www.viserdata.com

城市建设与规划

月刊

URBAN CONSTRUCTION AND PLANNING

■ 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 3

第2卷　总第9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3期（总第9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：月刊

出版时间：3月

期刊网址：www.viserdata.com

投稿/查稿邮箱：viser-tech@outlook.com

地　　址：111 North Bridge Rd, #21-01 Peninsula Plaza, Singapore 179098

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

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

智能照明系统在住宅节能中的应用与优化策略..... 吴冠飞 1
桥梁工程“T”梁施工技术浅析..... 杨　建 4
建筑土木工程中智能施工技术及其应用..... 欧家文 10
BIM技术在建筑装饰装修工程中的应用研究 . 于　强 13

建筑设计

医疗建筑的弹性设计和可持续更新探讨 .... 张　鑫 16
绿色建筑评价体系在建筑设计中的应用与实践 ..... 武梦磊 19
现代医疗建筑设计中的人性化设计探讨 .... 洪庆胜 22
现代医疗建筑公共空间的人性化设计探索... 庄巧莉 25
浅谈住宅建筑设计中“合规不合理”的常见问题..... 李媛媛 28
健康视域下高校学生宿舍优化设计研究 .... 谢　晶 31
优化技术在房屋建筑结构设计中的研究与应用 ..... 李水明 34
城市街区中公共空间界面在建筑设计中的引导作用研究 ..... 阿依谢姆·艾则孜 37

城市建设

智慧城市背景下的城乡规划创新路径研究... 乔　斐 40
城市道路中央分隔带绿化植物配置模式研究 . 付丽娜 43

城市规划

“多规合一”下国土空间规划中实用性村庄规划技术分析 ..... 蒋　颖 46
城市道路工程中地下综合管廊与道路一体化协同设计 .. .. 孟　强 50
地铁轨道通风系统技术分析与优化策略研究 . 梁日旺 53

路桥工程

城市轨道交通接触网供电故障及定位方法的研究..... 何承乾　高　伟 57
道路建设中绿色施工技术与可持续发展研究..... 杜　彪 61

UPAVE-10 改性沥青混合料在国内高速应用性研究资料. ..... 王民警 64

电气仪表

智能电网需求下电器成套设备故障诊断系统的开发与实践 ..... 邹　青　程静泰 68
智能电表推广对居民用电行为的影响研究 ..... 张　恒　沈晓敏 71
互联网背景下的电气自动化技术应用中的节能设计研究 ..... 李　淼 74
变电站选址的方法和在电网建设中的作用 ..... 谷　裕　赵　航 77
计算机技术在电气工程中的应用 ..... 许国生 80
数字化技术在电器成套设备装配工艺优化中的应用探索 ..... 程静泰　邹　青 83

工程管理

EVE 装配式空心板叠合剪力墙结构施工过程中的质量控制研究 ..... 高良柱 86
电力用电信息采集系统在电力计量中的运用研究 ..... 王　毅 93
论在建筑工程管理中现代工程技术的分析 ..... 曹玉鹏　黄一峻　郁晨涛　曹卫东 97
建筑工程造价全过程控制中的问题以及解决对策 ..... 惠述清 101
输变电工程施工管理的难点及对策分析 ... 丘晓卿 104
既有建筑改造项目施工质量控制及安全管理 ..... 李会明 107

勘察测绘

人工智能在岩土工程勘察领域的应用 ..... 黄北圪　吴林斌 110

节能环保

垃圾填埋场渗滤液污染控制工艺优化设计 ... 缑高鹏 113
环保型暖通设备的研发及应用前景探究 ..... 玛依热·阿布都热依穆 116

智能照明系统在住宅节能中的应用与优化策略

吴冠飞
中铁建安工程设计院有限公司，河北 石家庄 050043

[摘要]随着能源问题的日益突出，智能照明系统在住宅节能领域的应用受到广泛关注。文中阐述了智能照明系统在住宅中的节能原理，分析了其在实际应用中面临的问题，如系统兼容性、成本投入与节能效果平衡等，并提出了优化策略，包括技术升级、用户教育、政策支持等方面。
[关键词]智能照明系统；住宅节能；应用；优化策略
DOI：10.33142/ucp.v2i3.16743 中图分类号：TU241 文献标识码：A

Application and Optimization Strategy of Intelligent Lighting System in Residential Energy Conservation

WU Guanfei
China Railway Jian'an Engineering Design Institute Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050043, China

Abstract: With the increasingly prominent energy issues, the application of intelligent lighting systems in the field of residential energy conservation has received widespread attention. The article elaborates on the energy-saving principles of intelligent lighting systems in residential areas, analyzes the problems they face in practical applications, such as system compatibility, cost investment, and energy efficiency balance, and proposes optimization strategies, including technology upgrades, user education, policy support, and other aspects.
Keywords: intelligent lighting system; residential energy conservation; application; optimization strategy

引言

在当今社会，能源消耗问题成为全球关注的焦点，住宅作为人们生活的主要场所，其能耗占据了相当大的比例，其中照明能耗尤为突出。研究智能照明系统在住宅节能中的应用与优化策略，不仅有助于降低住宅能耗，还能推动可持续发展，具有重要的现实意义。本文将深入探讨智能照明系统在住宅节能中的应用现状、问题及优化策略，以期为住宅节能提供有益的借鉴。

1 智能照明系统在住宅节能中的应用现状

智能照明系统通过传感器、控制器和通信网络等技术手段，实现了对照明设备的智能化控制。在住宅环境中，该系统能够根据室内外光线强度、人员活动情况等因素自动调节灯光亮度，从而避免不必要的照明能耗。在白天自然光线充足时，系统可以自动降低室内灯光亮度，甚至关闭部分灯具，以充分利用自然光；而在夜间或光线较暗时，系统则根据实际需求自动调节灯光亮度，确保照明效果的同时最大限度地节约能源。智能照明系统还支持远程控制功能，用户可以通过手机等终端随时随地控制家中的照明设备，进一步提高了照明系统的灵活性和节能效果。这种智能化的控制方式不仅提升了用户的使用体验，还为住宅节能提供了新的解决方案。

目前，智能照明系统在一些高端住宅和新建住宅小区中得到了应用，但其普及程度仍然有限，主要集中在部分经济发达地区和对节能有较高要求的住宅项目中。在这些项目中，智能照明系统不仅实现了节能目标，还提升了住宅的舒适性和科技感，受到了用户的认可和好评。在推广过程中也面临着一些问题。系统安装和维护成本较高，包括设备购置、安装调试以及后期维护等费用，这使得一些用户望而却步。特别是对于一些老旧小区改造项目，高昂的改造成本成为制约智能照明系统应用的重要因素。用户对新技术的接受程度不一，部分用户可能对智能照明系统的操作不够熟练，导致系统不能充分发挥其节能功能，甚至出现误操作增加能耗的情况。智能照明系统的可靠性也有待提高，在一些复杂环境下，系统可能出现故障或通信中断等问题，影响正常照明功能，进而影响用户的使用体验和节能效果。

智能照明系统的市场前景广阔，随着技术的不断进步和成本的逐渐降低，其在住宅节能中的应用有望进一步扩大。未来，智能照明系统将更加智能化、个性化，能够更好地满足用户的需求。通过人工智能和大数据技术，系统可以学习用户的使用习惯，自动调整灯光模式，提供更加舒适的照明环境。随着物联网技术的发展，智能照明系统将与其他智能家居设备深度融合，实现更加智能化的家居控制。智能照明系统可以与智能窗帘、智能温控系统等联动，根据用户的设定自动调节室内环境，进一步提升住宅的节能效果和舒适性。政府和相关行业组织也在积极推动智能照明技术的标准化和规范化，这将有助于降低系统集成成本，提高市场竞争力，为智能照明系统在住宅节能中

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

的广泛应用提供有力支持。

2 智能照明系统在住宅节能应用中存在的问题

智能照明系统在住宅节能中虽然具有显著的节能优势，但在实际应用中仍面临诸多挑战，其中系统兼容性问题尤为突出。目前，智能照明市场发展迅速，产品种类繁多，不同品牌和型号之间的兼容性较差，这给系统的集成带来了极大的困难。不同品牌的传感器和控制器之间可能存在通信协议不一致的问题，导致设备之间无法直接互联互通。为了实现系统的正常运行，往往需要额外的适配器或转换设备，这不仅增加了系统的复杂性，还可能导致系统运行不稳定。兼容性问题还增加了安装和调试成本，使得一些住宅项目在选择智能照明系统时更加谨慎。在一些大型住宅小区的改造项目中，由于涉及多个品牌的设备更新和集成，兼容性问题可能导致项目进度延误，甚至影响整体的节能效果。解决系统兼容性问题是推动智能照明系统在住宅节能中广泛应用的关键之一。

成本投入与节能效果之间的平衡也是智能照明系统在住宅节能应用中面临的重要问题。虽然智能照明系统能够实现显著的节能效果，但其初始安装成本较高，这成为制约其广泛应用的重要因素。智能照明系统的成本主要包括设备购置、安装调试以及后期维护等费用。对于一些老旧小区改造项目来说，高昂的改造成本使得业主和物业管理方望而却步。智能照明系统的节能效果在不同住宅环境中可能存在差异，这也影响了用户的决策。在一些光照条件较好或居住时间较短的住宅中，用户可能认为智能照明系统的节能效果不足以抵消较高的成本投入。这种成本与效益之间的不平衡，导致部分用户对智能照明系统的接受度较低，从而影响了系统的推广。如何在保证节能效果的前提下，降低智能照明系统的成本，是当前需要解决的重要课题。

智能照明系统的可靠性问题也不容忽视。在一些复杂的使用环境下，智能照明系统可能出现故障或通信中断等问题，这不仅影响了正常的照明功能，还可能对用户的使用体验和节能效果产生负面影响。在雷雨天气或电磁干扰较强的环境中，系统可能会出现误操作或信号丢失的情况，导致灯光无法正常调节或关闭。这种情况不仅会增加不必要的能耗，还可能引发安全隐患。智能照明系统的可靠性还受到设备质量和安装质量的影响。一些低质量的设备或不规范的安装操作，可能导致系统在运行过程中出现频繁故障，增加维护成本和用户的使用负担。提高智能照明系统的可靠性，需要从设备选型、安装规范和后期维护等多个环节入手，确保系统在各种复杂环境下都能稳定运行，从而为住宅节能提供可靠的保障。

3 智能照明系统在住宅节能中的优化策略

为充分发挥智能照明系统在住宅节能中的作用，需要从技术、用户和政策等方面采取优化策略。在技术层面，应加强技术研发，提高系统兼容性和可靠性。通过制定统一的技术标准和协议，促进不同品牌和型号智能照明产品的互联互通，降低系统集成成本。国际照明委员会（CIE）和国际电工委员会（IEC）等组织正在积极推动智能照明技术标准的制定，以规范市场秩序，提高产品的兼容性。优化系统算法，提高灯光调节的精准度和响应速度，进一步提升节能效果。采用先进的传感器融合技术，结合光照传感器、人体红外传感器和声音传感器等多种传感器数据，实现更精准的灯光控制。还可以引入人工智能和机器学习技术，使系统能够根据用户的使用习惯和环境变化自动优化照明方案，进一步提高节能效果和用户体验。

在用户方面，要加强用户教育和培训，提高用户对智能照明系统的认知和操作水平。通过宣传手册、线上教程等方式，向用户普及智能照明系统的节能原理和操作方法，引导用户正确使用系统，充分发挥其节能功能。一些智能家居品牌通过线上视频教程和线下体验店，帮助用户快速掌握智能照明系统的使用技巧。还可以通过社区活动和培训讲座，向用户展示智能照明系统的实际节能效果和便利性，增强用户对系统的信任和接受度。建立用户反馈机制，及时收集用户的意见和建议，根据用户反馈不断改进系统功能，满足用户需求。根据用户反馈增加灯光场景模式的自定义功能，提升用户的使用体验，让用户能够根据不同的生活场景（如观影、阅读、睡眠等）自由调节灯光亮度和颜色。

在政策层面，政府应出台相关政策支持智能照明系统在住宅节能中的应用。给予安装智能照明系统的住宅项目一定的补贴或优惠政策，降低用户成本负担；制定相关标准和规范，引导智能照明市场健康发展，为智能照明系统在住宅节能中的广泛应用提供良好的政策环境。一些地方政府已经出台了对新建住宅项目安装智能照明系统的补贴政策，推动了智能照明系统在住宅领域的应用。政府还可以通过税收优惠、绿色建筑认证等方式，鼓励房地产开发商和物业管理公司在新建和改造项目中优先采用智能照明系统。加强市场监管，打击假冒伪劣产品，保护消费者权益，确保智能照明系统的质量和性能符合标准要求，为智能照明系统的广泛应用提供有力保障。

4 智能照明系统在住宅节能中的应用案例分析

通过对一些已应用智能照明系统的住宅项目进行案例分析，可以更直观地了解其节能效果和应用优势。以某新建住宅小区为例，该小区采用了先进的智能照明系统，涵盖了光照传感器、人体红外传感器、智能控制器等设备。光照传感器能够精准地感知室内外的光线强度，当自然光线充足时，系统会自动降低室内灯光的亮度，甚至关闭部分非必要的灯具，充分利用自然光照明，减少人工照明的能耗。人体红外传感器则时刻监测室内人员的活动情况，一旦检测到房间内无人，系统便会自动关闭灯光，避免了

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

无人时的灯光浪费。智能控制器则根据传感器传来的数据，对灯光进行精准地调节和控制，确保照明系统在不同场景下都能以最节能的方式运行。经过一段时间的运行监测，该小区照明能耗较传统照明方式降低了约 30%，这一显著的节能效果不仅为小区节省了大量的能源，还降低了用户的电费支出，为居民带来了实实在在的经济利益。用户对智能照明系统的使用体验也较为满意，认为系统操作方便，能够满足不同场景下的照明需求。无论是白天的自然光利用，还是夜晚的灯光调节，系统都能自动完成，无需人工频繁干预，极大地提升了居民生活的便利性和舒适性。

该案例表明，智能照明系统在住宅节能中具有显著的应用价值，通过合理设计和优化配置，能够有效实现照明节能目标。在系统设计阶段，充分考虑住宅的建筑结构、居民的生活习惯以及不同区域的照明需求等因素，合理布局传感器和控制器的位置，确保系统能够精准地感知环境变化并做出相应的控制指令。在客厅、卧室等人员活动频繁的区域，适当增加人体红外传感器的数量，以更准确地监测人员的活动情况；在靠近窗户的区域，优化光照传感器的安装位置，使其能够更准确地感知自然光线的变化。该案例还为其他住宅项目提供了可借鉴的经验，如在系统选型时注重产品兼容性和可靠性，选择具有良好品牌信誉和质量保障的产品，避免不同品牌和型号产品之间的兼容性问题，确保整个系统的稳定运行。根据住宅实际需求合理配置传感器和控制器的数量和类型，避免过度配置造成的资源浪费，提高系统的性价比。这些经验对于推动智能照明系统在更多住宅项目中的应用具有重要意义，能够帮助其他项目在实施智能照明系统时少走弯路，更好地实现节能目标。

另一个案例是某老旧小区的智能照明系统改造项目。该小区建成时间较早，原有的传统照明系统存在能耗高、灯具老化、照明效果不佳等问题。为了改善小区的照明环境，同时实现节能目标，该小区通过政府补贴和居民自筹资金的方式，对原有的传统照明系统进行了智能化改造。改造后的智能照明系统不仅实现了节能目标，还提升了小区的整体环境和居民的生活质量。通过光照传感器和定时控制器的结合，小区公共区域的照明在白天自动关闭，充分利用自然光照明，避免了不必要的能源浪费；在夜间，根据光线强度自动调节亮度，确保公共区域有足够的照明亮度，同时避免了过度照明造成的能源浪费。在小区的楼道内，光照传感器会在白天检测到自然光线充足时自动关闭楼道灯，而在夜晚或阴天光线较暗时，根据光线强度自动调节楼道灯的亮度，既保证了居民上下楼的安全，又实现了节能。居民可以通过手机应用程序远程控制自家的照明设备，无论是在外出时提前关闭家中不必要的灯光，还是在回家途中提前打开家中的灯光，都能轻松实现，进一步提高了生活的便利性。这种远程控制功能不仅方便了居民的生活，还增强了居民对智能照明系统的参与感和认同感，使他们更加积极地参与到节能行动中来。

5 结语

智能照明系统在住宅节能领域展现出巨大潜力，通过传感器与智能控制器的协同作用，显著降低照明能耗，提升居住舒适性。尽管面临系统兼容性、成本投入等问题，但通过技术升级、用户教育和政策支持等优化策略，可有效克服挑战。未来，随着技术进步与成本降低，智能照明系统将更加普及，为住宅节能提供更高效、更智能的解决方案，助力可持续发展，推动住宅领域迈向绿色节能新时代。

[参考文献]

[1]王晓明.智能照明控制系统在建筑节能中的应用[J].照明工程学报,2018,29(2):12-16.
[2]张伟.基于物联网的智能照明系统设计与应用[J].电子技术应用,2019,45(5):45-48.
[3]李强.智能照明系统在住宅中的节能效果分析[J].建筑节能,2020,48(3):56-60.
[4]刘洋.智能照明系统在住宅中的应用现状与发展趋势[J].照明电器,2021,27(4):33-37.
[5]周杰.智能照明系统在住宅节能中的优化策略研究[J].建筑电气,2022,41(6):22-26.

作者简介：吴冠飞（1981.2—），男，汉族，毕业院校：河北建筑工程学院；现就职单位：中铁建安工程设计院有限公司。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

桥梁工程“T”梁施工技术浅析

杨 建
重庆市石柱土家族自治县农村公路养护管理站，重庆 409100

[摘要]“T”梁是桥梁工程中广泛应用的主要承载构件，其施工质量直接关系着桥梁使用的结构安全和稳定，因此“T”梁在桥梁工程中起着举足轻重的作用。本文就如何生产出符合设计和国家技术规范的“T”梁，在施工过程中如何精准把控影响“T”梁质量的部分主要指标和技术参数进行分析，以及对这些指标、参数因控制不当可能带来的影响和后果进行探讨，为从事桥梁建设者们提供借鉴，有效提升“T”梁的建设质量，确保桥梁运营安全。
[关键词]桥梁工程；“T”梁施工；技术分析
DOI：10.33142/ucp.v2i3.16732 中图分类号：U65 文献标识码：A

Brief Analysis of Construction Technology for "T" Beam in Bridge Engineering

YANG Jian
Chongqing Shizhu Tujia Autonomous County Rural Road Maintenance and Management Station, Chongqing, 409100, China

Abstract: "T" beams are widely used as the main load-bearing components in bridge engineering, and their construction quality directly affects the structural safety and stability of the bridge. Therefore, "T" beams play a crucial role in bridge engineering. This article analyzes how to produce "T" beams that comply with design and national technical specifications, how to accurately control the main indicators and technical parameters that affect the quality of "T" beams during the construction process, and explores the possible impacts and consequences of improper control of these indicators and parameters. It provides reference for bridge builders, effectively improves the construction quality of "T" beams, and ensures the safety of bridge operation.
Keywords: bridge engineering; construction of "T" beams; technical analysis

引言

桥梁工程中的“T”梁，作为桥梁主要承重构件之一，广泛应用于公路、铁路、城市轨道等桥梁建设中，对交通的安全运营起着十分关键的作用。影响“T”梁质量的优劣，涉及到多个技术参数，尤其是混凝土强度、施加预应力、钢筋配置、“T”梁制作与养护等参数，均直接决定着“T”梁的命运。在“T”梁制作过程中，精确的参数控制能够有效保证“T”梁质量符合设计和国家技术规范要求，确保桥梁安全运营；反之，则会对“T”梁的结构安全产生严重影响形成质量隐患，给桥梁运营带来巨大的安全风险，随时引发重大安全事故。为此，深入分析“T”梁质量的主要指标及参数并合理控制这些指标，对提升“T”梁施工质量和确保桥梁安全运营具有十分重要的意义。

1 影响“T”梁质量的主要技术指标与参数

桥梁建设是交通工程建设领域中的重要组成部分，对于较大跨径的桥梁建设而言，采用预制或现浇“T”梁作为桥梁通行荷载的承重构件较为普遍。那么，怎样才能制作生产出合格的“T”梁呢？这就要从影响“T”梁质量的主要控制指标入手，严格把控其指标参数并使其满足设计和规范要求，这样才能确保“T”梁质量，满足桥梁安全通行的需要。现本文就这些指标在“T”梁构件中所起的作用、对“T”梁的影响以及如何控制好这些指标等问题进行逐个浅析如下：

1.1 混凝土强度指标的作用及影响

众所周知，混凝土强度指标是判断混凝土构件能否承受各种外部荷载的最为基本、最为重要、最为关键的参数之一，该指标将直接影响桥梁的承载能力、耐久性和稳定性。由于桥梁需要反复承受车辆荷载，因此在建设较大跨径桥梁工程中，均是采用高标号高强度混凝土作为浇筑桥梁“T”梁构件的基本材料，合格的高标号高强度混凝土其抗压性能、抗裂性能、耐高低温性能和耐腐蚀性能等一系列指标，都能满足“T”梁受力特性需求，有效提高“T”梁的抗压性能、抗疲劳性能和耐久性能，确保桥梁安全运营并延长桥梁的使用寿命。另外，高标号高强度混凝土原材料还便于就地取材，搅拌浇筑工艺简单，可塑性高，易于工人掌握和操作等优点，为此被广泛运用于“T”梁的浇筑中。但是，如果混凝土强度不满足“T”梁设计强度要求时，将会导致“T”梁在运营中的塑性变形超标，致使其表面将产生裂纹，受力集中部位出现混凝土破碎、剥落等质量病害等问题，严重时还会引发梁身开裂甚至是结构性破坏等事故，缩短“T”梁使用寿命，若不及时采取整治措施，将可能会导致桥梁轰然垮塌，发生严重安全事故，其后果不堪设想。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

1.2 施加预应力的作用及影响

随着我国工业事业的不断增强，为进一步提升桥梁跨越能力，减少“T”梁钢筋用量，节省“T”梁造价，在确保梁体不降低其使用功能和正常使用年限的前提下，我国桥梁工程在梁体的生产中，引入钢绞线布置于梁体底部并对其施加一定的预应力，使钢绞线与梁体共同受力承载桥梁荷载。这一工艺应用，使梁体受力更加科学合理，结构更加优化，节约了建设材料，降低了建设成本，桥梁使用更加高效。

施加张拉应力的大小是梁体有效工作的关键，严格按设计和规范要求施加的张拉预应力，有助于“T”梁承载并正常使用，若施加的张拉预应力过大（即超张拉），将会使梁体反拱度超出设计和规范值，可能导致梁体混凝土开裂甚至使钢绞线断裂，发生人员伤亡、梁体毁坏等安全事故；若施加的张拉预应力过小（即欠张拉），又将会使梁体反拱度达不到设计规范要求，梁体在承载中不能充分发挥其承载能力，丧失应有的功效。故施加“T”梁钢绞线预应力的大小，必须严格按设计图和国家技术规范的规定预以科学计算，精细控制，谨慎施加，才能使“T”梁发挥其最大功效。

1.3 钢筋配置的作用及影响

“T”梁钢筋配置是“T”梁设计和施工的重要环节，合理的钢筋配置能增强梁体的结构强度和整体刚度，有效改善梁体受力性能、提高其整体性、增强其稳定性及抗震性能。使桥梁在运营中，能均匀有效分摊和分散车辆荷载，并将荷载传递给桥梁下部结构，延长桥梁使用周期，确保桥梁结构不易发生损坏。反之，若钢筋配置不当，将使梁体抗弯、抗剪能力不足，或者在使用过程中出现过度变形或开裂现象，甚至引发结构失效。特别是在高负荷、复杂受力环境下，会导致梁体受力不均，引发梁体裂缝或局部破坏，严重时会影响桥梁安全使用。比如钢筋配置过多会增加施工制作难度，浪费建设成本；钢筋配置过少会降低梁体承载力，引发质量安全事故；再如钢筋锚固长度不足，使钢筋与混凝土结合不紧密，使混凝土局部单独承力引发其破损、脱落或滑移；弯折角度不当会使钢筋失去应有的承载力，降低构件抵抗性能。因此，科学合理的钢筋配置，不仅能有效提升“T”梁的结构安全性，还能提高桥梁使用的耐久性能，延长使用寿命。

1.4 “T”梁制作养护的作用及影响

质量上乘的“T”梁离不开操作工人的细心制作和耐心养护。“T”梁的制作养护工作需涉及模板工、钢筋工、混凝土工、张拉工、质量检测工以及专职养护工等多工种相互配合、精诚协作才能完成，这些工序都紧密相连、环环相扣、缺一不可。只有各工种对每一道工序都精雕细琢，养护充足，才能确保“T”梁在梁体完整度、梁体强度和刚度还是梁体结构尺寸、梁体表面工艺等都完美无缺、无可挑剔，才能确保“T”梁质量符合设计和国家规范要求，才能确保“T”梁质量安全稳定。

如果“T”梁制作工艺粗糙，养护不充分，各道工序操作不到位，将会给梁体带来一系列严重的质量问题，甚至使“T”梁报废。比如模板强度和刚度不足，将会使梁体混凝土浇筑时出现几何变形甚至暴模、脱模等情况，使梁体尺寸不符合设计要求，混凝土密实性差、强度低。模板表面不光滑或混凝土浇筑前未涂抹脱模剂，会使脱模困难，从而使混凝土表面工艺粗糙，出现蜂窝、麻面、残边、缺角等质量缺陷；又如梁体钢筋间距不严格按设计要求绑扎，或在安装绑扎时不注意控制钢筋保护层厚度，使梁体承载时产生受力不均，抗弯抗剪能力不足，梁体表面露筋等质量缺陷，降低“T”梁承载能力和耐久性功能；再如梁体混凝土浇筑振捣不充分不到位，会使混凝土出现空洞、蜂窝、麻面、混凝土密实度差等质量问题，如果浇筑振捣过度又会使混凝土产生离析，同样影响“T”梁质量等；还如混凝土养护不充分不到位，将会降低混凝土强度，情况严重时将导致梁体开裂等质量问题。

2 “T”梁质量主要技术指标的控制

针对以上各主要技术指标对“T”梁所起的作用和质量的影响，使我们认识到这些指标对“T”梁质量的重要性，以下我们就如何控制好这些重要指标和参数作简要浅析。

2.1 混凝土强度的控制

由于桥梁“T”梁构件是采用高强度混凝土浇筑制作而成，这种高强度混凝土具有凝结时间短、水化热剧烈、散热量大、强度增长快等特点，因此在混凝土浇筑前需做好以下工作。

2.1.1 水泥选用

选用与混凝土强度相匹配且符合现行《通用硅酸盐水泥》（GB 175）规定的水泥，水泥品种和强度等级应通过混凝土配合比试验选定，其特性应不会对混凝土的强度、耐久性和工作性能产生不利影响，当混凝土采用碱活性集料时，宜选用含碱量不大于 0.6%的低碱性水泥。

2.1.2 细集料选用

采用级配良好、质地坚硬、颗粒洁净、细度模数在 3.7～2.3 的天然河砂，当河砂不易采到时，可采用符合技术指标规定的其他天然砂或机制砂，但是细集料不得采用海砂。

2.1.3 粗集料选用

粗集料应选用岩石强度高、含泥量小于 3%、连续级配、针片状含量小、吸水力低的碎石。对于高强度混凝土而言，还需对粗集料进行岩石抗压强度检验，其检验值与混凝土强度等级之比对于 C60 及以上混凝土应不小于 2，对于其他强度等级混凝土，其比值不应小于 1.5。粗集料的颗粒级配宜采用连续级配且需符合规范要求。粗集料最大粒径不得超过钢筋净距的 3/4，在钢筋结构比较复杂的

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

情况下，其最大粒径不得超过钢筋净距的 1/2 且不超过75mm。混凝土应避免使用具有碱活性反应的粗集料，必须采用时应进行试验合格且采取抑制措施处理。粗集料在生产、运输和储存过程中，不得混入对混凝土有影响的有害杂质。进入工地应按其品种、规格有序堆放。

2.1.4 混凝土搅拌用水选用

采用符合国家标准的饮用水，当采用其他水源或水质有疑问时应对水质进行检验，其检验的各项指标参数应符合规范要求，水中不得含有油脂、泡沫等污染物，且要求水质清澈无异味，不得使用海水进行拌制混凝土和养护混凝土。

2.1. 5 外加剂选用

为改善高标号高强度混凝土的某些性能特性，以更有利于混凝土浇筑，在日常的“T”梁混凝土浇筑中，常常使用外加剂与混凝土一起进行拌合浇筑，合格的外加剂具有良好的相容性。所以使用的外加剂时，应经具备相关资质的检测机构检验并附有检验合格证明的产品，其质量应符合现行《混凝土外加剂》（GB 8076）的规定，且在使用前应按现行标准规定进行复检，待结果满足要求后方可使用。外加剂的品种和掺量应通过试验确定。

2.1.6 混凝土配合比的确定

混凝土配合比是关系到混凝土强度的一项十分关键的指标，它直接决定着混凝土的强度等级、耐久性、抗裂性等重要性能，因此，对于混凝土配合比特别是高标号高强度等级的配合比，在试配时应采用施工时使用的原材料，根据工程项目的施工技术条件，并提高一个强度等级进行科学计算试配确定。混凝土拌制前应将试配确定的理论配合比换算成施工配合比并经批准后才能使用。合理配合比能够确保水泥、砂、石子和水的比例协调，从而使混凝土形成均匀致密结构，满足配制强度、力学性能和耐久性能的设计要求，提高梁体的抗压抗弯能力。在拌制混凝土过程中，为利于施工需要，需改善混凝土拌合物某方面的性能，为此在混凝土拌制过程中需添加适量的外加剂，所添加的外加剂应符合规范要求外，还需满足下列规定：一是外加剂用量应科学计算确定；二是在混凝土中，不准掺用含氯离子的氯盐；三是减水剂宜采用聚羧酸类减水剂；四是混凝土中各种氯离子总含量不得大于胶凝材料总质量的 0.02%；五是从各种组成材料引入的氯离子总含量（折合氯盐含量）不得超过 0.06%；六是掺入引气剂的混凝土，其含气量按不同环境类别和作用等级确定。同时还应对混凝土中含碱总量控制在每立方混凝土一般桥梁小于 3kg，特殊重要桥梁小于 2.1kg，当混凝土位于侵蚀环境时，严禁使用碱活性反应集料。

2.1.7 混凝土的拌制与运输

拌制混凝土时，其配料采用标定合格的自动计量装置进行计量配料，确保原材料计量精确，各种固体原材料应按质量进行计量投料，搅拌水和液体外加剂按体积计量投料，原材料配料数量的允许偏差：水泥、干燥状态的掺合料采取现场拌制时不得超过 ±2，采取预制场或集中搅拌站拌制时不得超过 ±1；粗细集料采取现场拌制时不得超过 ±3，采取预制场或集中搅拌站拌制时不得超过 ±2；搅拌用水、外加剂采取现场拌制时不得超过 ±2，采取预制场或集中搅拌站拌制时不得超过 ±1。混凝土采用机械拌制的最短搅拌时间应根据混凝土搅拌技术要求经试验确定，并搅拌至混凝土质地均匀、颜色一致、没有离析、泌水现象。对施工现场混凝土搅拌完毕后应检测拌合物各项性能指标：一是混凝土坍落度及损失，坍落度可仅在搅拌地点取样检测；二是拌合物的工作性能、泌水率、含气量等指标进行检测。

混凝土的运输应与混凝土的浇筑、凝结速度匹配，使混凝土运至浇筑现场时仍能具有其均匀性和适宜的坍落度且使浇筑工作不间断。当使用商品混凝土时，其运输应采用专用的搅拌运输车或泵送方式输送，对于严寒或炎热天气情况，搅拌运输车的搅拌罐和泵送管道应采取保温或隔热措施；采用其他方式运输时其运输的距离不得超过100m，且不得使混凝土产生离析现象。使用专用的搅拌运输车运输时，在运输的路途中，搅拌运输车的搅拌罐应保持 2～4r/min 的转速慢速搅动，运至卸料地点后，在卸料前搅拌运输车应使用快挡旋转搅拌罐不少于 20s。当运至浇筑地点的混凝土发生离析、泌水或坍落度不符合要求等现象时，应当使用运输车搅拌罐及时进行第二次搅拌，在第二次搅拌的过程中不宜加水，当确实有必要必须加水时，在保持其水胶比不变的情况下可同时添加水、相应的胶凝材料和外加剂；当第二次搅拌后仍然存在离析、泌水等不良情况时，则此混凝土作报废处理。混凝土使用泵送运送时应符合以下规定：一是输送泵能正常连续工作，泵送过程中的中断时间不得超过 15min。泵送中料斗内应具一定数量的混凝土，以防空气进入产生阻塞；二是要求输送管做到顺直、转弯圆缓、接头不能漏气；三是向低洼地方泵送时要采取必要的措施，防止混凝土产生离析、堵塞输送管。

2.2 预应力的控制

对梁体钢绞线施加预应力，是“T”梁承载能力最为关键的指标之一，因此在制作梁体工作中，尤其要特别重视并做好梁体预应力施加的每一个环节每一道工序。施加梁体预应力首先要对采购的钢绞线、波纹管、锚具、夹具、锚垫板、连接器等预应力组件产品的质量严格控制；其次是对这些组件的安装就位精度进行控制；再次就是对施加预应力的先后顺序和施加预应力大小以及预应力的锚定进行严格把控，最后就是对预应力管道灌浆质量进行控制。

2.2.1 钢绞线和波纹管

应在生产规模较大的正规厂家采购，采购的钢绞线和

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

波纹管应符合现行《预应力混凝土用钢绞线》（GB/T 5224）和《预应力混凝土用金属波纹管》（JG 225）的规定，且要求厂家出具合格证、力学性能试验报告以及质量保证书等书面资料。钢绞线进场时应分批检验，每批次样品不得超过 60t，检验时从中任取 3 盘，从每盘端部取样开展外观质量、直径大小和力学性能试验。当少于 3 盘时，应逐盘取样试验。试验结果只要有不合格指标时，则该不合格盘钢绞线作报废处理，又另外从该批次还没有取样试验过的钢绞线中，取 2 倍数量试样进行复验，如仍然有一项指标不符，则该批钢绞线为不合格产品不得使用。

管道进场后应按批量分型号、类别、规格、外观、数量、尺寸及集中荷载下的刚度、抗渗漏及抗弯曲渗漏等指标进行检验。金属波纹管每批不超过 5000m，塑料波纹管每批不超过 10000m，检测时当有一项指标不合格，应取双倍数量的试件进行复检，复检仍不合格则该批产品鉴定为不合格，不得使用。

2.2.2 张拉设备组件

锚具、夹具及连接器等张拉组件应严格按照要求采购，其性能和质量应符合现行《预应力筋用锚具、夹具和连接器》（GB/T 14370）的规定。张拉组件进场时应对其外观、尺寸、硬度以及静载锚固性能等指标进行检测。锚具应具有分级张拉、补张和放松的功能，对具有锚固多根预应力筋的锚具，需应具有整束张拉的功能又具有单根张拉的性能，针对夹片式锚具应有防松功能，所有锚具锚口的摩阻损失率不得大于 6%。夹具应有自锚、松锚和多次使用的性能，主要锚件应有防锈性，重复使不得少于 300 次。在梁体内的永久性预应力筋连接器应符合锚具功能要求。锚垫板应有足够的强度和刚度且应具有对中止口、压浆孔或排气孔，压浆孔内径不得小于 20mm。张拉组件在存放、搬运及使用过程中应妥善防护，避免锈蚀、沾污、损伤、混淆和散失。

2.2.3 张拉机具设备和仪表

施加张拉力最好使用穿心式双作用类型的千斤顶，当梁体需要整体张拉或放张时，最好使用带有自锚功能的千斤顶，使用的机具张拉力至少应为设计张拉力的 1.5 倍，同时不得小于 1.2 倍，配套使用的压力表最好选用防振型产品，压力表刻度的最大读数应为张拉力的 1.5～2 倍，并且要求压力表的标定精度不得低于 1.0 级。上述张拉设备使用前应经国家授权的相关技术机构进行校正、检验和标定后，测量的数据结果才具有法定效力。当上述设备使用 6 个月及以上，或者张拉工作次数超过 300 次，或者工作时出现异常，或者机具设备检修，或者发生配件更换等情况时应重新送国家授权的相关技术机构进行校正、检验和标定。

2.2.4 预应力的施加

施加预应力前应做好以下准备工作：一是应具备经监理工程师批准的详细张拉方案和张拉作业指导书；二是经具有相关资质机构培训合格的张拉操作人员；三是具有能保证安全的防护措施；四是张拉组件设备安装正确；五是梁体自身已达到设计要求的弹性模量和张拉强度。在张拉时工具锚与工作锚应之间的每根预应力筋不得有错位、扭绞等不良情况，同时千斤顶、预应力筋和锚具三者的中心线应在同一抽线上。张拉先后顺序和张拉应力控制应严格按照设计进行操作，当预应力张拉采用应力控制法时应对预应力筋的实际伸长量进行校核，并且其实际伸长量与理论伸长量的偏差应控制在±6%以内，如果实际伸长量超出偏差控制值范围时应暂停张拉，待查明偏差的具体原因并采取相应调整措施后方可继续操作。预应力张拉开始时，应先将张拉力调整到张拉控制应力 10%～25%的初应力，同时预应力筋的伸长量从调整后的初应力时开始量测，而张拉应力控制精度宜为±1.5%。预应力施加完成后，预应力筋应在张拉应力处于稳定状态下进行锚固，预应力筋锚固后的实际张拉力与设计张拉应力的大小不得超过±5%，且同断面的有效预应力均匀度不得超过±2%。

当整套张拉工作完成后不得大力敲击或振动锚具，当放松预应力筋时，若使用的是夹片式锚具时，则应用专门的放松装置进行放松；若使用的是支撑式锚具时，则应用张拉设备进行放松，同时应采取有效的安全防护措施。针对梁体预应力筋张拉作业，最好用信息化数据处理系统对各张拉参数进行采集，并做好施工记录。

2.3 钢筋配置的控制

“T”梁钢筋的配置，首先应从钢筋采购源头抓起。桥梁工程中采用的各种型号普通钢筋均应符合设计用钢筋要求以及现行的《钢筋混凝土用钢筋第 1、2 部分热轧光圆钢筋、热轧带肋钢筋》（GB/T 1499.1；GB/T 1499.2），以及《钢筋混凝土用余热处理钢筋》（GB13014）、《冷轧带肋钢筋》（GB/T13788）等规范规定。

2.3.1 钢筋采购

桥梁工程所用各型号钢筋应尽量采用正规厂家生产的产品，在采购时要求厂家具有产品的合格证书、质量证明书、试验检测报告单原始资料。钢筋进场时，应邀请监理单位的相关监理人员一起，共同检查其钢筋的原始资料、钢筋外观质量和相关标志并做好台账登记记录，同时，还应按照技术规范规定按一定频率取样送试验室，依据不同钢种、牌号、规格、等级及钢筋的力学性能等指标参数进行详细试验检测，待各种检测指标都合格后才能投入使用。

2.3.2 钢筋运输及存放

钢筋在运输路途中应采取相应的保护措施对其保护，避免锈蚀、污染或被压弯变形等不良情况的发生；钢筋运入工地后，应按照不同的品种、规格分批次、分类别有序摆放存储，同时应分别对各品种、各规格、各批次、各类别的钢筋设立醒目并易于识别的标志标牌。钢筋在工地存

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

储时应放置于垫木或台座之上，不得直接堆放于地面，不得混杂存放，存放期限不得超过 180d；钢筋存储地应设防排水等设施，顶部应用合适的薄膜、油毡等材料覆盖，防止雨水浸蚀而使钢筋产生锈蚀。

2.3.3 钢筋加工

钢筋加工最好采用数控化机械设备在专用厂房中集中下料加工，加工的形状、尺寸应严格按照设计尺寸并结合混凝土保护层厚度下料制作，钢筋加工允许偏差应符合规范要求，加工成型的钢筋成品表面不应有削弱钢筋截面积的伤痕等缺陷。

2.3.4 钢筋连接

“T”梁受拉主筋一般采用机械连接接头，而其余钢筋因梁体钢筋结构较为复杂而一般采用绑扎连接。受力钢筋的接头应错开内力较大区域并交错布置；对焊接和机械接头，同根钢筋不得出现两个接头；对绑扎接头的钢筋，接头之间的间距不得小于 1.3 倍钢筋搭接长度。当钢筋采用焊接接头时，接头长度若采用双面焊时不得小于 5d（d 为钢筋直径），若采用单面焊接时不得小于 10d，同时接头不得位于构件最大弯矩部位。当受力钢筋采用机械连接时，连接接头的材料、制作和安装以及质量检验和验收，均应符合现行《钢筋机械连接用套筒》（JG/T 163）和《钢筋机械连接技术规程》（JGJ 107）的规定；机械连接处的混凝土保护层厚度应符合混凝土受力主筋设计保护层厚度且不得小于 20mm，连接件与连接件之间、连接件与钢筋之间的横向净间距不得小于 25mm。

2.3.5 钢筋绑扎与安装

“T”梁钢筋绑扎宜采用 0.7～2.0mm 铁丝扎牢，必要时可采用点焊焊牢，针对直径 25mm 及以上钢筋，宜采取双对角线的十字形方式绑扎。对于结构或构件拐角处的钢筋应全扎，中间平直部分可交错绑扎，但是绑扎交叉点应不少于全部交叉点 40%以上。在绑扎中应注意箍筋应与主筋垂直，绑扎钢筋的铁丝丝头不得进入混凝土保护层。

安装钢筋时其钢筋的级别、直径、根数、间距等应符合设计，对多层多排钢筋应在其间隔处设立架立钢筋或者支撑钢筋，但该钢筋端头不得占用混凝土保护层。当安装的钢筋过密，会对混凝土的浇筑产生影响时，应联系设计予以解决。为确保钢筋混凝土保护层厚度，在安装钢筋时，钢筋与模板之间应交错分散设置混凝土垫块进行塞垫，其数量每平方米不得少于 4 个，重要部位适当加密。钢筋混凝土垫块的密实性应满足技术要求，垫块自身强度不得低于结构混凝土强度，垫块厚度的正误差不得大于 1mm，但不得产生负误差。

2.4 “T”梁制作养护

2.4.1 混凝土梁体浇筑制作

首先应结合实情编制出合理的混凝土浇筑方案，并确定浇筑顺序、浇筑工具、防裂措施、保护层厚度控制等措施报监理工程师审查同意；同时对“T”梁混凝土基座或者现浇时所需支架、模板、钢筋和预埋件等进行检查；对模板内的杂物、积水等进行清理；检查并堵塞模板缝隙孔洞以防漏浆；对混凝土的和易性、均匀性、坍落度等指标进行检测。倾卸混凝土时防止产生离析现象，当倾卸落差不得超过 2m 时，可采取直接倾卸混凝土；当倾卸落差超过 2m 及以上时，则应设置串通、溜管（槽）等设施倾卸混凝土；浇筑混凝土时，应按一定顺序方向分层浇筑，注意应尽量赶在下层砼初凝时间前浇筑完成上层混凝土的浇筑，当采用流水法同时对上下层砼进行浇筑时，其上、下层砼浇筑之间的间距应相隔 1.5m 以上，在倾斜面上浇筑砼时，首先从低处开始浇筑，然后再逐层扩展抬高，每一层保持水平分层浇筑。当混凝土使用插入式振动器捣实时，振动器每一棒振动移位的间距距离不得大于振动器作用功能半径的 1.5 倍，当振动器靠近侧模振捣浇筑混凝土时，其振动棒距离侧模的距离应保持在 50～100mm 之间，振动棒插入混凝土振捣的深度一般宜为 50～100mm；当砼捣实是采用附着式振动器时，附着式振动位置点之间的距离布置，应根据振动机具的性能和砼结构形状经试验确定。每一棒或每一次砼振捣时间宜为 20～30s，振捣时以砼不再下沉、出现的气泡量极少、表面出现浮浆时的状态为宜。梁体混凝土浇筑工作应连续并直至浇筑完成一片梁体，中途原则上不得中断，因特殊情况需要中断时，其中断的时间间歇不得迟于前层砼的初凝时间。同时混凝土的制作总时间应符合规范规定。在较为干燥、风速较快的特殊条件下浇筑时，就需要采取必要的措施防止失水而导致砼开裂。在浇筑期间应随时做好相关巡检工作并详细记录好施工制作情况。当砼强度未达到 2.5MPa 以前时，其梁体不得承受荷载。

2.4.2 混凝土梁体养护

梁体养护应根据各种实际情况并结合砼的性能等因素编制好具体的养护方案报监理工程师审查同意后严格实施。砼浇筑收浆后尽快采取措施进行覆盖，并洒水保持湿度开展养护工作。特别是对高强度和高性能混凝土，要高度重视并加强初始期的保湿养护作业，当条件许可时，可立即在浇筑完成的混凝土表面上方加设棚罩，待砼收浆后立即予以覆盖洒水养护。如果梁体模板（木模）未拆除时，应保持模板湿润，拆除模板后仍应对混凝土进行覆盖洒水养护直至达到养护期限；尤其在低温、干燥或大风的情况下拆除模板时，应立即采取覆盖、保温等措施，防止砼失水开裂。混凝土养护用水严禁使用海水，混凝土洒水保湿养护时间应不少于 7 天，对于结构混凝土应酌情延长养护时间，并使砼表面始终保持湿润状态，当气温低于 5℃时不得使用冷水养护。

3 结束语

“T”梁质量的好坏，对桥梁整体性能和使用功能具

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

有十分重要的决定作用。要想“T”梁质量过硬，就必须从梁体的每一道工序、每一个指标参数等细节入手并对其控制，使之符合设计和规范的要求，只有这样才能确保生产出合格的“T”梁产品，才能保障桥梁的安全使用，才能对得起人民赋予我们每一个交通建设者的信任。

[参考文献]

[1]柴军锋.桥梁工程施工中预制 T 形梁施工技术分析[J].四川建材,2023,49(9):191-193.
[2]戴穗锋.论桥梁工程施工中的预制 T 形梁施工技术[J].建筑技术开发,2021,48(1):45-46.

作者简介：杨建（1969.4—），毕业院校：国家开放大学，专业：土木工程，当前就职单位：重庆市石柱土家族自治县农村公路养护管理站，职务：干部，职称级别：副高级工程师（五级）。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

建筑土木工程中智能施工技术及其应用

欧家文
中国雄安集团有限公司，河北 保定 071701

[摘要]信息技术以及智能化技术发展迅速，建筑土木工程施工领域出现技术变革。智能施工技术是提升施工效率、安全性、绿色环保水平的重要手段，成为行业发展的推动力。依据建筑土木工程施工特点，分析智能施工技术基本概念，其在工程中的应用优势与局限，着重探讨智能结构控制体系、施工自动化、绿色施工、建筑信息模型（BIM）、3D 扫描与数字化测量等核心技术应用路径。智能施工技术提高工程施工质量与管理水平，促进施工过程数字化、绿色化发展，但应用中成本高、技术成熟度不够。未来，随着技术不断进步、集成应用，智能施工在推动建筑土木工程现代化发展中起重要作用。

[关键词]土木工程；智能化；施工技术
DOI：10.33142/ucp.v2i3.16722　　中图分类号：TU7　　文献标识码：A

Intelligent Construction Technology and Its Application in Civil Engineering Construction

OU Jiawen
China Xiongan Group Co., Ltd., Baoding, Hebei, 071701, China

Abstract: With the rapid development of information technology and intelligent technology, there have been technological changes in the field of construction and civil engineering. Intelligent construction technology is an important means to improve construction efficiency, safety, and green environmental protection, and has become a driving force for industry development. Based on the characteristics of civil engineering construction, this paper analyzes the basic concepts of intelligent construction technology, its application advantages and limitations in engineering, and focuses on exploring the application paths of core technologies such as intelligent structural control system, construction automation, green construction, building information modeling (BIM), 3D scanning and digital measurement. Intelligent construction technology improves the quality and management level of engineering construction, promotes the digitalization and green development of the construction process, but the application has high costs and insufficient technological maturity. In the future, with the continuous advancement and integrated application of technology, intelligent construction will play an important role in promoting the modernization of construction and civil engineering.

Keywords: civil engineering; intelligence; construction technology

引言

建筑土木工程属于基础设施建设里极为关键的组成部分，其施工过程相当复杂，工序之间相互交织，而且需要人、机协同作业。传统施工往往依靠人工操作以及经验积累，如此一来，施工效率比较低，安全隐患也较多，资源浪费情况较为严重，难以符合现代工程对于高质量、高效率以及绿色环保方面的要求。随着自动化、信息化以及数字化技术的融合运用，建筑施工正在朝着智能化的新时代迈进。智能施工技术一方面优化了施工技术，另一方面提升了施工的精度与安全性，同时还推动了绿色施工的发展，促使资源得以高效利用，也有利于环境保护。通过系统地分析施工的特点，并且全面地介绍智能施工技术以及它的实际应用情况，希望能为行业的发展给予一定的理论与实践方面的参考，使智能施工进一步得到推广。

1 建筑土木工程施工特点分析

1.1 场地固定性

建筑土木工程的施工项目一般都选在固定的地点，其工程施工活动也在事先确定好的地理位置去开展，这种特性属于该行业较为基础的特征之一。场地的固定性表示施工现场的环境比较稳定，然而与此同时它也对施工方式以及设备的灵活调配形成限制。在施工期间，所有的施工活动、机械设备的布置情况、材料的运输流程以及人员的作业行为都是围绕着这个固定的场地来展开的，现场条件所存在的局限性迫使施工组织和管理工作务必要充分考量空间资源的合理运用。场地的固定性还决定了施工项目对环境产生的影响是比较大的，所以施工现场的生态保护工作以及污染控制事宜就成为了必不可少的工作内容。这样的特点促使施工单位在具体施工组织和现场管理过程中，必须要结合场地的具体实际情况，对施工顺序和施工工艺加以统筹协调，以此来保障施工进度和施工质量。

1.2 施工流动性

虽然建筑土木工程施工场地固定，但是施工过程却具有流动性的特点，需要频繁调动人员、设备、物料，紧密协调工序衔接，灵活应对施工管理，这种流动性给施工组织管理带来了挑战。因此，合理组织施工流动、优化资源配置是提升施工效率、保障安全的关键。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

1.3 多方协同性

建筑土木工程施工期间，呈现出专业工种多方协同的特点。施工项目一般涉及土方工程、防水工程、主体结构、机电安装等众多专业团队密切配合，施工环节彼此间有着紧密的时间以及空间关联。各参建方在施工进程中务必要做到信息共享以及进度协调，以此保证工序能顺利衔接起来，避免出现资源浪费以及工期延误的情况。多方协同性不光体现在施工技术与工艺的整合方面，还涉及管理机制的高效运转，包括项目管理、质量控制以及安全保障等诸多层面均有所涉及。施工现场的复杂性与多样性使得管理者需要具备优秀的协调能力以及沟通机制，凭借科学合理的施工计划与高效准确的现场调度，确保各工序之间能够顺畅协作，进而提升整体施工效能。

2 智能施工技术概述

随着信息技术、人工智能以及自动化技术的迅猛发展，智能施工技术逐步变成建筑土木工程领域高质量发展的突破点。凭借现代信息技术相关手段，通过融合传感器技术、数据采集与处理技术、自动控制技术、机器人技术还有信息模型技术，打造形成施工数字化、自动化以及智能化的综合性技术体系。通过引入智能施工技术，施工现场复杂的环境以及多变的工况可得到有效的监测与妥善的调控，大幅度地提升施工效率以及质量，有效降低安全风险，并且施工的资源利用率以及环保水平同样得到了切实的保障。智能施工技术包含了研发智能化施工设备、实施自动化施工过程、推进信息化施工管理以及实现智能化施工决策等诸多层面，以能够达成施工环节针对实时数据展开采集、分析以及反馈的操作目的，进而形成闭环控制系统，以此推动施工工艺的不断优化以及施工管理精细化的方向发展。近些年来，伴随着物联网、大数据、云计算以及人工智能技术的应用，智能施工技术不断地升级迭代，其功能日渐完善，应用范围也在持续不断地拓展延伸，已然成为现代建筑土木工程达成数字化转型以及实现绿色发展的重要支撑。智能施工技术不单是技术革新的具体体现，更是建筑行业迈向高效、绿色、安全、可持续发展这一方向的必然途径。

3 智能施工技术的应用优势和存在问题

智能施工技术的应用有两点明显优势。第一，有利于提高工程施工效率。传统建筑土木工程施工工艺，不仅施工资源需求量大、人力成本消耗较大，而且相对建设周期较长，单位经济利益难以提升。随着智能施工技术的应用，施工单位采用自动化装置与远程控制系统，有效减轻了人员作业压力，且提高了工程施工精确性。以常见智能焊接、切割等机器人为例，能够在施工现场进行多种高精度操作，大大降低了人力成本，且有助于缩短建设周期。第二，保障了工程施工安全。传统建筑土木工程吊装、搬运等施工作业，造成安全事故的风险普遍存在。通过采用智能施工工艺，以先进的机器设备代替人工进行高危作业，从而减少了施工风险。

当前管理与实践中，建筑土木工程智能施工技术的应用同样存在问题，第一，投入成本较高，如自动化设备、智能化系统等都需要大量的采购资金，对中小型施工单位而言，无法承担巨大的成本压力。第二，还没有完全普及的智能施工技术，行业内的各项应用处于探索阶段，技术水平、普及度等都有待提升。

4 智能施工技术的应用路径

4.1 智能结构控制体系

智能结构控制体系是智能施工技术的关键构成部分，其主要是依靠安装传感器以及智能监测设备来实时采集建筑结构的应力、变形、振动等一系列关键参数，以此达成对施工整个过程以及结构安全的动态化监控目的。该体系凭借无线传输以及数据处理方面的技术，把所采集到的信息传送到中央控制平台，再结合大数据分析以及智能算法，针对结构运行状态展开精准的评估工作，能够及时察觉到潜在的风险，并且还能通过系统算法对施工方案做出调整指引，从而切实有效地防止结构安全事故的出现[1]。智能结构控制体系不仅能够在施工期间给予安全保障，而且还可以延续到建筑物的使用维护阶段，进而应用于结构健康监测以及预警功能。借助智能控制体系，施工单位可以实现对施工过程的实时感知以及智能响应，大幅提升工程的质量以及安全管理水平，减少由于人为判断失误而引发的安全隐患，推动建筑结构安全管理科技进步以及智能化升级。

4.2 施工自动化技术

施工自动化技术是达成智能施工极为关键的一种手段，其包含了机械自动化、机器人技术相关领域以及自动化施工设备的具体应用情形。借助智能吊装机器人、无人驾驶施工车辆还有自动焊接切割等这类自动化机械设备，在一定程度上能够取代传统意义上人工所开展的那些存在较高风险的操作行为，能够在很大程度上提升施工方面的效率，同时也能让施工的安全性得以大幅提高。自动化设备依靠着高精度的各类传感器以及智能控制的相关系统，能够顺利完成那些既复杂又带有重复性质的施工任务，通过这样的方式能够有效减少人为因素所产生的误差，进而促使施工的精度以及工程质量都得到相应的提高。自动化技术和远程监控以及指挥系统相互配合，能实现对施工设备进行实时的状态监测以及开展远程的操作管理工作，以此来确保施工现场能够保持良好的协调状态并实现高效地运行[1]。施工自动化一方面降低了人力方面的成本开支，另一方面还使得施工周期有所缩短，是推动建筑行业朝着转型升级迈进的一项重要的技术方面的有力保障。随着人工智能以及机器学习等相关技术逐步融入其中，未来的施工自动化将会朝着更为智能化以及自主化的方向去

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

发展，从而进一步地提升施工作业的智能程度以及工程自身的成果品质。

4.3 绿色施工技术

绿色施工技术属于智能施工的关键应用范畴，致力于在施工进程中尽可能地节省资源、缩减能耗以及削减环境污染，以此来推进建筑行业达成可持续发展的目标。借助智能化的途径达成对施工材料的精确计量以及合理运用，有效地防止出现资源浪费以及过度耗费的情况[2]。智能环保监测设备可实时对施工现场的噪声、粉尘以及排放状况予以监控，一旦发现问题便能及时发出预警，并且采取与之相应的治理举措，从而保证施工活动能够契合环保法规以及相关标准。绿色施工技术同样重视施工能耗的优化管控，运用智能调度系统对机械设备的运行时间以及负载情况进行合理的安排，进而降低能源的消耗量。智能施工技术将新型环保材料和工艺相结合，促使施工现场的生态环境得以保护，同时也提升了建筑物的绿色性能[3]。通过实施绿色施工这一举措，建筑企业不但能够履行自身的社会责任，提高企业的社会形象，而且还能够在实现经济效益的同时收获环境效益，达成双赢的局面，推动建筑业朝着绿色转型以及高质量发展的方向迈进。

4.4 建筑信息模型（BIM）技术应用

建筑信息模型（BIM）技术在智能施工技术体系里有着不可或缺的作用。它能构建建筑物的三维数字模型，把设计、施工以及运维全生命周期的信息都集成起来，达成数据共享和信息集成的效果。借助 BIM 技术，施工单位可在施工之前开展精准的施工模拟以及方案优化工作，有效识别设计和施工当中的潜在冲突与风险，降低现场返工以及资源浪费的情况[4]。在施工的过程中，将 BIM 和传感器、物联网技术相结合，可实现对施工进度、质量以及安全的实时监控与管理，提升施工的透明度与协同性。BIM 技术还能够支持多方协同作业，推动设计单位、施工单位和监理机构之间的信息沟通，提高项目管理的效率。BIM 技术的应用，使施工管理完成了从传统二维平面向三维立体空间以及信息化管理的转变，大幅提升了施工的数字化水平以及智能化管理的能力[5]。

4.5 3D 扫描与数字化测量技术应用

3D 扫描以及数字化测量技术借助高精度的激光扫描仪、全站仪等各类测量设备，可迅速获取施工现场以及建筑结构的三维空间的数据，极为精准地呈现出施工的实际状态以及结构的几何形状[6]。此项技术在施工进度的监测、质量的验收、变形的检测以及施工误差的分析等诸多方面都有着广泛的应用，从而为智能施工给予了准确的数据方面的支撑。凭借数字化测量这一手段，施工单位能够达成施工过程的数字孪生式的管理，随时且全面地掌握现场的具体状况，针对施工出现的偏差能够帮助做到及时的调整与纠正，以此来保证施工的质量能够契合设计要求。把 3D 扫描所得到的数据同 BIM 模型加以集成并应用，进一步强化了施工信息的可视化程度以及交互特性，使得施工决策的科学性与准确性都得到了提升。除此之外，数字化测量技术在实际应用当中，还大幅度削减了传统测量方法所存在的人为误差以及施工风险，同时也让测量的效率得以提高，安全方面的保障也获得了加强，进而为智能施工的精准实施以及高效的管理筑牢了基础[7]。

5 结语

随着信息技术以及智能化设备持续取得进展，智能施工技术已然变成推动建筑土木工程行业发生变革以及实现升级的关键驱动力量。凭借智能结构控制体系、施工自动化、绿色施工、BIM 技术还有 3D 扫描等诸多技术相互融合及应用，智能施工不但显著提高了施工效率以及工程质量，而且还大幅强化了施工安全性以及环境保护的程度。智能施工技术在推广运用的过程当中，让传统建筑施工里所存在的效率不高、安全风险偏高以及资源存在浪费等一系列突出的问题得到解决，可推动行业朝着数字化、绿色化以及智能化的方向发展。当下智能施工技术依旧面临着成本过高、技术普及较为困难以及专业人才有所欠缺等诸多挑战，然而伴随技术变得日益成熟以及市场需求不断增加，这些难题将会一步步地得到缓解并且最终得以解决。在未来，智能施工技术会在大数据、人工智能、物联网以及 5G 等新兴技术赋能下，实现更为广泛、更为深入的应用，进而成为建筑行业实现高质量发展的关键保障。

[参考文献]

[1]徐天达.建筑土木工程中的智能施工技术及其应用[J].智能建筑与智慧城市,2025(3):122-124.

[2]覃龙.建筑土木工程施工技术控制的重要性分析[J].居业,2024(3):31-33.

[3]沈加波.建筑土木工程施工技术控制的重要性分析[J].中华建设,2022(9):153-154.

[4]Xu Z ,Qunyou Z ,Huiying Z , et al.Integrating Building Information Modeling (BIM) with Ecological Engineering for Sustainable Civil Construction[J].E3S Web of Conferences,2025(1):618.

[5]Almeida A S D ,Katerina V G ,Bertha D , et al.A Methodology for Embedding Building Information Modelling (BIM) in an Undergraduate Civil Engineering Program[J].Applied Sciences,2022,12(23):12203-12203.

[6]何剑波.智能建造技术在土木工程中的实践与未来趋势[N].安徽科技报,2025-04-02(14).

[7]彭湃.建筑信息模型BIM技术在智能化土木工程中的应用[J].集成电路应用,2023,40(8):212-213.

作者简介：欧家文（1990.2—），单位名称：中国雄安集团有限公司，毕业学校和专业：沈阳建筑大学 建筑与土木工程（结构工程方向）。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

BIM 技术在建筑装饰装修工程中的应用研究

于 强
中海地产（山东公司），山东 济南 250004

[摘要]随着建筑业不断发展以及环保意识逐步提升，建筑装饰工程除了得满足美观与实用方面的要求之外，还务必要达成绿色以及可持续发展的目标。传统那种装饰施工的方式，存在着资源出现浪费情况、对环境造成污染以及效率比较低下等一系列的问题，根本就没办法契合现代的需求。建筑信息模型也就是 BIM 技术，借助三维可视化以及信息共享这两个特点，使得设计环节、施工环节还有运维环节的效率都得到了提高。这篇文章着重介绍 BIM 技术所具有的应用价值，同时对 BIM 技术的具体应用展开探讨。

[关键词]BIM 技术；建筑装饰装修；技术应用
DOI：10.33142/ucp.v2i3.16715 中图分类号：TU7 文献标识码：A

Research on the Application of BIM Technology in Building Decoration and Renovation Engineering

YU Qiang
Zhonghai Real Estate (Shandong Company), Ji'nan, Shandong, 250004, China

Abstract: With the continuous development of the construction industry and the gradual improvement of environmental awareness, building decoration engineering must not only meet the requirements of aesthetics and practicality, but also achieve the goals of green and sustainable development. The traditional way of decoration and construction has a series of problems such as resource waste, environmental pollution, and low efficiency, which simply cannot meet modern needs. Building Information Modeling, also known as BIM technology, utilizes the characteristics of 3D visualization and information sharing to improve the efficiency of design, construction, and operation and maintenance processes. This article focuses on the application value of BIM technology and explores its specific applications.

Keywords: BIM technology; architectural decoration and renovation; technical application

引言

随着建筑行业持续快速发展，人们对于居住以及工作环境品质的要求也在不断提高，建筑装饰装修工程在整栋建筑项目当中所占据的地位变得愈发重要起来。不过装饰装修工程自身存在诸多特点，像设计方面较为复杂，工艺种类繁多，而且施工环境也受到限制等等，所以经常会碰到一些问题，比如施工进度很难把控，成本经常出现超支情况，还有质量管理工作开展起来也比较困难等。传统那种施工管理方式已然没办法满足现代装饰装修工程对于高效且精细化管理方面的需求了。建筑信息模型也就是 BIM 技术，它是一种新兴技术，把三维建模、信息共享以及协同管理整合到一起，因为其在提高设计准确性、优化施工方案以及强化项目管理等诸多方面都具备十分突出的优势，所以渐渐地成为了推动建筑装饰装修工程发生变革的关键工具。借助 BIM 技术能够达成设计阶段、施工阶段以及运维阶段的深度融合，并且实现数据共享，如此一来便能有效提高工程的管理效率，提升工程质量，同时还能降低施工风险以及成本。鉴于此，本文着重围绕 BIM 技术在建筑装饰装修工程当中的具体应用展开相关研究，对它在设计优化、施工管理、碰撞检测、材料管理以及成本控制等方面的实际应用价值以及后续的发展路径展开深入探讨，期望能够为推动装饰装修工程实现信息化、智能化管理给予一定的理论方面的支撑以及技术层面的指导，进而促进建筑行业迈向高质量的发展道路。

1 建筑装饰装修工程施工中 BIM 技术的应用价值

1.1 优化施工方案

在装饰装修工程中，各类材料、设备和管线的合理布局是保证施工顺利进行的关键。首先，利用 BIM 技术构建三维模型后，施工团队能够对各空间进行三维模拟与优化设计，确保各工程环节无遗漏或重复。其次，合理规划施工路径对整个施工流程至关重要，BIM 技术可以模拟材料运输、设备安装和人员流动等多种施工场景，及时发现潜在的交叉干扰和施工难点，并提前进行调整优化。最后，借助 BIM 技术，施工管理人员能够实时掌握现场进度和动态，快速解决可能出现的问题，有效控制施工进度和质量。同时，BIM 还促进了不同专业施工队伍之间的协调，避免了工程冲突和交叉作业的发生。

1.2 实现管理信息化目标

在建筑装饰装修工程开展施工之时，BIM 技术凭借数字化以及信息化的相关手段，达成了管理方面的信息化所设定的目标。传统意义上的装饰装修施工，常常会碰到信

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

息孤岛这样的状况，同时沟通也往往不够顺畅，这就使得设计变更没办法及时地传达到位，施工进度也难以精准地把控，而在质量和成本控制方面更是存在着一些盲区。BIM 技术借助三维模型把设计、施工、预算等诸多方面的信息加以集成，进而实现了项目在各个阶段数据的集中化管理以及共享，有力地推动了各专业之间展开协同合作[1]。借助信息化平台，项目的管理者可以实时对施工进度、材料使用情况、人员安排状况以及现场质量进行监控，能够迅速对现场出现的问题做出响应，如此一来便降低了管理方面的风险以及可能出现的误差。

1.3 提升项目管理水平

在建筑装饰装修工程展开施工期间，BIM 技术的应用切实提高了项目管理的水平。借助构建起的三维数字模型，BIM 一方面直观地呈现了设计方案，另一方面达成了设计以及施工的高度融合，使得各个参与方可以在统一的平台之上开展沟通与协作，减少了信息在传递过程当中出现的误差以及遗漏情况。项目的管理者能够凭借 BIM 技术针对施工进度、质量、安全还有成本等诸多关键环节展开全程的监控以及动态的调整，进而提升了管理所具有的精准程度以及响应的速度。并且，BIM 技术还能够支持施工方案的虚拟仿真以及碰撞检测工作，提前将潜在的问题给找出来，防止出现现场返工以及资源浪费的现象，极大地提升了施工的效率以及经济方面的效益。

2 装饰装修工程的复杂性与难点

装饰装修工程呈现出复杂的特性，这主要表现在它有多层次、多专业的交叉融合特点，还有施工环境以及工艺流程都具备高度的复杂性。装饰装修会涉及到建筑本体的结构改造，同时也有机电设备的安装、给排水系统的布置、通风系统的配置以及消防安全设施的集成等方面，这些不同专业之间存在着数量众多的技术交叉情况以及空间冲突问题，给设计协调工作以及施工组织带来了极大的挑战。装饰装修所用的材料种类十分繁杂，像各种板材、涂料、饰面材料以及特殊功能性材料等，每一种材料的性能都有明显的差异，这就对施工工艺、环保要求以及耐久性都提出了比较高的标准，而且材料之间的搭配以及施工顺序都需要极为精准地去把控，使得施工管理的难度大大增加。装饰装修施工现场的空间往往比较有限，作业环境也比较复杂，现场布置受到诸多限制，施工人员得在狭窄的空间里完成多项精度很高的作业，特别容易引发施工冲突以及安全隐患。并且，装饰装修工程的周期相对较短，设计变更的次数也较为频繁，信息传递的链条又长又复杂，各参与方之间沟通协调不够顺畅，这就使得施工计划很容易被打乱，进而导致工期出现延误以及成本有所增加的情况[2]。因为装饰装修工程有较高的视觉以及使用功能方面的要求，所以施工质量控制的标准非常严格，哪怕只有细微的误差，都可能对最终的效果以及用户的体验产生影响，这无疑对施工技术水平以及现场管理都提出了极高的要求。

3 BIM 技术在建筑装饰装修工程中的应用

3.1 设计阶段的 BIM 应用

在建筑装饰装修工程设计环节，BIM 技术的应用颠覆了传统设计模式，大幅提高了设计精度与协同性。借助构建基于三维数字信息的建筑信息模型，设计团队可将建筑结构、机电系统、装饰材料、施工工艺等多维度数据整合起来，达成设计信息的统一管理与动态更新，避免了传统二维图纸信息孤立、重复绘图、数据不一致等问题。BIM 技术助力多专业协同设计，设计师、结构工程师、机电工程师、装饰设计师可在同一平台同步工作，实时共享设计方案，有效处理专业交叉领域常见冲突与矛盾。利用 BIM 模型碰撞检测功能，设计人员能提前发现设计缺陷与潜在冲突，及时调整方案，减少施工阶段返工与变更，明显降低项目风险与成本。BIM 的虚拟现实与模拟仿真能力让设计成果可视化程度大增，业主和项目相关方能直观理解设计意图，提升决策效率与设计优化。

3.2 施工阶段的 BIM 应用

在建筑装饰装修工程施工期间，BIM 技术的应用有力推动了施工过程的精细化管理以及协同效率的提高。凭借基于 BIM 模型构建的三维可视化平台，施工团队能够达成对施工现场的动态监控以及精准调度，清晰知晓施工进度、施工顺序以及各工序间的关系，防止因信息不对称引发的资源浪费与施工冲突。BIM 技术可助力施工方案的虚拟仿真以及施工模拟，施工人员可在施工前借助模型开展演练，识别潜在风险与难点，制定科学合理的施工计划与施工方案。BIM 模型汇集了材料清单、设备参数以及施工工艺等诸多维度的信息，有利于精准把控材料采购与使用，降低浪费与成本超支的情况。在施工现场管理方面，依靠 BIM 平台，施工管理人员能实时获取工程进度、质量、安全等关键数据，实现信息化管理与现场管理的无缝对接[3]。BIM 技术还能在施工过程中支持碰撞检测与协调工作，及时发现不同专业施工内容之间的冲突，保证施工质量和安全。

3.3 装饰装修工程中的碰撞检测与协调管理

在建筑装饰装修工程里，碰撞检测以及协调管理属于关键环节，可保障施工顺利开展，还能提升工程质量，而 BIM 技术在这方面起到了颇为重要的作用。借助构建起高度集成的三维建筑信息模型，BIM 可以把结构、机电、给排水、通风、消防以及装饰装修等诸多专业的设计信息汇聚到同一个平台之上，达成多专业、多系统相互间的协同作业。凭借 BIM 所具备的碰撞检测功能，设计团队以及施工团队能够在施工开始之前针对模型展开全面的空间冲突分析，从而及时察觉到不同专业管线、构件还有设备之间或许存在的交叉、重叠或者干涉等各类问题。相较于传统的二维图纸对比以及人工检查而言，BIM 碰撞检

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

测有着更高的精度以及效率，极大地削减了施工现场因为设计冲突引发的返工以及延误的风险。与此 BIM 技术还能够支持对碰撞问题加以分类、标注以及按照优先级进行排序，助力项目管理者合理地安排协调相关工作，进而优化资源配置以及施工顺序。借助 BIM 平台达成各专业设计方案的动态更新以及实时共享，使得相关各方可以快速做出响应并且协商处理冲突，推动沟通走向透明化以及信息实现同步化，避免出现信息孤岛以及误解的情况。

3.4 BIM 在材料管理与成本控制中的应用

在建筑装饰装修工程项目当中，BIM 技术于材料管理以及成本控制这两个层面都彰显出了颇为明显的优点，切实有效地推动了工程在经济效益方面以及管理水平方面的提升。借助 BIM 模型针对工程里所运用的各种各样的材料展开细致的三维建模操作，并且完成相关信息的集成处理，如此一来，项目团队便可以达成对材料规格、数量、供应商信息以及施工位置等方面的精准把控。BIM 技术能够助力自动生成极为详尽的材料清单（BOQ），这就在很大程度上消减了传统依靠人工来进行统计时有可能会出现的种种遗漏情况以及各类错误，进而提升了材料采购工作的准确性以及及时性，成功避免了出现材料浪费以及库存积压等不良状况。与此凭借着 BIM 和成本管理软件的相互集成，工程造价得以实现动态的监控以及实时的更新操作，无论是在施工过程中出现了任何设计方面的变更情况，还是发生了施工方面的调整事宜，都会立刻反映到成本预算当中去，从而协助项目管理者能够及时地掌握成本的动态变化情况，有效控制预算出现的偏差。借助 BIM 技术，材料在采购环节、运输环节、使用环节以及库存环节等方面均实现了信息的共享以及流程的优化，这无疑增强了供应链所具备的透明度以及协调性，降低了由于材料出现短缺情况或者存在质量问题而给施工所带来的风险[4]。除此之外，BIM 还能对施工模拟以及进度管理予以支持，使得材料的使用能够变得更加合理且高效，促使施工计划和材料供应能够实现精准的衔接配合，最终提升了整个项目的执行效率。

4 BIM 技术提升建筑装饰装修工程管理效率的路径

BIM 技术在提升建筑装饰装修工程管理效率方面，其路径主要聚焦于信息集成、协同工作、过程可视化以及智能化决策这四个层面。凭借构建起统一的三维数字信息模型这一举措，BIM 成功达成了设计、施工、材料、预算等诸多方面数据的集成以及共享目标，彻底击破了传统施工管理当中存在的信息孤岛这种局面，进而大幅度地提高了信息流通所具有的效率以及准确性程度。BIM 对于多专业、多部门之间的协同工作起到了促进作用，设计师、施工人员、项目管理者还有供应商均能够立足于同一个平台来开展实时的沟通交流以及方案调整事宜，切实有效地避免了出现误解以及冲突的情况，同时也削减了返工以及延误等问题的发生。接着，BIM 技术借助三维可视化以及虚拟仿真的相关手段，把复杂程度颇高的施工流程以及施工现场以一种直观的方式予以呈现出来，使得管理者可以实时且细致地去监控施工进度、质量以及安全方面的状况，能够及时察觉并妥善处理潜在存在的各类问题，以此来确保施工过程能够有序且顺利地推进下去。BIM 和大数据分析以及智能算法相结合，可为施工方案的优化、成本的控制以及风险的预警给予有力支持，由此促使决策具备更高的科学性以及更强的前瞻性，推动管理方式从单纯依靠经验转变为由数据驱动的方式来开展各项工作。

5 结语

BIM 技术于建筑装饰装修工程当中，已然彰显出颇为显著的应用价值，同时其发展前景亦是十分广阔的。它一方面让设计的精确性得以提升，另一方面也使得施工的协调性获得了增强，并且对材料管理以及成本控制进行了优化，切实有效地推动了项目管理朝着信息化以及智能化的方向不断发展。伴随技术持续地走向成熟并且得到广泛推广，BIM 在未来将会在提高装饰装修工程的质量、效率以及可持续性这些方面，发挥出越发重要的作用。在往后的日子里，需要进一步强化 BIM 技术与实际工程管理之间的深度融合，积极推动相关标准的制定以及人才的培养工作，以此来充分释放其在建筑装饰装修领域所蕴含的巨大潜力，从而助力整个行业达成高质量发展的目标。

[参考文献]

[1]范振刚,谢晋永.BIM 技术在装饰工程造价管理中的应用[J].居舍,2025(7):67-70.

[2]周建鑫,赵俊翱.BIM 技术支持下建筑室内装饰设计的创新对策[J].中华民居,2024,17(9):136-138.

[3]陈肖霞.建筑装饰装修工程中 BIM 技术的应用研究[Z]//广西信息化发展组织联合会.第四届工程技术管理与数字化转型学术交流会论文集.浙江南方建设工程有限公司;,2024:62-63.

[4]王云峰,廖祥红,鲍方刚,等.建筑装饰装修工程施工中 BIM 技术的应用研究[J].中国建筑装饰装修,2024(20):79-81.

作者简介：于强（1982.9—），毕业院校：东北林业大学，所学专业：艺术设计（室内与家具设计），当前就职单位：中海地产（山东公司），职务：高级主管，职称级别：中级。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

医疗建筑的弹性设计和可持续更新探讨

张 鑫
浙江华展研究设计院股份有限公司，浙江 宁波 315000

[摘要]随着人类社会不断发展以及科学技术不断取得进展，医疗建筑往往会面临持续的动态更新情况。在对医疗建筑更新理论展开分析之际，可从进化论层面较为客观地阐述医疗建筑的发展规律。医疗建筑设计需要给出具备灵活性且适应性较强的建筑形式与空间结构，以此提升建筑的可利用程度以及可调适能力，进而尽可能降低因建筑方面因素受到限制所引发的资源浪费状况。这样的一种设计理念有益于医疗建筑在遭遇需求出现变化以及技术获得进步之时，可以更为高效地开展调整与优化工作。

[关键词]医疗建筑；弹性设计；可持续更新
DOI：10.33142/ucp.v2i3.16738 中图分类号：TU246.1 文献标识码：A

Discussion on Elastic Design and Sustainable Renewal of Medical Buildings

ZHANG Xin
Zhejiang Huazhan Research and Design Institute Co., Ltd., Ningbo, Zhejiang, 315000, China

Abstract: With the continuous development of human society and advances in science and technology, medical buildings often face continuous dynamic updates. When analyzing the theory of medical building renewal, the development laws of medical buildings can be objectively explained from the perspective of evolutionary theory. Medical building design needs to provide flexible and adaptable building forms and spatial structures to enhance the usability and adaptability of the building, thereby minimizing resource waste caused by building constraints. This design concept is beneficial for medical buildings to carry out adjustment and optimization work more efficiently when facing changes in demand and technological advancements.

Keywords: medical buildings; elastic design; sustainable renewal

引言

城市化快速推进，医疗需求持续增长，医疗建筑设计既要满足当下使用需求，又要能应对未来变化。医疗建筑属于公共建筑的特殊类型，其功能性与适应性对医疗服务效率和质量影响颇大。技术发展、人口结构改变、医疗模式创新，传统医疗建筑设计已难以应对愈发复杂多样的需求。所以，弹性设计和可持续更新成为当下医疗建筑设计的关键方向。弹性设计注重建筑面对功能变化、技术更新、使用需求变化时的灵活与适应特性，可持续更新聚焦建筑借助定期设施升级、环保举措、功能重组等方式，延长使用寿命，减少运营成本。把两者结合起来，既能提升医疗建筑长期使用的适应性和运营效率，又能推动资源高效利用和环境可持续保护。本文会深入剖析医疗建筑里弹性设计和可持续更新的应用方式，考察其在现代医疗建筑设计中的关键作用，给出相应实践策略，并期望给未来医疗建筑的规划与建设带来理论依据和实践指引。

1 弹性设计和可持续更新在医疗建筑中的作用

弹性设计以及可持续更新在医疗建筑当中所起到的作用正变得愈发重要起来。随着医疗方面的需求变得日益多样化，并且技术也在不停地快速发展着，传统的那种医疗建筑设计模式已然没办法满足当下现代医疗环境的相关需求了。弹性设计能够让医疗建筑去应对未来可能出现的各种各样的变化以及各类挑战，具备更高的适应能力以及更强的灵活性。在实际的应用情况当中，弹性设计凭借合理的空间布局方式、恰当的结构规划方案以及功能模块化的设置，可以让建筑在不破坏原有的框架基础的情况之下实现扩展操作、调整变动以及功能重组等工作。这样的设计是能够针对不断变化的医疗技术状况、设备情况以及患者需求等方面的变化来做出有效应对的。比如说，在某一个医疗建筑里面，借助弹性设计，科室的布局就能够随着医疗服务的升级进程或者需求方面的变化而展开相应的优化举措，而且无需进行大规模的拆除改造或者重新建设等操作，这在很大程度上提升了建筑的长期使用所具有的价值。与之医疗建筑的可持续更新同样有着极为重要的意义。随着时间一天天过去，建筑的各项设施以及各种设备都会慢慢出现老化的现象，医疗需求同样也会发生相应的变化。可持续更新的设计理念通过引入节能方面的技术、环保类型的材料以及对设备进行定期的升级操作等方式，可以确保建筑在整个生命周期范围之内始终都能够维持在高效能的状态并且保持较低的环境负荷程度。

2 弹性设计在医疗建筑设计中的应用

2.1 前期策划中的弹性设计

在医疗建筑设计的初始策划环节当中，弹性设计的应用有着极为重要的意义，其主要呈现出建筑空间所具备的

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

灵活性以及可调整性的特点。在初步设计阶段，设计团队务必要充分考量到未来有可能出现的需求方面的变化情况以及医疗技术的发展态势。举例来讲，伴随医疗服务不断地进行更新并且变得日益多样化起来，医院的科室配置以及功能需求极有可能会出现相应的调整，而弹性设计正好能够针对这种变化给予充足的适应能力。从空间布局的角度而言，设计应当避免出现过度固定的状况以及过度复杂的结构情况，而是要给出模块化、可变空间以及可扩展的设计方案，从而让建筑能够在后续阶段灵活地去应对不同功能需求以及使用方面的变化。与此前期策划里的弹性设计还应当将未来的设备更新以及技术升级等情况考虑进去，以此来保证建筑空间能够较为便捷地完成设施以及设备的替换或者新增加的操作[1]。比如说，医疗设备和技术的更新换代的频率是比较高的，在设计的时候就需要留出足够多的空间并预留好管线通道，这样才能够在未来顺利地安装新的设备，防止因为设备更替而对建筑功能的正常运转产生影响。

2.2 总体规划中的弹性设计

与普通建筑相比，医疗建筑不仅需要满足一般建筑的基本功能要求，还需要对各个功能区域进行合理的整合，以确保建筑能够形成一个高效、统一的整体。在进行医疗建筑设计时，必须合理规划各部门的功能布局，确保不同区域之间的协调和衔接，以便更好地满足医疗服务的需求。采用分栋连廊的横向发展模式，可以有效整合医疗中心的各个职能部门，保持整体的连贯性和高效性。在设计过程中，应充分利用标准化的设计和管理方法，确保空间布局的合理性和功能性，从而为患者提供更加便捷、舒适的就诊体验。

2.3 建筑单体中的弹性设计方法

在医疗建筑单体设计环节，弹性设计方法的应用重点呈现于建筑结构、空间布局以及设施配置所具有的灵活性层面。建筑结构设计务必要具备可扩展特性，要能允许依据医院功能方面出现的变化或者需求有所增加的情况，在不会对原有结构稳定性产生影响的基础之上展开扩建或者改造操作。比如，预先留出的扩展空间以及采取模块化的相关设计，可为后续功能变化给予相应的支持。医疗建筑的空间布局得契合高度的灵活性要求，尤其是在公共区域以及科室设计方面，需规避固定墙体以及限制性设计情况的出现，转而运用可拆卸的隔断以及可调节的空间布局方式，如此便能够依照实际需求迅速对空间配置做出调整。与此建筑内部的走廊、楼梯、电梯等交通系统在设计之时，也得将未来可能出现的使用需求变化考虑进去，像是额外的病床需求、设备需求亦或是人流量变化等情况，这些都得在设计阶段预留出充足的通行空间，并且还要有便于后期改造的结构方面的支撑。

2.4 功能单元中的弹性设计

在医疗建筑功能单元设计方面，弹性设计的应用特别重要，其赋予了医院各个科室以及功能区域灵活调整与重新配置的可能性。医疗建筑的功能单元涵盖了诊疗室、手术室、病房、实验室等诸多区域，每个区域的使用需求会随着时光的流逝以及技术的进步发生改变。所以在设计之时，务必要考量这些区域未来的适应性以及变化的空间。比如，像手术室、急诊室这类需求较高的区域，在设计的时候应当预留出额外的空间，如此一来，未来要是进行设备升级或者增添额外设施便无需开展大规模的改动[2]。在病房以及科室的布局环节，设计师能够运用模块化布局以及可移动隔断的方式，让各功能单元的分隔与组合能够依据不同的医疗需求做出调整或者优化。

3 医疗建筑可持续更新的实践方法

3.1 设施和设备的定期升级

设施与设备的定期升级属于医疗建筑可持续更新的关键实践手段。鉴于医疗技术以及设备发展极为迅速，医院的设施和设备常常会遭遇技术更新换代方面所存在的压力。若要维持医疗服务的高效性以及准确性，医疗建筑有必要定期针对其设施与设备展开升级操作。如此一来，既能提升医疗服务的质量，又能改善患者的就医感受。定期升级设备涵盖对医疗仪器、检测设备、手术室设施、监控系统等重要设施加以更新，以此保证它们能够契合最新的医疗需求以及技术标准。举例来讲，随着影像学技术持续发展，医院或许得更新 CT、MRI 等检查设备，从而给予更高精度的诊断服务。并且，信息化系统的更新同样十分关键，医院的电子病历系统、远程诊疗平台等需要紧跟技术进步的步伐，提升数据处理以及共享的效率。

3.2 节能技术和环保措施的引入

节能技术以及环保措施的引入，这无疑是医疗建筑可持续更新极为重要的一环。就医疗建筑在实际运营期间的情形来看，其中能源方面的消耗情况还有对环境所产生的影响，这两者都属于不容小觑的关键因素。特别是像医院这类有着特殊性的建筑而言，它在空调运转、照明安排、各类设备运行等诸多方面，对于能源的需求量往往是颇高的。若要达成减少能源消耗的目的，并且要切实减轻给环境所带来的负担，那么医疗建筑就必须去采用那些较为先进的节能技术以及行之有效的环保措施。而这些举措一方面能够颇为有效地压低运营方面的成本支出，另一方面也能够促使温室气体的排放得以减少，进而推动实现绿色发展的目标。就好比说，倘若采用那种高效的 HVAC 也就是暖通空调系统，再加上智能温控系统，如此一来便可以在充分满足医院内部所提出的环境方面的需求之时，大幅度地削减能源的消耗额度[3]。通过引入诸如 LED 照明设备、智能照明控制等相关高效照明设备，不但能够让能源消耗明显降低下来，而且还能让照明的质量得到提升。在开展建筑设计工作的过程当中，要是采用节能材料以及绿色建筑方面的技术，像是针对外墙做出保温方面的设计处理、运用低辐射玻璃、实施屋顶绿化等举措，那么就能够

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

使得建筑的热负荷得以减少，同时也能让空调系统所承受的负担有所降低。除此之外，医疗建筑还得留心对废水、废气以及固体废弃物的处理事宜，积极去推广污水回收的相关制度以及垃圾分类的推行工作，以此来削减资源出现的浪费状况，进而在一定程度上提高资源的利用效率。借助引入太阳能、风能等这类可再生能源技术的方式，医院便能够进一步降低其对传统能源的依赖程度，从而达成能源供给多元化的良好局面。

3.3 循环利用与废弃物管理

循环利用以及废弃物管理属于医疗建筑可持续更新的重要实践方式之一。在医疗建筑开展日常运营期间，废弃物产生的数量颇为可观，涵盖了医疗废物、生活垃圾、建筑废料等诸多类型。行之有效的废弃物管理，一方面能够削减环境污染的程度，另一方面也有助于提升资源利用的效率。就医疗废物的处理而言，务必要遵循严格的环保法规以及卫生标准，运用安全且科学的方式去完成分类、消毒、储存以及处置等一系列环节。若要降低医疗废物的产生量，医院可借助优化管理与操作流程这一途径，尽可能地减少一次性医疗用品的使用频次，大力推广那些能够重复使用的设备及器具，从而从源头处对废弃物的产生加以控制。对于生活垃圾和建筑废料的处理同样有着不容忽视的重要性，医疗建筑应当构建起完备的分类回收体系，针对可回收物、厨余垃圾、危险废弃物等不同类别展开有效的分拣与处理工作。借助引入废弃物循环利用技术，医院能够把部分废弃物，像是建筑废料以及可回收物等，经过再加工或者转化的操作之后，再度将其转化为其他资源或者能源。除此之外，医疗建筑还能够采纳零废弃的设计理念，在建筑施工的过程中充分使用可持续材料，以此来降低建筑施工过程给环境所带来的负面作用。在建筑处于运营阶段的时候，定期对废弃物管理成效予以评估，并且不断对废弃物的减量化、资源化以及无害化处理加以改进，如此便能够切实有效地达成绿色建筑所设定的目标。凭借科学合理的循环利用以及废弃物管理举措，医疗建筑既能够降低环境污染的情况，又能够在实现可持续发展目标方面贡献出自己的一份力量。

3.4 医疗建筑功能重组与再利用

医疗建筑功能重组以及再利用这种方法，在可持续更新领域当中属于那种绝对不能被忽视掉的关键实践方式。随着时间的推移，医疗需求一直在不停地发生着变化，与此医疗技术也在持续不断地发展演变。在此情形之下，有不少传统医疗建筑都碰到了这样的情况，那就是其空间方面存在不足，或者功能上出现不适应的问题。面对这样的情形，借助功能重组还有再利用的方式来进行操作，如此一来便能够颇为有效地提高建筑的使用效率，进而可以让建筑的生命周期得以延长，另外还能有效减少资源方面的浪费情况[4]。这里所说的功能重组，具体来讲就是在原有建筑结构以及基础设施所搭建起的基础之上，依据新的医疗需求或者说新的服务模式，去对空间展开重新的规划以及相应的调整工作。这样做一方面能够防止出现过度建设的状况，另一方面也能规避掉那些不必要的拆除改造行为，而且还能把现有的资源的利用程度最大化地发挥出来。比如说，有些原本是用来当作住院病房的区域，通过调整其内部的布局以及相关的设施，就可以将其改造成为康复治疗中心亦或者是专家门诊等这类功能区域，从而能够很好地契合医院实际需求所产生的变化情况。

4 结语

医疗建筑的弹性设计以及可持续更新，乃是应对未来医疗需求方面所发生的种种变化以及技术不断取得进展的关键途径。凭借灵活多变的设计理念以及具备可持续性的建筑更新策略，医疗建筑一方面能够切实有效地提升自身功能的适应性，另一方面可使建筑的生命周期得以延长，并且还能够在一定程度上降低运营方面的成本，减少各类资源的无谓浪费，进而有力地推动环境保护相关工作的开展。伴随社会不断发展向前以及医疗模式逐步发生转变，医疗建筑在设计环节以及运营层面也都需要不断地去创新并加以优化，从而能够更好地适应那些始终处于变化之中的各种需求。未来的医疗建筑应当更为着重于将弹性特性与可持续性有机地融合到一起，既要充分保障患者能够拥有舒适的体验以及足够的安全，同时也要在资源、环境以及经济这些不同方面达成高效利用的目标，进而实现有着更强社会责任感以及可持续发展的美好愿景。这样一种涵盖方方面面的设计思路，将会给未来医疗建筑的发展筑牢更为稳固的基础，推动医疗服务不断地朝着更加完善的方向改进与优化。

[参考文献]

[1]蔡振华.探究医疗建筑的弹性设计和可持续更新[J].城市建筑,2021,18(12):135-137.
[2]赵眺.医疗建筑的弹性设计和可持续更新探讨[J].居舍,2019,13(12):195.
[3]王琨,王芙莹,范磊.医疗建筑的弹性设计和可持续更新[J].消防界(电子版),2017,11(6):86.
[4]董方园.可持续发展视角下综合医院总体规划中的弹性设计[D].北京:北京建筑大学,2024.

作者简介：张鑫（1997.6—），毕业院校：宁波大学，所学专业：建筑学，当前就职单位：浙江华展研究设计院股份有限公司，职务：设计负责，职称级别：助理工程师。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

绿色建筑评价体系在建筑设计中的应用与实践

武梦磊
河北天艺建筑设计有限公司，河北 石家庄 050000

[摘要]随着可持续发展理念深入人心，绿色建筑评价体系在建筑设计领域的重要性日益凸显。该体系以提升建筑环境效益、经济效益和社会效益为目标，通过一系列量化指标规范设计流程。其应用涵盖建筑全生命周期，从选址规划到材料选择、设备系统设计等环节，均以绿色评价标准为导向。在实践过程中，虽能有效促进资源节约与环境友好，但也面临评价标准适应性、技术应用成本等问题。

[关键词]绿色建筑评价体系；建筑设计；可持续发展；资源节约；环境友好
DOI：10.33142/ucp.v2i3.16726 中图分类号：TU4 文献标识码：A

Application and Practice of Green Building Evaluation System in Architectural Design

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

Abstract: With the deepening of the concept of sustainable development, the importance of green building evaluation system in the field of architectural design is increasingly prominent. The system aims to improve the environmental, economic, and social benefits of buildings, and standardizes the design process through a series of quantitative indicators. Its application covers the entire life cycle of buildings, from site selection planning to material selection, equipment system design, and other aspects, all guided by green evaluation standards. In the practical process, although it can effectively promote resource conservation and environmental friendliness, it also faces issues such as adaptability of evaluation standards and technical application costs.

Keywords: green building evaluation system; architectural design; sustainable development; resource conservation; environmentally friendly

引言

全球气候变化与资源短缺背景下，建筑行业节能减排、绿色发展成为必然趋势。绿色建筑评价体系作为衡量建筑可持续性的重要工具，为建筑设计提供了科学指引。它整合了多学科知识，将生态理念融入设计实践，对推动建筑行业转型意义重大。但在实际应用中，体系与建筑设计的深度融合仍存在挑战，亟需深入探究其优化路径与发展方向。

1 价体系概述

1.1 体系构建的核心理念

绿色建筑评价体系的构建，以人类与自然和谐共生为终极目标，将可持续发展理念贯穿建筑全生命周期。其突破传统建筑评价仅关注功能与美学的局限，转而从生态、经济与社会三个维度构建评估框架。例如在节地设计中，不仅考量土地资源的集约利用，还需兼顾周边生态廊道的完整性，避免因建筑开发割裂自然生态系统。这种理念的转变，促使建筑设计从单纯的空间营造，升级为对生态环境、资源循环和人类健康的系统性思考。

1.2 多维度评估框架解析

评价体系通过六大核心维度，构建起立体化的评估网络。在节能维度，既要求建筑围护结构达到高效隔热标准，也关注能源系统的智能化调控，实现从被动节能到主动优化的转变。室内环境质量维度则聚焦使用者的健康需求，从空气质量监测、噪声控制到光环境舒适度，均制定了细致的评估标准[1]。这种多维度的量化评估，使得建筑的绿色性能不再是模糊概念，而是可感知、可衡量的具体指标。

1.3 行业发展的引导作用

该体系如同建筑行业的“绿色指南针”，通过政策激励与市场引导双轮驱动，重塑行业发展模式。一方面，政府通过绿色建筑认证补贴、容积率奖励等政策，降低企业应用成本；另一方面，市场对健康人居环境的需求倒逼开发商提升绿色建筑比例。随着评价体系的推广，建筑行业逐渐形成从设计、施工到运维的全链条绿色标准，为碳中和目标的实现提供重要支撑。

2 设计应用要点

2.1 选址规划的生态考量

在建筑选址的起始阶段，绿色建筑理念的贯彻需要建立在对场地的系统性认知与可持续设计之上。设计师需以生态守护者的视角，深入剖析区域生态系统的承载能力，优先选择已开发成熟的地块或生态敏感度较低的区域，最大限度减少对湿地、林地等生态脆弱地带的干扰与破坏。这种选择不仅是对自然环境的尊重，更是为建筑与生态环境的长期和谐共生奠定基础。在交通体系规划中，绿色建筑倡导跳出传统的机动车主导思维，转而构建以公共交通、慢行系统为核心的低碳出行网络。通过提高公共交通站点

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

覆盖率，完善非机动车道与步行路径的连通性，引导使用者选择更为环保的出行方式，从而降低建筑全生命周期的碳排放。

2.2 形体与空间的节能优化

建筑形体设计是实现被动式节能的核心策略，其本质是将建筑与自然环境的互动转化为节能优势。通过精准调整建筑朝向、长宽比例与体型系数，设计师能够充分捕捉自然通风与光照资源。在夏热冬冷地区，建筑采用南北向布局，并巧妙设置导风板，可有效引导穿堂风流动，在夏季为室内带来凉爽；而在北方严寒地区，紧凑的建筑轮廓搭配大面积南向开窗，既能最大化吸收冬日暖阳的热量，又能通过减少建筑表面积降低热量散失，实现冬季的自然保温。

2.3 材料与设备的绿色选型

绿色建材的选择贯穿材料生产、运输、使用到回收的全生命周期。设计师优先选用本地生产、加工能耗低的材料，不仅能减少长途运输带来的碳排放，还能激活地方产业活力，赋予建筑独特的地域文化印记。采用当地石材、竹木等天然材料，既体现对自然的敬畏，又能彰显因地制宜的设计智慧，让建筑成为地域文化的载体[2]。设备系统设计则聚焦于技术创新与能源效率提升。变频空调系统可根据实际负荷自动调节能耗，避免“大马拉小车”的能源浪费；智能水表通过实时监测水资源使用情况，帮助用户及时发现并修正浪费行为。更具前瞻性的是，可再生能源设备与建筑的深度融合——光伏幕墙将建筑表皮转化为能源生产界面，使建筑从单纯的能源消耗者转变为绿色能源的供应者，真正实现“自给自足”的可持续发展目标。

3 实践面临问题

3.1 评价标准的普适性困境

现行绿色建筑评价体系如同给千姿百态的建筑穿上同一件“标准尺码”的外衣，在应对复杂多变的地域特征与功能需求时显得力不从心。试想，在骄阳似火的热带地区，建筑如同置身蒸笼，亟需构建高效隔热通风系统，为人们营造清凉舒适的空间；而在寒风凛冽的寒带地区，建筑则要像坚固的堡垒，牢牢锁住温暖，抵御严寒侵袭。然而，现有的评价指标却像“一把尺子量天下”，未能精准捕捉这种气候差异带来的设计需求变化。不仅如此，不同类型建筑的功能需求更是千差万别。医院作为守护生命的特殊场所，需要时刻保持空气的洁净清新，为患者提供健康安全的就医环境，对通风净化系统的要求近乎严苛；相比之下，普通住宅则更侧重于居住的舒适性与经济性。

3.2 经济成本的现实制约

绿色技术与产品虽承载着可持续发展的美好愿景，却因高昂的成本让不少项目望而却步。以地源热泵系统为例，这项看似理想的节能技术，从设备采购到安装调试，每一个环节都需要投入大量资金，远超传统空调系统的投入。即便它在长期运行中展现出节能优势，能够为建筑带来可观的能源节省，但对于追求短期经济效益的开发项目而言，前期巨大的资金压力犹如一道难以跨越的鸿沟。绿色建材市场同样面临着供需失衡的困境。由于市场供应不足，这些具备环保属性的建材往往供不应求，价格居高不下[3]。在经济利益的驱动下，部分开发商陷入两难境地：一方面，绿色建筑认证是提升项目竞争力的“金字招牌”；另一方面，高昂的成本却让他们难以承受。于是，一些开发商选择走“捷径”，通过局部绿色技术的简单堆砌来获取认证，看似披上了“绿色外衣”，实则背离了绿色设计的核心理念，使得绿色建筑沦为徒有其表的“面子工程”。

3.3 体系更新的滞后性矛盾

在建筑领域，新技术、新理念如雨后春笋般不断涌现，装配式建筑以其高效环保的建造方式革新传统施工模式，近零能耗技术则向着建筑节能的终极目标大步迈进。然而，现行绿色建筑评价体系却像一辆缓慢前行的旧马车，难以跟上行业发展的快节奏。这些前沿技术的创新成果在评价标准中迟迟未能占据一席之地，导致其推广应用缺乏有力的评估依据。与此社会需求也在悄然发生转变。疫情的冲击让人们对建筑的健康防护功能有了全新的认识和更高的要求，通风系统是否能有效过滤病菌、空间布局是否有利于减少交叉感染等问题，成为人们关注的焦点。但现有评价体系未能及时回应这些社会关切，依然沿用旧有的评估框架。这种滞后性使得评价结果与行业发展趋势渐行渐远，难以发挥对建筑设计实践的指导作用，仿佛是用昨天的地图，指引今天的旅程。

4 优化解决路径

4.1 构建差异化评价标准

绿色建筑评价体系的优化，核心在于构建一套“分类-分级-分区”的动态标准体系。在地理维度上，依据我国复杂多样的气候条件，将地域划分为严寒、寒冷、夏热冬冷、夏热冬暖和温和地区五大气候区。针对不同气候区的环境特征，制定适配的节能设计指标：例如严寒地区着重强化建筑的保温性能与供暖系统效率，夏热冬冷地区则需兼顾冬季保温与夏季隔热的双重需求。在建筑类型维度，根据住宅、办公、商业、医疗、教育等不同建筑功能属性，量身定制差异化评价标准。住宅建筑更关注居住舒适度与生活能耗，办公建筑侧重空间灵活性与智能化水平，医疗建筑则对空气品质、卫生防疫系统提出严苛要求。通过赋予特定指标更高权重，如为北方建筑的被动式太阳能设计赋予更大分值，提升医疗建筑空气净化系统的评分标准，确保评价结果真实反映各类建筑的实际需求。

4.2 推动技术降本增效

突破绿色建筑技术应用的成本瓶颈，需要构建产学研深度融合的创新生态。政府可发挥引导作用，设立专项研发基金，搭建企业与高校、科研机构的合作桥梁，聚焦低

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

成本相变储能材料、高效光伏组件、智能调控设备等关键技术领域联合攻关。通过整合多方资源，加速科研成果向市场产品的转化进程。在产业配套方面，完善绿色建材认证体系，简化审批流程，鼓励更多企业参与绿色建材生产。随着市场供给规模扩大，借助规模化生产的成本优势，逐步降低绿色建材价格。搭建行业技术共享平台，将经过实践验证的先进绿色技术进行标准化封装与模块化设计，使不同项目能够直接复用成熟技术方案，避免重复研发造成的资源浪费。

4.3 建立动态更新机制

为保持评价体系的先进性与时代性，需建立“年度微调+五年大修”的动态更新机制。组建由建筑学、环境工程、信息技术等多学科专家构成的委员会，持续跟踪行业技术发展趋势，及时将新型绿色技术，如近零能耗建筑技术、建筑碳捕集技术等纳入评价范畴。借助大数据技术，广泛收集项目反馈、用户体验及社会热点需求[4]。针对突发公共卫生事件、智慧城市建设等新议题，动态调整评价指标权重。例如在疫情后时代，提升建筑通风系统、卫生防疫设计的评分占比；随着智慧运维需求增长，增加建筑智能化管理系统的评价内容。通过定期修订与实时优化，确保评价体系始终引领行业发展方向。

4 技术创新推动

4.1 信息技术的智能赋能

物联网与大数据技术如同赋予绿色建筑灵动的“智慧基因”。在建筑内部，密密麻麻的传感器网络就像神经末梢，时刻感知着建筑的“呼吸”——实时采集能耗数据，监测温湿度变化，捕捉空气质量波动。这些数据经过人工智能算法的深度剖析，如同被赋予了思考能力，能够精准洞察建筑内部的动态。当检测到人员活动的规律，照明系统会像贴心的管家，自动点亮或熄灭灯光；空调系统也能随之调整温度，实现按需供能。数字孪生技术则为建筑设计搭建了一个“虚拟实验室”。设计师们通过构建与现实建筑一模一样的虚拟模型，能够像导演编排剧情般，模拟不同设计方案下建筑与环境的互动。无论是分析光照对室内温度的影响，还是评估通风设计对空气质量的改善效果，这个虚拟模型都能提前预演，帮助设计师在施工前优化方案，避免资源浪费。

4.2 新型材料的性能突破

材料创新正悄然改写绿色建筑的物质密码。透光混凝土宛如建筑界的“光之使者”，既保持着传统混凝土的坚固，又能让自然光自由穿梭，大幅减少人工照明的使用。自修复混凝土则像拥有自我疗愈能力的生命体，当裂缝出现时，内置的微生物胶囊会自动破裂，释放修复物质填补裂痕，让建筑延年益寿。生物基复合材料则展现出对自然的尊重，利用秸秆、竹纤维等可再生资源为原料，摆脱对石化材料的依赖，让建筑从诞生之初就带着绿色的基因。这些新型材料不仅满足了建筑的功能性需求，更像是为建筑注入了环保理念。它们的出现，让建筑不再是高能耗的代名词，而是朝着可持续发展的方向大步迈进。

4.3 能源技术的革命升级

可再生能源技术的突破性进展，为建筑的绿色转型装上了强劲引擎。高效碲化镉光伏薄膜如同建筑的“能量皮肤”，直接覆盖在幕墙表面，将太阳能转化为电能，实现能源的即发即用[5]。地源热泵系统则像地下的“能量搬运工”，通过管道在地下进行热交换，将浅层地热能转化为建筑供暖制冷的能源，让室内四季如春。氢能储能技术的发展，有效解决了可再生能源间歇性的难题。它就像一个智能的“能量储蓄罐”，在能源过剩时储存多余电力，在能源不足时释放，确保建筑能源系统稳定运行。多种技术的协同应用，正在推动建筑从单纯的能源消费者，转变为自给自足的能源生产者。

5 结语

绿色建筑评价体系在建筑设计中的应用，对实现建筑行业可持续发展具有重要意义。尽管目前实践中存在诸多问题，但通过优化评价标准、推动技术创新等举措，可逐步提升其应用效能。未来，随着技术进步与理念更新，绿色建筑评价体系将不断完善，与建筑设计实现更深度融合，助力建筑行业朝着低碳、生态、智慧的方向迈进，为构建人与自然和谐共生的环境贡献力量。

[参考文献]

[1]王有为.绿色建筑评价标准研究[J].建筑科学,2006,22(2):1-6.
[2]刘加平.绿色建筑设计原理与技术体系[J].建筑学报,2010(2):1-6.
[3]江亿.我国绿色建筑发展战略思考[J].城市发展研究,2012,19(6):1-7.
[4]宋凌.绿色建筑评价体系的国际比较研究[J].建设科技,2014(8):26-30.
[5]仲继寿.绿色建筑技术发展趋势与应用[J].中国建设信息化,2018(18):22-25.

作者简介：武梦磊（1986.4—），男，汉族，毕业学校：河北科技大学，现工作单位：河北天艺建筑设计有限公司。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

现代医疗建筑设计中的人性化设计探讨

洪庆胜
宁波市中技建设工程施工图审查中心，浙江 宁波 315000

[摘要]随着我国步入快速发展的21世纪市场经济时期，国家综合国力以及经济实力呈现出不断增强的态势，人们的生活水平也获得了明显提高。在此期间，公众于医疗、保健以及养老等方面所投入的比例也在逐步增多。在这样的大背景之下，社会针对医疗建筑设计所提出的要求已然达到了更高的标准。所以，在开展医疗建筑规划与设计相关工作的时候，仅仅着眼于建筑物的基本功能、安全性以及美观性是不够的，还应当从更为高远的视角以及更具人性化的角度出发，展开极为细致且周全的考量。

[关键词]现代医疗建筑设计；人性化设计；设计探讨
DOI：10.33142/ucp.v2i3.16737　　中图分类号：TU24　　文献标识码：A

Exploration on Humanized Design in Modern Medical Building Design

HONG Qingsheng
Ningbo Zhongji Construction Engineering Construction Drawing Review Center, Ningbo, Zhejiang, 315000, China

Abstract: With China entering the rapidly developing 21st century market economy period, the comprehensive national strength and economic strength of the country have shown a continuous strengthening trend, and people's living standards have also been significantly improved. During this period, the proportion of public investment in medical, healthcare, and elderly care has gradually increased. Against this backdrop, the demands placed on medical building design by society have reached higher standards. Therefore, when carrying out planning and design related work for medical buildings, it is not enough to only focus on the basic functions, safety, and aesthetics of the buildings, which is also necessary to conduct extremely detailed and comprehensive assessments from a higher and more humane perspective.

Keywords: modern medical building design; user-friendly design; design discussion

引言

随着社会持续向前发展，医疗需求也在不断发生变化。在此情形下，医疗建筑的设计理念逐渐发生了转变，不再是单纯地去关注建筑物的功能性以及技术性方面的要求，而是越来越多地开始强调人性化设计的理念。在现代医疗建筑当中，人性化设计已然成为提升医疗服务质量、优化患者就医体验以及提升医院运营效率的关键手段。医疗建筑是承载人类健康以及医疗活动的场所，其设计需要充分考虑患者的生理需求、心理需求，还要顾及医护人员的工作环境，同时要把社会、文化以及环境等诸多因素融入其中，进而创造出一个既能满足医学功能需求，又充满温情关怀的医疗空间。人性化设计可不只是针对建筑外观以及空间布局在美学层面的提升，它更是涉及功能设计、环境营造、服务设施乃至细节处理等方面的全方位优化，目的在于借助科学的规划以及创新的技术手段，来缓解患者的就医压力、提升治疗的效果、确保医护人员的工作效率，同时也推动医院实现可持续发展。本文将会深入探讨现代医疗建筑设计当中的人性化设计理念以及其应用策略，分析怎样通过空间布局、环境设置以及服务设施等多个维度的优化，提高医疗建筑的使用价值，打造出一个更为温馨、舒适、高效且可持续的医疗环境。

1 人性化设计对于医疗建筑设计的意义

人性化设计在医疗建筑设计里的意义有多方面体现，它既是医疗空间功能优化的需要，也是针对医疗服务质量、患者心理感受以及医院整体运营效率做出的深层次反馈。随着医疗理念从“以疾病为中心”慢慢转变为“以人为中心”，医疗建筑不再是仅仅满足诊疗活动的地点，而要成为一个注重患者体验、尊重医护工作需求、推动人与环境和谐相处的综合场所。人性化设计着重借助科学合理且舒适温馨的环境营造，以及细致入微的服务设施，来为患者营造一个安全、舒适、温暖的就医环境，以此缓解他们的就诊焦虑，提升满意度，同时也为医护人员创造良好的工作条件，降低职业疲劳，提高工作效率和服务质量。从宏观层面来看，人性化设计体现出的是更高层次的社会关怀，是医疗建筑朝着高品质、可持续、以人为本的方向发展的必然走向[1]。所以把人性化理念融入到医疗建筑设计的整个过程之中，已经成为现代医院建设与管理的关键目标。

2 建筑的人性化设计的因素

2.1 以人为本的管理方式和经营理念

以人为本的管理方式以及经营理念，乃是达成建筑人性化设计的关键出发点所在。其着重于在建筑设计以及运营进程中，切实尊重并充分满足人之基本需求以及情感体

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

验。就医疗建筑来讲，此理念不但在空间功能布局方面有所体现，而且还贯穿于医院服务流程、管理机制以及文化建设当中。围绕着患者、医护人员以及探访者展开规划设计，能够更为有效地提高使用者的舒适度、安全感以及归属感。举例来说，在医院管理环节，关注患者的就医感受，给出清晰的导诊系统、人性化的等候区、便捷的服务流程，这既提升了患者满意度，又提高了医院的运行效率。从经营理念层面来讲，医院应当看重医护人员的工作环境和心理需求，合理安排工作动线与休息区域，营造出一个高效且人性化的工作氛围。

2.2 专业设计是核心

在建筑人性化设计方面，专业设计乃是达成各项功能与理念切实落地的关键保障所在。特别是在医疗建筑领域当中，面对着复杂的功能分区情况、多样化的使用人群状况以及技术要求所达到的高标准，必须要依靠那些拥有专业知识且具备丰富实践经验的设计团队，唯有如此，才能够把人性化理念较为科学且成体系地融入到建筑的每一个细微之处。专业设计不但涵盖了合理的空间布局安排以及清晰的流线组织规划，而且还包含了对医疗流程的透彻理解、对患者心理需求的敏锐洞察以及对医护工作特性的精准把控。比如说，通过设立独立的医患通道这种方式，可以有效地防止出现交叉感染的情况，进而保障就医秩序的正常运转；借助优化病房朝向以及采光设计这样的手段，能够提升患者的舒适感受并提高其康复效率；凭借合理配置公共空间与辅助设施这一做法，便能够营造出温馨且便捷的医疗环境。

2.3 人性化实现的根本保障是资金支持

所有的人性化设计都体现了设计理念，并依托现代化技术的应用。例如，为了实现医患分离，必须设置双走道；为了实现洁污分离，必须配置专用的污物电梯。为了更高效地服务患者，还需引入物流传输系统和一站式服务等设施，这些都需要一定的投入[2]。由于土地资源的有限性，当前许多新建医院都是高层建筑，这就要求配置更多的电梯和扶梯，这不仅会增加建筑面积，还会导致资金投入的上升。

3 医疗建筑设计中人性化设计的应用策略

3.1 医疗建筑环境的人性化设计

医疗建筑环境人性化设计以人为中心，经由优化空间环境、提升环境质量并整合人文关怀元素，全方位改善患者就医体验及医护人员工作环境，达成医疗服务空间从“治病场所”到“疗愈空间”的深刻转变。在设计进程中，要着重关注空间布局合理性与功能分区科学性，借助明晰的动线引导和清晰的标识系统，削减患者就诊时的困惑与焦虑，强化空间的可达性与易识别性。候诊区和诊疗区需合理划分，防止嘈杂干扰，同时依据病患心理特征设置私密性强、安静舒适的等候环境。还需充分引入自然元素，像自然采光、自然通风以及绿化景观设计，降低医院环境里的压迫感与冷漠感，推动患者身心放松与情绪恢复。比如设置中庭、屋顶花园、绿化休闲区，可美化空间，更有助提升患者康复积极性。医疗建筑还得注重噪音控制与空气质量管理，运用隔音材料与高效通风系统，营造安静、清新、健康的内部环境。在色彩与材质选择方面，适宜采用温暖、柔和且有心理疗愈作用的配色方案，以及安全、环保、防滑的材料，体现对患者特别是老年人、儿童以及行动不便人群的细致关怀。

3.2 各科室的人性化设计

各个科室所进行的人性化设计，乃是医疗建筑人性化理念于具体功能空间当中的切实体现，其目的是依据不同科室各自的诊疗特性、患者的各类需求以及医护工作的实际流程，去精心打造出那种既能契合专业功能要求又能顾及人文关怀诉求的空间环境。不同的科室在医疗活动的性质方面、患者的情绪状态方面、停留的时间长短方面以及治疗的方式方法方面，都存在着较为明显的区别，所以在设计环节当中，务必要牢牢坚持“以人为本”的原则，依据实际情况灵活地去调整空间的布局以及环境的各项要素。比如说，在儿科这个科室里，应当着重去营造一种活泼而又温馨的整体氛围，借助色彩颇为丰富的墙面装饰、带有卡通元素的相关设置、能够供儿童互动玩耍的游戏区域等等，以此来缓解儿童对于医疗环境所产生的恐惧情绪；在妇产科以及产房所在的区域，就需要强化对于私密性的设计考量以及亲情陪护空间的设置安排，要提供诸如单人病房、家庭待产区、母婴同室等各项功能，从而让孕产妇能够在温馨且安全的环境之中顺利地完成分娩这一重要过程；而在老年病科或者康复科这些科室当中，得考虑到患者行动能力有所下降、视力和听力也都出现了减弱这样的生理方面的特征，要去设置防滑的地面、便于抓握的扶手、能够让患者坐卧起来都很便捷的家具以及无障碍的通行系统等，进而提升整个环境的安全性以及使用的便利性[3]。除此之外，在像急诊科、手术室这类高强度且高风险的工作区域，要在确保医疗工作的效率以及急救通道的畅通无阻的前提之下，凭借合理的流线组织以及功能节点的科学布置，防止出现交叉感染的情况，尽可能地缩短患者等待的时间，并且还要为家属开辟出可供等候以及方便获取相关信息的便捷通道。

3.3 医疗建筑结构的人性化设计

医疗建筑结构的人性化设计，乃是把建筑结构系统同医疗功能、人文关怀以及运营效率紧密结合起来的一种重要呈现方式。其最为关键的目标在于，要在确保安全、耐久并且功能完整的前提之下，全面且细致地去考量使用者的行为模式、心理感受以及生理需求，进而达成结构与空间的协同优化效果。就结构布置来讲，得把“灵活性”还有“可变性”当作设计的基本原则，以此来保证医院在医

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

疗模式出现变动、设备需要更新或者学科发展产生变化的时候，能够具备很好的适应能力。比如说，可以通过采用大跨结构、实施模块化设计以及运用可拆卸构件等方式，为未来可能出现的功能调整与扩展给予便利条件。而在空间组织方面，结构设计务必要服务于医疗流线的高效有序组织。举例来说，借助合理地去布置结构柱网，能够保障诊区、住院区、手术区等这些主要功能区域拥有较好的开敞性以及连通性，防止出现流线交叉的情况，从而提升空间的利用率以及诊疗的工作效率。与此还应当尽最大可能去减少结构对于空间灵活划分所形成的限制，使得病房、科室等相关空间可以依据实际的需求灵活地做出调整，由此提升整体运营所具有的弹性以及效率。在使用舒适性这个层面，结构设计得要考虑到抗震隔震、结构降噪以及隔振技术的综合运用，以此来降低建筑在运行过程之中给患者休息以及医护工作带来的干扰。除此之外，结构的各个细节之处同样也要体现出人性化的设计理念。比如在走廊、楼梯、电梯井等这些交通空间当中，要留出较为宽敞的通行空间，以此来保障轮椅、担架床等各类设备能够顺畅地通过；在屋顶结构方面，要合理地去规划天窗或者是采光井，把自然光照引入进来，以此改善建筑内部的光环境；在竖向结构的布局安排上，要把电梯与应急疏散通道相互结合起来，优化高层医疗建筑的使用效率以及安全性能。

3.4 以患者为核心的人性化设计

以患者为核心的人性化设计属于医疗建筑设计的关键理念之一，其目的在于借助优化空间布局、提高环境舒适程度以及给出高效且便捷的服务流程等方式，尽可能地降低患者的痛苦以及焦虑情绪，强化他们的就医感受。在医疗建筑的设计环节里，这一理念的表现绝非仅仅停留在功能性方面的考量层面，而是更为着重于患者在就医进程当中身心两方面完整的需要。在空间布局方面，设计要以患者的行动路线作为主导方向，保证患者可以迅速且便捷地寻找到所需要的科室以及功能区域，防止出现复杂的动线情况以及无必要的等待状况。候诊区、病房还有治疗室的布局需考虑到患者的隐私需求以及舒适感受，给予充足的私人空间，并且维持必要的可视性以及安全性，避免患者身处陌生环境时所产生的不安与困扰。医疗环境里的细节设计同样应当围绕着患者的感受来展开优化工作[4]。比如说，病房里面的光线以及色彩设计应当呈现出柔和且温暖的状态，尽可能地将自然光以及自然景观引入其中，营造出一个让人放松且安静的氛围，这有利于提升患者的康复信心以及心理状况。在公共区域的设计过程当中，要提供清晰明确的导视系统以及便利的休息区，使得患者和家属能够较为轻松地找到所需的信息与服务，减少因为环境陌生而引发的焦虑情绪。

3.5 其他人性化设计方案

除了之前提及的那些基本的人性化设计策略之外，在医疗建筑设计当中，还能够凭借一系列颇具创新意味且十分细致的设计方案，进一步让患者的体验以及便利性得以提升，同时医护人员以及访客的体验与便利性同样能够得到改善。将信息化设计引入其中，能够使得医疗环境的互动性有所提高，其服务效率也能够得以提升。举例来讲，像智能导诊系统、电子病历查询平台以及实时排队信息显示屏这类设计，能够让患者减少对于传统人工服务的依赖程度，从而快速并且准确地获取到自身所需要的信息，进而缓解因等待而产生的焦虑情绪。医疗建筑里面的灵活空间设计，同样是极为重要的创新之举。在设计之时，可以充分考量模块化房间布局这一形式，如此方便依据医院运营的具体需求来做出相应的调整。比如设置能够进行扩展的病房区域，以此来适应不同病床需求所发生的各种变化。尤其是在出现应急情况或者是在流感季节的时候，能够极为迅速地对相关资源加以调配。

4 结语

在现代医疗建筑的设计方面，人性化设计可看作是建筑功能的一种延伸，同时也是对患者、医护人员以及所有使用者给予的一种深切关怀与高度尊重。借助于对空间布局加以优化、使环境舒适度得以提升以及对服务流程予以细化等诸多方面的精心设计，能够切实有效地提升医疗服务质量，让患者的就医体验得到明显改善，促使医护人员的工作效率获得提高，进而达成医疗建筑的可持续发展目标。鉴于社会对于医疗质量以及人性化需求的关注程度正一天天变得更为重要，未来的医疗建筑设计会把更多的关注点放在创新与细节之上，会充分地将科技与人文关怀融合进去，按照更高的标准来满足社会的需求，推动医疗建筑朝着更加智能化、舒适化以及高效化的方向去发展。

[参考文献]

[1]王舜尧.现代医疗建筑设计中的人性化设计探讨[J].城市建设理论研究(电子版),2023,11(20):81-83.
[2]韦卉.浅谈现代医疗建筑设计中人性化设计的应用[J].科技创新导报,2019,16(34):159-160.
[3]杨帆,孙梦然.现代医疗建筑设计中的人性化设计[J].中国建筑装饰装修,2023,11(2):101-103.
[4]陈绍伟.人性化设计在现代医疗建筑设计中的运用分析[J].四川水泥,2019,11(5):354.

作者简介：洪庆胜（1968.5—），毕业院校：清华大学，所学专业：建筑学，当前就职单位：宁波市中技建设工程施工图审查中心，职务：建筑审查，职称级别：工程师。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

现代医疗建筑公共空间的人性化设计探索

庄巧莉
浙江华展研究设计院股份有限公司，浙江 宁波 315000

[摘要]随着现代医疗体系持续向前发展，医疗建筑在满足功能性方面的需求之余，也开始渐渐注意到空间所具有的情感价值以及人性化体验方面的情况。公共空间充当着连接医疗功能区和使用者之间的重要桥梁，它肩负着患者、医护人员还有来访者相互交流、休息以及进行心理调节等多重功能。将人性化设计理念引入其中，一方面提高了医疗空间的使用效率，另一方面也在不知不觉当中改善了用户就医时的感受，促使医疗环境在人文关怀方面的水平得以提升。通过全面且细致地梳理医疗建筑公共空间的功能需求、设计理念以及实施策略等方面的内容，来深入探讨人性化设计在提高使用者满意度、优化空间体验方面所具有的实际价值以及未来可能的发展方向。

[关键词]医疗建筑；公共空间；人性化设计
DOI：10.33142/ucp.v2i3.16736 中图分类号：TU246 文献标识码：A

Exploration on Humanized Design of Public Spaces in Modern Medical Buildings

ZHUANG Qiaoli
Zhejiang Huazhan Research and Design Institute Co., Ltd., Ningbo, Zhejiang, 315000, China

Abstract: With the continuous development of modern medical systems, medical buildings are not only meeting functional needs, but also gradually paying attention to the emotional value and humanized experience of space. Public space serves as an important bridge connecting medical functional areas and users, carrying multiple functions such as communication, rest, and psychological regulation for patients, medical staff, and visitors. Introducing the concept of humanized design into it not only improves the efficiency of medical space utilization, but also unconsciously enhances the user's experience when seeking medical treatment, promoting the level of humanistic care in the medical environment. By comprehensively and meticulously reviewing the functional requirements, design concepts, and implementation strategies of public spaces in medical buildings, we aim to explore the practical value and potential future development directions of humanized design in improving user satisfaction and optimizing spatial experience.

Keywords: medical buildings; public space; user-friendly design

引言

医疗建筑属于综合性设施，它把高技术、高效率以及人文关怀融合到了一起。传统的医疗建筑往往把功能性当作首要追求的目标，在此过程中忽视了患者的心理状态、医护工作的负荷情况以及家属陪护方面的需求等在人文层面上的因素，进而使得空间呈现出冷漠且压抑的状态，缺少本应具备的那种温度。随着社会对于健康理念的认知不断深化，人性化设计渐渐地变成了医疗建筑极为重要的一个发展方向。特别是在公共空间当中，合理的布局安排、营造出舒适的良好氛围、设置贴心的服务设施，这些都能够有效地缓解患者的焦虑情绪、强化医患之间的信任关系，并且还能够在一定程度上提升医护人员开展工作的积极性以及他们的归属感。从需求层面、理念层面一直到策略层面这三个不同的层面出发，全面且细致地阐述现代医疗建筑公共空间人性化设计的具体路径，从而给相关的实践操作给予理论方面的参考以及设计层面的依据。

1 医疗建筑公共空间的人性化设计需求分析

1.1 医疗建筑公共空间的功能

医疗建筑作为大型公共建筑，其功能复杂，流线交错，承载的人流量巨大。医疗大厅、休息室、等候区等公共空间对室内设计空间布局、硬软装效果都保持着较高的需求。公共空间的交互性为人与人、人与空间等方面提供交流媒介，使得空间具有连贯性、沟通性。随着设计意义提升和空间功能增多，设计需要融入更多的情感。在医疗建筑中，公共空间的温暖感对提升患者和医护人员的舒适度及缓解疲劳至关重要。现代化设计应关注情感因素，运用人性化设计理念，为空间注入温暖体验，激发用户对生活的期待和信心。

1.2 使用者构成与行为特征

医疗建筑的公共空间服务着各式各样的使用者群体，这里面囊括了患者、医护人员、探视家属以及其他访客。患者属于使用频率颇高的群体，他们的行为大多聚焦在就诊、候诊、检查、休息等这些环节之上，通常会伴随着紧张、焦虑、身体不适这类的心理生理状态，迫切需要借助空间环境所开展的安抚性设计来加以缓解，进而提高其在候诊以及移动过程当中所拥有的心理安全感以及身体舒适度。医护人员是以高频率且高强度的工作行为作为主导的，其中涉及到穿梭于各个功能区之间对于快速流线的需

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

求，还有短暂休息以及信息交流在空间方面的需求，这就要求空间组织得具备高效、顺畅且灵活的特点，以此来支撑其在高压环境下持续的工作效率与情绪调节。探视家属与其他访客呈现出的是短时停留、信息查询、陪护等待等行为，他们更为关注空间的便捷性以及情感连接功能，尤其是在陪伴的过程中去寻求一种情绪支持与归属感的空间氛围。所以，公共空间在设计的时候要充分地理解并且回应不同使用者的行为路径与心理特征，在空间布局、设施设置、氛围营造等诸多方面体现出适应性与多样性，从而达成在医疗环境中多个群体同时使用时的高效协同与舒适体验，并且最终提升整体医疗服务的质量以及人文关怀的水平。

1.3 人性化设计的核心需求分析

人性化设计在医疗公共空间里所围绕的核心需求，可从生理舒适、心理慰藉以及社会互动这三个方面来加以归纳整理。就生理需求来讲，要着重强调空间的安全性、便捷性还有舒适性，具体而言，像合理的流线组织安排、数量充足的休息座位设置、良好的通风采光条件、适宜的温湿度把控以及清晰明确的动线标识系统等这些基本设施方面的保障，必须要确保所有的使用者无论处于何种不同的身体状态之下，都能够收获到便利且安全的空间使用体验。从心理需求这个角度来说，患者在就医的过程当中是比较容易滋生出诸如焦虑、恐惧以及孤独这类负面情绪的，那么人性化设计就需要借助柔和的色彩相互搭配、舒缓的光影处理方式、引入自然元素比如植物以及能够看到的景观视野等一系列手段，去营造出一种温暖又宜人、能够安定人心的环境氛围，进而切实有效地提升患者的内心舒适程度以及对于整个医疗环境的信任感，帮助他们缓解那种紧张的情绪。至于社会需求，它其实就是体现为人与人之间在沟通交流方面的需求，尤其是在等待、陪护以及咨询等诸多场景当中，公共空间应当具备能够促进彼此互动、传递关爱之情、增强个体归属感的功能，就好比设立起那些有着较强交流互动性的家具摆放方式、提供可以供人共享互动的区域以及能够给予情感支持的相关设施等等，以此来强化空间所具有的人文关怀方面的属性以及其在社会层面的功能。所以说，人性化设计不单单只是一种针对物理空间所开展的功能性优化举措，而更是属于一种秉持着以人为本理念、能够涵养社会情感以及人文精神的空间策略，它凭借着环境所散发出来的温度，来传递情感层面的温度，进而助力构建起一个更加健康、更加和谐且富有温度的医疗服务体系。

2 人性化设计理念在医疗建筑中的应用

2.1 医疗环境中的整体人性化设计原则

要在医疗建筑公共空间当中切实落实人性化理念，就得遵循整体性、针对性以及协同性这三项基本的原则。整体性具体表现在从宏观的层面去把控医疗建筑的功能和公共空间二者间的关系，进而形成那种贯通性比较强且逻辑较为清晰的空间序列以及功能布局。针对性着重于依据不同使用者群体所存在的差异性需求，按照定制化的思路来设计空间节点和服务设施，以此达成使用体验的精准优化效果。协同性则要求建筑空间要和医疗流程、服务管理机制之间达成高度的契合状态，从而让人性化设计不仅仅体现在建筑形态方面，还能融入到整个医疗行为系统里面。以这些原则作为指导方向，公共空间在设计的时候应当重视视觉的通达性、行为的便利性以及情感的承载力，进而构建起一个真正是以人为本的医疗环境体系。

2.2 病患与医护人员视角下的空间设计

从病患的角度来讲，公共空间设计得当与否，会直接影响到他们就诊时的心情。因此，在设计的时候，要充分考量病患的身心状态以及行动路线，尽可能减少复杂难懂的路径或者冷冰冰的氛围给他们增添的心理负担。在空间如何布置问题上，可以借助设置简单明了的导视系统，引入自然光线，打造绿色景观，甚至放些艺术装置这类元素，以此来减轻病患内心的焦虑情绪，让他们在看病期间能体会到放松与宽慰，进而降低那种身处陌生环境的不自在感以及无所适从的感觉，提升心理层面的舒适度。医疗空间的设计，还得着重关注视觉给人的第一印象，不能让病患一进来就感到过分紧张或者压抑。而就医护人员而言，公共空间的设计重点在于提升他们的工作效率以及工作时的舒适感受。通过合理布局辅助办公区域并优化通行路径的便捷性，同时设置灵活多样的交流空间，就能很好地满足医护人员在忙碌工作当中相互协作的需求，也能让他们在短暂休息的时候有个去处。凭借精心规划的空间布局，能够大幅缩减医护人员的工作路径长度，进而提高他们的工作效率，而且还能确保他们在高强度工作之余，能适时地得到休息与放松。唯有从病患以及医护人员这两类核心使用者的实际需求出发，全面兼顾他们的行为习惯以及情感诉求，才有可能真正发挥出公共空间在医疗场景里所具有的多维度价值，让空间更好地契合各类使用者的具体需求，最终达成最佳的功能实现效果以及心理舒适效果。

2.3 特殊群体的人性化空间营造

在医疗建筑当中，存在着像儿童、老年人还有残障人士这样的特殊群体，他们在生理机能以及心理需求这两方面都有着较为明显的差异。儿童患者通常需要有较强趣味性且安全等级比较高的空间氛围，如此一来才能够减轻他们对于医院环境所产生的恐惧感。而老年群体就需要无障碍的通行条件、清晰明确的标识系统以及数量充足的休息设施，只有这样才能够确保他们的行动是便利的并且能够保障其安全性。残障人群的使用需求更是特殊，更需在空间的通达性、视听辅助系统以及操作界面的友好性等诸多方面都去细致地予以考量。人性化设计应当从细节之处着手开展工作，依据实际情况来设置专用通道、导视图标、具有安抚作用的元素以及心理引导方面的机制，从而让每

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

一种类型的用户都能够在这公共空间当中感受到平等、尊重以及关爱之情。

3 现代医疗建筑公共空间的人性化设计策略

3.1 空间组织与流线优化

流线组织在医疗建筑公共空间设计里属于关键要素范畴，优秀的流线系统可降低交叉干扰情况出现的概率，而且能够大幅度提升空间的利用效率，对于缓解患者内心的焦虑情绪也有着积极作用。在空间布局方面，要清晰地划分出各个功能区域，像候诊区、咨询台、休息区以及通行走廊等等，务必要让每一个区域都能够独立自主地发挥自身作用，与此同时又彼此间有着一定的联系。就布局设计而言，得保证动线的畅通无阻，在一些必要的区域还需设置过渡空间，这些过渡区域一方面能够提供供人短暂停留的空间，另一方面也能充当动线的衔接之处，以此来强化空间的层次感以及适应能力[1]。并且在人流高峰时段，借助合理地设置出入口以及通行路径，便能够有效地缓解拥堵状况，确保流线的顺畅运行，进而提升整个医疗建筑的秩序感受。流线设计时既要充分考虑医疗流程能否顺畅开展，又要兼顾使用者的生理以及心理方面的各种需求，从而达成高效运作和温馨体验之间的平衡状态。

3.2 环境要素的人性化处理（色彩、光线、材料）

环境要素于人性化设计中的运用，对于提高医疗建筑公共空间的舒适度以及用户的体验而言，是极为重要的。就色彩设计来讲，应当避免选用那种过于鲜艳且刺激性强的高饱和度颜色，而要挑选那些较为柔和、给人感觉温暖的色调，像是米色、浅蓝色或者柔和的绿色，借由这样的色彩搭配来营造出一个安宁、让人感到放松的环境氛围，从而助力缓解患者内心的焦虑情绪[2]。在光线的处理方面，设计时需要着重去引入自然光，可通过窗户、天窗等途径让自然光能够照耀到室内，并且要和可以调节的人工照明系统相互结合起来，以此来达成不同时间段以及不同空间需求所对应的光照条件。与此光线的分布务必要保持均匀，不能出现过于强烈的直接光源，尽可能地采用柔和的灯光来进行照明。在材料的选择上，首要考虑的是那些环保、低噪音、具有抗菌功能并且易于清洁的材质，比如木纹贴面、吸音墙板、环保型的地面材料等等，这些材料不但能够给予人们优质的感官体验，而且还能切实有效地保障空间的安全性和清洁性。通过对这些环境要素展开科学合理的配置，既能提升空间的视觉美感，又能有力地强化公共空间的功能舒适性，使得其变得更加亲和、更加适宜居住，进而满足不同使用者各不相同的需求。

3.3 智能化与无障碍设计融合

智能化技术的应用给医疗建筑公共空间增添了新的活力，让其具备了更强的交互性以及适应性。像智能导诊系统、自助挂号设备、动态人流监测与调度平台这类技术，可大幅提升空间的使用效率，同时优化用户的整体感受。这些智能系统不但为患者和医护人员带来了便捷且高效的服务，而且在繁忙时段还能助力疏导人流，防止出现拥堵情况，提高空间的流畅程度与舒适程度。不过，智能化设计的实施不能无视无障碍设计的要求，要和它有机结合，保障各类用户，尤其是老年人、残障人士等特殊群体有平等的使用权[3]。比如在公共空间里设置低位服务台、语音导视系统、盲文标识以及无障碍通道与轮椅坡道等设施，以此保证空间对所有人群都友好且易于使用。

4 结语

医疗建筑公共空间的人性化设计乃是功能性同人文关怀相互融合之后所产生的产物，它的核心在于以人为本，去回应人们的各类需求，并且营造出一种能够引发共鸣的情境。随着医学模式出现转变，从单纯的生物医学逐渐朝着生物-心理-社会医学这样的方向转变，公共空间作为医疗环境当中极为重要的一部分，其不仅要满足最基本的功能方面的需求，而且还得肩负起诸如舒缓人们的情绪、促进彼此间的交流以及优化各项流程等诸多的责任与使命。医疗建筑的公共空间在设计的时候应当更加着眼于用户的情感方面的各种需求，同时也要充分考虑到不同群体所具有的特定需求，借助精心的设计手段来缓解患者内心的沉重负担，提高医护人员开展工作的效率，与此同时还要促使患者和医护人员之间达成更为有效的互动。在未来的人性化设计过程当中，需要持续不断地深化针对用户的各项研究工作以及技术层面的创新举措，凭借更为智能化的各类系统、更为细致周到的关怀举措以及更为包容友好的周边环境，推动医疗空间朝着更加温馨、更加高效并且更具可持续性的方向不断发展，从而进一步提升空间的使用感受，进而为构建起健康且和谐的社会局面给予更加稳固的空间方面的有力保障。

[参考文献]

[1]蒋维乐,吴曦寒,毛启承.现代医疗建筑公共空间的人性化设计探索[J].城市建筑,2025,22(6):53-56.

[2]张文正.医疗建筑的设计思路和方法[J].中华建设,2021,11(5):86-87.

[3]赵富佳,张伟康,赵溢墨.基于人性化设计理念的医疗建筑公共空间设计研究[J].中国医院建筑与装备,2021,22(1):58-59.

作者简介：庄巧莉（1996.11—），毕业院校：宁波大学，所学专业：建筑学，当前就职单位：浙江华展研究设计院股份有限公司，职务：设计负责，职称级别：助理工程师。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

浅谈住宅建筑设计中“合规不合理”的常见问题

李媛媛
河北天艺建筑设计有限公司，河北 石家庄 050000

[摘要]随着建筑行业法规体系日益完善，住宅建筑设计在满足规范要求的同时，却出现诸多与实际使用需求脱节的“合规不合理”现象。深入剖析住宅建筑设计中功能布局僵化、空间利用低效、人性化考量不足、技术适配滞后及环境协调性缺失等问题，挖掘规范条文与实践需求的矛盾根源，提出优化设计理念、创新技术应用、完善规范弹性等针对性策略，为行业发展提供理论参考与实践指引 。

[关键词]住宅建筑设计；合规不合理；功能优化；人性化设计；规范弹性
DOI：10.33142/ucp.v2i3.16725 中图分类号：TU201.5 文献标识码：A

Brief Discussion on Common Problems of "Unreasonable Compliance" in Residential Building Design

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

Abstract: With the increasingly perfect regulatory system in the construction industry, while residential building design meets regulatory requirements, there are many "compliance irrationality" phenomena that are disconnected from actual usage needs. Thoroughly analyze the problems of rigid functional layout, inefficient space utilization, insufficient consideration of humanization, lagging technological adaptation, and lack of environmental coordination in residential building design, explore the root causes of contradictions between normative provisions and practical needs, propose targeted strategies such as optimizing design concepts, innovative technology applications, and improving normative flexibility, and provide theoretical references and practical guidance for industry development.

Keywords: residential building design; unreasonable compliance; function optimization; user-friendly design; standardize elasticity

引言

在建筑行业规范化进程加速的当下，住宅建筑设计虽严守法规标准，但“合规不合理”现象频发，影响居住体验与建筑价值。这类问题不仅削弱住宅实用性，还制约建筑行业高质量发展。探究住宅建筑设计中“合规不合理”的具体表现、成因及解决路径，对提升居住品质、推动建筑行业可持续发展具有重要意义，亟待深入研究与实践突破。

1 功能布局僵化

1.1 空间划分的机械性困境

住宅设计规范对功能分区的明确要求，本是为保障居住空间的基本功能完整性，但在实际设计中，这种刚性约束常导致空间划分陷入机械性困境。为满足卧室、客厅等空间面积下限规定，设计师往往只能以最保守的方式进行区域切割。一些中小户型住宅，为保证卧室面积达标，将客厅压缩成狭长形状，导致沙发、电视等家具难以合理布局，甚至出现观看视角扭曲、活动空间逼仄的情况。而厨房、卫生间等功能性极强的空间，因规范对管线布置、设备尺寸的严格限定，不得不采用千篇一律的 L 型或 U 型布局，无法根据住户的个性化需求，如开放式厨房、干湿分离卫生间等进行灵活调整，极大限制了空间的使用可能性。

1.2 动线规划的不合理性

僵化的功能布局直接影响居住动线的流畅性。当各个功能空间被规范强制固定位置后，住户的日常活动路径往往被打乱。部分户型的厨房与餐厅分离过远，烹饪完成后需绕经客厅才能上菜，不仅增加了搬运负担，还容易在客厅留下水渍油渍；再如，卧室与卫生间距离过长，夜间起夜需穿越公共区域，既影响家人休息，也存在安全隐患。这种因规范导致的动线混乱，使得原本紧凑的居住空间反而显得低效，降低了居住体验的便捷性与舒适性。

1.3 功能空间的适配性不足

规范对功能空间的标准化要求，难以满足当代居民日益多元化的生活需求。现代家庭对居住空间的使用场景不断拓展，例如书房兼具办公与休闲功能、阳台成为健身或绿植培育区等，但设计规范仍停留在传统功能划分层面[1]。以儿童房为例，规范仅规定了面积下限，却未考虑到儿童成长过程中对学习、娱乐、储物等复合功能的需求，导致许多儿童房在孩子进入青春期后，因空间布局单一而失去实用性。这种适配性的缺失，使得住宅功能空间逐渐与居住者的生活方式脱节，无法真正实现“以人为本”的设计初衷。

2 空间利用低效

2.1 层高设计的冗余与浪费

现行规范对住宅建筑层高的规定，初衷是保障防火、采光、通风等基本安全与健康需求，但在实际执行中，往

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

往出现“过度达标”的现象。为满足规范要求，许多普通住宅的层高被设计为 2.8m 甚至更高，然而从实际使用角度看，2.6m 左右的层高已足以满足日常居住需求。过高的层高不仅增加了建筑材料用量与施工成本，还导致空调、照明等能耗上升。多余的垂直空间并未带来实际使用价值，反而使住户在心理上产生空旷疏离感，降低了空间的温馨感与舒适度，造成资源的隐性浪费。

2.2 公摊面积的不合理分配

公摊面积的计算与分配受规范严格约束，但在实际操作中，部分公共区域设计存在明显缺陷。一些高层住宅的电梯厅、走廊等公共空间过于宽敞，远超实际使用需求，而楼梯间、消防通道等必要区域却因设计局促，影响通行效率；还有些小区将地下车库、设备用房等本应服务于全体业主的空间，以公摊名义分摊到住户面积中，却未充分考虑这些区域的使用频率与人群活动需求，导致住户实际可使用面积大幅缩水。这种不合理的公摊分配，既损害了业主权益，也造成公共资源的闲置与浪费。

2.3 空间功能的失衡与错配

住宅空间利用低效不仅体现在面积浪费上，更表现为功能空间的失衡与错配。规范对不同功能区域的面积比例有明确要求，但在实际设计中，这些比例常与住户真实需求脱节。一些户型将过多面积分配给客厅，却压缩了卧室、储物间等实用空间；部分老旧小区的公共区域仅设置少量休闲设施，缺乏儿童活动区、健身区等居民迫切需要的功能空间[2]。这种功能错配导致住宅空间无法充分发挥价值，住户不得不自行改造或另寻外部空间满足需求，进一步加剧了资源的不合理利用。

3 人性化考量不足

3.1 无障碍设计的形式化问题

建筑规范对公共空间的无障碍设计虽有明确标准，但许多住宅项目仅满足最低规范要求，将无障碍设计流于形式。部分小区的无障碍坡道坡度、宽度虽符合规范，但未考虑轮椅使用者的实际操作便利性，坡道过长过陡、扶手安装位置不当，导致残障人士难以独立通行；电梯轿厢内的盲文按钮、语音提示等设施缺失或不清晰，无法真正服务于视障人群。这种浅尝辄止的无障碍设计，不仅未能保障特殊群体的生活尊严，也与“全龄友好型社区”的发展理念背道而驰。

3.2 居住环境的舒适性缺陷

住宅内部的采光、通风设计虽符合规范数值要求，但因未充分结合地域气候与居住习惯，导致实际舒适度欠佳。在北方寒冷地区，部分住宅为追求规范中的采光面积，采用大面积落地窗设计，却忽视了冬季的保温需求，造成室内热量流失严重；在南方湿热地区，建筑朝向与通风布局未考虑季风走向，导致室内空气流通不畅，容易滋生霉菌。规范对噪音控制的标准偏低，许多住宅未能有效隔绝外部交通噪音与邻里生活噪音，严重影响居民的生活质量与身心健康。

3.3 社区配套的服务缺失

社区配套设施的规划布局，常因规范标准局限，无法满足居民日益增长的生活与社交需求。现行规范对幼儿园、便利店、健身场所等配套设施的配置要求偏低，许多新建小区仅设置基础配套，缺乏老年活动中心、社区图书馆、共享厨房等特色空间。配套设施的分布不合理，如儿童游乐区紧邻居民楼，导致噪音扰民；健身设施集中在地下车库，缺乏自然采光与通风[3]。这种配套服务的缺失，使得居民难以在社区内实现日常生活与精神文化需求的满足，降低了社区的凝聚力与归属感。

4 技术适配滞后

4.1 新技术应用的规范空白

在建筑领域日新月异的当下，住宅设计正经历着前所未有的技术革新。新型节能材料如雨后春笋般涌现，从能够根据温度变化调节室内热量的相变储能材料，到将光伏发电与建筑外观完美融合的光伏一体化构件，每一项创新都承载着绿色节能的美好愿景。与此同时，智能建筑技术也在住宅空间中迅速渗透，智能门锁带来便捷的无钥匙出入体验，环境监测设备实时守护着居住者的健康与舒适。这些充满前瞻性的技术在落地过程中，却遭遇了规范体系的重重阻碍。由于缺乏统一的设计标准与施工指南，新型节能材料在实际应用中如同迷失方向的航船。安装工人常常为了一个小小的固定方式争论不休，不同材质的建材之间也因缺乏兼容性测试而频频“打架”，导致施工效率低下、质量参差不齐。智能家居系统同样面临困境，由于规范未对电气线路布局、数据接口等关键环节作出明确规定，各个品牌的智能设备如同互不往来的孤岛，无法实现互联互通，原本设想的智慧生活场景，最终沦为零散的“智能碎片”。

4.2 技术与规范的冲突与矛盾

即便部分新技术在现有规范中有所涉及，陈旧的标准依然成为技术应用的“绊脚石”。以太阳能板安装为例，当设计师试图将大面积的太阳能板铺设在住宅屋顶时，现行规范对建筑外观风貌的严格要求就如同横亘在前的高山。为了满足美观需求，设计师不得不将太阳能板的安装角度与面积作出妥协，原本可以高效吸收阳光的设备，因角度偏差而大幅降低能源利用效率，使得绿色能源的推广效果大打折扣。在结构荷载领域，矛盾同样尖锐。随着轻质高强的新型建筑材料不断问世，设计师们渴望利用其优势实现建筑结构的优化与创新。但规范对这些新材料的承重性能缺乏清晰界定，使得设计师在进行结构设计时如履薄冰。为了确保安全，他们不得不增加额外的结构加固措施，这不仅大幅增加了建筑成本，还让原本紧凑的施工进度陷入停滞，新技术的应用成本与时间代价因此被无限放大。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

4.3 技术迭代与规范更新的脱节

建筑技术正以惊人的速度迭代升级，而规范体系的更新却如同缓慢前行的蜗牛，两者之间的差距越拉越大，让住宅设计陷入两难境地。近年来备受瞩目的装配式建筑技术，从构件的工厂化生产，到长途运输与现场精准安装，每个环节都需要全新的设计与施工标准支撑。现行规范仍牢牢扎根于传统现浇建筑体系，对装配式建筑的特殊需求视而不见，设计师在优化设计方案时，只能在模糊的指引下“摸着石头过河”。零碳建筑、近零能耗建筑等先进理念更是面临无规可循的困境。这些代表未来发展方向的建筑形态，承载着人类对可持续居住环境的美好向往，但由于缺乏配套的规范体系，设计师在创作方案时如同在黑暗中摸索，只能参照既有的陈旧标准进行保守设计[4]。这种严重的脱节，使得住宅建筑逐渐与时代发展脱节，无法满足人们对绿色、智能、可持续居住环境日益增长的需求。

5 环境协调性缺失

5.1 建筑风貌与地域文化的割裂

现行规范对于住宅建筑外观造型、色彩搭配的规定，大多停留于宏观的原则性条款层面，未能深入挖掘并融入地域文化的独特基因，致使众多住宅项目如同脱离土壤的无根之木，与城市风貌产生难以弥合的裂痕。漫步在城市化浪潮席卷的街巷，随处可见标准化生产的“火柴盒”式建筑整齐划一地排列，它们冷漠地摒弃了当地传统建筑中承载人文记忆的坡屋顶、兼具实用与美学价值的骑楼、充满生活气息的院落等标志性元素。在色彩与材质选择上，部分设计盲目追崇现代工业风，用冷硬的金属材质与低饱和度色调堆砌出冰冷的视觉符号；还有些项目机械照搬欧式建筑的繁复雕花与穹顶造型，将巴洛克式的华丽强行植入东方城市肌理。当这些建筑与古色古香的历史街区并肩而立，或是突兀地出现在山水相依的自然画卷中，就如同不协调的音符打破了城市文脉的和谐韵律，让世代生活于此的居民在熟悉的土地上，却找不到精神归属的坐标。

5.2 生态环境与景观视野的忽视

尽管住宅建筑设计在纸面上满足了规范对建筑间距、绿化配置的最低标准，但在实际建设过程中，对周边生态环境与居民生活体验的系统性考量却严重缺位。走进某些高密度住宅小区，高耸的楼宇如同紧密排列的屏风，虽然楼间距符合规范要求，却在楼宇间形成了令人压抑的“峡谷效应”。每当日照角度偏移，阳光便被林立的建筑无情遮挡，原本应洒满阳光的客厅变得阴暗潮湿，穿堂而过的风也裹挟着混凝土的冰冷气息。在绿化设计方面，不少项目仅仅为了达到绿地率指标，大面积铺设廉价单一的草坪，点缀几丛修剪整齐的灌木，看似绿意盎然，实则缺乏生态多样性的循环体系[5]。更令人痛心的是，一些开发项目将目光投向城市珍贵的公共绿地与滨水空间，推土机无情地碾碎了芦苇摇曳的湿地、填平了波光粼粼的湖面，在钢筋混凝土的扩张中，不仅破坏了区域生态平衡，更剥夺了居民推开窗便能拥抱自然、凭栏远眺欣赏湖光山色的权利，让生活失去了本该有的诗意与灵动。

5.3 气候适应性与防灾能力的不足

在应对气候变化与自然灾害方面，现行规范对住宅设计的要求多局限于基本防护措施，难以满足极端气候与灾害频发的现实需求。许多地区的住宅设计仍以传统气候条件为依据，未充分考虑全球变暖导致的暴雨、高温等极端天气，排水系统无法应对短时强降雨，隔热措施难以抵御持续高温；在抗震设计方面，部分老旧小区因建造时规范标准较低，在地震中存在安全隐患，而新建小区虽满足现行抗震规范，但缺乏对次生灾害（如火灾、燃气泄漏）的综合防范设计。这种环境适应性与防灾能力的不足，使得住宅在面对自然灾害时显得脆弱不堪，威胁居民的生命财产安全。

6 结语

住宅建筑设计中“合规不合理”问题影响居住品质与行业发展。通过优化功能布局、提升空间利用效率、强化人性化设计、促进技术适配及增强环境协调性等策略，可改善现状。未来，随着建筑规范的动态完善、设计理念的创新发展，住宅建筑设计将在严守法规的基础上，更贴合居民实际需求，实现功能、舒适与可持续性的深度融合，推动住宅建筑向高品质、人性化方向持续迈进。

[参考文献]

[1] 李保峰.建筑设计的逻辑与诗意[J].新建筑,2019(4):14-19.
[2] 刘加平,杨柳.建筑设计中的生态策略[J].建筑学报,2018(6):18-23.
[3] 周恺.建筑设计的在地性表达[J].城市建筑,2020(15):28-33.
[4]张伶伶,李辉.住宅建筑设计的人性化探索[J].建筑技艺,2017(8):68-73.
[5]仲德崑,钱方.建筑规范与设计创新的平衡研究[J].华中建筑,2021(3):38-43.

作者简介：李媛媛（1983.6—），女，汉族，毕业学校：河北建筑工程学院，现工作单位：河北天艺建筑设计有限公司。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

健康视域下高校学生宿舍优化设计研究

谢 晶
宁波大学建筑设计研究院有限公司，浙江 宁波 315000

[摘要]随着高等教育持续发展以及学生生活需求不断提高，传统高校宿舍在空间功能、舒适度以及设施配置等方面遭遇诸多挑战。文中依照健康建筑理念，着重考虑学生生理和心理的健康，深入探讨高校学生宿舍的优化设计路径。此项研究着眼于学生群体需求结构发生的转变情况，给出具有系统性的空间功能重组办法、环境舒适度提升举措以及设备设施完善策略，希望能够为营造可促进学生全面发展的健康宿舍环境给予相应的理论依据以及实践方面的指导，特别关注到浙江省宁波市地区高校博士硕士宿舍楼运用框剪结构高层设计并且在底层设置多功能厅的实际设计案例，对健康宿舍环境打造做了有效提升。
[关键词]高校；学生宿舍；健康建筑；优化设计；空间功能；环境舒适度
DOI：10.33142/ucp.v2i3.16717 中图分类号：TU113.64 文献标识码：A

Research on the Optimization Design of College Student Dormitories from the Perspective of Health

XIE Jing
Ningbo University Architectural Design and Research Institute Co., Ltd., Ningbo, Zhejiang, 315000, China

Abstract: With the continuous development of higher education and the increasing demand for student living, traditional university dormitories are facing many challenges in terms of spatial functionality, comfort, and facility configuration. In accordance with the concept of healthy architecture, the article focuses on the physical and psychological health of students, and explores in depth the optimization design path of university student dormitories. This study focuses on the changes in the demand structure of student groups, and provides systematic methods for spatial function reorganization, measures to improve environmental comfort, and strategies for improving equipment and facilities. It is hoped that this can provide corresponding theoretical basis and practical guidance for creating a healthy dormitory environment that can promote the comprehensive development of students. Special attention is paid to the actual design case of the doctoral and master's dormitory building in Ningbo, Zhejiang Province, which uses frame shear structure high-rise design and sets up a multifunctional hall on the ground floor, effectively improving the construction of a healthy dormitory environment.
Keywords: universities; student dormitory; healthy buildings; optimize design; spatial functionality; environmental comfort level

我国高校规模持续扩大，学生对居住环境的期望也逐渐提高，传统宿舍功能单一、舒适度低、设施老旧，无法满足当代学生多元且高品质的生活与健康需求。国家推出《宿舍建筑设计规范》（JGJ 35—2016）、《宿舍、旅馆建筑项目规范》（GB 55025—2022）等文件，强化对宿舍健康性能的要求。健康建筑理念提出，在保证基本功能时，靠优化环境、设施和服务来主动促进使用者的生理和心理健康。高校宿舍是学生日常学习、生活、社交的重要场所，其环境质量对学生身心健康与成长发展有直接影响，所以要从身心健康角度出发，重新构建学生宿舍设计逻辑。在宁波地区高校建设里，把框剪结构高层宿舍楼和底层多功能厅结合起来的设计模式已经慢慢推广，复合型宿舍楼对学生身心健康发展提供有力支持，这给本研究提供了现实依据。

1 健康建筑理念在高校学生宿舍中的应用

健康建筑理念冲破了传统建筑仅仅确保基础安全以及功能的束缚，它的核心在于借助物理环境营造、空间功能配置还有服务管理优化这三个维度协同发力，积极去维护并且提升使用者的身心健康状况。在高校学生宿舍的设计环节践行这一理念，需搭建起涵盖生理层面、功能层面以及心理层面的健康支持体系：物理环境健康维度需要对影响人体舒适的那些核心参数加以系统性的控制，例如采用新风系统来保障室内空气质量，运用分户温控技术达成精准的温湿度调节，优化窗墙比以提升自然采光的效率，借助智能照明系统去匹配不同场景下的光照需求，再者依靠隔声构造以及吸音材料来控制噪声的传播[1]。这些要素一道构成了健康环境的物理方面的基础，从而保证环境参数能够持续地符合人体工程学的相关标准。功能空间在健康维度方面的要求，不能仅仅局限于单一的睡眠功能定位，而是要对空间的承载能力加以重构。着重对四大功能场景予以整合：专注学习场景得有独立书桌，并且要保证充足的照明；协作交流场景需要依靠那种能够灵活变化的讨论区域；体能训练场景则要求提供安全且便捷的健身空间；文化休闲场景得有个舒适的角落，供开展艺术活动之用。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

借助科学的空间流线规划以及家具模块化设计手段，让有限的面积能够满足学生在学术发展、社交拓展以及兴趣培育等方面的复合需求。心理感知健康这一维度着重关注空间氛围给情绪健康所带来的不易察觉的影响。就私密性的保障而言，得借助床位隔断方面的设计来削减视线可能造成的干扰；领域感的构建，可依靠个人储物系统以及个性化装饰区域这两者；至于社交便利性方面的要求，则是要在公共空间去设置一些能够推动偶然发生的互动的交流节点。环境美观度这块，就需要凭借自然的材质还有柔和的色彩来减轻空间给人带来的压迫感。

当下高校宿舍设计往往存在着健康要素碎片化这一情况，大多只着重于局部物理环境的改善，却忽略了整体的系统整合。目前本地区新建框剪结构高层宿舍有着大跨度空间的优势，这可以为其底层集中设置多功能厅给予相应的结构条件。借助混凝土核心筒来整合设备管线，以此保证物理环境的稳定状态；依靠框架的灵活分隔特性，可支持不同功能场景的转换；并且通过精心挑选的材质质感以及合理的色彩计划，进一步强化居住者心理上的舒适感受，从而达成健康性能从单纯的技术指标层面到实际的空间体验层面的全方位落实。

2 高校宿舍生活模式的改变带来的影响

2.1 空间功能的需求结构转变

国内长期注重素质教育、培养学生全面发展，当代大学生的兴趣爱好、生活结构得到丰富。传统的宿舍功能缺少对学生素质培养方面的关注。为配合全面发展的教育背景，宿舍功能应考虑到能够满足学生学习、社交、健身、活动等多种需求，保证学生的生理与心理得到全面健康的发展。

2.2 对舒适度要求的提升

随着健康生活理念的普及，学生对环境舒适度的敏感度明显提升，逐渐建立起同时关注客观居住条件和主观心理感受的综合评价体系。就物理层面而言，热湿环境方面的表现主要体现在夏季空调制冷的响应速度以及冬季供暖的均匀性等这些关键指标上，光环境则涉及到自然采光的充足程度以及人工照明防眩的设计等方面，而声环境包含了隔音降噪的性能以及私密声学的保障等内容，上述这些参数会直接对生理舒适产生影响。从心理层面来讲，空间尺度感需要避免那种让人感觉压抑的层高与进深情况，视觉通透性要求视野能够较为开阔，材质亲和力着重于强调有着温润触感的界面，这些要素与情绪的稳定性是紧密相关的。当代的学生期望宿舍环境能够达成从可居住状态到宜居住状态的转变，这就需要借助分时分区温控系统、可调光谱照明等一系列精准的环境调控技术，并且要结合降噪窗构造、柔光漫反射处理等人性化的设计手段，以此来构建一个能够支持高效学习、深度休息以及积极社交的低压力环境空间。

2.3 配套设备设施的升级完善

智能生活方式逐渐普及开来，这使得宿舍设施不得不朝着现代化、人性化以及智慧化的方向去迭代更新。传统的宿舍设施存在着三方面的断层情况：其一，在功能性方面存在断层，比如四人间的宿舍仅仅配置了两个电源插座，如此一来根本没办法满足电子设备充电的各类需求；其二，在技术性层面存在断层，像公共浴室热水的供应很不稳定，并且网络带宽不足，这些情况无疑会对在线学习造成影响[2]；其三，在卫生性方面存在断层，具体表现为地漏会返臭，家具的边角处还会有霉变滋生细菌的现象出现。要想对设备进行升级，那么就得围绕着健康生活的整个链条来展开相关工作：卫浴系统应当集成恒温控水的功能，同时还要具备强力排潮以及自清洁等方面的功能；家具在设计的时候，需要把人体工学调节机构和抗菌表面处理很好地融合到一起；电气配置方面，得充分满足像电吹风、电脑这类高功率设备以及平板、传感器这类智能终端的复合用电需求；网络基础设施方面，必须要能够支撑起 4K 教学视频的传输工作，而且还要满足 VR 实训对于低延迟的要求。总之，设施升级其实就是借助技术赋能，从而把宿舍转变成一个安全、便捷并且可以不断生长的智慧生活基座。

3 高校宿舍改造设计策略

3.1 优化空间功能

依据框剪结构所具备的特性，着手构建起具有“垂直分层加上核心集聚”特点的功能网络。在底层多功能厅，可在综合健身区配备像智能跑步机、磁阻划船机这类有氧设备，另外还有模块化的力量训练架。在其地面铺设减震地胶，并且设置有全景镜面墙，如此一来便能够充分满足开展系统性训练的相关需求。还能在高层每一层的走廊端部，则将其拓展成为碎片化的运动舱，在这里面嵌入了悬挂训练系统以及可以折叠的瑜伽墙。舱顶设置集成了空气净化装置，侧墙设置用于运动指导的电子屏，以此来激发人们日常进行微健身的行为。就社交功能而言，采用的是双核驱动的方式[3]。在底层打造出复合型的社交中枢，配置可拼接的沙发组、电动升降桌、能够 360° 旋转的书写屏以及隐藏式的投影系统，这样就能支持从 4 人小组讨论一直到 50 人社团活动之间的弹性切换。各个楼层的电梯等候区被转化为宿舍的活力点，设置了环形的软座吧台以及绿植生态墙，吧台还集成了无线充电模块和电子留言板，从而推动跨年级的非正式交流。至于学习空间，形成了一个三级体系。在底层多功能厅设有沉浸式的自习舱，配备了符合人体工学的椅子以及防眩光的阅读灯，还可布局隔音研讨舱，采用声学吸音棉包覆墙体以及智能玻璃雾化隔断的方式。宿舍内部通过可变形家具来实现功能的转换，比如翻折书桌展开之后能够变成 1.6m 的工作台，床下抽屉拉出来就可以成为临时座椅，以此来确保在最小的空间里也能满足深度学习的需求。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

3.2 优化空间舒适度

宁波有着年降水量达到1700mm以及相对湿度为80%这样的气候特点，针对这一点去建立起环境精准调控的相关体系。在热湿控制方面，会采用分户多联机空调和全热交换新风协同这一系统，同时在高层设备平台处设置导流型散热格栅，冷凝水通过真空排水管直接通往地下集水箱。对于卫浴区域而言，要实施双防潮屏障方面的措施，具体来讲，墙面需要涂覆二氧化钛光催化防霉涂层，地面则要铺设微倾斜疏水陶瓷板，并且湿度传感器要和除湿机联动起来，以此实现自动启停的功能，进而确保全年的湿度能够稳定在健康的区间范围之内。在光环境优化方面，执行四维控制的相关举措。从照度层面来看，在自习区域会设置500lx可调光LED平板灯，床头阅读灯具备10级亮度调节的功能。从色温层面来讲，智能照明系统依据不同的时段来自动切换模式，比如在晨间时采用6500K冷白光来唤醒人的状态。就防眩层面而言，在外窗安装可调角度棱镜遮阳板，从而把直射光转化成为漫反射光。在光污染防控方面，可采用向上照明约束的技术手段，其中高层走廊地脚灯的亮度会被严格控制。在声学工程方面，会实施三位一体的改造措施。围护结构会采用200mm加气混凝土砌块加上5mm隔声砂浆再加上12mm硅酸钙板复合而成的墙体，如此一来其计算隔声量能够达到55dB。楼板会铺设8mm橡胶减震垫加上50mm轻质混凝土浮筑层，这样撞击声压级就会低于65dB。对于设备噪声控制的要求是在电梯井道内贴上50mm离心玻璃棉，水管采用波纹管减震吊架的方式。公共区域设置声学照相机来实时监测噪声情况，一旦噪声超标就会自动触发预警机制。

3.3 合理配备更新设备设施

面向高学历人群需求来打造智慧化生活系统。在卫生空间方面，推行三分离单元式布局，其中如厕区会配备智能马桶盖，淋浴间则安装地面速干系统，每个隔间都集成有紧急呼叫按钮以及使用计时器。功能家具实现人体工学和空间折叠的融合，书桌配备电动升降机构以及磁吸式线缆管理系统，桌面可以倾斜15°以满足绘图的需求；储物系统应用垂直旋转衣架和真空压缩储备舱，使得空间利用率提升了40%[4]。数字化基座构建五维网络，供配电系统每床位配置插座，关键插座设有用电量监控，通信网络千兆光纤可直达宿舍桌面。

4 结语

在健康中国战略以及高等教育高质量发展这两大因素的推动之下，高校学生宿舍已经完成了从单纯的基础生活空间向育人环境核心载体的转变。此项研究依照健康建筑的理念来开展，鉴于当代学生需求出现了结构性的改变，便提出了空间功能重组、环境舒适度提升还有设备设施智能化等三大策略，进而构建起“垂直分区加上底层集中”的功能网络、“参数精准调控”所涉及的环境系统以及“人体智能响应”对应的设施体系。框剪结构的高层宿舍因其具备底层大空间的优势，能为底层多功能厅和标准化居住单元展开协同创新给予结构方面的支撑，在这种情况下，前者变成了培育综合素质的充满活力的中枢所在，而后者则借助可变家具达成个性化的适配效果。针对宁波地区高湿气候以及高层建筑所具有的特性，把温湿度耦合调控系统和结构防潮降噪技术加以集成，如此便能有效地对湿热环境控制方面以及声学传播方面的难题予以解决。智慧管理平台借助物联网技术来达成环境监测以及设施联动的目的，进而形成一种能够持续进行优化的运行机制。上述这些实践一方面切实回应了学生对于复合场景、物理舒适状况以及智能支持等方面所存在的核心诉求，另一方面还将宿舍提升到了可促进学生实现全面发展的载体这样一个层次。在未来应当进一步深化健康性能标准体系，促使建筑空间从原先的被动容纳状态逐步转变为主动培育的状态，最终达成居住环境品质和学生成长需求之间的深度契合效果。

[参考文献]

[1]完晨玉,唐建,王玉倩,等.健康视域下高校学生宿舍优化设计研究[J].住宅产业,2024,11(5):44-46.
[2]曹稳,吴伟东.自然通风建筑中适应性热舒适模型的优化方法[J].西部人居环境学刊,2025,40(2):148-154.
[3]张英杰.公共建筑暖通绿色节能设计应用研究[D].北京:北京建筑大学,2024.
[4]莫景然,刘春元,刘东旭,等.上海冬季高校学生宿舍自然通风策略研究与分析[J].制冷与空调(四川),2025,39(2):170-178.

作者简介：谢晶（1985.10—），毕业院校：郑州大学，所学专业：建筑学，当前就职单位：宁波大学建筑设计研究院有限公司，职务：建筑设计师，职称级别：中级工程师。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

优化技术在房屋建筑结构设计中的研究与应用

李水明
浙江地标设计集团有限公司，浙江 杭州 310000

[摘要]当前，建筑行业对结构安全性、经济性与可持续性的要求持续攀升，优化技术在房屋建筑结构设计中的应用愈发普遍，通过有机融合数学建模、算法优化与建筑工程实践，不仅能显著提高结构材料的利用效率、削减工程成本，还可强化结构的抗震与耐久性能，此文围绕优化技术的核心原理与实施路径，分别从结构构件布置优化、材料选型优化、施工流程优化等维度进行系统性阐述，深入探讨其在实际工程设计中的可操作性与应用效果，期望为现代房屋建筑结构设计提供技术借鉴与创新思路。

[关键词]房屋建筑；结构设计；优化技术；参数优化；性能提升
DOI：10.33142/ucp.v2i3.16716 中图分类号：TU318 文献标识码：A

Research and Application of Optimization Technology in Building Structure Design

LI Shuiming
Zhejiang Dibiao Design Group Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang, 310000, China

Abstract: Currently, the construction industry's requirements for structural safety, economy, and sustainability continue to rise, and the application of optimization technology in building structure design is becoming increasingly common. By organically integrating mathematical modeling, algorithm optimization, and construction engineering practice, not only can the utilization efficiency of structural materials be significantly improved and engineering costs be reduced, but the seismic and durability performance of structures can also be strengthened. This article systematically elaborates on the core principles and implementation paths of optimization technology from the dimensions of structural component layout optimization, material selection optimization, and construction process optimization, and deeply explores its operability and application effects in practical engineering design. It is expected to provide technical reference and innovative ideas for modern building structure design.

Keywords: building construction; structural design; optimizing technology; parameter optimization; performance improvement

引言

在房屋建筑结构设计中，如何在满足强度、安全及功能需求的基础上，达成经济与绿色发展目标，已成为设计人员亟待解决的关键问题，传统设计模式多基于经验与规范，难以充分实现结构性能的最优化，伴随智能算法与计算机仿真等优化技术的快速发展，建筑结构设计迎来新的变革机遇，此文从优化设计视角切入，系统梳理其在房屋建筑结构中的具体应用方式与技术手段，深入剖析其对提升结构效率、降低工程成本的重要意义，进而推动建筑工程领域的技术进步与绿色转型。

1 优化技术在建筑结构设计中的发展概况

1.1 优化设计在建筑领域的引入历程

优化设计理念起源于航空航天、机械工程等精密工程领域，其核心是通过数学建模与计算算法，在既定约束条件下实现目标函数的极值优化，以达成性能最优或资源最省的设计效果，这一理念注重系统性与科学性，早期主要应用于飞行器结构与机械零部件的受力分析及材料分配，随着计算机辅助设计（CAD）技术的飞速发展，建筑行业逐步将优化思维融入结构设计流程，尤其在高层建筑、大跨度结构及特殊造型建筑的设计中，优化方法表现出强大的适应能力与精度控制优势，早期建筑结构优化以线性静力学分析模型为基础，主要在降低材料消耗、提升承载效率等方面取得初步成效，进入 21 世纪，随着遗传算法、模拟退火、粒子群优化等智能算法的成熟，这些优化方法广泛应用于建筑设计各阶段，实现了从理论研究到实际工程的转化，有力推动了建筑结构设计的技术革新与智能化发展。

1.2 当前优化技术的分类及特点

建筑结构设计中的优化技术主要涵盖拓扑优化、形状优化与参数优化三类，其特性与适用场景各有侧重，拓扑优化旨在既定设计空间内探索材料的最优分布模式，适用于设计初期阶段，通过优化整体受力路径与材料配置，实现结构轻量化与承载效率的双重提升；形状优化聚焦于结构边界轮廓的精细化调整，通过重塑几何形态改善应力分布，增强结构刚度与稳定性，尤其适用于壳体结构、空间桁架及异形建筑，在提升力学性能的同时兼顾建筑美学需求；参数优化则针对构件尺寸、截面形式、材料选型等数值参数开展自动化迭代计算，以平衡经济性、安全性与设计规范要求，常用于施工图深化设计环节，实践中，三类优化技术相互补充、协同应用，共同构建起多目标、多约

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

束条件下的系统化设计优化体系。

1.3 优化技术与建筑信息模型（BIM）的融合趋势

近年来，建筑信息模型（BIM）技术的成熟为优化设计注入了数字化动能，BIM 平台通过集成建筑结构的几何参数、材料属性、施工流程及运维数据，构建起覆盖全生命周期的结构化数据库，实现对优化设计过程的动态管控，在结构设计环节，BIM 不仅是参数化建模的基础载体，更可通过数据接口与各类优化软件无缝联动，支持模型的快速迭代与优化结果的可视化推演，这种融合打破了传统设计中静态图纸的局限性，推动建筑设计向“数据驱动型”模式转型，显著提升设计效率与精准度，同时，BIM 模型的全真模拟特性为优化结果提供了实践验证场景，通过将优化后的结构参数导入 BIM 平台，可实时校验构件碰撞、施工工艺可行性及运维阶段性能表现，确保设计方案从理论到落地的连贯性，随着人工智能算法与大数据分析技术的深度介入，BIM 平台的智能化水平持续提升，未来将实现优化目标的自主识别、约束条件的动态调整及多方案的自动比选，进一步强化优化设计的实时响应能力，成为建筑结构智能化设计的核心技术底座。

2 结构构件布置的优化技术路径

2.1 承重体系的合理布置设计

承重体系作为建筑结构的核心骨架，其布局合理性直接关乎结构稳定性、安全性及功能实现，传统设计多依赖经验与功能需求进行构件布置，虽能满足基本力学要求，但常存在构件冗余、受力路径紊乱、结构偏心等问题，难以实现性能与经济性的最优平衡，引入优化技术后，设计师可通过计算模型对框架、剪力墙、核心筒等关键承重构件进行系统性分析与布局优化，在满足承载力、刚度及抗震性能的前提下，实现荷载在平面与立面的科学分配，显著提升结构受力的均衡性，以高层建筑为例，通过剪力墙与框架的组合优化，可在增强抗风抗震性能的同时，减轻结构自重，降低基础负荷与施工成本，此外，优化技术还能结合建筑功能分区与美学需求，推动承重体系的模块化与标准化设计，实现空间布局与结构效能的协同优化，提升建筑整体性、施工效率及空间利用率。

2.2 跨层荷载路径的优化建模

荷载传递路径对构件受力状态、安全储备及整体结构性能具有决定性影响，传统设计在处理多荷载源、多路径传递问题时，常采用简化假设，难以精准模拟实际受力过程，导致路径选择不合理，引发局部构件超载或材料浪费，在部分工程案例中，因路径设计缺陷，局部构件应力超过结构平均应力的 150%，存在显著安全隐患，通过引入优化建模技术，结合有限元分析与结构响应计算，可构建三维跨层荷载传递模型，全面揭示结构在多工况下的力学行为，通过设置构件应力最小化、内力分布均衡化等目标函数，算法可自动搜寻最优传递路径，确保结构各部位受力合理，在大跨度桥梁、异形空间结构等复杂工程中，优化路径建模尤为关键，部分前沿设计采用拓扑优化技术，自动生成类树状或网络状荷载传递结构，兼顾力学逻辑、材料分布与构造可行性，使材料利用率提升 10% 以上，有效保障结构安全与经济性。

2.3 节点连接方式的优化选择

结构节点作为构件间力传递的关键部位，其连接形式与性能直接决定结构体系的稳定性与延性，优化设计在节点连接中的应用主要体现在连接方式比选、构造参数优化及位置调整三方面，以钢结构为例，通过结构响应分析对比刚接、铰接、半刚接等典型连接形式的受力特性、变形能力与施工难度，可筛选出满足多目标需求的最优组合方案，对于混凝土结构节点，优化聚焦于钢筋锚固长度、连接件布置、核心区构造等细节参数，通过数值模拟与试验数据验证，实现连接刚度、强度与施工便捷性的平衡，在装配式建筑设计中，优化工具可推动节点模块标准化，提升构件拼装效率并降低安装误差，节点连接优化不仅能增强结构整体受力性能，还可显著降低施工阶段的技术难度与安全风险，具备显著的工程应用价值。

3 建筑材料与截面参数的优化配置

3.1 结构材料强度与轻质化选择

建筑结构材料的选型直接关联结构强度、耐久性及施工效率，优化设计的核心目标是实现材料强度与质量的最优配比，传统设计常采用单一材料等级，导致材料性能未能差异化发挥；而优化技术可在满足安全承载要求的前提下，优先选用高强钢、高性能混凝土、纤维增强复合材料等强度高、密度低的新型材料，推动结构轻质化，通过集成材料性能数据库与算法模型，优化工具可根据构件受力特征自动推荐分区材料方案，例如在高应力部位配置高强度材料，在次要构件采用经济型材料，从而兼顾结构安全性与经济性，此类材料不仅力学性能优越，还具备耐腐蚀、施工适应性强等优势，成为现代结构设计的重要发展方向。

3.2 构件截面尺寸的参数优化

构件截面尺寸的合理配置是提升结构性能与控制造价的关键环节，传统设计依赖经验公式或规范限值确定截面尺寸，易导致安全裕度偏大或构件冗余，参数优化技术通过将梁、柱、板、墙等构件的截面尺寸设定为设计变量，以受力性能、变形控制、构造规范等为约束条件，采用遗传算法、粒子群算法等智能算法求解最优配置方案，通过多目标优化，可实现结构刚度、强度、稳定性的平衡，同时减少材料用量、降低结构自重及基础造价，在高层建筑、大跨度结构及异形建筑中，参数优化对控制结构变形、提升使用舒适性及施工可行性尤为关键，已成为现代结构设计不可或缺的技术手段。

3.3 节能与绿色建材优化配置

绿色建材的选型与配置是实现建筑全生命周期节能

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

环保的核心路径，优化设计需综合考量结构性能、热工性能、环境影响及使用寿命等多元指标，优化工具通过集成绿色建材性能数据（如导热系数、碳排放系数、回收利用率等），模拟建筑能耗与材料响应，实现绿色材料在结构中的精准分布，例如，在楼板与外墙构造中采用保温轻质材料，既能满足承载力要求，又可降低能耗与噪声污染；在屋面、防水及非承重部位优先使用可再生或环保材料，提升建筑可持续性，此外，绿色建材的模块化与标准化特性便于构件批量优化与装配施工，进一步提高工程效率与环保水平，契合建筑行业绿色转型需求。

4 施工工艺与结构性能的联合优化设计

4.1 施工工序对结构优化的反馈作用

在传统建筑结构设计中，施工工序常被置于设计流程末端，但随着优化理念的革新，施工过程已成为驱动设计改进的关键反馈环节，实际工程中，施工顺序的差异会显著影响结构构件的受力路径、应力累积模式及变形发展趋势，借助优化工具构建施工阶段结构响应模型，可动态模拟不同施工序列下的结构性能变化，使设计阶段能够提前预判并优化潜在风险，例如在大体积混凝土浇筑或钢结构安装过程中，通过合理调控结构加载时序，可有效规避早期应力集中与变形超限问题，降低裂缝产生及节点失稳风险。

4.2 施工方案与结构稳定性的耦合优化

结构稳定性不仅取决于设计方案，更与实际施工技术紧密关联，在高层建筑、超长结构或复杂地质条件的项目中，施工过程中结构的临时状态需具备足够的刚度与稳定性，耦合优化技术将结构设计参数与施工技术参数统一纳入优化模型，综合考虑混凝土强度发展规律、临时支撑布置方案、模板刚度控制等因素，实现设计方案与施工工艺的协同优化，通过多物理场仿真分析温度、应力、位移等多因素耦合作用下的结构临时性能，可精准评估施工阶段结构的屈曲、偏移或破坏风险。

4.3 结构耐久性与维护周期的设计优化

结构耐久性是衡量建筑服役寿命与运维成本的核心指标，现代优化设计需将全生命周期理念贯穿于结构方案设计，通过对材料选型、节点构造、防护措施的精细化设计，可有效提升结构的长期稳定性与环境适应性，利用专业优化软件对钢筋锈蚀、混凝土碳化、裂缝扩展等耐久性劣化机制进行建模，结合气候、湿度、荷载等环境因素，能够预测结构性能随时间的变化趋势，并据此科学制订维护周期与更新计划，在设计阶段融入耐久性优化，可大幅减少运营期检修频次、降低维护成本，例如，通过加强地下结构防水设计、为外露构件涂覆抗紫外或抗碳化涂层等措施，可显著延长结构使用寿命，随着智能传感技术的发展，结构健康监测数据与设计优化模型的深度联动，将进一步推动维护策略向智能化、精准化方向演进，确保结构性能始终维持最优状态。

5 结语

优化技术的广泛应用正推动房屋建筑结构设计从传统经验驱动向智能精准化转型，通过对结构构件布置、材料参数优化、施工工艺协同及耐久性设计等多维度的系统优化，不仅显著提升了建筑结构的安全性与经济性，更强化了工程的可持续发展能力，本文系统梳理了优化技术在结构设计全周期中的应用路径与技术要点，验证了其在提升设计质量、促进资源高效利用方面的显著价值，展望未来，随着 BIM 技术与人工智能的深度融合，建筑结构优化设计将朝着更高效、更科学的方向发展，为现代建筑行业的高质量发展注入强劲动力。

[参考文献]

[1]张金林.基于BIM技术的房屋建筑结构加固设计与施工工艺优化研究[J].建设科技,2024(18):48-51.
[2]李进.论房屋建筑结构设计优化措施中的优化技术[J].全面腐蚀控制,2024,38(8):105-107.
[3]秦家军.房屋建筑结构优化设计研究[J].佛山陶瓷,2024,34(7):149-151.
[4]牛晓光.河北太行山区典型民居建筑能耗分析及节能优化研究[D].河北省:河北地质大学,2024.
[5]季广森.房屋建筑结构设计中的常见问题及对策分析[J].房地产世界,2023(22):54-56.

作者简介：李水明（1979.6—），男，毕业院校：内蒙古科技大学（原包头钢铁学院），本科学历，所学专业：建筑工程（土木工程），当前就职单位：浙江地标设计集团有限公司，职务：建筑结构设计，职称：工程师。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

城市街区中公共空间界面在建筑设计中的引导作用研究

阿依谢姆·艾则孜
新疆恒泰工程设计有限公司，新疆 喀什 844000

[摘要]建筑与城市环境之间，城市街区的公共空间界面是重要过渡地带，其设计直捣空间组织逻辑、人流动线引导、城市形象塑造，科学规划建筑立面、界面尺度、功能混合程度、通透性等因素就能实现街区空间结构优化、人本行为引导，在增强空间连续性、提升场所识别度、提高公共参与度等方面界面作用显著，从建筑设计视角提出引导策略有助于构建更宜居、有序、富有活力的城市街区体系。

[关键词]城市街区；公共空间；界面设计；建筑引导；空间组织
DOI：10.33142/ucp.v2i3.16712 中图分类号：TU984 文献标识码：A

Research on the Guiding Role of Public Space Interfaces in Architectural Design in Urban Blocks

AYIXIEMU Aizezi
Xinjiang Hengtai Engineering Design Co., Ltd., Kashgar, Xinjiang, 844000, China

Abstract: The public space interface of urban blocks is an important transitional zone between architecture and urban environment. Its design directly involves spatial organization logic, pedestrian flow guidance, and urban image shaping. Scientific planning of building facades, interface scales, functional mixing levels, transparency, and other factors can optimize the spatial structure of blocks and guide human behavior. The interface plays a significant role in enhancing spatial continuity, improving place recognition, and increasing public participation. From the perspective of architectural design, proposing guidance strategies can help build a more livable, orderly, and dynamic urban block system.

Keywords: urban blocks; public space; interface design; architectural guidance; spatial organization

引言

高速城市化背景下，街区空间一天天变得更紧凑，公共空间界面的作用也越来越重要，界面是建筑和城市间的连接媒介，它不光有着视觉表达和文化意涵，而且在引导人流线路、组织空间结构、提升街区活力这些事上也起着关键作用，因此合理设计界面，能营造出有吸引力、功能多样的城市空间，促使建筑和环境有机融合，这是实现人本化、互动性和空间引导性的关键手段。

1 城市公共空间界面的定义与构成要素分析

1.1 界面的概念与分类

城市公共空间界面指的是建筑实体和街道、广场等开放空间之间的空间过渡地带，该地带存在视觉、功能与行为互动，在城市空间系统里是一种“边界”，对城市生活活动而言也是个“容器”，在连接、引导、组织人们的空间体验方面起桥梁般的作用，从建筑设计方面来说，界面要承担建筑功能外延的工作且肩负起协调城市空间环境和人的行为的任务。

从空间属性和构成方式来看，公共空间界面能分成水平界面、垂直界面以及交互界面三类，水平界面多体现为地面层的城市空间，如广场、街道、人行通道等，这些空间决定着人流组织与空间节奏，垂直界面是建筑立面跟城市视觉系统的对接之处，是构建街区空间形象和秩序的重要元素，而交互界面包括入口、门廊、骑楼、廊架等连接室内外的过渡区域，主要承载人流聚散和互动行为。

建筑与城市之间的空间融合质量由这三类彼此交织、相互作用的界面共同决定，良好的界面组合利于提升场所感与安全性，还可加强使用者对城市空间的归属感与参与感，给城市公共生活的繁荣提供空间支持。

1.2 界面的构成要素

城市公共空间界面的构成，空间分隔只是一方面，物理和感知层面的诸多要素在多个维度上都有涉及，而尺度是首要的构成因素，它决定着人、建筑和街道之间空间的舒适性与通达性，过高或者封闭的界面容易让人有压迫感，人行尺度适宜则有助于营造对人友好的环境，在形态上，界面的几何形状、轮廓线、开合程度等都有涉及且对空间的节奏和视线引导有直接影响，界面的触感和视觉识别度由材质与色彩决定，这是形成场所特色的重要载体。

界面构成里通透性很重要，它能体现视线、声音、气流等物理媒介能否穿透界面以让内外空间在视觉和心理上有所交流，若界面通透性高则互动性和安全感会增强，在商业街区、文创园区这类功能复合区域，这是激活空间活力的重要方式。界面构成的核心维度之一是功能分区，出入口、橱窗、休憩座椅、绿化隔离带等界面上设置的元素都属于功能分区且这些元素共同作用以满足不同城市功能需求。

在人本体验层面，界面的核心要素由视觉可达性和心

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

理感知构成，良好的视觉引导可让使用者迅速识别空间结构，增强城市的可读性，并且界面支持互动行为，像开放式门廊、半私密窗台空间、小型广场等，能激发市民自发性停留、交流与参与，让城市空间更有活力更具温度。

1.3 界面对城市街区的结构与秩序构建影响

城市街区结构中界面的作用主要表现在组织空间肌理和塑造秩序逻辑这两点上，街道宽度、转角处理、广场开口这些空间要素直接受界面布局和形式的影响从而决定城市空间的连续性与分区合理性，并且界面序列要是统一尺度、协调比例的话就能营造出清晰有序的街区结构进而有效避免空间碎片化和混乱感。

界面设计通过材质差异、色彩识别、立面细节等方法提升环境的识别性与可读性并强化空间记忆点，从而让使用者在城市空间里快速定位、辨识与导航，而建筑界面设置特色立面、雕塑、LOGO 墙等地标性元素不仅能承担引导人流和指示的功能，还能提升空间的功能效率与美学价值。

空间连续性与功能融合能通过界面设计得到促进，打破传统封闭边界，引入下沉广场、开放门廊、城市阳台等空间可使建筑与街道空间的功能交叠、实现无缝过渡，这既提升了空间利用率，又营造出更具亲和力的生活环境，这种界面处理策略在高密度城市街区实现多元功能共存与空间复合利用方面日益变得重要。

2 公共空间界面在建筑设计中的引导机制探析

2.1 空间流线的引导

建筑内部功能与城市外部空间靠建筑界面连接，其作为重要中介，结构形式和布局组织对城市慢行系统的运行效率与空间逻辑有着直接影响，界面若设计合理，就要和街区主干道、人行步道、自行车道等城市交通要素无缝衔接，协调建筑入口、边界处理和通达路径，从而让市民在城市公共空间与建筑空间过渡得自然又顺畅，使空间连续互通，提升城市流线通行效率，增强建筑与城市环境的融合互动，构建起“内外联动”的空间秩序。

人流组织与行为引导被界面的开放程度决定性地影响着，像采用大面积玻璃幕墙、透明走廊、下沉式广场或者可穿越庭院这种开放性设计，能让视觉和行动双向穿透，吸引行人驻足、进入或者逗留，激活建筑底层和街道界面的活力，而封闭、孤立的界面形式容易造成街区人气断裂，影响城市生活氛围的延续与发展，提升界面的通透性和互动性，就能实现“可达-可见-可进入”的空间逻辑，给城市空间注入更强的开放性与引导力。

东京表参道和深圳华侨城创意园是空间流线引导方面的典型案例，表参道那里建筑界面与街道步道十分契合，且立面的凹凸以及材料的变化对人流在高密度商业环境里的自由流动起着引导作用，而华侨城创意园靠连续开放的街区界面、多层次步行系统以及斜向通廊设计打破传统格局，从而实现对人流的多维组织和主动引导。

2.2 视觉导向与形象塑造

城市空间视觉引导与秩序构建中建筑立面和城市视线通廊的协同关系很重要，在街角转折、广场边界或者城市主视线轴线这些关键节点，界面通过体量控制、立面凹凸、形态变化等手法塑造“视觉锚点”，既能提升空间识别性，又能让城市环境有明确方向感和空间节奏，在高密度街区里更是如此，清晰的视觉引导能有效缓解空间混乱，让行人走得更连贯，且街区整体空间组织力也能增强。

在具体设计表达中，要实现视觉引导的关键在于材料和色彩的组合使用，通透玻璃材质可营造开放感让视线穿透内部空间，金属和石材能使界面有沉稳感和质感成为视觉停留之处，在色彩搭配上使用与背景有对比或起强调作用的色调能快速吸引视线提高界面识别度，若灯光层次、导视标识、橱窗布局等辅助元素设置得合理，不仅能满足夜间引导需求还构建起清晰的信息流动系统让界面成为城市里高效传递视觉与功能信息的重要节点。

伦敦金丝雀码头以现代主义立面、线性通廊和标志性塔楼构建出富有视觉秩序的城市空间格局，而成都太古里将传统街巷肌理和现代材料相融合创造出独特的界面体验，视觉识别性很强，能引导人们在街区游走、停留、消费，从而增强场所吸引力和商业效益。

2.3 功能整合与界面活力提升

现代城市公共空间界面设计越来越注重功能复合化和空间活力再生，其核心是把单一用途的边界变为多功能的开放平台，高质量的引导性界面得具备商业服务、公共休憩、文化展陈、交通集散等多种功能以达成“空间+活动”的叠合布局，且不同功能模块合理组合既能提高界面空间利用率，又能给市民多样的使用选择，促进不同人群交流融合，让场所更具吸引力和黏性。

建筑底层通透化设计在具体策略里是关键，连续性强的商业通廊、无围合前广场、街头剧场等空间节点一设置，建筑内外物理边界就被弱化，界面开放性和可达性得以提升，并且街角会客厅、临街创意工坊、沉浸式展陈橱窗等设施以共享化理念打造，界面服务场景拓宽，街区动态感和参与度提升，城市空间就变得更开放多元还充满人文温度。

上海新天地在石库门改造里保留街巷肌理并植入商业、餐饮、文化展演等功能，成了界面复合功能运用的典范，让界面变成城市活动的交汇点，而巴塞罗那老城区逐步开放建筑底层空间且引入文创和社会服务功能，使历史建筑与当代城市生活无缝连接起来，界面空间的社会活力和吸引力也极大增强。

2.4 文化与行为导向作用

城市界面不只是建筑和城市空间的物理过渡带，还是地域文化、历史记忆、居民情感的表达媒介，建筑语言、装饰符号、材质选择等设计手段能使界面映射特定区域的文化特征和价值观，用本地石材、传统工艺构造，加上地

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

域特色的图案装饰或者艺术装置，既能提升视觉识别性，又能让空间具有独特文化气质和归属感，这种将文化嵌入其中的界面设计不只是美学的展现，也是城市记忆的延续和公众认同的建立。

人本导向的界面设计能有效引导居民行为，让公共空间互动性和活力得以增强，设置临街长椅、阳光台阶、小型阅读区、街头书这些可供停留的微空间，可激发市民参与热情和社交意愿，使空间从“通道”变成“场所”，而且布局上引入明确人群分区导向，像设置儿童活动角、老人交流区、青年休闲区等，有助于提升界面服务多样性和空间包容性，推动城市街区朝着更温暖、可持续方向发展。

重庆磁器口老街维护传统街巷尺度与装饰语汇、传承地方文脉的还承接现代商业与游览功能，巴黎拉德芳斯广场通过多层次界面空间与艺术雕塑、文化展览相结合激发市民认知与参与行为建成现代化商务区中的文化互动场所，其界面在塑造公共行为和精神认同上的引导价值就凸显出来。

3 优化策略与设计导则建议

3.1 以“引导性”为导向的界面设计原则

“引导性”得成为公共空间界面优化的核心，应强调建筑和城市开放空间的紧密互动，建筑界面不能只充当物理边界，而要积极参与街道、广场、绿地等公共空间的构建，通透的界面布局、开敞的过渡空间、模糊的内外边界，能让空间在视觉、功能和心理层面连续起来，设置退台、灰空间或者铺装延伸，界面就能增强人与环境的互动性，打造出更有亲和力、使用起来更有黏性的城市空间节点。

设计导则得注重“人-建筑-城市”三者联动体验，建筑界面是体验转换的介质，既承载建筑内部功能逻辑，也承接城市空间秩序语言，协调界面尺度、控制立面节奏、组织交通节点，能实现从城市尺度到人体尺度的过渡与统一，形成一体化多维度的空间体验路径，而这种连续性会大大提升空间通达性、导向性和场所感，有效激发城市公共空间活力与功能协同。

3.2 针对不同街区类型的界面响应策略

不同类型的街区要有针对性的界面设计策略才能让功能协调和空间引导达到最优组合，商业街区的界面要有高可视性和吸引力，用大面积通透玻璃、互动橱窗、开放性门廊之类地吸引顾客进去并强调信息传递和动线引导功能，住宅区重点要放在隐私保护和生活氛围营造上，通过适当设置绿化隔离、缓冲空间和景观引导通道使界面有安静、温和、利于邻里交流的特性，复合功能区较为复杂，要综合商业街区和住宅区的需求，依靠灵活的功能分区和可变的界面系统满足办公、商业、居住等多种活动共存的需求。

区域文化和功能需求在界面响应策略里也是重要的考量因素，界面设计得充分吸收本地文化基因、社会习惯和生态环境特征，这样界面就不再是对“标准化模板”的机械复制，而是变成表达地域性和功能特征的独特载体，城市更新项目中保留原有街巷肌理、传统立面元素或者历史记忆装饰对构建文化延续性和引发市民情感共鸣有帮助，新兴城区可以引入创新材料和数字设计技术，塑造面向未来的城市形象和交互空间，提高区域的认同感和发展潜力。

3.3 界面设计中的技术与智慧化手段

数字技术不断发展使界面设计迈向智慧化阶段，新型技术如智慧灯光系统、交互媒体装置、动态信息面板被引入，增强了空间的视觉吸引力与信息交互能力，人流密度、时间段或者节庆活动能让灯光作出调节，实现了节能和情感引导的双重目标，交互媒体可提供路径指引、商业信息、社交留言等功能，让界面成为集功能、信息和趣味于一体的城市节点，提升了城市空间的参与性与互动性。

界面引导性优化有了更科学依据得益于数据驱动的设计方法，可通过可视化动线分析、热力图模拟和行为数据采集来动态监测并反馈人流分布、停留热点、通达效率等关键指标，给界面布局、出入口设置、空间尺度等提供决策支持，这种精细化的基于数据的界面管理模式能提升空间利用效率，有助于形成以用户行为为导向的智慧城市空间生态以达成“界面-行为-反馈-再优化”的循环机制。

4 结语

城市街区公共空间界面是连接建筑和城市的重要纽带，在组织空间形态、引导人流动线、塑造城市形象、承载文化记忆等方面起着不可替代的引导作用，科学地对界面分类，分析其要素，探讨多维度引导机制，制定针对性优化策略，能使界面不但提升空间功能效率和环境品质，还促进人与城市良性互动，未来要进一步把智慧化技术和人本理念融合起来，构建有引导性、适应性、文化性的界面系统，推动城市空间朝着开放、连续、有序且充满活力的方向发展。

[参考文献]

[1]李登钰.开放型街区设计研究[D].内蒙古自治区呼和浩特:内蒙古工业大学,2019.
[2]栾明宇.基于整合观的高密度城市街区线性高架公共空间设计研究[D].北京:中国建筑设计研究院,2022.
[3]高雪南.大连五二三厂老旧街区公共空间保护与更新策略研究[D].辽宁:大连理工大学,2022.
[4]何佩琪.广州市六运小区公共空间活力优化策略研究[D].广东:华南理工大学,2022.
[5]钱紫艳.广州旧城高校周边街区公共空间改造策略研究[D].广东:华南理工大学,2020.

作者简介：阿依谢姆·艾则孜（1997.1—），毕业于：喀什大学，土木工程专业，就职于新疆恒泰工程设计有限公司，职务：建筑设计，职称职别：助理工程师：初级。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

智慧城市背景下的城乡规划创新路径研究

乔 斐
辛集市城乡规划中心 ，河北 辛集 052360

[摘要]随着信息技术不断发展，智慧城市成为推动城市化以及促进城乡协调发展的关键战略。在智慧城市这样的大背景之下，传统城乡规划遇到了诸多挑战，像是效率不高、资源配置不均、难以满足多样化的社会需求等等。智慧技术，像大数据、物联网、人工智能这类技术的应用，一方面改变了城市的运行方式，另一方面也给城乡规划提出了新的要求，而且是更高标准的要求。这篇文章深入探讨了智慧城市背景下城乡规划的创新途径，希望能从理论层面给予提升城乡规划科学性、精准性以及可持续性的有力支持，并且能为实践操作提供有效的指导，进而为智慧城市的健康持续发展筑牢根基。
[关键词]智慧城市；城乡规划；创新路径
DOI：10.33142/ucp.v2i3.16735 中图分类号：TU984 文献标识码：A

Research on Innovative Paths of Urban and Rural Planning in the Context of Smart Cities

QIAO Fei
Xinji Urban and Rural Planning Center, Xinji, Hebei, 052360, China

Abstract: With the continuous development of information technology, smart cities have become a key strategy for promoting urbanization and promoting coordinated urban-rural development. In the context of smart cities, traditional urban and rural planning has encountered many challenges, such as low efficiency, uneven resource allocation, and difficulty in meeting diverse social needs. The application of smart technologies, such as big data, the Internet of Things, and artificial intelligence, has changed the way cities operate on the one hand, and has also put forward new requirements for urban and rural planning, which are higher standards. This article explores in depth the innovative approaches to urban and rural planning in the context of smart cities, hoping to provide strong theoretical support for improving the scientific, accurate, and sustainable nature of urban and rural planning, so as to provide effective guidance for practical operations, which laying a solid foundation for the healthy and sustainable development of smart cities.
Keywords: smart city; urban and rural planning; innovation path

引言

随着信息技术快速发展，智慧城市作为未来城市发展新模式，在全球范围兴起，它不是单纯的技术集合，而是集成智能化管理、可持续发展、社会创新等多方面内容的新型城市形态，在此背景下，城乡规划作为城市发展基础性工作，面临前所未有机遇与挑战，传统城乡规划模式因较为封闭、单一的规划思维，难以应对现代城市复杂多变发展需求，智慧城市建设提出以数据为驱动、信息化为支撑规划理念，这要求传统空间布局、基础设施建设和社会服务体系优化升级，促使城乡规划在多领域、多层次整合与协同中不断创新，尤其在城乡一体化发展推动下，如何借助智慧技术提高资源配置效率，推动环境保护、经济发展和社会公平协调发展，是当前城乡规划研究重要议题，本研究探讨智慧城市背景下城乡规划创新路径，深入分析数据驱动、智能基础设施、弹性规划、跨部门协同与绿色发展等方面创新实践，期望为现代城乡规划提供理论指导和实践经验，推动城乡规划朝着更智能、高效、可持续方向发展。

1 智慧城市的核心特征

智慧城市的核心特征在于其高度的智能化与系统化运行机制。通过先进的信息技术手段，有效整合城市中的各类资源和要素，实现对城市运行状态的动态感知、实时分析与高效决策。以数据驱动为基础，智慧城市依托物联网与大数据技术，全面、精准地监控并分析城市各领域的运行情况。借助智能化平台的构建，智慧城市能够打破信息壁垒，实现多部门、多领域间的信息互联互通与共享，显著提升城市管理效率和资源配置能力。同时，通过人工智能算法与智能设备的应用，增强城市的自主调节能力，能够在突发事件和复杂环境中迅速响应，优化城市的应急管理体系。智慧城市还注重服务的个性化与精细化，借助对市民需求的深度洞察，提供智能化的交通、医疗、教育和公共服务解决方案，持续提升居民的生活质量。

2 智慧城市背景下的城乡规划创新的必要性

在智慧城市发展速度比较快的背景之下，城乡规划面临着从来没有过的机遇以及挑战，创新城乡规划的路径已经成为达成城市高质量发展以及城乡协调发展必不可少的要求。传统的城乡规划大多依靠静态数据还有经验来做出判断，很难契合当下复杂且多变的社会需求以及城市运行的环境，然而智慧城市借助物联网、大数据、云计算等一系列的技术手段，能够达成对城市空间、资源、人口、

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

交通等诸多要素的动态感知以及实时分析，给城乡规划给予了更为精确并且科学的决策方面的支撑[1]。当前城乡发展存在着不平衡、不充分的状况，农村地区在基础设施、公共服务、数字化建设等方面相对来说比较滞后，智慧城市的建设对于推动公共资源和服务的均等化配置是有帮助的，可以强化城乡之间联动发展的能力。与此面对人口老龄化、资源环境压力不断增大、城市病等问题，传统的规划手段已经很难有效地去应对了，而智慧化的手段能够凭借模拟预测、智能调度以及动态调整等方式，提高城市系统的弹性以及韧性。

3 传统城乡规划存在的问题

传统城乡规划于实践当中存在着不少颇为突出的问题，这些问题对城乡协调推进发展以及空间资源实现高效利用形成了极为严重的制约作用。其规划理念显得较为滞后，主要还是以“控制性”的管理方式以及线性增长模式为主导，对于人口流动情况、资源环境所发生的改变以及技术方面取得的进步给城市结构和功能所带来的深刻影响，却没有给予足够的重视，如此一来便很难契合快速发展的社会实际需求。在规划编制的整个过程当中，数据采集所采用的手段较为落后，信息获取的来源也相对单一，既缺少实时性又缺乏准确性，这使得规划最终成果在实际的应用环节当中常常会出现各种各样的偏差情况。除此之外，城乡规划在具体执行的过程中普遍存在着“重编制、轻实施”的这种现象，规划落实工作也缺乏行之有效的监管机制，致使规划结果和现实的发展状况出现了严重的脱节情况。与此各个部门之间存在着较为明显的信息壁垒，空间资源管理以及项目审批工作当中也存在着重复与冲突的情况，进而形成了“各自为政”的这样一种局面，这无疑降低了治理工作的整体效率[2]。从城乡关系的角度来讲，城市优先发展的这样一种格局使得农村地区在公共服务、基础设施以及产业布局等诸多方面长期处于被边缘化的状态，这也在很大程度上加剧了城乡发展之间的不平衡状况。公众参与的程度较低且透明度不足同样属于传统规划当中的一个重要问题，社会各界很难有效地参与到规划的过程当中，这对规划的公平性以及可持续性都产生了不小的影响。

4 智慧城市背景下的城乡规划创新路径

4.1 数据驱动的精准规划

在智慧城市发展的大框架之下，数据驱动的精准规划已然成为城乡规划创新的一条极为重要的路径。伴随物联网、遥感、地理信息系统也就是 GIS 以及大数据技术得到广泛的应用，城市与乡村空间里的各类动态数据便能够实现高效的采集以及实时的更新，进而为规划工作赋予了以往从未有过的科学依据。相较于传统的那种单纯依赖静态图纸并且依靠有限调研来开展的规划方式而言，数据驱动所主导的规划无疑具备更强的时效性、更高的精准性以及更佳的前瞻性。通过对人口流动、土地利用、交通流量、环境监测还有社会服务需求等诸多维度的数据展开细致的分析，规划者是能够察觉到空间功能布局存在的种种不足之处的，并且还能够对区域的发展趋势做出相应的预测，从而达成差异化的、个性化的空间优化方案。比如说，凭借大数据所呈现出的热力图分析，便能够精准地识别出城市当中的“热岛”或者存在功能冗余的区域，以此来指导资源的重新分配以及功能的再次配置。与此数据驱动还能够强有力地支撑起模拟预测方面的功能，针对不同的规划方案在经济、社会以及环境等多个维度上可能会产生的各种影响进行量化的评估，从而给决策工作提供科学且合理的依据。

4.2 智能化基础设施建设

在智慧城市这样的大背景之下，智能化基础设施建设已然变成了推动城乡规划不断创新发展的一股极为关键的支撑力量。传统的基础设施往往是以功能性作为主要特点的，其自身明显缺乏感知方面的能力、互动方面的特性以及自我调节的相关能力，所以很难去充分满足现代城市对于高效管理、绿色发展以及宜居环境等方面所提出的那种综合性要求。然而智能化基础设施就不同了，它借助于将物联网、人工智能、大数据以及 5G 通信等一系列先进的技术相互融合起来的方式，进而赋予城市空间具备“感知-传输-分析-响应”这样一系列的能力，由此能够达成对城市运行实际状态的实时监测目的以及实现动态调度的相关功能。在城乡规划具体开展的过程当中，智能交通系统能够凭借实时的交通流数据来对道路资源加以调配，如此一来便可以在一定程度上缓解交通拥堵的情况，并且还能够对出行路径予以优化处理；智慧能源网络能够依据实际的用能需求来动态地去调节供能的具体方案，这样一来便可以有效地提高能源利用的整体效率，同时还能有力地支持绿色低碳的发展模式；智慧水务、智能排水以及数字电网等诸多类似的系统则能够切实提升城市基础运行所具有的安全性以及可持续性方面的特性[3]。除此之外，农村地区同样可以通过构建智能基础设施的方式来促使公共服务能够顺利下沉到基层，比如说像远程医疗、在线教育以及智能物流这些领域，通过这种方式就能够打破城乡之间存在的数字鸿沟，进而促使整体的发展水平得以不断提升。

4.3 弹性与动态规划模式

在智慧城市这样的大背景之下，构建起一种兼具弹性以及动态特性的规划模式，这已然成为了城乡规划从以往那种静态控制的状态朝着动态治理的方向去转变时极为关键的一个走向。传统上所采用的城乡规划模式，大多都是运用固定周期以及线性预测这类方法来开展工作的，然而这种方式明显缺少对于突发事件、环境方面出现的变化以及技术不断取得进步等情况做出响应的能力，通常情况下很难够及时地去契合快速发生着变化的城市在发展过

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

程当中所产生的各类需求。与之不同的是，弹性加上动态的规划模式着重于在存在诸多不确定性的状况下打造出一个能够调节且能适应的空间治理体系，凭借持续不断地对数据加以监测、对系统进行建模以及建立起实时的反馈机制等一系列举措，使得规划能够具备较强的前瞻性以及较高的灵活性。此种模式并非仅仅着眼于空间结构是否能够做到合理的布局安排，而是更加侧重于系统在遭遇像自然灾害、人口出现流动情况、经济产生波动等这样一些冲击的时候所具备的恢复能力以及适应能力。借助智慧城市平台所给予的那些数字化工具，像是数字孪生城市模型、城市运行仿真系统还有动态监测平台等等，规划者便能够针对未来可能出现的情境展开多维度的模拟操作，进而制定出可以持续做出调整的空间策略方案。不仅如此，动态规划模式还推动了“规划-建设-运营”这一整个生命周期实现一体化的管理方式，从而达成对城乡空间资源进行更为精细化的配置目标，并且能够让规划成果实现实时的更新操作。

4.4 跨部门协同与综合治理

在智慧城市的建设进程当中，跨部门协同以及综合治理已然变成推动城乡规划得以高效施行并且实现系统优化的关键核心机制。传统城乡规划常常是由单一的职能部门来主导开展工作的，其缺少和交通、环保、能源、水利、产业等诸多相关部门展开的深度协作配合，这就使得空间布局出现重复的情况，资源配置的效率也比较低下，治理手段更是呈现出割裂的状态，对城乡一体化以及高质量发展实现造成了极为严重的制约阻碍作用。而智慧城市借助构建起开放的数据共享平台以及智能决策系统，成功打破了政府内部存在的“信息孤岛”状况以及“职责壁垒”情况，给跨部门协同治理给予了技术方面的有力支撑以及机制层面的有效保障。在这样的大背景之下，城乡规划已经不再仅仅是一项单纯的技术工作了，而是变成了一项将规划、管理、建设、运营等多个方面融合到一起的综合性系统工程，这就要求各个相关部门在信息同步、目标统一以及行动协调这些方面要形成强大的合力[4]。比如说，在开展生态空间规划相关工作的时候，就需要自然资源、环保、水务等多个部门共同去共享数据并且联合起来进行评估，以此达成土地利用的最优化以及生态保护的最大化目标；在对交通与居住功能进行协调处理方面，则是需要规划部门和交通、公安、住建等单位协同合作共同去设计，进而提升通勤的效率以及生活的便利程度。

4.5 可持续发展与绿色规划

在智慧城市这样一个大背景之下，促使城乡规划朝着可持续发展以及绿色规划的方向去转变，这既是对资源环境所存在的约束做出的一种应对举措，同时也是提升生态文明建设水准的一种战略方面的抉择，更是达成城乡实现高质量发展的那条根本性的途径。传统意义上的城乡规划，大多时候会着重关注土地利用以及空间布局所带来的经济效益，然而却把生态系统的承载能力以及环境的协调性给忽略了，如此一来便使得城市扩张变得毫无章法，生态遭到严重破坏，能源资源也出现了较为突出的浪费情况。而智慧城市借助集成大数据、遥感监测还有智能分析等一系列的技术手段，给绿色规划给予了实时的、细致且是系统化的有力支撑，进而让规划决策可以全方位地去考量像环境容量、碳排放强度以及能源利用效率等诸多维度的指标，从而实现对生态保护和空间开发二者之间达成一种动态的平衡状态。就绿色基础设施而言，城乡规划需要对绿色出行系统、低碳建筑、可再生能源网络以及海绵城市等这类生态设施进行统筹安排布局，以此来推动形成那种资源节约型并且是环境友好型的空间结构；在土地利用这个层面上，依靠划定生态红线、运用绿色指标进行控制以及开展生态功能评估等相关机制，有效地对生态敏感区域过度开发的行为加以限制，推动城乡空间的生态修复以及绿色连接。与此绿色规划还十分注重多尺度的协同作用，从城市片区一直延伸到乡村聚落，从区域生态网络再到流域治理体系，以此来实现城乡生态功能在整体层面的提升。

5 结语

智慧城市背景下，城乡规划创新路径是应对当下城市发展难题的必然之举，也是达成城乡一体化以及可持续发展的关键途径。借助数据驱动、智能基础设施、弹性规划、跨部门协同以及绿色发展等一系列创新举措，城乡规划可更为有效地利用资源、优化空间布局，还能在快速变化的环境里维持灵活性与适应性。伴随技术持续发展和社会需求日益多样，智慧城市会为城乡规划赋予更为宽广的思路与实践空间。在未来的发展进程中，唯有不断创新并完善城乡规划体系，才能够更好地推动城乡的协调发展，提高人民生活质量，达成生态、社会与经济的共同繁荣。

[参考文献]

[1]黄霜雪,潘雁.智慧城市背景下的城乡规划创新路径研究[J].城市建设理论研究(电子版),2025(12):10-12.
[2]杨月肖,栗碧英.探析大数据背景下智慧城市的城乡规划理念[J].城市建筑,2020,17(26):30-31.
[3]冉蕊,胡荣.智慧城市背景下的“多规合一”实施策略研究[J].城市建筑,2021,18(17):28-30.
[4]潘月秀.大数据时代的城乡规划与智慧城市建设[J].网络安全和信息化,2024(11):16-18.

作者简介：乔斐（1996.2—），女，毕业院校：河北地质大学，学历：本科，所学专业：城乡规划，当前就职单位：辛集市城乡规划中心，职务：科员，所在职务的年限：4年，职称级别：助理工程师。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

城市道路中央分隔带绿化植物配置模式研究

付丽娜
河北省交通规划设计研究院有限公司，河北 石家庄 050000

[摘要]科学配置城市道路中央分隔带的绿化植物，能有效提升道路生态系统质量、优化交通视觉环境并增强景观连贯性与识别性，分析气候条件、道路类型和植物特性后构建出适应性强、景观效果佳且养护成本低的植物配置模式，采用分层种植、色彩搭配与功能性植物组合等策略既能提升道路绿化的观赏性和生态性又可在一定程度上降低交通事故风险以增强城市可持续发展能力。

[关键词]城市道路；中央分隔带；绿化植物；配置模式；生态景观
DOI：10.33142/ucp.v2i3.16713 中图分类号：U418.9 文献标识码：A

Research on the Configuration Mode of Green Plants in the Central Divider of Urban Roads

FU Lina
Communications Construction Branch of Hebei Provincial Communications Planning, Design and Research Institute Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

Abstract: Scientific allocation of green plants in the central divider of urban roads can effectively improve the quality of road ecosystems, optimize the visual environment of traffic, and enhance landscape coherence and recognition. After analyzing climate conditions, road types, and plant characteristics, a plant configuration model with strong adaptability, good landscape effects, and low maintenance costs can be constructed. Adopting strategies such as layered planting, color matching, and functional plant combinations can not only enhance the ornamental and ecological aspects of road greening, but also reduce the risk of traffic accidents to a certain extent and enhance the sustainable development capacity of cities.

Keywords: urban roads; central median strip; greening plants; configuration mode; ecological landscape

引言

城市道路中央分隔带很重要，既能分隔交通流、提升行车安全，也是城市绿化和景观建设的重要部分，随着城市化进程加快，传统道路绿化模式无法满足现代城市生态、环境和美学的多种需求，科学配置绿化植物能改善空气质量、缓解热岛效应并有效提升城市整体形象。

1 城市道路中央分隔带的功能与作用

1.1 交通安全功能

城市道路中央分隔带最基本的功能是有效分隔不同方向的交通流以防止车辆误闯对向车道，进而减少因交通拥堵或者驾驶员疏忽引发的交通事故，在高速公路、快速路等车速较快的道路上更是如此，中央分隔带能给车辆提供必要的缓冲区防止两车道直接碰撞以保障驾驶员和乘客安全，设置分隔带能为紧急救援行动提供缓冲空间利于快速疏导交通减轻事故次生灾害。

中央分隔带经适当绿化设计可起到视觉引导作用，在昼夜温差大的地区，绿化带以植物颜色、形态和布局增强道路视觉效果，司机也能借此更清晰地识别行驶路线。

1.2 生态环境功能

城市道路中央分隔带绿化不仅美观，还有重要生态功能，绿化带里植物能光合作用，吸收二氧化碳放出氧气，使城市空气质量改善不少且减少交通密集区污染物积累，由于城市空气污染越来越严重，绿化带成了城市生态恢复的有效手段，进而改善城市居民生活环境，提高生活质量。

城市热岛效应能被绿化带有效降低，植物蒸腾作用会把水分释放到空气中以帮助降低周边环境温度，从而缓解城市高温状况，尤其在夏季，茂密绿植可有效遮挡阳光、减少地表辐射热反射、调节微气候，让城市气候更宜人，绿化带也为城市提供了珍贵的生物栖息空间，增强生态系统多样性。

1.3 景观美化功能

城市道路中央分隔带对于提升道路景观美观度而言是不可或缺的，科学配置植物、合理布局设计绿化带会让道路变得更加多彩，还会增加城市街道层次感和整体景观效果，绿化带和单调的混凝土或沥青路面不同，它能给道路增添自然气息，打破城市硬景观的单一感，提高道路观赏性。

不同地区有不同特色，中央分隔带绿化设计搭配多种植物塑造景观能让城市绿地更多样，选对植物合理配置既能提升整体景观观赏价值，也能给城市居民提供放松心情的空间以打造出更宜居的生活环境。

2 中央分隔带植物配置的主要影响因素

2.1 气候与土壤条件

中央分隔带植物配置受气候条件的重要影响，不同地区气候的差异直接左右植物种类的选取，寒冷地区得选耐

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

寒、适应性强的植物品种才能保证它们在极端气候下正常生长，温暖湿润地区可挑选喜湿耐热的植物，这种植物既能适应高温又能在降水充足的条件下长得繁茂，植物的生长周期及其对环境的适应性也由气候决定，按当地气候进行植物配置，绿化效果和维护的可持续性才能提高。

植物的生长同样离不开土壤质量，土壤肥沃与否、排水性好坏、酸碱度情况等都会影响植物根系发育和营养吸收，较为贫瘠或受污染的土壤得种耐旱、抗污染的植物才能保证其在不良土壤条件下生长，而且土壤透气状况也影响植物健康生长，城市化进程中土壤压实程度常较大，选根系适应力强、能在贫瘠环境生存的植物品种就特别重要。

2.2 道路交通状况

中央分隔带植物配置的种类与数量直接受道路的交通流量和宽度影响，主干道或高速公路交通流量大，需选择生长快、耐修剪、抗风沙的植物，这样既能防止因过度生长影响交通安全，又可承受较大环境压力，而交通流量小的次干道则可适当选观赏性强的植物以增加绿化带多样性提升整体美观度。

植物配置需求因道路类型而异，由于高速公路和城市主干道车速快且空气污染严重，得挑选耐污染、耐尘土的植物才能扛得住恶劣环境，这些道路中央分隔带的植物修剪和养护很重要，否则植物长疯了会影响视线或者把交通标志挡住，而次干道的植物配置更能侧重于景观效果，挑选些色彩多、花期长的植物可提升城市街区景观质感。

2.3 环境与生态需求

中央分隔带植物配置得考虑生态平衡要求，由于植物能改善空气质量，吸收二氧化碳、释放氧气，要选能有效净化空气、削减污染物的植物品种，并且植物配置也得考虑水源供给，在干旱或水资源紧张地区，优先选耐旱植物以减少灌溉需求、降低水资源消耗，植物配置还得考虑噪音控制，选择隔音效果强的植物，像大型灌木或者乔木，从而能有效减少交通噪音对周边环境的影响。

当地生态环境与植物选择和谐共存极为关键，城市生态环境得和中央分隔带绿化植物相匹配，莫让外来物种给当地生态带来负面影响，本土植物要优先选，它们一般能适应本地气候、土壤和生态系统，更利于维持生态平衡，防止生物入侵，而且本土植物根系结构契合当地土壤条件，可降低养护难度，提升绿化效果。

3 城市道路中央分隔带植物的选择标准与原则

3.1 植物的耐候性与适应性

确保绿化带可持续发展的关键在于选择适应城市污染环境的植物，城市里空气污染、尘土飞扬、车流排放等因素都会对植物生长产生影响，得选用能适应污染环境的植物，像抗污染能力强的植物可有效净化空气减少污染物积聚，常见的耐尘土草本植物和抗污染灌木就是这样。

植物选择时，耐旱、耐湿、抗风、抗寒等植物特性是重要依据，中央分隔带绿化植物配置得根据当地气候特点合理选择，干旱地区要选耐旱植物像沙漠植物或者根系发达的灌木，湿润地区能选耐湿性强的植物，沿海和北方寒冷地区配置耐风、耐寒植物特别重要，这种植物能抵御强风低温保证绿化带稳定持久。

3.2 景观效果与生长特点

在城市道路绿化设计里，植物的景观效果是核心要素，考虑植物观赏期、形态特点与季节变化就能有效增强绿化带视觉吸引力。不同植物不同季节的表现会影响道路景观美感，春夏花卉绚丽开放、秋冬叶片色彩变化都能给道路增添独特的景观层次感，选择植物要注重全年景观效果，不能搞单一绿植配置，让中央分隔带四季都有不同的美学效果。

在设计时植物的大小、颜色搭配和生长密度也是不容忽视的因素，选择尺寸合适的植物能避免植物过度生长，防止其影响交通视线甚至干扰交通标志，植物颜色搭配合理可提升整体景观视觉效果，在交通流量大的道路上，鲜艳的色彩尤其能增强行车视觉辨识度，合理控制生长密度对绿化带的通透性和空气流通有帮助，也能避免植物因过于拥挤而生长不良。

3.3 经济性与养护管理

降低养护成本的有效途径是选择易于养护、适应力强的植物种类，由于中央分隔带绿化空间有限且植物生长环境复杂，得选生命力强、适应性广且在不同土壤和气候条件下都能健康成长的植物，这样能减少养护难度与频率，而像选抗病虫害、耐污染、抗修剪的植物就能降低后期养护复杂度，提高管理效率。

合理的植物配置能显著降低养护成本，选择耐旱且不易枯萎的植物可大大减少水资源消耗与人工管理成本，优选低维护植物能减少人工修剪、病虫害防治需求且使整体养护费用随之降低。

4 中央分隔带绿化植物配置模式的分类与应用

4.1 单一植物配置模式

简洁整齐的城市道路，尤其是功能性强景观需求较低调的地区，适合单一植物配置模式，这种模式以一种植物为主、少量辅助植物搭配，其特点是能形成简约有序的绿化效果且能避免植物种类多带来的视觉混乱，还便于后期养护管理，让道路保持整洁统一。

交通流量小的次干道或者周边环境较单一的区域特别适合这种模式，单一植物配置模式能有效减少植物间的竞争，保证每种植物都有生长空间和条件，提升整体景观质量与植物健康度。

4.2 多层次植被配置模式

不同高度、不同种类的植物组合成多层次植被配置模式能提升中央分隔带的景观层次感，这种模式让植物配置更立体且给路面增加丰富的视觉效果，宽阔的城市主干道或者高速公路的中央分隔带使用它再合适不过了，高大乔

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

木、中型灌木和低矮地被植物一搭配不但有效丰富了视觉效果，还增强了绿化带的生态功能，使栖息空间和绿化区域更多了。

这种模式有助于缓解交通压力、提高交通参与者的视觉体验，并且在城市绿化里起着重要作用，高速公路之类车速快的路段多层次绿化配置也有一定交通安全作用，绿化带层次划分可引导驾驶员视线、减轻驾驶疲劳。

4.3 混合植物配置模式

选择具有不同生长特性和生态功能的植物进行组合就能提升中央分隔带的生态效益，这是混合植物配置模式，像把耐旱植物和耐湿植物、常绿植物和落叶植物搭配起来，绿化带的生态多样性可得到增强且能适应不同季节和气候条件，这种模式对多功能交织的城市道路特别适用，如商业区住宅区交汇处等区域。

混合模式的优势在于能增强绿化带生态功能，可调节空气质量、减缓噪声污染并提升城市生物多样性，精心配置下，混合植物模式在视觉上能营造层次丰富的景观，功能上可实现更多生态价值以适应多变环境需求。

4.4 景观式绿化配置模式

景观式绿化配置模式注重植物的艺术性和视觉效果，强调用色彩鲜艳、形状独特的植物营造出美丽的艺术景观，适合用于城市道路里具重要象征意义的路段或者标志性建筑附近，能增强城市的文化魅力和观赏价值，其植物颜色的搭配、形态的设计以及季节的变化能为道路增添独特艺术气息。

这种模式美化城市环境、增加市民精神享受与归属感、提升整体景观观赏性都行，在交通枢纽、旅游景点或者文化地标周边这些重要的地方，景观式绿化配置一采用就能有效吸引游客和市民的注意，城市形象和旅游价值也会跟着提升。

5 中央分隔带绿化植物配置的优化策略

5.1 提高植物配置的生态效益

提升生态效益的有效途径是提高绿化带植物的种类和密度，增加植物种类的多样化可丰富生态系统，给城市带来更多栖息空间与生物链支持，且植物密度的增加有利于提升绿化带净化空气、调节温度的能力，减少城市热岛效应、改善空气质量，植物种类多样能让绿化带抗逆性增强，提高植物抵抗病虫害能力，使整体生态稳定性提升。

本土植物适应性强，对保持生态多样性极其关键，与外来植物相比更能适应本地气候和土壤条件且维持生态平衡更有效，引入本土植物能减少养护成本、避免外来物种入侵、保护本地生态环境的原始性以促使生态系统长期健康发展。

5.2 注重道路功能与美学设计的平衡

优化绿化带的关键在于依据道路功能性质与交通流量灵活配置植物种类，主干道和高速公路交通流量大，该挑选抗污染、耐风沙且适应性强的植物，这样既能承受恶劣环境压力又能维持绿化效果，而次干道或者比较安静的区域，可以选观赏性强的植物，从而增加道路美观度与舒适性，植物合理配置就能让道路兼具功能性与美学价值。

道路景观的多样性与舒适性的保持也很关键，搭配植物时得考虑季节变化、植物颜色与形态以保证道路绿化带四季美感各异，色彩丰富的植物组合四季交替呈现能增强道路景观吸引力并提升市民和驾驶员的视觉享受。

5.3 提升管理与养护水平

绿化带植物健康生长的基础在于强化日常管理，定期修剪、防治病虫害、进行灌溉管理等工作对维护植物生长不可或缺，完善养护机制，及时清理杂草、枯枝，绿化带就会整洁且植物也有生长空间，加强植物健康监测能预防病害传播，绿化带可长效稳定发挥作用。

提升养护效率，引入智能技术是个有效手段，传感器、自动灌溉系统等智能设备能用来实时监控绿化带土壤湿度、植物生长状态等关键因素，减少人工干预并降低管理成本，智能化管理系统还能提供精准养护数据以优化养护资源分配，提升绿化带管理效率和植物生长整体质量。

6 结语

城市道路中央分隔带绿化植物的配置有着重要的生态、交通安全和美学功能，对提升城市环境质量意义非凡，合理选择植物种类，重视生态效益与景观设计的平衡，既能满足交通需求，又可优化道路绿化带的生态功能与观赏性，管理和养护水平提高并结合智能技术应用，维护成本就能有效降低，绿化带可持续性也得以提高，综合考虑气候条件、道路特性、生态需求来科学配置绿化植物会给城市增添生机与美感，推动城市生态环境和谐发展，有助于城市达成可持续发展目标。

[参考文献]

[1]欧攀.乐山主城区新城道路绿化带景观分析及改造设计[D].四川:四川农业大学,2020.
[2]李芳.西安城市道路绿地耐旱型草本植物景观设计研究[D].陕西:西安建筑科技大学,2021.
[3]龙静.宁波市鄞州区道路立体绿化景观美学评价与优化[D].云南:云南农业大学,2023.
[4]徐文超.人性化设计理念在城市道路设计中的应用[J].智能城市,2021,7(14):28-29.
[5]曾麟斐.基于碳汇作用的西安市城市道路植物配置优化研究[D].陕西:长安大学,2023.

作者简介：付丽娜，毕业院校：河北农业大学，所学专业：园林，当前就职单位：河北省交通规划设计研究院有限公司，职称级别：副高。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

“多规合一”下国土空间规划中实用性村庄规划技术分析

蒋 颖
青秀区自然资源服务中心，广西 南宁 530000

[摘要]“多规合一”是新时代国土空间规划体系改革的重要方向，其实践路径与村庄规划的实用性需求相结合，成为乡村振兴与城乡融合发展的关键抓手。文中综合运用文献研究、案例分析与实地调研等方法，基于“多规合一”政策框架，系统梳理实用性村庄规划的技术体系与实施路径，重点探讨规划编制、数据整合、生态修复及村民参与等核心环节。研究证实，数据协同平台可使规划审批效率提升 30%以上，参与式设计工具将村民满意度提高至 85%。通过对比浙江、福建等典型案例的技术应用成效，提出强化纵向传导机制、完善弹性留白等政策建议，为村庄规划的科学性与可操作性提供理论支撑与实践参考。

[关键词]多规合一；国土空间规划；实用性村庄规划；生态修复；村民参与
DOI：10.33142/ucp.v2i3.16745 中图分类号：TU982.29 文献标识码：A

Analysis of Practical Village Planning Techniques in Land Spatial Planning under the "Integration of Multiple Regulations"

JIANG Ying
Qingxiu District Natural Resources Service Center, Nanning, Guangxi, 530000, China

Abstract: "Integration of multiple regulations" is an important direction for the reform of the national spatial planning system in the new era. Its practical path, combined with the practical needs of village planning, has become a key lever for rural revitalization and urban-rural integration development. The article comprehensively uses literature research, case analysis, and field research methods, based on the "multi regulation integration" policy framework, to systematically sort out the technical system and implementation path of practical village planning, focusing on the core links of planning formulation, data integration, ecological restoration, and village participation. Research has confirmed that data collaboration platforms can improve planning approval efficiency by over 30%, and participatory design tools can increase village satisfaction to 85%. By comparing the technical application effectiveness of typical cases in Zhejiang, Fujian, and other regions, policy recommendations such as strengthening vertical transmission mechanisms and improving flexible blank spaces are proposed to provide theoretical support and practical reference for the scientificity and operability of village planning.

Keywords: integration of multiple regulations; national spatial planning; practical village planning; ecological restoration; villager participation

引言

随着新型城镇化与乡村振兴战略的协同推进，村庄规划作为国土空间规划体系的末端环节，承载着优化资源配置、保护生态环境、促进乡村可持续发展的重要使命。传统村庄规划长期存在三大症结：规划体系叠床架屋导致“多规冲突”、技术路线脱离实际造成“落地困难”、管控模式僵化引发“特色缺失”。2019 年国土空间规划体系改革提出的“多规合一”框架，通过整合空间类规划、统一数据标准、重构传导机制，为破解上述难题提供了制度保障。本文创新性揭示“多规合一”与实用性村庄规划的内在耦合机制：前者通过构建“指标约束+底线管控”的技术框架确保规划合规性，后者借助“问题导向+动态适应”的实施路径增强可操作性，二者的协同创新实现了从“被动管控”向“主动治理”的范式转变。这种转变在成都战旗村、安吉余村等典型案例中已取得显著成效，为全国乡村空间治理提供了可复制经验。

1 “多规合一”与实用性村庄规划的内涵与关系

1.1 “多规合一”的提出背景与核心目标

“多规合一”的提出源于我国长期存在的规划体系碎片化问题。在传统管理模式中，城乡规划、土地利用规划、生态环境保护规划等由不同部门主导，技术标准与目标导向存在显著差异，导致规划冲突、资源浪费和管理低效。例如，部分地区因生态保护红线与建设用地指标重叠，引发开发与保护的矛盾，甚至出现“规划打架”现象。2014 年，国家发展发改委牵头启动“多规合一”试点，旨在通过整合空间资源、统一技术标准、优化审批流程，构建“一本规划、一张蓝图、一个平台”的管理框架。其核心目标是实现国土空间开发保护的“全域覆盖、全要素管控”，消除部门壁垒，提升空间治理的系统性和协同性。这一改革不仅是技术层面的整合，更是治理体系和治理能力的现代化转型。

1.2 实用性村庄规划的概念与特征

实用性村庄规划是以解决实际问题为导向、以村民需

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

求为核心的乡村空间治理工具。其核心特征可概括为三个方面：一是底线约束性，强调严守耕地保护红线、生态保护红线和历史文化传承底线；二是实施导向性，聚焦基础设施短板、产业培育和人居环境改善等可操作内容；三是动态适应性，要求规划内容随村庄人口流动、功能演变和外部政策调整而灵活更新。例如，广东省在“美丽乡村”建设中推行“一村一策”，要求规划文本简化、图表直观，便于村民理解与监督[1]。与传统的“蓝图式规划”不同，实用性村庄规划更注重“规划-建设-运营”全周期衔接，避免脱离实际需求的过度设计。

1.3 二者协同的必要性与意义

“多规合一”与实用性村庄规划的协同是破解乡村发展矛盾的关键路径。从顶层设计看，“多规合一”通过统筹全域要素，为村庄规划提供指标约束和技术框架；从实施层面看，实用性村庄规划将宏观政策转化为具体行动，成为“多规合一”落地的最小治理单元。例如，福建省通过整合村庄规划与永久基本农田保护方案，在建设用地零增长条件下，利用闲置宅基地改造发展乡村旅游，既保障了耕地安全，又激活了乡村经济。二者的协同不仅避免了规划冲突，还通过资源高效配置促进城乡融合发展，为乡村振兴注入可持续动力。

2 “多规合一”下实用性村庄规划关键技术手段

2.1 规划编制技术

“多规合一”框架下的村庄规划编制需融合多学科方法与技术标准。在宏观层面，规划需对接市县国土空间总体规划的约束性指标，如耕地保有量、生态保护红线等；在微观层面，需运用地理信息系统、遥感等技术进行精细化空间分析。例如，江苏省采用“双评价”划定村庄发展潜力区，科学确定建设边界与生态修复范围[2]。此外，参与式规划工具被广泛用于调研阶段，确保村民诉求融入规划方案。通过“上下联动、多方协同”的编制模式，既能满足刚性管控要求，又能保留地方特色与实施弹性。

2.2 数据整合与共享技术

数据孤岛是制约“多规合一”实施的主要障碍。当前，自然资源部门主导的国土空间基础信息平台已整合土地利用、地籍管理、地质灾害等数据，但跨部门数据标准不统一、更新滞后等问题仍存。浙江省通过构建“一库一图一平台”，实现建设项目选址与生态保护红线的自动比对，将审批周期缩短 30%以上[3]。未来，区块链技术有望在数据确权与追溯中发挥作用，例如记录土地流转信息、防止篡改。数据共享机制的完善不仅能提升规划科学性，还可为村庄动态监测提供基础支撑。

2.3 村庄布局与优化技术

村庄布局优化需兼顾自然条件、文化传承与发展需求。技术选择应遵循“分类指导、精准施策”原则：山区村庄采用“微介入、轻改造”模式，如四川战旗村通过保护川西林盘风貌植入田园综合体，建筑改造高度控制在 7m 以下，容积率不超过 0.6；平原地区探索“中心村+卫星村”组团结构，江苏永联村通过 15min 生活圈划定，将小学、卫生室等 38 项设施集中布局，服务覆盖率达 92%。这种差异化的布局策略需结合空间句法、三维实景建模等定量分析工具，其中空间句法的整合度分析可量化道路网络可达性，辅助优化公共设施布局。过渡衔接案例：广东省采用“传统风貌量化评估模型”，从建筑形式、街巷尺度等 6 个维度建立评价体系，对 487 个古村落实施分级保护，确保布局优化与文化传承的有机统一。

2.4 规划实施与监管技术

规划落地离不开动态监管与效能评估。江西省依托“国土空间规划‘一张图’实施监督系统”，对宅基地审批、耕地“非粮化”等行为进行实时预警，结合卫星遥感与无人机巡检，实现违法建设“早发现、早制止”。北京市大兴区试点“村庄规划体检评估”，每三年从生态保护、设施配套、产业发展等维度量化考核规划实施成效，并将结果作为财政资金分配的依据。此外，数字孪生技术可构建村庄虚拟模型，模拟基础设施运营、自然灾害应对等场景，为规划调整提供预判依据。监管技术的创新不仅提升了治理精度，还通过“规划-反馈-优化”闭环增强了村庄发展的可持续性。

3 “多规合一”下实用性村庄规划技术路线

3.1 统筹全域要素，构建规划体系

全域要素统筹需建立“三级传导-双层级管控-弹性留白”技术框架。以湖南韶山实践为例，通过国土空间总体规划划定村庄建设边界（较现状缩减 15%）、永久基本农田（增加 8%）、生态修复区（占比达 32%）三大管控分区；乡镇级规划明确产业融合区、文化体验线等功能结构；村级规划细化宅基地方案与设施布局。由此形成的技术体系具有三大特征：纵向传导上，通过“约束指标分解+自主配额调剂”实现刚性管控与弹性适应平衡；横向协同上，建立“多规合一”数据库实现生态保护红线与建设用地的自动校核；实施保障上，预留 5%～8%的弹性用地应对未来发展不确定性。这种技术框架有效解决了指标落实与特色保留的矛盾，使韶山村庄建设用地减少 23%的同时，旅游收入年均增长 17%。

3.2 发挥地域优势，建设特色村庄

文化景观保护需遵循“原真性、整体性、可持续性”原则，采用数字化技术留存历史信息，并通过活化利用实现动态传承。安徽省宏村利用三维激光扫描技术建立古建筑群高精度数字模型，结合无人机航拍监测墙体倾斜、屋面破损等隐患，制定分阶段修复计划。在管控措施上，划定“核心保护区”禁止新建建筑，“建设控制区”要求新建建筑高度不得超过传统马头墙，材质须采用本土青砖灰瓦，色彩以黑白灰为主基调。非物质文化传承方面，贵州

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

省西江千户苗寨创新“非遗工坊+旅游体验”模式，将苗绣、银饰制作等技艺展示嵌入游客游览路线，并设立“非遗传承人工作室”，由村民直接参与技艺教学与产品销售，年接待游客超百万人次，带动户均增收 2 万元。产业布局需立足资源禀赋，构建“一村一品、一域一特”的差异化发展格局。云南省元阳县依托哈尼梯田世界文化遗产，推出“梯田认养计划”，城市居民可远程认购梯田区块，村民代为种植红米并定期寄送农产品，同时开发农耕体验、稻田摄影等文旅项目，年产值突破 3 亿元。而同属红河州的建水县聚焦紫陶非遗产业，打造从陶土开采、技艺培训到电商直播的全产业链，建成紫陶文化创意园，吸引 120 余家工作室入驻，年销售额达 8 亿元。差异化策略不仅避免同质竞争，还通过区域协同形成“文化-生态-产业”融合发展的良性循环。

3.3 加强资源管理，修复生态环境

生态修复需遵循自然规律，强化技术集成应用。浙江省安吉县通过“竹林碳汇”交易机制，引导村民采用择伐替代皆伐、有机肥替代化肥等经营方式，使毛竹林年均固碳量提升 15%，同时依托碳汇收益反哺村庄基础设施升级。在矿山修复中，福建省采用“阶梯式削坡+挂网喷播”技术，将废弃矿区改造为生态公园，种植耐贫瘠的胡枝子、紫穗槐等先锋植物加速生态恢复。低碳技术需贯穿规划建设全过程[4]。河北省北戴河区推广被动式太阳能房，通过南向大面积玻璃窗与特朗勃墙设计，冬季室内温度提高 5～8℃；江苏省部分村庄试点“光伏+农业”模式，在温室大棚顶部铺设光伏板，实现发电与种植双收益。此类技术既降低能源消耗，又通过收益共享增强村民参与积极性。

4 实用性村庄规划的实施路径与保障机制

4.1 政策协同与制度创新

需构建“国家定底线、省级定标准、市县编方案”的垂直传导体系。贵州省将村庄规划编制权限下放至乡镇政府，省级层面出台《实用性村庄规划编制导则》，明确生态保护、耕地利用等刚性要求，并设立专项奖补资金，对列入传统村落保护名录的村庄额外补助 50 万元用于古建修缮。同时，建立“规划实施年度评估”制度，委托第三方机构从生态效益、产业发展、村民满意度等维度量化考核，连续两年未达标的村庄需重新修编规划。部门协同需打破职能壁垒，建立联合审查与责任共担机制。山东省推行“多审合一”改革，将自然资源部门的规划许可、农业农村部门的宅基地审批、文旅部门的文物保护许可等 12 项事项整合为“乡村建设规划许可证”，实行“一表申请、并联审批”，办理时限从 45 天压缩至 10 天。江苏省试点“规划师下乡”制度，要求每个乡镇至少派驻 1 名注册规划师，负责协调自然资源、住建、环保等部门矛盾，并为村庄提供技术指导，累计解决规划冲突问题 2300 余件。

4.2 资源保障与动态管理

需构建“财政优先保障、金融重点倾斜、社会积极参与”的投入机制。浙江省义乌市创新“村集体出地、企业出资、政府配套”模式，在廿三里街道建设智慧物流产业园，村集体以土地入股占股 30%，企业投资 5 亿元建设仓储设施，政府配套完善周边路网与电力设施，项目投产后村集体年分红达 1200 万元。针对生态修复类项目，广东省发行全国首单乡村振兴专项债券，募集资金 12 亿元用于古村落修复与生态廊道建设，投资者可通过碳汇收益与文旅门票分成获得回报。城乡建设用地增减挂钩政策可激活乡村土地价值。重庆市地票制度允许偏远村庄将闲置宅基地复垦为耕地，生成的建设用地指标可在主城区土地交易所拍卖，指标收益的 85%返还村民，15%用于村内基础设施升级，累计交易地票 35 万亩，带动乡村增收超 700 亿元。数字化监管工具可大幅压缩权力寻租空间。广东省佛山市建立“乡村建设工匠库”，对农房施工实行全过程录像存档，出现质量问题可追溯至具体工匠，并纳入信用黑名单；江西省通过卫星遥感月度监测耕地“非粮化”，结合无人机巡检与村民举报，实现违规占用耕地种植苗木、挖塘养鱼等行为的 24 小时响应处置，2023 年累计恢复耕地 4.2 万亩。

4.3 村民参与与能力建设

参与式规划需创新工具与组织形式。福建省晋江市设立“乡村规划师驻村工作站”，采用“参与式三维建模”技术，将规划方案转化为虚拟现实场景，村民通过 VR 设备沉浸式体验未来村庄风貌，并在沙盘上自主调整公共空间布局；四川省开展“规划赶场”活动，利用乡镇赶集日摆摊讲解规划方案，收集务农人员作息规律、农机存放需求等传统调研难以获取的信息，累计调整规划道路走向 37 处、新增晒谷场 16 个。人才短板需通过“引智+育才”双轮驱动。广西壮族自治区实施“村干部规划素养提升计划”，选拔 120 名优秀村干部赴省级规划院脱产培训 3 个月，课程涵盖 GIS 软件操作、社区协商技巧与项目管理，结业后承担本村规划协管职责；同济大学与云南弥渡县合作开设“乡村规划微专业”，设置传统建筑测绘、产业策划、生态修复等实务课程，首批 48 名学员中 18 人成为乡镇规划管理骨干，6 人创办乡村设计工作室，形成“培养-就业-服务”的本地化人才供应链。

5 结语

“多规合一”改革与实用性村庄规划的深度融合，推动我国乡村空间治理实现三大转变：规划理念从“增量扩张”转向“存量优化”，技术方法从“经验判断”升级为“数据驱动”，实施模式从“政府主导”演变为“多元共治”。研究表明，通过构建“三级传导+双评价”技术体系，可降低规划冲突率达 64%；采用参与式设计工具使村民满意度提升至 82%。当前需重点关注三对关系的平衡：数据整合效率与信息安全的关系、技术标准统一与地方创新的关系、短期建设需求与长效运营的关系。随着数

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

字技术的深化应用，未来应着力完善“监测-评估-预警”智能系统，但需警惕技术理性对乡土文化的侵蚀，始终将村民获得感作为规划成效的核心评判标准。

［参考文献］

[1]卢梦,汪颔杰,李玉明,等.乡村振兴与空间规划体系改革双重背景下对村庄规划的思考[J].农业资源与环境学报,2023,40(5):1053-1062.
[2]杨芷怡,焦健楠.国土空间规划背景下特色保护类村庄规划探讨[J].建筑科技,2024,8(6):6-9.
[3]张尧,程茂吉.基于技术逻辑与管理政策的村庄规划用地布局研究[J].绿色科技,2024,26(15):228-236.
[4]景金龙,冀士和,李探,等.兴隆县雾灵山村空间发展规划研究[J].现代农业科技,2025(2):202-205.

作者简介：蒋颖（1986.3—），毕业院校：武汉大学，函授本科，所学专业：测绘工程，当前就职单位：青秀区自然资源服务中心，职务：主任，职称级别：工程师。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

城市道路工程中地下综合管廊与道路一体化协同设计

孟 强
沂水县城乡建设综合服务中心，山东 临沂 276400

[摘要]在城市道路工程建设领域，地下综合管廊与道路的一体化协同设计彰显出系统规划、前瞻布局及多学科交叉协作的核心价值，该设计理念聚焦空间布局的精准适配、施工流程的科学衔接以及后期运维的便捷性，着力破解当前工程中施工矛盾、资源损耗及道路反复开挖等痛点问题、实际项目经验表明，协同设计能够显著提高城市地下空间利用率，降低管线故障发生概率，推动市政基础设施向集约化、高效化方向发展，为城市基础设施规划建设提供了兼具理论深度与实践指导意义的解决方案。

[关键词]地下综合管廊；城市道路；协同设计；BIM 技术；基础设施一体化
DOI：10.33142/ucp.v2i3.16728 中图分类号：TU7 文献标识码：A

Collaborative Design of Underground Comprehensive Pipe Gallery and Road Integration in Urban Road Engineering

MENG Qiang
Yishui County Urban and Rural Construction Comprehensive Service Center, Linyi, Shandong, 276400, China

Abstract: In the field of urban road engineering construction, the integrated collaborative design of underground comprehensive pipe galleries and roads demonstrates the core values of system planning, forward-looking layout, and interdisciplinary collaboration. This design concept focuses on precise adaptation of spatial layout, scientific connection of construction processes, and convenience of later operation and maintenance. It focuses on solving pain points such as construction contradictions, resource loss, and repeated road excavation in current projects. Practical project experience shows that collaborative design can significantly improve the utilization rate of urban underground space, reduce the probability of pipeline failures, promote the development of municipal infrastructure towards intensification and efficiency, and provide a solution that combines theoretical depth and practical guidance for urban infrastructure planning and construction.

Keywords: underground comprehensive pipe gallery; urban road; collaborative design; BIM technology; infrastructure integration

引言

伴随城市化进程持续加速，城市基础设施建设面临空间资源稀缺、施工组织复杂及运维效率低下等多重难题，地下综合管廊与城市道路作为保障城市正常运转的关键基础设施，其协同设计已成为提升工程品质与管理效能的重要突破口，传统分离式设计模式因缺乏系统性统筹，常导致道路重复开挖、施工冲突频发，严重制约工程综合效益，强化道路与管廊在规划、设计、施工及运维全周期的深度融合，是实现城市基础设施集约建设、高效运行与安全保障的必然选择。

1 地下综合管廊与道路工程协同设计的必要性

1.1 城市基础设施集约化发展的要求

在城市土地资源日趋紧张的背景下，地下空间开发已成为突破城市发展瓶颈的关键路径，地下综合管廊作为市政管线集约化管理的重要设施，与道路系统在空间分布上高度重合，采用道路与管廊独立设计施工的模式，极易引发空间闲置与功能矛盾，难以实现城市资源的高效配置，协同设计从顶层规划入手，全面统筹道路与管廊的布局规划、结构关联及施工方案，充分挖掘有限空间的利用潜力，契合城市基础设施集约、高效、绿色的发展方向，增强系统整体适应性与长期可持续性。

1.2 道路与管廊功能相互依赖性

道路与地下综合管廊在功能实现层面紧密相连、不可分割，道路承担交通通行功能，其结构稳固程度直接关乎地下管廊的安全稳定与使用寿命；而管廊作为市政管线集中敷设的载体，其埋设深度、断面尺寸及结构形式又会对地面道路的荷载设计、路面铺装厚度及施工工艺产生影响，两者在工程设计环节相互作用、彼此限制，若缺乏协同考量，易导致结构受力失衡、排水系统失效、地基沉降不均等问题，协同设计通过统一布局规划与结构协同优化，科学设计道路荷载传递路径，保障地面地下结构体系协同稳定，有效规避工程风险与功能干扰。

1.3 降低建设与运维成本的现实需求

城市基础设施建设具有周期长、投资大的特点，若在设计阶段未能实现道路与管廊的有机结合，施工及运维过程中常出现重复开挖、资源损耗、交通干扰等问题，大幅增加项目成本，协同设计将道路施工与管廊建设进行一体化统筹，既能实现施工设备、人力、材料的高效调配，提

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

升施工效率，又可避免多次开挖造成的路面损毁与交通阻塞，降低社会综合成本，同时，统一规划有助于后期维护工作的分区管理与快速处置，提升市政设施管理效率与安全保障水平，可见，推进协同设计不仅是技术创新的必然趋势，更是实现经济效益与社会效益双赢的重要举措。

2 协同设计中的主要技术挑战

2.1 地下空间资源有限与布置冲突

在城市核心区域，地下空间资源的稀缺性日益凸显，地下综合管廊需与既有市政管线、地下建筑、地铁网络及基础桩基等设施共享有限空间，导致布局难度显著增加，管廊内部需整合电力、通信、给水、再生水、燃气等多种类型管线，各类管线在管径规格、敷设标准、安全间距及防护措施上存在差异，使得断面布局难以协调，易出现空间交叉、功能冲突及检修不便等问题，此外，管线间热源干扰、电磁影响以及维护频率的不同，进一步制约了自由布置的可行性，一体化设计要求在三维空间内精准规划布局方案，确保高密度布设下的安全高效运行，对设计单位的统筹规划与信息建模能力提出更高挑战。

2.2 多专业接口复杂、协调难度大

地下综合管廊与道路的协同设计涵盖土建、结构、水利、交通、电力、通信、给排水等多个专业领域，各专业在设计思路和技术标准上存在差异，实际设计过程中，专业间缺乏有效的协同机制和统一设计平台，导致设计成果重复、进度脱节、接口疏漏等问题频发，以电力电缆的通风散热需求与通信系统的信号稳定诉求为例，若缺乏前期统一技术规范与接口标准，设计矛盾与反复修改难以避免，协同设计的关键在于专业间的有效协作，但现行工程组织模式下，由于缺少总设计牵头机制，多专业协同落地困难，严重影响设计质量与效率。

2.3 工程进度与设计变更频繁的矛盾

地下工程施工常受地下障碍物、地质条件变化及既有管线信息缺失等不确定因素影响，导致现场施工与设计图纸出现偏差，引发设计变更需求，道路工程通常工期紧迫，设计单位需频繁调整图纸以配合现场变更，大幅增加设计工作量与协调难度，若设计响应不及时，可能导致施工延误、返工甚至安全风险，此外，不同设计阶段深度不一致，初步设计未能充分考虑细节，施工图阶段修改频繁，造成工程管理秩序混乱、协同设计强调前期介入与全过程参与，但在传统工程管理模式下，设计单位多处于被动应对状态，缺乏项目全周期主导权，难以实现真正意义上的协同优化。实现地下综合管廊与道路工程的一体化设计，不仅要解决空间布局冲突与功能协调问题，更需突破专业壁垒、优化组织协调机制，提升设计响应效率与系统集成水平，方能达成协同建设目标。

3 协同设计的关键策略与实现路径

3.1 统一规划阶段的顶层设计

协同设计的核心基础在于顶层设计的科学性与统一性、在城市发展初期规划阶段，需将地下综合管廊与道路系统纳入统一的城市基础设施总体规划体系，明确各类设施的功能定位、空间布局及建设时序安排、通过系统化规划布局，规避因项目分散建设导致的重复开挖与功能重叠问题，实现资源共享与空间集约利用目标，顶层设计需结合城市人口分布、交通组织模式、管线需求规模等因素，科学划定管廊建设区域，分级管控道路等级与结构布置方案，同时，应制定清晰的技术路线框架，统筹近期建设任务与远期发展目标，为后续设计施工提供统一的逻辑指引与边界约束、统一的顶层规划不仅夯实工程协同基础，更为后续设计施工环节提供明确导向与制度保障。

3.2 建立 BIM 等协同设计平台

信息化技术平台是实现协同设计高效运作的关键支撑要素、BIM（建筑信息模型）技术通过构建三维可视化模型，将道路工程、地下管廊及各类管线系统集成于统一数字平台，实现多专业设计的同步联动与实时数据更新，借助 BIM 平台，各参与单位可实时查看设计成果、识别空间冲突点、动态调整设计方案，有效降低因信息壁垒导致的重复设计与变更频次、此外，BIM 模型可在施工阶段应用于施工流程模拟、进度动态管控及工程量自动核算，显著提升工程管理的精准度与执行效率，更重要的是，BIM 技术具备数据持续传承能力，可为后期运维管理提供可靠的模型数据支撑，随着 CIM（城市信息模型）等更高维度平台的推广应用。

3.3 优化设计标准与接口规范

标准化建设是协同设计顺利实施的重要前提、由于地下综合管廊与道路工程涉及多专业领域，接口类型复杂、技术要求多元，缺乏统一规范易引发设计冲突与施工障碍，因此，需在国家或地方层面制定针对一体化设计的技术标准与接口规范，覆盖断面布局、结构连接、通风排水、电力通信等关键环节，形成制度化的协同工作规则、在此基础上，应推动标准化设计模块的研发与应用，如标准舱段、标准井室等，提升设计方案的通用性与施工安装效率、同时，建立跨专业联合审图机制，明确各参与方的责任边界与审查要点，从设计源头提升成果质量，减少后期施工返工风险。

4 典型案例分析与经验总结

4.1 某市核心区域道路与综合管廊协同设计案例

南京市河西新城区某核心路段在 “智慧城市” 建设进程中，创新采用地下综合管廊与城市主干道一体化协同设计模式，项目深度融合城市总体规划与海绵城市理念，将交通路网、雨污分流系统、电力通信及燃气管道等进行整合设计，构建起立体化地下廊道网络、设计阶段借助 BIM 三维建模技术，对道路结构与管廊断面布局开展动态优化，保障各类管线空间配置合理，施工环节通过“管廊先行、交叉作业”策略，同步推进管廊主体与道路结构

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

施工，有效缩短工期约 15%。项目建成后，集中式检修口布局与智能传感技术的应用，大幅提升管线运维效率、其成功得益于前期科学规划、高效协同设计平台及精细化施工组织，为城市核心区复杂基础设施建设提供了实践样板。

4.2 协同设计失败案例的反思

某二线城市新区开发过程中，一条新建城市主干道因未同步规划地下综合管廊，引发严重设计缺陷与资源浪费、由于前期规划缺位，道路设计方案固化后才追加管廊建设，导致管廊无法与道路基础结构实现有机衔接，施工阶段暴露出诸多问题：廊体空间局促、电力与燃气管道间距不合规、检修井设置影响道路交通通行等，致使设计方案反复调整，道路二次开挖，直接推高施工成本约 30%，此外，因缺乏 BIM 等数字化协同手段，各专业间信息流通不畅，施工方频繁遭遇图纸矛盾、接口标准不统一等问题，最终造成道路竣工通车延迟半年、该案例深刻反映出协同设计机制缺失、专业协作混乱及项目管理薄弱等弊端，成为城市基建领域的典型反面例证。

4.3 案例对未来设计的启示

对比上述两类典型实践可见，地下综合管廊与道路协同设计在城市核心区、新区开发及地下空间高强度利用区域具备显著适用性，成功项目经验表明，需在项目启动阶段即组建专项协同管理团队，由具备综合协调能力的单位主导，统一协调各专业设计进度、技术标准及时序安排，同时，BIM 技术在复杂工程协同设计中的核心作用不容忽视，建议将其纳入大中型城市新建项目的标准化设计流程、此外，应结合城市发展阶段与规模差异，制定差异化协同设计规范，从政策引导、技术支撑、管理优化多维度强化协同保障体系，提升城市基础设施建设的系统性与前瞻性、实践证明，唯有实现多方协同联动、技术深度融合与制度体系保障的有机统一，方能推动地下综合管廊与道路建设迈向高效、可持续发展新路径。

5 发展趋势与政策建议

5.1 从项目协同向区域级协同发展

目前，协同设计应用多集中于单个项目范畴，难以保障城市基础设施系统在更大空间尺度下的连贯性与完整性，面向未来城市发展需求，需突破“单点协同”局限，逐步向“片区级”“市域级”协同升级，构建跨项目、跨区域的一体化基础设施布局体系，在新区建设或旧城更新过程中，应统筹规划道路网络与管廊系统，打造系统化的空间载体与技术路线，提升设施整体运行效能与应急响应能力、通过搭建区域级基础设施数据库、统一调度平台，并建立长效管理机制，可有效消除信息壁垒、规避重复建设，推动城市空间与功能协同演进。

5.2 推动政策法规支持一体化设计

地下综合管廊与道路协同设计的全面落地，亟需制度层面的有力支撑，建议加快制定和完善一体化设计相关法律法规，明确规划、设计、施工及运营全流程各方权责与协同规则，形成标准化、规范化的管理体系，同时，在项目审批环节增设协同设计专项评估，将道路与管廊一体化实施情况作为重要评审指标，以政策导向强化工程单位协同意识与执行力度，通过设立专项资金扶持、开通审查绿色通道等激励措施，可进一步促进协同设计理念在市政工程领域的广泛实践。

5.3 加强专业人才培养与机制建设

协同设计对工程人员的跨专业整合与协作能力提出更高要求，传统单一学科人才培养模式已难以适应现实需求，应推动高校、科研院所与企业联合开设地下工程、道路设计、市政管理等多学科融合课程，培育具备复合知识结构的专业人才，同时，行业内需建立健全协同设计人才培训认证体系，重点提升设计人员在 BIM 技术应用、跨界沟通协调及系统统筹规划方面的专业素养。

6 结束语

地下综合管廊与城市道路一体化协同设计，是提升城市基础设施系统性、集约性与运行效率的重要路径，依托统一规划、技术融合、平台赋能与标准化管理，可有效解决空间冲突、设计脱节、施工反复等问题，推动基础设施协同从项目层级向区域层级进阶，在政策保障与复合型人才体系支撑下，协同设计将成为未来城市建设的必然趋势、相关实践经验与策略为推动城市可持续发展提供了理论参考与实践范例。

[参考文献]

[1]曾定波.广州城市地下综合管廊管理一体化研究[D].广州:华南理工大学,2017.
[2]刘卯钊.城市地下综合管廊排水管道入廊方案技术经济分析[D].成都:西南交通大学,2019.
[3]李由,金辉,洪杰,等.地下综合管廊与人非共板路侧带断面的空间耦合优化[J].智能建筑与智慧城市,2019(12):72-77.
[4]马小燕.城市道路设置地下综合管廊的路基沉降处理方法[J].工程技术研究,2023,8(18):21-23.
[5]胡旭升.城市道路地下综合管廊深基坑开挖与支护施工工艺研究[J].交通科技与管理,2025,6(4):94-96.

作者简介：孟强（1990.7—），男，山东临沂人，现就职沂水县城乡建设综合服务中心，项目管理室职员，从事市政工程技术安全管理工作。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

地铁轨道通风系统技术分析与优化策略研究

梁日旺
上海唯智工程项目管理有限公司，上海 200070

[摘要]在城市交通体系中，地铁是重要的组成部分。地铁轨道中通风系统更是必不可少的环节。通风系统作为保障地铁内空气质量与乘客舒适度的关键设施，其能耗问题愈发凸显。通风系统能耗在整个城市地铁整体能耗中占据相当大的比例，降低通风系统能耗，对实现城市地铁的绿色可持续发展、降低运营成本意义重大文中针对地铁轨道通风系统，分析其功能需求、运行原理及常见问题，结合工程案例探讨优化策略，旨在提升地铁通风效率，保障乘客与工作人员的舒适度和安全性。
[关键词]能耗；智能环控；精准预测；智能运维
DOI：10.33142/ucp.v2i3.16718 中图分类号：U231.5 文献标识码：A

Technical Analysis and Optimization Strategy Research on Subway Track Ventilation System

LIANG Riwang
Shanghai Weizhi Engineering Project Management Co., Ltd., Shanghai, 200070, China

Abstract: In the urban transportation system, the subway is an important component. The ventilation system in subway tracks is an essential component. As a key facility to ensure air quality and passenger comfort in the subway, the energy consumption problem of the ventilation system has become increasingly prominent. The energy consumption of ventilation systems accounts for a considerable proportion of the overall energy consumption of urban subways. Reducing the energy consumption of ventilation systems is of great significance for achieving green and sustainable development of urban subways and reducing operating costs. This article analyzes the functional requirements, operating principles, and common problems of subway track ventilation systems, and explores optimization strategies based on engineering cases, aiming to improve subway ventilation efficiency and ensure the comfort and safety of passengers and staff.
Keywords: energy consumption; intelligent environmental control; accurate prediction; intelligent operation and maintenance

引言

研究背景：地铁的重要性不言而喻。地铁不仅是解决城市交通拥挤的有效途径，更在提升公共交通使用率、减少尾气排放、改善城市环境等方面发挥着举足轻重的作用。而做为地铁的重要组成部分通风系统，则对空气质量、温度控制、防灾救援提出了更高要求。例如：2023 年，苏州轨道交通线网总客运量为 53176 万人次。2024 年，苏州轨道交通线网总客运量为 62917.60 万人次。但随着城市地铁网络扩张，高峰时段客流量激增，通风系统压力增大。

研究意义：地铁轨道通风系统关乎乘客的舒适度和健康，良好的通风能减少乘客在封闭空间中的不适感。同时，它对保障地铁设备的正常运行、延长设备使用寿命也至关重要，还在紧急情况下为人员安全疏散提供了关键保障，是地铁安全运营不可或缺的一部分。

1 研究现状

1.1 国外发展

（1）早期探索：20 世纪 30 年代前，多数地铁利用列车活塞自然通风，后因电力机车使用、散热量增加和客运量增大，环境舒适性变差。如 1901 年纽约地铁起初未重视强迫通风，后因温度过高问题在车站房顶设通气口，修建风机管和通风管。

（2）技术发展：1909 年波士顿地铁采用隧道顶部风管通风，车站出入口设计较大。1943 年美国芝加哥地铁建设时考虑环境控制问题，工程师建立了计算列车活塞效应的方法和计算式，创造了未使用空调却能提供充分通风和宜人温度的地铁系统。

（3）现代模拟技术应用：当前，国外将 CFD 逐渐应用到地下空间领域，对地铁内不稳定空气动力学和热力学问题进行三维模拟研究。国际上广泛认可的地铁环控模拟软件 SES，由美国交通部于 1975 年开发，经多次修改和功能增加，可模拟多种地铁运行工况。

1.2 国内发展

（1）草创阶段：1965 年北京地铁 1 号线建设，当时技术条件和生产能力有限，暖通空调系统以通风为主。

（2）发展阶段：1986 年上海地铁 1 号线开始建设，是国内第一条有空调系统的地铁，采用站台屏蔽门制式通风空调系统（缓装）。1999 年后，中国进入城市轨道暖通空调现代化发展阶段，各设计院根据不同地区气候形成了自己的技术和手段。从北京地铁八通线开始，国内城市轨道交通暖通系统进入发展阶段，之后进入大规模建设阶段，地面暖通技术进步推动了城市轨道暖通系统的跳跃式发展。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

1.3 现状分析

（1）能耗现状：苏州地铁各线路通风系统能耗数据显示，不同线路、站点因客流量、车站规模和地理位置差异，能耗水平有所不同。例如，位于市中心、换乘站等客流量大的站点，通风设备运行时间长、负荷高，能耗明显高于郊区站点。经统计分析，通风系统能耗占苏州地铁总能耗的 30%～40%，是节能潜力较大的部分。

（2）现有系统问题：部分早期建设线路的通风设备老化，运行效率低，能源浪费严重。如一些风机使用年限久，叶片磨损，导致风量输出不足且能耗高。通风系统控制策略不够智能化，多为预设固定模式运行，不能根据实时客流量、室外气象条件精准调节。在客流量低峰期或室外温度适宜时，仍维持高能耗运行状态，造成能源不必要消耗。同时，各线路通风系统之间缺乏有效联动与优化调度，无法实现资源的最优配置。

2 地铁轨道通风系统概述

系统的组成及功能

2.1 组成部分

（1）活塞通风系统：利用列车在隧道中运行时产生的活塞效应，推动空气流动。在地铁车站两端设置活塞风道，与外界或相邻区间隧道进行空气交换。

（2）机械通风系统：由风机、风道、风阀等组成。包括区间隧道通风系统和车站公共区通风系统，可根据需要进行送风和排风，以调节空气环境。

（3）空调系统：对车站公共区和车厢内进行温度、湿度调节，为乘客提供舒适的环境。通常由空气处理机组、空调风管、空调末端设备等组成。

2.2 功能作用

（1）保证空气质量：提供新鲜空气，稀释二氧化碳、粉尘等污染物，确保乘客和工作人员呼吸健康。

（2）调节温湿度：在不同季节保持适宜的温度和湿度，提高乘客的舒适度，同时保护设备正常运行。

（3）控制气流组织：合理组织气流，防止气流短路、涡流等现象，保证通风效果均匀。

（4）火灾时排烟：在发生火灾等紧急情况时，能够迅速排出烟雾和有毒气体，为人员疏散和消防救援提供有利条件。

2.3 运行原理

正常运行时，活塞通风系统借助列车运行的活塞作用，与机械通风系统配合，实现隧道和车站内的空气循环。空调系统根据设定的温度和湿度参数，对空气进行处理和调节。

火灾时，通风系统会切换到火灾模式，通过特定的风机和风道，优先进行排烟，并为救援通道提供正压送风，阻止烟雾扩散。

3 地铁轨道通风系统关键技术分析

3.1 通风系统设计技术

需要根据地铁线路的长度、车站规模、客流量等因素，精确计算通风量，以确定通风系统的规模和设备选型。同时，要合理设计风道布局，使气流均匀分布，避免出现通风死角。

3.2 风机技术

风机是通风系统的核心设备，要求具备高效、节能、低噪等特点。根据不同的使用场景，如区间隧道通风、车站公共区通风等，选择合适类型的风机，如轴流风机、离心风机等。此外，还需具备良好的调速性能，以根据实际需求灵活调节通风量。

3.3 气流组织优化技术

通过采用合理的送风口、回风口布置方式，以及设置导流板、静压箱等装置，优化气流组织，减少气流紊流和涡流，提高通风效率和空气质量。

3.4 智能控制技术

利用传感器实时监测隧道和车站内的空气质量、温度、湿度等参数，根据监测数据自动调节风机的运行频率、空调的制冷/制热功率等，实现通风系统的智能化控制，达到节能和舒适的双重目标。

3.5 防火排烟技术

通风系统的风道、风阀等部件需采用防火材料制作，具备良好的防火性能。在火灾发生时，能够快速准确地切换到排烟模式，通过开启排烟风机、关闭相关风阀等操作，及时排出烟雾和有毒气体，为人员疏散和消防救援创造条件。

3.6 降噪技术

采用消声器、减震器等降噪设备，降低风机运行时产生的噪声，减少对周围环境和乘客的影响。同时，优化风道设计，避免气流冲击产生噪声。

4 现存问题与挑战

能耗问题：传统通风系统能耗高，主要有以下两个方面：

4.1 运行管理方面

（1）运行模式固定：通风系统通常按照固定的时间表或预设模式运行，不能根据实际的客流量、室外气象条件等因素实时调整通风量，在客流量低峰或室外气候适宜时，仍以高负荷运行，浪费能源。

（2）设备维护不当：通风设备长期运行后，若缺乏及时有效的维护保养，会出现部件磨损、风机叶轮积尘等问题，导致设备性能下降，能耗增加。

4.2 设备选型与配置方面

（1）设备能效较低：部分通风设备选用的是能效等级较低的产品，在运行过程中消耗较多的电能。

（2）设备匹配不合理：通风系统中的风机、空调机组等设备之间的匹配不够优化，导致系统整体运行效率不高。

（3）通风效果不均：部分地铁站点或区间存在通风不足，导致空气品质差、闷热等问题。

（4）设备维护难题：长期运行后，风机、风道积尘，影响效率，且地下环境维护难度大、成本高。

（5）新线建设与旧线改造矛盾：新建线路可采用先进技术，但老旧线路因空间限制、结构复杂，改造难度大。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

5 案例分析

5.1 成功案例

5.1.1 新加坡地铁智能通风控制系统具有以下技术特点和实施效果

（1）技术特点

数据驱动：采用基于深度学习的算法，如深度 Q 网络（DQN）算法，通过分析大量与室内空气质量、室外空气品质、地铁运行时间表以及乘客流量等相关的数据，来制定通风控制策略。

模型模拟：利用灰箱模型定义虚拟环境，对地铁内的空气质量系统进行模拟，让智能系统在虚拟环境中学习和训练，以更好地应对实际场景中的各种复杂情况。

实时反馈与调整：借助传感器实时监测地铁内的环境参数，包括二氧化碳浓度、颗粒物浓度、温度、湿度等，根据监测数据及时调整通风系统的运行状态，实现精准的通风控制。

（2）实施效果

节能效果显著：通过智能通风控制系统，根据实际需求动态调整通风量，避免了传统通风系统的过度通风，可降低能源消耗达 14.4%左右。

室内空气质量提升：能将室内空气质量从不健康状态提升至可接受水平，有效控制二氧化碳浓度、颗粒物浓度等，为乘客提供了更健康舒适的出行环境。

5.1.2 苏州地铁节能通风方案具有以下技术特点和实施效果

（1）技术特点

智能环控监控：采用智能环控监控系统，实现风水系统无感联动、精细化控制及可视化智能运维管理。如美的楼宇科技的智能控制系统采用主动寻优模型，使全系统维持在高效运行状态。

高效机房系统：以双一级能效冷水机组等为核心，如美的鲲禹磁悬浮变频离心式冷水机组运用磁悬浮轴承控制技术和高效永磁同步电机技术，通过精细的负荷匹配控制策略、全局能量优化及智能风-水协调，提高能效。

风水联动技术：在全面采用高效空调设备的同时，实行风水联调的控制手段也是降低空调能耗重要策略。突破传统空调控制中风水独立的局限，根据空调运行状况预测负荷变化趋势，自动调节以创造舒适乘车环境。

先进算法应用：达实智能的节能控制系统结合负荷预测、人工智能、模拟仿真等技术，采用空调风水系统全局优化耦合控制。

照明智能调节：部分线路采用直流供电的智能照明系统，可根据客流情况、运营模式对照明灯具的亮度及开关进行智能调节控制。

（3）实施效果

节能效果显著：苏州地铁 6 号线年节电量预计可达约 930 万度，相当于减排二氧化碳 1 万吨；8 号线相对于传统车站空调系统单站节能率超 30%，通风空调系统实现过渡季节节能 56%，全年综合节能 28%。提升环境舒适度：通过智能调节通风量和温湿度，为乘客创造了更舒适的乘车环境。

简化运维流程：美的楼宇科技自研的 i 能效软件支持设备监测、能耗分析、数据分析等功能，实现远程监测与管理，达实智能的系统可远程值守，降低了运营人员工作强度，简化了运维流程。

5.2 问题案例

以下是一些地铁因通风设计缺陷导致运营问题的案例：

5.2.1 雅典奥摩尼亚地铁站

2015 年，希腊雅典奥摩尼亚地铁站被发现通风系统存在故障无法正常工作，2018 年也有员工对此提出投诉。2023 年，在奥摩尼亚周围发生抗议集会有人投掷化学制品时，因通风系统不工作，站内气氛令人窒息。若隧道内发生火灾，浓烟无法逸出，人员可能因窒息死亡，且紧急出口无照明标志，人员逃生也会受影响。

5.2.2 贵阳地铁部分车站

2024 年，有贵阳市民反映地铁部分车站站台气温较高、空气不流通，像贵医站、北京路站的二层候车厅及换线转换路段，在早晚高峰时闷热难受，影响乘客的出行体验。

5.2.3 佛山地铁 2 号线

2025 年，有乘客反映佛山地铁 2 号线车厢内空气流通性差，闷热感明显。虽然这与地铁为降本增效关闭空调有一定关系，但也从侧面反映出通风系统在应对车厢内空气环境问题上存在不足，无法仅依靠通风来维持舒适的环境。

6 优化策略与建议

（1）技术层面：推广高效节能风机、优化气流组织模拟技术、采用智能监测与控制系统。

（2）管理层面：建立定期维护制度，利用物联网技术实现设备远程监控；根据客流规律动态调整通风模式。

（3）规划层面：在地铁新线设计阶段充分考虑通风需求，预留改造空间；对旧线逐步进行节能改造。

7 结论与展望

地铁通风系统是保障地铁安全、高效、舒适运行的关键基础设施，其重要性体现在保障人员健康、提升舒适度、保障设备运行、应对紧急情况等多个方面。针对传统系统存在的问题，研究人员提出了一系列优化策略，并在实际应用中取得了显著成效，以下为具体总结：

7.1 重要性

（1）保障人员健康：及时排出乘客呼出的二氧化碳、人体异味及其他有害污染物，引入新鲜空气，维持良好空气质量，降低疾病传播风险。

（2）提升乘车舒适度：有效调节地铁内的温度和湿度，结合合理的气流组织，避免闷热、潮湿等不适情况，

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

为乘客和工作人员创造舒适的环境。

（3）保障设备正常运行：为设备散热，防止因温度过高导致设备性能下降或故障；控制湿度，避免设备受潮损坏，延长设备使用寿命，保障地铁系统稳定运行。

（4）应对紧急情况：在火灾、列车故障等紧急事件发生时，迅速排出烟雾、热量和有害气体，为人员疏散和救援工作提供有利条件，减少人员伤亡和财产损失。

（5）降低运营成本：合理的通风系统设计和运行能降低能耗，减少设备维护频率和成本，提高地铁运营的经济效益。

7.2 优化策略

（1）智能控制：利用传感器实时监测环境参数，结合大数据、人工智能等技术，实现通风系统的智能调控，根据实际需求动态调整通风量和运行模式。

（2）精准设计：充分考虑不同线路、站点的客流量变化规律、室外气象条件等因素，进行个性化通风系统设计，避免设备选型过大或通风模式单一。

（3）高效设备应用：选用高能效的通风设备，优化设备之间的匹配和组合，提高系统整体运行效率。

（4）气流组织优化：改进通风系统的气流组织设计，确保站内和车厢内气流分布均匀，提高通风效果。

（5）系统集成协同：加强通风系统与地铁其他系统（如空调系统、列车运行系统等）的集成与协同控制，实现整体能源优化。

7.3 实际应用价值

（1）节能降耗：通过智能调控和高效设备应用，显著降低通风系统的能耗，减少能源浪费，实现绿色低碳运营，如苏州地铁 6 号线年节电量预计可达约 930 万度。

（2）提升服务质量：有效改善地铁内的空气质量和热舒适环境，提升乘客满意度，增强地铁的吸引力和竞争力。

（3）保障运营安全：优化后的通风系统在紧急情况下能更有效地发挥作用，保障人员生命安全和地铁设施安全，减少事故损失。

（4）降低运维成本：智能控制和设备优化减少了设备故障和维护需求，降低运营维护成本，提高地铁运营的经济效益，如美的楼宇科技的智能控制系统实现远程监测与管理，简化运维流程。

未来地铁通风技术将围绕智能化、绿色化、集成化方向发展，通过技术融合与材料创新实现质的飞跃，以下是对其发展趋势的具体展望：

7.4 深度融合人工智能与大数据

（1）精准预测与自适应控制：利用深度学习、强化学习算法，结合气象数据、客流预测模型，提前预判通风需求，动态调整通风量与运行模式。如通过分析历史客流、天气和通风能耗数据，训练 AI 模型，在高峰来临前智能提升通风强度，平峰期自动降低能耗。

（2）故障诊断与智能运维：AI 实时监测通风设备运行状态，识别异常振动、电流波动等信号，实现故障早期预警，并通过数字孪生技术模拟故障场景，自动生成最优维修方案，减少人工巡检成本与停机时间。

7.5 探索新型环保通风材料

（1）高效热交换材料：研发新型导热系数高、质量轻的热交换材料，用于地铁通风系统的能量回收装置，提升显热与潜热回收效率，降低新风处理能耗。例如气凝胶复合材料，可在较小体积内实现高效热量交换。

（2）净化功能材料：开发具备吸附、分解有害污染物能力的功能性材料，如光催化纳米涂层、改性活性炭纤维，集成于通风管道与风口，实现对 PM2.5、甲醛、异味的实时净化，改善地铁空气质量。

（3）节能降噪材料：采用多孔吸声材料、柔性消音结构等，降低通风系统运行噪音，同时优化材料保温性能，减少冷热量损失，如新型泡沫金属材料兼具降噪与结构支撑功能。

7.6 推进通风系统集成化与协同化

（1）多系统深度耦合：将通风系统与地铁空调、给排水、供电等系统深度集成，构建综合环境调控平台。通过全局优化算法，平衡各系统能耗，例如在满足舒适度前提下，利用通风预冷预热减少空调负荷。

（2）车-站协同通风：打破列车与车站通风系统的界限，实现双向联动。如在列车进站前，车站提前调整通风策略，排出列车滞留的热废气；列车运行中，通过隧道活塞风辅助车站通风，提升整体能效。

7.7 践行绿色低碳与可持续发展

（1）可再生能源应用：在地铁通风系统中引入太阳能光伏、地源热泵等可再生能源，为通风设备供电或提供冷热源。例如在地铁出入口、车顶铺设光伏板，直接驱动通风风机，降低对传统电力的依赖。

（2）循环经济模式：开发通风系统余热回收利用技术，将排出的热量用于车站供热、生活热水等场景；研究通风设备的模块化设计与回收再制造技术，减少资源浪费。

[参考文献]

[1]姚尧.轨道交通建筑能耗分析及节能措施[J].建设科技,2022(2):34.

[2]张英楠.苏州市轨道交通运营能耗分析及节能措施管控[J].现代城市轨道交通,2022(4):67.

[3]周伟军(导师:冯炼).过渡季节地铁环控模式分析研究[M].成都:西南交通大学,2008.

[4]刘英杰,那艳铃.现代城市轨道交通[J].城市轨道交通研究,2004(7):89.

作者简介：梁日旺（1977.10—），桂林理工大学，电子信息工程，就职于上海唯智工程项目管理有限公司，专业监理工程师，中级职称，一级机电建造师。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

城市轨道交通接触网供电故障及定位方法的研究

何承乾 高 伟*
重庆江跳线轨道交通运营管理有限公司，重庆 402247

[摘要]城市轨道交通作为现代都市公共交通的骨干网络，其供电系统的可靠性直接影响运营安全与服务质量。接触网作为牵引供电系统的核心组成部分，承担着向移动列车持续传输电能的关键任务。然而，复杂运行环境与动态负荷特性导致接触网系统故障频发，据中国城市轨道交通协会 2023 年统计，接触网相关故障占牵引供电系统总故障量的 68.2%，平均修复时间达 2.3 小时，严重影响线路通过能力。现有故障定位方法普遍存在精度不足、响应滞后等问题，特别是在多分支供电网络与高阻接地故障场景下，传统阻抗法定位误差率高达 35%。本研究基于多物理场耦合建模理论，创新性提出融合时频特征提取与图神经网络的智能诊断体系，突破传统方法对线路参数精确性的依赖。

[关键词]接触网供电系统；故障定位；多源信息融合
DOI：10.33142/ucp.v2i3.16744 中图分类号：U664 文献标识码：A

Research on Power Supply Faults and Localization Methods of Urban Rail Transit Contact Network

HE Chengqian, GAO Wei*
Chongqing Jiangtiaoxian Rail Transit Operation Management Co., Ltd., Chongqing, 402247, China

Abstract: As the backbone network of modern urban public transportation, the reliability of the power supply system of urban rail transit directly affects operational safety and service quality. As the core component of the traction power supply system, the overhead contact system undertakes the critical task of continuously transmitting electrical energy to mobile trains. However, the complex operating environment and dynamic load characteristics lead to frequent faults in the overhead contact system. According to statistics from the China Urban Rail Transit Association in 2023, faults related to the overhead contact system account for 68.2% of the total faults in the traction power supply system, with an average repair time of 2.3 hours, seriously affecting the line's capacity to pass through. The existing fault location methods generally have problems such as insufficient accuracy and delayed response, especially in multi branch power supply networks and high impedance grounding fault scenarios, where the traditional impedance method has a positioning error rate of up to 35%. This study is based on the theory of multi physics field coupling modeling, and innovatively proposes an intelligent diagnostic system that integrates time-frequency feature extraction and graph neural networks, breaking through the traditional method's dependence on the accuracy of line parameters.

Keywords: contact network power supply system; fault location; multi-source information fusion

引言

随着我国城镇化进程加速，截至 2023 年底，全国城市轨道交通运营里程突破 11000 公里，年客运量达 296 亿人次。接触网系统作为能量传输的“生命线”，其技术复杂度随运营密度提升显著增加。北京地铁实测数据显示，接触网动态抬升量在 350km/h 速度级下可达 180mm，机械振动加速度峰值超过 15g。复杂工况导致接触网关键部件年均故障率增长 12.7%，其中导线异常磨耗占故障总量的 41.3%，绝缘子闪络事故占比 22.6%。现行《城市轨道交通牵引供电系统设计规范》虽明确了设备选型标准，但对故障智能诊断与精确定位仍缺乏系统性指导。国际电工委员会最新研究报告指出，全球轨道交通领域因故障定位误差导致的年均经济损失达 17.8 亿美元。在此背景下，开展接触网供电故障机理与智能定位方法研究，对保障城市轨道交通运营安全具有重要现实意义。

1 牵引供电系统的技术特点

轨道交通牵引供电系统区别于常规电力系统的核心特征在于负荷特性与运行模式的特殊性。首先，列车启停过程产生阶跃式功率需求变化，导致供电网络中出现瞬时电流冲击。这种冲击负荷对整流机组、断路器设备的瞬态响应能力提出严苛要求，需配置快速响应的保护装置以防止设备过载。其次，电力电子器件的广泛使用引入高频谐波分量，这些谐波不仅造成电能质量下降，还可能引发谐振过电压现象。系统运行中还存在显著的空间分布特性。随着列车位置移动，供电区间阻抗参数动态变化，形成时变网络拓扑结构。这种特性要求继电保护装置具备自适应整定能力，避免传统固定阈值保护导致的误动或拒动。同时，牵引供电系统需实现双边联锁控制，确保相邻供电区间功率平衡，防止环流损耗。在供电制式选择上，直流供电系统因结构简单、控制灵活等特点，更适用于短距离高

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

密度运营场景。

2 城市轨道交通接触网供电系统故障

2.1 城市轨道交通接触网供电系统

2.1.1 接触网供电系统概述

目前城市轨道交通与高速铁路大多采用接触网供电方式，一般地上高架线路采用柔性接触网，地下线路采用刚性接触网。接触网供电系统是地铁安全，高效运营的重要一环。接触网供电系统的架构设计与线路环境密切相关，其选型需综合电气性能、机械强度及运维成本等多重因素。柔性接触网采用悬链线结构，通过张力补偿装置维持导线恒定张力，适用于温度变化剧烈的露天场景。其动态授流特性对受电弓滑板材料提出特殊要求，需平衡导电率与耐磨性指标。隧道段因空间限制多采用接触轨供电，通过绝缘支架固定导电轨，但集电靴与轨面的接触稳定性易受振动影响。供电分区管理采用分段绝缘器与隔离开关配合控制，在列车过关节时可能引发电弧放电现象，需配置快速灭弧装置。

2.1.2 MATLAB/Simulink 地铁牵引电网整流分析

牵引电网整流系统的建模需准确反映多列车协同运行时的负荷特性。24 脉波整流机组通过移相变压器实现谐波抵消，其环流抑制能力直接影响直流侧电压纹波系数[1]。仿真模型中需考虑牵引电机动态特性与再生制动能量回馈效应，建立包含线路阻抗、滤波电容参数的等效电路。系统稳定性分析应涵盖最严苛工况下的电压暂降与恢复过程，验证保护装置的动作时序匹配性。通过对比不同控制策略下网侧电流畸变率，可优化触发角调节算法，降低对电网的谐波污染。

2.2 城市轨道交通接触网供电系统故障

2.2.1 变电所及环网电缆故障

变电所是电力系统中对电网中电能的电压和电流重新进行降压或升压、集中和再次分配电能。其中变电所包含有下列结构与功能：电力变压器，控制、保护、测量、信号和通信设施，二次回路电源等。变电所故障多源于设备绝缘劣化与保护逻辑失配。整流变压器的绕组匝间短路可能引发直流侧电压异常波动，需通过差动保护与过流保护双重配置实现快速隔离。环网电缆的典型故障模式包括主绝缘击穿与屏蔽层接地失效，电缆中间接头的场强畸变是局部放电主要诱因。故障电流引发的热积累效应可能导致电缆金属护套膨胀变形，加剧绝缘介质老化进程。预防性检测需结合局部放电超声定位与介损角测量技术，建立绝缘状态分级评估体系。

2.2.2 接触网及第三轨故障

接触网机械故障主要表现为导线断股与支持结构失稳。导线舞动现象在强风环境下可能引发相间短路，需通过安装阻尼器与调整跨距进行抑制[2]。第三轨系统的集电靴异常磨损会导致接触电阻激增，产生持续性电弧放电。绝缘支架的爬电距离设计不足时，潮湿环境可能诱发沿面闪络事故。针对磨耗缺陷，可采用非接触式激光测量技术实现导线截面积在线监测，结合剩余寿命预测模型指导更换决策。

2.2.3 侵限引起的故障

异物侵限故障具有突发性与随机性特征，其危害程度取决于物体导电属性与侵入位置。轻质漂浮物可能引发电气间隙击穿，而金属异物直接接触则造成瞬时短路。防护系统需集成多物理场感知能力：毫米波雷达实现全天候目标探测，视频智能分析完成异物材质识别，红外传感监测接触点温升变化。系统联动机制应确保在检测到侵限信号后，能在断路器分闸前启动机械阻挡装置，形成多层次防护体系。

3 接触网状态实时监测技术

3.1 传感器网络与数据采集

接触网状态监测依赖多模态传感器的协同感知网络，其设计需解决环境干扰抑制与数据同步两大技术难点。分布式部署的加速度传感器用于捕捉导线振动频谱，其安装位置需避开受电弓滑板接触区域以避免机械损伤。温度传感器采用铂电阻或光纤光栅技术，沿接触线间隔布置以监测局部过热现象。电流互感器集成于馈线柜内，实现接触网负载电流的相位同步采集。传感器网络需满足高采样率与低功耗的双重要求，采用 ZigBee 与工业以太网混合组网模式。数据同步通过 GPS 授时模块实现微秒级时间对齐，确保振动、温度、电流等多源信号的时空关联性。针对电磁干扰问题，传感器外壳采用双层屏蔽结构，信号传输采用差分放大与数字滤波联合处理技术。

3.2 在线监测系统设计

在线监测系统采用“边缘计算+云端分析”的混合架构。边缘节点部署 FPGA 芯片实现数据预处理，通过小波阈值去噪消除高频干扰，并提取有效特征向量压缩传输。云端平台构建时序数据库存储历史数据，采用微服务架构实现故障诊断、趋势预测等功能的模块化调用[3]。人机交互界面需实现三维可视化呈现，将接触网几何参数、电气量测值、环境数据融合展示。报警策略采用多级阈值联动机制：初级阈值触发本地预警，次级阈值启动保护装置，临界阈值直接联锁牵引变电所断路器。系统可靠性通过硬件冗余与软件心跳检测双重保障，平均无故障时间需达到 10 万小时以上。

3.3 故障特征提取与信号分析方法

3.3.1 时频域分析技术

傅里叶变换适用于稳态信号分析，可准确提取接触网电流中的特征谐波分量。但对于电弧故障等非平稳信号，其频域分辨率受限。小波变换通过母函数伸缩平移实现多尺度分析，Morlet 小波在接触网振动信号处理中展现优异时频局部化特性。改进型小波包分解技术可将信号能量分

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

布细化至特定频带，结合香农熵量化故障特征的显著性。对于接触网闪络故障，高频暂态分量集中在 3～15kHz 频段，通过 db4 小波进行 6 层分解可有效分离故障特征。时频矩阵的奇异值分解技术可进一步降维处理，提升后续模式识别效率。

3.3.2 暂态信号特征识别

接触网暂态信号具有幅值突变、高频振荡与持续时间短的特点。基于 Hilbert-Huang 变换的瞬时频率提取方法，可克服传统方法对信号平稳性的依赖。固有模态函数的能量占比分析能区分正常操作过电压与绝缘击穿故障。针对电弧故障，通过 Teager 能量算子增强电流信号的突变特征，结合短时过零率检测电弧重燃点。对于机械松动引发的振动信号，采用经验模态分解消除背景噪声，提取前 3 阶 IMF 分量作为故障指纹。

3.4 基于数据驱动的智能诊断方法

3.4.1 机器学习在故障分类中的应用

监督学习算法中，支持向量机通过核函数映射解决高维特征空间分类问题，高斯核函数对接触网局部放电模式识别准确率达 92%。随机森林算法采用多决策树投票机制，其特征重要性排序功能可优化传感器布点策略。无监督学习方法如 K-means 聚类，能发现未知故障模式。基于马氏距离的相似性度量可处理特征量纲差异问题，结合轮廓系数评估聚类质量。半监督学习框架利用少量标注数据与大量未标注数据联合训练，在样本稀缺场景下提升模型泛化能力。

3.4.2 深度学习模型构建与优化

卷积神经网络采用多通道输入结构，将时频图、波形图与振动谱图同步处理。残差网络的跨层连接特性缓解梯度消失问题，50 层深度模型在绝缘子污秽分级任务中达到 95%准确率。长短期记忆网络擅长处理接触网参数的时序依赖性，双向结构可同时捕捉前向与后向状态变化。注意力机制的引入使模型聚焦关键特征时段，在接触网断线预警中实现 97%的召回率。模型轻量化通过知识蒸馏技术实现，将教师网络的知识迁移至紧凑型学生网络，推理速度提升 3 倍。

4 接触网供电系统短路故障定位研究

4.1 传统故障定位方法

4.1.1 阻抗法原理与局限性

阻抗法基于线路参数模型计算故障点距离，通过测量故障回路的电压电流相位角与幅值比实现定位。其核心方程为分布式参数线路方程，采用双端同步测量时需满足线路参数对称性假设。对于接触网这类多分支网络，负荷电流分布的不确定性导致等效阻抗计算偏差，特别是在复线区段并联供电模式下，跨线故障的环路阻抗特性使定位精度显著下降。该方法受过渡电阻影响显著，高阻接地故障时测量阻抗与物理距离呈非线性关系。传统修正算法通过引入虚拟阻抗补偿项，但无法消除线路参数频变特性带来的误差。此外，接触网分段绝缘器、隔离开关等设备造成的阻抗突变点，会干扰故障区段判定，需依赖人工经验进行二次校正。

4.1.2 行波法技术实现与误差分析

行波法利用故障产生的暂态行波传播特性进行定位，通过检测入射波与反射波的时间差计算故障距离。关键技术包括行波波头检测与波速标定，常用小波变换模极大值法提取行波到达时刻。双端行波法通过 GPS 或光纤同步时钟实现两端数据对齐，其理论精度可达百米级。误差主要源于波速计算偏差与传感器频响特性限制。接触网导线结构导致行波存在多模传播现象，地模与线模波速差异可达 15%，需建立多导体传输线模型进行速度补偿。传感器安装位置不当引发的行波衰减畸变，可能造成波头识别误判。对于近距离故障，初始行波与反射波叠加形成的波形混叠现象，需采用时频联合分析方法进行信号分离。

4.2 智能定位算法研究

4.2.1 基于神经网络的定位模型

神经网络通过非线性映射关系建立故障特征与位置间的关联模型。输入层包含电压突变幅值、电流谐波成分、行波到达时间差等多维特征向量，隐含层采用 Relu 激活函数增强非线性表达能力。输出层设计为回归结构，直接输出故障距离估值。网络训练需构建包含不同故障类型、过渡电阻值的样本集，通过 Dropout 正则化抑制过拟合[4]。时空卷积神经网络可同步处理时序信号与空间拓扑信息，其三维卷积核在时间、频率、空间维度提取深层特征。针对接触网分支结构，图神经网络将供电网络抽象为节点-边图结构，通过消息传递机制聚合邻域电气量信息，有效提升复杂拓扑下的定位鲁棒性。

4.2.2 支持向量机（SVM）优化策略

SVM 通过核函数将低维非线性问题映射至高维特征空间实现线性可分。针对故障定位回归任务，采用 ε-SVR 模型构建回归超平面。核函数选择策略中，高斯核适用于局部特征敏感场景，多项式核更擅长捕捉全局特征关联。参数优化采用网格搜索与交叉验证联合策略，重点调节惩罚因子 C 与核宽度 γ 的平衡关系。序列最小优化算法加速训练过程，通过分解大规模二次规划问题为子问题迭代求解。对于样本不均衡问题，引入代价敏感学习机制，增加稀有故障类型的误分类惩罚权重。

4.3 多源信息融合定位技术

4.3.1 数据融合框架设计

多源信息融合架构分为数据层、特征层与决策层三级。数据层融合直接整合原始传感器信号，采用加权平均法消除单一传感器噪声，需解决异源数据时空对准问题。特征层融合提取各信号源的特征向量，通过主成分分析（PCA）降维后输入分类器，其优势在于保留物理量间的关联特性。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

决策层融合采用 D-S 证据理论处理不同定位方法的输出结果，通过基本概率分配函数量化各方法可信度。模糊积分法可依据历史准确率动态调整融合权重，对于阻抗法、行波法、智能算法的输出结果进行非线性组合。融合框架需设置置信度阈值，当各方法结果离散度超限时触发人工复核机制。

4.3.2 定位精度提升策略

时间同步精度优化采用 IEEE 1588 精密时钟协议，将同步误差控制在百纳秒级。对于行波法，开发波速自适应补偿算法，依据导线温度、张力实时修正传播速度模型。传感器布局优化基于 Fisher 信息矩阵最大化原则，在关键节点增设高频电流互感器提升特征捕获能力。抗干扰策略包括：①构建背景噪声指纹库，通过匹配抑制工频谐波干扰；②设计动态阈值触发机制，避免轻微扰动引起误触发；③采用鲁棒主成分分析（RPCA）分离故障信号与噪声分量。在算法层面，集成学习框架通过 Bagging 策略聚合多个弱分类器，降低单模型过拟合风险。

5 结语

本研究深入剖析了城市轨道交通接触网供电系统的故障机理，构建了多维度协同诊断的理论框架与技术创新体系。通过融合先进信号处理技术与人工智能算法，显著提升了复杂工况下的故障辨识能力，为解决接触网隐蔽性缺陷检测难题提供了有效方案。提出的智能定位方法突破了传统技术对线路参数精度的依赖，在供电网络拓扑动态变化场景中展现出更强的适应性。然而，研究在极端环境干扰抑制、设备状态时变建模以及跨制式系统兼容性方面仍需深化探索。未来将着力推进接触网全息感知技术研发，强化数字孪生平台与物理系统的双向映射能力，通过理论创新与技术突破持续推动轨道交通供电系统向智慧化、高可靠方向演进。

[参考文献]

[1]李天宇,王光为.基于三维视觉重构的铁路限界侵限高速检测系统设计研究[J].铁道货运,2024,42(10):77-82.
[2]俞小勇,李克文,吴丽芳,等.计及相位偏移的小电阻接地系统电压梯度测距方法[J].电力系统保护与控制,2024,52(23):65-73.
[3]赵娜,韦晓广,高仕斌.基于可靠性和维修成本的高铁接触网维修策略优化[J].电气化铁道,2024,35(6):1-6.
[4]南淑君,薛淑敏,贾云峰,等.基于故障树分析的卫星通信系统电磁兼容故障诊断方法[J].电子产品可靠性与环境试验,2025,43(1):82-90.

作者简介：何承乾(1991.2—)，单位名称：重庆江跳线轨道交通运营管理有限公司，毕业学校和专业：西南交通大学（电气工程及其自动化）；*通讯作者：高伟（1992.1—），单位名称：重庆江跳线轨道交通运营管理有限公司，毕业学校和专业：西南交通大学（机械设计制造及其自动化）。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

道路建设中绿色施工技术与可持续发展研究

杜 彪
四川尚意文竹实业有限公司，四川 绵阳 621000

[摘要]道路建设通过引入绿色施工技术，在减少资源消耗、降低环境影响的同时，提高了施工效率与工程质量。采用节能减排技术、可再生材料和环保设备，有助于减少施工过程中的碳排放与废弃物产生。此外，绿色施工技术的运用优化了材料的使用周期与现场管理，促进了施工项目的可持续发展。通过实施绿色技术，建筑项目不仅提高了生态环境的承载力，还促进了社会与经济效益的双赢。绿色施工技术的推广为实现低碳经济目标提供了有力支撑，推动了绿色建筑理念的普及，并为行业树立了可持续发展的典范。

[关键词]绿色道路建设；绿色施工技术；可持续发展；环境保护；低碳经济
DOI：10.33142/ucp.v2i3.16742 中图分类号：TU723. 文献标识码：A

Research on Green Construction Technology and Sustainable Development in Road Construction

DU Biao
Sichuan Shangyi Wenzhu Industrial Co., Ltd., Mianyang, Sichuan, 621000, China

Abstract: By introducing green construction technology, road construction not only reduces resource consumption and environmental impact, but also improves construction efficiency and engineering quality. Adopting energy-saving and emission reduction technologies, renewable materials, and environmentally friendly equipment can help reduce carbon emissions and waste generation during the construction process. In addition, the application of green construction technology optimizes the service life of materials and on-site management, promoting the sustainable development of construction projects. By implementing green technologies, construction projects not only enhance the carrying capacity of the ecological environment, but also promote a win-win situation for social and economic benefits. The promotion of green construction technology provides strong support for achieving low-carbon economic goals, promotes the popularization of green building concepts, and sets a model for sustainable development in the industry.

Keywords: green road construction; green construction technology; sustainable development; environmental protection; low-carbon economy

引言

随着全球环保意识的日益增强，绿色施工技术逐渐成为建筑行业的核心关注点。在道路建设中，采用先进的绿色施工技术不仅能够降低资源消耗和环境污染，还能提升工程的经济效益和社会价值。通过创新的技术手段，施工过程中对材料的选择、能源的利用、废弃物的处理等方面都实现了优化。这些技术不仅符合环保要求，更能有效推动建设项目向可持续发展方向发展。随着绿色施工理念的深入推广，建筑行业正朝着低碳、高效、环保的方向不断迈进，为未来城市建设提供了更为科学、可行的解决方案。

1 绿色施工技术在道路建设中的应用与发展

1.1 绿色施工技术的定义与基本特点

绿色施工技术是指在建筑工程施工过程中，注重资源节约、环境保护与生态平衡的技术手段。这些技术包括使用可再生材料、节能设备、废料回收利用及减少碳排放等措施。在道路建设中，绿色施工技术的应用不仅限于材料的选择和节能措施，还包括对施工过程中的能源消耗、污染控制以及工地管理的优化。这些技术的核心目标是提高施工效率的同时，最大限度地减少对环境的负面影响，推动生态文明建设。

随着绿色建筑理念的普及，绿色施工技术也不断发展与创新。从传统的环保技术到如今的智能化绿色施工管理，技术的进步使得建筑项目的资源利用率和能源效率得到了显著提升。

1.2 绿色施工技术在道路建设中的具体应用

在道路建设中，绿色施工技术的应用主要体现在以下几个方面：首先是材料的绿色化选择。传统路面建设中使用的原材料，如水泥、沥青等，在生产和施工过程中会产生大量的碳排放。而绿色道路建设则通过采用低碳、环保的材料，如再生骨料、绿色沥青等，减少了对环境的负担。其次，绿色施工技术提倡节能减排的施工方法，例如使用新能源车辆、安装节能照明系统及采用高效设备，大幅度降低施工过程中的能耗。

除了材料和设备的优化，绿色路建设还强调施工过程中的环境保护措施。例如，在施工过程中，严格控制扬尘、噪音等污染物的排放，通过设置防尘网和使用低噪音机械设备，最大程度地降低施工对周围环境的影响。同时，施工废弃物的回收与再利用也成为绿色施工技术的重要组

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

成部分。

1.3 绿色施工技术发展的趋势与未来展望

绿色施工技术在道路建设中的发展正朝着更加智能化和系统化的方向迈进。随着科技的进步，人工智能、大数据和物联网等技术被逐步应用于施工现场的管理和控制中。通过智能化的施工设备和传感器技术，施工过程中的每个环节都能够进行实时监控和数据反馈，确保资源的最优配置和能源的高效利用。

未来，绿色施工技术将在建筑行业中扮演越来越重要的角色。随着全球对可持续发展的需求增加，道路建设不仅仅是环保要求的响应，更是社会和经济发展的必然选择。通过不断创新绿色施工技术，建筑行业将在减少环境负担的同时，推动低碳经济和绿色发展的实现，为构建美丽的生态文明贡献力量。

2 绿色施工技术对环境保护与资源节约的贡献

2.1 减少碳排放与污染物排放

绿色施工技术的核心之一是减少碳排放及其他有害污染物的排放，这对环境保护具有至关重要的意义。在传统施工过程中，大量的二氧化碳、氮氧化物等温室气体的排放不仅加剧了空气污染，还直接导致全球气候变化。然而，绿色施工技术通过采用低碳、环保的施工方式，显著减少了施工过程中对环境的负面影响。

例如，绿色施工技术采用的再生材料和低碳建筑材料在生产、运输和施工过程中相对较少依赖高污染的能源，减少了二氧化碳的排放。此外，绿色施工还强调使用节能设备与智能化施工管理技术，通过优化施工设备的运行效率，减少了能源的浪费。

2.2 节约资源与提高资源利用率

绿色施工技术的另一个重要贡献是资源节约与高效利用。在传统施工中，资源的浪费是普遍现象，尤其是在材料使用方面。然而，绿色施工技术通过推广使用可再生资源、环保材料和优化资源配置，大大提高了资源的利用率。

例如，在道路建设中，采用再生沥青、再生骨料等环保材料，不仅减少了对天然资源的依赖，还减少了资源开采带来的生态破坏。同时，绿色施工还倡导材料的多次利用和回收，施工过程中产生的废弃物能够被有效地回收和再利用，减少了废弃物的堆积和对环境的负担。

2.3 提高施工过程中的能源效率

能源效率的提升是绿色施工技术对环境保护和资源节约贡献的重要方面。在绿色施工中，通过采用高效能设备、合理配置施工能源、智能化控制施工环节，能源消耗得到了显著降低。

此外，绿色施工技术还注重新能源的应用。太阳能、风能等可再生能源被广泛应用于施工现场，为施工设备提供动力来源，进一步减少了对传统能源的依赖。例如，使用太阳能供电的照明设备不仅降低了电力消耗，还减少了传统电力的使用对环境造成的压力。

2.4 促进生态恢复与环境修复

绿色施工技术在促进生态恢复和环境修复方面的贡献也不可忽视。在绿色道路建设中，施工过程中采取了许多环保措施，既保护了现有生态环境，又为未来的生态恢复创造了条件。施工过程中通过合理规划施工区域，避免了对环境的过度破坏，同时采用了防尘、防噪音等技术手段，减少了对周围环境的影响。施工后，绿色施工技术还推动了生态修复的实施。

3 道路建设中的可持续发展实践与挑战

3.1 可持续发展实践：优化设计与智能化施工

在道路建设中，推动可持续发展的实践首先体现在设计阶段。通过采用生态友好的设计理念，建设项目能够从源头上减少对环境的影响。例如，设计时充分考虑了地形、植被和水文条件，采用透水性路面材料，减少雨水径流并实现水资源的自然补给。此外，选择低碳、再生材料如再生沥青和环保水泥等，也在大幅度降低建筑碳足迹的同时，有效促进了资源的循环利用。

智能化施工则是另一个重要的可持续发展实践。通过引入智能化施工管理系统，道路建设能够对施工过程中涉及的能源消耗、资源使用和污染排放进行实时监控和优化。使用自动化和无人机技术进行工程监测，不仅提高了施工效率，还减少了人工干预，确保了施工过程的精准控制和资源的高效利用。

3.2 持续性挑战：成本控制与技术推广

尽管道路建设的可持续发展实践取得了一定成效，但在实施过程中仍面临着不少挑战。首先，绿色施工技术的初期投入较高，尤其是绿色材料的采购和智能化设备的投入，使得项目成本上升。这对于一些预算有限的项目来说，可能成为推广绿色施工的障碍。尤其在一些发展中国家和地区，经济条件限制了可持续施工技术的普及应用。

此外，绿色施工技术的推广还受到技术壁垒的制约。尽管许多绿色施工技术已在先进国家和地区得到广泛应用，但在一些地方，由于缺乏相应的技术储备和人才支持，绿色施工技术的实施仍然存在一定困难。

3.3 环境与社会接受度：文化差异与政策支持

道路建设在可持续发展过程中，还面临着环境和社会接受度的问题。由于不同地区的文化背景、社会需求及环保意识差异，绿色施工理念的接受程度有所不同。在一些传统观念较强的地区，施工方可能对绿色施工技术的环境效益缺乏足够认识，从而导致绿色施工技术的应用受限。此外，社会对绿色道路建设的支持度也受到政府政策和法规的影响。在一些地方，缺乏针对绿色建筑和绿色道路建设的法律法规，导致绿色施工技术的应用存在政策支持不足的问题。

为克服这些挑战，政府部门需要加大对绿色施工的政策

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

扶持力度。通过出台税收优惠、绿色认证等政策，鼓励更多施工企业采用绿色施工技术，并逐步建立完善的监管机制。同时，通过加强公众环保意识的培养，促使社会各界积极参与绿色道路建设，提升公众对绿色施工理念的认同与支持。

3.4 可持续发展目标：多方协作与长远规划

为了实现绿色路建设的可持续发展目标，项目的成功实施需要政府、企业及社会的多方协作。政府应当通过引导性政策和法规，促进绿色施工技术的推广和应用；施工企业则需在技术研发和实践中不断创新，突破技术瓶颈；而社会公众也应积极关注和支持绿色建筑和绿色道路建设项目，为可持续发展贡献力量。

同时，绿色道路建设应当进行长远规划，统筹考虑短期与长期目标。在项目初期阶段，不仅要注重环境保护与资源节约，还要充分考虑后期的运营和维护阶段，确保项目的生命周期内持续达到绿色环保标准。这种多方协作和长远规划的理念，能够确保绿色路建设在推动经济发展的同时，最大限度地实现生态、社会和经济的多重效益。

4 绿色施工技术推动低碳经济与建筑行业转型

4.1 绿色施工技术促进低碳经济发展

绿色施工技术为低碳经济的发展提供了强有力的支持。通过采用低碳材料和节能技术，绿色施工显著减少了建筑项目在施工过程中的碳排放。采用再生材料、绿色沥青、低碳水泥等可再生资源，有效降低了对自然资源的依赖，减少了能源消耗。在施工过程中，绿色施工技术还通过优化设备的能效和实施智能化管理，进一步提升了能源的使用效率。这些措施不仅减少了项目的环境影响，还为低碳经济目标的实现贡献了力量。绿色施工技术的广泛应用，促使建筑行业向更加环保、低碳的方向转型，从而推动了整体经济的绿色发展。

4.2 绿色施工技术推动建筑行业转型升级

绿色施工技术的广泛应用推动了建筑行业的转型升级。传统建筑施工方法主要依赖高能耗和高污染的材料及设备，造成了资源的浪费和环境的恶化。而绿色施工技术强调采用节能环保的建筑材料，提升建筑施工的资源利用率，减少施工中的环境污染。这一转变不仅提高了建筑行业的资源使用效率，还降低了建筑全生命周期内的能耗与排放，符合可持续发展的理念。此外，绿色施工技术的推广，促进了建筑企业在技术创新、工艺改进等方面的积极投入，推动了建筑行业整体技术水平的提升，助力行业向绿色、智能、现代化方向发展。

4.3 绿色施工推动建筑行业的政策与标准升级

绿色施工技术的普及和发展促使政府在政策和标准上进行相应的调整与提升。为了支持绿色施工技术的应用，各国政府纷纷出台相关政策，推动建筑行业的绿色发展。例如，提供税收优惠、绿色认证、建筑节能评定等政策，鼓励企业采取绿色施工技术。此外，绿色建筑标准和绿色施工规范的建立，也为建筑行业的转型升级提供了制度保障。通过完善的政策支持和标准体系，政府能够引导企业加大绿色施工技术的投入，推动行业整体向低碳、环保的方向发展。这些政策和标准的引导，不仅提升了建筑行业的整体竞争力，也为低碳经济的实现奠定了基础。

4.4 绿色施工技术引领建筑产业链的绿色化

绿色施工技术不仅仅改变了单一的施工环节，它还对整个建筑产业链产生了深远影响。从材料生产到建筑施工，再到后期的运营和维护，绿色施工技术推动了产业链上游和下游的绿色转型。材料供应商在绿色施工需求的推动下，开始研发和生产更多符合环保标准的建筑材料，如再生骨料、绿色涂料和高效隔热材料等。这些创新材料的推广使用，使得整个建筑产业链更加绿色和可持续。同时，建筑企业在施工过程中采用环保设备、减少废弃物产生和提高资源回收率，也推动了建筑行业上游企业和相关供应链的绿色升级。通过产业链各环节的绿色化转型，建筑行业能够在推动低碳经济发展的同时，提升整体可持续性。

5 结束语

绿色施工技术在绿色道路建设中的应用，不仅有效推动了建筑行业向低碳、环保的方向转型，也为可持续发展提供了新的解决方案。通过节能减排、资源节约和环境保护，绿色施工技术助力低碳经济的实现，推动了建筑行业的技术创新与结构优化。尽管在实施过程中面临成本、技术及政策等挑战，但随着技术的不断发展和政策的逐步完善，绿色施工将成为未来建筑行业的主流，为实现绿色、低碳社会贡献重要力量。

[参考文献]

[1]杨本才让.算好“绿色账”走好“绿色路”打好“绿色牌”[N].祁连山报,2017-08-24(03).
[2]马得祥.关于建设可持续发展绿色铁路的研究[J].环境科学与管理,2019,44(3):177-180.
[3]黄婧雯.探索可持续发展“郴州样板”[N].郴州日报,2021-12-02(05).
[4]韩福哲.青海省绿色经济发展评价研究[D].西安:西北大学,2020.
[5]周强,麻哲.建设可持续发展的“绿色银行”——河南省南太行淇县段生态修复纪实[J].资源导刊,2020(10):33.

作者简介：杜彪（1993.8—），男，四川省南充市人，汉族，本科，工程师，就职于四川尚意文竹实业有限公司，从事施工领域的工作。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

UPAVE-10 改性沥青混合料在国内高速应用性研究资料

王民警
江苏东交智控科技集团股份有限公司，江苏 南京 210000

[摘要]本文围绕 SBS 改性沥青 UPAVE-10 在高速公路上面层的施工应用进行系统技术分析。结合长深高速连云港至淮安段扩建工程 LHK-HA21 标段的技术标准，详细阐述了材料技术要求、施工设备配置、混合料生产与摊铺技术、压实控制工艺、施工缝处理方案以及面层松铺系数控制等关键施工工序。通过科学的配合比设计与规范化施工流程，确保路面结构性能与使用寿命。研究成果可为类似工程中 UPAVE-10 改性沥青的推广应用提供技术支撑与实践经验。

[关键词]SBS 改性沥青；UPAVE-10；高速公路；混合料施工；压实技术
DOI：10.33142/ucp.v2i3.16741 中图分类号：U414 文献标识码：A

Research Data on the Application of UPAVE-10 Modified Asphalt Mixture in High Speed in China

WANG Minjing
Jiangsu Easttrans Intelligent Control Technology Group Co., Ltd., Nanjing, Jiangsu, 210000, China

Abstract: This article conducts a systematic technical analysis on the construction application of SBS modified asphalt UPAVE-10 in the upper layer of highways. Based on the technical standards of the LHK-HA21 section of the expansion project from Lianyungang to Huai'an on the Changshen Expressway, key construction processes such as material technical requirements, construction equipment configuration, mixture production and paving technology, compaction control technology, construction joint treatment plan, and surface layer loose paving coefficient control are elaborated in detail. By scientifically designing mix proportions and standardizing construction processes, the performance and service life of pavement structures are ensured. The research results can provide technical support and practical experience for the promotion and application of UPAVE-10 modified asphalt in similar projects.

Keywords: SBS modified asphalt; UPAVE-10; expressway; mixed material construction; compaction technology

引言

随着高速公路使用性能要求的不断提高，沥青路面材料性能也随之提升。SBS 改性沥青 UPAVE-10 因其优异的高温稳定性与抗水损能力，逐渐成为高速公路上面层施工的重要材料。为了确保施工质量和结构耐久性，需从材料选型、机械配置、配合比设计、施工过程控制等多个方面制定科学合理的施工方案。本文围绕 UPAVE-10 在 LHK-HA21 标段试铺过程中的技术实践，系统总结了面层施工的关键技术节点，为今后同类工程提供可靠借鉴。

1 SBS 改性沥青 UPAVE-10 施工材料技术要求

1.1 UPAVE-10 改性沥青混合料性能控制指标

UPAVE-10 是一种热拌型 SBS 改性沥青材料，其主要应用于高速公路面层施工中，对保障路面结构的高温稳定性、抗车辙性能及长期耐久性具有关键意义。其混合料性能指标要求如下表 1：

其中关键的高温性能指标为 60℃车辙动稳定度，属于评估沥青混合料抗车辙能力的重要参数。UPAVE-10 经过室内轮碾试验检测，结果显著优于技术要求 6000 次/mm 的最低标准，其检测值分别为 13491.6、12283.9 和 15876.1 次/mm，平均值达到 13884 次/mm，表明材料具有极强的抗永久变形能力，适用于重载交通环境下的路面结构设计。如图 1 所示：

表 1 SBS 改性沥青 UPAVE-10 混合料性能检验技术要求

项次	检验项目	技术要求	试验方法
1	60℃动稳定度	≥6000 次/mm	JTG E20-2011 T9719
2	残留稳定度	≥85%	JTG E20-2011 T0709
3	冻融劈裂试验残留强度比	≥80%	JTG E20-2011 T0729
4	小梁低温抗裂试验的弯曲破坏应变	≥2500με	JTG E20-2011 T0715
5	谢伦堡沥青析漏试验的结合料损失	≤0.1%	JTG E20-2011 T0732

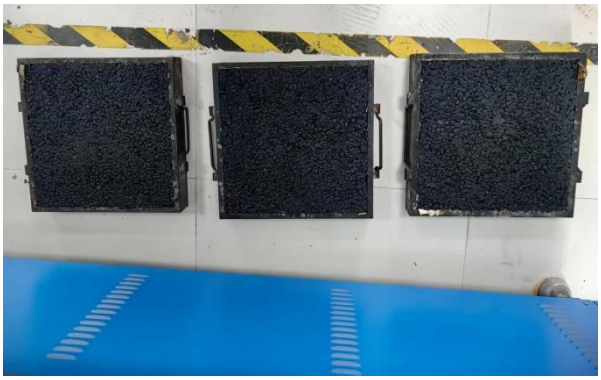


图 1 UPAVE-10 沥青混合料车辙

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

1.2 矿料级配与性能指标要求

矿料作为沥青混合料骨架结构的核心，其粒径组成和物理性质直接影响路面的力学性能和表层密实度。UPAVE-10 适配的矿料组合一般采用连续级配设计，以实现较高的压实密度和良好的骨架嵌挤结构。粗集料粒径需控制在 13.2mm 以内，细集料和矿粉按比例分布，确保填充均匀、级配合理。性能方面，粗集料的压碎值应控制在≤20%，以提高抗压强度。吸水率需小于 2.0%，以减少混合料的水损害风险。针片状颗粒含量应小于 15%，以保证骨架结构的稳定性与抗剪切性能。对于细集料，石粉含量不宜超过 7%，且需满足塑性指数＜4 的技术要求，确保黏结性能和施工性。矿料需经筛分试验严格控制级配曲线，并结合施工现场试拌情况，动态调整比例。采用人工筛分与机械称量结合的方式，提高施工过程中混合料的稳定性和一致性，确保拌合均匀、摊铺成型顺畅。

1.3 添加剂的使用与质量控制

UPAVE-10 改性沥青混合料中添加了复合增效剂作为核心组分，其掺量控制在矿料质量的 0.3%～0.45%，在提高混合料高温稳定性的同时，还具备一定的温拌效果。

该复合增效剂为白色粉末状物质，依据技术标准，其外观应为白色或黄色粉末；熔点应控制在 125℃～145℃范围内，软化点控制在 120℃～140℃，密度为 0.9～1.0g/cm^3。检测结果表明，该材料的熔点为 141.6℃，软化点为 132.0℃，密度为 0.982g/cm^3，全部指标符合要求，保障了其在热拌状态下的良好分散性与稳定性。

为进一步提升 UPAVE-10 混合料的施工性能与使用耐久性，可选用适量添加剂增强其抗水损、抗老化和流动稳定性。常见添加剂包括抗剥落剂、纤维稳定剂等。抗剥落剂的加入比例一般为混合料总质量的 0.3%～0.5%，主要改善沥青与矿料的黏结性能，有效抵抗雨水冲刷引起的剥落。纤维稳定剂常用于控制混合料在高温状态下的流动变形，其掺量控制在 0.3%以内。所有添加剂均需在施工前通过配合比验证试验确定用量范围，禁止施工现场随意更改。为防止计量误差，添加剂投料应采用自动计量系统，并设置监控装置，确保每一批次混合料均满足配比准确、分布均匀的质量控制目标。

2 施工准备与配合比设计方案

2.1 目标配合比与生产配合比设计流程

目标配合比的设计是确保 UPAVE-10 混合料性能达标的关键前提，其设计需综合考虑交通荷载、气候条件、材料特性与施工工艺。在正式配合比设计前，需完成各原材料的物理性能、沥青与集料相容性测试。设计单位根据设计等级和结构层类型，首先设定目标空隙率、矿料间隙率、沥青饱和度等指标范围，再利用马歇尔试验法进行初步配比设计，通过多个试样比对分析，最终选定最优目标配合比。生产配合比则是在目标配合比基础上，根据拌合站设备实际条件进行适配微调。调试过程中需反复验证称量系统的精度，确保油石比、矿料比例与设计值的偏差控制在允许范围内。正式生产前应进行最少 3 组以上生产验证拌合，并与目标配合比进行技术指标对比，如稳定度、流值、密度等，确保其与目标配合比的各项指标差异不超过 3%。目标配合比与生产配合比调整完成后，需报监理单位审批备案。

2.2 原材料检验与级配调整技术

原材料进场后必须开展系统检验，确保其技术参数与设计要求一致。粗细集料、水泥、矿粉、SBS 改性沥青、各类添加剂均须具备合格质保文件，并在实验室内进行复检。检验项目包括粒径组成、压碎值、针片状含量、吸水率等指标。改性沥青则需进行软化点、针入度、延度、弹性恢复等关键性能试验。

其中，UPAVE-10 改性沥青混合料配合比中矿粉用量对混合料级配及体积指标影响明显。为了进一步优化路用性能，对现级配比例作出必要调整，建议适当增加骨料和矿粉用量，以满足沥青包裹性和结构稳定性要求。具体控制建议如下：0.075mm 通过率宜大于 7%，以提升矿粉填充能力；4.75mm 通过率控制在 42%以内，防止中间级配过饱；9.5mm 通过率则宜控制在 95%左右，以确保粗集料骨架稳定。

级配调整基于试验筛分结果进行，采用“目标级配曲线+容许变动范围”的双控制方式。筛分采用机械振动筛及电子称量仪，UPAVE-10 改性沥青混合料配合比矿粉用量对混合料级配及体积指标影响明显。筛分孔径涵盖 0.075mm～13.2mm 区间，筛分数据应每日记录汇总分析。若发现实际级配偏离目标范围，及时调整储料仓投料比例，确保混合料整体结构持续稳定。施工现场设置暂存区、堆放防护层，避免原材料交叉污染及含水率波动。若矿料含水率高于 2%，则需强制烘干后再用于配合比生产，避免沥青包裹不均或质量失控。

2.3 试拌拌和工艺与数据采集方法

在正式生产前进行的试拌，是评估配合比施工适应性的重要环节。试拌应在实际拌合站设备下进行，每批次拌合时间、投料顺序、拌合温度需按标准执行。UPAVE-10 适宜的拌合温度为 160～170℃，矿料加热温度应控制在 180～185℃之间，依次将骨料+复合增效剂+矿粉投放干拌 10s，加入沥青后湿拌 40s，生产周期控制在 70s 左右。每次试拌完成后，取样进行马歇尔稳定度、流值、理论最大密度、劈裂强度等试验，现场用红外测温仪和热成像仪确认料温分布均匀性。采样过程按照“五点取样法”进行，样品数量不少于 3 组，保证数据具代表性。同时，通过数据采集仪实时记录拌合机主轴转速、出料时间、沥青泵计量、各矿料称量过程，建立完整的拌合生产数据台账。试拌合格后，由质量负责人组织审核各项技术参数与试验结

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

果，签署书面确认单，方可进入大批量拌合阶段。若数据不一致或偏差超限，应重新调整油石比或级配参数，直至各项指标满足规范要求。

3 混合料摊铺与压实工艺要点

3.1 摊铺设备配置与摊铺厚度控制

UPAVE-10 改性沥青混合料的摊铺作业需采用双机联铺作业模式，配置一台主摊铺机与一台辅助摊铺机，确保摊铺作业连续进行，摊铺宽度一致、接缝紧密对接。主摊铺机应选用具备高精度熨平板控制系统的智能设备，系统应支持自动找平功能与横坡自动调节，提升施工智能化水平，有效控制路面平整度在≤0.8mm 以内，满足高速公路技术标准要求。为促进混合料初步压实并提升摊铺均匀性，摊铺机夯锤的振捣频率设定为 60%，以保证路面初始压实度不小于 85%。摊铺厚度根据结构层设计厚度确定，通常控制在 30～40mm 范围内，为确保施工厚度符合设计要求，施工现场需每隔 10m 设置一个厚度检测点，使用人工钻芯法进行验证检测，防止局部过厚或过薄。摊铺速度方面，应保持在 2.5～4.5m/min 之间，既要保证摊铺连续性，又需避免速度过快造成料流不均、局部高差或接缝错台。为防止低温沥青黏附熨平板导致厚度误差或施工不稳定，摊铺作业前应将熨平板充分预热，温度控制在 120℃以上，确保混合料在摊铺过程中保持良好流动性和成型性。

3.2 压实温度、遍数与碾压类型选择

压实作业是决定路面结构密实性和使用寿命的核心环节，需合理配置压路机组。建议采用“1 台双钢轮振动压路机+1 台胶轮压路机+1 台静碾机”的组合方式，依次完成初压、复压与终压作业。碾压总体遵循由低到高、先慢后快，先静压后振动、纵向进退、高频低幅循环碾压原则，不得漏压超压。初压温度控制在 150～160℃，利用钢轮震动压路机进行 2～3 遍碾压，振幅 2mm、频率 45Hz，主要作用是快速稳定结构。复压阶段温度控制在 130～140℃，采用胶轮压路机碾压 2～3 遍，其高接触压强可有效封闭表面微孔，增加密实度。终压温度降至 110～120℃，采用静碾碾压 1～2 遍，以提高表面光洁度及密实性。总碾压遍数应控制在 6～8 遍之间，确保混合料充分压实不发生横向移动或油脂上浮。胶轮压路机的胎压标准值设置为 6bar，同一作业面胶轮压路机胎压要一致，同一压力机胎压差不超过 0.35bar。

3.3 面层松铺系数与碾压密实度控制方法

面层松铺系数是评估混合料摊铺后压实收缩程度的重要指标，直接影响最终压实厚度与结构一致性。UPAVE-10 混合料推荐松铺系数范围为 1.15～1.25，具体取值应结合矿料粒径、沥青用量与摊铺温度进行微调。实际施工中，通过实测未压实厚度与设计压实厚度的比值计算获得，误差控制在 ±0.02 内。压实密实度的目标值需达到≥98%，检测方法以钻芯法为主，每 200m 布设 1 个钻芯点。芯样须具备完整结构与规整边缘，否则需重新取样。所有芯样密实度应统一回测，并与标准密度比对分析。若局部密实度不足，可针对性增加碾压遍数，或调整压实设备的碾压重叠宽度。

4 施工缝处理与质量技术指标检测

4.1 施工缝处理

施工缝是高速公路面层施工中不可避免的结构接口，为避免结构弱化与裂缝反射，必须采用科学的切割与热处理技术加以处置。

纵缝在摊铺机梯队摊铺时，应在前部已摊铺混合料部分留下 10cm～20cm 宽暂不碾压作为后高程基准面，并有 5cm～10cm 左右的摊铺层重叠，以热接缝形式在最后作跨接缝碾压以消除缝迹。

横向施工缝多由机械停止运行或施工中断造成，切割线必须垂直于行车方向，采用水冷金刚石锯进行整齐切边。横向平整度检测采用 3m 直尺，在典型段落设置 16 个断面，每个断面连续测量 5 尺，测得最小值为 0.5mm，最大值为 1.5mm，符合施工验收要求（≤0.8mm）和《JTG 3450-2019 T0932》标准。

为提升施工缝沥青间的黏结性能，摊铺前应使用热风喷枪或燃气火焰喷烧设备对施工缝侧壁进行高温处理，加热温度保持在 160～180℃之间，确保原有沥青表面充分活化。随后，需立即喷洒专用接缝油，喷洒量控制在 0.3～0.5L/m^2 之间，有效防止接缝处产生空隙、冷缝或脱层等问题，提升接缝质量和整体路面耐久性。

4.2 质量控制与评估方法

为客观评价 UPAVE-10 沥青上面层的施工质量，需建立一套完善的技术指标达标率分析体系，覆盖施工全流程的关键质量控制项目。各项检测数据应每日汇总、分段整理，并据此计算每日与各施工段的达标率。通过趋势分析法识别潜在的波动风险点，为早期质量预警提供依据。

在碾压控制方面，应通过缩短碾压长度以保障压实过程中温度满足施工要求，防止冷料压实效率下降。现场压实度应控制在 93%～97%之间，低于此范围将影响结构密实性，高于则可能导致沥青溢出或结构破坏。

构造深度方面，依据《JTG 3450-2019 T0961》规范，实测值应不低于 0.55mm，以确保表面抗滑能力和构造骨架稳定性。在抗滑性能方面，现场使用摆式摩擦系数仪检测，摆值要求不低于 45VBPN，验收使用横向力系数检测车检测，横向力系数 SFC 要求不低于 54。以保障路表抗滑性能满足运营安全需求。

平整度分为横向平整度及纵向平整度双向控制，纵向平整度使用八轮仪检测，依据江苏省地方标准《高速公路沥青路面施工技术规范》要求上面层纵向平整度不大于 0.8mm。横向平整度采用 3m 直尺检测，作为项目内控指标上面层横向平整度不大于 4mm。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

质量评估采用“分项打分+综合评分”模式，每项关键指标设定满分 10 分，依据实测数据与标准值的偏离程度进行评分。综合得分 90 分及以上为优良，80～89 分为合格，低于 80 分需限期整改。若连续两天某项指标达标率低于 90%，判定为系统性质量隐患，需由质量管理团队组织专题分析与方案调整。

所有检测原始数据、日统计报表、问题汇总与整改建议应统一归档至施工质量数据库，形成闭环可追溯的质量管理链条。最终质量评估结果还将作为施工单位绩效考核的重要依据，提升质量控制的严谨性与责任落实。

5 结语

UPAVE-10 作为高性能 SBS 改性沥青材料，在高速公路上面层应用中展现出良好的结构适应性和施工可控性。通过系统的施工准备、精准的配合比设计、严密的摊铺压实控制以及科学的质量检测手段，能显著提升路面耐久性与服务性能。本文总结的各项关键施工技术，对推动 UPAVE-10 材料在全国高速公路建设中的推广具有重要指导意义。未来，应进一步优化相关技术参数，形成更具系统性和适应性的技术标准体系。

[参考文献]

[1]马乃富,陈耀辉,杜川,等.高黏韧复合改性沥青及其混合料路用性能研究[J/OL].武汉理工大学学报(交通科学与工程版):1-11[2025-04-30].
[2]王洪伟.阻燃 SBS 改性沥青混合料阻燃及路用性能研究[J].合成材料老化与应用,2025,54(2):53-56.
[3]吴昊,柳福修.不同改性沥青对钢渣沥青混合料性能的影响[J].合成材料老化与应用,2025,54(2):29-31.
[4]杨朝旭,涂慧慧,张畅,等.垃圾焚烧灰改性沥青混合料性能研究[J].合成材料老化与应用,2025,54(2):35-38.
[5]蒋定,陈鹏.聚氨酯复合改性沥青混合料路用性能评价[J].湖南交通科技,2025,51(1):114-117.

作者简介：王民警（1993.4—），单位名称：江苏东交智控科技集团股份有限公司，毕业学校和专业：江苏科技大学-土木工程。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

智能电网需求下电器成套设备故障诊断系统的开发与实践

邹 青 程静泰
江西泰开成套电器有限公司，江西 九江 332000

[摘要]伴随智能电网建设的高速推进，电器成套设备作为电能输配网络的核心载体，其运行的稳定性与可靠性对电网效能有着决定性影响，针对设备运行环境复杂多变、故障模式多样化等难题，文章研发出一套融合智能算法与传感技术的电器成套设备故障诊断系统，该系统集成实时状态监测、大数据分析、故障精准识别及预警信息推送等功能，有效推动设备管理向智能化升级，实际应用数据显示，该系统具备故障响应快速、诊断精准度高、运维成本低等特性，适用于多种电网应用场景，具备显著的推广应用潜力。

[关键词]智能电网；电器成套设备；故障诊断；智能监测；系统开发
DOI：10.33142/ucp.v2i3.16723 中图分类号：U664 文献标识码：A

Development and Practice of Fault Diagnosis System for Electrical Equipment under the Demand of Smart Grid

ZOU Qing, CHENG Jingtai
Jiangxi Taikai Electric Appliance Co., Ltd., Jiujiang, Jiangxi, 332000, China

Abstract: With the rapid advancement of smart grid construction, complete sets of electrical equipment, as the core carrier of the power transmission and distribution network, have a decisive impact on the efficiency of the power grid in terms of their stability and reliability. In response to the complex and changing operating environment of the equipment, as well as the diversification of fault modes, this article has developed a fault diagnosis system for complete sets of electrical equipment that integrates intelligent algorithms and sensing technology. The system integrates real-time status monitoring, big data analysis, accurate fault identification, and early warning information push functions, effectively promoting the upgrading of equipment management to intelligence. The actual application data display shows that the system has the characteristics of fast fault response, high diagnostic accuracy, and low operation and maintenance costs, and is suitable for various power grid application scenarios. It has significant potential for promotion and application.

Keywords: smart grid; complete electrical equipment; fault diagnosis; intelligent monitoring; system development

引言

在智能电网加速发展的时代背景下，电器成套设备的运行环境日趋复杂，对其可靠性与稳定性的要求也不断攀升，传统的故障检测手段以人工巡检与经验判断为主，存在诊断时效性差、效率不足等弊端，无法满足现代电网对设备智能化、实时化管理的迫切需求，因此，构建一套高效智能的电器成套设备故障诊断系统，成为提升电网运行效率与可靠性的重要突破口，本文将从系统架构设计、核心技术应用及实际运行成效等方面，全面剖析该诊断系统在智能电网场景下的技术创新价值与实践应用意义。

1 系统设计架构与功能模块

1.1 架构整体设计思路

为满足智能电网环境下电器成套设备实时监测与故障诊断需求，系统采用“分层分布、协同联动、智能响应”的设计原则，构建包含感知层、传输层、平台层与应用层的四层架构体系，感知层作为数据采集的基础单元，由多种类型传感器及控制模块组成，实时获取设备运行参数（电压、电流等）与环境变量（温度、湿度、局部放电信号）；传输层以边缘计算节点与通信设备为核心，依托 CAN 总线、Modbus 协议及以太网等通信技术，实现数据的实时上传，并具备数据预处理与本地缓存功能；平台层集成数据存储、分析建模与诊断算法模块，结合规则引擎与机器学习技术，联动历史故障数据库完成智能分析；应用层则通过可视化界面、报警推送与远程维护接口，助力运维人员高效掌握设备状态，快速处置异常情况，提升系统智能化管控水平。

1.2 数据采集与传感部署

故障诊断系统的精准运行，依赖于关键参数的高效采集与传输，系统感知层选用工业级高灵敏传感器，确保在复杂电磁环境下具备强抗干扰性与长期稳定性。电流、电压信号采集采用霍尔传感器与互感器，精度控制在 ±0.5% 以内，可捕捉细微电气波动；温湿度监测采用 SHT35、DHT22 等数字传感器，凭借高响应速度与温度补偿特性，实时反馈设备内部热环境变化；针对局部放电等绝缘故障，部署超声波与高频电流传感器，实现介质击穿隐患的早期预警，在部署方案上，传感器按功能区域分布式布置，重

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

点在断路器触头、母线连接点、电缆终端等易损部位增设冗余测点，提升数据采集全面性；同时通过 RS485 总线或 Wi-Fi 网络构建边缘采集终端，兼顾布线灵活性与运维便捷性。

1.3 控制与通信模块

为满足智能诊断对数据传输实时性、可靠性的严苛要求，系统控制与通信模块采用双链路冗余设计，在本地通信层面，选用 Modbus RTU 有线总线构建采集终端互联网络，以保障数据传输的稳定性；同时集成 LTE/5G 或 LoRa 无线通信模块，灵活适配远距离传输及移动场景部署需求，作为通信枢纽的边缘控制器，搭载多核处理器并运行 Linux 等嵌入式操作系统，凭借多线程并行处理能力与本地存储功能，实现数据高效缓存与快速运算；其内置的边缘推理算法可对异常数据即时响应，有效规避数据积压与传输延迟问题，通信模块通过部署多协议兼容网关（支持 MQTT、OPC UA 等协议），实现与上层平台的无缝对接，既提升了系统组件间的互操作性，也为平台功能扩展预留接口，此外，系统创新性引入设备状态心跳检测机制与智能断链重联技术，当遭遇恶劣环境干扰或网络突发波动时，可自动触发链路修复程序，确保数据传输链路持续畅通，上述设计方案不仅实现了数据从终端到平台的高效流转，更为后续智能故障诊断提供了坚实的数据传输保障。

2 故障诊断算法与实现技术

2.1 基于规则的专家系统构建

在系统故障初筛环节，构建基于专家知识体系的规则推理系统，是提升诊断效率与准确性的重要手段，该系统将行业专家积累的大量故障案例和诊断经验，转化为“IF-THEN”结构化逻辑规则，以过热故障诊断为例，当设备电流超出额定值 20%且温度骤升 10℃以上时，系统即刻判定为接触电阻异常引发的过热故障，针对过载、接地、短路、绝缘老化等典型故障，系统整合设备运行参数、环境变量等多维度数据，建立多条件协同判断机制，为增强规则管理与扩展能力，采用规则树数据结构进行组织，确保在复杂工况下仍能实现高效推理，实际运行测试显示，该系统可在毫秒级时间内完成数百条规则并行匹配，快速输出故障初步诊断结果与处置建议，如某次模拟测试中，系统接收到局部放电异常和温度异常信号后，通过关联 3 条规则，仅用 0.12s 即得出“潜在绝缘老化风险”的诊断结论。

2.2 机器学习辅助识别技术

鉴于电气设备故障模式的多样性与运行环境的复杂性，单纯依赖专家规则难以覆盖所有异常场景，为此，系统引入监督学习算法，基于历史运行数据开展故障模式训练与智能分类，支持向量机（SVM）和随机森林（Random Forest）作为核心算法，在故障识别精度与泛化能力上表现突出：SVM 通过构建最优超平面，擅长处理电压波动、电流畸变等高维稀疏数据；随机森林则通过集成多个决策树投票机制，有效提升模型对噪声数据的抗干扰能力，在包含 30 种典型故障类型的数据集训练中，随机森林模型实现 94.6%的识别准确率，较传统 KNN 算法提升 8.2%，模型训练过程中，系统重点提取谐波分布、温升曲线、电流波形突变等关键特征，并结合主成分分析（PCA）技术降维优化，在保证诊断精度的同时大幅提升训练效率。

2.3 多源数据融合策略

为实现故障识别的全面性与精准性，系统采用多源数据融合策略，整合电气量（电压、电流）、环境量（温度、湿度）、设备历史状态及运维记录等多类型异构数据，数据融合主要通过加权决策融合与深度特征融合两种模式实现：前者基于各数据源独立诊断结果，根据可信度赋予权重并进行综合判断，例如母线过载故障诊断中，温度传感器诊断结果因精度优势权重设为 0.6，电流诊断权重设为 0.4，通过加权平均提升结论可靠性；后者借助多模态神经网络，将不同维度数据编码为统一特征向量，经联合学习实现分类，适用于数据交叉影响复杂的场景，某 220kV 变电站应用数据显示，融合前诊断准确率为 88.3%，引入特征级融合后提升至 95.1%，误报率降低 27%，此外，系统通过数据质量评价机制剔除无效或失真数据，确保融合结果的可信度。

3 系统集成与应用实施

3.1 硬件平台集成设计

故障诊断系统的可靠运行依赖于高性能硬件平台的支撑，边缘计算节点采用 ARM Cortex-A 系列嵌入式处理器，凭借低功耗特性与高并发处理能力，结合灵活的 I/O 扩展接口，可在设备端完成多通道数据采集、滤波降噪、实时分析及本地诊断，有效分担上层平台的数据处理压力，将诊断响应时间缩短至毫秒级，边缘网关选用 NXP i.MX6 等工业级模块，集成 RS485、CAN 总线及以太网接口，支持 4G/5G 无线通信模组，既能实现传感器与上位机的近距离高效通信，又能满足分布式电网场景下长距离、低时延的数据传输需求，硬件系统配置独立电源冗余模块与 UPS 不间断电源，确保在市电中断或电压波动等异常情况下持续稳定运行，人机交互层面，采用 7～10 英寸工业级触摸屏，基于 Qt 框架或安卓系统开发定制化操作界面，以可视化图表、动态曲线等形式实时呈现设备运行状态、参数变化趋势、故障诊断结果及风险等级，为现场运维人员提供直观便捷的操作管理界面，显著提升人机交互效率与故障处置响应速度。

3.2 软件功能实现与界面展示

软件系统采用模块化设计，涵盖设备管理、实时监测、故障分析、预警推送及系统维护五大核心功能模块，Web 端基于 Vue.js 构建响应式前端界面，后端采用 Spring Boot 框架结合 MySQL 数据库，保障高并发场景下的稳定运行，

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

平台支持多终端访问与权限分级管理，适配调度、运维、管理等多角色业务需求，实现数据访问与操作权限的精细化控制，诊断流程通过 SVG 矢量图形与 Echarts 可视化组件，动态展示“数据采集—特征识别—故障判断—预警触发”全链路逻辑，支持设备状态拓扑图与历史数据联动查询，便于运维人员快速追溯故障源头，预警模块集成短信、邮件、企业微信多通道推送机制，可根据故障等级设置多级阈值，并联动自动控制策略（如温度超限触发设备断电保护），构建覆盖监测、诊断、处置的完整闭环，切实保障电网设备运行安全。

3.3 部署测试与运行环境适应性

系统部署前通过多轮软硬件联调，验证模块协同稳定性，测试内容涵盖通信断链恢复、边缘计算响应速度、传感器容错能力及环境适应性等，实测数据显示，边缘节点规则推理平均响应时间为 0.15s，数据上传延迟控制在 1s 内，满足实时性要求，系统在高温高湿变电站、粉尘工矿及沿海高盐雾等典型场景完成适应性验证，核心硬件防护等级达 IP65 以上，抗电磁干扰能力符合 IEC 61000-4 三级标准，其中边缘网关的被动散热与抗震设计显著提升户外环境可靠性，部署采用“云边协同+本地自治”架构，支持远程配置、模型更新与软件升级，有效降低运维成本。

4 实际应用效果与优化方向

4.1 应用于变电站的效果分析

该电器成套设备故障诊断系统在华东某 220kV 变电站完成部署，覆盖变压器室、开关柜区及电缆夹层等核心区域，系统投用初期即成功预警一起断路器过热故障：当电流出现不规则波动 2.8s 后，系统迅速捕捉到“接触电阻异常升高”信号，并在 4s 内完成诊断与告警推送，较传统人工巡检提前 30min 发现隐患，避免了因故障蔓延可能导致的母线跳闸事故，对比部署前后半年数据，平均故障响应时间从 12.5min 缩短至 2.1min，设备故障诊断准确率由 72.3%提升至 93.8%，尤其在多源数据融合与边缘推理技术协同作用下，复杂复合型故障（如局部放电伴随湿度升高引发的绝缘劣化）识别率提升超 20%，此外，系统年均触发 12 次“轻微异常”预警，成功防范 4 起潜在严重故障。

4.2 用户反馈与运行数据评估

运维班组的定期调研结果显示，超 85%的运维人员认可该系统“显著提升日常巡检效率与风险感知能力”，尤其在夜间无人值守或高温高湿等恶劣工况下运行稳定，平台数据接口记录表明，设备告警平均响应时间控制在 1min 内，误报率仅 3.6%，显著优于同类系统约 8%的行业平均水平，系统累计接入 73 台电气设备，月均处理诊断数据超 52 万条，平台数据处理稳定率达 99.2%，硬件稳定性方面，自部署以来核心设备无重大故障，系统运行可用率达 99.7%，在一次雷雨天气引发的瞬态过电压事件中，系统快速捕获异常信号并触发远程报警，维护人员及时响应处置，确保设备未受损伤，充分验证了系统在极端场景下的快速响应能力。

4.3 系统存在问题与未来优化

系统虽整体运行态势良好，但在实际部署中仍显露出若干待改进之处，就极端边界条件下的小概率故障而言，如微弱电弧放电、瞬时电压跌落等，现有算法模型的识别敏感度尚有不足，易因特征模糊而将其归为“无异常”状态，存在漏判隐患，未来可探索引入深度学习模型与时序异常检测算法，以强化对复杂波形的动态识别能力，在多源数据融合环节，部分传感器数据存在时序不一致及信号抖动问题，对融合效果产生影响，需进一步优化同步机制与信号滤波算法，以提升融合诊断的稳定性与抗干扰性能，用户反馈表明，界面交互存在一定操作门槛，部分参数界面专业性较强，非专业人员难以快速掌握，后续规划开发多语言、图形化引导界面，并嵌入智能语音辅助系统，以增强系统的人机友好性与适用范围。

5 结语

在智能电网加速演进的背景下，电器成套设备的智能化运维成为保障电网稳定安全运行的核心环节，本文研发的故障诊断系统通过分层架构设计，有机融合专家规则推理与智能算法，实现了设备运行状态的高效监测与故障精准诊断，实际应用结果表明，该系统在故障响应时效、识别准确率及用户体验等维度均表现卓越，展现出良好的工程适用性与推广价值，未来，系统将聚焦数据融合精度提升、人机交互体验优化及算法智能化升级，持续推动技术迭代，为构建安全高效、智能可靠的电力运行体系提供更强有力的支撑。

[参考文献]

[1]胡成芳.基于多智能体强化学习的智能电网分布式能源管理[D].江苏:东南大学,2023.
[2]丁俐夫.基于多智能体强化学习的智能电网分布式能量管理研究[D].浙江:浙江大学,2023.
[3]武志宏,杨子成,郭海旭,等.季节性负荷需求下智能电网电力交易体系研究[J].微型电脑应用,2022,38(6):79-81.
[4]李嘉文.基于深度确定性策略梯度算法的智能发电协调控制技术[D].福建:华南理工大学,2022.
[5]宗鸣镝.智能微电网中多源协同控制策略及其动态响应特性分析[J].电气技术与经济,2025(5):7-10.

作者简介：邹青（1991.10—），单位名称：江西泰开成套电器有限公司，毕业学校和专业：九江学院/机械设计制造及其自动化。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

智能电表推广对居民用电行为的影响研究

张 恒 沈晓敏
内蒙古电力集团阿拉善供电公司，内蒙古 阿拉善 750306

[摘要]智能电表的推广在提高能源利用效率、优化电力管理等方面具有重要作用。通过对居民用电行为的观察与分析，研究表明，智能电表能显著提升居民对电力消费的感知与控制力，从而促进节能意识的增强与用电模式的变化。智能电表提供实时用电信息，有助于居民调整用电习惯，尤其是在高峰时段的用电管理。此举不仅降低了用电成本，还促进了电力需求的合理分配和能源的可持续使用。

[关键词]智能电表；用电行为；节能；电力管理；能源效率
DOI：10.33142/ucp.v2i3.16740 中图分类号：TM9 文献标识码：A

Research on the Impact of Promoting Smart Meters on Residents' Electricity Consumption Behavior

ZHANG Heng, SHEN Xiaomin
Alxa Power Supply Company of Inner Mongolia Power Group, Alxa, Inner Mongolia, 750306, China

Abstract: The promotion of smart meters plays an important role in improving energy efficiency and optimizing power management. Through observation and analysis of residents' electricity consumption behavior, research has shown that smart meters can significantly enhance residents' perception and control of electricity consumption, thereby promoting the enhancement of energy-saving awareness and changes in electricity consumption patterns. Smart meters provide real-time electricity usage information, which helps residents adjust their electricity habits, especially during peak hours for electricity management. This not only reduces electricity costs, but also promotes the rational allocation of electricity demand and the sustainable use of energy.

Keywords: smart meter; electricity usage behavior; energy-saving; electricity management; energy efficiency

引言

随着智能技术的飞速发展，智能电表作为智能电网的重要组成部分，逐渐进入居民家庭。其通过实时数据采集和反馈，极大地改变了传统用电方式和居民的用电习惯。智能电表的推广不仅提升了电力管理效率，也为居民提供了更为直观的用电信息，促使其更加关注能源消耗和节能减排。探索智能电表对居民用电行为的影响，不仅具有重要的学术价值，也对优化电力资源配置、推动能源可持续发展具有现实意义。

1 智能电表的技术原理与应用概述

随着能源需求的不断增加和环境保护意识的提高，智能电表作为一种新型的电力计量与管理工具，正在全球范围内得到广泛应用。其通过实时采集和反馈用电信息，能够有效改变传统的用电行为，为居民节能减排、优化电力管理提供了新的可能。

1.1 智能电表的基本原理

智能电表是一种集数据采集、存储、传输与远程控制等功能于一体的现代化电力计量设备。其通过嵌入式微处理器对电流、电压、功率等数据进行实时监测，并通过通信网络将数据传输至电力公司或用户终端，实现实时、精准的电力计量。智能电表不仅具备传统电表的计量功能，还能对用电行为进行分析，提供实时电量数据，帮助用户更好地了解自身的用电情况。它能够通过与智能家居系统或其他设备的联动，实现更加精确和智能的用电管理。智能电表的核心技术包括数据采集、传输和处理技术，以及基于大数据的电力管理系统。同时，智能电表还具备远程抄表、远程控制、断电保护等功能，为电力公司提供了更高效、便捷的管理手段，提升了电力系统的运行效率。

1.2 智能电表的主要应用

智能电表在居民用电管理中的应用，主要体现在对电力消费行为的实时监控与反馈上。通过对电力数据的实时采集和上传，用户可以实时查看自己的用电情况，从而更精确地掌握电力使用规律，调整用电习惯。例如，通过智能电表的实时数据分析，居民可以清楚地了解自己在不同时间段的用电量，从而避免高峰时段的过度消费，降低电费支出。同时，智能电表还能够与智能家居设备联动，实现更为智能化的电力管理，提高能源利用效率。对于电力公司而言，智能电表的广泛应用使得远程抄表和计费变得更加高效，降低了人工成本，提高了电力管理的智能化水平。

1.3 智能电表对电力管理的优化作用

智能电表的推广，推动了电力行业向更高效、智能的方向发展。其不仅为居民提供了更精确的用电数据，还使

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

得电力公司能够通过大数据分析，优化电力调度与负荷管理。利用智能电表传输的实时数据，电力公司可以精确掌握各区域的用电负荷，及时调整电网的运行状态，避免过度负荷或电力浪费。更重要的是，智能电表能够促进电力需求侧管理，通过对用电模式的调整，减轻高峰时段的电力压力，提高电力供应的稳定性与可靠性。此外，智能电表的数据采集与处理系统，还为电力行业的能源管理、可持续发展提供了宝贵的数据支持。

2 智能电表对居民用电行为的影响机制

智能电表的引入，不仅仅是对传统电力计量方式的替代，更对居民的用电行为产生了深远影响。通过智能电表，居民能够更好地掌控用电情况，从而优化消费模式。

2.1 实时数据反馈促使用电意识提升

智能电表的最直接影响是通过实时反馈用电数据来提升居民的节能意识。传统的电表通常只在月末或季度末进行读数，导致用户对自身用电情况的掌握滞后且模糊。而智能电表则通过实时数据传输，使得用户可以随时获取最新的用电信息，了解自己的用电状况。通过这种信息透明化，居民对能源的消耗变得更加敏感，也更容易在高峰时段或非高效时段进行用电调节。这种实时反馈机制有效促使居民改变过度消耗电力的行为，增强了节能减排的意识，达到节约能源的目的。

2.2 用电行为的个性化调整与优化

智能电表不仅可以提供用电的实时数据，还能够根据用户的历史用电数据进行智能分析，帮助用户发现自己的用电规律和潜在的节能机会。例如，智能电表可以通过分析用户用电高峰时段、低谷时段的用电数据，推送合适的用电建议，如避开电价高峰时段或采用更加节能的用电设备。对于一些高能耗电器，智能电表还可以提醒用户是否需要及时关闭或优化使用。这种基于大数据分析的个性化用电优化，使得居民可以根据自身的用电特点进行行为调整，进一步实现节能与成本控制。

2.3 社会互动与行为变化的推动力

智能电表的推广不仅影响了个体的用电行为，还通过社区和社会层面的互动影响了整体的用电模式。许多智能电表系统不仅为用户提供用电数据，还通过平台、社交媒体或社区活动鼓励居民之间进行对比与互动。通过与邻里或社区的用电数据对比，居民能够更清楚地看到自己在节能方面的表现，从而激发竞争意识和模仿行为。例如，一些社区或小区会设立节能竞赛，奖励用电最节省的家庭，或提供绿色奖品与优惠，这种集体行动有助于更广泛地推广节能行为，进一步带动居民改变用电习惯。通过这种方式，智能电表不仅仅是个体层面的节能工具，更成为推动社会层面能源消费结构优化的重要力量。

3 智能电表推广对节能减排的促进作用

智能电表的推广为节能减排提供了新的技术手段。通过提高居民的用电透明度和实时监控能力，智能电表有助于实现能源消费的优化，从而促进了能源的高效利用和减排目标的达成。

3.1 实时监控助力用电优化

智能电表的最大优势在于其能够提供实时的用电数据，帮助用户全面了解自己的电力消耗情况。通过随时获得详细的电量信息，居民可以根据实时数据调整用电行为，避免高峰时段的过度消费。智能电表的监控功能使得用户能够清楚地知道哪些电器消耗的电力较高，从而优化使用习惯，比如选择在低谷时段使用高能耗设备，或者对不必要的用电行为进行避免。通过这种方式，智能电表有效地减少了无效电力消耗，有助于实现能源的节约与减排。

3.2 高效电力调度与负荷管理

智能电表不仅对单个用户有促进作用，还通过汇总各个用户的数据，帮助电力公司实现更精确的电力调度与负荷管理。传统电网的用电数据多是通过人工抄表或月度数据收集，难以及时反映用电趋势，且常常不能及时调整电网负荷。而智能电表通过实时数据采集，能够为电力公司提供详尽的用电负荷数据，帮助其预测和调度电力供应。特别是在高峰负荷期间，电力公司可以通过智能电表的数据分析，实时了解用电负荷分布，合理安排发电和电网负荷，避免能源浪费，提高电网运行效率。这一高效的负荷管理，有助于减少电力生产过程中可能造成的能源浪费，从而达到节能减排的目的。

3.3 支持绿色能源和可再生能源的应用

智能电表在推动节能减排的过程中，也为绿色能源和可再生能源的广泛应用提供了支持。随着太阳能、风能等可再生能源的普及，智能电表能够实现多种能源的整合管理。居民在使用可再生能源时，智能电表可以精确记录和优化能源的使用情况，从而提高绿色能源的利用率。智能电表不仅能够监测来自电网的电力消耗，还能精准跟踪家庭太阳能发电、储能系统等设备的运行情况，确保多种能源的合理搭配与利用。通过智能电表的实时反馈，用户能够更好地把握和利用可再生能源，降低对传统化石能源的依赖，从而推动能源消费的绿色转型和减排目标的实现。

4 智能电表在高峰时段用电管理中的优势

高峰时段的电力需求常常给电网带来巨大压力，智能电表作为一种先进的电力管理工具，为高峰时段的用电调控提供了高效、灵活的解决方案，有助于缓解电力供应压力。

4.1 实时数据监控精准识别高峰

智能电表的实时数据监控功能能够精准识别和分析用电高峰的时段和原因。在传统的电表系统中，电力消耗的数据往往是滞后的，难以及时反映用电高峰。而智能电表通过实时采集用电数据并传输至电力公司，能够及时发现用电量急剧上升的趋势，帮助电力公司准确掌握高峰时段的用电负荷。通过这些数据，电力公司可以有效预测用

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

电高峰，提前采取措施，避免电力供应的紧张。对于居民来说，智能电表也能实时展示当前的用电状态，使其意识到高峰时段的用电压力，从而做出适时的用电调整。

4.2 动态调整激励机制促进节能

智能电表的推广不仅提供了实时数据，还可以结合动态电价机制来激励用户在高峰时段进行用电调整。通过实施“分时电价”政策，智能电表可以根据不同时段的电力需求和供应情况，自动调整电价，鼓励居民在电价低谷时段使用电力。居民通过智能电表获取实时电价信息，可以根据价格波动选择在低峰时段使用高能耗设备，或通过延迟使用非紧急电器，减少高峰时段的用电需求。这种动态调整机制不仅帮助居民节约电费，还能有效平衡电力负荷，减轻高峰时段的电网压力。电力公司通过这种激励机制，可以更好地调节全网的负荷，提高电网的运行效率。

4.3 用户行为改变优化电力负荷

智能电表的普及使得用户的用电行为逐渐发生改变，尤其是在高峰时段的用电习惯上。居民通过智能电表可以随时查看实时用电数据，清楚地了解在不同时间段的用电量，并能够对用电情况作出及时的调整。例如，用户能够看到自己在某一时段的高耗电量，并通过智能电表的提示，主动选择在低负荷时段使用家电设备，或者减少不必要的用电行为。智能电表通过提供实时反馈，有助于培养居民节能减排的意识，使其在高峰时段更加自觉地减少不必要的电力消费，从而优化整体电力负荷的分布。通过这种方式，智能电表在高峰时段的用电管理中发挥了积极作用，促进了电网负荷的合理调节和电力资源的高效利用。

5 智能电表对电力消费模式与能源结构优化的作用

智能电表不仅推动了电力消费模式的转变，还在能源结构优化方面发挥了关键作用。通过精准的数据反馈，智能电表帮助优化能源使用，提高电力系统的效率，推动绿色能源的利用。

5.1 精准数据引导电力消费模式转型

智能电表通过实时采集用户的电力数据，能够精准地反映出不同时间段的用电量。这一功能使居民能够清晰地了解到自己的用电习惯，并根据实际情况进行调整。通过智能电表提供的用电数据分析，居民可以更好地选择在低电价时段使用高耗能设备，避免在电价高峰期使用，从而实现电力消费模式的转变。进一步地，智能电表还能够提醒居民在非高效时段关闭不必要的电器，避免能源浪费。这一变化不仅让居民节约了电费，还促进了电力消费的合理化，推动了全社会能源使用的优化。

5.2 促进绿色能源的广泛应用

智能电表在优化电力消费模式的同时，也推动了绿色能源的应用与发展。随着太阳能、风能等可再生能源的不断普及，智能电表能够实现对绿色能源的智能计量与管理。居民如果使用太阳能或其他形式的绿色能源，智能电表可以监测并反馈其使用情况，确保绿色能源的最大化利用。智能电表的数据分析不仅能帮助用户了解绿色能源的产生和消耗情况，还能够优化能源使用，确保绿色能源的合理接入电网，减少传统化石能源的依赖。通过智能电表的推广，可再生能源的利用得到了大力支持，进而推动了能源结构的优化。

5.3 提高电力系统效率与可持续发展

智能电表的普及不仅改变了居民的用电行为，还提升了电力系统的整体效率。通过实时监控用户的用电数据，电力公司能够及时了解用电负荷的变化，从而优化电力调度与电网运行。智能电表能够精确跟踪电力需求和供应的动态变化，帮助电力公司调整发电计划与电网负荷，避免电力浪费和资源的不合理配置。借助智能电表，电力公司可以提前识别用电高峰和低谷，从而调整发电和调度策略，确保电网稳定运行。这种高效的电力管理方式不仅有助于减少能源浪费，还提升了电力系统的可靠性和运行效率，降低了能源消耗的环境负担。同时，智能电表在推动可再生能源接入电网方面起到了积极作用，为低碳经济的转型奠定基础。随着智能电表的普及，电力系统的可持续发展得到了保障，能源结构的优化进程也得到了加速。

6 结语

智能电表作为一种先进的电力计量与管理工具，通过实时数据采集与反馈，显著优化了居民的用电行为，推动了节能减排目标的实现。它不仅帮助居民调整用电习惯，降低高峰时段电力负荷，还促进了绿色能源的高效利用，推动了能源结构的优化。同时，智能电表提高了电力系统的运行效率，支持了可持续发展的能源转型。随着智能电表的进一步推广，未来的电力消费将更加智能化、节能化，有助于实现绿色、低碳社会的发展目标。

[参考文献]

[1]侯坤福.基于深度学习的居民用电非侵入式负荷分解研究[D].甘肃:兰州理工大学,2021.
[2]范宇.基于智能电表数据的用户用电行为挖掘及电力负荷预测算法研究[D].吉林:吉林大学,2024.
[3]宋熙.低压智能配电系统在居民用电中的应用[J].内江科技,2024,45(7):88-90.
[4]周凌云.成都市老旧小区智能供电服务问题与对策研究[D].重庆:西南大学,2024.
[5]邵其霞.智能电网时代,电力营销优质服务探寻[J].云端,2025(8):119-121.

作者简介：张恒（1980.9—），女，毕业于内蒙古工业大学，本科学历，高级工程师，研究方向：电气工程及其自动化；沈晓敏（1983.12—），女，毕业于华北电力大学（保定），工程硕士，高级工程师，研究方向：电气工程。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

互联网背景下的电气自动化技术应用中的节能设计研究

李 淼
北京外交人员服务局，北京 100600

[摘要]伴随着互联网技术的迅猛跃进，电气自动化系统实现了智能化与信息化的深度结合，促进节能设计理念持续翻新，节能成了电气自动化技术应用中的核心目标，涉及系统优化管控、智能化管理以及绿色能源整合等情形，采用引入物联网、大数据、人工智能等技术途径，促使能效水平上扬，减少能源耗费量，引领智能制造跟绿色转型协同迈进，把目光聚焦在当前节能设计的核心技术通路与典型实操，贴合未来的发展趋势，呈现其在低碳经济格局下的重大应用价值。
[关键词]电气自动化；节能设计；互联网技术；智能控制；绿色能源
DOI：10.33142/ucp.v2i3.16734 中图分类号：TM76 文献标识码：A

Research on Energy-saving Design in the Application of Electrical Automation Technology under the Internet Background

LI Miao
Beijing Diplomatic Service Bureau, Beijing, 100600, China

Abstract: With the rapid development of Internet technology, the electrical automation system has realized the deep combination of intelligence and informatization, promoted the continuous renovation of energy conservation design concepts, and energy conservation has become the core goal in the application of electrical automation technology, involving system optimization and control, intelligent management, green energy integration and other situations. The introduction of the Internet of Things, big data, artificial intelligence and other technical approaches has promoted the improvement of energy efficiency, reduced energy consumption, led intelligent manufacturing and green transformation to move forward in a coordinated manner, focused on the current core technology path and typical practices of energy conservation design, adapted to the future development trend, and presented its significant application value in the low-carbon economy.
Keywords: electrical automation; energy-saving design; Internet technology; intelligent control; green energy

引言

鉴于全球能源供应趋紧以及“双碳”目标不断推进的形势，节能减排成为工业发展和技术革新的核心引领，作为能源运用的主要部分，电气自动化，节能设计在此显得尤为关键，伴随着互联网技术的普遍推广，电气自动化系统朝着数字化、智能化方向迅猛发展，达成远程监控、数据分析及优化控制的一体集成，采用融合物联网、云计算等技术的手段，可切实增强能效管理的能力，为绿色制造与可持续发展筑牢支撑根基，映现出广阔的应用拓展前景。

1 互联网+时代电气自动化发展的新特征

1.1 信息互联与系统集成趋势

以“互联网+”背景为依托，电气自动化系统正迅速朝着全面互联与智能融合的方向迈进，物联网技术的普遍应用让各类感知终端设备得以实现高效连接，搭建起健全的信息网络格局，优化数据获取及共享的效率水平，大数据技术借助对所采集的运行参数、能耗数据开展分析与建模工作，协助实现系统运行状态的全面把控与预测优化。面对这一特定背景，电气自动化系统将传统的“点对点”控制模式升级为以集成平台为基础的“协同控制”模式，既提高了控制精准水平，又增添灵活性，同时为节能优化构建了数据基础与技术后盾，系统集成的趋向强化了各子系统彼此的协作能力，切实削减冗余能耗，消除信息孤岛障碍。

1.2 自动化控制的智能化演进

电气自动化控制技术靠继电器、PLC 等单一控制逻辑起作用，逐步演变成以嵌入式系统、边缘计算与人工智能为核心的智能控制组态，处于节能设计进程里，实时监测环境与负载变化是智能控制系统的能力之一，还可依据数据变动自适应地对运行策略加以调整，实现能耗的动态掌控。采用引入模糊控制、自学习算法等智能控制举措，设备运行状态可精准契合需求负荷，防止能源的无谓浪费，跟传统的控制办法相比，智能系统具备诸如自诊断、自调节、自优化的功能，显著加快系统的整体能效与响应步伐，切实完成按需供能、分布式控制及节能运行的目标。

1.3 基于云平台的远程监测与运维

云计算平台的启用极大拓宽了电气自动化系统的管理边界，让远程监测跟集中控制成为现实，依托于云平台的电气系统可实现对设备运行状态、能耗水平、故障情况等关键参数全周期实时的监督管理，再依托云端数据中心进行高效的处理分析，该技术突破实现了大型系统统一调度与节能优化的目标，而且极大减轻了传统人工运维所需的时间成本与

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

能耗压力。运维人员利用远程终端便可完成设备状态的查询、预警与调整工作，使系统稳定运行得到保证，同时实现能耗的极小化，基于大数据开展的能耗及故障预测工作能力，以此实现设备寿命的延长以及能源损耗的降低。

2 电气自动化节能设计的基本理念

2.1 最优化控制策略设计

节能设计的首要任务是采用科学合理的控制策略，力求最大幅度降低系统运行的能耗，处在电气自动化系统里，最优控制策略要求既具备高效响应能力，又有精准调节性能，还得结合实际存在的负载波动，实现动态适配及节能作业，目前被大量采用的 PID 控制算法，已借助多种改良手段提升其节能成效，诸如自整定 PID、模糊 PID 之类，保证系统在变化条件下实现稳定与高效。基于人工智能的自适应控制策略会根据设备运行规律及外部环境变化主动调整参数，达成“按需给予能量、动态高效响应”的运行样式，采用智能控制算法对能耗进行实时监测与反馈改良，也有效增进了能源使用效率，同时保障了系统运行的安全与可靠。

2.2 模块化与标准化系统构建

模块化设计理念突显把复杂系统分割成若干标准化、可再度组合的功能模块，让系统在构建、调试、运维事宜上更高效灵活，在电气自动化的节能设计工作里，模块化结构推动功能隔离和资源按需配置的达成，从而减少非必需的能源浪费，供配电系统能依照负载需求灵活组合各类型电源单元，以集中控制的方式实现负载均衡管理，防止负载过载运行与空载时的能耗。采用模块化设计可轻松集成节能控制器、传感器和智能终端，切实增强系统信息的感知与反应水平，借助标准化构建可降低设计成本与维护的难度，还能保证各子系统相互协同且彼此互通，为建成统一、集约、高效的节能自动化系统打下坚实底座。

2.3 生命周期能源管理理念

现代节能设计不应仅聚焦于系统运行阶段的能效把控，而应在系统全生命周期管理里持续贯穿，在设备选型及系统架构设计的初始阶段，就应融入能耗优化相关理念，在系统设计早期阶段，引入节能电机、变频调速器和低能耗开关装置，可自源头起削减整体能耗。运行阶段借助智能监测与控制系统达成能耗实时监管与优化调度目标，实现动态节能成果，当处于系统后期维护这个阶段，应按周期开展设备性能评价与能效诊断，赶快替换高耗能的相关部件，保障系统长期维持高效的运转状态，利用数据采集以及能耗建模，可为节能改造的决策提供支撑依据，推动持续进步，生命周期能源管理理念主张从“全过程”发力，设立节能目标明确、技术支撑完善的系统运行闭环，为实现可持续发展的关键手段。

3 关键节能技术与应用分析

3.1 高效电机与变频驱动技术

电气自动化系统节能设计可借助高效电机与变频驱动技术这一重要手段，传统异步电机效率不怎么高，实现精准调速颇具挑战性，容易引发能源的无谓消耗，采用如永磁同步电机这类高效电机配合变频器控制，能依照负载需求对输出功率做灵活调节，减少电机空转、频繁启停的现象出现，在风机、水泵这类设备当中，利用变频调速技术可按需给予能量，大幅增进能效水平。

3.2 节能型照明与智能感应系统

照明系统是能耗结构里的关键构成部分，对其进行节能优化是电气自动化节能设计里的关键一环，传统照明一般采用手动控制与高能耗灯具，光源利用效益欠佳、控制手段粗野，引发大量无端的能量挥霍，节能型照明系统借引入 LED 光源把传统白炽灯或荧光灯替换掉，且采用智能感应技术开展自动操控，保证照明质量，同时实现能耗的大幅下降。红外感应、光照监测、时间管理等是较为常见的控制方式，系统可按照环境光强自行调节亮度，也能按照人员的活动状态实现灯具的智能启闭，最终实现“人临灯明、人去灯暗”的高效管理体系，在工厂车间、办公大楼及公共区域等场所里，智能照明控制系统可显著提升使用的舒适感，还可有效削减 30%以上的照明用电能耗，为建筑能效等级提升及绿色节能建筑的构建给予有力支持。

3.3 能源回馈与储能控制技术

于高能耗设备运行时，能源回馈与储能控制技术表现出极大节能潜力，诸如电梯、起重机以及港口吊装系统这类设备，在频繁地启停和上下移动期间，会产生大量动能与势能的损耗，采用配置回馈单元，可把设备运转时产生的再生能量回收，之后反馈至电网或储能设备里，显著提升能源的利用成效。下行或减速期间电梯系统产生的电能不再被无谓消耗，而是凭借能量回馈装置把它转化为交流电输回配电网络，为其他设备提供能源，或者储存到蓄电池里，当作备用能量源，在轨道交通、高架仓储这类领域，在牵引与制动阶段，能源回馈系统应用普遍，切实减轻高峰期电网的压力，降低运作花销。

4 电气自动化系统中节能控制策略的智能化实现

4.1 大数据驱动的能耗分析建模

伴随智能化时代的发展背景，电气自动化系统节能优化借助大数据技术成重要途径，在设备运行当中部署各类传感器及采集模块，可全面采集电流、电压、负载、温度、频率等实时参数，创建高维度与多时序相结合的能耗数据库，基于这类数据，可实施统计分析、趋势预判以及能效建模，判定高能耗节点与异常的工况情形，为制定节能方案给予科学的依据支撑。通过搭建以运行历史数据为基础的能效评估模型，能把不同工况下设备能效表现进行量化处理，支持管理者开展节能调度及设备替换相关决策，借助大数据驱动开展的能耗建模，有效增强了能效优化的科学性与可操作性，也给后续智能控制策略的实施搭建了坚实的框架。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

4.2 基于 AI 的故障预测与能耗优化

人工智能途径，尤其值得一提的是引入机器学习算法，令电气系统的能耗控制从“被动应对状况”过渡到“主动预测情况”，依靠大量历史运行数据进行训练操作，AI 模型可识别出设备潜藏的故障风险以及能效降低趋势，事先发出预警讯息并规划相应的节能调整举措。复杂设备运行状态的识别及预测，常借助卷积神经网络（CNN）和长短期记忆网络（LSTM），对电机、变频器等关键部件能效的变化趋势作出精准判定，凭借故障预测工作，不仅能消除突发性停机造成的能量浪费问题，还可做到更合理的运维资源分配，减少冗余运行引发的无效能源损耗，基于 AI 辅助实施的能耗优化调度，也能依据实际负载与电价策略灵活更改运行规划，促使经济性与能效的双重上扬。

4.3 自适应调节与边缘计算协同机制

处于对节能控制有高响应、高可靠性需求的状况下，边缘计算技术跟 AI 调度策略的结合成发展新态势，跟传统云端处理模式相比照，边缘计算可在靠近数据源的设备端执行本地分析及控制响应，显著减短反馈周期，增加系统运行的灵活态势，利用 AI 算法的自适应调控功能，边缘端设备能依据实时能耗信息自行判别运行状态，然后实施能效优化操作。若局部设备呈现空载、轻载的情形，边缘节点可迅速实施动态功率调整，启动节能模式或者切换至低功耗运转方式，该机制被广泛运用在智能制造、智能楼宇和微电网等各类场景里，保障系统于复杂多变的环境里始终维持高效、低能耗的运行模式，体现出良好的应用前景与节能效能。

5 实际案例分析与发展趋势展望

5.1 智慧工厂中的节能电气系统设计

在智能制造逐步深入推进的环境里，某大型汽车制造企业凭借构建智慧工厂，全方位采用节能型电气自动化系统，实现了明显的能源利用效率提升，此企业采用高效电机及变频调速技术，优化生产线设备的运行状态，联合能耗数据采集平台，对生产阶段的能源使用开展全流程监控与测评，凭借 MES 系统跟能效管理平台的深度结合，达成对空压机、供配电及照明系统的动态调整与集中操控，实施结果证实，该企业整体电耗有大约 22%的下降，实现碳排放 15%的减少，为绿色制造呈上了实践实例。

5.2 城市楼宇自动化系统中的能效优化

在城市建筑节能管控工作里，节能监管平台与楼宇自控系统（BAS）的融合成了主流方向，某高层写字楼引入像智能照明控制、空调优化调度、电梯节能运行的自动化系统，借助中央控制平台达成数据采集、运行优化以及能效分析工作，系统凭借环境传感器以及人流监测技术，自行调节室内温度跟照度，实现按需求供能模式，监管平台可针对各系统能耗进行分项统计，开展趋势分析，为运营管理给予决策方面支持，该类集成化能效控制方式有效削减了 30%以上的综合能耗，促进建筑能源利用效率及管理智能化水平上扬。

5.3 节能设计未来趋势与技术融合路径

未来电气自动化节能设计会向更智能、高效且相互融合的方向迈进，5G 与工业互联网融合可为系统赋予具备更高带宽、更低延迟的数据交互能力，助力形成实时响应的能效管理网络格局，电气系统的设计与运行将融入碳管理平台及“双碳”数据可视化技术，促进从“能耗控制”过渡至“碳控精算”，AI 算法、自主学习系统以及边缘智能会深度参与节能策略的制定与实施过程，形成更精准、变通的绿色能效体系。

6 结语

互联网赋能让电气自动化加速驶向智能化、集成化发展的全新阶段，节能设计也由此开拓出更广阔的应用前景空间，采用高效电机、智能控制、大数据分析及 AI 预测等关键技术的融合应用，大幅提高系统运行效能与能源利用水平，实例实践说明，在工业与建筑领域，智能节能方案皆有良好成效，应当增进跨学科技术协同，引导绿色能源、边缘计算与碳管理系统深度契合，为实现碳达峰碳中和目标夯实有力的技术后盾。

[参考文献]

[1]姜磊.“互联网+”背景下高职“电气自动化技术”专业一体化课程教学改革创新实践[J].工业和信息化教育,2017(12):85-88.

[2]保生强.“互联网+教育”在高职电气自动化技术专业的应用探究[J].智库时代,2018(44):265-269.

[3]于磊.“互联网+”背景下电气自动化专业创新型实验设备的研制及教学应用[J].才智,2019(31):62.

[4]汪雅丹.基于“互联网”背景下计算机技术应用研究[J].信息记录材料,2020,21(8):235-236.

[5]韦文杰.互联网背景下的电气自动化技术应用中的节能设计研究[J].模具制造,2024,24(3):188-190.

作者简介：李淼（1987.8—），毕业院校：中国矿业大学，所学专业：电气工程与自动化，当前就职单位：北京外交人员服务局，职务：无，职称级别：工程师。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

变电站选址的方法和在电网建设中的作用

谷 裕 赵 航
沈阳市规划设计研究院有限公司，辽宁 沈阳 110000

[摘要]变电站选址是电网规划的核心环节，其决策质量直接关系到电力系统的可靠性、经济性与可持续发展。系统梳理了变电站选址的技术方法与实践价值，提出在多目标协同框架下，需统筹技术可行性、经济成本与生态社会约束的动态平衡。通过分析 GIS 空间分析、多目标优化模型及人工智能辅助决策的技术路径，揭示了其在缩短供电半径、降低线损及支持新能源消纳中的关键作用。进一步指出面对能源转型与极端气候的双重挑战，韧性导向的选址策略将成为电网适应性升级的重要抓手，为复杂环境下的电网规划提供了方法论参考，对推动低碳电力系统建设具有现实意义。

[关键词]变电站选址；方法；电网建设；作用
DOI：10.33142/ucp.v2i3.16731 中图分类号：TM63 文献标识码：A

The Method of Substation Site Selection and Its Role in Power Grid Construction

GU Yu, ZHAO Hang
Shenyang Planning & Design Institute Co., Ltd., Shenyang, Liaoning, 110000, China

Abstract: Substation site selection is the core link of power grid planning, and its decision quality directly affects the reliability, economy, and sustainable development of the power system. The system has sorted out the technical methods and practical value of substation site selection, and proposed a dynamic balance between technical feasibility, economic costs, and ecological and social constraints in a multi-objective collaborative framework. By analyzing the technical paths of GIS spatial analysis, multi-objective optimization models, and artificial intelligence assisted decision-making, the key role of GIS in shortening the power supply radius, reducing line losses, and supporting the consumption of new energy has been revealed. Furthermore, it is pointed out that in the face of the dual challenges of energy transition and extreme climate, resilience oriented site selection strategies will become an important tool for upgrading the adaptability of the power grid, providing methodological references for power grid planning in complex environments and having practical significance for promoting the construction of low-carbon power systems.

Keywords: substation site selection; method; power grid construction; role

引言

在全球能源结构向清洁化、智能化转型的背景下，电网基础设施的规划逻辑正经历深刻变革。作为电能传输的枢纽节点，变电站的选址不仅影响局部供电质量，更深度耦合于新型电力系统的安全稳定运行。传统选址方法依赖经验判断与静态成本分析，难以应对新能源波动性、负荷时空异质性及公众环境诉求叠加带来的复杂决策场景。如何在有限土地资源中筛选出技术可行、经济合理且环境友好的最优站址，已成为电网高质量发展的瓶颈问题。本文从多学科交叉视角出发，探讨变电站选址的方法创新与战略价值，旨在为构建弹性适配的未来电网提供理论支撑与实践指引。

1 变电站选址在电网建设中的作用

1.1 提升电网供电可靠性与稳定性

变电站选址通过空间优化与技术创新双重路径保障电网可靠运行。以沿海城市环网改造为例，构建多枢纽变电站布局，使台风导致的故障隔离时间缩短至 0.3s 内。负荷管理维度上，西部工业新城通过预判产业迁移趋势，配置动态无功补偿装置，使输电效率峰值提升 22%。针对内蒙古风电集群波动特性，配套柔性直流汇集站将弃风率压缩至 4%以下，储能系统则提供惯量支撑缓冲。地震带采用隔震基座与数字孪生预警系统，使设备抗震保全率达 90%以上。这种空间适配-智能防御体系推动电网从被动运维向韧性服务转型。

1.2 优化电网结构与降低线损

变电站选址通过空间拓扑重构与技术创新双重路径实现电网降损增效。某沿海工业区通过缩短发电端与制造集群的供电距离，将 110kV 线路平均长度压缩至 8 公里以内，年减少线损电量超 1200 万 kW·h。分区供电策略的应用使区域电网形成独立控制单元，当商业区夜间负荷骤降时，智能断路器自动隔离冗余线路，实证显示该策略使线损率下降 1.2 个百分点。针对老旧线路改造，华北某市采用高导电率导线更换与智能调压器布设，使年损耗减少 15%，相当于节煤 2.3 万 t。新能源高渗透场景催生动态降损技术革新。浙江某光伏密集区通过配置自适应并网控制器，实时调节分布式电源出力与变电站负载匹配度，使

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

弃光率下降至3%以下，同时削减反向输电损耗40%。柔性变电站的试点工程中，模块化架构配合碳化硅器件应用，成功将中压配网损耗压降至传统模式的 62%。更值得关注的是，数字孪生平台通过仿真推演不同选址方案的线损分布，为规划者提供量化决策支持，某省级电网应用后综合线损率优化0.8个百分点。

1.3 支持新能源接入与能源转型

新能源并网浪潮推动变电站选址策略发生结构性变革。以内蒙古风电集群为例，配套建设的 500kV 汇集站距风场平均距离缩短至 15km，实测并网损耗较传统模式降低 28%。柔性变电站技术的突破性应用，使得张家口光伏基地通过模块化功率调节单元，实现波动功率的毫秒级平滑处理，谐波畸变率控制在 1.5%以内。更值得关注的是，江苏如东海上风电项目创新采用变电站+储能+制氢三位一体布局，在台风季将弃风电能转换为氢能存储，实现能源利用率提升 19 个百分点。空间重构层面，新疆哈密构建的光伏+特高压枢纽站，通过时空互补效应将午间光伏盈余电能跨区输送至华中负荷中心，日均减少火力调峰用电 120 万 kW ħ。设备革新维度，宁夏宁东能源基地的智能变电站搭载碳化硅变流器件，使风电转化效率突破 98%门槛，同时兼容氢燃料电池并网接口。这种地理适配-设备迭代的协同演进，实质上是将电网基础设施转变为新能源消纳的核心载体。极端场景下的技术验证更具说服力。青海海西州光热电站配套变电站配置熔盐储热系统，在夜间光伏出力归零时段持续供电 6h，实证数据显示系统调峰能力提升 40%。数字孪生技术的深度应用，则使福建沿海变电站可模拟台风过境时的设备应力变化，提前 72h 启动防护预案，将故障率压缩至历史最低水平。这种物理实体-数字镜像的闭环优化，标志着电网正从被动适应转向主动引导能源变革。

1.4 保障电力系统安全性与韧性

极端气候常态化倒逼变电站选址策略革新。2023 年深圳西部电网升级工程中，通过历史灾害数据建模剔除 11 处洪涝高风险站址，结合地形 GIS 分析最终选定大鹏半岛花岗岩基站点，使抗台风能力提升至 17 级标准。川滇地震活跃带的实践表明，采用双站互备+分布式储能模式，在 2022 年泸定地震中成功实现区域内 70%负荷不间断供电。这种地理避险-资源互济的防御体系，将电网安全从被动救灾转向主动设防。空间重构层面，上海浦东构建的网格化供电网络具有示范意义。通过 8 座 220kV 枢纽站形成多向联络通道，当陆家嘴核心站因电缆隧道火灾瘫痪时，负荷在 300ms 内自动切换至备用节点，保障了证券交易所等重要用户零感知断电。设备韧性维度，雄安新区试点应用的智能断路器等设备，内置绝缘老化自诊断功能，较传统设备故障预警时效提前 4000h。前瞻性规划需预留技术迭代接口。广州南沙柔性变电站预留了氢能储能舱室和碳化硅变流器扩展空间，2025 年完成改造后可提升 40%新能源消纳能力。数字孪生平台在江苏电网的应用显示，通过模拟百年一遇冰灾场景，可优化站址抗冰设计参数，使导线覆冰过载风险下降 62%。这种实体加固-数字预演的双重防御机制，标志着电网韧性建设进入可量化评估阶段。

2 变电站选址的基本原则

2.1 技术可行性

变电站选址的技术可行性需通过地质-电气-材料多学科交叉验证。川藏联网工程中，针对通麦断裂带的活动特性，采用微动探测技术精准划定安全距离，最终站址距断层核心区达 1.2km，基岩承载力提升至 350kPa。在长三角软土区域，某 500kV 变电站创新应用 PHC 管桩复合地基技术，使沉降量控制在 5mm/年以内，较传统工法提升 3 倍稳定系数。电气适配性层面，粤港澳大湾区通过电磁暂态仿真，优化站址与±800kV 特高压走廊的净距配置，将操作过电压抑制在 1.7p.u.以下。化工园区防腐蚀解决方案取得突破：宁波镇海项目采用镍基合金包裹+牺牲阳极联合防护，使设备锈蚀速率从 0.12mm/年降至 0.03mm/年，达到 NACE SP0169 标准要求。智能建造技术正在重塑施工可行性边界。白鹤滩水电站配套变电站工程中，无人机倾斜摄影+BIM 逆向建模技术，使喀斯特地貌区土方开挖精度达厘米级，减少生态扰动面积 42%。高寒环境材料体系创新更具示范性：青藏高原站点应用-60℃低温钢，配合真空绝热结构设计，使主变运行能耗降低 18%。前瞻性技术预留成为现代选址标配。雄安新区剧村智慧站预留氢能接口舱与碳化硅阀厅扩展空间，经仿真验证可承载 2030 年预计负荷的 180%。数字孪生平台深度耦合地质雷达数据与设备应力模型，在福建沿海变电站实现台风路径 72 小时预演，使应急响应时效提升 65%。

2.2 经济合理性

变电站选址的经济性决策需建立全生命周期成本-效益动态模型。深圳福田地下变电站工程实证显示，采用三维产权分层模式开发商业综合体，使单位面积土地效益提升 240%，全周期投资回收期缩短至 8 年。负荷预测技术创新显著提升经济性，武汉某工业园区通过 LCC（全寿命周期成本）模型优化，将远期扩容成本分摊至各阶段，实测线损率下降 1.8 个百分点，年运维费用减少 1200 万元。

空间价值挖掘成为新型经济性增长点。上海虹桥枢纽采用变电站+数据中心耦合设计，利用变电站余热为服务器散热，年节省制冷能耗折合标煤 5600t。新能源场景下的经济性革新更具突破性：青海海西州光伏汇集站通过 SVG（静止无功发生器）集群控制，使弃光率从 15%压降至 3.2%，配合峰谷电价策略年增收超 2.3 亿元。政策工具创新重构经济性评估维度。江苏电网试点应用 TOD（变电站导向开发）模式，在南京江北新区实现土地增值收益反哺电网建设，项目内部收益率（IRR）提升至 12.7%。数字孪生技术的深度应用使经济性分析突破传统边界，福

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

建某沿海变电站通过台风灾害链模拟，优化防灾投资结构，使百年一遇灾损预估值下降 41%。

2.3 环境与社会影响

变电站选址的环境社会评估需构建多维度协同治理体系。以杭州西溪湿地生态保护区为例，配套建设的 110kV 变电站通过三维地下掘进技术，使地上建筑面积缩减 82%，同步实施本土植物群落重建工程，成功维系区域鸟类迁徙廊道功能。电磁兼容性领域取得技术突破，上海浦东某城区站采用特高频屏蔽幕墙与主动降噪系统，实测工频电场强度降至 1.2kV/m，达到 WHO 推荐标准的 1/5。社会接受度提升依赖技术创新与制度设计的双重变革。粤港澳大湾区推行变电站+社区中心复合开发模式，广州天河项目将冷却塔噪声源深埋地下，顶层建设市民文化公园，公众反对率从立项时的 67%降至运营期的 3%。针对土地征收矛盾，成渝经济圈试点电力产权置换机制，允许农户以土地经营权入股变电站综合开发项目，年化收益率达 6.5%，开创基础设施共建共享新范式。区域规划适配性要求站址具备动态演化能力。雄安新区采用管廊预留+模块化建设方案，使变电站可随城市扩展进行原位扩容改造，避免重复征地引发的社会成本。数字孪生技术的深度应用更带来评估方式革新，福建平潭项目通过虚拟现实技术开展沉浸式环评听证会，使公众对电磁环境的认知偏差率下降 41 个百分点。

3 变电站选址的主要方法

3.1 地理信息系统（GIS）与空间分析

地理信息系统（GIS）在变电站选址中实现了空间决策范式的技术跃迁。川藏联网工程中，通过融合 InSAR 地表形变监测数据与地质雷达扫描结果，构建三维地质灾害概率模型，成功规避怒江峡谷区 63 处潜在滑坡体，将站址地质风险系数降至 0.15 以下[1]。负荷分布的可视化分析突破传统二维限制，粤港澳大湾区应用时空立方体技术，将 24h 负荷波动与土地开发强度叠加，精准锁定未来 5 年负荷增长率超 200%的热点区域。空间分析算法创新显著提升决策效率。江苏电网开发的加权栅格叠置模型，集成生态红线、电磁敏感区等 12 类约束因子，使候选站址筛选效率提升 8 倍。在复杂地形场景，机载 LiDAR 点云数据与 BIM 建模的结合，使闽西山区的土方工程测算误差控制在±3%以内，较传统勘测方法减少植被破坏面积 75%。动态监测技术延展了 GIS 的决策时效边界。白鹤滩水电站配套工程中，通过多光谱遥感影像的月际变化分析，及时发现 2 处原始森林边缘的生态敏感带，触发站址西移 1.2km 的修正方案。更值得关注的是，数字孪生平台将实时气象数据注入空间模型，在台风季实现供电路径的预见性重构，使广东沿海电网的故障恢复时效缩短至 18min。

3.2 多目标优化模型

多目标优化模型通过量化决策破解变电站选址难题。粤港澳大湾区应用 NSGA-II 算法优化五维目标（成本、可靠性、生态等），生成 87 组帕累托解，虎门方案实现全周期成本降 22%，碳足迹减 41%。川滇地震带引入灾害链风险熵值（H=0.18），混合整数规划模型平衡安全与经济性，设备抗震降级节约 3600 万元[2]。雄安新区数字孪生框架将负荷预测误差压至 3.8%，动态优化电网扩展路径。长三角特高压工程开发多属性决策树模型，集成 23 项政策约束，张家港项目公众接受度提升至 89%。此类技术路径证明，多目标优化可系统性协调安全、经济与环境效益。

3.3 大数据与人工智能辅助决策

人工智能通过多维技术路径重构选址决策体系。时空图卷积网络（ST-GCN）融合雷电定位与微地形数据，灾害预测精度突破 93%；LSTM-Transformer 混合模型将负荷预测误差压至 2.3%，支撑动态选址更新。自然语言处理技术解析公众诉求，BERT 模型识别电磁担忧（37%）、景观冲突（29%），针对性优化方案使环评通过率提升 38%。强化学习模拟 60%新能源渗透场景，生成弹性扩容路径，预减重复投资 15 亿元[3]。数字孪生平台集成 1268 个物联终端，实现暴雨内涝分钟级推演，雄安新区实战调整 3 处高程，防灾效益达 2.4 亿元。数据驱动决策范式推动电网规划进入可量化验证阶段。

4 结语

变电站选址的技术演进正驱动电力系统向韧性-低碳范式跃迁。地理信息建模精度突破米级，使灾害规避从经验预判转向数据实证；多目标优化算法实现供电可靠性、生态兼容性与经济性三重边界动态平衡。技术融合催生决策体系革新，数字孪生实现全生命周期碳-能-水多维追踪，人工智能构建负荷预测-风险推演-公众共识闭环机制。未来技术将沿三轴深化，空间规划从静态避让升级为动态韧性适配，效能评估从成本核算拓展至碳足迹溯源，决策逻辑从工程最优转向社会价值共创。这种以电网熵减为核心的技术跃迁，本质是通过信息物理系统突破传统要素约束。唯有以技术理性与公共价值锚定决策基准，方能构建安全、高效、共生的新型能源基础设施。

[参考文献]

[1]李伟,文康,王亚莉,等.GIS 地理信息与 AI 图像识别双引擎驱动的变电站智能选址技术创新研究[J].电力勘测设计,2024(2):22-28.

[2]张旭阳,章剑光,谢天祥,等.基于物联网大数据的变电站远程选址研究[J].自动化技术与应用,2023,42(7):112-114.

[3]冯威,王雨露,王海威.智能电网建设与变电站运维管理的协同发展[J].农电管理,2024(12):78-79.

作者简介：谷裕（1988.6—），毕业院校：沈阳建筑大学，所学专业：电气工程及其自动化，当前就职单位：沈阳市规划设计研究院有限公司，职务：项目总监，职称级别：高级工程师。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

计算机技术在电气工程中的应用

许国生
中国新兴建设开发有限责任公司，北京 100039

[摘要]随着信息技术不断发展，计算机技术在电气工程领域应用越来越广。引入先进计算机控制系统和智能算法后，电气工程自动化、智能化水平提高，促进工程设计效率提升，设备运行更安全可靠。围绕计算机技术在电气工程应用优势和实践展开探讨，从系统自动化、设计优化、监控运维、能源效率等方面分析其积极影响，借助智能感应、调度系统、故障诊断、仿真建模、可视化控制等关键技术展示计算机技术在电气工程各个环节的应用情况。
[关键词]计算机技术；电气工程；应用
DOI：10.33142/ucp.v2i3.16727　　中图分类号：TP3　　文献标识码：A

The Application of Computer Technology in Electrical Engineering

XU Guosheng
CHINA XINXING CONSTRUCTION & DEVELOPMENT CO., LTD., Beijing, 100039, China

Abstract: With the continuous development of information technology, computer technology is increasingly being applied in the field of electrical engineering. After introducing advanced computer control systems and intelligent algorithms, the level of automation and intelligence in electrical engineering has been improved, promoting the efficiency of engineering design and ensuring safer and more reliable equipment operation. This article explores the advantages and practices of computer technology in electrical engineering applications, analyzing its positive impacts from aspects such as system automation, design optimization, monitoring and operation, and energy efficiency. Key technologies such as intelligent sensing, scheduling systems, fault diagnosis, simulation modeling, and visual control are utilized to demonstrate the application of computer technology in various aspects of electrical engineering.
Keywords: computer technology; electrical engineering; application

引言

电气工程乃是现代工业当中的基础支柱所在，其肩负着电力的生产工作、传输事宜、分配任务以及控制方面的诸多关键任务，广泛地在能源领域、交通范畴、制造行业等诸多领域当中得以应用。传统的电气工程往往是依靠人工操作以及较为基本的控制系统来开展相关工作的，在此情形之下，存在着诸如自动化程度颇为低下、故障响应滞后、设计效率也存在明显不足等一系列的问题。伴随着工业智能化的发展态势一天比一天更为强劲，传统的电气工程便面临着以往从未有过的诸多挑战以及相应的机会。计算机技术，特别是人工智能领域、嵌入式系统方面、仿真建模这个领域以及数据可视化等相关领域的不断突破进展，为电气工程赋予了全新的动能。凭借着引入计算机控制系统还有智能算法这两方面的举措，电气工程在系统控制以及资源调度这些方面已然达成了质的飞跃般的提升，并且在工程管理层面、设备维护环节、能效控制等方面同样展现出了极为强大的支撑作用。所以说，对计算机技术在电气工程当中的具体应用展开深入探讨，这对于推动产业实现升级换代、提高系统的稳定性以及工作效率而言，是有着极为重要的现实意义的。

1 电气工程计算机应用的现状

电气工程自动化计算机系统已逐渐成为当今各行各业的主要生产设备之一，它已经融入到人们生活的各个方面，并且还被广泛运用于工业生产中。其作为现代化工业的核心部分，对推动国民经济的快速健康发展起到了非常关键的作用，同时也影响着国家整体经济的发展进程。在科学技术高速发展的背景下，更需进一步完善电气工程自动化控制。当前，在工业制造领域，智能化程度越来越高，这给相关人员带来了很大便利。但由于受历史原因，一些专业技术人员未能完全掌握该技术，从而导致电气工程自动化控制系统存在着一定问题，这严重阻碍了我国制造业的进步和发展。经过长期实践发现，如果不及时解决这些难题的话，不仅无法满足现代工业的时代发展需求，反而还会降低产品性能和产品质量，因此必须采取有效的措施予以解决。在当前经济迅速发展的今天，计算机控制系统这一科技产物的运用价值日益凸显出来，它在增强生产力、加快技术创新步伐、优化产业结构等方面都发挥着积极的作用，想要发挥其最大效用，就需要积极采取各种对策加以改进。

2 计算机技术在电气工程中的应用优势

2.1 提高系统自动化与智能化水平

在现代电气工程系统当中，计算机技术的引入使得整体的自动化以及智能化水平得到了极大的提升。传统的电气系统往往依靠人工控制并且是分散管理的，这就很容易

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

出现操作失误还有响应迟缓等一系列问题。然而有了计算机技术，系统便可以达成集中控制、自动运行以及智能判断，如此一来就能够大幅减少人为干预的频次与所存在的风险。就好比在变电站自动化系统里，凭借嵌入式微处理器以及智能传感设备，能够对电压、电流、温度等运行参数展开实时的监测，并且结合控制算法针对系统状态做出精准的判断以及自适应的调整，进而实现了无人值守以及远程调控的功能。除此之外，基于人工智能的模式识别与决策技术也广泛应用于负荷预测、故障预警以及能效分析等关键环节，由此让电气系统拥有了某种程度的自主学习以及智能决策的能力。

2.2 优化设计效率与工程质量

在电气工程项目的初始设计阶段，计算机辅助设计（CAD）、计算机辅助工程（CAE）等技术得以运用，这使得设计效率以及工程质量均得到了明显的提升。传统设计方式往往依靠人工绘图以及经验来做出判断，如此一来，耗时不说，还很容易出现错误，根本无法契合现代工程对于高精度和高效率这两方面的要求。在使用了 CAD 软件之后，设计人员便能够迅速生成电气图纸、布线图以及接线图，与此借助 CAE 仿真分析，还可以对电气系统的运行状态展开虚拟测试，以此来有效地预测可能出现的潜在问题，并且提前对设计方案加以优化。除此之外，凭借 BIM（建筑信息模型）技术，能够达成电气系统与建筑结构、暖通系统等多个专业之间的协同设计以及信息共享，进而减少设计过程中出现的冲突以及施工时的变更情况，提高整体工程质量以及进度的可控程度。随着三维建模以及数字孪生等新兴技术不断发展，电气工程设计也正逐步从二维迈向多维，从静态走向动态，最终实现了在全生命周期内的设计优化。

2.3 加强监控与运维能力

在电气工程运行维护期间，计算机技术赋予了系统颇为强劲的监控以及管理能力。借助 SCADA（数据采集与监视控制系统）平台，运维人员得以实时知晓系统运行的具体状态，能够远程去监测各类设备的工作参数还有运行环境，达成对故障的提前发现以及预警响应的目标。与此凭借基于计算机的自动分析算法，可迅速判定设备出现异常的原因以及具体位置，并且给出相应的处理意见，使得运维效率以及精确性都得到了大幅度的提升。依靠物联网与云计算平台，监控系统能够实现对多站点、多设备的统一管理以及远程访问，给区域性电网、电厂等大型系统的集中管控打下了技术方面的基础。并且，历史数据的采集与分析还能够为预测性维护以及故障模式识别给予数据层面的支持，进而逐步完成从“被动维修”到“主动预防”的管理模式的转变，以此来降低设备的停机率，延长系统的使用寿命。

2.4 降低能源消耗与运行成本

计算机技术在电气工程方面的广泛运用，有力地推动了节能降耗以及成本优化的进程。传统电力系统存在着能源利用率较低、资源配置不够合理等一系列问题，而借助引入能耗监测系统以及负荷优化调度算法，便能够实时且全面地掌握各类用电设备的能耗状况，进而依据这些数据科学地制定出能耗控制策略。就好比在工业配电系统当中，运用智能电表以及能效分析平台，不但可以细致地对不同设备的用电行为加以统计，而且还能依据负荷的变化情况展开动态的优化调整，如此一来便能够达成用电高峰时错峰运行的效果，进而降低电费方面的支出。除此之外，在变电以及输电这两个环节当中，凭借智能变压器以及电网调度系统，同样可以有效地减少无功损耗以及线路传输损耗，进一步提升整体能源传输的效率。随着绿色能源以及可再生能源逐步接入到系统当中，计算机技术还为多能源系统的协调运行以及经济调度给予了相应的技术保障，这对于实现资源的最优配置以及运营成本的全面降低是很有帮助的。

3 计算机技术在电气工程中的典型应用

3.1 智能感应与数据采集

智能感应以及数据采集构成了计算机技术于电气工程应用当中的一个基础环节，它的主要职责在于凭借各类各样的传感器还有采集装置，去实时地获取系统当前的运行状态以及所处环境的各项参数，而后把所采集到的数据传送到后台的处理中心，以此来给后续展开的分析工作以及决策制定给予相应的数据方面的有力支撑[1]。凭借着现代传感技术，像光纤传感器、无线传感器以及 MEMS 传感器等等这些，电气系统能够精准地采集诸如温度、电压、电流、振动等一系列的关键参数，并且可以通过局域网或者无线网络达成高速的传输效果。计算机系统在接收到这些数据之后，联合运用数据挖掘以及模式识别等相关技术，针对系统的运行状态展开智能层面的分析，从而能够及时察觉到其中出现的异常变化以及潜在存在的各种隐患。除此之外，对数据进行可视化的处理方式同样大幅度地提升了运维人员对于系统情况的感知能力以及他们的响应速度，使得他们可以直观地去掌握整个系统当下的运行走势以及风险的具体分布状况。所以说，智能感应和数据采集这一环节，一方面提升了系统运行所呈现出的透明程度，另一方面也为实现智能决策以及预测控制打下了坚实的基础。

3.2 智能控制与调度系统

智能控制以及调度系统属于计算机技术于电气工程领域应用的关键核心所在，它的主要目的在于凭借算法和程序来达成对电气设备的自动控制以及合理的调度安排，进而促使整个系统可以高效且稳定地运行起来。与传统那种定值控制或者人工操作的方式不一样，智能控制系统能够依据环境方面所发生的各种变化还有实时获取到的数据情况，去动态地对控制策略做出相应调整，如此便具备

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

了更强的适应能力以及鲁棒特性[2]。好比说在电力系统当中，智能调度算法能够随着电网负荷出现的变化而自动挑选出最为理想的电源输出路径以及配电方案，以此来确保供电能够保持稳定的状态并且具有良好的经济性。在工厂的自动化生产线上，将 PLC 也就是可编程逻辑控制器和 DCS 即分布式控制系统相互结合起来运用，就达成了针对电机、传感器、执行器等一系列设备展开集中式的控制以及彼此间的协调联动效果。凭借着像模糊控制、神经网络控制以及自适应控制这类先进的控制理论，系统还能够对非线性的问题以及存在不确定性的状况加以妥善处理，从而使得控制的精度得以提升，响应的速度也有所加快。智能控制与调度系统广泛应用于各个领域，这无疑标志着电气工程正在朝着智能化以及自主化的方向持续不断地向前迈进。

3.3 故障诊断与预测性维护

故障诊断以及预测性维护对于确保电气系统稳定运行而言，属于极为重要的手段。计算机技术被引入之后，使得这一相关过程变得更为高效且更加科学合理了。传统维护模式通常会采用定期开展检查以及依靠人工来做出判断的方式，这种方式一方面耗费大量的人力资源，另一方面也很难做到及时发现其中存在的隐患问题。而现代计算机系统能够持续对设备的状态参数加以监测，并且结合大数据分析以及机器学习算法，可以针对设备的健康状况展开实时的评估工作，进而识别出潜在的故障情况，并且提前给出预警信息。比如说，电机在实际运行的过程当中所出现的电流呈现出波动情况、温升出现异常状况以及振动发生相应变化等一系列的特征信号，凭借算法能够对其劣化的发展趋势予以识别，从而判断是否存在着磨损或者绝缘老化等方面的各类问题[3]。预测性维护一方面避免了因突发故障而导致系统陷入瘫痪的状况，另一方面还降低了那些并非必要的维修成本支出，同时也提高了设备的使用寿命以及系统的运行效率。随着工业互联网以及边缘计算不断地发展进步，故障诊断系统正在逐步朝着边缘化以及智能化的方向去部署实施，如此一来，其响应速度以及可靠性都得到了进一步的提升，进而为构建起“零故障”的电气系统给予了坚实的支撑保障。

3.4 仿真建模与设计优化

仿真建模在电气工程设计环节属于极为重要的一项技术手段。其具体做法是构建起系统的数学模型以及物理模型，而后在虚拟所营造的环境下针对工程方案展开模拟测试活动以及性能方面的分析工作。传统意义上的电气工程大多依靠设计人员的经验积累以及手工方式进行相关计算，如此一来便使得设计所花费的周期变得格外漫长，并且其中还存在着较大的误差情况。然而要是借助诸如 MATLAB/Simulink、PSCAD、ETAP 这类计算机仿真软件，设计人员便能够高效且迅速地建立起复杂系统所对应的电路模型、控制逻辑以及运行场景，进而开展多维度、多工况的仿真分析操作，以此来切实有效地验证设计方案是否具备可行性以及安全性。仿真所得出的结果还能够较为直观地呈现出设备彼此之间存在的交互关系以及它们所具有的响应特性，从而给优化参数的具体设置以及结构配置给予相应的依据参考。就好比说在针对电网稳定性展开分析的时候，可以通过仿真来模拟短路故障、电压出现波动等一系列极端状况，进而对系统的鲁棒性以及恢复能力做出评估判断。除此之外，仿真建模这项技术同样也为教育培训以及应急演练赋予了具有很高仿真度的操作环境，由此促使整个系统的整体设计水准以及管理效率都得到了一定程度的提升。

4 结语

计算机技术已然融入到电气工程的各个阶段，促使其在自动化、智能化以及精细化管理等领域获得了明显进展，不管是系统设计环节，还是运行监控方面，亦或是在故障诊断以及维护优化层面，计算机技术均起到了无法取代的关键作用。展望未来，伴随人工智能、物联网以及大数据等先进技术的不断发展，计算机技术在电气工程中的运用将会更为深入且更为广泛，要提高系统性能并增加经济效益，需持续强化跨学科融合以及技术创新，打造出更为智能、更安全且更绿色的电气工程体系，以此给现代工业以及社会发展给予稳固保障。

[参考文献]

[1]裴雪峰.计算机技术在电气工程中的应用[J].电子技术,2024,53(2):132-133.
[2]刘文波,刘文涛,庞志海.计算机控制系统在电气工程及自动化中的应用[J].中国设备工程,2023(14):214-216.
[3]谢文,陈久慧.计算机技术在电气工程自动化控制中的应用[J].数字技术与应用,2023,41(6):161-163.

作者简介：许国生（1980.11—），单位名称：中国新兴建设开发有限责任公司，毕业学校：中共北京市委党校，专业：计算机管理与网络应用。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

数字化技术在电器成套设备装配工艺优化中的应用探索

程静泰 邹 青
江西泰开成套电器有限公司，江西 九江 332000

[摘要]随着工业4.0以及智能制造持续向前推进,数字化技术于电器成套设备装配工艺当中的应用变得日渐广泛并且愈发深入。就数字化技术怎样去优化电器成套设备的装配工艺展开一番探讨，着重对当下装配工艺的实际状况以及所存在的种种不足加以分析，较为详尽地介绍数字化技术的基本概念还有其主要的技术手段，细致地剖析数字化技术在工艺设计、装配监控、智能辅助以及数据驱动改进等诸多方面的具体应用路径，给出切实可行的优化方案并且通过相关案例来验证该方案的有效性。研究显示，数字化技术不但极大地提升了装配效率以及产品质量，而且有效地降低了成本，给电器成套设备行业的智能升级给予了强有力的支撑。文章所取得的研究成果对于推动行业数字化转型以及达成高质量发展有着重要的参考价值。
[关键词]数字化技术；电器成套设备；装配工艺；工艺优化
DOI：10.33142/ucp.v2i3.16724 中图分类号：V262.4 文献标识码：A

Exploration on the Application of Digital Technology in Optimizing the Assembly Process of Electrical Equipment Sets

CHENG Jingtai, ZOU Qing
Jiangxi Taikai Electric Appliance Co., Ltd., Jiujiang, Jiangxi, 332000, China

Abstract: With the continuous advancement of Industry 4.0 and intelligent manufacturing, the application of digital technology in the assembly process of electrical equipment has become increasingly widespread and in-depth. This article explores how digital technology can optimize the assembly process of electrical equipment, with a focus on analyzing the actual situation and various shortcomings of current assembly processes. It provides a detailed introduction to the basic concepts and main technical means of digital technology, and meticulously analyzes the specific application paths of digital technology in process design, assembly monitoring, intelligent assistance, and data-driven improvement. Feasible optimization solutions are proposed and their effectiveness is verified through relevant cases. Research shows that digital technology not only greatly improves assembly efficiency and product quality, but also effectively reduces costs, providing strong support for the intelligent upgrading of the electrical equipment industry. The research results obtained in the article have important reference value for promoting the digital transformation of the industry and achieving high-quality development.
Keywords: digital technology; complete electrical equipment; assembly process; process optimization

引言

电器成套设备是工业自动化以及能源系统里的关键构成部分，它的装配工艺的质量以及效率会直接对设备的整体性能还有市场竞争力产生影响。随着产品复杂程度的提高以及市场对于定制化、多样化需求的增多，传统装配工艺模式已经无法满足现代制造业发展的需求了。数字化技术凭借其较高的信息化与智能化特点，给装配工艺的优化带来了全新的解决办法和技术手段。借助引入虚拟仿真、数字监控、智能辅助以及数据驱动的工艺改进方式，可以达成装配过程的精细管理以及实时优化，大幅提升装配的自动化程度和质量控制能力。从数字化技术的角度出发，全面且细致地分析电器成套设备装配工艺的实际状况，深入探讨数字化技术在这一领域当中的具体运用情况，目的是为行业给出有效的技术参考以及实践途径，推动制造业完成数字化转型以及智能制造升级。

1 电器成套设备装配工艺现状分析

电器成套设备的装配工艺包含诸多环节，像元件选型、结构组装、接线连接以及功能调试等等，其流程颇为复杂，并且对于精度的要求颇高。当下，传统装配工艺大多依靠人工操作以及经验来做出决策，存在着工艺标准并非统一、装配效率不高、质量出现较大波动等一系列问题。装配过程中缺少行之有效的实时监控办法，很难做到及时察觉并纠正装配方面的缺陷，如此一来返工率便会居高不下。传统工艺设计缺少系统化的优化途径，难以有效应对产品日益多样以及快速迭代所带来的种种挑战。装配数据没有得到充分的采集与利用，工艺改进往往依赖于经验的积累，缺少科学的数据作为支撑。随着电器成套设备技术持续向前发展，装配工艺的复杂程度以及精细化水平也在不断提升，传统工艺模式所存在的不足愈发凸显出来。若想提升装配效率以及产品质量，促使装配工艺实现智能化、数字化的转型已然成为行业迫切需要去解决的一个关键问题。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

在此情形之下，数字化技术的引入给装配工艺优化带来了全新的技术保障以及发展方向。

2 数字化技术概述

数字化技术是现代制造业转型升级的关键推动力量，其包含了信息采集、数据处理、智能分析以及可视化等诸多方面的相关内容，正逐步变成推动工业生产迈向智能化的核心途径。其中的主要技术有物联网技术，该技术借助传感器和通信网络达成设备之间的互相连通，确保生产数据得以实时地采集并顺利传输；还有数字孪生技术，其可构建出虚拟的产品以及工艺模型，达成对实际装配过程的整个生命周期的监控以及仿真预测；而大数据技术则赋予了对海量生产数据进行存储、管理以及深度挖掘的能力，使得工艺优化依据的是数据驱动而不是经验判断；人工智能技术依靠机器学习以及智能算法，实现装配过程的智能决策以及异常诊断，大幅提升了生产的自动化程度以及智能化水平。上述这些技术相互交融，搭建起了数字化制造的技术体系，给装配工艺的优化给予了理论根基以及技术方面的有力保障。特别是在电器成套设备装配这一领域，这些数字化的手段不但能提高装配的效率与质量，而且还能强化工艺的柔性以及适应性，契合市场对于高质量、高定制化产品的需求。凭借数字化技术的全方位应用，装配工艺的设计、监控、执行以及优化形成了一个完整的闭环，达成了制造过程的透明化与智能化。

3 数字化技术在电器成套设备装配工艺优化中的应用

3.1 工艺设计与虚拟仿真

工艺设计属于电器成套设备装配流程优化的关键环节，它对生产过程的效率以及产品质量有着直接的影响。传统工艺设计依靠经验丰富的工程师来制定静态方案，主观性以及局限性都很强，对于复杂装配流程里的潜在问题很难进行全面评估以及预判，致使设计周期变长，反复修改的情况很常见，而且成本也不低。随着数字化技术不断发展，虚拟仿真技术慢慢在工艺设计领域得到应用，借助建立精准的数字孪生模型，可在虚拟环境中对整个装配工艺流程进行动态模拟，将设备布局、装配步骤以及操作细节真实呈现出来。这项技术能提前发现装配过程中可能出现的设计缺陷、冲突以及流程瓶颈，并且依据多方案比较达成工艺参数、装配顺序以及设备配置的最佳组合，大大缩短了设计周期，有效降低了设计成本。

虚拟仿真技术给装配人员营造出一种沉浸式的培训环境，使他们可以熟悉复杂的工艺以及操作规程，在实际操作时降低错误率。通过可视化管理手段，装配过程的透明度得以提高，操作规范性也有了保障。虚拟仿真技术的应用让装配方案的科学性以及可执行性都有所提升，还为后续的数字化监控、智能辅助装配以及数据驱动的工艺改进奠定了坚实基础，真正达成了工艺设计阶段与装配执行阶段的无缝衔接以及高效融合，推动电器成套设备装配工艺朝着智能化转变。随着人工智能与大数据技术的进一步融合，虚拟仿真平台还能依据历史数据和实时反馈对装配流程进行智能优化，实现工艺路径的自学习与持续改进。对多种装配情境进行仿真验证，不但提高了工艺设计的鲁棒性，还为复杂非标产品的快速适配给予了支持，极大地提升了企业应对市场多样化需求的响应能力以及柔性制造水平。

3.2 装配过程数字化监控

装配过程的实时监控，在保证产品质量以及提升效率方面，是非常重要的一种保障方式。通过物联网还有传感器技术，装配线上的关键节点以及设备状态能够实现实时的数据采集，这里涉及到的维度有很多，像力学参数、位置状态、温湿度等等方面都有涵盖。有了数字化监控系统，管理人员就能比较直观地知晓装配的进度以及设备的运行状况，能及时发现异常情况并采取相应的纠正措施，如此一来，因装配出错而引发的返工以及停工的风险就大幅降低了。而且数据采集还能给装配过程的质量追溯提供可靠的依据，使产品的可追溯性得以提升，同时管理水平也能得到提高。数字化监控在实际中推广应用之后，确实有效地实现了从传统的人工巡检向自动化、智能化管理的转变，还推动了装配工艺向着标准化与规范化发展，进而提升了整体的生产效能。

3.3 智能辅助装配系统

智能辅助装配系统将人工智能与自动化技术相结合，助力装配人员完成复杂且精细的装配任务。此系统包含智能视觉识别、机器人协作和人机交互界面等关键技术，可识别装配部件的形态及位置，自动提供操作指导或直接参与装配过程。该系统降低了对高技能工人的依赖，减轻了劳动强度，还显著提高了装配精度和一致性。依靠实时反馈与动态调整，智能辅助装配系统能适应多样化、个性化的生产需求，实现柔性制造目标。其采集的装配数据有力支撑后续工艺优化与质量分析，是推动装配工艺智能化发展的重要技术途径。

3.4 数据驱动的工艺改进

数据驱动乃是数字化技术应用的关键理念所在，通过针对装配进程中所产生的海量数据展开系统性的分析，从中挖掘出潜在的规律以及存在的各类问题，以此来对工艺予以持续不断的改进。借助大数据分析以及机器学习相关方法，能够针对装配效率、质量波动还有设备故障等一系列关键指标开展趋势预测以及异常检测方面的操作，从而精准地识别出工艺瓶颈以及可改进的空间所在。凭借基于数据所构建的反馈机制，让工艺调整有了科学的依据作为支撑，进而避免出现盲目试错的情况，提升改进所取得的效果以及效率水平。数据驱动工艺改进这一做法还促使装配流程实现了动态的优化，可以根据生产环境以及产品需

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

求方面所发生的种种变化来实时地调整工艺参数，进一步增强装配系统的适应性以及灵活性。这样一种闭环优化的模式在很大程度上有力地推动了装配工艺朝着智能化的方向升级，并且达成了更为精细的管理效果。

4 优化方案实施与效果分析

4.1 优化方案实施步骤

实施数字化技术来优化装配工艺，得先做好详细规划，并且要分阶段去执行。一开始，要去调研，还要采集数据，把当前装配工艺存在哪些主要问题以及瓶颈都弄清楚，同时确定好优化的目标还有那些关键指标。接着，依靠数字孪生技术去构建一个虚拟的装配环境，在这个环境里开展工艺流程的仿真工作以及方案的设计，以此保证优化方案是科学且可行的。之后，着手部署装配过程数字化监控系统，搭建起数据采集与处理的平台，从而确保能对装配全流程做到实时的监控与管理。再逐步引入智能辅助装配系统，进一步优化操作流程，提高装配的效率以及精准度。通过建立由数据驱动的工艺改进机制，达成工艺的动态调整以及持续优化的目的。在整个实施的过程当中，着重强调要分阶段地推进相关工作，同步进行调试并且及时反馈改进情况，以此确保技术的应用能够和装配工艺很好地融合在一起，最终实现预期所设定的目标。

4.2 实施案例及数据分析

某电器成套设备制造企业引入数字化技术来优化装配工艺，从中选取一条典型的装配线当作试点，搭建起一个基于数字孪生的虚拟仿真平台，借此完成了工艺设计方面的优化工作。通过部署物联网传感器，实现了对装配过程的数字化监控，能够实时地采集设备的状态以及作业数据。智能辅助装配系统的运用，切实提高了关键节点装配的精度与效率。从数据分析所得到的结果来看，装配线的整体效率提高了 15%，关键工序的合格率提升了 12%，在装配过程当中出现的停机时间也有了较为明显的减少情况。依靠持续开展的数据驱动改进举措，返工率降低了20%，生产成本也出现了显著的下降趋势。这个案例很好地验证了数字化技术对于装配工艺优化所具有的实际效果，彰显出了技术应用所能带来的经济效益与社会效益。

4.3 优化效果评价

优化方案施行之后，装配效率呈现出较为明显的提升态势，具体来讲，其体现为装配周期有所缩短，生产节奏得以加快，整体产能也有了一定程度的提升，能够更好地契合市场对于快速交付以及高响应速度所提出的迫切需求。就质量层面而言，依靠数字化监控系统以及智能辅助装配技术，产品的同一性以及合格率均得到了相应的改善，质量方面的波动幅度有所减小，装配过程当中出现的缺陷率也降低了，进而提升了客户的满意程度以及对企业的信任程度。借助对工艺过程里实时采集并且经过分析的数据，可以达成对潜在质量问题的早期识别以及快速反应，防止问题进一步扩散，减少返工、返修以及出现废品等情况，确保产品质量保持稳定状态。在成本控制这个层面上，通过优化工艺流程，合理地配置资源，减少人力的投入以及物料的浪费，使得生产成本得以降低，资源利用效率也得到了提升。数字化技术的应用，不仅对工艺环节进行了优化，而且还实现了对装配过程的全生命周期管理，保障生产能够高效地运转并且质量处于可控的状态。总体来看，由数字化技术所驱动的装配工艺优化，提高了制造过程当中的效率以及质量，强化了企业在市场当中的竞争力以及可持续发展的能力，展现了数字化转型在提升企业综合实力以及应对复杂市场环境方面所起到的重要作用，推动电器成套设备制造朝着智能化、精细化的方向不断发展。

5 结语

本文针对数字化技术于电器成套设备装配工艺优化领域的应用展开了较为系统的探讨，凭借理论层面的分析以及实际案例的验证，清晰地明确了数字化技术在工艺设计环节、装配监控方面、智能辅助领域以及依靠数据驱动进行改进等多个方面所发挥出的关键作用。相关研究说明，数字化技术可切实有效地提高装配工作的效率，并且促使产品质量得以提升，同时还能使生产成本有所降低，进而为电器成套设备行业开展智能制造给予了颇为有力的技术方面的支撑。在未来的发展进程中，伴随数字化技术不断地向前发展并逐步走向成熟，电器成套设备的装配工艺将会达成更为智能化、更具柔性化以及更加自适应化的状态。基于此情况，企业应当加速推进数字化技术的应用与推广工作，进一步加深对技术融合创新方面的探索力度，以此推动装配工艺持续不断地进行优化以及实现智能层面的升级，从而推动制造业朝着高质量的方向不断发展前行。

[参考文献]

[1]徐博.数字化装配工艺技术在电子设备生产中的应用[J].冶金管理,2023(7):18-20.
[2]徐宏聚.数字化装配工艺技术研究应用[J].机电产品开发与创新,2022,35(5):58-60.
[3]王荣利,蔺玲,韩建魁,等.数字化装配工艺技术的研究及应用[J].新技术新工艺,2020(1):1-5.

作者简介：程静泰（1994.4—），单位名称：江西泰开成套电器有限公司，毕业学校和专业：东北大学（专升本）/电气工程及其自动化。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

EVE 装配式空心板叠合剪力墙结构施工过程中的质量控制研究

高良柱
北京建工集团有限责任公司建筑工程总承包部，北京 100000

[摘要]本论文针对 EVE 装配式空心板叠合剪力墙结构施工过程中的质量控制问题展开研究。通过工程实例施工分析 EVE 装配式空心板叠合剪力墙结构的特点及施工流程，探讨影响其施工质量的关键因素，主要从深化设计、加工制作、运输存储、安装以及连接等环节，从材料质量控制、施工工艺优化、人员管理、质量检测等方面提出具体的质量控制措施，旨在提高 EVE 装配式空心板叠合剪力墙结构施工质量，保障建筑工程的安全性、可靠性和耐久性，为相关工程实践提供理论参考与技术支持。
[关键词]EVE 装配式空心板叠合剪力墙结构；施工过程；质量控制；构件安装；连接技术
DOI：10.33142/ucp.v2i3.16733　　中图分类号：TU352　　文献标识码：A

Research on Quality Control in the Construction Process of EVE Prefabricated Hollow Plate Composite Shear Wall Structure

GAO Liangzhu
Engineering Procurement Construction Department of Construction Engineering of Beijing Construction Engineering Group Co., Ltd., Beijing, 100000, China

Abstract: This paper focuses on the quality control issues during the construction process of EVE prefabricated hollow slab composite shear wall structure. By analyzing the characteristics and construction process of EVE prefabricated hollow slab composite shear wall structure through engineering examples, this paper explores the key factors that affect its construction quality. Specific quality control measures are proposed from the aspects of deepening design, processing and manufacturing, transportation and storage, installation, and connection. The aim is to improve the construction quality of EVE prefabricated hollow slab composite shear wall structure, ensure the safety, reliability, and durability of building projects, and provide theoretical reference and technical support for related engineering practices.
Keywords: EVE prefabricated hollow slab composite shear wall structure; construction process; quality control; component installation; connection technology

引言

随着建筑工业化的快速发展以及“双碳”目标的推进，装配式建筑凭借其高效、环保、节能等优势逐渐成为建筑行业的发展趋势。EVE 装配式空心板叠合剪力墙结构作为一种新型专利装配式建筑结构体系，具有自重轻、空间利用率高、保温隔热性能好等特点，在建筑工程中得到了越来越广泛的应用。然而，由于其施工过程涉及多个环节和复杂的技术要求，施工质量控制难度较大。一旦施工质量出现问题，将直接影响建筑结构的安全性、耐久性和使用功能。因此，深入研究 EVE 装配式空心板叠合剪力墙结构施工过程中的质量控制方法具有重要的现实意义。

1 EVE 装配式空心板叠合剪力墙结构概述

1.1 结构特点

EVE 装配式空心板叠合剪力墙结构体系简称（EVE 空心板体系）。竖向构件为预制混凝土空心孔剪力墙板，沿墙板内部竖向预制有自上而下贯通的长方形或长椭圆形空心孔，用于形成竖向钢筋安装连接的通道，竖向钢筋连接采用直螺纹套筒连接和搭接连接，墙板横向两侧预留出封闭环筋用于形成横向连接，现场浇筑混凝土形成有效的节点连接，共同构成整体装配式叠合剪力墙结构。

本项目为住宅工程，分为：1#、2#、3#、4#、6#五栋单体，其中 1#-4#楼为地上 15 层地下 2 层，6#楼为地上 10 层地下 2 层，总建筑面积：49206.48m^2，均采用 EVE 装配式空心板叠合剪力墙结构体系。水平楼板为常规的预制叠合板，楼梯为常规预制楼梯构件。总构件量：竖向构件 2092 件，水平构件 4917 件。

（1）EVE 装配式空心板叠合剪力墙结构体系模型，如图 1 所示。

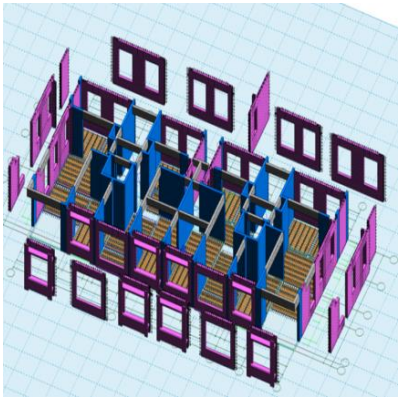


图 1　EVE 装配式空心板叠合剪力墙结构体系模型

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

（2）EVE 装配式空心板叠合剪力墙结构体系竖向墙板构件，如图 2 所示。

（3）EVE 装配式空心板叠合剪力墙结构竖向拼缝连接节点，如图 3 所示。

（4）EVE 装配式空心板叠合剪力墙水平接缝连接节点，如图 4 所示。

（5）叠合楼板连接节点，如图 5 所示。

（6）双跑楼梯连接节点，如图 6 和图 7 所示。

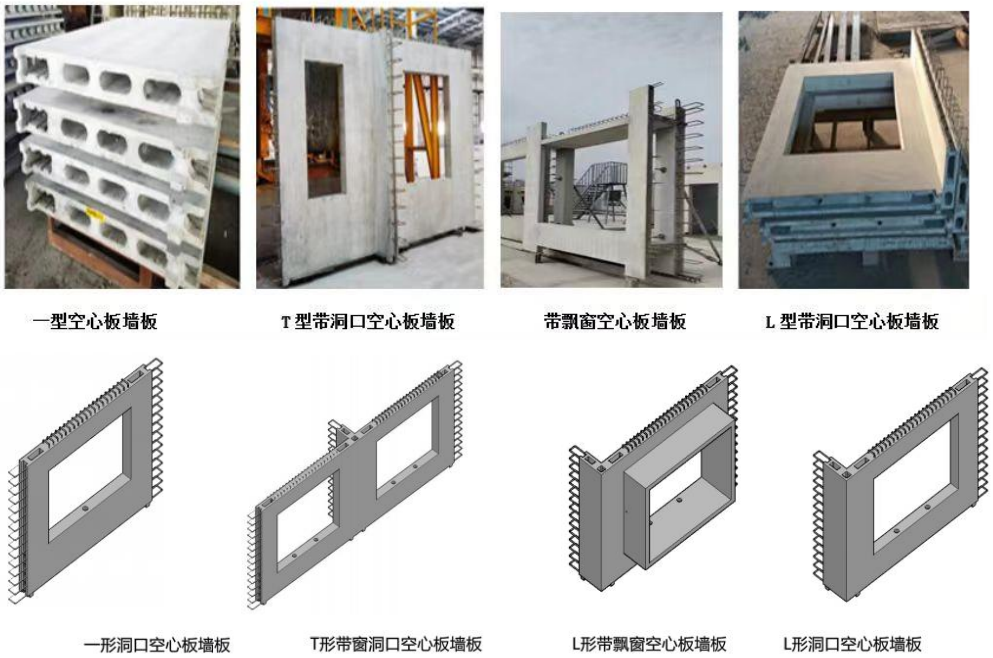
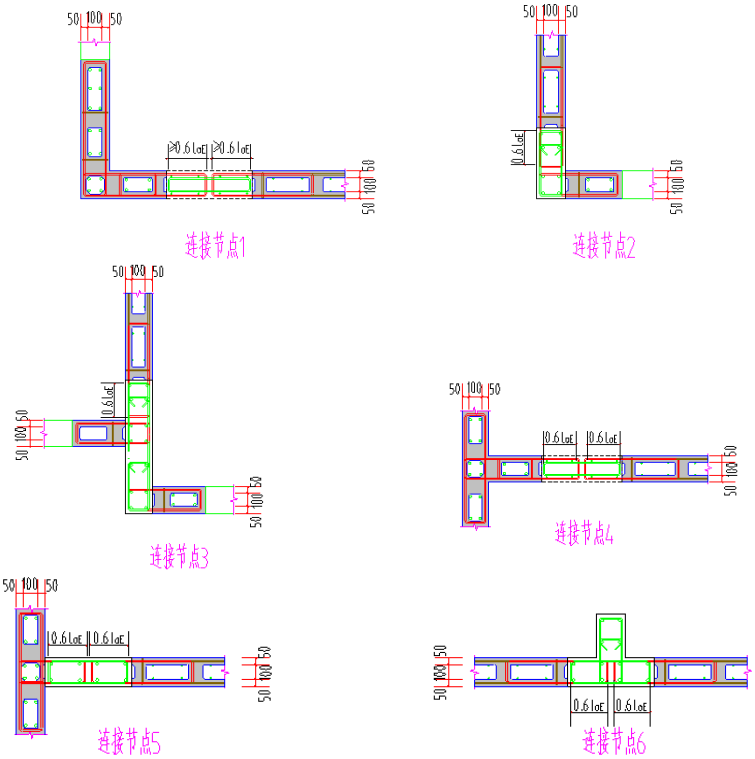


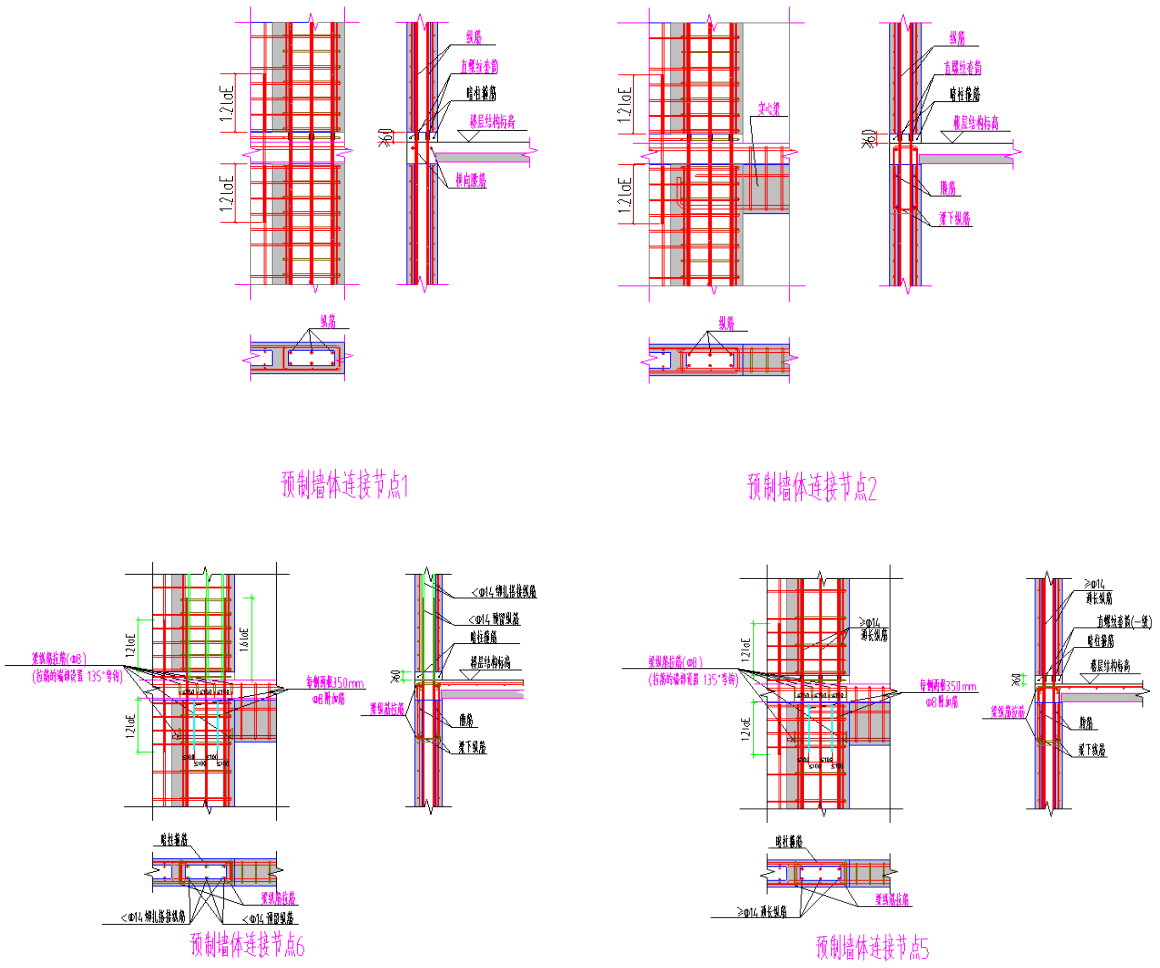
图 2　EVE 装配式空心板叠合剪力墙结构体系竖向墙板构件



说明：预制空心墙板和现浇段的安装为封闭圆环钢筋

图 3　EVE 装配式空心板叠合剪力墙结构竖向拼缝连接节点

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.



说明：边缘构件暗柱纵筋为空腔贯通直螺纹套筒连接，剪力墙构件钢筋空腔满足 1.2LaE 钢筋搭接。

图 4　EVE 装配式空心板叠合剪力墙水平接缝连接节点

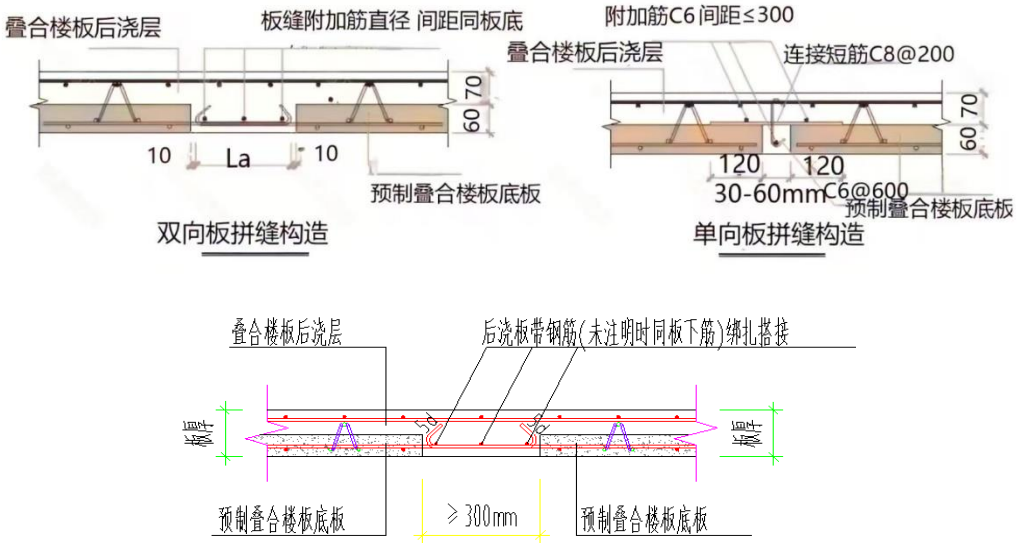


图 5　叠合楼板连接节点

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

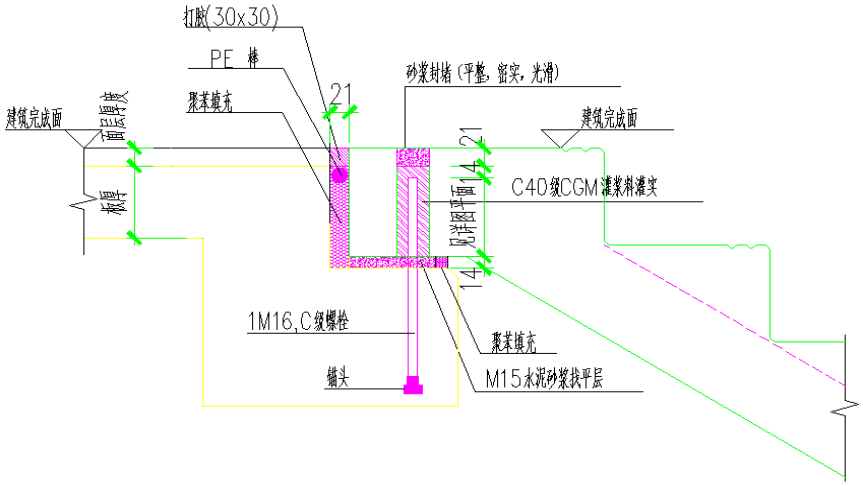


图 6 双跑楼梯上端固定节点

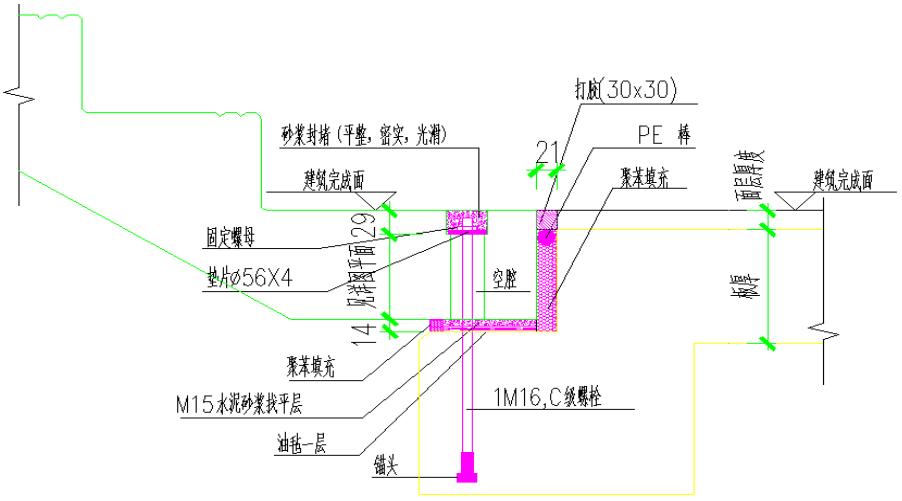


图 7 双跑楼梯下滑动端节点

1.2 施工流程

EVE 装配式空心板叠合剪力墙结构的施工流程主要包括：预制构件制作→运输存放→现场墙板安装、连接节点钢筋绑扎、铝模板安装→现场叠合板安装、板带铝模安装、钢筋绑扎→构件空腔、连接节点及叠合板混凝土浇筑等环节。首先，在预制构件厂根据设计要求进行构件的生产制作，包括钢筋加工、模板安装、混凝土浇筑与养护等工序。制作完成的构件经过质量检验合格后，采用专业运输车辆运输至施工现场。在施工现场，利用起重设备将预制构件准确吊装至设计位置，并通过可靠的连接固定方式将各构件安装牢固，各个节点的钢筋连接绑扎、模板支设及预留预埋，各个分项工程的隐蔽验收，最后进行节点混凝土及叠合板浇筑等施工，完成整个装配结构的施工。

2 EVE 装配式空心板叠合剪力墙结构施工质量影响因素分

2.1 构件深化设计环节

在预制构件的深化设计过程中应充分考虑到各相关专业的预留预埋，如：机电专业的各种管线、开关插座盒、各种箱体的留洞，以及施工辅助措施的相关留洞，避免后续施工过程剔凿构件或构件开洞。

2.2 构件制作环节

在预制构件制作过程中，原材料质量对构件质量起着决定性作用。水泥、砂石、钢筋等原材料的强度、级配、含泥量等指标若不符合要求，将直接影响混凝土的强度和耐久性，进而影响构件质量。此外，制作工艺如钢筋绑扎精度、模板安装质量、混凝土浇筑振捣密实度以及养护条件等，也会对构件质量产生重要影响。例如，钢筋绑扎不规范可能导致构件受力性能下降；模板安装不牢固会引起构件尺寸偏差；混凝土浇筑振捣不密实会产生蜂窝、麻面等缺陷；养护不当则会影响混凝土强度增长，降低构件质量。制作过程中要将各专业的预留管线、槽盒、孔洞等预留到位，避免后期的剔凿影响构件的质量。

2.3 构件运输与存放环节

构件在运输过程中，若运输车辆选择不当、构件固定不

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

牢固，容易导致构件发生碰撞、变形，甚至损坏。同时，在施工现场的存放环节，如果存放场地不平整、存放方式不合理，长时间存放可能会使构件产生裂缝、变形等质量问题。例如，构件堆叠层数过多，底部构件可能因承受过大压力而损坏；存放场地排水不畅，构件长期受水浸泡，会影响其性能。

2.4 构件安装环节

构件安装过程中，转换层及各施工层的墙、柱预留钢筋位置准确度、楼板混凝土成形的标高及平整度对安装的质量影响较大。起重设备的选型和操作不当，可能导致构件无法准确吊装至设计位置，影响结构整体受力性能。此外，安装人员的技术水平和责任心也直接关系到安装质量。如果安装人员对安装工艺不熟悉，操作不规范，可能会出现构件安装偏差过大、连接节点处理不当等问题，降低结构的稳定性和可靠性。

2.5 构件连接节点

构件连接是 EVE 装配式空心板叠合剪力墙结构施工的关键环节，连接质量直接影响结构的整体性和承载能力。连接方式的选择和施工工艺的合理性是影响连接质量的重要因素。目前该装配式体系的节点连接方式为：墙体构件的竖向水平连接主要是通过空腔预留钢筋直螺纹套筒连接，构件底部预留 70mm，同空腔同时浇筑混凝土实现结构的整体性，混凝土强度等级同该楼层墙柱混凝土强度，粗骨料粒径≤20mm 坍落度 200±20mm。墙体构件的竖向连接采用后浇筑混凝土。（详见图 3、图 4 墙体构件连接节点图）为了确保混凝土的观感质量，所有连接部位的模板均采用的铝合金模板。

3 EVE 装配式空心板叠合剪力墙结构施工质量控制措施

3.1 构件深化设计阶段的质量控制

本工程属精装修交付工程，各种预留点位较多，位置的准确性要求较高，外脚手架采用悬挑脚手架也需要增设螺栓预留点位，构件自身安装需要预留的斜支撑安装点位、调平螺栓点位、吊装措施埋件等，故深化设计阶段要充分考虑周全，方案图纸经过多次沟通论证才能最终确定，确保整体施工质量受控。

3.2 材料质量控制

通过合同严格约束构件生产单位，对进场的水泥、砂石、钢筋等原材料进行严格按规范要求进行质量检验，检查其质量证明文件、规格型号，并按规定进行抽样复检，确保原材料各项指标符合设计和规范要求。同监理单位共同安排专业技术人员在构件厂驻场，随时把控构件的原材的质量情况。

3.3 构件制作质量控制

该体系本身属于构件厂家的自由知识产权的专利产品，构件制作工艺、流程成熟，制作过程中严格按照规范要求的标准进行质量控制。在钢筋加工环节，严格控制钢筋的加工尺寸、形状和连接方式，确保钢筋绑扎位置准确、牢固。模板安装过程中，保证模板的平整度、垂直度和密封性，防止漏浆。预留预埋的各种管道、线盒、孔洞、措施螺栓螺母位置准确。混凝土浇筑时，控制浇筑速度和高度，采用合适的振捣方式和振捣时间，确保混凝土浇筑密实，避免出现蜂窝、麻面等缺陷。加强构件养护管理，根据构件特点和环境条件，采用合理的养护方法（如自然养护、蒸汽养护等），保证混凝土强度正常增长。对于整个构件的生产过程监理单位和施工单位均安排驻人员进行全过程监督验收，确保构件制作质量可控，如表 1 所示。

表 1 预制构件尺寸允许偏差及检验方法

项目			允许偏差（mm）	检验方法
长度	楼板、梁、柱、桁架	＜12m	±5	尺量
		≥12m 且＜18m	±10	
		≥18m	±20	
	墙板		±4	
宽度、高（厚）度	楼板、梁、柱、桁架		±5	尺量一端及中部，取其中偏差绝对值较大处
	墙板		±4	
表面平整度	楼板、梁、柱、墙板内表面		5	2m 靠尺和塞尺测量
	墙板外表面		3	
侧向弯曲	楼板、梁、柱		L/750 且≤20	拉线、直尺测量最大侧向弯曲处
	墙板、桁架		L/1000 且≤20	
翘曲	楼板		L/750	调平尺在两端测量
	墙板		L/1000	
对角线	楼板		10	尺量两个对角线
	墙板		5	
预留孔	中心线位置		5	尺量
	孔尺寸		±5	
预留洞	中心线位置		10	尺量
	洞口尺寸、深度		±10	
预埋件	预埋板中心线位置		5	尺量
	预埋板与混凝土面平面高差		0，-5	
	预埋螺栓		2	
	预埋螺栓外露长度		+10，-5	
	预埋套筒、螺母中心线位置		2	
	预埋套筒、螺母与混凝土面平面高差		±5	
预留插筋	中心线位置		5	尺量
	外露长度		+10，-5	
键槽	中心线位置		5	尺量
	长度、宽度		±5	
	深度		±10	

3.4 构件运输与存放质量控制

要求厂家选择专用的运输车辆和运输方式，对构件进

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

行合理的固定和防护，防止运输过程中构件发生碰撞、变形。构件到场后按设计图纸及规范进行专业验收，合格后方可卸车，施工现场在已施工完成的车库顶板设置专门的构件存放场地，墙体构件采用专用插放架存放，为确保车库结构安全，对存放区车库结构顶板做临时结构支撑回顶。构件存放时，按照楼栋号分类存放，底部设置垫木，叠合板控制堆叠层数不超 5 层，避免构件因受力不均而损坏。定期对存放的构件进行检查，发现问题及时处理。

3.5 构件安装质量控制

根据构件重量、尺寸和安装高度等因素，选择专用吊装工具，并对其进行定期检查和维护，确保其安全可靠。加强安装人员的技术培训和管理，提高安装人员的操作技能和质量意识。在构件安装过程中，通过采用相应的控制措施，利用可调节斜支撑控制构件的安装位置、垂直度、牢固稳定性，利用可调节钢托盘调节控制墙构件的水平标高，确保安装精度符合设计要求。安装完成后，对构件安装质量进行全面检查验收，发现问题及时整改，如图 8 和表 2 所示。

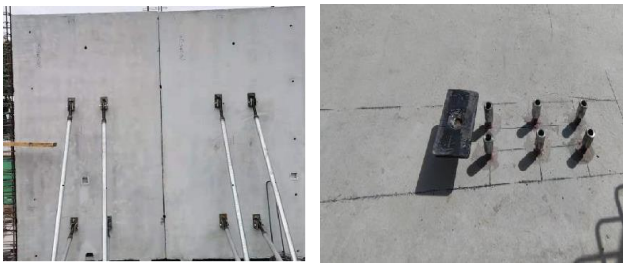


图 8　墙构件可调节斜支撑控制措施；墙构件标高可调节托盘

表 2　预制构件安装尺寸的允许偏差及检验方法

项　目			允许偏差（mm）	检验方法
构件中心线对轴线位置	基础		15	尺量检查
	竖向构件（柱、墙板、桁架）		10	
	水平构件（梁、板）		5	
构件标高	梁、板底面或顶面		±5	水准仪或尺量检查
	柱、墙板顶面		±3	
构件垂直度	柱、墙板	＜5m	5	经纬仪量测
		≥5m 且＜10m	10	
		≥10m	20	
构件倾斜度	梁、桁架		5	垂线、尺量检查
相邻构件平整度	板端面		5	钢尺、塞尺量测
	梁、板下表面	抹灰	5	
		不抹灰	3	
	柱、墙板侧表面	外露	5	
		不外露	10	
构件搁置长度	梁、板		±10	尺量检查
支座、支垫中心位置	板、梁、柱、墙板、桁架		±10	尺量检查
接缝宽度			±5	尺量检查

3.6 构件连接节点质量控制

根据设计要求，本工程的节点连接方式钢筋混凝土连接，钢筋主要是空腔中的构造柱和构件竖向连接的构造边缘柱和约束边缘柱为主，钢筋的连接方式为置螺纹套筒连接，叠合板板带钢筋连接采用搭接。连接节点及叠合板板带的模板采用铝合金模板，确保连接部位的接缝平整无错台，现场浇筑的混凝土表面平整。空腔内构造柱钢筋定位、空腔混凝土及墙构件的水平连接节点的 70mm 混凝土浇筑质量是一个控制难点，本项目通过了一些了的控制措施，完美地实现了该连接节点的钢筋直螺纹连接及混凝土浇筑成型密实平整无错台。钢筋定位，从转换层开始根据每个空腔的钢筋位置详图制作了打孔钢板对钢筋位置控制，确保浇筑混凝土过程中不发生位移。为了确保 70mm 的水平连接节点混凝土的浇筑效果，项目技术管理人员勤于观察敢于尝试，通过跟厂家沟通将原来构件补灰空底部圆口和空腔底部的方孔改造成喇叭口，下部每隔 600mm 设置观察口（兼做补浆口），采用定制料斗进行补灌处理，观察口处务必安排专人进行振捣，根部 70mm 模板留设排气孔，实现 70mm 混凝土浇筑密实与装配构件结合密实，空腔内后浇混凝土骨料粒径要求不大于 20mm，入模坍落度 200±20mm，上部灌注时需逐孔灌注，使用 30 振捣棒进行逐孔振捣确保 EVE 空腔及竖向构件水平连接节点的混凝土施工质量如图 9 和 10 所示。



图 9　预埋钢筋位置控制措施；钢筋直螺纹套筒连接



图 10　墙构件底部喇叭口；浇筑成型的水平接缝节点混凝土

3.7 人员管理与培训

加强施工人员的质量意识教育，通过邀请构件厂家及业内专业人士对现场管理人员及操作人组织培训、技术交底及到正在施工的项目去学习等方式，使施工人员充分认

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

识到施工质量控制的重要性。针对不同岗位的施工人员，开展有针对性的技术培训，提高其操作技能和安装水平。

3.8 质量检测与验收

建立完善的质量检测验收体系，在施工过程中严格参照现行施工及质量验收规范（JGJ1—2014 装配式混凝土结构技术规程、GB50204—2015 混凝土结构工程施工质量验收规范、GB50666—2011 混凝土结构工程施工规范、DB11/T1030—2021 北京市地方标准《装配式混凝土结构工程施工与质量验收规程》、T/CECS—915—2021《装配式空心板叠合剪力墙结构技术规程》）各环节进行全过程质量检测验收。采用目测、尺量、无损检测等多种检测方法，对构件的尺寸偏差、外观质量、连接节点质量等进行检测。严格按照相关规范和标准进行质量验收，对验收不合格的部位，及时采取返工、返修等处理措施，确保工程质量符合要求。

4 结论

EVE 装配式空心板叠合剪力墙结构在本项目的应用取得良好的效果，目前项目已进入精装修收尾阶段，项目以获得 2024 年度北京市建筑（长城）结构精品工程证书。EVE 装配式空心板叠合剪力墙结构作为一种新型装配式建筑结构体系，具有着户型适应性广、建筑结构抗震性能安全、建筑质量可靠，符合设计要求、无传统灌浆环节施工受季节温度影响小、构件形式多样安装效率高、大孔道钢筋搭接连接技术提高安装效率等诸多优点，相信在建筑工程中具有广阔的应用前景。然而，其施工过程中的质量控制是一项复杂的系统工程，涉及多个环节和众多影响因素。通过对构件制作、运输、安装以及连接等环节质量影响因素的分析，采取相应的质量控制措施，包括材料质量控制、施工工艺优化、人员管理与培训以及质量检测与验收等，可以有效提高 EVE 装配式空心板叠合剪力墙结构施工质量，保障建筑工程的安全性、可靠性和耐久性。在今后的工程实践中，还应不断总结经验，进一步完善质量控制方法，推动 EVE 装配式空心板叠合剪力墙结构在建筑行业的健康发展。

[参考文献]

[1]中国国家标准委员会.装配式混凝土结构技术规程(JGJ1-2014)[M].北京:中国建筑工业出版社,2014.
[2]中华人民共和国住房和城乡建设部.混凝土结构工程施工质量验收规范(GB50204-2015)[M].北京:中国建筑工业出版社,2015.
[3]中华人民共和国住房和城乡建设部.混凝土结构工程施工规范(GB50666-2011)[M].北京:中国建筑工业出版社,2011.
[4]北京市住房和城乡建设委员会.装配式混凝土结构工程施工与质量验收规程(DB11/T1030-2021)[M].北京:北京市住房和城乡建设科技促进中心,2021.
[5]中国工程建设标准化协会标准.装配式空心板叠合剪力墙结构技术规程(T/CECS-915-2021)[M].北京:中国建筑工业出版社,2021.

作者简介：高良柱（1979.1—），毕业学校：大连理工大学；专业：土木工程，单位名称：北京建工集团有限责任公司建筑工程总承包部。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

电力用电信息采集系统在电力计量中的运用研究

王 毅
新疆兵团市政轨道交通（集团）有限公司，新疆 乌鲁木齐 830000

[摘要]在科技飞速发展的今天，用电数据收集和分析是电网运行中必不可少的重要手段。该系统可以对客户用电情况进行实时追踪、收集，并对其进行深度分析与管理，帮助供电企业实现更精确、更有效地进行能源管理。通过该平台的应用，电力企业能够准确把握电力需求，实现用电资源的最优利用，为客户提供优质的电力供应。该体系的广泛应用，对提高我国的节能效率，促进我国经济的可持续发展，有着十分重要的意义。
[关键词]电力用电；用电信息采集；采集系统；电力计量
DOI：10.33142/ucp.v2i3.16729 中图分类号：TM727 文献标识码：A

Research on the Application of Electric Power Information Collection System in Electric Power Measurement

WANG Yi
Xinjiang Bingtuan Municipal Rail Transit (Group) Co., Ltd., Urumqi, Xinjiang, 830000, China

Abstract: In today's rapidly developing technology, collecting and analyzing electricity consumption data is an essential and important means in the operation of the power grid. This system can track and collect real-time customer electricity usage, and conduct in-depth analysis and management, helping power supply enterprises achieve more accurate and effective energy management. Through the application of this platform, power companies can accurately grasp electricity demand, achieve optimal utilization of electricity resources, and provide customers with high-quality electricity supply. The widespread application of this system is of great significance for improving Chinese energy efficiency and promoting sustainable economic development.
Keywords: electricity consumption; electricity usage information collection; collection system; electricity metering

引言

能源是当今世界经济发展的重要引擎，而电源则是最重要的一环。探索电网用电规律，实时掌握电网运行状态，提高供电可靠性，是当前电力行业迫切需要解决的问题。随着新能源接入、电动汽车普及以及多能源互联，电网运行和管理日趋复杂。因此，采用先进的信息采集方法对电力供需进行实时监测，优化用电负荷的预报和调控具有重要意义。因此，开展基于电能采集的电能采集技术研究，对于提高我国的能源利用效率、促进我国的可持续发展、确保电网安全、可靠地运行具有重要的理论和现实意义。本项目的研究和探索，将为构建智能化、高效、可持续发展的电网提供重要的理论和技术支撑[1]。

1 电力计量概述

1.1 电力计量的基本概念

电力计量是利用电能表等仪表对电网内的电能进行测量、统计的一种方法。目的是为了更好地理解用电状况，把握电网的实际状况，从而保证供电安全，实现电网的正常运行。电力计量主要包括有功计量、无功计量、需量计量和电能计量，如表 1，为电能计量表计量数据示例。

1.2 传统电力计量方式的缺陷

采用常规的电量计量方法，其缺点较多。首先，由于常规的电量测量方法大多是人工抄表，需要很久的时间才能完成，无法实现实时测量。其次，由于计量过程中存在着环境、仪器等原因，计量结果的准确性不够高。且测量结果的可靠性不能得到保障，极易受人为扰动，从而带来一些潜在的安全风险。这些问题给电力计量带来了不少困难，同时也给电力市场的健康发展带来了不少风险和挑战。为此，必须研究一种新型的电力计量方法[2]。

1.3 电力计量的发展趋势

数字化、智能化、自动化和网络化是今后电力计量发展的必然趋势。主要体现在：第一，电力系统的实时计量

表 1 电能计量表计量数据示例

电表名称	采集时间	倍率	正向有功表码值	反向有功表码值
1#主表高压侧主表（1102）	2024-06-2609:15:00	88000.0000	1885.0500	16.9500
1#主表高压侧主表（1102）	2024-06-2609:15:15	88000.0000	1885.0000	16.9500
1#主表高压侧主表（1102）	2024-06-2609:15:30	88000.0000	1884.9400	16.9500

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

将会被更多地使用。通信和数据处理技术的进步，使电力计量向实时采集、传输和处理的方向发展，大大地改善了电力计量的效果和精度。其次，智能计量是今后电力计量发展的主要趋势。智能化测量是将人工智能、物联网等技术应用于电力系统的智能化监控与分析，以达到最优利用电力、降低能耗的目的。通过对电能进行智能测量，可以更好地了解电能消耗状况，从而实现电能的高效利用。第三，多能源计量将成为电力计量的另一个发展趋势。在今后的电力计量中，由于新能源的开发利用，需要对太阳能、风能等各种能源进行测量。要想达到多元能源的准确计量，就必须借助先进的通信与信息处理技术。第四，电力的安全计量将是今后电力计量发展的又一重点。在我国，随着我国电网建设的不断深入，电网中的电能质量问题日益突出。电能计量将不再局限于对电能进行计量与统计，而是要实现对电网安全的评价与调控，从而提升电网的运行安全与可靠水平。

2 用电信息采集系统计量数据干扰原因分析

2.1 接线盒

（1）线路老化。一般情况下，因为供电用户没有对供电线路进行经常性的维修，导致了线路在长时间的运行中出现了老化的情况，很可能会出现线路连接松动甚至是电火花的情况，从而对用户的用电安全构成了极大的威胁。（2）电缆接线箱内部螺栓易产生松脱现象，在长时间的运行中，其紧固螺栓的松动是无法避免的，这种现象会导致能源传输的中断，或者降低功率的传输效率，导致电能损失。

2.2 表计

这个问题经常出现，引起这个问题的原因是电池、计度器、液晶屏、存储器、表计、电子器件等。此外，用电过载也是引起该问题的一个重要原因。

2.3 终端

常见的故障模式主要表现在通讯终端问题和电源终端问题两个方面。这两个问题的出现几率比较低，但是并不能避免这两个问题不会出现。而造成电源终端问题的原因，则是端口问题、屏幕问题、软件设施等。一旦出现问题，必然会出现信息丢失问题[3]。

2.4 互感器

这个问题在发生概率方面和上面提到的问题类型相似，要对这个问题原因进行综合分析，主要有熔丝烧毁、互感器放电、二次开路、接线错误、励磁特性不稳定等。

2.5 通讯

这一问题的主要原因是：一是由于人为原因，一些用户长期使用老式机械表，在使用智能表之后，就会发生数据采集偏差问题，智能表的敏感度较高，而且还会记录错误操作，因此经常会出现通信问题。二是用电场景信息收集到的大量数据，在使用初期，由于存在局部误填写的情况，导致不能准确地记录到所收集到的信息，对收集到的信息完整性造成了严重的影响。

3 电力用电信息采集系统在电力计量中的运用策略

3.1 监测用电计量装置

（1）采用电能数据收集体系，实现电力计量装置的实时监测，可以保证电力计量装置的工作状况和准确性。当仪器出现偏差或测量值出现异常时，应及时进行修正、维修或更新，以保证测量结果的准确性。（2）利用电能数据收集技术，可以推动电力计量工作规范化。通过对测量装置操作资料的分析，可以帮助对不合格装置进行识别与校正，提高测量工作的一致性与公平性。（3）本装置可以将测量装置读取的数据实时采集并存入中央数据库，提高了测量结果的可靠性，降低了人工录入、传送等操作带来的误差和疏漏。另外，该系统还具有对异常情况进行检测的能力，从而提高了数据的真实性和完整性。（4）利用电能质量监测系统对电能质量进行监测，实现电能质量的精确控制。例如，根据电表读取数据，对客户进行收费，并根据客户需求，为客户提供个性化的电费表及电量统计分析，为客户提供更高质量的电力使用服务和咨询。具体过程如图 1 所示[4]。

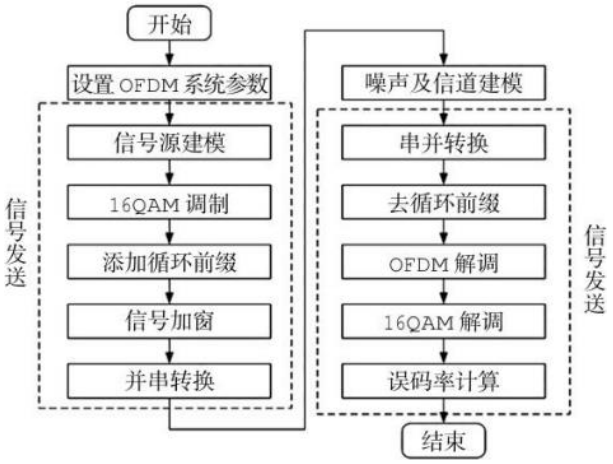


图 1　用电计量过程

3.2 自动化抄表结算

（1）对抄表过程进行优化，以前采用手工挨家挨户进行抄表，不仅费时而且费力。目前，采用信息收集技术，将智能仪表和传感器相结合，进行自动抄表，可以减少人力投入，大大降低了工作人员的工作量和费用。（2）保证了抄表的准确性，手工抄表容易产生误差，造成抄表误差。该系统采用基于智能仪表的电能计量方式，能够有效地消除人工因素的影响，提高测量结果的准确性。（3）实施对电力市场的实时监测和清算，对客户的电力使用情况进行及时追踪和快速收集。通过这种方式，电力公司可以快速地了解客户用电情况，并能够按时进行计量、清算工作，提高了结算的快速性和准确性。（4）建立定制化服务模式，根据客户的电力需求，为客户提供个性化的电力需求。例

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

如，可以针对客户的电力负载特征，向客户提出合适的电力使用计划及相应的节能措施，以提高电力系统的能效及节约能源。

3.3 强化线损管理

（1）对输电线路的工作情况进行实时追踪，实现输电线路工作条件和电能传递过程的实时追踪。通过采用高级智能仪表等手段，对输电线路上的用电信息进行采集，供电部门可以快速了解输电线路负荷状态和损失情况，并对线路故障、能源泄露等情况进行检测。（2）违章用电检测，利用智能仪表等设备，实时监测客户的用电活动，并将采集到的信息与电力部门的数据库相对比和分析，以此来对违章用电情况进行有效鉴别，避免因其造成的电力损失。（3）损耗因素分析与区域定位，通过对采集到的用电资料进行深入分析和处理，并建立相应的算法建模，帮助供电机构识别线路损的主要影响因子和高损区间。该流程可以帮助企业制订和实施降低线路损耗的措施，提高电网的运营效益和稳定。（4）异常状态警告和故障诊断，可以对电力供应中出现的电压波动、电流异常等异常情况进行监测，如果出现异常情况，可以及时报警，提醒电力公司进行检修，从而减少线损的产生[5]。

3.4 提升服务水平

通过对供电企业进行数据采集，可以有效地改善供电质量。详细分析如下：（1）本系统可以对电力客户在使用中出现的电压失稳、电流过载等问题异常及故障进行实时监测。只要检测到异常，便可以第一时间报警，并向供电公司以及其他用户通报。通过这种方式，电网企业可以快速反应、查找和排除问题，提高了电网的可靠性和供电品质。（2）该系统可以对客户的能耗情况进行实时的统计和分析，并在此基础上提出最优节能方案。在此基础上，电网企业可以根据这些意见，制订更加科学的用电计划，使供电效率得到最大程度的发挥，从而为客户降低能耗、节约电费，提高供电质量。（3）具有对客户电力负载进行在线监控和对将来电力需求进行分析和预报的功能。电网企业可以根据预测结果，对电网进行合理的负载调整与资源分配，保证电网的连续性与可信度，从而提高电网的服务质量。（4）该系统还具有对客户用电情况进行收集及反馈的功能，从而使供电企业更好地了解客户的需要及意见。通过对客户反馈与投诉进行实时处理，可以使供电企业更好地满足客户需求，并使其更好地服务。

3.5 控制预付费功能，预防欠费

在电力信息管理系统中，预付费管控策略的应用至关重要。具体内容如下：（1）实时监测和调控，实现对客户用电行为的实时跟踪和统计，当用户帐户存款超过或少于规定界限时，就会发出预警，提示用户及时充值。（2）预付费机制的设置与维护，供电企业可以利用系统来制定和调节预缴电费规定，建立电力信息化管理体系，实施预付费收费机制，并对其进行相关设置，例如预先存储的电费限额、充值方式等。该系统可根据使用者的实际电量，对其帐户存款进行更新，并根据其电力消耗情况，对其进行相应的扣除。（3）预警和节电，当用户帐户内的电量不足时，供电部门会向客户发送警报，提醒客户及时补充电量。针对长时间不交费的客户，采用节能方式，减少或停用电力，鼓励客户及时结清欠费。（4）充电缴费更加便利，供电信息管理系统提供了各种充电途径，包括网络支付、支付站点、移动应用等，提高了用户进行充电的便利性和灵活性。

3.6 控制用户缴费时间

尽管电力使用数据搜集系统为供电企业提供了多种选择，但其一般不负责调整客户支付时间这一中心工作。这一系统以提高电力网络的运营效率和用户的满意度为主要目标，重点研究电力网络的实时监测、能耗分析和负荷预测。在此基础上，提出一系列的电能消费监测方案：（1）实时监测电能消费状态，包括能源消耗、负荷变化等。这对电力企业准确把握电力客户的用电行为，进而改进配电系统的能源配置与负荷调节具有重要意义。（2）异常状态的辨识和报警，通过对电压、电流等参数的监测，采用高级的计算方法，对可能存在的问题进行分析和诊断。由电力公司提供报警信号，并对其进行排除与维修，提高了电力供应的可靠性。（3）能耗最优及负荷均衡：综合考虑客户的电力消耗及负荷动态变化，实现能源供给最优及负荷均衡。电力企业依据上述研究结果，对电力企业进行能源分配决策，提高电力企业的能效。（4）基于电力市场的消费行为及需求预测，利用大数据挖掘、预测等方法，对电力市场中的电力消费进行个性化决策。为提升客户满意度，电力企业可以根据客户对电力市场的预期情况，制订合理的电力消费规划及电价政策。应当指出，客户的支付时点一般是根据政策规定、合同条款和公司经营战略等来决定的，而用电数据收集系统并不具有对客户支付时间进行直接调节的能力。

4 结论

综上所述，电力信息搜集体系具有深厚的理论内涵和鲜明的行业特色，在现代化电网运营中已成为不可或缺的支撑体系，该体系通过智能计量与数据融合技术，有效提升计量工作的精确性和响应速度，在优化能源配置效率的同时强化窃电防范能力，建议供电企业应紧密跟踪计量需求变化和技术发展趋势，优先选择适配性强的先进技术方案进行系统开发，这种技术路线既能保障信息采集系统在实际应用中的稳定运行，又可构建数字化营销服务的底层架构，最终实现生态效益、社会治理和经济效益的协同发展。

[参考文献]

[1]倪红鑫.电力用电信息采集系统在电力计量中的运用研

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

究[J].科技资讯,2025,23(4):124-126.
[2]周桐.新时期电力计量中用电信息采集系统的运用探析[J].电子元器件与信息技术,2024,8(9):33-35.
[3]邓国学,吴丹,于鹏.探讨电力用电信息采集系统在电力计量中的运用[J].冶金工业教育资源开发中心,中国钢协职业培训中心.第13届钢铁行业职业教育培训优秀多媒体课件活动系列研讨会——电力工程与技术创新论文集.国网宁夏电力有限公司石嘴山供电公司;,2024(1):68-71.
[4]何雨昕,妙红英.用电信息采集系统在电力营销中的应用探究[J].仪器仪表用户,2024,31(6):73-74.
[5]高晶.用电信息采集系统在电力营销中的应用[J].广西网络安全和信息化联合会.第一届工程技术管理与数字化转型学术交流会论文集.国网陕西省电力有限公司商洛供电公司,2024(1):147-150.

作者简介：王毅（1999.3—），女，青岛理工大学，新疆兵团市政轨道交通（集团）有限公司，科员，助理工程师。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

论在建筑工程管理中现代工程技术的分析

曹玉鹏[1] 黄一峻[2] 郁晨涛[1] 曹卫东[3]
1 杭州望金建设开发有限公司，浙江 杭州 310000
2 杭州钱塘新区建设投资集团有限公司，浙江 杭州 310000
3 浙江工业大学工程建设管理有限公司，浙江 杭州 310000

[摘要]建筑工程建设中工程管理则是以实现工程项目预期经济与社会效益为目标，沟通协调工程规划设计、具体施工等各种工作，并有效把控施工质量、施工安全和施工进度，为此提升水平的工程管理能够有效促进工程建设顺利实施。伴随建筑工程的复杂性，在工程管理工作中科学应用现代工程技术，有助于提升工程管理有效性。
[关键词]建筑工程；管理；现代工程技术
DOI：10.33142/ucp.v2i3.16720 中图分类号：TU7 文献标识码：A

Analysis of Modern Engineering Technology in Construction Project Management

CAO Yupeng[1], HUANG Yijun[2], YU Chentao[1], CAO Weidong[3]
1. Hangzhou Wangjin Construction and Development Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang, 310000, China
2. Hangzhou Qiantang New Area Construction Investment Group Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang, 310000, China
3. Zhejiang University of Technology Engineering Construction Management Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang, 310000, China

Abstract: Engineering management in construction projects aims to achieve the expected economic and social benefits of the project, communicate and coordinate various work such as engineering planning and design, specific construction, and effectively control construction quality, safety, and progress. Therefore, improving the level of engineering management can effectively promote the smooth implementation of engineering construction. With the complexity of construction projects, the scientific application of modern engineering technology in project management can help improve the effectiveness of project management.
Keywords: construction engineering; management; modern engineering technology

就目前而言，建筑行业发展快速，现代工程技术在建筑工程管理中的应用为建筑行业带来了巨大的变革。传统建筑工程管理模式在面对复杂的工程项目时，会逐渐暴露出相关问题，现代工程技术的出现涵盖了信息化技术、智能化技术以及绿色节能技术等多个方面，可以实现建筑工程从规划、设计到施工全过程精细化管理。通过现代工程技术，建筑工程管理可以实现数据的实时共享分析，将决策科学性以及准确性提升，在施工过程中采用先进的监测技术实时掌握工程进度以及质量，及时发现并解决潜在问题，确保工程的顺利进行。

1 现代工程技术原理

建筑工程作为一个复杂的系统，其中涉及设计、施工以及材料等多个环节，现代工程技术应用系统优化原理，将各个环节作为有机整体，通过对资源、时间以及成本等要素进行综合考虑，实现工程整体效益的最大化。伴随信息技术的飞速发展，建筑工程管理也向信息化发展，通过建立信息化管理平台实现实时采集、传输以及分析[1]。现代工程技术将多种专业工种的工艺知识进行集成，在施工过程中不同专业的施工工艺需要有机结合，以此提升施工效率，将施工过程中的冲突失误减少。现代工程技术采用先进的算法以及分析工具，对建筑工程的各个方面优化，在材料选择上综合考虑材料的性能、成本以及环保因素，选择合适的材料，促进建筑业的良性发展。

2 现代工程技术作用

传统建筑施工模式主要依赖于人力，受限于人员的体力以及技能水平，无法保证施工进度。现代工程技术引入先进的机械设备以及智能化管理系统，可以提前发现潜在问题并制定解决方案，以免施工过程中的冲突，保证工程可以按照预定时间节点顺利进行。此外，现代工程技术有助于实现项目收益最大化，通过优化资源配置可以降低成本，并采用先进的材料检测技术可以保证使用质量合格的建筑材料，减少因为材料消费以及返工带来的损失。与此同时，高效的施工技术减少了工期，使得项目更快投入使用并产生收益，进而提升建筑的品质以及功能性，增加建筑的附加值。同时，良好的测量技术保证了建筑物的垂直度、平整度，无损检测技术可以在不破坏结构的前提下检测内部缺陷，及时发现并处理质量隐患，从多个方面保障了工程质量。图 1 为现代工程技术信息管理系统。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

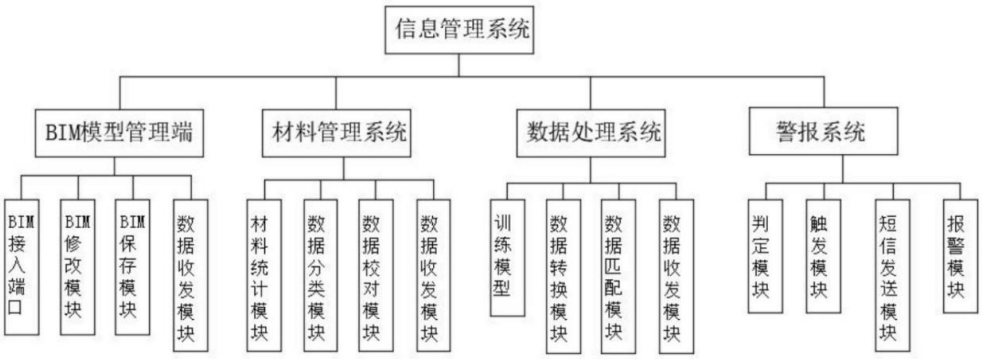


图 1 现代工程技术信息管理系统

3 建筑工程管理对现代工程技术的具体应用

3.1 建筑信息模型技术

BIM 技术创建的三维立体模型，可以直观呈现建筑项目的整体布局，工程管理人员可在模型中对建筑物的空间结构、功能区进行规划。以综合体规划中利用 BIM 模型看到不同的楼层分布、通道设置和公共区域布局，而后模拟人员流动，提前优化设计方案，以免后期室内工作中出现空间利用不合理问题，并对不同专业的设计进行整合，及时发现各专业之间的冲突，在规划阶段进行协调解决，减少施工过程中的变更返工。在施工过程中，BIM 技术以及三维立体模型为施工管理提供有力支持，通过 BIM 模型施工人员可以准确理解设计意图，按照模型进行施工操作，模型中包含详细的构件信息以及施工工艺要求，有助于提升施工质量[2]。通过和进度管理软件结合实现对施工进度的动态监控，管理人员实时查看每个施工阶段的完成情况，对比实际进度与计划进度的差异，及时调整施工安排。在建筑工程运营维护阶段，BIM 技术同样具有重要价值，三维立体模型可以作为建筑的数字化档案，对建筑的各种信息进行记录，运维管理人员按照模型快速定位设备故障点，制定合理的维护计划，将运营效率提升，进而减少维护成本。图 2 为建筑装饰工程项目管理 BIM 技术。



图 2 建筑装饰工程项目管理 BIM 技术

3.2 虚拟现实技术

传统设计中设计师通过二维图纸表达设计理念，对于非专业人员来说具有较大的理解困难，通过虚拟现实技术设计师可以创建逼真的三维建筑模型，管理人员、业主等相关人员可以感受建筑内部空间布局、采光效果以及装饰风格，以免在施工阶段进行大规模修改，以此节省了时间以及成本。在施工过程中，安全管理属于主要内容，通过创建虚拟的施工环境，施工人员可以在其中进行模拟操作，提前熟悉施工流程以及可能遇到的危险情况。在高处作业模拟过程中，施工人员在虚拟场景中体验到高处作业的风险，以此重视安全防护措施，且虚拟现实技术可以用于施工进度管理，管理人员可以按照虚拟模型制定详细施工计划，并对比实际施工进度和计划进度，及时发现偏差并采取调整措施，保证工程按时完成[3]。在项目交付过程中，可以通过虚拟现实体验全面了解建筑的各项功能设施，对于后期维护人员来说采用虚拟模型快速定位设备位置，对系统运行原理，提升维护效率以及质量提升。

3.3 现代成组技术

传统建筑设计中不同建筑项目可能存在相似的部分，一般会进行重复设计，从而造成资源浪费，现代成组技术可将具有相似特征的建筑结构、构件等进行分类编组。对于住宅建筑中常见的楼梯、阳台等结构，通过组成技术将其进行标准化设计，形成一组通用的设计方案，以此在后续建筑项目中如果遇到相似的需求，就可以直接采用这些设计方案，减少了设计时间以及成本，提升了设计效率。在施工阶段过程中，现代成组技术有助于实现施工流程的标准化以及规范化，将建筑施工过程中相似的施工任务进行分组，制定统一的施工工艺以及操作标准。以墙体砌筑工作，按照不同的墙体类型以及建筑要求进行分组，为每组制定特定的砌筑方法和质量标准，施工人员可依据这些标准进行操作，不仅可以保证施工质量的一致性，有助于施工管理。此外，成组技术可以优化施工资源的配置，通过对施工任务的分组，可以合理安排施工人员、设备以及材料，以免资源限闲置和浪费。对于质量控制而言，现代成组技术也具有重要作用，因为采用标准化的设计以及施工流程，质量检测也可按照成组方式进行，对于同一组的建筑构件或者施工任务，制定统一的质量检测标准和方法，

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

减少了质量检测的复杂性，提升了检测的准确性以及效率，如果发现质量问题可以追溯到相关的设计以及施工环节，有助于进行及时整改。

3.4 自动控制技术

建筑中包含大量的机电设备，其稳定运行直接影响建筑的使用功能以及舒适度，通过自动控制技术，可实现对这些设备的智能化管理，对于空调系统可以按照室内外温度、湿度和人员流量等参数自动调节运行状态，在确保室内环境质量的基础上降低能源消耗，进而延长了设备的使用寿命。在建筑工程管理中，混凝土浇筑时采用自动控制技术可以控制混凝土的搅拌时间、配合比和浇筑速度，保证混凝土的质量均匀稳定，在大型建筑的垂直运输中自动控制系统可以按照不同楼层的施工需求，合理调度施工电梯的运行，将物料运输效率提升，加快施工进度[4]。在建筑消防系统中，自动火灾报警系统以及自动喷水灭火系统等可实时监测火灾隐患，如果发现异常情况立即发出警报并自动启动相应的灭火措施，为人员疏散以及火灾扑救争取时间。

3.5 铝膜技术

传统的模板施工需要耗费一定量的时间进行搭建拆除，铝膜具有安装便捷以及重量轻的特点，可以通过工业化生产在工厂内完成加工制作，而后运输到施工现场进行组装，施工人员通过简单培训就可以熟练操作，将施工周期缩短，采用铝膜技术后可以将施工天数缩短。并且，铝膜具有较高的精度，可以保证混凝土浇筑的尺寸以及形状准确无误，表面平整光滑，浇筑出的混凝土墙面以及地面平整度较好，可以减少后期装修阶段的打磨以及修补工作，且铝膜整体性较强，在混凝土浇筑过程中可以防止漏浆等问题，提升混凝土结构的强度以及耐久性。以成本控制角度而言，虽然铝膜的前期投入成本较高，但是从长时间而言具有明显的优势，铝膜可以多次周转使用，分摊到每次使用中的成本较低。因为施工效率提高以及质量提升，减少人工成本以及后期维修成本。

4 建筑工程管理中现代工程技术适用领域

4.1 设计阶段

传统结构设计方式在面对复杂建筑形态以及高要求性能指标时一般力不从心，现代工程技术中的 CAD 软件可以模拟建筑结构在不同荷载条件下的力学性能，通过有限元分析软件，工程师可以对建筑结构的各个部分进行应力、应变分析，进而对结构设计优化，减少材料浪费，提升建筑的安全性和稳定性。在建筑节能设计领域中，伴随环保意识的增强，建筑节能成为设计阶段的重要考量因素，通过采用 BIM 技术可以模拟分析建筑能耗，BIM 模型整合了建筑的几何信息、材料信息以及环境信息，可计算建筑在不同季节、不同气候条件下的能耗情况，基于这些分析结果设计师可以优化建筑的朝向、窗墙比等，从而降低建筑的能耗[5]。在建筑智能化设计方面，现代工程技术为建筑提供了更多的功能以及便利，利用物联网技术以及自动化控制计划，设计师可以实现建筑设备的智能化管理，通过传感器实时监测建筑内的温度、湿度以及控制质量等参数，按照预设的条件自动调节空调、通风等设备运行，为用户提供舒适的室内环境。

4.2 进度管理

在项目规划阶段借助 BIM 技术对建筑项目进行三维建模，将建筑的各个部门以及施工流程进行展示，通过模型管理人员可以分析不同施工阶段的任务以及时间要求，计算出每个环节所需的时间和资源。在施工监控方面，现代工程技术实现了实时动态管理，无人机技术以及传感器技术的应用能够实时监测施工现场，无人机可以定期对施工现场进行航拍，获取全面的施工进展图像，管理人员通过图像分析可以及时了解各个区域的施工情况。传感器可以在建筑结构、施工设备等位置安装，实时传输温度、湿度以及应力数据，如果出现影响进度的异常情况系统会立即发出警报，有助于管理人员及时采取措施解决。项目管理软件以及云计算技术结合，可让项目参与各方在同一平台上进行信息共享沟通，施工人员可以实时上传施工进展情况和遇到的问题，以此高效的沟通方式减少了信息传递的时间以及误差，提升了各方协同工作效率。

4.3 成本控制

在施工过程中，现代工程技术的自动化施工技术能够提升施工效率，减少人工成本，例如自动化的混凝土浇筑设备、钢筋加工设备等，不仅可以提升施工质量，还能够减少施工周期，将设备租赁成本以及人工成本降低。同时，物联网技术的应用可实现对施工现场的实时监控管理，在施工现场布置传感器可对施工设备的运行状态进行监测，管理人员可以及时发现问题并采取措施，以免资源浪费以及成本浪费。对于材料管理而言，现代工程技术通过供应链管理系统，建筑企业可以实现对材料采购、运输以及储存全过程管理，采用大数据分析技术可以预测材料的需求趋势，合理安排采购计划，将库存成本降低。选择新型材料以及节能环保技术，不仅可以提升建筑的性能质量，还能够将长期的运营成本降低。

4.4 安全管理与运维管理

传统安全管理方式一般依赖于人工巡查，效率较低并且存在相应的盲区，现代工程技术中的物联网技术则是在施工现场布置传感器，从而实时监测施工现场的各种环境参数，当参数超出安全范围，就会立即发出警报，提醒管理人员及时采取措施，以免安全事故的发生。此外，可以采用无人机进行施工现场安全巡检，可以快速覆盖大面积区域，发现未设置警示标识的危险区域、松动的脚手架等，对于运维管理方面而言，智能建筑管理系统整合了现代通信技术、计算机技术以及自动化控制技术，有助于集中管理建筑内的设备，提升设备的使用寿命。在此过程中，采用

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

GIS 技术可对建筑周边的地理环境、基础设施等进行信息整合，为建筑运维管理提供全面数据支持，在应对突发事件时可以快速制定救援方案以及疏散路线，确保人员生命安全。

5 结语

对于建筑工程项目来说，工程管理的重要性具有重要意义，因为新时期的建筑工程已经发生了变革，建筑工程管理也需要改进创新，保证充分发挥其重要作用。在建筑工程管理中，通过信息化管理系统能够实现高效的资源调配，使得各施工环节紧密连接，将工程管理效率提升，并且先进的监测以及检测技术可以及时发现潜在隐患，为工程质量与施工安全提供了保障。与此同时，建筑企业还要积极引进和推广先进技术，培养高素质技术管理人才，从而适应行业发展需求，政府以及行业协会也需要充分发挥引导作用，制定相关标准规范，促进现代工程技术的有序发展。

[参考文献]

[1]黄任锋.建筑工程管理中现代工程技术运用研究[J].城市建设理论研究(电子版),2025(13):52-54.
[2]杜彩龙.现代数字信息化技术在建筑工程管理中的应用[J].江苏建材,2025(1):144-146.
[3]赵涛.基于现代工程技术的建筑工程管理研究[J].城市建设理论研究(电子版),2025(4):77-79.
[4]高存金.建筑工程管理中现代工程技术的应用[J].中国招标,2024(8):102-104.
[5]吕绍芝.建筑工程管理中现代工程技术的应用研究[J].低碳世界,2023,13(12):103-105.

作者简介：曹玉鹏（1995.7—），男，温州大学瓯江学院，土木工程，杭州望金建设开发有限公司；郁晨涛（1993.7—），男，中国石油大学（华东），工程管理，杭州望金建设开发有限公司，工程师；黄一峻（1998.3—），男，上海应用技术大学，土木工程，杭州钱塘新区建投投资集团有限公司；曹卫东（1971.3—），男，国家开放大学，建筑施工与管理，浙江工业大学工程建设管理有限。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

建筑工程造价全过程控制中的问题以及解决对策

惠述清
枣阳市政府投资审计中心，湖北 襄阳 441200

[摘要]随着我国建筑业不断向前发展，强化建筑工程造价预算方面的监管，已然成为保障工程项目可以顺利推进以及企业能够实现可持续发展的一项重要根基。科学合理的工程造价预算，一方面可对各个施工环节的资金运用予以有效把控，防止出现资金浪费的情况，另一方面也能够在很大程度上提高企业的经济效益以及社会效益。本论文深入剖析建筑工程造价全过程控制当中所存在的那些关键问题，并且给出与之对应的控制办法，希望能为促进我国建筑业高效发展给予有力的支撑。
[关键词]建筑工程；工程造价全过程；问题及对策
DOI：10.33142/ucp.v2i3.16739 中图分类号：TU72 文献标识码：A

Problems and Countermeasures in the Whole Process Control of Construction Cost

HUI Shuqing
Zaoyang Municipal Government Investment Audit Center, Xiangyang, Hubei, 441200, China

Abstract: With the continuous development of Chinese construction industry, strengthening the supervision of construction project cost budgeting has become an important foundation for ensuring the smooth progress of engineering projects and the sustainable development of enterprises. A scientifically reasonable engineering cost budget can effectively control the use of funds in various construction stages, prevent waste of funds, and greatly improve the economic and social benefits of enterprises. This paper deeply analyzes the key issues in the whole process control of construction project cost and provides corresponding control methods, hoping to provide strong support for promoting the efficient development of Chinese construction industry.
Keywords: construction engineering; the whole process of engineering cost; problems and countermeasures

引言

建筑工程造价的全过程控制属于现代建筑工程管理里极为关键的一个部分，其最为重要的目标在于借助科学且系统的管理方式，于项目的各个不同阶段达成造价的有效把控，以此来保障工程项目能够在既定的预算范围之内保质保量地按时完成。不过在实际的操作进程当中，建筑工程造价控制往往会碰到不少问题，像是在招标阶段对工程的具体情况估量不够到位、施工方案的设计存在不合理之处、施工阶段出现偷工减料的情况以及验收阶段存在着质量方面的缺陷等等。这些问题一方面使得工程成本出现了超支的状况，另一方面也对工程质量以及施工安全造成了颇为严重的影响，甚至还带来了社会层面以及环境层面的负面作用。所以说，针对这些问题展开研究并且提出具有较强针对性的解决办法，已然成为提升建筑工程造价管理水平、达成建筑项目高效收益的关键路径。本文会深入剖析建筑工程造价全过程控制当中的那些主要问题，并且结合实际的状况给出与之对应的解决策略，进而为建筑行业在项目管理方面给予具有一定价值的参考，推动建筑工程造价管理朝着科学化以及精细化的方向发展。

1 建筑工程造价全过程控制原则

建筑工程造价全过程控制指的是在整个工程项目的生命周期当中，从项目立项一直到后期运维这些各个阶段，运用科学且系统的方式去对工程造价展开有效的计划、管理以及控制，以此来保证工程项目在符合质量和功能要求的情况之下，达成成本的最优化。其基本的原则包含有全过程性、动态性、系统性还有预控性。全过程性着重指出对造价的控制需要贯穿于项目始终，而并非仅仅局限于某一个阶段；动态性要求在工程实施的过程里面，依据实际的状况及时地去调整造价计划，以此来确保控制措施具备灵活性以及适应性；系统性表现在对造价控制的管理应当综合地去考量项目建设当中的技术、经济、组织、环境等诸多方面因素，进而形成协同的机制；预控性是通过前期较为充分的准备以及方案的优化，尽可能多地去削减造价风险以及无效成本的支出。除此之外，全过程造价控制还应当秉持“以设计作为龙头、以合同当作依据、以信息给予支撑、以管理作为核心”的控制理念，重视成本核算和风险预判相互结合起来，强化施工单位、建设单位、监理单位彼此之间信息的沟通以及协同管理，从而确保造价控制的科学性、有效性以及可操作性，最终实现建筑工程经济效益与社会效益的统一。

2 建筑工程造价全过程控制中存在的问题

2.1 招标阶段没有评估建筑工程具体情况

在建筑工程造价的全过程控制方面来讲，招标阶段往往没能对建筑工程的实际具体状况给予充分的评估，这可

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

算得上是相当普遍并且颇为严重的一个问题。不少工程项目在招标这个环节当中，仅仅只是凭借初步设计或者概算方面的相关资料来开展工作，对于工程地质方面的实际条件、施工所处的环境状况、项目的具体规模大小、技术层面的各项要求以及后续可能出现的变更等情况，都欠缺细致且全面的剖析考量，如此一来便致使招标文件的内容显得颇为笼统概括，预算的准确性也大打折扣，而且工程量清单和实际情况之间还存在着不小的偏差差距，最终这对后续施工阶段的造价控制产生了不小的影响。

2.2 工程施工方案设计不合理

在建筑工程造价的全过程控制环节当中，工程施工方案设计出现不合理的情况，这无疑是一个会对造价控制效果产生关键影响的问题。部分项目在施工方案设计这个阶段，存在着重视进度而轻视经济方面的考量这一现象，没有很好地结合项目实际的具体情况、施工所处的环境状况、资源配置的实际情况以及技术手段来展开科学且合理的统筹规划工作，如此一来便致使设计方案缺少应有的可操作性以及经济性[1]。就好比说，施工组织安排不够合理、施工工艺的选择存在不妥之处、机械设备的配置也不够科学，这些情况都会引发资源的浪费、工期出现延误以及施工效率变得低下的后果，进而使得项目造价不断升高。除此之外，有些设计单位没有充分地去考虑施工过程中可能会存在的风险因素以及有可能会出现的技术难点，这就使得在实际施工进程当中频频出现设计调整以及变更签证等情况，进一步促使工程成本不断增加。

2.3 施工阶段存在偷工减料问题

目前，在施工阶段普遍存在偷工减料的现象，施工人员未严格按照施工方案选用原材料，而是随意减少所需的材料，这使得建筑工程的质量难以得到有效保障。同时，这种做法在后期返工过程中还会进一步增加额外的成本。其主要原因在于所使用的施工材料往往不符合标准或规格要求，严重影响工程的整体质量。此外，偷工减料行为缺乏有效的惩罚措施，施工人员的操作规范性得不到足够重视，且对施工材料的管理和监督也存在疏漏，从而直接导致建筑工程质量的降低。

2.4 验收阶段存在质量缺陷问题

在建筑工程造价的全过程控制方面，验收阶段存在着质量缺陷这一问题，而该问题已然成为影响工程造价以及使用功能的一个颇为突出的状况。因为前期的施工环节在控制上不够严谨，或者监管工作做得不到位，所以有一部分建筑工程在竣工验收的时候，就暴露出诸如混凝土强度不够、管线安装不符合规范、防水层出现开裂情况、装饰施工比较粗糙等一系列的质量缺陷[2]。这些问题一方面对建筑物的安全性产生了影响，另一方面也对其使用寿命造成了不利影响，并且还不得不进行返工或者加固方面的处理，进而导致出现了额外的经济支出以及工期的延误情况，这无疑使得工程的实际造价有了明显的增加。

3 建筑工程造价全过程控制对策分析

3.1 招标阶段注重评估工程造价

在建筑工程造价的全过程控制方面，招标阶段着重对工程造价加以评估，这无疑属于确保项目得以顺利实施的一个极为关键的环节。合理的造价评估，一方面和工程的资金分配有着密切关联，另一方面也对后续各个阶段的成本控制以及资源配置产生着直接的影响。在招标阶段，务必要开展详尽的前期调研以及工程分析工作，要全面且细致地去了解项目的具体技术要求、实际施工环境状况、地质方面的相关条件，还有市场所呈现出的变化趋势等，以此来保证工程造价评估能够和实际情况紧密贴合起来。应当依据项目的具体设计文件、工程量清单以及施工方面的要求，去编制出一份较为详细的预算方案，从而能够给投标单位提供清晰明确的造价依据，并且还要制定出科学且合理的控制价格，确保各方能够在一种公平公正的条件之下展开激烈的竞争。在评估的过程当中，需要充分考虑到不同施工方案在成本效益方面的对比情况，要尽力避免仅仅凭借最低报价而形成的那种恶性竞争局面，毕竟低价中标通常就意味着在后期会频繁出现变更、签证或者质量问题等情况，进而致使额外成本不断增多。为了切实保证工程造价的合理性，还需构建起较为完善的针对风险的管理机制，对于可能出现的成本波动、材料价格方面的变化以及政策方面的变动等诸多因素，都要提前做好预判并进行相应的准备，制定出具有灵活性的应对举措。此外，招标阶段的评估工作，除了要对工程的直接造价予以关注之外，还应当综合全面地去考量施工过程中有可能会出现的那些隐性成本，像是工期出现延误的情况、碰到技术难题的情形以及不可预见的风险等等，真正做到从全方位、多角度来展开造价分析以及预测工作。

3.2 合理设计施工方案

在建筑工程造价的全过程控制环节当中，合理地去设计施工方案，这可是保证工程项目能够高效地得以实施、对成本加以有效控制并且能够切实保障工程质量的一个基础所在。施工方案在设计的时候，其涉及到的并不仅仅是技术方面的可行性这一项内容，而且还需要全方位地去考量经济层面的情况、施工现场所处的环境状况、工期方面的要求以及资源配置等诸多不同方面的因素。就比如说，要从详尽的现场实地勘察以及相关的技术论证出发，把项目的地理位置、地质方面的具体条件还有气候方面的各种因素都结合起来去充分考量，以此来确保所选定的施工方法以及所采用的工艺具备科学合理性以及与实际情况相契合的适应性。在面对像复杂的地质环境或者极端的气候条件这样的情况时，去选择与之相匹配的施工技术和工艺就显得格外重要了，唯有如此才能够避免因为技术运用得当而出现材料无端浪费以及工期无故延误这样的不良情

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

形发生[3]。施工方案在设计之时，务必要综合且周全地去考量成本效益方面的相关事宜，在充分确保工程的质量以及施工安全的前提之下，对施工的先后顺序、各个工序之间的衔接配合以及设备的具体使用情况做出合理的安排，尽力去提升施工的整体效率，把那些不必要的成本给降下来。举例来讲，借助于对施工工序予以优化的方式，能够有效地减少设备处于闲置状态的时间以及工人无事可做而白白等待的时间，进而使得人工成本以及机械使用成本都有所降低。除此之外，施工方案在设计的过程当中，还得预估到项目在实施过程当中有可能会出现的各种风险因素，并且要提前着手去制定相应的应急预案以及备选的替代方案，借此来削减那些不可控的因素给工程的推进进度以及成本方面所带来的影响。

3.3 严格管理施工过程

在建筑工程造价的全过程控制方面，对施工过程加以严格管理属于核心环节，其能够确保工程质量、进度以及造价目标得以协同达成。施工阶段在项目实施进程中占据关键位置，此阶段会涉及数量众多的人力、物力以及财力方面的投入，一旦管理稍有疏忽，便极有可能致使成本失去控制、工期出现延误以及产生质量问题，所以务必要构建起完善的施工管理体系，进一步强化针对全过程的监督工作以及动态控制举措。需严格按照施工组织设计以及施工计划来执行，要合理地去安排施工进度，防止出现盲目赶工或者资源处于闲置状态的情况，以此提升施工的效率。得强化对材料采购环节、进场检验环节以及使用过程中的监管力度，坚决杜绝偷工减料、以次充好这类行为，保证材料的质量能够符合设计以及规范所提出的要求，从而从源头上对成本风险加以控制。与此还应当推行全过程的质量控制以及成本核算机制，要明确各个施工环节的责任分工情况以及成本指标，实现责任落实到具体个人且整个过程都能处于可控制的状态。施工单位另外还需要强化施工现场的安全管理工作，尽力减少安全事故给工程所带来的损失，而且借助信息化管理方面的手段，像 BIM 系统、ERP 系统等，达成对施工数据的实时跟踪以及分析的目的，进而为造价控制给予决策方面的有力支持。

3.4 加强对建筑工程验收阶段的质量控制

在建筑工程造价的全过程控制方面，强化对验收阶段的质量把控，这可是保证整个工程质量，并且能防止后期出现成本浪费的一个极为重要的环节。工程竣工验收这一环节，一方面是对施工成果展开较为全面的评定，另一方面也是确认该工程是否能够达成设计所规定的标准以及满足使用功能方面要求的关键步骤。所以，在此环节务必要依照国家相关的法律法规、技术标准以及验收程序来严格执行，以此确保工程质量的真实可靠以及合规合法[4]。一开始，需要组建一个联合验收小组，这个小组是由建设单位、施工单位、监理单位、设计单位以及相关质量检测机构共同构成的，然后针对结构安全、建筑节能、机电安装、防水层、装饰工程等诸多方面展开系统的、全面的检查工作，着重去核查那些隐蔽工程、关键节点以及容易出现质量问题的相关部位。得进一步强化对工程档案资料的审核工作，要确保在施工过程当中的各项质量记录、检测报告、签证单据等都是完整的、真实的并且具有可追溯性的，从而给验收工作给予强有力的依据支撑。与此对于在验收过程当中所发现的各种问题，应当严格要求对方进行整改处理，并且经过复验确认合格之后才能够予以通过，切忌让不合格的工程蒙混过关，以免在后期的使用过程中出现安全隐患以及功能方面的缺陷，进而导致维修和运营成本不断增多。

4 结语

建筑工程造价的全过程控制对于保障项目顺利推进以及提高经济效益而言，属于极为关键的因素所在。就实际操作来讲，像在招标阶段存在评估不够到位的情况，施工方案的设计也往往不够合理，还时常出现偷工减料这类问题，并且在验收阶段同样存在着质量方面的诸多缺陷等等，这些都是比较普遍存在的问题。不过要是采取科学的管理举措，比如强化招标阶段针对成本所做的评估工作，更为合理地去设计施工方案，对施工过程予以严格的管理把控，同时加强对验收阶段质量方面的控制力度等，那么就能够有效地规避这些问题，进而实现对工程造价的合理掌控。伴随行业管理水平持续不断地提升以及技术手段方面取得的进展，建筑工程在整个过程当中的造价控制会变得愈发完善，这也将有力地推动建筑业朝着高质量且可持续的方向去发展。

[参考文献]

[1]张志晖.建筑工程造价全过程控制中的问题及解决对策[J].城市建设理论研究(电子版),2023(34):55-57.
[2]陈伟利.建筑工程造价全过程控制中的问题及解决对策[J].住宅与房地产,2021(6):45-46.
[3]龙夏林.建筑工程造价全过程控制现存问题及解决对策[J].房地产世界,2023(21):100-102.
[4]靳雪强.建筑工程造价全过程控制中存在的问题及对策探究[J].居业,2017(10):153-155.

作者简介：惠述清（1977.2—），毕业院校：湖北文理学院，所学专业：土木工程，当前就职单位：枣阳市政府投资审计中心，职务：主任，职称级别：中级。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

输变电工程施工管理的难点及对策分析

丘晓卿
广东电网能源发展有限公司，广东 广州 510165

[摘要]在当下输变电工程项目推进期间，怎样科学且高效地展开项目管理，使管理流程得以规范，促使工程质量得以提升，对实际成本加以控制，同时保证工期进度，这是推动我国电力事业健康并持续向前发展的关键保障。就输变电工程施工管理所存在的具体问题而言，需采取行之有效的管理策略与方法，充分挖掘工程项目管理所具备的优势，提高整体管理的水平，以此确保输变电工程项目管理的质量以及效果。本论文针对输变电工程施工管理当中的关键问题展开了细致剖析与探讨，目的是为相关工程项目的顺利开展给予理论层面的依据以及实践方面的指引。
[关键词]输变电工程；管理难点；对策
DOI：10.33142/ucp.v2i3.16730 中图分类号：TM4 文献标识码：A

Analysis of Difficulties and Countermeasures in Construction Management of Power Transmission and Transformation Projects

QIU Xiaoqing
Guangdong Power Grid Energy Development Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong, 510165, China

Abstract: During the current promotion of power transmission and transformation projects, how to scientifically and efficiently carry out project management, standardize management processes, improve project quality, control actual costs, and ensure project schedule is the key guarantee for promoting the healthy and sustainable development of Chinese power industry. As for the specific problems in the construction management of power transmission and transformation projects, effective management strategies and methods need to be adopted to fully tap into the advantages of project management, improve the overall management level, and ensure the quality and effectiveness of power transmission and transformation project management. This paper provides a detailed analysis and exploration of key issues in the construction management of power transmission and transformation projects, with the aim of providing theoretical basis and practical guidance for the smooth implementation of related engineering projects.
Keywords: power transmission and transformation engineering; management difficulties; countermeasure

引言

随着我国电力行业不断发展，输变电工程作为电力系统里极为关键的基础设施，其建设质量以及管理水平和电力供应的安全性、稳定性紧密相关。输变电工程施工技术复杂、工期紧、环境条件多变，施工过程有很多挑战和难点。市场价格波动使得施工成本难以精准控制，设计图纸和实际现场情况有差距，施工队伍专业能力参差不齐，管理制度不完善，安全监管力度不够等问题，都对施工管理提出了更高要求。怎样有效应对这些难点，提高施工管理的科学性和规范性，保证工程质量、安全与进度，是当前输变电工程建设急需解决的重要问题。本文会深入剖析输变电工程施工管理存在的主要难点，结合实际情况给出切实可行的应对策略。

1 输变电工程施工管理的特点

输变电工程施工管理有着显著的专业特性以及繁杂程度。其主要表现在技术方面的要求颇高、施工所处的环境情况复杂还有管理所涉及的内容多种多样等这些方面。输变电工程一般会涵盖高压输电线路、变电站等诸多关键环节，施工进程务必要严格依照电力行业所规定的技术规范以及安全标准来执行，以此保障设备安装以及线路架设能够达到精准且稳定的程度。施工现场常常呈现出分布范围较为广泛的态势，包含了山区、乡村以及城市等多种不同的地形环境，这就给运输工作、安装操作以及现场管理工作都带来了不小的难题，要求管理人员得具备较强的协调能力以及应对突发状况的能力。除此之外，输变电工程还牵涉到电气设备、电缆敷设，增加铁塔组立、架线施工、土建施工等多个专业领域，施工管理需要对各方面统筹考虑并加以兼顾，去协调各个专业施工队伍的工作推进速度以及质量把控情况，进而确保整体工程具备系统的完整性以及连贯的统一性。

2 输变电工程施工管理的难点

2.1 市场波动影响施工成本

输变电工程施工期间，市场波动给施工成本带来的影响颇为突出。一开始，原材料价格老是波动，这使得工程预算很难精准把控。像铜、铝这类电气材料还有钢材、水泥等基础建材的价格，会受到国际市场、供需关系以及政策调控等多种因素的作用，经常出现幅度不小的涨跌情况。这样的价格不稳状况，加大了施工企业在采购方面存在的风险以及资金方面的压力[1]。劳动力成本同样会受到劳动力市

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

场供求状况、地区经济发展水平以及政策调整等方面的影响，呈现出上涨的势头，这又进一步抬升了施工整体的成本。除此之外，机械设备租赁费用以及能源费用等其他施工所需资源的价格出现波动时，也会让工程成本的不确定性有所增加。

2.2 施工图纸缺少现场勘查

输变电工程施工管理中，施工图纸欠缺现场勘查是比较突出的难点。施工图纸一般在设计阶段完成，设计人员依照已有的资料和数据绘制，然而常常缺少对施工现场实际环境的充分勘察，致使图纸和现场实际情况有较大出入。这种不匹配在施工过程中会引发很多问题，像设备布置不合理、线路走向和地形不符、土建结构和地质条件冲突等等，直接影响施工顺利开展和工程质量。缺少详尽的现场勘查资料让施工单位难以提前预知潜在的技术难题和施工风险，增加现场临时调整和变更的次数，进一步提高施工成本和工期。

2.3 施工队伍缺乏专业性

目前，我国输变电工程施工人员的数量已基本能够满足工程建设的需求，但部分企业为了降低成本，仍存在使用未经专业培训人员的现象。同时，不同企业之间施工人员的专业水平和技能存在较大差异。尽管在招标审查阶段项目团队的整体资质达标，但团队内部仍有不少人员对电力工程建设的专业知识掌握不足，影响了施工质量和管理水平的提升。

2.4 管理制度不完善

输变电工程施工管理里，管理制度不完善是突出难点。当下部分施工单位在制度建设上有所欠缺，缺少系统且科学的管理规范，使得施工时职责划分不明、管理流程杂乱，影响项目整体协调与执行效率。质量控制、安全管理、进度监督等关键环节缺乏明确制度支撑，施工现场易出现管理漏洞和责任推诿[2]。而且制度执行力度不够，相关管理规定落实不到位，进一步削弱管理权威性和约束力，增加施工风险。

2.5 安全监督不足

在输变电工程施工管理环节当中，安全监督有所欠缺的情况着实算得上是较为突出并且颇为严重的难点所在。毕竟输变电工程会涉及高压电气设备安装、铁塔组立、架线施工、高压电缆敷设等，其施工环境又是相当复杂的，如此一来，在施工进程里便存在着颇高的安全风险，所以这就要求得有极为严格的安全监督以及相应的管理工作了。不过说来遗憾，在部分施工项目那边，其在安全监督这块儿就存在着力度欠佳、执行效果不尽如人意等问题，进而使得安全隐患很难被及时地察觉到，也难以实现有效的把控。虽说安全管理制度已然建立起来了，可在实际的操作过程当中，往往却是缺少那种严格的监督检查举措，责任追究机制也常常处于缺失状态，而且安全培训工作做得不够到位，安全意识的普及情况同样存在诸多不足，如此一来，施工人员对于安全操作规范的落实便难以做到全面彻底了。

3 输变电工程施工管理的应对措施

3.1 全过程控制成本

在输变电工程开展施工管理相关工作期间，全过程控制成本属于一项具备系统性以及动态特性的管理方面的工作任务，其贯穿于项目所涉及的各个不同阶段，目标在于达成资源的最为合理的配置状态以及促使经济效益得以最大程度地实现。全过程成本控制并非仅仅只是单纯的预算方面的控制而已，它借助精细化的管理方式手段，从项目立项开始，经过设计优化环节，再到采购管理阶段，接着是施工组织环节，直至最后的验收交付这一整个流程当中的每一个具体环节展开科学的监督管理以及动态的调整操作。在项目刚刚起步的初期阶段，依靠着合理去选择设计方案以及开展技术经济层面的分析，尽力去减少因设计变更而产生的额外成本开支，与此结合对市场的调研情况来制定出科学合理的采购计划，挑选那些性价比相对较高并且能够符合技术要求的相关材料以及设备，以此来避免采购环节当中出现的价格波动状况给整体的成本带来不利的影响作用。在施工阶段，通过对施工方案加以优化以及对工序安排予以合理设置，从而提高施工的整体效率，同时合理地调配劳动力资源以及机械设备资源，减少出现闲置以及浪费的情况，进而降低人工方面的成本以及机械运行方面的成本。

3.2 提前勘察与现场负责相结合

在输变电工程施工管理方面，提前勘察和现场负责相结合的做法是一项十分关键的应对举措，其可切实提高施工所具备的科学性以及精准度。提前勘察涵盖的内容较为丰富，一方面包含了针对地形地貌、地质结构以及水文气象等自然环境展开的详尽调查，另一方面也涉及到对施工现场的基础设施实际状况、环境保护方面的相关要求以及周边配套条件所做的全面了解工作。这样在前期开展的深入且细致的勘察能够为后续的设计优化以及施工方案的制定给予准确无误的数据支撑，进而减少因为环境呈现出的复杂性而引发的设计变更情况以及施工当中碰到的各类难题。与此现场负责制在实施的时候着重于施工进程里各个责任单位以及人员的明确分工以及责任的具体落实，以此来保证每一个施工环节都有专人负责把关，能够及时察觉并妥善处理现场所出现的各种问题[3]。现场负责人一方面要承担起施工质量以及安全方面的第一责任，另一方面还需依据实际情况对施工计划做出相应调整，协调好各方资源，从而确保施工流程可以顺畅且高效地推进。把提前勘察和现场负责这两者相结合起来，能够达成信息的无缝对接以及动态反馈的效果，使得施工管理变得更加科学且合理，既降低了因信息存在不对称情况所带来的种种风险，又提升了施工现场的应变能力以及管理水平，进而有效地推动输变电工程得以顺利实施并保障其质量。

3.3 控制施工人员的专业水平

在输变电工程施工管理里，把控施工人员的专业水准乃是保证工程质量以及施工安全极为关键的一个环节。输变电工程自身有着技术颇为复杂、标准相当严格、安全方面的要求也颇高的这些特点，所以施工人员务必要拥有较

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

为扎实的专业知识，还得具备丰富多样的实操经验，唯有如此，才能够有效地去应对施工进程当中有可能会出现的各种各样的技术方面的难题以及安全隐患问题。所以说，施工管理得着重于对施工人员的专业素质予以严格的把关，要从招聘、培训、考核等诸多不同的方面来着手开展相关工作，以此来确保施工队伍所具备的技术能力以及操作规范都能够契合项目所提出的要求。与此还应当定期去组织开展专业技能方面的培训活动以及安全教育工作，不断地促使施工人员的业务水平以及安全意识得以提升，让他们可以熟练地掌握最新的施工技术以及管理规范。借助建立起科学合理的技能评价体系以及激励机制，推动施工人员持续不断地开展学习并且实现技能的提升，进而提升整个施工队伍的专业水平以及综合素质。

3.4 健全管理制度

在输变电工程开展施工管理相关工作期间，健全起相应的管理制度，这无疑是对提升整个项目管理水平极为关键的一环，同时也是保障施工能够顺利推进的重要支撑所在。完善的管理制度务必要把项目的各个不同环节都涵盖进去，像施工组织方面、质量控制方面、安全管理方面、进度安排方面、成本控制方面以及风险管理方面等等，进而构建起一套科学合理、系统完备并且具备实际操作性的规章体系来。健全的管理制度可以清晰明确各级管理人员以及施工人员各自所拥有的职责权限，让工作流程得以规范化，有效减少因为职责界限不清而出现的管理方面存在的漏洞以及执行过程中产生的偏差情况。与此在制度里面还需明确给出质量方面的标准以及安全方面的规范要求，以此来保证施工在整个过程里都能够严格依照相关的技术规范以及安全法规来执行操作，从而降低发生事故的风险概率。除此之外，管理制度还应当包含有严格的监督检查以及绩效考核方面的机制内容，借助定期开展的审查与评估活动，能够及时地去发现管理当中存在的各种不足之处，并且加以纠正，推动实现持续不断的改进提升。

3.5 引进和采用新技术

在输变电工程施工管理方面，引进并采用新技术乃是提升施工效率、确保工程质量以及强化安全管理工作极为重要的举措。伴随科技持续向前发展，现代施工技术以及信息技术的应用给输变电工程赋予了革命性的转变。借助采用先进的施工设备与自动化技术，能够切实提高施工机械作业的精准程度以及工作效率，降低人力资源方面的浪费情况，并且减少施工进程中出现的各类误差，进而促使整体施工质量得以提升[4]。与此运用数字化技术，像 BIM（建筑信息模型）、无人机开展勘察工作、利用传感器进行监测等手段，达成对施工现场的实时监控以及相关数据的分析处理，这对于管理人员而言，有益于其及时知晓工程的推进状况、质量的具体情况以及存在的安全隐患，进一步增强了施工的可控制性以及透明度。

3.6 加强全局安全把控

在输变电工程施工管理方面，强化对全局安全的把控属于极为关键的环节，其对于保障施工人员的生命安全、设备安全以及促使工程能够顺利完工均有着重要作用。输变电工程会涉及到高压电力设备，并且所处的施工环境也颇为复杂，由此导致安全风险相对较高，所以务必要从整体层面去构建起完善的安全管理体系，将各级安全责任予以明确，达成安全管理不存在任何死角与盲区的目标。一方面要制定出科学且合理的安全管理制度以及操作规程，把施工全过程中的安全标准以及防护措施都涵盖进去，以此来保证每一个环节都能够具备相应的安全保障。另一方面需要强化针对安全方面的教育与培训工作，提高所有参与人员的安全意识以及应急处理能力，让他们能够对相关的安全规范还有危险预警信号较为熟悉。再者借助引进现代化的安全监测设备以及信息化管理工具，达成对施工现场进行实时监控以及隐患预警的效果，从而能够及时地发现并且消除安全隐患。与此还要加强对施工现场开展安全检查以及巡查工作，切实落实各项安全防护措施，确保处于危险状态的作业环境可以得到有效的控制。

4 结语

输变电工程施工管理面临诸多难题，比如成本波动幅度大、图纸和现场情况不一致、人员专业程度不够、管理制度存在缺陷以及安全监督力度不足等等方面。针对这些难点，采取合理的、行之有效的对策显得格外重要。通过强化成本控制措施、完善勘察相关工作、提高施工队伍的专业水准、健全管理制度以及加强安全管理，可以切实提升工程施工的整体质量，保证项目能够顺利推进，最终推动工程圆满完成。在未来的日子里，随着技术不断取得进步以及管理经验持续得到积累，输变电工程施工管理将会变得更加规范且高效，进而为电力系统的稳定运转给予坚实的保障。

[参考文献]

[1]郭卫兵.输变电工程的施工质量管理分析[J].电子技术,2021,50(3):70-71.
[2]刘乙平.输变电工程施工建设安全管理体系研究[D].沈阳:沈阳建筑大学,2023.
[3]汪涛,汪骁远.输变电工程施工安全管理的薄弱环节及解决措施[J].中国科技投资,2021(31):133-136.
[4]陈喆.输变电工程建设项目施工质量管理探析[J].中国建筑金属结构,2020(8):78-79.

作者简介：丘晓卿（1988.6—），毕业院校：电子科技大学中山学院，所学专业：电气工程及其自动化，当前就职单位：广东电网能源发展有限公司，职务：广能发四公司安监部部长，职称级别：中级工程师。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

既有建筑改造项目施工质量控制及安全管理

李会明
北京外交人员服务局，北京 100600

[摘要]顺应国家深化城市更新战略部署，针对既有建筑存在的结构安全隐患、消防防护缺陷及节能效能低下等问题，实施系统性综合改造，通过专业化结构检测与风险评估，定制“一栋一策”的精准加固方案，构建贯穿施工全程的质量管控体系与安全管理制度，强化隐患排查治理及应急响应机制，实现建筑使用功能升级与安全性能提升，改造实践表明，该模式有效改善居住环境品质，显著增强建筑节能降耗能力与风险抵御水平，为城市更新高质量发展提供实践范例与经验借鉴。
[关键词]城市更新；既有建筑改造；结构加固；质量控制；施工安全
DOI：10.33142/ucp.v2i3.16719 中图分类号：TU7 文献标识码：A

Construction Quality Control and Safety Management of Existing Building Renovation Projects

LI Huiming
Beijing Diplomatic Service, Beijing, 100600, China

Abstract: In response to the national strategy for deepening urban renewal, a systematic comprehensive renovation is implemented to address the structural safety hazards, fire protection deficiencies, and low energy efficiency of existing buildings. Through specialized structural testing and risk assessment, a precise reinforcement plan of "one building, one policy" is customized, and a quality control system and safety management system are constructed throughout the construction process. The hidden danger investigation and emergency response mechanism are strengthened to upgrade the building's functional use and improve its safety performance. The renovation practice shows that this model effectively improves the quality of the living environment, significantly enhances the building's energy saving and consumption reducing ability and risk resistance level, and provides practical examples and experience references for the high-quality development of urban renewal.
Keywords: urban renewal; existing building renovation; structural reinforcement; quality control; construction safety

引言

在城市更新加速推进的背景下，大量建成年代久远的老旧建筑因结构老化、设施陈旧、安全标准滞后等问题，亟需通过改造实现功能焕新与安全提质，政策驱动与技术创新双重作用下，既有建筑改造不仅是优化城市空间、提升人居环境的必然要求，更是筑牢民生安全底线的重要保障，如何在改造工程中实现精细化质量控制与全周期安全管理，成为推动城市更新行稳致远的关键命题。

1 既有建筑改造前的现状评估与方案设计控制

1.1 现状排查评估

既有建筑改造工程筹备阶段，系统性的现状评估是改造方案科学制定的前提，其中，结构安全检测作为评估核心，需运用专业技术手段对建筑稳固性进行深度剖析，针对北京市朝阳区某服役超 50 年的老旧住宅公寓，采用混凝土回弹强度测试、裂缝精准测绘、钢筋锈蚀量化分析及碳化深度测定等技术，对比现行建筑规范，全面评估结构承载能力，同时，结合建筑历史图纸与现场勘查，对柱、梁、楼板等关键承重构件开展专项检测，重点排查剪切破坏、应力集中等潜在结构风险点。

消防系统现状评估是保障居民生命安全的重要环节，老旧建筑普遍存在消防设施规划滞后、报警装置失效、电气线路老化超负荷运行以及消防通道侵占等问题，极大增加了火灾事故发生风险，通过对消火栓布局、喷淋系统完整性、应急照明覆盖范围、配电回路安全性及防火隔离措施落实情况的逐项核查，建立消防隐患台账，为后续消防系统专项改造提供精准的数据支持，切实提升建筑消防安全防护水平。

在结构与消防评估之外，建筑节能性能与功能适配性评估同样不可或缺，既有建筑外围护结构普遍存在保温隔热性能欠佳、气密性薄弱等问题，导致建筑能耗长期居高不下，门窗密封胶条老化、屋面保温层破损脱落等现象，严重影响室内热环境舒适度，此外，部分建筑还存在垂直交通设施缺失、给排水系统老化、照明系统不足等功能缺陷，难以满足当代居民生活需求，通过对建筑使用功能现状的全面梳理，量化功能短板与需求缺口，为后续改造设计方案的精准制定提供可靠依据。

1.2 方案制定依据

方案设计需以国家城市更新政策为根本遵循，深度贯彻《中共中央办公厅 国务院办公厅关于持续推进城市更新行动的意见》中“分类分批实施城镇房屋抗震加固”的

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

指导方针，通过专业评估精准判别建筑保留价值，在延续历史风貌、传承社区文化的原则下，优先选用结构加固、局部修缮等改造技术，摒弃“大规模拆除重建”模式，实现城市历史底蕴与现代功能的有机融合。

基于既有建筑结构特性、使用功能及损耗程度的显著差异，“一楼一策”定制化改造策略成为必然选择，以建筑实测数据为基础，结合居民实际需求反馈，针对单栋建筑制定涵盖结构加固选型、外立面改造风格、电气系统升级、水暖管网优化等内容的专属方案，通过结构工程师、安全评估专家、建筑节能顾问等多专业协同作业，保障改造方案兼具技术合理性与实践操作性。

方案设计过程中，经济成本与施工可行性需同步考量，在严守安全标准与节能规范的前提下，采用成本效益分析优化资金投入，通过科学编排施工时序减少对居民生活影响，借助 BIM 建模技术开展全流程模拟与管线综合碰撞检测，提前消除设计与现场施工的矛盾冲突，降低施工变更风险，凭借技术路径优化与设计方案细化，为改造工程高质量实施筑牢根基。

2 施工阶段质量控制要点

2.1 结构加固质量管控

既有建筑因服役年限长，普遍面临结构老化、承载能力下降的问题，需采用科学规范的加固技术进行处理，碳纤维布加固技术通过在梁柱表面粘贴高强度碳纤维布，显著提升构件的抗弯、抗剪性能；针对柱脚等承重节点，采用钢板包裹加固法增强局部承载力；植筋锚固工艺则通过化学锚栓实现新旧混凝土的可靠连接，有效提升结构整体协同受力性能，所有加固施工均须严格遵循《混凝土结构加固技术规范》（GB 50367）要求，从材料进场检验到施工工艺执行，均需进行标准化管控，确保加固效果满足结构安全提升需求。

施工质量管控贯穿结构加固全过程，每道关键工序完成后，均需开展现场实体检测与质量复核，严格对照设计图纸与技术规范进行验收，项目引入第三方独立监督机制，由具备资质的检测单位参与关键节点验收，通过专业检测设备与技术手段，对加固构件的力学性能、连接可靠性等进行量化评估，并出具权威检测报告，针对复杂结构部位或关键连接节点，运用有限元分析软件进行结构建模与受力模拟，验证加固方案的合理性与有效性，实现质量控制的科学化与精准化。

2.2 建筑节能提升控制

老旧建筑在节能性能方面存在显著缺陷，需通过围护结构与设备系统的系统性改造实现能效提升，在围护结构改造中，门窗系统升级是关键环节，选用双层中空 Low - E 玻璃搭配断桥铝型材的节能门窗，可有效降低空气渗透与热量传导；外墙保温工程采用岩棉板或聚苯板等高效保温材料，通过外贴或内保温工艺形成连续保温层，屋面增设反射隔热涂层，减少太阳辐射热吸收，全方位提升建筑外围护结构的保温隔热性能。

节能改造施工质量控制严格遵循《建筑节能设计标准》，建立全过程质量抽检机制，重点检查保温材料的厚度偏差、黏结强度、热桥部位处理以及节点密封效果，杜绝保温层空鼓、虚贴等质量通病，确保节能系统的完整性与有效性，项目管理方设立专项检查小组，分阶段对门窗安装、外墙保温、屋面改造等工序进行验收，采用红外热成像仪等专业设备检测围护结构热工性能，通过数据化评估手段验证节能改造效果，确保最终节能指标达到设计预期。

2.3 室内配套改造质量监控

室内配套设施改造是提升居住品质与建筑使用功能的核心环节，水电线路改造需严格遵循现行规范，采用阻燃电缆与金属穿线管，科学划分电气回路，杜绝电路过载、短路隐患；同步安装漏电保护与过载保护装置，筑牢用电安全防线，管道系统更新时，选用 PPR、镀锌钢管等合规管材替换老旧管线，并合理设置检修阀门与检查口，便于后期维护检修。

针对既有建筑电梯缺失或性能落后问题，电梯加装工程严格执行《电梯施工验收规范》，从基坑施工、导轨安装、轿厢组装到电气调试，全程由专业团队实施，并委托具备资质的检测机构进行全面验收，确保电梯运行安全舒适，施工期间，强化井道安全防护，设置隔离警示区域，严格防范高空坠物与作业风险，实现施工安全与质量双重保障。

3 施工安全管理体系构建与实施

3.1 施工现场安全制度完善

既有建筑改造工程因施工环境复杂、作业空间有限、人员流动频繁，需构建严密的安全管理体系，结合项目特性编制专项安全施工组织设计，明确施工区域划分、安全通道布局、危险作业管控措施及应急响应流程，配置专职安全员实施每日巡查制度，重点监管高空作业平台、脚手架搭建、临时用电设施及动火作业区域，及时发现并消除安全隐患。

针对高风险作业制定专项施工方案，细化操作规范：高空作业强制配备安全带、设置临边防护栏杆；动火作业安排专人监护，配备灭火器材；电气作业严格执行断电挂牌制度，同时，建立健全应急预案体系，明确火灾、坍塌、触电等突发事件的处置流程与责任分工，定期组织应急演练，提升现场应急处置能。

3.2 危险源识别与隐患排查

施工前期全面梳理潜在危险源，建立动态更新的施工风险清单，采用红黄蓝三色分级标识并公示于作业区域，施工过程中，根据工序进展与环境变化实时调整风险图谱，重点监控新增作业面、临时设施、电梯井道及结构加固等高风险环节，实现安全风险的超前预警与精准管控。

针对老旧建筑结构脆弱、地基不稳、管线老化、空间

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

局促等特点，重点防范坍塌、电气事故和高空坠落风险，施工单位制定详细隐患排查计划，按周期、分专业开展多层级排查，联合监理、设计及安全专家进行技术交底与风险评估，对排查出的隐患分级整改，留存完整闭环记录，并每季度组织综合安全演练，强化作业人员风险防范意识与应急反应能力。

3.3 人员安全教育与防护措施

施工现场安全水平与作业人员安全素养紧密相关，所有入场人员均需完成项目部、施工班组、作业岗位三级安全教育，培训内容涵盖基础安全知识、项目施工工艺安全要点及应急疏散流程等，严格实施入场考核制度，考核合格者方可取得上岗资格，从源头杜绝违规操作与无证上岗现象，推动全员安全责任意识的全面落实。

在劳动防护管理方面，项目统一配备符合国家标准的安全帽、防尘口罩、反光警示服、防砸安全鞋等个人防护装备，并安排专人监督使用情况，针对高处作业区域，规范设置安全防护绳、密目安全网及防护栏杆等设施，构建立体防护体系，同时，依托施工实名制管理系统，运用门禁控制、人脸识别、智能身份卡等技术手段，实现人员出入动态监管，确保人员身份可追溯、作业行为可管控、安全责任可界定，营造规范有序的安全生产环境。

4 改造后的长效运维与质量追踪

4.1 建筑安全的后评估机制

既有建筑改造工程竣工后，需开展系统性的效果评估工作，重点围绕二次结构安全性检测、加固部位承载性能验证、隐蔽工程质量抽检等内容，对照设计要求与安全规范标准，全面评估改造实施效果，将检测数据、影像资料、设计变更记录及竣工图纸等资料统一归档，形成完整的项目质量追溯档案，同步编制建筑维护管理手册，明确各部位构件维护周期、保修范围及应急处置流程，为后续运营管理提供详细指导。

为保障建筑长期安全运行，依托物业管理单位建立常态化巡查机制，重点关注外墙保温层、屋面防水系统、电气线路及结构加固节点等关键部位，引导住户参与日常安全巡查与问题反馈，对发现的隐患及时处理并形成闭环管理，通过定期检查、问题排查与整改落实，构建“预防-监管-评估”三位一体的全生命周期质量管控体系，有效防范安全隐患升级。

4.2 长效管理机制建设

城市更新政策提出“构建既有房屋安全管理公共资金模式”，为既有建筑长效运维奠定制度基础，可建立小区维修资金统筹机制，专项用于结构维护、设备检修、安全加固等关键领域，并通过居民参与资金使用的监督议事机制，提升管理透明度与责任意识，形成“共建共治共享”的治理格局。

深化物业服务与社区治理融合，构建物业管理公司、居民委员会、街道社区“三位一体”联动机制，定期组织改造后运行评估会议，收集居民对功能布局、设施性能、服务质量的反馈意见，动态优化管理标准，通过完善社区自治架构与公众参与渠道，打造从“改造实施”到“长效运营”的完整闭环，切实保障建筑品质与使用效能的持续提升。

4.3 数字化平台支撑

数字化技术的应用是提升既有建筑运维效能的核心引擎，将建筑信息模型（BIM）与物业管理系统深度融合，实现对电气、结构、给排水等子系统的构件级可视化管理，通过平台预设的巡检提醒、设备更换预警、异常状态报警等功能，辅助管理人员精准开展维护与风险防控。

搭建统一的物业智慧管理平台，整合住户报修、设施维护、能源监测、意见反馈等业务场景，通过数据采集分析动态掌握建筑运行状态、能耗趋势与维修规律，优化维护策略，在建筑关键部位部署智能感知设备，实时监测裂缝变形、水浸隐患、电气温升等安全指标，推动管理模式从“被动响应”向“主动预警”转型，实现运维管理的智能化、精细化升级。

5 结语

既有建筑改造是城市更新进程中提升人居环境、筑牢安全底线的关键举措，实施过程中需坚守“安全为先、质量为基”原则，强化前期评估的科学性、设计方案的精准性、施工管控的严格性与运维机制的长效性，通过结构加固、节能升级、设施完善与安全管理的系统推进，靶向解决老旧建筑功能性与安全性短板，融合数字化技术赋能与社区治理创新，构建全周期管理闭环，为提升城市综合功能、改善居民生活品质提供可持续的实践路径，助力实现城市发展质量与民生福祉的协同提升。

[参考文献]

[1]张小英.既有居住建筑围护结构节能改造施工质量控制——以乌鲁木齐市为例[J].建设科技,2017(11):32-34.

[2]李明.关于既有建筑节能改造工程质量监管的研究[J].节能,2024,43(6):105-108.

[3]宁利.既有建筑外墙面绿色化改造要点分析[J].居舍,2024(20):68-71.

[4]李金星.实例分析既有建筑幕墙升级改造施工质量控制要点[J].广东建材,2021,37(11):23-26.

[5]杨建文.基于城市更新背景下A既有建筑改造项目施工质量管理研究[D].北京:北京交通大学,2023.

作者简介：李会明（1988.2—），毕业院校：北方工业大学，所学专业：建筑与土木工程专业，当前就职单位：北京外交人员服务局，职务：第一使馆区物业管理部宜居环境部经理，职称级别：中级职称/一级建造师/一级造价师。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

人工智能在岩土工程勘察领域的应用

黄北圪 吴林斌
福建岩土工程勘察研究院有限公司，福建 福州 350000

[摘要]随着工程建设规模持续扩大以及地质环境变得愈发复杂起来，岩土工程勘察便面临着诸多难题，像是数据处理量颇为庞大、信息复杂且多样，还有传统方法所存在的效率偏低等问题。人工智能技术有着十分强大的数据分析以及模式识别能力，这便给岩土工程勘察带来了颇具创新性的解决办法。文中对当下技术发展实际状况以及所面临的包括技术、经济、社会方面的各项挑战展开分析，并且深入探讨了未来智能化勘察技术的发展走向。研究得出，人工智能得到广泛运用之后，不但让勘察的精度与效率都得以提升，而且还将成本和风险降了下来，同时推动着岩土工程勘察朝着数字化、智能化的方向去实现转型，这对于保障工程安全以及优化设计而言，有着极为重要的意义。

[关键词]人工智能；岩土工程；勘察领域；技术应用
DOI：10.33142/ucp.v2i3.16711 中图分类号：TU752 文献标识码：A

Application of Artificial Intelligence in Geotechnical Engineering Survey

HUANG Beige, WU Linbin
Fujian Geotechnical Investigation Research Institute Co., Ltd., Fuzhou, Fujian, 350000, China

Abstract: With the continuous expansion of engineering construction scale and the increasing complexity of geological environment, geotechnical engineering survey is facing many difficulties, such as a large amount of data processing, complex and diverse information, and low efficiency of traditional methods. Artificial intelligence technology has powerful data analysis and pattern recognition capabilities, which bring innovative solutions to geotechnical engineering exploration. The article analyzes the current situation of technological development and the various challenges it faces, including technological, economic, and social aspects, and explores in depth the development direction of future intelligent survey technology. Research has shown that the widespread use of artificial intelligence not only improves the accuracy and efficiency of surveying, but also reduces costs and risks. At the same time, it promotes the transformation of geotechnical engineering surveying towards digitization and intelligence, which is of great significance for ensuring engineering safety and optimizing design.

Keywords: artificial intelligence; geotechnical engineering; exploration field; technical application

引言

随着现代工程建设规模变得越来越大，地质环境也一天天变得更加复杂起来，在这样的情况之下，岩土工程勘察作为保障工程安全以及质量的关键环节，面临着诸多的挑战，像是数据量特别多、信息复杂且多样，还有传统勘察方法效率比较低等等。人工智能是近些年来快速发展的前沿技术，它依靠自身强大的数据处理能力、模式识别能力以及自适应学习能力，给岩土工程勘察领域带来了全新的技术手段以及应用模式。借助引入机器学习、深度学习、智能传感以及自动化技术，人工智能一方面提升了地质数据采集的精度以及效率，另一方面还实现了对复杂岩土性质的高效预测以及地质异常的智能识别，有力地推动了勘察工作的数字化以及智能化转型。由此把智能钻探与现场监测技术相结合起来，使得现场作业的安全性以及实时响应能力得到了极大的提高，为工程设计以及施工给予了科学且可靠的决策支持。所以说，深入去研究人工智能在岩土工程勘察中的具体应用，探寻其发展现状、所面临的挑战以及未来的发展趋势，有着重要的理论价值以及广泛的工程实践意义，这必定会助力岩土工程领域达成更高水准的智能化与现代化发展。

1 人工智能在岩土工程勘察领域的发展现状

随着人工智能技术不断取得进展，岩土工程勘察领域逐步引入了像机器学习、深度学习以及大数据分析这类较为先进的办法，以此来促使传统勘察手段完成转型并实现升级。当下，人工智能在岩土工程勘察当中，主要用于地质数据的自动采集以及智能处理方面，还有土体性质的精准预测、地质异常的识别以及风险评估等诸多领域，切实提高了勘察工作的效率，并且也提升了其准确性。借助对大量勘察数据展开深度挖掘以及开展模型训练，人工智能可以揭示出复杂地质环境之下的潜在规律，助力工程师作出更为科学且合理的决策。与此智能化钻探技术以及现场传感监测技术的应用，达成了实时数据采集与分析的目的，使得现场勘察的动态感知能力得到了大幅度的增强[1]。虽说人工智能在岩土工程勘察领域的应用目前还处在发展的阶段，不过其技术成熟程度以及应用范围都在持续不断地扩大，已然成为推动勘察技术走向现代化以及智能化的

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

关键驱动力，为提高工程的安全性、降低工程成本以及缩短工程工期给予了稳固的保障。

2 在岩土工程勘察中的应用面临的挑战

2.1 技术方面

在岩土工程勘察当中运用人工智能技术会碰到不少技术方面的难题。岩土工程所涉及的数据有着极高的复杂性以及多样性，其数据来源涵盖了钻探记录、物理测试、地质图像还有传感器实时监测等多种途径，而要将这些异构数据加以融合并实现有效的处理，其中的难度是相当大的，这对人工智能模型的准确性以及稳定性都产生了影响。岩土工程勘察里的样本数据往往是数量有限的，并且标注所需的成本也比较高，如此一来就使得用于训练的数据出现不足的情况，进而对机器学习算法的泛化能力以及预测效果都造成了影响。复杂的地质环境以及非线性特征致使传统的算法很难完整地捕捉到地质规律，人工智能模型在应对异常状况以及极端地质条件的时候也会存在着一定的局限性。人工智能算法所具有的黑箱特性使得它的决策过程缺少透明度，这在一定程度上限制了专业人员对于结果的信任程度以及理解程度。

2.2 社会方面

随着人工智能技术在岩土工程勘察领域的广泛应用，对具备地质学、土木工程和计算机科学等多学科知识的复合型人才需求日益增长。跨学科的人才储备和合作成为推动该领域发展的关键，但目前这类交叉人才的匮乏，制约了人工智能技术在岩土工程勘察中的深入应用和研究进展。同时，人工智能算法的开发和优化依赖大量数据以及科学分析和计算机理论支持，而岩土工程勘察更多聚焦于实际工程项目，导致理论研究与工程实践之间存在明显脱节。科研机构侧重理论探索，缺少在工程现场的验证与反馈，难以实现成果的有效修正和快速迭代；而生产企业虽拥有丰富的工程数据，却缺乏相应的技术力量来攻克人工智能应用中的难题。理论与实践的分离，成为制约人工智能技术在岩土工程勘察领域广泛应用的重要瓶颈。

2.3 经济方面

在岩土工程勘察领域应用人工智能技术时，所面临的经济方面的挑战颇为突出。人工智能系统的研发以及部署工作，需要投入数量可观的资金，这里面涵盖了高性能计算设备、专业软件许可还有数据采集与处理设施等多方面的开销，如此一来，便给许多工程项目特别是中小型项目带来了相当大的经济负担。人工智能技术在实际应用的过程中，往往还伴随着对专业人才的需求，聘请并培养那些既懂人工智能又熟悉岩土工程的复合型人才，其成本是不低的，这也使得企业在人力资源方面的开支有所增加[2]。除此之外，岩土工程项目呈现出多样性，并且分布范围也较为广泛，不同的项目对于智能化系统的适配程度以及定制化程度都有着较高的要求，这无疑又进一步抬高了整体技术应用的经济成本。技术更新换代的速度比较快，系统维护以及升级所需要的持续性投资也是不容忽视的，如此一来，长期运行所产生的经济压力就显得比较大了。

3 人工智能在岩土工程勘察中的具体应用

3.1 地质数据智能采集与处理

地质数据智能采集与处理在岩土工程勘察领域有着极为重要的应用价值，它把传感器技术、遥感技术、无人机测绘以及自动化钻探设备融合起来，可精准且实时地采集地下土壤、岩层等多维度数据，突破了传统勘察依靠人工操作效率低、数据采样范围有限、信息更新滞后等瓶颈，现代智能采集系统凭借先进传感器网络，能连续监测土壤密实度、孔隙率、含水量、地下水位等关键参数，并实时将数据传至云平台或本地服务器，为后续智能分析打下基础，采集到的多源异构地质数据经机器学习、深度学习等人工智能算法预处理，保证数据完整性、准确性，利用特征工程和自动特征提取技术，能从复杂数据中找出影响岩土工程性能的关键因子，为地质灾害预警、风险评估提供工具。

3.2 土体性质预测模型

土体性质预测模型属于人工智能在岩土工程勘察里的关键应用范畴，凭借引入机器学习以及深度学习算法，可达成对土体力学属性与物理特性的高效且精准的预测效果。传统土体性质评估一般依靠现场试验还有实验室检测，流程较为繁琐，并且受到样本数量以及测试条件的限制，很难契合复杂地质环境下多样化的实际需求。借助人工智能技术，研究人员能够依据大量历史勘察数据以及多源传感器数据，去构建包含土壤成分、含水率、密度、压缩性、剪切强度等诸多维度变量的预测模型。经过对监督学习模型展开训练，像支持向量机、随机森林、神经网络这类模型，再加上深度学习里的卷积神经网络（CNN）以及循环神经网络（RNN）等结构，可以抓住土体性质和环境因素之间存在的非线性关联以及时间动态特性，提高预测的精确度与泛化的能力。该模型不但能够针对不同地质条件实施定制化的优化操作，而且能达成对土体力学行为的动态模拟以及实时更新，有益于快速对土体稳定性以及承载能力做出评估。与此联合地质异常识别以及风险评估系统，土体性质预测模型可为工程设计给予科学方面的依据，降低勘察所面临的风险，提升工程的安全水准[3]。伴随数据量持续不断地积累以及算法历经迭代优化，由人工智能驱动的土体性质预测模型在减少现场采样的数量、缩短勘察周期以及降低成本这些方面都展现出了巨大的潜力，促使岩土工程朝着智能化、数字化的方向不断发展，极大地提升了勘察工作所具有的效率以及可靠性。

3.3 地质异常识别与风险评估

地质异常识别以及风险评估属于人工智能在岩土工程勘察方面的关键且颇具前瞻性的应用范畴。其用意在于凭借对复杂地质环境当中潜在异常特征予以精准的识别，

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

从而提前发出预警，防范那些可能致使工程出现安全隐患的地质风险。借助机器学习、深度学习还有数据挖掘等相关技术，该系统能够对多种来源且存在差异的数据展开处理，像地质勘测所留下的记录、钻孔方面的数据、地震波反射所呈现的信息、遥感影像以及现场传感器所实时监测到的数据等等，以此来全方位地捕捉地质结构可能出现的非线性变化以及微小的异常情况。通过构建起基于分类、聚类以及异常检测算法的智能模型，人工智能可以从海量的数据里自动地提取出相关特征，进而识别出像土层发生变异的区域、断层所在之处、滑坡潜在的区域以及软弱的地基等这类异常区域，其效率与准确度远远超出传统依靠人工来进行分析时所能达到的程度。与此再结合地质的历史信息以及环境变量的情况，风险评估模型便能够对不同的异常给工程安全所带来的影响程度展开定量的分析，评估潜在灾害发生的概率以及可能产生的后果，从而助力工程决策者去制定出科学且合理的预防以及治理方面的措施。

3.4 智能钻探与现场监测技术

智能钻探以及现场监测技术属于人工智能在岩土工程勘察方面的关键应用范畴。把先进的自动化设备同智能算法相互结合起来，便能够达成对钻探过程予以实时监控、实现精准控制并且对数据展开高效分析的目的，如此一来，便大幅度提升了勘察作业所具有的安全性以及工作效率。智能钻探系统设置了多种多样的传感器，其可实时对钻进参数、岩土力学性质、孔隙水压力等极为关键的数据加以采集，并且借助边缘计算以及云平台，能够迅速将相关信息传送到控制中心，进而支撑着动态去调整钻探参数，从而能够适应那种复杂且多变的地下地质状况。与此运用机器学习以及深度学习技术针对钻探数据开展智能分析工作，便可实时辨识出异常情况，像是钻头出现磨损、发生卡钻或者存在地质异常等情况，还可提前发出预警，并且引导操作人员采取行之有效的举措，以此来降低作业方面存在的风险[4]。现场监测技术则是通过部署各式各样的传感器网络，针对钻探区域的地表沉降、地裂缝、振动以及地下水位变化等情况实施连续不断的监测，再结合人工智能的数据融合以及模式识别算法，进而实现对现场环境以及地质状态的全方位感知以及动态化评估。

4 未来发展趋势与展望

在未来，人工智能于岩土工程勘察范畴的发展态势会愈发呈现出智能化、集成化以及多元化的特点。伴随大数据、云计算还有物联网等相关技术持续取得进展，针对勘察数据所开展的采集工作、传输流程以及处理环节将会达成更高的效率，并且变得更加智能化。如此一来，便能够推动海量且存在异构情况的数据实现更为充分的融合以及实时性的分析，进而促使地质信息在精度方面得以提升，在时效性上也有所增强。并且，人工智能算法也会进一步获得优化，尤其是在深度学习、强化学习以及自适应学习等诸多领域取得突破之后，能够强化模型对于复杂地质环境的适应能力，同时也让其预测的准确度得以提高。智能钻探以及无人勘察技术不断发展，会促使现场作业的自动化程度得到提升，从而实现更高的安全性以及效率，降低人为干预的情况以及操作过程中存在的风险。跨学科的融合将会成为极为重要的发展方向，人工智能会和地质学、工程力学、环境科学等多个领域紧密结合起来，进而形成更为系统化的智能勘察方案。与之随着这些技术应用逐渐变得更为普及并且日趋成熟，与之相关的标准体系、法规政策以及数据安全、隐私保护等方面的机制也会逐步走向完善，以此来确保技术应用可以规范地开展并且能够实现可持续的发展。未来，人工智能不但会在岩土工程勘察当中起到关键的辅助决策作用，而且还会助力达成智能预警、风险管控以及全生命周期管理等方面的目标，推动岩土工程从以往依靠传统经验驱动的状态朝着数字化、智能化的方向进行转变，进而为保障工程的安全、提高施工的效率以及降低建设的成本给予稳固有力的支撑。

5 结语

人工智能于岩土工程勘察方面的运用，数据处理效率以及预测准确性都得到了明显的提升，也促使勘察工作朝着智能化、数字化的方向不断发展。在未来，伴随技术持续取得进展并逐步完善，人工智能在岩土工程这一领域将会发挥出更为关键的作用，进而为工程的安全性以及质量给予强有力的保障。

[参考文献]

[1]岳良彬,陈纪帆,李子隆.人工智能在岩土工程勘察领域的应用[J].山西建筑,2025,51(2):62-67.
[2]李世权.智能技术在岩土工程勘察中的应用探究[J].智能建筑与智慧城市,2025(4):168-170.
[3]张晓东.人工智能在岩土工程勘探开发应用中面临的挑战及应对策略[J].中国勘察设计,2024(12):99-101.
[4]赵丽娟.新型勘察技术在岩土工程勘察中的应用与发展[J].城市建设理论研究(电子版),2024(9):190-192.

作者简介：黄北圪（1995.12—），毕业院校：华东交通大学，所学专业：建筑与土木工程，当前就职单位：福建岩土工程勘察研究院有限公司，职务：技术员，职称级别：助理工程师；吴林斌（1997.8—），毕业院校：防灾科技学院，所学专业：地下水科学与工程，当前就职单位：福建岩土工程勘察研究院有限公司，职务：技术员，职称级别：助理工程师。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

垃圾填埋场渗滤液污染控制工艺优化设计

缑高鹏
新疆准实检测有限公司，新疆 喀什 844000

[摘要]垃圾填埋场作为城市固体废弃物处理的重要设施，其产生的渗滤液因成分复杂、污染性强，若处置不当，会对地下水及生态环境构成严重威胁，此文围绕当前渗滤液处理技术的现存问题，从工艺流程、设备选型、运行参数等维度展开优化设计研究，通过剖析渗滤液特性与污染负荷，构建分阶段联合处理工艺体系，旨在增强处理系统效能与稳定性，为垃圾填埋场渗滤液治理提供技术支撑。

[关键词]垃圾填埋场；渗滤液；污染控制；工艺优化；联合处理
DOI：10.33142/ucp.v2i3.16721 中图分类号：X703 文献标识码：A

Optimization Design of Leachate Pollution Control Process for Landfill Sites

GOU Gaopeng
Xinjiang Zhunshi Testing Co., Ltd., Kashgar, Xinjiang, 844000, China

Abstract: As an important facility for the treatment of urban solid waste, landfills generate leachate with complex composition and strong pollution. If not disposed of properly, it can pose a serious threat to groundwater and ecological environment. This article focuses on the existing problems of leachate treatment technology and conducts optimization design research from the dimensions of process flow, equipment selection, and operating parameters. By analyzing the characteristics of leachate and pollution load, a staged joint treatment process system is constructed to enhance the efficiency and stability of the treatment system and provide technical support for the treatment of leachate in landfills.

Keywords: landfill site; leachate; pollution control; process optimization; joint processing

引言

伴随城市化快速推进，垃圾填埋规模不断扩大，渗滤液排放量急剧增加，这类污水中富集高浓度有机物、重金属及氮磷等污染物，传统单一处理技术难以满足长期稳定达标排放要求，面对处理效率低下、运营成本高昂等困境，亟需对现有处理工艺进行系统性优化，本文结合实际工程案例，深入分析影响渗滤液处理效果的核心要素，提出融合物理、化学、生物处理技术的综合优化方案，为实现渗滤液高效、经济、绿色处理提供理论与实践指导。

1 渗滤液特性分析与污染负荷识别

1.1 渗滤液成分特征及变化规律

垃圾填埋场渗滤液由降雨、垃圾分解产物与地表水相互作用形成，属于高浓度有机废水，成分繁杂且浓度波动剧烈，随填埋进程呈现显著阶段性变化，填埋初期，有机物分解旺盛，渗滤液中 COD 和 BOD_5 浓度处于高位，BOD_5/COD 比值介于 0.4～0.6，可生化性良好，主要污染物为挥发性脂肪酸及小分子有机物，进入填埋中期，易降解物质逐步消耗，氨氮浓度开始攀升，BOD_5 大幅下降，BOD_5/COD 比值降至 0.1～0.3，可生化性明显降低，难降解有机物、腐殖酸及其衍生物成为主导成分，填埋后期，渗滤液中有机物以高分子难降解物质为主，重金属、氯离子和盐分浓度持续升高，虽水质趋于稳定，但处理难度显著加剧。

1.2 污染物分布及其危害性分析

渗滤液中污染物种类繁多，涵盖有机物（COD、BOD_5）、氮磷营养物质（NH_3-N、TN、TP）、重金属（Cr、Pb、Cd、Hg）、盐分（Cl^-、Na^+、SO_4^{2-}）及持久性有毒有害物质，这些污染物对生态环境与人体健康威胁严重，COD 和 BOD_5 源于有机废弃物分解，未经处理排放会大量消耗水体溶解氧，引发富营养化甚至水体黑臭，高浓度氨氮会增强水体毒性，危害水生生物并污染地下水，重金属渗入土壤或地下水后长期残留，通过食物链危及人体健康。部分难降解有机物具有“三致”特性，自然条件下难以降解，明确污染物类型与浓度，是制定精准污染控制策略、维护生态安全的关键前提。

1.3 渗滤液水质水量变化因素

渗滤液水质与水量受内外多重因素影响，呈现强烈时空变异性，降雨强度是关键外部诱因，雨季大量雨水渗入填埋区，致使渗滤液产量激增、污染物浓度稀释；旱季或有效覆盖条件下，渗滤液流量减少，污染物浓度相对浓缩，垃圾性质直接决定渗滤液污染程度，生活垃圾高有机质含量使早期渗滤液有机污染突出，工业固废混入则显著提升重金属风险，填埋工艺同样影响显著，卫生填埋相比简易填埋更易控制水质，分区填埋、填埋气回收等技术可有效

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

减缓污染物扩散，此外，垃圾龄期、压实程度、覆盖材料等参数也会改变渗滤液生成速率与水质构成，因此，持续监测水质水量动态变化，有助于优化调节与应急处理方案，提升处理工艺对复杂污染负荷的适应性。

2 现有渗滤液处理工艺存在的问题

2.1 单一处理技术适应性差

垃圾填埋场渗滤液因污染成分复杂、水质动态变化，单一处理技术难以实现稳定达标，物理化学处理方法，像混凝沉淀、活性炭吸附、反渗透等，虽能有效去除部分重金属和悬浮物，但在应对难降解有机物与氨氮时存在明显短板，且面临药剂消耗大、污泥产量高、膜组件易污染等问题，生物化学处理技术依靠微生物降解有机污染物，SBR、A/O、MBR 等工艺对 BOD_5 和部分氨氮有一定处理效果，然而在处理低 BOD_5/COD 比值、高盐度、高毒性渗滤液时，系统抗冲击能力不足，易出现运行不稳定现象，厌氧-好氧处理流程还需长期调试维护，适应性较差，鉴于渗滤液在填埋不同阶段成分差异巨大，单一工艺仅能针对性处理某类污染物，缺乏协同处理效能，难以满足渗滤液处理的复杂需求，难以保障处理效果的稳定高效，已无法契合现代垃圾填埋场对渗滤液处理多元化、精准化的要求。

2.2 系统运行稳定性不足

渗滤液处理系统的稳定运行受多因素制约，水质水量波动是核心影响因子，渗滤液呈现明显的季节性与阶段性特征：雨季水量剧增，易使调节池与处理设备超负荷运转，拉低处理效率；污染物浓度的剧烈变化，如氨氮浓度飙升或 COD 值骤降，会破坏生化系统微生物群落结构，致使运行失衡，气温条件同样关键，低温环境下微生物代谢活性减弱，显著降低氨氮去除效果，膜分离单元在负荷剧烈波动时，反渗透膜易出现污染、通量下降等问题，需频繁清洗，影响系统连续作业，若缺乏有效的水质调节与缓冲措施，系统将频繁陷入停机检修困境，可见，增强系统对水质水量变化的耐受性，构建完备的调节与预处理体系，是优化渗滤液处理工艺的重中之重。

2.3 能耗与运行成本偏高

在渗滤液处理实践中，为确保出水水质达标，多段式处理流程成为标配，这直接导致系统能耗居高不下，以反渗透膜处理环节为例，高压泵持续运转维持过滤压力，其电能消耗占比超系统总量 40%；而 MBR 等生化处理工艺中，曝气单元因长时间、大风量运行，同样成为耗电大户，此外，渗滤液所含的高浓度无机盐与有机毒性物质，使得絮凝剂、酸碱度调节剂等化学品消耗量巨大，成本控制压力显著，膜组件更换、污泥无害化处置及药剂采购，构成了运营成本的主要支出项，一旦系统运行出现波动，不仅需要增加人力巡检频次，设备维修频率也会随之上升，进一步加剧运维负担，特别是对于资金有限、专业人员不足的中小型垃圾填埋场而言，高能耗、高成本的处理工艺带来的经济压力难以长期负荷，严重制约污染治理效能与项目可持续发展。

3 渗滤液污染控制优化工艺设计

3.1 预处理系统优化设计

预处理系统作为渗滤液处理流程的“先锋环节”，肩负着稳定水质水量、截留大颗粒污染物、减轻后续处理负荷的重任，为提升预处理效能，需对格栅、沉淀池、调节池等核心设施进行针对性优化，在格栅选型上，优先选用细格栅或回转式机械格栅，其自动清污功能可高效拦截大粒径悬浮物、塑料碎屑及纤维杂质，防止设备堵塞，沉淀池可引入斜板沉淀或气浮技术，借助重力沉降与浮力托举双重作用，强化悬浮物和胶体的分离效率，调节池设计需精准把控容积，确保能够容纳至少一日峰值渗滤液流量，抵御水量突变冲击，同时，在调节池内配置搅拌装置与 pH 在线监测设备，动态调节水质均匀性和酸碱度，为后续生化处理创造稳定条件，优化后的预处理系统，既能有效降低 COD、SS 等污染指标，又可延缓膜组件损耗，增强系统运行的安全稳定性与经济可行性。

3.2 主体工艺流程组合设计

面对成分复杂多变的垃圾填埋场渗滤液，构建“膜分离+生物脱氮+高级氧化”耦合处理流程成为污染控制优化的核心策略，膜分离技术中的超滤（UF）与反渗透（RO），凭借对有机物和无机盐的高效截留性能，成为渗滤液深度净化的关键环节，置于处理流程末端可保障出水达标排放或回用，生物脱氮单元采用 A/O 或 AAO 工艺，整合厌氧、缺氧、好氧反应器，能针对性去除氨氮、总氮等营养污染物；针对预处理后 BOD_5/COD 比值较低的情况，可投加乙酸钠等外源碳源强化脱氮效果，为攻克难降解有机污染物，引入 Fenton 反应、臭氧氧化或 UV/H_2O_2 等高级氧化技术（AOPs），于膜分离前设置氧化单元，将大分子有机物裂解，提升后续处理效率，通过预处理、生化处理、深度处理三级协同，实现污染物的阶梯式削减与全面净化。

3.3 智能控制与系统集成优化

为增强运行稳定性与精细化管理水平，现代渗滤液处理系统亟需引入智能化管理体系，以 PLC 或 DCS 为核心的智能控制系统，整合流量、水质、液位、温度等在线监测设备，实现对泵、风机、阀门及曝气系统等关键设备的自动化调控，借助传感器实时捕捉进水 COD 与 NH_3-N 浓度，系统可智能调节药剂投加量和曝气强度，保障出水水质持续达标，针对膜处理环节，嵌入膜污染预警功能模块，能够敏锐感知通量变化异常，精准规划清洗周期、选择清洗方案，有效降低意外停机风险，在系统架构设计中，模块化集成理念能够显著提升处理系统的维护便捷性与扩容灵活性，特别契合中小型填埋场分阶段改造升级的实际需求，数据管理平台的搭建则聚焦于历史数据回溯、能耗

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

优化分析及远程运维支持，为管理决策提供详实的数据支撑，通过构建“感知实时数据-智能分析诊断-科学决策规划-精准执行调控”的闭环管理体系，既实现了操作流程的智能化与精细化控制，又能有效降低系统运行能耗、提升经济效益，推动垃圾填埋场渗滤液处理向智慧化、绿色化方向稳步迈进

4 优化工艺工程应用与效果评估

4.1 工程实施条件与适用性分析

渗滤液处理优化工艺的实际应用成效，与工程现场条件紧密相连，工艺选型前，需全面考量填埋场的地形地貌、水文地质、渗滤液产出规模及地方排放标准，若填埋场地势低洼，渗滤液易于汇流收集，可降低泵送能耗，适合配置调节池与重力流布水设施；若场地分布零散或地势起伏复杂，则模块化处理设备更具优势，便于灵活布局且运行安全性更高，从处理规模来看，日处理量 100t 以下的小型填埋场，集成式膜-生化一体系统因占地紧凑、自动化程度高成为优选；日处理量超 500t 的大型填埋场，则需通过分区设置多级处理单元，搭配集中管控平台，强化系统冗余与抗冲击性能，此外，区域电价水平、药剂供应稳定性及环保监管严苛程度，均是工艺方案抉择的关键影响因素，于环保监管指标严苛的区域，宜优先采用反渗透与高级氧化协同工艺，该组合技术可深度净化渗滤液，保障出水水质达到 COD 低于 50mg/L、NH_3-N 低于 10mg/L 的高标准，契合地表 IV 类水质量要求，有效满足当地生态环境保护需求。

4.2 运行效果与处理效率评估

以东部某城市年处理 30 万 t 生活垃圾的填埋场为例，采用“格栅-调节池-A/O 生化-超滤-反渗透-臭氧氧化”组合工艺后，系统运行效能显著提升，处理前渗滤液平均 COD 浓度为 6500mg/L，氨氮浓度约 1200mg/L，经预处理及生化单元处理后，COD 降至 1500mg/L，氨氮降至 200mg/L；再通过膜处理与高级氧化工艺，出水 COD 稳定低于 40mg/L，氨氮低于 8mg/L，去除率分别达 99.4% 和 99.3%，持续满足《生活垃圾填埋污染控制标准》（GB 16889—2008）一级排放限值要求，系统连续运行 90 天内，出水指标波动幅度小于 10%，未出现因负荷波动导致的超标排放或设备停机情况，稳定性与抗冲击能力突出，膜组件通量维持在 18～22L/m^2·h，膜污染控制效果理想，清洗周期延长至 20 天以上，体现出膜系统运行可控性强、维护周期长的技术优势。

4.3 经济性与可持续性对比分析

从经济性维度考量，尽管优化工艺的初期建设投入较高，但其运行成本更具可控性，全生命周期成本优势显著，以文中所述项目为例，工程总投资约 1800 万元，其中膜处理系统与高级氧化装置占比达 40%。系统日常运行中，单位处理成本可控制在 12 元/吨，具体构成为：电费占 40%、药剂费用占 30%、膜组件更换及维护成本占 20%、人员成本不足 10%。相较于传统“混凝沉淀+SBR”处理模式，优化工艺的处理成本降低约 25%，此外，系统通过集成能耗监控与智能化操作平台，实现了按需投药、精准曝气及负荷自适应调节，有效减少了非必要能源消耗，在可持续性方面，优化工艺产生的浓缩液和污泥量较传统工艺减少 30%以上，显著降低了二次污染风险及后续处理负荷，部分项目中，反渗透产水可回用于场区道路冲洗或绿化灌溉，实现了水资源的循环利用，进一步提升了系统的绿色低碳水平，综上，渗滤液优化工艺不仅在处理效率与运行稳定性方面表现卓越，其在经济性和可持续性层面同样展现出良好的环境适应性与发展潜力，具备广泛的推广应用价值。

5 结语

垃圾填埋场渗滤液以污染物成分复杂、浓度高且动态变化显著的特性，对处理技术形成严峻挑战，通过搭建包含预处理、生物脱氮、膜分离及高级氧化技术的优化处理架构，并融合智能控制系统与工程化适配设计，不仅大幅提升了污染物去除效能与系统运行稳定性，还实现了运行成本的有效控制与环境风险的降低，兼具经济合理性与可持续发展潜力，这一优化工艺体系为垃圾填埋场渗滤液治理提供了科学有效的技术方案，对行业实践具有广泛的推广应用意义。

[参考文献]

[1]庞震.存量垃圾填埋场污染分析及修复治理的策略探讨[J].清洗世界,2025,41(3):172-174.
[2]覃建友,舒琳,谭秋燕,等.生活垃圾填埋场渗滤液监测现状和管理策略[J].低碳世界,2025,15(2):25-27.
[3]徐颖.城市存量垃圾填埋场环境风险及其整治效果评估[J].低碳世界,2024,14(12):13-15.
[4]姚光远,刘玉强,刘景财,等.生活垃圾填埋场污染控制标准修订内容解析[J].环境卫生工程,2024,32(1):42-48.
[5]代先锋,袁玥.非正规垃圾填埋场污染治理技术及二次污染防控探讨[J].节能与环保,2024(9):31-37.

作者简介：猴高鹏（1982.4—），毕业院校：西安交通大学，所学专业：环境工程，当前就职单位：新疆准实检测有限公司，职务：副总经理/授权签字人，职称级别：环境保护工程师。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

环保型暖通设备的研发及应用前景探究

玛依热·阿布都热依穆
新疆恒泰工程设计有限公司，新疆 喀什 844000

[摘要]环保政策日益严格且人们对绿色生活需求也在提升，暖通设备朝着高效、节能、低碳方向发展，其靠优化能源结构、提高热交换效率、引入智能控制系统来让能源利用达到最大、污染排放减到最小，城镇化进程加快使得建筑能耗不断上升，在这种情况下环保暖通设备在公共建筑、住宅小区、工业园区等领域推广空间广阔，技术创新结合市场需求使其未来发展潜力大且值得持续关注深入探索。

[关键词]环保技术；暖通设备；节能减排；智能控制；应用前景
DOI：10.33142/ucp.v2i3.16714 中图分类号：TU83 文献标识码：A

Research and Application Prospects of Environmentally Friendly HVAC Equipment

MAYIRE Abudureyimu
Xinjiang Hengtai Engineering Design Co., Ltd., Kashgar, Xinjiang, 844000, China

Abstract: Environmental policies are becoming increasingly strict and people's demand for green living is also increasing. HVAC equipment is developing towards high efficiency, energy conservation, and low-carbon direction. It relies on optimizing energy structure, improving heat exchange efficiency, and introducing intelligent control systems to maximize energy utilization and minimize pollution emissions. The acceleration of urbanization has led to a continuous increase in building energy consumption. In this situation, environmental HVAC equipment has broad promotion space in public buildings, residential communities, industrial parks, and other fields. Technological innovation combined with market demand makes its future development potential great and worthy of continuous attention and in-depth exploration.

Keywords: environmental protection technology; HVAC equipment; conserve energy and reduce emissions; intelligent control; application prospect

引言

随着“双碳”战略深入推进，传统暖通设备因能耗高污染重面临着技术革新压力，且绿色建筑理念深入人心，环保型暖通设备高效节能、环境友好应运而生并成为建筑节能与低碳发展的关键支撑，其既顺应国家政策导向又契合市场对舒适安全智能生活环境的期待，探索其研发路径与应用前景是行业发展的必然趋势且为实现可持续发展目标提供有力支撑。

1 环保型暖通设备的技术发展背景与政策驱动

“双碳”目标引导着环保型暖通设备，其节能低碳的优势让它推广加速，成为绿色建筑的重要支撑并与高品质居住、低碳办公需求相契合，发展前景十分广阔。

1.1 建筑能耗与暖通压力

我国建筑能耗总量一直在持续增长，暖通空调系统作为主要耗能环节，其能耗和碳排放问题尤为突出。据统计，建筑运行能耗约占全社会总能耗的三分之一，而暖通系统的能耗在其中占比超过 50%。传统暖通设备存在效率低、排放高、运行成本大的问题，难以满足现代绿色建筑对节能环保的高标准要求。随着城镇化进程加快，建筑规模不断扩大，供暖和空调的普及率持续提升，这进一步加剧了能源消耗。特别是在极端气候事件频发的背景下，对暖通系统的稳定性、智能化控制能力和节能性能提出了更高要求。当前亟需从设计理念、设备选型、系统集成到运行管理方式进行全方位重构，推动热源效率提升、能源结构优化和运行方式智能化升级，以实现建筑运行的清洁、高效与低碳目标。这不仅是节能减排的需要，更是实现“双碳”战略的重要一环。

1.2 国家政策积极引导

近年来，国家陆续出台《“十四五”建筑节能与绿色建筑发展规划》《绿色高效制冷行动方案》《建筑节能与可再生能源利用通用规范》等文件，明确提出推动绿色建筑与暖通系统升级改造，政策鼓励采用高能效设备、清洁能源供热系统以及智能控制技术，优先推广热泵、新风换热、地源热系统等环保型暖通解决方案，地方政府也以财政补贴、税收减免、项目示范等方式助推暖通设备绿色转型以提升整体能源利用效率，而且绿色建筑评价标准、节能强制性规范不断细化，为暖通系统的具体设计与施工提供了依据，在政策持续支持下，市场认知度得以提升，产业链上下游协同创新也被推动。

1.3 技术变革推动升级

在技术层面，环保型暖通设备不断有突破，变频调控、远程智能监控、冷热联供系统、光热协同利用等新型技术

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

不断涌现且热泵技术高效节能，在住宅、商业楼宇等领域应用广泛，智能控制系统靠实时数据监测和负荷响应，能按需供能，降低能耗，近年来，信息技术如 AI 算法、物联网平台、大数据分析加速和暖通设备深度融合，让设备有了预测控制、自学习优化和远程故障诊断的能力且光伏与热泵耦合、多能互补系统等集成化解决方案慢慢成熟，既提升系统效率，又拓展设备适用场景，未来，集成、智能、高效会是环保暖通技术的核心方向，持续推动建筑行业节能升级与绿色转型。

2 当前主流环保型暖通技术及其创新路径

建筑节能标准不断提高使暖通设备更新迭代随之加速，节能高效、智能环保的新型技术正一步步取代传统模式从而多元融合的绿色发展路径由此形成。

2.1 热泵技术广泛应用

当前，热泵在环保型暖通技术中最具代表性，其具有能效比高、碳排放低、运行成本低等优点，已在建筑供暖、热水供应和空调等多个领域得到广泛应用。其中，空气源热泵因其安装灵活、运行稳定，成为城镇住宅和中小型商业建筑的首选。地源热泵则依托地下恒温资源，具备冬暖夏凉的优势，适合用于大型楼宇、医院、学校和公共建筑等。近年来，水源热泵、复合热泵、磁制冷热泵等新型系统不断涌现，通过优化制冷剂循环结构、提升压缩机能效、减少低温环境下性能衰减等手段，有效拓展了热泵在严寒地区和高负荷运行场景中的应用边界。与此同时，热泵正朝着全气候适应性、高集成模块化、智能化运行控制等方向快速发展，成为推动建筑领域清洁能源利用的重要技术路径。

2.2 冷热联供集成系统

传统设备各自独立运行有其局限性，而冷热联供系统联合供热、供冷和供应生活热水打破了这种局限，使能源的梯级利用与转换效率得以最大化。像燃气冷热电三联供系统在医院、写字楼和高端住宅中已展现出良好的节能效果，太阳能与热泵耦合系统结合可再生能源的特性降低了运行成本、减少了碳排放且提高了系统的能源自主性。这类系统在结构设计、能源调配和控制策略上不断优化，运用模块化设计和智能算法进行负荷预测和自动调节，显著提升了运行效率和设备寿命，推动了暖通系统朝着集成化、平台化方向发展。

2.3 智能化控制技术突破

暖通设备因智能控制技术的引入从“被动响应”转变成“主动调节”，物联网智能控制系统用传感器采集室内外温湿度、空气质量和人员流动数据并实时分析后智能调节运行模式，使舒适度得以提升且能耗显著降低，有了 AI 算法后系统对使用行为的学习能力进一步增强从而实现精准负荷匹配与能效预测，远程运维平台和云服务相结合让暖通系统能跨区域管理、远程监控与故障预警，进而大幅降低维护成本和停机风险，给大型建筑群和智慧城市建设提供很强的技术支撑。

3 环保型暖通设备在建筑领域的典型应用与成效分析

在建筑里，环保型暖通设备被广泛应用，这不但促使建筑能耗结构得到优化而且让建筑舒适度和绿色等级显著提升，它成了绿色建筑设计与运行的重要部分。

3.1 住宅建筑节能显著

新建和改造的住宅小区里环保型暖通设备慢慢普及开来，北方清洁供暖的一个重要解决方案就是用空气源热泵取代传统电锅炉或者燃煤取暖系统，多联机系统与分户式地暖相配合能按需供能还能分区控制从而有效减少能源浪费，引进新风换热系统在改善室内空气质量时还能保留热量进而降低热损耗，相关示范小区的数据表明采暖期单位建筑面积能耗下降超 30%、室内温度稳定舒适且住户满意度大大提高，这充分显示出环保设备在民用住宅节能方面的潜力，绿色社区和装配式住宅不断发展会使环保型暖通系统在中高端住宅市场的应用空间进一步拓展从而助力居住品质全面升级。

3.2 公共建筑节能提升

学校、医院、办公楼等公共建筑人员密集且能耗集中，这对暖通系统的节能性与稳定性提出了更高要求，冷热电三联供系统和地源热泵常被用作配置并与智能控制系统相结合，从而实现能源高效分配和动态调节，某高校新建教学楼将地源热泵系统和智能控制技术相结合后，系统能效比提高到 4.5 且年节电率超 40%，通过实时监测室内环境参数来调节风机盘管、水泵和风口状态，在满足舒适性需求时有效控制运行成本，公共建筑的这类改造实践充分表明环保型暖通技术具有很高的可行性和可持续推广价值。

3.3 产业园区集成发展

大型工业园区和商务园区部署环保暖通设备多以集中能源站和集成控制系统为核心，采用冷热联供、余热回收、太阳能等多能互补技术实现园区级能源梯级利用，如某科技产业园区配备集中空气源热泵站并结合智能能源管理平台实现分栋计量、远程调控和能耗分析，运行数据显示系统年均节能率 35%、碳排放减少 400 多吨，而且集中式维护降低运维成本、提高整体系统稳定性，为园区建设绿色基础设施提供参考范例并展现环保型暖通设备在大型建筑群落中的集成优势，随着绿色园区和智慧园区建设不断发展，这种集成化、智能化暖通解决方案会逐渐成为产业集聚区能源管理的新常态。

4 市场需求趋势与环保型暖通设备面临的挑战

节能减排政策和绿色建筑需求双重驱动下的环保型暖通设备市场快速增长，但推广时诸多现实挑战与技术瓶颈仍摆在面前。

4.1 绿色需求持续释放

“双碳”战略深入实施，建筑行业发展主打绿色低碳，各地新建项目大多得达到绿色建筑标准，这使得开发商和

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

设计方在项目初期优先考虑节能高效的暖通解决方案，并且消费者越来越关注居住环境的舒适性和健康性，这也促使环保型暖通产品进入中高端住宅市场，而且公共建筑、产业园区等领域集中采购和改造计划，给市场释放出大量需求，行业调研数据显示，未来五年环保型暖通设备年均复合增长率有望超 10%，北方清洁取暖、城市更新改造、装配式建筑中潜力巨大，市场前景广阔。

4.2 技术成本制约推广

环保暖通设备有着明显的节能效益和环保优势，但在推广时初始投资高是主要障碍，热泵、冷热联供之类的系统在设计、安装、调试等阶段需要高技术团队和复杂工程配套，使得整体成本比传统系统高得多，部分核心部件如高效压缩机、智能控制模块等要么依赖进口要么靠高端制造，价格很敏感，中小型住宅和低端项目里开发商和用户大多关注前期成本而不看重全生命周期效益，影响其市场渗透率，而且有些地区缺少安装和运维的专业人才，制约了技术落地以及长期运行质量。

4.3 标准体系与监管滞后

我国环保型暖通设备领域当前还没有统一、系统的评价和认证标准，且各地政策执行力度与支持范围不一样，导致有些项目在设计和验收阶段缺少明确的指导依据，使实际应用效果跟预期有偏差，并且设备厂商技术标准不统一，产品兼容性不好，智能系统不能有效联动，整体系统效率受影响，在监管方面，建筑节能验收时对暖通设备性能监测不够重视，也没有持续的数据跟踪和能效评估，难以建立反馈机制来推动技术优化，要大规模、可持续地推广环保型暖通设备，急需建立完善的国家标准体系和多层次监管机制，提高行业透明度，增加用户信任度。

5 环保型暖通设备未来的发展方向与应用前景展望

气候变化挑战和绿色转型需求摆在面前，在智能集成、多能互补和政策引导下，环保型暖通设备发展迎来了新一轮技术革新与市场扩展，其未来会全面升级。

5.1 智能化将成为发展主线

人工智能、物联网和大数据技术不断成熟，环保型暖通设备会朝着全面智能化演进，未来系统不但有精准温控、能耗优化这些功能，还能根据用户行为与环境变量自适应调节，传感器和边缘计算融合后设备就有了实时响应与故障预警能力，运行效率和使用便捷性大大提高，云端运维平台与楼宇管理系统对接能实现区域能源系统的集中管控、远程诊断与数据挖掘，给大型园区、智慧城市等场景一体化暖通解决方案，智能化也会促使能源管理模式从“设备驱动”变成“需求驱动”，为建筑碳中和的实现提供有力支撑。

5.2 绿色低碳体系深度融合

可再生能源与建筑环境将被未来的环保型暖通设备更紧密地融合起来以构建更完整的绿色低碳体系，热泵、新风系统等设备会与太阳能、地热能、生物质能等绿色能源深度协同而形成“源-网-荷-储”一体化运行格局从而提升能源利用率和系统柔性，暖通系统与建筑设计的同步集成也会更受重视以实现结构、功能与能耗的协同优化，除此之外既有建筑改造将广泛应用余热回收、热能储存等技术以推动存量市场的绿色升级，装配式建筑和近零能耗建筑发展起来后会加快环保暖通设备预制化、模块化的趋势从而提高安装效率、降低运维成本并让绿色建筑有更强的系统支撑。

5.3 政策引导激发创新动能

政策的精准引导与机制保障对未来发展愈发重要，国家会接着出台建筑节能、绿色采购、碳达峰碳中和等政策，完善环保型暖通设备的准入标准、能效评价体系和补贴机制，促使市场朝着高效、环保、智能的方向转型，而地方政府搞试点示范工程、财政奖励和能耗监测平台建设，为企业研发创造实践条件，产业链上下游也需加强协作，推动关键技术联合攻关和成果转化以提高国产设备的技术水平与市场竞争力，“政策+市场+技术”三方面共同发力，环保型暖通设备在更多应用场景普及落地便有希望，从而为我国建筑行业绿色转型不断注入动力。

6 结语

绿色建筑里环保型暖通设备是重要部分，现在到了技术革新和市场扩展的关键时候，在节能减排、提高居住舒适度、推动建筑行业绿色转型等方面有着巨大潜力，热泵、智能控制、多能互补等先进技术不断融合且政策引导、市场需求也不断释放会让其在住宅、公共建筑、产业园区等很多领域加快推广，以后靠着智能化、系统化的发展道路，若标准完善且人才能够支撑或许能广泛应用，给实现“双碳”目标稳稳的保障。

[参考文献]

[1]秦国平,刘杰.暖通设备的控制与节能运行分析[J].黑龙江科学,2018,9(16):52-53.
[2]周玲.暖通空调制冷系统中的环保节能技术[J].科技创新与应用,2021,11(22):166-168.
[3]吴骏.暖通工程中的空调制冷系统节能技术分析[J].集成电路应用,2022,39(8):170-171.
[4]石思鹏.绿色节能理念下建筑暖通施工问题及措施探讨[J].工程与建设,2022,36(3):760-762.
[5]姚砺强.新形势下建筑暖通设计的改进措施研究[J].城市建设理论研究(电子版),2025(9):119-121.

作者简介：玛依热·阿布都热依穆（1993.1—），女，毕业院校：重庆大学，所学专业：建筑环境与能源应用工程，当前就职单位：新疆恒泰工程设计有限公司，职务：暖通工程师。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

Viser Technology Pte. Ltd.

公司地址
111 North Bridge Rd, #21–01 Peninsula Plaza,
Singapore 179098

官方网站
www.viserdata.com

ISSN 3041-0525