生有序,技术赋能高效的平衡设计体系,从而确保高密度城区在有限空间内的资源优化配置,提高空间品质。本文创新性地构建了压力-状态-响应(PSR)量化框架,提出了三维设计的路径,对容积率调控与空间品质优化之间的协同关系进行了清晰的明确。层级化容积率调控是整个体系的基础,主要是根据不同区域的发展需求、资源承载能力以及功能定位,合理调整容积率,以确保城市的有序发展。系统性空间品质优化主要是通过全面综合的规划方式对高密度城区的公共服务、空间服务以及文化特色等进行优化设计,从而提高城市空间舒适度,为居民提供适宜的生活环境。借助地理信息系统、人工智能等先进的技术手段,为两者平衡设计体系提供了坚实的保障,使整个设计体系更加精准、高效,三者相辅相成,共同支撑高密度城区实现“高效集约”发展模式与“宜居舒适”空间品质的双赢目标。

### [参考文献]

- [1]董春方.高密度建筑学[M].北京:中国建筑工业出版社,2012.
- [2]吴恩融.高密度城市设计:实现社会与环境的可持续发展[M].北京:中国建筑工业出版社,2013.
- [3]窦强.城市转型与住区形态——中国式城市人居的建构

[M].北京:中国建筑工业出版社,2015.

[4] 胡晓青.中国城市居住密度特征[J].华中建筑,2014(2):80-85.

[5] 王翔.既有住区外环境空间类型化及品质提升策略研究[D].辽宁:大连理工大学,2016.

[6] 徐磊青,言语.公共空间的公共性评估模型评述[J].新建建筑,2016(1):4-9.

[7] 翟宇佳,徐磊青.城市设计空间品量化模型综述[J].时代建筑,2016(2):133-139.

[8] 徐磊青,刘念,卢济威.公共空间密度、系数与微观品质对

城市活力的影响——上海轨交站域的显微观察[J].新建建筑,2015(4):21-26.

[9] 徐磊青,徐梦阳.地块开敞空间的布局效率与优化——以上海八个轨交商业地块为例[J].时代建筑,2017(5):74-79.

[10] 周进,黄建中.城市公共空间品质评价指标体系的探讨[J].建筑师,2003(3):52-56.

作者简介:李玉鹏(1989.3—),毕业院校:河北工程大学,所学专业:建筑学,当前就职单位:石家庄市万成民用建筑设计有限公司,职务:职员,职称级别:工程师。

## 城市快速路纵断面设计中坡长与视距协调优化方法研究

袁野 梁朝阳\*

雄安城市规划设计研究院有限公司, 河北 保定 071700

[摘要]城市快速路运行安全性和行车舒适性的提升让坡长与视距协调优化方法的研究变得格外关键,建立坡长和驾驶视距协调评价模型并把驾驶行为、制动特性以及不同交通流条件综合起来分析不合理坡长设置对视距遮挡、事故风险的影响,运用多目标优化算法使坡度设置和视距要求达成动态平衡,研究结果显示优化坡长设计能有效提高道路通行视距的连续性且减少因视距不够而产生的交通安全隐患、工程应用价值相当显著。

[关键词]城市快速路;坡长设计;视距协调;交通安全;优化模型

DOI: 10.33142/ucp.v2i6.18556

中图分类号: U412.33

文献标识码: A

### Research on the Coordinated Optimization Method of Slope Length and Sight Distance in the Vertical Section Design of Urban Expressways

YUAN Ye, LIANG Chaoyang\*

Xiong'an Urban Planning and Design Institute Co., Ltd., Baoding, Hebei, 071700, China

**Abstract:** The improvement of operational safety and driving comfort of urban expressways has made the research on the coordinated optimization method of slope length and sight distance particularly crucial. A coordination evaluation model for slope length and driving sight distance is established, and the impact of unreasonable slope length setting on sight distance obstruction and accident risk is analyzed by integrating driving behavior, braking characteristics, and different traffic flow conditions. Multi objective optimization algorithms are used to achieve dynamic balance between slope setting and sight distance requirements. The research results show that optimizing slope length design can effectively improve the continuity of road sight distance and reduce traffic safety hazards caused by insufficient sight distance. The engineering application value is quite significant.

**Keywords:** urban expressway; slope length design; visual distance coordination; traffic safety; optimization the model

#### 引言

现代城市交通里城市快速路是重要载体,其纵断面设计直接影响驾驶视野和行车安全,高交通强度与复杂地形条件下坡长设置不合理会使视距容易不足从而产生安全隐患和交通拥堵,既要保障视距连续性又得兼顾地形限制和工程成本已成为当下道路设计的关键问题,围绕坡长和视距协调优化探索科学设计方法有助于提升道路运行效率且能给智能交通和精细化设计提供技术支撑。

#### 1 城市快速路纵断面设计中坡长与视距问题概述

城市快速路纵断面设计里,坡长和视距这两事儿直接关系到道路安全与运行效率,需将它们之间的关系和存在的问题系统地捋一捋,以便给后续的优化研究打个基础。

##### 1.1 城市快速路坡长设计的基本原则与挑战

城市快速路主要目标是提高通行效率、缩短出行时长,其纵断面设计需兼顾交通功能和地形适应性,坡长作为纵坡设置的重要参数,与车辆动力性能、驾驶安全、油耗、施工成本等紧密相关,一般要依据设计速度、车辆类型、地形状况和环境保护要求合理确定坡长,但在实际工程中,由于城市空间紧张、地形复杂或者用地受限,常出现坡度过大或者坡长设置不合理的情况,从而导致车辆制动难、

视距不够、交通事故多发等问题,这些情况表明坡长设计在城市快速路建设里非常关键,急需系统研究和优化,并且要结合智能驾驶、绿色交通等未来交通发展趋势更新迭代传统坡长设计理念,才能满足更高层次的城市交通运行需求。

##### 1.2 驾驶视距要求与城市道路安全的关系

行车安全的基本条件是要有足够的驾驶视距,特别是在快速路段,由于速度快时反应时间和制动距离的情况,对视距要求严格,视距不足会影响驾驶人的判断能力且在突发情况下增加发生事故的风险。按设计规范,城市快速路需满足停车视距、变道视距、超车视距等要求,但在纵坡大的路段,道路起伏或者周边设施遮挡常使实际视距达不到设计标准,视距有障碍会让驾驶更不确定,在夜间或者雨雾天气很容易引发多车连环碰撞或者追尾事故,纵断面设计时充分考虑视距因素,协调好坡度和视距的关系是提升道路安全性能的一个核心要素,进一步来说,视距设计得科学合理能增强驾驶人对前方交通环境的感知能力,有效提升交通运行效率,减少急刹车、强制变道等突发操作,全面降低事故率和通行干扰,有力支撑城市交通系统稳定运行。



### 1.3 坡长与视距矛盾在实际工程中的表现

城市快速路工程实践中坡长和视距的矛盾常见,有些快速路为适应地形快速起伏设计成短坡急变的样式,虽在空间上满足用地需求但前方道路可视性被大大削弱,像桥梁、隧道口或者匝道合流的地方坡长设计没顾上视距需求成为交通事故高发地,还有部分设计太强调视距连续性使坡长过长,不仅施工难度加大、造价上升而且周边环境也受到不良影响,这种设计上取舍的失衡说明没有科学优化方法指导时传统经验设计无法满足现代交通安全和运行效率的双重要求,要在充分明白坡长和视距协调机理的基础上探索能量化、能调控的设计优化路径以统一工程可行性和交通安全性。

## 2 坡长设置对驾驶视距与交通安全的影响机制分析

驾驶视距受坡长设置影响显著,坡长设置是城市快速路交通安全的重要决定因素,机制分析有助于揭示其对驾驶行为和事故风险的具体作用路径。

### 2.1 坡长变化对视距连续性的影响

城市快速路中,驾驶人对前方道路的可视范围直接取决于纵坡设置,坡度陡且坡长短时,前方道路起伏易遮挡驾驶人视线,视距突变从而产生视觉盲区,坡顶转折或凹坡段尤其如此,要是车辆运行速度和停车需求没被设计充分考虑,视距中断现象更明显,视距不连续状态干扰驾驶判断且打破行驶节奏,容易发生紧急制动、变道冲突等危险行为,视距连续性降低会削弱城市快速路“快速、安全”的本质特征,得靠科学坡长控制来优化设计。

### 2.2 坡长设置对制动与反应能力的制约

车辆在坡道行驶时坡度对其制动能力影响很大,下坡时要是坡长太长或者坡度太陡,在惯性驱使下车辆制动距离会增加且重载车辆更是容易制动失效或者出现“刹车疲劳”,上坡时坡长过短的话低功率车辆就容易频繁换挡且速度不稳定,这会干扰后车判断让行车变得紊乱,驾驶人要是不能在有限视距里及时觉察前方交通状况事故风险就会大增,并且坡长频繁变化还会加重驾驶人的认知负担使反应时间变长、应对突发事件的能力降低,设置坡长的时候得保证交通流稳定并合理匹配驾驶人的生理和心理响应机制。

### 2.3 坡长不当引发典型交通事故形态

城市快速路里坡长设置不当就会引发事故且有一定规律,常见的事故形态有坡顶盲区追尾、下坡制动失效引发多车连环事故、坡道合流口横向擦碰等,这些事故常出现在视距或制动距离不足的区域且频率高伤害大,一些典型工程案例中纵断面设计没协调好坡长和视距,安全隐患一到高峰期就暴露且道路拥堵加重、次生事故也被诱发,

统计数据表明城市快速路交通事故里视距问题和坡长设计失误的占比不断上升显示出设计前期预测和协调控制很重要,要实施有效预防策略得先准确识别坡长影响交通安全的核心机制。

## 3 坡长与视距协调关系的数学建模与参数构建

城市快速路坡长与视距要协调优化,这需要有科学的数学模型做基础,构建合理的参数体系,工程设计就有了可量化、可计算的决策依据。

### 3.1 协调建模的理论基础与逻辑结构

交通安全理论、驾驶行为模型和道路几何设计原理是坡长与视距协调建模的基础,要先搞清楚不同纵坡条件下停车视距、会车视距、超车视距等不同驾驶视距需求的变化规律,并且结合人因工程将驾驶人反应时间、视线高度、车辆类型等参数对视距的影响考虑进去,在纵断面设计里引入几何透视原理分析坡道起伏和道路线形对驾驶视野的遮挡情况,模型逻辑结构要有输入参数模块(坡长、坡度、车辆速度、视线高度等)、约束条件模块(规范要求、安全裕度之类的)以及目标函数模块(视距最小值、坡度变率等)才完整清晰,在工程实践里也好应用。

### 3.2 模型关键参数选取与定量表达

数学建模里,模型的适用性和精度与参数选取直接相关,纵坡坡度( $i$ )、坡长( $L$ )、驾驶人视线高度( $h$ )、障碍物高度( $H$ )、设计速度( $V$ )、反应时间( $t$ )这些都是核心参数,停车视距能靠公式计算,公式里 $g$ 是重力加速度, $f$ 是附着系数,纵坡有影响的时候,停车视距得修正成带坡度因子的形式。

$$S = Vt + \frac{V^2}{2gf} \quad S = Vt + \frac{V^2}{2g(f \pm i)}$$

凹坡、凸坡、平坡等不同路段形态下的视距计算需引入相应空间几何关系模型,就凹坡而言,要考虑驾驶人视线和障碍物之间有无遮挡并建立基于抛物线轨迹的最小视距公式,模型由这些参数和表达形式构成量化基础从而能在不同工况下灵活应用。

### 3.3 模型适用性验证与参数敏感性分析

要验证数学模型的工程适用性,就得结合实际的快速路设计案例将参数代入做仿真测试,选择不同的坡长、坡度组合方案来模拟驾驶人在各个路段视距的变化趋势以查看是否符合规范要求,再引入蒙特卡洛仿真或者灵敏度分析方法对关键参数进行扰动测试以找出影响视距计算结果的敏感因子,结果显示坡度和车辆速度对最小安全视距的影响最大,特别是坡度超3%的时候视距下降速度明显加快,并且大型车辆群体中视线高度变异比较大需要在模型里设置可调节的参数范围,经过这些能让模型有良好的适应性和推广价值从而给后续优化设计提供定量依

据和技术支撑。

#### 4 基于多目标优化的坡长与视距协调设计方法

城市快速路纵断面设计得在安全性、经济性和地形适应性之间找平衡,多目标优化方法的引入利于坡长和视距协同提升,让综合效益最大。

##### 4.1 多目标优化建模的设计思路

多目标优化方法要在多个相互冲突的目标里找出最优解集,坡长和视距协调设计时目标函数一般有驾驶视距最大化、坡度变化率与坡长总量最小化、工程造价降低等,建模型前需要弄清楚每个目标在工程里的实际意义和权重,在安全优先的快速路段驾驶视距可当成本主导目标,而在空间有限或者成本敏感的地方坡长控制和土方平衡的权重可能更高,设计思路为构建目标函数矩阵,采用模糊综合评判或者层次分析法设定权重,再用约束优化技术保证解集符合规范要求,从非劣解集(Pareto 前沿)里提取出设计最优方案以达成各目标间的平衡。

##### 4.2 优化算法的选择与实现机制

协调坡长和视距多目标优化时算法选择很关键,像遗传算法(GA)、粒子群优化(PSO)、蚁群算法(ACO)、多目标模拟退火算法(MOSA)等都是常用的优化算法,在道路设计优化问题里,非支配排序遗传算法(NSGA-II)稳定且有全局搜索能力被广泛使用,该算法能有效处理多目标函数,种群进化时会产生一系列非支配解,在保持种群多样性的情况下慢慢接近最优解,其实现机制有初始化种群、计算适应度、交叉变异操作以及依据拥挤度距离选择非劣解进入下一代,在快速路设计中把不同坡长和坡度组合当成解向量,用视距计算模型评估适应度,这样优化过程工程上能解释得通,会有多个设计方案,工程师可以筛选调整,实现人机协同优化。

##### 4.3 优化结果的工程适应性与实例应用

工程实例的验证与应用检验表明多目标优化成果需要经历这一过程才能评估其实用性和推广价值,在典型城市快速路路段选取视距不足或者坡度变化突兀的问题区段作为优化应用对象,将原有设计方案和多目标优化结果进行对比分析,重点考察设计视距提升幅度、坡长变化是否合理、土方量变化、施工可行性以及整体造价控制等指标,实证结果显示优化后的方案在保障视距连续性上比原设计好很多且坡度过渡平滑、车辆运行能耗和事故风险均有效降低,土方工程控制更合理、经济效益和施工效率都不错,这说明多目标优化方法能为快速路纵断面设计提供有力的技术支撑且有望在未来城市道路设计中得到更广泛应用。

#### 5 优化模型在典型城市快速路工程中的应用与验证

检验优化模型有效性与可行性的关键环节在于将其

应用于实际工程案例,可借助典型城市快速路的设计与调整,验证模型对视距提升和坡长优化的实际作用。

##### 5.1 工程案例概况与问题诊断

以某典型城市快速路改扩建工程为研究对象,这一穿越丘陵起伏地区且长约7.2公里的工程其纵断面设计中有许多坡长较短、坡度突变的区段,由于视距不足已发生多起追尾事故,现场勘测数据表明约30%路段的停车视距不符合规范要求且上下匝道交织区以及桥隧过渡段视距中断严重,驾驶人的安全受到极大威胁,传统设计虽考虑了地形适应性和施工便利性但忽略了连续视距的系统优化导致道路运行质量不好,急需多目标优化模型重构纵坡设计以提高通行安全性和行驶舒适性。

##### 5.2 优化模型应用流程与设计调整

前期建立坡长与视距协调多目标优化模型并结合工程实际情况,先输入原始纵断面参数及包含地形高程数据、路线控制点、交通流特性以及设计速度等的约束条件,接着用NSGA-II算法构建解空间并对坡长、坡度组合进行编码,按照安全优先原则确定权重比例来设定目标函数,即最大化最小视距、最小化坡度变率和土方量,在优化迭代时通过约束筛选剔除不满足规范要求的解向量并实时评估各可行解的视距性能,输出的优化方案最终调整4处纵坡过渡段,在保持地形适应性的情况下使坡长区间平均拉长18%、关键区段视距提升40m以达到连续、顺畅、可视的设计目标,并且优化设计在总土方控制范围内波动不超过 $\pm 5\%$ ,工程可操作性较好。

##### 5.3 应用效果评估与推广价值分析

要进一步评估优化方案的实施成效,就用微观交通仿真软件对优化前后的方案进行对比模拟,结果表明在早晚高峰交通流中,优化方案使车辆平均车速提升了约12%、紧急制动频率降低31%、车辆跟驰行为更平稳且驾驶人操控体验得到明显改善,现场复核与第三方审查结果也显示优化后的视距指标全面符合现行规范且部分关键转折点处视距冗余超20%,给极端工况提供安全缓冲,从建设周期和造价控制方面看,设计方案没大幅改变原路线走向、施工方案调整幅度小且新增成本可控,这个优化模型在实际工程里适应性、灵活性和可推广性良好,为今后类似复杂地形下城市快速路纵断面设计提供可靠技术路径与决策依据。

#### 6 结语

深入分析城市快速路纵断面设计里坡长和视距的协调关系并将数学建模与多目标优化方法相结合构建了一个操作性很强的系统设计模型,且在典型工程中验证了其实用性和有效性,结果显示优化后的方案在行车视距保障、道路安全性提升和行驶舒适性提高上优势明显且兼顾施工成本和工程可行性,这一研究为未来城市快速路设计提

供理论支撑和技术工具且推广应用前景广泛,对推动城市道路精细化安全化设计有着很大的积极意义。

#### [参考文献]

- [1]钱城.高速公路改城市快速路总体设计要点[J].交通世界,2021(28):15-16.
- [2]唐陈烨.高架快速路纵断面设计探讨——以沈海高速杏林互通及接线工程为例[J].福建建材,2021(12):80-83.
- [3]刘玉龙,杨冬冬.中法规范城市快速路设计指标对比研究[J].四川建材,2022,48(3):126-127.
- [4]谢斯绵.城市快速路前期阶段需求分析与总体设计思路探讨[J].工程技术研究,2023,8(16):194-196.
- [5]陈言.关于城市快速路设计时速的探讨——以腾龙大道为例[J].城市建设理论研究(电子版),2023(21):98-100.

作者简介:袁野,(1994.7—),男,汉族,毕业院校:西南交通大学;现就职单位:雄安城市规划设计研究院有限公司; \*通讯作者:梁朝阳(1992.10—),男,汉族,毕业院校:西安建筑科技大学;现就职单位:雄安城市规划设计研究院有限公司。



## 山区水利工程项目全过程质量控制与监督研究

韩小飞

哈密市水利建设与安全中心, 新疆 哈密 839000

[摘要]水利工程属于基础设施建设里的重要部分,其质量控制以及监督管理和工程的安全性、可靠性还有资源的可持续利用紧密相关。在山区以及复杂地质环境之下的水利工程建设,面临着施工难度颇高、材料运输存在诸多不便以及自然条件十分恶劣等一系列挑战。文章把水利工程项目当作研究对象,针对施工前、施工中以及施工后的全过程质量控制体系来展开分析,并且结合水行政主管部门监督管理以及企业质量控制机制展开探讨。提出能够适应山区地区特点的质量控制策略以及监督方法,保证工程能够安全、稳定并且高效地运行,进而为区域经济发展以及社会和谐给予有力的保障。

[关键词]水利工程;全过程质量控制;监督管理

DOI: 10.33142/ucp.v2i6.18571

中图分类号: TV523

文献标识码: A

### Research on Quality Control and Supervision of the Whole Process of Water Conservancy Projects in Mountainous Areas

HAN Xiaofei

Hami Water Conservancy Construction and Safety Center, Hami, Xinjiang, 839000, China

**Abstract:** Water conservancy engineering is an important part of infrastructure construction, and its quality control, supervision and management are closely related to the safety, reliability, and sustainable utilization of resources of the project. The construction of water conservancy projects in mountainous areas and complex geological environments faces a series of challenges, including high construction difficulty, inconvenience in material transportation, and extremely harsh natural conditions. The article takes water conservancy engineering projects as the research object, analyzes the quality control system of the entire process before, during, and after construction, and explores it in conjunction with the supervision and management of water administrative authorities and the quality control mechanism of enterprises. Propose quality control strategies and supervision methods that can adapt to the characteristics of mountainous areas, ensure the safe, stable, and efficient operation of the project, and provide strong guarantees for regional economic development and social harmony.

**Keywords:** water conservancy engineering; whole process quality control; supervision and management

#### 引言

水利工程属于我国基础设施体系里极为重要的一部分,其对于确保人民生命财产安全、推动农业灌溉以及工业生产都发挥着相当重要的作用。伴随我国西北山区以及复杂地质地区基础设施建设持续推进,水利工程的施工环境变得越来越复杂,施工技术方面的要求也在持续提高。在山区地区,因为气候变化无常、地质条件复杂并且施工材料与设备运输存在诸多困难,水利工程施工会面临不少不确定的因素,这也就对工程全过程的质量控制与监督提出了更高的要求。本文把水利工程项目当作研究对象,从施工前、施工中一直到施工后的全过程质量控制体系出发,同时结合水行政主管部门监督管理以及企业质量控制机制展开系统分析,希望能够提出科学且具备可行性的管理对策,为山区地区水利工程能够安全、稳健地运行给予一定的参考。

#### 1 水利工程项目质量控制与监督的重要性

##### 1.1 保障人民生命财产安全与工程可靠性

水利工程在防洪、供水、灌溉以及生态保护等诸多方

面都发挥着极为关键的作用,而它的安全性跟区域居民的生命财产安全紧密相关,也和社会生产秩序的稳定程度有着直接联系。工程质量一旦出现问题,不但会导致设施的功能无法正常发挥作用,甚至还有可能引发像洪涝、溃坝这类的重大事故,进而给当地的经济的发展以及社会稳定带来极为严重的冲击。所以说,保证水利工程的可靠性应当成为建设以及管理工作的首要追求目标。在山区地区以及复杂的环境状况下,施工的难度会明显增大,而且自然条件又是处于不可控的状态,只要稍有疏忽大意,就极有可能出现结构方面的缺陷以及安全隐患。如此一来,就需要在整个项目的实施过程当中进一步强化对于质量的把控工作,无论是设计环节、施工环节,还是阶段验收环节以及运行维护环节,每一个环节都务必要严格地把好质量关。借助于系统化、规范化的质量管理和监督方面的举措,是能够有效地预防安全事故的发生,进而确保水利工程能够实现长期且稳定的运行状态,以此来切实维护人民群众的生命财产安全,同时推动区域社会经济朝着稳健的方向不断发展。

### 1.2 提升水资源利用效率与可持续性

水利工程的建设属于保障安全的工程项目范畴,同时也是优化水资源配置以及提高利用效率的关键手段。恰当的工程设计加上高质量的施工,可切实减少水资源方面的浪费情况,促使灌溉、供水系统在运行过程中效率得以提升。就山区地区而言,因其水源分布状况以及存在明显的季节性差异,工程运行效率对于社会经济活动所产生的影响显得格外重要。借助于全过程的质量控制举措,能够保证水工建筑、输配水系统还有调控设施依照设计标准实现高效运转,进而减少漏损以及能源浪费现象,达成水资源的可持续利用目的。科学且有效的质量控制以及监督管理措施,还能够延长工程的使用寿命,使得维护成本得以降低,确保水利工程在整个生命周期当中始终能够发挥出最佳的效能,以此来支撑农业生产、工业发展以及居民生活朝着稳定且可持续发展的方向前进。

### 1.3 促进社会经济稳健发展

水利工程是基础设施建设的重要内容,关系到农业、工业及生活等多个领域的发展。良好的水利工程质量能够确保其长期稳定运行,为相关产业提供稳定的水源和安全保障,促进区域经济的稳定增长。相反,水利工程质量问题引发的工程事故或功能失效,会对当地经济造成严重冲击,进而影响社会的和谐稳定。水利工程在防洪、灌溉、供水等方面能够可靠地运行起来,这对于保障人民生活水平、对资源配置加以优化以及提升区域的综合竞争力来讲,有着极为重要的作用。所以,强化对水利工程质量的控制以及加强监督管理,一方面是要保障工程自身安全并且让其功能得以发挥,这是必不可少的举措;另一方面也是推动社会经济稳定发展并达成可持续发展目标的关键步骤所在。

## 2 全过程质量控制体系构建

### 2.1 施工前质量控制

施工前的质量把控乃是保障水利工程顺利推进的关键环节,其重要性自不必多言。在工程立项以及规划这个阶段当中,得结合山区还有复杂地质这样的环境状况,去展开细致的工程勘察以及资料搜集工作,要科学地对地形、地质、水文以及气候这些条件加以评估,从而给设计给予可靠的依据支撑。到了设计阶段,务必要依照标准规范以及先进技术理念来行事,借助多个专业的联合评审方式,对工程方案予以优化,以此确保设计既科学又合理,施工起来也具备较强的可操作性。与此针对施工单位要开展资质审核工作,确认其拥有与之相应的技术能力以及管理经验,让施工人员能够接受技术方面的培训以及施工安全方面的教育,进而提升他们整体的素质以及专业的能力水平。在挑选原材料以及构配件的时候,得严格遵守检测标准以及验收程序,针对水泥、钢材、混凝土还有各类水工材料展开全面的检测,确保它们都符合工程设计方面的要求。

施工前的质量控制所涵盖的范围不仅仅有技术和材料方面的保障,还包含了施工组织方案、设备调配以及风险评估等方面的内容,借助系统化的管理手段,为后续的施工阶段筑牢坚实的基础,尽可能地将工程事故以及质量问题发生的概率降到最低限度。

### 2.2 施工阶段质量控制

施工阶段于水利工程整个质量控制流程而言,实为核心环节所在,其管理所达到的水平,会直接对工程的安全性、可靠性以及使用寿命起到决定作用。在山区地区以及地质情况复杂的环境下,施工所处的条件颇为特殊,各类自然因素又呈现出多变态势,如此便给施工质量提出了更高的要求。所以,施工单位务必要严格依照设计图纸以及技术规范来开展工作,要科学地去组织各项施工工序,从而保证每一个环节都能够契合标准方面的要求。在施工推进的过程中,需要着重留意施工工艺具体执行的情况以及技术标准实际落实的状况,并且要依据现场的实际环境做出合理的调整,以此来保障像机电金结安装、土石方挖填工程、混凝土浇筑还有边坡支护等一系列工序都能达成安全可靠的状态。与此借助现场检测以及监测手段,针对混凝土强度、土石方压实度、防渗性能等这些关键指标展开实时的跟踪工作,以便能够及时察觉到施工当中出现的偏差或者存在潜在的隐患。对于所发现的各项问题,应当立刻着手组织相关的技术分析以及整改事宜,要明确责任主体是谁以及具体的整改措施是什么,以此来确保问题可以得到有效的控制,并且形成完整的记录资料。施工阶段的质量控制,其关注点不只是施工本身,还涵盖了施工现场的管理、材料使用的规范、人员操作的合规以及安全措施的落实等方面的监督工作,从而保证施工过程能够做到科学且规范。通过对施工阶段全过程加以综合性的管理,是能够有效地对工程风险予以防范的,进而能够保障结构的安全稳固,提升工程的使用寿命以及运行的可靠性,同时也可作为施工后续阶段的验收工作以及长期的运行维护打下扎实的基础。

### 2.3 施工后质量控制

施工后的质量控制属于保障水利工程能够长期且稳定运行的关键环节,其主要涵盖工程竣工验收、质量保修与维护以及长期运行监测等方面。在工程竣工之际,应当组织相关专家针对工程展开全面细致的验收工作,对结构的安全性、施工的质量以及功能的实现状况加以评估,以此来保证工程能够满足设计所提出的要求以及相应的标准规范。就质量保修与维护来讲,建设单位有必要制定出科学合理的维护计划,定期针对那些关键构件以及各类设施实施检查与维护操作,要能够及时地去处理在运行过程当中出现的各种损坏以及缺陷情况。除此之外,还应当建立起长期运行监测体系,借助安装传感器、开展数据采集与分析等方式,达成对像蓄水水位、水工建筑物变形、

渗漏以及流量等这些诸如此类的关键指标的实时监控效果。施工后的质量控制一方面是对前期施工所取得成果的一种检验手段,另一方面更是保障工程长期处于安全且稳定运行状态的重要举措,凭借系统化的管理方面的措施,可使工程的使用寿命得以延长,水资源的利用效率得以提升,同时还能对区域经济以及社会发展给予可靠的支撑作用。

### 3 监督管理体系与机制完善

#### 3.1 水行政主管部门监管体系

水行政主管部门监管体系对于水利工程建设全程的质量控制而言,属于极为重要的保障要素,其关键点在于借助法律法规、标准规范以及行政管理方面的手段,针对工程建设展开全程的监督活动。在山区以及复杂的环境状况下,因为施工所处的条件较为特殊,且存在的风险因素多种多样,所以水行政主管部门监管所具备的科学性以及有效性就显得格外重要了<sup>[1]</sup>。要对水利工程建设施工环节、验收环节以及运行环节等诸多环节都给出清晰明确的相关的法律法规以及技术标准依据。需要安排那些技术方面很过硬并且经验颇为丰富的监管人员,以此确保监管能够贯穿工程从规划阶段开始一直到设计阶段、施工阶段、验收阶段乃至运行维护阶段的整个过程。在监管的具体过程当中,水行政主管部门应当重视信息化手段的应用情况,借助数字化平台来实时且全面地掌握施工的进度状况、质量检测所获取的数据以及隐患排查的相关情况,进而达成对施工单位以及监理单位进行动态化管理的目的。

#### 3.2 企业质量控制管理

企业质量控制管理属于水利工程全过程质量控制的关键部分,其包含了建设单位、施工单位以及监理单位于工程建设期间的协调管理与自我约束机制。建设单位身为项目的投资方并且是管理主体,需构建起完备的质量管理制度以及控制流程,要清晰界定各个阶段的管理责任,针对工程的设计环节、施工环节、验收环节以及后期的维护环节展开全程的监督工作,以此来保证各个环节都能依照合同以及标准规范去施行<sup>[3]</sup>。施工单位在自身的内部管理方面,得科学地去组织施工计划,严格地执行施工工艺以及技术标准,对于关键结构、施工节点还有施工材料要实施现场的监控以及质量记录,与此同时还要强化对施工人员的培训以及操作规范方面的管理,借此提升整体的施工

水准与质量意识。监理单位肩负着独立监督以及技术指导的责任,要对施工单位的施工过程进行实时的检查与评估,一旦发现问题就要及时给出整改的意见并且跟踪落实情况,确保施工质量能够契合设计以及规范的要求。这三方协同开展运作,进而形成一个覆盖整个过程且是闭环管理的内部监督体系,如此一来既能及时察觉并处理工程质量方面存在的隐患,又能提升管理的效率,优化资源的配置,从而让水利工程在复杂的环境状况下达成安全、稳定且高效的运行状态,给工程的长期使用以及区域社会经济的发展给予可靠的保障。

### 4 结语

水利工程项目的全过程质量控制以及监督管理,乃是保障工程安全、提升运行效率并且实现可持续利用的重要手段。本文从施工前、施工中一直到施工后的全过程管理方面着手,综合水行政主管部门监管、企业质量控制管理,全面且细致地剖析了水利工程质量控制的具体实施路径以及关键举措。在山区以及复杂地质这样的环境之下,凭借科学的设计、严格的施工、及时的检测与整改,再加上多层次的监督机制,是能够切实有效地降低施工风险的,进而保证工程可以长期稳定地运行。全过程质量控制一方面能够保障工程的安全,另一方面还能推动水资源得以高效利用,从而给农业灌溉、工业生产以及居民生活给予可靠的支撑,与此也为区域经济的稳健发展给予了有力的支持。在未来,应当进一步去完善全过程管理体系,大力推广信息化以及智能化的管理手段,对全过程质量控制模式加以优化,以此来为山区地区的水利工程建设给予可持续发展的有力保障。

#### [参考文献]

- [1]赵玉昆.水利建设工程项目的质量控制与监督管理体系研究[J].水上安全,2025(16):118-120.
  - [2]杜广敏.水利工程施工项目质量控制与质量管理体系的构建[J].水上安全,2024(15):43-45.
  - [3]葛晓敢.水利水电工程管理及质量控制探究[J].决策探索(中),2020(4):78.
- 作者简介:韩小飞(1985.4—),毕业院校:新疆农业大学,所学专业:水利水电工程,当前就职单位名称:哈密市水利建设与安全中心,职称级别:副高级工程师。



## 新能源 EPC 项目造价与施工进度协同管理

赵学校

华润新能源投资有限公司四川分公司, 四川 成都 610000

**[摘要]** 新能源 EPC 项目有其自身特点, 文章围绕这些特点深入探究造价和施工进度协同管理机制, 在文献分析和案例研究的基础上探究新能源 EPC 项目在设计、采购、施工整个过程中造价与进度管理的关键点以及它们之间的相互影响, 结果发现新能源项目往往存在成本控制和进度管理脱节、信息共享不够、变更管理不及时等情况, 针对这些问题提出基于 BIM 技术的造价—进度集成管理平台、动态成本监控与进度预警机制、价值工程与进度优化双重目标决策模型等解决办法, 在此之上构建起新能源 EPC 项目造价与进度协同管理框架, 涵盖组织协同、流程协同、信息协同和技术协同这四个维度。这个协同管理框架能使项目变更率降低、工期缩短、总成本下降, 这一研究成果给新能源 EPC 项目提供更高效、更协调的管理模式, 对提升项目整体绩效有重要的指导意义。

**[关键词]** 新能源项目; EPC; 模式; 造价管理; 进度管理; 协同机制

DOI: 10.33142/ucp.v2i6.18569

中图分类号: TU71

文献标识码: A

### Collaborative Management of Cost and Construction Schedule for New Energy EPC Projects

ZHAO Xuejiao

Sichuan Branch of China Resources New Energy Investment Co., Ltd., Chengdu, Sichuan, 610000, China

**Abstract:** New energy EPC projects have their own characteristics. This article explores in depth the mechanism of cost and construction schedule collaborative management based on these characteristics. Based on literature analysis and case studies, it explores the key points of cost and schedule management in the entire process of design, procurement, and construction of new energy EPC projects, as well as their mutual influence. The results show that new energy projects often have problems such as disconnection between cost control and schedule management, insufficient information sharing, and untimely change management. To address these issues, solutions are proposed, including a BIM based cost schedule integrated management platform, a dynamic cost monitoring and schedule warning mechanism, and a dual objective decision model of value engineering and schedule optimization. Based on this, a new energy EPC project is constructed. The collaborative management framework for project cost and schedule covers four dimensions: organizational collaboration, process collaboration, information collaboration, and technical collaboration. This collaborative management framework can reduce project change rates, shorten project timelines, and lower total costs. This research achievement provides a more efficient and coordinated management model for new energy EPC projects, and has important guiding significance for improving overall project performance.

**Keywords:** new energy projects; EPC; pattern; cost management; progress management; collaboration mechanism

### 引言

全球气候变化问题越来越严峻且各国可持续发展战略不断深入, 使得新能源产业成为全球能源转型的关键驱动力。国际可再生能源署 (IRENA) 统计数据显示, 2018—2023 年全球可再生能源投资超 2.3 万亿美元且每年增长率平均在 8% 以上, 在这样的大环境下, 工程总承包 (EPC) 模式由于能对项目全生命周期进行集成管理成为新能源项目建设的主要交付方式, 中国可再生能源学会发布的报告表明到 2023 年底国内新能源电站项目约 78% 使用 EPC 模式, 与 2018 年相比增加了近 20 个百分点。

新能源 EPC 项目在实践中有着独特挑战, 因为跟传统能源项目比起来, 新能源项目大多技术更新换代快、设备专业性要求高、建设条件复杂、投资巨大且回报周期长, 所以造价管理和进度控制就成了项目成功的关键, 中国建

设工程造价管理协会调研数据显示, 在新能源项目中, 约 63% 成本超支和 36% 工期拖延是由于造价和进度管理脱节直接, 并且造价与进度作为项目管理的两大核心要素, 二者之间互动关系复杂, 任一方面有偏差都会给另一方带来连锁影响。

业界已认识到造价与进度协同管理的重要性, 不过现有的研究大多聚焦于传统建筑或者基础设施项目, 在新能源 EPC 项目的协同管理方面研究不足, 而且造价管理和进度管理在组织架构、管理流程、信息系统等处“信息孤岛”现象较为普遍, 从而出现决策分散、资源配置不合理、变更管理落后等情况, 最终影响项目整体绩效, 《工程建设总承包管理蓝皮书 (2024)》统计显示新能源 EPC 项目因缺乏有效协同返工率达 12%, 成本因此直接增加大概 4.5% 且工期延长约 7.8%。

新能源 EPC 项目有其自身特点,本研究打算依据这些特点,采用文献分析和案例研究相融合的方法,系统地探究造价与施工进度协同管理的理论根据、施行架构以及关键机制,在设计、采购和施工的全过程深入剖析造价与进度相互作用的影响,找出关键协同点,构建契合新能源项目特性的协同管理架构,并且着重于一些创新管控手段,如基于 BIM 技术的造价-进度集成管理平台、动态成本监控与进度预警机制、价值工程与进度优化的双重目标决策模型等,从而让新能源 EPC 项目的管控模式变得更高效、更协调,最终达成成本、进度和质量整体优化的目标。

## 2 新能源 EPC 项目造价与进度管理的现状分析

### 2.1 新能源 EPC 项目的特点与挑战

新能源 EPC 项目有着显著的行业特征和管理挑战,这使其不同于传统工程项目。根据 IRENA《2024 年可再生能源投资趋势》报告显示,2019—2023 年全球新能源投资年均增速超 12%且技术迭代周期持续变短,就拿光伏组件来讲,效率每 18~24 个月就会提升 5%~8%,项目的技术选型和成本控制这两重压力<sup>[1]</sup>。从项目结构来看,新能源 EPC 项目往往投资强度大、建设周期短、专业交叉多,像大型风电场,单位千瓦投资在 5000~8500 元之间且建设周期被压缩到 12~18 个月,土建、电气、设备安装等诸多专业得协同作业,并且新能源项目大多存在选址偏远、自然条件复杂、外部协调工作量大的情况,海上风电和高海拔光伏项目尤其如此,不可预见因素明显增多使得造价与进度管理变得极为不确定。

### 2.2 造价管理中存在的问题与风险

新能源 EPC 项目造价管理陷入多种困境,在决策阶段造价数据不精确、执行阶段控制不佳是其主要体现,前期决策时新能源技术迅猛发展且各地资源条件差别很大,导致项目可行性研究与初步设计阶段造价数据精度往往不够,中国建设工程造价管理协会《新能源项目造价控制研究报告(2024)》统计表明大型新能源 EPC 项目初步设计阶段造价偏差率为 15%~25%,比传统工程项目 8%~12%高出不少,设备价格波动预测不准、地质条件调查不细致、地方政策理解不透彻等因素是造成这一偏差的主要原因。

进入项目执行阶段,新能源项目因多专业交叉施工,导致造价信息常分散于设计、采购、施工环节而无统一数据集成与分析机制,《中国新能源 EPC 项目管理数字化白皮书》行业调研表明大概 68%的新能源 EPC 项目存在造价信息滞后的状况且平均落后 1.5~2 周,这严重影响成本变更的及时性,并且新能源项目中大宗设备和材料对总造价影响很大,就拿光伏电站来说,组件和逆变器占总投资的 30%~50%,在国际供应链波动频频的情况下,设备价格和交货期的变化让造价管理面临巨大挑战,行业数据表明 2020—2024 年期间,全球光伏组件价格波动幅度平

均为 36%~42%,这对项目总造价影响直接。

### 2.3 进度管理面临的困境与限制因素

新能源 EPC 项目的进度管理主要面临着进度计划不够科学、进度控制有效性差这两大困境,就拿进度计划来说,新能源项目尤其是大型光伏和风电场建设项目往往具有工序逻辑关系复杂、地理分布广泛、受季节性因素制约强烈等特性,中国可再生能源学会《风电建设管理白皮书(2024)》研究表明大概有 45%的风电项目没有在进度计划里充分考虑到季节性施工有利时机的影响从而出现关键路径识别有偏差的情况,并且大多数项目(大概 63%)也没能将设备交付和施工安装的协同关系有效地整合到进度计划之中进而让进度管理有了薄弱之处。

在进度控制方面,新能源项目现场条件复杂多变,所以对进度实施的动态调整能力有更高要求。行业统计表明,近五年大概 52%的大型新能源 EPC 项目因天气、材料供应波动、技术方案调整等因素而进度严重滞后,而且跨区域大型项目尤其如此,其进度信息采集慢、传递不顺、反馈机制不完善等问题特别明显,并且数据表明项目现场进度信息平均要 5~7d 更新一次,这远远满足不了快速决策的需求。另外,造价对进度的影响常常被忽略,大概 37%的项目管理团队没有把资金流和进度计划有效关联起来,致使进度控制和资源配置脱节,从而直接影响项目整体推进效率和最终交付质量<sup>[2]</sup>。

## 3 造价与进度协同管理的理论基础与框架

### 3.1 协同管理的理论基础

系统工程学、价值工程学以及项目管理集成理论是造价与进度协同管理的主要理论来源,其中系统工程学着重整体大于部分之和这一系统观,在新能源 EPC 项目中体现为对设计、采购、施工全过程的整体掌控,而价值工程学给出了优化成本与功能关系的方法,在新能源项目的技术方案比选和资源配置决策方面尤为适用,项目管理集成理论为造价与进度协同提供了方法论方面的支撑并强调经由信息共享、流程优化和组织协调来达成多目标统筹。这几年随着数字化技术发展起来,基于 BIM、大数据和人工智能的项目管理理论给协同管理带来了新的技术支持,根据《新能源工程数字化白皮书(2023)》显示在新能源 EPC 项目里运用数字化协同管理能提升大概 35%的决策效率且可降低约 42%的信息传递失真率,从而让造价与进度的动态平衡有了坚实的基础。

### 3.2 造价进度协同管理框架构建

新能源 EPC 项目有其自身特点且存在一些问题,在此基础上构建起一个以“四维协同”为核心并且涵盖组织、流程、信息和技术四个维度的造价与进度协同管理框架,从而形成全方位、多层次的协同管理体系。组织协同注重整合跨专业团队并组建由设计、采购、施工和成本控制专家构成的协同决策团队,以此打破传统的“筒仓式”管理

模式。流程协同着重于识别与控制关键节点并将造价管理与进度控制的流程节点映射整合,进而形成覆盖项目全生命周期的协同流程网络。信息协同想要达成的目标是建立统一的数据平台,使造价数据与进度信息能够实时共享且联动分析,消除信息孤岛。技术协同聚焦于应用数字化工具,如利用 BIM 技术、云计算和物联网等手段来提高协同管理的效率和精确度<sup>[3]</sup>。

项目不同阶段,这个框架的协同重点不一样,决策阶段重点放在技术方案和造价目标的协同优化上,设计阶段重点关注设计进度与造价控制的平衡,采购阶段着重于设备交付时序和价格波动的协同应对,施工阶段则侧重施工进度和成本控制的动态平衡,各阶段形成闭环管理机制,依靠前馈控制削减变更并按照反馈调整优化决策,最终达成造价目标与进度目标的动态平衡,根据 2023 年国家电网能源研究院《EPC 协同管理效益白皮书》,经国内实证分析,实施这个协同框架的项目成功率提高了约 28%,工期延误率下降 34%,成本超支率减少 39%,可见这个框架对新能源 EPC 项目有着相当大的价值。

### 3.3 协同决策机制与信息集成模型

造价与进度协同管理框架以协同决策机制为核心运行机制,该机制包含分级决策机制和多目标优化决策模型这两部分,分级决策机制依据决策影响范围与紧急程度把决策分成战略、战术、操作三个层次且不同层次有着不一样的决策权限、流程和评估标准,重大变更要是影响工期超出关键路径 10%或者造价影响超出总预算 3%就得由战略决策层审议而影响范围小的常规决策战术或者操作层就能处理从而提高决策效率。

“数据仓库+分析引擎”架构被信息集成模型采用以达成造价数据和进度信息的集成管理,并且该模型设计出统一的数据结构与接口标准可使各专业系统数据无缝集成。关键性能指标涵盖数据采集实时性(每天)、更新频率(1~3d)、查询响应时间(不超过 3s),而建立工作分解结构(WBS)和成本分解结构(CBS)的映射关系后就能让进度活动与成本项目精确对应。此外,该模型还内置多种像挣值分析、成本进度综合分析、趋势预测之类的分析功能以便于管理团队依据数据协同决策。麦肯锡《EPC 数字协同控制效能报告》(2024)研究显示,实施这个信息集成模型的项目中造价和进度协同控制的准确率提升大概 32%且决策周期缩短约 40%,从而为新能源 EPC 项目的高效管理提供关键支撑。

## 4 新能源 EPC 项目造价与进度协同管理的实施策略

### 4.1 全过程造价与进度数据协同采集与分析

新能源 EPC 项目全过程造价与进度数据协同管理建立起统一的数据采集和分析体系,中国可再生能源学会统计,2020 到 2023 年中国可再生能源学会统计,2020—2023

年期间,光伏和风电 EPC 项目的数据协同程度若能提高 15%,成本就能降低超 6%,所以实施时要构建覆盖设计、采购、施工三个阶段的数据采集标准并按照工作分解结构(WBS)和成本分解结构(CBS)进行编码映射,利用物联网和移动终端实现现场数据实时采集,像人工、材料、设备这些资源消耗情况以及进度完成状况都要采集,采集来的数据在云平台集成之后,运用数据挖掘和预测分析技术,不但能识别出造价和进度之间的关联模式,还能对偏差进行早期预警,尤其是新能源项目里关键材料价格波动和工期延误相互影响的情况可以动态评估<sup>[4]</sup>。

### 4.2 基于 BIM 技术的造价进度协同控制方法

新能源 EPC 项目的造价和进度协同控制得到了 BIM 技术提供的技术支撑,中国建筑信息模型应用联盟 2022 年的调研表明新能源行业 BIM 应用的渗透率达 58%,在运用 BIM 的项目里进度和成本的协同管理水平提升了 23.7%。具体应用的时候要构建能把造价和进度数据集成起来的 5D-BIM 模型,让三维空间信息和进度、成本信息产生关联并使模型各构件对应的价格数据以及计划工期在可视化展示下呈现出来,而且能通过进度模拟和资源消耗的动态分析对关键路径变化给成本带来的影响加以预测,另外还要建立起基于 BIM 的变更管理机制,一旦工程发生变更系统就会自动评估对造价和进度的综合影响从而为决策提供 quantified 依据。对于像新能源设备安装这种专业性很强的工作,BIM 模型能够细化工艺流程和资源配置以优化施工方案来达成多目标平衡,例如光伏阵列安装进度和电气设备采购成本就能协同优化。

### 4.3 多目标优化决策的动态调整机制

新能源 EPC 项目的多目标优化决策建立起造价与进度的动态平衡机制,国家能源局统计表明,2021—2023 年期间采用多目标优化决策的新能源项目平均能提升投资回报率 4.8%。在实施的时候要构建“效益-成本-进度”三维评价体系,并且像进度绩效指数(SPI)、成本绩效指数(CPI)这些关键指标需要动态监测,从而对项目的执行状况加以评估。资源配置出现冲突时,可以运用蒙特卡洛模拟这类方法,测算不同决策方案给项目目标带来影响的概率,而且还要把光伏组件价格波动、风机交付周期等新能源特有的因素考虑进去。此外,周期性的项目评估机制也要建立起来,依据项目里程碑节点动态地调整资源配置策略<sup>[5]</sup>。由于不同阶段的主导目标不一样,例如前期设计阶段主要是控制造价,而施工阶段则更多重视造价与进度之间的平衡,所以要有针对性地制定出差异化协同管理措施,这样才能让项目整体价值在全生命周期里达到最大。

## 5 结论

新能源 EPC 项目中造价与施工进度协同管理的关键问题和实施策略被本研究所探讨,结果显示新能源 EPC



项目有着技术迭代迅速、设备供应链复杂、施工环境多变等特性,导致传统分离式的造价与进度管理模式无法满足项目高效执行需求,而建立全过程数据协同采集与分析机制后项目团队就能实时把握造价与进度的动态关联并提前识别潜在风险,并且 BIM 技术支持的 5D 集成管理平台给决策提供可视化支撑,在设备安装与系统集成阶段尤佳,可有效协调多专业交叉作业以减少资源冲突,此外多目标优化决策的动态调整机制让项目管理团队有了应对市场变化和技术调整的灵活性,在新能源材料价格波动与交付周期不确定时能快速调整策略来维持造价与进度的动态平衡。

新能源 EPC 项目要实施造价与进度的协同管理,需有组织、流程、信息和技术这四个维度的系统支撑这一点综合起来看是这样,并且以后的研究方向应着眼于人工智能技术在协同预测和决策优化中的运用以及新能源全产业链视角下进度与成本协同控制机制这两个方面,另外新能源技术和市场环境一直在变化,所以协同管理模式就得不断完备以适应这些变化,如实践显示造价与进度协同管

理有效的话,不但能让项目总成本降低、工期缩短,而且能提升新能源项目整体质量与运营效益,从而给能源转型和绿色发展强有力的支撑,这一研究成果对新能源 EPC 项目管理实践有着重要指导意义,也给相关理论研究带来新视角和新方法。

#### [参考文献]

- [1]吴毅勇.项目工程中施工进度与工程造价的协调管理[J].四川水泥,2019(10):272.
- [2]李小焱.新能源项目 EPC 阶段合同管理对控制造价的影响分析[J].中国管理信息化,2024(10):15-17.
- [3]李国辉.新能源工程项目质量管理与项目进度控制[J].中国石油和化工标准与质量,2023(4):20-22.
- [4]邹万里.新能源工程项目质量管理与项目进度控制[J].自动化应用,2023(12):168-169.
- [5]沈兴林.新能源工程项目质量管理与项目进度控制[J].智能城市,2018(3):84.

作者简介:赵学校(1989.9—),毕业院校:重庆交通大学,所学专业:项目管理.

# 新时代水利工程建设与水利工程管理探讨

宋扬 周洁

扬州水利建筑工程有限责任公司, 江苏 扬州 225000

**[摘要]**随着我国经济不断发展以及生态文明建设持续深入推进, 水利工程在建设与管理方面遭遇了新的挑战, 具体表现为规模变得更大、技术愈发复杂且管理的要求也在不断提升。本论文着重围绕水利工程的规划与施工、运行与维护还有管理创新等方面展开探讨, 深入剖析科学施工、运行调度以及数字化管理等关键环节, 希望能给工程实践给予一定参考, 促使水利工程能够实现高效且精细的管理, 达成可持续发展的目标。

**[关键词]**新时代; 水利工程; 建设管理

DOI: 10.33142/ucp.v2i6.18564

中图分类号: TV51

文献标识码: A

## Exploration on the Construction and Management of Water Conservancy Projects in the New Era

SONG Yang, ZHOU Jie

Yangzhou Water Conservancy Construction Engineering Co., Ltd., Yangzhou, Jiangsu, 225000, China

**Abstract:** With the continuous development of Chinese economy and the deepening of ecological civilization construction, water conservancy projects have encountered new challenges in construction and management, manifested in larger scale, increasingly complex technology, and constantly improving management requirements. This paper focuses on exploring the planning and construction, operation and maintenance, and management innovation of water conservancy projects. It deeply analyzes key aspects such as scientific construction, operation scheduling, and digital management, hoping to provide some reference for engineering practice and promote efficient and refined management of water conservancy projects to achieve sustainable development goals.

**Keywords:** new era; water conservancy engineering; construction management

### 引言

水利工程属于社会经济发展所需的基础设施范畴, 其建设所涉及的规模以及技术层面的复杂程度会随着城镇化不断向前推进的进程而持续提升。在新时代背景下, 水利工程在建设过程中面临着诸多挑战, 比如施工难度颇高、运行管理环节较为复杂, 同时对于信息化方面的需求也处于较高的状态, 传统的管理模式已经很难契合这些实际需求了。不过, 数字化以及智能化技术不断地发展起来, 这就给工程在整个生命周期当中的管理工作带来了全新的办法, 能够对施工质量予以提升, 让运行效率得以提高, 促使管理水平有所改善, 从而确保水利工程可以安全、高效且可持续地运行。

### 1 水利工程建设管理的基本特征

在水利工程建设管理工作中, 诸多特征表现非常鲜明, 下文主要分析四点。(1) 水利工程建设管理工作具有差异性特征。这是由于我国地域广阔, 不同地区之间存在较大的气候与地理条件差异, 其中不乏大量山区及欠发达地区, 但有些地区经济建设水平极高。这种显著差距对比, 必然导致水利工程建设管理工作在质量上存在差异。(2) 水利工程建设管理工作具有多样性特征。作为最基础的民生设施, 水利工程有利于经济建设发展, 近年来, 各地区大兴土木, 大力开展水利工程建设与管理工作。水利工程涉及

城市规划、建设、交通、电力、管理学等多个领域, 综合性强, 其建设技术与管理工作内容非常值得深入研讨。(3) 水利工程建设管理工作具有不稳定性特征。众所周知, 水利工程建设管理工作深受诸多因素影响, 其中地质、气候、水文、植被等环境与地理条件影响最大。某些地质灾害如泥石流、地震等更会引发社会热点问题, 对水利工程建设管理工作带来更大挑战。(4) 水利工程建设管理工作具有复杂性特征。一方面水利工程中包含大量单项分支工程, 涉及的技术内容繁杂, 如防渗工程、除险加固工程等; 另一方面对精细化管理也提出更高要求, 亟须从宏观角度来审视水利工程建设, 做好从技术到管理规范的全面统筹规划工作。综上, 水利工程建设管理工作复杂性特征表现明显, 具有一定实操难度。

### 2 水利工程规划与施工管理

#### 2.1 科学规划与设计优化

水利工程的规划与设计属于整个建设流程极为关键的环节, 其具备的科学性以及合理性会对工程的经济效益、安全性还有可持续性产生直接的影响。处在规划阶段的时候, 得全面且细致地去分析区域的地理状况、气候情况、水文条件, 同时也要考量社会经济发展的实际需求, 在此基础上制定出合理的工程规模以及布局方案。科学的规划一方面要能够满足防洪、灌溉、供水等一系列功能方面

的需求,另一方面还得顾及生态环境的保护事宜,以此来保证工程建设能够和自然环境达成协调一致的状态。在开展设计优化工作的过程当中,借助先进的数字化建模手段、仿真模拟技术以及工程风险评估相关技术,能够针对不同的方案展开比较并加以优化,进而从中挑选出最为优质的方案。在实际的应用场景里,经过优化后的设计不但能够在一定程度上降低建设的成本,还能够提升施工的效率,而且还能够提前将潜在的风险识别出来,从而给后续的施工管理工作给予相应的技术方面的有力支撑。现代的水利工程设计着重强调可持续发展的理念,凭借合理地安排工程的各项功能、对结构形式予以优化以及采用环保性质的施工材料等举措,达成工程建设和生态保护有机融合的目标,进而促使工程的整体价值以及社会效益得以提升。

## 2.2 施工质量与安全管理

施工质量以及安全管理在水利工程建设进程中属于极为关键的环节,其最为关键之处就在于要保证工程结构稳定牢靠、功能得以实现并且人员能够安全无虞。在质量管理这块,务必要严格依照设计规范以及施工标准来执行,构建起把材料检验、施工过程监督以及竣工验收相互融合起来的全程质量控制体系,进而达成质量管理的闭环状态。在施工期间,一方面得留意工程结构是否可靠,另一方面也要着重于施工方法以及工艺流程的标准化落实情况。就安全管理而言,需要对施工风险展开全方位的评估,这里面涵盖了地质条件、设备操作状况、施工环境情形以及人员行为等方面,同时还要建立起科学合理的安全制度以及应急预案,以便能够妥善应对各类突发事件以及施工事故。信息化手段在施工安全管理当中发挥着颇为重要的作用,借助智能监测以及实时数据的分析,可实现对施工现场的动态监控以及预警功能,能够及时察觉到隐患所在并采取相应的应对举措,以此来切实保障施工安全。施工质量与安全管理要是能够高效有序地运行起来,那么既能够提升工程建设的可靠性以及耐久性,也能够为后续的运行以及维护管理工作筑牢扎实的基础。

## 3 水利工程运行与维护管理

### 3.1 水利工程运行管理体系

水利工程在投入实际运行之后,构建起一套科学且完备的运行管理体系,这在很大程度上能够对保障工程的安全以及发挥其应有的效益起到极为关键的作用。这一运行管理体系务必要将设施的日常监控、运行调度事宜、设备维护工作以及应急管理工作等诸多环节都涵盖其中,进而逐步形成一种标准化、系统化并且带有信息化特征的管理模式。在整个运行管理工作的开展过程当中,得充分综合地去考量诸如水文方面的条件、气象领域所获取的信息以及工程自身运行时所产生的各类数据等情况,依据这些情况来科学合理地安排水资源的调度事宜、蓄水的调节操作以及防洪排涝的相关举措,以此来保证工程能够在安全所

限定的范围之内实现高效的运行状态。现代意义上的运行管理十分着重于数字化以及智能化这两个方面,在实际操作中通过着手建设专门的监控平台以及相应的信息系统,从而达成对水位状况、流量情况、坝体变形程度以及设备所处的状态等各项内容都能够做到实时的监测效果,进而能够为后续的管理决策给予科学且有力的依据支撑。运行管理体系不断完善的过程,一方面使得工程自身的安全性得以提升,另一方面也促使工程的运行效率得到提高,同时还有效应对可能出现的极端气象事件以及突发的水情情况给予了可靠的保障措施,最终促使水利工程能够在那种复杂多变的环境条件之下实现长期且稳定的运行状态,进而充分满足社会经济发展以及生态环境发展的种种需求。

### 3.2 设备维护与运行保障

水利工程设备的维护以及运行保障,属于确保工程能够长期且稳定地运行的关键环节。设备维护所涵盖的内容颇为丰富,其不但包含了日常的检查工作、按照规定周期开展的保养事宜以及针对故障展开的维修操作,而且还涉及到设备使用寿命的管理工作以及设备性能方面的优化事宜。借助科学合理的维护管理举措,能够切实有效地对设备故障起到预防作用,进而促使设备运行的可靠性得以提升,并且能够在一定程度上压低维修方面的成本开支<sup>[1]</sup>。就运行保障这一层面而言,需要去构建起较为完善的运行相关制度以及应急预案,以此来保证那些关键设备能够在不同水文状况以及气候条件之下均能够正常地运转起来。在现代设备维护管理领域当中,正逐步引入信息化的相关手段,凭借智能监控系统、远程诊断技术以及大数据分析方法,达成对设备实际状态的实时监控以及预警提示功能,从而能够及时察觉到设备出现的异常情况并迅速采取相应的应对举措,最终使得设备的运行效率以及管理工作的水平都得到进一步的提升。设备维护与运行保障能够高效地运转起来,这无疑为水利工程的安全性、稳定性以及可持续性的发展给予了极为重要的保障支撑。

### 3.3 水资源调度与洪水防控

水资源调度以及洪水防控属于水利工程运行管理当中的关键职能所在,其关键点就在于对水资源予以科学合理的分配,同时还要确保区域的安全无虞。就水资源调度来讲,得全面考量上游的水文状况、下游的用水需求以及生态保护方面的相关要求,进而制定出合理的蓄水与调度方案,达成防洪、灌溉、供水还有生态保护之间的平衡状态。而在洪水防控这应当构建起完备的监测预警体系,能够实时抓取降雨、径流以及河道水位方面的各类数据,凭借风险评估以及模拟预测等手段,科学且精准地研判洪水的发展趋势以及风险等级,以此来对调度操作以及应急处置给予相应的指导。现代的水利工程调度管理凭借着信息化以及智能化的相关手段,使得调度的科学性以及准确性都得以提升,让水资源调度以及洪水防控变得更为高效、



更为安全并且更具可控性,进而切实保障社会经济以及生态环境的安全状况。

### 3.4 智能化管理与信息化应用

智能化管理以及信息化应用已然成为新时代水利工程管理的关键指向。借助信息技术,可达成对工程运行整个过程的监控、分析乃至决策操作,以此来提升管理的效率以及科学程度。智能化管理系统能把水文监测方面的情况、设备所处的状态、气象方面的信息还有调度领域的的数据都整合起来,进而实现对实时数据的采集与分析工作,从而给工程运行给予科学层面的依据。信息化应用不但能够支撑远程监控以及智能调度相关事宜,而且还可以凭借大数据分析以及模型预测手段,去优化水资源的配置情况以及运行策略,进而促使工程的整体效益得以提升。当面对突发事件以及极端气候条件的时候,智能化管理系统能够做到快速做出响应并且作出科学的决策,如此一来便能让水利工程的抗风险能力以及应急管理水平都得以提高,最终达成工程管理呈现出精细化、智能化以及高效化的状态。

## 4 水利工程管理创新与可持续发展

### 4.1 管理制度创新与优化

在新时代背景下,水利工程管理的创新首要就呈现在制度建设方面。借助对管理制度加以优化以及开展创新举措,便能够清晰明确各级管理所对应的职责,对运行流程予以规范,并且促使整体管理效率得以提升。制度创新务必要与工程实际状况紧密结合起来,同时融入现代管理理念,要将施工环节、运行环节、维护环节以及应急管理环节都涵盖其中<sup>[2]</sup>。与此还需建立起动态调整的机制,依据工程运行方面的相关数据以及环境发生的种种变化,及时去对制度做出优化调整,进而让管理体系变得更为科学合理、更具灵活性且更加高效能。制度创新一方面能够提高工程管理的效率,另一方面也能够强化工程抵御风险的能力,确保水利工程能够在不同环境以及不同条件之下都能够稳定地运行,从而给新时代的水利工程建设以及管理工作给予稳固扎实的制度方面的保障。

### 4.2 数字化技术与智能化管理

数字化技术以及智能化管理于水利工程当中所发挥的作用日益变得重要起来。借助 BIM 建模、物联网监测、智能控制还有数据分析等方式,可达成对工程整个生命周期加以管理的目标。在施工阶段,凭借数字化技术能够对施工进度、质量以及资源使用状况予以监控,如此一来便能提升施工效率以及管理水平。而在运行阶段,智能化管理系统可以实时且动态地对水位、流量、坝体变形以及设备状态展开监控,进而实现远程调度与智能控制,以此来优化水资源配置以及运行策略。数字化和智能化管理一方

面提升了工程管理的科学性以及效率,另一方面也为工程风险防控以及可持续发展给予了技术层面的有力支撑,从而使得水利工程能够在复杂的环境状况下实现长期且高效的运行状态。

### 4.3 大数据与人工智能助力决策

大数据以及人工智能技术给水利工程管理带来了先进的决策辅助工具。借助对历史水文、气象、运行还有社会经济数据展开分析的方式,可以构建起科学的决策模型,达成对水资源调度、洪水预警、设备维护以及施工管理的优化效果。人工智能具备识别复杂数据当中规律的能力,能为管理者给予精确、快速且科学的决策参考依据,以此来降低人为出现的误差以及管理方面存在的风险<sup>[3]</sup>。大数据与人工智能的应用情况,一方面提升了水利工程管理所处的智能化程度,另一方面也强化了工程运行所具有的可持续性以及抗风险的能力,进而为新时代水利工程管理给予了重要的技术方面的支撑以及战略层面的支撑。

## 5 结语

在新时代背景下,水利工程建设与管理遭遇着诸多挑战,像技术复杂性颇高、管理任务颇为繁重、可持续发展方面的要求也十分强烈等。从规划施工开始,一直到运行维护阶段,再到管理创新环节,每个环节都和工程质量、安全性以及经济效益紧密相关联。科学地开展规划工作、细致地实施施工操作、完善运行管理体系、引入智能化技术并运用大数据分析,还有在制度层面进行创新,这些共同构成了新时代水利工程管理的关键核心内容。随着数字化、智能化以及信息化技术得到广泛的应用,水利工程管理正向着更加精细化、更具科学性以及更高效的方向不断发展。在未来的发展进程中,需要持续推进技术创新,对管理制度加以优化,同时强化对生态的保护举措,以此达成水利工程能够高效运行、确保安全并且实现可持续发展的目标,从而为国家的经济建设、社会民生以及生态环境保护给予稳固有力的支撑。

### [参考文献]

- [1]黄一国.新时代水利工程建设与水利工程管理探讨[J].水上安全,2024(18):190-192.
  - [2]李有奇.如何推动新时代农村水利工程建设发展[J].新农业,2022(22):63-64.
  - [3]佟涛.决策思考.新时代水利工程管理 with 生态环境创新融合路径分析[J].黑龙江水利科技,2024,52(5):134-137.
- 作者简介:宋扬(1979.9—),男,毕业院校:南京工程学院,所学专业:工程管理,当前就职单位:扬州水利建筑工程有限公司,职务:工程管理人员,职称级别:工程师。

## 造价预结算在工程项目中的应用要点分析

冯立男

中诚祥工程咨询有限公司, 河北 石家庄 050000

[摘要]工程项目里的造价预结算应用要点与重要性被文章探讨了,工程项目管理中工程造价预算是核心环节且对项目经济效益和整体质量有直接影响。文章先分析当下工程造价预算存在的主要问题,像信息收集不全、计算方法不规范、对市场价格波动应对不佳、专业人才欠缺等,然后系统阐述工程造价预算在项目各阶段的应用要点,如项目决策阶段的投资估算、设计阶段的限额设计和经济分析、招投标阶段的合理报价策略、施工阶段的动态造价管理和竣工结算阶段的精细化核算,并且提出优化造价预算管理的有效策略,例如健全造价管理制度体系、加强全过程动态控制、运用信息化技术手段、提高造价人员专业水平、构建科学风险评估机制等,研究显示科学合理的造价预算管理能有效控制工程成本、规避投资风险、提高资源利用效率并推动工程项目顺利施行,所以文中对指导工程建设单位完善造价管理体系、提高投资效益有实践参考意义。

[关键词]工程造价;预结算管理;成本控制;动态管理;信息化应用

DOI: 10.33142/ucp.v2i6.18555

中图分类号: TU723

文献标识码: A

## Analysis of the Key Points of Cost Budget and Settlement Application in Engineering Projects

FENG Linan

Zhongchengxiang Engineering Consulting Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

**Abstract:** The key points and importance of cost budget and settlement application in engineering projects are discussed in this article. The engineering cost budget is the core link in engineering project management and has a direct impact on the economic benefits and overall quality of the project. The article first analyzes the main problems in current engineering cost budgeting, such as incomplete information collection, non-standard calculation methods, poor response to market price fluctuations, and lack of professional talents. Then, it systematically elaborates on the application points of engineering cost budgeting in various stages of the project, such as investment estimation in the project decision-making stage, limit design and economic analysis in the design stage, reasonable quotation strategy in the bidding stage, dynamic cost management in the construction stage, and refined accounting in the completion settlement stage. Effective strategies for optimizing cost budget management are proposed, such as improving the pricing management system, strengthening dynamic control throughout the process, using information technology, improving the professional level of cost personnel, and building a scientific risk assessment mechanism. Research shows that scientific and reasonable cost budget management can effectively control engineering costs, avoid investment risks, improve resource utilization efficiency, and promote the smooth implementation of engineering projects. Therefore, this article has practical reference significance for guiding construction units to improve their cost management system and enhance investment efficiency.

**Keywords:** engineering cost; budget and settlement management; cost control; dynamic management; information technology application

### 引言

工程造价预结算是工程项目管理的重要部分且与项目的经济效益、实施质量直接相关,近些年中国建筑业发展很快且工程项目投资规模不断变大、项目复杂程度不断提高使得对造价预结算管理的要求也提高了,中国建筑业协会统计数据表明 2022 年全国建筑业总产值达 30.07 万亿元、同比增长 6.4%且工程造价管理不好造成的成本超支问题还很突出、平均超支率为 15%~20%这给企业和投资方造成明显经济损失。

当前在工程造价预结算实践当中存在着众多急需予以解决的问题,这些问题是全方位多层次的,主要表现在如下几个方面:一是信息收集不全面,二是计算方法不规范,三是对市场价格波动应对不足,四是专业人才缺乏,

在全球经济波动之际,疫情后处于恢复期时建材价格波动会更加剧烈,2021—2023 年期间主要建材的价格波动幅度超出了百分之三十,这无疑给造价预测带来了极为严峻的挑战。与此同时传统的造价管理手段难以契合现代工程项目的繁杂特性与多变态势,而信息技术的应用程度显著不足致使造价管理的工作效率变得极其低下。

工程项目投资要实现有效控制,科学合理的造价预结算管理是关键所在,因为有了全过程全方位的造价管理就能有效避开投资风险、提升资源利用效率并保证项目顺利施行。本文想要系统地分析工程项目造价预结算的理论依据,探究造价预结算在工程项目各个阶段的应用重点,把视角放在项目决策、设计、招投标、施工以及竣工结算的全过程中以梳理造价控制的重要环节与技术手段并给出

优化预结算管理的好办法,从而给工程建设单位完善造价管理体系、提高投资效益给予理论方面的指引和实践中的参考<sup>[1]</sup>。

## 1 工程项目造价预结算的理论基础

### 1.1 造价预结算的概念体系与发展历程

工程造价预结算乃于工程项目之全生命周期内,针对项目建设所需之各类费用展开预先估测过程把控以及最终结算之系统性管理流程,其核心概念涵盖投资估算设计概算,施工预算竣工结算与决算等环节构建起一套完备的造价管理体系,这一体系致力于借助科学手段针对工程项目的投资以及成本予以全方位动态化的精细管控,达成投资效益的最大化。

从历史发展的角度来看,中国工程造价管理历经了由计划经济时代里的定额计价,转变为市场经济状况下的市场化定价,在近五年的这段时间当中尤其如此,伴随着国家所颁布的《关于深化工程造价市场化改革的指导意见》(2020 年版)得以施行,工程造价管理工作迈入了一个全新的阶段,这个阶段是市场化以及信息化相互深度融合所构成的。据中国工程造价协会数据表明,在 2019—2023 年期间全国推行了清单计价与工程量算量规则的统一,BIM 技术于造价管理内的应用普及率由低于 15%提高至超出 40%,工程造价管理模式达成了从静态管理到动态控制的转变,预结算理念和方法亦获得了显著进展。

### 1.2 工程项目造价预结算的基本原理

工程项目造价预结算依据价值工程理论、系统工程理论以及成本效益分析原理展开,价值工程理论着重凭借科学剖析与创新规划,在确保功能的基础之上降低成本达成价值最大化,系统工程理论把工程造价当作一个有机的整体,各个阶段和环节之间是相互关联相互影响的,成本效益分析原理乃是造价决策之评价标准,以及方法论基础之所在。

工程造价预结算有四项基本原理要遵循,首先是全过程控制原则,也就是从项目决策到竣工验收整个全生命周期都要进行造价管理,其次是动态管理原则,要依据市场变化以及项目进展状况及时对造价计划与控制手段予以调整,再者是经济合理原则,要在合理成本的基础上谋求最佳的经济效益,最后是综合平衡原则,要在确保工程质量以及进度的情况下达成造价优化。2023 年建设部工程造价管理数据表明,采用全过程造价管理的项目最终成本控制偏差率平均能控制在 $\pm 5\%$ 以内,而传统管理模式下项目的偏差率一般在 $\pm 15\%$ 上下,这充分显示出科学预结算原理的实践意义<sup>[2]</sup>。

### 1.3 预结算在工程项目全生命周期中的作用机制

预结算于工程项目全生命周期内施展着诸多关键效用,构建起一套完备的作用体系,在决策阶段借助投资估算为项目的可行性分析给予依据,助力决策者对项目的经济性予以评估,在设计阶段预算控制引领设计方案朝着优

化方向发展,实现功能需求与投资限额之间的平衡,在招投标阶段科学的预算编制能够保证招标控制价的合理性,规避低价恶性竞争的情况出现。在施工阶段通过对项目成本变化的动态造价管理,可以有效控制因工程变更所导致的费用增加,在竣工阶段精确的结算为资产价值确认和后评价提供数据支持,据 2022 年中国工程造价协会调研数据显示,实施全生命周期造价管理的项目投资效益平均提升 18.5%,这充分证明了预结算在项目全周期中的系统性价值和协同作用机制。

## 2 工程项目造价预结算应用关键环节分析

### 2.1 工程项目设计阶段造价控制要点

工程造价形成的关键环节乃是设计阶段,研究显示设计阶段决策对工程最终造价的影响达 75%~85%,所以设计阶段的造价控制要遵循“限额设计”原则,也就是依据批准的投资估算或者设计概算把投资限额分解至各个专业与系统,并且明确各设计环节的投资控制目标,设计师要在投资限额范围内优化方案,运用功能分析、价值工程等方式合理确定建设标准并挑选出既经济又适用的结构形式、设备材料以及施工工艺。

设计方案的技术经济分析乃是控制设计阶段造价的核心技术举措,应针对主要方案展开多维度对比,选涵盖初始投资成本运营维护成本使用寿命等因素的综合性评估,近些年来 BIM 技术于设计阶段的应用极大地提高了造价预控的精准性与效率,依据 2023 年住建部信息化应用调查的数据来看,在运用 BIM 技术实施方案优化的项目当中平均能够使设计变更率降低 12.7%同时节省工程造价 5.8%。设计阶段需着重留意建筑平面形式和结构方案设备选型等关键环节,妥善把控建筑复杂系数装饰标准以及非标准设计比例,进而达成设计造价的良性交互<sup>[3]</sup>。

### 2.2 招投标阶段造价预算编制与评审技术

招投标阶段乃是确定合同价格的关键所在环节,而科学的预算编制以及评审则会直接对项目实施的经济性与可行性产生影响,招标控制价编制要依据设计文件市场调研数据以及相关政策规定,并且充分斟酌工程特性施工条件市场供需情形等诸多要素,在编制之际务必全方位搜集剖析当下最新的人工、材料、机械、台班等的价格资讯,妥当拟定取费准则,精准算计各类措施费及其费用,保证控制价不会过高也不会与市场实际相悖离。

招标预算评审技术主要是涵盖定性以及定量分析相互融合的综合评审手段,定性分析重点审查预算编制依据的合法性,计价方式的合理性以及取费标准的适配性,定量分析重点关注工程量计算的合法性、计价方式的合理性、价格波动的敏感性等方面。据中国建设工程造价管理协会 2022 年统计,在严格实施招标控制价评审机制的项目中其最终结算与合同价的偏差能够被平均控制在 7.3%以内,这一比例显著低于未实施严格评审的项目。同时需要着重



留意投标报价剖析,察觉异常低的价格投标,测评投标者的成本把控能力与风险管控水准,进而规避因低价中标致使的后续索赔以及质量风险,现代招投标阶段对电子化平台和大数据分析技术的依赖程度越来越高,这使得造价信息的透明度得到了提高并且评审也变得更加客观。

### 2.3 施工过程中造价动态管理与变更控制

工程造价的实际发生与控制核心在于施工阶段且要靠动态管理来保证项目成本不偏离计划范围,动态造价管理需要构建完备的成本监控体系并且按照一定周期收集实际成本数据,再跟计划成本对比分析以便及时察觉偏差并采取纠正举措,关键是要建立信息化管理平台以实施动态造价控制从而达成造价数据的实时采集与分析,2021-2023 年建筑业信息化发展报告显示,用信息化手段对造价进行动态管理的项目,成本控制效率提高 35%且成本节约率平均达 8.6%。

在施工阶段,工程变更乃是造价产生波动的关键要素,所以构建起严密的变更管控流程极为关键,变更管理需依循“先审批、后施行”的准则,明晰变更申请和审核批准的责任主体与流程,变更造价评估需要考虑直接费用的影响以及间接影响,评估的方法包含合同单价法、类似单价法、市场询价法等<sup>[4]</sup>。据中国建筑业协会 2023 年之统计,工程变更致使项目最终造价平均上扬 12%~18%其中设计变更之占比最高约为 45%,有效的变更控制措施包括:健全设计交底机制削减设计缺陷,构建变更分级审批体系把控重大变更,推行变更索赔联动管控,即刻处置有关索赔,定时展开变更趋向剖析预警告警项目造价风险。

### 3.4 工程结算与竣工决算的编制方法

工程造价管理的最终环节是工程结算与竣工决算,核心任务在于客观反映工程实际投资状况并合理确定工程资产价值,在工程结算编制时要依据合同且把已批准的设计变更以及现场签证考虑进去,按照约定好的计价方式和取费标准来进行,并且结算审核需运用全面审查与重点抽查相融合的方式,聚焦于工程量计算是否精准、变更签证是否合规、材料价格是否合理以及计价依据是否适用等方面。2022 年全国工程造价咨询行业数据显示靠专业结算审核能平均核减申报造价的 7.5%~12%,这表明科学结算方法有着重要的经济价值,而竣工决算是在工程结算的基础上补充建设期利息、管理费、征地拆迁费等建设成本从而形成完整的工程资产价值记录,现代工程结算和决算越来越依靠全过程造价数据的积累与分析,借助信息化手段达成造价数据的无缝集成与追溯,保障了结算过程的高效、准确和透明为工程项目经济效益评价和经验总结提供了可靠的数据支撑。

## 3 造价预结算应用创新与优化策略

### 3.1 BIM 技术在造价预结算中的集成应用

近年来,工程造价预结算中 BIM(建筑信息模型)

技术的应用让信息化管理水平大幅提升,中国建设工程造价管理协会 2022 年发布数据表明, BIM 技术使工程项目成本控制效率平均提升 23.7%,误差率降到 2.5%以下,并且 BIM 技术构建起涵盖建筑几何信息、空间关系和建筑元素属性的数字模型,从而达成工程量自动计算、实时成本分析以及多专业协同,在预结算环节, BIM 平台能直接把定额标准和市场价格信息关联起来,动态产生工程量清单并且实时测算造价,这大大减少了人工计算带来的误差,也提高了变更设计时造价调整的效率,给项目全过程造价管理提供技术支撑。

### 3.2 全过程工程造价咨询模式的实施路径

全过程工程造价咨询乃是现代工程造价管理的一种优化模式,正逐渐替代传统的分阶段咨询模式,据住房和城乡建设部 2023 年之统计,于全过程造价咨询予以施行之项目其投资控制偏差率相较传统模式而言降低了 17.6%,全过程造价咨询实施路径主要涵盖如下方面:首先确立起覆盖项目整个生命周期的造价管理团队,保证人员的稳定性以及责任的清晰明确性,其次在决策设计招标投标施工及结算等各个阶段设置造价控制节点,构建多层次风险控制机制,再次依据项目特性打造造价管理信息平台,达成数据统一管控以及实时共用<sup>[5]</sup>。最后构建造价管理绩效评估体系,借由设定明晰的考核指标推动造价控制目标的有效达成。

### 3.3 预结算数据挖掘与成本分析的智能化应用

大数据技术不断发展,使得预结算数据挖掘以及智能成本分析成了工程造价管理的重要创新内容,中国工程造价协会 2024 年研究显示,运用数据挖掘技术的工程项目成本平均节省 5.2%且决策准确率提高 18.9%,智能化应用主要体现在三方面:一方面建立历史项目数据库以实现相似项目造价参数的对比分析从而给新项目提供精确的定价参考,另一方面用机器学习算法对工程量、材料价格波动规律建模预测来提前找出成本风险点,还有一方面是借助自然语言处理技术自动分析合同条款和变更文件以辅助结算审核和索赔管理,专业造价人员的判断与这些智能化手段相结合构建起更科学、更精准的造价管理体系,让预结算流程从单纯的事后控制慢慢转变为预测性管理。

## 4 结论

本研究分析了造价预结算在工程项目中的应用要点并得出如下结论:当下工程造价预结算存在诸如信息收集不全面、计算方式不规范、对市场价格应对不佳以及专业人才短缺等状况,并且预结算管理体系要科学合理就需贯穿整个工程 lifecycle(全生命周期),从决策阶段的投资估算直至竣工结算的精细核算以构成闭环控制机制,而 BIM 技术的应用集成、全过程咨询模式的施行以及预结算数据的智能化分析共同形成了造价管理的创新发展趋

向。实践显示,预结算管理创新可有效减少工程成本偏差,住建部 2023 年的数据显示,运用信息化手段和全过程管理后,项目的成本控制精度提升了 21.3%且投资效益平均增加了 15.8%,所以以后工程造价预结算需要进一步加强数字化转型,加深造价管理和项目其他管理要素的融合,构建更精确、更高效的造价控制生态系统,给工程项目提供更可靠的投资决策依据和成本管控保障,进而推动建筑业高质量发展。

#### [参考文献]

- [1]张娣.建筑工程项目造价预结算审核工作要点分析[J].大众标准化,2023(13):115-117.
- [2]滕泽琴.建筑工程预结算造价编制审核工作的要点分析[J].建材与装饰,2020(20):163-165.
- [3]马晶晶.建筑工程中造价预结算审核的工作要点分析[J].建筑与预算,2019(3):15-17.
- [4]黄春艳.工程造价预结算审核在建筑工程管理中的应用[J].中国科技投资,2021(23):177-178.
- [5]刘飞虎.试分析建筑工程造价中预结算审核工作要点[J].商讯,2019(11):116-117.

作者简介:冯立男(1996.4—),毕业院校:河北科技大学理工学院,所学专业:工程管理,当前就职单位:中诚祥工程咨询有限公司,职务:造价员。

## 水利水电工程施工中的安全管理措施研究

王永刚

定西水务城市供水有限公司, 甘肃 定西 743000

[摘要]水利水电工程施工存在安全管理方面的问题, 文章对此展开研究, 在对当下水利水电工程施工中安全管理的风险与挑战加以分析后探讨有效的安全管理措施。研究发现水利水电工程施工安全管理存在安全意识欠缺、管理制度不完善、技术风险控制不好、应急处理机制有缺陷等问题, 文章针对这些问题提出诸如建立健全安全管理体系、加强安全培训与教育、开展全过程安全风险管控、运用现代信息技术助力安全管理、完备应急预案与处置机制等管理措施。案例分析和实证研究显示, 科学的安全管理措施若得以施行就能有效降低安全事故的发生概率、保障工程质量和进度并提升工程的经济效益和社会效益。这一研究成果对于完善水利水电工程安全管理体系、提高施工安全管理水平、减少安全事故的发生有着重要的理论和实践价值, 它能给水利水电工程建设提供安全管理方面的参考依据以推动水利水电行业朝着可持续健康的方向发展。

[关键词]水利水电工程; 施工安全; 安全管理; 风险防控; 应急措施

DOI: 10.33142/ucp.v2i6.18548

中图分类号: TV5

文献标识码: A

### Research on Safety Management Measures in Water Conservancy and Hydropower Engineering Construction

WANG Yonggang

Dingxi Water Urban Water Supply Co., Ltd., Dingxi, Gansu, 743000, China

**Abstract:** There are safety management issues in the construction of water conservancy and hydropower projects. This article conducts research on these issues and explores effective safety management measures after analyzing the risks and challenges of safety management in current water conservancy and hydropower project construction. The study found that there are problems in the safety management of water conservancy and hydropower engineering construction, such as lack of safety awareness, incomplete management systems, poor technical risk control, and defects in emergency response mechanisms. The article proposes management measures such as establishing a sound safety management system, strengthening safety training and education, carrying out full process safety risk control, using modern information technology to assist safety management, and improving emergency plans and disposal mechanisms to address these issues. Case studies and empirical research have shown that implementing scientific safety management measures can effectively reduce the probability of safety accidents, ensure project quality and progress, and enhance the economic and social benefits of the project. This research achievement has important theoretical and practical value for improving the safety management system of water conservancy and hydropower engineering, enhancing the level of construction safety management, and reducing the occurrence of safety accidents. It can provide reference for safety management in water conservancy and hydropower engineering construction to promote the sustainable and healthy development of the water conservancy and hydropower industry.

**Keywords:** water conservancy and hydropower engineering; construction safety; safety management; risk prevention and control; emergency measures

### 引言

国家基础设施建设中水利水电工程是重要部分且其施工安全管理水平与工程质量、进度、社会经济效益直接相关, 这些年我国水利水电行业快速发展使项目规模不断变大、技术复杂程度明显提高, 2022 年国家统计局数据表明全国水利水电工程总投资超万亿元且大型水利工程数量同比增长 15% 以上, 行业快速发展时施工安全事故频发这一问题不能忽视, 统计显示近五年水利水电工程施工中由于安全管理不到位造成安全事故在总事故里占比达 40%, 这不但带来人员伤亡和经济损失而且影响社会舆论和发展, 所以当下急需深入研究水利水电工程施工安

全管理措施并探寻有效风险防控和应急管理机制。

水利水电工程施工安全管理面临诸如安全意识淡薄、管理制度存在缺陷、技术风险控制不到位、应急处理能力不足等诸多挑战, 其问题根源是传统管理模式难以应对现代工程的复杂性与高标准, 尤其在新技术、新材料广泛运用的情境下更是如此, 且传统安全管理体系在此背景下常常捉襟见肘, 并且施工过程里多方需要协作, 管理链条长、责任划分不明等问题使得安全管理难度进一步加大, 本文针对这种状况分析水利水电工程施工里的典型安全风险并提出一系列科学合理的管理措施, 如健全安全管理体系、加强安全培训与教育、开展全过程安全风险管控等, 研究



显示用现代信息技术辅助安全管理,再有完善的应急预案与处置机制相结合可大大减少事故的发生几率从而保证工程顺利进行,这些研究成果既给水利水电工程的安全管理提供理论支撑也给行业可持续健康发展打下实践根基。

## 1 水利水电工程施工中的安全风险分析

### 1.1 工程特性导致的安全风险

国家基础设施建设中水利水电工程是重要部分,这一工程施工规模不小、结构较为复杂且周期较长。近五年统计数据表明,全球水利水电工程年均投资额超 5000 亿美元,中国占了 40%多,但这个高投入、高技术要求的行业安全风险明显<sup>[1]</sup>。水利水电工程建设大坝、隧洞、引水渠等复杂结构,工程有这些特性所以施工时会有高边坡开挖、深基坑支护、爆破作业等危险环节,并且大型机械设备和高空作业平台在施工中一用,安全风险又增加了。工程特性带来的风险常突发且难以预测,事故发生不但会人员伤亡,还会导致工程进度拖延、巨大经济损失,所以安全管理里首先要对工程特性的安全风险加以分析。

### 1.2 施工环境与自然条件带来的安全隐患

山区、河流上游或者地质条件复杂的地方常有水利水电工程,其施工环境本身藏着不少安全隐患,并且近年极端天气事件老是发生,统计显示过去五年中暴雨、洪水、泥石流这类自然灾害致使的水利水电工程安全事故占 30%多,就像强降雨也许会诱发山体滑坡从而给施工现场带来直接威胁,还有寒冷地区冬季施工时要面对冰冻、积雪之类的特殊挑战,而且施工区域像断层、软弱岩层这样的地质状况会使塌方、涌水的风险增大,自然条件无法把把控让施工安全管理更难了所以得依靠科学的环境监测和风险评估方法把潜在威胁提前识别出来并且采取有效办法加以防范,若要把自然条件放进安全管理框架,就能最大程度减少事故发生的概率。

### 1.3 施工技术与工艺相关的安全问题

水利水电工程技术不断进步使新工艺和新材料有了用武之地,在提升施工效率的同时也带来新的安全挑战,像近些年广泛使用的地下连续墙施工技术和大体积混凝土浇筑工艺,虽说能提高工程质量但对施工精度和技术操作要求特别高,要是技术参数控制不好就会出现墙体裂缝、渗漏等情况从而引发安全事故<sup>[2]</sup>。而且现代施工设备自动化程度高,操作人员没接受足够培训的话,一不小心误操作就可能造成机械故障或者人员受伤。数据表明,由技术与工艺问题导致的安全事故约占总事故的 25%,所以要确保施工安全就得强化施工技术管理、完善工艺流程设计并充分验证新技术。

### 1.4 人员管理与操作失误风险

水利水电工程施工现场往往需众多劳动力参与,且人员管理不当常是安全事故的主要诱因之一,有研究表明近五年来人为因素致安全事故占 40%,像违规操作、疲劳

作业、安全意识差之类的问题都包括在内,而且在高强度、长时间的施工环境里工人易分心、判断出错从而使事故发生风险增大,一些施工单位为赶工期忽略了必要的安全培训与教育,致使一线工人对安全规范理解、执行不到位,并且管理人员责任心不够也可能造成监管漏洞使安全隐患不能及时排查整改,所以加强人员管理、完善安全责任制并定期培训提升全员安全意识是减少人为错误、确保施工安全的关键之举。

具体来说,人员管理方面的漏洞体现在多个层面。一方面,部分施工单位未建立系统化的用工准入机制,导致部分未经专业培训或技能认证的工人进入高危作业岗位,例如爆破工、起重工等特种作业岗位人员资质不符现象时仍有发生。另一方面,现场安全监管存在盲区,部分项目虽配备专职安全员,但存在巡查频次不足、隐患整改闭环管理不到位等问题,某大型水电站建设期间就曾因安全检查流于形式导致脚手架坍塌事故。操作失误风险则与作业环境密切相关,在地下洞室施工等封闭空间内,长时间高强度作业易引发操作人员注意力涣散,某引水隧洞工程曾因焊工疲劳作业引发火灾,造成重大经济损失。此外,交叉作业场景下的协调机制缺失也是重要诱因,当土建、机电安装等多工种同步施工时,若未建立有效的空间隔离与信号传递系统,极易发生机械伤害事故,这类事故在近三年统计中占比达 12%。

## 2 安全管理措施的优化与实施

### 2.1 安全管理体系的构建与完善

国民经济把水利水电工程当作重要支柱产业,且近些年来它在国家基础设施建设里很重要,近五年的数据表明这个行业的年均投资额超万亿元,然而安全事故老是发生这制约着行业发展是个关键问题,要解决这个问题核心途径是构建和完善安全管理体系,分析现有的管理体系会发现管理制度分散、责任分工不明、监督机制弱是主要问题,所以得从顶层设计开始,按法律法规建立以企业为主、用全过程管控手段的安全管理体系,可以引进国际先进的 ISO45001 职业健康安全管理体系标准并结合国内实际制定细则,还要明确各级管理主体责任边界、加大监管力度让制度真正落实,另外要把信息化技术放到体系运行里靠大数据分析和智能监控进行动态管理提高整体管理水平给施工安全打下坚实基础<sup>[3]</sup>。

### 2.2 施工现场安全监控技术应用

水利水电工程安全管理重点在施工现场且安全事故也多发于此,随着现代信息技术发展,运用智能化监控技术成为提高施工现场安全水平的关键手段,近些年无人机巡检、物联网传感器、人工智能算法等技术慢慢进入施工现场安全管理,这些技术能实时采集环境数据、设备状态还有人员行为信息并由云计算平台综合分析从而及时发现潜在风险,就像某个大型水电站建设项目借助高清摄像头和红外热成像设备全天候监测高空作业区避免多起设

备过热引起的火灾隐患,而且基于 AI 的行为识别系统可以自动检查工人有没有戴安全帽或者有没有违规操作从而大大减少因人为因素造成的安全事故,不过技术应用存在成本高、技术适应性差等问题所以得结合具体项目特点挑合适的监控方案才能让经济效益和安全效益达到平衡。

### 2.3 安全风险分级管控与隐患排查治理

在水利水电工程施工安全管理中,安全风险分级管控与隐患排查治理属于关键环节,因为统计显示近五年来这一行业大概 60%的安全事故都是由于风险识别不到位或者隐患整改不得力造成的,所以得构建科学的风险评估模型以把施工过程中各类风险全面梳理分类,像用 LEC 法(作业条件危险性评价法)对不同工序风险等级予以量化评估后就能制定出差异化管控策略,并且对于深基坑开挖、大坝浇筑这些高风险关键工序要安排专项防护措施以及让专职安全员全程跟进,此外隐患排查治理得贯穿整个施工周期从而形成闭环管理模式,要从两个方面着手,其一按期开展全方位排查工作,着重查看机械设备、电气线路和临时设施的安全情况,其二构建快速反应机制,一旦发现问题就马上整改并做好记录留存,避免同样的问题再次发生,借助这样的系统化风险管控和隐患治理办法能够切实降低事故发生的几率提升施工的安全程度。

### 2.4 安全教育培训与安全文化建设

提升水利水电工程施工安全管理的根本途径在于安全教育培训以及安全文化建设,虽然近些年行业整体安全意识增强了些但仍有部分企业和员工存有侥幸心理致使违规操作禁而不止,所以加强安全教育培训非常重要,培训内容得包括法律法规、操作规程、应急处置等多方面且依据不同岗位需求设计有针对性的课程,例如让一线工人用 VR 模拟演练可让他们直观感受到事故后果以增强自我保护意识,而管理层则重点培养风险预判和决策能力,而且安全文化建设也不容忽视,开展安全知识竞赛、设安全奖励基金等活动能营造出浓厚的安全氛围并使“安全第一”理念深入人心,统计显示全面施行安全教育的企业其事故率比行业平均低 30%多,可见要把教育培训和文化建设相结合才能从根本上改变传统粗放管理模式并促使行业朝着精细规范发展。

## 3 结论

国家基础设施建设中水利水电工程是重要部分且在能源供给与水资源调配方面近些年来有着不可替代的效用,统计显示 2018-2023 年全球水利水电工程投资年均增长率为 5.6%且中国在此领域投资占全球总量超 40%展现出行业强劲的发展态势<sup>[4]</sup>。不过随着工程规模变大、技术复杂性提高施工安全管理问题越发明显,研究显示当下水

利水电工程施工时安全意识差、管理制度不完善、技术风险控制不到位是主要隐患且这些状况威胁施工人员生命安全并直接影响工程质量与经济效益,所以探寻科学有效的安全管理措施有着重大现实意义。

建立健全安全管理体系以强化施工全过程安全风险管控能大大降低事故发生率,就像某个大型水利枢纽工程,引进全过程安全风险评估机制之后,重大安全事故发生率同比下降 37%,而且现代信息技术在安全管理方面有了新应用,像基于大数据和人工智能的风险预警系统能在施工时对潜在危险进行实时监测并及时报警,另外完善应急预案与处置机制对于提高施工安全水平也很关键,因为分析多起安全事故案例可知,应急响应速度和处置效率直接影响事故后果的严重程度,所以定期搞应急演练、优化资源配置、提高快速反应能力非常重要。

研究结果显示,科学的安全管理措施一旦施行不但能切实保障施工人员安全而且能大幅提高工程整体效益,就像某个水电站项目强化安全培训教育后施工人员安全意识大大增强且违规操作行为降低 60%多进而使工程进度顺利推进,并且从经济和社会效益讲科学安全管理措施有益于减少事故造成的停工损失与赔偿费让工程创造更多价值,此外这些措施也给行业可持续发展打下牢固根基促使水利水电工程朝着更高效、环保、安全的方面发展。

综上所述,水利水电工程施工里的安全管理是项系统性工程,得从制度建设、技术应用、人员培训等诸多方面切入以全面提升安全管理水平,这一研究结果不但给行业提供了可操作的安全管理参考依据,也给相关政策制定与标准完善给予了理论支撑,以后随着新技术不断冒出来且管理理念持续创新,水利水电工程的安全管理会迈向更高水平从而给行业长期健康发展给予强大保障<sup>[5]</sup>。

### 【参考文献】

- [1]刘吉海.水利水电工程施工安全管理分析[J].智能城市,2018(15):161-162.
  - [2]陈彪.水利水电工程施工现场安全管理[J].住宅与房地产,2020(3):223-224.
  - [3]杨光宇.水利水电工程施工质量与安全管理措施分析[J].科技创新与应用,2020(10):201-202.
  - [4]付少杰.水利水电工程现场安全施工管理[J].建材与装饰,2017(52):301-302.
  - [5]邱晓侨,印丽娟,徐兢,张猛,庄伟栋.水利水电工程施工管理及安全管控措施[J].水上安全,2023(9):131-133.
- 作者简介:王永刚(1985.10—),毕业于:大连理工大学,专业:水利水电工程,就职于:定西水务城市供水有限公司,目前职称:中级。

## 复杂难选铜矿的浮选工艺优化及工业实践

侯君一

新疆维吾尔自治区地质局哈密地质大队, 新疆 哈密 839000

**[摘要]**文章针对复杂难选铜矿, 首先系统分析其矿石组成、结构构造及矿物共生关系等特性, 进而从高效选择性捕收剂、组合调整剂以及阶段磨选、分支浮选等流程设计方面全面优化选矿工艺, 并结合工业实践案例详细说明技术改进措施与实施效果。生产数据表明, 优化后铜回收率提高超过 5 个百分点, 精矿品位提升显著, 有效推动了资源的高效利用, 为同类难处理铜矿的开发提供了可靠的技术借鉴, 具有重要的经济和社会价值。

**[关键词]**复杂难选铜矿; 浮选工艺; 工艺优化; 工业实践; 资源利用率

DOI: 10.33142/ucp.v2i6.18572

中图分类号: TD952

文献标识码: A

## Optimization of Flotation Process and Industrial Practice for Complex and Difficult to Select Copper Ore

HOU Junyi

Hami Geological Brigade of Xinjiang Uygur Autonomous Region Geological Bureau, Hami, Xinjiang, 839000, China

**Abstract:** This article focuses on complex and difficult to select copper mines. Firstly, the characteristics of ore composition, structural structure, and mineral symbiosis are systematically analyzed. Then, the beneficiation process is comprehensively optimized from the aspects of high-efficiency selective collectors, combination adjusters, stage grinding and separation, branch flotation and other process designs. Combined with industrial practice cases, the technical improvement measures and implementation effects are explained in detail. Production data shows that the optimized copper recovery rate has increased by more than 5 percentage points, and the concentrate grade has significantly improved, effectively promoting the efficient utilization of resources and providing reliable technical references for the development of similar difficult to process copper mines, which has important economic and social value.

**Keywords:** complex and difficult to select copper ore; flotation process; process optimization; industrial practice; resource utilization

### 引言

随着矿产资源持续不断开展开发工作, 易于进行选矿铜矿资源正日益呈现出减少态势, 而复杂且难以进行的选铜矿在整个铜矿资源中所占比例正逐渐呈现出上升趋势。复杂难选的铜矿具备成分复杂、有用矿物嵌布粒度较为细小、共生关系紧密相连、含泥量较高等特性, 这给浮选分离工作带来了极大程度上困难, 进而导致资源回收率较低精矿品位也不高, 造成了资源浪费现象。因此, 针对复杂难选铜矿的浮选工艺开展优化工作, 并把优化之后工艺应用于工业实践中, 提高铜矿资源利用率, 已然成为矿业领域亟待去解决重要问题, 本文围绕此问题展开详细探讨。

### 1 复杂难选铜矿的矿石特性分析

#### 1.1 矿石物质组成

复杂难选铜矿物质组成呈现出极为复杂态势, 除了以黄铜矿辉铜矿斑铜矿以及铜蓝等作为主要成分铜矿物之外, 还常常会伴生大量脉石矿物以及其他金属矿物, 不同矿床之中, 铜矿物种类以及含量存在着显著差异, 部分矿石是以原生硫化矿如黄铜矿作为主要成分, 而另一些则可能是以次生硫化矿如辉铜矿占据优势, 甚至会出现多种铜矿物复杂共生状况, 这种矿物组成所具备多样性以及不均

匀性, 直接致使选矿工艺需要拥有高度适应性以及灵活性, 除此以外铜矿物嵌布粒度粗细并不一致, 部分呈现出微细粒散布状态, 或者与脉石以及其他金属矿物相互包裹, 形成复杂共生结构, 这进一步加大了单体解离以及选别回收难度<sup>[1]</sup>。

脉石矿物主要是以石英长石云母以及碳酸盐类矿物如方解石和白云石为主, 它们存在直接对矿石物理性质以及浮选行为产生影响, 尤其当矿石之中含有大量黏土类矿物, 如高岭石蒙脱石等时, 其会显著增加矿浆黏度, 使浮选环境恶化, 进而导致气泡兼并精矿质量下降回收率偏低等一系列问题, 除此以外诸如黄铁矿磁黄铁矿闪锌矿和方铅矿等其他金属矿物, 常常与铜矿物紧密共生, 表面性质相近, 可浮性相互交错, 在浮选过程中难免会造成相互混杂, 增加分离难度, 所以, 在实际选择过程中需要综合考量矿物组成特性, 采取针对性工艺措施, 如阶段磨选矿浆预处理以及选择性抑制剂运用等, 以此来提高分选效率。

#### 1.2 矿石结构构造

复杂难选铜矿结构类型具有多样性, 其中细粒镶嵌结构交代结构以及乳滴状结构等尤为常见, 在细粒镶嵌结构中, 目矿物与脉石矿物相互间紧密共生并且相互穿插, 矿



物结晶粒度微细,形成极为复杂镶嵌关系,这导致在常规碎磨条件下难以达成充分单体解离,交代结构则反映了成矿期后热液蚀变作用,早期矿物被后期形成矿物部分或者完全取代,矿物边界模糊不清,这进一步加大了分选识别难度,除此之外乳滴状结构常见于黄铜矿与闪锌矿等矿物之间,以极细小乳滴状包裹体形式存在,即便进行细磨也难以彻底分离,这些复杂结构特征直接致使矿石在破碎磨矿过程中容易出现泥化或者过磨情况,严重影响后续浮选效率以及精矿品质<sup>[2]</sup>。

矿石构造特征同样对其可选性有着显著影响,常见有致密块状浸染状以及条带状等类型,在浸染状构造矿石中,有用矿物虽然分布相对较为均匀,但是大多是以细粒或者微细粒形式散布于脉石之中,要达到解离需要进行细磨甚至超细磨,这不仅能耗高而且容易引发矿泥积累,使浮选环境恶化,致密块状构造矿石中有用矿物含量较高,但是常常与黄铁石英等脉石矿物紧密连生在一起,共生界面复杂,在解离过程中容易形成异体连生颗粒,造成分选精度下降,条带状构造则呈现出矿物定向富集与分异,磨矿时因为矿物硬度差异容易产生选择性破碎,增加流程调控难度,所以,对于不同构造类型矿石需要定制差异化碎磨与分选工艺,以此来提高铜资源回收率。

### 1.3 有用矿物嵌布特征

有用矿物嵌布粒度与嵌布关系是决定复杂难选铜矿浮选效果核心因素之一,此类矿石中有用矿物嵌布粒度普遍极为细小,常常以细粒微粒乃至胶体分散状嵌布于脉石基质之中,矿物间共生关系复杂多变,比如说,部分铜矿物(如黄铜矿)常常以微细粒星散状分布,或者被石英硅酸盐等脉石矿物紧密包裹,形成难以解离包裹体结构,为了实现有用矿物单体解离,往往需要进行超细磨矿,但是随之而来的问题是磨矿能耗急剧上升,而且极易产生大量次生矿泥,这些微细粒矿泥不仅会增大矿浆黏度恶化泡沫稳定性,还会非选择性吸附浮选药剂,导致药剂消耗增加选择性下降,严重干扰铜矿物的高效回收。

有用矿物嵌布形态也对其浮选行为有着显著影响,

铜矿物常常呈现出多样化嵌布形态,如粒状片状纤维状或者不规则状等,粒状嵌布矿物表面能较高疏水性较好,通常具有较为优良浮选动力学特性;而片状或者纤维状矿物则因为比表面积大表面极性不均一,容易发生细泥罩盖或者随泡沫机械夹带,影响精矿品位,不同形态矿物表面与浮选药剂作用机制也存在差异,片状结构容易发生多层吸附,纤维状矿物则可能因为取向效应阻碍气泡矿化,所以,在制定浮选工艺时,必须综合考虑嵌布粒度与形态特性,通过调整磨矿细度选用选择性分散剂以及调整药剂制度,缓解微细粒嵌布所带来的负面影响,提升分选效率。

## 2 浮选工艺优化方向

### 2.1 捕收剂选用与配比方面

捕收剂作为在浮选过程中发挥关键作用药剂,其所具有分子结构以及表面性质,会直接对矿物疏水性以及气泡吸附效率产生影响<sup>[3]</sup>。对于那种含铜量处于 1.2%~1.8% 之间、-74 $\mu\text{m}$  粒级所占比例为 65%,并且与黄铁矿以及滑石共生比例达到 40%难选铜矿而言,传统乙基黄药虽然在捕收能力方面表现较强(铜回收率为 83.0%),虽然其选择性较差,这就致使精矿中铜品位仅仅只有 18.5%、 $\text{SiO}_2$  含量为 7.8%、硫含量为 5.2%,进而使冶炼每吨铜成本增加了大约 200 元,而硫氮类(N-丁基氨基硫代甲酸盐)以及羟肟酸类(苯甲羟肟酸)新型捕收剂,其选择性更高,与铜矿物吸附选择性系数相较于黄药提升了 3~5 倍:江西铜矿在改用 N-丁基氨基硫代甲酸盐之后,精矿铜品位提升至 22.3%、 $\text{SiO}_2$ 降至 5.2%、硫含量降至 3.1%,回收率维持在 82.5%,冶炼成本降低至 150 元/吨铜;当使用苯甲羟肟酸处理氧化率为 12%氧化铜矿时,铜回收率相较于黄药提升了 4.8 个百分点,达到了 86.2%,复配策略能够进一步优化效果,云南铜矿将乙基黄药与 N-丁基氨基硫代甲酸盐按照 7:3 体积比进行复配,精矿铜品位提升至 23.1%、回收率为 84.2%、 $\text{SiO}_2$ 降至 4.5%;针对含有 8%滑石铜矿,在加入 20g/t 六偏磷酸钠之后,精矿品位再次提升 1.2 个百分点,达到 24.3,综合效益能够提升 10%~15%。不同捕收剂及复配方案的实际应用效果对比见表 1,可清晰体现技术优势:

表 1 国内复杂难选铜矿不同捕收剂方案应用效果(2024 年数据)

捕收剂方案	适用矿石类型	精矿铜品位 (%)	铜回收率 (%)	精矿 $\text{SiO}_2$ 含量 (%)	精矿硫含量 (%)	吨矿药剂成本 (元/t)	冶炼成本降低 (元/吨铜)
单一乙基黄药	硫化铜矿(黄铁矿含量 15%)	18.5	83.0	7.8	5.2	18	-
单一 N-丁基氨基硫代甲酸盐	硫化铜矿(黄铁矿含量 15%)	22.3	82.5	5.2	3.1	25	150
单一苯甲羟肟酸	氧化铜矿(氧化率 12%)	21.8	86.2	6.1	2.8	32	120
乙基黄药:硫氮类=7:3	含滑石硫化铜矿(滑石 8%)	23.1	84.2	4.5	2.9	22	180
复配+20g/t 六偏磷酸钠	含滑石硫化铜矿(滑石 8%)	24.3	83.8	3.8	2.7	25	210

## 2.2 调整剂优化方面

在浮选工艺当中,调整剂借助调控矿浆化学环境以及矿物表面性质,来开展选择性抑制脉石并增强目标矿物可浮性工作<sup>[4]</sup>。对于某云南含黄铁矿铜矿(其中黄铁矿含量为15%、SiO<sub>2</sub>含量为25%)而言,在对调整剂进行优化之后,精矿铜品位从17.2%提高至22.8%,回收率从80.5%提升至85.3%,在pH调整剂方面,当石灰把矿浆pH从9.0提升至10.5时,黄铁矿抑制率从62%升至85%,精矿硫含量从4.5%降至2.1%;碳酸钠将pH调至10.5时,能够使矿浆黏度降低15%(从25MPa·s降至21MPa·s),同时浮选速度提高20%,不过其吨矿用量为180g/t(相较于石灰高30%),成本增加8元/t,抑制剂需要与矿物特性相匹配:对于安徽铜矿(SiO<sub>2</sub>含量为28%),选用水玻璃(200~250g/t为最优用量),当用量从150g/t增加至200g/t时,精矿SiO<sub>2</sub>从6.8%降至3.3%,抑制率提升18个百分点,若超过300g/t,则铜回收率下降0.8个百分点;对于高硫铜矿(硫含量为8%),使用SO<sub>2</sub>(8m<sup>3</sup>/t矿)时,黄铁矿抑制率达到90%,精矿硫含量降至1.8%,活化剂硫酸铜在甘肃混合铜矿(氧化率为15%)中添加50g/t时铜回收率从81.8%升至86.3%,若用量超过80g/t,则回收率仅提升0.5个百分点,并且精矿硫含量增加0.6个百分点。不同调整剂的应用参数与效果对比见表2,可为实际生产提供参考:

## 2.3 浮选流程改进方面

合理浮选流程设计乃是复杂难选铜矿实现高效分选核心所在,鉴于矿石性质存在波动这一情况,多段浮选流程(“1粗选+2扫选+3精选”)借助粗选去捕获85%铜矿物,通过扫选来回收70%残余铜,并且运用“梯度除杂”(把捕收剂用量从80g/t降低至30g/t)逐步将脉石剔除掉,可把精矿铜品位从16.2%提高至24.5%,使回收率从80.3%提升至88.7%(每年能够多回收铜120t),而且当原矿品位波动±0.3%时,回收率仅仅波动±0.8个百分点,分支浮选流程适用于可浮性差异较大矿石,通过分路处理易浮(占总铜60%,产品品位25.3%)以及难浮回路(添加30g/t硫酸铜进行活化,产品品位22.1%),合并之后总精矿品位达到24.0%(相较于单一流程提升2.8个百分点),

难浮矿物回收率为85.1%<sup>[5]</sup>。阶段磨矿-阶段浮选流程针对嵌布粒度不均矿石,通过粗磨(-74μm占60%)进行预浮选(回收3占2%铜矿物,品位23.8%)之后再对尾矿进行再磨,使总磨矿能耗从45kW·h/t降低至37.7kW·h/t(降低了16.3%),过磨矿泥减少22%,铜回收率从82.3%提升至85.8%,对于嵌布粒度差异超过30%铜矿,综合效益提升12%~18%。

## 3 工业实践案例

### 3.1 某铜矿浮选工艺优化及实践情况

某铜矿属于典型复杂难选铜矿类型,在该矿石之中,铜矿物主要是以黄铜矿辉铜矿形态存在,脉石矿物主要为石英长石,并且还含有一定数量黄铁矿以及黏土矿物,原浮选工艺把黄药当作捕收剂来使用,将石灰作为pH调整剂,选用水玻璃作为抑制剂,虽然浮选指标并不理想,铜精矿品位仅仅在18%左右,回收率大概为70%<sup>[6]</sup>。

鉴于该矿石所具有特性,针对浮选工艺开展了优化工作,在捕收剂这一方面运用黄药与硫氮类捕收剂按照3:1比例混合起来使用,以此提高对铜矿物选择性捕收能力;在调整剂方面,适当加大了石灰用量,把矿浆pH值控制在10~11这个范围之间,同时添加少量氰化物来抑制黄铁矿浮选,并且增加水玻璃用量,以此加强对硅酸盐脉石抑制效果;在浮选流程方面,采用阶段磨矿阶段浮选流程,第一段磨矿细度控制在-200目占60%左右,开展粗选和扫选工作,第二段磨矿细度控制在-200目占85%左右,对粗精矿进行精选操作,优化之后浮选工艺应用于工业实践以后,取了显著成效。

### 3.2 实践效果分析与总结

从上述工业实践案例能够看出,通过对复杂难选铜矿浮选工艺进行优化,能够显著提高铜精矿品位以及回收率,捕收剂合理配比提高了对铜矿物选择性,减少了脉石矿物以及有害矿物混入情况;调整剂优化为铜矿物浮选创造了良好环境条件,抑制了有害矿物浮选;浮选流程改进则提高了分选效率,避免了矿泥所带来危害。在工业实践过程中,还需要注意工艺参数稳定控制工作,矿浆浓度浮选时间药剂用量等,这些参数出现波动的话会影响浮选指标的稳定性。

表2 复杂铜矿不同调整剂应用参数与处理效果

调整剂类型	作用对象	用量范围(g/t矿, SO <sub>2</sub> 为m <sup>3</sup> /t)	矿浆pH条件	核心处理效果	适用矿石特点
石灰	黄铁矿、pH调节	120~180	10.0~11.0	黄铁矿抑制率80%~85%, 精矿硫≤2.5%	高硫铁矿、低成本需求铜矿
碳酸钠	pH调节、降低矿浆粘度	150~220	9.5~10.5	矿浆粘度降低12%~15%, 细粒回收率提升3%	细粒级、对粘度敏感的铜矿
水玻璃	硅酸盐脉石(石英、云母)	180~250	9.0~10.0	精矿SiO <sub>2</sub> ≤3.5%, 抑制率≥75%	高硅酸盐含量(SiO <sub>2</sub> >25%)铜矿
二氧化硫(SO <sub>2</sub> )	黄铁矿	6~10(m <sup>3</sup> /t)	5.0~6.0	黄铁矿抑制率85%~90%, 精矿硫≤2.0%	环保要求高的高硫铜矿
硫酸铜	氧化/受抑制硫化铜矿	40~70	8.5~9.5	铜回收率提升4%~6%, 活化效率稳定	氧化率10%~20%的混合铜矿

#### 4 结语

复杂难选铜矿浮选工艺优化以及工业实践是提高铜矿资源利用率关键所在,通过对矿石特性进行深入分析,从捕收剂方面调整剂方面浮选流程等方面进行针对性优化,并且把优化之后工艺应用于工业实践,能够有效提高铜精矿品位以及回收率。未来,随着矿业技术不断发展,还需要进一步研究新型的浮选药剂、高效的浮选设备以及智能化的浮选控制系统,为矿产资源可持续发展做出更大贡献。

#### [参考文献]

- [1]杨谦.新型药剂浮选某低品位难选铜铅锌矿的试验研究及应用[D].南宁:广西大学,2024.
- [2]肖巍,赵玉龙,赖春华,等.氧化铜矿浮选技术进展[J].矿产保护与利用,2023,43(5):32-41.
- [3]王刚,于云龙.国外某难选沉积岩型氧硫混合铜矿选矿工艺研究[J].矿冶,2023,32(2):49-57.
- [4]曲思思,刘新聪,范耀芬,等.某难选氧化铜矿的浮选药剂试验[J].世界有色金属,2021(15):116-117.
- [5]郑双林,马英强,郭鑫捷,等.预处理技术在难选氧化铜矿硫化浮选中应用的研究进展[J].金属矿山,2021(4):130-138.
- [6]庞杰,郑永兴,戈保梁,等.难选氧化铜矿选冶联合技术研究现状与进展[J].矿产综合利用,2019(5):1-5.

作者简介:侯君一(1976.5—),毕业院校:南方冶金学院(江西理工大学)所学专业:选矿,当前就职单位名称:新疆维吾尔自治区地质局哈密地质大队,就职单位职务:矿业公司副总经理(地质矿产开发院副院长),职称级别:副高。



## 临长江大堤基坑立体防渗体系构建与沉降控制

雷亚玲

湖北建艺岩土工程勘察设计有限公司, 湖北 荆州 434000

**[摘要]**针对长江大堤沿岸第四系黏性土、砂土互层地层深基坑降水引发的渗流失稳与建筑物沉降风险, 文章基于江汉平原工程地质与水文地质特征, 根据渗流-变形耦合作用机制并提出综合防控体系。按“渗流路径重构-界面加固-动态调控”递进控制策略, 结合降水参数优化、土体协同加固与沉降实时反馈, 实现渗流干预与土体结构稳定的动态平衡。文中通过典型基坑工程案例分析与实践, 为本地区临长江大堤敏感区深基坑工程提供地质适配性防控范式, 对协调工程安全与环境保护发展提供一些参考。

**[关键词]**临长江大堤深基坑; 第四系黏性土; 砂土互层地层; 立体防渗体系

DOI: 10.33142/ucp.v2i6.18549

中图分类号: U443

文献标识码: A

### Construction of a Three-dimensional Anti-seepage System and Settlement Control for the Foundation Pit of the Yangtze River Embankment

LEI Yaling

Hubei Jianyi Geotechnical Engineering Survey and Design Co., Ltd., Jingzhou, Hubei, 434000, China

**Abstract:** In response to the risk of seepage instability and building settlement caused by deep foundation pit dewatering in the Quaternary cohesive soil and sand interbedded strata along the Yangtze River embankment, this article proposes a comprehensive prevention and control system based on the engineering geological and hydrogeological characteristics of the Jiangnan Plain and the coupling mechanism of seepage deformation. According to the progressive control strategy of "seepage path reconstruction interface reinforcement dynamic regulation", combined with precipitation parameter optimization, soil collaborative reinforcement, and real-time settlement feedback, a dynamic balance between seepage intervention and soil structure stability is achieved. Through the analysis and practice of typical foundation pit engineering cases, this article provides a geological adaptive prevention and control paradigm for deep foundation pit engineering in sensitive areas near the Yangtze River embankment in this region, and provides some reference for coordinating engineering safety and environmental protection development.

**Keywords:** deep foundation pit near the Yangtze River embankment; quaternary cohesive soil; sandstone interbedded strata; three dimensional anti-seepage system

### 引言

江汉平原作为我国长江经济带城镇化进程的核心区域, 快速发展催生了大量临长江大堤的深基坑工程。本地区广泛分布着第四系黏性土、砂土互层地层, 该层具有显著的渗透差异性; 结合地下水埋藏浅, 受长江水文动态影响显著等特点, 使得基坑工程面临渗流控制与变形协调的双重挑战。在临江敏感地带, 人为干预地下水有可能改变土体应力与渗流的动态平衡, 不仅导致坑底管涌、支护结构失稳等直接风险, 更可能通过水力联系诱发堤防基础潜蚀、周边建筑差异沉降等次生灾害, 对长江黄金水道安全屏障与城市基础设施构成双重威胁。

当前, 如何构建地质适配性防控体系, 在保障基坑安全施工的同时, 实现大堤稳定与生态环境保护等多目标协同, 已成为制约沿江城市地下空间可持续发展的重要课题。本文通过笔者工作地区江汉平原某工程实例出发, 探索复杂水文地质条件下融合防渗效能与变形协同控制的综合性方案, 旨在为类似基坑工程设计、施工提供一些参考。

### 1 工程概况

场地位于江汉平原腹地的荆州市, 为商业综合体项目。本项目设计为地上 4~25 层地下 1 层建筑, 建筑高度为 20.0~98.0m, 框剪结构, 基础形式为钻孔灌注桩基础。基坑开挖深度 6.25m, 整体呈长方形, 平面尺寸约 50×100m, 基坑开挖面积约 5000m<sup>2</sup>, 基坑开挖周长 400m。荆江大堤禁脚与本项目地下室(车库)距离为 100.67m。

#### 1.1 场地环境条件

场地南侧为城市主干道, 北侧及东侧均为城市支路, 西侧为既有多层建筑。坑壁四周距用地红线约 1.5~1.8m; 南侧坑壁距离道路中心线约 25.0m, 北侧及东侧坑壁距离道路中心线约 11.5m, 既有道路分布有市政天然气管道、雨污管线及自来水管, 其埋深约 1.5~2.5m; 西侧坑壁距离多层建筑约 13.0~19.0m, 既有多层建筑为 2 层(天然地基, 基础埋深 1.0m), 4~9 层(桩基础, 基础埋深 2.0m)。基坑开挖边线距离荆江大堤禁脚距离为 97.4~101.6m。场地环境条件紧张, 对变形极为敏感。

1.2 工程地质条件

项目场地属长江一级阶地地貌单元，地形平坦，本场区分布的地层主要为人工堆积层、第四系全新统冲洪积层及第四系上更新统冲洪积层。

(1) 人工堆积填土层分布在表部 0~3.0m：主要为素填土层，以粉质黏土、粉土为主，夹植物根茎。该层属高压缩性土，软硬不均，物理力学性质较差，属不均匀岩土。

(2) 第四系全新统冲洪积层 ( $Q_4^{al+pl}$ ) 分布在中部 3.0~31.0m：3.0m~14.0m 为粉质黏土夹粉土、粉砂层，湿，可塑；10.0m-15.0m 为粉砂，饱水，稍密；15.0m~31.0m 为细砂，饱水，中密。这三层均属中压缩性土，层内构造均匀性一般。

(3) 第四系上更新统冲洪积层 ( $Q_3^{al+pl}$ ) 分布在 31.0m 以下：主要为卵石层，孔隙间充填粗砂、粉细砂等。该层属低压缩性土，层内构造均匀性一般。

地质剖面如下：基坑支护设计有关参数取值于下表 1：

表 1 基坑设计参数表

土层编号及名称	$\gamma$	$f_{ak}$	$E_s$	抗剪强度	
	( $\text{kN/m}^3$ )	( $\text{kPa}$ )	( $\text{MP}_a$ )	$C$ ( $\text{kPa}$ )	$\Phi$ ( $^\circ$ )
①素填土	18.5	/	/	10.0	10.0
②粉质粘土夹粉土、粉砂	20.2	100	6.5	14.0	13.0
③粉砂	19.6	135	12.5	0	27.0
④细砂	20.2	230	21.0	0	33.0

1.3 水文地质条件

(1) 地下水类型。场地地下水类型主要为上层滞水和承压水。上层滞水赋存于场区内填土层中，受气候的影响水幅变化较大，但其总体水量不大，可通过坑内排水沟将其汇集于一处集中抽排。承压水主要赋存于深部卵石层中，该承压水主要接受临区含水层及长江侧向补给，层间侧向径流排泄。年水位变幅一般 3~5m，根据收集场地附近长观孔水位资料，场地承压水历史最高水位标高约 38.0m，勘察期间测得水位埋深为 6.2~6.5m，对应标高为 31.0~31.2m。

(2) 抗突涌稳定性分析。基底虽坐落于黏性土隔水层中。根据《基坑工程技术规程》(DB42/T159—2024) 中的 6.2.15 式对承压水进行抗突涌稳定性验算，验算结果表明本工程基坑在施工至基底设计标高后会产生突涌，基坑开挖中须采取有效降低承压水水头措施，以保基坑安全、正常施工。

(3) 渗透系数

各土层渗透系数见下表 2：

表 2 各岩土层的渗透系数

土层编号及名称	渗透系数 $k$ ( $\text{cm/s}$ )	渗透性等级
②粉质粘土夹粉土、粉砂	$3 \times 10^{-6}$	弱透水
③粉砂	$5 \times 10^{-3}$	强透水
④细砂	$8 \times 10^{-3}$	强透水
⑤卵石	$9 \times 10^{-2}$	强透水

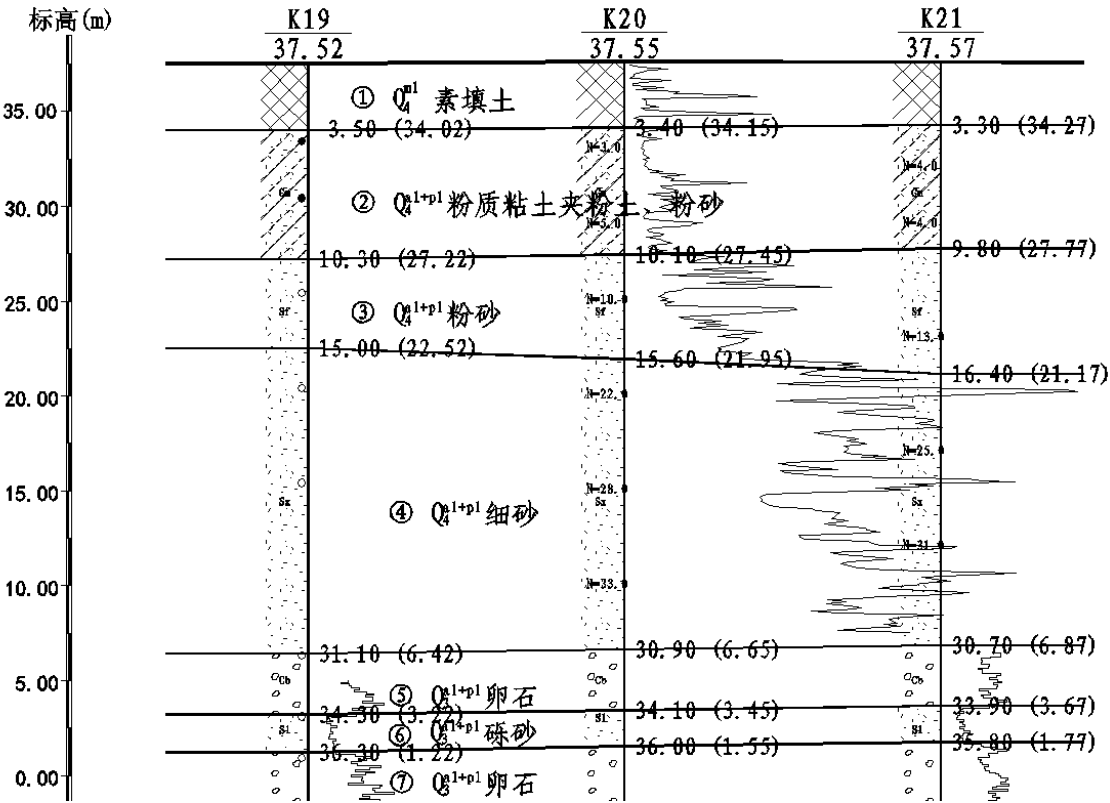


图 1 地质剖面

## 2 基坑方案

因场地环境条件紧张，基坑侧壁距离既有红线仅1.5~1.8m，场地无放坡条件；基坑开挖深度达6.25m，场地南侧、北侧及东侧红线外围道路分布有市政天然气管道、雨污管线及自来水管，且北侧及东侧地下市政管线分布在坑壁2倍开挖深度范围内，西侧坑壁外围既有多层建筑，场地四周对变形较为敏感。综合以上分析，结合本地区类似工程经验，支护方案采用钻孔灌注桩( $\phi 1000@1500\text{mm}$ )

+止水帷幕+砼内支撑的支护形式。

止水帷幕采用两排三轴搅拌桩( $\Phi 850@600\text{mm}$ )交错咬合布置，竖向加固形成止水帷幕，使坑壁土层得到固化，与支护桩联合作用，既挡土又止水。为保障基坑施工作业面要求，项目支护桩采用三轴搅拌桩+内切钻孔灌注桩方案，具体为先施工三轴搅拌桩，再在搅拌桩设置宽度范围内内切施工钻孔灌注桩，确保支护体与止水结构无缝衔接。

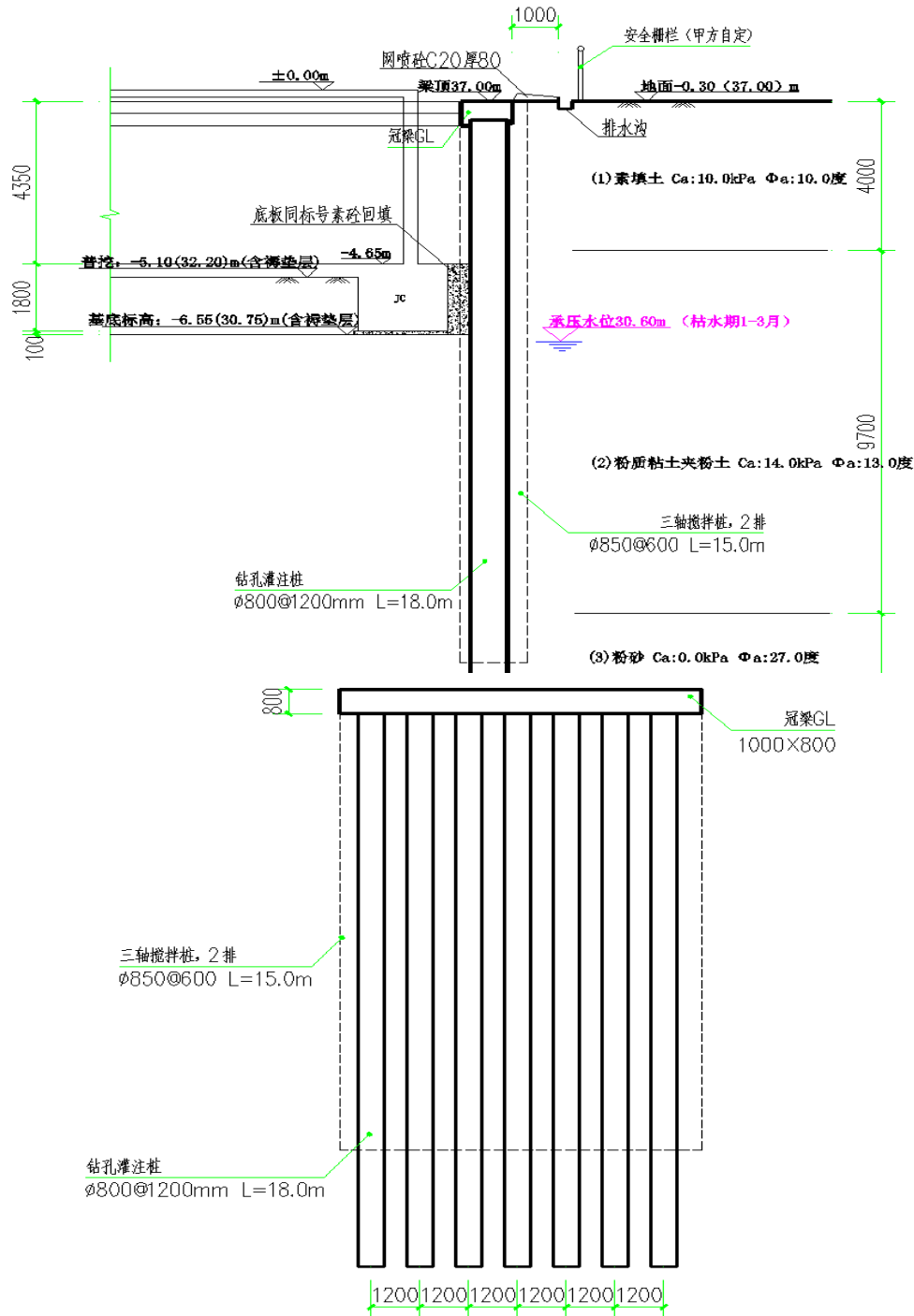


图2 支护剖面图



针对下伏砂卵石层中的承压水头压力,按减压降水的原则布置管井降水群,将承压水头降至基底 4.0m 以下。

### 3 基坑方案的不足

本项目基坑开挖边线距离荆江大堤禁脚距离仅为 97.4~101.6m,地下水埋藏浅、水量丰富且水位变化与长江同步,周边环境紧张。通过报审基坑工程设计方案技术评审、专项防洪评价及实际施工。发现该方案存在以下几点不足:

#### (1) 防渗性能方面

两排三轴搅拌桩采用  $\Phi 850@600\text{mm}$  交错布置时,搭接量为 250mm,但受施工精度偏差(垂直度、定位误差)及地层不均影响,施工时存在实际有效搭接不足的情况,导致桩间出现渗水通道。钻孔灌注桩(C30 混凝土,渗透系数  $1\times 10^{-4}\text{cm/s}$ ,弹性模量  $3\times 10^4\text{MPa}$ )与三轴搅拌桩(水泥土,渗透系数  $5\times 10^{-6}\text{cm/s}$ ,弹性模量 300MPa)存在显著材料性能差异,界面结合易产生微裂缝。当采用先施工搅拌桩再内切钻孔桩的工艺时,钻孔桩对搅拌桩的切割扰动进一步破坏桩体连续性,尤其在砂土-黏性土界面突变带,渗流力集中导致渗漏风险提升,严重削弱止水帷幕整体性。此外,三轴搅拌桩在粉细砂层(渗透系数  $5\times 10^{-3}\sim 8\times 10^{-3}\text{cm/s}$ )中成桩连续性差,易形成渗漏薄弱区;在粉质黏土层(渗透系数  $3\times 10^{-6}\text{cm/s}$ )中因搅拌不均产生“夹心”缺陷。高水压环境(渗透压力  $>0.1\text{MPa}$ )加剧帷幕结构变形,防渗性能呈指数级衰减。

#### (2) 降水对长江大堤及周围环境的影响

基坑管井降水在临近长江大堤的工程中可能引发多重风险。首先,地下水位骤降会破坏大堤地基平衡:背水侧土体因有效应力增加易产生不均匀沉降或开裂,而堤基承压含水层渗透压力突变可能诱发流土、管涌等渗透破坏,直接威胁抗洪能力;长期降水形成的地下水降落漏斗还会逆转江水与地下水的补排关系,加剧临江侧渗透压力。其次,降水影响呈放射状扩散,邻近建筑因地层压缩产生附加沉降(浅基础或桩基结构易开裂),地下管线面临接口错位风险;因含水层与江水水力联系密切,过量抽排将加速江水侧向补给,形成基坑内外水位差持续扩大的恶性循环,进一步威胁大堤安全。此外,长江高水位与汛期叠加时,基坑内外水头差可达数米,对降水系统效能和止水帷幕完整性构成严峻考验;含水层各向异性或透镜体分布易导致局部渗流路径突变,诱发地面塌陷等次生灾害。

### 4 最终基坑方案

根据上述问题得知,本项目需采取更加合理的立体防渗体系,以满足敏感环境工程控制要求。通过将三轴搅拌桩帷幕升级为“桩间高压旋喷桩+桩后 TRD 等厚水泥土连续墙”的复合止水结构,同时将管井降水群改为高压旋喷桩封底,形成多维立体防渗体系。三者协同作用可有效

阻断长江高水头条件下的渗流通道,为深基坑工程提供兼顾安全性与经济性的支护解决方案。

其优势与必要性体现在以下方面:

#### (1) 立体防渗体系

钻孔灌注桩与 TRD 水泥土墙的组合,既发挥灌注桩的高承载力优势,又利用 TRD 的低模量特性缓冲大堤地基的不均匀沉降变形。桩间高压旋喷桩通过高压喷射注浆技术填充钻孔灌注桩施工间隙,形成连续致密的止水屏障,有效解决传统桩间搭接不足导致的渗漏问题,其材料相容性优于传统搅拌桩-灌注桩组合,交界面的结合强度也有所提升。桩后采用 TRD 等厚水泥土连续墙,凭借其全断面连续成墙特性(墙体厚度达 800mm),在长江砂卵石地层中可形成渗透系数低的封闭防渗体系,显著优于搅拌桩的防渗性能。底部高压旋喷桩封底则阻断基坑底部承压水的层间越流,封底旋喷桩与 TRD 墙形成封闭阻水环,防止因地下水位骤降引发的堤基渗透破坏。形成“侧向-底部”三维立体截渗结构,适应长江高水头及砂卵石层的地层条件。

#### (2) 复杂地层适配与质量可控性

TRD 工法在砂卵石层中通过多刀轮切割搅拌,可实现地层颗粒与水泥浆的均匀混合,成墙均匀性较三轴搅拌桩提升 60%,解决传统工艺在卵砾石层中易出现“夹泥芯”的质量缺陷。高压旋喷桩采用双重管或三重管工艺,通过实时监测喷射压力(20-40MPa)与提升速度,可动态调整参数以应对地层渗透性突变(如透镜体分布),确保帷幕完整性。

#### (3) 风险防控

相较于多排搅拌桩方案,该体系通过 TRD 单排连续墙实现高效截渗,减少水泥用量,同时桩间旋喷桩局部加固降低了施工机械的频繁移位风险。结合基坑监测数据(如孔隙水压力、墙体侧向位移)动态调整内支撑轴力,可实现支护体系安全与经济性的平衡,为长江大堤深基坑工程提供兼具安全性、适应性与可持续性的解决方案。

### 5 结论

本研究通过构建立体防渗体系,实现了复杂地质条件下支护与防渗技术的系统性升级。该方案通过 TRD 等厚水泥土连续墙与高压旋喷桩的多维协同,有效解决了传统搅拌桩体系在桩间搭接、材料界面耦合及地层适应性方面的不足,形成兼顾高水头截渗、结构稳定与环境低扰动的立体防护网络。相较于原有工艺,新体系显著提升了大堤安全防护等级,通过刚柔并济的结构设计平衡了地层变形与荷载传递需求,同时以微扰动施工技术保障了长江堤防及周边生态的稳定性,为类似深基坑工程提供了一些参考。

未来,此类复合支护体系的智能化监测技术、新型材料应用及与生态修复的深度融合,将成为提升重大工程全生命周期安全与可持续性的关键方向。

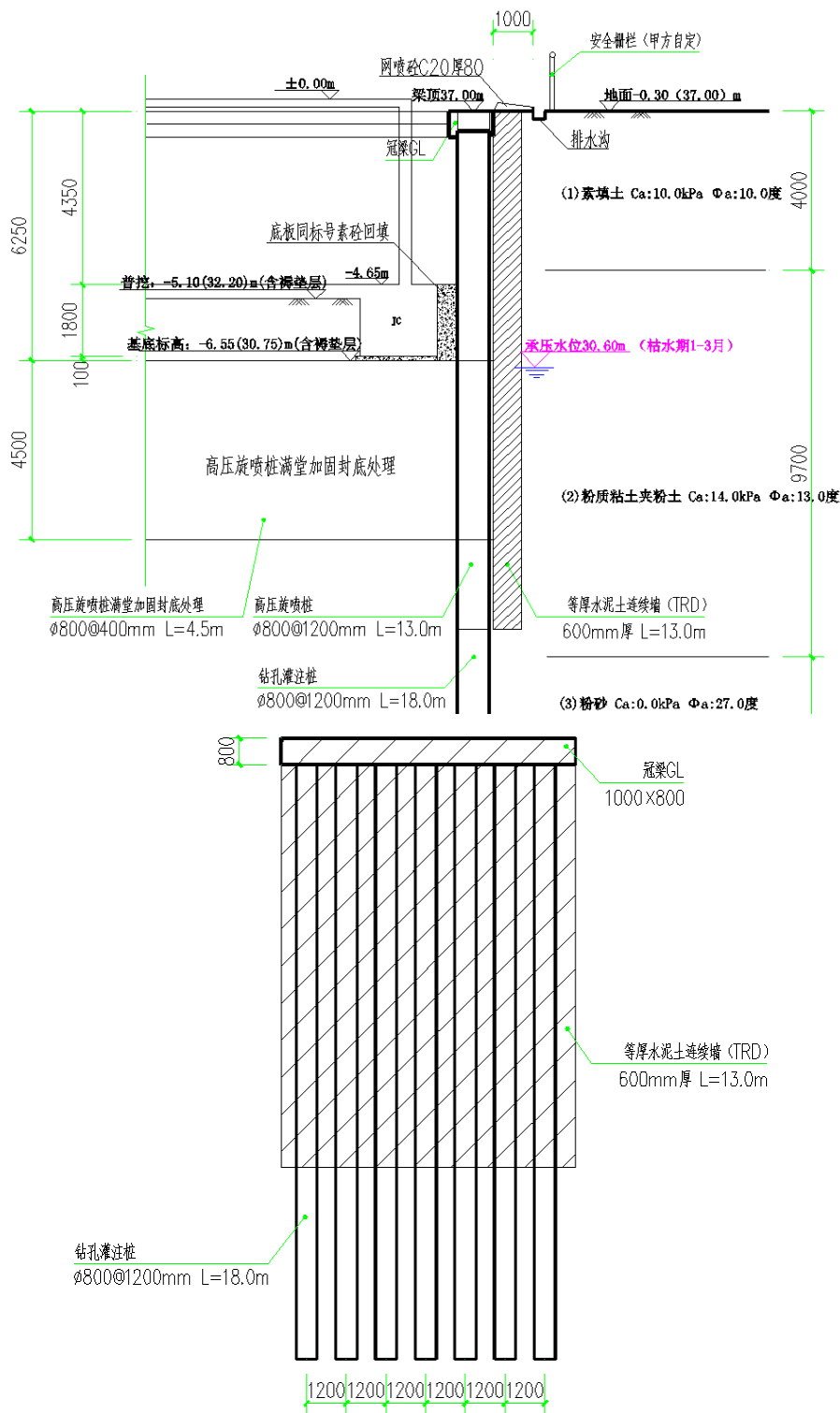


图3 调整后 支护剖面图

## [参考文献]

- [1] 刘昭希, 王军, 宗全利, 等. 含水率变化对荆江河岸黏性土体力学特性的影响 [J]. 长江科学院院报, 2019, 11(12): 11-12.
- [2] 刘国权. 复杂环境下基坑降水影响邻近建筑结构的对策

分析[J]. 工程技术研究, 2024, 14(5): 22-23.

- [3] 刘文强. 深基坑降水对周围地表沉降的影响[J]. 建设科技, 2022, 14(6): 16-18.
- [4] 邓晨. 深基坑降水方案设计及沉降变形规律分析[J]. 江西建材, 2024, 2(11): 31-32.

- [5]黄建华,李瑞.基于 HS-Small 模型临江深基坑降水变形特性分析[J].水电能源科学,2023,3(9):12-13.
- [6]崔莎莎,朱腾腾,鲍丰.城市建筑群中 TRD 工法在深基坑工程中的应用[J].智能建筑与工程机械,2024,8(12):6-7.
- [7]葛永超.TRD 工法原理及其在深基坑止水帷幕中的应用[J].工程建设与设计,2021,18(3):11-12.
- [8]察双元,周恒,栗全旺,等.TRD 工法构建等厚水泥土连续墙在富水砂土层中的适用性研究[J].湖南交通科技,2020,11(12):11-12.
- [9]虞炜,吴俊.TRD 工法在紧邻河道狭长深基坑工程中的应用[J].建设监理,2024,7(12):33-34.
- [10]蔡德庆.灌注桩和高压旋喷桩组合止水帷幕在邻江深基坑中的探究[J].建筑技术开发,2022,8(12):7-8.
- [11]吕善国,凌国华,董志高.高压旋喷桩在某临江深基坑止水帷幕中的应用[J].江苏建筑,2012,11(12):11-12.
- [12]刘强,刘建国,梁毅飞.高压旋喷桩局部断面封底减渗加固基坑施工关键技术研究[J].安徽建筑,2023,8(12):44-45.
- 作者简介:雷亚玲,毕业院校:中国地质大学,所学专业:工程管理,当前就职单位:湖北建艺岩土工程勘察设计有限公司,职称级别:工程师。



# 家庭电路安全设计与节能优化研究

田义娜

河北科防治金安全评价有限公司, 河北 石家庄 050000

**[摘要]**在全球能源危机和环保要求日益严苛的形势下, 节能成为居民能耗管控的关键手段。伴随着人们生活水平的持续提高, 家庭中各类用电设备的数量与功率也呈现出逐渐增长的趋势, 因此, 家庭电路的节能性与安全稳定性日益受到重视。文章研究基于家庭电路安全设计的核心要求探讨了各个环节的设计要点与实施措施。并结合家庭用电场景, 提出了一系列具有节能优化的可行路径, 从而确保家庭电路的安全可靠与高效节能, 以供参考。

**[关键词]**家庭电路; 安全设计; 节能优化; 布线规范; 保护装置

DOI: 10.33142/ucp.v2i6.18541

中图分类号: TM915.04

文献标识码: A

## Research on Home Circuit Safety Design and Energy-saving Optimization

TIAN Yina

Hebei Kefang Metallurgy Safety Evaluation Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

**Abstract:** In the context of the global energy crisis and increasingly stringent environmental requirements, energy conservation has become a key means of controlling residents' energy consumption. With the continuous improvement of people's living standards, the number and power of various electrical devices in households are gradually increasing. Therefore, the energy-saving and safety stability of household circuits are increasingly valued. The article explores the core requirements of home circuit safety design and discusses the design points and implementation measures of each key link. And combined with household electricity scenarios, a series of feasible paths with energy-saving optimization are proposed to ensure the safety, reliability, and high efficiency of household circuits for reference.

**Keywords:** home circuit; safety design; energy-saving optimization; wiring specifications; protective device

### 引言

在居民的日常生活中, 家庭电路作为一项基础的保障设施, 其运行状态对居住安全以及居民的生活质量有着直接的影响<sup>[1]</sup>。但随着人们生活水平的提高, 电视、洗衣机、空调等大功率电器的广泛普及与高频使用使得家庭电路的负载压力不断增大, 因此潜在的安全隐患风险也随之提高。此外, 伴随着全球能源危机以及可持续发展理念的深入推进, 能源节约已成为重要趋势。当前, 家庭电路设计并未充分考虑到节能, 在电路布设方面存在诸多不规范之处, 并且保护装置配置存在不合理的情况, 不仅会引起电气火灾等事故, 而且还会增加能耗与家庭用电成本<sup>[2]</sup>。因此本文研究深入探究家庭电路安全设计与节能优化, 从而提高家庭的用电安全性, 降低能源消耗。

### 1 家庭电路安全设计的核心要求与要点

家庭电路的设计首先要遵循安全第一的原则, 避免因漏电短路等故障而引起的火灾等安全事故风险, 同时也要兼顾电路系统可以在额定负载范围内稳定的运行。

#### 1.1 供电线路的合理选型

家庭电路系统中供电线路作为关键的传输媒介, 截面面积、材质的合理选择, 对电路的安全性能与承载能力有着决定性作用。家庭电路应该优先选择具有卓越导电特性

的铜芯导线, 铜芯导线具有更优异的热传导性能、在机械强度方面表现突出、抗腐蚀性能力强等优势, 能更好地适应家庭用电场景中负载波动频繁、用电设备多样化的复杂需求<sup>[3]</sup>。结合家庭用电负载的总容量, 合理确定导线的截面面积, 得注意的是, 必须要确保导线的载流量能够大于电路在实际运行过程中的最大工作电流, 避免因导线过细产生过多的热量而引起过热现象。家庭的总进户线的截面面积需要根据整体的用电需求进行合理的规划, 分支线路则截面面积的选型则需根据对应区域的用电设备功率进行精准匹配, 以此保障家庭用电的稳定性和可靠性。此外, 尽量选择绝缘性稳定、耐高温性良好的绝缘层材质, 在厨房、卫生间比较潮湿的区域选用具有防潮性能的导线<sup>[4]</sup>。

#### 1.2 保护装置的科学配置

保护装置的主要作用是在电路出现故障时可以第一时间将电源切断, 以此避免故障的进一步扩大。比较常用的保护装置主要有漏电保护器, 空气开关等。其中空气开关主要用于防止短路故障或电路过载, 当电路中的电流超出额定设定值时, 内置于空气开关中的热敏元件或电磁元件会迅速响应切断电路触发跳闸动作, 防止电气故障进一步扩大。鉴于此, 需要依据电路的实际负载容量合理配置空气开关, 总进户线处所安装的空气开关, 其额定电流

需与进户线截面面积相匹配,分支线路的空气开关其额定电流则应设定为小于总空气开关的额定电流,形成分级保护机制<sup>[5]</sup>。如此配置当某一分支线路出现异常情况下,为了避免故障的扩大,分支空气开关会优先跳闸,既有助于精准定位故障发生点,又有助于保障整体用电的连续性。

漏电保护器的合理使用可以避免因漏电而引发的触电事故,在家庭电路的规划过程中,应该合理配置漏电保护器,以确保用电安全。尤其是在阳台、厨房、卫生间等存在漏电风险的区域安装漏电保护器。另外鉴于电热水器、空调等大功率用电设备的运行电流较高,应该单独配置专用的漏电保护器,通过更为精准的漏电防护,以此提高防护的针对性。

### 1.3 布线规范的严格执行

为了确保家庭电路的安全稳定性,应该合理进行布线工作。在具体操作过程中严格遵循“安全、整洁、便于维护”的原则<sup>[6]</sup>,值得注意的是,要避开高温区,可燃物以及易机械损伤等区域,同时布线应该与弱电线路保持一定的距离,避免因强电干扰弱电设备正常使用。保证各个导线连接牢固,避免出现松动的情况。家庭电路的规划与铺设过程中采用“分路布线”方式,以不同区域的空间功能、各类用电设备的电气特性为依据划分为独立的分支线路,并且,为每个独立的分支线路单独配置适配的保护装置,进一步提升了整个家庭电路的安全防护能力,同时在后期线路出现问题时,能够第一时间定位到故障路线,便于后

期的维修。布线结束之后通过实施绝缘测线检测导线绝缘层的完好性和电路的绝缘性能,避免发生短路、漏电等安全隐患。

## 2 家庭电路节能优化的可行路径

通过合理的设计思路以及实用的技术手段,可以实现家庭电路的节能优化,减少能耗,进而提高能源利用效率。在满足家庭基本用电需求的前提下,对电路结构、节能设备进行合理优化,同时规范家庭的用电习惯,从而达到理想的节能效果。

### 2.1 合理选用节能型电气设备

在家庭能源消耗中,电气设备占有较高的比例,因此应该充分结合家庭的用电实际需求,合理选择节能标准的用电设备,在一定程度上可以降低能源消耗。在选择大功率设备时,应该将节能高效作为核心的考量因素。以空调为例,建议优先选用一级能效产品,其在制冷与制热的过程中能够以更少的电能输出,单位能耗降低<sup>[7]</sup>;选择变频节能型的洗衣机,能够实时感知衣物的重量和清洁需求自动调节电机的转速,既可以确保衣物的清洗效果,又可以实现能源损耗的降低。相较于日光灯、白炽灯而言,LED 节能灯泡能耗更低,并且使用寿命更长因此,在家庭照明设备的选型上应全面推进 LED 节能灯泡的应用。此外,应根据家庭人口数量、使用频率等因素,合理规划设备选型,确保设备功率与实际需求相匹配,避免能源浪费。

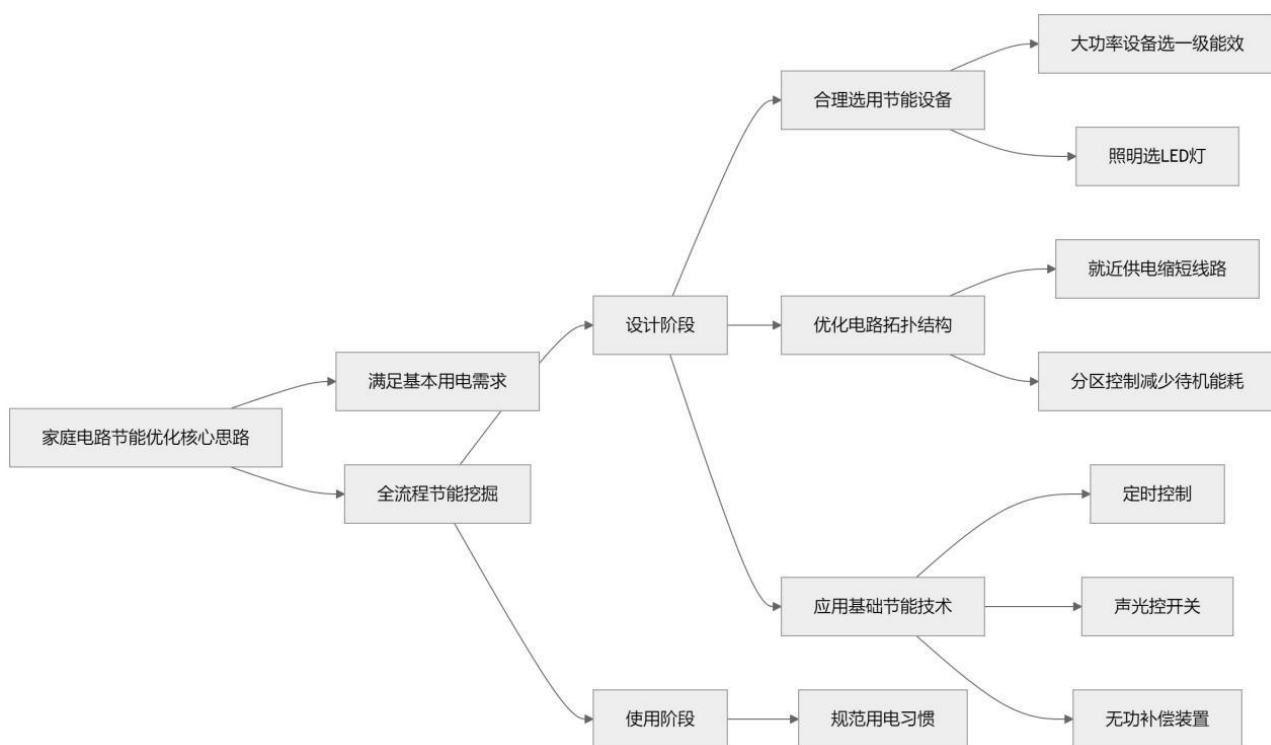


图1 家庭电路节能优化核心思路

## 2.2 优化家庭电路拓扑结构

通过对家庭电路拓扑结构进行合理优化,遵循“就近供电、减少线路长度”的原则规划供电区域和线路走向,既可以降低线路的损耗,又可以提高电路系统的节能性能。导线电阻大小与导线长度成正比,导线越长,电阻越大,导线越短,电阻越小。家庭线路要减小导线长度,布线时要尽可能走直线,特别应尽量避免回头线,以减少线路上的电能损耗。在电气布线设计领域基于实际情况,尽可能的缩短导线的长度以降低传输损耗。对于电热水器,空调等大功率的设备,应该采用独立的分支回路供电方案,尽量不要与其他设备共用一条线路。通过专用断路器实现物理隔离减少线路分压和损耗。插座的布局应该靠近用电设备,长期使用会降低线路损耗,同时可以确保线路系统的安全性。导线电阻的大小与截面积成反比,增大导线截面积也是减小线路电阻及损耗的方法之一。如果导线截面选择过小,在线路运行期间不仅会产生过大的电压损失和电能损耗,还会使导线过热而引起故障。此外,可采用“分区控制”的电路拓扑结构,在每个房间或功能区域设置独立的开关,实现用电设备的分区控制,减少不必要的能耗。

## 2.3 应用基础节能技术与控制手段

在家庭电路系统中,合理运用节能技术以及控制策略可以优化节能成效,从而节约电能消耗,实现能源的高效利用。

在部分用电设备的电路中,通过加装定时开关增设供电时段可以实现显著的节约能耗优势。对于阳台的照明设备以及卫生间的换气扇通过设定定时开关功能,可以有效防止使用者忘记而关电路的导致长期运行耗电。基于用户的日常使用习惯,在使用热水器前 1~2 小时自动启动通电加热程序,在使用完毕之后,可以将电源自动切断。通过实施定时控制技术,既可以满足用户的日常需求,又可以减少不必要的能源损耗,起到理想的节能效果。

声光控开关主要依据环境光线的强弱程度以及声音信号,能够实现对灯光开启与关闭的智能控制效果,声光控开关主要应用于楼道走廊等场所,既可以满足用户的用灯需求,又可以避免因灯光长时间亮起而导致不必要的能源浪费现象。因此在规划设计阶段应该充分考虑到将声光控开关安装在卫生间、厨房等人员进出较为频繁的区域,提升家庭用电的节能水平。此外,对于降低家庭电路中的无功功率损耗中配置无功补偿装置尤为关键,在电路中加装小型无功补偿电容,通过其独特的电气特性自动调整自身的补偿量,提升功率因数,线路中的能源损耗相应减少。这类小型无功补偿装置不仅结构简单,易于安装与维护,同时成本也较低,尤其是用于在家庭电路中推广应用。

## 2.4 规范用电习惯的引导

用电行为对于家庭能源消耗状况有着直接的影响,因此在电路设计的前期阶段,通过合理布线方案以及设备配

置对使用者形成积极的引导作用,使其养成良好的用电习惯。家庭电气节能还可从插座入手,为节能管理提供基础。合理安排墙面插座的位置,尽量减少插线板,而且也可选择有控制开关的插座。在插座布局设计中将日常生活中使用频率较高的常用设备插座进行集中化布置,并设置明显的开关标识,方便用户在设备处于非使用状态时及时关闭电源,在一定程度上可以减少不必要的电能浪费,实现更好的节能减排效果和环境保护;在大功率设备的线路中可加装独立的电源指示灯,提醒用户设备的运行状态,从而避免因疏忽而忘记关闭电源。此外,在电路设计说明文档中加入节能用电建议,如集中使用大功率设备会增加能源在传输过程中的损耗,因此,可以选择避免高峰时段集中使用大功率设备,降低电路的负载压力,减少能源损耗。

## 3 家庭电路安全与节能的协同设计

家庭电路的安全设计与节能优化并非相互独立,而是存在紧密的协同关系。在实际设计工作中,需兼顾两者的需求,实现安全与节能的统一,避免出现“重安全轻节能”或“重节能轻安全”的片面设计。在节能优化的过程中,同时也要确保安全第一的原则,在选择节能技术以及节能设备的时,应该确保其符合标准要求,不会对电路系统的安全性能造成影响。在节能导线的选择过程中,不能因为只考虑到节能而选用截面面积过小的导线。在加装节能控制装置的过程中,为了降低漏电、短路等安全隐患的发生,应该要确保节能控制装置与电路系统的兼容。

安全设计中可深度融入节能理念,例如优先选用具备节能特性的智能保护装备,既可以保障电路系统的稳定性,而且通过智能监测技术实时监测电路的能耗状态,为用户提供针对性的节能建议,可以起到降低能耗的作用。在布线的过程中,通过合理的布局,缩短导线的长度,即可提高整个电路系统的安全性,又可以避免安全隐患的发生,从而实现安全保障与节能降耗的双重效益。应该以家庭用电的实际情况为依据,本平衡安全与节能的需求,在设计阶段,对家庭的用电设备清单进行梳理,全面考量各类设备的负债容量,同时基于用户的使用习惯、节能要求,合理选择供电线路、布线的具体规划以及保护装置的配置。在设计过程中,需对方案进行反复校验,确保各项设计要点既满足安全防护需求,又能实现节能优化目标。

## 4 结论与展望

家庭电路安全设计与节能优化是提升家庭居住质量、践行绿色节能理念的重要举措。本文全面梳理了家庭电路安全设计的主要核心要点,并且基于家庭用电情况提出了一系列节能优化的可行路径,例如电路拓扑结构优化、节能设备选用等,既考虑到节能的设计理念同时也强调了安全的重要性,通过安全与节能的协同优化设计为家庭电路的科学设计提供了实用的思路,既能保障家庭用电安全,



又能实现能源的高效利用。另外,需要加强对系统监测和维护工作的管理,避免因设备损坏或故障而引发安全问题.伴随着物联网技术,智能电网技术的快速发展,在家庭电路设计方面,融入智能插座、智能电表,智能保护装置等设备,实时、全面监测家庭电路的运行状况,并为节能管理提供针对性科学的指导,进一步提升电路系统的安全性能和节能效果。未来的研究可结合智能技术的应用,深入探讨家庭电路安全与节能的智能化设计方案,为家庭用电的安全化、节能化发展提供更全面的支撑,确保整个系统的安全性和稳定性。

#### [参考文献]

- [1]李奥,胡森,包汉斌.基于电气工程自动化的智能照明节能技术研究[J].中国照明电器,2024(8):131-133.  
[2]徐建.智能照明控制系统在室内照明节能项目中的应用

研究[J].光源与照明,2024(4):32-34.

- [3]陈思远,张小宁,杨子建,等.基于绿色照明的室内智能照明节能控制系统应用研究[J].光源与照明,2024(2):54-56.  
[4]伍世云,罗江,王益艳,等.基于单片机的高校教室照明节能智能控制系统的设计[J].电子设计工程,2016,24(23):180-182.  
[5]高爱云.节能措施在智能照明设计中的应用[J].智能建筑电气技术,2023,17(3):72-74.  
[6]杨哲.节能环保技术在电气工程自动化中的应用[J].皮革制作与环保科技,2021,2(7):108-109.  
[7]潘林辉.新能源开发中的电气工程自动化节能环保技术[J].中国高新科技,2020,11(12):94-95.

作者简介:田义娜,毕业院校:河北科技大学,所学专业:电气工程及其自动化。

## 既有建筑暖通系统改造中的能耗降低技术应用

冯 探

石家庄市建筑设计院有限责任公司, 河北 石家庄 050000

**[摘要]**随着能源危机来袭且环保意识增强,使得建筑领域将既有建筑暖通系统的节能改造当作重要研究方向,文章对此进行了系统分析。此文先分析既有暖通系统能耗特点并点明其能耗高、效率低、控制落后等问题,接着详细讨论既适用又有建筑暖通系统改造的关键技术,如热源系统方面有锅炉替换改造、热泵技术应用、分布式能源系统,输配系统方面有变频技术应用、管网平衡与保温优化,末端设备方面有高效末端设备替换、辐射供暖、制冷技术应用,智能控制系统方面有楼宇自控系统、智能分户计量与调节、需求侧响应技术等,之后以三个典型案例分析不同类型建筑的改造效果,结果显示科学合理地选择技术与集成系统,能使既有建筑暖通系统改造后能耗降低 15%~40%,并且室内舒适度也得以提升,经济效益和环境效益都很显著。最后,针对中国既有建筑暖通系统改造实践,文中提出技术选择策略与实施路径建议,为推动既有建筑节能改造提供理论依据和技术参考。

**[关键词]**既有建筑;暖通系统改造;能耗降低;节能技术;系统优化

DOI: 10.33142/ucp.v2i6.18568

中图分类号: TU83

文献标识码: A

## Application of Energy Consumption Reduction Technology in the Renovation of Existing Building HVAC Systems

FENG Tan

Shijiazhuang Architectural Design Institute Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

**Abstract:** With the outbreak of the energy crisis and the increasing awareness of environmental protection, the energy-saving renovation of existing building HVAC systems has become an important research direction in the field of construction. This article provides a systematic analysis of this. This article first analyzes the energy consumption characteristics of existing HVAC systems and points out their problems of high energy consumption, low efficiency, and outdated control. Then, it discusses in detail the key technologies that are applicable to building HVAC system renovation, such as boiler replacement and renovation, heat pump technology application, and distributed energy system in the heat source system, frequency conversion technology application, pipe network balance and insulation optimization in the transmission and distribution system, efficient end equipment replacement, radiation heating and cooling technology application in the terminal equipment, and building self-control system, intelligent household metering and regulation, demand side response technology in the intelligent control system. Finally, three typical cases are used to analyze the renovation effects of different types of buildings. The results show that scientifically and reasonably selecting technology and integrated systems can reduce energy consumption by 15% ~ 40% after the renovation of existing building HVAC systems, and improve indoor comfort, with significant economic and environmental benefits. Finally, in response to the practice of retrofitting HVAC systems in existing buildings in China, the article proposes technical selection strategies and implementation path suggestions, providing theoretical basis and technical reference for promoting energy-saving retrofitting of existing buildings.

**Keywords:** existing buildings; HVAC system renovation; energy consumption reduction; energy-saving technology; system optimization

### 引言

全球能源消费中建筑能耗占比相当重要,国际能源署(IEA)最新统计数据表明,全球终端能源消费中建筑领域能源消费占比约为 36%且二氧化碳排放量贡献率达近 40%,中国全国总能耗中建筑能耗占比大概 30%且有逐年上升之势,2019—2023 年中国建筑能耗年均增长率一直在 4.5%左右,并且建筑总能耗里暖通空调系统能耗占比为 50%~60%,所以暖通空调系统是建筑节能的重点领域,在中国现有的大约 600 亿  $\text{m}^2$  的既有建筑里面大部分建筑暖通系统的建设标准低且设计和设备都比当下节能标准

差很多,所以这些地方能耗降低的空间很大。

既有建筑暖通系统存在能耗高、效率低、控制落后等普遍问题,很多既有建筑以传统燃煤或者燃气锅炉充当热源,能源利用效率低且污染物排放多,并且不少既有暖通系统是定流量运行模式,不能依据实际负荷需求调整运行参数而造成能源严重浪费,此外系统输配环节存在管网失衡、保温不够等问题使热能传输时损失大,而且传统暖通系统缺少智能控制手段,精细化管理和个性化调节难以实现从而舒适度和节能性难以兼顾,不过 2020 年发布的《中国建筑节能与绿色建筑发展报告》称科学改造既有建筑暖

通系统后能耗能降低 15%~40%，每年可节省大概 1.5 亿吨标准煤并减少大约 4 亿吨二氧化碳排放。

“碳达峰”“碳中和”的双碳目标大背景下，我国要实现能源战略转型，推动既有建筑暖通系统节能改造是重要途径，这几年国家接连出台《建筑节能与绿色建筑发展“十四五”规划》《关于加快建立健全绿色低碳循环发展经济体系的指导意见》之类的政策文件，明确指出要加强既有建筑节能改造并推广可再生能源在建筑中的应用，而且热泵技术、变频控制、智能调节这些暖通先进技术发展很快，给既有建筑暖通系统改造带来好多技术选择，也让节能改造的经济性、可行性提高不少，所以本研究打算系统分析不同类型建筑的改造效果，给出技术选择策略和实施路径建议，为推动既有建筑暖通系统节能改造提供理论依据和技术参考。

## 2 既有建筑暖通系统改造的关键技术

### 2.1 能源监测与评估系统

既有建筑暖通系统改造以能源监测与评估系统为基础且是其前提，通过全面精准地监测分析建筑能耗能识别出能源浪费之处并确定改造重点，还能给改造后效果评估提供数据方面的支撑，现代能源监测与评估系统大体包含能耗数据采集设备、数据传输网络、数据存储与分析平台这三部分，近期研究表明全面使用能源监测与评估系统能让建筑识别出 15%~25%的节能潜力且系统自身投资的回收期一般在 1~3 年。

表 1 建筑暖通系统能源监测关键指标及评估标准

监测指标	评估标准	应用领域	监测频率	数据精度要求
能源利用效率 (EUI)	<120kWh/m <sup>2</sup> 年 (公建) <65 kWh/m <sup>2</sup> 年 (住宅)	整体能效评估	月/年	±3%
系统能效比 (COP/EER)	冷水机组 COP>4.5 热泵 COP>3.0	制冷/供暖设备	日/周	±2%
输配系统能效 (kW/RT)	<0.35kW/RT (水系统) <0.9kW/RT (风系统)	泵/风机系统	小时/日	±5%
部分负荷性能 (IPLV)	>5.2 (离心机) >4.5 (螺杆机)	主机性能评估	季节性	±3%
系统运行时间 (小时)	根据实际需求优化	运行策略评估	实时/日	±0.5h
温度分布均匀度 (℃)	变化<±1.5℃	舒适度评估	实时/小时	±0.5℃

在既有建筑改造中应用的能源监测与评估系统主要历经四个阶段，即基准线建立、能耗诊断分析、改造方案确定以及效果验证，在基准线建立阶段，系统会收集不少于 12 个月的能耗数据以构建建筑能耗基准模型，并且在能耗诊断分析阶段，借助对比分析、趋势研究等方法找出能源浪费之处并算出节能潜力，而在改造方案确定阶段，系统能够给出不同技术方案的节能效果预估和

经济效益分析，到了效果验证阶段，依靠测量与验证 (M&V) 方法评估改造的实际节能成效，2020—2023 年的研究表明，2020—2023 年的研究显示，既有建筑改造项目若采用科学的能源监测与评估流程，节能目标实现率达传统方法的 20%~30%之高且投资回收期可缩短 15%~25%。

### 2.2 暖通设备高效替换技术

既有建筑暖通系统改造中，暖通设备高效替换为核心环节，以新型高效低耗设备替换原有低效设备后，系统整体能效就能直接提升<sup>[1]</sup>。设备高效替换主要涉及热源系统、输配系统和末端系统这三个方面，在热源系统上，近几年高效锅炉、热泵系统和分布式能源系统被广泛应用，有数据表明，把传统燃气锅炉换成冷凝锅炉，热效率能提高 15%~20%，使用空气源热泵系统，节能效果比传统电加热系统好 60%~70%，而在合适的地方用上地源热泵，能耗还能降低 40%~50%。

在输配系统中，应用变频技术于改造是成本效益相当不错的措施之一，因为研究显示把固定频率的水泵、风机改成变频控制的，在部分负荷下运行时电能消耗能节省 30%-50%，而且管网平衡优化一般跟变频改造一块做就能有效解决大多数既有建筑都有的“冷热不均”问题。末端系统里，高效风机盘管和辐射供冷/供热系统正在慢慢替代传统末端设备，由于新型风机盘管的效能比传统设备要高 20%~30%且辐射供冷、供热系统和传统对流式系统对比起来能耗能降 15%~40%并且热舒适度还能提高。

近期技术发展趋势表明，设备高效替换朝着集成化、智能化、模块化发展，像集成式热泵系统、一体化能源站这类产品能简化改造施工流程且能让工期缩短 30%~50%，而智能自适应控制系统与高效设备深度结合后可使设备运行状态得到实时优化，模块化设计让设备更新更灵活从而可根据负荷变化调整扩容，2021—2023 年间的很多案例研究表明，使用前述高效替换技术的既有建筑改造项目平均能使暖通系统能耗降低 25%~35%且投资回收期为 3~6 年。

### 2.3 智能控制与管理系统集成

既有建筑暖通系统改造中，智能控制与管理系统的集成是核心部分，可使系统运行达到智能化且管理变得精细，中国建筑科学研究院 2023 年调研的数据表明，有智能控制系统加持的既有建筑暖通系统比传统控制方式平均节能 18%~25%，智能控制系统集成建筑自动化系统 (BAS)、能源管理系统 (EMS) 和物联网 (IoT) 技术后，暖通设备就能协同控制、运行优化并被远程监管，像先进的预测控制算法会依据气象预报、建筑使用规律、能源价格等多方面数据预先调整系统运行参数，在确保室内舒适度的同时达成最优能耗。



近年来,管理系统集成方面的建筑能源大数据分析技术在云平台上有了显著进展,并且2022年发布的《建筑节能与可再生能源利用通用规范》明确规定新建和改造建筑需用智能化手段进行能源监测与管理,将分散的暖通子系统数据整合于统一平台后用人工智能算法分析,就能实现设备故障预警、能效实时评估以及运行策略优化,华东建筑设计研究院2021年的实践表明,在大型公共建筑暖通系统改造时,智能控制与管理系统集成不仅能额外降低8%~12%的能耗,而且投资回收期一般在3~5年,技术经济性良好<sup>[2]</sup>。

### 3 典型案例分析

#### 3.1 公共建筑改造案例

在某个省会城市有一栋2005年建成的政府办公大楼,其建筑面积大概35,000m<sup>2</sup>,2021年对该大楼的暖通系统进行了节能改造,改造之前大楼用的是传统的中央空调系统,包含两台500RT定速离心式冷水机组、四台固定速度的冷却水泵与冷冻水泵、风冷热泵供暖系统以及定风量空气处理系统,这系统的运行能效低下的问题很明显,大楼每年每平米能耗高达198千瓦时,比现代同类建筑标准高多了,并且室内舒适度也不好,各个区域温差还很大。

全面的技术方案被采用,其中涉及三个关键方面,一是热源系统更新,原来的机组被两台350RT高效变频离心机组取代且COP从4.2提高到6.5,原热泵供暖系统变为地源热泵系统并且供暖COP从2.8上升至4.3。二是输

配系统优化,全部水泵换成变频水泵并进行了水力平衡调试,风系统改造成功能风量系统且新增加了用CO<sub>2</sub>浓度传感器来控制新风量的装置。三是智能控制系统升级,安装了基于云平台的楼宇自控系统从而实现了设备运行参数优化、系统联动控制以及能耗的实时监测。

建筑暖通系统经改造后性能显著提升,数据监测结果显示改造后的首年暖通系统能耗就下降了35.8%降到127kWh/m<sup>2</sup>且室内温度均匀性提高了大约60%、用户满意度也从72%上升到93%,经济分析表明项目总投资大概620万每年能节省能源成本约145万投资回收期约为4.3年,这个案例成功的关键是系统性的改造思路,不但替换了核心设备而且优化了系统控制策略还构建起了完善的监测评估体系,项目施行时采用分阶段改造的方式从而最大程度地减少了对正常办公的干扰,这给同类公共建筑的改造提供了一个有价值的参照。

#### 3.2 居住建筑改造案例

某北方城市有一2000年建成的住宅小区,有8栋建筑且总建筑面积约6.5万m<sup>2</sup>,该小区于2022年对集中供暖系统做了节能改造,改造之前小区供热靠市政热网,热力入口只设了简易混水装置,各个楼栋竖向供热不均衡而且没有热计量收费系统,所以供热质量差、居民投诉不断并且能源浪费很严重,监测数据表明供热季平均能耗是32千克标准煤当量每平方米,比当地同类建筑平均水平高25%<sup>[3]</sup>。

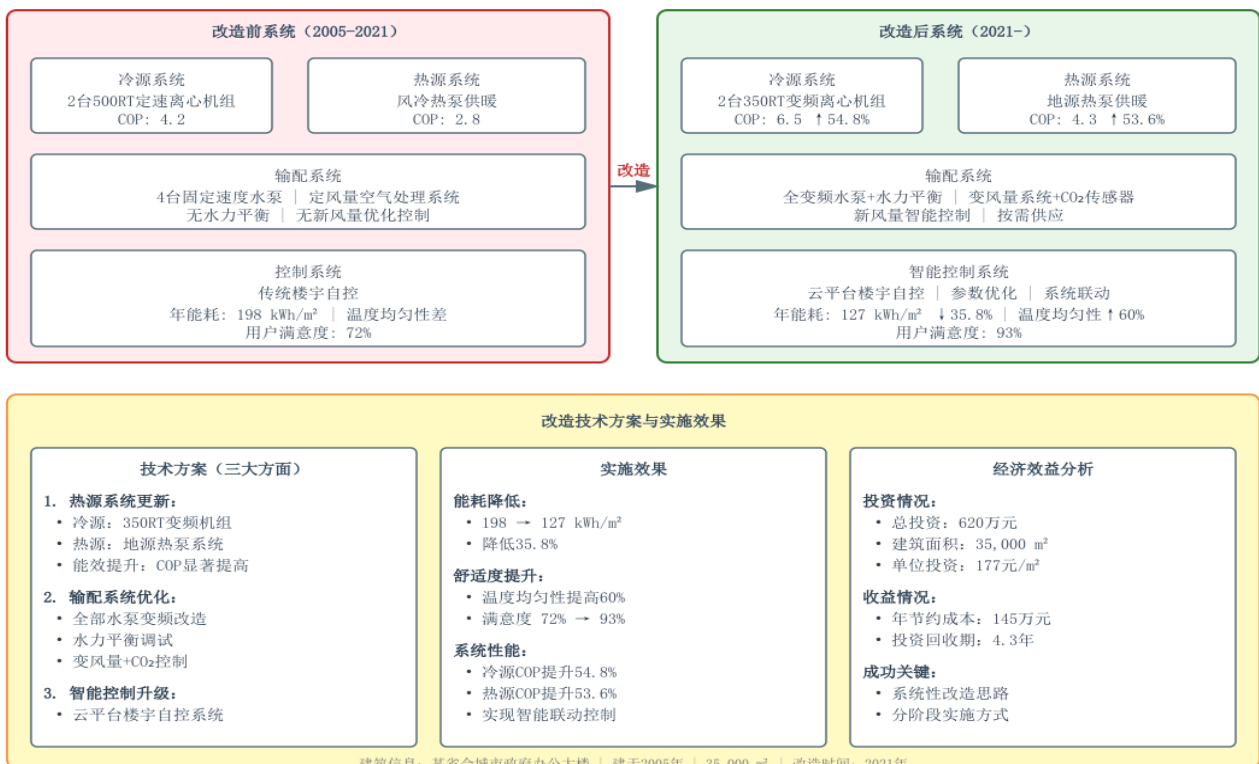


图1 暖通系统改造前后架构对比

改造工程主要采用了三项技术措施,其一是在小区设置智能换热站以代替原来的简易混水系统,从而让供水温度可随室外温度自动调节,其二是全面调试管网系统并安装动态平衡阀和压差控制器来解决水力失调问题,其三则是安装包含超声波热量表、智能温控阀和室温采集终端的分户热计量系统,这样居民就能按需调节室内温度并依据实际用热量付费。

监测数据显示,改造后的首个供暖季,小区供热能耗降至  $23.5\text{kgce/m}^2$ ,较之前大幅降低了 26.6%,楼内温度均匀性明显提高,原本最冷与最热房间温差在  $4\sim 6^\circ\text{C}$  之间,现在则降到了  $1\sim 2^\circ\text{C}$ ,而且居民投诉率大减,下降了 78%,用户满意度上升至 92%,改造项目总共投了大概 520 万,每年能节省大约 125 万的能源成本,若算上政府补贴,投资回收期约为 3.5 年。

这个案例取得成功是因为它重视技术和管理两手抓,在技术方面改造时充分考量既有系统的特性并运用合适的技术有针对性地进行改进,而在管理方面改造之后引进“按需供热、按量收费”的机制让居民节能的积极性被调动起来,并且项目采用“能源托管”模式由专业公司负责系统的运维和能效管理从而保证改造效果能够持续,另外改造的时候还很看重居民的沟通参与工作借助住户代表会议、宣传培训等手段提升用户的接受程度,这给类似居住建筑的改造提供了一个可供借鉴的做法。

## 4 节能效果评估与经济性分析

### 4.1 节能潜力量化方法

要量化既有建筑暖通系统改造的节能潜力得用科学合理的评估方法,所以本研究建立了一个基于能耗基准线比对的量化评估框架,其中确定改造前基准能耗、预测节能量以及验证实际节能效果是三个关键步骤。首先,要通过分析历史能耗数据、做实地测试或者能耗模拟来确立改造前建筑的能耗基准线,并且一般需要收集连续三年的能耗数据以消除气候和使用模式波动带来的影响。其次,要用国际节能效果评估规程(IPMVP)里的选项 C 或者 D 方法预测节能量,这两种方法能将建筑实际运行数据和暖通系统特性参数相结合<sup>[4]</sup>。最后,用像  $\text{kWh/m}^2$  年这样的标准化能耗指标验证改造效果,拿 2020—2023 年的改造项目数据来说,既有建筑暖通系统经综合技术改造后,公共建筑能耗可降低 15%~40%,住宅建筑节能率达 20%~35%,不过具体数值跟改造深度、建筑类型和气候区域关系很大。

### 4.2 投资回收期与经济效益分析

既有建筑暖通系统节能改造投资回收期在 2~8 年之间,这取决于改造技术类型、建筑类型以及能源价格等因素,中国建筑节能协会 2021 年数据表明,锅炉系统替换投资回收期大概 3~5 年、变频技术应用回收期是 1.5~3 年、热泵技术回收期为 4~7 年,从经济效益看,北方有

个办公建筑改造投入资金约 120 万,每年可节约运行费用大概 35 万,投资回收期 3.4 年,改造后 5 年累计净收益达 55 万,并且 2022 年发布的《全国既有建筑节能改造白皮书》数据说明,暖通系统节能改造不但能降低建筑运营成本,而且可提升资产价值 5%~12%,还会产生显著社会效益,例如减少碳排放、改善空气质量、提高用户舒适度等,这些间接效益无法准确计算但在促进建筑可持续发展上意义重大。

## 5 结论

本研究经系统分析得出如下结论:对于建筑高能耗这一问题,既有建筑暖通系统的改造是个有效解决途径,因为综合运用热源系统优化、输配系统改进、末端设备更新以及智能控制系统升级等技术后,能耗可降低 15%~40%。2019—2023 年建筑节能改造项目的数据显示,暖通系统改造于建筑总体节能的贡献率达 35%~50%,所以这是建筑节能改造的重点领域。而案例分析也进一步证明,改造要成功关键在于技术和系统的集成选取得科学合理,并且像热泵技术、变频技术、智能控制系统这些新兴技术一应用,不但能耗大大降低、室内舒适度提高,而且经济效益和环境效益都相当显著。

我国既有建筑暖通系统改造实践推荐采用分阶段且系统化的改造策略,优先选取投资回报期短、节能效果佳的技术措施,并且要依据建筑类型、气候区位、使用特性等因素制定不一样的技术选择策略与施行途径<sup>[5]</sup>。这几年建筑能效标准一直在提高,到 2023 年我国大型公共建筑暖通系统改造市场规模达到 600 亿,年增长率为 15% 还多,可见其市场潜力与发展前景之大。往后随着数字化技术、可再生能源技术和暖通系统深度融合,既有建筑暖通系统改造会向着更智能、更绿色、更集成的方向发展,这对达成“碳达峰、碳中和”目标很有裨益。

### 【参考文献】

- [1]崔少华,付素娟.被动式低能耗建筑节能技术在既有居住建筑节能改造中的应用[J].建设科技,2017(11):31-33.
- [2]葛召深,王静.被动式超低能耗建筑保温系统在既有改造项目中的应用研究[J].建筑技术,2018(4):10-12.
- [3]郝亮,时鹏.既有公共建筑中央空调系统节能改造技术现状及应用[J].节能,2024(8):128-130.
- [4]陈颖,裴浩斐,商佳棋,等.光伏耦合相变蓄热技术在低能耗建筑供暖系统中的应用[J].能源研究与管理,2022(3):98-103.
- [5]路国忠,邓瑜,郑学松,等.玻璃棉板外保温系统在既有建筑节能改造中的应用技术研究[J].墙材革新与建筑节能,2016(1):67-73.

作者简介:冯探(1991.4—),毕业院校:石家庄铁道大学,所学专业:建筑环境与设备工程,当前工作单位:石家庄市建筑设计院有限责任公司,职称级别:高级工程师。

## 生态安全屏障建设下呼伦贝尔水污染治理对策

肖金生<sup>1</sup> 吴文佳<sup>2</sup>

1. 呼伦贝尔市海拉尔生态环境监测中心, 内蒙古 呼伦贝尔 021000

2. 呼伦贝尔市生态环境局鄂温克族自治旗分局, 内蒙古 呼伦贝尔 021000

**[摘要]** 呼伦贝尔是我国重要的生态功能区和北方生态安全屏障, 其水资源状况与区域生态安全和可持续发展息息相关, 所以文中以呼伦贝尔生态安全屏障建设背景下水污染治理问题为研究对象。这几年, 随着工业化、城镇化的进程加快以及气候变化影响加深, 呼伦贝尔地区遭遇水污染变严重、水生态功能退化等严峻挑战。文章经由实地调研和文献分析, 系统地梳理出呼伦贝尔地区主要水体污染现状、污染原因以及治理难题, 例如工矿企业废水排放、农牧业面源污染、生活污水处理不够、水资源管理体制存在缺陷等问题。基于此, 文章站在生态安全屏障建设的战略层面提出全流域综合治理、产业结构优化调整、污染源头控制、生态补偿机制完善、科技支撑能力提升以及多元共治体系构建等系统性的对策建议。研究表明, 呼伦贝尔水污染治理要按照“山水林田湖草沙”生命共同体理念, 秉持生态优先、绿色发展的原则, 在统筹水资源保护与利用的同时强化流域生态系统整体保护, 并且依靠制度创新和技术创新这两个驱动力构建由政府主导、企业为主体、社会参与协同治理的模式, 从而达成水环境质量不断改善并且使生态安全屏障的功能得到有效的提升。

**[关键词]** 呼伦贝尔; 水污染治理; 生态安全屏障; 流域治理; 环境政策

DOI: 10.33142/ucp.v2i6.18563

中图分类号: X826

文献标识码: A

## Countermeasures for Water Pollution Control in Hulunbuir under the Construction of Ecological Security Barrier

XIAO Jinsheng<sup>1</sup>, WU Wenjia<sup>2</sup>

1. Hulunbuir City Hailar Ecological Environment Monitoring Center, Hulunbuir, Inner Mongolia, 021000, China

2. Ewenki Autonomous Banner Branch of Hulunbuir Ecological Environment Bureau, Hulunbuir, Inner Mongolia, 021000, China

**Abstract:** Hulunbuir is an important ecological functional area and northern ecological security barrier in China. Its water resources are closely related to regional ecological security and sustainable development. Therefore, this article takes the water pollution control issue in the context of the construction of Hulunbuir ecological security barrier as the research object. In recent years, with the acceleration of industrialization and urbanization, as well as the deepening impact of climate change, the Hulunbuir region has faced severe challenges such as worsening water pollution and degradation of water ecological functions. The article systematically summarizes the current situation, causes, and governance challenges of major water pollution in Hulunbuir area through field research and literature analysis, such as industrial and mining wastewater discharge, agricultural and animal husbandry non-point source pollution, insufficient domestic sewage treatment, and deficiencies in water resource management system. Based on this, the article proposes systematic countermeasures and suggestions from the strategic level of ecological security barrier construction, including comprehensive management of the entire basin, optimization and adjustment of industrial structure, control of pollution sources, improvement of ecological compensation mechanism, enhancement of scientific and technological support capabilities, and construction of a diversified governance system. Research has shown that the treatment of water pollution in Hulunbuir should follow the concept of a "community of mountains, waters, forests, fields, lakes, grasses, and sands", adhere to the principles of ecological priority and green development, strengthen the overall protection of the watershed ecosystem while coordinating the protection and utilization of water resources, and rely on institutional innovation and technological innovation as the driving forces to build a collaborative governance model led by the government, enterprises as the main body, and social participation, in order to continuously improve water environment quality and effectively enhance the function of ecological security barriers.

**Keywords:** Hulunbuir; water pollution control; ecological security barrier; watershed management; environmental policy

### 引言

在中国东北部内蒙古自治区坐落着呼伦贝尔地区, 这儿有着我国面积最大的草原且湿地生态系统颇为重要, 是我国北方生态安全屏障与战略性生态功能区。该地水资源丰沛, 有像呼伦湖、贝尔湖这样的重要湖泊以及额尔古纳

河、嫩江等诸多河流, 从而形成了独特的“三江平原”水系生态网络, 这些水体不但是区域内水资源供给的主要源头, 更是维持草原、湿地和森林生态系统稳定的要害因素。2021 年内蒙古自治区生态环境状况公报显示, 呼伦贝尔湿地面积超 1700 万亩、水资源总量达 220 亿 m<sup>3</sup>, 为约



330 种鸟类和 86 种鱼类栖息繁衍提供支撑并给 1000 万人生活和生产用水予以保障。

全球气候变化加剧且区域经济快速发展,这几年呼伦贝尔水环境质量遭受严峻挑战,2023 年环境监测数据表明区域内超 25% 的河段水质达不到 III 类标准、主要湖泊富营养化持续加重、地下水超采区面积拓展到 4200 平方公里,并且工矿企业废水排放、农牧业面源污染蔓延、城镇生活污水处理能力欠缺、水资源管理体制机制不合理等诸多问题缠绕在一起,这让呼伦贝尔生态安全屏障功能受到严重威胁,水环境恶化还给当地传统畜牧业、生态旅游和居民健康带来很大负面影响,2022 年估算相关经济损失达 28 亿元,在中央生态文明建设战略部署以及“山水林田湖草沙”生命共同体理念指引下,加强呼伦贝尔水污染综合治理,不但改善区域生态环境质量是当务之急,而且维护国家生态安全、推动北方地区高质量发展也是战略之举。

## 1 呼伦贝尔地区水污染现状及其生态安全影响

### 1.1 呼伦贝尔水资源分布及污染现状评估

呼伦贝尔地区水资源挺丰富的,有大兴安岭西麓和呼伦贝尔高原这两个水系,像额尔古纳河、海拉尔河、嫩江这些重要河流都属于它,并且还有呼伦湖、达赉湖这样的大型湖泊,内蒙古自治区水利厅统计过,这儿水资源总量大概 126 亿  $\text{m}^3$ ,在内蒙古自治区总水资源量里占比 32.4%。不过近些年区域水体污染情况很严重,2022 年环境监测数据表明,呼伦贝尔主要河流里, I-III 类水质断面比例是 72.3%,比 2018 年降了 6.5 个百分点,而且主要湖泊如呼伦湖、达赉湖等都呈现出富营养化态势,水体总氮、总磷浓度一年比一年多涨,有的地方还冒出了蓝藻水华现象,海拉尔河流域中下游及其支流部分监测断面水质达到 IV 类,氨氮、化学需氧量和总磷是主要超标指标。

2020—2023 年呼伦贝尔市生态环境质量报告显示区域地表水污染有如下特点:空间分布并非均匀,像满洲里、海拉尔等城市的周边以及城镇周边和工业集中区水质欠佳且这些地方水体中的污染物浓度比其他区域高很多,并且季节性波动相当突出,每到春季融雪的时候和夏季下雨的时候污染物浓度就会达到峰值从而体现出非点源污染影响重大,此外污染物主要是有机污染和营养盐污染,部分采矿区还存在重金属污染情况,并且需要注意的是由于气候变化降水减少了、蒸发增加了从而使区域水资源总量在减少进而让水环境容量不足的问题更严重了。

### 1.2 水污染对区域生态安全屏障功能的威胁

我国北方关键生态安全屏障——呼伦贝尔的水环境质量下降给区域生态系统带来了多方面影响,因为水污染让湿地生态系统严重退化,研究显示 2018—2022 年期间像呼伦湖、额尔古纳湿地这些重点湿地面积减少了大概 8.6% 且沼泽化和盐碱化的势头更猛了,并且监测数据表

明水质变差的地方湿地植被覆盖率平均下滑了 15%~20%、生物多样性指数降低了约 22%,同时水生生物群落结构也发生了很大改变,敏感物种少了而耐污种多了,就拿呼伦湖来说鱼类资源大幅减少,鲤科这种经济价值高的鱼类种群密度跟 10 年前比大约降了 35% 而鲫鱼等耐污能力强的比例却上升了<sup>[1]</sup>。

区域野生动物安全与生态系统健康也因食物链传递和生物放大作用下的水污染而受到威胁,呼伦贝尔作为东北亚重要候鸟迁徙通道与繁殖地,水环境恶化已经影响了部分水鸟的栖息和繁殖,2021 年监测表明呼伦湖区域鸟类种群数量跟 2015 年相比大约下降了 18.7%,其中依赖清洁水体的珍稀鸟类数量减少尤其显著,并且污染物在食物链中累积的情况在当地水生生物体内已被检测出来,例如某些鱼类体内重金属含量超出食品安全标准,这间接威胁着人类健康和粮食安全。

生态系统服务功能角度下,区域水源涵养、气候调节、生物多样性维持等关键生态功能因水环境质量恶化而被显著降低,并且生态学家评估过,过去五年呼伦贝尔湿地生态系统服务功能价值约减少 12.4%,这对当地生态安全有影响,也让整个东北亚地区生态安全面临潜在威胁。

## 2 生态安全屏障建设背景下的水污染治理挑战

### 2.1 跨区域水污染治理的协调机制不足

呼伦贝尔水系复杂且其流域跨越很多行政区域,所以现有治理体系里的区域协调机制缺失成为水污染综合治理的主要阻碍,在行政方面内蒙古自治区、黑龙江省还有俄罗斯等多个行政主体都与呼伦贝尔地区的水资源管理、污染控制有关并且它们各自的环境政策、标准和执法体系不一样,环境治理数据表明 2019—2023 年由于没有有效的跨区域流域管理协调机制使得流域上游污染排放和下游水质目标严重脱节从而部分治理成果被抵消,就拿额尔古纳河流域来说上游矿产开发和工业活动排出的污染物对下游水质有直接影响但因行政分割责任划分不明朗导致上下游很难建立有效的联防联控机制。

从技术方面来讲,跨区域水环境监测系统的整合程度不高且数据共享机制不通畅。到 2023 年的时候,呼伦贝尔流域内不同行政区域的监测标准、指标体系以及评价方法不一样,这使得跨区域水质数据缺乏可比性从而难以构建统一的流域水环境评价体系。研究显示,流域内水质监测点位的布局不合理,并且一些重要断面与敏感区域监测频次低,监测数据在时空分辨率上有所欠缺,不能为精准治理决策提供支撑<sup>[2]</sup>。另外,跨境水污染联合监测和预警机制还不够完善,中俄两国在环境数据共享以及污染应急处理方面的合作有很大提升空间,在重金属这类特征污染物的监测和溯源方面,国际合作急需加强。

### 2.2 产业结构与污染治理的矛盾

呼伦贝尔地区的产业结构和水污染治理存在着明显

矛盾,因为该区域的经济在很大程度上依旧依靠资源开发以及初级加工业,而这些产业用水量大、污染严重,内蒙古自治区统计局的数据显示,2022 年呼伦贝尔市煤炭、有色金属、化工、造纸等高污染行业的产值占全市工业总产值达 47.3%,且大多位于重要水源地附近,它们不但排出大量工业废水,还借由大气沉降等方式间接污染水体,采矿业更是如此,它既污染地表水又破坏地下水系统,致使局部地区地下水水位降低、水质变差,2020—2023 年期间采矿区周边地下水监测井检测出重金属超标率达 32.6%之高。

呼伦贝尔地区水污染治理因产业结构调整落后与生态保护亟需之间存在矛盾而陷入两难,若严格执行环保标准,短期或许会使经济下行压力变大且可能引发就业问题,而若放宽环保要求,则会进一步破坏生态环境并影响生态安全屏障功能,所以在确保经济社会稳定发展之际推进产业绿色转型就成了区域水污染治理面临的最核心挑战。

### 2.3 现有治理技术与生态保护要求的差距

呼伦贝尔地区现有的水污染治理技术跟生态安全屏障建设的高标准要求有着很大差距,传统“末端治理”这种技术路径在面对复杂区域水环境问题时就显得很吃力,并且到 2023 年,区域内污水处理设施大多运用常规活性污泥法这类传统工艺,对氮磷等营养物质以及新型污染物的去除效率不高,低温季节处理效率还显著降低,监测数据表明,冬季污水处理厂出水总氮、总磷去除率平均比夏季低 15~20 个百分点,而且乡镇污水处理设施过于简易,小型分散式污水处理技术应用不够,致使农村地区水环境治理效果不好。

呼伦贝尔特殊的生态环境条件使得缺乏适应性强且经济可行的治理技术,并且区内湿地修复、河湖连通、水生态系统重建等生态治理技术研究较为落后,难以满足修复生态安全屏障功能的需求,就像呼伦湖等高寒地区湖泊富营养化时现有治理技术在低温下效果不佳以及煤矿区酸性矿山废水和重金属污染方面缺少经济适用的原位修复技术一样,此外水环境监测与预警技术水平也不足,在全流域水质动态监测、污染源精准识别和生态系统健康评估等技术支撑上比较弱,很难给科学决策及时准确提供数据支持。

## 3 呼伦贝尔水污染综合治理对策

### 3.1 构建适应生态安全屏障建设的水环境治理体系

我国北方重要生态安全屏障是呼伦贝尔地区,所以得构建与其生态功能定位和环境特征相匹配的水环境治理体系。近年数据表明,2019—2023 年期间,呼伦贝尔水环境管理体制存在分割治理、部门协调差等问题从而使得治理效率低<sup>[3]</sup>。要构建以生态安全屏障为导向的水环境治理体系,就得先建立流域统一管理机构,打破行政区划界限,让呼伦贝尔草原、大兴安岭林区等生态系统一体化得到保护与治理。环保部门 2022 年发布的水环境质量报告

中提到,建立跨行政区水环境联防联控机制的区域,水质达标率提升了 23.7%,所以应该整合水利、环保、农业、林业等部门职能并成立流域管理委员会来统筹区域水资源保护、水污染防治以及水生态修复等工作。

得建立起长效资金保障以及多元投入机制,内蒙古自治区环保厅统计过,2021—2023 年呼伦贝尔水环境综合治理资金大多靠中央专项转移支付和地方配套资金,可这跟实际需求比起来还有很大缺口,所以得构建中央财政引导、地方政府为主体、社会资本参与的多元化投入机制,把生态补偿资金、环保税收等多方面资金都统筹到水环境治理上来,并且要完善环境监测网络体系,强化水环境质量的实时监测与信息共享工作,构建起覆盖重点河流湖泊的自动监测站网络,提升监测数据的时效性与准确性,给水环境治理决策提供科学依据,监测表明,2023 年呼伦贝尔建的 28 个水环境自动监测站已能对 80% 重要水体进行实时监控,在水污染治理中起到了重要作用。

### 3.2 水污染源头控制与产业转型策略

对于呼伦贝尔地区的水污染治理而言,系统治理的关键在于源头控制且必须紧密联系产业转型升级,2019—2023 年期间该地区工业废水排放量每年达 1.2 亿吨且矿业、造纸、化工等用水多污染重的行业占了 65%,所以要针对工业污染源实行最严格的排放标准和环境准入制度并尽快淘汰落后产能以促使产业朝着绿色低碳发展,内蒙古生态环境厅 2022 年的数据显示推行清洁生产技术改造后的企业废水排放量平均降了 32%且污染物浓度也降低了 40%还多,因此循环经济模式应该被推广并且企业要被鼓励进行清洁生产审核以及构建工业废水循环利用系统从而在源头上削减污染物的产生和排放。

农牧业面源污染方面,2021—2023 年期间呼伦贝尔农业化肥每年大概施用 24.8 万 t 且畜禽养殖废水排放量约为 5300 万 t,这使得它成为区域内水体氮磷污染的一个重要源头,所以要大力推广生态种植模式以削减化肥农药使用量并发展有机农业,规范畜禽养殖业废弃物处理且开展粪污资源化利用工作来打造生态型牧场。有数据显示,2023 年呼伦贝尔地区实行畜禽粪污资源化利用项目后养殖区域的面源污染负荷降低了 28.5%,此外城镇生活污水处理设施的建设急需加强,在乡镇和农牧区要推广适用于寒区的分散式污水处理技术以提升农村牧区生活污水收集处理率进而构建起全覆盖、多层次的污染控制系统。

### 3.3 适应区域特点的水污染治理技术选择与应用

呼伦贝尔地区气候严寒且生态系统脆弱,所以要选择能适应当地独特自然条件的水污染治理技术。环保部门 2020—2023 年的监测数据表明,传统污水处理技术在低温下(冬季气温低于-30℃时)处理效能平均下滑 35%且微生物活性受到明显抑制,因此对于寒冷地区的污水处理技术难题,得加强低温耐受微生物菌种的筛选和驯化研究

以开发出适用于北方寒区的污水生物处理工艺<sup>[4]</sup>。内蒙古环科院 2022 年的研究显示,用耐寒菌群强化后的 A<sup>2</sup>/O 工艺在-20℃的时候还能保持 80% 以上的 COD 去除率以及 65% 的氮磷去除效率,并且要结合当地的能源结构特色推广污水处理与热能回收一体化技术,从而降低系统的运行能耗并提升寒区污水处理的经济可行性。

呼伦贝尔草原湖泊存在富营养化问题,近五年数据表明像呼伦湖、达赉湖这样的重点湖泊其富营养化指数一直在上升且湖泊生态系统服务功能也明显退化了,所以得运用生物与生态工程相结合的修复技术,例如构建人工湿地系统、恢复水生植物、使用生物操纵技术之类的来增强湖泊自身的净化能力。2021 年开展的呼伦湖生态缓冲带建设工程显示出构建梯级湿地系统后入湖河流氮磷负荷可降低 45% 且湖岸带生物多样性指数能提高 32%。对于矿区酸性废水以及重金属污染问题,可以采用像石灰石渠道、厌氧湿地这类的被动处理系统并加上新型吸附材料技术以达成废水长久稳定的处理效果。选择这些技术要按照生态优先、就地取材的原则办,从而形成符合呼伦贝尔区域特性的水污染治理技术体系。

#### 4 结论

保障区域生态安全屏障功能,呼伦贝尔水污染治理是

重要一环,所以要依据区域自身特点,统筹推进治理举措。研究显示,解决呼伦贝尔水污染问题的关键在于构建契合生态安全屏障建设需求的水环境治理体系、推行水污染源头管控和产业转型、挑选适合区域特点的水污染治理技术以及创新基于生态系统服务的治理模式。采取流域统一管理、多元化资金保障、产业绿色转型、污染源头控制、因地制宜技术应用以及生态系统整体修复等综合手段,能有效提升呼伦贝尔地区水环境质量,强化生态系统服务功能,达成生态安全屏障建设与区域可持续发展的有机融合。

#### 【参考文献】

- [1]全渊康,许嘉馨,陈平权.水污染治理技术在生态修复中的应用研究[J].现代工程科技,2025,4(17):65-68.
- [2]许莹.生态恢复技术在水污染治理中的创新应用[J].皮革制作与环保科技,2025,6(11):86-88.
- [3]庄建林.水污染引发的生态问题及区域治理政策研究[J].皮革制作与环保科技,2025,6(10):127-129.
- [4]贾苑春.水污染治理新技术在生态修复中的应用[J].清洗世界,2025,41(6):151-153.

作者简介:肖金生(1989.7—),男,毕业院校呼伦贝尔学院,所学专业环境科学专业,当前就职单位呼伦贝尔市海拉尔生态环境监测中心,职务副主任,职称级别工程师。



# 信息化助力环保技术咨询服务质量提升的路径分析

王先琴

安徽伊尔思环境科技股份有限公司, 安徽 合肥 230088

**[摘要]**随着对环境保护以及可持续发展方面需求的持续增加, 环保技术咨询在企业以及政府部门开展环境管理相关工作时, 正发挥着颇为重要的作用。近些年来, 信息化技术在该行业当中的应用程度逐步加深, 有一部分咨询机构借助数据采集、数据分析、数据管理以及数据可视化展示等一系列操作, 使得所提供的服务在科学性、准确性以及效率等方面都得到了提高, 进而能够为客户给出更为可靠且有效的决策支持。不过从整体情况来看, 这个行业依旧存在着服务质量呈现出参差不齐的状况、流程规范性有所欠缺、数据整合与共享所达到的水平较为有限以及智能化应用不够充分等诸多问题, 这些问题的存在对咨询服务的整体成效以及客户的满意度均产生了不利的影响。所以, 全面且细致地分析行业当前的实际状况, 归纳总结其中存在的各类问题的特点, 以此来为依靠信息化手段提升环保技术咨询服务质量的相关事宜给予一定的参考依据以及相应的指导, 这无疑有着十分重要的实际意义。

**[关键词]**信息化; 环保技术咨询; 质量提升; 提升路径

DOI: 10.33142/ucp.v2i6.18558

中图分类号: TP393

文献标识码: A

## Path Analysis of Information Technology Assisting in Improving the Quality of Environmental Protection Technology Consulting Services

WANG Xianqin

Anhui Yiersi Environment Technology Co., Ltd., Hefei, Anhui, 230088, China

**Abstract:** With the continuous increase in demand for environmental protection and sustainable development, environmental technology consulting is playing a significant role in environmental management related work carried out by enterprises and government departments. In recent years, the application of information technology in this industry has gradually deepened. Some consulting firms have improved their services in terms of scientificity, accuracy, and efficiency through a series of operations such as data collection, data analysis, data management, and data visualization display, thereby providing customers with more reliable and effective decision support. However, overall, there are still many problems in this industry, such as uneven service quality, lack of standardized processes, limited level of data integration and sharing, and insufficient intelligent applications. These problems have a negative impact on the overall effectiveness of consulting services and customer satisfaction. Therefore, a comprehensive and detailed analysis of the current actual situation in the industry, summarizing the characteristics of various problems that exist, and providing certain reference and corresponding guidance for improving the quality of environmental protection technology consulting services through information technology, undoubtedly has significant practical significance.

**Keywords:** informatization; environmental technology consulting; quality improvement; improving path

### 引言

随着社会经济不断发展以及环境保护方面的需求持续提升, 环保技术咨询已然成为推动企业以及政府部门开展环境管理工作、实施污染防治举措以及达成可持续发展目标的关键手段, 其服务质量的好坏直接影响到环境治理的实际效果以及相关政策落实所取得的成效。当下, 环保技术咨询行业面临着诸多挑战, 比如数据量颇为庞大、信息情况较为复杂、技术层面的要求颇高, 再加上客户需求呈现出多样化的态势, 传统的那种依靠人工进行管理并且凭借经验做出判断的服务模式已经很难契合高效、科学且精准的服务要求了。在此情形下, 信息化技术得以广泛运用, 这给提升环保技术咨询服务质量带来了全新的契机。借助数据管理、流程优化、客户沟通以及决策支持、标准

化和智能化建设等一系列信息化手段, 咨询机构可达成信息资源的整合目的、促使业务流程走向规范化、让分析决策变得更为科学以及使服务成果实现可视化, 进而大幅提升服务的效率、准确性以及专业程度。与此信息化还能推动跨部门、跨地域的信息共享与协同合作, 打破传统服务里存在的信息孤岛状况, 提升咨询服务的透明度并提高客户的满意度。基于上述情况, 本文着重对信息化在环保技术咨询当中的作用展开系统分析, 对行业服务质量的现状以及存在的问题予以梳理, 并且深入探讨信息化提升服务质量的具体途径, 希望能够为环保技术咨询行业的科学化、智能化发展给予理论方面的参考以及实践层面的指导。

### 1 信息化在环保技术咨询中的作用

信息化在环保技术咨询中发挥着多方面的重要作用,

贯穿数据采集、污染监控、公众参与、智慧城市建设、资源优化、决策支持及政策制定等各个环节。在环境监测方面,通过传感器、卫星遥感及互联网通信技术,实现空气、水质、土壤等数据的实时采集和远程管理,并利用大数据和人工智能分析规律,为科学决策提供依据。在污染源监控中,信息化可实时监测企业排放和移动污染源,并在突发环境事件中快速启动应急预案,提高响应效率。在公众参与方面,通过信息公开、互动平台和宣传教育,增强社会监督和环保意识。信息化还支撑智慧环保城市建设,如智能加药系统和 AI 监测预警,提高处理效率、节约成本,并将资源优化应用于智能电网、智慧农业和远程办公等领域,实现绿色低碳管理。同时,借助大数据模拟和 AI 辅助决策,能够精准预测环境变化、优化政策方案,并通过物联网和 RFID 技术提升循环经济与资源管理效率,减少浪费。最终,信息化为政策和标准制定提供实时、准确的数据支撑,推动节能减排和绿色技术应用,实现环保技术咨询服务的科学化、智能化和高效化发展。

## 2 环保技术咨询服务质量现状分析

### 2.1 服务质量评价指标体系

环保技术咨询服务质量评价指标体系作为衡量咨询机构服务水平及效果的关键标尺,乃是剖析服务当下状况的根本依据。在具体的应用情形当中,评价指标往往会涉及诸多不同层面,像服务流程所呈现出来的规范程度、技术方案具备的科学特性、信息采集以及数据分析达成的准确程度、咨询成果拥有的实用性质与可操作性、客户沟通还有反馈体现出来的及时程度、项目管理以及执行方面的能力状况,另外还有遵守相应法律法规以及环保标准的具体情况<sup>[1]</sup>。与此对于服务质量的评价同样需要留心咨询服务所具有的创新力、技术给予支持的力度、风险识别以及控制的能力状况,以及服务为客户决策以及环保成效实际起到的贡献程度等方面的情况。

### 2.2 当前环保技术咨询服务质量现状

当前我国环保技术咨询服务质量发展态势良好,但区域及机构间差异明显,部分大型咨询机构依靠丰富经验、先进工具、高素质团队,能提供系统科学的环保技术解决方案,在技术深度、数据分析、项目管理、客户响应等方面表现不错,然而不少中小型机构在服务流程、技术方法、资源整合能力上有欠缺,环保技术咨询服务质量在技术方案科学性、数据采集分析准确性、成果报告完整性、客户需求响应及时性等方面差距较大,一些机构在专业技术能力和创新能力上还有提升空间,部分服务在实际应用中难以完全满足企业或政府部门决策需求。

### 2.3 服务质量存在的主要问题

当前环保技术咨询服务质量在发展进程中依旧存有若干问题,这些问题对整体服务质量的提升产生了影响。部分咨询机构的技术能力以及专业水平存在着很大的差异,有

一部分人员缺少系统的环保专业知识以及实践经验,这就致使技术方案在科学性以及可操作性方面有所欠缺。服务流程管理不够规范,信息采集、数据分析以及成果报告的标准化程度比较低,部分项目存在资料不完整、分析不够深入或者结论缺乏可执行性等情况。客户沟通以及需求对接环节也存在一些不足,部分咨询机构在了解客户实际需求、提供定制化解决方案以及及时反馈等方面存在滞后的情况,这影响了服务的针对性以及满意度。行业整体信息化水平也有很大差异,数据整合、共享以及应用能力有限,这使得服务在决策支持、风险评估以及预警预测方面的作用难以得到充分发挥。

## 3 信息化助力环保技术咨询服务质量提升的路径

### 3.1 信息化在数据管理与分析中的应用

信息化于数据管理及分析方面的应用,乃是提升环保技术咨询服务质量的关键所在,亦是达成科学决策与精细化管理的重要助力。在环保技术咨询进程当中,咨询机构所面临的诸多数据来源颇为广泛且类型繁杂,像监测站点的实时环境数据、企业排放数据、实验室检测数据、政策法规信息、地理信息系统数据还有第三方环境信息平台的数据等,这些数据常常存在着格式并非统一、时效性欠佳、质量参差不齐等问题<sup>[2]</sup>。借助信息化手段,便能够把这些异构数据予以标准化处理并加以统一管理,构建起高效且可靠的数据库,达成数据的结构化、可查询、可追溯以及可分析的状态。在数据分析这个环节,凭借大数据分析、统计建模、机器学习以及可视化技术,咨询人员可以深入地去挖掘数据背后所蕴含的规律与趋势,针对污染源分布、排放变化、环境风险以及政策实施效果展开全面的评估,进而实现对环境问题的精准定位以及科学预测。信息化还可支持从多维度、跨区域层面开展数据对比与关联分析,使得咨询方案不只是依靠历史数据,而且能够结合实时监测信息来实施动态调整,以此提升方案的科学性以及可操作性。与此信息化平台一般都配备了完善的数据安全、权限管理以及版本控制机制,以此确保数据的完整性、准确性以及安全性,进而为咨询机构给予规范化、标准化以及智能化的技术支撑。

### 3.2 信息化在服务流程优化中的应用

信息化于服务流程优化方面的应用,乃是提升环保技术咨询服务质量效率以及质量的关键路径。其借助数字化、智能化的方式,针对咨询服务各个阶段展开规范化的管理举措,并且加以优化与改进。在具体的操作进程中,信息化可将咨询项目涵盖的需求调研环节、数据收集环节、分析处理环节、方案设计环节乃至报告撰写环节以及反馈环节的整个过程予以系统化的管理,达成任务分配、进度监控、质量控制还有成果归档这全流程的数字化追踪效果。构建起统一的项目管理平台之后,咨询机构便能够实时知晓各个项目的执行状况、关键节点以及潜在的风险情况,进而

及时地去调整资源配置以及工作计划安排,以此来提高项目执行所具有的透明程度以及协同方面的能力。与此信息化技术还能够支持流程的自动化,比如可以自动生成数据分析报表、智能地提醒关键的时间节点、给出模板化的技术方案作为参考依据,如此一来便能够降低人工操作出现的错误比率以及重复性的劳动强度,提升工作的整体效率<sup>[3]</sup>。除此之外,在流程优化当中,信息化还能够实现跨部门、跨团队的协同作业,冲破信息孤岛的限制,确保数据、成果以及沟通记录能够得到统一的管理,让不同环节工作的人员可以实时共享信息并且协作做出决策。

### 3.3 信息化在客户沟通与决策支持中的应用

信息化于客户沟通以及决策支持当中的应用,实乃提升环保技术咨询服务的价值与有效性极为关键的一个环节。其借助数字化平台、信息系统还有智能工具,达成咨询机构和客户之间信息的高效传输以及互动,进而为科学决策给予可靠的数据支撑。在实际的操作进程中,信息化手段可以把与项目有关的监测数据、分析得出的结果、技术方案以及政策法规方面的信息实时地呈现给客户,让客户能够直观且较为完整地知晓项目推进的情况以及环境的实际状况,以此来强化沟通所具有的透明程度以及及时性。与此凭借着可视化技术、在线协作平台以及数据共享工具,客户可以直接参与到数据分析以及方案的讨论当中,达成多方的信息交互以及反馈意见的收集,提升咨询方案所具备的针对性以及可操作的程度。就决策支持来讲,信息化系统凭借数据建模、风险评估、趋势预测以及情景模拟等方式,为客户给出科学且量化的分析结果,助力其去评估不同技术方案的可行程度、所产生的环境影响以及带来的经济效益,从而为战略决策以及政策制定给予有力的支持。信息化还能够构建起知识库以及决策支持系统,把历史项目的相关经验、技术规范以及分析方法加以归集并实现智能化的应用,使得客户在面临复杂的环境问题之时,可以迅速获取到可供参考的信息以及优化方面的建议,提高决策所具有的科学性质以及效率水平。

### 3.4 信息化在标准化与智能化建设中的应用

信息化于标准化以及智能化建设方面的运用,乃是提升环保技术咨询品质以及整个行业水准的关键路径。其借助构建统一的标准体系、规范业务流程并引入智能化技术的方式,达成咨询服务的规范化、系统化以及高效化目标。在实际操作进程中,信息化可针对环保技术咨询的各类数据、流程以及成果展开标准化管理,包括数据采集格式、分析方法、报告模板、技术指标以及评价体系等方

面的统一,以此确保不同项目、不同机构之间具备可比性与一致性,降低因方法存在差异或者操作不够规范而产生的误差与偏差。与此智能化建设依靠人工智能、大数据分析、机器学习以及知识图谱等技术,把标准化的流程和数据加以深度整合,实现自动化分析、智能化预测以及辅助决策,使得咨询过程中出现的重复性劳动、低效操作以及人为干扰大幅度削减<sup>[4]</sup>。信息化平台还能助力标准化知识库与经验库的建设,将历史项目的经验、技术规范、政策法规以及最佳实践实施系统化管理,为咨询人员给予智能化参考以及方案优化建议,提高服务的科学性与准确性。借助智能化工具与系统,咨询机构能够达成对服务全过程的实时监控、异常预警以及动态调整,提升项目执行的可控性与响应速度,进而保障服务质量之余,提高客户满意度与决策效率。

## 4 结束语

信息化在环保技术咨询当中有着不可或缺的支撑作用,其借助数据管理及分析、服务流程优化、客户沟通与决策支持以及标准化与智能化建设等方式,切实提高了服务的科学性、规范性以及效率,在实际运用方面,信息化不但可达成数据资源整合与共享,提升咨询方案的精准性与可操作性,而且能优化服务流程、强化客户参与以及决策支持能力,给行业给予可靠的技术与信息保障,虽说当下依旧存在着服务水平参差不齐、流程规范性欠缺、数据共享范围有限以及智能化应用不够充分等问题,不过伴随信息技术持续发展并不断深入应用,环保技术咨询服务的希望实现更高层次的标准化、智能化与数字化发展,进而提升整体服务品质与客户满意度,促使环保咨询行业朝着科学化、智慧化与可持续发展方向前行,为环境保护以及社会可持续发展筑牢坚实支撑。

### 【参考文献】

- [1]宋孝军,闫默.信息化助力环保技术咨询服务质量提升的路径分析[J].中国信息化,2025(9):132-133.
- [2]陈伟.16 世纪江南造船技术理论化及其历史影响[D].苏州:苏州大学,2011.
- [3]董玥.浅析信息化助力土木工程管理[J].现代物业(中旬刊),2019(3):134.
- [4]桑长波.信息化在机电制造企业安全环保管理中的应用探讨[J].科技创新与应用,2024,14(26):185-188.

作者简介:王先琴(1989.8—),女,安徽省安庆市,汉族,硕士研究生,环境影响评价工程师,就职于安徽伊尔思环境科技股份有限公司,从事环境影响评价工作。



Viser Technology Pte. Ltd.

公司地址

195 Pearl's Hill Terrace, #02-41, Singapore 168976

官方网站

[www.viserdata.com](http://www.viserdata.com)

