www.viserdata.com

智能城市应用

SMART CITY APPLICATION

月刊

■ 主办单位：Viser Technology Pte.Ltd.　■ ISSN 2630-5305(online) 2717-5391(print)

中国知网（CNKI）收录期刊

RCCSE权威核心学术期刊

2025 3

第8卷　总第59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.

智能城市应用

Smart City Application

2025年·第8卷·第3期（总第59期）

主办单位： Viser Technology Pte. Ltd.

I S S N： 2630-5305 (online)
2717-5391 (print)

发行周期： 月刊

出版时间： 3月

数据库收录： 中国知网收录期刊
RCCSE权威核心学术期刊

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

印　　制： 北京建宏印刷有限公司

定　　价： SGD 20.00

目　录

CONTENTS

工程管理

节能环保

机械机电

计算机应用技术

自动化技术

智慧数据分析

石油化工

工业制造

城市转型发展阶段关于县级城市规划的思考

董志伟
天津市筑土建筑设计有限公司，天津 300202

[摘要]随着我国城镇化率突破 66%，城市化进程进入以质量提升为核心的稳定阶段。县城作为连接城乡的关键节点，其规划与建设成为新型城镇化战略的重要抓手。文中从县城在城市化中的新机遇、现存问题及特色发展策略三方面展开分析，提出以产业升级、公共服务优化、文化传承为核心的县城高质量发展路径，为县域经济转型提供理论参考。

[关键词]城市化稳定阶段；县级城市规划；县城建设；县级城市发展策略
DOI：10.33142/sca.v8i3.15797　　中图分类号：TU981　　文献标识码：A

Thoughts on County Level Urban Planning in the Stage of Urban Transformation and Development

DONG Zhiwei
Tianjin Zhutu Architectural Design Co., Ltd., Tianjin, 300202, China

Abstract: With Chinese urbanization rate exceeding 66%, the urbanization process has entered a stable stage with quality improvement as the core. As a key node connecting urban and rural areas, the planning and construction of county towns have become an important lever for the new urbanization strategy. The article analyzes the new opportunities, existing problems, and characteristic development strategies of county towns in urbanization, and proposes a high-quality development path for county towns with industrial upgrading, public service optimization, and cultural inheritance as the core, providing theoretical reference for the transformation of county economies.

Keywords: stable stage of urbanization; county level urban planning; county town construction; development strategy for county level cities

引言

城市化进程是经济社会发展的重要标志，根据国家统计局数据，城市化稳定阶段的城镇化率通常介于 70%-90%之间，城乡人口流动趋于动态平衡，经济增长动力转向第三产业与高新技术产业。德国、日本等发达国家已进入此阶段。我国城市化历经快速扩张后，将要进入稳定发展阶段。2024 年，中国城镇化率约为 68%，部分发达地区（如长三角、珠三角）已接近稳定阶段阈值，县级城市作为连接城市与乡村的关键纽带，成为承接人口回流、优化城市群结构的关键节点，其发展状况不仅影响着区域经济的协调发展，也关乎城乡一体化目标的实现。在这一全新阶段，县城面临着前所未有的机遇与挑战，深入研究县城规划建设，对于推动其可持续发展意义重大。

1 县级城市在城市化稳定阶段的新机遇

1.1 国家政策赋予的战略地位的提升

1.1.1 推动以县城为载体的新型城镇化建设

中央经济工作会议明确提出“推动以县城为载体的新型城镇化建设”，标志着县城从传统“城乡过渡带”向“区域发展核心”转变，县域将成为我国经济高质量发展的重要阵地。2023 年数据显示，我国县城常住人口占全国城镇总人口的 25%，承载着 2.5 亿人口的公共服务需求。国家和地方政府高度重视县城在城市化进程中的作用，出台了一系列支持县城发展的政策措施，加大了对县城基础设施建设、公共服务提升、产业发展等方面的资源投入。

国家层面出台的《关于推进以县城为重要载体的城镇化建设的意见》（2022 年）明确提出加强县城产业平台建设、完善市政设施等任务。各地政府纷纷响应，在资金、土地指标等方面给予县城倾斜，强化县城在要素集聚、产业转移承接中的枢纽作用。《深入实施以人为本的新型城镇化战略五年行动计划》（2024 年），明确县城需分类发展：大城市周边县城，承接产业转移，如北京周边的固安；专业功能县城，如综合实力百强县山东胶州；生态功能区县城，发展清洁能源与生态旅游，如湖北宣恩；农业主产区县城，构建农产品加工与物流枢纽。

1.1.2 城乡融合发展的战略机遇

县域是连接城市与乡村的天然载体，既能承接大中城市产业转移，又能辐射带动乡村的发展，县城作为城乡融合发展的基本区域单元和关键节点，在城市化稳定阶段迎来了前所未有的战略机遇。

所谓的现代化不仅是城市现代化，还有县域现代化和农业农村的现代化。随着城乡一体化进程的推进，县城与周边乡村的联系更加紧密，资源要素流动更加顺畅。二十大以来，随着中央和地方财政投入力度加大，农村发展日新月异。县城充分利用自身的产业、人才、技术等优势，带动乡村经济发展，同时也能从乡村获取丰富的自然资源和生态空间。如香河县依托地域资源优势，通过发展特色

种植业，正逐步实现城乡产业的协同发展；同时，借助乡村的生态资源，开发乡村旅游项目，促进了城乡之间的人员流动和经济交流。

1.2 承接产业转移与结构升级的契机

在城市化稳定阶段，大城市产业结构不断向高端化、服务化迈进，部分劳动密集型和资源依赖型产业逐渐向外转移。东部沿海地区的产业升级，加速了劳动密集型产业向中西部县城转移。如河北曹妃甸区，通过承接北京产业转移，累计引入亿元级项目 276 个，形成石化、装备制造产业集群。大城市周边县城，凭借相对较低的土地和劳动力成本、丰富的自然资源以及较为完善的交通等基础设施，也成为承接产业转移的理想之地。如北京周边的固安产业新城，通过 PPP 模式引入京东方等企业，形成千亿级产业集群，有效促进了当地经济发展和就业。这不仅为县城带来了新的经济增长点，还推动了产业结构的优化升级，从以传统农业为主逐步向农业与工业和服务业协同发展转变。县城凭借土地成本优势与人口红利，成为区域产业链重构的重要载体。

1.3 数字化转型带来的弯道超车机会

从世界范围看，日本的“社会 5.0”、英国的《英国数字战略》、德国的《数字化战略 2025》等规划中，中小城市也是数字化落地实践的重要空间载体。如浙江德清等地通过地理信息+产业融合模式，实现数字经济占 GDP 比重超 50%。智慧县城建设加速推进，数字基建下沉为县城打破资源壁垒、创新治理模式提供可能。

1.4 县域消费市场潜力释放

1.4.1 县城是扩大内需的重要引擎

2000 年到 2020 年间，收缩县城达到了 1507 个，涉及县城总面积 440 万平方公里，覆盖近 46%的国土。然而随着大城市生活成本上升、就业竞争压力增大等因素，出现了人口回流县城以及周边农村人口向县城集聚的现象。人口的回流与集聚为县城发展提供了人力资源，刺激了消费市场，促进了房地产、商业等相关产业的繁荣，进一步推动县城的城市化进程。虽然现阶段县城消费与城市的差距依然很大，人均消费支出仅为地级及以上城市城区的 2/3 左右。但是麦肯锡预测，到 2030 年，中国超过 66%的个人消费增长将来自下沉市场，特别是县城。

1.4.2 县城是基础设施投资的重要空间

2020 年县级城市人均市政基建投资仅 1013 元，不足城市水平的 1/4。现阶段，县城投资与城市的差距很大，人均市政公用设施固定资产投资仅为地级及以上城市城区的 1/2 左右。国家规划会持续补齐县级城市在交通、水利等方面的短板，加大财政资金支持和吸引社会资本投入，预计带动投资规模超万亿元。

2 县级城市规划与建设现存问题

2.1 规划管理体系不健全

2.1.1 规划科学性不足

在规划过程中，存在未能充分考虑城市未来的发展需求和趋势，缺乏对产业布局、生态保护等方面的系统性研究。规划内容局限于短期目标，忽视了城市的长远发展。如一些县城在产业园区规划时，没有预留足够的发展空间，导致后期企业扩张受限；在城市道路规划中，未充分考虑机动车保有量的增长趋势，道路狭窄，交通拥堵问题日益严重。另外多数县城存在规划频繁调整现象，因为行政干预导致“规划跟着项目走”。

2.1.2 专项规划衔接不足

与大城市相比，县级城市的规划专业技术人才短缺，差距显著。与上级规划和周边区域规划协调性还有不足，存在规划衔接不到位的情况，如存在基础设施重复建设和产业同质化发展；本层级内“规划打架”现象也时有发生，如交通与土地利用规划矛盾等。

2.2 基础设施与公共服务短板突出

2.2.1 基础设施建设滞后

尽管这些年县城在基础设施建设方面取得了一定进展，但与城市发展需求相比仍存在较大差距。在交通方面，部分县城对外交通联系不够便捷，高速公路、铁路等交通干线覆盖不足；城市内部的公共交通体系不完善，公交线路少、运营时间短，居民公交出行还存在不便。市政设施建设比较滞后，管网布局不合理，供水、供电、供气等基础设施老化，存在安全隐患；污水处理和垃圾处理能力不足，县城污水处理率平均为 85%，低于城市 95%的水平。

2.2.2 公共服务设施不完善

县级城市的公共服务设施建设水平相对较低，难以满足居民日益增长的需求。在教育方面，优质教育资源短缺，学校数量不足，师资力量薄弱，教育质量有待提高。在医疗方面，县级城市每千人医疗床位数为 4.2 张，仅为城市水平的 60%，并且医院医疗设备陈旧，医疗技术水平有限，难以开展复杂的诊疗业务；基层医疗卫生机构服务能力不足，居民看病就医依然存在困难。另外文化、体育等公共服务设施建设也相对滞后，缺乏大型文化活动场所和体育健身设施，居民的精神文化生活相对较为单调。

2.3 产业同质化与产城融合不足

2.3.1 结构层次偏低

县域经济作为国民经济的基本单元，以传统产业为主，涉及行业门类众多，一直以来第一产业比重偏高，第二产业优势不足，第三产业规模较小。半数以上县级城市主导产业以低端的劳动密集型、低附加值类型为主，技术含量低、环境污染高、资源能源消耗大，主要集中于农产品初加工、低端制造，附加值率很低。而且产业同质化较高，缺乏差异化竞争力。

2.3.2 产城空间割裂

“产城融合”是我国新型城镇化进程中的重要命题，根据园区发展阶段理论，我国产业园区正步入产城融合功能复合型的 4.0 发展阶段，但是多数县级城市的产业园区仍然以单一的产业发展为主，产业园区与居住区存在产城

空间分离、职住分离的现象，加剧了通勤压力和公共服务水平的欠缺。同时存在多个园区布局相对分散和多头管理等问题。

2.4 文化特色与生态保护不足

2.4.1 历史风貌流失

城市快速发展时期，以土地规模的扩张来满足城市发展的需求，导致新、老城区建设的出现了巨大反差。老城的发展和更新严重滞后，导致空间格局逐步消失、机能逐渐衰退、建筑文化遗产得不到有效的保护和维护。

2.4.2 生态韧性不足

快速城市化背景下城市无序扩张，造成了湿地退化和水体污染，城市热岛效应和空气污染对也产生了不良影响，导致县级城市生态系统面临着前所未有的压力。县级城市绿地系统破碎化，绿地面积较少，使得城市降温和水循环能力降低了，同时也对居民的身心健康产生负面影响。

3 关于县级城市规划建设的发展策略思考

3.1 构建科学化、精细化的规划体系

3.1.1 强化规划引领、分类施策规划

以人为本推进城镇化，首先要识别县城的类型，确定其基本特征，明确县城的功能定位和发展方向。然后因地制宜，“一县一策”，明确建设重点和保障措施，统筹县城生态、生产、生活需要，准确补齐短板、强化弱项，防止盲目建设。如卫星县城可着力在强化交通连接方面，构建城市群“1 小时通勤圈”规划；文旅县城，可以通过构建“IP+体验”的发展模式，打造文旅品牌实现旅游收入翻番等。

3.1.2 强化顶层设计、完善法规保障

树立系统思维，积极与上位规划进行对接，准确把握区域发展战略和要求，同时加强与周边县城和乡镇的沟通与协作，共同推进基础实施建设、产业布局、生态保护等方面的协同发展。深入推行“多规合一”，将国土空间规划与产业、生态、交通等专项规划深度衔接；着眼长远，充分考虑城市发展的各个方面，进行全面深入的研究和分析，加强对人口变化、生态环境、产业发展等的评估和预测，科学合理确定城市的定位、功能、规模和布局。注重生态保护和绿色发展，合理布局水系、绿地等生态空间；结合资源优势和市场需求，明确主导产业和特色产业，预留发展空间，打造宜居宜业的城市。建立并完善规划实施评估机制，推行“一年一体检、五年一评估”、违规调整追责等制度。

3.2 提升主导产业、培育新兴产业

3.2.1 稳固提升优势主导产业

习近平总书记指出：“各地要坚持从实际出发，先立后破、因地制宜、分类指导，根据本地的资源禀赋、产业基础、科研条件等，有选择地推动新产业、新模式、新动能发展”。

3.2.2 培育发展新兴产业集群

面向新质生产力的要求，培育新兴产业集群，按照“产业链-产业集群-产业生态”的逻辑，通过培育优质企业、招商引技引智、创新平台和专业功能平台建设、做优服务来完善产业链，加快产业集群和产业生态的形成。

3.3 推进均等化、人性化的公共服务

3.3.1 加强基础设施建设

加大对基础设施的投入力度，完善基础设施网络。加强对外交通联系，进一步提高县城的交通可达性；优化城市内部交通布局，完善公共交通体系，提高居民出行的便利性。加强市政设施建设，更新改造供水、供电、供气等管网，提高设施运行效率和安全性；加强污水处理和垃圾处理设施建设，提高环境污染治理能力。

3.3.2 提升公共服务水平

落实“15 分钟生活圈”配置，创新公共服务供给，提高公共服务的均等化水平。加强教育资源配置，新建和扩建学校，改善办学条件，加强师资队伍建设，提高教育质量。加强医疗卫生服务体系建设，提升县级医院医疗技术水平，完善基层医疗卫生机构服务功能，提高居民健康水平。丰富文化、体育等公共服务供给，建设文化活动中心、图书馆、体育馆等公共服务设施，满足居民的精神文化需求。

3.4 塑造地域化、可持续化的文化生态格局

3.4.1 历史文化活态传承

以可持续发展为目标，利用新的科学技术与文化深度融合，通过虚拟现实等技术，增加体验感，将历史文化更加生动、立体的呈现在公众眼前。开展跨学科、跨领域的合作，形成多元化合作模式，如发展特色文旅产业，推动历史文化的活态传承。

3.4.2 生态基础设施网络化

重视城市湿地保护与恢复，建立湿地公园和保护区，提高城市的生态功能和生物多样性；重视绿化，将自然生态元素融入城市布局，打造连续的公园、小微绿地和绿色走廊系统；打造绿色街道和雨水管理系统，规划雨水花园、下凹式绿地实现雨水的渗透和储存，建设城市排水系统压力。

3.5 探索智慧化、低碳型的转型路径

把握数字化、网络化、智能化发展大势，应用大数据为县域经济提供精准的决策支撑；通过人工智能技术赋能县域制造业和服务业，加快转型升级；应用物联网技术，推动县域农业和物流业朝着智能化方向发展。探索生态农业、生态旅游和绿色制造等产业的实现路径，发展生态经济；推动资源循环利用，发展循环经济模式，助力县域经济的绿色低碳发展。

4 结论

在城市化进程稳定阶段，县城面临着诸多新机遇，但同时也存在规划建设方面的问题。县城需从规模扩张转向内涵式发展，通过科学规划引领、聚焦特色产业和完善基

础设施与公共服务等特色发展策略的实施，能够有效应对挑战，实现高质量发展。通过精准定位、技术赋能、文化赋能与制度创新、产业升级构建差异化竞争力，实现可持续发展。未来，随着城市化进程的持续推进，县城应不断创新发展思路，充分发挥自身优势，在区域发展中扮演更加重要的角色，为实现城乡一体化和经济社会可持续发展做出更大贡献。在实践过程中，各地县城应结合自身实际情况，灵活运用这些策略，探索出适合本地的发展路径，进一步强化县城在城乡要素对流中的枢纽功能，使其成为新型城镇化高质量发展的战略支点。

[参考文献]

[1]国务院.《深入实施以人为本的新型城镇化战略五年行动计划》[Z].2024.
[2]中共中央办公厅 国务院办公厅.《关于推进以县城为重要载体的城镇化建设的意见》[Z].2022.
[3]国家发展改革委.《“十四五”新型城镇化实施方案》[Z].2022.
[4]国家发改委.县城建设是扩大内需的重要引擎[Z].2022.
[5]国家发改委.《关于加快开展县城城镇化补短板强弱项工作的通知》[Z].2020.
[6]世界经济论坛联合腾讯研究院.《重塑中小城市的未来：数字化转型的框架与路径》[Z].2022.
[7]城市化进程的三个阶段及其特征分析[Z].2023.
[8]易县城市大脑入选工业和信息化部典型应用案例[Z].2025.
[9]河北省县域科技创新跃升计划[Z].2027.

作者简介：董志伟（1985.9—），毕业院校：河北工程大学科信学院，所学专业：城市规划，就职单位：天津市筑土建筑设计有限公司，职务：项目经理。

市政供热管网标准化施工技术研究

高玉辉
陕西西咸新区创拓新能源发展有限公司，陕西 咸阳 712000

[摘要]市政供热管网作为城市供热系统的核心，其建设质量直接影响供热效率与能源利用率。传统建设中，施工技术不规范与管理不足常导致能源浪费、设备故障及环境污染。因此，推动标准化施工技术已成为提升供热质量、优化能源利用及促进可持续发展的关键。随着科技进步与环保要求提高，市政供热管网逐步向标准化与智能化施工转型，这不仅应对城市化挑战也是节能减排战略的重要部分。实现科学设计、精准施工与智能管理，并整合新材料与新工艺，已成为亟需解决的关键问题。探索标准化施工技术的创新与应用，将为未来城市供热系统优化与基础设施建设提供宝贵经验与参考。

[关键词]市政供热管网；标准化；施工技术
DOI：10.33142/sca.v8i3.15778　　中图分类号：TU99　　文献标识码：A

Research on Standardized Construction Technology of Municipal Heating Pipeline Network

GAO Yuhui
Shaanxi Xixian New Area Chuangtuo New Energy Development Co., Ltd., Xixian, Shaanxi, 712000, China

Abstract: As the core of urban heating systems, the construction quality of municipal heating pipelines directly affects heating efficiency and energy utilization. In traditional construction, non-standard construction techniques and inadequate management often lead to energy waste, equipment failures, and environmental pollution. Therefore, promoting standardized construction technology has become the key to improving heating quality, optimizing energy utilization, and promoting sustainable development. With the advancement of technology and the increasing demand for environmental protection, the municipal heating pipeline network is gradually transforming towards standardized and intelligent construction, which not only meets the challenges of urbanization but also is an important part of energy conservation and emission reduction strategies. Realizing scientific design, precise construction, and intelligent management, as well as integrating new materials and processes, has become a key issue that urgently needs to be addressed. Exploring the innovation and application of standardized construction techniques will provide valuable experience and reference for optimizing urban heating systems and infrastructure construction in the future.

Keywords: municipal heating pipeline network; standardization; construction technology

引言

随着城市化进程的加速，市政供热系统已成为现代城市基础设施的重要组成部分。为了满足日益增长的供热需求，提高供热效率并减少能源浪费，市政供热管网的建设与管理正逐步步入标准化与智能化的新阶段。市政供热管网建设中标准化施工技术的应用，不仅提高了施工效率与质量，还确保了管网系统的长期稳定与安全运行，从而有效减少了环境污染与资源浪费。因此，研究市政供热管网标准化施工技术，深入探讨其应用中的优势与挑战具有重要的现实意义及深远的社会价值。

1 市政供热管网标准化施工技术的优势分析

1.1 降低对环境的污染程度

在市政供热管网标准化系统建设中，先进的技术设备与管理经验得到了充分融合，以提升能源利用效率的同时减少环境污染。在施工阶段，使用高效节能的作业设备，不仅提高了燃料的利用率，还有效降低了碳排放。此外，供热管网的设计在运行过程中对管道输送的能源消耗进行了精确评估和优化，确保热能损失最小化，进一步提高了输送效率。这些优化措施显著减少了供热过程中对空气的污染，进而对环境保护产生了积极影响。与传统分散式管网施工方法相比，标准化施工技术在资源配置方面表现出更高的集中性，从而增强了能源的统筹管理能力。通过供热介质的集中输送，不仅有效减少了热损失，还提高了热能的利用率，减少了整体能源消耗。此外，标准化技术优化了供热调节手段，降低了能源浪费及不必要的排放，如二氧化碳、二氧化硫和氮氧化物等污染物的排放，进一步促进了环保目标的实现。

1.2 提升供热管网的运行效率与稳定性

提升供热管网运行效率是市政供热系统标准化施工中的关键目标之一。在设计阶段，市政供热管网标准化系统就已充分考虑到供热用户的实际需求与调节行为。通过引入智能化控制系统，热能供应可以根据需求变化进行精准调节，这种设计方式使得供热量和输送温度能够灵活应对不同季节与气候条件，确保系统在任何情况下都能保持最佳运行状态。智能化调节大幅减少了外界因素对供热系统的干扰，避免了负荷波动或温度变化等引发的不稳定情

况，从而显著提升了供热管网的运行效率与稳定性。在施工过程中，施工单位不仅注重提高热力传输效率，还着重考虑到设备噪音对周围环境的影响。特别是在管网敷设结构设计上，采取了降噪措施，有效减少了供热设备运行时的噪音，进而降低了对周边居民生活环境的干扰。通过优化设备选择与布局，施工方成功降低了噪声污染，为改善城市整体环境贡献了积极力量。

2 市政供热管网标准化施工技术的关键要点

2.1 科学合理的供热管网设计

科学合理的供热管网设计是保障市政供热系统高效、稳定运行的关键所在。在设计过程中，城市的地理条件、气候特征以及用热需求必须充分考虑。通过精准的负荷预测与管网规划，可以确保系统的高效运作。对于供热区域的热负荷，应进行详细分析，并根据不同区域的实际情况，合理规划管道的规格、布置与埋深。这样，过度设计或设计不足的问题得以避免，管网的热力传输效果在实际运行中才能达到最佳状态。设计的核心目标之一是提升管网的节能性与经济性，在材料选择上，通过合理选用管材与保温材料，减少热能的损失。此外，采用高效的保温材料与防腐技术，能源利用效率将大幅提升，运营成本也得以降低。管道连接与阀门的设计上，简便且安全的操作方式至关重要，以避免因频繁维修或操作不当对供热系统的稳定性产生不利影响。同时，设计过程中还需考虑未来城市发展的需求，预留充足的扩容空间与接口，确保系统的灵活性与长期可持续性。

2.2 施工质量控制体系的建立

为了确保市政供热管网标准化施工技术的顺利实施，建立一套严格的施工质量控制体系显得尤为重要，该体系应涵盖从设计审核到施工执行的各个环节，从源头上对质量进行把控。在设计阶段，所有相关图纸与施工方案都必须经过严格审查，以确保其符合标准化要求。同时，应对潜在的设计缺陷进行预测与分析，以避免在后续施工过程中出现问题。在施工阶段，明确责任分工并建立多层次的监督机制至关重要，项目经理应定期检查施工现场，确保施工团队严格按照设计要求与技术标准执行，尤其是在管道安装、焊接及接口处理等关键环节，必须进行严格验收。对于每个重要的施工环节，应安排专门的质检人员进行实时监控，并确保详细记录的完整性，确保每一个步骤都有据可查。为了进一步提升质量控制水平，先进的检测技术应被引入，如非破坏性检测与智能监测系统等。这些技术能够实时监控管网的运行状态与质量表现。若发现问题，系统会立即发出警报并采取调整措施，从而有效避免质量隐患影响供热系统的长期稳定性。

2.3 沟槽开挖与管道铺设的标准化要求

沟槽开挖与管道铺设是市政供热管网施工中的核心环节，直接关系到系统的安全性与长期稳定运行。确保施工质量的关键在于严格按照标准化要求进行操作。在开挖沟槽时，必须根据管道的规格和地质条件，精确计算开挖的深度与宽度，以确保管道得到充分支撑并顺利运行。开挖工作前，全面的现场勘察是必要的，以避免地下设施或土壤不稳定等因素引发施工风险。同时，沟槽底部应进行整平处理，确保管道在铺设时能够建立起稳定的基础，减少未来可能出现的沉降或损坏。管道铺设时，确保连接点的精确对接至关重要，必须保证每个连接点紧密连接，避免漏水现象的发生。管道的坡度与支撑方式也有严格要求，坡度不应过大，以确保热介质流动平稳，防止气阻或水阻影响供热效果。在选择管道连接方式时，应根据实际情况选用焊接或法兰连接，以确保管道的密封性与整体稳定性。在施工过程中，避免管道受到外力压迫或弯曲变形也十分重要，通过合理设置支撑架或保护层，可有效防止这种情况的发生。管道铺设完成后，需对其进行压力测试和密封性检查，确保整个管网能够承受正常运行中的压力与热膨胀，保障系统的长期稳定运行。

2.4 供热管网运行管理的标准化

供热管网运行管理的标准化是保障市政供热系统高效稳定运作的关键所在。随着城市化进程的加快，供热管网的规模和复杂性显著增加，传统的管理模式已难以应对日益增长的需求，迫切需要建立一套系统化、科学化的标准化管理机制。在标准化管理的要求下，必须明确制定管网各项操作流程，涵盖设备监控、能源调度、故障应急处理等环节。通过这些标准化流程，能够确保在实际运行中实现精确的调节，从而避免因操作不当或信息传递不及时导致的能效损失或设备故障。实时监控与数据分析的运用，使得管理人员能够根据不同区域和时段的供热需求，灵活调整供热量，提升能源利用率，减少浪费。管网运行管理的标准化还体现在设备与管道的定期检查与维护上。统一的检修标准与周期的制定，能有效保证设备始终保持在最佳运行状态，降低突发故障的风险。智能监控系统的引入，使得管道压力、温度等关键数据能够实时采集，及时发现异常情况并进行调整，从而有效避免大范围故障的发生。标准化管理体系不仅包括技术与操作层面的规范，还涵盖了对操作人员的专业培训与制度建设。经过专业培训的工作人员，能够熟练掌握标准化流程，确保操作符合安全规范。通过制度化管理，不仅能强化执行力，还能增强监督力度，确保供热管网的高效与规范化运行。

3 影响市政供热管网标准化施工的因素分析

3.1 材料与设备的标准化水平

材料与设备的标准化在市政供热管网施工中至关重要，确保系统长期稳定运行。统一规格的管道、阀门、保温材料及焊接材料，提高了组件兼容性，减少了故障和维修问题，标准化管道材料不仅提升热能传输效率，还延长了管网使用寿命，降低了运营成本。标准化设备简化了施

工与维护，减少了人为错误，提高了系统运行准确性。符合标准的管道连接设备、压力测试仪器及自动化控制系统，减少了设备故障导致的供热中断风险，增强了系统稳定性。随着技术进步，智能化与数字化设备逐步融入供热管网，标准化的智能监控系统实时监测管网状态，及时发现并解决问题，提高了系统运行效率与响应速度。

3.2 施工工艺与技术水平

施工工艺与技术水平直接影响市政供热管网的施工质量与效率。精确的施工工艺确保各环节顺利衔接，先进的焊接与连接技术有效防止接头松动引起的漏水与管道损坏。管道定位与铺设严格按设计要求执行，避免施工误差带来后期维修与故障。新技术与工艺的应用，如非开挖技术，减少了对环境的影响并缩短了施工周期[1]。智能化管道监测系统通过实时数据分析，迅速发现问题并支持施工调整，提升施工精度与安全性。此外，技术培训与人员素质在保证施工工艺质量方面至关重要，经验丰富的团队能应对复杂环境，确保施工严格按标准进行，避免因操作不当影响施工效果。

4 优化市政供热管网标准化施工技术的措施

4.1 引入智能化与数字化施工技术

引入智能化与数字化施工技术，对于提升市政供热管网标准化施工技术具有至关重要的作用。随着科技的不断发展，智能化与数字化技术已逐渐成为提升施工效率、降低风险及确保质量的关键工具。通过传感器与物联网设备，智能化技术能够实时监控施工现场的数据，收集温度、压力、流量等关键参数。这使得施工团队能够准确掌握各项施工任务是否符合设计要求，有效预防人为失误或设备故障所带来的潜在风险，从而保障施工过程的顺利进行。数字化施工技术在管理层面同样展现出了显著的优势，借助数字化建模（BIM）技术，在施工前可进行虚拟仿真，提前识别并优化施工过程中可能出现的问题，如空间限制、材料配备及施工步骤，从而确保施工流程的合理性与高效性[2]。在施工阶段，数字化平台则帮助管理团队实时跟踪材料使用情况、施工进度与质量数据，使得项目的进度控制与成本管理变得更加精确。智能化技术的应用不仅限于施工现场的监控，设备管理也得到了显著提升。采用智能化机械设备与自动化工具，不仅减少了人工操作的需求，还提升了施工速度与精度。同时，智能化巡检系统定期对已完成的管网进行检查与维护，及时发现潜在故障，确保供热管网的长期稳定运行。

4.2 结合新材料和新工艺优化施工方案

结合新材料与新工艺优化施工方案，已成为提升市政供热管网标准化施工技术的关键措施之一。随着材料科学与施工技术的迅速发展，越来越多的创新材料与先进工艺被引入供热管网建设中。这不仅显著提升了施工质量，还有效降低了施工成本，同时提高了系统的长期稳定性与耐用性。新型材料的使用显著增强了管网系统的耐久性。例如，聚乙烯（PE）管道或抗腐蚀合金材料的采用，取代了传统钢管，能够有效抵抗高温环境下的腐蚀与老化，从而大大延长了供热管网的使用寿命[3]。创新的保温材料，如高效聚氨酯保温层，不仅提高了热能的传输效率，还有效减少了能源浪费，进而显著降低了供热系统的运行成本。与此同时，新工艺的引入对提升施工效率与精度起到了至关重要的作用。例如，非开挖技术的广泛应用，尤其是在城市密集区域施工中，避免了对现有道路和基础设施的破坏，减少了环境污染，并有效节省了修复费用。此外，自动化焊接与精准铺设技术的使用，确保了管道连接的精确度与密封性，同时大幅减少了人为误差，提升了施工的整体质量。

5 结语

市政供热管网标准化施工技术的研究与应用，不仅是提升供热效率与降低能源消耗的关键手段，更是推动城市可持续发展的核心举措。通过合理设计、严格的施工质量管理及智能化控制手段的应用，供热系统的整体性能能够显著提升，同时其环境友好性也得到了增强。随着新材料与新技术的不断发展，标准化施工技术将在未来的供热管网建设中扮演愈加重要的角色。尽管在实际实施过程中仍面临一些挑战，如技术革新不断推进及施工管理精细化的需求，随着技术不断优化与标准化管理不断深化，市政供热管网的效率、成本控制与环境适应性将逐步得到提升。随着这一进程的推进，标准化施工技术将成为保障城市供热系统安全、稳定运行的坚实基石，进一步推动社会的可持续发展。

[参考文献]

[1]魏智邦.市政供热管网标准化施工技术研究[J].大众标准化,2023(9):129-133.
[2]王楠.市政供热管网标准化施工技术研究[J].大众标准化,2023(4):143-145.
[3]邴绍廷,李振南,张子超.市政供热管网标准化施工技术研究[J].居舍,2020(15):35.

作者简介：高玉辉（1982.9—），毕业院校：中南林业科技大学，所学专业：道路与桥梁，当前就职单位：陕西西咸新区创拓新能源发展有限公司，职称级别：工程师。

新型高性能混凝土在桥梁结构中的应用与性能分析

王 淳[1] 刘 瑱[2]
1. 山东金鹏交通能源科技有限公司，山东 济南 250000
2. 山东省交通规划设计院集团有限公司，山东 济南 250000

[摘要]新型高性能混凝土因其出色的耐久性和机械性能，已成为现代桥梁工程的首选材料。此文通过实验数据和案例分析，探讨了新型高性能混凝土在桥梁结构中的应用效果及其性能表现。研究结果显示，该材料能显著提高桥梁的承载能力和抗震性，同时具有更好的经济性和施工便利性。本研究对促进新型高性能混凝土在桥梁工程中的更广泛应用具有重要意义。
[关键词]高性能混凝土；桥梁结构；耐久性；承载能力；抗震性
DOI：10.33142/sca.v8i3.15796 中图分类号：U445.57 文献标识码：A

Application and Performance Analysis of New High Performance Concrete in Bridge Structures

WANG Chun [1], LIU Zhen [2]
1. Shandong Jinpeng Transportation Energy Technology Co., Ltd., Ji'nan, Shandong, 250000, China
2. Shandong Provincial Communications Planning and Design Institute Group Co., Ltd., Ji'nan, Shandong, 250000, China

Abstract: New high-performance concrete has become the preferred material for modern bridge engineering due to its excellent durability and mechanical properties. This article explores the application effect and performance of new high-performance concrete in bridge structures through experimental data and case analysis. The research results show that this material can significantly improve the bearing capacity and seismic resistance of bridges, while also having better economy and construction convenience. This study is of great significance in promoting the wider application of new high-performance concrete in bridge engineering.
Keywords: high performance concrete; bridge structure; durability; carrying capacity; seismic resistance

引言

随着交通运输需求的增加，桥梁工程对材料的性能要求日益提高。新型高性能混凝土因其优异的性质，在桥梁结构的应用中展示了巨大的潜力。本文将分析该材料的主要性能指标及其在桥梁结构中的应用效果，以评估其在现代桥梁工程中的适用性和效益。

1 新型高性能混凝土的材料特性

新型高性能混凝土（High Performance Concrete, HPC）是通过精选材料配比和添加特殊掺合料来改进的混凝土，旨在提供优于传统混凝土的多方面性能。这种混凝土类型主要用于要求高耐久性、高强度和良好工作性的工程结构中，如桥梁、高层建筑和海洋平台。

1.1 材料成分与性能指标

新型高性能混凝土的构成精心选择了包括水泥、细骨料（如沙子）、粗骨料（如碎石或碎砾）、水和关键的掺合料在内的多种成分。掺合料的种类繁多，例如高效减水剂、硅灰、粉煤灰、矿渣粉和纳米材料，每一种都旨在提升混凝土的性能。高效减水剂的加入显著增强了混凝土的工作性和流动性，使其更易于搅拌和浇筑，而硅灰的使用则提高了混凝土的密实度和耐久性，增强了其对水和化学物质侵蚀的抵抗力。在性能指标方面，新型高性能混凝土设计标准旨在满足极端工程需求，通常具备超过 60 MPa 的高抗压强度。其卓越的耐久性表现，如出色的抗冻融能力和抵抗氯盐侵蚀的性能，保证了混凝土结构能够承受严峻的环境条件。此外，这种混凝土的良好工作性和可泵送性使其在复杂或高难度的施工环境中尤为有效，大大便利了施工操作。

新型高性能混凝土的另一个关键优势是其早期强度发展迅速，这一特性有助于缩短整个工程的施工周期。早期强度的快速发展意味着结构可以更早承载，从而加快工程进度，缩短施工总时间，有助于降低工期成本和提高建设效率。此外，由于这种混凝土的高耐久性，维护和修复的需求及其频率也相应减少，进一步降低了长期运营和维护成本。新型高性能混凝土的综合优势使其在现代建筑和基础设施项目中，尤其是在要求极高耐久性和结构强度的桥梁建设中，成为了一个不可或缺的材料选择。通过持续的研发和技术创新，这种材料的应用范围和性能还将不断扩展和提升，为未来的建筑工程提供更广泛的可能性。

1.2 机械性能与耐久性分析

机械性能是衡量新型高性能混凝土质量的关键指标之一。其主要包括抗压强度、抗弯强度和抗拉强度。新型高性能混凝土通过优化材料配比和使用高效掺合料，显著提高了这些性能指标。例如，添加硅灰能够增加混凝土的抗压强度和抗弯强度，这是因为硅灰在水化反应中形成的硅酸钙

水合物能够填充混凝土的微观孔洞，增强其内部结构。

耐久性分析方面，新型高性能混凝土的设计着重考虑了其长期表现和环境适应性。这种混凝土能够抵抗各种环境因素的侵害，如碳化、氯盐侵蚀、硫酸盐攻击和冻融循环。通过实验室测试和现场应用证明，新型高性能混凝土的这些性能都显著优于传统混凝土。例如，在冻融循环测试中，高性能混凝土的损伤程度明显低于普通混凝土，显示出更好的抗冻性能。通过对新型高性能混凝土的材料成分、性能指标、机械性能和耐久性的深入分析，可以看出其在现代桥梁结构中的应用为工程设计和施工提供了更多的可能性和灵活性。这种材料的使用不仅能提高结构的安全性和可靠性，还能延长其使用寿命和降低维护成本，是桥梁工程中不可或缺的材料选择。

2 桥梁结构设计中的材料应用

桥梁设计涉及多方面的技术和材料选择，以确保结构的安全性、经济性和持久性。新型高性能混凝土在现代桥梁工程中的应用，提供了优异的性能和可靠性，是材料选择和设计原则的核心部分。

2.1 设计原则与材料选择标准

在桥梁结构设计中，选择合适的材料是确保设计效果达到预期标准的关键。新型高性能混凝土的选用基于以下设计原则和材料选择标准：

性能优先原则：选择的材料必须满足或超过项目对抗压强度、耐久性和环境适应性的需求。高性能混凝土以其优越的力学性能和耐久性，满足了这一需求。经济性考虑：在满足性能需求的同时，材料的选择还应考虑成本效益比。高性能混凝土虽然初期成本可能高于普通混凝土，但由于其耐久性导致的维护成本低，长期来看是经济的选择。环境影响：桥梁设计还需考虑材料的环境影响。使用可持续或环保材料可以减少工程对环境的负面影响。高性能混凝土通过使用工业副产品如粉煤灰和矿渣粉作为替代材料，降低了环境足迹。

材料选择的标准也包括对特定应用环境的考虑，如抗化学侵蚀、抗冲击和抗疲劳性能。高性能混凝土的技术参数，如流动性、凝结时间和收缩率，都需在设计阶段根据桥梁的具体要求进行调整和优化。

2.2 案例研究：高性能混凝土桥梁的实际应用

通过具体的案例研究可以更好地理解高性能混凝土在桥梁结构中的实际应用和表现。以下是几个高性能混凝土成功应用于桥梁工程的例子：

金门大桥修复工程：在这个项目中，为了提高桥梁的抗震性和耐久性，选择了高性能混凝土作为主要修复材料。该材料的高强度和优异的黏结性能确保了桥梁在地震中的稳定性和长期的耐久性。横跨赤道的海洋桥梁：该桥梁面临着极端的海洋环境挑战，包括盐雾腐蚀和高湿度。高性能混凝土在这里的应用，通过其优良的抗盐蚀性能和低吸水率，有效延长了桥梁的使用寿命。城市轻轨交通桥：在此项目中，高性能混凝土不仅提供了必要的结构强度，还因其快速硬化性能而大大缩短了施工时间，使得轻轨系统能够更快投入使用。

这些案例表明，高性能混凝土的应用不仅提高了桥梁的结构性能，还解决了特定环境条件下的设计挑战。通过这些实践的成功，高性能混凝土证明了其在现代桥梁工程中的广泛适用性和效益。通过综合考虑设计原则、材料选择标准和实际应用案例，可以全面评估高性能混凝土在桥梁结构设计中的应用。这种材料的广泛使用，不仅提升了桥梁的性能和安全性，还推动了建筑材料技术的发展和创新。

3 新型高性能混凝土的性能测试与分析

为了确保新型高性能混凝土(HPC)的质量和适用性，进行全面的性能测试是至关重要的。这些测试不仅验证了混凝土的基本性能指标，还确保了其在实际应用中的可靠性和效能。

3.1 实验方法与测试条件

性能测试的实验方法涵盖了从基本的物理性能测试到更复杂的长期耐久性评估。以下是几种常用的测试方法：

抗压强度测试：这是评估混凝土强度最直接的测试，通常使用标准的立方体或圆柱体试件。根据国际标准（如 ASTM C39），在控制的环境条件下（温度约为 20° C，相对湿度约为 50%）进行 28 天养护后测定其抗压强度。抗渗性能测试：使用水压试验（如 ASTM C1202）或电渗法来评估混凝土的抗渗性，这对于桥梁等暴露于恶劣环境的结构尤为重要。试验在标准化的条件下进行，以确保结果的可重复性和可比性。冻融循环试验：为了评估混凝土的抗冻融能力，将试件置于交替的冻结和融化环境中进行多次循环。该测试模拟了冷冻地区桥梁可能遭遇的环境条件，并测量混凝土的质量损失和结构损伤。碳化深度测试：通过测定混凝土试件表面至未碳化区域的距离来评估其抗碳化能力。碳化是影响钢筋混凝土耐久性的关键因素，测试条件需模拟实际环境中的 CO_2 浓度和湿度。

3.2 数据收集与性能评估

在完成上述测试后，收集并分析数据是评估高性能混凝土性能的下一步。数据分析不仅包括计算平均值和标准偏差，还涉及对数据的深入解读，如通过统计分析评估数据的一致性和可靠性。

数据整理：首先，将所有测试结果录入数据库。这包括抗压强度、抗渗性、冻融循环耐久性和碳化测试结果等。每项测试都需记录试验条件，如温度、湿度、试件尺寸和测试日期。

性能评估：通过比较实验数据与预定的性能指标来评估混凝土的性能。例如，如果一个混凝土配方的抗压强度持续达到或超过 60MPa，则认为该配方的力学性能合格。

统计分析：应用统计分析方法，如方差分析（ANOVA）

和回归分析，来确定不同因素（如掺合料类型和比例、养护条件等）对性能的影响。这有助于优化混凝土配方和改进生产工艺。

长期跟踪与评估：对于已施工的桥梁项目，进行长期的性能跟踪和评估也极为重要。通过定期检测桥梁的实际运行条件下的混凝土性能，可以验证实验室测试结果的准确性和实际应用的有效性。

通过这些综合的测试和评估方法，可以确保新型高性能混凝土不仅在理论上符合设计要求，而且在实际应用中也能展现出预期的高性能。这种深入的性能分析是推动高性能混凝土技术发展和应用的基础，也是保证桥梁工程安全和耐久性的关键。

4 经济性与施工便利性分析

新型高性能混凝土（HPC）在桥梁建设中的广泛应用不仅是因为其卓越的性能，还因为其在经济性和施工便利性方面带来的明显优势。然而，这些优势伴随着特定的挑战，需要在设计和施工过程中仔细考虑。

4.1 成本效益分析

新型高性能混凝土虽然在材料成本上通常高于传统混凝土，但从整个项目的生命周期成本来看，其成本效益是显著的。以下是成本效益分析的几个关键点：

初始投资与长期节省：虽然 HPC 的初始材料成本较高，但由于其增强的耐久性和延长的维护周期，可以显著减少长期的维修和更换成本。例如，HPC 的使用可以减少因环境侵蚀或负载损伤导致的桥梁结构损坏，从而降低整体维护费用。施工效率：HPC 的高早期强度发展使得施工进度可以加快，这对于需要快速完成的项目尤其有利。加快施工进度不仅可以减少施工现场的劳动力和设备使用时间，还可以尽早投入使用，从而提前产生经济效益。资源优化：由于 HPC 的高流动性和自密实特性，使用该材料可以减少施工中的振动需求，从而降低能源消耗和劳动力成本。此外，HPC 通常使用工业副产品如粉煤灰和矿渣作为部分水泥的替代品，这不仅有助于降低材料成本，还有助于实现可持续建设实践。

4.2 施工过程中的优势与挑战

虽然高性能混凝土在施工中提供了多种优势，但也带来了一些挑战，这些需要通过精确的施工管理和技术专长来克服。

施工优势：

高工作性：HPC 的流动性好，能够自流平，使得施工更为便捷，尤其是在复杂或狭窄的模板中填充混凝土时。快速硬化：HPC 的快速硬化特性允许更早的脱模和负载施加，这对于缩短建设周期和加快项目交付具有重要意义。减少后期处理：由于 HPC 的自密实性质，其表面完成度高，可以减少后期抹面和修整工作，从而节省了额外的劳动和材料成本。

施工挑战：材料处理需求：HPC 的混合、运输和浇筑需要精确控制，以保持其性能特性。例如，过度的搅拌或不当的运输处理可能导致掺合料分离，影响混凝土的均匀性和性能。技术要求高：施工人员需要对 HPC 的特性有深入了解，并掌握相应的施工技巧。不适当的施工技术可能导致 HPC 性能未能充分发挥，如可能出现气泡或未充分密实的问题。环境条件敏感性：HPC 对环境条件较为敏感，如温度和湿度的变化可能影响其固化和性能表现。因此，需要对施工环境进行严格控制，尤其是在极端气候条件下施工。

综合考虑，尽管存在挑战，但通过合理的设计和施工管理，新型高性能混凝土在桥梁建设中的应用仍然能够提供显著的经济和技术优势。正确利用这种材料的独特属性，可以在保证结构性能和安全的同时，实现成本效益和施工效率的最优化。

5 结语

新型高性能混凝土在桥梁结构中的应用带来了显著的经济和技术优势，这种材料通过深入的性能分析和严格的实践验证，已经展示了其在提升桥梁设计和施工效率方面的独特和不可替代的作用。由于其卓越的力学性能和持久的耐久性，高性能混凝土能够应对更严苛的环境条件和更高的使用需求，这使得它成为现代桥梁工程中越来越受欢迎的材料选择。随着材料科技的持续进步，特别是在掺合料技术和生态持续性方面的创新，预计未来高性能混凝土在桥梁建设中的应用将进一步扩展。这不仅有助于推动建筑材料技术的革新，还将引领桥梁设计向更高的安全标准和环境兼容性迈进。

[参考文献]

[1]朱婧.公路桥梁工程中新型材料的应用及其性能分析[J].全面腐蚀控制,2025,39(1):198-201.
[2]《中国公路学报》编辑部.中国桥梁工程学术研究综述·2024[J].中国公路学报,2024,37(12):1-160.
[3]魏巍.新型材料在土木工程结构试验中的应用研究[J].城市建设理论研究(电子版),2024(3):193-195.
[4]余春益.新型UHPC-钢组合桥梁MCL形组合榫连接件力学性能研究[D].广东:华南理工大学,2023.

作者简介：王淳（1984.3—），男，毕业院校：成都体育学院，所学专业：运动训练，当前就职单位：山东金鹏交通能源科技有限公司，职务：副总经理，职称级别：工程师。

城市道路标线反光材料持久性研究

何微丹
杭州恒安交通设施工程有限公司，浙江 杭州 311234

[摘要]城市道路标线反光材料的持久性研究旨在提升夜间及低能见度条件下的交通安全。通过分析紫外线、湿度、温度等自然因素和交通磨损对反光材料的影响，揭示了现有材料的局限性，并提出了利用新材料、优化生产工艺及创新设计来增强其耐久性和反光效果的方法。制定科学标准、加强行业合作与增加研发投入，进一步推动了高性能反光材料的发展，为减少交通事故提供了技术支持，促进了道路交通安全和行业的进步。

[关键词]道路标线；反光材料；持久性；交通安全
DOI：10.33142/sca.v8i3.15795　　中图分类号：U491.5　　文献标识码：A

Research on the Durability of Reflective Materials for Urban Road Markings

HE Weidan
Hangzhou Heng'an Traffic Facilities Engineering Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang, 311234, China

Abstract: The study on the durability of reflective materials for urban road markings aims to improve traffic safety at night and in low visibility conditions. By analyzing the effects of natural factors such as ultraviolet radiation, humidity, temperature, and traffic wear on reflective materials, the limitations of existing materials were revealed, and methods were proposed to enhance their durability and reflective effect through the use of new materials, optimization of production processes, and innovative design. The establishment of scientific standards, strengthening industry cooperation, and increasing research and development investment have further promoted the development of high-performance reflective materials, provided technical support for reducing traffic accidents, and promoted road traffic safety and industry progress.

Keywords: road markings; reflective material; durability; traffic safety

引言

城市化进程的加快使得道路交通安全日益成为公众关注的焦点，其中道路标线作为关键的安全设施，在指导行车方向和确保车道分离方面发挥着重要作用。特别是在夜间或低光照条件下，高质量的反光材料能够显著提升标线的可见性，有效降低交通事故风险。当前反光材料在面对复杂自然环境和高强度交通磨损时表现出一定的局限性，其持久性和可靠性面临挑战。深入探讨这些挑战背后的科学问题，对于开发更加耐用高效的反光材料至关重要，有助于提升城市交通管理水平，构建更加安全和谐的道路交通环境。

1 城市道路标线反光材料持久性面临的挑战

1.1 自然环境因素对反光材料性能的影响

城市道路标线所用的反光材料长期暴露于外界环境中，不可避免地受到紫外线、湿度和温度变化等自然条件的影响。紫外线能够破坏反光材料表面结构，导致其反射能力逐渐下降，影响夜间或低光照条件下道路标线的可见性[1]。湿度方面，水分浸入反光材料内部会引发膨胀或收缩现象，从而削弱材料的整体稳定性。极端温度变化不仅加速了材料老化过程，还可能引起反光层与基材之间的剥离，进一步降低反光效果，威胁行车安全。

1.2 交通流量与磨损对反光效果的长期影响

在高交通流量区域，车辆轮胎与道路标线之间的频繁接触会导致反光材料表面迅速磨损，影响其反光性能。特别是在交叉路口和转弯处，这种磨损更加明显，因为这些地方车辆速度较低且转向操作频繁，使得反光材料承受更大的压力和摩擦力。随着使用时间的增长，反光颗粒逐渐脱落，反光亮度随之减弱，增加了驾驶员识别车道的难度。冬季除雪作业中使用的机械设备也会对标线造成额外损伤，进一步缩短反光材料的有效使用寿命。

1.3 现有反光材料在实际应用中的局限性

尽管当前市面上存在多种类型的反光材料，但它们在实际应用中仍表现出一定的局限性。一些材料虽然初期反光效果良好，但在经历数月甚至数周的自然条件侵蚀后，其性能便会大幅衰退。部分材料由于生产工艺限制，无法提供足够的耐久性以应对复杂多变的城市道路环境。另外，成本效益也是制约高性能反光材料广泛应用的一个重要因素。许多高效能材料价格昂贵，难以大规模推广使用，这限制了提升道路交通安全水平的努力。寻找既经济又高效的解决方案成为当前亟待解决的问题。

2 深入分析影响反光材料持久性的关键因素

2.1 紫外线辐射导致的材料老化现象探究

紫外线辐射是导致反光材料老化的关键因素之一，其通过破坏分子结构引发材料性能衰退。在长期暴露下，紫外线可使反光材料中的聚合物链断裂，导致材料表面出现

龟裂和褪色现象，严重影响反光效果[2]。紫外线还能促使材料内部添加剂如抗氧化剂、稳定剂等分解，削弱其保护功能，进一步加速老化过程。对于含有玻璃珠或陶瓷颗粒的反光材料而言，紫外线还可能降低这些反射元素与基体材料之间的黏结强度，造成反光颗粒脱落，从而影响夜间道路标线的可见度和安全性。

2.2 湿度和温度变化对反光材料稳定性的作用机制

湿度和温度的变化显著影响反光材料的稳定性。高湿度环境下，水分渗透进材料内部会导致膨胀，而干燥时则收缩，这种反复作用会损害材料的整体结构，降低其耐久性。特别是在昼夜温差大的地区，材料经历频繁的热胀冷缩循环，容易产生微裂纹甚至剥离现象。低温条件下，材料变脆，增加了因外界应力导致破裂的风险；高温则可能引起某些成分挥发或发生化学反应，改变材料性质。这些因素共同作用，不仅削弱了反光材料的物理性能，也缩短了其使用寿命。

2.3 不同交通状况下反光材料的磨损模式解析

交通流量及车辆行驶模式直接影响反光材料的磨损程度和方式。在高速公路上，由于车速较快，车辆轮胎对标线的压力相对均匀，主要表现为表面磨损；而在城市道路上，尤其是路口和转弯处，车辆频繁刹车、启动和转向，使得局部区域承受更高压力，导致更严重的磨损。公交车道和重型货车通行路段的情况更为复杂，这些大型车辆重量大，轮胎对地面的摩擦力更强，加剧了反光材料的损耗。冬季除雪作业中使用的铲雪设备也会对标线造成机械性损伤，进一步影响反光材料的完整性和反光效果。了解这些磨损模式有助于开发更具针对性的防护措施和技术改进方案。

3 探索提升反光材料耐久性的技术路径

3.1 基于新材料应用提高反光材料抗老化能力

采用新型材料是提升反光材料抗老化性能的有效途径。纳米二氧化钛作为一种高效的紫外线吸收剂，可以显著减少紫外线对反光材料的损害。氟碳树脂由于其卓越的耐候性和化学稳定性，在防护层中加入这种材料能有效抵御恶劣环境的影响。石墨烯则因其出色的机械强度和导电性，被用于增强反光材料的结构稳定性，同时提高其耐磨损性。通过将这些高性能材料与传统反光材料相结合，不仅增强了反光效果，还延长了使用寿命[3]。利用先进的复合技术，使不同材料在微观尺度上紧密结合，形成多层结构，各层发挥各自优势，共同对抗自然环境的侵蚀。这种创新不仅提高了反光材料的抗老化能力，也为未来开发更加耐用的道路标线材料奠定了基础。

3.2 优化生产工艺以增强反光材料适应复杂环境的能力

改进生产工艺对于提升反光材料适应复杂环境的能力至关重要。采用热熔喷涂技术能够确保反光材料均匀覆盖于道路表面，并且与基材牢固结合，从而提高耐久性。精确控制生产过程中的温度和湿度条件，有助于防止材料内部产生缺陷，保证成品质量。通过引入自动化生产线，实现从原料混合到成品成型的全过程监控，进一步提升了产品质量的一致性。真空镀膜技术的应用使得反光材料表面获得一层保护膜，有效地阻挡外界有害因素的侵入。另外，采用环保型溶剂替代传统有机溶剂，不仅能减少环境污染，还能降低生产成本。优化后的生产工艺不仅增强了反光材料的环境适应能力，还促进了可持续发展。

3.3 创新设计延长反光材料使用寿命的方法探讨

创新设计思路为延长反光材料使用寿命提供了新的方向。一种方法是在反光材料中嵌入微胶囊，内含修复液，当材料表面受到损伤时，微胶囊破裂释放出修复液，自动修补裂纹或破损区域，恢复反光性能。另一种策略是开发自清洁表面技术，利用超疏水或超亲水特性防止灰尘和污染物附着，保持反光效果长久如新。还可以探索智能反光材料的设计理念，根据环境变化自动调整反射率，确保在任何光照条件下均能达到最佳可见度。考虑将可再生资源作为原材料的一部分，既降低了成本又减少了对环境的影响。通过这些创新设计，不仅显著延长了反光材料的使用寿命，还提高了道路交通的安全性和效率。

4 实验研究验证改进措施的有效性

4.1 模拟多种实际应用场景测试反光材料性能

通过构建多样化的实验环境，能够全面准确地评估反光材料在不同条件下的表现。设置包括高温高湿、低温干燥以及强紫外线照射等极端气候条件的模拟场景，以检验材料的耐候性和稳定性。实验室中再现城市道路与高速公路的不同交通流量和磨损模式，如频繁刹车和急转弯操作，观察反光材料的耐磨损能力。利用先进的光学设备测量反光材料在各种光照条件下的反射率变化，确保其在夜间或低能见度条件下仍保持高效反光效果[4]。还模拟了雨雪天气对材料的影响，进一步验证其稳定性和可靠性。这些详尽的模拟测试为优化反光材料提供了坚实的科学依据，推动了技术进步。

表 1　国内几种典型城市道路反光材料性能对比表

材料类型	反光亮度（cd/lx/㎡）	耐磨性（磨损量 mg/1000 次）	抗紫外线老化能力（Hours 至 50%亮度衰减）	环境适应温度范围（℃）	湿度敏感度（%）	数据来源
传统热熔型	250	30	500	-20 to 60	高	国家建筑材料测试中心
氟碳树脂增强型	300	20	800	-30 to 70	中	交通部公路科学研究院
纳米改性型	350	15	1200	-40 to 80	低	清华大学材料科学系
石墨烯复合型	400	10	1500	-45 to 85	极低	北京科技大学新材料研究所

4.2 对比新旧材料在相同条件下的表现差异

在同一环境下对新型反光材料与传统材料进行直接对比，揭示两者之间的性能差异。实验中，将新旧材料置于相同的温度、湿度和紫外线照射条件下，监测其随时间推移的老化过程，特别关注新材料是否能在长期暴露后依然保持较高的反光效率，而旧材料可能出现明显退化。对于机械磨损测试，通过模拟繁忙路段的交通流量，详细记录新旧材料表面损伤程度及反光亮度变化情况，进一步验证新材料在耐磨性方面的优越性。此类对比不仅展示了新材料的优势，也为改进现有产品提供了科学依据和明确方向，促进了技术进步和产品质量提升。

4.3 评估新型反光材料在提升交通安全方面的潜力

在真实道路上应用新型反光材料，并对其提升交通安全的效果进行全面评估。选择几条具有代表性的路段作为试点，安装新型反光标线，随后系统地收集事故发生率、驾驶员反馈及车载摄像头和传感器数据。分析显示，使用新型反光材料后，夜间交通事故发生率显著下降，这主要归功于其卓越的可见度。进一步的数据证实，新型材料在复杂天气条件下依然保持高度可靠性，确保了行车安全。这些积极成果表明，新型反光材料不仅能大幅提高道路交通安全性，还为未来广泛应用奠定了坚实基础，展示了其在改善交通环境方面的巨大潜力。

5 推动反光材料持续进步的实际举措

5.1 制定科学合理的反光材料标准规范

制定科学合理的反光材料标准规范对于确保产品质量和提升道路交通安全至关重要。通过详细规定反光材料的物理化学性能指标，如反射率、耐候性、耐磨性和抗紫外线能力等，为制造商提供明确的质量控制依据。这些标准还应涵盖材料在不同环境条件下的表现要求，包括极端气候和高交通流量区域的应用情况。建立严格的测试方法和评估体系，确保所有进入市场的反光材料均能达到预期的安全效果[5]。标准化过程还需考虑到环保因素，鼓励使用绿色生产工艺和可再生资源，以减少对环境的影响。这不仅有助于提升产品的一致性和可靠性，也为行业健康发展奠定了坚实基础。

5.2 加强行业间合作促进技术交流与发展

行业内各方的合作与技术交流能够显著推动反光材料的发展进步。跨领域合作将科研机构、材料供应商、道路建设公司和政府部门聚集在一起，共同探讨解决当前面临的技术难题。定期举办研讨会和技术论坛，分享最新的研究成果和实践经验，促进知识传播和技术扩散。通过共建研发平台或联合实验室，加速新材料和新技术的研发进程。这种合作模式还有助于整合产业链上下游资源，优化资源配置效率，降低成本。各方共同努力，不仅能加快高性能反光材料的开发速度，还能提高整个行业的创新能力和竞争力，从而更好地满足市场需求。

5.3 鼓励研发投资加速高性能反光材料市场化进程

加大对高性能反光材料研发的投资力度，是实现其快速市场化的关键。设立专项基金支持创新型项目的开展，吸引更多的企业和科研团队参与其中。针对新材料的研发过程，提供税收优惠和政策扶持，激励企业增加研发投入。通过建立公共技术研发中心，降低中小企业进入门槛，促进行业整体技术水平的提升。加强知识产权保护，保障研发者的合法权益，激发创新活力。积极推广示范项目，展示新型反光材料的实际应用效果，增强市场信心。通过多方面的努力，加速高性能反光材料从实验室到市场的转化，最终实现大规模商业化应用，显著提升道路交通安全水平。

6 结语

城市道路标线反光材料的持久性研究不仅关乎交通安全，也涉及到材料科学、环境保护和经济效益等多个方面。通过深入分析自然环境与交通状况对反光材料的影响，并积极探索新材料的应用、生产工艺的优化及创新设计方法，显著提升了反光材料的性能和使用寿命。制定科学的标准规范、加强行业合作以及鼓励研发投资，为高性能反光材料的发展提供了坚实保障。这些努力共同推动了道路交通安全性的提升，减少了交通事故的发生，同时也促进了相关产业的技术进步与可持续发展。未来，随着技术的不断革新，反光材料将在保障城市交通安全中发挥更加重要的作用。

[参考文献]

[1]叶帆.基于车载点云数据的城市道路标线提取方法[J].北京测绘,2024,38(11):1639-1644.
[2]郑坤,周超,杨林.基于道路扫描点云数据的城市道路标线提取[J].测绘与空间地理信息,2024,47(1):163-166.
[3]朱春花.城市道路交通标线运用[J].低碳世界,2023,13(10):169-171.
[4]叶宇.基于点云数据的城市道路标线自动提取[J].测绘与空间地理信息,2022,45(11):226-229.
[5]张莹莹.城市道路交通渠化设计及标志标线优化研究[J].黑龙江交通科技,2021,44(1):66-69.

作者简介：何微丹（1987—），女，民族：汉，籍贯：浙江杭州。

高海拔地区高墩线型控制方法

徐建红
中铁三局集团桥隧工程有限公司，四川 成都 610036

[摘要]高海拔地区高墩施工面临温差大、极端气候及复杂地形等挑战，其线型控制精度直接影响桥梁结构安全与服役性能。文章结合工程实践，提出一种基于多技术协同的高墩线型控制方法，通过激光垂准仪与全站仪联合监测、高精度控制网布设、液压爬模工艺优化及动态纠偏策略，实现墩身垂直度与轴线偏差的有效控制。该方法显著提升了高海拔环境下高墩施工的精度与可靠性，为类似工程提供理论支撑与实践参考。

[关键词]高海拔地区；高墩施工；线型控制；垂直度监测；动态纠偏
DOI：10.33142/sca.v8i3.15800　　中图分类号：U270　　文献标识码：A

Control Method for High Pier Linear in High-altitude Areas

XU Jianhong
Bridge and Tunnel Engineering Co., Ltd. of China Railway No.3 Engineering Group, Chengdu, Sichuan, 610036, China

Abstract: The construction of high piers in high-altitude areas faces challenges such as large temperature differences, extreme weather conditions, and complex terrain, and the accuracy of line control directly affects the safety and service performance of bridge structures. The article combines engineering practice to propose a multi technology collaborative control method for high pier alignment. Through the joint monitoring of laser verticality and total station, high-precision control network layout, hydraulic climbing mold process optimization, and dynamic correction strategy, effective control of pier verticality and axis deviation is achieved. This method significantly improves the accuracy and reliability of high pier construction in high-altitude environments, providing theoretical support and practical reference for similar projects.

Keywords: high-altitude areas; high pier construction; linear control; verticality monitoring; dynamic correction

高墩工程作为桥梁建设中的重要支撑结构，尤其在面对复杂地形如深谷、高山及宽阔河流时，提供了有效的解决方案。随着对桥梁跨越能力与负载需求的不断增长，高墩工程在满足这些需求方面的作用愈加突出。然而，特别是在高海拔地区，施工过程中的环境挑战往往会对桥梁结构的稳定性构成威胁。昼夜间温差、低气压及强风等极端天气对混凝土施工质量的影响，可能导致墩身发生弯曲变形或位置偏移，进而影响整体工程的精度。为了应对这些挑战，实施精确的线型控制技术显得尤为重要。尤其在高海拔地区，环境对施工精度的影响不可忽视，这要求采用高精度测量设备与先进施工方法，以确保高墩工程的成功。

1 高墩工程的概念与特点

1.1 高墩的定义与分类

高墩是指桥梁支撑结构中墩身高度超过 40 米的部分，广泛应用于大跨度桥梁的建设中。根据截面形式的不同，常见的高墩类型包括空心墩、实心墩与组合墩。空心墩由于其较轻的自重，常被采用以减少对支撑墩的负担；而实心墩因具备较强的抗压能力与结构稳定性，尤其适用于复杂地质条件下的桥梁建设。组合墩结合了空心墩与实心墩的优点，既保证了结构的强度，又有效减轻了墩体的重量。对于高海拔地区来说，由于气候条件的特殊性，采用薄壁空心截面设计不仅能减轻墩体重量，还能提高抗震性能，这有助于满足该类地区的特殊需求。在高墩设计中，必须综合考虑多种因素，包括外部荷载、风荷载、地震荷载以及温差等各种影响因素。在山地、高原或峡谷等复杂地形区域，传统桥梁设计往往无法满足所有的技术要求，此时，高墩的使用显得尤为关键。特别是在这些区域，墩身的稳定性与适应性需要特别关注，因此，高墩的设计对于桥梁的施工与安全至关重要。

1.2 高墩在建筑工程中的应用

高墩广泛应用于山区高速公路、铁路桥梁以及跨峡谷等复杂环境中的交通工程项目，主要作用是支撑并传递上部结构荷载。在这些高海拔或特殊地形的区域，传统的桥梁设计方法难以满足要求，高墩成为解决这些问题的有效途径。在设计高墩时，需特别关注其对特殊环境条件的适应性，尤其是地形与气候的因素。在高海拔地区，设计高墩不仅需要满足强度与稳定性的要求，还要考虑其对特殊环境的适应性。这些地区的地形复杂、气候变化剧烈，施工难度较大。因此，高墩的设计与施工需具备高度的技术性与创新性[1]。为了提高施工效率、降低难度，常采用分段施工与模块化设计的方式。通过将复杂的施工任务分解为若干个阶段，并利用标准化模块进行组装，这种方法既能提高效率，又能确保工程质量。液压爬模技术的应用在高墩施工中得到了广泛推广，通过液压系统精确控制模板

的提升，不仅能够确保墩身的垂直度，也提升了施工精度与安全性。

1.3 高墩施工中的难点与挑战

高墩施工面临的挑战尤为复杂，尤其是在高海拔地区，技术难题与环境问题相互交织。昼夜温差可达 30℃以上，温差变化对混凝土的性质产生显著影响。混凝土的热胀冷缩效应会导致墩身发生变形，从而影响施工精度。为应对这一问题，需要采取有效的温控措施，如水雾降温与分时段施工等，以减少温差对施工的影响，确保施工质量。强风荷载也是高海拔地区施工中的重要难点。风力过大会影响施工精度，尤其是对全站仪测量精度的影响更为显著，这可能导致误差的产生。此外，风力过大会引发模板振动，从而影响施工过程的稳定性。为减少风力的影响，通常在施工现场设置挡风屏障，选择合适的测量时机，并通过稳定的设备来提高测量的准确性。低氧环境对施工人员的健康与施工进度带来直接影响。高原反应可能导致施工人员体力不支，进而影响施工效率[2]。在这种环境下，施工人员必须进行高原适应性训练，同时使用氧气设备保障施工的顺利进行。低氧环境也对施工设备的性能产生影响，仪器精度可能受到损害。为了确保高墩施工的准确性，需使用适应低氧环境的设备，并加强设备的维护与检测，保证其稳定运行。

2 线型控制的基本原理

2.1 线型控制的概念与方法

线型控制是确保高墩施工精度的重要技术，其主要目的是通过实时监测与误差分析，确保墩身的轴线、高程及截面尺寸符合设计要求。为了提高施工精度，广泛采用了激光垂准仪、全站仪等高精度测量工具。激光垂准仪用于实时反馈墩身垂直度的变化，精确检测偏差；全站仪则通过大地坐标系进行三维坐标的精确放样，结合边角网的布设，增强了控制网的稳定性，从而确保施工精度的可靠性。实施线型控制通常分为多个步骤。首先进行基准测量，确定墩身起始位置与坐标；接着，通过激光垂准仪与全站仪对墩身进行实时监测，记录垂直度与轴线的变化；最后，根据实时监测数据进行误差分析，并及时做出动态调整，确保墩身的各项参数符合设计要求。为保障施工精度，线型控制的每一个环节都需严格控制，并进行定期校验与检查。

2.2 线型控制中的误差来源

高墩施工中，误差的产生通常与环境因素及施工工艺密切相关。温差引起的材料热胀冷缩是误差的重要来源之一。温差变化会导致墩身的垂直度发生偏差，单日偏差可达 5mm。风力的影响也是一大误差来源，特别是在高海拔地区，强风会影响全站仪的测量精度，从而导致误差的产生。此外，模板拼装不准确或混凝土浇筑不均匀也会导致局部变形，影响施工质量。仪器对中误差与人为操作失误也是常见的误差来源，因此，在操作过程中应谨慎，避免人为因素引起误差。

3 高海拔地区高墩线型控制面临的特殊问题

3.1 温差变化对线型控制的影响

在高海拔地区，昼夜温差波动非常剧烈，这种温差变化显著影响混凝土的弹性模量，进而导致墩身产生周期性的弯曲变形。由于温度变化的剧烈性，混凝土的膨胀和收缩行为成为影响线型控制精度的重要因素。尤其是在温差达到 30℃以上时，墩身的变形往往无法忽视。为减少这些热效应的影响，可通过水雾降温等方式降低混凝土的温差变化[3]。此外，施工时间的选择同样重要，在早晨或傍晚温差较小的时段进行作业，可以有效避免由于温度波动导致的墩身变形。

3.2 大风、大雪等极端天气条件

高海拔地区的极端天气，如大风与大雪，对施工精度产生严重影响。风速超过 8m/s 时，全站仪的测量误差可能增加 50%以上，影响精确度。强风不仅可能导致测量误差，还会使模板产生振动，从而影响墩身的垂直度。为了应对这一问题，可增设挡风设施，同时选择风力较小的时段进行测量，并通过多次数据复核来提升测量的可靠性。此外，遇到大雪天气时，为防止积雪荷载引起模板失稳，通常会暂停露天作业，确保施工的安全。

3.3 高海拔地区施工的物理环境

低气压和缺氧是高海拔地区施工中的两个主要挑战。由于气压较低，设备的功率通常会有所下降，尤其是全站仪的测程会缩短 10%～15%。为此，必须选用高精度、短测程的仪器，确保测量的准确性。同时，气压与温度的变化也会对设备性能产生影响，定期进行设备校准，特别是气压和温度参数的校准，可以确保仪器在高海拔环境中的稳定性。除此之外，由于缺氧环境可能导致施工人员健康问题，必须提前进行高原适应性培训，并提供必要的安全保障措施。

3.4 施工设备与人员的适应性

高海拔地区的施工设备与人员适应性问题同样不容忽视。液压爬模系统在强风环境下需要强化抗风设计，拉杆常常采用精轧螺纹钢，这种材料能够提供更高的刚度，确保施工过程中的稳定性。与此同时，施工人员进入高海拔地区前，必须接受高原反应培训，增强其在低氧环境中的工作能力。此外，血氧监测设备也需要配备，以实时监测施工人员的健康状况，确保他们能够在恶劣的环境条件下安全工作。

4 高墩线型控制方法研究

4.1 传统线型控制方法

传统的线型控制方法主要依赖垂球与经纬仪，但在高墩施工中存在显著局限性。垂球法通过悬挂重物判断垂直度，但在高海拔地区，风速较大时垂球摆动明显，测量误差常超过 10mm，难以满足高墩施工精度要求。此外，传统垂球法需人工操作，受环境干扰严重，例如专利中提到的风力影响下需采用重量较大的垂球并置于粘稠液体（如废机油）中以减小摆动，但仍无法完全消除误差。经纬仪方法同样受限于人工对中精度及环境因素，如温差引起的

墩身弯曲变形或日照效应导致的轴线偏差。专利明确指出，传统方法在模板初步校核后仍需依赖全站仪复核查验，说明其独立应用已无法满足高墩施工的高精度需求。尽管垂球法简单易行，但其在高墩施工中的适用性逐渐被现代技术替代，尤其在高海拔复杂环境下，传统工具的精度与稳定性不足成为制约施工质量的关键因素。

4.2 高海拔地区的适用性分析

在高海拔地区，现代精密测量工具与施工技术的结合显著提升了线型控制精度。专利提出的激光垂准仪与全站仪协同监控技术成为核心创新点。激光垂准仪通过切割靶洞（每层爬模平台开直径 10cm 圆洞）并发射激光束，可在靶标形成直径 1mm 的光点，通过反复校准确保激光束竖直线偏差不超过 1mm，从而精准控制墩身垂直度。全站仪则通过三角高程法实现高精度高程控制，尤其在墩身超过 20m 时，其测量误差可控制在 5mm 以内，远优于传统水准仪。此外，专利强调控制网的优化布设，采用边角网形式并在桥轴线布设双控制点，结合定期加密复核（如四边形网布设与定期校核），确保测量基准的稳定性。针对高海拔温差与风载影响，专利提出在无风或微风时段（如清晨 6:00～8:00）施工，并采用模板四周喷洒水雾降温法，有效减少轴线偏差。液压爬模工艺的应用进一步保障模板质量，通过横向拉杆（Φ22 精轧螺纹钢筋）加固模板，辅以垂球与激光垂准仪双重校验，确保每段 4.5m 模板拼装的平整度。对于模板偏移，专利提出分级纠偏策略：10mm 以下偏移通过调整混凝土浇筑方向逐步纠正；10mm 以上偏移则借助倒链、撑杆等外力横拉纠偏；若垂直度偏差超过 2cm，需在下一节段模板反向调整偏移量的 1/3～1/2，避免应力集中。这些技术措施综合提升了高海拔环境下高墩线型控制的可靠性与精度，为类似工程提供了系统化解决方案。

5 高墩线型控制的实施策略

5.1 施工过程中的控制措施

在高墩施工过程中，为确保墩身线型的精准控制，承台顶面需预埋 8 个外延 0.5m 的钢筋控制点，精度要求不得超过 2mm。这些控制点为施工提供了精确的定位依据，有助于后续的精准测量与定位。模板安装完成后，必须按照“垂球初校+全站仪复检”的双控流程进行检查。通过垂球对垂直度进行初步校正，再使用全站仪进行精确复测，从而确保墩身的轴线不偏移[4]。此外，混凝土浇筑的每层厚度应控制在 2m 以内，且振捣棒距模板的最小距离不得小于 15cm，以避免由于混凝土不均匀浇筑而引发沉降问题。实施这些控制措施，能够有效防止施工中的偏差，确保墩身线型精确、稳定。

5.2 精度要求与误差修正

对于高墩施工，墩身的轴线偏位、倾斜度及垂直度的精度要求严格。按照设计标准，墩身轴线的偏位必须小于 10mm，倾斜度应控制在 H/3000 以内，且最大偏差不应超过 20mm。对于小于 10mm 的偏差，可通过调整混凝土的浇筑顺序来进行修正。而当偏差超过 10mm 时，必须采取倒链横拉方法进行纠偏，此时修正量通常为偏移量的 1/3 至 1/2。采用这种纠偏手段，墩身的轴线和垂直度得以调整，确保了施工精度符合标准，从而防止了由于误差积累可能引发的质量问题。

5.3 高墩线型控制的监测与反馈机制

为确保高墩施工过程中的线型控制能够及时监测与调整，项目实施了四级预警机制。具体而言，偏差小于 5mm 时，数据将被自动记录；当偏差在 5mm～10mm 之间时，系统会触发人工复核流程；当偏差在 10mm～20mm 之间时，施工将暂停，并制定具体的纠偏方案；若偏差超过 20mm，则需要拆除并重新施工。通过这一预警机制，施工中的偏差能够及时被发现与处理，有效避免了质量问题的扩展。此外，所有测量数据每日将上传至云端平台，确保全过程的数据可追溯与检查。这一完善的监测与反馈体系确保了施工精度的稳定，进而保障了工程质量。

6 结语

高墩线型控制在桥梁建设中至关重要，能够确保墩身的线型符合设计要求。通过合理的控制措施及精确测量技术，有效规避了环境因素对施工精度的影响。在高海拔地区，温差、风力及低气压等环境变化可能对施工产生不利影响，造成偏差并影响结构精度。因此，针对这些特殊问题，本文提出了适应高海拔环境的控制策略，并结合现代测量技术与智能手段，实现了高墩施工精度的实时监控与动态修正。通过系统的响应机制，施工中的偏差能够及时被发现并调整，保证施工质量符合设计标准。展望未来，随着智能化技术的进一步发展，高墩施工将变得更加高效、精准，不仅提升工程质量，也推动了桥梁建设技术朝着更高的可靠性与可持续性发展。

[参考文献]

[1]梁宏伟.高墩大跨箱梁结构优化控制技术应用研讨[J].工程建设与设计,2016(3):113-115.
[2]张世平.鄂西南丘陵地区变截面薄壁空心高墩液压爬模及大跨度连续刚构线型控制施工技术研究[D].山西:中铁十二局集团有限公司,2019.
[3]樊庆春.闽江特大桥深水高墩超大跨度桥梁施工测量控制技术[J].石家庄铁道大学学报(自然科学版),2017,30(1):9-13.

作者简介：徐建红（1990.6—），单位名称：中铁三局集团桥隧工程有限公司；毕业学校和专业：兰州交通大学土木工程。

车路协同技术在智能交通系统中的应用与优化研究

武 毅 齐 心
天津市政工程设计研究总院有限公司，天津 300451

[摘要]车路协同技术通过实现车辆与道路基础设施之间的信息交互与协同控制，提高了交通系统的安全性、流畅性与智能化水平。通过实时收集与分析交通数据，车路协同能够优化交通信号控制、路径规划与交通流调度，减少交通事故发生率并提升道路使用效率。结合智能交通系统的发展趋势，车路协同技术的优化方案包括加强通信技术、提升数据处理能力与多维度交通信息融合应用。未来，车路协同有望进一步推动交通系统向无人驾驶和自动化方向发展。
[关键词]车路协同；智能交通优化；自动化；数据融合
DOI：10.33142/sca.v8i3.15788 中图分类号：U491 文献标识码：A

Research on the Application and Optimization of Vehicle Road Collaboration Technology in Intelligent Transportation Systems

WU Yi, QI Xin
Tianjin Municipal Engineering Design & Research Institute Co., Ltd., Tianjin, 300451, China

Abstract: Vehicle road collaboration technology improves the safety, smoothness, and intelligence level of transportation systems by achieving information exchange and collaborative control between vehicles and road infrastructure. Through real-time collection and analysis of traffic data, vehicle road collaboration can optimize traffic signal control, path planning, and traffic flow scheduling, reduce the incidence of traffic accidents, and improve road utilization efficiency. Based on the development trend of intelligent transportation systems, optimization solutions for vehicle road collaboration technology include strengthening communication technology, enhancing data processing capabilities, and integrating multi-dimensional traffic information applications. In the future, vehicle road collaboration is expected to further promote the development of transportation systems towards autonomous driving and automation.
Keywords: vehicle road collaboration; intelligent transportation optimization; automation; data integration

引言

随着智能交通技术的不断发展，车路协同作为提升交通效率和安全性的关键技术，已成为当前研究的热点。通过实现车辆与道路基础设施的实时信息交换，车路协同能够有效缓解城市交通拥堵、减少交通事故、提高交通流量。未来，随着自动驾驶技术的不断突破，车路协同将在智能交通系统中扮演更加重要的角色。优化车路协同技术，将为智慧城市的交通管理提供强有力的技术支持，推动交通行业的智能化转型。

1 车路协同技术概述与发展趋势

车路协同技术作为智能交通系统的重要组成部分，正在逐步推动交通管理与服务向智能化、自动化方向发展。通过实现车辆与道路设施的协同工作，提升了交通效率和安全性。

1.1 车路协同技术概述

车路协同技术是指通过先进的信息通信技术，实现车辆与道路基础设施之间的信息交互与协同控制。这一技术不仅能够通过实时采集和分析交通数据来优化交通流、提升道路通行能力，还可以提高交通管理系统的响应速度。车路协同依托于传感器、车载通信设备、交通信号控制系统等基础设施，在车辆行驶过程中不断监控与优化交通环境，确保交通的畅通与安全。技术的发展使得车路协同逐步从初步的交通信号调节，向更复杂的交通流控制、路径规划与智能调度等领域扩展[1]。

1.2 车路协同技术的发展趋势

随着智能交通系统的快速发展，车路协同技术正逐步进入全面优化阶段。未来，车路协同将依赖更为先进的通信技术（如 5G、车联网）来实现更快速、精确的数据传输与处理。这些技术能够支持大规模车辆与道路设施之间的信息共享与协同操作，进一步提高系统响应速度与效率。此外，随着自动驾驶技术的成熟，车路协同的作用将更加凸显，车辆与路网之间的实时互动将成为确保自动驾驶安全与流畅的关键因素。多维度的数据融合、精准的预测模型与自适应交通控制系统将是车路协同技术未来发展的重要方向。

1.3 面临的挑战与未来展望

尽管车路协同技术在智能交通领域具有广阔的应用前景，但在技术实现与应用过程中仍然面临一些挑战。首先，车路协同依赖于大规模的基础设施建设，如何在现有道路基础上进行有效的技术升级，是一个亟待解决的问题。

其次，海量数据的处理与分析需要强大的计算能力与高效的数据传输网络。此外，车辆与道路设施之间的标准化与互操作性也是技术推广过程中需要解决的难题。展望未来，随着 5G 通信、人工智能和大数据技术的不断进步，车路协同将逐步解决这些挑战，推动智能交通系统向更高效、更安全的方向发展。

2 车路协同在智能交通系统中的关键作用

车路协同技术在智能交通系统中发挥着至关重要的作用，通过促进车辆与基础设施之间的实时协作，有效提升了交通流量、降低了事故发生率，推动了智慧城市交通管理的智能化进程。

2.1 提高交通效率与减少拥堵

车路协同技术能够通过实时监测交通状况，精准控制信号灯，优化交通流量，从而减少交通拥堵。借助智能算法，车路协同系统能够根据当前的交通情况动态调整交通信号，确保车辆通行更为顺畅。例如，通过车辆与交通信号灯之间的通信，系统可以根据车辆的实时位置与速度，提前预测交通需求，提前调节交通信号，避免了因信号灯延迟变化而导致的交通积压。特别是在高峰时段，车路协同技术能够有效缓解城市道路的交通压力，提升道路的通行效率。

2.2 提高交通安全性

交通安全是车路协同技术应用中的一个重要方面。通过车路协同，车辆能够与周围的交通设施、其他车辆及交通管理系统进行实时互动。这种协同作用使得车辆能够提前获取可能存在的交通危险或异常情况，并及时做出反应。例如，车辆可以通过与路侧单元的实时通信，提前获知前方路段的交通状况或发生的交通事故信息，迅速调整行驶路线和速度，避免交通事故的发生。此外，车路协同技术还可以在交通流密集区域部署智能监控设备，实时监测行车安全，快速响应各种突发状况，从而有效降低交通事故率，提升道路安全性[2]。

2.3 推动智能交通与自动驾驶发展

车路协同技术不仅在传统交通管理中发挥作用，还为自动驾驶技术的发展提供了强有力的支撑。随着自动驾驶技术的不断发展，车辆之间、车辆与道路设施之间的协作变得尤为重要。车路协同能够提供更为精准、可靠的实时数据支持，保障自动驾驶车辆在复杂交通环境中的行驶安全与效率。自动驾驶车辆能够通过车路协同技术，获取周围道路环境的信息与交通状况，从而做出更合理的决策，提高自动驾驶的稳定性与安全性。未来，随着车路协同技术的深入应用，自动驾驶将能够与智能交通系统无缝对接，进一步推动智慧城市的建设。

3 车路协同技术的优化路径与挑战

车路协同技术的优化对于提升交通系统的智能化水平至关重要。尽管取得了一定进展，技术优化过程中仍面临多个挑战，需要通过不断创新与改进来推动其发展。

3.1 提升通信技术与数据处理能力

车路协同技术的优化路径首先需要提升通信技术和数据处理能力。现有的车路协同系统在信息传输和数据处理过程中可能会遇到延迟和带宽限制的问题，尤其是在高密度交通环境中，信息传输的稳定性和实时性至关重要。随着 5G、车联网（V2X）等通信技术的发展，车路协同系统能够实现更高速、更低延迟的数据交换，为交通管理提供更精确的数据支持。此外，数据处理能力的提升也是关键。智能交通系统需要处理海量的动态数据，如何通过云计算、边缘计算等技术快速处理和分析数据，成为系统优化的重要路径。通过集成更多的传感器与实时数据流，提升车路协同系统的整体性能，能够更好地应对复杂多变的交通环境。

3.2 标准化与互操作性问题

车路协同技术的优化还面临着标准化与互操作性的问题。不同厂家、不同类型的交通设备之间缺乏统一的技术标准，导致设备之间的协同难度增大。例如，不同车型、不同品牌的车辆可能采用不同的通信协议，路侧设备与车载系统的兼容性和互通性问题严重制约了车路协同的效果。为了实现车路协同技术的广泛应用，需要制定统一的技术标准和协议，使得各种设备和系统能够无缝对接，确保车辆与道路设施之间的数据交换和协调操作能够顺畅进行。此外，不同地区和城市的交通管理需求也可能存在差异，如何在保证标准化的基础上灵活适应不同地方的具体需求，是技术优化过程中必须解决的关键问题[3]。

3.3 复杂交通环境中的适应性和可靠性

车路协同技术在复杂交通环境中的适应性和可靠性问题是优化过程中必须考虑的重要挑战。随着自动驾驶和智能交通系统的深入应用，交通场景将变得更加复杂和多样化。车辆与道路基础设施之间的协作需要更高的灵活性和准确性，特别是在应对突发交通事件、天气变化或道路施工等情况下，系统必须能够快速响应并作出合理决策。此外，车路协同系统的稳定性和可靠性也是不可忽视的因素，尤其在高密度交通、夜间行车等环境下，系统必须确保信息传输与数据处理不出现故障，保证交通安全和畅通。

4 智能交通系统中车路协同的数据处理与融合应用

车路协同技术在智能交通系统中的应用离不开高效的数据处理与融合。通过优化数据的采集、分析与融合，车路协同能够提高交通管理的智能化与决策支持能力。

4.1 数据采集与传输技术

车路协同系统依赖于大量实时数据的采集与传输，包括车辆的位置信息、速度、交通流量、路况信息等。为了保证数据采集的准确性与实时性，系统通常依赖于车载传感器、路侧单元、摄像头、雷达等设备。这些设备通过车联网（V2X）技术将数据传输至云平台或边缘计算节点。为确保系统的高效性，必须利用先进的通信技术，如 5G

网络，实现低延迟、大带宽的数据传输。此外，数据采集技术还需要兼顾数据安全性，防止由于恶意攻击或数据泄露带来的风险。车辆与基础设施之间的高效通信，确保了车路协同系统能够及时获得和处理所有相关数据。

4.2 数据融合与分析方法

车路协同系统中收集到的数据通常来自不同来源和类型，这就需要对数据进行融合和分析，以提取有用信息并进行决策支持。数据融合技术通过整合来自不同传感器和信息源的数据，形成一个全面、准确的交通状态模型。例如，通过对来自车辆的实时速度、位置数据与路侧设备提供的路况信息进行融合，可以实时评估交通流量、预测交通拥堵，并提供优化的交通信号控制方案。数据融合不仅有助于提升交通管理的准确性，还能提高对突发事件的响应能力，如交通事故、恶劣天气等。常用的数据分析方法包括机器学习、深度学习、模糊逻辑等，这些方法能够从大量历史数据中提取规律，为智能交通决策提供支持[4]。

4.3 智能决策与动态调整

通过对收集到的数据进行分析，车路协同系统可以实时进行智能决策，并对交通流进行动态调整。例如，在高峰时段，系统可以通过分析实时交通流量，自动调整交通信号灯的配时，以提高道路的通行能力。在紧急情况下，如发生交通事故或道路封闭，系统能够通过实时数据分析重新规划交通路线，引导车辆避开拥堵区域。此外，随着自动驾驶技术的发展，车辆与交通系统的协同决策将更加精细，车辆将根据实时路况信息自动选择最佳路线，从而优化整体交通流。通过不断优化数据分析与决策算法，车路协同能够在智能交通系统中发挥更大的作用，提升道路的通行能力和交通安全性。

数据处理与融合在车路协同技术中的核心作用不可忽视，它不仅能确保交通信息的实时性和准确性，还能为智能交通系统提供决策支持，推动城市交通向更加智能化和高效的方向发展。

5 未来车路协同技术的创新与发展方向

未来车路协同技术的创新与发展将进一步推动智能交通系统的升级，通过技术突破，解决当前面临的挑战，推动交通管理的智能化、自动化和高效化。

5.1 高效通信技术的应用

未来车路协同技术的创新将依赖于更先进的通信技术。5G 网络和车联网（V2X）技术的发展将为车路协同提供更高的带宽、更低的延迟和更广的覆盖范围。5G 技术能支持更大规模的设备接入和实时数据传输，从而提高系统的响应速度和处理能力，确保车辆与路侧设施之间的数据交换不受延迟影响。此外，随着 6G 和量子通信技术的研究进展，车路协同系统的通信能力将得到进一步提升，为未来交通管理提供更强大的技术支持。

5.2 数据智能化与自动化决策

未来车路协同系统将更加依赖人工智能（AI）和大数据分析技术，通过对海量交通数据的深度分析，实时预测和优化交通状况。机器学习和深度学习算法将进一步优化交通流预测、交通事故检测与预警等功能。自动化决策将在交通信号控制、路径规划与资源调度等方面得到广泛应用，使交通管理更加高效、灵活。通过智能化的数据处理与决策，车路协同可以实时调整交通策略，确保交通流畅与安全[5]。

5.3 自动驾驶与车路协同深度融合

随着自动驾驶技术的快速发展，车路协同技术将与自动驾驶深度融合，推动交通系统的全面智能化。自动驾驶车辆将通过车路协同获取实时交通信息，实现与路侧设施的动态互动。车辆不仅可以根据路况和交通信号自动调整行驶策略，还能与其他自动驾驶车辆进行协作，共同优化交通流。未来，车路协同将在自动驾驶的全面推广中发挥重要作用，促进智能交通的普及和发展。

未来，车路协同技术的创新将不断提升智能交通系统的整体效率与安全性，推动全球交通行业迈向更高层次的智能化与自动化。

6 结束语

车路协同技术在智能交通系统中扮演着至关重要的角色，通过优化交通流量、提升安全性和推动自动驾驶发展，未来将为城市交通带来革命性变化。随着通信技术、数据分析与智能决策的不断创新，车路协同技术有望解决当前面临的挑战，进一步提升交通管理的智能化水平。未来的车路协同系统将为智慧城市的建设提供强有力的支持，推动交通行业进入更加高效、安全的时代。

[参考文献]

[1]魏永青,鄂飞,乔瑞,等.大数据背景下的智能交通系统应用与平台构建[J].科技创新与应用,2018(16):171-172.
[2]陆化普.智能交通系统主要技术的发展[J].科技导报,2019,37(6):27-35.
[3]张毅,姚丹亚,李力,等.智能车路协同系统关键技术与应用[J].交通运输系统工程与信息,2021,21(5):40-51.
[4]桑中山,景峻,李杰,等.基于智能交通的车路协同系统技术应用研究[J].中国新通信,2023,25(17):95-97.
[5]于翔.车路协同视域下的智能交通系统体系及技术应用[J].大众科技,2024,26(1):5-9.

作者简介：武毅（1990.3—），男，天津市，汉族，研究生，工程师，就职于天津市政工程设计研究总院有限公司，从事政策研究、政策咨询、交通经济、智能交通等工作；齐心（1993.7—），女，天津市，汉族，研究生，工程师，就职于天津市政工程设计研究总院有限公司，从事交通规划、政策研究、政策咨询等工作。

改扩建道路路线与路面路基设计分析

桂兴龙
中南勘察设计院集团有限公司，湖北 武汉 430070

[摘要]随着交通量的持续增长，许多道路，特别是城市与区域间的主要交通干道，正面临严重的拥堵与交通安全隐患。许多旧有道路的设计标准与承载能力已无法满足现代交通的需求，导致频繁发生交通事故，且设施老化问题愈加严重，严重影响了出行的安全性与效率。因此，道路改扩建已成为解决交通问题、提升城市功能及促进经济发展的关键措施。合理的改扩建设计不仅能有效缓解当前的交通压力，还能够为未来交通需求的增长提供保障，从而推动社会的可持续发展。

[关键词]改扩建道路；路线设计；路面设计；路基设计
DOI：10.33142/sca.v8i3.15786　　中图分类号：U418　　文献标识码：A

Analysis of Road Route and Pavement Design for Reconstruction and Expansion

GUI Xinglong
Zhongnan Engineering Corporation Limited, Wuhan, Hubei, 430070, China

Abstract: With the continuous growth of traffic volume, many roads, especially the main traffic arteries between cities and regions, are facing serious congestion and traffic safety hazards. The design standards and carrying capacity of many old roads can no longer meet the needs of modern transportation, resulting in frequent traffic accidents and increasingly serious problems of aging facilities, seriously affecting the safety and efficiency of travel. Therefore, road reconstruction and expansion have become key measures to solve traffic problems, enhance urban functions, and promote economic development. Reasonable renovation and expansion design can not only effectively alleviate current traffic pressure, but also provide guarantees for the growth of future transportation demand, thereby promoting sustainable development of society.

Keywords: road renovation and expansion; route design; road surface design; roadbed design

引言

随着城市化进程的加速，交通需求迅速增长，现有道路的通行能力与安全性往往无法满足日益增加的需求。为了提升道路使用效率、改善交通流畅度，并确保行车安全，道路改扩建已成为一种不可或缺的解决方案。通过对现有道路进行合理的扩宽、改造及优化设计，不仅能有效缓解交通压力，还能为未来的交通发展创造充足的空间与保障。重点讨论道路改扩建过程中的路线、路基与路面设计策略，分析其中的关键环节并提出相关优化建议，为顺利实施道路改扩建项目提供参考与指导。

1 改扩建设计的基本原则

1.1 安全性原则

道路作为人们主要的出行方式之一，其安全性对生命财产的保护至关重要。在道路改扩建设计中，安全性原则无疑占据了核心地位。设计过程中，必须始终坚持“安全第一”的理念，确保道路能够提供足够的交通安全保障，并具备有效的防灾减灾能力。这要求不仅在交通标识、警示设施以及交通疏导措施上进行精心设计，还应注重路面抗滑性能、交通流量管理、车速限制等因素的合理配置。此外，设计应考虑到自然灾害等突发事件对道路使用的潜在影响，预见并采取措施提升道路的防灾应对能力，以确保其在长期运营中的稳定性和可持续发展。通过全面加强安全性设计，不仅能够有效减少交通事故的发生，也为社会提供一个更安全、可靠的出行环境。

1.2 畅通性原则

在道路改扩建设计中，畅通性是确保交通顺畅、保障道路正常运行的核心要素。在设计过程中，必须充分考虑道路的通行能力，分析交通流量、车速、车辆类型等多重因素，从而合理规划道路的几何形态、车道宽度及交叉口布局等关键组成部分。通过对这些设计要素的精确配置，可以有效缓解交通拥堵，提升路网的通行效率，改善整体交通状况。同时，设计方案要有前瞻性，能够应对交通需求的动态变化以及未来增长带来的压力，确保道路在未来依然具备足够的通行能力。通过这种畅通性设计，既能提升道路的服务水平，也能为出行者提供更加顺畅、快捷的交通体验，确保道路的长期可持续运行。

1.3 经济性原则

道路改扩建作为一项资金投入较大的工程，经济性原则在设计阶段起着至关重要的作用，设计方案的经济性直接决定了项目的投资效益与运营成本。若设计不够经济合理，不仅会增加建设与运营成本，还可能导致资金与资源的浪费，从而影响道路的长期运行效率与通行质量。为了确保项目的可持续发展，必须在设计过程中进行精准的成本预测与合理的资源配置，避免不必要的投资或资源浪费。

经济性成为评估设计方案优劣的关键标准之一。通过遵循经济性原则，在保证功能性与安全性的基础上，能够实现最佳的投资效益与运营成本，进而更好地满足社会需求，提升道路的经济效益与社会价值。

2 改扩建道路的设计方式与方法

2.1 单侧加宽设计

单侧加宽设计是道路改扩建中常见的方案，尤其适用于空间受限或改扩建条件不足的情况。通过在道路一侧扩展车道宽度，此方法能够有效提高通行能力，特别是在交通流量较大的方向，从而缓解交通压力。该设计方式的优势在于施工难度相对较低，投入使用的时间较短，且对现有道路的改动较小，减少了拆迁与土地征用的需要。在实施单侧加宽时，必须特别注意与原有路段的衔接，确保加宽部分与现有路面之间的宽度过渡平滑，避免因路面宽度不均衡而引发交通安全隐患。同时，道路的几何设计、交通流量预测以及未来交通需求应予以综合考虑，以确保加宽后的道路在提升通行能力的同时，能够满足长期使用的需求。单侧加宽不仅有助于解决短期交通瓶颈，还能有效降低项目的总体成本，因此，成为许多城市与地区进行道路改扩建时的理想选择。

2.2 双侧加宽设计

双侧加宽设计作为道路改扩建中的一种全面方案，特别适用于交通需求较高且原有车道数不足的情况。通过在道路两侧同时扩展车道，此方案能够显著提高道路的通行能力，从而有效缓解交通压力。与单侧加宽相比，双侧加宽能够更加均衡地提升道路的服务水平，特别是在交通流量较大且车道需求相对均衡的情况下，能更好地满足不同方向的通行需求。成功实施双侧加宽的关键在于合理规划加宽范围以及施工方案，确保加宽部分能够平稳与现有路段衔接，避免宽度不一致带来的安全隐患。需要注意的是双侧加宽通常涉及较多土地资源和较大施工投入，可能需要拆迁或土地征用。因此，在实施前，必须进行充分的可行性评估，确保成本与效益之间的平衡。

2.3 分离加宽设计

分离加宽设计是一种通过在道路两侧或现有车道之间增设新车道或加宽原有车道来提升道路通行能力的方式。与传统加宽方式不同，这一设计通过设置物理隔离带或车道分隔线，将新增车道与原有车道隔开，从而确保交通流畅且安全。这种设计尤其适用于交通量大、但因空间限制无法进行全面拓宽的道路。分离加宽的优势在于，它能够在不改变原有道路结构的前提下，合理调整车道资源，最大限度地减少对现有交通流的干扰。通过这一设计，不仅能显著提升不同方向车流的通行能力，还能为需要为不同类型车辆（如高速公路与城市道路之间的过渡）提供独立通道的场景提供解决方案。面对这种设计的实施，挑战也不可忽视，尤其在确保新车道与原有道路顺畅连接、有效管理交通流以及设置合理交通标识等方面。需要特别注意的是，分离加宽可能涉及现有交通流的调整，因此，在设计前必须进行详细的交通流量预测与评估，以确保项目实施后能够达到预期的改善效果。

2.4 混合加宽设计

混合加宽设计是一种灵活的道路扩建方式，通常通过在原有公路两侧进行局部加宽或改造，同时保留中央隔离带不做改动。与其他加宽方式相比，这种设计能够迅速提升道路通行能力，施工周期较短，对现有道路结构的影响也相对较小。由于加宽仅限于道路两侧，避免了对中央隔离带的改动，使得工程更易于实施，同时减少了对交通流的干扰及对周边环境的负面影响。尽管混合加宽具备许多优势，但也存在一些不足之处。由于加宽仅限于道路两侧，可能导致路面宽度不均，尤其是在交叉口或转弯处，车道可能不对称，从而影响行车稳定性与安全。此外，加宽部分与原有路段的衔接可能不够平滑，尤其在高峰时段，交通流量增加时，驾驶员可能面临不适应的道路条件，进而增加操作失误的风险。为确保混合加宽设计的有效性，必须在实施过程中加强交通管理，优化交通标识、合理设置限速、疏导措施，并加强交通流量监控，确保安全性与通行效率的平衡。

3 改扩建道路路线与路面路基设计策略

3.1 做好数据收集工作

在改扩建道路设计中，数据收集是确保设计方案科学性与可行性的核心环节。为了精准满足实际需求，设计团队需要全面收集多维度的数据，涵盖交通流量、车速、车辆类型、气候条件以及地质环境等多个方面，这些数据的收集不仅有助于识别现有道路的瓶颈，还能为制定有针对性的设计方案提供重要依据。数据的收集不仅应依赖现场调研，还应与历史资料相结合，以确保信息的准确性和时效性[1]。例如，通过对周边地区交通流量进行长期监测，设计团队能更清楚地了解高峰期与非高峰期的交通流量差异，从而为路段容量优化提供有力支持。除了交通流量外，土壤稳定性、水文条件以及潜在自然灾害等地质与气候因素也必须进行全面评估，这有助于预测潜在的工程风险，确保设计方案的安全性与可持续性。

3.2 制定完善的设计方案

制定一套完善的设计方案，是道路改扩建项目取得成功的关键，该方案应充分结合前期数据分析，兼顾当前需求与未来发展趋势。科学合理的设计方案需要从多个角度进行全面考虑，涉及交通流量、道路功能、环境影响及经济效益等因素，确保各项设计要素协调统一，从而实现优化交通流、提升安全性以及降低建设成本的目标。在方案制定过程中，必须根据具体的交通需求与道路类型，合理规划车道数量、车道宽度及交叉口布局，以确保设计能够满足预期的交通流量。同时，设计应具备一定的前瞻性，

考虑未来交通量的增长，确保其长期适应性。对地质条件、气候变化及环保要求的充分考虑也不可忽视，以避免外部环境变化或自然灾害带来的潜在风险[2]。一个高效的设计方案，还需与相关部门进行密切合作，确保其符合地方交通规划、土地使用规定及环保政策。经过充分的技术论证与优化分析后，设计方案不仅能够提升道路通行能力，还能在预算范围内实现最大的社会效益与经济效益，确保道路改扩建项目的顺利推进。

3.3 明确设计要点

3.3.1 路线设计

路线设计在道路改扩建项目中占据核心地位，其直接关系到道路的通行能力、安全性以及使用寿命。在进行路线选择时，设计团队必须综合考虑多个因素，包括交通需求、地理条件、土地利用情况及未来发展趋势，通过合理的路线设计，不仅能有效缩短行驶距离、提高通行效率，还能减少对现有交通的干扰，最大限度地降低施工对周边环境的影响。在设计过程中，重点应放在道路的几何形态上，例如水平曲线、纵坡及交叉口的布局，确保车辆行驶的平稳性与安全性。特别是在山区或复杂地形中的路线设计，水土保持及排水系统的布局更是不可忽视，以防止雨水冲刷引发路基塌方或积水问题[3]。此外，设计方案还应为未来的扩展或调整预留足够的空间，确保道路在交通量增长的情况下，依旧能维持良好的通行能力。路线设计还必须与交通流量分析、环境影响评估及土地利用规划密切结合，避免因设计不当而造成土地浪费或资源冲突。通过精准的规划与设计，能够最大限度地发挥道路功能，确保改扩建后的道路在提高通行能力的同时，维持长期运营中的安全性与稳定性。

3.3.2 路基设计

路基设计在道路改扩建项目中扮演着关键角色，其直接决定了道路的承载力、稳定性及使用寿命。一个科学合理的路基设计，不仅能确保道路在长期使用过程中稳定、可靠地承载不断增加的交通荷载，还能显著减少后期维护和修复的需求。设计过程中，需综合考虑土壤类型、地下水位、地质条件等因素，评估路基的承载能力，并根据实际情况采取适当的加固措施。比如，在软土或地质条件较差的区域，可能需要通过深基坑、桩基或换填土等方式，增强路基的稳定性。排水系统的设计亦至关重要。如果道路无法及时有效排除积水，路基容易受到水分侵害，导致沉降或裂缝等问题。因此，设计时需确保合理的排水系统，包括侧沟、涵洞、排水管道等设施，以保障路基在长期运行中的稳定性，防止水分引发的安全隐患。随着交通流量的不断增长，路基的宽度和厚度应根据预期的交通负荷进行合理规划，避免因沉降等问题导致的破坏。同时，在确保路基稳固性的基础上，还要考虑土壤的环保性与可持续性，避免不当使用或过度开采自然资源，做到道路建设与环境保护相协调。通过精准的路基设计，不仅能够确保道路在长期使用中的安全性，还能为其持续运营提供坚实的基础。

3.3.3 路面设计

路面设计在道路改扩建项目中占据着至关重要的地位，直接关系到道路的使用性能、安全性及舒适性。一个合理的路面设计不仅需要应对日益增加的交通荷载，还必须确保具备优良的排水性能、防滑性以及长期的耐久性。在设计过程中，必须充分考虑交通流量、车速、车辆类型等多方面因素，以选用最合适的路面结构与材料。例如，对于高速公路，通常需要选择厚重的沥青混凝土路面，以提高其承载力和抗压能力，而对于城市道路，则可以根据交通需求及经济性要求，选择适度的结构和材料。排水系统在路面设计中的重要性不容忽视，设计必须确保避免雨水积聚对路面造成的破坏或带来的安全风险。因此，路面应具备适当的横坡度和排水坡度，以防止水分滞留。此外，材料的选择也应考虑其环境适应性和耐久性，尤其是在气候变化显著的地区，应详细评估路面材料的抗温差和抗湿度能力，从而延长道路的使用寿命。随着环保要求的日益严格，现代路面设计必须更加注重可持续性，选用低碳、环保材料，并最大限度地减少建设过程中对环境的影响。同时，路面表面应具备优良的防滑性能，尤其在雨雪天气下，确保行车安全。通过精确规划路面结构与材料选择，能够有效提升道路的运行效率，延长其使用周期，并在确保交通安全的基础上，降低后期维护的成本。

4 结语

道路改扩建是提升交通效率与安全性的关键举措。通过科学的路线、路基与路面设计，通行能力与耐用性得以显著提升。准确的数据分析与合理的设计方案不仅满足当前需求，更能预见未来发展趋势，从而确保项目的可持续发展。在长期的运行中，改扩建设计将确保项目的顺利进行，并为社会创造更高的经济效益，同时提供更加安全的交通环境。

[参考文献]

[1]钟碧影.改扩建道路的路线及路面路基设计研究[J].建材与装饰,2019(29):234-235.
[2]尹俊青,胡达.改扩建道路路线与路面路基设计分析[J].黑龙江交通科技,2022,45(7):40-42.
[3]刘博.改扩建道路路线与路基路面设计分析[J].交通科技与管理,2023,4(6):45-47.

作者简介：桂兴龙（1992—），男，湖北省黄冈市黄梅县，中级（无），2015 年 6 月毕业于重庆交通大学，土木工程（道路工程），现在在设计院从事公路设计工作；任职于中南勘察设计院集团有限公司。

隧道桥梁高性能混凝土的性能及施工工艺

邱成刚
中铁三局集团桥隧工程有限公司，河北 邯郸 056000

[摘要]隧道与桥梁作为核心交通基础设施，在现代交通系统里占据十分关键的地位。为保障其长久的使用寿命和稳定性，高性能混凝土（HPC）作为一类新型建筑材料，普遍用在隧道桥梁的修筑项目。高性能混凝土展现出优异的抗压、抗渗、抗冻、抗裂等特性，可在恶劣的环境情形里面给予有力保障。然而，在隧道与桥梁的施工进程中，怎样保障高性能混凝土品质及施工工艺的合理性，依然是一个需要解决的关键问题，本文通过分析隧道桥梁中高性能混凝土的性能特点，探究了此类高性能混凝土在施工中的应用及面临的主要问题，又给出了针对性的施工策略，期望能为隧道桥梁建设给予技术参考。

[关键词]隧道桥梁；高性能混凝土；性能；施工工艺；问题；策略
DOI：10.33142/sca.v8i3.15801　　中图分类号：U444　　文献标识码：A

Performance and Construction Technology of High-performance Concrete for Tunnel Bridges

QIU Chenggang
Bridge and Tunnel Engineering Co., Ltd. of China Railway No.3 Engineering Group, Handan, Hebei, 056000, China

Abstract: Tunnels and bridges, as core transportation infrastructure, play a crucial role in modern transportation systems. To ensure its long-term service life and stability, high-performance concrete (HPC) is widely used as a new type of building material in tunnel and bridge construction projects. High performance concrete exhibits excellent characteristics such as compressive strength, impermeability, frost resistance, and crack resistance, providing strong protection in harsh environmental conditions. However, in the construction process of tunnels and bridges, how to ensure the quality of high-performance concrete and the rationality of construction technology is still a key issue that needs to be solved. This article analyzes the performance characteristics of high-performance concrete in tunnels and bridges, explores the application and main problems faced by such high-performance concrete in construction, and provides targeted construction strategies, hoping to provide technical reference for tunnel and bridge construction.

Keywords: tunnel bridges; high performance concrete; performance; construction technology; problems; strategy

引言

随着社会经济迅猛发展，隧道桥梁的建设在基础设施建设过程中展现出愈发关键的意义。尤其是在城市交通、铁路以及高速公路项目相关建设等方面，隧道和桥梁作为交通枢纽的关键组成部分，承载着大量的交通流量与重量负荷。为保障隧道桥梁长期使用阶段的稳定与安全，运用高性能混凝土（HPC）逐步成为营造这些结构体的首选。高性能混凝土是一种具有卓越耐久性和力学性能的混凝土，可适应极端环境里的应用要求，如防止裂缝出现、增强抗冻及抗渗能力等。

1 高性能混凝土在隧道桥梁中的优势和需求

高性能混凝土（HPC）在隧道桥梁建设的实际操作当中优势明显，是满足现代建筑结构高耐久性和高强度实际需求的材料。作为交通基础设施一部分的隧道桥梁，往往处在复杂且苛刻的环境中，诸如湿润的地下水环境、极端的气候状况、化学侵蚀问题等，这些因素都对建筑材料的耐久性提出更高要求。高性能混凝土凭借其突出的物理与化学性能，在隧道桥梁的搭建中，可切实提升工程的安全性及使用寿命。高性能混凝土的抗压强度及抗渗性能比普通混凝土更突出。若隧道桥梁对承载能力要求处于较高额度区间，HPC 可给出更有力的结构支撑，维护桥梁安全性。此外，HPC 的密实性较好，能够显著阻挡水分及其他有害物质的渗透，防止腐蚀性物质渗透进入，由此延长结构的持久度[1]。

高性能混凝土有着较好的抗冻、抗裂性，极其适宜寒冷地区或频繁经受冻融循环作用的隧道桥梁工程。其良好的抗冻性能令混凝土在低温环境下不易破裂，避免了结构因温差改变引发的损害。随着环保与绿色发展理念的兴起，HPC 也可契合绿色建筑的需求。其良好的耐久性减轻了资源耗用及频繁维护的需要，减轻了对环境施加的负担水平，从而符合现代建筑对于节能、环保与可持续发展的要求[2]。

2 高性能混凝土施工中面临的挑战

2.1 原材料质量不稳定

高性能混凝土的性能一般为原材料质量所牵涉，特别是在水泥、骨料和外加剂等基础材料范畴内，质量不稳定现象普遍，原材料质量欠佳或未达规定也许会造成混凝土的强度、耐久性和工作性无法满足设计要求[3]。水泥的类型与质量直接关联着混凝土水化反应的态势及其后期强度的形成，而骨料的粒径、形状和洁净度关乎混凝土的和易性、密实性的一定改变。倘若骨料的含泥量大大超标，

抑或水泥跟骨料的配比不够合理，极容易造成混凝土的表层形成裂纹或引发其他毛病，危及该混凝土长期使用性能。此外，外加剂的质量和配比对混凝土的抗渗、抗冻、抗硫酸盐腐蚀等特性起着重大作用效果，因此保障高性能混凝土施工的原材料质量稳定是保证施工质量的依托。

2.2 施工工艺不规范

高性能混凝土的施工工艺表现出相对高的要求，若施工过程存在操作不当或不恰当的施工做法，会直接影响混凝土的综合质量水平。高性能混凝土鉴于其显示较高水胶灰比、较低水泥占比等现象，要求施工中切实管控配合比例，保证混和一致。然而，在实际施工期间，一些工地往往由于施工人员经验未充足、设备老化已破损或现场管理有缺陷，导致混凝土搅拌不均匀、振捣不充足等现象。此些问题会引起混凝土的密实度不足，由此降低其强度和耐久性。另外，在浇筑工作开展阶段，若未在恰当时候开展温控措施，尤其在滚烫的日子里，水分蒸发的速度迅猛，大抵会引发混凝土表面开裂，影响混凝土的整体特性弱化。因此，施工工艺的规范恰当度是高性能混凝土施工中的一个关键挑战。

2.3 环境温湿度控制难度

高性能混凝土的建设及维护对环境温湿度提出较严格的准则。温度过高或过低、湿度不稳定现象都会影响混凝土的凝固时间、强度增长及最终质量。在炎热环境里，水分消散过急，混凝土也许会出现早期裂缝麻烦，特别是在引起浇筑后的前期养护阶段，造成其强度跟耐久性减弱。另一方面，若处于寒冷环境混凝土的水化反应或许被抑，硬化阶段滞缓，或许会出现冻结现象，引起强度大幅下滑，尤其是冬季矿山施工的时候，一般应当采用加热设备和保温措施，以让混凝土在恰当温度范围里完成硬化，因此，在施工现场恰当预判和管控环境条件，进而实现上佳施工和养护成效，是高性能混凝土施工中的又一难点。

2.4 施工人员技术水平参差不齐

高性能混凝土施工体现出的技术含量较高，和传统混凝土施工的操作实施方式不一样。此要求施工人员对材料的特性、混凝土性能要求、施工工艺达到较高的把控水平[3]。然而，实际情形里，部分施工单位也许存在技术人员配置不足或培训未有效推进情况，导致施工人员对高性能混凝土施工的理解和运用意义存在差距。例如，某些操作工可能不熟悉混凝土配合比的调整、搅拌机的运用以及怎样按不同工况优化施工手段，引起施工过程中的偏差或差错，这就干扰混凝土的最终成效。因此，增进高性能混凝土施工人员的技术培训质量，加紧其专业水平，已成为增进施工进度、处理施工困扰的关键手段。

2.5 质量控制和检测难度大

高性能混凝土鉴于其特定的配合比和性能要求，质量控制、检测工作所面临的难度颇高。施工实施阶段，混凝土的配合比、搅拌时间、浇筑及养护过程都应严格稽查，还需要精准的检测手段来保障各项参数符合要求。例如，混凝土的流动性、密实性、强度等指标均需借助现场即刻检测以保证其质量。高性能混凝土鉴于掺入了多式样特殊外加剂，而且其配合比跟性能要求相对复杂。传统的检测方法往往没办法在短时间内完整、精准地反映出混凝土的实际性能。例如，以往的抗压强度测试需等待较长的固化周期才能有检验结论，此情况在需要快速反馈的施工转换中显然无法满足实际过渡。此外，普遍的检测手段如混凝土的流动性、饱满度等，经由目视检查和标准实验途径也许会有一定差错或不及时，无法完整体现混凝土的内在质量格局，与此同时保障质量控制流程高效准确对施工质量提升意义重大，质量控制不仅要借助高端的技术层面，还得构建严密的质量管理体系，定期对施工过程进行核查与反馈，及时排查并处理施工中的问题，保证高性能混凝土的指标切实符合设计要求。凭借综合运用现代检测技术跟科学的质量管控办法，可以极大提高混凝土施工的精准水平，对质量风险降低，保障项目的平稳实施。

3 隧道桥梁高性能混凝土的功用及施工作业工艺

3.1 高性能混凝土的性能

高性能混凝土（HPC）是具有优异的力学性能、耐久性能和可施工性的混凝土，其主要特性包括高强度、高密实性、杰出的耐久性与抗渗能力。对比起普通混凝土，高性能混凝土的最大优势为它能适应极端环境状态以及复杂施工要求，尤其适合应用到隧道、桥梁等结构建设。高性能混凝土的高强度赋予其承受更大载荷能力，由此可应用在承载力要求较高的隧道和桥梁工程。通过优化水泥、骨料及外加剂的配合比例，HPC 可在较低水胶比的情境下实现较高强度，这使得混凝土结构愈发紧密，可有效抵御外界侵蚀[4]。

高性能混凝土（HPC）鉴于其呈现出的优异耐久性，在隧道和桥梁等基础设施建设方面大量应用，尤其在抗腐蚀、抗冻以及抗渗透等方面表现出色。随着工程环境形势日益复杂，尤其是在水域周边、寒冷地带或污染严重的环境局势里面，传统混凝土一般难以达成长时间使用和高耐久性要求，而 HPC 依靠其别样的性能长处，在恶劣环境中体现出了突出的长处。像隧道和桥梁等工程一般处于潮湿、化学性的腐蚀情况或盐分较高的环境中，传统混凝土易受水、氯化物、二氧化碳等物质侵蚀，引发钢筋锈蚀、混凝土开裂，因而影响结构的安全性与耐久性。而 HPC 低水胶比和高密实性有效降低了水与腐蚀性物质的渗透力，极大强化了其抗腐蚀能力。在 HPC 中，通过优化水泥、矿物掺合料及外加剂的配合，可使混凝土的孔隙结构更加紧密，从而有效隔绝外界有害物质，延缓钢筋的锈蚀进程，确保结构的长期安全与可靠[5]。

桥梁与隧道往往处在温度变化剧烈的地区，尤其是冬

天，水分进入混凝土内部后易在低温状态下结冰膨胀，造成混凝土裂缝或崩裂。高性能的混凝土有着较低的水胶比，明显降低了水分的占比，降低了冻融循环对混凝土的影响力。同时 HPC 中采用的高效膨胀剂以及引气剂可增强混凝土抗冻性能，令其在极寒环境当中仍能维持较高抗冻性能，阻止冻融循环引发的破坏，增加桥梁与隧道结构的使用寿命。由于这种高密实性，HPC 可切实防止水分及有害物质的渗透，由此提高了混凝土的耐久性。尤其是在类似隧道和桥梁的工程中，水渗透不仅会引起混凝土腐蚀以及结构损坏，还可能引起一系列后续问题，如防水层崩坏、钢筋氧化等，HPC 的抗渗性让其在这些工程中可抵御长期水渗透影响，使结构在湿度高、地下水位也高的环境中维持较长的使用周期。

3.2 隧道桥梁高性能混凝土的施工工艺

高性能混凝土的施工工艺相较于传统混凝土的施工工艺具有更高的要求，施工过程中要对多个环节精准把控，保障高性能混凝土高质量完成。施工工艺里，材料的选择与配比是关键环节。高性能混凝土的配比通常含有水泥、骨料、水以及外加剂等成分，每种成分的选择都应该按照工程要求与环境状况来决定。就实施隧道与桥梁建设而言，选择合适的添加剂可增强混凝土的抗渗性、抗冻性和耐久性。此外，水胶比的把控十分关键，较低的水胶比可提升混凝土的强度与密实性。因此，施工的时候必须严格控制水与水泥比例[6]。

混凝土搅拌及运输环节同样应格外重视。因为高性能混凝土对流动性的要求偏高，搅拌时应确保所有成分均匀分布，避免出现离析现象。在运输过程中，为避免混凝土出现干缩及凝结，运输时间及距离应把它把控在合理范围。若施工环境距离较远，可能需在运输阶段使用缓凝剂或其他外加剂，以达成延长初凝时间目的，维持施工质量。

在施工现场，混凝土的浇筑与振捣是影响施工质量的另一个关键环节。隧道和桥梁施工时段的环境往往较复杂，狭小的空间以及不规则结构造成混凝土浇筑振捣难度变大。在这类施工环境里，运用适合的机械设备，像振动棒、塔吊这些机械，可让混凝土在各个部位都均匀地实施振捣作业，避免出现气泡、空洞，保证混凝土的紧实度。

高性能混凝土通常需要较长时间养护，以保障该混凝土强度和耐久性。在土建施工中，尤其是在极端炎热或酷寒天气环境里，如同高温或低温环境里面，必须采取有效的养护措施，如覆盖保湿布、喷洒养护液等处理手段。以防止混凝土表面因水分蒸发迅速而引发裂缝。养护实施过程中，温度与湿度的调控也极为关键。尤其是处于隧道和桥梁的特殊环境中，需结合实际情况对养护方案进行调整。高性能混凝土施工工艺对隧道和桥梁建设工作意义重大，施工操作期间需全面管控材料配比、搅拌、运输、浇筑、振捣以及养护等方面，保证混凝土质量与设计要求相符，以强化结构的耐久性及稳固性。

隧道及桥梁建造工程作为现代基础设施建设的关键部分，其施工质量直接关乎工程的安全性与使用寿命。高性能混凝土作为一种体现新型用途的工程材料，其优异的性能使其在隧道和桥梁建设中得到广泛应用。通过精准运筹高性能混凝土的材料比例、施工工艺以及养护进程，能有效增进混凝土强度、耐久性以及抗渗能力，维持隧道与桥梁结构的长期稳定性与安全性。即便高性能混凝土的施工工艺是复杂的，但随着技术的不断演进和施工经验的积累，其施工难度已逐渐得到解决，未来会为隧道桥梁建设给予更可靠的材料支持和施工后盾[7]。

4 结语

随着隧道桥梁建设数目不断增多，采用高性能混凝土成为增进隧道桥梁质量与耐久性的重要方式。高性能混凝土体现出卓越的抗压、抗渗等特性，在隧道桥梁施工工作中发挥关键作用。然而，在实际施工进行阶段，因材料、施工工艺、环境等方面显现的复杂性，仍面临不少挑战。通过系统优化材料配比、提升施工技术综合性、强化质量控制力度及采用新策略，可以高效应对这些问题。未来，随着科技进展和施工技术不断推陈出新，预计高性能混凝土在隧道桥梁施工采纳中的应用会更为成熟，为隧道桥梁建设的安全性与耐久性提供可靠保障。

[参考文献]

[1]张垒,应鹏,朱瑶之,等.超高性能混凝土组合式铺装结构在钢桥面铺装中的应用研究[J].上海公路,2023(4):153-157.
[2]李飞虎.高架大跨度桥梁施工工艺与技术创新[J].运输经理世界,2023(33):101-103.
[3]杨斌.相同施工工艺下普通喷射混凝土与高性能喷射混凝土对比研究[J].交通世界,2023(9):25-27.
[4]吴新印,胡方健,刘兆丰.预制装配式超高性能混凝土(UHPC)桥梁盖梁施工工艺研究[J].中外公路,2022,42(2):138-141.
[5]郑辉.高性能混凝土在道路桥梁施工中的应用[J].运输经理世界,2021(36):104-106.
[6]李杰.高性能混凝土在道路桥梁工程施工中的应用[J].交通世界,2021(30):72-73.
[7]田宏月.隧道桥梁高性能混凝土的性能及施工工艺[J].交通世界,2017(25):74-75.

作者简介：邱成刚（1985.2—），单位名称：中铁三局集团桥隧工程有限公司，毕业学校和专业：大连理工大学土木工程（道桥方向）。

智慧交通工程建设中的 BIM 应用研究

刘 亮
新疆生产建设兵团第十师交通运输服务中心，新疆 北屯 836099

[摘要]随着全球人口持续增长及城市化进程的加速，交通拥堵、频发事故、能源浪费与环境污染等问题愈发严重，给城市管理带来了前所未有的挑战。传统交通管理方式已经难以满足现代城市在交通效率、资源利用及环境保护等方面的高标准要求。为此，智慧交通应运而生，通过信息技术的应用，提升交通系统的智能化水平。同时，建筑信息模型（BIM）技术，作为一种数字化建模工具，已在建筑、工程及基础设施领域得到了广泛应用，推动了多个行业的数字化转型。在智慧交通工程中，BIM 技术能够有效整合各个阶段（从设计、施工到运营及维护）的多方信息，为交通管理提供精准的数字支持。随着技术的不断进步，BIM 与智能交通系统的深度融合，不仅提高了交通设施的建设质量，也为运营阶段的智能交通系统提供了实时数据支持，进一步优化了交通管理与决策过程。对 BIM 技术在智慧交通中的应用进行深入研究，具有重要的理论价值与实践意义，能够为智慧交通的创新与可持续发展提供全新的思路与技术路径。

[关键词]智慧交通；交通建设；BIM
DOI：10.33142/sca.v8i3.15779　　中图分类号：U491　　文献标识码：A

Research on BIM Application in Intelligent Transportation Engineering Construction

LIU Liang
Transportation Service Center, the 10th Division of Xinjiang Production and Construction Corps, Beitun, Xinjiang, 836099, China

Abstract: With the continuous growth of global population and the acceleration of urbanization, problems such as traffic congestion, frequent accidents, energy waste, and environmental pollution have become increasingly serious, bringing unprecedented challenges to urban management. Traditional traffic management methods are no longer able to meet the high standards of modern cities in terms of traffic efficiency, resource utilization, and environmental protection. As a result, smart transportation has emerged, enhancing the intelligence level of transportation systems through the application of information technology. Meanwhile, Building Information Modeling (BIM) technology, as a digital modeling tool, has been widely applied in the fields of architecture, engineering, and infrastructure, driving digital transformation in multiple industries. In smart transportation engineering, BIM technology can effectively integrate multiple information from various stages (from design, construction to operation and maintenance), providing accurate digital support for traffic management. With the continuous advancement of technology, the deep integration of BIM and intelligent transportation systems not only improves the construction quality of transportation facilities, but also provides real-time data support for intelligent transportation systems in the operation stage, further optimizing traffic management and decision-making processes. In depth research on the application of BIM technology in smart transportation has important theoretical value and practical significance, which can provide new ideas and technological paths for innovation and sustainable development of smart transportation.

Keywords: smart transportation; transportation construction; BIM

引言

随着城市化进程的加速与科技的不断发展，传统的交通管理模式正面临着前所未有的挑战。作为一种新型管理理念，智慧交通依托现代信息技术、人工智能、大数据及物联网等创新技术，为交通系统提供了智能化的解决方案，实现更高效、安全及环保的交通管理。同时，建筑信息模型（BIM）技术凭借其精确的三维建模、数据整合与协同管理能力，在交通工程建设中展现了巨大的应用潜力。通过优化交通设施的设计与建设过程，BIM 不仅提升了管理效率，还在运营与维护阶段显著提高了整体效能。随着智慧交通的迅速发展，BIM 与智能交通系统的深度融合，已成为推动交通行业创新与可持续发展的关键驱动力。

1 BIM 技术在智慧交通工程建设中的作用

在智慧交通工程建设中，BIM 技术发挥着至关重要的作用，它为项目的各个阶段提供了深度支持，推动交通系统朝着智能化与高效管理的方向发展。随着智慧交通的不断演进，越来越多的现代互联网技术被应用于基础设施建设，以数据驱动的智慧交通平台应运而生，旨在实现全面的交通管理智能化。BIM 技术的引入为这一转型提供了重要的技术支撑，帮助各个环节的协作更加高效。通过 BIM 技术，在设计阶段能够进行精准建模，从多个维度优化设计方案，提升施工设计的准确性，同时为施工成本控制和资源管理的优化提供了坚实保障。在勘察和设计阶段，BIM 技术通过创建精确的宏观模型，将地形、交通流量等数据

进行有效整合，向设计人员提供了更全面的参考信息。这种信息的统一不仅提高了设计效率，还帮助识别潜在的不足，减少了未来可能出现的问题。借助这一模型，设计人员可以更加精准地勘测地形、模拟曲面，降低设计难度，确保基础设施设计的精准性和可行性，进一步保证了工程质量的高标准。在施工阶段，BIM 技术的可视化管理能力得到了充分应用。通过实时跟踪施工进度、协调信息流动与各方资源，BIM 为施工管理提供了有效的支持，确保施工的顺利推进。施工现场的合理规划与信息的及时更新为整个项目的周期管理提供了保障。同时，BIM 还能够进行各阶段的精确管理，尤其在重点与难点区域，通过精细化管理减少返工现象，最大程度地避免了资源浪费，提升了整体施工效率。

2 BIM 技术在智慧交通工程中的应用

2.1 智慧交通工程中的 BIM 应用场景

BIM 技术在智慧交通工程中的应用贯穿了项目的整个生命周期，包括规划设计、施工建设以及运营维护，涵盖了多个关键环节，具有广泛的应用场景。在规划设计阶段，BIM 通过精确的三维建模与数据整合，将交通网络、地理信息、环境条件等多维数据融入到一个统一的模型中。通过这种集成方法，设计团队能够在虚拟环境中直观地评估设计方案，及时发现潜在问题与冲突。例如，在桥梁或隧道设计时，BIM 技术能够模拟施工过程中可能出现的空间冲突或交通流量瓶颈，从而帮助设计师进行必要的调整，避免后期修改设计时产生的高昂成本。在施工阶段，BIM 技术通过可视化管理大大提升了工程进度的可控性与施工精准度。项目进展、资源使用、人员分布等动态数据都能被实时监控，从而确保各项工作有序协调，避免因信息滞后或沟通不畅所引发的无谓问题。施工现场通过动态模拟，施工顺序得以优化，无效的停工等待被有效避免，整体施工效率得到显著提升。运营与维护阶段，BIM 依然起到了至关重要的作用，结合交通管理系统与物联网技术，BIM 为智慧交通设施提供了实时监控的能力。例如，在道路维护或设备更新过程中，故障设备、过期零件或需要检查的区域可以被迅速定位，从而实现高效的资源调度与快速响应。运营管理效率因此得到了显著提高。

2.2 BIM 在智慧交通规划与设计阶段的应用

在智慧交通的规划与设计阶段，BIM 技术为项目顺利推进提供了关键支持。通过构建三维数字模型，BIM 精确展示了道路、桥梁、隧道以及交通信号等交通设施的设计元素。这样的可视化设计方式使得规划人员能更清晰地理解复杂的交通系统布局，显著减少了传统二维设计中常见的误差与理解偏差。BIM 的优势不仅体现在设计展示上，还通过整合多种信息优化设计过程。设计团队能够实时汇集地形、气候、交通流量等多维数据，通过模拟与分析，提前考虑交通流畅性、安全性及环境影响等因素。潜在问题因此能够在早期被发现并调整，从而避免后期大规模返工。例如，在设计复杂的城市交汇点时，BIM 能够模拟不同交通流向的相互作用，确保设计方案既满足实际需求，又能高效、顺畅地运行。BIM 还促进了不同专业间的协同合作。在同一平台上，土建、交通、机电等多个领域的专家得以共同审查与优化设计方案。通过这种跨专业的协作模式，不仅提高了工作效率，还有效减少了因设计不兼容而引发的问题。在智慧交通规划过程中，BIM 为各专业间提供了紧密合作的机会，确保了信息共享的及时性以及设计方案的整体性。

2.3 BIM 在智慧交通建设阶段的应用

在智慧交通建设阶段，BIM 技术显著提高了施工管理的效率与精确度。通过三维建模，施工团队在项目启动前就能全面理解设计意图、施工流程以及可能面临的技术难题。提供的高精度数字化建模使得施工人员能够提前识别潜在问题，优化施工方法，并对每一个环节进行科学调整。例如，在隧道或桥梁施工过程中，BIM 模型帮助施工团队掌握进度、设备配置以及人员分布，从而避免了传统施工中可能出现的资源浪费或施工顺序不当等问题。BIM 技术的可视化管理功能在施工阶段尤为关键，项目经理能够利用 BIM 模型实时监控施工现场的进展，查看各项任务的实际数据，确保各个阶段的工作按照计划推进。结合进度管理软件，BIM 技术不仅能精确追踪施工进度，还能将现场实际情况与预定计划对比，及时发现偏差，避免因延误产生的额外成本。优化施工顺序与资源调度方面，BIM 技术同样发挥了重要作用，通过全局建模与模拟，施工团队可以在虚拟环境中预演施工过程，调整施工顺序，消除冲突，减少重复工作，从而提升施工效率，降低停工等待和返工的情况。尤其是在复杂的城市道路建设与交通设施改造项目中，BIM 为施工团队提供了清晰的空间布局与施工指导，确保施工工作能够精准、高效地执行。

2.4 BIM 在智慧交通运营与维护阶段的应用

在智慧交通的运营与维护阶段，BIM 技术的作用显得尤为关键。通过将 BIM 模型与实际运营数据相结合，交通管理部门得以实现对交通设施全生命周期的有效管理，从而确保系统能够高效运行并实现可持续维护。为交通设施的日常运营提供了精确的数字化支持的正是 BIM 技术。通过整合道路、桥梁、隧道等设施的结构信息及相关设备，运营人员可以实时监控设施的运行状态、健康状况以及维护历史。当设施发生故障时，工作人员可借助 BIM 系统迅速定位问题所在，并查阅相关的维修记录与手册，从而提高故障处理效率。通过实时监控与预警功能，潜在问题能够被提前识别，避免因设备故障造成的交通中断或安全事故。在智慧交通的维护管理中，BIM 技术对资产管理和资源调度起到了至关重要的作用。运营方通过 BIM 系统可以追踪设施的整个生命周期，涵盖使用情况、维护频次及更新周期等信息。这种系统化的管理方式为维护工作提供了科学依据，避免了资源浪费及不必要的维护工作。例如，在进行道路养护或设施更新时，BIM 能够帮助运营人员准

确识别需优先处理的设施，从而提升资源利用效率。在数据分析方面，BIM 的能力也是其在运营与维护阶段的一大优势，通过整合历史数据与实时监控信息，BIM 技术使交通管理部门能够进行大数据分析，优化交通流量，预测高峰时段的交通状况，并提前采取调度措施以缓解拥堵。这些数据为未来的交通规划与设施升级提供了坚实的依据，推动交通系统向智能化方向发展。

2.5 BIM 技术对智慧交通项目的支持作用分析

BIM 技术贯穿智慧交通项目的各个阶段，从规划设计到建设运营维护，显著提升了项目管理的效率与精确度。通过集成多维数据与三维建模，BIM 帮助团队优化设计方案，减少设计误差，提前检测潜在冲突，为后续施工节省时间与资源。在建设阶段，BIM 通过实时监控施工进度与资源配置，确保项目按计划推进[1]。可视化指引和施工顺序优化减少了延误与资源浪费，增强了各方协调性，避免了信息滞后与沟通不畅带来的成本与工期延误。在运营与维护阶段，BIM 为设施管理与故障诊断提供数据支持，帮助监控设施健康状态并实施预防性维护，显著提高运营效率，降低维护成本，减少停运时间。

3 BIM 技术未来在智慧交通中的发展趋势

3.1 与智能交通系统的深度融合

BIM 技术与智能交通系统（ITS）的深度融合已经成为推动智慧交通发展的核心趋势，这一结合不仅体现在技术的整合上，更是理念与应用层面的全方位融合。随着智能交通系统逐渐向数据驱动与实时响应的方向转型，BIM 技术为其提供了精准的基础设施数据支持以及可视化管理能力。通过将 BIM 与智能交通系统中的交通流量监控、路况预测、智能信号控制等功能相结合，交通调度与资源分配得到了显著提升[2]。例如，集成了道路、桥梁、隧道等设施的实时数据的 BIM 模型，与交通监控系统的流量信息结合后，使智能系统能够做出更加精准的反应，如自动调整交通信号、优化交通流量，甚至在突发事件发生时迅速改进交通路径。在推动交通设施智能化管理方面，BIM 与智能交通系统的结合同样发挥了积极作用。通过提供精准的三维数据模型，BIM 使智能交通系统能够实时监控交通设施并进行故障诊断。当设施出现问题时，智能系统能够及时反馈，并借助 BIM 提供的数字化模型快速定位问题，减少停工时间并提高维修效率。这一融合的最终目标是实现“数字孪生”的交通管理模式。通过 BIM 技术创建交通设施的虚拟副本，并与现实中的交通数据实时对接，从而构建一个智能且动态的交通管理体系。此模式不仅能显著提升城市交通管理效率，还将为未来的自动驾驶与无人驾驶交通网络等技术的发展提供有力支持，确保其顺利推进。

3.2 推动绿色与可持续发展

BIM 技术在智慧交通领域的应用正不断朝着促进绿色发展与可持续建设的目标迈进。随着现代交通建设对资源消耗、碳排放及能源使用效率的要求日益提高，如何有效应对这些挑战，已成为不可忽视的关键问题。通过精准的三维建模与数据分析功能，BIM 技术在规划、设计及建设各阶段得以精细优化各个环节，从而最大限度地提升资源利用效率。通过对不同设计方案的模拟，BIM 帮助项目团队选择节能与环保效果最优的方案，避免了材料浪费与过度消耗。例如，在道路与桥梁设计过程中，BIM 能够结合地形、气候等因素，精确计算所需材料的数量，从而避免了过度建设，进一步减少了碳足迹。在促进智慧交通系统绿色管理方面，BIM 的可视化功能也发挥了重要作用。在运营阶段，BIM 能够实时监控设施运行状态，并为管理人员提供优化交通流量、缓解交通拥堵的决策支持。通过这一方式，能源浪费得以减少，车辆的碳排放也被有效降低。同时，结合智能交通系统（ITS）与大数据分析，BIM 技术还能够预测交通状况的变化，动态调整交通管理措施，进一步提高道路使用效率，减少对环境的负面影响[3]。全生命周期的绿色管理支持，BIM 技术在智慧交通系统中的应用提供了。此外，BIM 为交通设施的建设、运营与维护提供了全面的数据保障，确保了设施的高效运行及长效可持续性。随着绿色建筑理念与环保法规日益严格，BIM 技术将在未来发挥更加重要的作用，推动智慧交通朝着更加环保与可持续的方向发展。通过这一途径，不仅能有效减少交通对环境的负面影响，同时还将有力推动城市绿色发展与生态平衡的实现。

4 结语

BIM 技术在智慧交通领域的应用，正推动着交通项目朝着智能化、精细化与可持续发展的目标不断前进。从规划设计到建设运营的全过程，BIM 为交通基础设施提供了精准的数据支持，显著提升了工作效率，降低了项目成本，并优化了资源的配置。随着技术的持续进步，BIM 与智能交通系统的深度融合，将进一步增强交通管理的效率与环保性。展望未来，智慧交通的持续创新与绿色发展将在 BIM 的推动下得到更加关键的支持，使其成为实现城市可持续发展的重要驱动力。

[参考文献]

[1]孙腾飞.智慧交通工程建设中的 BIM 应用研究[D].陕西:长安大学,2017.
[2]庄志宇.智慧交通的发展现状及其面临的挑战[J].黑龙江科学,2021,12(22):110-111.
[3]张国青,杨利君.BIM 技术在智慧交通建设中的应用[J].城市建筑与发展,2020(3).

作者简介：刘亮（1990.12—），毕业院校：国家开放大学，所学专业：土木工程，当前就职单位：新疆生产建设兵团第十师交通运输服务中心，职称级别：工程师。

关于信息通信调度精益化管理的研究

刘贞辉
国网山西省电力公司信息通信分公司，山西 太原 030000

[摘要]信息通信是对电网二次信息通道进行调度的专门机构，对于电网安全生产以及电力企业的经营管理都具有重要作用，信息通信调度应积极创新，提升内部调控水平，并建立科学、合理、精益化的管理控制体系。本论文对通信信息调度的重要性以及精益化管理的实现方法进行了分析和阐述，希望对企业相关工作的开展提供参考和帮助。

[关键词]信息通信调度；精益化管理；管理策略
DOI：10.33142/sca.v8i3.15792　　中图分类号：TM73　　文献标识码：A

Research on Lean Management of Information and Communication Scheduling

LIU Zhenhui
Information and Communication Branch of State Grid Shanxi Electric Power Company, Taiyuan, Shanxi, 030000, China

Abstract: Information and communication is a specialized organization for scheduling the secondary information channel of the power grid, which plays an important role in the safety production of the power grid and the operation and management of power enterprises. Information and communication scheduling should actively innovate, improve the level of internal regulation, and establish a scientific, reasonable, and refined management and control system. This paper analyzes and elaborates on the importance of communication information scheduling and the implementation methods of lean management, hoping to provide reference and assistance for the development of related work in enterprises.

Keywords: information and communication scheduling; lean management; management policy

引言

随着信息化技术的迅速发展以及各行各业对高效、精准、智能调度需求的日益增长，信息通信调度已成为保障现代社会基础设施顺畅运行的关键环节。电力、交通、公共安全、应急响应等领域，面临着复杂多变的业务场景，需要快速响应突发事件并合理配置资源。因此，提高信息通信调度的管理效率、减少资源浪费、增强应急处理能力，已成为各行业管理者亟待解决的问题。精益化管理，作为一种旨在优化流程、提升效率、减少浪费的理念，已经在制造业、物流等多个领域得到了广泛应用。将精益化管理思想引入信息通信调度领域，能够通过系统性地优化调度流程、标准化操作、精准配置资源，显著提升调度效率及服务质量。尤其是在信息通信调度中，精益化管理不仅能够提高系统的稳定性、降低运营成本，还能够增强在动态环境中应对变化和挑战的能力，进而优化整体调度流程及决策支持。尽管精益化管理在理论与实践中具有广泛的应用潜力，但在信息通信调度领域实施精益化管理过程中，仍面临着诸多挑战。管理模式的局限性、资源与技术的瓶颈，以及实施过程中的各种难点，都是亟待解决的问题。因此，本研究旨在深入探讨信息通信调度精益化管理的理论基础与实践路径，分析其在实际应用中的具体问题，并结合现代技术创新与管理需求，提出切实可行的实施策略。通过本研究，期望为信息通信调度领域提供更高效、科学的管理模式，从而推动其向更高标准、更高质量的精益化管理方向发展。

1 通信调度的重要性和必要性

在当今时代，调度在各行业和各类机构中扮演着至关重要的角色，已成为生产和运营工作的核心枢纽。以电网运行为例，由于电力供需必须始终保持平衡，电网调度承担着安排电力系统运行方式、指挥电网操作等核心职能，对电力系统的组织、指挥、指导和协调至关重要。在电力信息通信系统的运行中，由于其具有“全网全程”的特点，通信调度在实时监控、资源管理和故障指挥等方面发挥了重要作用。随着信息系统的部署、集中式数据中心和软硬件资源池的加快建设，信息调度的作用逐渐凸显。此外，近年来通信调度事故频发，给社会带来了巨大损失。如何从这些事故中总结经验教训，并有效地将其传递给相关专业人员，以防止类似问题的发生，成为一项非常重要的工作。如何切实提升信息通信调度的精益化管理能力，从而充分发挥其在调度中的核心作用，已成为亟待解决的问题，值得引起高度重视。

2 信息通信调度精益化管理的挑战

2.1 管理模式的局限性

在信息通信调度的精益化管理实践中，管理模式的局限性被认为是一个重要挑战。目前，传统的层级式管理模式仍被许多企业和机构所沿用，尽管这种模式在一定程度

上确保了调度的规范性与稳定性，但却也带来了许多问题。例如，指挥链条较长，使得信息在传递过程中容易出现延迟、失真或丢失，从而影响了调度的准确性和实时响应能力。此外，传统管理模式过于依赖人工决策和经验判断，缺乏科学的数据分析和智能优化工具，导致调度决策效率较低，难以应对复杂多变的运行环境。与此同时，信息通信调度涉及多个领域，如通信网络、数据管理、故障处理等，而在传统管理模式下，部门之间的协作常常较为僵化，容易形成信息孤岛和职能分割的问题。资源无法得到有效整合与优化，这进一步影响了整体调度效率[1]。此外，部分企业在管理模式上缺乏灵活调整与持续优化的机制，导致无法根据业务需求的变化进行及时响应，使得调度管理无法有效应对突发事件及信息通信技术快速发展的挑战。

2.2 技术与资源瓶颈

信息通信调度精益化管理在推进过程中，面临的另一个重大挑战是技术与资源的瓶颈。信息通信调度依赖于高效、稳定的通信网络以及先进的信息化系统，然而，许多企业或机构的通信基础设施未能完全满足现代精益化管理的需求。存在着网络覆盖不充分、带宽有限、系统兼容性差等问题，导致数据传输延迟，信息处理能力受限，从而影响了调度的精准性与响应速度。此外，精益化调度管理要求具备强大的数据分析能力与智能化技术支持，但当前一些企业在大数据分析、人工智能及云计算等关键技术的应用仍处于初级阶段。由于数据采集和处理能力的不足，智能调度优化算法无法有效利用，调度决策依然依赖人工经验，无法实现自动化与智能化的目标。与此同时，信息通信调度所涉及的资源配置复杂，涵盖了人力资源、设备资源以及信息系统资源等多个方面。然而，在实际管理中，资源整合能力较弱，设备老化、系统升级滞后、人才储备不足等问题仍然存在，这些问题严重影响了调度体系的稳定性与灵活性。

2.3 精益化管理的实施难点

在信息通信调度精益化管理的实施过程中，面临诸多难点，其中最突出的挑战在于如何在复杂的业务环境中有效地推动精益化理念并实现落地。精益化管理强调持续的优化与高效运营，但在实际应用中，信息通信调度涉及多个业务环节，如实时监控、故障处理、资源调配等。这些环节之间的信息流动与协同管理常常存在断层，导致精益化管理难以覆盖所有方面，从而影响了其效果。另外，精益化管理要求对现有的调度流程进行优化，但传统的调度流程通常已经固化，受到历史运行习惯、管理模式及技术架构等因素的制约，改革的难度较大，且容易遭遇内部抵触。精益化管理的核心在于数据驱动与智能化决策，而目前一些企业或机构在数据治理、信息集成与智能分析等领域尚未建立起完善的体系，导致数据质量参差不齐，进而使得调度系统难以精准地分析并优化运行参数，影响了精益化管理的实施效果。此外，精益化管理的推广要求全员参与，管理层与一线调度人员都需具备相应的意识与能力[2]。然而，由于部分人员对精益化理念的理解不足，加之培训体系的不健全，执行过程中往往难以让精益化管理真正落地。

3 信息通信调度精益化管理的实施策略

3.1 流程优化与资源配置

在实施信息通信调度精益化管理的过程中，流程优化与资源配置是提高调度效率、降低运营成本及增强系统稳定性的关键因素。现有调度流程需要进行全面梳理，以消除冗余环节，减少信息传递的层级，确保调度指令能够迅速、准确地执行。传统的信息通信调度流程通常层级过多，审批和反馈环节较为复杂，导致响应速度减缓，特别是在面对突发事件时，决策可能会滞后。因此，引入扁平化管理模式至关重要。通过优化指挥链条、简化审批流程并建立快速决策机制，调度工作的推进能够加速，效率得以提高。此外，流程优化还应结合智能化技术的应用。自动化调度系统与数据分析工具的引入，使得调度任务可以实时监控与动态调整，从而提升管理的精准性和灵活性。另一方面，资源配置的优化对调度工作的顺利运行起着至关重要的作用。信息通信调度涉及多种类型的资源，包括网络带宽、计算存储设备、硬件设施以及人员等。随着不同业务需求和突发事件场景的变化，资源需求呈现动态波动，因此必须构建高效的资源调度机制，确保资源得到合理配置与高效利用。借助大数据分析、云计算与人工智能等技术，资源需求能够被精确预测，并实现智能化分配，有效避免资源浪费或短缺。例如，在网络通信调度中，通过流量分析，带宽分配可以动态调整，保证高优先级业务的稳定运行；在人力资源调度方面，智能排班系统可以根据任务紧急性与人员技能匹配度等因素，进行最优资源配置，从而提高整体运营效率。此外，资源配置优化还需要兼顾成本控制与可持续发展。通过资源共享、虚拟化管理等手段，资源利用率得以提升，不必要的支出被降低，同时调度系统的稳定性与长期运行能力得以保障。

3.2 标准化与精确化调度

在信息通信调度精益化管理的实施过程中，标准化与精确化调度是确保调度工作高效、稳定与可控的关键策略。标准化调度的核心在于建立统一的调度规范、流程及操作规程，从而使调度工作具有一致性、可复制性与可评估性，避免因个体差异或经验依赖带来的执行偏差。通过制定标准化的调度流程，确保调度人员在处理常规任务或突发事件时，能够按照既定规范迅速响应并精准执行，从而减少人为因素对调度效率及质量的影响。标准化调度还应涵盖调度指令的格式、信息传递路径、响应时限要求以及异常情况的处理方式等方面，形成可量化、可监督、可优化的闭环管理机制，从而提升整体管理水平。而精确化调度则是在标准化基础上，通过数据分析、智能决策及实时优化

等手段，进一步提高调度决策的精准度与执行效率。现代信息通信调度依赖大量的实时数据，包括通信网络状态、设备运行情况与业务流量负载等。通过应用大数据分析、人工智能算法与自动化调度系统，资源分布与业务需求得以精确评估，调度方案被动态调整，从而确保资源配置的最优化及指令执行的精准性[3]。精确化调度还包括对历史调度数据的深入分析，通过趋势预测与模式识别，提前预警可能出现的异常情况。这使得调度体系具备了主动优化与自适应调整的能力，从而进一步提升调度的科学性与可靠性。

3.3 绩效管理与激励机制

在信息通信调度精益化管理的实施过程中，绩效管理与激励机制是提升调度团队工作效率、优化管理质量、确保调度系统高效运行的重要手段。绩效管理的核心在于构建科学合理的考核体系，通过量化指标评估调度工作的效率、准确性与响应速度，确保各项任务能够按照既定目标高质量地完成。完善的绩效评价体系能够全面评估调度人员的工作能力、执行规范性、应急处理能力等方面，使得绩效评估变得更加公正、透明与可量化。现代信息通信调度高度依赖数据支持，因此，智能数据分析系统可以被借助，实时监测调度指令的执行情况、故障响应时间、资源利用效率等关键指标，为考核提供客观数据支持，从而优化考核体系，提升绩效管理的精准性。绩效管理不仅仅是对过去工作的评估，更应注重持续改进。通过绩效反馈机制，调度流程中的问题可以被发现，并进行针对性的优化与调整，从而不断提升管理的精益化水平。激励机制则是绩效管理的有力补充，能够有效提高调度团队的积极性与主动性。合理的激励政策应结合绩效考核结果，采用多元化的奖励方式，如物质奖励、职业晋升与培训机会，以激发调度人员的工作热情与责任感。在信息通信调度这种高强度、实时性要求强的工作环境中，适当的激励政策不仅能够增强团队凝聚力，减少人员流动，还能提升整体工作的稳定性与执行力。此外，激励机制不仅限于对个人的奖励，还应关注团队协作。通过设立团队绩效目标，成员间的相互合作与经验共享得以鼓励，从而实现整体绩效的提升。

3.4 技术创新与信息系统支持

在信息通信调度精益化管理的推进过程中，技术创新与信息系统支持是提升调度效率、优化资源配置、增强系统稳定性的关键因素。随着信息通信技术的迅速发展，传统的调度模式已无法满足现代高效、精准与智能化管理的需求，这促使调度系统必须依赖先进技术，不断进行创新与升级。引入智能化技术，如人工智能、大数据分析与云计算等，为调度精度与自动化水平的提升提供了强大支持。例如，人工智能算法通过对历史调度数据的深度学习，可以优化调度决策，提升任务分配的合理性及资源利用效率。大数据分析技术则能够实时监控调度系统的运行状况，对潜在风险进行预测和预警，及时调整调度方案，以降低突发事件对业务的影响。与此同时，云计算与边缘计算的结合使得调度系统更加灵活，信息流转效率得以提升，系统延迟被减少，整体响应速度得到增强。此外，信息系统的建设与优化也是技术创新的重要体现。高效的信息调度系统不仅要求具备强大的计算能力，还需实现数据的高度集成与可视化，以便调度人员能够快速、直观地获取关键信息并做出精准决策[4]。例如，通过建立统一的调度管理平台，各类调度数据、资源信息及实时监测情况得以整合进一个系统，从而实现信息的快速共享与协同调度。自动化运维与智能监控技术的引入，有助于提高调度系统的稳定性，减少人为干预所带来的误差，进而提升整体运行效率。随着物联网技术的广泛应用，调度系统通过连接各种智能终端，实现设备状态的实时监测、远程控制与智能调度。这不仅进一步增强了信息通信调度的灵活性，也提升了其可靠性。

4 结语

本研究深入分析了信息通信调度精益化管理的核心策略，探讨了在实际应用过程中可能面临的挑战，并提出了相应的解决对策。通过对流程优化、资源配置、标准化管理以及技术支持的有效应用，信息通信调度系统能够实现更高效、精准的运作，从而提升整体的管理水平与应急响应能力。尽管在实施过程中仍存在一些难点，但随着技术的持续进步与管理理念的不断更新，精益化管理将在信息通信调度领域发挥愈加重要的作用。为相关领域的理论研究及实践应用，本研究旨在提供参考，并为未来的持续优化与发展打下坚实的基础。

[参考文献]

[1]磨唯.通信调度精益化管理分析[J].计算机产品与流通,2019(12):44.
[2]于清阳,马聪琦.浅谈信息通信调度精益化管理[J].科技信息,2014(6):239.
[3]刘莹莹,张少威.信息通信调度精益化管理分析[J].黑龙江科技信息,2016(20):1.
[4]王明.关于信息通信调度精益化管理的研究[J].通讯世界,2014(19):16-17.

作者简介：刘贞辉（1994.5—），男，毕业院校：华北电力大学；所学专业：计算机技术，当前就职单位：国网山西省电力公司信息通信分公司，职称级别：中级工程师。

电力信息与通信技术融合发展趋势研究

费宇曦　樊明葆
北京中电飞华通信有限公司，北京 100100

[摘要]在当今社会，我国电力企业发展速度不断提高，不仅改变了民众的生活方式，对提高民众生活质量也有很大帮助。为了确保我国电力企业可以长久、稳定的发展下去，企业管理人员必须在内部开展改革工作，对电力通信技术进行创新，发挥电力系统最大价值，在社会中营造出高效、稳定的用电环境。以我国实际情况对电力信息与电力通信技术的融合进行分析可知，在实际融合过程中，技术人员会遇到一些问题，通过对其进行详细阐述，并提出了具体的解决方案，供技术人员参考使用。
[关键词]电力信息；通信技术；融合发展；发展趋势
DOI：10.33142/sca.v8i3.15811　　中图分类号：TP3　　文献标识码：A

Research on the Development Trend of Integration of Electric Power Information and Communication Technology

FEI Yuxi, FAN Mingbao
Beijing Zhongdian Feihua Communication Co., Ltd., Beijing, 100100, China

Abstract: In today's society, the development speed of Chinese power enterprises is constantly increasing, which not only changes the way of life of the people, but also greatly helps to improve their quality of life. In order to ensure the long-term and stable development of Chinese power enterprises, enterprise managers must carry out internal reform work, innovate power communication technology, maximize the value of the power system, and create an efficient and stable electricity environment in society. Based on the analysis of the integration of power information and power communication technology in Chinese actual situation, it can be seen that technical personnel will encounter some problems in the actual integration process. Through detailed explanation and specific solutions proposed for technical personnel's reference and use.
Keywords: electricity information; communications technology; integrated development; development trend

引言

随着信息技术的飞速发展，电力行业正在面临着前所未有的转型挑战。传统的电力生产、传输及管理模式，已难以满足日益增长的能源需求和日益严峻的环境保护要求。信息技术与通信技术的深度融合，为电力行业开辟了新的发展前景，催生了智能电网、数字化管理及自动化调度等创新应用。这样的一种融合，不仅在提升电力系统自动化水平方面取得了显著进展，而且在资源配置与管理效率优化上，带来了革命性的改进，极大地提高了电力生产与消费过程中的精细化管理。

面对全球能源转型的趋势，推动电力行业信息与通信技术的融合，已被视为提升电力系统运行效率及安全性的关键途径。它不仅是提升系统整体效能的关键，也是实现绿色、低碳发展的必然步骤。尤其是随着大数据、云计算、物联网及人工智能等技术的成熟，电力行业的数字化转型，已经进入了全新的阶段。这些前沿技术的应用，使得电力企业能够在负荷预测、优化调度等方面做得更加精准，同时，通过实时数据监控与远程控制，运营效率被显著提高，能耗被有效减少。深入探讨电力信息与通信技术融合的最新发展趋势，挖掘其技术应用的潜力与挑战，对于电力行业的未来发展、能源管理智能化以及绿色可持续性，具有至关重要的意义。

1 电力信息与电力通信技术融合现状

信息通信技术的发展，为电力企业提供了强有力的技术支持，并已全面渗透到企业的经营与管理中，逐渐成为电力企业的技术支柱。从电力设备建设、数据存储到电力技术管理，电力信息与电力通信技术的融合，产生了深远的影响。我国早已开始大力推动电力信息与通信技术的深度融合，并逐步朝着智能化和数字化的方向发展。随着人工智能的出现，电力信息与通信技术的融合已进入全面智能化的阶段，为电力企业的运营与管理提供了更加便捷和高效的支持。可以说，电力信息与电力通信技术的不断发展，不仅为电力行业带来了新的发展契机，也为电力企业的持续发展注入了强劲动力。

2 电力信息技术与电力通信技术融合的环境因素

2.1 经济因素

电力信息技术与电力通信技术的融合，受到多种环境因素的影响，其中经济因素占据了至关重要的地位。在全球经济快速发展的背景下，电力行业面临着日益增长的现代化需求，尤其是在提升能源使用效率和促进绿色低碳发

展的压力日益加剧。在此环境下，电力信息与通信技术的融合，已成为电力企业实现数字化转型的核心动力。随着经济的持续发展，对信息化与通信技术的投入在电力企业中不断加大，推动了传统电力生产与管理模式的深刻变革。信息技术与通信技术的结合，显著提高了电网的自动化水平，增强了电力供应的可靠性，优化了电力资源配置，并在一定程度上降低了企业的运营成本，从而创造了更高的经济效益。

尽管如此，经济因素也带来了挑战。在推动信息与通信技术融合的过程中，尤其是对于中小型电力企业来说，较大的资金压力可能会成为技术融合推进的瓶颈。初期的大规模投资，常常是制约企业发展的关键因素。此外，经济的不确定性也可能对相关技术的研发与应用产生深远影响。技术创新，通常需要稳定的资金支持，而在经济波动较大的情况下，资金紧张可能会限制企业在这一领域的投资。

2.2 文化环境

在文化环境的影响下，电力信息技术与电力通信技术的融合，展现出了多样化的特点。电力行业的企业文化与技术融合之间，存在着密切的关系。传统电力企业文化，通常强调稳定性与安全性，管理层对新技术的接受度相对较低，尤其是在引入信息技术与通信技术时，常常会面临固有观念与思维方式的抵触。在许多电力企业中，长期以来，手工操作与人工控制一直是主流，形成了一种“按部就班”的工作方式，这种传统文化根深蒂固，导致技术创新与变革的接受度较低。

而信息技术与通信技术的融合，要求各部门打破原有的技术壁垒，促进协作与共享文化的形成，这就需要克服传统管理文化中较为保守与封闭的特性。随着全球化及现代化进程的推进，电力行业的企业文化也正发生着转变。越来越多的企业开始重视创新与开放文化，积极鼓励员工学习新技术，并主动接受数字化转型。这种文化氛围，为电力信息与通信技术的融合提供了更为宽松的环境。然而，文化转型并非一蹴而就，尤其是在一些传统的大型电力企业中，文化变革通常需要较长时间才能完成[1]。此外，地区间的文化差异，也可能会对技术融合产生影响。部分地区，由于习惯与价值观的不同，对新兴技术的接受程度存在差异，从而影响了融合进程。

2.3 技术环境

电力信息技术与电力通信技术的融合，在技术环境中受到多重因素的影响。随着科技的飞速发展，信息技术与通信技术的持续创新，为电力行业的数字化转型提供了强有力的技术支撑。云计算、大数据、人工智能、物联网等先进技术的应用，极大地促进了电力信息与通信技术的深度整合。这些新兴技术，不仅提升了电力系统的数据处理能力和通信效率，还增强了电力企业在能源管理、故障诊断、负荷预测等方面的智能化水平。然而，技术环境的复杂性与动态变化，同样带来了相应的挑战。电力行业在引入新技术方面，常存在滞后现象，尤其是在一些地区，现有的老旧设施与技术架构，往往难以兼容新型信息技术和通信技术，从而影响了技术融合的效果。另一方面，技术标准与规范的缺乏，也是制约融合进程的因素之一。尽管我国在相关技术领域已建立了若干标准，但由于不同地区、不同企业之间技术水平的差异，统一的技术标准与规范仍然缺乏，导致了设备与系统之间的兼容性和互操作性不足。这个问题，不仅限制了新技术的推广速度，还妨碍了不同电力企业之间的信息共享与协作效率。此外，技术人才的短缺，也是影响技术环境的重要因素之一。随着新技术在电力行业的广泛应用，专业技术人才的需求日益增加，但在一些地区与企业中，专业人才的培养与引进，未能跟上技术进步的步伐，造成了技术环境中的人才瓶颈。

2.4 政策环境

政策环境，在电力信息技术与电力通信技术融合过程中，起到了至关重要的推动作用。随着国家对能源转型与电力行业升级的日益重视，相关政策逐步出台，旨在促进两者技术的深度融合。我国家政府，将电力信息化与智能电网建设，纳入了国家发展战略，并通过《智能电网发展规划》与《“十四五”能源发展规划》等一系列政策文件，明确要求加速电力系统的数字化与智能化转型，推动信息技术与通信技术的广泛应用。这些政策的实施，不仅为电力企业提供了清晰的发展方向，还通过资金支持与税收优惠，为技术创新提供了激励，鼓励企业加大研发力度[2]。同时，政府还通过行业改革与市场规范化，发挥了积极作用。行业标准的设立、监管政策的制定以及电力体制改革的实施，都进一步推动了信息技术与通信技术的深度融合。

3 电力信息与电力通信技术融合的几点融合策略

3.1 建立电力信息通信统一调度

建立电力信息通信统一调度平台是推动电力信息技术与电力通信技术融合的核心战略之一。在电力系统快速发展的背景下，传统调度模式已暴露出许多瓶颈，尤其是在电力供应和需求波动较大的环境中，如何确保调度指令能够迅速传达并高效执行，成为提升系统效率与稳定性的关键问题。通过构建统一调度平台，可以实现不同部门与区域之间的信息共享与协同，促进电力生产、传输、分配等环节的紧密连接。这个平台不仅需要整合电力信息技术与通信技术，还应具备处理各种实时数据的能力，如负荷预测、设备状态监测、系统运行参数等，进而形成全面的电力数据管理系统。借助统一调度平台，实时监控数据能够迅速反馈到调度中心，调度员根据精确的数据进行综合分析与优化决策，从而提高调度指令的准确性与时效性。此外，平台的自动化与智能化特性还支持大规模电网调度的复杂操作，特别是在面对紧急情况或突发事件时，调度

员可以迅速获取系统各环节的详细信息，及时作出调整，避免因信息滞后或传递不畅带来的风险。通过持续优化，平台还能够进一步提高电网的负荷均衡能力，减少电力浪费，增强电力系统的运行效率与安全性。

3.2 建立规范化的操作机制

建立规范化操作机制，是推动电力信息技术与电力通信技术融合的重要策略之一。在电力系统日益复杂与智能化的背景下，仅依赖各环节独立操作，已无法满足高效、稳定与安全的运行需求。为此，构建统一的操作机制，对于提升整体电力系统的协同效能，至关重要。规范化的操作机制，涉及操作流程、技术标准、安全保障等方面的全面标准化，确保各环节之间能够高效配合，避免由于人为因素或流程不一致所导致的潜在风险与资源浪费。在电力信息与通信技术融合的过程中，操作机制的规范化，主要体现在信息的标准化与统一化上。从数据采集、传输到处理分析的每个环节，都应遵循一致的技术标准与操作流程。例如，通信协议、数据格式及接口标准的统一，使得不同设备与系统能够实现互联互通，形成无缝衔接的工作流。此外，规范化的操作机制，还应包括完善的人员培训与管理体系，确保操作人员能够熟练掌握相关标准与流程，从而减少操作失误与沟通不畅所带来的问题[3]。与此同时，规范化的操作机制，还应具备灵活性与前瞻性，以适应电力系统的持续发展与新技术的引入。机制应能够及时调整与更新，确保其现代性与高适应性。

3.3 提高员工的技术基础培训

提高员工的技术基础培训，是推动电力信息与电力通信技术融合的关键策略之一。随着电力行业现代化进程的推进，信息技术与通信技术的深度融合，使得电力企业的员工，不仅需要掌握传统电力专业技能，还必须掌握新兴的技术工具与操作方法。在自动化、数字化与智能化技术日益普及的背景下，员工的技术素养，对系统的效率与安全，起着决定性作用。电力信息与通信技术的融合，涉及多个学科领域，如计算机网络、数据处理、通信协议与网络安全等，这对员工的技术能力提出了更高的要求。通过系统化的技术培训，员工能够掌握这些前沿技术，深入理解其工作原理，并能够熟练将其应用到实际生产中，从而有效应对日常工作中可能遇到的技术难题。随着智能电网与物联网的普及，电力系统中的设备与技术愈加复杂，这要求员工具备跨领域的知识储备与灵活的应变能力。定期进行技术培训，不仅能够提升员工的技术水平，还能增强其创新能力，提升面对系统故障或突发事件时的应对能力。培训内容，应包括新兴技术的基本原理、操作规范与实际应用场景，同时，应加强对数据分析与远程监控系统等高端技术的培训，确保员工具备解决复杂问题与维护系统稳定运行的能力。此外，技术培训应紧跟时代步伐，及时更新课程内容，关注技术进展，使员工能够在快速发展的技术环境中，保持竞争力。

3.4 实现电力信息资源共享

实现电力信息资源的共享，是电力信息与电力通信技术融合中的关键策略之一，旨在通过统一的网络平台与标准化接口，打破电力系统内各类信息资源的壁垒，推动信息的互通与共享。在传统电力系统中，由于各部门、设备及系统的独立性，信息孤岛现象往往被造成，进而使得数据难以高效、准确地传递与共享，影响了电力系统的优化调度与决策制定。随着信息技术与通信技术的不断发展，电力信息资源的共享，不仅能够有效消除这些信息壁垒，还能够加速数据流动与提升协同工作的效率。通过构建统一的信息管理平台，集成传感器、自动化控制设备及数据分析系统，电力系统中的实时数据、历史数据与设备运行状态等信息，可以被集中存储与处理，供不同部门与系统实时访问和利用[4]。此外，信息资源共享，能够显著提高电力企业的决策效率，帮助企业及时掌握电力生产、传输与分配等环节的运行情况，潜在风险的准确识别，得以实现，并能够采取有效的应对措施。同时，通过共享资源，电力公司能够加强设备监控、故障预警与远程维护，进而提高电力系统的稳定性与可靠性。

3.5 优化电网运行方式，合理安排检修计划

优化电网的运行方式与合理安排检修计划，是推动电力信息技术与电力通信技术融合的关键策略之一。其核心在于，通过现代信息技术对电网的运行状态进行全面监控、分析与预测，从而提升电网整体的运行效率，并确保检修计划的科学性与合理性。在传统电网运行模式中，通常依赖人工经验与传统调度手段，这可能导致电网运行不稳定或设备过度检修等问题。然而，通过电力信息与通信技术的融合，电网运行方式能够实现实时监控与智能化调度，电网的运行状态能够通过实时采集各类设备数据，得到精确分析，从而作出更加精准的决策。这不仅保证了电网运行的稳定性，还有效避免了因设备故障或突发事故而导致的停电问题。同时，检修计划的合理安排，也得以更加科学与高效地实施。借助大数据分析与人工智能技术，电力企业能够准确预测电网设备的老化情况与潜在故障风险，从而在问题发生之前，预防性维护措施能够被及时采取，设备故障率得以降低，并且设备的使用寿命得以延长。

4 结语

随着电力信息与通信技术的不断融合，电力行业正迎接智能化与自动化发展的新机遇。信息技术与通信技术的深度整合，显著提升了电力系统的运行效率、可靠性与安全性，同时推动了电力产业在节能减排、资源配置优化以及服务质量提升等方面，取得了显著进展。尽管这一融合发展带来了诸多优势，行业仍面临着技术整合、标准化、数据安全等方面的挑战。展望未来，电力信息与通信技术，将在智能电网、电力大数据、云计算等前沿技术的推动下，

继续为电力行业的绿色、低碳与智能化转型提供支持。为实现这一目标，行业应加强技术研发、推进标准化建设、注重人才培养，并促进跨领域合作，整体创新能力的提升，成为关键。在各方的共同努力下，电力信息与通信技术的融合，将为电力行业的可持续发展提供坚实的技术基础，并为全球能源革命的推进，做出积极贡献。

[参考文献]

[1]李鑫,刘辉.电力信息与通信技术融合发展趋势研究[N].广东科技报,2025-01-17(14).
[2]张光荣.电力信息与电力通信技术的融合[J].现代工业经济和信息化,2022,12(5):89-90.
[3]姚杭平.信息与通信技术在电力系统的融合措施[J].信息化建设,2021(5):59.
[4]谢扬飞.电力信息技术与电力通信技术融合策略分析[J].通讯世界,2020,27(4):32-33.

作者简介：费宇曦（1985.3—），毕业院校：北京化工大学，所学专业：工商管理，当前就职单位：北京中电飞华通信有限公司，职务：项目经理，职称：初级。

电力通信系统中的信息传输技术与发展趋势

陈若男　冯妍妍　孟妍群　刘 妍
国网河南省电力公司郑州供电公司，河南 郑州 450000

[摘要]当前电力通信系统正面临着数字化和智能化的挑战与机遇。信息传输技术作为系统的核心，其创新与发展直接影响到电力系统的运行效率和安全性。文中通过分析现有的传输技术、探讨最新的研发动态，并对未来的发展趋势进行预测，为电力通信行业的技术升级和策略调整提供参考。

[关键词]信息传输技术；电力通信；数字化；智能化；安全性
DOI：10.33142/sca.v8i3.15810　　中图分类号：TM73　　文献标识码：A

Information Transmission Technology and Development Trends in Power Communication System

CHEN Ruonan, FENG Yanyan, MENG Yanqun, LIU Yan
Zhengzhou Power Supply Company of State Grid He’nan Electric Power Company, Zhengzhou, He’nan, 450000, China

Abstract: The current power communication system is facing challenges and opportunities of digitization and intelligence. As the core of the system, the innovation and development of information transmission technology directly affect the operational efficiency and safety of the power system. The article analyzes existing transmission technologies, explores the latest research and development trends, and predicts future development trends, providing reference for the technological upgrading and strategic adjustment of the power communication industry.

Keywords: information transmission technology; electric power communication; digitization; intelligentization; safety

引言

随着科技的进步和社会的发展，电力通信系统的作用日益凸显。信息传输技术是保障电力系统稳定运行的关键，本文将系统分析其发展历程、现状及未来的发展趋势，以期为行业提供发展方向和改进策略。

1 当前电力通信系统中的信息传输技术

1.1 基础传输技术的应用

光纤通信作为一种高速、高效的传输技术，已经在电力通信系统中得到了广泛应用。其主要优势在于提供超高带宽、低衰减和强抗干扰能力，尤其适用于电力系统中的远程通信、长时间数据传输和高稳定性需求。光纤通信能够满足电力系统在实时监控、自动化控制、负荷调度等领域的高数据传输要求，确保电力网络的高效运行。在复杂的电力系统环境中，光纤通信凭借其低延迟和高带宽的特点，能够保障传输过程中的数据稳定性与安全性。此外，随着光纤技术的持续进步，光纤的传输性能和系统的可靠性不断提升，不仅提升了网络的运行效率，还为电力行业在智能电网建设、设备远程监控等方面提供了更为可靠的技术支撑。正因如此，光纤通信在电力行业中得到了广泛的青睐，并逐步成为电力通信的核心技术之一。

无线射频通信：无线射频通信技术在电力通信系统中具有重要地位，特别是在无法铺设有线传输的场所，如山区、偏远地区以及设备监控点。射频通信利用无线电波传输信号，具有安装简便、灵活性高的特点，能够解决电力设施部署中的空间限制问题。特别是在电力设备的监控和远程控制中，无线射频技术可以实现实时数据传输，大大提高了电力系统的运作效率。射频通信技术与其他无线技术结合，例如 Wi-Fi 和 ZigBee 技术，能够实现多元化的应用，进一步提升系统的智能化和自动化水平[1]。

1.2 高级技术的集成应用

4G/5G 在电力系统中的应用：随着通信技术的飞速发展，4G 和 5G 技术逐渐渗透到电力通信系统中。4G 技术提供的高速数据传输能力，尤其适用于电力系统中的远程监控、智能电表数据采集、负荷预测等任务。而 5G 技术则因其更低的延迟、更高的带宽和更强的连接能力，成为未来电力通信系统的重要发展方向。5G 能够支持更大规模的设备连接，使电力系统在智能化、电网自动化等方面得到大幅提升。此外，5G 技术还能够增强电力系统的灵活性和可扩展性，为未来的智能电网、分布式能源管理等提供有力支持。

云计算与大数据技术的结合，为电力通信系统带来了革命性的变革。云计算通过提供灵活、可扩展的计算资源，使电力公司能够以更低的成本和更高的效率，处理和存储海量的电力数据。这不仅显著提升了数据存储的便捷性和安全性，还使得实时监控、数据分析与决策更加高效，为电力系统的智能化管理提供了强有力的支持。云平台的应用能够使电力公司集中管理分布式数据，突破了传统信息传输的瓶颈，提升了数据的流动性和共享能力。大数据技

术则通过对海量电力数据的深入挖掘，帮助电力公司从中发现潜在的规律和趋势，进行精准的负荷预测、故障诊断和电网调度优化。利用大数据分析，电力系统能够更准确地预测用电负荷波动，提前识别设备故障风险，从而采取预防措施，减少电力系统的停运和故障时间。结合云计算和大数据技术，电力通信系统不仅具备了更高的可扩展性和灵活性，还能够应对未来日益增长的数据需求。

2 技术创新与应用案例分析

2.1 创新技术的研究动态

量子通信在电力通信中的前景：量子通信作为一种前沿技术，凭借其独特的量子加密特性，为电力通信系统的安全性提供了全新的解决方案。传统通信系统面临着数据窃取和黑客攻击的风险，而量子通信利用量子态的不可克隆性和量子叠加原理，能够实现信息的绝对保密性。在电力通信领域，量子通信技术的应用可以有效解决传输过程中可能出现的安全隐患，特别是在跨区域、长距离的电力系统数据传输中，确保关键信息的安全性。目前，量子通信技术仍处于研究和实验阶段，但随着量子计算技术的突破，预计在未来几年内，量子通信将会逐步应用于电力通信系统，提升电力系统在智能电网中的数据传输安全性和可靠性[2]。

载波通信技术的更新换代：载波通信技术作为电力系统中重要的信息传输技术之一，近年来也经历了重要的创新与升级。传统的载波通信技术已经不能满足现代电力系统对数据传输速率和带宽的需求，因此，新的载波通信技术正在向高速、低延迟、抗干扰等方向发展。通过优化载波的调制方式和增加载波的频谱效率，新一代载波通信技术能够大幅提高电力系统中数据传输的速度和可靠性，尤其是在高电压和长距离的电力网络中表现尤为突出。此外，载波通信技术与其他新型传输技术的融合，如 5G、光纤通信等，正在推动电力通信系统向着更高效、更智能的方向发展。

2.2 应用案例分析

智能电网的通信需求：智能电网作为未来电力系统的重要组成部分，其核心特征之一就是数据驱动的自动化与智能化管理。电力通信系统在智能电网中扮演着至关重要的角色，它需要满足实时性、可靠性和大规模设备互联等多个通信需求。例如，智能电表、分布式发电单元、储能设备等都需要通过高效的通信系统进行数据交换，实现实时监控与动态调整。智能电网不仅要求数据传输的带宽和速度满足高速传输的需求，还需要在高并发、大数据量的环境下保证通信的稳定性。因此，电力通信系统的创新技术，特别是 4G/5G、云计算、大数据分析和物联网技术的集成，成为智能电网实现高效运行的关键。

实时数据处理与传输的成功案例：在电力通信领域，实时数据处理和传输的应用已取得显著成果。以某地区智能电网项目为例，该项目通过采用光纤通信、4G/5G 和云计算技术，成功实现了对电网运行状态、设备故障和负荷变化等关键数据的实时监测与处理。在这个项目中，通过实时传输设备运行数据，电力调度中心能够快速响应突发事件，减少了设备故障停运时间，优化了电力资源的调度与分配，提高了电网的运行效率。此外，该项目还利用大数据技术对历史数据进行分析，预测负荷需求变化，从而实现了更加精准的电力分配和节能减排。这一成功案例展示了电力通信系统中实时数据传输和处理技术的巨大潜力，也为未来的电力通信创新提供了实践依据。

3 面临的主要挑战与对策

3.1 技术面临的挑战

信息安全问题：随着电力通信系统的智能化程度逐步提高，信息安全问题成为一个日益严峻的挑战。电力通信系统涉及到大量敏感的运营数据，如负荷信息、设备状态以及用户数据等，这些数据一旦遭到窃取或篡改，将对电力系统的稳定运行和国家能源安全造成严重影响。尤其是在智能电网、远程监控和自动化控制等应用中，通信链路的安全性至关重要。网络攻击手段不断升级，如 DDoS 攻击、恶意软件入侵、数据窃取等，增加了信息传输过程中的潜在风险。因此，加强电力通信系统的安全防护，确保数据传输的保密性、完整性和可用性，已成为电力行业亟需解决的问题。

技术更新的快速性：电力通信技术的发展速度日新月异，新技术的不断涌现使得电力行业在技术选择和应用上面临着巨大的压力。从传统的光纤通信到 4G/5G、量子通信、人工智能、大数据等一系列新兴技术的出现，电力通信系统的技术升级不断加速。对于电力公司而言，如何在短时间内适应并有效整合这些新技术，既能提高系统效率，又能保持成本效益，是一个难题。技术更新的速度可能导致系统设备的生命周期缩短，增加了电力企业的投资成本和技术维护难度。因此，如何平衡技术创新与实际应用需求，确保电力通信系统的技术稳定性和可持续性，是电力通信面临的重要挑战[3]。

3.2 对策与建议

加强信息安全措施：针对电力通信系统中信息安全问题，首先需要加强网络防护措施。采用加密技术、身份认证机制以及安全协议，确保数据传输过程中的安全性。其次，要建立健全的安全监控体系，实时监测系统的运行状态，及时发现并应对潜在的安全威胁。此外，采用量子通信、区块链等新兴安全技术，也可以为电力通信提供更为强大的安全保障。最后，电力企业应定期开展安全评估和渗透测试，增强对外部攻击的防范能力，同时加强员工的安全意识培训，提升整个团队的安全防护能力。

促进技术标准化和模块化：面对技术更新的快速性，电力通信系统亟需推动技术标准化和模块化进程。标准化

能够确保不同厂商的设备和技术能够互联互通，提高系统的兼容性与扩展性。制定统一的技术标准，不仅可以降低设备采购和维护成本，还能提高系统的整体稳定性和可管理性。模块化则能够简化系统的设计和部署，使得电力通信系统能够灵活适应不断变化的技术需求和市场环境。通过模块化设计，电力公司可以根据实际需要，快速集成和升级不同的通信技术和设备，从而应对技术更新的挑战。总之，标准化和模块化将为电力通信系统提供更加灵活、高效的技术架构，确保其在未来的快速发展中保持竞争力。

4 未来发展趋势预测

4.1 技术发展趋势

向 AI 集成的方向发展：随着人工智能（AI）技术的不断成熟，电力通信系统将在未来朝着与 AI 深度集成的方向发展。AI 可以帮助电力通信系统在数据处理、故障预测、资源优化等方面实现智能化操作。例如，AI 可以通过对大量电力数据的实时分析，预测电力负荷变化、设备故障以及电力需求趋势，从而实现精准调度和预警。此外，AI 技术还可以应用于电力通信网络的自适应优化，在发生网络拥塞或传输故障时，智能调整数据传输路径，提高通信效率和网络稳定性。随着 AI 技术与电力通信系统的融合，电力系统将变得更加智能化、自主化，为电力行业的可持续发展提供强大动力[4]。

绿色能源和可持续技术的应用：随着全球对环境保护和可持续发展的重视，绿色能源和可持续技术将成为电力通信系统发展的一个重要方向。电力通信系统作为能源传输的核心部分，其环保性和能源效率也备受关注。在未来，采用低功耗、绿色能源驱动的通信设备将成为主流。例如，利用太阳能、风能等可再生能源为电力通信设备提供动力，既能够减少对传统能源的依赖，又能降低电力通信系统的碳排放。此外，绿色通信技术的应用还将体现在网络设备的低能耗设计上，推动电力通信系统的节能减排，为全球节能环保目标的实现作出贡献。

4.2 行业发展趋势

电力通信行业的数字化转型：电力通信行业的数字化转型将是未来发展的核心趋势之一。随着信息化技术的不断推进，电力通信系统将从传统的模拟模式向数字化模式过渡。数字化转型能够显著提高电力通信系统的可靠性、智能化水平和数据处理能力。通过数字化技术，电力通信系统能够实现全程监控、远程操作和实时数据分析，从而提升电力系统的调度效率和安全性。此外，数字化转型还能够为电力企业提供更精确的数据支持，帮助其在节能、减排、设备维护等方面做出更为科学的决策。电力通信行业的数字化转型不仅是技术发展的需求，也是行业提升竞争力和应对未来挑战的必由之路。

全球合作与技术共享的重要性：随着全球化进程的不断加快，电力通信行业的国际合作与技术共享将变得愈加重要。在全球范围内，电力系统正在朝着智能化、数字化的方向发展，不同国家和地区的电力通信系统技术需求和发展方向存在差异。因此，加强全球范围内的技术合作与共享，能够推动电力通信行业的共同发展。通过合作，世界各国可以共享先进的通信技术、成功的应用案例以及宝贵的实践经验，从而加速电力通信技术的创新与推广。未来，电力通信企业将更多地通过国际合作，不仅在技术上获取突破，同时在市场拓展和标准制定等方面寻求更广泛的共识，为全球电力行业的可持续发展作出贡献。

5 结束语

电力通信系统在保障电力安全、提高运行效率方面发挥着至关重要的作用。随着技术的不断发展，AI、绿色能源、5G 等新兴技术将深刻影响电力通信行业的未来。面对信息安全、技术更新等挑战，电力企业需要加强安全防护、推动技术标准化与模块化。数字化转型与全球合作将成为行业发展的关键驱动力。只有通过技术创新与国际合作，电力通信系统才能更好地适应智能电网和可持续发展的需求，推动电力行业向更高效、绿色的未来迈进。

[参考文献]

[1]刘立同,郑海彬,郑方航,等.电力系统中 WAPI 无线通信技术运用分析[J].中国信息界,2024(9):79-81.
[2]崔健,夏实秋,袁华骏.通信技术在电力检修信息传输与远程监控中的应用[J].电子技术,2024,53(9):306-307.
[3]项俊栋,方赟朋,姚海燕,等.量子通信技术在电力信息系统保密传输中的应用研究[J].数字通信世界,2024(6):149-151.
[4]刘骏,严婧婷.5G 移动通信技术在电力通信系统的应用分析[J].中国新通信,2021,23(18):9-10.

作者简介：陈若男（1993.2—），女，河南新郑，汉族，硕士研究生，中级电力工程师，就职于国网郑州供电公司，从事通信运维检修工作。

基于移动设备的无线视频会议系统的设计与实现

刘中迪
国网山西省电力公司信息通信分公司，山西 太原 030000

[摘要]随着移动设备和无线网络技术的快速发展，基于移动设备的无线视频会议系统越来越受到各行各业的关注。该系统使得用户能够随时随地进行高质量的远程会议，打破了传统视频会议对固定设备和场地的依赖。本论文主要研究了基于移动设备的无线视频会议系统的设计与实现，涉及系统架构、硬件选择、软件开发、网络协议、安全性等方面。通过对系统的测试与评估，验证了其在提高会议效率和用户体验方面的优势，证明了该系统在实际应用中的可行性和稳定性。

[关键词]移动设备；无线视频会议；系统设计与实现
DOI：10.33142/sca.v8i3.15791　　中图分类号：TN948.63　　文献标识码：A

Design and Implementation of Wireless Video Conference System Based on Mobile Devices

LIU Zhongdi
Information and Communication Branch of State Grid Shanxi Electric Power Company, Taiyuan, Shanxi, 030000, China

Abstract: With the rapid development of mobile devices and wireless network technology, wireless video conferencing systems based on mobile devices are receiving increasing attention from various industries. This system enables users to conduct high-quality remote meetings anytime, anywhere, breaking the traditional dependence of video conferencing on fixed devices and venues. This paper mainly studies the design and implementation of a wireless video conferencing system based on mobile devices, involving system architecture, hardware selection, software development, network protocols, security, and other aspects. Through testing and evaluation of the system, its advantages in improving meeting efficiency and user experience have been verified, proving the feasibility and stability of the system in practical application.

Keywords: mobile devices; wireless video conference; system design and implementation

引言

随着信息技术的迅猛发展以及全球化进程的加快，远程协作和虚拟会议已成为现代企业和机构沟通、决策的重要手段。尤其在全球疫情的影响下，视频会议系统逐渐成为日常工作中不可或缺的一部分。尽管传统的桌面视频会议在稳定性与功能性方面较为成熟，但其灵活性和适应性方面仍然存在一定局限。随着移动设备的普及以及无线网络技术的提升，基于移动设备的无线视频会议系统已逐渐成为市场发展的趋势。该系统能够突破地理位置和设备的限制，提供更高的灵活性，并有效结合了移动设备的便捷性与无线网络的高效性，使用户能够随时随地进行高质量的视频会议。本文旨在探讨如何设计与实现基于移动设备的无线视频会议系统，重点研究在移动设备上实现高清音视频传输、稳定网络连接及高效会议管理的技术方法。系统架构设计、硬件与软件开发、网络通信协议以及数据安全等多个方面，将被详细分析，探讨其在实际应用中的性能表现及优化策略。通过对该系统的研究与开发，期望为视频会议技术的未来发展提供参考，推动移动设备与无线技术在商务、教育、医疗等领域的广泛应用。

1 移动设备在无线视频会议中的作用

随着智能手机、平板电脑等移动设备性能的不断提升，移动设备在无线视频会议中的作用变得愈加重要。它们已被确立为现代远程沟通与协作的核心工具。通过无线网络连接，用户不再受限于特定地点和硬件设备，随时随地均能参与视频会议。这种高度的灵活性和便捷性显著提升了工作效率。在商务、教育、医疗等多个领域，跨地域、跨时区的实时沟通，得到了移动设备提供的可靠技术支持，打破了传统的空间限制。借助移动设备的优势，无线视频会议系统使远程交流不再局限于桌面端，任何地方的参与者，只要拥有网络连接，就能通过手机或平板进行无缝互动。此外，移动设备配备的高清摄像头、麦克风与扬声器等硬件设施，有效保障了音视频质量，提供了更清晰、流畅的会议体验。作为视频会议的接入端，移动设备不仅具备了触摸屏操作、实时共享文件与资料、虚拟背景切换等丰富的互动功能，而且大大增强了会议的互动性与参与感。随着 5G 网络技术的广泛应用以及无线传输带宽的提升，移动设备在视频会议中的应用场景与效果将进一步扩展，逐步成为现代通信与协作过程中不可或缺的一部分。

2 移动设备的无线视频会议系统的设计

2.1 系统架构设计

移动设备无线视频会议系统的架构设计是保证系统稳定性与高效性的关键。在架构设计过程中，设备端、服务器端与网络三者之间的协同配合，必须被综合考虑。设备端，主要包括智能手机、平板等移动终端，负责视频与

音频的采集、图像处理与显示等功能，同时通过无线网络进行实时数据传输。服务器端则承担数据流的管理、视频编码与解码、用户身份验证、会议管理等任务，确保视频和音频信号在各参与者之间稳定传输，并支持文件共享、屏幕共享等附加功能。此外，系统架构应具备良好的网络适应性，能够自动根据网络状况调整带宽，并优化视频质量。即使在网络波动较大的情况下，流畅的运行也应得以保证。为了保障系统的安全性，设计中还需要融入数据加密、身份认证、防火墙等安全措施，以确保用户数据的隐私与安全[1]。同时，系统架构还应具备较强的可扩展性，能够根据用户数量的增加或功能需求的变化进行灵活调整与扩展，从而适应未来的发展趋势。

2.2 硬件设计与选择

在设计移动设备无线视频会议系统时，硬件选择与设计是确保系统性能和稳定性的重要因素。硬件设备必须具备足够的处理能力、存储空间以及高效的数据传输速率，以满足高质量音视频处理及实时数据传输的需求。处理器的选择，需具备强大的运算能力，以支持视频编解码、音频处理、图像渲染等多个任务的顺畅运行。同时，内存与存储容量需满足较大的数据处理需求，从而防止出现卡顿或系统崩溃的现象。对于摄像头与麦克风等关键设备，它们的分辨率、清晰度、灵敏度及抗干扰能力，在保证音视频质量方面起着至关重要的作用。高清摄像头能够提供清晰且细腻的视频画面，且支持动态场景切换与广角拍摄，而高质量的麦克风则能够准确捕捉语音，同时有效减少背景噪音，从而提高语音的清晰度。

为了确保视频会议的流畅性，移动设备需要配备高速数据传输的无线网络模块，如 Wi-Fi 6 或 5G，以便在网络环境不稳定的情况下，维持稳定的高质量视频通话。此外，电池续航能力在移动设备的设计中也占据着重要地位，长时间的会议要求设备具备足够的电池容量，以确保在会议期间不会因电量不足而中断。

2.3 软件设计与开发

在移动设备无线视频会议系统的设计中，软件的开发与设计起着至关重要的作用，直接关系到系统功能的实现、用户体验的流畅度以及会议效率的提升。软件系统需具备高效的音视频编解码能力、良好的网络适应性及用户友好的界面设计。音视频编解码算法的选择，是影响系统性能的关键。合理的算法不仅能保证视频质量，同时还需在尽可能减少数据传输量的情况下，适应无线网络带宽的波动与限制。为了确保音视频传输的稳定性与实时性，系统应具备根据网络状况自适应带宽的能力，能够动态调整视频清晰度及音频延迟，从而避免画面卡顿或音频延迟等问题。考虑到移动设备的操作系统与硬件环境各异，软件设计必须具备较强的兼容性，以支持不同操作系统（如 Android、iOS）及硬件配置，确保不同设备的用户都能顺畅使用系统。用户界面的设计应简洁且直观，尤其是在视频会议过程中，便捷的操作与友好的界面能够显著降低用户的学习成本，帮助用户更专注于会议内容，而非操作界面的复杂性。

2.4 网络与通信协议设计

在移动设备无线视频会议系统的设计中，网络与通信协议的设计至关重要，直接影响到数据传输的稳定性、音视频质量的高效性以及系统的整体性能。由于无线网络环境的复杂性与带宽限制，通信协议必须具备足够的灵活性，以适应各种不同的网络条件，确保音视频数据的实时传输与系统的高可用性。网络协议应具备高效的数据传输能力与低延迟的实时通信性能。相比于 TCP 协议，UDP（用户数据报协议）更适合用于实时音视频传输，因为 UDP 能够降低数据传输的延迟，避免 TCP 协议中的重传机制所带来的延时[2]。为了适应不同网络环境的变化，系统应具备智能带宽调节功能，能够根据实时的网络状况自动调整音视频的质量，优化数据传输效率，从而确保在网络条件较差时，卡顿或延迟现象能够被有效避免。为了保障会议数据的安全，通信协议还应集成加密算法，如 SSL/TLS 加密协议，以确保音视频数据及用户信息在传输过程中得到有效保护，防止数据泄露或非法入侵。对于支持多方视频会议的需求，系统应采用高效的媒体传输协议（如 WebRTC、RTP/RTCP 协议），确保多方音视频数据能够同步并流畅地进行传输。

2.5 数据安全与加密设计

在移动设备无线视频会议系统的设计中，数据安全与加密是关键要素，特别是在面对日益严峻的网络安全威胁及数据泄露风险的背景下。无线视频会议系统涉及大量敏感信息，包括与会者的个人资料、会议内容、实时音视频数据以及共享文件等。传输过程中，这些信息必须得到充分的保护，以防止未经授权的访问与数据篡改。为了确保系统的安全性，数据加密成为至关重要的一环。音视频数据应采用端到端加密技术，从发送端到接收端的数据传输过程中的内容，必须不被第三方窃听或篡改。常见的加密算法，如 AES（高级加密标准）和 RSA（非对称加密算法），能够有效保障视频与音频流的安全性。为了确保用户身份与授权管理的安全，身份验证机制，如多因素认证（MFA）与单点登录（SSO），应被集成到系统中，确保只有授权用户能够参与会议并访问相关资料。在防止数据泄露与篡改方面，会议中的所有文件传输与共享数据，必须经过加密，确保文件在上传、下载及共享过程中保持安全。加密通信不仅应在数据传输过程中提供保护，还应涵盖存储数据的加密，以防止数据泄露或非法访问。

3 移动设备的无线视频会议系统的实现

3.1 开发环境与工具

在实现移动设备无线视频会议系统时，选择合适的开发环境与工具，对确保系统的高效性、稳定性及易用性，起着至关重要的作用。开发环境的选择，需考虑目标平台的特点。例如，iOS 与 Android 是当前最主流的移动设备操作系统。iOS 应用开发通常依赖于 Xcode 作为集成开发环境

（IDE），而 Android 应用开发，则以 Android Studio 为主流工具。为了实现跨平台兼容性，开发人员还可选择 React Native 或 Flutter 等跨平台开发框架，这些框架支持在单一代码库中同时为多个平台构建应用，能够显著减少开发时间与维护成本。在音视频处理方面，视频会议系统的核心功能之一是实时音视频通话，因此，通常会选择成熟的实时音视频开发工具包（SDK）或框架。工具如 Agora、Twilio 与 WebRTC 等，为音视频通话、实时数据传输及流媒体处理提供了稳定的支持。在网络通信方面，数据交互通常会通过 HTTP/HTTPS 协议进行，同时结合 WebSocket 或 UDP 等协议进行实时通信，以确保低延迟与高效的数据传输。

3.2 移动设备端实现

在实现移动设备端的无线视频会议系统时，确保应用能够在不同类型的移动设备上顺利运行，至关重要。这些设备包括智能手机、平板等，且必须在 iOS 与 Android 平台上保持稳定的性能。为了确保音视频通信的流畅，实时音视频通信 SDK，如 Agora 或 WebRTC，通常会被集成，这些工具为音视频数据的采集、编解码、传输等环节提供了强有力的支持。摄像头与麦克风通过相应的接口与 SDK 进行交互，采集到的视频与音频信号将被实时处理后，通过网络进行传输。用户界面的设计，是移动端实现中的一个关键环节。界面需保持简洁直观，操作流畅，使得用户能够轻松进行常见操作，如加入或发起会议、切换视频和音频输入源、共享屏幕等功能。为了提升用户体验，设备资源的管理必须得到特别关注，确保合理分配内存与电池使用，以避免在视频会议过程中发生卡顿或电量消耗过快的情况。考虑到音视频质量可能受到不同网络环境的影响，系统应根据实时网络状况进行自适应调整[3]。例如，视频分辨率或音频码率的调整，将被用以保证会议的稳定性。在网络连接方面，移动设备端需要支持 Wi-Fi、4G/5G 等各种网络类型，并采用 WebSocket、UDP 等适配的网络协议，以确保通信的低延迟与高稳定性。

3.3 网络优化与带宽管理

在移动设备的无线视频会议系统中，网络优化及带宽管理，对于确保音视频质量和会议稳定性，至关重要。无线网络环境的不稳定性，尤其是在使用移动网络时，可能会受到波动、延迟、丢包等因素的影响，从而影响带宽的稳定性。因此，必须采取针对性的措施来提升网络性能。实时监控带宽使用情况，系统需要具备，并根据网络条件动态调整音频与视频的分辨率、码率等参数，以适应不同带宽环境。在带宽受限的情况下，视频质量将自动降低，确保音频的流畅传输，以满足基本的沟通需求；而在网络条件较好的情况下，视频质量将得到提升，提供更清晰的音视频体验。网络优化的另一个关键措施，是利用 UDP 协议及自适应编码技术来降低传输延迟，确保音视频数据能够及时到达。为了避免网络延迟及带宽拥堵，系统还应支持多路径传输技术，使得能够在不同网络接口之间灵活切换，例如，利用 Wi-Fi 与 4G/5G 网络的协同工作来优化带宽分配，确保通信的稳定性。在复杂的网络环境中，带宽管理及优先级控制机制，同样重要。通过 QoS（服务质量）机制，系统可对不同类型的数据流进行优先级划分，确保音视频数据流优先传输，避免非关键数据流对通信质量的干扰。

4 系统测试与性能评估

系统测试与性能评估，是确保移动设备无线视频会议系统稳定性和可靠性的重要环节。通过对系统各模块的全面测试，潜在问题可以及时被发现，并进行必要的优化和改进。测试内容应涵盖音视频质量、网络连接稳定性、设备兼容性以及系统负载能力等方面。在音视频质量的测试中，不同网络环境与带宽条件应被模拟，以评估系统在各种质量下的表现。重点测试的内容包括画面清晰度、声音同步性和延迟情况，确保即便在网络波动较大的情况下，流畅的音视频传输仍能被保持。此外，网络连接的稳定性，亦需重点测试，尤其是面对高延迟和高丢包率的网络环境，评估系统在这些恶劣条件下的适应能力与容错性[4]。设备兼容性测试同样重要，确保系统能够兼容多种型号及不同操作系统的移动设备，为用户提供一致的体验。对于性能评估而言，重点在于系统资源的消耗及负载能力。通过压力测试模拟大量并发用户情况，服务器、客户端及网络的承载能力将得到评估，从而保证在大规模使用时，系统仍能保持高效运作。

5 结语

通过对基于移动设备的无线视频会议系统设计与实现的研究，本文提出了一种高效、便捷的解决方案，旨在提升远程沟通的质量与效率。在硬件选型、软件开发、网络优化以及数据安全等多个方面，系统进行了细致的设计，确保了视频会议的稳定性、流畅性以及安全性。测试结果表明，在不同使用环境下，系统能够满足需求，为用户提供一个可靠的远程协作平台。尽管系统已具备较高的稳定性与性能，但随着技术的不断进步，未来在提升用户体验、增强系统安全性以及优化网络带宽管理等方面，仍有进一步改进的空间。

[参考文献]

[1]徐静.基于移动设备的无线视频会议系统的设计与实现[D].陕西:西北工业大学,2007.
[2]张新院.移动式无线视频监控系统的设计[D].陕西:陕西科技大学,2013.
[3]崔瑞琳.移动互联网视频监控应用分析[J].电信技术,2013(2):9-11.
[4]赵易时.基于人工智能的无线视频会议智能交互技术研究[J].长江信息通信,2024,37(12):90-92.

作者简介：刘中迪（1995.6—），男，毕业院校：中国科学院大学，所学专业：电子与通信工程，当前就职单位：国网山西省电力公司信息通信分公司，职称级别：中级工程师。

光传输设备在电力通信系统中的集成调试分析

常 婧
国网长治供电公司信息通信公司，山西 长治 046011

[摘要]随着电力行业对数据传输速度与稳定性提出越来越高的要求，传统的通信方式已无法满足大规模、长距离及高速传输的需求。凭借其优越的带宽、低延迟及强抗干扰能力，光纤通信已成为电力通信系统中的首选技术。光传输设备的高效集成与调试在保障系统的稳定性与可靠性方面起着至关重要的作用。在实际应用中，由于设备种类繁多且参数配置复杂，集成调试显得尤为关键。为了确保光传输系统的最佳性能，必须在设备正确安装与配置的基础上，进行细致的调试与性能评估。因此，光传输设备的集成调试已成为电力通信系统建设中不可或缺的一环。

[关键词]光传输设备；电力通信系统；调试
DOI：10.33142/sca.v8i3.15789　　中图分类号：TM73　　文献标识码：A

Integrated Debugging Analysis of Optical Transmission Equipment in Power Communication System

CHANG Jing
Information and Communication Company of State Grid Changzhi Power Supply Company, Changzhi, Shanxi, 046011, China

Abstract: With the increasing demand for data transmission speed and stability in the power industry, traditional communication methods are no longer able to meet the needs of large-scale, long-distance, and high-speed transmission. With its superior bandwidth, low latency, and strong anti-interference ability, fiber optic communication has become the preferred technology in power communication systems. The efficient integration and debugging of optical transmission equipment play a crucial role in ensuring the stability and reliability of the system. In practical applications, due to the wide variety of devices and complex parameter configurations, integrated debugging is particularly crucial. In order to ensure the optimal performance of the optical transmission system, it is necessary to conduct detailed debugging and performance evaluation based on the correct installation and configuration of the equipment. Therefore, the integrated debugging of optical transmission equipment has become an indispensable part of the construction of power communication systems.

Keywords: optical transmission equipment; electric power communication system; debugging

引言

随着电力系统向智能化和自动化转型，通信技术的需求日益增加。光纤通信因其高效性与可靠性，已经广泛应用于电力系统的各个领域。作为高速信号传输的核心组件，光传输设备在电力通信系统中发挥着至关重要的作用。为了确保其稳定性、可靠性与高效性，集成调试成为保障系统正常运行的重要环节。集成调试不仅涵盖了硬件连接与光信号优化，还包括光纤质量检测、环境控制等多个方面。这个过程对提升电力通信系统的整体性能、延长设备使用寿命以及减少故障率具有重要意义。

1 电力通信系统对光传输设备的要求

电力通信系统对光传输设备的要求极为严苛，涉及高带宽、低延迟、稳定性及抗干扰等多个关键方面。作为实现大规模数据传输与高速信号处理的基础，高带宽显得尤为重要。随着电力系统数据传输需求的日益增加，光纤通信凭借其卓越的带宽优势已成为首选技术。低延迟在电力系统中的实时监控与调度中扮演着至关重要的角色，任何延迟都会影响到电网的安全与稳定性。因此，光传输设备必须能够在极短的时间内完成信号传输与处理，确保信息能够快速且准确地传递。

与此同时，设备的稳定性不可忽视，尤其是在电力环境的复杂条件下，无论面对高温、潮湿或强电磁干扰，设备都应保持优异的性能，避免发生掉线或故障现象。电力系统中的任何通信中断，往往都能带来严重后果，这也进一步加大了对设备稳定性的需求。另外，抗干扰能力是光传输设备的另一项至关重要的要求，外部因素如电磁干扰和环境噪声常常威胁着信号的完整性与清晰度，因此，设备必须能够有效地抑制这些干扰，确保数据传输的准确性，这些要求相辅相成，共同决定了光传输设备的选择标准，直接影响着电力通信系统的高效运行与系统安全的保障。

2 光传输设备在电力通信系统中集成调试方法

2.1 硬件连接与系统布线

光传输设备在电力通信系统中的集成调试，起步于硬件连接与系统布线。这一环节不仅是调试工作的基础，还直接影响后续测试与优化的顺利进行。光纤连接是其中的关键步骤，涉及将光纤精确地连接至光源、光放大器、光

调制器、光解调器及光检测器等核心组件，确保信号在各个环节稳定传输。在连接过程中，需特别留意光纤插拔的稳固性，避免因接触不良导致信号衰减或丢失。光纤质量的检查同样至关重要，决定了系统的整体性能与稳定性。调试前必须对光纤进行严格的质量检测，评估其光学特性，如损耗、反射以及带宽等，以确保光纤符合传输要求。为此，通常需要使用专用的光学测试设备，例如光功率计和光时域反射仪，精确测量光纤的各项参数，以确认其符合系统要求。系统布线在调试过程中同样占有重要地位，规范且整洁的布线设计对调试及后续维护至关重要。布线时，需根据系统的拓扑结构进行合理规划，确保各设备之间的连接清晰且不冗余，避免线路复杂化带来潜在的故障风险。同时，合理布置线路路径有助于减少电磁干扰，提高信号质量。每一环节的精确实施，为后续的调试与优化工作奠定了坚实基础，确保光传输设备能够在电力通信系统中稳定高效地运行。

2.2 光信号调试与优化

光信号调试与优化在光传输设备集成调试中占据核心地位，它对信号质量与传输效率产生直接影响。光源调节是优化过程中的关键步骤，涉及到对输出功率、波长及稳定性的精确控制。根据传输距离与系统带宽要求调整光源，可以确保信号的强度与光纤传输能力相匹配，避免信号失真或衰减。尤其在长距离传输中，合理的光源设置能够最大化传输性能，减少信号损失。与光源调节同步进行的还有光放大器的增益调节，光放大器在长距离传输中弥补了信号衰减，其增益必须根据线路的实际需求进行精确设定。过高的增益可能导致信号过载或失真，增益不足则会影响信号传输的有效性。因此，必须根据实际情况对增益进行精准调整，以确保信号传输的稳定性与效率。光调制器和光解调器的调试对信号的编码与解码过程至关重要，它们直接影响数据在光纤中的传输效率。在调试过程中，光调制器的调节应考虑信号类型和带宽要求，选择合适的调制方式；光解调器则需要保证正确解码，避免因调试失误导致数据错误。信号完整性测试同样不可忽视，通过对多频率、多幅度的光信号进行测试，可以实时监控传输过程中的误码率及失真情况，及时做出调整。光传输系统的调试还需进行全面的性能评估，使用光功率计、光谱仪等合适的光学测试设备，精确测量光信号的功率、频率响应与带宽等关键参数，这些数据分析帮助识别传输过程中潜在的技术问题，为后续的优化提供依据。

2.3 光纤质量与性能检测

光纤质量是确保光传输设备稳定运行的根本，直接决定了数据传输的质量与可靠性。在电力通信系统中，光纤质量不仅为硬件连接提供基础保障，还对整体系统性能的优化起着至关重要的作用。评估光纤质量的首要步骤是分析其物理特性，包括损耗、反射、弯曲半径等参数。这些因素不仅会影响信号传输效率，还可能导致信号的衰减或误差。为确保光纤的最佳性能，常用的测试工具包括光时域反射仪（OTDR）与光功率计。通过 OTDR，能够精确识别光纤中微小的损耗与反射点，定位光纤中的潜在问题，如接头不良、裂纹或弯曲过度等。通过分析时域反射图，工程师可以迅速发现问题并进行修复。光功率计则用于测量光信号的功率水平，以确保光纤传输中的信号强度不会因过大损耗而无法正常传输。光纤的传输带宽也是一个关键指标，它与光纤的材料、结构、长度及传输波长等因素密切相关。通过光谱仪的测试，可以深入分析光纤在不同波长下的传输特性，进而评估光纤的带宽能力。如果现有光纤的带宽无法满足高数据传输要求，可能需要更换更高性能的光纤或调整系统设计。除了对基本物理特性进行评估外，还应进行环境适应性测试，光纤在不同环境条件下的表现差异可能显著影响系统的稳定性。例如，温度变化、湿度波动或机械应力等外部因素会对光纤的传输性能产生一定影响。因此，在实际使用环境中进行可靠性测试尤为重要，以确保光纤在复杂环境下仍能稳定工作。

2.4 光传输系统的集成调试步骤

光传输系统的集成调试是确保系统稳定高效运行的核心步骤，涉及多个环节，要求精细操作与严格监控。调试始于硬件连接检查，确保光传输设备与光纤线路正确连接，并利用光时域反射仪（OTDR）等工具检测光纤连接质量，排除裂纹、损伤或接头问题。接下来，调节光源输出功率，以保证信号强度既不失真，又满足传输距离需求。同时，根据需求调整光放大器增益，确保信号强度适宜。光调制器和光解调器的参数也需精确调节，确保信号编码解码准确。系统稳定性测试紧随其后，使用示波器、光功率计等设备监测信号强度与质量，特别是通过误码率（BER）测试验证长时间高负载下的信号传输稳定性。环境控制在调试中同样重要，需确保测试环境的温湿度稳定，避免电磁与光学干扰影响测试结果。最后，进行整体性能验证，确保每个模块发挥最佳功能，满足设计要求，并进行微调，确保系统长期稳定运行。

3 集成调试结果评估

3.1 性能评估标准与指标

集成调试结果的评估是验证光传输系统性能是否达到设计标准的关键步骤。为了确保系统的高效、稳定运行，评估标准与指标必须具备科学性和针对性，能够准确反映系统的整体表现。常见的评估指标包括误码率（BER）、信号衰减、带宽以及延迟等，这些因素直接决定了光传输系统的性能水平。误码率（BER）是评估数据传输质量的核心指标，反映了接收数据中出现错误的比率。BER 值越小，表示系统的数据传输质量越高，稳定性也越强。当误码率低于 10^～9 时，系统的传输质量通常被视为合格[1]。在集成调试过程中，通过多轮测试确保误码率保持在合理范围，进一步验证了系统的可靠性。信号衰减是光信号在传

输过程中逐渐减弱的现象，尤其在长距离传输或连接不良时，信号强度明显下降。为了评估衰减程度，常采用光功率计进行测量，确保衰减值不超过设计容许的范围。过高的信号衰减不仅会导致信号失真，还可能影响传输的有效性，进而干扰系统的正常运行。带宽则是光传输系统可以承载的数据量或信号传输的频率范围，带宽的大小决定了系统的传输速率。带宽越大系统所支持的传输速度也就越高，通过带宽测试，可验证系统在高负载条件下是否满足数据传输速率的要求，尤其在高流量传输时，带宽的性能表现尤为关键。延迟是光信号从源端传输到目的端所需的时间，低延迟是确保实时通信与高效数据处理的基础，过高的延迟可能导致电力通信系统响应滞后，影响系统的实时性与可靠性。通过延迟测试，可以确保系统在不同情况下及时响应，维持其高效运行。通过对上述评估标准与指标的综合分析，光传输系统的整体性能得以全面了解，为后续的优化与改进提供了宝贵的参考。

3.2 误码率与传输距离的关系

误码率（BER）与传输距离之间存在着密切的关联，通常随着传输距离的增加，误码率会逐渐升高。这一现象的主要原因在于光信号在传输过程中会受到多种因素的干扰，包括信号衰减、色散效应以及噪声等。随着传输距离的增加，信号质量遭遇的损失和干扰也相应增多，从而导致接收端信号的错误率上升。具体而言，光信号在长距离传输中会逐步减弱，导致信噪比（SNR）下降，进而影响信号的有效传输。这使得接收端在解调过程中更容易产生错误，进而导致误码率的上升[2]。同时，色散效应在高速传输中的影响尤为显著，信号波形的失真加大了接收端准确判定信号的难度，进而增加了误码发生的概率。为了有效控制误码率并延长有效传输距离，通常需要采取一系列优化措施。常见的做法包括使用光放大器对信号衰减进行补偿，或通过调整光源的功率增强信号强度。此外，采用高效的调制解调技术可以有效缓解色散的影响，引入前向纠错（FEC）技术也是减少错误传输的有效途径。这些技术措施有助于降低误码率，增强系统的传输能力及其稳定性。在实际应用中，通常通过实验数据验证不同传输距离下误码率的变化，并据此为系统设计提供重要依据。通过合理规划传输距离及优化系统参数，可以在确保通信质量的前提下，提高系统整体的性能。

3.3 带宽与频率性能分析

带宽与频率性能是光传输系统中的两个至关重要的参数，它们直接影响系统的数据传输速率和整体效能。带宽通常表示系统能够支持的最大信号频率范围，而频率性能则反映了系统在特定频率下处理信号的能力。二者密切相关，带宽的增大通常意味着系统传输数据能力的提升，但频率性能的优化同样在系统表现中占据重要地位[3]。在光纤通信中，带宽与信号传输速率呈正相关。带宽越大，系统所能处理的数据量越多，尤其在高速数据传输场景下，这一特性显得尤为重要。然而，带宽的提升并非不受限制，光纤的物理特性等因素，尤其是色散与非线性效应，会对带宽的进一步扩展产生影响。色散会导致不同频率的信号传播速度不一致，进而影响信号的传播质量；而非线性效应则可能引发信号失真或衰减，从而限制了系统频率性能的发挥。频率性能的分析重点通常集中在几个关键因素上。色散是其中一个主要影响因素，特别是在高速传输环境下，色散会导致信号波形的展宽，产生失真，进而影响信号质量。此外，光纤中的非线性效应，诸如自相干效应和交叉相干效应，可能在高功率传输过程中对频率性能产生负面影响，进一步降低信号传输的稳定性。为了有效解决这些问题，通常会采取多种技术措施来优化带宽和频率性能。例如，色散补偿光纤（DCF）可用于减少色散效应，而通过采用如相位调制、正交频分复用等先进的调制技术，可以有效提高频率资源的利用率，减少信号失真。这些技术手段的综合应用，不仅提升了光传输系统在高带宽和高频率条件下的稳定性，还显著增强了其传输能力。

4 结语

光传输设备的集成调试是确保电力通信系统稳定运行的关键环节，通过对硬件连接的精细调整、光信号的优化以及光纤性能的全面检测，系统的传输质量可以显著提升，误差与干扰也得以有效减少。总结了相关的调试方法与评估标准，为设备优化和技术改进提供了坚实的理论依据。随着技术不断进步，未来的光传输系统将在传输速率、传输距离及抗干扰能力等方面达到更为卓越的水平。集成调试不仅为设备的安装过程奠定了坚实的基础，更是提升整个系统性能的核心环节。

[参考文献]

[1]王殿君.光传输设备在电力通信系统中的集成调试分析[J].电子技术,2024,53(4):392-393.
[2]殷文杰.小议光传输设备在电力系统通信中的应用[J].流体测量与控制,2022,3(6):6-9.
[3]熊筠野.对光传输设备在电力系统通信中的研究[J].通信电源技术,2020,37(7):196-198.

作者简介：常婧（1995.4—），女，毕业院校：大连海事大学，所学专业：信息与通信工程，当前就职单位：国网长治供电公司信息通信公司，职称级别：中级工程师。

计算机联锁系统在铁路信号控制中的应用研究

徐栋梁
国能新准铁路有限责任公司，内蒙古 鄂尔多斯 017010

[摘要]计算机联锁系统在铁路信号控制中起着至关重要的作用，通过高效的自动化管理，实现了对铁路信号的精准控制和安全保障。该系统利用计算机技术对信号设备进行实时监控和调度，提高了铁路运输的安全性和运行效率。结合铁路运营需求，计算机联锁系统能智能化地处理复杂的铁路设备状态、故障诊断和数据传输，有效降低人为操作错误，减少交通事故的发生，确保了铁路运行的平稳和安全。

[关键词]计算机联锁系统；铁路信号；自动化控制；安全保障；故障诊断
DOI：10.33142/sca.v8i3.15777　　中图分类号：U284　　文献标识码：A

Research on the Application of Computer Interlocking System in Railway Signal Control

XU Dongliang
Guoneng Xinzhun Railway Co., Ltd., Ordos, Inner Mongolia, 017010, China

Abstract: Computer interlocking systems play a crucial role in railway signal control, achieving precise control and safety assurance of railway signals through efficient automation management. This system utilizes computer technology to monitor and schedule signal equipment in real-time, improving the safety and operational efficiency of railway transportation. Based on the needs of railway operation, computer interlocking systems can intelligently handle complex railway equipment status, fault diagnosis, and data transmission, effectively reducing human operation errors, minimizing the occurrence of traffic accidents, and ensuring the smooth and safe operation of railways.

Keywords: computer interlocking system; railway signal; automated control; safety guarantee; fault diagnosis

引言

随着铁路运输的高速发展，信号控制系统的安全性和可靠性成为确保铁路运营顺畅的关键。传统的人工操作和单一控制手段已难以满足现代铁路高效、安全运行的需求。计算机联锁系统作为一种先进的技术手段，凭借其智能化、自动化的优势，在铁路信号控制中发挥着越来越重要的作用。它不仅提升了信号设备的运行效率，还有效避免了人为操作错误，为铁路运输的安全性提供了有力保障。探索这一系统的应用，对推动铁路行业的技术进步具有重要意义。

1 计算机联锁系统概述与发展历程

计算机联锁系统在铁路信号控制中的应用，推动了铁路运输的安全性和高效性。随着技术的进步，该系统已经成为现代铁路运营不可或缺的重要组成部分。

1.1 计算机联锁系统的定义与基本原理

计算机联锁系统是一种基于计算机技术的自动化控制系统，主要用于铁路信号设备的管理与调度。其核心功能是通过计算机实时监控和处理信号设备的数据，确保铁路交通的安全和顺畅。该系统采用联锁原理，即通过对各个信号设备之间的关系进行综合分析与控制，防止在不同设备之间发生冲突，避免事故发生。通过计算机智能化处理，系统能够在复杂的铁路环境中高效运行，提高了信号控制的精准性和安全性[1]。

1.2 计算机联锁系统的发展历程

计算机联锁系统的研发始于 20 世纪 60 年代，当时的主要目的是将传统的机械联锁系统进行电子化和自动化改造。最初的计算机联锁系统仅具备基础的信号控制功能，系统架构相对简单。随着计算机技术和通信技术的不断进步，计算机联锁系统逐渐发展为集成化、高效能的自动化管理平台。进入 21 世纪后，随着铁路运输需求的快速增长和安全要求的提高，计算机联锁系统的技术不断升级，功能不断增强，从单一的信号控制拓展到设备状态监控、故障诊断、远程控制等多方面的应用。

1.3 计算机联锁系统的应用现状与前景

目前，计算机联锁系统已经在全球范围内广泛应用于铁路信号控制中，尤其是在大规模的铁路网络中。通过集成先进的计算机技术、传感器技术、无线通信技术和大数据分析技术，计算机联锁系统不仅提高了铁路信号的可靠性，还实现了对铁路设备的全程监控与故障预警。未来，随着人工智能、物联网等新兴技术的不断发展，计算机联锁系统有望进一步提升智能化水平，实现更加精确、高效的信号控制，并在铁路行业的安全管理中发挥更加重要的作用。

2 计算机联锁系统在铁路信号控制中的核心功能

计算机联锁系统作为铁路信号控制的重要组成部分，

具有多种核心功能。它不仅提高了信号控制的安全性和效率，还为铁路运输提供了坚实的技术保障。

2.1 信号设备的实时监控与调度

计算机联锁系统的一个重要功能是对铁路信号设备进行实时监控和调度。传统的信号控制系统主要依靠人工进行监控和调整，这样不仅效率低下，而且容易发生人为错误。而计算机联锁系统则通过计算机和传感器技术，将各个信号设备的工作状态实时传输到控制中心。控制人员可以随时获取设备的运行信息，发现潜在故障并及时处理，极大提升了铁路信号的运行安全性与稳定性。通过该系统，铁路交通管理可以实现精确的信号调度，有效避免了由于信号错误或延误造成的交通事故。

2.2 设备状态监测与故障预警

计算机联锁系统还具有设备状态监测与故障预警的功能。系统内置的诊断模块能够实时检测铁路信号设备的各项指标，如电压、电流、温度等数据。一旦发现设备出现异常，系统便能自动发出警报并标明故障位置，及时提醒工作人员进行检修和维护。这一功能使得铁路部门能够在设备发生故障之前进行预警，避免了设备突然故障带来的交通停运和安全隐患。此外，系统还能够记录故障历史，帮助管理人员对设备进行定期维护和更换，确保铁路信号系统始终处于最佳运行状态[2]。

2.3 自动化控制与智能决策

计算机联锁系统的自动化控制与智能决策功能是其另一个显著特点。通过对铁路网络的实时数据进行综合分析，系统能够自动进行信号调度和设备管理。例如，在列车运行过程中，系统会根据列车的当前位置、速度、路线和其他相关因素，自动调整信号灯的显示状态，以确保列车按照安全的时间间隔行驶。对于复杂的铁路网络，计算机联锁系统还能够进行智能决策，根据实时的铁路运行状况和紧急情况，自动调整线路设置，避免发生冲突和拥堵。此外，系统能够与其他交通控制系统协同工作，实现全网的统一管理与协调。

通过这些核心功能，计算机联锁系统不仅提高了铁路信号控制的自动化水平，还显著增强了铁路运输的安全性与高效性，成为现代铁路运输中不可或缺的技术保障。

3 计算机联锁系统的技术原理与实现方式

计算机联锁系统的技术原理和实现方式是其高效、安全运行的基础。深入理解这些原理及其实现方式，有助于提升铁路信号控制系统的整体性能和可靠性。

3.1 系统架构与组成

计算机联锁系统的基本架构通常由信号设备、传感器、控制计算机、数据传输网络等多个组成部分构成。信号设备负责向系统传输实时数据，传感器则通过采集信号设备的运行信息，反馈给控制计算机。控制计算机通过处理这些数据来实现信号调度和设备管理。数据传输网络则保障信息的高速、可靠传输，确保系统各个模块之间的实时协调。系统通过集成化设计，将这些组件有机地结合在一起，形成一个协同工作、智能化高效的信号控制平台[3]。

3.2 联锁原理与智能化控制

计算机联锁系统的核心技术原理是联锁原理，即通过对信号设备和轨道的状态进行综合分析，保证各设备之间的操作顺序，防止发生冲突或事故。在传统的机械联锁系统中，操作人员需要通过手动调整信号来避免冲突，而计算机联锁系统则通过计算机自动完成这一过程。通过智能化控制，系统可以根据列车运行状态、信号设备的工作情况以及线路状况，自动生成最安全、最有效的信号控制指令。系统能够根据不同情况做出实时判断，确保信号切换的精准性，避免由于人为干预产生的误差。

3.3 数据处理与故障诊断技术

数据处理与故障诊断技术是计算机联锁系统实现智能控制和安全保障的另一项关键技术。系统通过对实时数据的深度分析，能够实现对设备运行状态的全面监测。一旦发现异常，系统能够通过自我诊断功能进行定位并发出预警。故障诊断技术依赖于高精度的数据传感与分析算法，能在设备出现故障之前进行准确预测和报警，从而有效避免了事故发生。这些技术可以通过大数据分析手段不断优化和提升，为铁路信号控制系统提供全方位的技术保障。此外，系统的自适应调整能力，使其能够随着铁路网络的不断变化进行灵活调整，进一步提升了系统的稳定性与安全性。

通过上述技术原理和实现方式，计算机联锁系统在铁路信号控制中的应用可以实现更高的自动化水平，保障铁路运输的安全性和高效性。

4 计算机联锁系统对铁路信号安全性的提升作用

计算机联锁系统通过智能化控制与自动化管理，有效提升了铁路信号的安全性。这些技术的应用极大地减少了人为错误，确保了铁路运输的稳定与安全。

4.1 防止信号冲突与提高运行精度

计算机联锁系统通过对信号设备和线路的实时监控，能够在复杂的铁路环境中自动判断各设备之间的关系，防止信号冲突或设备操作错误。传统的铁路信号控制往往依赖于人工调度，容易出现因人为失误或信息传递滞后导致的信号错误。计算机联锁系统采用智能化的自动调度模式，可以对多条线路、多个信号设备进行协调管理，确保信号切换的准确性和实时性。通过系统自动判断列车间距和线路状况，精确控制信号显示，确保了列车间隔的安全，减少了因信号冲突或误操作造成的安全事故。

4.2 实时故障监控与预警机制

计算机联锁系统在提高铁路信号安全性方面还发挥着至关重要的作用，尤其是在故障诊断与预警方面。系统通过全面监测信号设备的各项运行数据，如温度、压力、

电流等参数，及时识别设备故障的早期迹象。传统信号系统往往依赖人工巡检，而计算机联锁系统通过实时数据采集和分析，可以在设备出现问题时立即发出警报。系统不仅能精准定位故障部位，还能自动生成修复建议，为维修人员提供及时有效的信息。此预警机制能够在设备故障发生前做出响应，减少了由于设备故障造成的事故，显著提高了铁路运输的安全性[4]。

4.3 智能决策与应急处理能力

计算机联锁系统具备的智能决策与应急处理能力，极大地增强了铁路信号控制的安全性。当铁路系统中发生突发事件或复杂情况时，计算机联锁系统能够通过快速的数据分析和智能算法，做出最优决策。例如，在列车发生突发停运或遇到恶劣天气等情况下，系统能够自动调整信号，重新规划列车行驶路线，避免可能发生的交通事故。系统还能快速响应应急情况，根据实时数据动态调整信号灯状态和列车调度，从而保障乘客和货物的安全。这种智能决策和应急处理功能，不仅减少了人为干预的可能性，还提升了系统的反应速度和处理效率，使铁路运输更加安全可靠。

通过这些核心技术，计算机联锁系统在提升铁路信号安全性方面发挥了至关重要的作用，确保了铁路交通在快速发展的同时，能够保持高效、安全的运营水平。

5 未来计算机联锁系统在铁路信号控制中的发展趋势

随着科技的不断进步，计算机联锁系统的技术不断创新，未来的发展将使铁路信号控制更加智能化、高效化，为铁路行业的安全与发展提供强有力的支撑。

5.1 智能化与人工智能的深度融合

未来计算机联锁系统将进一步融合人工智能技术，提升系统的智能决策能力。通过深度学习和机器学习算法，系统可以在更复杂的铁路网络环境中进行更加精准的信号预测与调度。基于大数据分析，人工智能可以实时学习并优化信号控制策略，提升系统的自适应能力，减少人为干预，提高整体运行效率。人工智能的引入将使计算机联锁系统更具备预测功能，能够在复杂的环境下快速做出决策，预防潜在风险，为铁路交通提供更强大的保障。

5.2 物联网与 5G 技术的应用拓展

随着物联网（IoT）和 5G 技术的迅猛发展，计算机联锁系统的应用范围将进一步拓展，信息传输的速度和精度将得到大幅提升。通过物联网技术，铁路信号控制系统能够实现更广泛的设备互联，系统能够实时收集和传输各类设备的运行数据，为决策提供更多的信息支持。5G 技术将加速数据的实时传输，使系统能够在更短的时间内响应信号变化和设备状况，增强应急处理能力。在 5G 和物联网的支持下，计算机联锁系统的响应时间将更加迅速，系统的运行效率和稳定性也将显著提高。

5.3 无人化与远程控制的实现

未来计算机联锁系统还将进一步推进无人化和远程控制的应用。随着自动化技术的成熟，铁路信号控制将逐步实现无人值守，计算机联锁系统可以通过远程控制平台对铁路信号设备进行全面管理与调度，减少了人工操作的复杂性和安全隐患。此外，结合自动化检测和诊断技术，系统能够实时对设备状态进行评估，并在发现问题时自动发出警报。通过智能化、远程化的手段，铁路信号控制将变得更加高效、安全，并能够降低运营成本[5]。

随着智能化、物联网和自动化技术的持续发展，未来计算机联锁系统将在铁路信号控制中发挥更大的作用，为铁路运输的安全、高效和智能化提供更加坚实的技术支撑。

6 结语

计算机联锁系统在铁路信号控制中的应用，显著提升了铁路运输的安全性和效率。通过智能化、自动化的技术手段，系统能够精确调度信号设备，实时监控和预警，减少人为错误，保障铁路交通顺畅运行。未来，随着人工智能、物联网和 5G 技术的不断融合，计算机联锁系统将变得更加智能、高效，推动铁路信号控制向无人化、远程化方向发展。不断优化的技术将为铁路行业的安全运营提供更加坚实的保障，促进铁路运输系统的现代化与智能化。

[参考文献]

[1]闫宏伟,吴歆彦,黄程辉,等.铁路信号电缆监测系统研究[J].铁路工程技术与经济,2024,39(6):11-15.
[2]李媛婧.轨道交通信号控制系统的技术分析[J].电子技术,2024,53(9):326-327.
[3]周奇鹏.探析通信设备与数字技术结合对铁路信号技术的促进作用[J].中国宽带,2024,20(8):46-48.
[4]董文武.铁路信号机房数字化转型方案探讨[J].铁路通信信号工程技术,2024,21(7):27-33.
[5]何志彬.基于冗余结构与算法容错的云联锁安全保障技术及测试验证研究[D].北京:中国铁道科学研究院,2024.

作者简介：徐栋梁（1983.7—），男，毕业院校：天津科技大学，所学专业：法学，当前就职单位：国能新准铁路有限责任公司，职务：铁路信号工，职称级别：助理工程师。

电力应急卫星通信系统的运维保障及优化策略

闫晓鹏
国网山西省电力公司信息通信分公司，山西 太原 030000

[摘要]电力应急卫星通信系统依托卫星技术，克服了传统通信方式在无法覆盖或失效时所带来的局限性，确保了在突发情况下，现场信息能够迅速传递，并为指挥决策提供有力支持。随着技术的不断发展，系统逐步整合了 MESH 自组网、智能单兵等先进技术，形成了一个高度集成的应急通信网络。尽管技术在不断更新，系统在稳定性、快速恢复能力以及数据安全等方面仍面临着不小的挑战。由此，如何实施有效的运维保障与优化，已成为提升应急响应能力的关键研究方向。

[关键词]电力应急；卫星通信系统；运维保障；优化策略
DOI：10.33142/sca.v8i3.15790　　中图分类号：TP319　　文献标识码：A

Operation and Optimization Strategies for Power Emergency Satellite Communication System

YAN Xiaopeng
Information and Communication Branch of State Grid Shanxi Electric Power Company, Taiyuan, Shanxi, 030000, China

Abstract: The power emergency satellite communication system relies on satellite technology to overcome the limitations of traditional communication methods when they cannot be covered or fail, ensuring that on-site information can be quickly transmitted in case of emergencies and providing strong support for command and decision-making. With the continuous development of technology, the system gradually integrates advanced technologies such as MESH self-organizing network and intelligent individual soldiers, forming a highly integrated emergency communication network. Despite continuous technological updates, the system still faces significant challenges in terms of stability, fast recovery capabilities, and data security. Therefore, how to implement effective operation and maintenance support and optimization has become a key research direction for improving emergency response capabilities.

Keywords: power emergency; satellite communication system; operation and maintenance support; optimization strategy

引言

随着社会对电力需求的不断增长，电力系统的稳定性显得愈加重要。突如其来的自然灾害或电力故障等事件，常常对系统的正常运行构成严峻威胁。在这样的情况下，电力应急卫星通信系统作为关键的应急通信工具，确保了在恶劣环境中能有效进行联络并作出及时响应。如何提高该系统的稳定性与效率，已经成为电力行业亟待解决的核心问题。

1 电力应急卫星通信系统概述

电力应急卫星通信系统旨在满足电力行业在突发事件及重大活动中对电力保障的紧急需求。通过应用一系列先进的通信技术与设备，系统确保在紧急情况下，电力企业与应急指挥中心之间能够保持畅通的语音、视频传输与指挥调度。系统的组成包括便携指挥箱、MESH 自组网、智能单兵设备、集群对讲设备以及可视化指挥调度平台等多种技术元素。这些技术的整合使得电力应急通信不仅能提供大带宽、稳定的无线覆盖，还能在应急电网、日常巡检等不同场景中实现音视频数据的实时传输与现场指挥任务的执行。通过结合多种现代无线通信技术，该系统构建了一个高度集成、灵活且高效的应急通信网络，它主要由四个核心部分构成：前端应急现场通信系统、前线指挥部系统、后方指挥中心系统以及支撑系统。前端应急现场通信系统包括便携式 MESH 基站、中继台、头盔式智能单兵、窄带对讲设备及无人机自组网等设备，这些工具能够在应急现场迅速建立局部无线通信网络，确保信息的实时采集与传输。前线指挥部系统由便携式三屏指挥箱、可视化指挥调度平台、车载自组网基站、多卡聚合路由器及便携卫星站等设备组成。该系统充当现场与后方指挥中心之间的信息桥梁，负责接收并处理现场信息，同时将指挥中心的指令及时传递到应急现场。后方指挥中心系统是电力应急通信的核心，整合了多媒体软交换、集群对讲及视频监控等资源，支持全方位的调度与管理。决策人员可通过此系统实时掌握现场动态，确保精准的指挥调度。支撑系统则依赖应急电源设备，如柴油发电机及 UPS 电源，在电网停电等突发情况下确保通信设备能够持续运行，保障整个系统的稳定性。

2 电力应急卫星通信系统保障策略

2.1 系统安全保障

电力应急卫星通信系统的安全保障是其在紧急情况下稳定运行的根本保障。系统必须具备强大的网络安全防护措施，以有效抵御外部攻击、数据泄露或非法入侵。为此，系统采用了多层次的安全技术手段，包括加密通信、

身份认证及访问控制等，以确保数据在传输过程中不会被篡改或截取。同时，配备的入侵检测系统和防火墙等设施，能够实时监控网络状态，在发现潜在安全威胁时迅速响应，确保系统的安全性不受影响。通信设备的安全性同样至关重要，电力应急卫星通信系统依赖的卫星终端、MESH 基站、集群对讲设备等硬件设备，需要具备强大的抗干扰能力及抗物理破坏能力。这些设备通常部署在复杂且恶劣的应急现场，设计防护措施必须能够应对极端天气、物理冲击及电磁干扰等各种挑战。为了确保设备的长期稳定运行，定期检查与维护是必要的，以确保它们始终处于最佳工作状态。同样重要的还有应急预案与容灾机制的建设，通信中断时系统会自动切换至备用通道，确保信息传输不中断。例如，卫星通信系统能够通过地面站的备份链路迅速恢复，确保指挥中心与现场之间的通信畅通无阻。通过这些安全保障措施，电力应急卫星通信系统在各种极端情况下，仍能维持其稳定性与可靠性。

2.2 故障应急处理

在电力应急卫星通信系统中，故障应急处理能力是确保高效应急响应的核心要素。为了在紧急情况下迅速恢复通信，系统必须建立详尽的故障预案，并具备快速定位与修复故障的能力。实时监控功能应当配备在系统中，集中平台能够对各个通信节点及设备进行状态检测，及时发现潜在的异常并发出预警。一旦发生故障，操作人员能够迅速识别问题的具体位置及性质，从而减少排查时间，确保采取及时的应对措施。当面临硬件故障时，如卫星终端损坏或基站停运，冗余链路与模块化设计能够有效减轻故障带来的影响。系统会自动切换至备用链路，保证通信不中断。同时，便携设备与中继站能迅速搭建起临时网络，确保应急指挥工作顺利开展。在出现软件故障或网络异常时，系统具备自动诊断与自我修复能力，能够通过动态调整带宽与流量缓解通信拥堵，确保应急决策不受影响。对于较为复杂的软件问题，远程平台可用于进行诊断与修复，若问题无法远程解决，技术人员则可前往现场处理。为进一步提升故障应急响应能力，系统应定期组织故障演练。通过模拟不同类型的故障情境，操作人员的应急应对能力将得以提升，从而确保在真实紧急情况下，通信能迅速恢复。

2.3 数据保护与备份

在电力应急卫星通信系统中，保障数据安全至关重要。突发事件中，关键信息的丢失或泄露可能导致严重的决策后果。因此，必须建立全面的数据保护与备份机制，确保数据的安全存储、可靠传输，并能在系统故障发生时迅速恢复。加密技术作为确保信息安全的基础，所有传输的内容，无论是语音、视频还是指令信息，都应采用先进的加密算法，防止数据在传输过程中遭到窃取或篡改。考虑到卫星通信的广泛信号覆盖范围，数据加密尤为重要，它能够保证即使数据遭到非法访问，也无法被解读或滥用。数据备份则是确保系统稳定运行的核心要素。系统应实时备份所有重要数据，并定期进行全量备份，以便主存储设备发生故障时，能够迅速切换至备用系统，避免数据丢失或通信中断。为了减少风险，备份数据应分散存储于不同的地理位置，从而降低集中存储所带来的安全隐患。为了最大限度减少人为错误，自动化备份功能应当成为系统的关键组成部分。通过合理配置备份周期与设备，能够确保关键数据优先进行备份，并在灾难发生时，迅速恢复系统运行，保障持续稳定的服务。同样，数据完整性校验至关重要，通过采用哈希算法等技术手段，可有效检测数据在传输或存储过程中是否遭到篡改或损坏，确保应急决策的准确性与可靠性。

3 电力应急卫星通信系统优化策略

3.1 网络优化

在电力应急卫星通信系统中，网络优化是确保通信效率、减少延迟及维持数据传输稳定性的核心策略。突发事件发生时，通信环境往往复杂且充满压力，这要求系统在有限资源下依然能够保持高效稳定运行，从而迅速响应紧急情况。优化网络不仅提升现有通信网络的性能，还能有效应对多样化的通信需求与挑战。带宽管理在网络优化中占有至关重要的位置，由于卫星通信带宽有限，紧急情况下需要传输大量的语音、视频及数据，系统必须在有限的带宽内实现资源的最大化利用。通过动态带宽分配，系统可根据实时需求灵活调整带宽。例如，在紧急指挥调度时，语音和视频对带宽的需求较为紧急，系统能够自动分配更多资源以保障指挥通信畅通；而对于非关键数据，则可能通过压缩或延迟传输来确保关键通信不受影响[1]。优化路由选择同样重要，这一措施能显著提升通信效率。优化后的路由算法能确保数据在最短时间内到达目的地，特别是在网络结构复杂或存在多个中转节点时。智能路由算法能够有效避开网络瓶颈或拥堵，降低通信延迟，确保现场与后方指挥中心之间的通信迅速且精准。为避免通信中断或信号干扰，网络冗余设计也是一项重要的优化措施，系统应具备多路径备份能力，通过设置多个通信链路或备用卫星通道，主链路故障时能够自动切换至备用链路，确保通信不中断。这一冗余机制提升了系统的可靠性，并在极端情况下提供了额外保障。负载均衡同样是网络优化的关键手段。在应急情况下，多个通信节点可能同时需要传输大量数据，易造成部分节点过载。借助负载均衡技术，流量能够高效地分配到多个节点或设备，从而避免单一节点承载过多流量，提升整个网络的承载能力，确保数据高效且流畅地传输。

3.2 设备性能提升

在电力应急卫星通信系统中，设备性能的优劣直接决定了系统的响应速度与运行效率。应急通信环境充满挑战，设备需具备高可靠性与灵活性，以确保在各种严苛条件下，通信得以畅通无阻。提升设备性能不仅是技术进步的必然

要求，更是保障系统稳定运行、应对复杂应急情境的关键因素。通过持续进行技术创新与性能优化，设备能够在极端环境下稳定运行，从而显著增强电力应急通信能力。提升设备性能的核心在于其处理能力与计算速度[2]。随着数据量的迅速增长，尤其是在高清视频流与实时数据传输的需求下，对带宽与计算能力提出了更高的要求。因此，通信设备必须具备强大的处理能力，才能高效应对复杂任务。通过升级硬件配置，尤其是使用更高效的处理芯片，可以显著提升设备的数据处理速度，确保即使在多任务并行时，系统也能迅速响应并保持稳定运行。现代计算架构，如多核处理器与并行计算技术，可进一步提升计算效率，减少延迟，从而避免系统卡顿。提高设备的抗干扰能力与稳定性也是其在复杂环境中可靠运行的关键。电力应急通信系统常面临强电磁干扰与极端天气等多种复杂环境，为了增强设备对这些外部干扰的适应性，频谱扩展、干扰抑制等先进的抗干扰技术被广泛应用。同时，设备的散热设计也需要优化，提升耐用性，确保设备在高温、低温或潮湿等极端条件下依旧能保持稳定工作。设备的快速部署能力也是提升性能的至关因素，在应急情况下，时间通常是最宝贵的资源，因此设备的快速部署与便捷性显得尤为重要。便携式基站、集群对讲机等设备应简化操作流程，缩短部署时间，从而迅速建立起一个稳定的通信网络。通过采用模块化设计与自组网技术，设备能够快速连接并投入使用，避免繁琐的配置过程，从而大大提高应急响应速度。能源效率与设备的自持能力直接影响着系统的持续稳定运行，由于电力供应往往受到限制，应急通信系统中的设备需要具有高效的能源利用率，且能够在没有外部电源的情况下长时间独立运行。通过采用低功耗芯片、智能电源管理系统及备用电源技术，设备能够在缺乏外部电源时依然保持运行，确保通信不中断。

3.3 智能化运维

随着智能化运维技术的引入，电力应急卫星通信系统的管理与维护经历了显著的变化。传统的人工运维方式依赖手动检查与故障处理，这种模式不仅效率低下，而且容易忽视关键环节。随着科技的不断发展，智能化运维通过自动化技术、数据分析与人工智能的应用，显著提高了系统的自我诊断与故障修复能力，从而使得运维管理变得更加高效与精确。在智能化运维中，自动化监控与故障诊断占据了核心地位，系统能够实时监测设备状态，自动识别潜在的故障或异常。一旦问题发生，系统会立刻发出警报并进行智能分析，以精准定位问题源。此方法大大减少了人工巡检的需求，且能够在问题初期便介入，从而有效避免故障的进一步蔓延[3]。结合大数据分析，智能运维系统还能根据历史数据与设备运行趋势，预测潜在的故障，提前采取预防性措施，从而显著减少突发性问题的发生。远程故障处理是智能化运维的另一大优势，通过远程监控平台，运维人员能够随时监控设备运行状况进行故障诊断，并在必要时采取修复措施。系统可以自动执行修复流程或切换至备用设备，极大地降低了人工干预的需求，并提高了响应速度。在特殊环境下，运维人员无需亲临现场便可远程调整设备配置，确保系统在紧急情况下的稳定运行，不受地理或环境限制。智能化运维还通过数据驱动的决策支持功能优化整体运维策略，系统深入分析设备的运行数据、故障记录与网络流量，提供数据支持，帮助运维人员做出更加科学合理的决策。借助这些信息，运维人员能够识别故障率较高的设备以及需要提前更换或升级的组件，从而合理配置运维资源，避免不必要的成本。随着运维数据的不断积累，智能化运维系统的自我学习与优化功能日益显现。通过机器学习技术，系统能够不断优化故障排除流程，提升故障预测的准确性。基于实时数据，智能化运维能够根据不同场景自动调整应急响应策略，确保系统始终保持在最佳运行状态。借助人工智能的深度学习，系统不仅能提取历史数据中的规律，还能够灵活应对环境变化，确保电力应急卫星通信系统的稳定与高效运作。

4 结语

电力应急卫星通信系统在应急响应中扮演着至关重要的角色，直接决定了事件应对的速度与效果。通过强化系统的安全性、故障处理机制以及数据保护措施，系统的可靠性与应急反应能力能够显著提升。与此同时，网络优化、设备性能的提升及智能化运维等策略，为系统的稳定运行提供了有力的保障。随着技术的不断进步以及需求的不断变化，系统的运维保障与优化策略必须不断调整与更新，以确保在关键时刻，电力系统能够保持安全与稳定的运行，为应急事件提供源源不断的电力支持。

[参考文献]

[1]齐兆杨.电力系统的应急通信技术应用研究[D].吉林:吉林大学,2018.
[2]徐胜朋,黄传启,魏云飞,等.电力应急通信指挥系统的建设方案分析[J].科技与创新,2019(20):84-85.
[3]高正浩,李航峰,何沛林,等.基于北斗卫星通信导航的电力应急抢修指挥系统设计[J].现代电子技术,2024,47(4):53-58.

作者简介：闫晓鹏（1992.11—），男，毕业院校:西安电子科技大学；所学专业:通信与信息系统,当前就职单位:国网山西省电力公司信息通信分公司，职称级别:中级工程师。

浅谈拉森钢板桩围堰在中风化岩中的技术应用

林道烛
浙江省隧道工程集团有限公司，浙江 杭州 310031

[摘要]为了解决施工中遇到的难点，通过技术创新，采用旋挖钻机引孔拉森钢板桩成功插入中风岩，解决了拉森钢板桩围堰替代钢套箱围堰技术应用。同时也对相类似工程施工技术应用提供借鉴和参考。

[关键词]中风化岩；旋挖钻机；拉森钢板桩；围堰
DOI：10.33142/sca.v8i3.15802　　中图分类号：U445　　文献标识码：A

Brief Discussion on the Technical Application of Larson Steel Sheet Pile Cofferdam in Moderately Weathered Rock

LIN Daozhu
Zhejiang Tunnel Engineering Group Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang, 310031, China

Abstract: In order to solve the difficulties encountered in construction, through technological innovation, the Larson steel sheet pile was successfully inserted into the wind rock by using a rotary drilling rig to lead the hole, solving the application of Larson steel sheet pile cofferdam instead of steel box cofferdam technology. At the same time, it also provides reference and guidance for the application of construction technology in similar projects.

Keywords: moderately weathered rock; rotary drilling rig; Larson steel sheet pile; cofferdam

引言

在河道施工的水利工程中，不可避免地会涉及到河道的占用以及行洪的问题。如果围堰施工方法选择不当，可能会导致河道水位上升，形成雍水现象，从而给河道上游的居民生活带来潜在的灾害风险，造成生命和财产的损失。为了解决这些施工中的难点，施工团队通过设计上的调整和技术创新，引入了拉森钢板桩围堰技术来取代传统的钢套箱围堰。这一技术的应用使得两岸的拉森钢板桩围堰都成功地经受住了超过 20 年一遇的洪水考验，展现了其在实际工程应用中的优越性能。

1 工程概况

1.1 工程概况

九龙大桥 6#、7#主墩位于大溪河道内，基础为群桩承台结构布设，左右幅承台共 4 个，桩基 36 根，其中承台尺寸为 1120cm×1120cm×400cm、每个承台桩基为 9 根，单根长 30m，直径为 200cm。6#、7#主墩承台顶标高▽55.18m，底标高▽51.18m，封底混凝土厚度为 1.5m，基坑底标高▽49.68m，墩台施工土石筑岛平台顶面设计高程▽59.5m，承台基坑开挖深度 8.32m。原设计采用筑岛套箱围堰。

1.2 工程和水文地质

大溪河道宽阔平直，河宽 200m，河床比降 1‰，河流流量随季节变化，冲刷深度可见基岩，属侵蚀性河流。河道常水位 57.0～58.0m，河床底标高▽55.0～55.5m。

承台工程地质以沉积岩为主，至上而下表层圆砾砂卵石层，厚约 1.8 m；往下为强风化凝灰质粉砂岩，厚约 1.8m；再向下是中风化凝灰质粉砂岩。强风化凝灰质粉砂岩单轴抗压强度为 15MPa 左右，中风化凝灰质粉砂岩单轴抗压强度为 25MPa 左右。

2 总体施工方案

2.1 原设计方案存在的缺陷

在最初的设计方案中，筑岛围堰的施工采用了钢套箱的方法。根据这一方案，需要先对承台基坑进行开挖作业，随后将钢套箱下沉到位，最后进行封底工作以确保结构的完整性。然而，这一方案存在几个明显的不足之处。首先，筑岛过程中占用的河道面积较大，这会对大溪的行洪能力造成不利影响，可能导致洪水期间水流不畅。其次，整个工期的占用时间过长，这不仅会延长整个工程的完成时间，还可能对周边环境和交通造成较长时间的干扰。最后，由于施工过程复杂，材料和人工成本相对较高，这将增加整个项目的经济负担。

2.2 拉森钢板桩围堰确定

在对工程地质和水文地质条件进行细致分析后，综合考虑了各种围堰和深基坑开挖支护方案的可行性。经过深入的研究和精确的计算，决定采纳旋挖钻机引孔的Ⅳ型拉森钢板桩围堰结合分层干挖法。在支撑体系的构建上，设计了两道钢结构支撑，确保了结构的稳定性和安全性。上层围檩使用了 2I36a 型工字钢，而下层围檩则采用了尺寸更大的 2I63a 型工字钢，以适应不同的受力条件。钢管支撑部分则选用了直径 Φ630mm、壁厚 10mm 的钢管，以保

证足够的强度和稳定性。

附图 1：钢板桩围堰立面布置图。

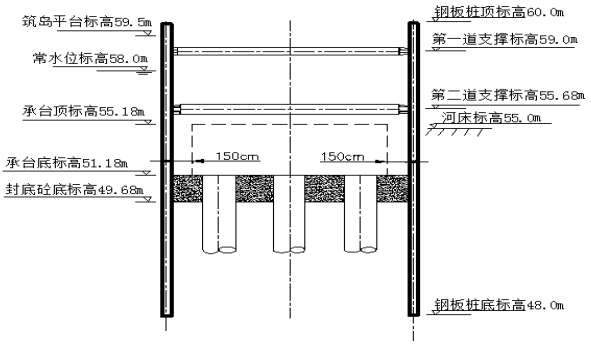


图 1　钢板桩围堰立面布置图

2.3 围堰参数

根据水文资料及现场调查，河道五年一遇洪水位高▽59.5m，二十年一遇洪水位▽63.87m，常水位▽57.0～58.0m，考虑到大桥施工工期较长，筑岛平台顶标高取▽59.5m，钢板桩高出筑岛平台 0.5m，即桩顶标高▽H=59.5+0.5=60.0m

（1）单根钢板桩长度确定

承台顶标高▽55.18m，底标高▽51.18m，河床底标高近似取 55.0m。封底砼底面标高为 49.68，6#墩基坑底已进入中风化基岩 1.30m，7#墩基坑底已进入中风化基岩 0.52m，取钢板桩长度 12.00m，桩嵌入中风化岩深度 1.68m。

（2）钢板桩围堰尺寸的确定

根据设计图纸，水中承台单个平面尺寸为 11.2m×11.2m，左右幅中间相隔 2.3m；而水中筑岛尺寸横桥向大于 33m，纵桥向大于 30m。考虑围堰距承台外边 1.5m 施工空间，设计围堰按照 14.20m×27.70m 布置。

（3）拉森钢板根数确定

钢板桩围堰设计钢板桩采用拉森Ⅳ型钢板桩（SP-Ⅳ:74kg/m）宽 400mm，高 170mm，板厚 15.5mm；经过测算两个主墩共需要根数约 422 块。

3 拉森钢板桩围堰主要施工方法

3.1 拉森钢板桩围堰的施工工艺流程

清理筑岛平台→测量放样→旋挖钻机就位→引导孔→孔内回填压实→拉森钢板桩植入引孔内→高程复核→基坑开挖、第一道钢支撑（围檩、压浆止水（视渗水量）→开挖、第二道钢支撑、开挖、砼封堵→承台施工→劲性骨架安装→

V 型墩浇筑成型→拉森钢板桩拆除。

3.2 主要施工方法

3.2.1 引导孔施工

引导孔采用施工采用三一重工 SR215-S 旋挖钻机成孔，孔直径 1.0m。引导孔按区间段先奇数后偶数，间隔、交叉“跳桩法”施作（引导孔施工顺序图）。引导孔的中心线与钢板桩的围堰的轮廓中心线保持相一致，相邻两孔的中心间距为 70cm，引孔深度进入到 48m 高程预定位置的设计标高，成孔以后用黏性土回填孔内，钢板桩在 120 振动锤的作用下，完成钢板桩围堰的插打施工。

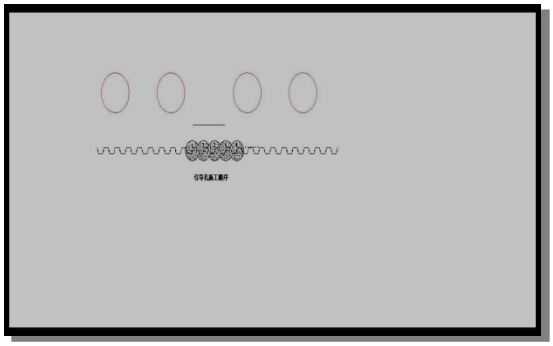


图 2　引导孔施工顺序图

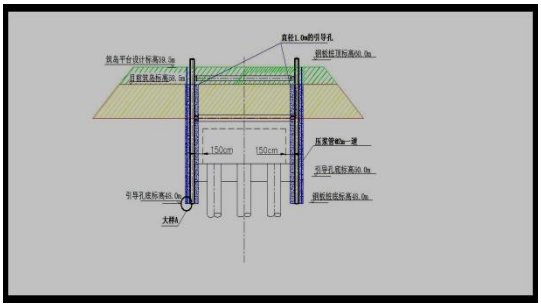


图 3　钢板桩围堰立面布置图

现场引孔施工：

①测量施样，在两端插打固定桩确定引导孔中心线，按间隔 75cm 确定每孔中心位置，每个引导孔施工前再进行中心复合。

②筑岛回填层和砂砾层采用钢护筒护壁，按区间段先奇数后偶数，间隔、交叉“跳桩法”施作，最后形成整体，利用测绳和水准点控制引导孔深度。

③采用三一重工 SR215-S 旋挖钻机成孔，125120 振动锤入孔。

施工控制要点：

①每个引导孔中心位置必须控制精准，开孔时必须进行复测，保证相邻孔之间咬合尺寸满足要求，确保引导孔形成连续整体；

②现场设钢护筒护壁，确保护壁效果，防止坍塌；

③选择大功率旋挖钻机，防止引导孔垂直度产生偏差；

④引导孔按区间段先奇数后偶数，间隔、交叉“跳桩法”施作，防止产生偏孔；

⑤引孔深度必须进入 48m 预定设计标高，在大功率的振动锤的作用下，确保钢板桩与岩层紧密结合，提高稳定性和止水效果。

采用这种方法从现场实际效果不错，均未也现柱底透水情况，止水效果良好。

3.2.2 围堰基坑开挖

表层（厚度约为 3.0m 筑岛回填碎石土和其下厚约

1.8m 圆砾砂卵石层）采用直接采用 2 台 PC320 型挖掘机开挖，20T 自卸车运输。强——中风化凝灰质粉砂岩采用直接用 2 台 PC120 型机破碎机吊入基坑机械破碎围岩，1 台 PC320 长臂挖掘机挖装，20T 自卸车运输。

在基坑开挖过程中，强现场监控量测，及时发现和处理异常情况，确保施工安全和质量。

3.2.3 围檩施工

钢板桩全部入岩后，再进行筑岛回填碎石土开挖深度为 1～2m 达到 59 标高时，进行第一道围檩施工，围檩四周采用 2I36a 型工字钢，纵向采用φ630mm×10mm 钢管支撑，间距为 2m，内设八字斜支撑，材料同钢管支撑；分层开挖至 55.68 标高时进行第二道围檩施工，围檩四周采用 2I36a 型工字钢，纵向采用φ630mm×10mm 钢管支撑，间距为 2m，内设八字斜支撑。

围檩与钢管支撑之间采用焊接连接，确保结构的稳定性和整体性。每一道围檩施工完成后，均需进行严格的质量检查，确保围檩的平面位置和标高符合设计要求。同时，在开挖过程中，还需不断监测围檩的变形情况，及时调整施工方案，防止围檩因受力过大而发生变形或破坏。在开挖至设计标高后，及时进行基坑底清理和验槽工作，为后续的施工工序做好准备。

3.2.4 钢板桩拆除

待桥墩 V 型墩完成首段施工，即可进行钢板桩围堰拆除工作。拆除前，为防止将临近板桩同时拔出，宜将钢板桩和加固的支撑围檩逐根解除；开始阶段，先用振动锤夹住钢板桩头部振动 1min～2min，使钢板桩周围的土松动，减少土对桩的摩阻力，然后慢慢的往上振拔，拔桩时注意桩机的负荷情况，发现上拔困难或拔不上来时，停止拔桩，可先行往下施打少许，再往上拨，如此反复可将桩拔出来。

4 效果分析

在本工程中应用拉森钢板桩围堰替代钢套箱围堰方案，一是解决了筑岛占用河道面积过大，影响大溪行洪；二是相对钢套箱围堰方案，施工周期更短，三是相对施工费用更低。四是拉森钢板桩围堰的适应性强，能够在中风化岩等复杂地质条件下有效发挥作用，确保了施工的安全性和稳定性。五是拉森钢板桩围堰的重复利用率高，能够有效降低施工成本，符合绿色施工的理念。六是通过对钢板桩围堰的精细施工和严格管理，确保了施工质量，为后续的桥梁施工奠定了坚实的基础。综上所述，拉森钢板桩围堰在本工程中的应用取得了显著的效果，为类似工程提供了有益的参考。

表 1　施工方案对比

方案名称	工期	施工费用	行洪审批	适用地质条件
钢套箱围堰	6 个月	355 万元	数月不通过	复杂地质条件
拉森钢板桩围堰	4 个月	168 万元	15 天内通过	中-软岩

注：施工现场类似地质条件，以一个承台基坑施工为例计算。

在大河、大江的大型深基坑围堰施工中，在中-软岩的地质条件下，不影响河道行洪标准的前提下采用旋挖钻机引导孔拉森钢板桩围堰替代钢套箱围堰方案有较大的优势，周期短、费用低廉。具有良好的经济效益和社会效益，应用前景广泛。

5 结束语

通过旋挖钻机引孔成功插入拉森钢板桩，解决了拉森钢板桩围堰替代钢套箱围堰成功案例，是一种全新的偿试和技术创新，是现场施工技术人员智慧的结晶，将现场取得一些施工经验进行了总结，同时也可为相类似工程提供借鉴和参考。该技术的成功应用，不仅大幅缩短了施工周期，而且显著降低了施工费用，有效提升了项目的经济效益。在施工过程中，我们克服了中-软岩地质条件下的诸多技术难题，通过精确的施工控制和严格的质量管理，确保了拉森钢板桩围堰的稳定性和安全性。这一成功案例不仅验证了旋挖钻机引孔拉森钢板桩围堰技术的可行性和优越性，也为类似工程提供了宝贵的经验和参考，具有广泛的应用前景和推广价值。

[参考文献]

[1]安徽省水利水电勘查设计院.九龙大桥工程地质勘查报告[Z].2016.5.
[2]安徽省水利水电勘查设计院.九龙大桥施工图[Z].2016.5.
[3]SL 731-2015 水利水电工程施工安全管理导则[S].
[4]李成伟.拉森钢板桩施工中引孔技术应用[J].水利水电技术,2014(33):68-71.

作者简介：林道烛，男，天津大学土木工程，浙江省隧道工程集团有限公司，高级工程师。

软土路基施工技术在高速公路施工中的应用

毛德富
四川路桥盛通建筑工程有限公司，四川 成都 610000

[摘要]高速公路建设中，软土路基的处理是确保路面稳定性的关键环节。软土具有低承载力、高压缩性及不均匀沉降特性，因此在施工过程中需要采取有效的技术手段进行处理。常用的施工技术包括预压处理、深层搅拌、换填土法等，这些方法能够有效提高软土的承载能力，减小沉降量，延长道路使用寿命。合理选择适当的软土处理技术，可有效降低施工成本，确保道路的长期稳定性与安全性。

[关键词]软土路基；施工技术；高速公路；承载力；沉降控制
DOI：10.33142/sca.v8i3.15787　　中图分类号：U416.1　　文献标识码：A

Application of Soft Soil Roadbed Construction Technology in Expressway Construction

MAO Defu
Sichuan Road and Bridge Shengtong Construction Engineering Co., Ltd., Chengdu, Sichuan, 610000, China

Abstract: In the construction of highways, the treatment of soft soil subgrade is a key link to ensure road stability. Soft soil has low bearing capacity, high compressibility, and uneven settlement characteristics, so effective technical measures need to be taken during the construction process for treatment. Common construction techniques include preloading, deep mixing, and soil replacement methods, which can effectively improve the bearing capacity of soft soil, reduce settlement, and extend the service life of roads. Reasonable selection of appropriate soft soil treatment techniques can effectively reduce construction costs and ensure the long-term stability and safety of roads.

Keywords: soft soil roadbed; construction technology; expressway; bearing capacity; settlement control

引言

软土路基问题一直是高速公路建设中的难题，直接影响着道路的安全性与耐久性。软土的特殊性质，如低承载力和不均匀沉降，给施工带来了诸多挑战。随着工程技术的不断发展，针对软土路基的处理方法不断创新和优化。通过合理选择和应用多种施工技术，能够有效提升软土路基的稳定性，确保高速公路建设的顺利进行。因此，探索软土路基施工技术的应用与优化具有重要的现实意义和研究价值。

1 高速公路软土路基施工中的关键问题分析

高速公路建设中，软土路基的处理一直是影响道路质量和稳定性的关键因素。了解软土路基的性质及施工中遇到的关键问题，有助于提高施工质量和确保路面长期稳定性。

1.1 软土路基的特殊性质与施工难点

软土路基是由高含水量、低密度的泥土构成，具有较低的承载力和较高的压缩性。施工过程中，软土的高水分含量会导致其在荷载作用下发生明显沉降，甚至发生不均匀沉降现象。这种性质给道路建设带来巨大挑战，尤其在高速公路等要求高稳定性的工程中，软土的处理尤为关键。由于其沉降过程长且不易预测，一旦处理不当，可能导致路面出现裂缝、塌陷等质量问题，影响道路的使用寿命和行车安全。

1.2 软土路基施工中常用的处理技术

针对软土路基的特殊性质，当前常用的施工技术包括预压处理、深层搅拌、换填土法和表面固化等。预压处理通过施加外部荷载，促使软土发生快速沉降，达到压实的效果。深层搅拌技术则通过机械设备在软土中搅拌，加入水泥或其他固化材料，从而提高软土的承载力。换填土法通过将软土换成其他具有较高承载力的土壤，能够有效消除软土对道路结构的不利影响。表面固化技术通过表面处理材料增强土体的抗压强度。这些技术根据不同的软土类型和工程要求，灵活选择，有效提高了软土路基的稳定性[1]。

1.3 软土路基施工中面临的挑战与对策

尽管现有的施工技术可以有效改善软土路基的性能，但在实际应用中仍面临诸多挑战。首先，软土的厚度和分布不均匀，导致不同区域需要采取不同的施工方案。其次，气候变化对软土的水分含量影响较大，季节性差异可能导致施工进度延误或效果不理想。因此，在施工过程中必须根据当地的具体情况，精确设计和调整施工方案。除了技术选择外，施工队伍的专业技术水平和管理能力也是影响施工质量的关键因素。针对这些问题，工程团队需要加强对施工过程的监测与控制，确保技术应用的精准性和施工效果的长期稳定性。

2 软土路基的常见处理技术与应用

软土路基的处理技术是高速公路建设中的核心环节。选择合适的处理技术不仅能提高路基的承载力，还能确保工程质量和路面长期稳定性。

2.1 预压处理技术的应用

预压处理技术广泛应用于软土路基的施工中，主要通过在路基上施加外部荷载，以加速软土的沉降过程。这种方法通过增加荷载的作用力，促使软土中的水分被排出，从而加速土体的固结，最终提高其承载能力。预压处理具有操作简便、成本相对较低的优点，特别适用于沉降较为缓慢的地区。在实际应用中，预压处理通常与其他加固手段结合使用，如换填或深层搅拌，以确保处理效果更加显著。通过适当控制荷载的大小和施加时间，能够有效减小软土路基的沉降幅度，并提高施工后的路基稳定性。

2.2 深层搅拌技术与换填土法

深层搅拌技术通过机械设备在软土中进行深度搅拌，并添加水泥或石灰等固化材料，能够增强软土的抗压强度，提升其承载能力。此技术能够在较短的时间内达到较好的处理效果，尤其适用于大规模高速公路建设。深层搅拌技术的优点在于它能够在不需要大面积开挖的情况下改善软土的性质，减少施工过程中的环境影响和工程成本。然而，深层搅拌的效果受土层厚度、施工设备的性能等因素影响，因此需要根据具体情况灵活调整。

换填土法则是将软土层挖出，换填具有更高承载力的土壤或其他材料，能够有效避免软土的不均匀沉降问题。该方法的最大优势是能够彻底消除软土层对路基稳定性的影响，尤其适用于软土层较厚、稳定性较差的地区。尽管换填土法能有效提高路基稳定性，但其施工成本较高，且施工周期较长，通常适用于重点工程或特殊地质条件下的施工。

2.3 表面固化技术与其他补充处理手段

表面固化技术是通过在软土表面涂覆固化材料，增强土体表层的抗压强度和稳定性。这一方法适用于软土表层较薄且处理范围较小的区域，具有较低的成本和较快的施工速度。常见的固化材料包括水泥、石灰、膨润土等。表面固化可以有效提升土体的抗水性，减少路基的沉降量。尽管表面固化技术在短期内能达到较好的效果，但其持久性较差，因此通常与其他技术结合使用[2]。

软土路基处理还可以结合其他技术，如土工布加固法和真空预压法等，这些方法可以进一步提升软土的稳定性和路基的长期承载能力。根据具体项目需求，选择合理的软土处理技术和施工方案是确保工程质量的关键。

3 软土路基处理技术的选型与实施策略

软土路基处理技术的选型是确保高速公路建设质量的关键因素。根据软土的不同性质，合理选择处理方法并制定实施策略，能有效提升路基稳定性和承载力。

3.1 软土路基处理技术的选型原则

在软土路基的施工中，选用合适的处理技术需要根据多个因素综合考虑。首先，应根据软土的厚度、分布范围以及土体的含水量来确定处理方案。软土层较薄且均匀时，通常采用预压处理或表面固化技术，而当软土层较厚且承载力较差时，深层搅拌或换填土法则是更合适的选择。此外，地形地质条件、气候因素以及工程的规模和预算也会影响技术的选型。例如，在高水位地区，换填土法能有效解决软土的高水分含量问题；而在低水位地区，深层搅拌技术能够更好地增强土体的稳定性。

3.2 软土路基施工实施策略

在实际施工过程中，技术的选型只是第一步，制定合理的实施策略同样重要。首先，施工过程中必须严格控制施工环境，包括土壤湿度、温度等，避免因环境变化导致处理效果不佳。对于预压处理技术来说，需要合理安排荷载的施加周期和强度，以避免荷载过大导致软土层过早破坏或沉降不均。深层搅拌技术实施时，要确保搅拌深度和固化剂的比例准确，以提高土体的承载力。在换填土法实施时，施工单位应选择适宜的土壤类型，确保换填土层的质量符合设计标准。

实施过程中，还需定期进行监测和检查，评估软土路基的沉降情况和稳定性，并根据监测结果适时调整施工方案。在软土路基处理的每一个环节，严格的质量控制措施和技术监控是确保处理效果的保障。

3.3 综合优化与未来发展趋势

随着施工技术的不断发展，软土路基的处理方法也在逐步优化。在未来的施工中，综合多种技术手段进行优化组合将成为主要趋势。例如，结合预压处理与深层搅拌技术，能够在保证施工效果的同时缩短工期并降低成本。此外，智能化监测技术的引入也为软土路基处理提供了更多可能性。通过实时监测软土的物理性质变化，施工单位能够更精确地调整施工方法，进一步提高处理效果[3]。未来，软土路基的处理将更加注重生态环保与可持续发展，采用绿色环保材料和技术将成为新的发展方向。

4 软土路基施工技术对高速公路质量的影响

软土路基施工技术对高速公路质量起着至关重要的作用。有效的技术应用能够显著提升路基的稳定性和承载力，保障道路的长期使用性能。

4.1 软土路基处理技术对路基稳定性的提升

软土路基施工技术直接影响路基的稳定性。软土的低承载力和高压缩性使得道路在使用过程中容易出现沉降和裂缝，影响交通安全。通过采用预压处理、深层搅拌、换填土法等技术，能够有效改善软土的承载力，提高路基的稳定性。例如，预压处理可以加速软土的沉降过程，减少后期沉降量，从而提高道路使用的稳定性。深层搅拌和换填土法则通过增加路基的抗压强度，减小不均匀沉降现

象，确保路基在长期使用中的平整性和稳定性。

4.2 软土路基施工技术对路面寿命的延长

软土路基处理技术在延长路面寿命方面也具有显著影响。软土不稳定的特性使得道路在使用过程中容易发生不均匀沉降，从而导致路面裂缝和车辙等现象，缩短路面使用寿命。通过采用深层搅拌技术，能够提高软土的抗压强度，减少路面沉降，从而有效延长路面的使用年限。换填土法则通过替换不稳定的软土层，消除了沉降带来的负面影响，为路面提供了更为坚实的基础。这些技术应用有助于减缓路面老化速度，降低维修成本，确保公路长期平稳通行。

4.3 软土路基施工技术对工程成本的影响

软土路基的处理技术不仅影响路基的稳定性和寿命，也与工程成本密切相关。某些软土处理技术，如预压处理和深层搅拌，虽然能够有效提高路基的稳定性，但也需要较高的施工技术和设备投入。而换填土法虽然处理效果显著，但由于需要大量的填土和人工操作，成本较高。因此，合理选择合适的技术手段和施工策略，不仅能够保证高速公路的质量，还能在控制成本的同时提高施工效率。合理优化技术选型和施工方法，在确保质量的同时，有助于实现工程预算的有效管理[4]。

5 软土路基施工技术优化与未来发展方向

随着高速公路建设需求的不断增长，软土路基施工技术也在不断优化。通过技术创新与组合应用，可实现更高效、更经济的施工，推动路基建设质量的提升。

5.1 软土路基施工技术的优化方向

随着科技进步，软土路基施工技术逐渐朝着更高效、更精准的方向发展。传统的预压处理、深层搅拌和换填土法仍然是常见的施工技术，但在实际应用中，施工效果的可控性和稳定性仍存在挑战。因此，技术的优化不仅仅体现在方法本身，还应着眼于施工精度的提高和适用性的扩展。近年来，智能化施工设备和监测技术的应用逐步改善了施工中的问题。智能监测技术能够实时跟踪软土的沉降过程和施工质量，为施工人员提供及时反馈，从而优化施工方案，减少不必要的损耗和错误。通过这一技术，施工人员能够更加精确地控制每个环节，提高软土处理的效果与效率[5]。

5.2 多技术组合应用的前景

为了提高软土路基的处理效果，未来将更多采用多技术组合应用的方式。例如，将预压处理和深层搅拌技术结合使用，在减少软土沉降的同时，增加土体的强度，从而实现路基的高承载力和长久稳定性。此外，换填土法与表面固化技术的联合应用也能够解决不同深度土层的承载力问题，通过不同处理方法的互补性，达到综合加固的效果。通过多技术的结合，能够在不同的地质条件下选择最合适的处理方式，减少施工中的技术风险，提高施工质量和路基的长期稳定性。多技术组合的应用不仅仅提升了施工的技术含量，还进一步提高了施工效率，节约了成本。

5.3 软土路基施工技术的未来发展趋势

未来，软土路基施工技术的发展将趋向更加智能化和环保化。智能化施工技术，如无人机监测和传感技术，将在路基施工中发挥重要作用，提供实时数据支持，确保施工过程中各项指标的精确控制。同时，环保型技术将成为未来发展的一大亮点，尤其是在全球环保法规逐渐严格的背景下，绿色建材的应用和节能减排的施工方式将得到广泛推广。例如，采用环保型固化材料和绿色加固方法，能够减少对环境的负面影响。此外，随着大数据技术的发展，未来的施工设计和实施将更加精细化、个性化。通过大数据分析，可以为每个项目提供最优的施工方案，从而进一步提高软土路基的施工质量和项目的可持续性。未来，软土路基施工技术将更多侧重于多方面的创新与融合，推动高速公路建设向更加高效、智能、绿色的方向发展。

6 结语

软土路基施工技术在高速公路建设中起着至关重要的作用，通过科学选型和合理实施，能够有效提高路基的稳定性和承载力，延长道路使用寿命。随着技术的不断优化，未来的施工将更加注重环保、智能化与高效性。通过不断创新与改进，软土路基施工技术将更好地满足高速公路建设的需求，推动道路工程质量的提升，确保公路长期安全运营。

[参考文献]

[1]王飞虎.高速公路施工中的软土路基施工技术研究[J].运输经理世界,2021(25):25-27.
[2]马九青.软土路基施工技术在高速公路施工中的应用[J].四川建材,2022,48(7):125-126.
[3]刘力铭.软土路基施工技术在高速公路施工中的应用[J].黑龙江交通科技,2023,46(9):51-53.
[4]付云.软土路基施工技术在高速公路施工中的应用[J].汽车周刊,2024(8):124-126.
[5]钟儒华.软土路基施工技术在高速公路施工中的应用[J].建设机械技术与管理,2025,38(1):148-150.

作者简介：毛德富（1997.8—），男，长沙理工大学城南学院，四川路桥盛通建筑工程有限公司，工程科长，中级。

建筑工程主体结构裂缝检测与修复技术研究

高锵然　管福檑
浙江元本检测技术股份有限公司，浙江 温州 325000

[摘要]本研究旨在探讨建筑工程主体结构裂缝的检测与修复技术，分析裂缝产生的原因及其对建筑安全性的影响。通过采用现代检测技术，如数字成像、声发射监测以及红外热成像等，对比分析各技术的优势与局限。进一步，研究针对不同类型裂缝的修复方法，包括灌浆修复、封裂与加固技术，以及采用新型复合材料的修复技术。研究结果将为建筑工程裂缝的检测与修复提供科学指导和技术参考。

[关键词]裂缝检测；修复技术；建筑安全；数字成像；声发射监测
DOI：10.33142/sca.v8i3.15783　　中图分类号：TU378　　文献标识码：A

Research on Crack Detection and Repair Technology for Main Structure of Building Engineering

GAO Qiangran, GUAN Fulei
Zhejiang Yuanben Detection Technology Co., Ltd., Wenzhou, Zhejiang, 325000, China

Abstract: This study aims to explore the detection and repair technology of cracks in the main structure of building engineering, analyze the causes of cracks and their impact on building safety. By adopting modern detection technologies such as digital imaging, acoustic emission monitoring, and infrared thermal imaging, the advantages and limitations of each technology are compared and analyzed. Furthermore, research on repair methods for different types of cracks, including grouting repair, sealing and reinforcement techniques, as well as repair techniques using new composite materials. The research results will provide scientific guidance and technical reference for the detection and repair of cracks in construction projects.

Keywords: crack detection; repair technology; building safety; digital imaging; acoustic emission monitoring

引言

随着城市化进程的加快，建筑工程的安全性问题日益突出，其中结构裂缝是影响建筑安全的重要因素之一。结构裂缝不仅关系到建筑物的使用寿命，也关系到人民生命财产的安全。本文从建筑工程结构裂缝的检测与修复技术入手，综述了裂缝的分类、成因及其对建筑物安全性的影响，并分析了当前主流的检测与修复技术，旨在为工程技术人员提供判别与处理建筑结构裂缝的科学方法和技术支持。

1 建筑结构裂缝的类型与成因

1.1 裂缝类型

建筑结构裂缝可以分为多种类型，每种类型具有不同的特征和成因，常见的裂缝类型包括：

结构裂缝：这类裂缝通常发生在建筑的承重结构上，如柱子、梁、板等，可能由于结构设计不当、施工执行不符合设计要求或超载等原因引起。结构裂缝通常较为严重，需要特别关注。非结构性裂缝：这些裂缝多发生在建筑的非承重部分，如墙面、地板和装饰层等。常见的原因包括温度变化、湿度变化、材料收缩和外部环境影响等。热裂缝：因温度变化引起的材料膨胀与收缩不均匀，尤其是在混凝土等材料中常见。这种类型的裂缝多出现在暴露于剧烈温度变化的建筑表面。收缩裂缝：在混凝土硬化过程中，由于水分的蒸发导致体积收缩而产生的裂缝。这类裂缝通常在混凝土结构早期阶段形成。冻胀裂缝：在寒冷地区，水分在材料内部结冰后体积膨胀，导致材料结构破裂。化学腐蚀裂缝：由于化学物质（如盐、酸等）的侵蚀作用，材料结构性能降低，产生裂缝[1]。

1.2 成因分析

建筑结构裂缝的成因是多方面的，涉及到材料、设计、施工以及使用过程中的多种因素：

材料老化：建筑材料随着时间的推移会发生自然老化，其物理和化学性质会发生变化，强度可能降低，从而导致裂缝的产生。例如，混凝土中的水泥矿物会逐渐水化，使得混凝土结构在老化过程中产生微小的裂缝。

设计不当：如果建筑设计没有正确考虑到地质条件、气候因素以及材料的实际工作性能，可能会导致结构承载力不足，产生裂缝。例如，忽视了风载、雪载等外力作用，或者梁、板等构件的尺寸设计不足以支撑实际荷载。

施工质量问题：施工过程中的任何疏忽都可能导致裂缝的产生。例如，混凝土浇筑不均匀、养护不当、模板拆除过早等，都可能导致裂缝。

环境影响：建筑物所在地的环境条件，如地下水位变化、土壤不均匀沉降、地震活动等，也会对建筑结构产生影响，导致裂缝的产生。此外，气候变化导致的温度波动

和湿度变化同样会引起材料的伸缩，从而产生裂缝。

荷载超标：建筑物在使用过程中，如果超出设计荷载，也会导致结构裂缝。例如，楼层超重、屋顶积雪过多或设备安装不当等。

了解这些成因有助于采取相应的预防措施和修复策略，以确保建筑的安全和功能性。对于每种类型的裂缝，根据其具体成因选择合适的修复方法尤为重要，这不仅能够有效修复已有的裂缝，还能预防未来可能出现的裂缝问题。

2 裂缝检测技术

2.1 传统检测方法

在建筑工程领域，传统的裂缝检测方法仍然占有一席之地，主要由于它们的可靠性和操作简便性。这些方法包括：

目视检查：这是最基本的裂缝检测方法，通过专业人员的目视检查来识别裂缝的存在和发展状态。虽然这种方法简单，但它依赖于检查者的经验和判断，可能会忽视一些细微的裂缝或内部损伤[2]。

放大检查：使用放大镜或显微镜对裂缝进行详细观察，适用于表面裂缝的详细分析。这种方法可以提供比目视检查更精确的裂缝宽度和深度测量。

平板法：在裂缝的两侧固定两块平板，通过测量平板间的相对移动来监测裂缝的开展情况。这种方法适合监测裂缝的动态变化，尤其是在结构受到周期性荷载作用时。

钻孔取样和核磁共振成像：通过在裂缝附近钻孔取样，然后进行物理和化学分析，以判断裂缝的深度和可能的成因。核磁共振成像可以用来观察结构内部的裂缝和缺陷，但成本较高，且操作复杂。

2.2 现代检测技术

随着科技的进步，一系列现代裂缝检测技术已经被开发和应用，这些技术提高了检测的精确性和效率：

声发射监测：利用传感器捕捉由裂缝扩展引起的应力波释放的声波。这种方法可以实时监测到裂缝的发展，尤其适用于监测大型结构和难以接近的部位。声发射技术能够提供裂缝动态发展的直接信息，但其设备成本较高，且需要专业人员操作。数字成像技术：使用高分辨率相机和图像处理软件对裂缝进行详细分析。这种方法可以自动检测和测量裂缝宽度，减少人为误差。数字成像技术的优势在于能够提供裂缝的详细图像记录，方便追踪裂缝的变化历程。红外热成像：通过检测材料表面的温度分布来识别裂缝。

地面穿透雷达（GPR）是一种利用高频雷达波穿透地面或结构材料的技术，通过分析反射波的变化，可以精准地探测出裂缝和其他结构缺陷。这种技术特别适用于对道路、桥梁以及其他土木工程结构进行深层内部检查，它能够提供关于裂缝深度、位置及严重性的详尽信息，从而使得维修工作更为针对性和有效。GPR 的应用显著提高了裂缝检测的效率和准确性，极大地优化了工程师对建筑结构潜在问题的诊断速度和准确度。通过早期识别并及时响应这些问题，可以防止小缺陷演变成严重的安全隐患。

3 裂缝修复技术

3.1 传统修复方法

在建筑工程中，传统的裂缝修复技术仍然被广泛应用，主要因其成熟、可靠且经济。这些方法主要包括：

灌浆修复：灌浆是一种常用的裂缝修复技术，通常适用于处理结构性裂缝。此方法涉及将修复材料（如水泥浆、环氧树脂或聚氨酯）注入裂缝中，以恢复结构的完整性和承载能力。灌浆不仅可以密封裂缝，还能提高结构的抗压和抗弯强度。

封裂：对于非结构性裂缝，常采用封裂技术，如使用密封剂填充裂缝。密封剂的选择根据裂缝的宽度、深度和位置进行，常见的密封剂包括硅胶、聚硫密封剂和丙烯酸密封剂等。封裂旨在防止水分和其他外界物质进入裂缝，减缓裂缝扩展和结构进一步损伤的风险。

钢筋锚固：在一些结构裂缝较大或裂缝周围混凝土损坏严重的情况下，可能需要采用钢筋锚固技术。这涉及在裂缝两侧钻孔，安装钢筋并用环氧树脂或其他黏结剂进行固定，以增强结构的稳定性。

缝补：对于表层裂缝，可采用缝补技术，即用修复材料填充裂缝并使之与周围材料平整，以恢复表面的美观和防护功能。

3.2 新型修复材料与技术

随着材料科学和工程技术的发展，一系列新型修复材料和技术已经被开发，以应对更为复杂或严重的结构裂缝问题：

碳纤维加固技术：碳纤维具有高强度、轻质和耐腐蚀的特点，现已广泛用于建筑结构加固中。碳纤维加固包括将碳纤维布或带粘贴于受损结构表面，通常使用环氧树脂作为黏接剂。这种方法能显著提高结构的抗弯、抗剪能力，特别适合于桥梁、高层建筑和历史建筑的结构加固。高性能复合材料：除了碳纤维，还有其他如玻璃纤维、芳纶纤维等复合材料被用于结构修复和加固。这些材料通常比传统材料具有更好的耐久性和适应性，能够承受更极端的环境条件。自愈合混凝土：这是一种创新的材料技术，通过在混凝土中添加特定的细菌或化学添加剂，使混凝土具备自我修复微小裂缝的能力。当裂缝形成并与水接触时，这些添加剂能促使钙质矿物沉积，从而自动封闭裂缝。地聚合物注射：地聚合物是一种流动性强、快速硬化的注射材料，可用于土壤稳定和裂缝修复[3]。

这些先进的修复技术和材料显著提高了修复工作的效率，同时也大幅增强了结构的安全性，有效延长了建筑物的使用寿命。随着科技的不断进步，我们见证了一系列创新技术的涌现，这些技术不仅改善了建筑维修和加固的方法，还提升了整个行业的可持续性标准。碳纤维加固、高性能复合材料以及自愈合混凝土等材料的应用，展示了如何通过现代科技增强建筑结构的抗压和耐久性能。此外，这

些技术在减少维护成本和环境影响方面也表现出巨大潜力。未来，随着环保要求的提高和资源效率的关注，建筑维修和加固领域预计将继续朝着更高效、更绿色的方向发展。

4 案例分析

4.1 国内外典型案例

在建筑结构裂缝检测与修复领域，各种技术的应用已经在全球范围内展示了显著的成效和面临的挑战。以下是一些国内外的典型案例，它们不仅展示了技术的有效性，也体现了在具体实施过程中的复杂性。

东京天空树（日本）：作为世界上最高的自立式电视塔，东京天空树的建设对结构安全性有极高的要求。在建设过程中，项目团队采用了先进的红外热成像技术和数字成像技术进行裂缝检测。这些技术使得工程师能够及时发现并评估结构中的微小裂缝，从而进行及时干预，确保了塔的结构安全性。此外，在裂缝修复过程中，使用了高性能混凝土和碳纤维加固材料。这些材料不仅有效地修复了裂缝，还增强了结构的抗震能力，确保了塔的长期稳定性和安全。

金门大桥（美国）：金门大桥作为一个标志性的结构，其维护工作尤为重要。在进行长期维护的过程中，工程团队采用了声发射监测技术，这种技术可以实时捕捉到因材料疲劳或外部加载引起的微小裂缝。通过对这些声发射数据的持续监测，工程师能够获得桥梁的即时健康状态，及时采取预防措施。裂缝的修复主要采用了灌浆技术和钢筋锚固方法，这些方法不仅恢复了结构的承载力，还显著延长了桥梁的使用寿命。

国家大剧院（中国北京）：国家大剧院的巨蛋结构是其最引人注目的设计特点之一，但在施工后期的检测中，通过地面穿透雷达技术发现了若干结构性裂缝。这一发现促使修复团队采用封裂和高性能复合材料灌浆技术进行快速修复。这些方法不仅有效地封闭了裂缝，还保持了建筑的外观和结构安全。此外，这种修复工作的迅速和效率展示了现代修复技术在应对突发结构问题时的优势。通过这些案例我们可以看到，无论是高度发达的城市还是具有重要文化意义的建筑，合适的技术选择和及时的维护都是确保结构安全的关键。每个案例都强调了预防措施的重要性和现代技术在建筑维护中的应用价值[4]。

4.2 效果评估与经验总结

通过上述案例的分析，我们可以提取以下几点经验和教训：

技术选择的重要性：选择合适的检测和修复技术对于确保修复效果至关重要。例如，在东京天空树项目中，采用先进的红外热成像技术和数字成像技术使得裂缝检测更为精确，避免了潜在的安全风险。

综合治理策略：在金门大桥的维护中，声发射监测与传统修复技术的结合使用，不仅提高了检测的及时性，也增强了修复的可靠性。这表明在复杂的工程问题上，多技术综合应用可以提供更好的解决方案。

预防优于治疗：通过持续的结构健康监测，可以及时发现并处理小问题，避免了大规模修复的需要和高昂的成本。例如，金门大桥的案例显示，定期的健康检查和维护可以显著延长桥梁的使用寿命。

定制化修复方案：每个结构的裂缝问题都是独特的，需要根据具体情况定制化修复方案。国家大剧院的修复工作考虑到了美观性和功能性，选用了能同时满足这两方面需求的材料和技术。

总结这些案例的成功与挑战，为未来类似工程的裂缝检测与修复提供了宝贵的参考和启示，强调了技术选型、持续监控和适应性策略的重要性。

5 结语

本文通过对建筑工程主体结构裂缝的检测与修复技术进行了深入的研究和探讨，详细介绍了一系列切实可行的技术和方法，以应对建筑结构中的裂缝问题。面对工程实践中的复杂性和多变性，工程技术人员必须根据具体情况精心选择适合的技术和方法，这不仅关乎建筑工程的安全性，更是确保整个结构长期稳定与可靠的关键。随着科技的不断进步和建筑材料技术的发展，未来的研究应更加注重高效、环保且经济的新技术研发。这将有助于提升建筑工程的整体质量和耐久性，满足不断变化的工程需求和更高的安全标准。通过持续的创新和技术改进，可以为建筑工程领域带来更广泛的应用前景和更强的发展动力。

[参考文献]

[1]刘建仪，马腾，刘国平，等.房屋建筑工程的主体结构质量检测技术研究[J].工程建设与设计，2024，11(22)：103-105.
[2]范九英.浅谈建筑工程主体结构的安全检测及裂缝修复[J].城市建设理论研究（电子版），2024，12(23)：190-192.
[3]魏锴.建筑工程主体结构安全性鉴定检测及裂缝修复[J].安徽建筑，2022，29(9)：158-159.
[4]龙垣廷.房屋主体结构混凝土裂缝的成因及控制分析[C].北京：《中国建筑金属结构》杂志社有限公司.2024新质生产力视域下智慧建筑与经济发展论坛论文集(四).广西壮族自治区建筑工程质量检测中心有限公司，2024.

作者简介：高锵然（1996.6—），毕业院校：湖南工商大学，所学专业：市场营销，当前就职单位：浙江元本检测技术股份有限公司，职务：商务经理，职称级别：助理工程师；管福檑（1998.1—），毕业院校：南京工业大学，所学专业：工程管理，当前就职单位：浙江元本检测技术股份有限公司，职务：检测主管，职称级别：助理工程师。

软弱围岩隧道施工变形控制技术研究

王 敏
四川路桥盛通建筑工程有限公司，四川 成都 610000

[摘要]软弱围岩隧道施工中，围岩变形控制是确保施工安全与隧道稳定的关键。采用科学的变形监测方法、支护设计优化和施工工艺改进能够有效控制围岩变形。通过对软弱围岩特性的分析，结合现场数据，提出了合理的支护结构及施工方法，以减少围岩变形对施工安全的影响。实践表明，合理的变形控制技术能够显著提高隧道施工的顺利性和工程质量。

[关键词]软弱围岩；隧道施工；变形控制；支护设计；施工工艺
DOI：10.33142/sca.v8i3.15775　　中图分类号：U455.4　　文献标识码：A

Research on Deformation Control Technology for Tunnel Construction in Soft Surrounding Rock

WANG Min
Sichuan Road and Bridge Shengtong Construction Engineering Co., Ltd., Chengdu, Sichuan, 610000, China

Abstract: In the construction of weak surrounding rock tunnels, the control of surrounding rock deformation is the key to ensuring construction safety and tunnel stability. The use of scientific deformation monitoring methods, optimization of support design, and improvement of construction technology can effectively control the deformation of surrounding rock. By analyzing the characteristics of weak surrounding rock and combining with on-site data, reasonable support structures and construction methods are proposed to reduce the impact of rock deformation on construction safety. Practice has shown that reasonable deformation control techniques can significantly improve the smoothness and engineering quality of tunnel construction.

Keywords: soft surrounding rock; tunnel construction; deformation control; support design; construction technology

引言

软弱围岩是隧道施工中的常见难题，其特殊的地质条件易引发围岩变形，影响施工进度与安全。如何有效控制围岩变形，确保隧道结构的稳定性，成为了隧道工程中的重要研究课题。随着科技的进步，变形监测与支护技术的不断优化，为解决这一问题提供了新的思路与方法。通过深入探讨软弱围岩的变形控制技术，能够为隧道施工提供更为科学、可靠的指导，提升隧道工程的安全性与经济性。

1 软弱围岩特性及其对隧道施工的影响

软弱围岩是隧道施工中常见的地质条件，其独特的物理与力学特性使得施工过程中面临较大的挑战。研究软弱围岩的特性及其影响对于有效控制施工变形至关重要。

1.1 软弱围岩的基本特性

软弱围岩通常由黏土、砂岩、泥岩等组成，其力学性质较差，抗压强度低，容易在施工过程中发生变形。软弱围岩在水文地质条件变化的影响下，其孔隙率大、结构松散，容易产生软化现象，导致围岩稳定性差。此外，围岩在受力后容易发生塌方或坍塌，给隧道施工带来巨大风险。因此，深入了解软弱围岩的物理和力学性质对于预判施工过程中可能出现的问题具有重要意义。

1.2 软弱围岩对隧道施工的影响

软弱围岩的主要特性直接影响隧道施工的稳定性和安全性。由于围岩强度低，施工过程中往往出现围岩变形和支护结构的过度变形，甚至导致支护失效，严重影响施工进度和隧道结构的长期稳定。此外，软弱围岩在水文条件不利的情况下，易发生涌水、泥水渗漏等问题，进一步加剧施工难度。围岩变形不仅影响施工安全，还可能导致工期延误、施工成本增加等问题。因此，软弱围岩的影响不能忽视，必须采取有效的措施来应对[1]。

1.3 软弱围岩引发的施工风险与防控措施

软弱围岩引发的施工风险主要体现在围岩变形、施工事故以及工期和成本的控制等方面。为了减少围岩对施工的影响，需要采用科学的变形监测技术、支护设计以及施工工艺改进措施。在变形监测方面，可以通过安装多点位监测设备，对围岩的变形进行实时跟踪，及时发现潜在风险。在支护设计上，针对软弱围岩的特性，优化支护结构，如采用分级支护和自适应支护技术，确保隧道在施工过程中的稳定性。此外，通过合理的施工工艺调整，可以有效控制围岩变形，减少施工中可能出现的风险。采取多重防控措施的综合性管理方式，是应对软弱围岩影响、保证隧道施工安全的有效途径。

2 变形监测技术在软弱围岩隧道施工中的应用

变形监测技术是软弱围岩隧道施工中的关键环节，通过实时监测围岩变形，可以及时发现风险并采取相应措施，确保施工的安全与顺利进行。

2.1 变形监测技术的基本原理与方法

变形监测技术主要通过对隧道围岩的变形、位移、应力等参数的实时监控，了解围岩的变形趋势和动态变化。

常见的变形监测技术包括地质雷达、全站仪、光纤传感器、位移计、应变计等。这些设备能够在隧道施工过程中实时获取数据，提供围岩变形的准确分析。在实际应用中，选择合适的监测设备与方法，根据不同的地质条件和施工阶段进行针对性的监测，确保能够有效反映围岩的变形情况。尤其在软弱围岩环境中，变形监测技术发挥着至关重要的作用，帮助工程人员及时获取围岩变形的变化趋势，进而调整施工方案或加强支护结构。

2.2 变形监测在软弱围岩隧道施工中的应用现状

在软弱围岩隧道施工中，变形监测技术已广泛应用于围岩稳定性分析、支护设计优化、施工过程监控等多个方面。通过对隧道周围的岩层和围岩的监测，可以实时获取围岩的应力、位移和变形量，帮助工程人员判断围岩的稳定性，预测施工中可能出现的风险。例如，利用全站仪进行隧道周围地表的变形监测，结合数值模拟与实际监测数据，可以提前发现围岩的潜在破坏区域，避免意外事故发生。此外，光纤传感器在软弱围岩隧道施工中的应用也逐渐普及，它可以精准地反映围岩的应变分布，为施工提供详细数据支持[2]。监测数据的实时传输与处理，也使得施工人员能够快速反应并采取有效措施，保障隧道施工的安全。

2.3 变形监测技术的优化与发展趋势

随着科技的进步，变形监测技术在软弱围岩隧道施工中的应用不断优化。未来，智能化与自动化的变形监测技术将成为趋势。例如，结合物联网技术，构建全自动化、智能化的监测系统，可以实现对围岩变形的精准监控，并通过大数据分析对施工安全进行预测与评估。传感器的智能化与网络化发展，将进一步提高监测的效率与准确性。除了传统的设备监测，近年来基于无人机和地质雷达等新型技术的监测方式也逐渐获得关注，这些技术能够在复杂环境下进行非接触式监测，极大地提高了施工的安全性和监测数据的可靠性。通过这些技术的结合与发展，变形监测将在软弱围岩隧道施工中发挥更大的作用，保障隧道工程的安全与稳定。

3 支护设计优化在围岩变形控制中的作用

支护设计优化是软弱围岩隧道施工中控制围岩变形的核心措施之一。科学合理的支护设计能够有效降低变形风险，保证隧道施工的安全与稳定。

3.1 支护设计优化的基本原则与方法

支护设计优化旨在根据围岩特性与施工条件，合理选择支护结构及施工工艺，从而有效防止围岩变形。优化设计的基本原则包括：根据围岩的力学性质选择合适的支护材料与支护方式；根据地质条件、地下水情况及施工阶段进行分层支护；实施动态调整，以应对施工过程中围岩的不同变化。常见的支护方式有喷射混凝土支护、钢拱架支护、锚杆锚索支护等，这些支护方式可根据实际情况组合使用。在软弱围岩环境下，采用适应性强的支护设计，不仅能增强隧道结构的稳定性，还能最大限度地减少围岩变形，确保隧道施工的顺利进行。

3.2 支护设计优化对围岩变形控制的关键作用

支护设计优化对围岩变形控制起着至关重要的作用。通过对支护结构的科学设计，可以有效分散和转移围岩的应力，减少围岩变形。在软弱围岩条件下，由于围岩强度较低、变形量较大，采用适合的支护结构可以提高支护系统的承载能力，抵抗外部压力，避免出现塌方或滑坡等风险。优化的支护设计能够确保支护结构与围岩的良好配合，使支护系统能在围岩变形过程中提供足够的支撑力。此外，合理的支护设计还能够通过减少支护材料的浪费、降低施工难度，从而达到节约成本的目的，保证工程的经济性[3]。

3.3 支护设计优化的实际应用与未来发展方向

在实际工程中，支护设计优化已广泛应用于软弱围岩隧道的施工。随着技术的进步，支护设计的优化不仅限于传统支护方法的改进，还包括智能化支护设计的应用。例如，结合数字化建模与数值模拟技术，可以更加精确地预测围岩的变形趋势，为支护设计提供数据支持。此外，智能支护技术的逐步引入，使得支护设计在施工过程中能够根据实时监测数据进行动态调整，提高了支护结构的适应性和可靠性。未来，支护设计优化将朝着更高效、环保、智能化的方向发展，尤其是在软弱围岩环境下，优化设计将不仅关注结构安全，还将充分考虑对环境的影响，推动隧道工程向可持续发展方向迈进。通过不断创新和改进支护设计技术，能够进一步提升隧道施工的安全性与经济性。

4 施工工艺改进对围岩变形的有效控制

施工工艺改进在软弱围岩隧道施工中具有重要作用，通过精细化施工管理和技术创新，有效减少围岩变形，保障隧道结构稳定与施工安全。

4.1 施工工艺改进的基本理念与技术手段

施工工艺改进的核心理念是通过优化施工过程，降低对围岩的扰动，减少变形，提升施工效率。在软弱围岩条件下，传统的施工工艺往往会造成围岩大范围的变形，影响隧道稳定。为此，可以采用分段施工、逐步开挖、轻量化作业等技术手段，减少对围岩的破坏。例如，在开挖过程中采用“先支护后开挖”的方式，即先在开挖面进行支护，确保周围围岩得到有效支撑，避免出现不必要的变形。此外，采用机械化作业和现代化施工设备，不仅能提高施工效率，也能有效控制施工对围岩的扰动，从而降低变形风险。

4.2 施工工艺改进对围岩变形控制的作用

在软弱围岩隧道施工中，施工工艺改进能够显著减少围岩的变形。通过优化开挖顺序、支护方式和施工设备的选择，能够有效分散围岩的应力，减小施工过程中围岩的变形量。比如，在施工过程中采用逆向开挖或顺层开挖的方式，有助于减少围岩应力集中，降低围岩变形的几率。

同时，通过控制施工的步幅、速率和环境条件，避免过快开挖或过度扰动围岩，从而达到减小围岩变形的目的。施工过程中，精确的控制施工参数和及时的调整施工方案，是减少围岩变形的关键。此外，优化的施工工艺还可以减少支护结构的负担，降低施工成本，提高施工效率[4]。

4.3 施工工艺改进的未来发展与挑战

随着技术的不断进步，施工工艺的改进将进一步提高围岩变形控制的效果。未来，更多智能化、自动化的施工工艺将得到应用，例如，利用无人机进行地质勘察和实时监控，通过数据传输和智能分析系统，动态调整施工方案，从而更精确地控制围岩变形。此外，基于大数据和人工智能技术的施工管理系统将能够实时处理监测数据，分析围岩的变形趋势，为施工人员提供更加科学的决策支持。这些新兴技术的引入，将使施工工艺更加精准、灵活和高效，进一步提升围岩变形控制能力。然而，这也带来了新的挑战，如技术的高成本、技术人员的培训以及对设备的依赖等。如何平衡技术创新与经济可行性，仍然是施工工艺改进中的一项重要任务。

5 软弱围岩隧道施工变形控制技术的实践与经验总结

软弱围岩隧道施工过程中，变形控制是保障隧道稳定性和施工安全的关键。实践经验和技术积累为有效控制围岩变形提供了宝贵的参考和指导。

5.1 变形控制技术的实践应用

在软弱围岩隧道施工中，变形控制技术通过实时监测、支护设计优化和施工工艺改进等手段得到广泛应用。在实际工程中，采用了如全站仪、地质雷达等设备进行变形监测，并结合实时数据调整施工方案。例如，利用光纤传感器监测围岩应力和位移，可以提供精确的围岩变形数据，及时发现潜在问题，从而采取必要的加固措施。在支护设计方面，采用了分级支护和自适应支护结构，显著提升了围岩的稳定性。通过不断积累的监测数据，施工人员能够随时调整开挖进度和支护结构，确保施工过程中围岩变形保持在可控范围内[5]。

5.2 支护与施工工艺的优化实践

支护设计和施工工艺的优化在软弱围岩隧道施工中至关重要。在多次实际施工过程中，优化的支护设计和工艺被证明有效减少了围岩变形的风险。针对软弱围岩的低强度特性，选择了分段支护的方式，逐步加固围岩，减少施工过程中围岩的破坏。同时，采用了先支护后开挖的工艺，即在开挖前先进行支护作业，确保围岩稳定性。在施工中，控制开挖速率、步幅等参数，避免过快的开挖对围岩造成过大扰动，减轻围岩的变形压力。此外，科学安排施工阶段，逐步实施，以避免一次性扰动过大，导致围岩突发性变形。

5.3 实践中的经验与未来发展

在软弱围岩隧道施工的实际应用中，变形控制技术不断完善，积累了宝贵的经验。通过持续优化监测技术、支护设计和施工工艺，施工中的围岩变形得到了有效控制，隧道施工的安全性大幅提升。未来，随着智能化监测技术和施工工艺的不断发展，围岩变形控制将更加精准和高效。例如，利用人工智能和大数据分析，实时评估围岩的稳定性并自动调整施工方案，将使隧道施工管理更加智能化和精细化。然而，技术的进步还需要与经济性和可操作性相结合，在确保施工安全的前提下，控制成本并提升施工效率。这些将成为未来隧道施工变形控制技术研究的重点方向。

6 结语

软弱围岩隧道施工中，围岩变形控制技术的不断创新与优化对于确保施工安全和隧道结构稳定具有重要意义。通过合理的变形监测、支护设计优化和施工工艺改进，已有效减少了围岩变形，提升了施工的顺利性与安全性。随着智能化技术的应用和施工经验的积累，未来的隧道施工将更加精准、科学，推动软弱围岩隧道工程向更高效、安全的方向发展，为工程建设提供更强有力的技术支持。

[参考文献]

[1]曾友平.软弱围岩隧道变形控制技术研究[J].江西建材,2016(17):151-152.
[2]高艳花.软弱围岩隧道大变形系统控制技术研究[J].铁道建筑技术,2018(7):65-68.
[3]张海勇.铁路软弱围岩大变形隧道施工控制技术[J].交通世界,2018(32):39-40.
[4]刘印平.软弱围岩隧道施工过程的变形分析与控制技术研究[J].散装水泥,2024(1):39-41.
[5]刘佳诚.软弱围岩浅埋大断面隧道施工工法与变形控制技术分析[J].河南科技,2024,51(19):48-53.

作者简介：王敏（1996.9—），男，毕业院校：长沙理工大学城南学院，土木工程。

建筑工程施工存在的问题与对策分析

袁付奇
涡阳市政建设集团有限公司，安徽 亳州 233600

[摘要]随着市场需求的多样化，建筑行业的快速发展促使施工单位不断提升其管理水平。传统的建筑施工管理模式常常无法应对日益复杂的施工环境和严格的质量标准。随着技术的不断进步，建筑施工管理逐步向精细化和智能化转型，然而，设计与施工脱节、施工质量不达标、工期延误以及成本超支等问题依然存在。在一些中小型建筑企业中，由于管理经验的不足或资源配置的不合理，施工过程中出现的问题尤为突出。为提高建筑工程的整体水平及增强施工单位的市场竞争力，行业亟需推进管理体制的改革，引入先进的管理理念与技术手段，以推动施工质量和效率的双重提升。

[关键词]建筑工程；施工管理；问题；对策
DOI：10.33142/sca.v8i3.15780　　中图分类号：TU71　　文献标识码：A

Analysis of Problems and Countermeasures in Construction Engineering

YUAN Fuqi
Woyang Municipal Construction Group Co., Ltd., Bozhou, Anhui, 233600, China

Abstract: With the diversification of market demand, the rapid development of the construction industry has prompted construction units to continuously improve their management level. The traditional construction management model often cannot cope with the increasingly complex construction environment and strict quality standards. With the continuous advancement of technology, construction management is gradually transforming towards refinement and intelligence. However, problems such as disconnection between design and construction, substandard construction quality, project delays, and cost overruns still exist. In some small and medium-sized construction enterprises, problems that arise during the construction process are particularly prominent due to insufficient management experience or unreasonable resource allocation. In order to improve the overall level of construction projects and enhance the market competitiveness of construction units, the industry urgently needs to promote the reform of management systems, introduce advanced management concepts and technical means, and promote the dual improvement of construction quality and efficiency.

Keywords: construction engineering; construction management; problems; countermeasures

引言

随着城市化进程的加速，建筑行业正面临日益复杂的挑战。建筑项目不仅规模庞大，涉及的环节繁多，而且对施工技术、人员及资源配置的要求也在不断提高。为此，施工管理与控制显得尤为关键。工期、成本、施工质量以及安全生产的管理，直接决定了项目的最终效果。尽管如此，实际施工中仍存在许多问题，这些问题对项目的顺利推进造成了显著压力。因此，强化管理、提升工程质量、确保安全并优化成本控制，已成为建筑行业亟待解决的核心课题。

1 建筑工程施工管理的必要性

建筑工程通常规模庞大，涉及的施工环节、技术要求和施工人员数量繁多。由于其复杂性，施工过程中容易受到各种外部因素的影响，这使得工程质量可能未能达到预期标准。在这种情况下，施工管理的作用尤为突出。一个有效的施工管理体系能够在施工前、施工中及施工后的各个阶段进行精准监督，确保各环节之间的有序衔接。同时，施工人员、设备和材料的合理调配与优化使用是提高施工质量的关键。扎实的施工管理可以有效控制工程质量，提升施工效率，避免因管理不当带来的潜在风险。随着市场环境的变化，建筑行业面临的竞争愈加激烈。建筑企业若想在这种竞争中脱颖而出实现可持续发展，必须加强施工管理，并力求降低施工成本。高效的管理可以确保施工现场的人员、材料和设备得到最优配置，从而避免因设、材料浪费或人力配置不当而导致的延误及额外费用支出。这种管理方式不仅有助于提高施工效率和工程质量，同时还能减少不必要的开支，从而提升建筑企业的经济效益与社会效益。通过优化施工管理，企业能够在保证工程质量的前提下有效控制成本，从而增强市场竞争力，促进行业的持续发展。

2 建筑工程施工中存在的主要问题

2.1 设计与施工的脱节

在建筑工程中，设计与施工脱节常常带来一系列不必要的困难。设计阶段通常侧重于理论构思与规划，重视美学与功能性，但在实际施工过程中，设计方案往往难以完全适应施工现场的实际情况。土壤条件、气候变化或现有

基础设施的限制，可能与设计图纸之间存在差异，这使得工程无法按原计划推进。由此带来的脱节，不仅影响施工进度，还可能导致材料浪费、工期延误以及成本超支等问题。设计与施工团队之间沟通的不足也是脱节的重要原因之一，有效的协调与交流往往缺失，设计人员可能未能充分理解施工的实际难度，而施工人员对设计的意图与细节的把握也不够清晰。正是这种信息差异，使得施工过程中技术难题频繁出现，设计上的错误加剧，从而影响项目的整体质量与进度。设计与施工脱节，已成为建筑工程中难以忽视的隐患，严重影响项目的顺利完成。

2.2 施工质量问题

施工质量问题在建筑工程中较为常见，通常由多种因素相互作用所引发。许多企业在项目管理过程中，为了降低成本，过度压缩预算，忽略了对施工质量的充分保障。为了追求短期的经济效益，企业往往削减了必要的质量管理措施与安全防范，导致质量问题无法得到足够重视。尤其是在预算压力较大的项目中，安全管理也容易被忽视，进而增加了施工过程中潜在的安全风险，甚至可能引发事故。另外，很多施工企业缺乏完善的问责机制，导致质量问题得不到及时解决。一旦工程出现质量缺陷，部分企业往往推卸责任，缺乏有效的追责机制。这样一来，质量问题未能得到有效遏制，且问题的根源得不到根本性改进。与此同时，市场监管的薄弱也在其中起到了推波助澜的作用。在建筑市场中，假冒伪劣材料和设备频繁流入施工现场，尤其是在监管较为松散的地区，假冒产品屡禁不止。这些不合格的建材和设备直接影响了工程质量，严重削弱了施工质量的保障，甚至可能埋下安全隐患。施工质量问题不仅反映了施工单位在管理上的失误，也揭示了市场与监管体系的不足。

2.3 工期延误问题

工期延误是建筑工程中常见的复杂问题，通常由多种因素相互作用引发。项目管理不当，往往是导致工期延误的关键原因之一。在项目启动阶段，施工单位未能进行充分的工期规划，或者在执行过程中未能有效地跟踪和调整进度，这种管理上的疏忽，通常使得实际施工进度与原计划发生偏差，从而延长了工期。不可控的外部因素，如恶劣天气、突如其来的自然灾害等，也常常扰乱施工进度，最终导致工期的延误。此外，设计变更也是引起工期延误的常见因素之一，当设计方案在项目进行到一定阶段时发生修改，通常需要进行返工或增加额外的工作量，这些变动必然会耽误原定的工期。供应链问题，尤其是建筑材料和设备的短缺或延迟到场，也是导致工期延误的重要因素。建筑工程常常需要大量的原材料和设备，任何一环的供应问题，都可能导致施工进度的受阻。在一些项目中，施工单位为了节约成本，或由于供应商管理不当，常遇到材料供应滞后或质量不达标的问题，这无疑会对工期造成严重影响。各种因素的叠加作用，使得工期延误成为建筑工程中普遍存在的挑战。

2.4 成本控制问题

成本控制问题是建筑工程中常见且棘手的挑战，直接影响项目的经济效益以及企业的市场竞争力。预算编制不精准是导致成本失控的一个重要因素，许多施工单位在项目初期对预算的预估过于乐观，未能充分考虑到施工过程中可能出现的变动或额外开支，从而使得项目在实施阶段频繁面临超支问题。另外，材料与设备的采购管理不当，也为成本控制带来了隐患。在一些项目中，为了节省开支，施工单位选择了价格较低或质量不合格的建筑材料。虽然这些材料能够降低初期成本，但由于质量问题频繁导致返工，这不仅影响了工程的整体质量与安全，最终还增加了额外的支出。人员管理不当也是成本控制难以实现的一个原因，某些施工队伍存在人员配备不合理的情况，某些环节的人力过剩，而一些关键技术岗位却人手不足。这种不均衡的配备，降低了施工效率，导致工期延误，进而推高了项目的总成本。此外，管理层对成本控制的重视程度不足，致使对项目中的不必要开支缺乏有效监督，最终导致预算大幅超支。

2.5 安全生产问题

建筑工程中的安全生产问题一直是影响项目顺利推进的关键因素之一。安全管理制度的落实不力是主要原因之一。虽然大部分施工单位都有制定安全管理规定，但由于管理人员安全意识不强，这些制度往往无法得到有效执行。部分管理人员未能按要求进行日常检查与监督，使得安全措施形同空谈，导致施工现场潜藏的安全隐患未能及时发现或解决。另一个严重问题是施工人员普遍缺乏安全意识，在一些项目中企业未能在人员进场前进行系统的安全教育与培训，导致施工人员对现场的安全风险认识不足。由于缺乏安全防范意识，许多工人往往忽视操作规范，随意违章作业，增加了安全事故的发生概率。这种管理上的缺失不仅直接威胁到工人的安全，也使整个项目的安全保障处于不稳定状态，极大地影响了工程的正常进行。

3 解决建筑工程施工问题的对策

3.1 加强设计与施工的协调

为了消除设计与施工之间的脱节，强化两者之间的协作与沟通显得尤为重要。在项目初期，应当充分对接设计团队与施工单位，确保设计图纸具备可执行性，并根据现场的实际情况对设计作出必要的调整。在施工过程中，设计人员应与施工团队保持密切联系，及时解决技术难题和设计偏差，确保设计目标能够顺利实现。同时，施工单位应深入分析设计方案，提前识别潜在的施工难点，并提出有效的优化建议，从而减少不必要的返工。定期举行跨部门会议并建立沟通机制，对于解决问题至关重要。通过定期的交流，设计与施工团队能够共同审视项目的进展，及

时发现问题并采取针对性的措施解决，从而避免因设计与施工脱节带来的延误或质量问题。这种协同工作的方式，不仅能够提升施工效率，还能有效降低项目风险，确保项目能够按计划高质量完成。

3.2 提升施工质量管理水平

提升施工质量管理水平是确保建筑工程顺利进行的核心要素。一个完善的质量管理体系必须由施工单位建立，确保项目从开工到竣工的每个环节都能落实明确的质量标准与责任分工。在施工过程中，材料的采购与验收必须严格把关，确保所有材料符合质量标准，并通过规范的质量检验流程，杜绝劣质材料流入施工现场。同时，施工工序应严格按照规范操作，对施工人员进行必要的技术培训，并强化质量意识，以保证施工质量的稳定性。现场质量监督在质量管理中占据着至关重要的地位，管理人员应保持高度警觉，对施工质量进行随时检查，及时发现并纠正任何不符合标准的行为。通过制定详尽的质量检查计划与定期审核，确保每个环节都经过严格把关。现代技术工具，如建筑信息模型（BIM），也能为施工过程提供动态监控与实时反馈，从而进一步提升施工质量的可控性与透明度。通过这一全面的质量管理体系，不仅能有效减少质量事故，还为项目的顺利交付奠定了坚实的基础。

3.3 合理安排工期与进度控制

合理安排工期及有效控制进度是确保建筑工程按时完成的关键。在项目启动前，应制定科学的工期计划，明确各阶段的具体目标与关键节点，确保每一环节的工作能按时且保质地推进。基于此，还需考虑施工现场的实际情况，如气候变化、材料供应及人力资源等，进度安排应灵活调整，以应对突发情况或不可预见的困难。在施工过程中进度控制尤为重要，项目管理团队应定期将施工进度与工期计划进行对比，及时识别偏差并进行调整。借助项目管理软件等现代工具，管理人员能够实时跟踪施工进度，确保工作按计划推进。若遇延误，应迅速采取措施进行补救，以防工期延误[1]。此外，资源协调同样至关重要，施工人员、设备及材料的及时到位是确保进度顺利推进的关键。通过优化资源配置与精细化管理，才能有效保障工期与进度，最终确保项目按期交付。

3.4 强化成本控制和预算管理

在建筑工程中，强化成本控制及预算管理是确保项目顺利推进的关键因素。在项目启动阶段，预算编制必须详尽且合理，充分考虑到可能的费用波动，并为潜在的风险预留应急资金。一旦预算被确定严格执行是至关重要的，确保所有支出都按照预算进行审批，避免超支与浪费。同时，应合理控制各项成本，包括材料采购、设备租赁及人工费用等，采取有效的采购策略，避免因不当采购导致成本上升。在施工阶段，成本管理不能仅停留在预算控制上，还需进行动态监控与及时调整。项目开支应定期进行审核，及时识别偏差并进行调整，确保整体成本不超过预算[2]。此外，建立完善的成本核算与责任追踪体系，每一笔支出都应详细记录与分析，确保费用合理支出。同时，通过提升施工效率与合理资源安排，减少因管理不当引起的浪费与重复作业，进一步降低工程成本。通过全过程的监控与严格管控，建筑企业不仅能够确保项目在预算范围内顺利完成，还能提升经济效益，增强市场竞争力。

3.5 加强安全生产管理

加强安全生产管理在建筑工程中具有至关重要的地位。施工单位应当建立并完善安全管理体系确保其有效实施，管理层必须树立起强烈的安全意识，将安全生产置于首要位置，定期对施工现场进行检查，及时发现隐患并采取措施排除。同时，现场必须配备必要的安全设施，如防护栏、安全网及消防设备，以确保施工人员的生命安全。施工人员的安全教育与培训同样不可忽视。在项目开工前，所有进入工地的人员必须接受全面的安全培训，使其了解现场潜在的，危险并掌握必要的操作技能[3]。在施工过程中，管理层应定期组织安全演练以及突发事件的应急处理培训，提升工人的应对能力，最大程度减少因人为疏忽引发的安全事故。通过强化安全管理、完善安全设施并提升全员的安全意识，能够有效减少事故发生的风险，从而确保项目顺利进行。

4 结语

建筑工程施工涉及众多复杂环节，面临着各种挑战与问题。从设计与施工之间的脱节，到施工质量、安全生产管理、工期延误以及成本控制等方面，都是影响工程顺利完成的关键因素。通过加强设计与施工之间的协调与合作、提升施工质量管理水平、合理规划工期与进度控制、强化成本与安全管理等措施，可以有效应对这些问题，确保项目能够按时并高质量地交付。施工单位应始终保持强烈的责任感与敏锐的风险意识，结合先进的管理技术与工具，优化各环节的工作流程，最大化资源利用效率。只有通过这些举措，企业方能在激烈的市场竞争中占据优势，推动建筑行业向着长远可持续发展迈进。

[参考文献]

[1]叶欣.建筑工程施工安全管理中的问题及处理对策分析[J].建材与装饰,2020(11):170-171.
[2]周喻.建筑工程施工中存在的问题及对策分析[J].河南建材,2020(5):71-72.
[3]杜旭东.建筑工程施工质量管理中存在的问题及分析对策[J].大众标准化,2022(16):40-42.

作者简介：袁付奇（1993.9—），毕业院校：黄山学院，所学专业：土木工程，当前就职单位：涡阳市政建设集团有限公司。

广州地铁 CRD 法隧台车站施工变形规律研究

陆 跃
中铁上海工程局集团有限公司，上海 201906

[摘要]广州地铁 13 号线西场站便是基于交叉中隔墙法先隧台后挂厅的组合车站形式，该站周边邻近既有居民楼、高架桥桩以及既有地铁站，对施工变形控制要求高。本论文以广州地铁 13 号线西场站为工程背景，通过现场监测、有限元数值模拟等方法，研究交叉中隔墙法侧式隧台施工引起的地表变形规律，重点分析左右洞室施工工序对地表变形时空分布规律的影响，为优化 CRD 法施工变形控制提供科学依据。

[关键词]交叉中隔墙法；先隧后台；地表变形；Peck 理论
DOI：10.33142/sca.v8i3.15804　　中图分类号：TU94　　文献标识码：A

Research on the Deformation Law of CRD Tunnel Platform Station Construction in Guangzhou Metro

LU Yue
Shanghai Civil Engineering Group Co., Ltd. of CREC, Shanghai, 201906, China

Abstract: Xichang Station on Guangzhou Metro Line 13 is a combination station form based on the cross partition wall method, with a tunnel platform and a hanging hall. The station is adjacent to existing residential buildings, elevated bridge piles, and existing subway stations, requiring high requirements for deformation control during construction. This paper takes the Xichang Station of Guangzhou Metro Line 13 as the engineering background. Through on-site monitoring, finite element numerical simulation and other methods, it studies the surface deformation law caused by the construction of the cross partition wall method side tunnel platform. The focus is on analyzing the influence of the left and right tunnel construction processes on the spatiotemporal distribution law of surface deformation, providing scientific basis for optimizing the deformation control of CRD method construction.

Keywords: cross partition wall method; first tunnel backend; surface deformation; Peck's theory

引言

在我国，盾构法和浅埋暗挖法是修建地铁隧道的主要施工方法，盾构法因其修筑速度快而被广泛采用。地铁车站的建设与地铁隧道的修建相辅相成密不可分，地铁车站之间间距小，盾构机掘进长度远大于车站间距，若在两车站间设置盾构井不仅发挥不了盾构机优势且提高了线路工程造价。为此，有学者创新性提出“先隧后站”施工方法，区别于传统先修建地铁车站后开挖隧道，该方法采用盾构先行，将线路各区间段隧道进行盾构贯通，再扩挖地铁车站的施工顺序，因此也称为盾构扩挖法。该方法的优势在于减少了盾构机装拆、掉头等施工时间，避免盾构掘进与车站修建互相干扰，大大优化了线路施工组织设计。

但有些车站由于地层的特殊性及周边建筑环境的复杂性，导致盾构法不适用，只能选择浅埋暗挖法。广州地铁 13 号线西场站便是基于交叉中隔墙法先隧台后挂厅的组合车站形式，该站周边邻近既有居民楼、高架桥桩以及既有地铁站，对施工变形控制要求高。此外，该站采用了先暗挖建站台、后明挖建厅、最后顶管施工建连接通道等多种工法组合施工，对周边环境的影响机理其复杂。研究复杂敏感环境下基于交叉中隔墙法先隧台后挂厅组合车站建造关键技术，不仅为保障本站施工安全提供支撑，也可以为今后其他类似的基于浅埋暗挖的先隧后厅车站提供科学依据。

通过调研国内外研究，可以发现目前关于先隧后厅、先隧后站的研究，主要集中在盾构隧道，缺乏基于浅埋暗挖法的先隧后站研究，亟需展开基于浅埋暗挖法先隧后站的关键技术研究，为相关研究填补空白，同时为相关工程提供科学依据和支撑。

本文以广州地铁 13 号线西场站为工程背景，通过现场监测、Peck 理论、有限元数值模拟等方法，研究交叉中隔墙法侧式隧台施工引起的地表变形规律，重点分析左右洞室施工工序对地表变形时空分布规律的影响，为优化 CRD 法施工变形控制提供科学依据。

1 工程概况

西场站位于东风西路如图 1 所示，在环市西高架与德坭立交（广三铁路高架桥）两个高架引桥之间，周边主要有广雅小学，荔教大厦，和平南小区，和平新村等。线路与已运营的五号线十字相交。车站为地下二层侧式站台车站，明暗挖结合施工，站厅站台隧道分离设置，与既有五号线西场站换乘。车站有效站台中心里程为 CK16+007.010，设计起终点里程为 CK15+906.510～CK16+107.510，全长 201m。站台隧道采用交叉中隔壁 CRD 法施工，导洞施工顺序如图 2 所示。

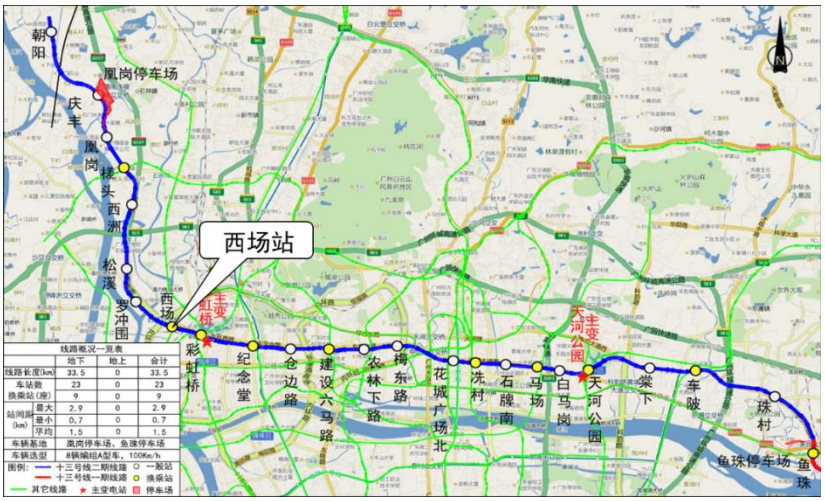


图 1　广州市轨道交通十三号线西场站地理位置示意图

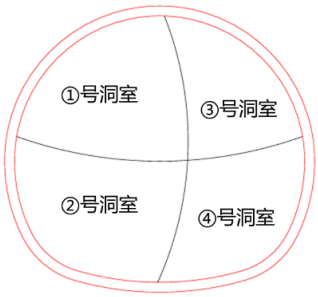


图 2　CRD 工法导洞开挖顺序图

南站厅、北站厅及南侧 1 号风亭组，均采用明挖法施工。北侧明挖站厅基坑长度为 144.7m，宽度为 19.1m～21.1m；南侧明挖站厅基坑长度为 111.2m，宽度为 20.7m～39.8m；南侧风亭基坑长度为 32.1m，宽度为 31.2m；3 个明挖基坑深度均约为 20.6m，南北站厅设置 3 个顶管通道。明挖结构拟采用地下连续墙+内支撑支护形式。地基承载力要求不小于 180kPa。车站站台隧道采用暗挖法施工，隧道拱顶埋深约为 10m，结构净宽约为 10.7m，结构净高约为 9.85m，采用复合式衬砌结构形式。

勘察时初见水位埋深为 0.8～3.30m，标高为 5.01～7.96m；混合稳定水位埋深为 1.00～3.70，标高为 4.61～7.66m。根据地下水位及揭示岩土层接触情况分析，本标段第四系松散层孔隙水、基岩裂隙水与地表水整体性存在一定的水力联系，具有同一自由水面，整体性而言均为承压水，但局部区段存在潜水，根据本次各孔观测到的水位综合考虑，其水头的水位高度可按地表以下 1m 考虑。

站台暗挖隧道及顶管通道顶板之上地层主要为残积土粉质黏土<5N-1>、<5N-2>及全风化层<6>；隧道洞身主要穿越残积土粉质黏土<5N-2>、全风化层<6>及强风化泥质粉砂岩<7-3>，局部为中风化泥质粉砂岩层<8-3>，隧道综合围岩分级为Ⅴ级。隧道洞径范围内软硬不均匀，施工较为不利；顶管经过碎块状强风化砾岩<7-1>及强风化泥质粉砂岩时有一定困难。

根据现场地质勘察、现场测试及室内实验，隧台上下影响范围内土层分布及主要物理力学指标如表 1 所示。

表 1　土层分布及主要物理力学指标

层号	地层名称	平均层厚（h）/m	容重（γ）/kN·m^{-3}	黏聚力（C）/kPa	内摩擦角（φ）/°
1-1	杂填土	1.2	18.0	13	12.0
1-2	素填土	1.1	18.7	13	12.0
2-1	粉质黏土	9.2	18.8	24.2	12.6
2-2	淤泥质粉质黏土夹黏质粉土	7.3	18.1	15.5	12.0
2-3	砂质粉土	4.5	19.0	12.9	27.3
2-4	粉砂夹砂质粉土	9.4	19.4	9.1	32.1

2 CRD 法车站地表变形监测

2.1 CRD 法车站施工地表变形现场监测分析

为监测 CRD 法站台隧道施工过程对地表变形的影响，对西场站左、右线隧道上方地表变形各设置了 2 个监测断面，共 4 个监测断面、12 个监测点如图 3 所示。监测断面和监测点示意图如图 3 所示。左线①断面上测点为 5D0603、5D0602、5D0601；左线②断面上测点为 DC2001、DC2002、DC2003。右线③断面上测点为 4DC402、4DC403、4DC404；右线④断面上测点为 4DC503、4DC504、4DC505，两隧道轴线间距为 15m。

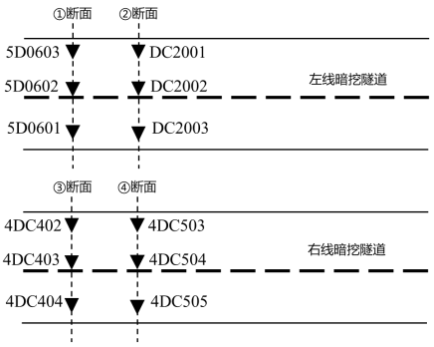


图 3　西场站监测断面布置

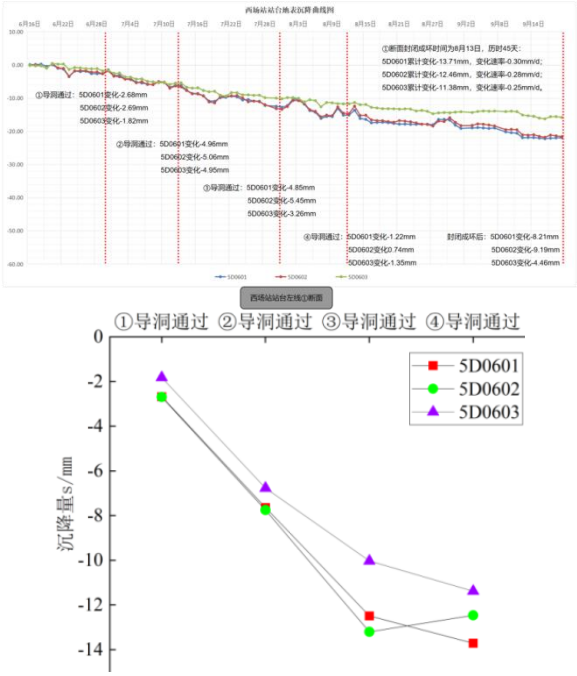


图 4　西场站左线①号监测断面地表沉降曲线

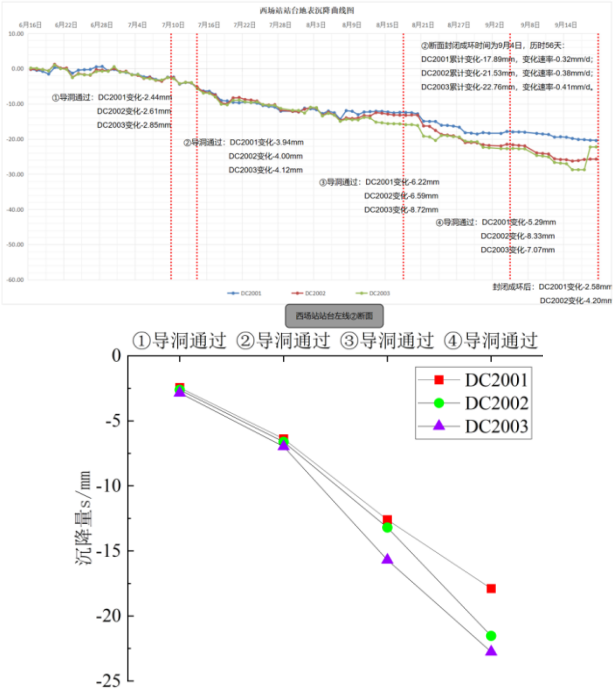


图 5　西场站左线②号监测断面地表沉降曲线

图 4、5 分别为西场站左线监测①号、②号监测断面地表各个测点沉降变化曲线。在导洞施工过程中，西场站左线监测断面各个测点的沉降速率在 0.25mm/d 至 0.41mm/d 之间，随时间增加，由于注浆的影响，变形速率下降，变形曲线趋于平缓。测点最大累计沉降出现在左线②断面 DC2003 测点，为 22.76mm。在断面封闭成环后，测点 DC2001 与测点 DC2002 沉降变形稳定。

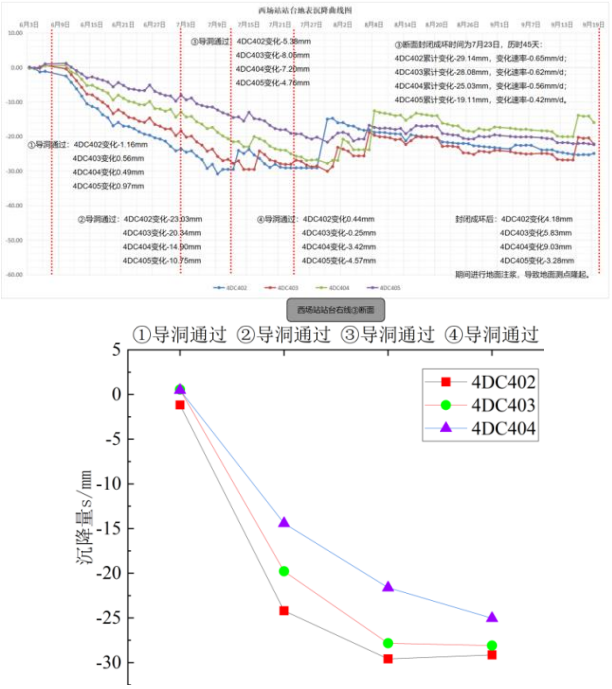


图 6　西场站右线③号监测断面地表沉降曲线

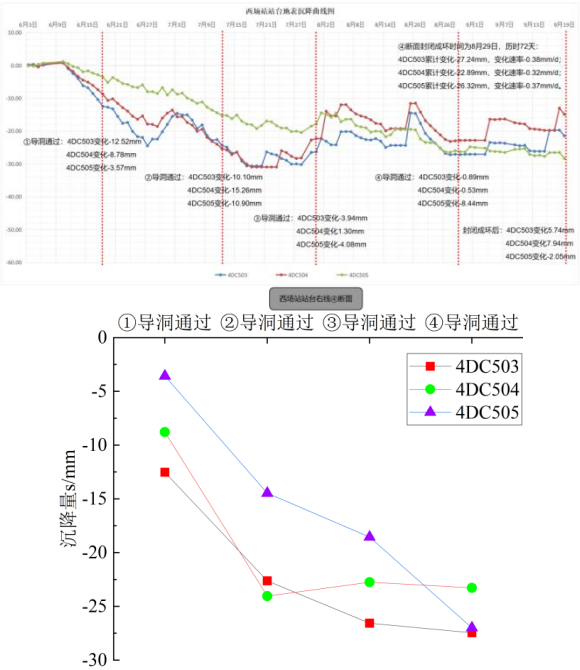


图 7　西场站右线④号监测断面地表沉降曲线

图 6、7 分别为西场站右线监测③号、④号监测断面地表各个测点沉降变化曲线。在导洞施工过程中，西场站右线监测断面各个测点的沉降速率在 0.32mm/d 至 0.65mm/d 之间，大于左线监测断面的沉降速率测点最大累计沉降出现在右线③断面 4DC402 测点，为 29.14mm，大于左线监测点最大沉降值。断面在断面封闭成环后沉降先趋于稳定而后有减小趋势。整理统计沉降数据，在④导

洞通过 4 断面后，各个断面地表监测沉降分布曲线如图 8，由于隧道掘进先后以及监测断面地层条件，监测误差等，最大地表沉降点偏离双线隧道轴线中心。

2.2 地表变形 Peck 公式预测

Peck[10]基于大量的实测地表沉降结果，认为土体的沉降是由于土体的损失导致的，土体在沉降时不排水，其损失体积等于沉降槽的体积，同时地表沉降槽近似成正态高斯分布：

$$S(x)=S_{\max}\bullet\exp(\frac{-x^2}{2i^2}) \qquad (1.1)$$

式中 x 为隧道两侧横向上距隧道中心的水平距离；S(x)与 S(max)分别为测点距离隧道轴线 x m 处的地表沉降量以及隧道中心处的最大沉降量；i 为曲线反弯点距离隧道中心的距离。对 Peck 公式求对数可得：

$$\ln S(x)=\ln S_{\max}+\frac{1}{i^2}\times(-\frac{x^2}{2}) \qquad (1.2)$$

以 $\ln S(x)$ 与 $-\frac{x^2}{2}$ 作为回归变量，根据监测沉降数据进行回归分析，可得到断面①③与断面②④的线性回归方程。断面①③回归方程如下，对应 $S_{\max}$ 为 21.69mm，i 为 16.43m，

$$\ln S(x)=3.0769+0.0037\times(-\frac{x^2}{2}) \qquad (1.3)$$

拟合后 peck 曲线与实测沉降分布曲线对比如下图 8(c)，

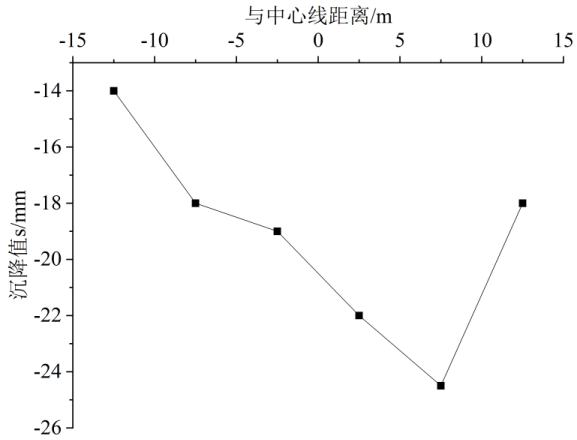
对于②④断面沉降槽分布进行回归拟合，断面②④的回归方程如下，对应 $S_{\max}$ 为 24.46mm，i 为 24.25m，

$$\ln S(x)=3.1974+0.0017\times(-\frac{x^2}{2}) \qquad (1.4)$$

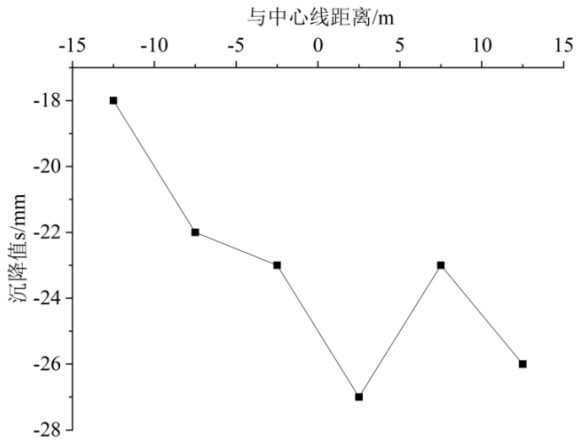
2.3 地表变形有限元数值分析

2.3.1 有限元数值模型建立

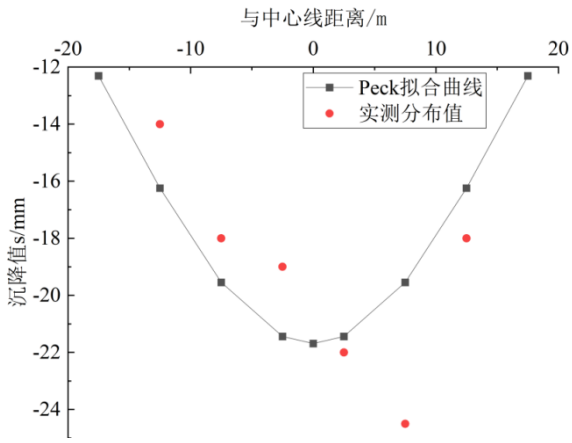
采用 ABAQUS 有限元分析软件建立西场站左、右线隧道开挖过程三维有限元数值模型并进行分析。数值模拟计算中，为减少模型边界对计算结果的影响，模型高度建议为隧道开挖深度的 3～5 倍，模型一侧距隧道距离为隧道开挖深度的 2～3 倍。隧道开挖深度为 9.8m，因此有限元模型的高度设置为 40m，模型边界距隧道开挖边界 20m，由此建立建模范围 156m×75m×40m 的计算模型。隧道开挖三维计算模型如图 2 所示。考虑土体重力荷载等，隧道开挖重力加速度取 9.8m/s²。模型中土体为弹塑性材料，采用摩尔-库伦本构模型进行模拟。



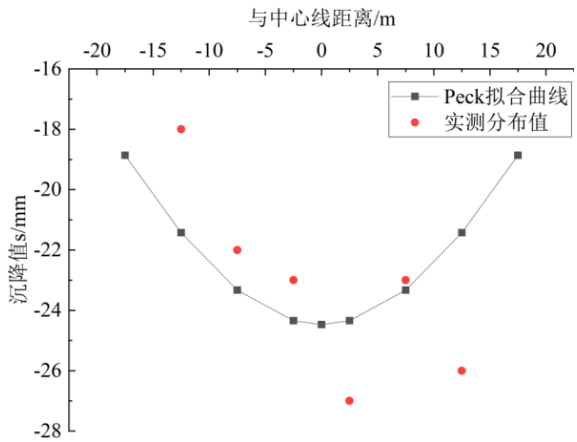
（a）西场站①③断面沉降分布曲线



（b）西场站②④断面沉降分布曲线



（c）西场站①③断面沉降槽分布对比



（d）西场站②④断面沉降槽分布对比

图 8 断面地表监测沉降分布曲线

ABAQUS 模型在继承传统有限元软件优点的同时，考虑了材料非线性、几何非线性和接触非线性等复杂问题。引入了先进的材料本构模型，可以较为全面地描述各种材料（如金属、塑料、橡胶、复合材料等）在不同载荷条件下的力学行为，包括弹塑性变形、损伤和断裂等。也可以模拟复杂的加载历史和应力路径，对于实际工程中各种复杂工况的模拟具有很高的准确性。本模型中土体参数采用西场站现场各土质参数进行取值[9]。

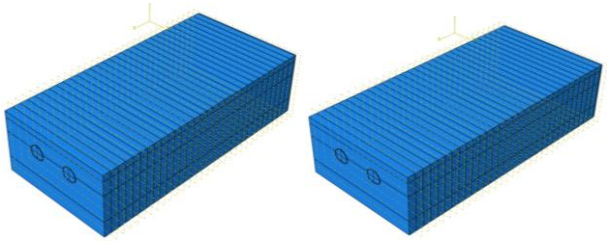


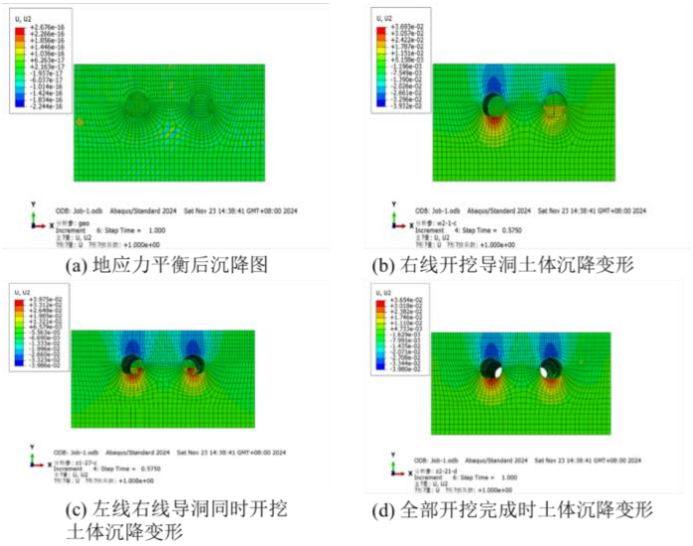
图 9　隧道开挖有限元数值模型

2.3.2 有限元数值结果分析

①土体位移以及应力状态计算结果

本模型隧道纵向长度 156m，开挖进尺为 5m。地应力平衡完成后开始进行开挖，下面我们对一些分析步时的位移和应力状态进行介绍，地应力平衡时分析步，左线开挖 40m，右线开挖 5m 时分析步，开挖长度 100m 时分析步和全部开挖完成时的分析步，三维有限元模型土体位移如图 10 所示。在右线开挖时，右线隧道拱顶沉降值逐渐增大，底部隆起量逐渐增大；采用 CRD 法开挖左线时，也将会对右线拱顶沉降量产生影响，在两侧隧道同时开挖时，拱顶沉降量以及底板隆起量逐渐增大。

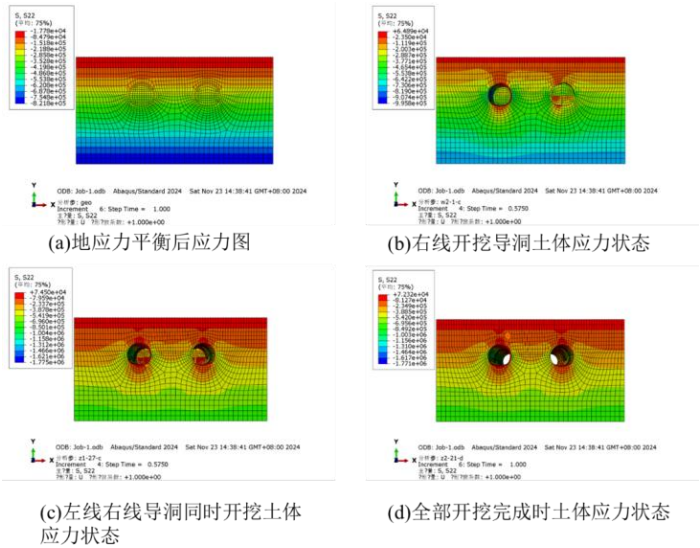
开挖过程中，土体应力状态变化如图 11 所示，在开挖左侧时，隧道；在开挖右侧时，隧道；两侧同时开挖时；开挖完成时。



(a) 地应力平衡后沉降图　(b) 右线开挖导洞土体沉降变形

(c) 左线右线导洞同时开挖土体沉降变形　(d) 全部开挖完成时土体沉降变形

图 10　三维有限元模型土体沉降变形状态



(a)地应力平衡后应力图　(b)右线开挖导洞土体应力状态

(c)左线右线导洞同时开挖土体应力状态　(d)全部开挖完成时土体应力状态

图 11　三维有限元模型土体应力状态

②沉降槽分布对比

图 12～13 为①③断面实际监测沉降分布曲线以及其 Peck 拟合沉降槽，与有限元模型计算的数值结果对比分析图。根据对比分析结果，对于①③断面，Peck 拟合曲线与实测分布值较为一致，数值计算结果整体上有一定偏差；对于②④断面，Peck 拟合曲线相比于数值计算结果更为接近于实测值。

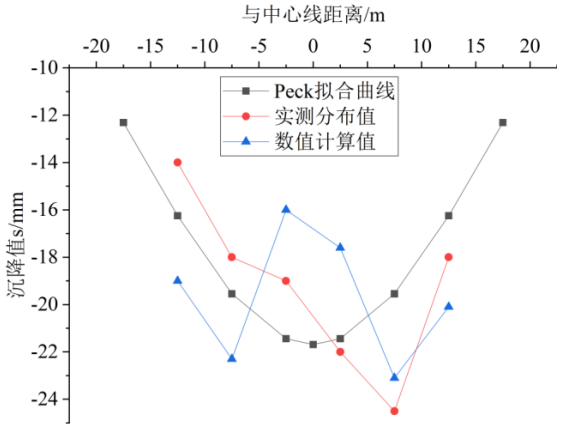


图 12　①③断面沉降槽分布曲线对比

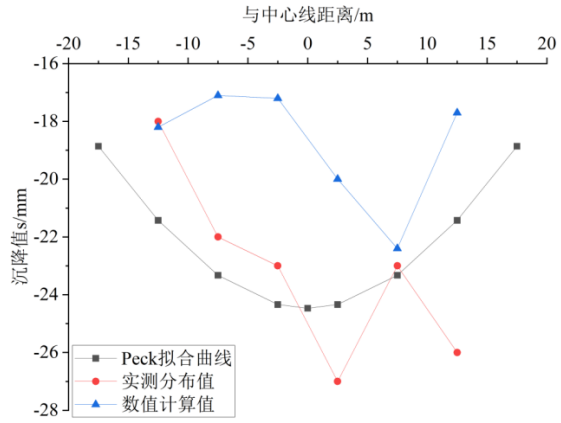


图 13　②④断面沉降槽分布曲线对比

3 结论

通过数值模拟分析和工程监测分析，得出广州地铁西场站 CRD 法施工车站变形主要表现为拱顶沉降。广州地铁西场站左、右线隧道施工引起的地表沉降特征如下：（1）广州地铁西场站左、右线一号断面，二号断面，三号断面最终沉降均小于 60mm，大于某沉降值的累计发生频率曲线符合正态分布。分析结果为制定地表沉降控制标准提供了依据。（2）结合本文的研究结论，可根据车站的埋深、跨度、开挖面积、支护措施和施工方法确定地表沉降槽曲线反弯点距离取值范围，综合考虑地层条件、施工水平和工程经验，进一步优化 CRD 法施工的开挖进尺、开挖顺序和施工面错距等参数，提高施工效率和质量，降低变形风险。（3）结合 Peck 公式对比分析，可以看出实际检测值与拟合值较为接近，但数值模拟结果有一定偏差，最大沉降位置与隧道中心线有一定偏离。

[参考文献]

[1]王卫东.《基坑工程手册》第二版[Z].上海市,华东建筑设计研究院有限公司,2009-12-01.

[2]梅国雄,宋林辉,周峰,等.地下空间开发中的岩土工程关键技术[J].南京工业大学学报(自然科学版),2008(4):98-104.

[3]吉泳安,孟舰.南京江北新区中心区地下空间一期基坑涌水事故处理与启示[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(7):94-99.

[4]樊冬冬,刘祥勇,景旭成,等.南通富水砂性地层地铁深基坑墙体渗漏原因分析[J].隧道建设(中英文),2020,40(1):225-231.

[5]杨宇,王奎,刘佑祥,等.某深厚软土基坑事故分析及抢险加固设计案例[J].岩土工程学报,2014,36(1):175-179.

[6]王树和,郑政,张举兵,等.土钉墙支护基坑对邻近地下管线的影响[J].水利与建筑工程学报,2015,13(6):19-24.

[7]李方明,陈国兴.江漫滩悬挂式止水帷幕基坑地表沉降变形研究[J].隧道建设(中英文),2018,38(1):33-40.

[8]BENZ T.Small Strain Stiffness of Soils Its Numerical Consequences[D].Stuttgart:University of Stuttgart,2006.

[9]罗敏敏,陈赟,周江.小应变土体硬化模型参数取值研究现状与展望[J].工业建筑,2021,51(4):172-180.

[10]PECK R. Deep excavations and tunnelling in soft ground[Z].1969.

作者简介：陆跃（1984.7—），男，2006 年 6 月毕业于东南大学-交通工程专业，任职中铁上海工程局集团有限公司，高级工程师。

基于 BIM 的工程造价动态管理与优化策略研究

陈赟琪
东南建设管理有限公司，浙江 湖州 313000

[摘要]随着 BIM 技术在建筑行业的广泛应用，工程造价的动态管理与优化成为提升项目管理效率和精度的关键。通过 BIM 技术对工程造价进行全过程监控和分析，可以实现实时数据更新、预警机制及成本优化，从而提高决策水平并降低工程成本。结合 BIM 的可视化、协同工作平台和大数据分析，优化了造价管理的流程和策略，提升了项目的整体经济效益和管理透明度。
[关键词]BIM 技术；工程造价；动态管理；优化策略；成本控制
DOI：10.33142/sca.v8i3.15807　　中图分类号：F407.9　　文献标识码：A

Research on Dynamic Management and Optimization Strategies of Engineering Cost Based on BIM

CHEN Yunqi
Dongnan Construction Management Co., Ltd., Huzhou, Zhejiang, 313000, China

Abstract: With the widespread application of BIM technology in the construction industry, dynamic management and optimization of engineering costs have become the key to improving project management efficiency and accuracy. By using BIM technology to monitor and analyze the entire process of engineering cost, real-time data updates, warning mechanisms, and cost optimization can be achieved, thereby improving decision-making level and reducing engineering costs. By combining BIM visualization, collaborative work platform, and big data analysis, the process and strategy of cost management have been optimized, enhancing the overall economic benefits and management transparency of the project.
Keywords: BIM technology; engineering cost; dynamic management; optimization strategy; cost control

引言

随着建筑行业对精细化管理的需求日益增长，传统的工程造价管理方式面临着信息孤岛、效率低下等挑战。BIM（建筑信息模型）技术的出现，为解决这一问题提供了新的契机。通过数字化建模与实时数据分析，BIM 技术不仅优化了设计、施工和运营过程，还能够实现对工程造价的动态监控与调整。如何充分利用 BIM 技术提升工程造价管理的精度与效率，成为当前建筑行业亟待解决的关键问题。

1 BIM技术在工程造价管理中的应用现状与发展趋势

随着建筑行业信息化水平的不断提升，BIM 技术的应用成为推动工程造价管理创新的重要力量。通过数字化、协同化的手段，BIM 技术在工程造价的动态管理中展现出巨大潜力，正逐步改变传统管理方式。

1.1 BIM 技术在工程造价管理中的应用现状

目前，BIM 技术在工程造价管理中的应用主要集中在设计阶段的造价预估、施工阶段的成本监控及运营阶段的成本分析。尤其是在设计阶段，BIM 技术通过三维建模能够精准模拟建筑物各项构件的造价，提前进行成本预测，避免了传统方法中因设计变更带来的成本波动。此外，施工阶段，BIM 技术能够结合现场实际情况进行实时数据更新，精确掌握工程进度、物料消耗、施工工艺等信息，进而对成本进行有效控制。运营阶段则通过 BIM 的全生命周期管理，进行后期维护与更新，为工程的长期成本提供数据支持[1]。

1.2 BIM 技术推动工程造价管理创新

BIM 技术的应用不仅提升了造价管理的精度与效率，也推动了工程造价管理模式的创新。传统造价管理模式多依赖人工计算和事后调整，信息更新滞后，难以实时掌控工程各项开支。而 BIM 技术通过其三维可视化和数据集成特性，实现了全程数据同步、实时更新与动态监控。项目各方通过 BIM 平台共享信息，避免了信息孤岛的产生，提高了协同工作效率，减少了由于信息不对称导致的造价偏差。此外，BIM 的参数化设计和智能算法也为工程造价的优化提供了更多选择，能够在设计初期就发现并修正潜在的设计和造价问题。

1.3 BIM 技术在工程造价管理中的发展趋势

随着技术的不断发展，BIM 在工程造价管理中的应用逐步从单一环节向全过程管理扩展。未来，BIM 技术将与大数据、云计算、人工智能等新兴技术深度融合，为工程造价的动态优化提供更加智能化、精细化的解决方案。例如，人工智能可以通过对大数据的深度学习预测项目中的潜在风险，提前进行成本调控。同时，BIM 技术也将在建筑项目的整个生命周期内发挥作用，从初期设计到后期维护，为项目全程提供实时的成本监控和优化建议。未来，BIM 技术还将推动建筑行业向更高效、更智能的方向发展，

为实现建筑行业的绿色、低碳、高效目标提供支持。

2 基于BIM的工程造价动态管理框架与实现机制

BIM技术的应用不仅优化了工程设计和施工过程，同时也为工程造价的动态管理提供了全新的框架与实现机制，有助于提升项目成本的控制精度与效率。

2.1 基于BIM的工程造价动态管理框架

基于 BIM 的工程造价动态管理框架由三个主要模块组成：数据采集与分析、实时监控与反馈、优化与调整。这一框架通过数字化、信息化手段，使项目参与各方能够在不同阶段共享数据，确保工程造价能够在整个生命周期内得到动态管理。数据采集与分析模块通过BIM模型对建筑项目的各项资源进行详细建模，实时记录施工过程中的材料消耗、人工费用、设备使用等信息，生成动态数据分析报告。实时监控与反馈模块则根据实际工程进度和成本情况，对照初期预算进行实时监控，并通过BIM平台及时反馈信息，确保造价数据的及时更新。优化与调整模块根据反馈信息，对项目进度、施工工艺和资源配置等进行优化调整，从而达到成本节约与效率提升的目标[2]。

2.2 基于BIM的工程造价动态管理实现机制

实现这一动态管理框架，首先需要建立一个高效的数据流通和信息共享机制。通过BIM技术，项目各方可在一个协同工作平台上对工程项目进行实时沟通与数据共享。设计、施工、监理等各个部门的信息流被集成到同一平台中，确保造价管理人员可以随时获取最新的工程数据。其次，数据采集与分析功能是实现动态管理的基础。利用 BIM 模型对施工过程中的各项资源进行详细建模和实时跟踪，可以准确掌握工程实际成本，并及时发现偏差，进行纠正。再次，智能化反馈与优化机制使得项目可以在全过程中根据数据结果及时调整设计与施工方案。例如，当某一工序的预算超支时，系统会自动提示，并提供替代方案，协助项目团队优化施工过程，降低成本。

2.3 面临的挑战与发展方向

尽管基于 BIM 的工程造价动态管理框架具有显著优势，但其实现仍面临一定的挑战。一方面，项目实施方需要克服传统管理方式的惯性，推动全员接受和应用 BIM 技术；另一方面，BIM技术的高效应用需要大量的技术支持和培训，项目团队的技术能力提升成为关键因素。未来，随着人工智能、大数据、云计算等技术的不断发展，BIM技术在工程造价动态管理中的应用将进一步深化。尤其是在智能化建模和自动化预警系统方面，BIM将发挥更大的作用，帮助项目实现更为精细和高效的成本控制。此外，随着政府与行业标准的不断完善，基于BIM的造价管理框架将在更大范围内推广应用，为建筑行业的可持续发展提供重要支持。

3 BIM技术与传统工程造价管理模式的融合与优化

随着BIM技术的逐渐成熟，传统的工程造价管理模式面临着转型的需求。BIM技术与传统管理模式的融合，不仅提升了管理效率，也优化了成本控制手段。

3.1 传统工程造价管理模式的局限性

传统的工程造价管理通常依赖人工计算和单一的阶段性管理模式，面临诸多局限。首先，传统方法中往往采用二维图纸和单一的预算表格，缺乏对项目全过程的动态监控与数据分析，难以实时获取准确的工程成本信息。其次，传统模式容易出现信息孤岛，各参与方往往各自为政，导致信息交流不畅，进而影响项目的协同效率。第三，传统模式往往注重事后调整和修正，在工程实施过程中，成本偏差往往是不可避免的，难以达到预期的成本控制效果。这些局限性促使了BIM技术在工程造价管理中的应用，逐步为行业带来了新的变革。

3.2 BIM技术的优势与应用前景

BIM技术以其三维可视化、数据集成和协同工作特点，克服了传统造价管理模式的不足。首先，BIM的三维建模功能能够准确表达建筑物各个构件的尺寸、材料、工艺等信息，为成本估算提供更为精确的数据支持。通过 BIM 技术，造价人员可以清晰地看到各个构件的造价构成，有助于前期的预算制定，避免了传统方法中的高估或低估现象。其次，BIM平台的实时数据更新和协同工作平台有效解决了传统模式中的信息滞后和孤立问题。项目各方可以通过BIM平台实现信息的实时共享和即时反馈，使得工程造价管理更加透明、灵活和高效。最后，BIM技术通过数据分析和模拟，能够在设计阶段就识别潜在的设计缺陷和造价风险，从而在工程实施前就采取有效的风险控制措施，减少后期的造价变动。

3.3 BIM与传统工程造价管理模式的融合与优化

BIM 技术与传统造价管理模式的融合提升了工作效率并优化了成本控制。BIM能够与传统预算、计划管理系统对接，实现实时更新和动态成本控制。其可视化功能使得造价审核和评审过程更加直观，项目团队可以通过虚拟模型识别潜在问题并优化设计方案。这种融合不仅提升了管理精度，也为决策提供了支持。随着BIM技术的发展，人工智能、大数据等智能化工具将与BIM深度结合，共同推动工程造价管理模式的创新，实现更智能、高效的管理目标[3]。

4 BIM技术在工程造价控制中的关键优势与挑战

BIM技术在工程造价控制中展现出许多独特优势，能够有效提升成本控制的精度和效率。然而，在应用过程中也面临一些挑战，需要克服相关障碍才能充分发挥其潜力。

4.1 BIM技术在工程造价控制中的关键优势

BIM技术的最大优势在于其高效的可视化功能。通过三维建模，BIM清晰展示项目中各个构件的成本构成，帮助造价人员准确估算成本，及时发现预算超支问题。相比传统二维图纸和预算表格，BIM以更直观、精确的方式展

示项目细节，提高了预算和成本控制的准确性。BIM 的动态数据更新功能让项目各方实时掌握施工进度、资源消耗和成本变化，避免信息滞后或偏差。同时，BIM 平台支持多方协作，打破了信息孤岛，提升了项目协同效率，减少了沟通误差。

4.2 BIM 技术在成本预测和风险控制中的作用

BIM 技术在成本预测和风险控制中具有重要作用。通过 BIM 建模，能够在设计初期预测成本，并模拟不同施工方案，选择最佳成本控制方案。BIM 提供精准的材料清单和量化数据，帮助提前识别成本风险。BIM 还支持工程进度的动态管理，实时掌握资源消耗情况，并对成本进行调整，避免了传统方法中的预算超支问题。

4.3 BIM 技术在工程造价控制中面临的挑战

尽管 BIM 技术在工程造价控制中具有显著优势，但在实际应用中仍面临挑战。首先，BIM 实施需要技术支持和专业知识，对技术薄弱的公司或项目而言是一大难题。其次，BIM 系统的搭建和数据更新需要较高的时间和资金投入，这对预算紧张的项目构成压力。此外，如何有效分析和利用 BIM 提供的海量数据，尤其在复杂项目中进行风险控制，仍然是一个挑战。最后，BIM 技术推广面临行业标准不统一、数据共享难度大等问题，需要加强技术研究、提升人员培训，并建立行业标准和信息共享机制[4]。

5 基于 BIM 的工程造价优化策略与实施路径

BIM 技术的应用为工程造价优化提供了新的思路。通过精准的成本控制、数据共享与智能化决策，BIM 技术能够有效提升工程项目的成本效益，优化管理流程。

5.1 基于 BIM 的工程造价优化策略

基于 BIM 的工程造价优化策略，首先要在项目初期通过 BIM 技术进行精准的成本估算与预算编制。通过建立详细的三维模型，将建筑设计的每个细节都考虑进去，并与预算数据库进行对接，从而提供精确的材料用量、施工工艺和人员需求。这一过程不仅可以准确预估工程造价，还能提前识别潜在的成本浪费，减少项目后期的预算超支。此外，BIM 技术的可视化功能还为工程团队提供了更直观的决策支持，帮助项目团队从全局角度审视工程造价问题，制定出更加合理的预算方案。与此同时，BIM 技术还可以在设计阶段与相关部门进行充分的沟通和协商，避免设计变更和施工过程中不必要的成本增加。

5.2 实施路径：全过程动态监控与优化

基于 BIM 的工程造价优化不仅体现在预算编制阶段，更需要在项目的整个生命周期中实现全过程动态监控和调整。在施工过程中，通过 BIM 平台的实时数据更新，工程项目团队能够准确跟踪进度、资源消耗以及实际费用，及时发现偏差并进行调整。BIM 技术能够把现场施工、材料供应、人员调配等信息集中在一个平台上，所有信息共享的同时，造价人员能够在项目实施过程中进行实时监控，确保项目按预算执行。数据驱动的动态调整策略可以帮助团队根据实际情况对施工方案、资源配置进行及时优化，避免因设计变更、工期延误或施工方案不当等导致的成本超支。最终，BIM 技术不仅提升了项目成本的透明度，还减少了人为决策带来的风险，使得工程造价优化更加精细化[5]。

5.3 持续优化与技术升级路径

为了确保基于 BIM 的工程造价优化能够持续高效运行，技术的持续更新与优化是关键。随着大数据、人工智能和物联网等技术的发展，BIM 技术在造价管理中的应用将逐步向智能化、自动化方向升级。未来，人工智能和大数据分析将在 BIM 模型的基础上提供更加精准的预测与优化方案。例如，AI 可以通过对历史项目数据的学习，自动预测项目中的潜在风险并提出优化方案，大大提升决策效率和精度。此外，基于云计算的 BIM 平台将使得各方参与者能够随时随地访问项目数据，实现跨地域的实时协作。通过将这些先进技术与 BIM 深度融合，工程造价的优化将不仅局限于预算控制，还将覆盖项目的全过程，从而达到更高效、低成本的项目管理目标。随着技术的不断进步和应用范围的扩展，BIM 将在全球范围内成为工程造价优化的标准工具。

6 结语

BIM 技术在工程造价管理中的应用为建筑行业带来了显著的优化与创新。通过三维建模、实时数据更新与动态监控，BIM 技术不仅提升了工程造价的精确度与管理效率，还推动了传统管理模式的转型。然而，技术的全面应用仍面临一定的挑战，如技术人员培训、资金投入及行业标准的建立。随着技术的不断进步与多方协同的加强，BIM 在工程造价控制中的优势将愈发明显，推动行业迈向更加智能化和高效的管理模式。

[参考文献]

[1]黄伟华.铁路工程造价动态管理与成本控制优化策略[J].工程技术研究,2021,6(13):127-128.
[2]徐茂武.房屋建筑工程造价动态管理与优化策略研究[J].工程与建设,2023,37(2):772-775.
[3]张亚美,毛小林.建筑工程造价动态管理与成本优化控制策略[J].砖瓦,2023(10):117-119.
[4]徐毕楷.建筑工程造价动态管理与成本优化控制策略[J].产业创新研究,2024(2):163-165.
[5]李夏玫.建筑工程造价动态管理与成本优化控制策略[J].居业,2024(10):128-130.

作者简介：陈赟琪（1996.4—），毕业院校：绍兴文理学院元培学院，所学专业：工程管理，当前就职单位：东南建设管理有限公司，职务：工程造价，职称级别：助理工程师。

房屋建筑材料价格波动对工程造价的影响分析

朱琳静
湖州经开投资发展集团有限公司，浙江 湖州 313000

[摘要]房屋建筑材料价格波动对工程造价产生了显著影响，尤其在项目预算、施工过程及结算阶段。材料价格的波动主要受市场供需、政策法规、原材料成本变化等因素的影响，导致工程造价的不确定性增加。在结算与审计过程中，价格波动可能引发预算超支、单价调整和变更索赔等问题，给建设单位带来风险和挑战。通过建立价格波动预警机制、优化采购策略及灵活调整预算管理，可以有效应对材料价格波动带来的影响，确保工程造价的合理性与可控性。

[关键词]房屋建筑材料；价格波动；工程造价；采购管理；风险控制
DOI：10.33142/sca.v8i3.15805　　中图分类号：F284　　文献标识码：A

Analysis of the Impact of Price Fluctuations in Building Materials on Engineering Costs

ZHU Linjing
Huzhou Economic Development Investment Group Co., Ltd., Huzhou, Zhejiang, 313000, China

Abstract: The fluctuation of building material prices has a significant impact on project costs, especially in project budgeting, construction process, and settlement stages. The fluctuation of material prices is mainly influenced by factors such as market supply and demand, policies and regulations, and changes in raw material costs, leading to increased uncertainty in engineering costs. During the settlement and audit process, price fluctuations may lead to budget overruns, unit price adjustments, and change claims, posing risks and challenges to the construction unit. By establishing a price fluctuation warning mechanism, optimizing procurement strategies, and flexibly adjusting budget management, the impact of material price fluctuations can be effectively addressed, ensuring the rationality and controllability of project costs.

Keywords: building materials; price fluctuations; engineering cost; procurement management; risk management

引言

房屋建筑材料价格波动已成为影响工程造价的关键因素之一。市场供需、政策调控和原材料生产成本等因素，导致建筑材料价格呈现波动趋势，进而影响项目预算、施工进度和结算审计。当前，建筑行业面临价格波动频繁、预测困难等挑战，给建设单位的工程管理带来了较大风险。研究材料价格波动对工程造价的影响，旨在优化预算管理和提高结算审计准确性，为建设单位提供应对价格波动的有效管理与审计策略。

1 房屋建筑材料价格波动的原因分析

1.1 市场供求关系变化

市场供求关系是房屋建筑材料价格波动的主要原因之一。当市场需求增加时，尤其是建筑行业的需求旺盛，供应端无法及时跟上，价格便会上涨。随着城市化进程加快、基础设施建设和房地产开发的持续推进，建筑材料的需求量不断攀升，尤其在大型基础设施项目或城市更新工程中，钢材、水泥、砂石等基础材料的需求量更是大幅增加。这一方面导致市场供不应求，另一方面也使得供应商在价格定价上更具主动性，进一步推高了材料价格。

建材产业链的不稳定性也加剧了价格波动的幅度。从原材料的开采到加工、运输、销售，整个建材产业链的各个环节都受到自然资源条件、劳动力成本以及运输费用等因素的影响。某一环节的价格波动，可能会导致整个产业链上游或下游环节价格的连锁反应，最终导致建筑材料价格波动。

1.2 政策法规与国际市场影响

政府政策的调控力度对建筑材料价格有着至关重要的影响。政府对房地产市场的调控政策、环保政策、税收政策等都可能引发材料价格的波动。例如，当政府出台限制钢铁生产的环保政策时，钢铁供应可能会下降，从而引发价格上涨。同样，房地产市场的调控政策（如限购、限贷政策）也会直接影响建筑行业的材料需求，从而对价格产生影响。

国际贸易的变化对建筑材料价格也有较大影响。建筑材料的许多原材料（如钢铁、石材、木材等）依赖于国际市场的供应。全球经济波动、贸易壁垒、关税政策等都可能导致进口材料成本上升。例如，国际原油价格的波动直接影响到建筑材料的运输成本，进而导致建筑材料价格的波动。外部经济形势的变化，如国际金融危机、全球疫情等，也会带来建筑行业原材料供应的中断或延迟，导致价格的不稳定。

1.3 原材料生产成本波动

原材料的生产成本直接影响到建筑材料的价格。能源价格的波动是影响原材料生产成本的一个重要因素。以水泥、钢材为例，生产这些材料需要消耗大量的能源，尤其是电力和燃料。能源价格的上涨，尤其是在能源供应紧张

的时期，生产企业的生产成本会显著增加，从而推动建筑材料价格的上升。

除了能源成本外，劳动力成本的变化也对建筑材料的生产成本产生影响。随着劳动力市场的变化，尤其是在一些劳动力密集型的建筑材料生产环节，劳动力成本的上升会直接推高生产成本。生产设施的老化与技术更新换代也会带来设备投资和维护成本的提升，这些因素都会在最终的建筑材料价格中体现出来[1]。

因此，建筑材料价格的波动不仅是由市场供求的变化引起的，还受到政策法规、国际市场和原材料生产成本波动的多重影响。理解这些影响因素，对于合理预估工程造价、制定有效的采购和结算策略至关重要。

2 建筑材料价格波动对工程造价的影响

2.1 项目预算的偏差

建筑材料价格波动直接影响到项目预算的准确性。在项目初期，建设单位通常依据市场上相对稳定的价格进行预算编制。然而，随着材料价格的波动，尤其是在项目执行过程中，价格的突然上涨可能导致预算与实际费用之间出现较大的差距。建筑材料占据工程造价的较大比重，若出现大幅上涨，原本设定的预算将无法覆盖实际成本，甚至可能导致项目资金短缺，影响项目的顺利推进[2]。

为了应对这一问题，建设单位需要通过提前预测材料价格的波动趋势，进行合理的预算调整。例如，可以通过对历史数据的分析，结合市场预测信息，制定出灵活的预算应对策略。此外，建设单位还可以在合同中加入价格波动调整条款，设定材料价格的浮动范围和调整机制，以便在价格波动时能及时进行调整，减少预算偏差对工程造价的影响。

2.2 施工过程中材料采购的风险管理

材料价格波动不仅影响项目的预算，还会对施工过程中的材料采购产生较大风险。在项目施工过程中，建筑材料的价格上涨可能导致采购成本的激增，从而影响项目的整体进度和质量。例如，材料价格的突然上涨可能迫使施工单位压缩采购量或推迟采购，进而导致工程进度延误。与此同时，材料供应的不稳定性还可能影响到施工现场的正常运转，进而对施工质量造成影响。

为了有效应对价格波动对施工的影响，建设单位需要加强材料采购的风险管理。一方面，可以通过与供应商建立长期合作关系，签订价格固定或浮动幅度可控的采购合同，确保材料采购价格的相对稳定。另一方面，可以采用分期采购、提前采购等方式锁定价格，避免因材料价格上涨造成的采购成本失控。此外，合理的支付方式也能在一定程度上缓解价格波动带来的风险。例如，分期付款或支付定金可以减少一次性支付带来的资金压力。

2.3 资金流动与现金流管理

建筑材料价格的波动还会对项目的资金流动和现金流管理产生深远影响。随着材料价格的上涨，项目的整体成本将随之增加，这可能导致项目现金流压力的加大，特别是对于那些资金链紧张的项目而言。资金流的波动可能影响项目的资金调配和支付周期，进而影响工程的顺利进行。如果现金流无法得到及时保障，建设单位可能面临供应商拖欠材料、施工停滞等问题，严重时甚至会导致项目无法按时完成。

为了缓解这一压力，建设单位需加强对资金流动的管理。首先，建立动态的资金管理机制，对项目的资金使用进行实时监控和调整，确保资金充足且及时到位。其次，合理安排资金流的支付方式，如采用分期支付、进度款支付等，确保资金流动的灵活性。最后，建设单位应预留一定的资金缓冲，以应对材料价格波动带来的突发情况，并确保工程能够按计划推进。因此，建筑材料价格波动对工程造价的影响是多方面的。通过合理的预算调整、加强采购风险管理和优化资金流动管理，建设单位可以有效减缓材料价格波动带来的负面影响，确保工程项目的顺利进行。

3 材料价格波动对工程结算的影响

3.1 结算单价与实际支付差异

材料价格波动通常导致结算单价与实际支付金额之间的差异。在合同签订时，建设单位和承包商基于预期的材料价格进行报价和预算。然而，在项目实施过程中，材料价格的波动可能导致结算时出现单价偏差，实际支付金额超过合同中约定的价格。这种价格差异通常体现在项目结算的最后阶段，尤其是在材料价格大幅上涨时，建设单位往往需要支付超出预期的费用[3]。在这种情况下，合理调整结算价格就成为一项重要任务。然而，结算价格的调整也面临审计挑战。审计人员需要确认价格调整的合理性，确保调整基于实际市场价格波动，并符合合同约定的条款。同时，审计还要检查是否存在无正当理由的价格上涨，防止承包商借机操控价格，导致不合理的支付。

3.2 变更与索赔管理

材料价格波动还可能引发项目变更与索赔。尤其在材料价格波动较大时，承包商可能会提出材料价格调整要求或因成本增加而要求索赔。这类索赔通常涉及材料采购成本、运输费用等方面的变化，可能会影响合同的原有条款，甚至需要重新谈判和调整价格。

建设单位需要在合同中明确材料价格波动的处理方式，设定价格浮动的范围和调整机制。通过在合同中加入价格调整条款，可以在价格波动较大时，保障双方的权益，并减少未来争议。同时，建立明确的索赔管理流程和标准，确保所有索赔请求都能得到合理评估，并及时作出回应，避免因价格波动引发不必要的纠纷。

3.3 结算审计中的应对策略

在结算审计中，材料价格波动可能导致的审计问题较为复杂。审计人员需要识别并分析因材料价格波动引起的误差，检查结算单价与实际材料成本之间的差异，确认是否符合合同约定的价格调整机制。同时，审计人员还需要关注是否存在人为操控价格、虚报材料采购价格等问题。

为应对这些挑战，审计人员应加强对市场价格的了解，

掌握材料价格波动的趋势，并利用数据分析工具对项目成本进行全面审查。此外，审计过程中还应结合合同条款，核对索赔和变更的合理性，确保材料价格波动引发的调整在法律框架内进行。通过精确的审计，可以确保结算金额的公正性，避免因价格波动造成的不当支付。

4 应对材料价格波动的策略

4.1 提前锁定材料价格与采购管理

为应对建筑材料价格波动，建设单位可以通过提前锁定材料价格来降低未来的风险。采取长期采购合同或期货合约是常见的应对策略。通过与供应商签订长期合同，建设单位可以确保在合同期内的材料价格稳定，从而避免因市场价格波动而导致的成本大幅增加。此外，期货合约可以帮助建设单位锁定未来材料的采购价格，尤其在市场预期价格上涨时，提前购入所需材料，规避未来的不确定性[4]。

优化与供应商的合作模式同样是降低价格波动风险的关键。建设单位应与供应商建立长期稳定的合作关系，保障优先供货权和价格优惠，同时加强供应商管理，确保物料供应的稳定性。在合作协议中可以加入价格浮动条款，明确在材料价格波动时的调整方式，确保在价格波动较大时能够及时调整采购计划。

4.2 优化预算与结算流程

面对材料价格的波动，建设单位需灵活调整预算和结算流程，以确保项目成本的可控性。通过制定合理的预算调整机制，并结合市场动态定期更新预算，建设单位可以更好地应对价格波动带来的影响。动态调整机制可以根据市场价格变化，实时调整预算，使预算始终保持与实际市场情况相符，避免价格波动带来的预算偏差。

在结算流程中，建设单位可以设立灵活的结算周期，定期对实际费用进行对比分析，及时发现与预算之间的差异，快速采取应对措施，避免工程成本超支。

4.3 建立风险管理机制

建设单位应针对材料价格波动建立完善的风险管理体系。首先，设立价格波动的风险预警机制，根据市场走势和历史价格数据，及时识别潜在的价格上涨风险。通过对风险的早期识别，建设单位能够提前做好应对准备，减少不确定因素对项目的影响。同时，建立应急预案，针对价格波动带来的风险，制定详细的应对措施。例如，在材料价格上涨时，采取优先采购或更换供应商等策略，以确保工程项目能够按时按质完成。通过系统的风险管理，建设单位能够更好地应对价格波动带来的不利影响，确保工程项目的顺利推进[5]。

5 案例分析与结论

5.1 案例分析

在某市政工程项目中，由于钢材价格的暴涨，导致项目预算大幅超支。在项目初期，建设单位与承包商约定了固定材料价格，但在施工过程中，钢材价格上涨超过 20%。为应对这一情况，建设单位与供应商重新谈判，采取了分期采购并锁定价格的方式，有效减少了价格波动带来的影响。在结算时，双方通过调整合同条款，确认了价格浮动的合理范围，确保了结算价格的公正性。

与此案例相比，另一个建筑项目由于没有采取有效的材料价格管控措施，导致在结算时出现了较大的费用超支，且承包商提出了价格调整的索赔，增加了额外的管理成本。两者的差异说明了采取适当风险管控措施对于控制工程造价的关键作用。

5.2 结论与建议

材料价格波动对工程造价有着显著的影响，尤其在施工过程中，价格上涨可能导致预算偏差、结算纠纷等问题。建设单位应加强价格预测与预算调整，采取灵活的采购策略，如长期合同或期货合约，确保价格的稳定性。此外，完善风险管理体系，及时应对价格波动，是减少成本超支的有效手段。为确保工程顺利完成，建设单位需在合同中明确价格波动的处理条款，优化结算流程，并建立健全的审计与索赔管理机制。

6 结语

房屋建筑材料价格波动对工程造价的影响深远，特别在预算、采购、结算及审计等环节中尤为突出。建设单位应通过提前锁定价格、优化预算与结算流程、加强风险管理等策略，减少价格波动带来的不确定性。有效的合同管理、合理的采购方式以及灵活的应急预案，有助于控制项目成本，确保工程按期按质完成。总结来看，建设单位在面对材料价格波动时，需采取全方位的应对措施，确保项目经济效益和管理效能的平衡。

[参考文献]

[1]何钜坚.材料价格波动对建筑工程造价的影响分析[J].住宅与房地产,2017,13(21):43-44.
[2]刘凯.分析建筑材料价格波动对工程造价的影响[J].绿色环保建材,2018,12(3):10-12.
[3]刘芬.关于建筑材料价格波动对工程造价影响的分析[J].建材与装饰,2018,10(37):124-125.
[4]赵冰丽.材料价格波动对建筑工程造价的影响及控制措施[J].建材发展导向,2024,22(21):55-57.
[5]刘京辉,邵惠.建筑工程造价中材料价格波动的影响分析[J].中国招标,2025,12(1):172-175.

作者简介：朱琳静（1997.5—），毕业院校：嘉兴学院南湖学院，所学专业：工程造价，当前就职单位：湖州经开投资发展集团有限公司，职务：职员，职称级别：助理工程师。

工程造价全过程管理对项目资金效率提升的作用分析

金洪列[1] 张 嫄[2]
1. 浙江绿城房屋服务系统有限公司，浙江 杭州 310012
2. 杭州通策医疗建设管理有限公司，浙江 杭州 310012

[摘要]在当前经济形势下，工程造价管理的有效性直接关系到工程项目的成本控制和资金效率。全过程造价管理作为一种全面、动态的成本控制机制，对优化项目资金配置、提升资金使用效率具有显著作用。文中通过分析全过程造价管理在工程项目中的应用，探讨其在不同阶段对项目资金效率的影响，并提出实施全过程造价管理的策略建议。通过案例分析和数据比对，验证全过程造价管理在实际工程中提升资金效率的有效性，为工程项目管理提供理论支持和实践指导。
[关键词]工程造价；全过程管理；资金效率；成本控制；项目管理
DOI：10.33142/sca.v8i3.15782 中图分类号：F284 文献标识码：A

Role Analysis of Whole Process Management of Engineering Cost in Improving Project Funding Efficiency

JIN Honglie [1], ZHANG Yuan [2]
1. Zhejiang Green Town Housing Service System Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang, 310012, China
2. Hangzhou Tongce Medical Construction Management Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang, 310012, China

Abstract: In the current economic situation, the effectiveness of engineering cost management is directly related to the cost control and financial efficiency of engineering projects. As a comprehensive and dynamic cost control mechanism, whole process cost management plays a significant role in optimizing project fund allocation and improving fund utilization efficiency. The article analyzes the application of whole process cost management in engineering projects, explores its impact on project funding efficiency at different stages, and proposes strategic recommendations for implementing whole process cost management. Through case analysis and data comparison, verify the effectiveness of whole process cost management in improving financial efficiency in practical engineering, and provide theoretical support and practical guidance for engineering project management.
Keywords: engineering cost; whole process management; financial efficiency; cost control; project management

引言

随着市场经济的发展和竞争的加剧，工程项目的成本控制和资金管理显得尤为重要。工程造价全过程管理是指从项目策划开始到后期运维结束的全周期内，对工程造价的预测、控制和管理。该管理模式帮助项目管理者优化资金流动，减少浪费，提升资金使用效率。本文将从理论和实际操作两个层面，探讨全过程造价管理对工程项目资金效率的具体作用。

1 工程造价全过程管理的概念与重要性

工程造价全过程管理是一种涵盖工程建设全周期的综合成本管理策略，它包括对项目成本的预测、控制和审核，旨在实现成本的最优化。这种管理模式特别强调从项目的最初策划阶段开始，延伸至整个建设过程，直到项目最终交付使用，实施全阶段的成本控制。通过这种全面的成本管理，不仅确保工程项目严格按照预定预算执行，避免不必要的超支，同时也显著提升了资金的使用效率和整个项目的经济效益。全过程造价管理通过精确的成本预测，为项目决策提供科学依据，通过严格的成本控制，确保每一阶段的资金投入都得到最有效的利用。此外，定期的成本审核则保障了项目成本管理的透明性和准确性，为项目的顺利完成提供了坚实的财务保障。

1.1 定义及特点

工程造价全过程管理不仅仅是成本控制，它还涵盖了成本计划、成本控制、成本核算和成本分析等多个方面。其主要特点包括：

动态管理：全过程管理强调的是动态调整和实时反馈，适应工程项目在实施过程中可能出现的变更和调整，确保成本控制的实时性和有效性[1]。

全方位覆盖：从项目前期的可行性研究、设计阶段，到施工阶段和竣工后的维护管理，全过程管理覆盖了项目的每一个环节。

综合性决策支持：通过对工程造价的全面分析，为项目管理者提供科学的决策支持，帮助其在项目实施过程中做出更合理的决策。

1.2 在工程管理中的作用

工程造价全过程管理在工程管理中发挥着至关重要

的作用，具体体现在：

成本控制：通过全面监控项目成本，及时调整和控制预算超支，减少不必要的开支，确保项目按预算执行。

风险管理：识别和评估可能导致成本增加的风险因素，采取预防措施，减轻或避免这些风险带来的负面影响。

效率提升：通过优化资源分配，提高资源使用效率，缩短项目周期，从而在加快项目进度的同时，降低成本。

决策支持：提供详尽的成本数据和分析结果，帮助管理层做出更加精准的项目决策，提升项目管理的专业性和科学性。

全过程造价管理的实施，需要项目管理者具备高度的专业技能和综合协调能力，同时也需要强大的信息系统支持，以实现数据的实时更新和信息的快速流通。通过实施全过程造价管理，不仅可以提升工程项目的资金效率，还能显著提高项目的管理水平和成功率。

2 全过程造价管理对资金效率的影响机制

全过程造价管理是一种全面且细致的管理策略，它涵盖了施工期间所有相关的成本信息。通过这种方法，管理者能够对项目的每一笔费用进行精确监控和调整，从而显著提高资金的使用效率。这一管理模式的核心在于提高成本预测的准确性，使得项目管理者可以基于可靠的数据做出更加精准的财务决策。同时，通过优化成本控制策略，如实时成本跟踪和动态预算调整，全过程造价管理确保了资金按需配置，避免无效和过度的支出。这不仅加强了项目的财务健康，也保障了资金在必要的环节得到有效利用，进一步推动项目按计划顺利进行。综上所述，全过程造价管理通过其全方位的成本监控和优化控制，成为确保项目资金最优化使用的关键工具。

2.1 成本预测的准确性提升

成本预测是工程造价全过程管理中的重要环节，它的准确性直接关系到资金效率的优化。准确的成本预测能够：

降低风险：精确的成本预测帮助项目管理者提前识别潜在的成本风险，采取相应的预防措施，减少因预算超支而导致的资金浪费[2]。

资金配置优化：通过准确预测项目的成本需求，可以更合理地规划资金的分配和使用，确保资金在必要的时候得到有效使用，避免资金的空闲和浪费。

提高决策质量：准确的成本预测为项目管理提供了科学的数据支持，使决策更加合理，增强项目决策的可靠性和前瞻性。

实现成本预测的准确性需要依靠先进的预测工具和技术，如历史数据分析、趋势分析以及相关软件的支持。此外，项目团队需要不断地从实际项目执行中学习和积累经验，不断优化预测模型，提高预测的准确度。

2.2 成本控制的策略优化

成本控制是确保项目按预算执行的关键环节，全过程造价管理通过策略优化进一步增强了其效果：

动态成本控制：在项目实施过程中，持续监控成本变化，及时调整控制措施，对超出预算的部分进行严格控制。这种动态的调整机制能够确保项目成本始终在合理范围内控制。

强化过程控制：通过在项目的每一个阶段实施详细的成本控制，如设计阶段、采购阶段和施工阶段，强化各阶段的成本审核和控制，从源头上预防成本超支。

利用技术优势：运用现代信息技术，如BIM技术、云计算等，提高成本控制的精确性和实时性。这些技术可以帮助快速识别成本偏差，及时做出调整。

通过这些策略的优化，全过程造价管理不仅提升了项目资金的使用效率，还增强了项目管理的灵活性和适应性，有助于在不断变化的市场环境中保持项目的竞争力和盈利能力。通过实施全面而精细的成本控制策略，项目资金效率得到显著提升，进而推动整个项目的成功完成。

3 实施全过程造价管理的关键环节

全过程造价管理覆盖了项目的整个生命周期，从最初的成本分析与控制到施工阶段的动态成本监控，直至项目完成后的成本效益分析。这种全面的管理方法不仅关注项目实施阶段的成本控制，而且还包括项目规划、设计、施工和后期运营的每个关键阶段，确保在每一环节都能实现成本的最优化和经济效益的最大化。在项目初期，通过对成本的精确分析和严格控制，可以在项目启动之前预见并规避潜在的财务风险。施工阶段，实施动态成本监控系统，确保成本控制措施能够灵活应对项目进度和市场变化，及时调整预算和资源分配，从而避免浪费和超支。项目完成后，通过成本效益分析评估项目的经济性能，从而为未来项目提供经验教训和改进方向。全过程造价管理通过这种系统化和阶段性的方法，不仅确保了项目按预算执行，还提高了资源使用的效率和项目管理的专业性，是现代工程管理中不可或缺的一部分[3]。

3.1 项目初期的成本分析与控制

项目初期的成本分析与控制是全过程造价管理的起点，它的主要目的是确保项目的经济可行性和成本效益最大化：

可行性研究：通过对项目的市场需求、技术可行性、财务可行性进行深入分析，评估项目的总体成本效益，为项目投资决策提供科学依据。

预算制定：根据可行性研究结果，制定详尽的项目预算。预算应详细到每一个工程项目和材料使用，确保每一笔开支都有据可依。

风险评估：识别可能影响项目成本的风险因素，如市场变动、政策调整等，并制定相应的风险缓解措施，预防风险对项目成本的潜在影响。

这一阶段的成本控制对整个项目的成本管理至关重要，它直接影响到项目后续阶段的成本执行和整体预算控制。

3.2 施工阶段的动态成本监控

施工阶段是项目成本管理最为活跃的阶段，动态成本监控是保证项目按预算执行的关键：

实时成本跟踪：实施实时成本跟踪系统，监控实际支出与预算的对比，确保任何成本超支都能立即被发现并处理。

变更管理：施工过程中可能会出现设计变更、材料替换等情况，通过有效的变更管理控制这些变更带来的成本影响。

价值工程：在施工过程中应用价值工程技术，分析成本与功能的关系，优化项目设计，实现成本节约同时保证项目功能和质量。

通过这些措施，可以有效地控制施工阶段的成本，避免不必要的浪费，确保项目的资金得到合理有效的使用。

3.3 后期维护的成本效益分析

项目完成后，后期维护的成本效益分析是全过程造价管理的一个重要组成部分：

维护成本预测：基于项目的设计和建设资料，预测未来的维护成本，为长期资金规划提供依据。

性能评估：定期评估项目的使用性能和维护状态，通过维护活动的成本效益分析，优化维护计划和预算。

持续改进：根据维护期间收集的数据，不断改进项目设计和施工标准，降低未来项目的维护成本。

这一环节不仅关系到项目的长期运营成本，也是对项目整体成本效益评估的重要部分。通过系统的成本效益分析，可以实现项目全生命周期的成本最优化，保障投资回报最大化。

4 全过程造价管理的实践案例分析

全过程造价管理已在全球范围内广泛实施，各国和地区的成功应用案例为我们提供了丰富的经验和多样化的管理方法。这些案例不仅展示了全过程造价管理的有效性，还揭示了其在不同文化和经济背景下的实施细节和适应性。通过详细的国内外对比分析，我们能够深入了解这种管理方式如何在各种项目环境中优化成本控制和提升经济效益。例如，发达国家通常依赖于高度发展的技术和严格的项目管理流程来执行全过程造价管理，从而实现精细化的成本控制和风险管理。而在发展中国家，全过程造价管理往往更注重提升成本效率和适应快速变化的市场条件。这种跨文化的学习和应用，使得全过程造价管理成为一种高度灵活且普遍适用的工程管理工具。通过对这些成功案例的学习和分析，全球的项目管理者和决策者可以采纳最佳实践，调整和优化自己的项目管理策略，确保在各种经济和工程环境中都能够实现项目的成本最优化和资金效率的最大化[4]。

4.1 国内外成功案例对比

国内案例：北京大兴国际机场

北京大兴国际机场的建设采用了全过程造价管理模式，通过精细化的预算控制和成本管理，成功控制了工程造价，确保了工程质量和工期。项目初期，通过对设计方案的多轮优化，实现了成本的大幅度降低。施工阶段，实行实时成本监控系统，对所有成本进行严格的审计和控制。结果显示，该项目的总成本较初期预算节约了约 10%，同时在建设速度和质量上都得到了保障。

国外案例：迪拜哈利法塔

迪拜哈利法塔是世界上最高的建筑，其建设过程中同样采用了全过程造价管理。项目管理团队采用了国际化的成本管理标准和技术，实现了高效的成本控制。通过引入国际先进的造价管理软件和技术，有效控制了材料和人工成本。哈利法塔的项目管理团队还特别强调了风险管理，通过建立全面的风险数据库，及时调整预算和资源配置，最终使得项目在预算之内完成，展现了全过程造价管理在超大型国际项目中的应用效果。

4.2 数据支持的效果分析

全过程造价管理的成功实施，很大程度上依赖于数据的准确收集和分析。通过具体数据的支持，我们可以具体评估全过程造价管理的成效：

成本节约：在北京大兴国际机场项目中，全过程造价管理帮助项目节约了约 10%的预算。通过对比项目初期的成本预测和实际发生的成本，可以看到明显的成本下降趋势。

时间管理：在迪拜哈利法塔项目中，尽管面临极高的技术和管理挑战，但通过有效的全过程造价管理，项目按计划在预定时间内完成。项目的时间效益同样是衡量其管理成功的重要指标。

质量控制：两个项目均未出现重大质量问题，这在很大程度上得益于在成本管理中对质量控制的高度重视。质量的数据分析显示，在成本控制的同时，项目的建设质量也得到了保证。

通过这些数据支持的分析，我们可以清楚地看到全过程造价管理不仅能有效控制成本，还能在保证项目质量和进度的前提下，实现项目管理的高效化和标准化。这些案例为其他项目提供了宝贵的参考和借鉴。

5 结语

通过全面分析工程造价全过程管理在提升项目资金效率方面的实际作用，可以看到其在项目预算制定、成本控制及后期资金回收等方面都发挥了关键作用。实施全过程造价管理不仅能够优化资金流，还能提升整个项目的经

济效益。未来，随着技术的发展和管理理念的更新，全过程造价管理将在工程项目管理中扮演更加重要的角色。

[参考文献]

[1]朱美金.建筑工程全过程工程造价管理研究[D].北京:北京邮电大学,2019.
[2]李若晰.工程造价与工程监理业务融合对工程项目绩效的影响研究[D].重庆:重庆大学,2022.
[3]向为.基于 BIM 的工程建造项目全过程跟踪审计研究[D].上海:上海财经大学,2022.
[4]孙晓华.基于趋势和因素的工程造价精细化管理系统研究[D].辽宁:东北大学,2020.

作者简介：金洪列（1990.9—），毕业院校：浙江工商大学，所学专业：工程管理，当前就职单位：浙江绿城房屋服务系统有限公司,职务:土建成本专业主管,职称级别：中级职称；张嫄（1996.9—），毕业院校：嘉兴学院南湖学院，所学专业：工程造价，当前就职单位：杭州通策医疗建设管理有限公司，职务：成本管理员，职称级别：中级职称。

建筑工程项目预算编制与成本控制方法

王玉兰
东南建设管理有限公司，浙江 湖州 313000

[摘要]建筑工程项目预算编制是项目管理的核心环节，涉及从项目初期规划到实施阶段的资金安排与控制。通过科学的预算编制方法，合理预测工程成本，能够有效避免预算超支和资源浪费。在实际操作中，成本控制方法如动态监控、风险管理与调整机制，确保了工程项目按期按质完成。结合现代信息技术，构建预算编制与成本控制的智能化系统，有助于提高管理效率和经济效益。

[关键词]建筑工程；预算编制；成本控制；风险管理；智能化系统
DOI：10.33142/sca.v8i3.15806　　中图分类号：F426.9　　文献标识码：A

Budget Preparation and Cost Control Methods for Construction Projects

WANG Yulan
Dongnan Construction Management Co., Ltd., Huzhou, Zhejiang, 313000, China

Abstract: Budget preparation for construction projects is the core link of project management, involving the arrangement and control of funds from the initial planning to the implementation stage of the project. By using scientific budgeting methods and predicting project costs reasonably, it is possible to effectively avoid budget overruns and resource waste. In practical operation, cost control methods such as dynamic monitoring, risk management, and adjustment mechanisms ensure that engineering projects are completed on schedule and with quality. Combining modern information technology to build an intelligent system for budget preparation and cost control can help improve management efficiency and economic benefits.

Keywords: construction engineering; budget preparation; cost control; risk management; intelligent system

引言

在建筑工程项目中，预算编制与成本控制是决定项目成功与否的关键因素。随着工程规模的不断扩大，复杂度和风险也随之增加，传统的预算管理模式面临着诸多挑战。如何科学合理地编制预算，如何在项目执行过程中有效控制成本，成为每个项目经理必须解决的重要课题。现代信息技术的应用为预算编制与成本控制提供了新的思路与工具，推动了行业的创新发展。掌握高效的预算与成本管理方法，是提升项目竞争力和经济效益的关键。

1 建筑工程项目预算编制的基本原则与方法

建筑工程项目预算编制是项目管理的重要环节，合理的预算编制能够有效地控制成本并确保工程顺利进行。准确的预算编制不仅依赖于经验和技巧，还需要根据项目的不同阶段、目标与特点进行灵活调整。文章将围绕建筑工程项目预算编制的基本原则与方法进行深入探讨，为项目管理者提供可操作的理论与实践参考[1]。

1.1 预算编制的基本原则

建筑工程项目预算编制应遵循一系列基本原则。首先，预算的合理性原则要求对项目的各项费用进行全面、准确地估算，确保预算能真实反映工程实际需求。其次，预算的科学性原则强调预算编制要基于工程的设计图纸、工程量清单和合同条款等资料，保证预算的科学性和可操作性。再者，预算的透明性原则要求项目各方在预算编制过程中做到信息共享和公开，避免因预算不透明导致的利益冲突和管理难度。此外，预算的动态调整原则指出，预算编制应考虑到项目实施过程中可能发生的变化，具备灵活性以应对突发情况。

1.2 预算编制的方法与步骤

建筑工程项目的预算编制方法主要包括定额法、概算法和工程量清单法等。定额法是根据各类工程的历史数据和经验，按规定的标准和定额进行计算的一种预算方法，适用于经验较为丰富的工程。概算法则是根据项目的设计方案、项目类型和建设规模等条件进行初步估算，适用于前期阶段没有详细设计图纸的情况。工程量清单法则依据具体的工程设计图纸，通过详细计算各项工程量，再结合单位价格进行编制，是现代工程预算编制中常用的方法。预算编制的一般步骤包括项目立项、方案设计、工程量计算、预算编制、审核与批准、动态调整等环节。在各阶段，项目经理需密切关注各项数据的准确性与一致性，确保预算的科学性和可执行性。

1.3 预算编制与成本控制的紧密联系

预算编制是成本控制的前提，合理的预算为后续的成本控制奠定基础。预算编制阶段不仅要明确各项成本的来源与预期值，还要结合项目的实际情况进行风险评估，制

定出有效的成本控制措施。合理的预算能使项目各方对资源使用有清晰的认知，避免盲目开支，确保项目按期、按质完成。预算编制与成本控制相辅相成，通过预算的控制和动态调整，能够更有效地实现资源优化配置，提升项目的整体经济效益。因此，在预算编制阶段，项目管理者不仅要注重精准估算各项费用，还要将成本控制意识贯穿整个预算编制过程。

2 影响建筑工程项目成本的主要因素分析

建筑工程项目的成本受多种因素影响，准确识别和分析这些影响因素对项目的成本控制至关重要。通过全面理解这些因素，能帮助项目管理者更好地制定预算与成本控制策略，确保项目顺利完成[2]。

2.1 设计阶段的成本影响因素

在建筑工程项目中，设计阶段对成本的影响极为显著。设计方案的合理性和科学性直接决定了项目的预算和最终成本。如果设计方案存在不合理的地方，如材料选择不当或建筑结构不合适，将导致材料浪费和施工难度增加，最终导致成本超支。此外，设计变更也是项目成本控制中的一大风险来源。在项目设计初期进行详细和全面的规划，并通过合理的设计优化，可以有效降低设计阶段的成本风险，避免因后期变更而增加不必要的费用。

2.2 施工过程中的成本影响因素

施工过程是影响建筑工程项目成本的一个重要环节。在施工过程中，施工技术的选择、施工人员的配置、设备的使用以及施工进度的管理等都会直接影响项目成本。例如，施工技术不成熟或设备使用不当会导致工期延长和工程质量问题，进一步增加了施工费用。此外，施工队伍的管理也至关重要。合理的人员配置和科学的工序安排能够提高施工效率，减少工人浪费和设备闲置，进而有效控制成本。同时，施工中的安全管理也是不可忽视的因素。事故或意外事件的发生，不仅影响工程进度，还会导致高额的赔偿费用，因此，施工阶段的成本控制需要综合考虑多方面因素。

2.3 外部环境与不可控因素

建筑工程项目的成本还受到外部环境和不可控因素的影响。例如，市场材料价格的波动、政府政策的变化、自然灾害以及当地劳动力市场的状况等，都可能导致项目成本的增加。尤其是在长期项目中，外部因素的变化更为频繁，项目管理者需要时刻关注这些外部因素的变化，并根据实际情况进行调整。此外，项目所处的地理环境也会影响施工成本。例如，在偏远地区施工，交通不便、物资供应困难以及当地劳动力短缺等问题，都会导致施工难度加大，成本相应增加。因此，提前评估和应对这些外部风险，可以为项目成本控制提供保障。

3 预算编制中的风险识别与控制策略

在建筑工程项目的预算编制过程中，风险识别与控制是确保预算精准、避免超支的关键环节。通过有效的风险管理，能够为项目顺利实施奠定坚实基础。本文将探讨预算编制中的风险识别与控制策略。

3.1 风险识别的关键环节

在建筑工程项目预算编制中，首先需要识别潜在的风险因素。风险识别的关键在于全面审视项目的各个方面，包括设计阶段、施工过程、材料采购、劳动力配置等。常见的风险类型包括技术风险、市场风险、管理风险和环境风险等。技术风险主要指设计变更、施工工艺不成熟或设备选择不当等问题，可能导致成本上升。市场风险涉及材料价格波动、劳动力成本上升等因素，尤其是在长周期的工程项目中，市场的不稳定性可能对预算产生重大影响。管理风险则包括项目管理经验不足、人员协调不当或信息沟通不畅等问题，这些都可能导致预算失真。通过对各类风险的识别，能够帮助项目管理者及时预见可能的预算偏差，确保预算编制的准确性[3]。

3.2 风险控制的策略与方法

在识别出潜在风险后，项目管理者需要制定相应的风险控制策略。风险控制的第一步是制定详细的应急预案，当项目面临突发状况时，可以通过预案进行快速响应，减轻风险对预算的影响。例如，对于材料价格波动风险，可以通过签订长期合同、固定价格协议等方式来锁定采购成本，减少市场波动带来的成本不确定性。其次，项目经理应加强工程进度管理，确保施工计划严格按照时间表执行，避免由于工期拖延带来的额外费用。此外，采用动态预算调整机制也是一种有效的控制策略。通过定期评估预算执行情况，及时发现预算偏差并进行调整，从而避免项目成本超支。灵活的预算调整机制可以帮助项目管理者在不确定性较大的环境中更加灵活应对。

3.3 风险控制中的信息技术支持

现代信息技术在预算编制中的应用，极大地提升了风险识别与控制的效率。通过建立信息化管理平台，项目管理者能够实时跟踪项目进展，监控预算执行情况，并及时识别和分析潜在的风险。例如，基于大数据分析的成本预测工具可以帮助项目管理者准确预判可能的费用波动，提前进行风险防范。BIM（建筑信息模型）技术的应用也使得项目的各项数据更加透明，风险控制更加精确。在施工过程中，采用智能监控系统可以实时反馈施工现场的变化，帮助项目管理者及时作出调整，确保预算执行的高效性。此外，信息技术还能够促进团队协作与信息共享，确保各方能够及时了解项目的实际情况，为风险控制提供数据支持。

4 现代信息技术在预算编制与成本控制中的应用

现代信息技术为建筑工程项目预算编制与成本控制提供了新机遇。通过智能化工具，项目管理者能够更精确地预测成本、控制风险，并提高预算执行的透明度与效率[4]。

4.1 信息化管理平台的应用

信息化管理平台为建筑工程项目的预算编制和成本

控制提供了系统化的支持。这些平台集成了项目的数据采集、存储与分析功能，能实时跟踪项目进展，并根据实际情况调整预算。通过这种平台，项目管理者能够及时发现预算与实际支出的差异，并采取相应措施调整预算。此外，平台还支持多方信息共享，提高了项目各方的协同效率。所有相关数据集中管理，确保了预算编制和成本控制的透明性和准确性，减少了人为错误的发生。

4.2 大数据分析与成本预测

大数据分析技术在建筑工程项目中得到了广泛应用，尤其是在预算编制和成本预测方面。通过对历史项目数据的分析，项目管理者可以识别出成本波动的趋势和规律，从而为新项目的预算编制提供数据支持。例如，通过分析材料价格、劳动力成本及施工周期等多维度数据，管理者可以精准预估项目的总成本及可能的风险点。此外，大数据技术还可以实时监控市场变化，预测材料价格波动，帮助项目团队及时调整采购策略，避免预算超支。

4.3 建筑信息模型（BIM）技术的应用

建筑信息模型（BIM）技术是现代信息技术在建筑工程中的重要应用，尤其在预算编制和成本控制方面表现突出。BIM通过三维数字化建模，帮助项目团队更清晰地了解设计方案、施工过程和各项资源的配置情况。通过BIM，项目管理者能够提前识别设计方案中的潜在问题，优化施工方案，减少资源浪费，降低成本。此外，BIM技术还能在施工过程中实时反馈各项数据，帮助管理者及时掌握项目进展，调整预算，确保项目按时按质完成。BIM不仅提高了预算编制的精度，还使成本控制更加科学和高效。

现代信息技术的引入，极大地提升了建筑工程项目预算编制和成本控制的效率与精确度，使得项目管理更加智能化、科学化，为项目的顺利实施提供了坚实保障。

5 建筑工程项目成本控制的优化路径与实践探索

建筑工程项目的成本控制是确保项目顺利进行的核心环节。通过优化路径和实践探索，能够有效提高成本控制的精确度和执行力，确保项目按预算完成。

5.1 成本控制的优化路径

优化建筑工程项目成本控制的第一步是建立科学的成本管理体系。该体系应包括成本计划、预算编制、成本监控、成本分析等多个环节，确保项目在实施过程中始终保持对成本的有效控制。合理的成本控制路径应该从项目立项阶段开始，明确每项费用的预算与控制目标，并在项目推进过程中实时监控预算执行情况。通过动态调整成本预算、加强各项支出的审计和管控，可以确保项目在资金使用上不超支，避免资源浪费。

5.2 项目全过程的成本管控

全过程的成本管控是优化成本控制的有效路径之一。在项目执行过程中，通过将预算控制、采购控制、施工控制等环节紧密结合，实现对项目每个阶段的精细化管理。特别是在施工阶段，管理者应严格按照项目计划进行资源配置，避免因工期延误、材料浪费等导致的额外支出。此外，应加强对供应链的管理，确保材料采购价格合理，避免市场价格波动对成本造成不必要的影响。对于劳动力成本，合理安排施工人员的配置，提高施工效率，降低人工成本，也能有效控制项目总成本。

5.3 成本控制中的技术支持与创新

随着建筑行业信息化进程的推进，技术支持和创新在成本控制中的作用愈加突出。采用智能化的成本监控系统，可以实时追踪项目进展，及时发现成本偏差，并采取相应措施进行调整。建筑信息模型（BIM）技术的引入，可以在设计阶段就优化施工方案，避免后期因设计变更造成的额外成本。此外，数据分析和大数据技术的应用可以帮助项目管理者预测项目成本的变化趋势，优化资源配置，提高成本控制的精度和科学性。通过技术手段的支持，项目的成本控制变得更加高效、透明和可控[5]。

通过上述优化路径和技术支持，建筑工程项目能够实现更加精细化的成本控制，提高资金利用效率，确保项目在预算范围内顺利完成，提升整体经济效益。

6 结语

建筑工程项目的预算编制与成本控制是确保项目顺利完成的关键。通过科学的预算编制、有效的风险识别与控制以及现代信息技术的应用，能够提高项目管理的效率和精准度。优化成本控制路径，实施全过程的精细化管理，并结合创新技术手段，可以有效降低项目风险，避免超支，提升项目经济效益。未来，随着信息化和智能化的深入发展，建筑工程项目的成本管理将更加高效、科学，推动行业的持续进步与创新。

[参考文献]

[1]朱丽.施工预算在建筑工程项目成本控制中的应用分析[J].江西建材,2023(6):379-381.
[2]张娣.住宅建筑工程项目合同预算管理与成本控制[J].居舍,2024(8):173-176.
[3]张宁.施工预算在建筑工程项目成本控制中的应用[J].销售与管理,2024(16):69-71.
[4]巫波.建筑工程经济预算与成本控制分析[J].建筑经济,2024,45(11):297-299.
[5]徐莉华.建筑工程项目合同预算管理与成本控制研究[J].环渤海经济瞭望,2024(7):52-54.

作者简介：王玉兰（1997.4—），毕业院校：嘉兴大学南湖学院，所学专业：工程造价，当前就职单位：东南建设管理有限公司，职务：职员，职称级别：助理工程师。

家用多联机空调的能效优化与自动调节技术研究

欧阳志远
宁波蓝光工程建设有限公司，浙江 宁波 315000

[摘要]文中旨在研究家用多联机空调系统的能效优化与自动调节技术，通过分析多联机空调的运行原理及能效影响因素，探讨其节能潜力及自动调节技术的发展。首先，通过实验与理论分析，揭示影响空调能效的关键因素，如压缩机运行、室内外环境温湿度变化等。其次，结合智能控制与自适应算法，提出优化控制策略，提升空调系统的运行效率。最后，通过案例分析与实验数据验证，证明该技术能显著降低能耗，提高空调系统的整体性能。研究结果对提升家用多联机空调的能效、推动绿色建筑和智能家居的发展具有重要意义。

[关键词]家用空调；多联机系统；能效优化；自动调节；智能控制
DOI：10.33142/sca.v8i3.15799　　中图分类号：TM925.12　　文献标识码：A

Research on Energy Efficiency Optimization and Automatic Adjustment Technology of Household Multi Split Air Conditioning

OUYANG Zhiyuan
Ningbo Languang Engineering Construction Co., Ltd., Ningbo, Zhejiang, 315000, China

Abstract: This article aims to study the energy efficiency optimization and automatic adjustment technology of household multi split air conditioning systems. By analyzing the operating principle and energy efficiency influencing factors of multi split air conditioning, it explores its energy-saving potential and the development of automatic adjustment technology. Firstly, through experiments and theoretical analysis, key factors affecting air conditioning energy efficiency are revealed, such as compressor operation, indoor and outdoor environmental temperature and humidity changes, etc. Secondly, by combining intelligent control and adaptive algorithms, an optimized control strategy is proposed to improve the operational efficiency of the air conditioning system. Finally, through case analysis and experimental data verification, it is proven that this technology can significantly reduce energy consumption and improve the overall performance of air conditioning systems. The research results are of great significance for improving the energy efficiency of household multi split air conditioners, promoting the development of green buildings and smart homes.

Keywords: household air conditioning; multi split system; energy efficiency optimization; automatic adjustment; intelligent control

引言

随着全球能源危机的加剧与环境保护要求的提高，家用空调的能效优化已成为重要的研究领域。尤其是在多联机空调系统中，由于其优越的能源利用率和灵活的制冷/制热方式，得到了广泛的应用。然而，如何进一步提升其能效表现，并有效调节系统运行以应对不同的使用需求，仍然是亟待解决的技术难题。本文将围绕家用多联机空调的能效优化与自动调节技术展开研究，旨在通过理论与实验相结合的方式，提出优化方案，并为行业实践提供参考依据。

1 家用多联机空调系统概述

1.1 多联机空调系统的结构与工作原理

家用多联机空调（VRF，Variable Refrigerant Flow）是一种集多个室内机与一个或多个室外机于一体的空调系统。其主要特点是能够根据实际需要调节室内各个空调单元的制冷/制热量，从而实现对室内不同区域的温度精确控制。该系统通过连接管路中的制冷剂流量变化，实现不同室内机的独立工作。多联机空调系统的核心结构包括压缩机、冷凝器、蒸发器和四通阀等主要部件。压缩机通过调节制冷剂的流量来改变系统的制冷能力，冷凝器将制冷剂在压缩过程中产生的热量释放到外部环境中，蒸发器则负责从室内吸热。四通阀则能根据需求切换制冷和制热模式。系统通过多回路控制不同室内机的负荷变化，使得每个房间可以根据具体情况选择不同的温度设置，从而提升整体能效[1]。

1.2 能效评估标准与影响因素分析

在评估家用多联机空调的能效时，通常采用的标准是SEER（季节能效比）和SCOP（季节性能系数）。SEER值反映了空调在制冷季节内的能效表现，而SCOP值则是用于评估空调在制热模式下的效率。两者的计算方法都考虑了系统在不同负荷下的运行情况，较高的SEER和SCOP值表明空调具有较好的节能表现。多联机空调的能效受多方面因素的影响。首先，压缩机的性能是决定空调系统能效的关键因素之一。高效的变频压缩机可以根据实际负荷需求调整运行频率，避免不必要的能量浪费。其次，系统中使用的冷媒类型也对能效有显著影响。例如，R410A和R32

冷媒相比传统的 R22 冷媒具有更高的热力学性能和更低的环境影响。系统设计中的管道布局、室内外机的匹配性、制冷剂流动的优化等因素也都直接影响到系统的能效表现。环境条件同样是影响能效的重要因素。外界温度、湿度以及室内负荷变化都会影响系统的运行效率。在高温高湿的环境下，空调系统可能需要消耗更多的能源来维持所需的舒适温度，因此，如何合理调节空调系统的运行状态，使其在各种环境条件下保持高效，是能效优化的关键。

2 能效优化技术的研究现状

2.1 多联机空调的能效提升方法

多联机空调的能效提升方法涵盖了系统设计优化、控制策略改进和运行模式调整等多个方面。首先，优化系统设计是提高空调能效的基础，涉及管道布局、冷凝器和蒸发器的尺寸选择以及内部流道的设计等环节。合理的管道设计可以减少制冷剂在流动过程中的压力损失，从而降低能量消耗。优化冷凝器和蒸发器的尺寸与换热效率也能显著提高热交换效果，减少能量浪费。控制策略的优化是提升空调能效的关键。通过精确协调室内外机的工作状态，确保空调系统能够根据实际负荷变化进行实时调整，避免因过度运行而产生多余的能耗。智能调节功能的引入，能够根据使用需求自动调节运行速度或温度设置，使得空调能够在保证舒适性的同时，最大限度地减少能源消耗。例如，在低负荷需求的情况下，系统可降低运行频率，减少功耗，而在负荷较高时则自动提升运行能力，从而实现高效、节能的运行模式。这些改进有效提升了空调系统的运行效率，减少了能源浪费[2]。

2.2 先进压缩机技术与节能算法

压缩机作为空调系统中最关键的部件之一，其性能的提升直接决定了整机的能效表现。近年来，变频压缩机技术取得了显著进展，相较于传统的定频压缩机，变频压缩机能够根据空调系统的实际负荷需求灵活调节运行频率，精确控制制冷/制热的输出功率。这种灵活调节使得系统能够在负荷变化较大时保持最佳运行状态，从而避免了传统定频压缩机在低负荷或过渡负荷情况下的能耗浪费，显著提高了能效。压缩机的设计优化也在能效提升中发挥着至关重要的作用。例如，通过改进压缩机的结构和工作方式，可以降低机械损耗和热损失，进一步提高其在低负荷情况下的工作效率。除了硬件的进步，节能算法的应用也是提升空调能效的重要途径。现代多联机空调系统引入了智能控制算法，如模糊控制、预测控制等先进技术。这些算法能够实时采集和分析环境变化数据，预测负荷需求，并根据预测结果调整空调的运行模式。

2.3 绿色冷媒与系统匹配优化

绿色冷媒的使用是实现空调节能和环保双重目标的关键。传统冷媒如 R22 对臭氧层具有破坏性，且其高温高压特性导致能效较低。因此，近年来 R32、R410A 等新型绿色冷媒逐渐得到广泛应用。这些冷媒不仅具备更高的热力学性能，还对环境的危害较小，能够有效减少温室气体的排放，同时提高空调系统的能效。系统匹配优化也是提升能效的一个重要方向。空调系统中的每一部分（如室内机、室外机、管道、控制系统等）需要相互配合才能达到最佳的运行效果。针对不同使用场景，优化室内机与室外机之间的匹配，确保系统在不同负荷条件下都能够实现高效运行。例如，通过采用模块化设计，在需求量较低时关闭部分室内机，从而减少系统负荷，避免过度运行而导致的能量浪费。通过对系统组件的优化匹配，可以最大限度地提升空调系统的整体能效。

3 自动调节技术的应用与发展

3.1 智能控制算法的应用

智能控制算法在家用多联机空调中的应用，极大地推动了空调能效的提升和系统运行的智能化。传统的空调控制方式通常依赖于简单的温度设定，而智能控制则能够基于多种传感器数据，自动调节空调的运行状态。常见的智能控制算法包括模糊控制、神经网络控制、遗传算法等，这些算法能够通过实时数据的分析与处理，对空调的工作模式进行动态调整。例如，模糊控制可以根据室内外温度、湿度、风速等因素的变化，做出合理的判断，避免传统控制方式中的过度或不足调节，进而优化空调的能效。基于深度学习和人工智能技术的自学习算法也逐渐被引入空调控制系统中。这些算法能够通过分析用户的习惯与需求，实时调整系统参数，从而实现个性化的自动调节，不仅提高了空调的舒适性，还进一步减少了能耗[3]。

3.2 环境感知与负荷预测技术

环境感知与负荷预测技术是实现空调系统智能化调节的重要基础。通过安装多种环境传感器（如温湿度传感器、CO_2传感器、光照传感器等），空调系统能够实时监测室内外的环境变化，从而获得更加精准的环境数据。这些传感器不仅能够捕捉温度、湿度、空气质量等因素的变化，还能在不同的工作场景下提供即时反馈，帮助空调系统根据外部环境的波动做出快速响应。例如，当室外温度升高或室内人员增多时，空调可以自动调节风速或制冷量，避免过度运行，减少不必要的能量消耗，从而确保高效的能源使用。

负荷预测技术则通过大数据分析和历史运行数据，预测未来一段时间内空调系统的负荷需求。基于对温度波动、人员活动、季节变化等因素的预测，系统能够提前调整压缩机和风扇的运行状态。这种预测控制的方式使空调能够在负荷较低时降低功率运行，在负荷高峰时及时提升制冷或制热能力，以确保室内温度在最短时间内达到预定水平。这种精确的预测调节不仅提升了空调的运行效率，减少了因负荷过大或过小所带来的能源浪费，还能延长设备使用寿命，避免设备因长期超负荷运行而导致的损耗，从而优

化了整体系统的性能。

3.3 自适应调节策略的实现

自适应调节策略旨在根据不同的环境条件和使用需求，自动调整空调系统的运行参数，从而实现最佳能效。与传统的定值控制不同，自适应调节策略能够根据实时获取的数据，自行调整运行模式和调节参数。具体来说，系统可以根据室内的温度、湿度、空气质量、人数等因素，灵活调节风速、制冷/制热模式以及压缩机功率，以满足用户的舒适需求并尽可能地减少能耗。自适应调节的关键在于算法的灵活性和系统的响应速度。例如，在使用较少的房间，空调可以自动降低运行负荷，切换到低功率模式；而在房间人数增加时，系统则能自动提高制冷/制热输出，迅速达到舒适温度。这种智能化的调节方式能够大幅度提高空调的能源使用效率，减少空调的过度运转和能源浪费，最终实现节能和环境友好型的目标。通过自适应调节技术，空调系统能够更智能地应对动态的环境变化，为用户提供高效、舒适的室内空气质量。

4 实验分析与案例研究

4.1 实验设备与测试环境

为验证家用多联机空调的能效优化技术，实验采用了市面上主流的家用多联机空调系统。测试设备包括高精度温湿度传感器、电力监测仪表、环境控制系统以及多联机空调的各类控制模块。测试环境选取了一个典型的家用住宅模型，配备有多个房间和不同的室内机与外部环境的交互条件。通过在不同季节和气候条件下对空调系统进行测试，获取各项性能数据。具体而言，实验中模拟了不同室内负荷、环境温湿度变化等多种运行条件，测量空调系统在不同工作模式下（如制冷、制热、待机等）的功率消耗和能效表现。通过对实验数据的收集和分析，评估空调系统在实际环境中的运行效率，并与传统的空调系统进行对比，找出优化方案的实际效果。

4.2 优化方案的实验验证与性能分析

在实验过程中，针对传统多联机空调的能效不足，提出了若干优化方案，其中包括智能控制算法的优化、压缩机调节策略的改进，以及室内外环境适应性增强等方面。实验通过对比优化前后的能耗数据，验证了这些优化措施对能效提升的实际效果。优化后的空调系统在负荷较轻的情况下，压缩机能够根据负荷变化实现精准调节，避免了传统空调在低负荷下的能量浪费；而在负荷较重时，系统能够迅速响应，提高制冷/制热能力，以确保室内温度的快速调节。此外，优化后的系统还通过智能算法预测和调节室内温湿度变化，有效降低了因环境波动带来的能源浪费。性能分析表明，经过优化的空调系统相比于传统系统，能效提升了约 15%～25%。尤其在高温夏季和低温冬季的高负荷运行条件下，优化方案的优势更加显著，能耗降低明显[4]。

4.3 案例研究：家用多联机空调的实际节能效果

在某家庭住宅中，安装了一套经过优化的家用多联机空调系统。该系统采用了最新的智能控制技术、先进的压缩机调节算法和高效的绿色冷媒，且通过环境感知技术进行自动调节。经过为期一年的使用案例分析，结果表明，与传统空调系统相比，优化后的系统在夏季和冬季的空调费用分别减少了 18%和 20%。在实际使用过程中，用户反馈该系统在舒适性和能源消耗方面均表现优异。例如，在炎热的夏季，系统能够根据室内人员活动变化自动调节制冷量，保持稳定的室内温度同时避免过度消耗能量；冬季时，系统则能够根据室内温度快速响应，提供所需的加热效果，同时控制能源使用。通过实际的使用数据和用户反馈，证明了优化后的多联机空调在节能、舒适性和环境友好性方面具有显著优势，不仅降低了家庭能源消耗，也提升了居住体验。这一案例为进一步推广智能化空调系统提供了实践依据。

5 结语

通过对家用多联机空调能效优化与自动调节技术的研究，本文提出了一系列创新性方案，优化了系统运行效率，并通过智能控制算法提升了空调的自适应调节能力。实验结果表明，所提出的优化策略能够有效降低能耗，提升系统的整体性能，具有广泛的应用前景和市场价值。未来，随着智能家居与绿色建筑理念的普及，家用多联机空调将迎来更高效、智能的技术革新，为节能减排与环境保护做出更大贡献。

[参考文献]

[1]刘若飞.开利公司轻型商用空调营销策略优化研究[D].甘肃:兰州大学,2021.
[2]王媛媛.S 公司家用中央空调中国市场营销策略研究[D].北京:北京工业大学,2020.
[3]张雨龙.C 公司轻型商用空调产品营销优化策略研究[D].上海:华东师范大学,2022.
[4]李泽鑫.美的酷风家用中央空调天津分中心市场营销策略研究[D].河北:河北工业大学,2021.

作者简介：欧阳志远（1991.8—），毕业院校：上海大学，所学专业：自动化，当前就职单位：宁波蓝光工程建设有限公司，职务：工程管理，职称级别：工程师。

混凝土搅拌设备应用机电一体化技术的现状及发展趋势

苑 超
中铁三局集团桥隧工程有限公司，河北 邯郸 056000

[摘要]在建筑行业日益发展的背景下，混凝土搅拌设备的关键作用愈加显现。传统的搅拌设备依赖人工操作，这种操作方式不仅效率较低，且容易产生失误，操作复杂性较高。为解决这些问题，机电一体化技术逐步在混凝土搅拌设备中得到了广泛应用，显著提升了设备的自动化程度、生产效率与工作质量。机电一体化技术将机械、电子、计算机及控制技术有机结合，确保设备在稳定性方面得到保障，并实现了过程控制的精确性、自动化操作以及故障诊断功能。随着智能化、系统化与网络化等技术的不断推进，混凝土搅拌设备正朝着更加高效、环保、智能的方向发展。文章分析混凝土搅拌现有技术，结合未来发展方向，展示机电一体化技术在混凝土搅拌设备中的实际效果与发展潜力，为工程实践提供了有益的参考，也为相关领域的技术创新及应用提供了支持。

[关键词]混凝土搅拌设备；机电一体化技术；安全性；智能化；模块化；自动化
DOI：10.33142/sca.v8i3.15803　　中图分类号：U415.522　　文献标识码：A

The Current Situation and Development Trend of the Application of Mechatronics Technology in Concrete Mixing Equipment

YUAN Chao
Bridge and Tunnel Engineering Co., Ltd. of China Railway No.3 Engineering Group, Handan, Hebei, 056000, China

Abstract: With the increasing development of the construction industry, the key role of concrete mixing equipment is becoming more and more prominent. Traditional mixing equipment relies on manual operation, which is not only inefficient but also prone to errors and high operational complexity. In order to solve these problems, mechatronics technology has gradually been widely applied in concrete mixing equipment, significantly improving the automation level, production efficiency, and work quality of the equipment. Mechatronics technology organically combines mechanical, electronic, computer, and control technologies to ensure the stability of equipment and achieve precision in process control, automated operation, and fault diagnosis functions. With the continuous advancement of intelligent, systematic, and networked technologies, concrete mixing equipment is developing towards a more efficient, environmentally friendly, and intelligent direction. The article analyzes the existing technology of concrete mixing and combines it with future development directions to demonstrate the practical effects and development potential of mechatronics technology in concrete mixing equipment, providing useful references for engineering practice and supporting technological innovation and application in related fields.

Keywords: concrete mixing equipment; mechatronics technology; security; intelligentization; modularization; automation

混凝土作为建筑行业中至关重要的基础材料，长期以来在各类建筑工程中发挥着举足轻重的作用。随着建筑规模的不断扩大与施工工艺要求的不断提高，混凝土的生产质量与效率成为施工项目顺利进行的关键因素。传统的搅拌设备通常采用机械化操作，这种设备存在生产效率低、质量控制困难以及维护成本较高等问题。而机电一体化技术的应用，通过将机械与电子控制技术结合，成功实现了生产过程的智能化与自动化，保证了混凝土搅拌质量的稳定性，提升了生产效率。新一代的混凝土搅拌设备不仅在设计上更加紧凑与高效，还在控制系统、智能监控等方面进行了显著创新。随着建筑行业对设备技术要求的不断提高，机电一体化技术推动设备朝着智能化、节能、环保等方向发展，为建筑行业提供了更为精准与高效的生产工具，满足了更为严苛的质量与生产要求。

1 混凝土搅拌设备应用机电一体化技术概述

1.1 安全性与可靠性得到显著增强

机电一体化技术在混凝土搅拌设备中的应用大大提升了其安全性与可靠性。设备内置的电子控制系统通过实时监控运行状态，自动收集关键参数数据，确保任何潜在的故障都能被及时发现并进行有效预防。当出现异常情况时，系统能迅速做出反应，自动发出警报并执行保护措施，避免设备发生故障或安全事故。通过这种方式，系统不仅保证了设备运行的安全性，也有效延长了其使用寿命。在操作过程中，所有的工作程序都能存储在控制系统中。操作过程可以按照设定的标准流程自动进行，减少了人为操作失误的概率，从而提高了设备的可靠性。操作程序的标

准化使得每次运行更加稳定，减少了操作过程中的安全隐患，使设备始终处于最优工作状态。

1.2 生产能力与工作质量得到了有效提升

机电一体化技术的引入大大提升了混凝土搅拌设备的生产能力与工作质量。电子控制系统精确地调节搅拌过程中各项参数，如水泥、水和骨料的比例、搅拌时间等，确保每一批次混凝土均达到预定标准，避免了因人工操作失误而导致的质量波动[1]。此外，自动化控制系统能够实时监控生产过程，根据环境变化自动调整参数。例如，当骨料的质量发生变化时，系统会根据当前情况自动修正其他成分的比例，确保每一批混凝土始终达到预期效果。精确的调整使得生产过程更为高效，生产能力得到了大幅度提高。与传统设备相比，现代搅拌设备能够在更短的时间内完成更多的生产任务，减少了生产周期，同时保持了高质量的稳定性。

1.3 使用性能改善

现代混凝土搅拌设备普遍采用程序控制和数字显示，操作按钮和手柄数量显著减少，使得操作大大简化并且方便、简单。生产过程根据预设的程序逐步由电子控制系统指挥实现，系统可重复实现全部动作。甚至根据外界参数的变化自动进行程序的调整，实现自动最优化操作，例如根据骨料的称量情况自动调整沥青的称量数量，使成品料的油石比始终保持在最佳比例。

1.4 调整和维护方便

现代混凝土搅拌设备在安装调试时，可通过改变控制程序来实现工艺流程的改变，以适应不同工程项目的需要以及现场参数的变化。这些控制程序可通过多种手段输入到控制系统中，而不需要改变设备中的任何部件或零件。可以事先存入若干套不同的执行程序及参数，然后根据不同的生产要求，只需选定一个程序代码，即可按指定的预定程序进行自动工作。自动化检验和自动监视功能可对工作过程中出现的故障自动报警，以便进行及时维护恢复正常生产。

2 混凝土搅拌设备应用机电一体化技术的主要方面

2.1 机械本体技术

混凝土搅拌设备的机械本体是其核心部分，对设备的工作效率与运行稳定性起着至关重要的作用。借助先进的制造工艺与高强度材料，机械本体在承受高负荷运作时表现出了出色的耐用性。随着机电一体化技术的发展，机械部件的精密度与结构设计得到了显著优化，提升了传动系统的稳定性与效率。在机械设计中，设备通过减少运行过程中的振动，进一步提高了其工作平稳性[2]。此外，优化后的传动系统减少了能量损失，提升了动力输出效率。这些技术进步不仅增强了设备的整体稳定性，还延长了设备的使用寿命，减少了故障发生的频率，确保了连续稳定的生产。

2.2 传感器技术

在混凝土搅拌设备的运行中，传感器技术扮演着重要角色，尤其在数据采集与过程监测方面。传感器能够实时感知搅拌过程中物料的变化，并将信息反馈给控制系统，从而实现精准的控制。例如，重量传感器能够精准测量骨料的质量，确保各原料的配比精确无误；温湿度传感器则帮助调节搅拌环境，优化生产条件，保证混凝土质量的一致性。此外，传感器技术还配备了故障监测功能，能够在设备出现潜在问题时发出警报，帮助操作人员迅速采取维修措施，避免因故障导致生产中断。借助这一技术，混凝土搅拌设备能够有效降低因人为疏忽而带来的安全风险，进一步提升生产过程的安全性与稳定性。

2.3 信息处理技术

信息处理技术的引入，使得混凝土搅拌设备具备了智能化调节的能力。在生产过程中，设备通过采集到的各类数据，进行实时分析与处理，以优化搅拌过程中的关键参数。控制系统根据分析结果进行调节，确保每一批混凝土的质量稳定与符合标准。信息处理技术的应用还强化了设备的自动化控制能力，使其在不同工况下能够迅速调整运行参数，确保设备始终处于最佳状态。这种智能调节方式不仅提升了生产的效率，也进一步优化了生产环境，为混凝土搅拌过程提供了更加稳定的保障。

2.4 驱动技术

驱动系统是混凝土搅拌设备的另一个关键组成部分，其性能直接影响设备的运行效率与能耗。采用变频控制技术的电动驱动系统，能够根据不同的负荷需求自动调节功率输出，避免了传统驱动系统中的能量浪费，提升了运行效率。与传统机械驱动相比，电动驱动系统的引入不仅提高了动力传递的效率，还有效降低了能源消耗。此外，变频控制技术使得驱动系统在负载变化时依然能够稳定运行，大幅提高了设备的适应性与工作效率。电动驱动系统的可靠性与稳定性，减少了机械磨损，延长了设备的使用寿命，促进了生产过程的可持续性。

2.5 接口技术

接口技术在混凝土搅拌设备中确保了各个模块的高效协作与信息流畅传递。通过标准化接口，不同的传感器、执行器以及控制系统之间可以实现无缝连接，保证了设备的各个部分能够协调工作。接口技术的标准化也增强了设备的兼容性与灵活性。在生产过程中，设备能够适应不同的传感器类型和控制系统，确保在多变的工作环境下，设备依然能够高效运行。这使得设备具备了更强的适应性与扩展性，为生产流程的高效调度与管理提供了支持。

2.6 软件技术

软件技术方面，现代混凝土搅拌设备为了提高生产维

修的效率，逐步推行了软件标准化，包括程序标准化、程序模块化、软件程序的固化、推行软件工程等。重视人机界面的设计，所见既所用，触摸操作，上手迅速，控制方便可靠。

3 混凝土搅拌设备应用机电一体化技术的发展趋势

3.1 智能化趋势

智能化技术的推动已成为混凝土搅拌设备革新的关键因素之一。随着物联网、大数据以及人工智能技术的逐步应用，设备不仅能够实时感知环境变化，还可自动调整其工作状态，进而实现精准操作与控制。通过引入先进的电子控制系统，混凝土搅拌设备能够精确调节生产过程中诸如水泥比例、骨料重量等关键参数，确保搅拌的均匀性与混凝土的强度[3]。设备的自动化水平显著提升，能够在无需人为干预的情况下，根据反馈信息动态调整操作参数。例如，系统会根据实时数据自动优化配比，保障混凝土的质量。同时，物联网技术的应用使得设备数据能够实时传输至远程控制平台，管理者可以通过网络随时查看设备的运行状态并进行远程控制。未来，随着智能化技术的进一步发展，设备的自诊断与修复能力将得到更大的提升，进一步增强其智能化水平。

3.2 模块化、系统化趋势

模块化与系统化的设计理念正在引领混凝土搅拌设备向更高效、更灵活的方向发展。设备通过将功能分割成多个独立的模块，每个模块负责不同的操作任务，提升了系统的灵活性与适应性。生产需求的变化可以通过灵活组合不同模块来实现，不仅能够根据工程需求调整配置，还能提高设备的维护效率。系统化设计强调不同模块之间的协调与集成，使设备的各项功能得以优化整合。通过集成先进的电子控制系统，各个模块能够协调工作，避免了不必要的复杂操作，提高了生产效率。系统化设计不仅简化了设备操作，还使得混凝土搅拌过程中的各项参数得以精准控制。随着系统化设计的不断深入，设备的灵活性与智能化将进一步得到提升，推动混凝土搅拌设备适应多变的市场需求。

3.3 网络化趋势

信息技术的进步使得混凝土搅拌设备正朝着网络化方向发展。物联网、云计算以及 5G 技术的广泛应用，使设备的数据传输效率得到了大幅提高，远程控制与数据监控不再是难题。通过互联网，设备的数据可实时上传至控制中心，管理者能够随时监控设备的运行状态，及时进行调整。网络化技术使得设备运行过程中产生的数据得以共享，并与中央控制平台保持实时连接。通过实时数据的传输，设备管理人员能够随时进行调控，确保设备的高效运行。同时，网络平台还提供了故障预警功能，设备出现故障时，系统会及时报警，工作人员能够迅速定位问题并采取相应措施。随着 5G 技术的普及，数据传输将更加快速与稳定，进一步推动混凝土搅拌设备的网络化进程。

3.4 小型化趋势

在建筑行业日益注重设备便捷性与灵活性的背景下，小型化设计成为混凝土搅拌设备的重要发展方向。小型化设备不仅具备体积小、占地少的优势，还能满足多样化的工程需求。与传统的大型设备相比，小型化设备更加适应狭小的施工现场，尤其在空间有限或施工临时性较强的场地，具有更高的适用性。小型化设备的优势不仅仅体现在尺寸的压缩，更多的体现在设计理念上的创新。在保证高效生产的同时，小型化设备在结构与驱动系统的优化下，仍能够提供强大的动力与性能。通过合理的配置，小型化设备能够在狭小的空间内完成大型设备所能完成的任务。随着技术不断革新，未来的小型化混凝土搅拌设备将更加灵活，能够满足各种复杂环境下的施工需求。

3.5 环保化趋势

随着全球对环境保护要求的不断提高，环保已成为混凝土搅拌设备发展的核心关注点。环保化不仅仅体现在减少能源消耗方面，还包括控制废气排放、减少噪声污染等多个方面。为满足绿色建筑的需求，混凝土搅拌设备正在逐步采用节能技术与环保驱动系统，有效降低了设备的能耗，并在生产过程中减少了对环境的负面影响[4]。为了符合严格的环保法规，混凝土搅拌设备还引入了废气净化与噪声抑制技术，确保设备的排放达到环保标准。此外，设备的废料回收系统能够将生产过程中产生的废料进行再利用，避免了环境污染。在未来，环保化的要求将成为设备设计与制造的基础标准，推动混凝土搅拌设备向着更加绿色、可持续的方向发展。

3.6 人性化趋势

随着智能化技术的应用不断推进，混凝土搅拌设备的人性化设计也在不断提升。设备的操作界面、工作环境与安全性能均被更加注重，目的是提高操作人员的使用舒适性与安全性。通过简化控制系统、优化操作界面，操作人员能够更加直观地掌握设备的工作状态，控制起来更加便捷。在人性化设计的具体实现中，触摸屏、语音提示等功能被广泛应用，使得设备操作更加简易、直观。此外，设备的安全性能也得到了显著提升，内置的故障诊断系统能够实时监测设备运行状态，及时报警并指导工作人员进行维护。未来，随着技术的进一步发展，混凝土搅拌设备将更加注重用户体验，提供更加人性化的使用感受与操作便捷性。

4 结语

随着智能化、模块化、网络化及环保技术的进一步发展，未来的混凝土搅拌设备将具备更高的工作效率、更低

的能耗及更强的适应性。此类技术进步将推动混凝土搅拌设备向更加智能化、绿色化及高效化的目标迈进，助力建筑行业的现代化转型。同时，也为行业的可持续发展提供了坚实的技术支持。展望未来，随着科技的不断进步，混凝土搅拌设备将展现出更多的潜力与价值。技术创新不断推动机电一体化技术在提高生产效率、降低成本、促进行业升级等方面的深远影响，进一步为建筑行业的绿色发展贡献力量。

[参考文献]

[1]罗郑裳棋.混凝土搅拌设备 BOM 数据管理的改进研究[J].建设机械技术与管理,2024,37(3):67-69.
[2]崔新海.公路施工中混凝土搅拌设备配料误差控制方法[J].工程机械与维修,2024(1):41-43.
[3]曾阎.沥青混凝土搅拌设备现场终端硬件结构设计研究[J].今日制造与升级,2024(5):35-37.
[4]葛亚东.混凝土搅拌站机械设备的常见故障与维修保养方法研究[J].工程机械与维修,2025(1):14-16.

作者简介：苑超（1983.8—），单位名称：中铁三局集团桥隧工程有限公司，毕业学校和专业：西北工业大学 土木工程。

机电设备智能化管理系统的设计与应用

贾志刚
河北科防冶金安全评价有限公司，河北 石家庄 050000

[摘要]随着工业自动化和信息技术的发展，机电设备的智能化管理逐渐成为提高生产效率、降低维护成本的关键手段。智能化管理系统通过集成物联网、人工智能、大数据分析等技术，实现对设备的实时监控、故障预测和优化调度。系统的硬件架构包括传感器、边缘计算设备与执行机构，软件架构支持数据采集、远程监控及智能分析。通过物联网协议、无线通信技术和云计算协同机制，系统能够实现高效数据传输与处理。通过智能化技术，设备管理的效率和安全性得到提升，并为工业生产中的设备管理提供了可靠的技术保障。

[关键词]机电设备；智能化管理；物联网；数据分析；系统设计
DOI：10.33142/sca.v8i3.15776　　中图分类号：TH692.3　　文献标识码：A

Design and Application of Intelligent Management System for Mechanical and Electrical Equipment

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

Abstract: With the development of industrial automation and information technology, intelligent management of electromechanical equipment has gradually become a key means to improve production efficiency and reduce maintenance costs. The intelligent management system integrates technologies such as the Internet of Things, artificial intelligence, and big data analysis to achieve real-time monitoring, fault prediction, and optimized scheduling of equipment. The hardware architecture of the system includes sensors, edge computing devices and actuators, and the software architecture supports data collection, remote monitoring and intelligent analysis. Through IoT protocols, wireless communication technology, and cloud computing collaboration mechanisms, the system can achieve efficient data transmission and processing. Through intelligent technology, the efficiency and safety of equipment management have been improved, providing reliable technical support for equipment management in industrial production.

Keywords: mechanical and electrical equipment; intelligent management; IoT; data analysis; systems design

引言

随着工业自动化和信息技术的迅猛发展，传统的机电设备管理方式已经难以满足高效率和高可靠性的需求。智能化管理系统以其高效、准确的特点，成为解决这一问题的有效途径。本文通过分析机电设备管理的现状与挑战，探讨了智能化管理系统的设计要素与应用效果，旨在为机电设备管理提供一种全新的思路和方法。

1 机电设备智能化管理系统架构

1.1 硬件架构

机电设备智能化管理系统的硬件架构主要包括传感器与数据采集模块、边缘计算设备与网关、控制器与执行机构。

传感器与数据采集模块：传感器是设备状态监测的基础，通过多种传感器（如温度、振动、压力、湿度、流量等）实时采集设备的运行数据。这些传感器将数据传输给数据采集模块，进行初步的信号处理和格式转换，确保数据的准确性和可靠性。

边缘计算设备与网关：边缘计算设备通过在靠近设备端的地方进行数据处理，减少了对远程数据中心的依赖，从而降低了数据传输延迟。边缘计算设备通常搭配网关使用，网关负责将边缘计算节点处理后的数据传输到云平台或集中管理系统。边缘计算设备能够对实时数据进行初步分析，提供实时反馈与处理能力。

控制器与执行机构：控制器是智能化管理系统的大脑，负责接收来自传感器和计算设备的指令并将控制信号传递给执行机构。执行机构根据控制指令对设备进行操作，如调节工作参数、启动或关闭某些部件等，确保设备按预期运行。

1.2 软件架构

智能化管理系统的软件架构主要包括数据采集与存储系统、远程监控与智能分析平台、人机交互系统。

数据采集与存储系统：软件平台通过集成不同传感器的数据采集模块，实时采集设备的运行数据。采集到的数据通过数据存储系统进行存储、备份，并在需要时提供历史数据的查询与分析功能。数据存储系统应支持大数据处理，能够处理来自多个设备的数据并进行高效存储[1]。

远程监控与智能分析平台：该平台通过集成设备数据、运维信息及传感器数据，支持对设备的远程监控与智能分析。智能分析平台利用大数据技术与 AI 算法，对设备运行状态进行评估，提前预测潜在故障和维护需求，提供智

能化的决策支持。

人机交互系统：该系统为操作人员提供直观的界面，便于操作员实时监控设备状态，进行控制指令的下发，查看报警信息，以及进行远程操作。人机交互界面通常支持图形化、数据可视化以及多种警报提醒功能，提高操作员对系统的响应速度和效率。

1.3 通信与网络架构

通信与网络架构在智能化管理系统中起着至关重要的作用，主要包括物联网（IoT）协议与数据传输、5G/LoRa等无线通信技术应用、云端与本地计算协同机制。

物联网（IoT）协议与数据传输：物联网协议（如MQTT、CoAP、Modbus 等）确保了传感器与数据采集模块、边缘计算设备之间的高效数据传输。通过标准化的通信协议，系统能够实现设备之间的无缝连接与数据共享，确保数据传输的高效性与可靠性。

5G/LoRa 等无线通信技术应用：5G 和 LoRa 技术为设备通信提供了广泛的覆盖和低延迟的通信能力。5G 技术可支持高速、大容量的数据传输，适用于需要实时反馈和处理的场景；而 LoRa 技术则适用于远距离、低功耗的设备通讯，在大范围区域内的数据采集应用中具有优势。

云端与本地计算协同机制：为了提高系统的计算效率，智能化管理系统采用云端与本地计算协同的方式。边缘计算节点处理本地实时数据，而云端平台则负责汇总各地的计算结果，进行深度分析与大数据挖掘。云端与本地的协同工作使得系统具有更强的灵活性与扩展性，能适应不同的管理需求与环境。

2 关键技术分析

2.1 物联网（IoT）在机电设备管理中的应用

物联网（IoT）技术在机电设备管理中具有重要的应用价值，尤其是在设备状态实时监控与故障预测方面。通过安装各种传感器（如温度、湿度、振动传感器等）在设备上，物联网技术可以实时采集设备运行中的各类数据。传感器将采集到的数据传输到集中管理系统，进行实时分析。这些数据包括设备的工作状态、环境条件以及运行参数，能够帮助管理人员及时了解设备的健康状况。

例如，在机电设备的状态监测中，物联网技术通过无线网络将设备数据实时传送到云端平台，云端平台通过大数据分析实时判断设备的健康状况，提前发现可能存在的故障隐患。通过这种智能监控系统，设备可以进行故障预测，减少停机时间和维护成本[2]。此外，物联网技术还可以支持设备的远程控制和调度，提升了生产线的灵活性和自动化水平。

2.2 人工智能（AI）与大数据分析

人工智能（AI）与大数据分析是机电设备智能化管理中的核心技术，主要体现在设备故障预测、性能优化及运维决策支持等方面。首先，AI 可以利用历史数据和实时数据，借助机器学习算法（如回归分析、神经网络等），对设备进行故障预测。通过分析设备的历史运行数据、维修记录及外部环境数据，AI 能够识别出设备运行的异常模式，并在设备故障发生前进行预警，从而避免突发性故障对生产的影响。

大数据分析在设备管理中的作用同样不可忽视。设备在长期运行过程中会产生大量的数据，如何从这些海量数据中提取有价值的信息是关键。通过大数据技术，能够对不同设备、不同厂区的运行数据进行集成和深入分析，发现潜在的规律和趋势。例如，基于数据挖掘的算法可以揭示设备运行效率与维护频率之间的关系，优化维修计划，降低维护成本。

2.3 数字孪生与虚拟仿真技术

数字孪生技术通过创建物理设备的虚拟模型，实现对设备状态的实时监测与预测。每一台机电设备都可以通过传感器、IoT 设备与大数据平台建立连接，形成一个与物理设备高度一致的虚拟模型。这个虚拟模型不仅反映设备的实时状态，还能根据设备的运行数据进行仿真预测，模拟设备在不同工作环境下的表现。

数字孪生技术的应用，可以帮助工程师更好地理解设备的运行特性，通过对虚拟模型的不断调整，提升设备的性能和效率[3]。

虚拟仿真技术则通过计算机生成逼真的虚拟环境，对设备的运行进行模拟。通过仿真技术，可以在没有实际投入的情况下，提前对设备的各项性能进行测试，从而优化设备的设计和操作流程。此外，虚拟仿真技术也支持设备的远程调试和培训，减少了设备故障发生前的物理试验成本，并提高了设备管理的效率。

3 案例研究

3.1 应用背景

本案例研究涉及一家大型制造企业，该企业拥有广泛的机电设备，包括高速自动化生产线、CNC 机床、注塑机和压力机等。这些设备是企业日常生产的核心，其效率和稳定性直接影响到生产效率和产品质量。随着企业规模的扩大和市场需求的增加，传统的设备管理方式已无法满足生产的高效率和高质量需求。企业管理层面临的主要挑战包括设备维护成本高、故障停机时间长以及设备利用率低等问题[4]。

为了解决这些问题，企业决定引入机电设备智能化管理系统，目的是通过技术手段提高设备的监控、维护和故障处理能力，从而提升整体生产效率和降低运维成本。系统的引入旨在实现设备的实时监控、故障早期预警、维护自动化和数据驱动的决策支持，以优化设备管理和维护流程。

3.2 应用效果

部署智能化管理系统后，企业观察到多个方面的显著改进：

实时监控和故障预警：通过系统的实时监控功能，企业能够实时掌握每台设备的运行状态和性能指标。系统通过分析收集到的数据，能够及时发现设备潜在的异常和故

障趋势，从而在问题发展成严重故障之前进行预警。例如，系统曾成功预测一台 CNC 机床的主轴异常，通过早期干预避免了一次大规模的生产停机。

维护优化：系统的维护管理功能帮助企业从固定周期维护转向了基于条件的预防性维护。这种转变基于对设备历史数据和实时性能数据的深入分析，能够更准确地预测维护需求和最佳维护时间。这不仅减少了不必要的维护活动，还显著减少了由于维护不当引发的设备故障。

成本节约与效率提升：通过智能化管理系统，企业大幅度降低了由于设备故障导致的停机时间，从而提升了生产线的整体运行效率。此外，系统帮助企业优化了资源分配，降低了能源消耗和维护成本，整体设备管理成本比引入系统前下降了约 20%。

用户反馈：企业的操作员和管理人员对系统的反馈普遍积极。操作员表示，系统的用户界面直观易用，大大简化了他们的日常工作。管理层则对系统提供的数据驱动的决策支持功能表示赞赏，认为这有助于他们做出更精准的业务决策。

持续改进：系统的数据分析能力为企业提供了持续的改进机会。通过分析设备数据，企业不仅能改善设备维护，还能优化生产流程和工作方式。例如，通过系统分析得知，调整某生产线的作业顺序可以减少设备负荷，从而延长设备寿命并提高产量。

4 智能化管理系统的技术挑战与优化方案

4.1 数据安全与隐私保护

智能化管理系统面临着大量敏感数据的存储和传输，数据安全与隐私保护是首要问题。为了确保设备数据的安全性，设备数据加密与传输安全至关重要。采用先进的加密算法（如 AES、RSA 等）对传输和存储的数据进行加密，确保数据在传输过程中不被窃取或篡改。此外，数据传输通道需要通过安全协议（如 HTTPS、TLS）进行加密，以防止中间人攻击。

访问权限管理与身份认证也是保证系统安全的关键环节。通过多层次的访问权限控制机制，根据用户角色分配不同的访问权限，确保只有授权用户可以访问特定数据和操作系统资源。同时，采用身份认证技术（如双因素认证、数字证书等）对用户身份进行验证，防止未授权用户进行非法操作。

防止恶意攻击与数据篡改是另一个重要任务。通过建立入侵检测系统（IDS）和入侵防御系统（IPS），可以实时监控网络流量并及时识别异常行为。

4.2 系统稳定性与可靠性

智能化管理系统需要保证高稳定性和可靠性，避免因系统故障而影响设备的正常运行。高可用性架构设计是确保系统稳定性的基础。通过冗余设计和故障切换机制（如主备模式、负载均衡），可以确保系统在部分组件失效的情况下仍能正常运行，避免单点故障造成的服务中断。

故障自诊断与自修复技术能够在系统运行过程中及时发现并修复故障。智能化管理系统应配备自诊断模块，利用实时数据分析和 AI 算法预测设备潜在的故障，并在故障发生前进行自动修复或调整，最大限度减少停机时间。

设备冗余与容错机制是增强系统可靠性的关键。通过设计冗余设备和组件，在设备发生故障时可以自动切换到备用设备，保证系统的持续运行。例如，在电力系统中，冗余的电源和通信线路能够在主设备失效时，保持系统不间断运行。

4.3 兼容性与可扩展性

智能化管理系统必须支持多种设备和协议的兼容性。设备接口与协议标准化是确保系统与不同厂商设备能够无缝对接的前提。采用统一的通信协议（如 Modbus、OPC-UA 等）和标准化的接口，避免因设备接口不兼容而导致系统整合困难。

模块化系统架构设计能够提高系统的可扩展性。通过将系统划分为多个独立模块，可以在不影响其他模块运行的情况下，进行模块升级或更换。例如，传感器模块、数据存储模块和分析模块可以分别独立工作，便于根据需要进行优化和扩展。

灵活扩展与适配不同设备是系统长期运营中的重要需求。系统设计应具备足够的灵活性，支持不同型号、不同厂商的设备接入，并能根据设备的不同特性进行适配。例如，采用可配置的驱动程序和接口协议，确保系统能够接入新型设备，满足日益增长的管理需求。

5 结语

智能化管理系统通过集成先进的物联网、人工智能、大数据分析等技术，极大提升了机电设备的管理效率和智能化水平。尽管在数据安全、系统稳定性、兼容性等方面仍面临挑战，但通过不断优化加密技术、冗余设计、标准化协议等措施，这些问题可得到有效解决。随着技术的不断进步和实践应用的深化，智能化管理系统将继续推动设备管理模式的变革，为工业生产带来更多的效益和创新机会。

[参考文献]

[1]张志忠.矿山机电设备智能化管理系统的设计与实现[J].今日制造与升级,2024,11(7):65-68.
[2]原恩育.通信设备智能化管理系统的设计与应用[J].电脑知识与技术,2022,18(12):96-98.
[3]张利平.电液控制阀及系统使用维护[M].北京:化学工业出版社,2020.
[4]唐安杰,张仰森,柴菁,等.多设备集成的智能化仓库管理系统的设计与应用[J].制造业自动化,2015,37(22):143-149.

作者简介：贾志刚（1984.9—），毕业院校：国家开放大学，所学专业：机械设计制造及其自动化，当前就职单位：河北科防冶金安全评价有限公司，职务：安全工程师，职称级别：中级。

Java 在大数据处理中的应用与性能优化研究

蒋章浩[1] 柴可星[2]
1. 南京林业大学，江苏 南京 210037
2. 江苏省奔牛高级中学，江苏 常州 213139

[摘要]随着数据量的激增，Java 在处理大规模数据集时面临性能瓶颈。通过探索 Java 平台的并行计算机制、内存管理优化以及 JVM 调优技术，本研究提出了一系列性能优化策略。通过实验验证，这些策略显著提高了数据处理速度和系统的响应能力，有效支持了大数据应用的开发和部署。研究结果为 Java 在大数据处理中的应用提供了实用的优化指南和技术参考。
[关键词]Java；大数据处理；性能优化；JVM 调优；并行计算
DOI：10.33142/sca.v8i3.15812 中图分类号：TP392 文献标识码：A

Research on the Application and Performance Optimization of Java in Big Data Processing

JIANG Zhanghao [1], CHAI Kexing [2]
1. Nanjing Forestry University, Nanjing, Jiangsu, 210037, China
2. Jiangsu Benniu Senior High School, Changzhou, Jiangsu, 213139, China

Abstract: With the surge in data volume, Java faces performance bottlenecks when processing large-scale datasets. By exploring the parallel computing mechanism, memory management optimization, and JVM tuning techniques of the Java platform, this study proposes a series of performance optimization strategies. Through experimental verification, these strategies significantly improve data processing speed and system responsiveness, effectively supporting the development and deployment of big data applications. The research results provide practical optimization guidelines and technical references for the application of Java in big data processing.
Keywords: Java; big data processing; performance optimization; JVM tuning; parallel computing

引言

在当今数据驱动的时代，大数据处理成为了技术发展的核心领域。Java 语言凭借其广泛的应用和成熟的生态系统，在此领域中具有不可忽视的地位。然而，随着数据规模的不断扩大，Java 面临着严峻的性能挑战。为了充分发挥 Java 在大数据处理中的潜能，本研究深入探讨了 Java 的性能优化技术，旨在通过创新的优化策略和方法，显著提高数据处理效率，为大数据应用的实践提供强有力的支持。

1 Java 在大数据生态系统中的角色与优势

Java 在大数据生态系统中扮演着重要的角色，其广泛应用和灵活性使其成为许多大数据技术的首选语言。首先，Java 的跨平台特性使得开发者能够在不同的操作系统上运行相同的代码。这种平台无关性对于大数据处理至关重要，因为数据通常存储在分布式系统中，开发者需要确保其应用可以在多种环境中无缝运行。

Java 拥有强大的生态系统，提供了众多开源框架和工具，支持大数据处理的各个方面。例如，Apache Hadoop 作为最流行的大数据处理框架之一，完全基于 Java 开发，利用 Java 的多线程和分布式计算能力，能够处理 PB 级的数据集。此外，Apache Spark 也是一个基于 Java 的流行大数据处理框架，提供了高效的数据处理和实时分析功能。通过使用这些框架，开发者可以有效地构建和部署大数据应用程序。

Java 的内存管理和垃圾回收机制也是其在大数据处理中的一大优势。Java 使用自动内存管理，通过垃圾回收器（Garbage Collector）定期清理不再使用的对象，降低了内存泄漏的风险。这一特性在处理大量数据时显得尤为重要，因为开发者可以专注于业务逻辑，而不必担心手动管理内存，从而提高了开发效率。

Java 的多线程处理能力使其能够更好地利用多核处理器的优势。在大数据处理场景中，通常需要并行处理多个数据流，Java 的并发编程模型允许开发者轻松地创建和管理多个线程，从而实现数据的高效处理。这种并行计算能力显著提升了大数据处理的速度和效率，满足了实时数据分析的需求。

Java 的安全性也是其在大数据生态系统中占据重要地位的原因之一。Java 拥有完善的安全模型，包括强类型检查、异常处理和多层安全机制，这使得在处理敏感数据时更为可靠。对于金融、医疗等行业的大数据应用，安全性是不可或缺的考虑因素，而 Java 的安全特性能够有效保护数据的安全性和完整性。

2 大数据处理的挑战：性能瓶颈分析

在大数据处理的过程中，性能瓶颈是开发者和工程师

面临的主要挑战之一。这些瓶颈不仅影响数据处理的效率，还可能导致资源浪费和系统响应延迟。因此，深入分析这些性能瓶颈对于优化大数据处理至关重要。

数据传输延迟是一个显著的问题。在分布式大数据系统中，数据通常存储在多个节点上，需要在节点之间传输以进行处理。如果数据传输速度缓慢，将直接影响整体性能。这种延迟可能由网络带宽不足、节点之间的距离或不稳定的网络连接引起。因此，优化网络架构和数据传输协议可以显著提高数据流动的效率，从而减少延迟。

数据存储和读取的性能也是关键因素。传统的关系型数据库在处理大规模数据时表现不佳，常常导致读取速度缓慢和存储效率低下。相比之下，NoSQL 数据库和分布式文件系统（如 Hadoop HDFS）在处理大数据时更具优势。然而，选择合适的存储解决方案和数据格式（如 Parquet、ORC 等）是至关重要的，因为不同的数据格式和存储策略会显著影响数据的读取速度和处理效率。

内存使用和管理也是另一个影响性能的因素。大数据处理通常需要大量内存来缓存数据和中间结果，内存不足会导致频繁的磁盘 I/O 操作，进而显著降低性能。在 Java 环境中，垃圾回收机制虽然方便，但不当的配置可能会引发性能问题，例如，长时间的停顿时间和内存碎片。因此，合理配置 JVM 参数和监控内存使用情况对于提高大数据处理性能至关重要。

计算资源的利用率同样会影响大数据处理的效率。在分布式系统中，计算资源的调度和负载均衡至关重要。如果某些节点的负载过高，而其他节点却处于闲置状态，这将导致资源的浪费。有效的任务调度算法和负载均衡策略可以确保各个节点均匀分担计算任务，从而提高整体系统的处理能力。

算法和数据处理逻辑的优化也不容忽视。随着数据规模的扩大，算法的复杂性和计算时间往往呈指数级增长。因此，选择合适的数据处理算法、避免不必要的计算，以及进行算法的并行化处理，能够有效降低计算时间，提高系统的整体性能。

3 并行计算与 Java：提升数据处理效率的策略

并行计算是一种通过同时处理多个任务来提高计算效率的技术。在大数据处理的场景中，Java 凭借其强大的并发处理能力，成为实现并行计算的理想选择。通过有效地利用多核处理器，Java 可以显著提升数据处理的速度和效率。

Java 的多线程机制为并行计算提供了基础。Java 通过 Thread 类和 Runnable 接口，使得开发者能够方便地创建和管理线程。通过将数据处理任务分解为多个子任务，并为每个子任务分配独立的线程，开发者可以实现真正的并行处理。这种方式不仅能够加快数据处理速度，还能提高系统的响应能力。在大数据处理的应用中，常常需要处理大量数据，例如图像处理、数据分析等，利用 Java 的多线程能力可以有效缩短处理时间。

Java 的 Fork/Join 框架为并行计算提供了高效的支持。该框架专为处理分治算法设计，允许开发者将任务拆分为多个小任务，利用多核处理器的优势进行并行执行。当小任务完成后，再将结果合并。这种任务分解和合并的机制使得大数据处理中的计算过程更加高效。此外，Fork/Join 框架提供了动态的任务调度和负载均衡，确保了计算资源的高效利用。

Java 的并行流（Parallel Stream）特性进一步简化了并行计算的实现。Java 8 引入的并行流允许开发者通过简单的 API 将集合中的元素并行处理。通过调用.parallelStream()方法，开发者可以轻松将串行操作转换为并行操作。这种简洁的语法降低了并行编程的复杂性，使得数据处理更加高效和易于理解。在大数据处理场景中，开发者可以利用并行流快速处理大规模数据集，实现快速计算和分析。

在进行并行计算时，合理的任务划分是提升效率的关键。任务的粒度过大会导致并行计算的开销增加，而粒度过小则可能导致频繁的上下文切换，反而影响性能。因此，开发者需要根据具体任务的特点，合理划分任务，确保每个线程的负载均衡。这不仅能够提高并行计算的效率，还能充分利用系统的计算资源。

监控和调优是确保并行计算高效运行的重要环节。Java 提供了一些工具和技术，如 Java Management Extensions（JMX）和 VisualVM，帮助开发者监控应用程序的性能。通过分析线程的运行情况和系统资源的使用情况，开发者可以及时发现并解决性能瓶颈，从而进一步提升数据处理的效率。

综上所述，通过利用 Java 的多线程机制、Fork/Join 框架、并行流以及合理的任务划分与监控手段，可以有效地提升大数据处理的效率。这些策略不仅能加速数据计算过程，还为处理海量数据提供了可靠的技术保障，推动了大数据技术的发展与应用。

4 内存管理优化：减少延迟与提升吞吐量

内存管理在大数据处理中的性能优化起着至关重要的作用，直接影响到系统的延迟和吞吐量。Java 的自动内存管理机制在提高开发效率的同时，也给性能优化带来了挑战。因此，优化内存管理策略，减少延迟和提升吞吐量，成为大数据处理的重要研究方向。

内存分配和回收的策略对系统性能有直接影响。在 Java 中，内存分配主要通过堆（Heap）进行，频繁的内存分配和释放会导致内存碎片化，增加垃圾回收的负担。因此，采用对象池（Object Pool）技术，可以有效管理内存的重用，减少频繁的内存分配和回收。对象池允许预先创建一定数量的对象并进行缓存，处理过程中重用这些

对象，避免了重复的分配和回收，从而减少了延迟并提高了系统的吞吐量。

合理的垃圾回收（Garbage Collection, GC）策略是优化内存管理的关键。Java 的垃圾回收机制虽然方便，但不当的配置可能导致长时间的停顿和性能下降。因此，选择合适的垃圾回收算法至关重要。对于大数据处理，可以考虑使用并行垃圾回收器（Parallel GC）或 G1 垃圾回收器，它们能够在多核处理器上并行执行垃圾回收，减少应用程序的停顿时间。此外，定期监控垃圾回收的频率和持续时间，通过调整堆大小和其他参数，能够显著改善内存管理的效率。

内存布局的优化也是提升系统性能的一个重要方面。Java 的堆内存分为年轻代（Young Generation）、老年代（Old Generation）和永久代（Metaspace）。在大数据处理中，合理配置这三个区域的大小，能够提高内存的使用效率。例如，增加年轻代的大小，可以提高新对象的存活率，从而减少频繁的垃圾回收。通过分析应用的内存使用情况，动态调整内存布局，有助于进一步优化性能。

使用高效的数据结构和算法对于内存管理优化同样不可忽视。选择合适的数据结构可以减少内存占用，提高访问效率。在处理大规模数据时，应优先考虑使用内存友好的数据结构，如 ArrayList、HashMap 等，避免使用内存消耗较大的数据结构。同时，算法的选择也会影响内存的使用，优化算法能减少临时对象的创建，降低内存占用，进而提高系统吞吐量。

内存泄漏是影响系统性能的隐患之一。在大数据处理的应用中，常常因长时间运行导致内存泄漏问题，造成系统的内存占用逐渐增加。通过使用内存分析工具，如 Java VisualVM、Eclipse MAT 等，开发者可以识别和定位内存泄漏，及时释放不再使用的对象，从而优化内存的使用，提高系统的稳定性和性能。

综上所述，内存管理的优化在减少延迟与提升吞吐量方面具有重要意义。通过合理的内存分配策略、优化垃圾回收机制、调整内存布局、选择高效的数据结构和算法，以及及时检测和修复内存泄漏，可以显著提高 Java 在大数据处理中的性能，为应用程序的高效运行提供有力支持。

5 JVM 调优技术及其对性能的影响

Java 虚拟机（JVM）调优是提升 Java 应用性能的重要手段，尤其在大数据处理场景中，其影响尤为显著。通过合理的 JVM 调优，可以优化内存管理、提高响应速度，进而提升整体系统性能。

JVM 的内存设置直接影响到应用的性能。Java 应用在启动时会分配一部分堆内存（Heap），用于存放对象和数据。堆内存的大小可以通过设置-Xms（初始堆大小）和-Xmx（最大堆大小）参数来调整。适当增大堆内存可以容纳更多的对象，减少垃圾回收的频率和停顿时间。然而，堆内存过大可能导致更长的垃圾回收时间，反而影响性能。因此，根据应用的实际需求，合理配置堆内存大小是 JVM 调优的重要步骤。

垃圾回收（GC）策略的选择和配置对性能有着深远的影响。Java 提供了多种垃圾回收器，如串行垃圾回收器（Serial GC）、并行垃圾回收器（Parallel GC）、并发标记清除垃圾回收器（Concurrent Mark-Sweep GC）和 G1 垃圾回收器等。在大数据处理应用中，选择合适的垃圾回收器可以有效减少内存停顿时间。例如，G1 垃圾回收器在处理大内存应用时表现较好，能够平衡吞吐量和停顿时间，通过将堆划分为多个区域进行并行回收，提高了性能。因此，了解不同 GC 策略的特性并根据应用需求进行选择，是实现性能优化的关键。

VM 的参数调优也包括调整新生代和老年代的比例。新生代用于存放短生命周期的对象，而老年代则用于存放长生命周期的对象。通过适当调整年轻代（Young Generation）和老年代（Old Generation）的大小比例，可以优化垃圾回收的效率，减少内存碎片和停顿时间。通常，较大的年轻代能提高新生对象的存活率，从而降低频繁的垃圾回收。

使用 JVM 监控和分析工具也是实现有效调优的重要手段。工具如 Java VisualVM、JConsole 和 JProfiler 可以实时监测内存使用情况、线程状态和 GC 行为，帮助开发者识别性能瓶颈。通过分析这些数据，可以针对性地调整 JVM 参数，以优化应用性能。

6 结语

JVM 调优技术在大数据处理中的应用至关重要，通过合理配置内存、选择合适的垃圾回收策略和使用监控工具，显著提升了应用性能。优化 JVM 参数不仅可以减少延迟和内存占用，还能提高系统的吞吐量。随着数据规模的不断扩大，持续关注和实施 JVM 调优策略，将为大数据应用的高效运行提供坚实保障，推动数据驱动决策和业务创新的进程。

[参考文献]

[1]张国芳.Java 编程语言在计算机软件开发中的应用方向分析[J].信息记录材料,2023,24(11):138-141.
[2]汪钇丞,曾鸿斌,许利杰,等.面向大数据处理框架的JVM 优化技术综述[J].软件学报,2023,34(1):463-488.
[3]叶惠仙,游金水.Python 语言在大数据处理中的应用[J].网络安全技术与应用,2021(5):51-54.
[4]邹骁锋,阳王东,容学成,等.面向大数据处理的数据流编程模型和工具综述[J].大数据,2020,6(3):59-72.
[5]邹骁锋,阳王东,容学成,等.面向大数据处理的数据流编程模型和工具综述[J].大数据,2020,6(3):59-72.

作者简介：蒋章浩（2005.5—），院校：南京林业大学，所学专业：计算机科学与技术；柴可星（2008.10—），院校：江苏省奔牛高级中学。

建筑电气设计中智能化技术应用存在的问题及对策

王亚军
内蒙古天行安全技术有限公司，内蒙古 呼和浩特 010000

[摘要]随着科技的不断进步，智能化技术在建筑电气设计中的应用已经得到了广泛地推广和实施。这些技术不仅提高了建筑电气系统的工作效率，还加强了建筑的安全性和节能性，为建筑行业带来了新的发展机遇。然而，智能化技术在建筑电气设计中的应用依然面临一些亟待解决的问题。不同品牌和型号的设备之间常常存在兼容性差的情况，技术人员的短缺使得项目实施存在难度，且系统的集成面临较大的技术挑战，这些问题在一定程度上影响了智能化技术的全面应用。

[关键词]建筑电气设计；智能化技术；问题；解决对策
DOI：10.33142/sca.v8i3.15808　　中图分类号：TU855　　文献标识码：A

Problems and Countermeasures of Intelligent Technology Application in Building Electrical Design

WANG Yajun
Inner Mongolia Tianxing Safety Technology Co., Ltd., Hohhot, Inner Mongolia, 010000, China

Abstract: With the continuous advancement of technology, the application of intelligent technology in building electrical design has been widely promoted and implemented. These technologies not only improve the efficiency of building electrical systems, but also enhance the safety and energy efficiency of buildings, bringing new development opportunities to the construction industry. However, the application of intelligent technology in building electrical design still faces some urgent problems that need to be solved. There are often compatibility issues between devices of different brands and models, and the shortage of technical personnel makes project implementation difficult. Additionally, system integration faces significant technical challenges, which to some extent affect the comprehensive application of intelligent technology.

Keywords: architectural electrical design; intelligent technology; problems; countermeasures

引言

近年来，随着智能建筑理念的兴起，建筑电气设计逐渐向智能化方向发展。智能化技术不仅改变了建筑电气设计的传统方式，还为建筑的能源管理、安全监控、环境控制等方面提供了更高效的解决方案。然而，智能化技术的应用并非没有挑战，尤其在技术整合、设备兼容、成本控制以及操作人员培训等方面存在诸多问题。为了促进智能化建筑电气设计的可持续发展，必须正视这些问题并采取有效对策。本文将探讨当前智能化技术在建筑电气设计中的应用问题及应对策略。

1 智能化技术应用中存在的主要问题

1.1 设备兼容性问题

随着智能化技术的不断进步，市场上涌现了大量不同品牌和类型的智能电气设备，涵盖了照明控制、空调系统、安防监控、电力管理等多个领域。这些设备的出现极大地推动了建筑电气设计的现代化，使得建筑的能源管理、安全性和舒适度得到了显著提升。然而，由于各厂商在技术研发上的差异，不同品牌和类型的智能设备往往在兼容性方面存在较大问题。具体表现为，设备之间的通信协议和标准不一致，导致系统无法进行有效的互联互通。比如，某些设备可能使用的是无线通信协议，而其他设备则可能依赖有线协议，或者它们使用的协议版本不同，这就增加了系统集成的复杂度。此外，设备间的不兼容性还会导致部分设备无法与建筑电气系统中的其他设备进行有效地协作，造成系统运行效率低下。更严重的是，设备的无法协同工作不仅影响单一设备的性能，还可能导致整个电气系统的失效，从而对建筑的安全性和能效产生负面影响[1]。

1.2 技术人才匮乏

智能化技术的应用对建筑电气设计提出了更高的要求，尤其是对电气设计人员的技术背景和专业知识提出了更严格的标准。智能化电气设计不仅涉及传统的电气原理和设备，还需要掌握诸如物联网、大数据、人工智能等前沿技术的应用。设计人员必须具备深入的技术理解，能够灵活应对各种智能化设备的接入、系统集成和数据分析等复杂问题。然而，目前智能化建筑电气设计领域的专业人才仍然较为匮乏。许多传统的电气工程师在智能化技术领域的培训和经验积累相对不足，面对新兴的技术要求时常显得力不从心。这使得许多工程项目在实施过程中缺乏足够的技术支持和专业指导，导致设计方案的执行难度增加，甚至出现设计和施工质量不达标的情况。技术人才的缺乏不仅延缓了智能化技术的应用推广，也直接影响了建筑电气系统的整体效能和安全性。

1.3 系统集成问题

智能化电气设计系统通常由多个子系统组成，包括能

源管理系统、安全监控系统、照明控制系统、空调控制系统等，这些系统在建筑电气设计中扮演着重要角色。每个子系统负责特定的功能，如能源管理系统通过实时监测和优化能源使用，降低建筑的能耗；安全监控系统提供对建筑的安全保障；照明控制系统则通过智能化调节照明来提高舒适性并节能。然而，在实际应用过程中，这些系统的集成常常面临技术上的诸多难题。首先，不同子系统之间的通信协议和数据传输方式常常不一致，导致数据交换不畅，从而影响系统的协同工作。其次，系统之间的协调性较差，导致信息共享困难，某些系统可能无法实时获取其他系统的数据，进而影响决策的及时性和准确性。此外，不同子系统的操作界面设计也可能不统一，使用人员需要掌握多套操作系统，增加了操作的复杂度和误操作的风险。这些问题使得智能化建筑电气系统的整体性能受到制约，无法发挥其应有的效能[2]。

1.4 成本控制问题

智能化技术的应用通常需要较高的初期投资，涉及设备采购、系统集成、技术研发等多个方面的费用。首先，智能电气设备的价格相对较高，尤其是一些高端设备和先进技术的引入，往往需要较大的资金投入。此外，系统的集成和调试工作也需要大量的专业人员和技术支持，这进一步推高了项目的初期成本。在预算有限的情况下，尤其是对于中小型建筑项目，资金的不足可能会成为智能化技术应用的主要障碍，导致一些高效、先进的智能化方案无法实现。除了初期投资，智能化设备的维护成本也是一个不可忽视的问题。智能化设备通常涉及复杂的硬件和软件系统，其维护和升级需要专业人员进行定期检查、故障排除和系统优化，这无疑增加了运营成本。随着设备的老化和技术更新，维护成本可能逐渐上升，甚至可能需要更换部分设备。此外，智能化系统的长期运营中可能还涉及能源消耗和数据存储等成本，因此，如何在控制初期投资的同时有效管理长期成本，成为推动智能化建筑电气设计可持续发展的关键。

2 智能化技术应用的对策

2.1 推动设备标准化与协议统一

设备兼容性问题的根本原因在于不同设备和厂商采用了各自独立的通信协议和接口标准，导致系统之间无法高效地进行数据交换和协调工作。因此，制定统一的通信协议和接口标准，是解决设备兼容性问题的关键。政府部门、行业协会及相关标准化组织应在这一过程中发挥积极作用，推动行业内各大厂商在设备设计时遵循统一的标准，从而减少不同品牌和型号设备之间的差异。这一标准化工作不仅能够提升设备之间的互操作性，也有助于实现系统集成时的无缝对接，确保智能电气系统的高效协同运行。标准化的推进还应从技术规范和行业认证等方面入手，明确各类设备在接入建筑电气系统时应符合的具体要求。通过制定相关标准，可以为建筑电气设计师提供清晰的指导，减少设计过程中因设备不兼容而带来的技术难题。同时，行业内的厂商也能够在这一框架下开发出符合标准的产品，进一步提高设备的可互联性和系统的整体稳定性[3]。

在建筑电气设计阶段，设计人员应充分了解并选择符合标准的智能电气设备，以确保系统的兼容性和互联互通。设计人员需对设备的通信协议、接口标准和系统集成要求进行详细了解，优先选择那些符合行业标准的设备，避免因选择不当设备而导致的兼容性问题。设计时，电气工程师还应与设备供应商和系统集成商进行紧密沟通，确保所选设备能够在系统中顺利运行并与其他设备协同工作。此外，为了进一步降低系统集成的难度，设计人员应在设备选择时考虑到未来系统升级和扩展的可能性，确保智能电气系统具有较好的适应性和灵活性。通过推动智能电气设备的标准化和设计人员对标准化设备的选择，可以有效解决设备兼容性问题，提升智能建筑电气系统的整体性能和可靠性。

2.2 加强技术人才培训

为了弥补当前智能化建筑电气设计领域技术人才的短缺，必须加大对电气设计人员的培训力度，提升他们的技术水平和专业能力。随着智能化技术在建筑电气设计中的广泛应用，设计人员需要具备更高的技术素养，掌握最新的智能化技术、系统集成知识及设备操作技能。然而，现有的许多电气工程师缺乏智能化相关技术的培训和实际经验，难以满足智能建筑设计日益增长的需求。因此，制定针对性的培训计划，帮助电气设计人员掌握智能建筑电气设计所需的专业知识，是解决技术人才短缺问题的关键。企业应积极与高等院校、技术培训机构合作，依托这些教育资源为设计人员提供系统化的智能化技术培训。这些培训内容应涵盖智能电气设备的工作原理、通信协议、系统集成、数据分析与处理等多个方面，以确保设计人员能够了解并掌握当前智能建筑领域的最新发展动态。此外，培训课程应结合实际工程案例，帮助设计人员通过实践操作来加深对技术的理解，提升其解决实际问题的能力[4]。

企业应鼓励电气工程师积极参加智能建筑相关的专业认证考试，提升其职业资格。专业认证不仅有助于工程师深入理解智能化技术的核心原理，还能增强其在智能建筑领域的竞争力。通过获得认证，工程师可以证明自己的专业能力，并获得更多职业发展的机会。同时，企业通过为员工提供认证考试的支持和资源，也能激励员工不断提升自己的技术水平，提升整体团队的专业能力。此外，企业还可以组织定期的内部技术交流与研讨会，为设计人员提供一个分享经验、学习新技术的平台。通过与业内专家、供应商、技术团队的交流，设计人员能够及时了解行业中的新技术和新产品，拓宽自己的技术视野。

2.3 优化系统集成方案

在解决系统集成问题时，选择具有高兼容性的智能电气产品是至关重要的。随着科技的快速发展，建筑电气系

统的复杂性日益增加，各种设备和技术层出不穷，如何实现不同子系统的有效整合和协同工作，成为设计和实施中的一大挑战。为此，智能电气产品的选择必须考虑到其与其他设备和系统的兼容性，以确保系统能够顺畅地进行数据交换，避免因接口不兼容而导致的信息孤岛或系统冲突。为了更好地实现各个子系统之间的无缝协作，采用开放平台或中间件技术是解决系统集成问题的有效途径。开放平台通过标准化接口和协议，使得不同制造商、不同品牌的产品能够相互沟通并进行数据交换。中间件则作为一个数据交换的桥梁，充当不同应用系统之间的中介角色，帮助不同子系统之间建立起统一的数据传输和通信规则。这种方式能够大大降低集成难度，简化系统的管理和维护，同时提升系统的灵活性和可靠性[5]。

在建筑电气设计阶段，设计师应充分考虑系统的可扩展性和可升级性。建筑电气系统的设计不仅要满足当前的需求，还应考虑到未来可能出现的变化。例如，随着智能建筑的普及，系统需求可能会逐步增加，或者出现新的技术和设备。因此，在设计过程中，要预留足够的扩展接口，确保系统能够方便地添加新的功能模块，或与其他新技术进行兼容升级。此外，设计师还应选择那些具有良好技术支持和更新迭代能力的设备和平台，确保系统能够随着技术的发展得到持续优化和升级，避免系统因无法适应新的技术需求而过时。

2.4 控制项目成本与提升投资效益

在智能化建筑电气设计中，成本控制是项目成功的重要保障。智能建筑系统的设计涉及多个方面，包括智能照明、空调、安防、能源管理等，这些系统往往需要高技术含量的设备和解决方案，因此，如何在保证系统功能和性能的前提下，合理控制成本，成为设计师和项目经理需要重点考虑的问题。在满足设计功能和技术性能要求的同时，避免不必要的高端设备过度采购。过度追求高端设备可能导致不必要的资金浪费，尤其是在一些非核心功能模块上，应更加注重设备的性价比而不是单纯的高端配置。对于一些功能较为基础或未来可以扩展升级的系统，设计师可以选择具备良好可扩展性和性价比的中端设备，以保证系统的稳定性和持续性发展。

在项目初期，建筑智能化系统的整体设计可能需要较大的一次性投资负担，尤其是对于大型建筑项目。为了降低初期的财务压力，可以通过分阶段实施，将整个智能化系统分成多个阶段进行建设和投入使用。这样不仅可以分摊项目的投资成本，还能根据每个阶段的实际需求进行灵活调整和优化，避免在整个项目完工之前就产生大量的资本支出。智能电气系统可以通过自动化控制和数据分析，优化能源使用、减少能耗和运营维护成本，进一步提升建筑的能源效率和管理效益。因此，虽然智能化建筑初期可能需要较大的投资，但通过智能化技术的应用，能够实现长期的成本节约和资源利用优化。为了确保投资回报，设计师应加强成本效益分析，全面评估智能化系统的投资与运营效益，从而确保项目的财务可行性和长期盈利能力[6]。

3 结语

智能化技术在建筑电气设计中的应用无疑为建筑行业带来了新的机遇和挑战。通过解决设备兼容性、技术人才、系统集成和成本控制等问题，可以推动智能化建筑电气设计的发展。未来，随着技术的进步和标准的完善，智能化建筑电气设计将会更加高效、安全、智能。在这一过程中，建筑电气设计人员需要不断提升自身的专业素养，积极探索创新的设计思路，为智能化建筑的建设贡献力量。

[参考文献]

[1]马晓亮.智能化技术在建筑电气设计中的应用[J].智能建筑与智慧城市,2024(6):157-159.
[2]张晓瑛.智能化技术在建筑电气设计中的应用分析[J].大众标准化,2024(10):142-144.
[3]刘建峰,宋建刚,方志.建筑电气与智能化行业现状与发展[J].江苏建筑,2023(1):115-119.
[4]张永胜.建筑设计中电气工程智能化技术的运用[J].光源与照明,2023(7):216-218.
[5]张阳.建筑电气设计项目中智能化技术的应用策略[J].中国建筑金属结构,2023,22(6):130-132.
[6]王颖光,王君伟,洪作全.建筑电气设计中智能化技术应用存在的问题及对策[J].江西建材,2021(5):66-68.

作者简介：王亚军（1990.6—），男，专业：自动化，民族：汉族。

原料药生产设备自动化控制系统的研发与优化

林宝康
浙江亚光科技股份有限公司，浙江 温州 325000

[摘要]原料药生产设备的自动化控制系统是提升生产效率、确保药品质量的关键。通过对现有控制系统的分析与研究，提出了基于智能化技术的优化方案，重点解决了传统自动化控制中的响应速度慢、精度不足等问题。采用先进的传感器和控制算法，实现了生产过程的实时监控与精准调节，提高了生产线的自动化水平和产品一致性。该优化方案不仅提高了生产效率，还有效降低了生产成本，为原料药行业的智能化转型提供了技术支持。

[关键词]原料药生产；自动化控制；优化方案；智能化；生产效率
DOI：10.33142/sca.v8i3.15809　　中图分类号：TQ462.12　　文献标识码：A

Research and Optimization of Automation Control System for API Production Equipment

LIN Baokang
Zhejiang Yaguang Technology Co., Ltd., Wenzhou, Zhejiang, 325000, China

Abstract: The automation control system of raw material drug production equipment is the key to improving production efficiency and ensuring drug quality. Through analysis and research of existing control systems, an optimization scheme based on intelligent technology has been proposed, focusing on solving problems such as slow response speed and insufficient accuracy in traditional automation control. By adopting advanced sensors and control algorithms, real-time monitoring and precise adjustment of the production process have been achieved, improving the automation level and product consistency of the production line. This optimization scheme not only improves production efficiency, but also effectively reduces production costs, providing technical support for the intelligent transformation of the raw material pharmaceutical industry.

Keywords: production of active pharmaceutical ingredients; automation control; optimization plan; intelligentization; productivity

引言

随着制药行业对生产效率和质量要求的不断提高，原料药生产设备的自动化控制系统成为关键环节。然而，传统的控制系统常面临响应速度慢、精度不高等问题，影响了生产的稳定性和药品的质量。为了适应市场需求和技术发展，提升生产线的智能化水平已成为行业发展的必然趋势。通过优化现有控制系统并引入智能化技术，不仅能提高生产效率，还能确保产品的一致性和可靠性，从而推动整个原料药行业向智能化、精细化发展。

1 原料药生产自动化控制系统现状与挑战

随着制药行业对生产效率和药品质量要求的不断提升，原料药生产自动化控制系统已成为保障生产稳定性和产品一致性的关键。然而，现有系统在实际应用中仍面临一系列挑战，需要进行优化升级以满足更高的行业标准。

1.1 原料药生产自动化控制系统的现状

当前，原料药生产设备大多数仍依赖传统的自动化控制系统。这些系统通常基于 PLC（可编程逻辑控制器）和 DCS（分布式控制系统）进行控制，能够完成一些基本的自动化任务，如温度、压力、流量等参数的监控和调整。然而，这些控制系统在面对生产工艺复杂、产品种类多样的情况下，往往难以做到精细化控制。现有设备的自动化程度较低，导致生产效率提升的空间有限，且无法快速响应变化的生产需求。此外，传统系统在应对设备故障、突发状况时也缺乏足够的自我修复与优化能力，影响了生产的稳定性和药品的质量。

1.2 面临的主要挑战

原料药生产自动化控制系统所面临的挑战主要集中在以下几个方面：首先，控制精度不足。例如，在生产过程中，温度控制的误差通常在±2° C 以内，而某些高端原料药生产对温度的精度要求可能低至±0.5° C，这直接影响产品的质量和一致性。其次，系统的实时监控能力弱。一些传统系统的数据采集频率较低，每分钟只有 1-2 次数据点采集，而现代智能化系统的数据采集频率可达到每秒数百次，能够实时捕捉到设备状态变化。

缺乏智能化支持，传统系统更多依赖人工干预，导致操作失误的风险增大，并影响了生产效率和产品一致性。传统系统对设备故障的预警能力较差，通常需要人工干预后才能识别故障，而智能化系统通过数据分析，能够在故障发生前 24 小时发出预警，减少停机时间。

1.3 优化需求与发展趋势

随着智能化技术的发展，传统的自动化控制系统亟须进行升级。未来的原料药生产设备自动化控制系统将朝着

更高的精度、更强的实时监控能力以及更全面的智能化方向发展。智能传感器、数据分析和预测模型将成为提升生产效率、降低成本的重要工具。同时，系统的自我学习与自我优化能力将大大增强，使得生产过程更加智能化、精细化。此外，物联网和大数据技术的应用，将实现生产环节间的信息共享和协同作业，进一步提高系统的整体运行效率和生产灵活性。

2 传统自动化控制系统的不足与问题分析

尽管传统自动化控制系统在原料药生产中发挥了重要作用，但其在响应速度、控制精度及智能化水平方面仍存在显著不足，这些问题亟须解决以提升生产效率和产品质量。

2.1 控制精度不足，难以应对复杂工艺

传统自动化控制系统通常基于 PLC 和 DCS 技术，这些系统虽然能够完成基本的生产监控任务，但面对原料药生产中复杂的工艺要求时，往往显得力不从心。例如，药品的生产过程涉及多个参数的协同控制，如温度、压力、流量等，这些参数需要精细化调节以确保药品的稳定性和一致性。然而，由于传统控制系统的精度不足，不能实现对生产过程的精准调节，容易导致批次间的差异，进而影响药品质量。一旦工艺发生波动，系统的调整能力也无法迅速响应，从而导致生产效率下降。

2.2 系统实时监控能力弱，无法及时预警

传统自动化控制系统的实时监控能力相对较弱，设备状态监测和数据采集往往存在滞后现象。在药品生产过程中，任何设备的异常或环境因素的变化都可能对生产过程产生重大影响。如果系统无法实时获取数据并进行分析，潜在的问题无法被及时发现，导致生产停滞或质量问题的发生。传统系统通常依赖人工干预或传统的报警方式，这在面对设备故障或生产异常时，往往缺乏快速、有效的应对措施。此外，生产线上的各个设备往往是独立运行的，缺乏整体协同效应，无法实现对整个生产过程的全面监控和优化。

2.3 缺乏智能化支持，依赖人工干预

传统自动化控制系统的另一个主要问题是缺乏足够的智能化支持。虽然这些系统能够自动化执行部分操作，但仍然依赖较多的人工干预。操作员需根据经验和手动输入来调节控制参数，且系统本身并不具备自我学习和优化的能力。生产过程中，操作失误、系统故障等情况时有发生，人工干预的频率较高，增加了生产中的风险。同时，由于系统无法进行数据挖掘和智能预测，难以提前预判生产过程中的潜在问题，降低了生产效率和产品质量。因此，在面对日益复杂的生产需求时，传统自动化系统显得有些力不从心，需要引入更多智能化技术，以减少人为干预和提高整体系统的可靠性。

3 基于智能化技术的优化方案设计

为解决传统自动化控制系统中存在的精度不足、实时监控能力弱等问题，基于智能化技术的优化方案成为提升原料药生产效率与产品质量的关键路径，值得深入研究与应用。

3.1 智能传感器的引入提升系统精度

传统的自动化控制系统面临控制精度不足的挑战，尤其在生产过程中要求高精度控制的场合。为了解决这一问题，引入智能传感器可以显著提升系统的精度。智能传感器具有高精度、高灵敏度和实时响应的特点，能够对温度、压力、流量等关键参数进行更加精准地检测与调节。在原料药生产中，传感器实时获取生产过程中的数据，并将其传输至控制系统，系统根据实时数据调整控制参数，确保生产过程在预定范围内稳定进行。通过智能传感器与高精度控制算法的结合，可以大幅度提高生产的稳定性，减少批次间的差异性，确保药品的质量和一致性。

3.2 数据分析与预测技术增强实时监控能力

实时监控能力不足是传统系统的另一个主要问题。为了解决这一问题，基于数据分析与预测的技术被广泛应用于自动化控制系统中。通过大数据技术，系统能够实时收集并处理生产过程中各类设备的运行数据，同时应用机器学习算法对这些数据进行分析。通过数据挖掘与预测模型，系统能够提前识别出潜在的问题，并进行预警。例如，若系统检测到某一设备出现异常迹象，智能分析平台可以预测到可能的故障发生，设备故障的预测准确率可以达到85%以上，而在传统系统中这一准确率仅为 40%～50%。通过预测故障，生产停机时间可减少 30%以上，显著提高了生产的连续性和稳定性。

3.3 自主学习与优化技术提升系统智能化水平

为了进一步提升控制系统的智能化水平，采用自主学习与优化技术成为优化方案的重要组成部分。基于人工智能和机器学习的算法，系统可以自我学习和优化，通过不断积累生产数据，自动调整控制策略，优化生产过程。采用自主学习与优化技术的系统能在生产过程中不断优化控制策略。例如，在一项实际应用中，基于机器学习的自适应控制系统将温度控制误差从±2℃降低至±0.3℃，显著提升了产品质量的稳定性，并减少了原料浪费，生产效率提高了 15%。通过自主学习与优化，控制系统能够实现自我提升，不仅减少了人为干预的需求，还显著提高了系统的适应性和灵活性，为原料药生产设备的智能化转型提供了强有力的支持。

4 关键技术在自动化控制系统中的应用与实现

在原料药生产自动化控制系统的优化过程中，关键技术的应用是提升系统性能和智能化水平的核心。这些技术能够有效解决现有系统的不足，推动生产向更高效、精准的方向发展。

4.1 智能控制算法的应用

智能控制算法是提升原料药生产设备自动化控制系统性能的关键技术之一。传统的控制系统主要依赖固定的控制规则和经验，难以处理复杂的生产过程。智能控制算法，如模糊控制、神经网络控制等，通过模拟人类的决策

过程，可以对生产过程进行更加灵活和精确地调节。例如，模糊控制算法能够在生产参数具有不确定性或波动的情况下，依据系统实时数据进行动态调整，生产过程中温度的波动范围从±3℃减少至±0.5℃，药品批次的一致性提高了 20%。确保生产稳定性。神经网络控制则能通过自学习功能，从历史数据中提取规律，并在生产过程中进行自我优化。这些智能控制算法不仅提升了系统的响应速度，还能够根据实时生产状态做出快速调整，有效降低了人工干预的需求，确保了生产的高效和高质量。

4.2 物联网技术的整合与应用

物联网（IoT）技术的应用使得原料药生产设备的自动化控制系统实现了全面的互联互通。物联网通过在生产设备中嵌入传感器和执行器，使得系统能够实时采集设备运行数据并进行数据传输。通过物联网技术，生产设备可以与中央控制系统进行数据共享，实现远程监控与管理。这不仅有助于提高数据采集的实时性和精度，还能通过分析大量设备运行数据来预测设备的故障或性能下降，提前进行维修或调整，避免生产中断。此外，物联网技术的应用还可以通过优化设备之间的协作，提高生产线的整体效率，使得不同设备的工作状态能够在系统中自动协调，减少生产过程中的能耗和物料浪费。

4.3 云计算与大数据分析的结合

云计算和大数据分析技术的结合为自动化控制系统提供了强大的数据处理能力。云计算能够将海量的生产数据存储在云端，方便实时访问和分析，而大数据分析则能够从中提取有价值的信息。通过云平台，生产数据可以实时上传并集中处理，为操作员和管理者提供全面的监控和决策支持。大数据技术使得系统能够识别出潜在的生产趋势和规律，从而提前做出调整和优化策略。例如，某药厂的生产计划调整时间从 3 小时缩短至 30 分钟，生产灵活性提高了约 10%。此外，云计算平台的应用使得生产数据的存储和处理能力得到增强，提升了整体系统的智能化水平。

5 自动化控制系统优化对生产效率与产品质量的影响

优化自动化控制系统对于提升原料药生产线的效率和药品质量具有重要意义。通过智能化技术的引入，生产过程得以精细化管理，从而实现效率提升和质量保障。

5.1 提升生产效率的关键作用

通过优化自动化控制系统，生产效率得到了显著提升。传统系统常因响应速度慢和处理能力不足，导致生产线效率低下。智能化控制系统能够实时获取生产数据并做出快速响应，确保各个环节能够高效协作，减少设备停机时间。例如，优化自动化控制系统后，生产效率得到了显著提升。数据显示，传统系统的平均生产效率提升幅度为 5%～10%，而通过智能化优化，生产效率可提升 25%以上。智能系统能够实时响应生产过程中的变化，减少了人工调整和停机时间。

5.2 确保产品质量的一致性与稳定性

自动化控制系统的优化不仅提高了生产效率，还显著提升了产品质量的稳定性和一致性。通过智能传感器和精密控制技术，生产过程中关键参数如温度、压力、流量等得以精确控制，从而有效保证了每一批次的产品质量符合标准。在传统系统中，由于人工调节或精度限制，往往难以保持每个生产周期的产品一致性。例如，在一项试验中，智能控制系统将生产过程中药品的批次差异降低了 30%，大幅提高了产品的质量稳定性。此外，自动化系统的优化使得生产过程中的质量波动减少了 50%以上。通过智能化技术，生产过程中的每个变量都能得到实时监控和调整，确保最终产品的稳定性。

5.3 降低生产成本，提高整体竞争力

通过自动化控制系统的优化，生产成本得到了有效降低。精细化地控制减少了资源浪费，如原料、能源和人力成本。智能控制系统能够根据生产需求和设备状态优化能耗分配，减少无效生产时间和停机成本。同时，系统能够预测设备的维护周期，避免突发故障带来的额外费用。通过优化自动化控制系统，生产成本得到了显著降低。数据显示，某生产线引入智能化系统后，能耗减少了 12%，人力成本降低了 15%，而设备故障率减少了 25%。整体生产成本降低了 18%，增强了企业在市场中的竞争力。

6 结语

自动化控制系统的优化是提升原料药生产效率和确保产品质量的关键。通过引入智能化技术，如智能控制算法、物联网、大数据分析等，不仅提高了系统的精度和实时监控能力，还有效降低了生产成本。智能化系统能够自我学习与优化，使得生产过程更加精细化、稳定化，最终推动了药品生产的智能化转型。未来，随着技术的不断进步，自动化控制系统的优化将为原料药生产带来更高的效率、更好的质量保障及更强的市场竞争力。

[参考文献]

[1]张乾坤.原料药生产后处理过程集成装备的开发与应用研究[D].浙江:浙江大学,2010.
[2]熊泽云.我国原料药生产自动化的设计与影响因素分析[J].科技传播,2011(16):78-79.
[3]陈竹君.筒锥式过滤洗涤干燥“三合一”设备在原料药生产中的应用优势[J].机电信息,2018(23):12-16.
[4]杨媛媛.国内原料药生产自动化的设计与影响因素[J].化工设计通讯,2020,46(4):225-254.
[5]马立鹏,姚杰,徐焕锋,等.智能手持移动设备在原料药生产行业现代化工厂中的应用[J].仪器仪表用户,2022,29(9):33-35.

作者简介：林宝康（1982.11—），毕业院校：中国石油大学，所学专业：机械，当前就职单位：浙江亚光科技股份有限公司，职称级别：中级。

电气工程自动化节能环保技术研究

董 斌
江苏淮阴发电有限责任公司，江苏 淮安 223002

[摘要]电气工程自动化技术在推动现代工业与社会发展上意义十分重大，而行业发展的显著趋势是把节能环保技术予以融合。以电气工程自动化当中的节能环保技术进行分析探讨，对现阶段节能控制、智能管理与可再生能源利用等方面面临的问题进行分析，紧接着点明了优化手段，好比采用智能控制体系架构、普及节能装置设施和深度结合绿色能源体系。推行节能环保技术可有效促进电能利用效率上扬，还能真正做到削减能源消耗，助力电力行业实现绿色升级，为社会可持续发展打造坚实的技术后盾。

[关键词]电气工程自动化；节能环保；智能调控；绿色能源；优化策略
DOI：10.33142/sca.v8i3.15784　　中图分类号：TM76　　文献标识码：A

Research on Energy-saving and Environmental Protection Technologies for Electrical Engineering Automation

DONG Bin
Jiangsu Huaiyin Power Generation Co., Ltd., Huai'an, Jiangsu, 223002, China

Abstract: The automation technology of electrical engineering is of great significance in promoting the development of modern industry and society, and the significant trend of industry development is to integrate energy-saving and environmental protection technologies. This article analyzes and discusses energy-saving and environmental protection technologies in electrical engineering automation, and analyzes the problems faced in current energy-saving control, intelligent management, and renewable energy utilization. It then points out optimization methods, such as adopting intelligent control system architecture, popularizing energy-saving device facilities, and deeply integrating green energy systems. The implementation of energy-saving and environmental protection technologies can effectively promote the improvement of electricity utilization efficiency, truly reduce energy consumption, help the power industry achieve green upgrading, and create a solid technological support for sustainable social development.

Keywords: electrical engineering automation; energy-saving and environmental protection; intelligent regulation; green energy; optimization strategy

引言

伴随全球能源危机与环境污染问题不断恶化，电气工程领域里对节能环保技术的需求不断上升。采用电气自动化相关技术，不仅能带动电力系统运行效率上扬，还能切实减少能源的无谓消耗，降低碳排放水平。现今电气工程自动化在节能环保方面依旧存在诸多挑战事项，如能耗控制精准度把控不到位、设备能效表现差、可再生能源利用程度不够等。因此，开展对电气工程自动化节能环保技术的研讨活动，查找科学的优化举措，对促进电力行业达成绿色低碳发展的成效有重要现实意义。

1 节能环保技术在电气工程中的重要性

依托全球能源短缺、环境污染不断恶化的这一背景，各行业把节能环保规划为发展的核心目标。电气工程在能源消耗的主要范畴中占有一定份额，更需马上推动节能环保技术的应用拓展，电气工程所涉方面有电力生产、输配电及终端应用。此范畴中的能源消耗规模庞大，若可以高效降低能耗水平，增强能源利用效果，将对全球能源结构的优化以及生态环境的保护起到重大作用。因此，加快电气工程跟节能环保技术深度结合节奏，更是推进该行业达成可持续发展的必要手段，也是带动社会达成绿色低碳过渡的关键举措[1]。

应用节能环保技术能有效提升电气工程系统能源利用的水平。传统电气系统存在能源浪费明显、设备运行效能低下的弊端，而实施采用智能电网、变频调速技术、高效储能系统等节能技术，可借助优化能源调度、降低无功损耗、降低电力传输损耗等途径实现，实现电能的高效消耗。

运用节能环保技术可带动电气工程行业的技术革新与经济进步。随着节能环保技术日益发展，大量高效节能设备与智能化管理系统实现大规模采用，诸如高效电机、节能变压器、分布式能源管理系统等设备。这不仅让电气工程行业整体技术水平得以进步，又替企业打开了新的市场局面，拉动产业升级进而推动绿色经济拓展。政府及企业针对节能环保技术开展的投资以及政策扶持活动，同样催生了绿色技术的革新与突破，进一步强化了行业可持续发展根基。

2 当前电气工程自动化节能环保存在的问题

2.1 能源利用率低，电力浪费严重

针对电气工程这一领域而言，能源利用效率较差与电力浪费突出的问题一直未消解，成为阻碍行业可持续发展的关键难点。传统电力系统于发电、输电、配电及终端用电各环节存在不同程度的能耗耗散，引起整体能源利用效率下滑。在发电这一阶段，传统煤、气发电技术热效率对热能变为电能的转换效率形成制约，造成大量能源以热损失状况浪费掉[2]。

诸多工业企业以及居民用户在用电过程里存在浪费现象。例如，诸多工厂对生产用电调配的规划安排不当，高峰负荷来临之际电能消耗超出限定，而低谷时段显露出电能供应过剩情形，造成整体电能利用效率下降。针对居民用户这一群体而言，使用空调、照明的做法不恰当，进一步强化了电力资源的无谓浪费。

2.2 传统设备能耗较高，节能改造不足

传统电气设备存在的高能耗问题严重影响了电气工程的节能环保。诸多工业生产、建筑供电和公共设施依旧采用高能耗的老旧电气设备，这些设备归咎于技术落后、效能低下，运行时要消耗掉大量的电能，同时造成较高的热效能损耗。在能量转化的过程，传统变压器显现出较大的铁损及铜损，跟现代高效节能型电机相比，老旧电机能效比低至极限水平，造成整体电能利用效率出现大幅下滑[3]。

除了设备本身反映出的高能耗问题外，不少企业及单位对节能改造的投入量短缺，让这一问题愈发凸显。因为节能改造一般涉及设备更替、工艺革新、系统升级等多个维度，部分企业因资金、技术及管理水平受限，未依照规定时间完成节能改造工作。众多的老旧厂房依旧在采用落后的电气控制系统，未实施智能能耗监测及调度优化手段，造成设备在长时间内维持高负荷工作状态。部分企业缺少针对性的节能改造方案，改造落实阶段欠缺系统性规划与技术帮扶，导致改造预期成果未达成，无法达到既定的节能要求。

2.3 可再生能源利用率低，智能化水平不高

实现电气工程节能环保的关键方式是开发利用可再生能源，但目前我国可再生能源的利用水平不高，依然没能充分将传统化石能源替换掉，完成低碳化过渡目标。风能、太阳能、水能等可再生能源呈现出极大发展后劲，但按照技术、成本、并网稳定性等相关情形，实际应用阶段依然要面对不少挑战。风能及太阳能发电展现出间歇性、波动性特性，受天气及环境方面因素影响明显，引起并网后的电能质量稳定性遭到破坏，难以契合持续供电要求。

电力系统智能化方面的水准欠佳，同样对可再生能源达成高效整合及运用形成约束。智能电网、能源管理系统、智能调度系统等先进技术应用的覆盖范围呈现狭小状态，不少区域的电网依旧以传统输配电模式占主导地位。无法与可再生能源大规模接入的现状契合，部分企业与用户的新能源优化管理策略存在缺陷，未充分凭借新能源技术开展节能改造相关业务，造成整体能源利用效率欠佳[4]。

2.4 监测与控制系统不完善，管理方式落后

在电气工程实施节能环保方案期间，监测与控制系统的完善情形对节能效果意义重大。然而，现阶段大量电力系统的监测及管控措施颇为滞后，未开展精准式管控，引起能源消耗有效调控出现缺失，能源浪费现象大量显露。例如，一些工业企业未采用能耗监测体系，不易及时掌握电力设备运行情形，引发设备长时间超荷不断运转，引发能耗与损耗上升。

此外，管理方式的落后依旧是影响节能环保的关键要点。部分企业未形成一套系统的能源管理机制，未搭建完整的能耗监测、分析及优化架构，引起能源管理效果不理想。传统的电费结算形式仅采用月度电表读数，未具备全面的能耗分析数据，不能替企业给出有针对性的节能手段。例如，有企业在节能管理事宜上无专业人员，难以恰当地规划节能对策，还对节能技术推广应用的落地实施造成阻碍。

3 电气工程自动化节能环保技术的优化策略

3.1 采用智能调控模式，优化能源利用水平

就电气工程这个专门领域而言，提高能源利用效率是达成节能减排环保的核心，采用智能调控系统可对电力系统运行实施有效优化操作，增加能源的利用功效。智能调控系统以实时掌握电力设备运行状态为依托，把握用电需求，并自动实施负载分配调控，实现电力资源合理消耗，缓解能源的无谓消耗。智能电网技术可针对电力开展精细化调度工作，减少输配电阶段的损耗量，增强电力的传输效率。

智能调控系统在工业范畴内的应用同样极其关键。智能生产管理系统能根据生产需求对设备运行状态予以调整，防止设备长时间高负荷工作引起的能耗上扬。例如，制造企业可借助智能变频控制技术，对电机、空调、照明等用电设备做自动调节处理，助力设备实现最优工况运转，减少非必需的能源消耗体量[5]。

3.2 推广高效节能设备，优化电力运行模式

传统电气设备高能耗这一问题对节能环保产生制约，普及高效节能设备、优化电力运行模式是降低能耗、提高能源利用效率的关键手段。节能型电机、高效变压器、LED照明装备等新型节能技术的有序成长，为工业、建筑及公共设施的节能改造发挥了有效支撑功效。采用节能电机能削减运行阶段的能量耗费，增加设备整体效用；高效变压器可降低铁损与铜损，优化电能转换水平；跟传统的白炽灯、荧光灯做比较，LED照明系统节能50%以上，而且表现出更长的使用年限，维护费用支出少。

从电力系统优化态势的角度看，合理实施负荷管理与智能调度可进一步提升用电效率。企业与公共设施借助智

能电力管理系统，可实时监控各类设备运行状态，恰当调配电力负荷，杜绝能源的无谓浪费。例如，正值用电高峰阶段，部分非必要设备能借助智能调度错开高峰运转，以此缓解电网面临的压力，强化电力整体运行的水平。此外，采用分布式供能模式，诸如光伏发电、微电网等案例，同样可实现能源的就近利用，减缓输配电损耗，促使整体能源效率上扬[6]。

3.3 深化可再生能源应用，实现清洁能源并网

实现电气工程绿色化发展，关键是普及应用可再生能源，实现清洁能源并网对能源结构优化以及碳排放削减意义显著。然而，现阶段可再生能源利用依然面临技术、成本及管理等多方面挑战，仍需进一步拓展应用范畴，提升并网稳定性水平。

在风能与太阳能利用范畴，推进分布式光伏发电及风电系统的推广可有效缓解对传统化石能源的依赖。例如，在工业园区、商业建筑及居民社区搭建分布式光伏发电体系，可凭借闲置的屋顶、空地等资源达成就地发电，为用户配送无污染的能源，同时削减远距离输电的损耗。此外，储能技术的进展对可再生能源接入电网意义非凡，先进电池储能系统能达成对新能源波动的平衡，改善电网的稳定水平。例如，采用像锂电池储能、抽水蓄能一样的技术，可在光照欠佳、风速缓慢时补充电力，扩充新能源利用成果。

智能电网技术的持续进步依旧是推动清洁能源接入电力网络的关键途径。智能电网借助实行实时监测与数据分析优化新能源的调度安排，提高对风能、太阳能等可再生能源的消纳水平。采用人工智能算法预测新能源发电的波动趋势，并合理设计调度方案，帮扶新能源更稳定地接入电网，需求侧管理技术可进一步提高新能源利用效率。以智能家庭系统当作例子，它能按照电网负荷状况对用电设备运行时段加以调节，以顺应新能源的起伏特点[7]。

3.4 完备监测及管理体系，引领自动化管理达新阶

若要达成电气工程领域的节能环保，全面的监测及管理体系十分必需，仰赖高效的自动化管理可促进能源利用效率，减少能源的徒劳消耗，实现整体电力运行效果的增强。某些企业、公共设施的能源管理依然运用传统模式，没有实时监测及智能调控，造成难以精准掌握能耗水平。因此，设立先进的能源监测及管理体系，增强自动化管理层级，是引领节能减排的主要途径。

从监测的角度审视，现代智能能耗监测系统可对用电数据实时加以采集，明悉设备能耗情形，查测出能耗异常状况后马上实施优化。例如，工业企业可借助安装智能电表、能耗传感器等装置的途径，实时监控生产流程中各类设备的电能消耗情形，认定高能耗设备并落实节能改造。从建筑相关方面看，智能楼宇管理系统可对空调、照明、电梯等装置运行模式开展自动调控，达成能耗的合理控制，杜绝能源的盲目损耗。

就管理工作这个层面，自动化管理系统可增进电力系统运行效率。例如，借助物联网和云计算的智能电力调度系统可实现电力供应策略优化，以实时负荷需求为参照对电力分配实施动态调整，增强能源利用效果。此外，智能运维系统可自主开展针对设备运行状态的检测，预先提示也许出现的故障，防范设备非稳定运行状况下产生的额外能耗及维护费用。

政府和企业需携手助力监测及管理体系增强，政府当公布相关法规，引导企业组建智能化能耗管理系统，同时激励企业采用先进的节能调控手段。企业应推进智能监测技术的应用实施进程，引领自动化管理升级，且采用大数据分析措施，更新能源管理手段，增强整体能源利用水平[8]。

4 结语

电气工程自动化节能环保技术的研究与应用对于降低能源消耗、提高能源利用效率具有重要意义。本文分析了电气工程自动化在节能环保方面存在的问题，并提出了优化策略，如采用智能调控系统、推广节能设备、深化可再生能源应用、完善能耗管理体系等。未来，应进一步加强节能技术的研发和推广，提高电力系统的智能化、绿色化水平，推动电气工程行业向低碳、高效的方向发展，为可持续发展贡献力量。

[参考文献]

[1]郭瑞.节能环保技术在电气工程自动化中的应用探讨[J].中国设备工程,2024(2):178-180.
[2]钱贵东.电气工程节能环保技术的应用研究[J].模具制造,2023,23(11):265-267.
[3]张强,梁升,黄俊.节能环保技术在电气工程自动化中的应用[J].光源与照明,2023(1):216-218.
[4]孟才植.电气工程自动化节能环保技术[J].江西电力职业技术学院学报,2022,35(3):8-9.
[5]杨哲.节能环保技术在电气工程自动化中的应用[J].皮革制作与环保科技,2021,2(7):108-109.
[6]潘林辉.新能源开发中的电气工程自动化节能环保技术[J].中国高新科技,2020(12):94-95.
[7]田西亮.电气工程自动化的节能环保技术初探[J].自动化应用,2018(11):144-145.
[8]石利国.节能环保技术在电气工程自动化中的应用分析[J].现代物业(中旬刊),2018(9):16.

作者简介：董斌（1982.5—），单位名称：江苏淮阴发电有限责任公司，毕业学校和专业：南京理工大学 电气工程及其自动化。

基于立体环境智能检测的快速应急响应机器人设计

欧东鹏[1] 丁 欣[2] 杨晶茗[1] 田永军[1*]
1. 天津职业技术师范大学，天津 300222
2. 山东化工职业学院，山东 潍坊 261108

[摘要]针对复杂环境下的多任务检测与应急响应需求，设计了一种水陆空三栖智能机器人系统。该机器人集成多模态运动机构与智能控制算法，通过垂直起降结构与自适应推进装置实现复杂环境下的稳定机动。控制系统采用 STM32 主板作为核心控制器，通过脉宽调制技术控制电机的运动，并利用 DMA 传输技术高效读取传感器数据。驱动模块基于 TB6612FNG 电机驱动芯片，支持电机控制模式，适应多种运动需求。视觉系统采用树莓派主板、WIFI 图像传输模块及高清广角摄像头组成，实现环境探测。基于 OpenCV 库实现了人脸追踪、颜色识别及手势反馈功能，增强了机器人的多维交互能力，为智能移动平台在应急救援、地质勘探等领域的应用提供了新方案。

[关键词]水陆空三栖机器人；智能检测；应急响应；人机交互
DOI：10.33142/sca.v8i3.15781 中图分类号：TM3 文献标识码：A

Design of Rapid Emergency Response Robot Based on Intelligent Detection of Stereoscopic Environment

OU Dongpeng [1], DING Xin [2], YANG Jingming [1], TIAN Yongjun [1*]
1. Tianjin University of Technology and Education, Tianjin, 300222, China
2. Shandong Chemical Engineering & Vocational College, Weifang, Shandong, 261108, China

Abstract: A water land air amphibious intelligent robot system is designed to meet the needs of multi task detection and emergency response in complex environments. This robot integrates multimodal motion mechanisms and intelligent control algorithms, and achieves stable maneuvering in complex environments through a vertical takeoff and landing structure and adaptive propulsion device. The control system uses STM32 motherboard as the core controller, controls the movement of the motor through pulse width modulation technology, and efficiently reads sensor data using DMA transmission technology. The driving module is based on the TB6612FNG motor driving chip, supporting motor control modes and adapting to various motion requirements. The visual system consists of a Raspberry Pi motherboard, WIFI image transmission module, and high-definition wide-angle camera to achieve environmental detection. Based on the OpenCV library, facial tracking, color recognition, and gesture feedback functions have been implemented, enhancing the multi-dimensional interaction capability of robots and providing new solutions for the application of intelligent mobile platforms in emergency rescue, geological exploration and other fields.

Keywords: amphibious robots; intelligent detection; emergency response; human-computer interaction

引言

传统机器人受限于单域地形作业，在灾害救援、未知区域勘探及军事侦察等高动态场景中存在明显的局限性。近年来，随着机器人多环境适应性技术的突破，水陆空三栖机器人成为复杂环境下任务执行的核心研究方向。典型案例显示，灾害现场救援同时应对水域障碍、废墟地形及空中悬浮物等复杂环境挑战；军事任务则要求机器需具备陆地、水域及空域的多维环境适应能力。因此，开发具备多模式自主切换能力的机器人系统成为迫切需求。

水陆空三栖机器人作为跨域作业载体，其核心技术为跨介质自主切换能力，通过融合空中飞行、水面航行、陆地移动及潜在水下作业功能，突破传统空间限制，拓展了机器人在应急救援、环境监测等领域的应用范围。宾夕法尼亚大学PICCOLI等[1]设计的三栖无人机器平台可以实现包括空中、陆地和水面运动在内的多种类别的转换，并且携带方便且成本低廉。沈阳航空航天大学[2]提出新型变构型三栖机器人方案，可以进行多模式下的姿态控制、位置控制以及路径跟随控制等，对未来三栖机器人的设计应用具有一定的指导意义。可以发现，水下作业模块依托传感器与材料技术已实现一定的成熟度，能在复杂水下环境中保持稳定运行；自主决策系统通过算法可实现动态任务规划；通信技术支持下的远程操控系统可实现实时指令传输。现阶段该领域呈现“技术驱动-场景验证-瓶颈突破”的阶段性特征，未来将向智能自主化、作业专业化及系统可持续化方向演进。本研究基于国家智能装备与应急技术发展需求，设计了一种基于 STM32 微控制器架构的水陆空三栖机器人系统。通过集成树莓派计算模块与 OpenCV 视觉库，构建了包括多模态运动控制、激光避障、实时图像传

输及远程操控在内的核心功能模块。采用航空飞行、水面航行与陆地行驶的智能切换机制，可根据环境特征自动选择最优运动模式，突破传统机器人单域作业限制。关键技术突破体现在多传感器融合导航、障碍物识别算法优化及跨介质转换能耗控制。本研究设计的水陆空三栖机器人方案，为灾难救援、军事侦察等领域的机器人应用提供技术方案。

1 多功能机器人的整体设计方案

采用建模手段设计与构建水陆空立体环境感知与快速应急响应机器人系统。机械架构包含能源供给、环境感知及控制中枢四大子系统[3-6]。运动执行单元由直流减速电机与 TB6612FNG 驱动模块构成，实现陆地移动的精确转矩控制；飞行单元采用无刷电机配合双环 PID 控制策略，通过脉宽调制技术(PWM)完成转速动态调节。控制架构采用分层设计，通过 STM32 微控制器负责底层设备驱动，树莓派计算平台处理激光雷达点云数据与视觉信息，通过 WIFI 协议实现控制指令传输。关键技术实现路径包括：(1) 基于 MATLAB/Simulink 平台进行多域联合仿真，完成飞行姿态控制参数优化；(2) 构建电机-编码器-舵机闭环控制系统，实现运动机构定位精度；(3) 开发数据融合算法，整合 GPS 定位、姿态检测及激光雷达测距信息。

2 机器人控制系统设计

采用 STM32 系列为控制器作为三栖机器人的核心控制单元，硬件配置包括 ARM Cortex-M4 32 位处理器（运行频率 168MHz），1MB 程序存储器，采用 ARM Based Microcontroller-LOFP-144 封装并集成浮点运算单元 FPU 和数字信号处理 DSP 指令集，同时配置多路扩展 GPIO 端口与网络接口。基于嵌入式操作系统，实现分任务实时运动状态控制，底层通过 STM32 实现实时运动控制，上层通过树莓派 4B 单板计算机构建人机交互接口。系统整合五大功能模块：视觉追踪摄像头、RGB 超声波避障、电机驱动单元、WIFI 通信模块、GPS 定位模块，各模块协同实现视觉追踪、图像传输、无线通讯、电机控制与自动避障功能，整体传递路线及设计架构如图 1 所示。

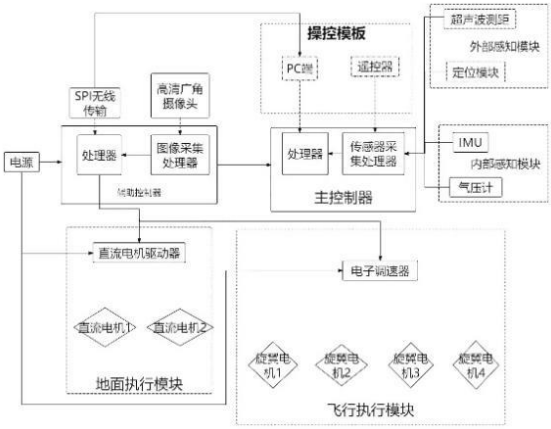


图 1　多功能移动平台控制系统架构

3 三栖机器人设计关键技术

3.1 机械系统设计方法

基于参数化建模方法对水陆空三栖机器人进行结构设计，重点对小车的驱动、无人机的旋翼布局、密封舱体以及多环境驱动模块进行优化。关键技术包括：(1) 采用 TB6612FNG 电机驱动模块通过双通道输出，同时驱动 2 个电机，其拥有的 4 种电机控制模式实现正转、反转、制动、停止等一系列动作，可满足小车机器人在多种环境下的运动要求。(2) 采用四旋翼交叉对称布局保障无人机空中稳定飞行；(3) 设计 IP67 级密封舱体，需满足浮游时的防水与稳定性要求。

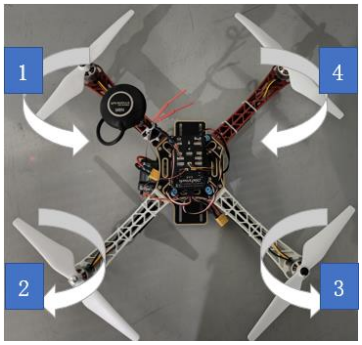


图 2　飞行器模块

3.2 实物原型构建

将设计的三栖机器人模型采用 3D 打印技术制作为实体化模型，通过在环境适应性测试验证设计参数。为实现硬件部分的有效控制，小车的底板采用了自主研发单片机驱动电路，针对各模块的不同需求结构设计和电路搭建，通过仿真建模方法进行组装。旋翼飞行系统中采用交叉对称布局，2、4 号旋翼顺时针旋转，产生顺时针扭矩；1、3 号旋翼逆时针旋转，产生逆时针扭矩，通过扭矩平衡实现飞行姿态稳定。采用适合二次开发的飞控板作为主控单元，并配备高性能的无刷电机、电子调速器以及螺旋桨等原材料，对三栖无人机进行调配组装。通过实际的组装与调试工作，对机器人的各项性能进行实践验证(图 3 所示)，确保了动力稳定性。

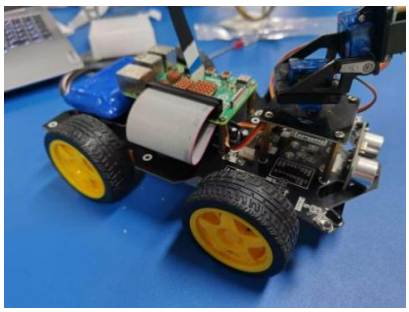


图 3　实物搭建图

4 控制系统设计

4.1 主控系统设计

核心控制单元采用 STM32 主板，通过脉宽调制技术，

运用电调和无刷电机达成转速与方向的调控。传感器通过DMA 方式传输数据，实现数据读取并存储于单片机内。通过单片机 ADC 实时监测电池电压，电量阈值不足时触发启动黄色 LED 警报，提示用户充电。运动控制模块集成 4 个直流减速电机与 TB6612FNG 电机驱动模块，该模块支持双通道路输出，可同步驱动 2 个电机，具备正转、反转、制动、停止四种控制模式，足以应对机器人在不同环境下的运动需求。利用配备 IIC 接口的发光超声波传感器执行探测与避障任务。为实现协调控制，STM32 飞行控制主板、树莓派主板以及底层单片机利用串口通讯完成数据传输。树莓派微型电脑主板外接 WIFI 图像传输模块，实现实时画面回传。云台上搭载的高清广角摄像头实现采集探测环境图像，提升了探测信息的精准度。

4.2 人机互动设计方面

运用 OpenCV 库追踪视线范围内人脸，实现联动或单独追随人脸，能追踪视觉范围内用户设定的物体颜色，依据视觉范围内手指个数识别结果，做出扭动、鸣笛等反馈动作，达成人机互动效果。设备发生故障时，能通过 PC 端向管理人员发送报警信号，确保信息及时传达，减少等待时间，避免问题恶化产生不良影响。管理人员可远程监控设备运行状态与视频画面，使用户与管理者全程监控水陆空三栖机器人的工作状况。

5 结论

本研究构建了水陆空三栖多功能机器人系统，通过分层控制架构分析了多模态作业能力。通过探索分析表明：（1）陆地作业模式下机器人系统具备复杂路径规划与跟踪、交通信号识别及高速无线数据传输等功能；（2）空中作业模式支持定点巡航、姿态稳定控制及航拍侦察等任务执行能力；（3）水面作业模式通过多传感器融合实现目标的精确识别与追踪。三栖机器人特点体现在：①采用 STM32 与树莓派协同架构，通过 SPI 协议实现控制端与执行端的实时交互；②基于模块化机械设计增强了环境适应性；③集成协议实现远程控制与高清图传功能。本研究为跨介质移动平台研发提供了可扩展的技术范式，其系统架构设计方法对特种机器人领域具有一定参考价值。

未来，研究需重点突破仿生机构设计与能源管理技术瓶颈，同时建立多学科交叉创新框架。后续研究工作纳入社会伦理与生态环境影响评估体系，为三栖机器人技术的可持续发展提供理论支撑。

基金项目：天津市级大学生创新创业训练计划项目资助（项目编号：202410066107）。

[参考文献]

[1] Piccoli M , Revzen S , Yim M . SEAL Pack versatile, portable, and rapidly deployable SEa, air, and land vehicle[C]. IEEE International Symposium on Safety. IEEE, Sweden: IEEE, 2014.

[2]张立超,姬书得,胡为,等.变构型三栖机器人的控制与仿真模型研究[J].机械制造与自动化,2024,53(4):119-123.

[3]孙明迁,吴晅,吴忠勋.三栖机器人设计与分析[J].智能物联技术,2024,56(2):65-68.

[4]王军,申政文,李明,等.水陆空三栖机器人设计与研究[J].实验技术与管理,2018,35(11):75-81.

[5] Zhu Y , Li T , Guo Z ,et al. Discussion on Problems of Triphibious Robot Control[C]. 2018 11th International Symposium on Computational Intelligence and Design (ISCID). Hangzhou, China: IEEE, 2019.

[6]王凯.三栖机器人设计与研究[D].徐州:中国矿业大学,2018.

作者简介：欧东鹏（2006.9—），研究方向，低空飞行技术的研发；机器人设计与优化，天津职业技术师范大学，在读学生；通信作者：田永军（1988.1—），研究方向，低空飞行技术的研发；机器人设计与优化，就职单位：天津职业技术师范大学。

物联网压力传感器的智慧桌垫设计

刘子仪　毛航宇　王 鑫　许长乾
电子科技大学成都学院，四川 成都 611731

[摘要]本论文探索物联网技术结合压力传感器在智慧桌垫中的应用。通过压力传感器进行实时监测压力分布，心电传感器进行心率检测，主控芯片还连接着震动马达和 LED 指示灯等反馈硬件。本论文通过静应力分析，验证结构的安全性和耐用性，材料选用保证了舒适性，电路设计保证了智能性，并进行了系统性能验证。本研究展示物联网智慧桌垫的广阔前景。

[关键词]物联网；压力传感器；静应力仿真；控制电路
DOI：10.33142/sca.v8i3.15798　　中图分类号：TP212.1　　文献标识码：A

Smart Table Mat Design for IoT Pressure Sensors

LIU Ziyi, MAO Hangyu, WANG Xin, XU Changqian
Chengdu College of University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu, Sichuan, 611731, China

Abstract: This paper explores the application of IoT technology combined with pressure sensors in smart desk mats. Real time monitoring of pressure distribution is carried out through pressure sensors, heart rate detection is performed through electrocardiogram sensors, and the main control chip is also connected to feedback hardware such as vibration motors and LED indicator lights. This paper verifies the safety and durability of the structure through static stress analysis, ensures comfort through material selection, ensures intelligence through circuit design, and conducts system performance verification. This study demonstrates the broad prospects of IoT smart desk mats.

Keywords: Internet of Things; pressure sensors; static stress simulation; control circuit

引言

智慧桌垫作为一种创新的智能家居产品，正逐渐受到市场的关注和用户的青睐。例如江南大学姜毅航团队设计的一种集无线充电与智能加热为一体的无线充电恒温桌垫[1]。

但以上设计缺少对人使用时的检测和反馈，本文智慧桌垫结合了物联网技术与压力传感器技术，能够实时监测使用过程中的压力分布，并收集和分析压力数据，评估用户的坐姿习惯、工作强度以及健康状况，为用户提供科学的建议。

1 工作原理

在智慧桌垫中集成主控芯片，芯片负责统筹协调各项功能的运作。连接压力传感器阵列，由众多高灵敏度的微型传感器组成，均匀分布在中层。同时，还与心电传感器紧密相连，能够无接触地监测用户的心跳节律。主控芯片还连接着震动马达和 LED 指示灯等反馈硬件。当分析出用户的坐姿不正确或需要健康提醒时，会立即激活震动马达，通过轻微的震动来提醒用户调整坐姿或进行健康活动。同时，LED 指示灯也会亮起相应的颜色或闪烁模式。主控通过无线 WiFi 模块连接云端与手机端。使用手机端 APP 随时查看自己的健康数据、坐姿习惯以及服务器提供的建议。APP 还支持用户设置个性化的提醒功能和目标设定[3]。

工作原理图如图 1 所示。

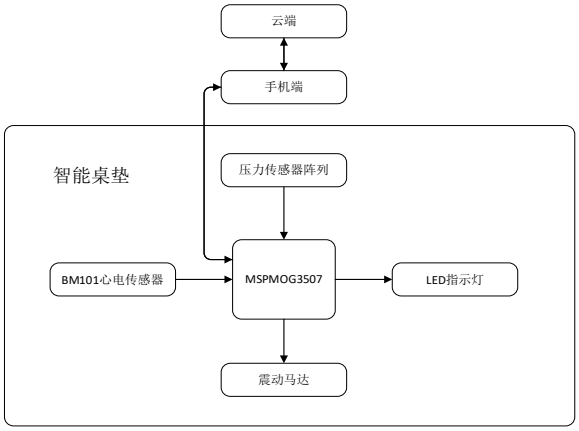


图 1　智能桌垫工作原理图

2 智慧桌垫外观结构设计

2.1 材料尺寸设计

组成部分分为：传感部分、控制部分与反馈部分。

桌垫材质总共分为三层：顶层接触面材料使用记忆海绵，压力传感蹭使用柔性压力传感器，嵌入桌垫中间层，底层支撑结构使用硬质塑料。

电子封装材料选择防水防尘的工程塑料[4]，连接线材选用 0.75 平方，6A 多股无氧软铜线。

考虑到日常使用场景，桌垫尺寸为 80cm×36cm，可满足大部分场景下的需求。

2.2 产品平面示意图

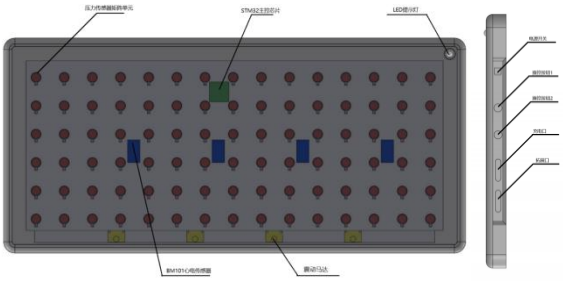


图 2　产品平面示意图

2.3 结构设计原理

（1）矩阵分布传感器。矩阵分布的压力传感器能够全面且精确地监捕捉到用户坐姿的细微变化。通过分析这些数据，准确判断用户的坐姿是否正确。矩阵分布还使得桌垫能够识别多人使用的情况。

（2）四个震动马达桌边分布。将四个震动马达分布在边处，可以确保震动提醒的全方位覆盖。当检测到需要提醒时，马达能够协同工作，通过轻微的震动来引导用户。分布在边缘，能够更有效地传递震动感。此外，这种设计还可以减少桌垫中心的干扰。

（3）右上角 LED 提示灯。将 LED 提示灯设置在桌垫的右上角，主要是出于用户视觉习惯的考虑，大多数人会习惯性地关注屏幕的右上角区域。LED 灯的颜色和闪烁模式可以灵活设置，以提供不同类型的状态指示。

（4）四个心电传感器在桌垫中部平均分布。四个心电传感器在桌垫中部平均分布，能够捕捉用户的心电信号。通过实时监测心电数据，可以及时发现潜在的心脏问题。此外，心电传感器还可以与其他健康数据相结合，提供更全面的健康管理服务。

2.4 结构应力分析

为确保桌垫在承受用户压力时具有足够的强度和稳定性。对其进行静应力分析[5]。

对底部进行固定，外载荷随机分布于桌垫表面，单位设置为 Metric(G)，力值按条目为 2kgf，如图 3。

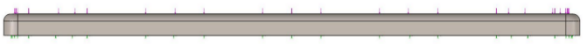


图 3　模型外部载荷仿真

1-绿色箭头固定支撑；2-粉色箭头外部载荷

生成网格，设置为基于混合曲率的网格[6]，单位为 mm，最大单元大小为 40mm，最小单元大小为 2mm，圆中最小单元数为 8，单元大小增长比率为 1.4。如图 4

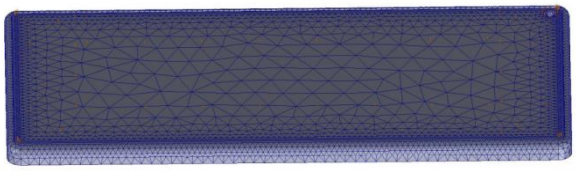


图 4　模型网格分析图解

3 智能桌垫控制电路设计

3.1 主控芯片设计

本设计选择 MSPOG3507 为主控芯片[7]，该芯片具有以下优点：（1）基于 Arm Cortex-M0+内核设计，工作频率最高可达 80MHz。（2）该芯片具有优化的低功耗模式，待机时电流低至 1.5μA，同时保留 RTC（实时时钟）和 SRAM（静态随机存取存储器），延长了电池寿命。（3）MSPMOG3507 配备了 128KB 的闪存和 32KB 的 SRAM，能够满足各种应用需求。（4）多达 60 个 GPIO 引脚，提供丰富的输入输出功能，支持 5V 容限 IO 和高驱动 IO，方便与其他设备进行连接和通信。（5）该芯片支持 CAN-FD（控制器局域网灵活数据速率），提供了更高的数据传输速率和更大的数据负载能力。

主控单元实物图如图 5。

图 5　主控单元实物图

主控芯片原理图如图 6 所示。

3.2 传感器接口设计

为了将矩阵分布的压力传感器与心电传感器的信号传输到主控芯片，控制 LED 灯、震动马达的进行反馈，在主控芯片上进行接口设计。元器件接口需求表如表 1.

表 1　元器件需求表

压力传感器接口	心电传感器接口	LED 指示灯	震动马达
模拟信号	模拟信号	数字控制	数字控制
尺寸：10mm	直径：16mm	直径：10mm	直径：15mm
量程：10kg	波长：515mm	功耗：20mA	额定电压：3v
薄膜	输出信号：0～3.3v	三色发光	绝缘电阻：10Ω
电阻应变式	电流大小：0～4ma	双微芯无极	端子阻抗：30Ω

根据需求进行总体原理图设计，如图 6。

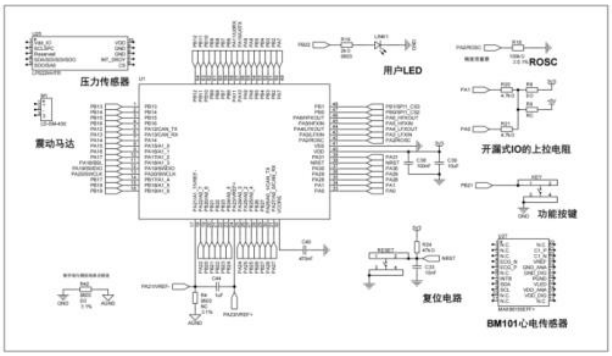


图 6　总体原理图设计

3.3 程序设计

本文探索物联网技术结合压力传感器在智慧桌垫中的应用。采用模块化编程思想分布，结合震动马达、LED指示灯及心电传感器等硬件[8]，和易读性和移植性高的C语言进行编写，代码编译及调试在Keil μVision5 by ARM软件环境中完成，主控芯片的引脚配置则通过STM32CubeMX实现。

系统初始化包括定时器、延时函数、系统时钟、串口通信及传感器初始化等。初始化完成后，桌垫进入待机，等待接指令或自动监测。当主控芯片分析出用户需要健康提醒时，会立即启动相应的程序。部分程序如下所示

```
int main(void)
{
I2C_Configuration();//配置CPU的硬件I2C
OLED_Init();
Adc_Init();
OLED_CLS();//清屏
while(1)
{
value_AD = Get_Adc_Average(13,10);//10 次平均值
VOLTAGE_AO = map(value_AD, 0, 4095, 0, 3300);
if(VOLTAGE_AO < VOLTAGE_MIN)
{
PRESS_AO = 0;
}
else if(VOLTAGE_AO > VOLTAGE_MAX)
{
PRESS_AO = PRESS_MAX;
}
else
{
PRESS_AO = map(VOLTAGE_AO, VOLTAGE_MIN, VOLTAGE_MAX, PRESS_MIN, PRESS_MAX);
}
//printf("AD 值 = %d,电压 = %d mv,压力 = %ld g\r\n",value_AD,VOLTAGE_AO,PRESS_AO);
OLED_ShowNum(1,1,value_AD,5);
OLED_ShowNum(2,1,VOLTAGE_AO,5);
OLED_ShowNum(3,1,PRESS_AO,5);
Delay_ms(500);
}
}
……
```

3.4 用户端UI界面设计

智慧桌垫的UI界面运行理念基于用户指令的精准转换与即时反馈[9]。通过图形用户界面（GUI）发送指令，系统将这些指令转换成代码信息。GUI界面设计得直观且易于操作，主要包含以下四个核心部分：

（1）坐姿监测与提醒：通过实时监测用户的坐姿，当主控芯片分析出坐姿不正确时，会立即激活震动马达。

（2）健康活动提醒：智慧桌垫还能根据用户的办公时长或活动模式，适时发出健康活动提醒。

（3）LED指示灯反馈：LED指示灯作为另一种重要的反馈方式，会根据不同的健康提醒或状态变化亮起相应的颜色或闪烁模式。

（4）个性化设置与自动模式：提供个性化设置功能，可以根据自己的需求调整。

整个智慧桌垫的UI操作界面如图7。

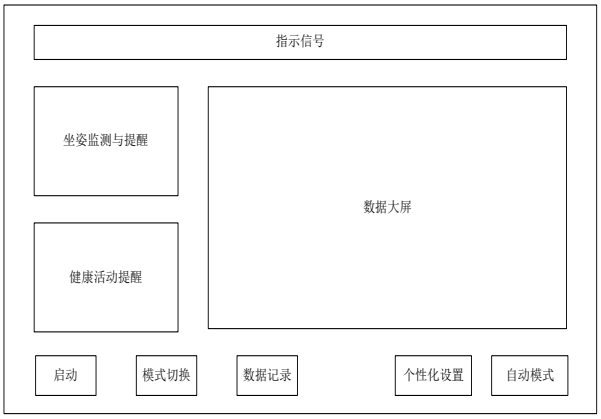


图7 UI操作界面

4 系统性能测试

智慧桌垫提供更为智能、舒适和高效的工作环境[10]。它通常配备有压力传感器、系统响应机制、震动马达以及LED指示灯等功能组件。我们会针对这些组件进行测试。

4.1 压力传感器的精度测试

压力传感器是智慧桌垫与用户交互的重要接口，其精度直接影响到桌垫对用户动作的识别准确性。

对此使用加压检测法，用标准重量负载于压力传感器，用万用表的电压档检测传感器输出端的电压变化。标准压力源校准：使用标准的压力源给传感器施加压力。按照压力的大小和输出信号的变化量。

以下是仿真测试结果，如表2。

表2 仿真测试结果

实际值（N）	10	15	20	25	30	35	40	45	50
输出值（N）	14.95	15.9	20.02	44.96	30.15	35.05	39.97	45.03	50.0

实际值与输出值均再±0.5N的范围内，因此可以确保其在不同压力下的输出值与实际压力值相符。

4.2 系统响应速度测试

系统响应速度是指智慧桌垫在接收到用户指令后，执

行相应操作所需的时间。

如果系统响应速度过慢，用户可能会感到操作卡顿或延迟。通过测试系统响应速度，可以优化桌垫的算法和硬件配置，提高整体性能。

本文使用 WebPageTest 在线工具来测试系统的响应速度。其能够模拟用户访问系统并收集详细的性能数据，包括加载时间、响应时间等。测试结果如下，如表 3 所示。

表 3 系统标准加载时间与测试响应时间测试结果

加载量（MB）	10	20	30	40	50	60	70
标准加载时间（ms）	170	190	220	240	270	280	290
标准响应时间（ms）	160	170	190	205	215	230	240
测试加载时间（ms）	168	188	215	237	271	276	289
测试响应时间（ms）	159	171	212	203	211	275	288

测试加载时间、响应时间与测试加载时间、响应时间均再±5ms 的范围内。

5 结语

本文深入探索了物联网技术与压力传感器在智慧桌垫设计中的应用。

在工作原理方面，通过压力传感器阵列的精准监测，智慧桌垫能够实时捕捉使用过程中的压力分布数据。发现坐姿不正确或需要健康提醒时，主控芯片会激活震动马达和 LED 指示灯，通过轻微的震动和视觉提示来引导用户。

在外观结构设计中，顶层接触面采用记忆海绵，中间层嵌入柔性压力传感器，底层使用硬质塑料。

在控制电路设计方面，我们选择了 MSP430G3507 作为主控芯片，并设计了传感器接口、LED 指示灯及震动马达的控制电路。通过模块化编程思想，实现系统的初始化、数据采集与分析、健康提醒的触发等功能。

用户端 UI 界面设计了直观易用的操作界面。并进行了系统性能测试验证了压力传感器的精度符合要求。

其中使用 WebPageTest 对系统响应速度进行了测试，结果表现良好。

综上所述，本文设计的智慧桌垫不仅提升了办公环境的舒适度，还通过智能化的健康管理功能为用户提供了更为科学、个性化的健康建议。

[参考文献]

[1]宋莹莹，赵奕芳，路光伟.基于单片机的智能医用注射泵系统的设计[J].模具制造，2024，24(12)：203-205.

[2]向伟，张东光，刘治，等.柔性温度—压力传感器的设计与制备[J].传感器与微系统，2024，43(12)：96-99.

[3]罗庭芳，黄轲，刘轶，等.基于系统程序和 Simulink 的核测量系统建模和仿真研究[J].核动力工程，2024，45(2)：127-132.

[4]刘勇奇，罗文彬.工程塑料在智能家居设计中的应用[J].塑料工业，2024，52(9)：176-177.

[5]卢纯福，洪鑫，吴剑锋，等.基于被动动态坐姿的健康坐垫设计[J].包装工程，2024，45(16)：121-128.

[6]陆静.基于 Simulation 的机架变形分析[J].机械工程与自动化，2024(2)：62-63.

[7]姜毅航，朱佳明，方静，等.关于智能一体化无线充电恒温桌垫的设计[J].电子制作，2021(15)：84-86.

[8]罗萍.LED 光立方的单片机控制程序设计[J].电脑编程技巧与维护，2018(6)：42-45.

[9]Wenxing Winter Office Companion - Guangbo Warm Hand Desk Mat Warm Launch [Z]. Stationery and Technology, 2014, (23): 43

[10] Chen Jie Research on data processing technology of triangular mesh model based on mixed transition features in reverse engineering [Z]. Mentor: Gao Chenghui; He Bingwei Fuzhou University, 2011

作者简介：刘子仪，男，就读院校：电子科技大学成都学院，所学专业：机械设计制造及其自动化，当前就职单位：电子科技大学成都学院。

AI 与智能建造在房建领域中的应用与发展趋势浅析

杨 平
鄂尔多斯市康巴什区政府投资项目代建中心，内蒙古 鄂尔多斯 017010

[摘要]随着科技的进步，人工智能（AI）和智能建造逐步推动建筑行业的转型升级。智能建造通过整合信息技术、自动化和机器人等先进手段，提高了建筑项目的施工效率、精准度和安全性。AI 在建筑设计、施工优化、进度管理等方面发挥着重要作用，帮助提升决策效率、资源配置和工程质量。然而，尽管 AI 与智能建造具有巨大的潜力，技术门槛、数据安全与高成本等问题仍是行业面临的挑战。基于此，文中结合当前技术现状，总结相关应用场景，为技术成熟后在数字化转型和绿色建筑领域的深度融合提供参考依据。

[关键词]人工智能；智能建造；房建领域；施工管理；绿色建筑
DOI：10.33142/sca.v8i3.15794　　中图分类号：TU17　　文献标识码：A

Brief Analysis of the Application and Development Trends of AI and Intelligent Construction in the Field of Housing Construction

YANG Ping
Ordos Kangbashi District Government Investment Project Construction Center, Ordos, Inner Mongolia, 017010, China

Abstract: With the advancement of technology, artificial intelligence (AI) and intelligent construction are gradually driving the transformation and upgrading of the construction industry. Intelligent construction improves the construction efficiency, accuracy, and safety of building projects by integrating advanced means such as information technology, automation, and robots. AI plays an important role in architectural design, construction optimization, and schedule management, helping to improve decision-making efficiency, resource allocation, and project quality. However, despite the enormous potential of AI and intelligent construction, issues such as technological barriers, data security, and high costs remain challenges facing the industry. Based on this, the article summarizes relevant application scenarios in combination with the current technological status, providing reference for the deep integration of digital transformation and green building fields after the technology matures.

Keywords: artificial intelligence; intelligent construction; housing construction field; construction management; green building

引言

随着全球科技的飞速发展，建筑行业作为传统产业之一，正逐步迈向智能化。AI 和智能建造作为新兴技术，正在重塑建筑行业的各个方面。智能建造是指通过现代信息技术、智能化技术、自动化系统等手段，提升建筑生产力、施工效率与安全性，达到高效、精准、绿色、可持续发展的目标。而 AI 作为智能建造的核心技术之一，通过数据分析、模式识别、深度学习等方法，能够帮助建筑企业提高决策效率、优化资源配置、提升工程质量[1]。

图 1　AI 与智能建造在房建领域中的应用概念图

作为行业管理者，结合 AI 和智能建造的应用，既能推动企业自身的数字化转型，又能提升行业的整体竞争力。对此，本文总结了几个方面，AI 和智能建造为房建领域的管理者提供了崭新的机遇。

1 基本概念与技术背景

1.1 AI 在建筑行业中的应用

人工智能（AI）指的是使计算机具备人类智能的技术和系统，涵盖了机器学习、深度学习、自然语言处理等多种技术。在建筑领域，AI 的应用主要体现在以下几个方面：

1.1.1 施工过程优化

通过对大量施工数据的分析，AI 可以优化施工计划、提高施工效率。例如，通过运用大数据分析和预测性技术，AI 能够实时监控施工进展，及时发现进度滞后的区域并进行调整，确保项目按时完成。同时，AI 可以分析过去的施工数据，预测资源需求，避免材料浪费和人工冗余，提升资源使用效率。此外，AI 还可以模拟施工过程中可能出现的问题，如设备故障、气候变化等，通过提前识别

这些潜在风险并采取相应的应对措施，有效降低事故发生的概率。综上，AI 不仅提高了施工的精准性和效率，也在保障安全、节约成本和提升整体质量方面发挥了重要作用[2]。

1.1.2 施工自动化与机器人技术

AI 技术在建筑中的应用推动了施工机器人的发展，尤其是在一些高危、劳动强度大的施工任务中，机器人展现出极大的优势。例如，无人机可以在建筑工地上进行实时监控，采集高清图像和视频，监测施工进度，帮助工程师发现问题并及时解决。自动化施工设备如 3D 打印建筑机器人和自动化砌砖机器人等，能够减少人工操作，提升施工速度和精度。这些机器人不仅可以进行重复性高、精度要求严的工作，还能在复杂或危险的环境中进行作业，从而减少工人受伤的风险。此外，AI 还可以与机器人协同工作，通过实时分析施工数据，优化机器人的作业路径和工作流程，进一步提高施工效率和安全性。

1.1.3 建筑设计

AI 辅助设计在建筑行业中的应用不断扩展，它能够实现建筑项目的自动化建模、方案生成与优化。AI 通过分析大量历史建筑设计数据，可以自动生成符合设计标准的建筑方案，并根据项目需求进行调整和优化。这一过程不仅减少了人为失误，还大大提高了设计效率。例如，机器学习技术可以基于过去的建筑设计数据，优化设计参数，如空间布局、材料使用、结构安全等，从而达到最佳设计效果。AI 还能够根据环境条件、气候因素、可持续性要求等因素进行实时调整，确保设计方案更加符合实际需求。在未来，随着 AI 技术的不断进步，建筑设计将更加智能化、个性化，并能满足日益复杂的建筑需求，推动建筑行业向更高效、环保和创新的方向发展[3]。

1.2 智能建造的内涵与特点

智能建造是将信息技术、自动化技术、人工智能等新一代技术广泛应用于建筑全生命周期中的各个阶段，包括设计、施工、运营和维护等环节。智能建造不仅仅是对现有建筑模式的简单技术替代，它带来了从根本上改变建筑业运营方式的深远影响。智能建造的主要特点主要总结为以下三点：

1.2.1 数据驱动

智能建造的最大优势之一就是通过数据驱动。随着物联网（IoT）、传感器、无人机等技术的广泛应用，建筑工地可以实时采集大量的数据。这些数据包括施工进度、设备运行状态、材料消耗、环境监测等方面的内容。AI 和大数据技术能够处理这些数据，通过智能分析得出有价值的决策依据。借助数据驱动，项目管理者可以实时调整施工计划，优化资源配置，提前预测潜在问题，并采取应对措施，从而降低施工风险，提高工作效率。数据驱动的智能建造还使得各方参与者能够共享实时信息，促进信息流通与协作，进一步提高项目的透明度和整体效益。

1.2.2 高效能

智能建造通过自动化和智能化的施工技术，大大提高了建筑施工的效率，减少了对人工的依赖。传统的建筑施工通常依赖大量人力和手工操作，容易受到人为因素的影响，导致施工进度延误或成本超支。智能建造通过引入机器人技术、无人机、自动化设备等，大幅提升了施工效率和精度。此外，AI 技术还能够通过实时数据分析，自动优化施工流程，减少无效操作。智能建造不仅仅体现在施工现场的自动化，还通过技术手段优化了供应链管理、材料采购、人员调度等环节，进一步提升了整体效率。

1.2.3 绿色与可持续

智能建造也强调环保和资源节约，在推动建筑业绿色转型方面发挥着重要作用。传统建筑行业往往存在大量资源浪费和环境污染问题，而智能建造通过智能化技术实现对资源和能源的优化配置，推动绿色建筑的建设。AI 可以根据建筑物的实际需求，调整能源的使用，减少不必要的浪费。此外，智能建造还可以通过精准的材料管理和回收再利用，最大限度地降低建筑过程中的资源消耗。绿色建筑不仅关注建筑本身的环保，还包括建筑的生命周期，智能建造通过优化设计、施工和运营等环节，使建筑更加环保、节能，并符合可持续发展的理念。这些创新技术的应用将有助于建筑行业减少碳排放、降低环境负担，推动全球建筑业的绿色转型。

2 AI 与智能建造在房建领域的具体应用

2.1 智能规划与设计

在房建项目中，AI 可以应用于建筑设计阶段。通过机器学习和深度学习算法，设计师可以借助 AI 设计出最优的建筑结构方案。这一过程不仅提高了设计的精度，还能在项目初期预测可能出现的风险因素，从而实现更高效的规划与设计。

例如，AI 能够通过大数据分析生成不同设计方案，并根据需求自动优化设计，提高空间利用率、能源利用效率，甚至减少材料浪费。此外，基于 AI 技术的建筑设计平台能够大大缩短设计周期，降低设计成本。

2.2 智能施工管理

智能施工管理是智能建造的重要组成部分。在施工过程中，AI 可以帮助管理者实时监控施工现场的情况，通过无人机、传感器等设备收集数据，然后通过人工智能分析这些数据，从而对施工进度、安全性等进行预测和分析。

例如，基于人工智能的施工进度监控系统能够实时采集施工现场数据，并根据历史数据与实时数据进行分析预测，提前识别潜在的进度滞后问题，为管理者提供决策依据。此外，AI 还能够通过预测性分析及时发现施工中的

安全隐患，降低工地事故发生率[4]。

2.3 智能化设备与机器人应用

智能化设备和机器人技术正在改变传统的施工方式。例如，无人机可以在建筑项目中用于现场勘测和进度监控，机器人可以完成墙面涂装、砖块砌筑等工作，从而减少人工劳动力的需求，提高施工效率。通过 AI 技术控制的自动化设备能够在建筑项目中实现精确施工，减少误差。

在施工现场，AI 技术还可以结合机器人进行高危作业的自动化处理，降低工人的安全风险。智能机器人能够在复杂的环境中自主作业，提高了建筑工人的安全性和生产效率。

2.4 智能化安全管理

建筑行业的安全问题一直是一个重点关注的领域。通过智能化的安全管理系统，AI 可以帮助管理者实时监控施工现场的安全状况。例如，通过图像识别技术，AI 可以识别工人是否佩戴安全装备，施工设备是否处于安全状态；此外，AI 还可以通过传感器监测环境温度、湿度、气体浓度等因素，以及时发现安全隐患并采取相应的应急措施。

通过智能安全管理系统，房建领域的管理者可以更精准地把控工地的安全风险，从而有效预防事故发生。

2.5 智能化资源与供应链管理

建筑项目中的资源管理和供应链管理至关重要。AI 和智能建造技术能够帮助企业实现对资源的智能调配和管理。AI 可以基于历史数据与实时数据分析，预测材料需求，提前进行采购和运输安排，避免出现物资短缺或积压现象，确保项目进度的顺利进行。

此外，智能供应链系统通过对供应商、材料、运输等环节的全面监控，能够确保资源流动的高效性和低成本，减少浪费，提高工程效率。

3 AI 与智能建造面临的挑战与发展趋势

3.1 面临的挑战

尽管 AI 与智能建造在房建领域展现出巨大的潜力，但在技术障碍、数据隐私与安全、成本等方面仍面临一些挑战。

3.1.1 技术障碍

AI 和智能建造技术的不断发展需要高端的技术支持，建筑行业的技术人才短缺，使得智能建造技术的普及和应用受到限制。建筑行业普遍依赖传统施工模式，缺乏对新技术的理解和应用能力。此外，AI 技术涉及多个复杂领域，要求从业人员具备跨学科的技术能力，而建筑行业目前在这一方面的专业人才仍不足。为推动智能建造的发展，必须加大技术人才的培养和引进力度。

3.1.2 数据隐私与安全

智能建造过程中，涉及到大量敏感数据，如何确保数据隐私和安全成为一个亟待解决的问题。这些数据包括施工进度、设备运行情况、员工工作状态等，可能涉及商业机密或个人隐私。一旦数据泄露或遭受攻击，可能严重影响企业运营。因此，如何通过加密技术、权限管理等手段保障数据安全，成为智能建造技术应用中的关键挑战。加强数据安全技术的研究，将是行业发展的重要方向。

3.1.3 高成本

尽管 AI 和智能建造技术能提高效率，但初期投资和技术研发成本较高，尤其对中小型建筑企业而言，负担较重。智能建造的技术引进需要购买昂贵的设备，并进行技术研发和人员培训。此外，现有的 AI 技术可能需要定制化开发，进一步推高成本。中小型企业在初期很难承担如此巨大的投入。因此，降低技术成本，提高设备可获取性，将是推动智能建造普及的关键。

3.2 发展趋势

随着技术的不断进步，笔者总结了 AI 与智能建造未来发展的三大趋势。

3.2.1 全面数字化进程加快

随着 5G、物联网、大数据等技术的应用，建筑行业将进入全面数字化的时代。数字化技术将支撑建筑设计、施工、运维等环节，使这些过程更加精准和高效。通过数据采集和实时监控，建筑物的整个生命周期信息将被实时传递。设计、施工和运维的每个环节都将更加智能化，提升效率、减少浪费，从而推动建筑行业的创新发展。

3.2.2 人工智能的深度应用创新场景越发丰富

AI 将在建筑的各个环节中发挥更深层次的作用，尤其在建筑材料选择、结构优化、施工进度预测等方面。AI 通过分析大量历史数据，能够为设计提供更科学的方案，同时优化材料的选择，提升建筑物的质量与安全性。在施工过程中，AI 可预测进度并及时调整，确保施工按计划进行。这样，AI 将为建筑行业带来更多的创新应用，提高效率并降低成本。

3.2.3 绿色建筑比例不断提高

随着环保政策的严格实施，智能建造将更加注重绿色建筑的设计与施工，推动节能减排与资源节约。AI 将优化建筑内能源的使用，智能调节建筑内部的温控与照明，从而达到节能目标。同时，建筑材料将更加环保，可再生材料的使用和资源回收利用将成为常态。智能建造将助力建筑行业向绿色、可持续发展方向转型。

4 结论

AI 与智能建造技术正在为房建行业带来巨大的变革。行业管理部门人员应了解并应用这些新兴技术将是提升建筑企业竞争力的关键。尽管在技术、成本和安全等方面仍面临挑战，但随着技术的不断成熟和市场需求的日益增长，AI 和智能建造将在未来的建筑行业中占据

越来越重要的位置。应当积极迎接这一变化，推动建筑行业的智能化发展，从而实现更高效、更绿色、更安全的建筑目标。

[参考文献]

[1]王少斌.AI 智能建造在未来建筑工程中的发展与作用[J].中国房地产业,2019(21):50.
[2]杜兴男.浅析工程建设管理中智能建造技术的应用[C].北京:科学技术文献出版社,2024.
[3]李彦锦,王帆,周诚,等.生成式 AI 在工程设计中的研究与应用综述[J].土木工程与管理学报,2023,40(5):102-112.
[4]王希,赵卓辉,谭啸,等.基于人工智能的智能建造安全管理方法与应用[J].中外建筑,2023(12):40-45.

作者简介：杨平（1986.3—），男，鄂尔多斯市，研究生，目前是工程师，就职于鄂尔多斯市康巴什区政府投资项目代建中心，主要从事建筑工程领域方向的工作。

基于树莓派与 YOLOv5-Lite 模型的日常垃圾识别系统

王嘉炜　宁勇强　卓赛龙
江西理工大学 能源与机械工程学院，江西 南昌 330013

[摘要]利用深度学习实现视觉检测技术对日常生活垃圾的识别，从而识别种类繁多的传统生活垃圾有重要意义。把在 PC 端上训练好的 YOLOv5s 与 YOLO v5-Lite 目标检测模型分别部署在搭载树莓派系统平台上，并在此平台上搭建深度学习环境，构建垃圾识别系统。在不同光照条件下，对这两个模型进行分析对比，实验结果表明，在识别准确率相差 1.5%的情况下，YOLO v5-Lite 模型相对于原 YOLOv5s 模型，网络参数量下降了 80.86%，模型内存大小下降了 75.52%，检测速度提高 85.94%。综上所述，文中提出的基于树莓派与 YOLOv5-Lite 的垃圾识别系统兼顾了准确性好、稳定性好、成本低等综合优点。
[关键词]垃圾识别；YOLOv5-Lite；模型部署；树莓派
DOI：10.33142/sca.v8i3.15785　　中图分类号：TP368.2　　文献标识码：A

Daily Garbage Recognition System Based on Raspberry Pi and YOLOv5-Lite Model

WANG Jiawei, NING Yongqiang, ZHUO Sailong
College of Energy and Mechanical Engineering, Jiangxi University of Science and Technology, Nanchang, Jiangxi, 330013, China

Abstract: It is of great significance to use deep learning to implement visual detection technology for the recognition of daily household waste, in order to identify a wide variety of traditional household waste. Deploy the YOLOv5s and YOLOv5-Lite object detection models trained on the PC side separately on the Raspberry Pi system platform, and build a deep learning environment on this platform to construct a garbage recognition system. Under different lighting conditions, the two models were analyzed and compared. The experimental results showed that, with a 1.5% difference in recognition accuracy, the YOLOv5-Lite model had a 80.86% decrease in network parameters, a 75.52% decrease in model memory size, and an 85.94% increase in detection speed compared to the original YOLOv5s model. In summary, the garbage recognition system proposed in the article based on Raspberry Pi and YOLOv5-Lite combines the comprehensive advantages of good accuracy, stability, and low cost.
Keywords: garbage recognition; YOLOv5-Lite; model deployment; Raspberry Pi

引言

随着经济的迅速发展;我国城镇人口数量急剧增加;城市生活垃圾也日益增多;而垃圾分类则是处理垃圾公害的最佳解决方案[1]。当下的关注热点在于将垃圾进行无害化、资源化处理;因此合理有效地对垃圾进行回收利用具有一定的意义;对垃圾进行有效地分类是处理垃圾回收问题的前提[2]。近年来;随着深度学习技术的不断发展;目标检测算法在垃圾识别领域得到了广泛的应用。

国内外已有通过基于深度学习的机器视觉进行垃圾检测和分类方面的研究。Mittal G[3]等人研究的基于 GarbNet 识别算法，准确率达到了 87.69%，但并未实现垃圾的分类；Ying Liu 等人[4]提出的 YOLOv2 检测算法，使用 MobileNetV1[5]网络代替原本的卷积模块，使识别的准确率达到 89.1%，同样未细分垃圾的种类；Ying Wang 等人[6]提出用 ResNet 作为特征提取网络，该方法通过将城市自然环境与垃圾的图片相结合，从而获取更多的数据集样本，提高了算法的稳定性和准确性，但该算法对设备的计算性能的要求较高。

本文研究的 YOLOv5-Lite，作为 YOLOv5s 的轻量级版本，在保证检测精度的同时，进一步降低了模型的复杂度和计算量，可以在配置较低，计算性能较弱的设备上部署。本文获取不同光照条件下日常生活垃圾的图像，基于 YOLOv5-Lite 深度学习算法模型进行垃圾识别，以期满足垃圾识别实时性和准确性的要求

1 系统方案

垃圾识别系统工作原理：首先在 PC 端上搭建模型训练测试的环境。然后收集各种类别的垃圾图像，并使用标注工具对图像进行标注，生成包含垃圾类别和边界框信息的 XML 或 CSV 文件。再使用 YOLOv5 模型和 YOLOv5-Lite 模型开始训练过程，输入训练集数据和配置文件，输出训练好的模型权重文件。使用验证集数据对训练好的模型进行验证，评估模型的识别精度和性能。最后将在 PC 端训练好的 YOLOv5-Lite 模型与 YOLOv5s 模型分别移植到树莓派上测试，由连接到树莓派上的摄像头读取垃圾的测试图像，并显示检测的效果。系统集成流程如图 1 所示。

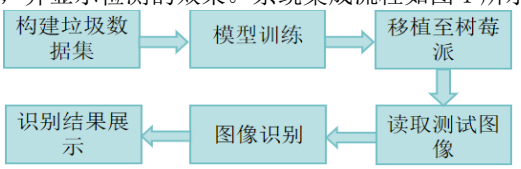


图 1　垃圾检测系统集成图

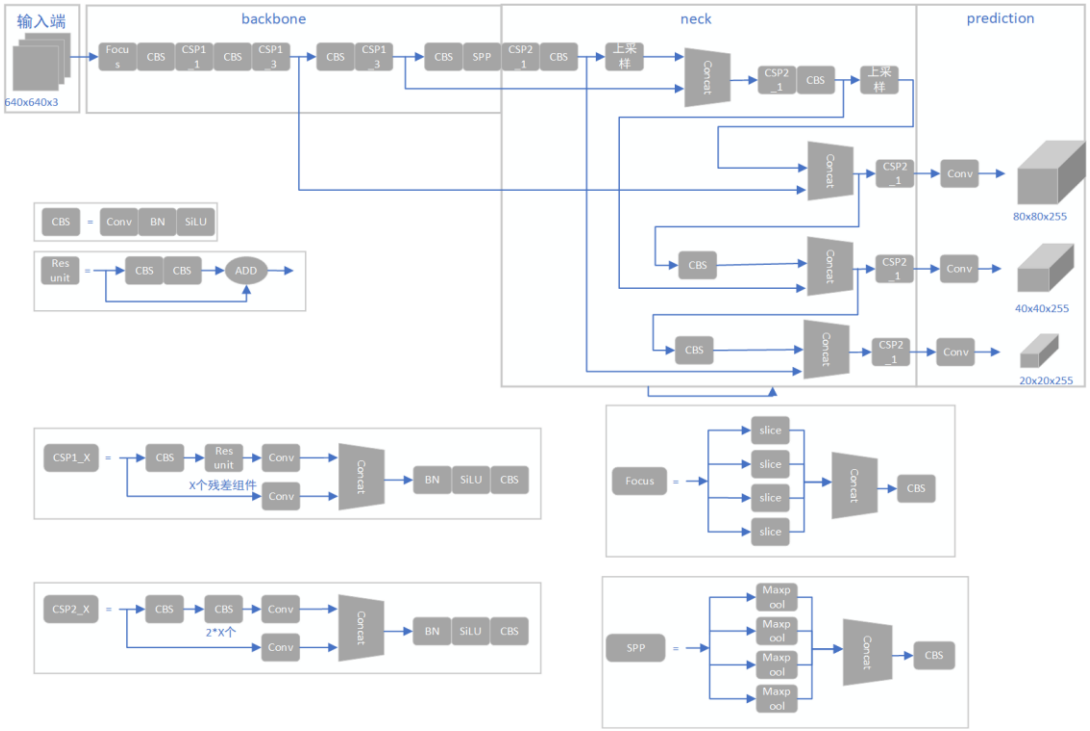


图 2 YOLOv5s 网络结构

2 YOLOv5 算法简介

相对于 R-CNN[7]、Fast R-CNN[8]、Faster R-CNN[9]等 two-stage 的目标检测算法，该两阶段算法在检测速度上难以满足实际的需求，随后 Redmin[10]等人提出了 YOLO，YOLO 系列是非常经典的 one-stage[11]目标检测算法极大提高了目标检测速度。本次实验选择 YOLOv5s[12]网络模型作为基础进行改进。如图 2 为 YOLOv5s 的网络结构。

YOLOv5s 算法的网络模型主要由四部分组成：第一部分为输入端，负责接收并预处理图像数据，采用 Mosaic 数据增强技术丰富背景信息，同时执行自适应锚框计算和图像缩放，确保输入图像与模型要求匹配，为后续特征提取和检测任务奠定基础；第二部分为 Backbone，即主干网络，主要用于提取图片中的特征信息，为后续的网络提供输入，在 YOLOv5s 中，Backbone 包含 Focus、CBS、C3、SPP 等多种模块，这些模块通过卷积层的堆叠来提取不同尺度的特征信息；第三部分为 Neck，位于 Backbone 和 Head 之间，用于进一步利用 Backbone 提取的特征，提高模型的鲁棒性，在 YOLOv5s 中，Neck 采用 FPN+PAN 结构，实现了特征的多尺度融合；第四部分为 Prediction，获取网络输出，利用之前提取的特征做出预测。在 YOLOv5s 中，Prediction 使用解耦预测头，将分类任务与回归任务拆分开，使用两条并行分支分别进行预测，提高了模型的检测精度和收敛速度。

针对传统目标检测模型存在的问题，YOLOv5s 进行了多项改进与优化：①使用 EIOU Loss 替换 CIOU Loss：加快了预测框回归损失函数的收敛速度，并提高了预测框的回归预测精度；②使用 CARAFE 上采样算子：替换了原始的最近邻插值上采样模块，减少了上采样过程中特征信息的损失，提高了上采样特征图的质量；③添加小目标检测分支：在原始的三尺度检测层基础上新添加一层检测尺度更小的小目标检测分支，提高了模型对于小目标的检测能力；④通道剪枝：对改进后的模型进行通道剪枝，剪除对于检测效果影响不大的冗余通道，降低模型体积，使得模型更加适用于资源受限条件下的目标检测任务。

3 改进的 YOLOv5-Lite 网络模型结构

3.1 摘除 Focus 层

YOLOv5-Lite 摘除了部分 Focus 层，以避免多次采用 slice 操作导致的计算量增加。Focus 层虽然可以通过分组处理特征图来减少计算量，但在某些情况下可能会增加模型的复杂度和计算负担。因此，YOLOv5-Lite 在设计时选择了摘除部分 Focus 层，以进一步降低模型的计算量。

3.2 使用 ShuffleNetV2

YOLOv5-Lite 的主干网络主要使用了含 Shuffle channel 的 Shuffle block 组成。Shuffle block 是一种轻量化的卷积块，它通过 Shuffle channel 操作来打乱特征图的通道顺序，以增加特征图的多样性，同时减少模型的计算量和参数数量。

3.3 减少使用 C3 Layer

C3 Layer 是 CSPBottleneck 改进版本，它更简单、更快、更轻，在近乎相似的损耗上能取得更好的结果。但频繁使用 C3 Layer 以及通道数较高的 C3 Layer 会占用较多的缓存空间，降低运行速度。

3.4 使用 CIOU 损失函数

传统 YOLOv5-Lite 采用 GIOU 作为损失函数,GIOU 损失函数虽然在一定程度上解决了 IOU 损失函数在边界框不重叠时无法提供有效梯度的问题,但当两个框之间存在包含关系时,GIOU 会退化为 IOU,无法准确反映两个框之间的相对位置关系。这种情况下,即使预测框与真实框之间存在较大的位置偏差,GIOU 的值也可能较高,从而导致模型训练过程中的误判。且 GIOU 在计算过程中需要考虑两个框的最小外接矩形,这增加了计算的复杂性,导致收敛速度慢。本实验采用 CIOU 代替 GIOU 作为损失函数,它不仅能够更全面地评估预测边界框与真实边界框之间的差异,使得预测目标框回归的速度更快,精度更高还能够更快地收敛到最优解[13],提高检测精度和泛化能力。本实验采用基于 CIOU 损失函数的 YOLOv5-lite 模型。CIOU 损失函数公式如下:

$$CIOU=\frac{\rho^2(A,B)}{C^2}+\alpha v \tag{1}$$

$$\alpha=\frac{v}{(1-IOU)+v} \tag{2}$$

$$v=\frac{4}{\pi^2}(\arctan\frac{w^{gt}}{h^{gt}}-\arctan\frac{w}{h})^2 \tag{3}$$

$$IOU=\frac{|A\cap B|}{|A\cup B|} \tag{4}$$

$$Loss_{CIOU}=1-IOU+\frac{\rho^2(A,B)}{C^2}+\alpha v \tag{5}$$

式中 α 是权重函数;v 用来度量宽高比的一致性;$\rho^2(A,B)$表示 A(预测框)与 B(目标框)的中心距离 c 代表 A 与 B 最小并区间对角线距离;IOU 等于 A 和 B 的交集除以二者的并集。

以上方法使得 YOLOv5-Lite 网络相较于 YOLOv5s 网络更具优势:①部署灵活:由于 YOLOv5-Lite 具有较小的模型大小和较快的推理速度,因此它更容易部署在资源受限的设备上。这使得 YOLOv5-Lite 在物联网、智能家居等领域具有广泛的应用前景。②降低成本:轻量化设计使得 YOLOv5-Lite 在运行时对计算资源的需求降低,从而减少了能源消耗和硬件成本。这对于需要大规模部署的应用场景来说尤为重要。③提升 fps:在相同的硬件条件下,YOLOv5-Lite 的 fps 相较于 YOLOv5s 有显著提升。这使得 YOLOv5-Lite 在实时检测任务中更具优势。

因此,YOLOv5-Lite 网络在原来的 YOLOv5s 网络上的改进主要体现在轻量化设计、效率提升以及保持高精度等方面。这些改进使得 YOLOv5-Lite 在实时检测任务中更具优势,同时也为它在各种应用场景中的广泛部署提供了可能。本此实验所用的 YOLOv5-Lite-s 模型结构如图 3 所示。

4 模型部署

在树莓派上部署 YOLOv5-Lite 模型是一个涉及硬件、软件、模型转换、系统部署、测试与优化等多个环节的综合性任务。

硬件:本次实验选择的树莓派型号是树莓派 4B,该型号树莓派能提供足够的计算能力。同时配备了与树莓派兼容的摄像头模块用于捕捉实时图像,从而完成垃圾识别的任务。

软件:下载并安装适用于树莓派的操作系统 Raspbian,并通过烧录工具将镜像写入 SD 卡。随后,将 SD 卡插入树莓派,连接显示器、键盘和鼠标等外设,启动树莓派并完成操作系统的初始化设置。接着,更新软件源,安装 Python 3、pip 等必要的软件包,以及 OpenCV 等计算机视觉库,用于图像处理和显示。

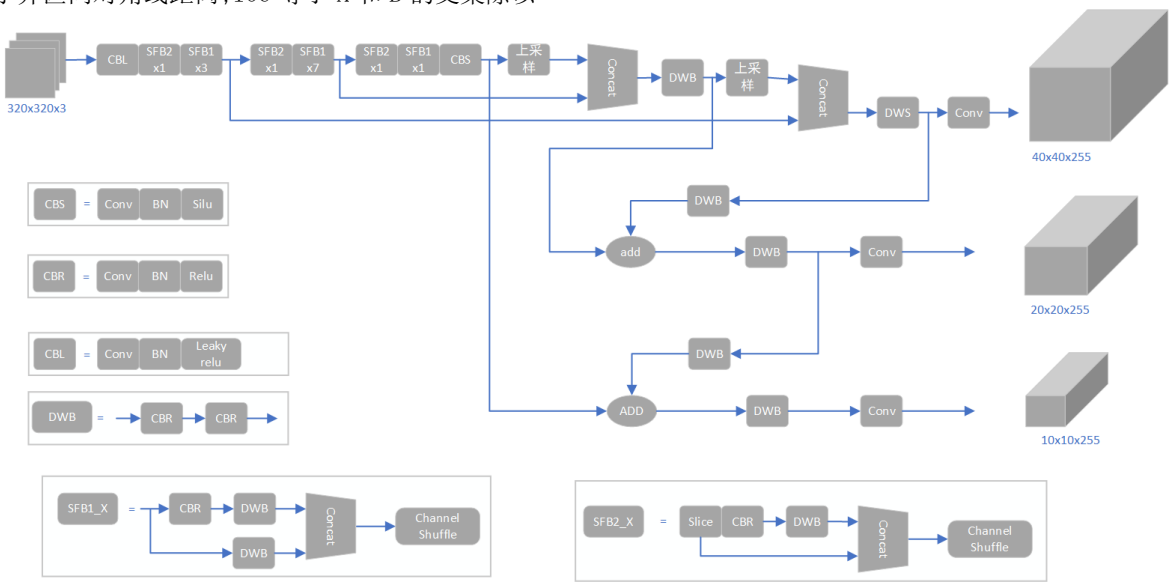


图 3 YOLOv5-Lite-s 网络结构

模型转换与部署环节：首先使用 PyTorch 提供的转换工具将训练好的 YOLOv5-Lite 模型从 PyTorch 格式转换为 ONNX 格式。在转换过程中，需要确保模型的输入和输出格式与树莓派上的代码相匹配。完成模型转换后，将模型文件上传到树莓派上，并编写 Python 脚本加载模型进行推理。包括读取摄像头捕获的图像、对图像进行预处理、将图像输入到模型中、获取模型的输出并进行后处理等步骤。

测试与优化：在不同光照条件下，使用不同的垃圾图像对系统进行测试，验证模型的识别精度和实时性。根据测试结果调整模型的参数和预处理步骤，以提高识别效果。同时，对代码进行优化，减少不必要的计算和资源消耗。

通过这一系列步骤，可以成功在树莓派上部署 YOLOv5-Lite 模型，构建一个高效、准确的日常垃圾识别系统。

5 实验设置与结果分析

5.1 数据集

训练集是模型训练过程中使用的图像数据[14]本次实验所用数据集共 8366 张，本实验以比例 8∶2 划分训练集和测试集，即训练集 6693 张，测试集 1673 张。

5.2 计算机实验运行环境

本文计算机使用的显卡型号为 NVIDIA GEFORCERTX 3070、CPU 为 Intel Core i9-10900K，2.50 GHz，Python 版本为 3.8，基于 Pytorch 深度学习框架。

5.3 模型训练

本文训练所用的初始权重分别为 yolov5s.pt 和 v5lite-s.pt，其中 Batch_size 设为 128，迭代周期 epochs 设为 200，置信度阈值 0.45，IOU 阈值为 0.5，通过训练模型，分别得到了两个最好的权重文件。

5.4 评估指标

为评估两种模型的检测效果，本文使用参数量、模型占用内存、检测速度以及识别精确度作为评价指标。

①参数量：参数量是指模型中所有权重和偏置的总数，是衡量模型大小和复杂度的重要标准。参数量越小，模型越轻量，对计算资源的需求越低，但可能在性能上有所牺牲。反之，参数量越大，模型可能具备更强的表示能力，但也可能导致过拟合和更高的计算成本。

②模型占用内存：模型占用内存是指在训练或推理过程中，模型所占用的物理内存大小。这包括模型参数、中间计算结果以及必要的缓存等。内存占用的大小直接影响模型的运行效率和可扩展性。在训练大型模型时，内存占用过高可能导致训练速度下降甚至训练失败。

③检测速度：检测速度是指模型处理每张图片所需的时间。检测速度越快，模型在实时应用中的表现越好。在目标检测任务中，快速准确的检测对于实际应用至关重要。

④识别精确度：识别精确度是指模型正确识别目标类别的能力。识别精确度越高，模型的性能越好，能够更准确地识别出目标类别。在目标检测任务中，高识别精确度是实现高精度定位的前提。

5.5 实验结果与检测效果

通过对训练好的两种模型进行测试，表 1 为在树莓派上测试所得的网络对比结果。

表 1　网络对比实验结果

网络模型	精准度	检测速度	网络参数	模型内存大小
YOLOv5-Lite	86.7%	0.45s	1634792	3.5MB
YOLOv5s	88.2%	3.2s	8539572	14.3MB

实验结果表明，在不同光照条件下改进 YOLOv5-Lite 网络与 YOLOv5s 网络相比，其识别精确度和 YOLOv5s 数值非常相近，网络参数量下降了 80.86%，模型内存大小下降 75.52%，检测速度提高了 85.94%。因此 YOLOv5-Lite 综合性能优势明显，成功满足了实验需求。最终实现的检测效果图如图 4、图 5 所示。

图 4　强光拍摄

图 5　弱光拍摄

6 结束语

本文提出了一种基于树莓派和 YOLOv5-Lite 垃圾检测系统，通过将训练好的 YOLOv5s 和 YOLOv5-lite 模型部署到树莓派平台上，搭建一个垃圾检测系统。通过实验分析，在不同光照条件下，基于轻量化的 YOLOv5-Lite 网络模型的垃圾识别系统优势更加明显。在识别精确度差别很小的情况下，推理速度方面，YOLOv5-Lite 模型凭借其轻量级的网络结构和高效的计算优化，实现了更快的检测速度。这对于实时垃圾检测系统尤为重要，能够显著提升系统的响应速度和用户体验。此外，YOLOv5-Lite 模型的参数量和内存占用均较低，更适合在资源受限的嵌入式设备或边缘设备上部署，降低了系统的硬件成本。

基金项目：江西理工大学大学生创新创业训练资助项目“智能垃圾拾取小车”（S202210407044）。

[参考文献]
[1]魏潇潇,王小铭,李蕾,等.1979-2015 年中国城市生活垃圾产生和处理时空特征[J].中国环境科学,2018,38(10):3833-3834.
[2]梁建胜,温贺平.基于深度学习的视频关键帧提取与视频检索[J].控制工程,2019,26(5):965-970.
[3]Mittal G,Yagnik K B,Garg M,et al.Spotgarbage:smart—phone app to detect garbage using deep learning[C].Heidelberg,GERMANY:Assoc Comp Machinery,2016.
[4]Liu Y,Ge Z,Lv G,et al.Research on automatic garbage detection system based on deep learning and narrowband internet of things[J].Journal of Physics:Conference Series,2018(1):1069-1076.
[5]Howard A,Zhu M,Chen B,et al.MobileNets:efficient convolutional neural networks for mobile vision applications [C].Hawaii:Computer Vision and Pattern Recognition,2017.
[6]WANG Ying,XU Zhang.Autonomous garbage detection for intelligent urbanmanagement[C].Shanghai:MATEC Web of Conferences,2018.
[7]TAO X,ZHANG D P,WANG Z H.Detection of power line insulator defects using aerial images analyzed with convolutional neural networks[J].IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics Systems,2020,50(4):1486-1498.
[8]Girshick R.Fast R-CNN[C].IEEE:Proceedings of 2015 IEEE International Conference on Computer Vision.Santiago,2015.
[9]REN S,HE K,GIRSHICKR.Faster R-CNN: towards real time object detection with region proposal networks[J].IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence,2017,39(6):1137-1149.
[10] REDMIN J,DIVVALAS,GIRSHICK R,et al.You only look once: unified, realtime object detection[C].IEEE:2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition,2016.
[11]刘芳,韩笑.基于多尺度深度学习的自适应航拍目标检测[J].航空学报,2020,7(5):1-13.
[12]Glenn Jocher. YOLOv5: The Leader in Realime Object Detection[EB/OL].[2023-03].
[13]武张静,刘敏,史禹龙,等.语音示教十自主巡航智能垃圾分类机器人的研究与设计[J].科技创新与应用,2020(32):43-47.
[14]Gu S,Ding L.A complex-valued VGG network based deep learning algorithm for image recognition[C].Wangzhou:Proceedings of the Ninth International Conference on Intelligent Control and Information Processing,2018.

作者简介：王嘉炜（2003—），男，汉族，江西上饶人，本科在读,江西理工大学能源与机械工程学院,研究方向：机器视觉、智能控制；宁勇强（1992—），男，汉族，江西吉安人，硕士，讲师，江西理工大学能源与机械工程学院，研究方向：无线通信、机器学习。

化工机械设备腐蚀与防腐措施研究

王小涛　刘文波
内蒙古伊泰化工有限责任公司，内蒙古 鄂尔多斯 017400

[摘要]化工机械设备在长期的运行过程中，常常暴露在恶劣的工作环境中，如高温、高压、化学介质等。这些设备与各种腐蚀性物质如酸、碱、盐类化学物质接触，导致金属表面发生氧化或溶解反应，形成腐蚀现象。同时，气候变化、湿度、温差等外部因素也会加速腐蚀过程，导致设备表面产生裂纹、剥落或变形。此外，操作不当，如过载运行、维修不及时、保养不到位等，也会加剧腐蚀，进一步缩短设备的使用寿命，增加维修成本，并且严重时可能引发安全事故。
[关键词]化工机械设备；腐蚀；防腐措施；腐蚀机理；防护技术
DOI：10.33142/sca.v8i3.15793　　中图分类号：TQ050　　文献标识码：A

Research on Corrosion and Anti-corrosion Measures of Chemical Machinery Equipment

WANG Xiaotao, LIU Wenbo
Inner Mongolia Yitai Chemical Co., Ltd., Ordos, Inner Mongolia, 017400, China

Abstract: Chemical machinery and equipment are often exposed to harsh working environments such as high temperature, high pressure, and chemical media during long-term operation. These devices come into contact with various corrosive substances such as acids, bases, and salt chemicals, causing oxidation or dissolution reactions on the metal surface, resulting in corrosion phenomena. At the same time, external factors such as climate change, humidity, and temperature differences can accelerate the corrosion process, leading to cracks, peeling, or deformation on the surface of equipment. In addition, improper operation, such as overloading, untimely maintenance, and inadequate upkeep, can also exacerbate corrosion, further shorten the service life of equipment, increase maintenance costs, and in severe cases, may lead to safety accidents.
Keywords: chemical machinery and equipment; corrosion; anti-corrosion measures; corrosion mechanism; protective technology

引言

化工机械设备广泛应用于化工生产过程中的反应、混合、输送等多个环节，这些设备由于常年处于复杂的工作环境中，腐蚀问题尤为突出。腐蚀不仅会导致设备性能下降、运行不稳定，严重时甚至会导致设备故障，给企业带来巨大的经济损失。因此，研究化工机械设备的腐蚀现象及其防腐措施，尤其是针对腐蚀机理和防护技术的创新，是当前工业领域亟待解决的难题。本文将从腐蚀机理分析、防腐措施分类与选择、腐蚀监测与评估技术等多个方面，探讨化工机械设备腐蚀问题的防护策略，为提升设备的使用寿命提供理论依据。

1 化工机械设备腐蚀的机理

1.1 化学腐蚀

化学腐蚀是化工机械设备中最常见的腐蚀形式之一，这种腐蚀通常发生在金属与化学介质发生反应的过程中。当设备的表面与某些化学物质（例如酸、碱、盐等）接触时，会发生一系列的化学反应，这些反应会导致金属原子或金属离子的溶解，从而在金属表面形成一层腐蚀层[1]。

1.2 电化学腐蚀

电化学腐蚀是一种发生在金属与电解质溶液接触的环境中的现象，此时金属表面会进行一系列的氧化还原反应，这些反应导致了腐蚀产物的生成。这种类型的腐蚀在化工设备的传输管道、储罐以及其他相关部件中尤为常见。特别是在那些含有电解质的介质中，由于电解质的存在，金属表面的腐蚀过程会加速进行，从而导致腐蚀速度相对较慢。

1.3 应力腐蚀

应力腐蚀是一种复杂的材料破坏现象，它是由机械应力和腐蚀环境的共同作用所引起的。在化工行业中，设备经常需要在高温、高压的工况下运行，这些条件可能会导致材料内部产生应力集中。当这些应力集中的区域与腐蚀介质相互作用时，可能会引发裂纹的产生和扩展。这种裂纹的扩展在某些情况下会非常迅速，从而导致设备的结构完整性受到严重威胁。

2 化工机械设备防腐措施

2.1 表面涂层防腐

作为一种防腐手段，表面涂层防腐被大量采用，一般用以防止金属表面受腐蚀侵害。其原理是给设备表面抹上一层拥有防腐特性的涂料，形成一个物理隔离壁垒，以此阻拦化学介质与金属表面直接接触。表面涂层防腐可有效减弱腐蚀进程中诸如氧气、水分这类腐蚀因子的侵蚀效应，由此延长设备的使用期间。一般性的常用涂层材料有环氧

树脂、聚氨酯、氟碳涂料等，这些涂料呈现出显著的耐腐蚀性、耐高温性及耐磨性，能有效阻挡酸、碱、盐等化学介质的侵害。可依照实际应用场景的需求去选择适配的涂料种类，若处于低腐蚀环境，宜采用环氧树酯涂料，而聚氨酯涂料能够与相对恶劣的工作条件相吻合。在进行涂层施工作业的阶段中，一定得保证表面无污、涂层齐整以及固化充足，以此让防腐效果长时间维持有效[2]。

2.1.1 有机涂层

有机涂层是一种常见的防腐技术，其主要成分包括有机树脂、颜料、添加剂等。有机涂层形成致密的膜层，能够有效地隔绝金属表面与外界介质的直接接触，起到抵挡腐蚀介质的作用。有机涂层通常涵盖了多种类型，如环氧树脂、聚氨酯、酚醛树脂等，每种都具有特定的化学性能和适用环境。这些涂层不仅提供了优异的腐蚀保护，还具备良好的附着力和耐磨性，广泛应用于化工设备表面的保护。

2.2.2 金属涂层

金属涂层是一种利用金属膜覆盖在金属表面的防腐方法。常见的金属涂层包括镀锌、镀铬、镀锡等。这些金属涂层通过牺牲自身进行电化学反应，形成一层致密的氧化膜，降低了金属的腐蚀速率。金属涂层不仅提供了物理隔离，还具备自修复能力，延长了设备的使用寿命。

2.2.3 无机涂层

无机涂层主要是利用无机材料形成的保护层，如磷化、氧化等。这类涂层通常具有耐高温、耐腐蚀和耐磨损的特性。磷化涂层通过在金属表面形成磷化合物，提高了金属的硬度和耐蚀性。氧化涂层则通过在金属表面形成氧化物膜，有效地隔离了腐蚀介质。

2.2 阴极保护技术

阴极保护技术是一种采用电化学举措保护金属设备不被腐蚀的技术。该方法采用施加额外电流或采取牺牲阳极的手段，实现金属设备表面电位的转变，让金属表面进入阴极情形，以此避免氧化反应的生成。针对地下管道、储罐、海洋平台等重要设备及设施的防腐相关事宜，多数采用阴极保护技术。外加电流阴极保护采用向设备输送电流的方式达成目的，让金属表面电位比产生腐蚀的电位低，由此让设备表面成为阴极，防止金属出现腐蚀破坏；而牺牲阳极阴极保护达成其目的，是采用在设备上安装具有更低电位的金属材料（像锌、铝等）充当牺牲阳极的做法，带动腐蚀反应出现，保障主要设备不被腐蚀现象破坏。此方法尤其适用于某些难以实施涂层的设施与设备，能长期、切实地保障金属表面，减少金属遭受的腐蚀破坏。

2.3 材料选择与替换

找出具有耐腐蚀功效的材料是防腐工作里十分关键的一个环节，能切实让设备的使用期限得以延长。就容易出现腐蚀的部位而言，应依照工作环境的不同特质，筛选恰当的材料。常见地反映出耐腐蚀性能的材料涵盖不锈钢、钛合金、铝合金、塑料衬里等类别，这些材料表现出卓越的抗腐蚀实力，拥有抵御酸、碱、盐等腐蚀性介质侵害的能力，促使设备在恶劣环境中实现正常工作。不锈钢凸显出较强的抵御腐蚀能力，被大量采用在化工设备以及海洋设施方面；钛合金展现出极其卓越的抗酸碱腐蚀能力，频繁被应用在航空航天和化学工业的关键部件里面。当碰到部分有较强腐蚀性的介质时，采用塑料内衬或者涂覆防护材料同样是一种有效的防腐途径，按照实际环境情形选取相应材料，可以在成本与性能的关系之间找到最恰到好处的平衡点，以此得到最好的防腐结果[3]。

2.3.1 材料选择的基本原则

在化工机械设备的防腐设计中，材料选择的基本原则是确保材料具有良好的耐腐蚀性、耐磨性、耐高温性、耐压性以及适应工作环境的机械强度。首先，要根据化学介质的性质选择材料，例如对酸碱性质、温度范围、压力要求等进行充分了解。其次，考虑设备的机械结构，选择合适的强度和韧性，确保在工作条件下不会发生变形或断裂。同时，耐磨性也是重要考虑因素之一，尤其对于设备在搅拌、研磨等高摩擦环境中的部件。

2.3.2 常用防腐材料及其特性

常用的防腐材料包括不锈钢、耐腐蚀合金、塑料等。不锈钢具有良好的耐腐蚀性，主要包括奥氏体不锈钢、铁素体不锈钢和双相不锈钢等，适用于对抗酸碱腐蚀的场合。耐腐蚀合金如哈氏合金(Hastelloy)、蒙乃尔合金(Monel)等，因其在强腐蚀性环境中的出色表现而广泛应用。塑料材料，如聚丙烯（PP）、聚氟乙烯（PTFE）等，由于其化学惰性和耐腐蚀性，适用于对金属极为敏感的介质，同时具有轻质、绝缘等优点。

2.4 化学防腐剂的应用

化学防腐剂的应用呈现出在化学反应开展期间添加特定的某些化学物质，改变反应环境既定的属性，以此抑制腐蚀反应的萌发。这些化学防腐剂具有减轻或遏制金属与腐蚀性介质发生反应的效能，被大量运用在化工、石油、能源等行业里面。在推进化工生产操作的阶段，利用缓蚀剂极为关键，它事实上可降低金属表面跟腐蚀性介质的反应速率，保证设备不出现腐蚀破坏。经常出现的缓蚀剂由有机化学物质、无机化学物质以及部分天然或合成的高分子材料共同组成，按照合理抉择并添加化学防腐剂，可降低面临腐蚀情形的风险。尤其是在温度相对偏高、湿度相对偏大的环境状况里，可以切实提升设备的可靠性以及延长其使用时长。在和石油有一定关联的管道以及化学反应容器里，应用缓蚀剂可切实阻碍腐蚀的进展，进而可减少设备维修以及更换产生的费用。化学防腐剂的环保性能仍是需要考量的一个要点，绿色环保型缓蚀剂正缓缓成为市场的主流规格，顺应现代化工生产中对环保的高水平需求。

3 腐蚀监测与评估技术

3.1 在线腐蚀监测

在线腐蚀监测技术是一种凭借实时监视设备的腐蚀状态来提高安全性并延长设备使用阶段的重要方式。此方式涉及在化工机械设备、管道、储罐等关键部位安装上传感器，以便在腐蚀刚出现的时候能够迅速探测到并开展相关处置工作。在线监测系统按照自动化方式开展数据采集与处理工作，可实时把监测信息投送至控制中心，实时把腐蚀状态的反馈传达给工程人员。通过及时查找腐蚀的早期迹象，企业有条件在问题恶化前开展预防性手段，进而防止设备产生故障情形、减少停工的时间跨度范围、削减维修的费用开销数额，还可增进生产作业的安全稳定性。

3.2 腐蚀评估与分析

作为核心环节的腐蚀评估与分析，目的是全面掌握腐蚀过程、找出造成腐蚀的根源并为防腐措施提供科学依据。对设备及结构出现的腐蚀进行深入评估后，企业可有的放矢地采用经优化的防腐方案，进而加大设备的耐用期限，减少不必要的维修跟更换开支。腐蚀评估既可以辅助分析当前设备的腐蚀现状，还可以依靠预测分析，为未来腐蚀发展的大概走向提供依据[4]。

4 腐蚀防护技术的创新方向

4.1 智能化防腐技术

随着人工智能（AI）技术的飞速发展，智能化防腐技术正在成为工业领域中一个日益重要的研究方向，尤其是在设备与管道的维护与管理方面具有广泛应用前景。该技术的核心理念是结合 AI 算法、大数据分析、传感器技术与实时监控设备，形成智能化的防腐系统，通过持续采集和分析设备运行数据，对设备和管道的腐蚀状态进行动态监测与评估。通过大数据积累与 AI 系统的深度学习，系统能够精确识别腐蚀的初期迹象及其发展趋势，并对其进行数据建模和预测，从而有效提前识别潜在的腐蚀风险。与传统的人工巡检方式相比，智能化防腐技术能够大大提高故障预测的精准性与时效性，减少人为疏漏，避免了过度依赖人工检查可能带来的延误和不全面的问题。企业可以通过这种技术，及早采取预防措施，防止腐蚀进一步恶化导致设备停机甚至灾难性故障的发生，从而显著延长设备的使用寿命，降低维护成本，提升生产效率。最终，智能化防腐技术不仅提升了设备的可靠性与安全性，还推动了工业领域向更加智能化、精细化和高效化的方向发展。

4.2 纳米技术应用

近年来，纳米技术在材料科学领域的广泛应用推动了设备防腐技术的创新。纳米材料具备了独特的物理、化学特性，尤其在耐腐蚀性和机械性能方面表现出色。研究表明，纳米涂层通过微观结构的优化，能够有效抵抗各种腐蚀介质的侵蚀，提升材料表面的抗腐蚀能力。与传统的防腐涂层相比，纳米涂层不仅具备更强的耐磨性、抗氧化性和抗化学腐蚀性，而且其极小的粒径使得涂层更均匀且紧密，能够有效封堵表面微小的裂缝和孔隙，从而避免腐蚀源的渗透。纳米涂层的应用不仅能够显著提高设备的耐腐蚀能力，还能改善设备表面的光滑度和美观性，提升设备的耐用性和长时间使用后的外观表现。此外，纳米涂层的导热性和机械强度也是其在一些特殊环境下应用的关键优势。例如，在高温、高压或腐蚀性强的环境中，纳米涂层能够为设备提供更可靠的保护，从而延长设备的使用寿命。随着纳米技术的不断进步，预计其在防腐领域的应用将更加广泛，并在工业生产中发挥更加重要的作用[5]。

4.3 在线监测系统的建设与应用

为了确保化工机械设备的防腐效果和安全运行，建设和应用在线监测系统是至关重要的。这些系统通过实时监测设备的腐蚀状况、涂层磨损、温度、压力等关键参数，能够提前发现潜在问题并采取相应措施，从而降低维护成本和避免设备突发故障。先进的传感技术、远程监测和数据分析系统将为在线监测提供更加精准和全面的信息，使设备管理者能够迅速做出反应，确保设备的持续稳定运行。

5 结语

化工机械设备的腐蚀问题是化工生产中不可忽视的重要环节，其防腐措施的研究与实施直接关系到设备的安全运行和经济效益。本文通过分析腐蚀机理，探讨了表面涂层防腐、阴极保护、材料选择等常见的防腐技术，并结合腐蚀监测与评估技术，提出了创新的防腐防护策略。未来，随着智能化与纳米技术的不断发展，化工机械设备的防腐技术将不断取得突破，为化工行业提供更加可靠的技术保障。

[参考文献]

[1]郝盼,杨芳.化工机械典型设备的腐蚀原因与防腐措施分析[J].化纤与纺织技术,2023,52(4):94-96.
[2]安晓英.化工机械设备腐蚀原因及防腐措施浅析[J].中国机械,2023(2):101-104.
[3]刘永胜.化工机械设备腐蚀原因及其防腐措施研究[J].当代化工研究,2022(9):11-13.
[4]陈文学.化工机械设备的腐蚀原因及防腐措施[J].化工设计通讯,2021,47(10):65-66.
[5]黄美峰,杜斌,董璐璐.化工机械设备腐蚀原因及防腐措施研究[J].信息记录材料,2020,21(9):15-16.

作者简介：王小涛（1985.11—），男，民族：汉，中级工程师，学历：本科，专业：过程装备与控制工程。

新质生产力驱动下制造业数智化转型的路径与机制研究
——以秦皇岛地区为例

李媛媛　张大磊
秦皇岛职业技术学院机电工程系，河北 秦皇岛 066100

[摘要]近年来，“新质生产力”正逐渐成为新时代推动科技飞速发展和数字经济产业不断深化的核心力量。面对数字经济产业基础能力较弱、制造业“大而不强”、数字化转型存在壁垒等现状，深入实施制造强国战略，积极推进数字技术与制造业深度融合，培育融合发展新模式，实现数字经济时代制造业企业的高质量发展成为亟待解决的问题。本论文围绕新质生产力背景下制造业数智化升级所面临的机遇和挑战，提出了适应产业技术变革需求的建设思路和针对性改革措施，构建“技术-产业-组织”三位一体的数智化转型理论框架，为制造业企业提供转型路径参考。
[关键词]新质生产力；数智化；制造业
DOI：10.33142/sca.v8i3.15774　　中图分类号：F12　　文献标识码：A

Research on the Path and Mechanism of Manufacturing Industry's Digital Transformation Driven by New Quality Productivity
—Taking Qinhuangdao Area as an Example

LI Yuanyuan, ZHANG Dalei
Department of Mechanical and Electrical Engineering, Qinhuangdao Vocational and Technical College, Qinhuangdao, Hebei, 066100, China

Abstract: In recent years, "new quality productivity" has gradually become the core force driving the rapid development of technology and the continuous deepening of the digital economy industry in the new era. Faced with the current situation of weak basic capabilities in the digital economy industry, "large but not strong" manufacturing industry, and barriers to digital transformation, it is urgent to implement the strategy of building a strong manufacturing country, actively promote the deep integration of digital technology and manufacturing industry, cultivate new models of integrated development, and achieve high-quality development of manufacturing enterprises in the digital economy era. This paper focuses on the opportunities and challenges faced by the digital upgrading of the manufacturing industry under the background of new quality productivity. It proposes construction ideas and targeted reform measures to adapt to the needs of industrial technological changes, and constructs a theoretical framework for the digital transformation of "technology-industry-organization" trinity, providing a reference for the transformation path of manufacturing enterprises.
Keywords: new quality productivity; digitization; manufacturing

近年来，全球制造业竞争加剧，德国“工业 4.0”、美国“先进制造伙伴计划”、中国“制造强国”战略均指向数智化转型。2024 年《政府工作报告》将“大力推进现代化产业体系建设，加快发展新质生产力”列为 2024 年政府工作任务的首项工作任务。习近平总书记站在党和国家事业发展全局的高度，以前瞻的战略思维和深邃的历史眼光，提出了“整合科技创新资源，引领发展战略性新兴产业和未来产业，加快形成新质生产力”[1]，为我国产业转型升级、经济高质量发展提供了行动指南。

新质生产力是经济增长动能切换的必然路径。新质生产力被定义为由技术性革命突破、生产要素创新性配置、产业深度转型升级催生的，具备高科技、高效能、高质量特征的，能够实现劳动者、劳动资料、劳动对象三大跃升的先进生产力。围绕产业链供应链优化升级、积极培育新兴产业和未来产业、大力发展数字经济三大措施，新质生产力产业链可以解构为六大核心细分赛道：数字经济、高端装备、生物技术、智能电车、能源转型、未来产业。在科技创新与数字经济深度融合的背景下，以数据要素为核心驱动力的新质生产力，正加速重构制造业价值创造范式。新质生产力作为驱动制造业高阶跃迁的核心动能，其技术内核表现为人工智能、工业互联网、数字孪生等新一代信息技术的深度融合。

数智化是新型工业化的鲜明特征，制造业转型升级的重要方向，是形成新质生产力的重要途径。党的二十届三中全会提出，支持企业用数智技术改造提升传统产业。通过“人工智能+工业制造”“人工智能+生成设计”“人工智能+教育”等数智技术，推动传统产业数智化转型。数智化阶段企业需要借助大数据、AI、云计算、区块链、物联网、5G 等智能技术，建立决策机制的自优化模型，实现状态感知、实时分析、科学决策、智能化分析与管理、精

准执行的能力。根据有关机构测算，数智化转型可使制造业企业成本降低 17.6%，营收增加 22.6%，推动传统产业数智化转型是大势所趋。要以“智改数转网联”为重要抓手，打造一批 5G 工厂和数字化转型企业标杆，推动工业大数据分类分级开发利用，营造良好生态。在新一轮科技革命和产业变革背景下，数智化将带来技术革命性突破，成为赋能新质生产力的重要引擎[2]。

然而，当前我国制造业企业数智化转型普遍存在异构系统间数据壁垒问题，导致生产要素流通效率低下。主要表现为以下三重约束：其一，数字基础设施覆盖率不均衡。据工信部 2022 年统计，工业互联网平台渗透率仅 14.7%，制约生产要素全域互联[3]；其二，制造业“大而不强”矛盾突出，关键设备国产化率不足 35%，高端数控机床依赖进口，长期处于全球价值链中低端；其三，转型主体协同效能不足，中小企业因技术人才短缺、数据孤岛等问题，数字化转型达标率低于 20%。破解上述困境，结合秦皇岛地区制造业基础条件，秦皇岛地区制造业企业数智化转型需构建“技术-产业-组织”三位一体的数智化转型框架，夯实数智底座，提升数字技术供给能力。同时深化融合应用，完善生态支撑，建立“政府-企业-高校”协同机制，加快推动区制造业企业数智化转型进程。

1 利用区域优势，夯实数智底座

数智化是产业转型升级的必由之路，要抓住机遇，抢占先机，因地制宜实现科学技术的革命性突破和生产要素的数字化升级，发挥数智技术对传统产业的赋能作用。首先要夯实数智底座，以 5G、工业 PON 等新型网络覆盖产业园区，攻关工业软件、智能传感等“卡脖子”技术，解决工业网络构建、物联网系统提升等关键技术难题，进而提升数字技术供给能力。

京津冀协同发展战略实施 10 年来，秦皇岛与京津“牵手”，越来越多的产业、机构、人才随着科技创新要素的流动而逐渐涌入。京津地区有科技和人才的优势，秦皇岛则作为成果转化和产业化基地。秦皇岛市积极打造承接京津产业转移战略平台，围绕传统产业焕新和新兴产业壮大，推动一批发展潜力大、市场前景好、创新能力强的京津制造业企业落户本市，加快推进秦皇岛地区新型工业化进程。在京津冀协同发展过程中，秦皇岛市充分利用地理区位、资源、产业基础等优势，积极承接京津的产业转移和要素外溢。一些京津企业“落户”后，实现转型升级、更新换代，成为地区产业发展的新增长点。去年，京津冀 5G+工业互联网智能制造协同创新示范基地项目在海港区开工建设。基地不仅聚焦解决秦皇岛特色产业数字化转型需求，为企业提供“双碳”监测、安全监管等公共型或专业型赋能服务，也加速产业引育，吸引一批非首都功能转移和央企二三级子公司落户发展，为秦皇岛市培育输送更多工业互联网专业人才。积极加强和京津地区的科技合作，深化协同创新和产业协作，承接京津优质资源，吸纳转化京津科技成果。通过召开“央企入秦”招商专题座谈会，与二十多家央企子公司共谋新合作。

加强与京津高校、院所及重点企业的合作，完善我市承接京津科技成果转化孵化机制，提升“京津研发，秦皇岛转化”的转化质量和效率。积极洽谈争取引进清华大学高端装备界面科学与技术全国重点实验室等研发转化项目，以燕山大学校友办等高校平台为依托，针对校友企业开展“走出去、请进来”活动，推介秦皇岛投资环境，挖掘合作机会。

2 政府赋能，深化融合应用

国家层面高度重视高端装备制造业的发展，出台了一系列政策支持高端装备制造业的创新和产业化。例如，实施“高档数控机床与基础制造装备”科技重大专项，推动关键核心技术的突破。高端装备制造业正在不断向高端化、智能化、绿色化方向发展，成为推动我国经济发展的重要力量。地区政府也应结合自身现状，积极推进数智化项目落地。

党的十八大以来，秦皇岛地区高端装备制造业引领工业增长，2023 年，装备制造业增加值占规模以上工业增加值的 39.0%，成为全市工业增长的重要支撑。2024 年 1 至 10 月份，装备制造业比重进一步提升，占全市规上工业比重达到 46.9%，同比提升 8.6 个百分点[4]。中信戴卡股份有限公司的汽车轮毂智能化生产线，投资两亿多元，进一步深化了“灯塔工厂”应用成果，全面推进了轮毂毛刺铣削、AI 视觉赋能制造等 17 项工序数字化、智能化改造升级，为秦皇岛地区其它制造业企业数智化转型升级起到了很好的示范引领作用。

围绕秦皇岛市主导产业发展方向，政府出台《秦皇岛市 2024 年培育发展新质生产力行动方案》，依据新质生产力高技术、高效能、高质量的典型特征，从基础研究、核心技术攻关、产业转型升级等方面明确 9 条遴选标准，面向生命健康、新材料、汽车零部件、电子信息、高端装备制造五大产业遴选首批 25 个优质新质生产力项目。针对项目企业诉求，研究制定解决推进举措，对入库项目在项目审批、要素保障、资金支持，人才招聘、子女入学等方面给予优先支持和保障，确保项目能够顺利、高效地实施，积极培育优势项目建设，形成示范带动效应。持续提升企业研发投入水平，全力抓好高新技术企业税收减免、研发费用加计扣除等普惠型政策的落地，推动科技助企惠企政策应享尽享。积极解决企业在技术攻关、人才引育、项目申报等方面问题。推进人才强市工作，为各类人才提供最优政策、最好资源、最佳服务，形成人才与产业深度融合、城市与人才相互成就的良好局面。

3 教育先行，完善生态支撑

新质生产力孕育出新的产业，如智能制造、数字经

济、人工智能等。发展新质生产力，需要教育为科技赋能，产教融合，强化对高端技能型人才的培养，满足智能制造、绿色能源等领域的专业人才需求。发展新质生产力，迫切需要大批拔尖创新人才，同时也需要服务新型工业化道路的工程技术人才和大国工匠、能工巧匠。新质生产力的形成必然要求提高劳动者整体素质，这一要求超越了对专业知识和技能的基本需求，更加强调在创新能力、解决复杂问题能力、跨领域协作能力以及可持续发展能力等多方面能力的全面提升。这就要求高等教育在人才培养上需要培养面向现代化、信息化、智能化产业发展需求的高素质复合型技能人才，不断提升劳动者综合素质和就业竞争力，因此需要教育系统在人才培养模式方面进行重新布局。

秦皇岛市以燕山大学和东北大学秦皇岛分校为主的科研院校可以为区域制造业的智能化升级提供有力的科技力量。以秦皇岛职业技术学院和秦皇岛工业职业技术学院为代表的高职院校可以为制造业转型升级提供高质量的人才储备。秦皇岛职业技术学院在校生参加 2024 年一带一路暨金砖国家技能发展与技术创新大赛“智改数转”现场工程师集成与操作运维、AI+智能产线数字化技术应用、可编程控制器系统应用编程、机械设计 CAD、增材制造、人形机器人场景应用挑战赛、工业设计技术、工业网络智能控制钰维护等赛项，都取得了优异的成绩，培养了大批适应于新质生产力发展要求的制造业“智改数转”应用型人才，走在了全国职业院校前列。秦皇岛地区制造业企业数智化转型就需要想方设法留住这些掌握最前沿行业技术技能的优秀人才，服务区域企业，引领北方制造业的数智化转型升级，提升地方经济增长点。

深化教育、科技、人才体制综合改革，畅通教育、科技、人才的良性循环。新质生产力蕴含创新驱动、跨界融合、开放协同的发展理念，这就要求高等教育必须打破原有固化的人才培养模式，提供多样化的学习路径和丰富的学习资源，建立更加灵活开放的育人格局，实现科技人才的前瞻性培养，为制造业转型升级、绿色低碳发展、数字经济等国家重点战略部署储备高素质技能型人才。教育部门要紧跟新质生产力发展趋势，着力加强智能制造、新能源、信息技术等领域的专业布局。充分发挥驻秦高校院所优势资源，对接全市科技型企业在技术、人才等方面需求，精准助力科技成果转化。在发展新质生产力的时代背景下，高等教育决不能继续闭门造车、止步不前，必须要走出去，积极开展校企合作、产教融合，打通教育、科技、人才之间的直通道。要探索创新多元办学模式，通过开展多主体多形式的办学，促进企业深度参与高等院校人才培养方案制定、教学资源开发和专业设置等工作，鼓励依托市域产教联合体、行业产教融合共同体，紧密对接区域和产业发展需求，完善人才培养标准，鼓励校企共建产业学院、产教融合实训基地。瞄准企业生产一线实际需求，依托联合体、共同体建设区域技术创新中心和转化中心，提高技术服务和项目孵化能力，支持产教联合体、市域共同体内学校积极承接企业员工培训和继续教育，创新校企利益共享机制，既为企业提供充足的人才和技术支撑，助力企业高质量发展，又让企业能够在未来发展中得到源源不断的动力源泉，实现校企双向赋能，双向奔赴[5]。

在当前科技迅猛发展的背景下，新质生产力已成为推动经济增长和产业升级的核心动力制造业企业的价值创造活动也正在发生巨大变化。我国制造业企业在业态创新取得显著成效的同时，要强化新型基础设施建设，增强数字技术供给能力，要强调技术创新增强制造业的竞争力，通过数智化变革实现转型升级，推动制造业向高端化、绿色化、智能化方向发展，形成新的产业链和价值链。同步优化高素质人才培养体系，加强实践教学和校企合作，为制造业数智化变革提供坚实的人才保障持续加大研发投入，深入实施制造强国战略，积极推进制造业高质量发展。秦皇岛市要充分发挥地域优势，政策扶持制造业企业数智化转型升级，积极促进校企合作，力争在新的工业化改革起点实现高质量跨越式发展。

基金项目：本文系秦皇岛市社会科学界联合会 2024 年度社会科学发展发展立项课题《以新质生产力助推秦皇岛制造业数智化升级》研究成果，课题编号：2024LX186。

[参考文献]

[1]习近平.开创我国高质量发展新局面[J].求是,2024(12):4-15.
[2]惠宁,史明聪.数智赋能企业新质生产力的价值创造与溢出研究——基于中国制造业上市企业的实证检验[J].山西师大学报(社会科学版),2023(12):16-25.
[3]王海兵.数字经济驱动制造业数智化转型发展的典型范式[J].新经济导刊,2024(8):15-22.
[4]郭政.秦皇岛加快推进产业结构高端化发展[N].河北经济日报,2025-01-13(06).
[5]李恩华.基于产教融合的高职院校“三教”改革路径探索[J].河北职业教育,2023,7(4):94-97.

作者简介：李媛媛（1982—），女，河北秦皇岛人，秦皇岛职业技术学院机电工程系讲师，研究方向：机电一体化技术。

征稿

Call for Papers

《智能城市应用》由新加坡Viser Technology Ptd Ltd主办，ISSN：2717-5391(印刷)。本刊长期以来注重质量，编排规范，选稿较严格，学术水平较高，深受高校教师及科研院所研究人员的青睐。本刊为开源（Open Access）期刊，出刊的所有文章均可在全球范围内免费下载，中国知网、维普网等权威数据库收录。

期刊以“平面媒体+网络传播”方式互动，内容聚焦智能城市建设，解读行业政策，传播行业技术标准；组建权威的业内专家团队，为期刊提供精粹的观点、尖端技术解读；以科技成果传播为核心，关注自主创新，宣传展示各地智能城市建设成就；剖析各领域典型应用案例，分享最新技术理论与产品，全方位深度覆盖诸多物联网与智能城市应用领域，为相关信息化管理部门及广大设计院、系统集成商、建筑工程公司、房地产开发商、物业管理公司、产品生产厂商等相关单位提供各类参考资料。

《智能城市应用》期刊的主要栏目有：

城乡规划、市政园林、路桥与交通、通讯通信技术、施工技术、节能环保、机械机电、计算机应用技术、自动化技术、智慧数据分析、工业制造、勘察测绘等。

鼓励智能城市建设领域的专业技术人员和管理干部以及大专院校相关专业的师生和科研人员来稿，有关国家科技计划、自然科学基金和各种部门、地方、院所科技基金资助项目的文章优先发布。

征文格式与要求：

（1）论文要求：论点新颖，论证充分；设想可行，结论可靠；条理分明，书写清楚，用字规范，上交电子文件（word格式）。

（2）论文格式：题目、作者姓名、工作单位、省份及邮政编码、中英文内容摘要（150字符-300字符为宜）及关键词（3-5组为宜）、正文、参考文献。（附个人简介、邮箱、联系方式及详细收件地址，如：省、市、区、路）。

（3）论文篇幅：字符数要求在5000-8000字符之间。

投稿网址：www.viserdata.com

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 2717-5391