

AI 赋能建筑安装与消防 从“救火”到“防火”的务实转型

◎特约评论员

在中央城市工作会议精神与《关于推进新型城市基础设施建设打造韧性城市的意見》的指引下, AI 技术赋能智能建造已成为建筑业转型升级的核心驱动力。这一变革不仅提升了建筑安装工程的精度与效率,更推动消防体系从传统的“事后补救”向“事前预警”系统性跨越——这是一场关乎城市安全与人民生命的深刻革命。

长期以来,建筑安装领域面临“管线布局复杂、施工精度难控、运维效率低下”等共性难题。传统消防体系则多依赖于灾后响应,虽应急救援不断提速,但事故损失已然形成。随着城市化进程加快,建筑复杂度攀升,老旧设施隐患叠加,单纯依靠“人防+物防”已难以满足现代城市的安全需求。

AI 技术的融合应用,正为建筑安装与消防领域注入新的活力。通过“设计—施工—运维”全链条数字化协同,AI 不仅破解了安装工程的传统困局,更将消防的关口大幅前移,实现从“灾后处置”到“风险防控”的本质转变。

在设计阶段,生成式 AI 与 BIM 技术深度融合,可依据规范约束与功能需求,自动生成最优管线排布方案,提前规避冲突,减少设计变更。在施工阶段,基于计算机视觉的 AI 系统能够实时监测管道焊接质量、设备安装精度,实现毫米级误差控制,确保工程实体质量。进入运维期,依托物联网传感器与 AI 预测算法,设备运行状态得以持续监测,故障预警可提前数小时甚至数天发出,实现从“定期检修”到“预测性维护”的跨越。

在传统的城市安全架构中,消防与应急往往是“事后响应”的代名词。烟雾升起,警报响起,救援力量风驰电掣般赶赴现场,上演一场场与火魔的生死竞速。然而,在智慧城市浪潮奔涌的今天,智慧消防物联网从业者正致力于一个更宏伟的目标:让安全防护走在风险前面。通过 AI 智能的深度嫁接,可以打造一个集“消充一体化、智能消控室、基层应急管理、城市安全模型”于一体的全新模式。

然而,当前行业仍经历着“数据割裂、技术散点、人才断层”的三重困局,亟需从“概念探索”转向“务实落地”。

真正的升级,不在于堆砌智能设备,而在于将 AI 融入建筑安装与消防的全链条——让安全从“事后补救”变为“主动守护”。

尽管前景广阔,行业转型仍面临着显著短板:数据割裂,建筑全生命周期数据散落在设计、施工、运维等不同主体,缺乏统一标准与共享机制,形成“数据孤岛”,AI 分析难以获得高质量数据燃料;技术散点,不少 AI 应用仍停留在单点工具层面,缺乏与业务流、管理流的深度融合,系统集成度低,可持续运营模式尚未成熟;人才断层,兼具建筑专业、AI 技术与消防知识的复合型人才严重短缺。一线人员数字技能不足,传统培训模式难以适应快速迭代的技术需求。

推动 AI 赋能落地,需避免盲目追求“高大上”,应坚持问题导向与效果导向,可从以下几方面实施:一是打造轻量化工具包,降低应用门槛。针对中小企业成本敏感、技术基础薄弱的现实,开发模块化、低成本、易部署的 AI 工具集。例如,基于手机 APP 的安装质量校验工具、云端火灾风险自查平台等,让技术“用得上、用得起”。二是构建产教融合实训体系,弥补人才缺口。推动高职院校设立“智能建造与消防”相关专业方向,联合龙头企业共建实训基地。课程设计突出实战,利用数字孪生、VR 模拟等开展消防管道安装、应急疏散演练等场景化教学,加速培育“建筑+AI”复合型技能人才。三是创新政策激励,引导务实转型。设立“智能安装与消防应用”试点示范补贴,重点支持实效显著的项目。补贴机制可与“安装一次合格率提升”“运维成本降低”“火灾隐患下降率”等关键指标挂钩,引导企业从“为技术而技术”转向“为安全而技术”。四是推动数据贯通,筑牢智慧底座。倡导建立建筑安全数据标准体系,在保障安全与隐私前提下,推动设计、施工、运维各阶段数据有序汇聚、授权共享。鼓励构建城市级建筑安全信息平台,为风险智能研判提供数据支撑。

AI 赋能建筑安装与消防的终极目标,是让安全防护无声融入城市运行的每一刻,推动消防体系从传统的“事后补救”向“事前预警”系统性跨越,守好人民安全线。

武汉建筑业

编印单位 武汉建筑业协会

编印领导小组

组长 周圣

副组长 戴运华 李红青

组员

刘自明	王卓华	罗洪成
文武松	程理财	王洪伟
高林	陈常青	刘先成
刘炳元	王建东	匡玲
叶佳斌	孔军豪	尹向阳
吴利斌	朱小友	余祖灿
华国飞	邹勇	胡汇文
柯林君		

封面题字 叶如棠

(原城乡建设环境部部长)

印刷时间 2026年1月25日

卷首语

AI赋能建筑安装与消防 从“救火”到“防火”的务实转型

特约评论员 01

瞭望台

国家发改委:新增2000亿元 专门用于支持部分省份投资建设

孟竹 04

支持居民换购住房,三部门最新公告

财政部 04

国家多部门发声 2026年这些重点工作与建筑业相关

盛媛 05

开局即冲刺 全国多地重大工程密集开工

李苑 07

封面人物

匠心铸就“每建必优”

08

专题策划

AI赋能建筑安装与消防工程的实践探索与未来展望

10



●从“被动防护”到“主动智防”

从“被动防护”到“主动智防” AI驱动建筑安装与消防工程数字化升级

唐棣 12

人工智能背景下机器人在建筑业消防工程中的应用探析

刘凯 16

人工智能驱动建筑安装与消防工程现代化转型

余涌江 20

智能建造新篇:人工智能在安装与消防工程中的融合应用与趋势前瞻

罗俊 23

人工智能在建筑安装工程中的应用路径与效能提升研究

段红 王冰洁 郑鑫 25

●AI赋能消防专项探索

锚定智能建造导向,重塑消防工程营销新生态

邓海斌 28

——武汉市消防施工企业转型实践探讨

消防安全指导下疫情用房建筑群改造为产业园区的效益实践研究	陈运喜 31
基于 BIM 技术的建筑火灾模拟及疏散路径规划研究	刘伟 33
应急消防疏散动态标识视觉诱导有效性研究	刘伟 37
● 辅助理论研究	
纤维织物复合风管施工工法	王宗元 40
新能源背景下城市隧道消防安全性研究	刘伟 44

科思顿·洞见

建筑企业如何开展城市运营业务	彭宏 48
----------------	-------

会员之家

设计路上的传承	顾英 封宇涛 50
躬耕特高压一线 铸就专业新典范	
——浙江二建中南建设者深耕换流站建设之路	王焱栋 李绍华 52

行业论坛

评标智能化:从自动初审到可解释评分的实现路径	戚方薇 54
普话智造①政策观察《加快推进绿色智能建造产业发展实施意见》	何洪普 56

城市更新

从香港火灾到全国城市安全:	
城市建筑“老化”与“长高”的双重安全命题如何破解?	靳成娇 61

光影视界

冬日里的咸菜	梁征 66
--------	-------

文苑	65
----	----

武汉建讯

协会智能建造与建筑工业化分会2025年度	
会长办公(扩大)会在中建科工华中大区顺利召开	67
协会组织开展2025年武汉市建筑业企业创精品工程经验交流暨现场观摩会	68
“中国一冶杯”第二届武汉地区智能建造标杆项目竞赛决赛圆满落幕	69
武汉市绿色发展促进中心肖孟主任一行调研协会	70
协会法律学堂 2025 年第四讲精彩开讲	71
中交二航局荣获湖北省测绘科技进步奖一等奖	72



P08>>
匠心铸就“每建必优”

封面人物 郑柏路

编印工作小组

组长 戴运华
副组长 李红青

主要编印人员

周俊 陶凯
李明强 韩冰

其他编印人员

邓小琴	王雁	安维红
陈钢	李凌云	李胜琴
汪惠文	张汉珍	张红艳
张雄	王琼	周洪军
姚瑞飞	何洪普	程诚
周水祥	陈金琳	余旸
张盟	曹伟	陈玲
梅昱童		

地址 武汉市汉阳区武汉设计广场一栋十一楼

邮编 430056

电话 (027)85499722

投稿邮箱 whjzyxhyx@163.com

网址 http://www.whjzyxh.org

印刷数量 1500 册

发送对象 会员及关联单位

印刷单位 武汉市凯恩彩印有限公司

国家发改委： 新增2000亿元 专门用于支持部分省份投资建设

◎文 / 孟竹



日前，国家发展改革委召开新闻发布会。从会上获悉，发改委加快推动扩大有效投资政策落地实施。近期，地方政府债务结存限额中安排5000亿元，用于补充地方政府综合财力和扩大有效投资。其中，新增2000亿元专项债券额度，专门用于支持部分省份投资建设。

国家发展改革委加快推动扩大有效投资政策落地实施。近期，地方政府债务结存限额中安排了5000亿元，用于补充地方政府综合财力和扩大有效投资。其

中，新增了2000亿元专项债券额度，专门用于支持部分省份投资建设。

国家发改委将督促指导相关省份用好新增额度，加快专项债券发行使用，抓紧项目开工建设，尽快形成实物工作量。

国家发展改革委会同财政部、中国人民银行、金融监管总局、自然资源部、生态环境部等有关方面，组织国家开发银行、中国进出口银行、中国农业发展银行，加快新型政策性金融工具资

金投放。

截至目前，在各方面共同努力下，5000亿元资金已全部投放完毕，共支持2300多个项目，项目总投资约7万亿元，重点投向数字经济、人工智能、消费基础设施，以及交通、能源、地下管网建设改造等城市更新领域。

本次新型政策性金融工具加大了对经济大省的支持力度，同时还支持了一批符合条件的重要行业、重点领域民间投资项目。

支持居民换购住房，三部门最新公告

◎文 / 财政部

日前，财政部、税务总局、住房城乡建设部联合发布《关于延续实施支持居民换购住房有关个人所得税政策的公告》。

《公告》明确自2026年1月1日至2027年12月31日，对出售自有住房并在现住房出售后1年内在市场重新购买住房的纳税人，对其出售现住房已缴纳的个人所得税予以退税优惠。全文如下：

一、自2026年1月1日至2027年12月31日，对出售自有住房并在现住房出售后1年内在市场重新购买住房的纳税人，对其



出售现住房已缴纳的个人所得税予以退税优惠。其中,新购住房金额大于或等于现住房转让金额的,全部退还已缴纳的个人所得税;新购住房金额小于现住房转让金额的,按新购住房金额占现住房转让金额的比例退还出售现住房已缴纳的个人所得税。

二、本公告所称现住房转让金额为该房屋转让的市场成交价格。新购住房为新房的,购房金额为纳税人在住房城乡建设部门网签备案的购房合同中注明的成交价格;新购住房为二手房的,购房金额为

房屋的成交价格。

三、享受本公告规定优惠政策的纳税人须同时满足以下条件:

1. 纳税人出售和重新购买的住房应在同一城市范围内。同一城市范围是指同一直辖市、副省级城市、地级市(地区、州、盟)所辖全部行政区划范围。

2. 出售自有住房的纳税人与新购住房之间须直接相关,应为新购住房产权人或产权人之一。

四、符合退税优惠政策条件的纳税人

应向主管税务机关提供合法、有效的售房、购房合同和主管税务机关要求提供的其他有关材料,经主管税务机关审核后办理退税。

五、各级住房城乡建设部门应与税务部门建立信息共享机制,将本地区房屋交易合同网签备案等信息(含撤销备案信息)实时共享至当地税务部门;暂未实现信息实时共享的地区,要建立健全工作机制,确保税务部门及时获取审核退税所需的房屋交易合同备案信息。

国家多部门发声 2026年这些重点工作与建筑业相关

◎文 / 盛媛

日前,发改委、住建部、财政部等多部门召开工作会议,梳理总结2025年工作,研究部署2026年重点工作与任务,与建筑行业相关政策如下:

发改委 | 全国发展和改革工作会议

全国发展和改革工作会议强调,发展改革系统要准确把握明年经济工作的总体要求,结合职能扎实做好2026年发展改革重点工作。

多措并举促进投资止跌回稳。充分发挥“两重”建设、新增地方政府专项债券等各类政府投资资金作用,适当增加中央预算内投资规模,继续发挥新型政策性金融工具作用,不断提高投资效益。面向“十五五”谋划实施重大工程项目。进一步明确投资规则,扎实做好前期工作,加强投资项目调度。深入实施促进民间投资发展的若干措施,有效激发民间投资活力。

综合整治“内卷式”竞争和培育发展新动能。完善重点行业产能治理和重大基础设施调控,大力培育壮大新兴产业和未来产业,培育壮大若干新兴支柱产业,深化拓展“人工智能+”行动。

进一步全面深化改革。研究制定全国统一大市场建设条例,协同推进“准入、场景、要素”一体化改革。持续抓好招商引资、招标投标等方面重点问题整治,坚决破除



各类壁垒障碍。更大力度发展民营经济,大力推动民营经济促进法配套制度建设。

深入扩大高水平对外开放。稳步扩大制度型开放,统筹做好“引进来”和“走出去”,推动共建“一带一路”高质量发展。

以双碳为引领加快推进全面绿色转型。稳步实施碳排放总量和强度双控制度,完善配套制度,强化评价考核,严控新增“两高”项目。

住建部 | 全国住房城乡建设工作会议

全国住房城乡建设工作会议指出,2026年要着力抓好推进现代化人民城市建设、着力稳定房地产市场、加快建筑业

提质升级、夯实高质量发展基础支撑等4方面工作。

推进现代化人民城市建设包括:高质量开展城市更新、高质量实施“两重”“两新”项目建设、高效能推进城市治理、高标准建设文明城市、高水平推动城乡融合发展。

着力稳定房地产市场包括:因城施策控增量、去库存、优供给;进一步发挥房地产项目“白名单”制度作用;加快构建房地产发展新模式。

加快建筑业提质升级包括:推动产业转型升级、规范建筑市场秩序、强化现场监督管理。

夯实高质量发展基础支撑包括：提升法治建设水平、提升数智化水平、加强科技人才支撑、强化新闻宣传、加强国际交流合作。

财政部 | 全国财政工作会议

全国财政工作会议指出，2026年继续实施更加积极的财政政策。一是扩大财政支出盘子，确保必要支出力度。二是优化政府债券工具组合，更好发挥债券效益。三是提高转移支付资金效能，增强地方自主可用财力。四是持续优化支出结构，强化重点领域保障。五是加强财政金融协同，放大政策效能。

2026年财政工作重点任务包括：推进城乡融合和区域联动，拓展发展空间。扎实推进乡村全面振兴，积极支持以人为本的新型城镇化，促进区域协调发展；推动经济社会发展全面绿色转型，加快建设美丽中国。推进污染防治攻坚，加强生态系统保护和修复，健全绿色低碳发展支持政策，协同推进降碳、减污、扩绿、增长，增强绿色发展动能。

交通运输部 | 全国交通运输工作会议

全国交通运输工作会议强调，做好2026年交通运输工作，要坚持稳中求进、提质增效，努力在完善基础设施网络、降低全社会物流成本、培育发展新质生产力上取得新突破。

完善国家综合立体交通网。加快贯通国家综合立体交通网主骨架，大力实施交通基础设施更新和数智化改造，强化项目储备和要素保障。

提高国家重大战略服务保障能力。



推进跨区域跨流域大通道建设，加快推进城市群一体化和都市圈同城化发展，服务乡村全面振兴，全面服务保障总体国家安全。

深化交通运输对外开放合作。服务高质量共建“一带一路”，践行全球治理倡议，健全国际运输通道体系。

坚决筑牢交通运输安全稳定底线。健

全安全生产监管体系，强化自然灾害主动防御，提升基础设施本质安全水平，深化应急体系建设。

国家能源局 | 全国能源工作会议

全国能源工作会议部署2026年重点工作任务。会议强调，2026年能源工作要紧紧围绕能源发展工作主线，努力实现“十五五”发展良好开局，为中国式现代化建设提供坚强能源支撑。

高质量高标准编制实施“十五五”能源规划。全力抓好规划编制和衔接，增强能源规划的科学性、预见性和主动性，推动形成全国能源规划一盘棋。以重大项目带动能源规划落地实施，细化时间表、路线图、优先序，强化年度计划和调度。

扎实推进能源绿色低碳转型。持续提高新能源供给比重，全年新增风电、太阳能发电装机2亿千瓦以上，有序推进重大水电项目，积极安全有序发展核电，加强化石能源清洁高效利用。



开局即冲刺 全国多地重大工程密集开工

◎文 / 李苑



重大项目是稳增长、扩内需、育动能的“压舱石”，2026年新年伊始，全国多地以“开局即冲刺”的奋进姿态，掀起重大项目集中开工热潮，一批批体量大、结构优、带动强的重大工程破土动工，为“十五五”开局之年注入强劲动力。

多地掀起集中开工热潮

进入2026年，重大项目建设的“发令枪”便在各地接连鸣响。

1月1日，云南省禄丰市率先举行产业项目集中开工暨产业强市奋进年、项目建设攻坚年启动仪式，46个新项目涵盖产业升级、能源保障、基础设施等多领域，吹响了实干开年的号角。

1月4日，上海市杨浦区举行重大项目落地暨重大工程开工仪式，7项重大工程集中启动，其中“上海量子城市时空创新基地”一期工程的开工，标志着这片热土向培育新质生产力加速迈进；现场还落地签约50个重点产业项目，总投资额超200亿元。



1月5日，深圳在龙华区举行2026年项目建设现场推进会，以集中开工总投资约1573.4亿元的222个新项目为“十五五”开局起步。这些项目聚焦新兴产业、未来产业与基础设施民生补短板，76个产业项目瞄准智能制造、智慧物流等前沿领域，58个基础设施项目则兼顾传统基建与新型基础设施，为城市发展积蓄长远动能。

更多省份将“新年第一会”的主题锚定在重大项目上。河南省召开全省重大项目建设暨制造业高质量发展动员部署会，省委书记强调要统筹基建项目与产业项目，实施一批适度超前的基础设施工程，并深度对接国家产业链高质量发展行动。云南省则明确将2026年定为“项目攻坚年”，部署开展项目谋划储备、提高投资效益、强化要素保障等九大攻坚行动，坚持把产业项目作为重中之重。

交通基础设施作为稳投资的重要引擎，亦在年初发力。河南省交通运输厅日前宣布，一季度全省计划新开工交通重大项目28个、总投资约800亿元，同时在建项目170个、总投资达2695亿元。项目覆盖内河航运提速、公路畅通提质、多式联运攻坚、“人工智能+交通”等“十大行动”，旨在构建现代化综合交通体系，为一季度实现公路水路固定资产投资200亿元以上目标打下坚实基础。

政策靠前发力精准护航

围绕实现首季经济“开门红”与全年稳增长，国家和地方层面政策协同发力，

为重大项目建设提供坚实支撑。

此前，国家发展改革委已下达2026年提前批“两重”建设项目清单和中央预算内投资计划，共计约2950亿元，资金力度显著超过上年同期，旨在加快资金拨付使用节奏，形成实物工作量。此外，国家发展改革委还批复或核准了包括广州新机场、湛江至海口跨海轮渡工程、辽东半岛水资源配置工程、浙江特高压环网、怀柔实验室平台等在内的多个重大基础设施项目，总投资超过4000亿元，这些项目将进一步完善国家现代基础设施体系，为“十五五”平稳开局提供有力支撑。

地方政策举措则更加具体细化。山东省发布2026年促进经济“稳中求进、提质增效”第一批政策清单，针对“全力稳住项目投资”推出6条专项举措，包括谋划2000个省级重点项目、从省预算内投资中专列5000万元固定资产投资考核奖励资金、优化土地、碳排放等指标供给方式等。尤为引人注目的是，该省明确提出加快发展低空经济，系统谋划基础设施、装备制造和应用场景重大项目等。

业内人士指出，“开局即冲刺”形成的实物投资量将对稳定全年投资增速起到“压舱石”作用。2026年作为“十五五”开局之年，投资导向正朝着高质量发展方向深度转型，重大项目建设不仅追求规模与速度，更注重质量与效益，这为建筑业转型升级带来了历史性机遇，也对行业发展提出了更高要求。

匠心铸就“每建必优”

——记浙江中天智汇安装工程有限公司总经理郑柏路

◎文 / 浙江中天智汇安装工程有限公司 杨正锋

近三十载光阴，他从一线施工员成长为执掌二十亿规模企业的领航者，跨越数十个工程项目，他用两座“鲁班奖”铸就了品质的丰碑。从1996年踏入建筑机电安装行业至今，他亲历了中国城镇化进程的澎湃浪潮，也见证了安装行业从粗放发展到精细管理的深刻变革。而他，始终是这场变革中的坚定实践者与引领者。

郑柏路，男，1973年6月生，中共党员，高级工程师，杭州市高层次（市级）领军人才，现任浙江中天智汇安装工程有限公司党总支书记、总经理，同时担任浙江省安装行业协会十届理事会副会长、武汉建筑业协会安装与消防工程分会副会长、浙江省优秀安装质量奖评审委员会委员、拱墅区工商联（总商会）副主席等职，并入选浙江省建筑业协会、浙江省安装协会、浙江省防腐保温与设备安装管理协会专家库成员。他专注于建筑机电安装行业，带领中天智汇安装在新时期的浪潮中稳健前行。



紧扣稳盘、风控、转型，
“九三”新征程再出发
实现公司可持续盈利。

郑总在2025新年会上发言

匠心沉淀：近三十载铸就“鲁班品质”

1996年7月，郑柏路开始了他的职业生涯。近三十年间，他的足迹遍布大江南北，主持参与了一系列标志性工程的机电安装工作。杭州市第一人民医院医疗综合大楼安装工程、杭州市市民中心机电安装工程、永康一方万达广场消防工程……每一个项目，都是他对“匠心”二字的诠释。而其中，昆山文化艺术中心一期项目机电安装工程和中国人寿大厦机电安装总承包工程双双荣获中国建设工程最高荣誉——鲁班奖，成为他职业生涯中最为

闪亮的注脚之一。

“鲁班奖不是终点，而是对‘每建必优’承诺的验证。”郑柏路常常这样对团队说。在他的理念中，安装工程如同建筑的“神经网络”与“血液循环系统”，隐蔽却至关重要，任何细微的瑕疵都可能影响整体功能的实现。这种对品质的极致追求，源于他对行业特性的深刻理解。建筑机电安装是一个集技术性、协调性、复杂性于一体的专业领域，需要综合考虑管线排布、系统联动、节能环保、后期维护等多重因素。他凭借多年积累的丰富经验，形成了一套独特的技术管理方法论——超前策划、过程精品、一次成优。

在担任公司常务副总经理分管工程管理期间，他进一步将这种方法论系统化、标准化，大力推进工程管理标准化建设。从深化设计到材料选型，从施工工艺到调试运行，每个环节都建立了明确的质量控制标准，确保“每建必优”不是口号，而是可执行、可检验的行动准则。

管理之变：从“品质为先”到“转型稳盘”

2018年，郑柏路担任公司常务副总经理，主要分管工程管理。此时的中国建筑业正经历深刻调整，增量市场放缓，存量竞争加剧。他敏锐地意识到，单纯追求规模扩张的时代已经过去，精细化管理与风险防控成为企业生存发展的关键。

他主导推进的风险资产处置工作，不仅化解了历史遗留问题，更为公司建立了全面的风险预警与管控体系。他推动建立了项目全生命周期风险评估机制，从投标阶段就开始识别潜在风险，制定应对策

略，将风险管理前置化、常态化。“风险管理不是限制发展，而是为健康发展保驾护航。”郑柏路强调。

2024年1月，郑柏路正式担任公司总经理，全面主持工作。面对更加复杂多变的市场环境，他提出了“稳盘、风控、转型”六字工作主线，带领公司开启新一轮的战略调整。“稳盘不是保守，而是在不确定性中筑牢基本盘，为转型创新提供坚实支撑。”郑柏路这样阐释他的管理思路。他所说的“稳核心”，一方面是稳定公司传统的机电安装、石油化工等优势业务，确保

现金流和利润基础；另一方面是稳定核心团队，特别是项目经理队伍，因为“项目经理是公司最重要的资源”。

在他的推动下，公司一方面苦练内功，提升项目精益化管理水平，压缩成本，提高效率；另一方面强化经营，主动对接客户需求，提供从设计咨询到运维服务的全过程解决方案，增强客户粘性。2024年，在整体行业承压的背景下，公司业务与产值双双稳在20亿元以上，利税达到1.5亿元，成功稳住了基本盘，也为转型发展积蓄了能量。

党建引领：筑牢企业的“根”与“魂”

作为公司党总支书记，郑柏路始终坚信，党建做实了就是生产力，做强了就是竞争力，做细了就是凝聚力。他将党建工作与公司治理深度融合，探索出一条以高质量党建引领企业高质量发展的实践路径。通过开展形式多样的主题党日活动、技能竞赛、创先争优评比，有效激发了党员和员工的干事创业热情。

郑柏路特别注重将党的政治优势、组织优势转化为企业的发展优势。在党组织日常学习中，他一方面学习党的理论方针

政策，另一方面将上级党委精神、要求以及政府产业政策有效融入公司战略规划和日常决策。在他的主导下，公司确定了清晰的战略转型方向：在保持传统机电、石油化工领域优势的前提下，向高级民用、精细化工、综合管廊、轨道交通、城市更新等细分市场进军。党总支围绕战略转型，优化资源配置，引导技术、人才、资金向细分业务领域倾斜。

在人才队伍建设上，郑柏路主抓推行“双培”模式：把业务骨干培养成党员，

把党员培养成业务骨干。他亲自树立标杆项目经理党员，让他们在急难险重任务中挑大梁、作表率，形成强大的示范效应。同时，积极发展优秀年轻项目经理入党，不断为党组织注入新鲜血液。至2024年底，党总支61名党员中，项目经理党员达20人，占比近35%，另有15名项目经理作为入党积极分子围绕在党组织周围。这支以党员为骨干的项目经理队伍，成为公司攻坚克难、开拓市场的最可靠力量。



2025年9月19日郑总观摩公司项目



郑总与湖北分公司签订责任书

洞见未来：在变革中开辟新航道

近年来，中国经济发展进入新阶段，建筑安装行业也面临着深刻的转型升级压力。传统的大规模基建高潮逐渐平缓，“大水漫灌”式的市场机会越来越少，取而代之的就是“精准滴灌”式的细分市场需求。

“未来的竞争，不再是同质化的价格竞争，而是基于专业能力、技术积累和服务深度的差异化竞争。”郑柏路判断。正是基于这一认识，他坚定地推动公司向专精特新转型发展。

他亲自带队走访重点客户、潜在客户，了解客户需求，调研前沿技术，引进专业人才，组建专项事业部。通过一个个具体项目的落地实施，公司逐渐在高效水冷中央空调、隧道与地铁智能化、空分装置、食品智造、城市更新等细分领域中积累了业绩、树立了口碑、锻炼了队伍，更形成了可复制的技术方案和项目管理模式，可持

续发展能力显著增强。

“安装领域细分专业多，在当前市场不景气的时期持续做好专精特新发展是公司的战略方针，而做好项目经理支撑是保持战略方针的重要基础”。面对严峻挑战，郑柏路带领团队从多个维度持续做好项目经理服务工作。比如在优质人力输送方面与各项目团队做好上下衔接，打通需求供给；在创优夺杯方面，公司通过前期策划，过程把控，整体安排帮助项目经理争得荣誉，帮助团队在履历资质方面不断做好成绩积累；技术支持方面，公司专门成立了数字化建筑机电研究所和BIM技术公司，总结优化了高效水冷中央空调系统技术，机电BIM+装配式技术，食品医药智造技术，空分成套技术等为代表的的关键技术体系，更好为项目解难题，创效益。

2024年至今，中天智汇安装在郑柏

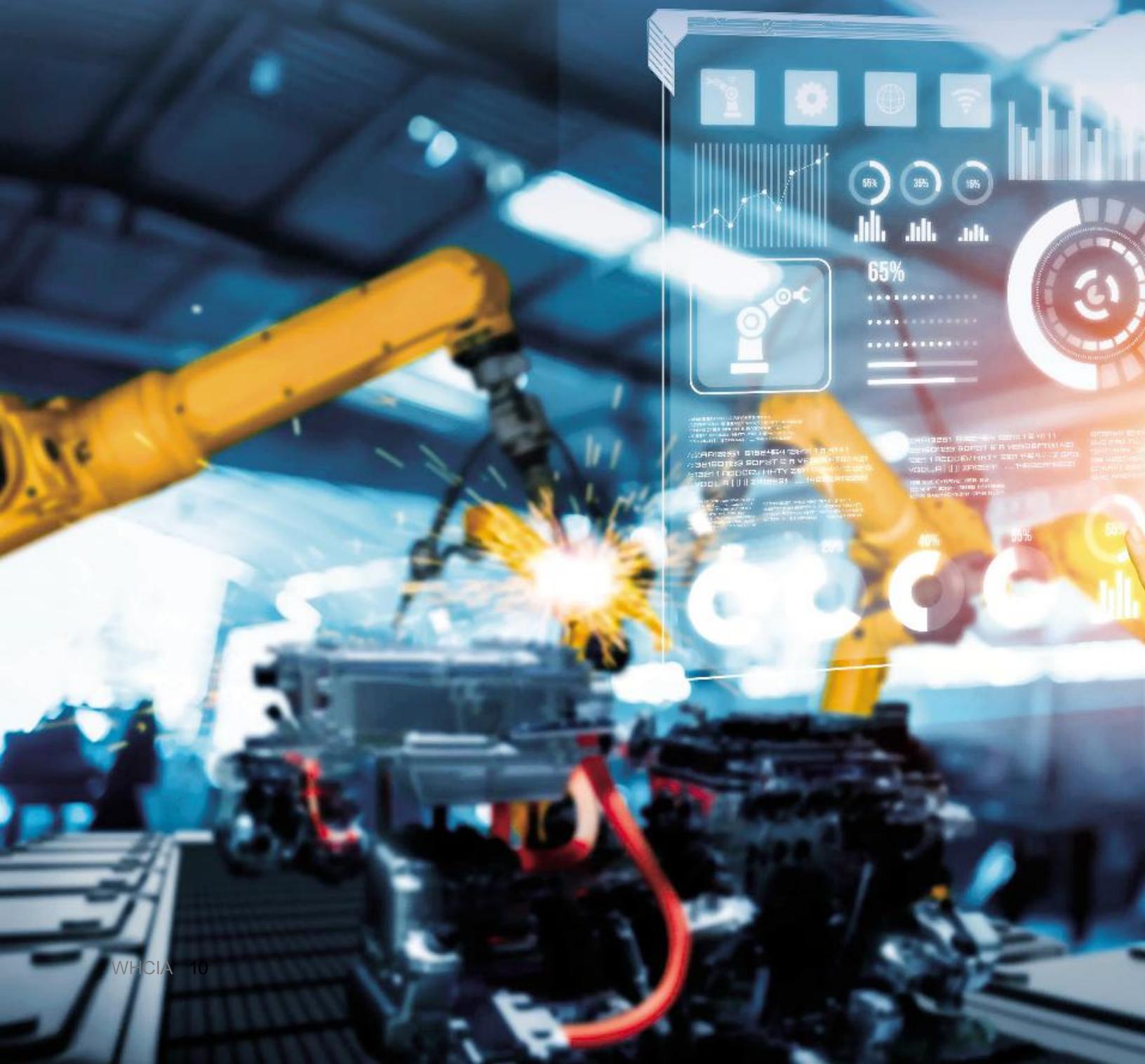
路的带领下，克服严峻市场环境下的不利因素，众志成城，不仅保持了机电安装、石油化工等传统基本盘的稳健，也同时在多条细分赛道实现关键突破。专精特新之路，正越走越宽、越走越实。

从一线施工员到企业掌舵人，从专注工程项目到谋划战略全局，郑柏路的职业生涯见证并参与了中国安装行业的现代化进程。变的是岗位与职责，不变的是对“每建必优”的执着坚守，是对行业发展的责任担当。

站在新的起点上，郑柏路目光笃定。他知道，前方的道路依然充满挑战，但一支经受过锤炼的队伍、一套行之有效的管理体系、一种融入血脉的匠心文化，以及一个把准方向的坚强党组织，正汇聚成中天智汇安装破浪前行的磅礴力量，在时代的浪潮中，稳健地驶向更加广阔的海洋。

AI 赋能建筑安装与消防工程

当前,建筑安装与消防工程行业发展环境深刻变革,政策、市场与技术革新推动升级,传统模式痛点仍存。数字化技术与传统工程技术融合是破解痛点的关键,BIM、数字孪生等技术正重构全生命周期管理;新能源、既有建筑改造等典型场景消防难题破解是行业升级重要突破口。如何利用AI技术赋能建筑安装与消防工程、实现建筑业高质量发展?



的实践探索与未来展望



●从“被动防护”到“主动智防”

从“被动防护”到“主动智防” AI 驱动建筑安装与消防工程数字化升级

◎ 文 / 湖北省工业建筑集团有限公司 唐棣

当前,建筑安装与消防工程行业正处在新旧模式交替的关键期:传统劳动力密集型模式下,管线碰撞频发、施工精度不足、安全隐患难控等痛点日益凸显;而政策引导、市场需求与技术革新的三重驱动,正推动行业向技术密集型的新质生产力转型。数字化技术与传统工程技术的深度融合,成为破解行业痛点的核心路径,BIM、数字孪生等技术正在重构工程全生命周期管理,新能源、既有建筑改造等典型场景的消防难题破解,则成为行业升级的重要突破口。展望未来,可通过技术迭代、标准规范、人才培养三大抓手协同并进,为行业高质量发展注入持久动力。

一、行业背景

建筑安装与消防工程的智能化转型,并非单纯的技术叠加,而是政策导向、市场需求与技术成熟度共同作用的必然结果。三者形成的共振效应,为 AI 技术的落地应用提供了肥沃的产业土壤。

(一) 政策从“顶层设计”到“落地考核”的全链条推动

人工智能已成为国家战略层面推动产业升级的核心引擎,在建筑与消防领域的政策部署呈现出“全国统筹、地方细化、考核倒逼”的鲜明特征。国家层面,2025 年中央一号文件明确拓展人工智能在复杂场景中的应用,国务院国资委“AI+”专项行动更是要求国资央企将 AI 发展纳入“十五五”规划核心位置,强化资金与要素支撑,为行业智能化转型定下基调。

地方层面则聚焦实操落地,形成差异化推进格局:北京依托城市大模型服务平台,将消防安全与机电运行深度嵌入“智慧城市大脑”;上海通过《上海市消防专项规划(2023—2035 年)》明确阶梯式目标,力争 2030 年消防管理智能化水平接近全球先进城市;广东更将智能消防纳入责任制考核,深圳率先部署 DeepSeek-R1 等开源大模型,把 3000 余份消防专业语料转化为一线灭火救援的实战能力,实现政策红利向战斗力的直



湖北工建承建的联投新青年·青创城项目获评“江城十大智慧工地”

接转化。“国家定方向、地方定路径、考核强落地”的政策体系为 AI 技术应用扫清了制度障碍。

(二) 市场从“被动合规”到“主动增效”的需求升级

行业需求端的逻辑切换,是 AI 技术加速渗透的核心驱动力。一方面,新兴赛道催生刚性需求:电化学储能、氢能产业链、新能源汽车充电设施等领域爆发式增长,这些场景火灾风险高、处置难度大,传统消防模式难以应对,倒逼行业采用 AI

精准预警、Pack 级智能灭火等高技术壁垒解决方案。另一方面,存量时代的城市更新、老旧小区改造等场景,面临图纸缺失、结构复杂等难题, AI 技术通过数字化巡检和预测性维护,成为延长建筑机电系统服役寿命的关键手段。

更核心的驱动来自成本与效率的硬约束。建筑安装行业长期受困于劳动力老龄化、人工成本攀升、管理粗放等问题,而上海宝冶 AI 驱动的钢结构智能制造解决方案显示,通过 AI 与智能产线的深度融

合,实现生产线人员减少 80%,生产效率提升 25%。显著的投资回报率,让行业头部企业从“观望试探”转向“战略投入”,市场需求的性质也从“满足法规底线”升级为“追求全生命周期价值最大化”。聚焦智慧消防建设,湖北工建承建的联投新青年·青创城项目获评“江城十大智慧工地”,受到媒体报道。湖北工建旗下安装公司推动人工智能与业务场景的深度融合,在客户服务、施工管理等环节注入智能化动能,构建适应新时代的核心竞争力,公司在智能机电安装、绿色能源系统、数字

化工业设备集成等领域的深厚积累与前沿技术。2025 年安装公司首次申报即成功获批“既有建筑安全监测预警工程技术中心”“智能施工与集成应用工程技术中心”两个省级平台,同时获批“湖北省企业技术中心”。

(三)技术从“工具点缀”到“核心引擎”的转型升级

数字化技术在行业中的角色已发生根本性转变。过去,BIM、传感器等技术多是设计投标的“加分项”或合规的“装饰品”;如今,以 DeepSeek 为代表的国产

大模型、数字孪生、空间语义理解为代表的技术组合,已成为破解行业痛点的核心引擎。依托这些技术,建筑安装与消防工程实现了两大跨越:一是从“静态管理”到“动态感知”的升级,通过实时监控与 AI 研判,将故障与火灾隐患消灭在萌芽状态;二是从“经验决策”到“智能辅助”的转变,利用行业大模型整合海量案例与规范,为工程师和消防指战员提供秒级决策支撑。这种以数据驱动为核心的新质生产力,正在重构行业的生产方式与管理逻辑。

二、具体实践

从设计规划到施工落地,从日常防控到应急救援,AI 技术正深度融入建筑安装与消防工程的全链条,通过场景化应用破解实际难题,形成可复制、可推广的实践范式。

(一)建筑机电安装:AI 重构“设计 - 施工 - 管控”全流程

建筑机电安装涉及暖通、给排水、强弱电等多个专业,管线复杂、作业空间受限,AI 技术的介入正实现效率与精度的双重提升。在设计端,AI 与 BIM 的协同已超越传统碰撞检查,迈向算法驱动的生成式设计。Autodesk Generative Design 等工具可基于梁底高度、维护空间等约束条件,利用遗传算法在数小时内生成数千种管线排布方案,并以“压力损失最小”“材料成本最低”为目标进行多准则优化,将原本需要数周的深化设计压缩至数天。同时,AI 结合历史气象数据与建筑物物理特性,可在设计阶段完成暖通空调系统的动态能耗模拟,通过强化学习优化设备运行逻辑,使后期能源成本明显降低。

施工环节的“具身智能”转型尤为亮眼。针对内隔墙(ALC)板材搬运难、安装精度低的行业痛点,“大疆教父”李泽湘团队领衔的卓蚁科技研发了集成 AI 视觉识别与高精度力控技术的智能安装机器人。这些机器人可精准协作完成数百公斤墙板的卸载、起板与垂直找正,更实现了从



湖北工建的项目上,无人机在自动灭火

CAD 图纸解析到机器人作业路径生成的端到端数字化流转,不仅解决了人工搬运的安全风险,更将安装精度控制在毫米级,实现施工效率翻倍。在供应链与质量管控上,AI 驱动的采购系统可解析 BIM 模型中的物料清单,结合工程进度与供应链波动预测材料需求,有力提升库存周转效率;基于 YOLO 算法的计算机视觉系统,通过巡检机器人或固定摄像头实时识别焊缝缺陷、支架间距不达标等问题,同时自动抓拍未佩戴安全帽、高空作业违规等行为,构建“监测 - 预警 - 处置 - 复查”

的闭环管理体系。

(二)智慧消防:从“被动响应”到“主动智防”的范式革新

消防安全是城市韧性的底线,AI 技术的应用正推动消防工作从“人防为主”向“智防核心”转变,覆盖设计、防控、救援三大核心场景。比如在设计阶段,香港理工大学研发的 IEPTool 智能工具,集成 CNN、LSTM、GAN 等多模态 AI 模型,可在几分钟内完成机场、高铁站等超大空间的疏散时间评估与人员密度预测,接入大语言模型后,该工具更能以“设计顾问”身

份提供出口布局优化建议，大幅降低性能化设计的专业门槛与时间成本。

在日常防控中，空间智能与数字孪生技术构建起全域感知体系。浙江大学郑航团队打造的“空间物理视觉语义大模型”，突破了传统摄像头“只看不懂”的局限，能够理解建筑物物理拓扑，构建可推演的数字孪生体。在火灾发生前，AI 可在数字空间内进行无数次风险演练；灾时则辅助指战员制定最优救援路径，实现指挥决策的数字化升级。广州开发区为 3700 台消火栓加装智能模块，通过 AI 技术实现水压实时监控、快速定位导航，印证了智能改造的实战价值。

应急救援领域的大模型应用成效显著。深圳市消防救援支队率先部署 DeepSeek-R1 开源模型，通过解析 3000 余份消防专业语料构建本地知识库，在接警调度、警情要素提取、初战调派



用于高空灭火的无人机

建议等环节提供智能支撑。天维尔消防移动指挥系统与 DeepSeek 的集成，更实现了警情关键信息秒级提炼、处置要点精

准推送与战后战力评估的全流程赋能，让指挥员上车即可掌握核心信息，决策效率大幅提升。

三、未来展望

结合中研普华产业研究院的分析预判，未来五年，随着技术迭代、模式创新与市场扩容的深度叠加，建筑安装与消防工程行业将迎来三大变革方向，AI 的赋能价值将进一步凸显。

(一)赛道扩容：新能源与特种领域成增长核心

锂电池储能、氢能产业链、大数据中心等新兴领域的火灾风险复杂特殊，传统消防技术难以应对，将催生定制化 AI 解决方案的刚性需求。具备热失控预警、多级联动灭火、防爆泄压等功能的 AI+ 消防产品，将成为未来五年的高潜力赛道。同时，城市更新持续推进，老旧建筑的消防改造、地下空间的安全管控等存量需求，将推动 AI 数字化巡检、预测性维护等技术的规模化应用，形成“存量改造 + 增量创新”的双增长格局。

(二)模式重构：“消防 + 保险”打造协同生态

随着物联网与 AI 风险评估模型的成熟，消防系统与火灾保险费率的挂钩

机制将逐步落地。智慧消防服务商将从传统的“产品销售”转向“安全运营”，通过 AI 实时监测企业安全状态、推送隐患整改建议，降低火灾发生率与保险赔付率，实现与保险公司的共赢。这种“技术服务 + 风险共担”的新模式，将重构行业的商业模式，推动消防服务从“一次性项目”向“持续性运营”转型。

(三)技术交融：低空经济与无人化处置成趋势

低空经济的爆发将为消防行业带来新的技术突破，搭载 AI 火情识别技术的无人机将成为常态化巡检工具，实现对偏远区域、高层建筑的全方位监测。在易燃易爆、建筑坍塌等危险场景，消防机器人与无人机组成的“无人作战单元”将逐步替代人工进入核心区域，通过多设备协同完成侦察、灭火、救援等任务，大幅降低人员伤亡风险。同时，AI 与 5G、数字孪生的深度融合，将实现“空地一体、虚实联动”的应急救援指挥体系，提升复杂场景下的处置效能。



四、发展建议

AI 赋能建筑安装与消防工程,既是技术革命,也是对生产关系与管理流程的重塑。当前,行业仍面临数据质量不一、复合型人才短缺、初期投入成本高等挑战,需从技术、规范、人才三个维度协同发力,破解发展瓶颈。

技术层面,要强化产学研合作创新,聚焦核心技术突破与现有系统融合,让技术真正落地见效。一方面,针对行业痛点,集中力量攻克国产大模型的行业适配、数字孪生场景应用等关键技术。比如2025年11月佛山应用全国首个公益性消防安全大模型,可适配商场人员密集的特点,实现火灾隐患智能排查、疏散路径规划;苏州轨道交通智慧场段引入数字孪生系统并嵌入AI算法,动态优化管线走向,解决了传统施工中管线碰撞多、返工成本高的问题。另一方面,推动AI工具与现有BIM、ERP系统互联互通,打破数据壁垒。以上海某超高层建筑项目为例,通过搭建统一数据中台,实现AI分析系统与设计、项目管理系统的数据同步,AI基于三维模型优化施工模拟,同时反馈质量、进度数据形成闭环管理,提升了项目管控精度。

标准规范层面,需加快建立覆盖 AI 应用全流程的标准体系,明确发展边界。当前 AI 在工程设计、施工管控、消防应急等领域的应用缺乏统一标准,导致企业技术方案差异大,数据难互通、成果难互认。相关部门应联合行业协会、龙头企业,尽快制定针对性标准与评估体系:设计阶段明确 AI 辅助管线优化、消防疏散设计的参数和验收要求;施工阶段规范 AI 视频监控、智能巡检的技术标准和数据采集规



则;应急阶段统一 AI 火灾预警、调度的响应机制和算法评估指标。同时,明确数据安全和算法伦理底线,防范安全风险。比如四川制定出台全国消防救援队伍首个 AI 应用规范《四川省消防救援总队生成式人工智能工具应用规范(试行)》,明确 AI 应用原则、权限分级等要求,为行业规范发展提供了参考。

人才培养层面,要构建“专业能力 + 数字技能”的复合型人才体系,通过“内部培养 + 外部引进”补齐人才短板。一方面,深化校企合作,优化人才培养课程。比如中建科工等企业与工科学校合作开设“智能建造”卓工班,既保留建筑安装、消防工程等核心课程,又增设 AI 基础、数字孪生应用等数字技能课程,引入企业真实项目

开展实践教学,让学生毕业就能快速适配岗位需求。另一方面,加强在岗人员培训,提升现有从业人员的 AI 工具使用能力。以上海浦东新区消防救援支队率先开展“AI+”应用培训为例,针对消防指战员开展 AI 消防装备操作培训,覆盖火灾预警系统、智能指挥平台等内容,提升了应急处置能力;中国葛洲坝电力

定期组织工程师、施工班组长参加 AI 施工管控工具培训,帮助其掌握 AI 管线碰撞检查等技能,提升了施工效率和质量。此外,积极引进数据分析师、AI 算法工程师等专业人才,组建专项团队,形成“复合型人才为主、专业技术人才为辅”的人才梯队,为 AI 技术研发和落地提供人才支撑。

五、结语

未来五年将是行业转型升级的关键窗口期。唯有精准锚定政策导向、深度挖掘场景需求、持续强化技术创新的企业,才能在智能建造与智慧消防的新赛道上抢占先机、领跑发展。

随着技术、规范、人才的协同发力, AI 将进一步释放赋能价值,为提升建筑工程效能、守护城市安全韧性、推动行业高质量发展注入强劲的科技动力。



人工智能背景下机器人 在建筑业消防工程中的应用探析

◎ 文 / 中铁大桥局 刘凯

摘要:本文主要探讨了在人工智能快速发展的背景下,机器人在建筑业消防工程中的应用。分析了机器人在建筑业消防工程中的应用背景,阐述了机器人在消防工程中火灾监测预警、消防灭火、救援救灾等方面的具体应用,并指出了当前应用面临的技术、成本、伦理等挑战。最后,针对这些挑战提出了相应的解决策略,及对未来发展方向的展望,旨在推动机器人在建筑业消防工程中的更有效应用,提高消防工程的效率和安全性。

关键词:人工智能;机器人;建筑业;消防工程

1.引言

当前,世界百年变局加速演进,新一轮科技革命和产业变革深入发展,人工智能及机器人技术作为引领未来战略方向,已成为全球大国竞争的新焦点、新赛道。在建筑业消防工程领域,传统的消防手段逐渐暴露出效率低下、危险性高、监测不及时等问题。机器人作为人工智能技术的重要载体,凭借其高精度、高稳定性、可在危险环境作业等优势,为解决这些问题提供了新的途径。研究人工智能背景下机器人在建筑业消防工程中的应用,对于提高消防工程质量、保障人员生命财产安全具有重要意义。



2.机器人在建筑业消防工程中的应用背景

2.1 人工智能技术的发展

随着科技的飞速发展,人工智能技术在各个领域得到了广泛应用。2025年,人工智能技术取得了飞速进展,以DeepSeek-R1、通义千问等为代表的国产开源大模型火爆“出圈”,反映了人工智能技术快速突破的整体现状,机器学习、深度学习技术的不断成熟,使得机器人能够更好地模拟人类的思维和行为。此外,依托上下游完备的供应链体系,人工智能产业基础不断夯实,已形成覆盖基础层、框架层、模型层、应用层协调发展的完整产业格局。通过大量的数据训练,机器人可以具备更强大的感知、分析和决策能力,为其在消防工程中的应用奠定了坚实的技术基础。

2.2 建筑业消防工程的现状

建筑业的快速发展使得建筑物的规模和复杂程度不断增加,消防工程面临的挑战越来越大。传统的消防监测主

要依赖于烟雾传感器、温度传感器等仪器设备,监测范围有限,且容易出现误报。在灭火和救援方面,消防人员需要进入危险的火灾现场,面临着极大的生命危险。因此,引入先进的技术手段,提高消防工程的高效化、智能化和安全化水平迫在眉睫。

2.3 机器人技术的进步

从机器人亮相蛇年春晚到世界机器人大会的成功举办,表明机器人技术在机械设计、传感技术、导航技术等方面取得了长足的进步,实现了从实验室到生产线的关键跨越。在产学研用的合力催化下,各种类型的机器人不断涌现,如人形机器人、四足机器人、轮式机器人、履带式机器人、飞行机器人等,能够适应不同的建筑环境和消防任务需求。机器人的操作灵活性和自主性不断提高,使其能够在复杂的火灾场景中发挥极其重要作用。



3.机器人在建筑业消防工程中的应用实践

3.1 火灾监测与预警

3.1.1 利用机器人进行智能巡检

智能巡检机器人通过搭载的多种传感器,如烟雾传感器、温度传感器、气体传感器等,实时监测建筑物内的环境参数。智能巡检机器人还配备先进的导航系统,能够实现自主定位和路径规划。通过激光雷达、视觉传感器等多种技术手段,机器人可以在复杂的环境中准确地识别自身位置,并规划出最优的巡检路径。当检测到异常情况时,机器人可以及时发出警报,并将数据传输到消防控制中心例如,在一些大型商场中,智能巡检机器人可以在夜间进行巡检,及时发现潜在的火灾隐患,避免火灾事故的发生。一些大型工程现场,由于地面施工环境复杂,可以应用机器人进行空中巡检。

3.1.2 利用无人机搭载机器人进行环境监测

无人机具有飞行灵活、视野开阔等优点,可以对建筑物的外部进行全面的监测。无人机可以搭载高清摄像机、红外热成像仪等设备,实时获取建筑物的影像信息和温度分布情况。在高层建筑火灾监测中,无人机可以快速到达火灾现场,为消防人员提供准确的火情信息。

3.1.3 利用机器人进行现场勘察

机器人搭载热成像仪、气体检测器和摄像头等先进传感器,能够穿越烟雾和浓烟迅速获取场内部的实时数据,进入人工难以到达的狭窄和危险区域,代替人类进入高温或有毒气体弥漫的环境执



行任务,保障消防人员的生命安全。例如,机器人通过远程操控功能进行侦测任务,与消防指挥中心实时通信,提供高质量的现场视频及数据,协助指挥中心进行远程指挥决策。

3.2 消防灭火

3.2.1 灭火机器人

在火灾现场,机器人可以代替消防人员进行危险的探测和灭火工作,减少人员伤亡。机器人可以根据火势和地形情况,自动选择合适的灭火方式。例如,对于一些高温、有毒、缺氧等危险环境,机器人可以自如地作业,避免了消防人员因恶劣环境而受到伤害。灭火机器人还可以通过人工智能算法,分析火势的发展趋势,调整灭火策略,提高灭火效果。

3.2.2 消防水炮机器人

消防水炮机器人可以实现远程控制和自动瞄准,能够准确地将水或灭火剂喷



射到火灾现场。在一些大型工业厂房火灾中,消防水炮机器人可以快速到达现场,对火势进行有效控制。

3.3 消防救援

3.3.1 地面救援机器人

地面救援机器人可以在火灾现场寻找被困人员,并为他们提供必要的救援物资。救援机器人可以搭载生命探测仪、通信设备等,在复杂的环境中准确地定位被困人员的位置,并将信息传递给消防人员。例如,在地震后的建筑物废墟中,救援机器人可以提供实时救援数据和信息,帮助消防人员快速找到被困人员,大大缩短搜索时间,提高救援效率。

3.3.2 高空救援机器人

高空救援机器人可以在高层建筑火灾中进行高空救援作业。高空救援机器人可以通过绳索或轨道等方式,快速到达被困人员所在的楼层,将他们安全地救出。一些机器人还具备承载救援工具和医疗设备的功能,可以在救援人员未到达前进行初步救援。此外,带有搬运清障功能的机器人可以快速清理通道,使消防人员更安全、更快速地进行救援工作。

3.3.3 高空作业机器人

在城市消防中,高空作业机器人被用于处理危险的高空作业任务,为城市消防带来了全新的解决方案。例如,高空作业机器人可以用于高层建筑火灾救援,执行高空灭火、人员疏散等任务。

4.机器人在建筑业消防工程应用中面临的挑战

4.1 技术难度挑战

4.1.1 环境适应性

建筑业的环境复杂多变，机器人需要具备良好的环境适应性。在火灾现场，存在高温、烟雾、粉尘等恶劣环境，会对机器人的传感器和电子设备造成影响，降低机器人的性能。此外，建筑物内的布局和结构也各不相同，机器人需要具备较强的导航和避障能力，才能顺利完成任务。

4.1.2 智能决策能力

虽然人工智能技术为机器人提供了一定的智能决策能力，但在复杂的火灾场景中，机器人的决策能力还存在一定的局限性。例如，在面对火势迅速蔓延、多个火源同时存在等情况时，机器人可能无法准确地判断最佳的灭火和救援方案。

4.1.3 通信技术

在火灾现场，通信环境往往比较恶劣，机器人与消防控制中心之间的通信可能会受到干扰，导致信息传输不畅。这会影响机器人的远程控制和数据传输，降低机器人的作业效率。

4.2 成本控制挑战

4.2.1 研发成本

机器人的研发需要投入大量的资金和人力，特别是在人工智能技术的应用方面，需要进行大量的实验和数据训练。研发成本的增加会导致机器人的价格居高不下，限制了其在消防工程中的广泛应用。

4.2.2 使用成本

机器人的使用和维护成本也比较高。机器人需要定期进行充电、保养和维修，

同时还需要专业的技术人员进行操作和管理。这对于一些经济条件较差的地区或企业来说，是一个不小的负担。

4.3 伦理道德挑战

4.3.1 责任界定

当机器人在消防工程中出现故障或失误时，责任的界定是一个比较复杂的问题。是机器人制造商的责任，还是使用者的责任，目前还没有明确的法律规定。这会给机器人在消防工程中的应用带来一定的风险。

4.3.2 伦理问题

在一些极端情况下，机器人的决策可能会涉及到伦理道德问题。例如，当机器人在救援过程中面临多个被困人员，但只能救援其中一部分时，如何做出决策是一个需要考虑的伦理道德问题。



5.应对挑战的策略

5.1 技术研发层面

5.1.1 加强环境适应性研究

加大对机器人环境适应性技术的研发投入，提高机器人传感器和电子设备的防护等级，增强其在恶劣环境下的稳定性。同时，开发先进的导航和避障算法，提高机器人在复杂环境中的移动能力。

5.1.2 提升智能决策能力

通过不断优化人工智能算法，提高机器人的智能决策能力。可以结合大数据分析和云计算技术，让机器人在更多的数据支持下做出更准确的决策。此外，还可以

引入人机协作机制，让消防人员与机器人进行实时交互，共同完成任务。比如，杭州市出台《杭州市具身智能机器人“强链补链”三年行动方案(2025-2027年)(征求意见稿)》。意见稿提出，加快核心关键技术攻关，强化具身智能机器人智能决策和控制技术、智算芯片和基础软件技术研究。

5.1.3 完善通信技术

研发更先进的通信技术，提高机器人与消防控制中心之间的通信稳定性和可靠性。可以采用多频段通信、自组网等技术，确保在复杂的通信环境中信息能够正常传

输。还可以使用卫星通信技术，为特种机器人提供全球范围的通信覆盖，无论在陆地、海洋还是偏远地区都能实现通信连接。这种通信方式常用于远程监控、遥感数据传输等应用。或者使用多种通信技术并联，一旦某种技术受限制，则备用通信方式立即启用，从而避免通信事故发生。

5.2 成本支持层面

5.2.1 需要政府支持

政府可以通过出台相关的政策和补贴措施，鼓励机器人制造商降低研发成本，推动机器人在消防工程中的应用。例

如,政府可以提供研发资金支持、税收优惠等政策,帮助企业减轻负担。

5.2.2 优化商业模式

机器人制造商可以探索多元化的商业模式,如租赁模式、服务外包模式等,降低用户的使用成本。用户可以根据自己的需求,选择租赁机器人或购买机器人服

务,而不是直接购买机器人设备。

5.3 伦理道德层面

5.3.1 完善相关法律法规

政府和相关部门应尽快完善有关机器人在消防工程中应用的法律法规,明确责任界定和道德准则。通过法律手段,规范机器人的研发、生产和使用,保障机器

人在消防工程中的安全可靠应用。

5.3.2 加强伦理道德训练

加强对机器人研发人员、使用者和公众的伦理训练和道德教育,提高他们的伦理道德意识。在机器人的研发过程中,要充分考虑伦理因素,确保机器人的决策符合人类的伦理道德标准。

6.建筑业消防机器人未来发展方向

建筑业消防机器人未来将向智能化、协同化、场景化三大方向深度发展,具体趋势如下:

6.1 智能化方向:AI 驱动自主决策与精准作业

多模态感知与自主导航:融合红外热成像、激光雷达、气体传感器等技术,实现复杂环境(高温、浓烟、废墟)下的精准定位与路径规划,例如青鸟“灵豹”四足机器人可在 -30℃至 60℃极端环境自主作业。

AI 决策算法升级:通过机器学习优化灭火策略,如自动识别火源类型(电气、油类)并匹配灭火介质,或构建防火隔离带防止火势蔓延。

数字孪生技术应用:结合虚拟仿真平台,实现机器人与数字模型的行为同步,辅助远程指挥与故障预测。

6.2 协同化方向:多机器人集群作战与体系融合

空地一体化协同:无人机(侦察)+地面机器人(灭火)+管廊机器人(管道巡检)形成立体救援网络,例如日本“前锋部队”系统通过多机器人联动实现火场全方位监控。

人机协同增强:机器人承担高危任务(如深入火场),消防员通过远程操控或 AI 辅助决策,提升救援效率并降低人员风险。



跨系统数据互通:接入智慧消防平台,与烟雾报警器、消防栓等设备联动,实现火情早期预警与快速响应。

6.3 场景化方向:特种需求驱动定制化发展

小型化与轻量化:微型机器人(如蛇形、四足机器人)可进入狭窄空间(废墟缝隙、地下管网)执行侦察任务,如重量仅 12 克的 MicroTug 机器人却能拖拉比它重 2000 倍,也就是 24 公斤左右的物体,

这一能力相当于人类在陆地上拖动一只蓝鲸的巨大神力。

特种场景拓展:针对化工园区、储能电站、高层建筑、核电场所、隧道施工等高危场景,开发防爆型、耐高温型、耐辐射型的作业型机器人,例如水下消防机器人用于船舶泄漏事故处理。

模块化功能集成:通过更换搭载设备(如破拆工具、急救包),实现“一机多用”,适应灭火、搜救、巡检等不同任务需求。

7.结论

人工智能背景下,机器人在建筑业消防工程中的应用具有广阔的前景。机器人的应用可以提高消防效率、保障人员安全、提升消防工程智能化水平。然而,目前机器人在应用过程中还面临着技术、成

本、伦理等方面的风险。通过加强技术研发、优化成本控制和完善伦理规范等策略,可以有效解决这些问题,推动机器人在建筑业消防工程中的更广泛应用。未来,随着人工智能技术和机器人技术的不

断进步,建筑业消防机器人将向智能化、协同化、场景化三大方向深度发展,机器人在消防工程中的应用将会更加成熟和完善,为保障人民生命财产安全发挥更大的作用。

人工智能驱动建筑安装与消防工程现代化转型

◎ 文 / 中工武大设计集团 余涌江

AI 在中国建筑业的落地速度正在加快,应用正从试点走向规模化,其与建筑安装和消防工程的深度融合,正推动这两个传统行业向智能化、高效化和精准化方向转型升级。笔者所在的中工武大设计集团有限公司坚持走“特色化、差异化和专业化”的战略发展道路,伴随着以 AI、物联网、机器人、数字孪生等技术深度融合为核心的科技浪潮的冲击和融合,行业变革正悄然上演。公司先后承接和完成多个具有代表性的续建和改扩建工程,本文试着从 AI 赋能角度谈谈新科技对于建筑安装与消防工程的实践探索和未来发展导向。

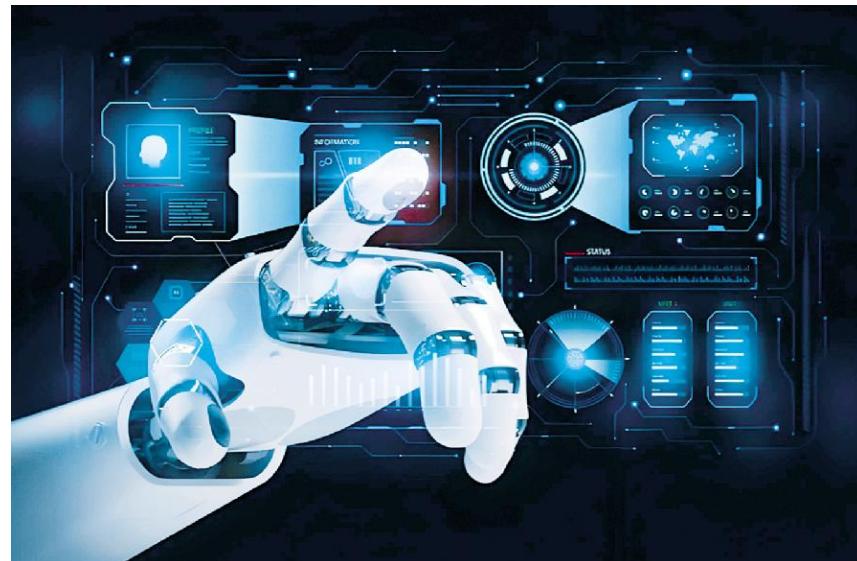
一、AI 在建筑工程中的应用

1、智能设计与深化

AI 应用于建筑工程中典型代表之一的就是智能化设计,设计师可借助 AI 技术完成大量重复性、机械化设计及深化工作,从而节省大量的精力与时间,让设计师能更多聚焦创意设计,主要体现在以下两个方面:

其一,是生成式设计。通过基于 BIM(建筑信息模型)和约束条件(如空间、规范、成本)等信息,AI 可自动生成最优化管道、风管、电气线路的排布方案,AI 技术赋能可最大程度解决“错漏碰缺”问题,减少返工。在传统模式下,依赖设计师夜以继日完成的设计图纸,最大的问题是人在精力有限及自身局限性的前提无法面面俱到、考虑周全,出现各种专业错误和矛盾比比皆是,压根无法用于指导现场施工之目的。

其二,是自动化出图与算量。借助 AI 技术,自动从 BIM 模型中生成施工图、加工图,并精确计算材料用量,极大提升设计效率和材料算量精度。科技的发展,从



来不是为了淘汰现有的设计师,而是通过技术赋能,借设计师一双慧眼和一双巧手,让设计成果更高效、更科学。

2、智慧施工与项目管理

工作之余刷抖音时,经常会碰到施工现场机器人替代工人进行作业的情景,而

且呈现愈发普及和普遍的态势。某中建企业已多次对外宣称,施工现场已基本实现全机械化和自动化作业,甚至连塔吊和人货电梯都实现“无人驾驶”。AI 技术已逐步淘汰作业工人,或者使用“淘汰”一次并不准确,是劳动力的结构断层,逼着创新者通过技术革新和技术升级,依托科技赋能,从而解决供求关系失衡的现实。如今 AI 技术已全面应用于施工现场,通过智慧化管理,不断提升管理效率和管理水平:

施工进度预测与优化:传统管理模式下,项目总工借助专业软件进行工期编排和纠偏工作,尽管宣称实现“动态”“实时”管理,但严格讲,距离“实时”监控仍有一段较长的路要走;如今,有了 AI 技术,通过分析历史数据、天气、资源供应等信息,AI 模型能预测工期延误风险,并提供动态优化方案,能实现真正意义上的“动态”和“实时”。



质量安全智能监控：施工现场，除开进度是关键控制因素之外，质量和安全也是管理者重点关注的对象。借助 AI 技术，利用现场安设的摄像头，AI 可自动识别工人是否佩戴安全装备（如安全帽、安全带），是否私自闯入危险作业区域，从而彻底解放安全员每天需耗费大量精力紧盯工人的安全操作行为，还可以自动识别火灾和烟雾隐患，第一时间发出安全警示信息，将安全隐患扼杀在萌芽中；除开安全隐患识别外，通过机器人实现自动化施工，可进行有限空间和高危区域的管道焊接、板材切割、监测等工作，不仅可以提高工作效率，还可降低高危环境的人力风险，最大程度提高安全管理效率；质量方面，通过 AI 自动化图像识别技术，可检查焊接质量、管道连接、支架安装等是否符合规范，是否满足质量标准，更大提升施工质量管理水平。

3、供应链与成本管理

对于工程项目，于企业主体而言，在满足进度、质量和安全的前提下，实现最优化供应链和成本管控，从而最大化项目利润，是管理水平提升和技术变革的源动力：



一方面，借助 AI 技术，可完成需求预测与库存优化。传统管理模式下，需求预算与库存优化全凭经验和责任心。在人工智能技术支撑下，依托大数据资源，可完成项目进度计划制定，预测材料需求，实现精准采购和库存管理，减少资金占用和浪费。

另一方面，可实现动态成本控制。在现有技术力量下，基于工程项目全过程管控思路，通过建模，实时监控人、机、料消耗，与预算对比，及时进行纠偏和预控，从而将实际资源消耗和成本管控控制在合理水平和最优化平衡状态中，如此才能实现最大化盈利。

二、AI 在消防工程中的革命性应用

旧改项目中，最突出的难点就是消防工程，通常而言，改建项目的消防工程往往具有如下其显著特点：

1. 规范适用性的矛盾：

“就高”还是“就旧”：改造后的建筑功能、高度、面积可能发生变化，原则上应按现行最新消防规范进行设计和验收。但这往往与建筑原有结构、布局产生巨大冲突。

历史遗留问题：建筑可能建造于规范不完善的年代，存在“先天不足”（如无消防车道、疏散宽度不足、结构耐火等级低等）。

2. 现场条件的严重制约：

结构限制：承重墙、梁、柱不可随意拆除或开洞，导致疏散楼梯、消防通道、管井的新增或改造极其困难。

空间限制：层高不足（无法安装标准

高度的排烟风管）、空间狭窄（设备用房无处摆放）、外墙紧邻其他建筑（无法开设自然排烟窗）。

管网限制：原有消防管道可能腐蚀、管径不足，且重新布设可能影响其他管线和使用功能。

笔者负责的一个旧改项目，始建于十年前，项目烂尾时已按原施工图纸完成主体结构和消防安装工程，如今重新恢复建设，就面临着消防工程因规范更新和政策变迁导致的诸多问题，往往令人头疼不已。如今在 AI 技术的加持下，往往能取得事半功倍的效果：

1. 智能化消防设计

火灾模拟与风险预测：基于建筑三维模型和材料数据，AI 进行更精确的火灾动力学模拟，优化疏散通道、喷淋头、探测器布局。



合规性自动审查:AI 可自动检查消防设计图纸是否符合繁多复杂的国家及地方规范,提高审查效率和准确性。

2、智慧消防系统

多传感器融合与精准报警:传统烟雾/温感探测器误报率高。AI通过分析视频、红外、气体、声音等多维度数据,能极早期、更准确地识别真实火情(如阴燃、电气火灾),区分烟雾与水蒸气、灰尘,大幅降低误报。

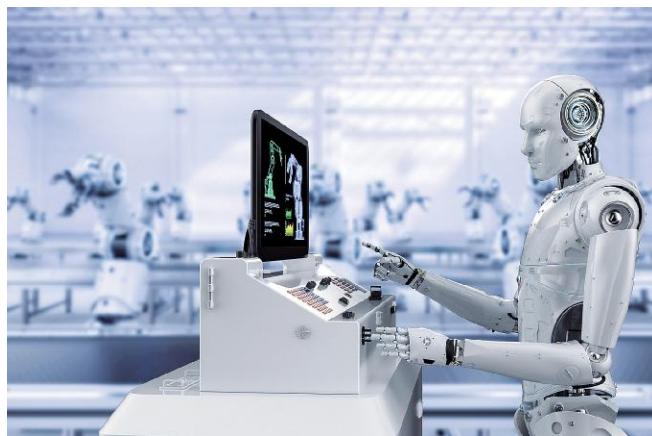
智能疏散与应急指挥:发生火灾时, AI 能根据火势蔓延的实时模拟,动态生成最优疏散路径,并通过智能指示牌、手机 APP 引导人员撤离。同时,为消防指挥中心提供决策支持(如最佳进攻路线、风险提示)。

设施状态智能巡检:利用巡检机器人或固定摄像头,AI 自动识别消防栓、灭火器、阀门的状态是否正常,替代人工巡检。

3、预测性维护与风险管理

设备健康度预测:分析消防水泵、风机、报警主机等设备的运行数据,AI 能预测故障发生时间,实现“预测性维护”,避免紧急时刻设备失灵。

城市级消防风险洞察:对于城市管理者,AI 可整合建筑信息、人口密度、历史火灾数据、气象数据等,绘制区域火灾风险热力图,优化消防站布局和资源配置。



三、面临的挑战与未来趋势

1、挑战:

尽管 AI 应用于建筑安装和消防工程,存在以上提及的诸多优势,正所谓有所“能”,必然有所“不能”,这是一体的两面性,在应用初期,存在诸多挑战,具体表现在:

①数据基础薄弱:当前行业数字化程度不一,高质量、结构化数据依然是“稀缺货”。

②系统孤岛:安装、消防、安防、BIM 等系统往往呈现孤立状态,数据难以互联互通,难以发现数据最大化价值潜力。

③成本与人才:AI 技术应用初期需投

入的成本高,一般企业仍难以承受,而且需要既懂 AI 又懂工程的复合型人才。

④标准与规范滞后:AI 技术虽发展迅猛,但当前仍属于新鲜事物,现有工程标准和验收规范尚未跟上 AI 技术的发展,相关标准与规范呈现发展滞后的状态。

2、未来趋势:

基于事物发展的客观规律而言,AI 技术存在诸多挑战,但拥抱变化,相信未来也是我一贯坚持的信仰和理念,对于 AI 技术,其未来发展趋势必定令人向往和憧憬:

数字孪生与全生命周期管理:构建与

实体建筑同步的“数字孪生体”,AI 在其中进行仿真、预测和优化,实现从设计、施工到运维的全生命周期智能管理。

自主机器人与无人化施工 / 巡检:更智能的机器人将在危险、重复性高的场景中广泛应用。

“大模型 + 工程”:垂直领域的行业大模型将成为工程师的智能助手,用于技术问答、方案生成、文档处理等。

跨系统智能融合:消防、安防、楼控、能源管理系统将深度集成,AI 作为“大脑”实现跨系统的联动决策(如火灾时自动关闭新风、打开排烟、启动疏散指引)。

结语

AI 对建筑安装和消防工程的赋能,核心是“将经验驱动转变为数据与智能驱动”。它不仅是效率工具,更是重塑安全底

线和运营模式的变革力量。对于企业而言,尽早布局数字化基础设施、积累数据资产、培养复合型团队,是在这场智能化

浪潮中赢得先机的关键。未来的建筑,将不仅是物理空间的集合,更是高度智能、安全、高效的“生命体”。

智能建造新篇：

人工智能在安装与消防工程中的融合应用与趋势前瞻

◎ 文 / 武汉弘泰建筑工程质量检测有限公司 罗俊

摘要：随着智能建造成为建筑业转型升级的核心方向，人工智能(AI)技术与安装工程、消防工程的深度融合，正成为破解行业长期痛点、驱动高质量发展的关键路径。本文系统梳理了AI核心技术(如计算机视觉、机器学习、数字孪生)在安装与消防工程全生命周期中的应用场景，并结合国内外典型工程案例，深入剖析了技术融合的内在机制与实施成效。同时，文章直面当前融合过程中在数据、标准、人才及安全伦理等方面面临的核心挑战，并以此为基础，展望了全生命周期智能化、多技术深度融合、行业标准体系化与智能监管网络化等未来发展趋势，以期为智能建造背景下相关工程领域的发展提供理论参考与实践指引。

关键词：智能建造；人工智能；安装工程；消防工程；技术融合；数字孪生

一、引言

智能建造是推动建筑业数字化转型升级的核心抓手。我国“十四五”规划及《关于推进新型城市基础设施建设打造韧性城市的指导意见》等政策文件，均明确强调要加快发展智能建造，并推动人工智能等新一代信息技术与城市基础设施的深度融合，以全面提升工程安全与治理能力。传统安装工程常面临管线布局复杂、施工精度控制难、运维管理效率低等挑战；消防工程则存在风险预警滞后、应急指挥协同不足、风险评估不够精准等痛点。在此背景下，人工智能技术凭借其强大的数据处理、模式识别、智能决策与自主学习能力，为这两大工程领域的智能化革新提供了全新的解决方案。

当前，国内外关于AI在建筑领域的研究与应用多集中于BIM协同设计、施工自动化机器人等方向，针对安装与消防工程的系统性、深度融合研究仍显分散。国际上，AI在火灾风险动态预测、基于数字孪生的性能化消防设计等领域已形成较为成熟的研究框架；国内则在智能施工装备、集成化智慧消防平台等应用层面取得了显著突破。然而，整体上仍存在技术方案与工程实际适配性不足、应用成效不均衡等问题。

二、相关理论基础与技术框架

智能建造是以数字化、网络化、智能化技术为驱动，覆盖建筑工程设计、施工、运维全生命周期的新型建设模式。其核心技术体系包括人工智能(AI)、建筑信息模型(BIM)、物联网(IoT)和数字孪生等。其中，人工智能是实现智能感知、分析、决策与优化的核心；BIM提供了贯穿全过程的、标准化的信息模型与数据基础；IoT构成了实时数据采集与物理感知的网络；数字孪生则构建了物理实体与虚拟模型双向映射、交互反馈的闭环系统。

具体而言，计算机视觉可实现施工现场的实时监控与质量自动检测；机器学习能够利用历史与实时数据训练模型，用于施工方案优化、进度预测与风险预警；自然语言处理有助于理解工程文档与规范。安装工程具有多专业交叉、系统集成度高、精度要求严的特点；消防工程则对安



全性、可靠性与响应速度有极致要求。二者的需求，与AI技术的功能特性高度契合，而BIM与IoT共同为AI

的应用提供了丰富、结构化的数据支撑，构成了“感知-数据-模型-决策”的智能建造技术基础。

三、AI 在安装与消防工程中的融合应用实践



(一) AI 在安装工程中的应用场景

1. 设计阶段：智能优化与碰撞检测。基于机器学习算法的管线综合优化软件，可自动处理 BIM 模型中的机电管线数据，进行空间冲突检测与布局优化。例如，英国索尔福德某高层项目采用 AI 设计工具，将机电系统设计时间缩短了 50%，并实现了与设计平台的无缝协同。美国某国家公园项目通过 BIM 与 AI 结合，提前识别并解决了上百处管线碰撞，避免了巨额返工成本。

2. 施工阶段：视觉监控与机器人协同。计算机视觉技术通过分析现场图像，可实时监测管道焊接质量、设备安装定位精度。国内如重庆中环万象城等项目，部署了集成 AI 视觉的施工机器人，将地面平整度误差控制在毫米级，显著提升了施工效率并降低了综合成本。厦门某项目采用“云端调度 + 机器人集群”模式，通过 AI 算法优化工序流程，在提高效率的同时实现了高空作业零事故。

3. 运维阶段：预测性维护与能效管理。AI 驱动的运维系统通过物联网传感器持续采集设备运行数据，利用算法模型预

测故障发生概率，变“事后维修”为“事前维护”。例如，榆林某项目通过数字孪生平台集成数据，AI 模型成功预警多起潜在故障，使运维响应效率提升 40%，并延长了设备使用寿命。

(二) AI 在消防工程中的应用场景

1. 设计阶段：性能化设计与模拟仿真。AI 可结合建筑信息、人员流动数据等，对火灾场景进行高精度模拟，从而优化消防设施（如喷淋头、疏散通道）的布局。基于数字孪生的性能化设计，相比传统经验性设计，能显著提升灭火与疏散方案的有效性。

2. 监测预警阶段：智能识别与早期干预。融合深度学习的视频分析系统，能够精准识别监控画面中的烟雾、火焰等特征，实现火情的极早期预警。例如，宁波智慧消防平台接入数百路监控，通过多模态 AI 算法，将初期火情识别准确率提升至 98% 以上，响应时间大幅缩短。在老旧小区改造中，部署低成本 AI 感知设备，可有效识别电动车违规充电等风险行为，防患于未然。

3. 应急指挥阶段：动态推演与辅助决策。

策。在火灾发生时，AI 可基于实时数据（如热成像、人员位置）在数字孪生模型中快速模拟火势蔓延，智能生成并动态调整最优疏散路径与救援方案。上海某超高层建筑的实践表明，AI 辅助疏散系统能提升 40% 的疏散效率。此外，消防机器人、无人机等智能装备的应用，也正在改变传统灭火救援模式，提升安全性。

(三) AI 与 BIM、数字孪生的深度融合机制

BIM、AI 与数字孪生三者正形成深度协同的有机整体。BIM 作为精准的工程数据源，为 AI 分析提供“燃料”；AI 对数据进行分析、学习与决策，反过来优化 BIM 模型与业务流程；数字孪生则构建起连接物理世界与虚拟世界的动态闭环，使得 AI 的决策能够被模拟、验证并反馈至物理实体。例如，在重庆中环万象城项目中，集成 AI 算法的三维塔吊防碰撞系统，通过数字孪生平台实时计算与预警，有效避免了高空作业冲突，保障了施工安全。腾讯云为化工园区提供的智慧消防解决方案，正是通过 BIM+AI+IoT 的融合，实现了对复杂危险场景的全面感知、智能预警与应急推演。

四、当前面临的主要挑战

(一) 技术与数据层面：工程数据存在格式不一、质量参差、互操作性差等问题，形成了“数据孤岛”，制约了 AI 模型训练与效果。同时，AI 算法的“黑箱”特性在要求高可靠性与可追溯性的工程安全场景中，存在信任与责任认定难题。

(二) 标准与人才层面：智能建造相关的技术标准、应用规范与评价体系尚不健全，滞后于技术发展速度。同时，兼具深厚工程专业知识与 AI 技术能力的复合型人才严重短缺，成为技术落地和规模化应用的瓶颈。

(三) 安全与伦理层面：工程数据蕴含

大量敏感信息，数据采集、传输与使用的安全与隐私保护风险突出。此外，当 AI 系统参与甚至主导关键决策时，事故责任如何在技术开发者、系统使用者与工程责任方之间进行清晰界定，仍是待解的法律与伦理课题。

五、未来发展趋势前瞻

- 全生命周期智能化渗透: AI 将从单点应用向设计、施工、运维全流程深度渗透, 实现跨阶段的智能决策与自主优化闭环。
- 多技术融合与集成创新: AI 将与 BIM、IoT、5G、边缘计算、区块链等技术

更紧密融合, 形成“感 - 联 - 知 - 控”一体化的智能建造解决方案。

- 标准体系与生态构建: 行业及国家层面将加速制定智能建造的数据、接口、安全与验收标准, 推动健康产业生态

的形成。

- 智能监管与治理升级: 基于 AI 和大数据的政府监管平台将逐步建立, 实现对工程项目质量、安全、碳排放等指标的实时、动态、精准监管。

六、结论

人工智能与安装工程、消防工程的融合, 是智能建造发展的必然趋势, 已在提升工程品质、效率与安全性方面展现出巨大价值。当前, 融合进程正面临数据、标准、人才与伦理等多重挑战。未来, 需通过加强“政产学研用”协同创新, 推动数据开放共享与标准体系建设, 加快复合型人才培养, 并前瞻性研究相关法规伦理框架。随着技术的持续突破与政策环境的日益完善, AI 必将更深层次地赋能安装与消防工程, 为构建安全、高效、绿色的智能建造未来提供核心驱动力。

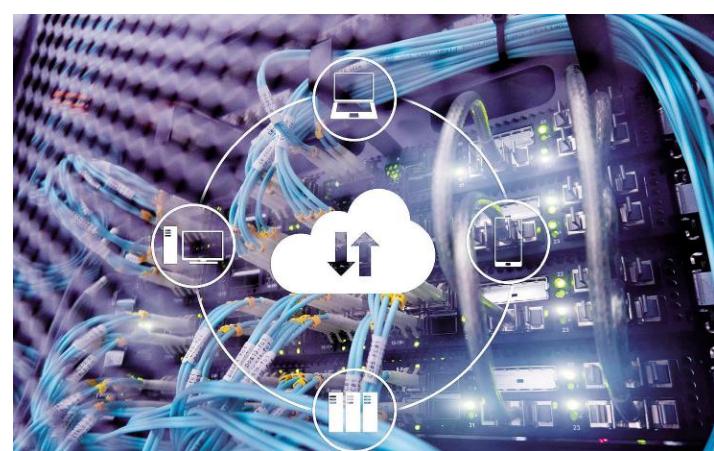


人工智能在建筑安装工程中的应用路径与效能提升研究

◎ 文 / 华润置地(武汉)有限公司 段红 武汉弘泰建筑工程质量检测有限公司 王冰洁 郑鑫

摘要:本文系统探讨了人工智能技术在建筑安装工程中的集成应用路径及其对工程效能的提升机制。研究首先剖析了建筑安装工程在数字化进程中面临的设计协同性低、施工管理粗放、质量控制依赖经验、安全风险预警滞后等核心痛点。在此基础上,文章构建了以“数据感知—智能决策—自主执行”为逻辑主线的 AI 技术应用框架,深入分析了计算机视觉、机器学习、自然语言处理及智能机器人在深化设计、施工调度、质量检测、安全监控与智能运维等关键环节的应用模式与实施路径。通过引入效能评估指标体系与典型工程案例,量化验证了 AI 技术在提升安装效率、降低返工率、优化资源配置及增强过程可控性方面的显著价值。最后,本文针对当前 AI 落地过程中面临的数据壁垒、技术融合难度、成本约束与人才短缺等挑战,提出了分层推进、标准共建、生态协同的策略建议,以期为推动建筑安装工程向智能化、精益化转型提供理论参考与实践指引。

关键词:人工智能;建筑安装工程;
应用路径;效能提升;智能建造;计算机
视觉



一、引言：建筑安装工程的智能化转型机遇与挑战

建筑安装工程作为建筑工程的重要组成部分，涵盖电气、给排水、暖通空调、消防、智能化系统等多个专业子系统，其施工质量与协同效率直接关系到建筑的整体功能、能耗水平与安全性能。长期以来，该领域普遍存在“信息孤岛”严重、工序交叉复杂、现场依赖人工经验、质量与安全管理可

控性弱等突出问题。随着新型建筑工业化与智能建造政策的持续推进，以BIM、物联网、大数据为代表的数字化技术虽已逐步渗透，但仍未从根本上实现安装过程的“感知—分析—决策—执行”闭环。

人工智能技术的迅猛发展，为破解上述瓶颈提供了全新可能。AI不仅能够处理

海量、多源的结构与非结构化工程数据，更能通过机器学习模型挖掘深层规律，实现从“经验驱动”到“数据与模型驱动”的范式转变。本文旨在系统梳理AI在建筑安装工程中的应用场景，构建清晰可行的技术集成路径，并科学评估其综合效能，以推动AI从“技术展示”走向“价值落地”。



二、AI技术在建筑安装工程中的应用场景解构

2.1 基于计算机视觉的深化设计与现场管理

在安装工程的深化设计阶段，传统二维图纸与BIM模型的碰撞检测多依赖于人工筛查，效率低且易遗漏。基于计算机视觉的AI算法可自动识别不同专业管线、设备在三维空间中的冲突，并给出优化排布方案。例如，通过训练后的神经网络模型，系统能自动推荐管道综合布局的最优解，减少弯头、节约空间。在施工现场，AI视频监控系统可实时识别工人是否佩戴安全装备、设备是否按划定区域摆放、高危作业是否合规，实现安全管理的实时预警与可视化。

2.2 基于机器学习与大数据的进度与

资源优化

安装工程涉及多工种、多工序的穿插作业，资源调度复杂。机器学习模型可通过学习历史项目数据，预测不同施工条件下的工期与资源消耗，动态优化施工进度计划。例如，利用强化学习算法模拟各种物料供应方案对整体工期的影响，自动生成抗干扰能力最强的调度方案。此外，AI可分析混凝土浇筑、设备吊装等关键节点的天气、交通等外部数据，提前预警进度风险。

2.3 基于自然语言处理(NLP)的知识管理与协同

安装工程包含大量的技术规范、图纸说明、工艺工法文本及现场沟通记录。NLP技术可自动抽取、分类与归档这些非

结构化文档，构建可检索、可关联的知识图谱。当现场技术人员遇到疑难时，可通过语音或文字快速查询类似问题的解决方案、规范条文或历史案例。AI还能自动解析设计变更指令，评估其对安装工程量、成本与工期的影响，提升协同效率。

2.4 智能机器人与自动化施工

在管道焊接、风管安装、电缆敷设、螺栓拧紧等重复性高、精度要求严或环境恶劣的工序中，智能施工机器人正逐步替代人工。搭载视觉与力觉传感器的焊接机器人，可自动识别焊缝位置并调整参数，保障焊接质量的一致性。自主移动机器人(AMR)可负责施工现场的物料定点配送，减少人工搬运强度与物流等待时间。

三、AI赋能建筑安装工程的技术集成路径

3.1 数据层：多源异构数据的采集、融合与治理

构建统一的工程数据中台，集成BIM设计数据、物联网传感器数据（如设备状态、环境温湿度）、无人机倾斜摄影数据、视

频监控流数据及传统业务系统(ERP、PM)数据。通过数据清洗、对齐与标准化，形成高质量、时空关联的“安装工程数字孪生”数据底座，为上层AI应用提供燃料。

3.2 算法层：面向典型场景的模型构

建与训练

针对不同应用场景，选择或开发适宜的AI模型：

视觉检测类：采用YOLO、Mask R-CNN等目标检测算法，用于构件识

别、缺陷检测、安全行为分析。

预测优化类:采用 LSTM 时间序列预测、随机森林、XGBoost 等算法,用于进度预测、成本分析、故障预警。

决策控制类:采用强学习、多智能体协同算法,用于动态调度、机器人路径规划。

3.3 平台层:云边协同的 AI 能力开放平台

建立“云 - 边 - 端”协同的计算架构。

云端负责复杂模型训练、大数据分析与全局优化;边缘计算节点部署在项目现场,负责实时视频分析、设备监控等低延迟任务;终端设备(如机器人、AR 眼镜)执行具体指令。通过微服务架构将 AI 能力(如图像识别 API、预测服务)模块化、服务化,供不同业务系统灵活调用。

3.4 应用层:贯穿全生命周期的智能

解决方案

围绕设计、施工、运维三个阶段,打造系列化 AI 应用:

智能深化设计助手:自动出图、碰撞报告、工程量辅助计算。

智慧工地大脑:集成进度、质量、安全、物料、人员的全景式智能监控与指挥。

预测性运维平台:基于设备运行数据预测故障,制定预防性维护计划。

四、应用效能评估:指标体系与案例分析

4.1 效能评估指标体系

为科学评估 AI 应用效果,建议从以下维度构建量化指标体系:

4.2 典型案例分析:某超高层建筑机电安装项目

在某地地标性超高层建筑项目中,实施了以“AI+IoT+BIM”为核心的智慧安装管理系统(见表 1):

1. 设计阶段:利用 AI 算法进行机电管线综合优化,将传统需要 2 个月的深化设计周期缩短至 3 周,减少管线冲突点约 40%。

2. 施工阶段:

采用计算机视觉进行管道焊接质量在线检测,缺陷识别准确率达 96%,较传

表 1

评价维度	关键指标
效率提升	深化设计周期缩短率、现场问题平均响应时间、施工效率提升百分比
质量改善	一次安装合格率、碰撞与返工率降低幅度、质量检测自动化覆盖率
成本节约	材料浪费减少率、人工成本节约率、因延误或返工导致的成本降低
安全增强	可记录安全事故率下降、高风险作业违规识别准确率与及时率
管理精细化	数据自动采集率、决策支持度、协同流程标准化水平

统抽检方式效率提升 5 倍。

基于物联网与机器学习模型动态调整大型设备吊装计划,规避了 3 次因天气和场地冲突导致的潜在停工,保障了关键路径。

安全视频监控 AI 系统自动识别未系

安全带、进入危险区域等行为,累计发出有效预警 127 次,项目实现“零重伤”事故。

3. 项目成效:项目整体工期较计划提前 8%,安装工程成本控制在预算的 97.5% 以内,业主对安装质量的满意度显著提高。

五、面临的挑战与推进策略

尽管前景广阔,但 AI 在建筑安装工程中的规模化落地仍面临多重挑战:

1. 数据壁垒与质量难题:项目间数据标准不一,数据碎片化、质量参差不齐,影响模型训练效果。

2. 技术与业务融合困境:懂 AI 的技术人员不熟悉安装工艺,而资深工程师对 AI 理解有限,导致解决方案“不接地气”。

3. 初期投入与效益平衡:AI 系统开发与部署成本较高,中小企业望而却步,

投资回报周期存在不确定性。

4. 复合型人才严重短缺:同时精通安装工程、数字化技术与 AI 算法的人才凤毛麟角。

推进策略建议:

路径分层,场景先行:优先在“质量检测”“安全监控”“物料追踪”等数据基础好、价值显性的场景突破,树立示范标杆,再逐步扩展到复杂调度与决策。

标准共建,生态协同:行业协会牵头,联合企业、高校制定安装工程 AI 数

据标准、接口规范与评价指南。鼓励软硬件厂商、施工企业、科研机构形成创新联合体。

平台赋能,降低门槛:发展面向建筑行业的低代码 AI 平台或 SaaS 服务,将通用 AI 能力(如视觉识别)封装成易用的工具,降低中小企业应用门槛。

人才双培,机制创新:在高校推动“智能建造”专业建设,在企业内部建立“业务骨干 + 数据专家”的融合团队,通过实际项目进行人才实训。

六、结论与展望

人工智能正以前所未有的深度和广度重塑建筑安装工程的技术体系与管理模式。本研究论证了通过“数据驱动、算法赋能、平台支撑、场景落地”的系统性路径,AI 能够有效破解安装工程中的协同、

质量、安全与效率瓶颈,实现显著的效能提升。未来,随着边缘计算、5G、数字孪生等技术的融合, AI 将推动安装工程向“自适应、自优化、自执行”的更高阶段演进。行业的成功转型,不仅依赖于技术本身的

进步,更取决于组织变革、标准建立与产业生态的协同进化。建筑安装工程唯有主动拥抱智能化浪潮,方能在新一轮产业变革中构筑核心竞争力,实现真正的高质量、可持续发展。

● AI 赋能消防专项探索

锚定智能建造导向，重塑消防工程营销新生态

——武汉市消防施工企业转型实践探讨

◎ 文 / 湖北省博士来科技集团有限公司 邓海斌

引言：智能建造浪潮下的行业变局

当前，我国正加快推进以数字化、智能化为引领的新型建筑工业化进程。2023年10月，住房和城乡建设部印发《关于公布智能建造试点城市（第一批）名单的通知》（建办市函〔2023〕473号），武汉成功纳入全国首批24个智能建造试点城市名单，明确要求“推动工程建设全链条数字化升级”。在此政策背景下，传统消防工程行业正经历深刻变革：客户需求已从简单的“按图施工、验收交付”模式，升级为对涵盖设计、安装、运维、数据等环节的智能消防整体解决方案的迫切需求。

但必须清醒认识到，多数本地消防施工企业仍固守“资质+关系+低价”的传统经营方式，在智能技术认知、应用场景落地、服务体系升级等方面存在明显短板，致使企业在政府智慧园区、城市更新、商业综合体等重点领域的市场竞争力持续弱化。

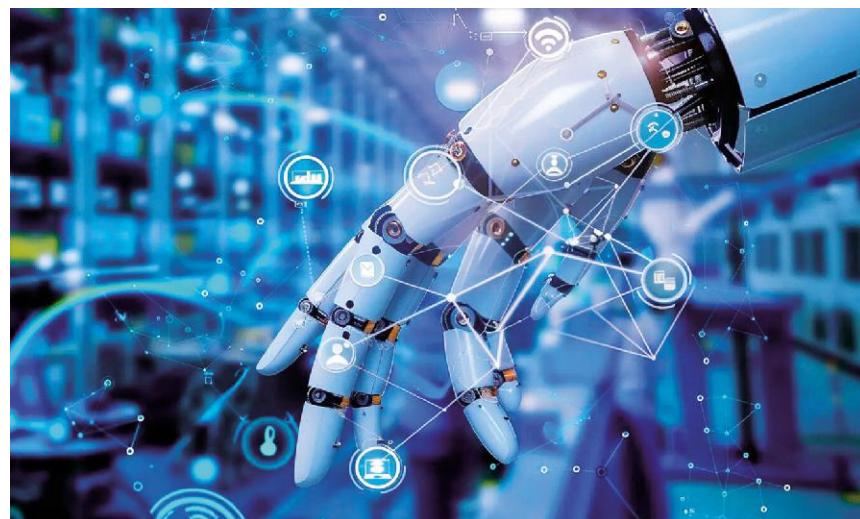
湖北省某消防科技集团公司（以下简称“企业”）准确把握政策导向与市场需求，率先实施以“智能建造”为突破口、以“客户价值”为导向的系统性转型升级。经过三年实践，其智能消防业务占比由不足10%提升至65%，客户复购率显著高于行业平均水平。本文旨在总结该企业转型升级经验，为武汉及中部地区消防施工企业转型升级提供有益借鉴。

一、政策协同：从被动合规到主动引领

智能建造既是技术创新课题，更是制度创新课题。企业若仅将政策视为约束性要求，将错失构建核心竞争壁垒的战略机遇。该企业科学实施“三步走”战略，有效将政策红利转化为市场竞争力。

一是强化资质引领，夯实准入基础。企业严格对标《武汉市智能建造试点实施方案（2023—2025年）》要求，率先取得“消防设施工程专业承包”与“建筑智能化系统设计”双资质，并在官方网站、宣传资料中设立“智能建造资质专栏”，切实提升客户对其合规能力的认知度。该举措显著增强了企业在政府及国有企业项目投标中的竞争优势。

二是推进项目融合，树立示范标杆。在某区政府中心改造项目投标过程中，企业创新性地将AI视频火情识别、物联网水压监测等智能技术模块纳入实施方案，在满足基本消防规范要求的同时，构建了“事前预警—事中联动—事后追溯”的全流程管理体系。项目成功中标后，被确定



为市级智能建造示范工程，有效带动了后续同类项目的合作拓展。

三是深化标准共建，掌握行业话语权。企业积极联合本地高等院校及设计研究机构，深度参与地方技术规范编制工作，前瞻布局技术标准体系，为未来市场

准入建立潜在壁垒。

实践启示：政策文件不仅是监管依据，更是产业转型升级的重要指引。企业应当实现从“被动适应”到“主动引领”的转变，切实将制度优势转化为品牌价值。

二、技术落地:聚焦真实场景,拒绝“为智能而智能”

智能技术若脱离工程实践,极易陷入“展厅化”困境。该企业秉持“场景驱动、实用为先”理念,聚焦三类典型应用场景,推动技术从“可用”向“好用”转型升级。

高层建筑:轻量化部署,高效响应。

针对超高层建筑布线复杂、运维困难等突出问题,企业创新采用无线传感与边缘计算融合架构,实现管线敷设量减少70%以上,火警定位精度提升40%,安装周期压缩30%。

工业园区:系统集成,提质增效。

在工业应用场景中,企业推动消防系统与安防、能源管理平台深度整合,通过统

维度	高层建筑	工业园区	商业综合体
核心痛点	布线难、维护成本高	系统孤岛、响应滞后	人流密集、疏散复杂
主要技术	无线传感+边缘计算	多系统融合中台	可视化引导+移动端交互
客户价值	安装周期缩短30%	运维人力降25%	用户安全感显著提升
典型项目周期	45天	90天	60天

一控制平台实现多系统协同运作。以某新能源汽车产业园项目为例,客户运维人力成本降低25%,成为深化合作的重要基础。

商业综合体:体验优化,灵活适配。

针对商场、酒店等人员密集场所特点,企业重点开发可视化疏散引导、移动端报修等人性化功能,切实提升终端用户

安全感。这种可感知的价值创造显著增强了业主的采购决策意愿。

在此基础上,企业同步优化营销策略:从单纯强调“符合GB50xxx规范”,转向突出“系统可使物业年度运维成本降低XX万元”,实现技术参数向商业价值的有效转化。

三、市场深耕:立足本土,构建精准触达网络

武汉“1+6”城市圈格局为企业提供了天然试验场。该企业摒弃广撒网式营销,构建“区域—客户—生态”三层深耕体系。

区域网格化,服务属地化。

以武汉三镇为核心,划分6个营销责

任区,每个区域配置“技术+商务”双岗团队,确保48小时内现场响应。

客户分层运营,价值精准匹配。

政府类客户:主打“安全+政绩”双价值;

开发商/物业:强调“降本+体验”;

工业客户:聚焦“合规+连续生产”。
生态合作破圈,拓展能力边界。

企业牵头成立“武汉智能建造消防协作小组”,联合BIM咨询公司、智慧楼宇集成商等,共享资源与接口,从单一供应商升级为生态伙伴。

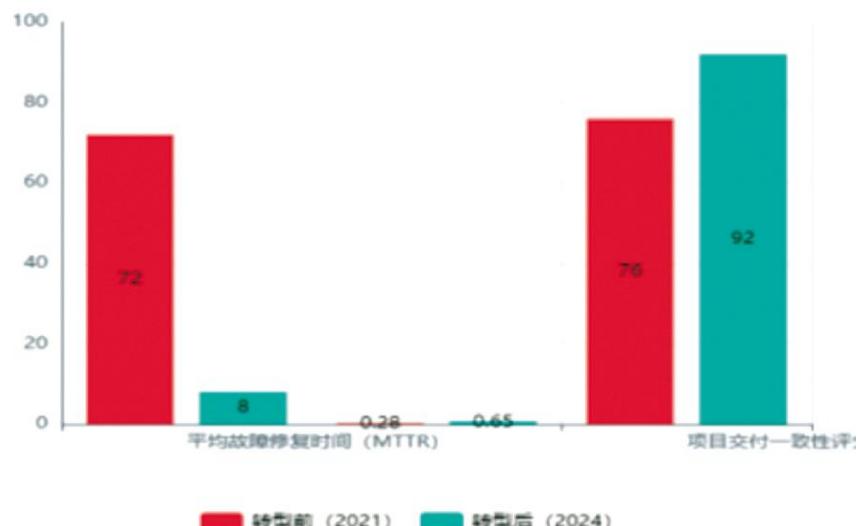
四、服务升级:从“交付终点”到“价值起点”

在智能建造蓬勃发展的全新时代背景下,营销的最终目标和核心理念已经转变为助力客户取得成功。这家具有前瞻视野的企业,将自身的服务范畴大幅度前置,延伸至“全生命周期价值管理”的高度。为了达成这一宏伟目标,企业精心构建了一套标准化的交付流程体系。

其中最具代表性的举措是制定了《智能消防项目交付九步法》,这套方法论系统地涵盖了从最初的需求诊断分析、BIM协同设计,到后期的联合调试等多个关键环节,通过严谨的流程管控确保每个项目的交付质量始终保持高度一致性,让客户能够获得稳定可靠的服务体验。

同时,企业还创新性地打造了主动式运维体系。依托自主研发的智能运维平台,实现了对设备运行状态的全天候实时监测,并能够自动完成故障派单等智能化操作。得益于此,客户的平均故障修复时

企业转型前后关键指标对比分析



间(MTTR)从原来的72小时大幅缩短至仅需8小时,极大地提升了服务效率和客户满意度。

在增值服务方面,企业更是不断拓展业务边界,推出了诸如“年度健康体检”、“应急演练托管”等一系列定制化服务包。

这些贴心的服务项目深受客户欢迎,使得企业的年复购率高达 65%。正如一位长期合作的客户所言:“现在我们每个月都能收到详细的服务报告,他们真正成为了我们值得信赖的安全伙伴。”

除此之外,企业还创造性地建立了“口碑裂变”机制:每当完成一个具有示范意义的标杆项目后,都会诚挚邀请客户参与行业观摩活动或协助录制成功案例视频。通过这种创新方式,形成了“优质交付—口碑传播—新客户获取”的良性循环,让企业的品牌影响力和服务价值得以持续扩大和深化。



五、支撑体系:组织与人才是转型根基

上述策略若想有效地在实际工作中得到真正的实施和落地,必然需要依靠强大且坚实的内部支撑体系作为保障,这是确保各项措施能够产生预期效果的关键所在。

组织必须向着更加敏捷化的方向进行变革和发展。为了实现这一目标,可以专门成立一个被称为“智能营销中心”的全新部门,这个中心的建立旨在彻底打破以往长期存在于各个部门之间的沟通壁垒与隔阂,也就是所谓的“部门墙”,从而促进不同部门之间更为顺畅、高效的协作与信息共享。同时,还应当设立名为“场景创新实

验室”的特殊机构,它的主要职能在于能够以最快的速度对各种新兴的方案进行严谨而有效的验证,以便及时筛选出最具可行性和创新性的方案并加以推广运用。

人才方面则要朝着复合化的趋势进行培养和塑造。具体而言,可以推行一种将“消防工程师”专业资质与“数字化技能”相结合的双认证制度,这种双认证模式有助于提升员工在多领域的综合能力。与此同时,积极与本地的高等院校展开深度合作,共同建设具有实战意义的实训基地,通过理论与实践相结合的方式,在未来三年的时间里,精心培育出大约 50 名

符合新时代要求的“新消防人”,他们将具备传统消防知识与现代数字化技术相融合的独特优势。

在激励机制上,要注重实现价值化的目标导向。针对销售岗位的考核标准,不能再仅仅局限于传统的销售额等单一指标,而是应当综合考虑客户满意度、客户的复购率以及智能方案在整体销售中所占的比例等多项重要指标。通过这样的多元化考核方式,可以有效地引导整个销售团队转变观念,从过去单纯追求短期利益转变为更加关注企业的长期价值创造,进而推动企业在可持续发展的道路上稳步前行。

结语:迈向“智能服务型”消防企业

武汉市消防施工企业的转型实践表明:在智能建造浪潮下,营销的本质已从“卖工程”转向“卖解决方案”,从“一次性交易”转向“持续价值共创”。唯有以政策为帆、技术为桨、市场为舵、服务为锚,并辅以组织与人才的坚实底座,方能在新生态中行稳致远。

当前,武汉正加快建设具有全国影响力的科技创新中心,智能建造将成为建筑业高质量发展的核心引擎。消防工程作为城市安全的重要屏障,理应走在转型前列。期待更多本地企业锚定智能建造导向,共同重塑武汉消防工程营销新生态,为全国智能建造试点贡献“武汉方案”。



消防安全指导下疫情用房建筑群改造 为产业园区的效益实践研究

◎ 文 / 武汉泓泰消防技术服务有限公司 陈运喜

摘要

针对武汉市硚口区疫情医学应急用房建筑群闲置后功能转型需求,结合本人在消防安全领域的实际工作经验,从消防安全隐患排查、消防设施功能检测、消防安全管理及消防设施维保,提出改造设计、施工指导到运营体系建立的全流程技术途径。针对性的通过消防工程升级,及消防安全管理,形成了为硚口区招商引资的数智文化产业园,不仅盘活了大量国有闲置资产,带来了可观的经济效益,更通过标准化消防安全管理模式保障园区安全运营,为同类医学应急项目提供了良好的“安全+效益”协同发展实践示例。

一、引言

2020年武汉发生新冠疫情后,各地紧急抓紧建造针对的疫情应急隔离用房、临时医疗用房等,在疫情防控常态化后逐渐进入闲置状态。此类建筑因初始定位为“应急功能”,普遍存在消防安全标准偏低(如消防设施简化、防火分隔不满足消防规范需求等)、功能布局与产业园区不匹配等问题,若直接转型使用易引发消防安全风险。

本人作为消防行业领域一级消防安全工程师,作为技术骨干,受硚口区城建集团委托,全程参与消防安全改造升级指导工作。项目核心目标是通过专业化消防安全指导,解决该建筑群体的安全转型难题,同时助力园区招商引资,实现“安全第一、效益并举”的双重目标。本文结合该项目实际情况,多次请教武汉市消防安全领域专家及住建、消防救援政府职能部门领导,并邀请亲临现场消防安全指导,为应急项目转型提供参考。

二、项目背景与消防安全核心问题

(一)项目基础概况

该产业园区建筑建成年份2022年,项目原设置为硚口区集中隔离医学观察点,属于公共性质的政府部门特殊应急项目。建筑模式采用轻钢结构与模块化拼装工艺,主要用于疫时非确诊人员的医学观察(非医疗救治功能),2023年区政府规划将其转型为“硚口区微+空间数智产业园”,产业园1号楼为文化中心,集商业、办公、会议、会展等综合功能空间;2、5、6、7号楼为办公楼;3号楼为酒店式公寓;4号楼为培训艺校。微+空间聚焦花园办公、商业街区、会议会展、文化创意、数智集群和酒店公寓六大功能,积极招徕数智经济、智慧产业及文化创意产业等,致力于构建一个多元、包容的智慧集合型企业社区。

(二)改造前消防安全核心问题

针对区级疫情应急用房建筑群闲置后功能转型需求,结合本人在消防安全领域的实际工作经验,首先以消防技术标准和消防设计文件相关要求对该项目进行整体性消防安全评估,发现问题,解决问题。综合起来看该项目存在四大核心安全隐患,直接制约转型使用。

1.建筑主要构件燃烧性能和耐火极限不达标:常规建筑一般采用钢混结构,耐火极限按消防设计图纸施工基本能满足要求,该项目轻钢结构与模块化拼装工艺,耐火极限需经专业机构检测才能得判定是否合格;



2、消防设施严重损坏,部分不具备灭火功能:消防给水系统管网压力不足或根本无水无压,湿式报警阀组无排水措施,测试时功能不满足要求,屋顶部分试验栓缺失,无水无压等、消防水泵无法自动启动、无法直线启动,稳压设施故障,部分商铺因改造自动喷水灭火系统拆除或吊顶后未引下喷,自动喷水灭火系统不能正常运行、火灾自动报警系统大面积瘫痪,消防主机显示大面积“故障”、“屏蔽”等异常,疏散应急照明及疏散指示大面积故障,消防配电线路未做防火保护,疏散楼梯间可开启外窗不便于操作,电动挡烟垂臂无法联动;

3、防火封堵不到位:大面积管井及水井和墙体孔洞未采取防火封堵或封堵不符合要求,电缆无盖板;

4、运维体系缺失:疫情过后该建筑停用后,消防设施长期未检修,管道锈蚀、电气线路老化问题突出,无专业消防安全管理团队,无专业消防维保厂商进行消防设施维护保养。

三、本人主导的消防安全指导实践路径

针对上述问题,本人以“消防技术标准和消防设计文件相关要求”为前提,“最大限度降本增效”为原则,构建“评估 - 设计 - 施工 - 运营”四阶段消防安全指导体系,全程介入项目决策与实施。

(一)第一阶段:全面评估,首先解决核心问题

首先带领消防技术团队对该项目进行整体性消防安全评估,从建筑消防的合法性手续文件、建筑类别与耐火极限、总平面布局、平面布置、建筑外墙、屋面保温和建筑外墙装饰、建筑内部装修防火、防火分隔、安全疏散、消防设施、消防安全管理等多层次全方位、每栋每层建筑进行全面诊断,共发现不符合项 35 项。

(二)第二阶段:设计优化,平衡安全与效益

进行全面消防安全全面评估后,积极组织单位召开座谈会,共同探讨商确改造计划。建筑主要构件燃烧性能和耐火极限方面:对钢构主要构件及外露部分重新按要求刷防火漆,并定期检查维护,发现缺损或涂层脱落,及时进行维修。园区责任部门已出具承诺书委托专业的检测机构对建筑结构的耐火极限进行检测,并定期复检,该项工作已在积极推进中,建议取得建筑结构耐火极限检测合格报告后方可投入使用。

消防设施升级:

给水系统:请专业消防维保团队全面检修,逐一排队故障确保消火栓与自动喷水灭火系统供水可靠;

报警与灭火系统:全面对火灾自动报警系统进行单点启动和联动测试,确保声光报警系统、疏散应急照明系统、防排烟系统等功能满足要求;全面测试消防给水系统手动、自动功能,消火栓及自动喷水灭火系统压力与流量,确保满足要求。

消防供配电系统:消防控制室、消防水泵房的消防用电设备及供电进行全面升级改造,确保其消防供配电系统形成双电源回



路,并在其配电线路的最末一级配电箱处能自动切换。

(三)第三阶段:施工管控,保障改造质量

建立“每日巡查 + 每周验收”机制:本人带领技术团队每日驻场,重点检查消防管道压力测试、电气线路穿管保护、防火材料燃烧性能等关键环节,累计提出整改意见 35 条,确保施工符合设计与规范要求;

开展施工期间消防安全培训:针对施工单位人员,组织 5 场消防技能培训,重点讲解临时用电安全、动火作业审批流程,避免改造期间发生安全事故。

(四)第四阶段:运营赋能,建立长效安全体系

指导园区运营方制定《消防安全管理制度》,按照谁管理、谁负责的原则进行消防管理范围及责任划分,做到纵向到底、横向到边,使的消防工作真正落到实处,具体到个人签订责任体系,要求入驻企业签订《消防安全承诺书》;

协助组建园区志愿消防队伍,配备园区微型消防站。每半年组织 1 次联合应急演练,一旦发生火情事故,第一时间开展自救,将初期火灾消灭在萌芽状态;

协助园区引进专业消防维保厂商,定期对消防设施进行点检、检测、维保,消控室实行行 24 小时由持证人员值班。

四、项目改造后的经济效益与社会效益

(一) 经济效益:从“闲置资产”到“招商载体”

缩短改造周期,降低综合成本:通过本人提前介入的消防安全指导,避免了“设计 - 施工 - 返工”的恶性循环,改造周期较原计划缩短 60 天,直接节约成本 50 万元;

提升招商吸引力,实现产值突破:标准化的消防安全配置成为园区招商“加分项”,截至 2025 年 8 月,园区已入驻企业

10 家(签约率达 35%),2025 年上半年实现产值 300 万元,远超改造前“零收益”的闲置状态;

盘活资产价值,增加物业收益:改造后园区物业租金较周边同类园区高出 20%(因消防安全配套完善),年物业收入达 550 万元,为区域财政提供稳定收益。

(二) 社会效益:从“应急设施”到“民生载体”

保障安全运营,消除公共隐患:改造

后园区未发生任何消防安全事故,通过消防部门多次抽查(合格率 100%),为企业生产与员工工作提供安全环境;

带动就业增收,助力区域发展:园区直接带动就业 100 人,间接带动上下游产业链就业 300 人,人均月收入超 5000 元,缓解了区域就业压力;

树立转型范例,推动政策落地:该项目成为区级“应急设施转型”示范项目,为同类项目提供政策与技术参考。

五、结论与启示

本项目的实践表明,疫情用房建筑群向产业园区转型的核心瓶颈在于“消防安全适配性”,而专业化的消防安全指导是突破该瓶颈、实现“安全 - 效益”协同的关键。通过本人在项目全周期的技术介入,不仅解决了应急建筑的安全隐患,更将“消防安全”转化为园区招商引

资的“竞争力”,最终实现了闲置资产盘活、经济效益提升、社会效益凸显的多重目标。

对于同类项目,需重点把握三点核心启示:一是提前评估,精准定位,结合转型后的产业需求制定消防改造方案,避免“一刀切”;二是系统设计,平衡成

本,在满足规范的前提下,优化消防设施配置,降低改造投入;三是长效管理,持续赋能,建立运营期消防安全体系,保障园区长期安全运营。未来,此类“应急设施转型”项目若能进一步融合智慧消防技术,将更高效地实现“安全与效益”的可持续发展。

基于BIM技术的建筑火灾模拟及疏散路径规划研究

◎ 文 / 湖北博士来科技集团有限公司 刘伟

摘要:作为对公共安全与社会发展构成持续性威胁的主要灾害类型之一,火灾防控研究具有重要的现实意义。本研究基于建筑信息模型技术,突破传统设计方案展示功能,创新性地将其应用于火灾风险分析领域。通过系统阐述建筑火灾数值模拟的基本原理,本研究构建了包含火灾安全疏散评估体系与智能疏散路径规划算法在内的理论框架,并借助典型案例验证了该方法的有效性。研究成果不仅为设计阶段的公共建筑疏散性能评估提供了科学化工具,同时也为建筑内部空间优化设计提供了理论支撑。

关键词:BIM 技术 火灾模拟 疏散路径

1 绪论

作为严重威胁公共安全与社会发展的典型灾害类型,火灾因其发生频率高、影响范围广而备受关注。统计数据显示,仅 2019 年度我国就累计接报火灾事故 23.3 万起,导致 1335 人遇难、837 人受伤,并造成高达 36.12 亿元的直接经济损失。此类灾害具有显著的破坏性特征,往往引发难以挽回的严重后果。在现代社会“生命至上”理念日益普及的背景下,火灾应急处置中的人员安全保障已成为首要

考量因素。基于此,开展火灾场景模拟与疏散路径规划研究,对于降低人员伤亡和经济损失具有重要的现实意义。

建筑信息模型技术的持续演进使其应用范畴已从单纯的设计方案可视化拓展至风险分析数据支撑领域。在火灾模拟与建筑疏散性能评估方面,该技术能够提供包括建筑空间尺寸、构件分布特征及材料属性等关键参数,从而构建具有高度真实性的火灾场景与疏散模型。学者 Ma 等

开发了基于 BIM 的火灾应急管理系统,实现了对建筑火灾态势的动态监测与火灾类型识别,同时精确定位受困人员位置。梁裕卿研究团队创新性地将 BIM 模型与深度 Q 学习和 A* 算法相融合,构建了混合算法模型,显著提高了应急救援效率。此外,BIM 技术在疏散引导与安全教育领域亦具有重要价值,如肖木峰等通过整合施工现场预制构件分布与机械设备布局数据,运用 Pathfinder 软件实现了

施工人员应急疏散的精准模拟。Xu 研究团队则基于 FDS 平台建立了多人火灾疏散场景，并开展了包含人员物理碰撞因素的室内火灾疏散虚拟演练研究。

本研究以建筑信息模型(BIM)技术为基础，结合火灾动力学模拟软件(FDS)，对建筑火灾场景下的疏散模拟与路径优化策略展开系统性研究。在充分

考量现行建筑设计规范与消防技术标准的前提下，本研究构建了集火灾数值模拟与人员疏散路径规划于一体的综合分析框架。

2 建筑火灾数值模拟技术

2.1 ASET 安全疏散时间评估理论

作为国际通行的建筑火灾安全评估指标，可用安全疏散时间已获得中国国家标准化管理委员会、加拿大国家研究委员会、国际标准化组织及英国标准协会等权威机构的采纳与应用。该指标的核心计算原理在于综合评估火灾热辐射强度、烟气密度以及主要毒性物质浓度等关键参数，从而确定人员在火灾烟气环境中达到耐受极限的时间阈值。在建筑疏散性能化评估过程中，通常采用以下方法来确定 ASET 的临界值：

本研究通过量化分析不同高度 Z 的火灾发展特征参数，包括温度升至 60℃ 所需时间 T1、能见度衰减至 10 米的时间 T2 以及 CO 浓度达到 500ppm 的时间 T3，进而采用多参数比较法，将上述三个特征时间参数的最小值确定为可用安全疏散时间的评估标准。

基于人体呼吸系统平均高度 1.5 米的生理特征，本研究将火灾环境下的安全阈界定为：在建筑各楼层 1.5 米高度处，需同时满足温度不超过 60 摄氏度、可见度高于 10 米以及一氧化碳浓度低于 500ppm 这三项关键参数指标。

2.2 基于 BIM 技术的几何信息建模

及消防信息输入

作为建筑信息模型(BIM)技术体系中的核心软件平台，Revit 凭借其在建筑设计领域的广泛应用展现出显著的市场发展潜力。从三维建模的技术流程来看，该过程主要涵盖三大关键环节：标高与轴网系统的建立、系统族参数化设计以及构件族的定制化建模。值得注意的是，BIM 模型所集成的多维度建筑信息为火灾数值模拟提供了重要基础，其中精确的几何数据获取是构建火灾仿真模型的基本前提，然而要实现完整的火灾场景模拟，仅依靠几何信息尚显不足，模型中的语义化信息同样具有关键作用。基于此，在开展火灾仿真分析时，需要重点补充四类消防相关数据：建筑空间分层数据、消防设备配置参数、建筑材料特性参数以及门窗启闭状态参数。

2.3 基于 FDS 的火灾动态模拟

火灾动力学模拟器作为一款专业的火灾数值模拟工具，由美国国家标准与技术研究院联合芬兰 VTT 技术研究中心共同开发，其核心功能涵盖火源参数设定、材料热解过程模拟、燃烧反应建模、自动喷淋系统仿真、火灾报警系统模拟以及逻辑控制模块等关键要素。本研

究采用基于 FDS 内核开发的 PyroSim 可视化仿真平台开展火灾数值模拟研究，该平台凭借其直观的图形用户界面和卓越的三维可视化能力，已成为火灾演化过程模拟领域的主流工具之一。通过 FDS 数值模拟，本研究旨在精确计算可用安全疏散时间这一关键安全参数，为此在火灾动态模拟方案设计中着重考虑了以下核心要素：

(1) 研究区域距地面 1.5 米高度平面上，分别呈现了 CO 浓度、温度场及能见度指标的二维分布特征；针对核心功能分区，系统分析了火灾动态发展过程中温度场演变、CO 浓度累积以及能见度衰减等关键参数的时序变化规律，并通过温度-时间、CO 浓度-时间、能见度-时间等特征曲线予以量化表征。

基于 PyroSim 仿真平台，本研究采用多参数同步监测方案：在距地面 1.5 米高度处布设热电偶温度传感器、CO 浓度监测仪及能见度检测装置等气相分析设备，同时配置层间环境探测装置；此外，为系统分析各物理参数的时空演变特征，在每层相同高度平面设置三个监测断面，实时记录一氧化碳浓度场、温度场及能见度场在仿真过程中的动态分布规律。

3 火灾疏散路径规划 Dijkstra 算法

在消防安全审查过程中，疏散距离的精确计算构成技术难点之一，传统基于点对点直线连接的测量方式难以满足规范要求，亟需引入智能化算法实现最优疏散路径的求解。作为一种经典的最短路径算法，Dijkstra 算法通过以起始节点为核心进行逐层扩展的方式，能够有效计算节点间的最短通行距离。本研究将该算法应用于 BIM 模型的最短疏散路径计算，其具体实施流程包括：首先对 BIM 模型中的安全出口与疏散门进行识别并设定为路径起止点；其次提取墙体拐角等关键位置作为中间路径节点；最终通过构建包含起止点与中间节点的 Dijkstra 计算模型，完成最短疏散路径的求解分析。

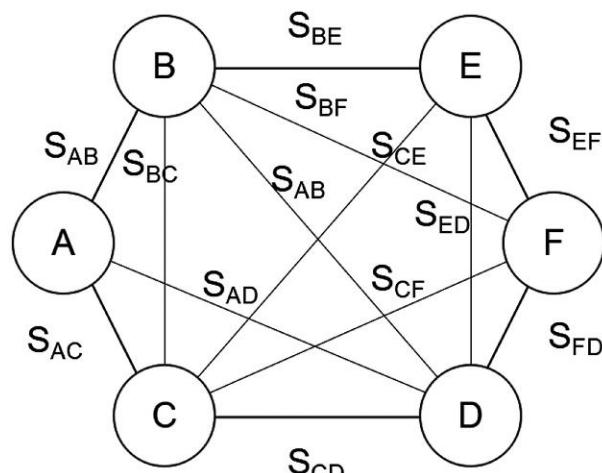


图 1 Dijkstra 算法模型

如图1所示,在算法初始化阶段,需对各顶点到目标点F的最短距离进行赋值:对于与F存在直接边连接的顶点,其初始距离值即为该边的权值,具体表现为 $dis[D]=SDF$, $dis[E]=SEF$, $dis[B]=SBF$, $dis[C]=SCF$;而F点到自身的距离 $dis[F]$ 则初始化为0。经过初始化操作后,可得到F点到各顶点的当前最短距离集合{E(SEF),C(SCF),B(SBF),D(SDF),F(0)},其中顶点A的距离值尚未确定,括号内数值表现相应顶点到F点的当前最优路径长度。

(2)通过分析节点间的最短路径关系

可知, $dis[E]$ 与F节点具有最小距离,在此基础上进一步考察与E节点直接相连的各边权值,包括 $dis[E-B]=SBE$ 、 $dis[E-C]=SEC$ 以及 $dis[E-D]=SED$ 。经计算验证, $dis[B]=SBE+SEF$ 的路径长度显著大于 SBF ,同理 $dis[D]=SDE+SEF$ 也超过 SDF ,而 $dis[C]=SCE+SEF$ 同样大于 SCF 。因此,节点C(SCF)、B(SBF)和D(SDF)的最短路径均无需进行更新操作。

(3)在步骤二的运算过程中,当顶点C的数值达到极小时,需考察其与相邻节点间的距离关系,具体表现为: $dis[C-A]$

$=SCA$ 、 $dis[C-B]=SCB$ 、 $dis[C-D]=SCD$ 。依照步骤的迭代规则进行推演,可得出 $dis[A]=SAC+SCF$ 小于当前A(*)值,而 $dis[B]=SBC+SCF$ 大于 SBF ,同时 $dis[D]=SCD+SCF$ 亦超过 SDF 。基于此计算结果,节点B与节点D的数值维持不变,仅对A(*)进行更新,将其赋值为 $SAC+SCF$ 。

(4)基于上述计算流程,系统将对节点B和D进行迭代更新运算,通过全局遍历算法最终确定各网络节点至目标节点F的最短路径距离。

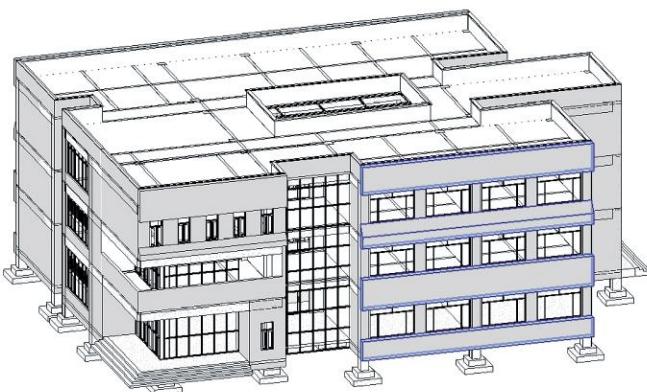


图 2 教学楼 BIM 模型

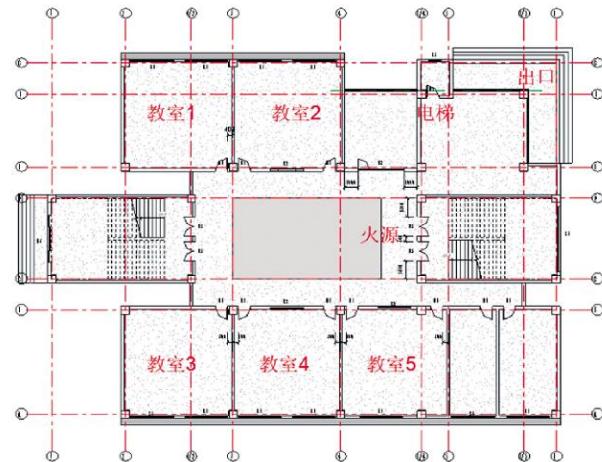


图 3 教学楼内部位置示意图

4 案例分析

本研究以某三层框架结构教学楼为研究对象,该建筑属于耐火等级为二级的多层公共建筑,其总建筑面积达2700平方米,建筑高度为13.50米。建筑内部设有两部疏散楼梯和一部消防电梯,其中楼梯与消防电梯均可通达1至3层。鉴于火灾发生时消防电梯不得作为安全疏散通道使用,故本研究仅将楼梯作为人员疏散的可行性路径予以重点考察。

依据《建筑设计防火规范 GB 50016-2014》第5.3.1款之规定,鉴于本工程属于耐火等级达到二级的多层公共建筑,其防火分区面积上限设定为2500平方米。经核查,档案馆各层建筑面积均未超过1000平方米,故在防火分区划分方面,可采取每层独立设置一个防火分区的设计方案。

4.1 模拟实验设计

火灾场景模拟中,将火源设置于建筑物首层大厅具有显著的代表性,这主

表 1 主要建筑材料及参数

构件	材料	干密度 kg/m ³	比热容 kJ/(kg·K)	导热系数 W/(m·K)
墙	加气混凝土	500	1.05	0.14
板	钢筋混凝土	2500	0.92	1.74
柱	钢筋混凝土	2500	0.92	1.74
窗	玻璃	2500	0.84	0.76
窗框	铝合金	2710	0.90	209
门	云杉木	500	2.51	0.29

要基于两方面考量:其一,该区域火灾产生的有毒烟气和高温烟雾会通过竖向通道迅速扩散至上层空间,从而显著提升整栋建筑的火灾危险性等级;其二,作为人员疏散的必经通道,首层火灾将直接导致疏散路径受阻,大幅增加人员安全撤离的难度系数。鉴于自动喷水灭火系统的灭火机制涉及多物理场耦合作用,其微观层面的精确模拟存在较大技术难度,本研究在数值模拟过程中采取了相对保守的参数设置方案,将教学建筑首

层火灾场景的热释放速率峰值设定为8兆瓦。

针对建筑门窗的初始状态设置,本研究采用全封闭作为基础工况,并基于火灾动力学特征设定关键时间节点:当火灾发展至300秒时,所有消防救援专用窗将实现由全闭至全开的工况转换。

本研究对火灾数值模拟中的材料数据库进行了系统性扩充,特别针对建筑领域常用材料的热物理性能参数进行了补充完善。

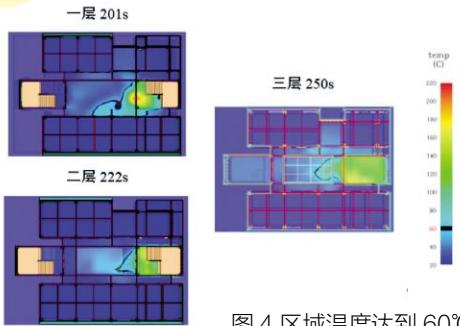


图 4 区域温度达到 60℃ 的时间

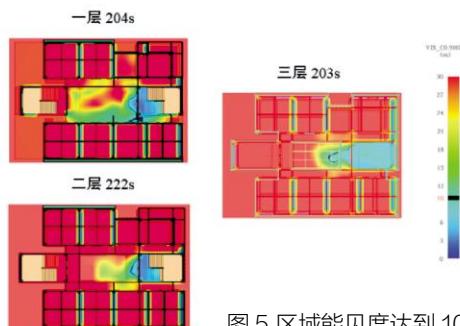


图 5 区域能见度达到 10m 的时间

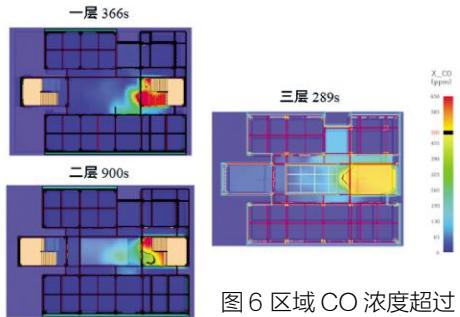


图 6 区域 CO 浓度超过 500ppm 的时间

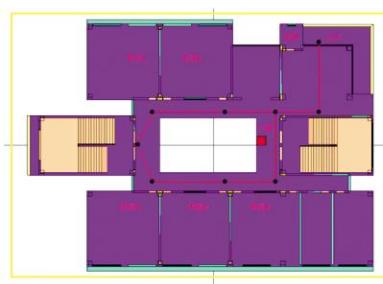


图 7 室内可行路径网络

4.2 火灾模拟结果分析

本研究采用建筑火灾领域通用的计算标准,通过在距地面 1.5m 高度处实时监测火灾发展过程中的温度、一氧化碳浓度及能见度等关键参数,分别记录温度上升至 60℃ 的临界时间 T1、能见度降低至 10m 的阈值时间 T2 以及一氧化碳浓度达到 500ppm 的极限时间 T3,最终将这三个时间参数中的最小值确定为可用安全疏散时间的量化指标。

从温度分布特征来看,实验数据显示一层楼梯间在 201 秒时率先达到 60℃ 的临界温度值,随后二层和三层楼梯间分别在 222 秒和 250 秒达到相同阈值。值得注意的是,除直接受火源影响的区域外,仅有一楼教室 5 在 821 秒时突破了临界温度标准,其他测量区域的温度曲线均维

持在安全阈值以下。

通过对各楼层疏散通道能见度变化的实测数据分析发现,建筑内部不同区域的能见度衰减呈现显著差异:具体而言,第一至第三层楼梯间分别在 204 秒、222 秒和 233 秒时达到能见度低于 10 米的临界值;而与之形成对比的是,在实验进行至 900 秒时,仅第一层和第二层走廊区域的能见度降至 10 米以下,这表明走廊区域的能见度衰减速率明显慢于垂直疏散通道。

从 CO 浓度分布特征来看,实验数据显示第三层在 289 秒时率先突破 500ppm 的临界值,随后第一层在 366 秒达到相同浓度阈值;值得注意的是,由于第二层具备更优的通风条件,其 CO 浓度在整个 15 分钟观测周期内始终维持在

安全阈值以下。

通过上述数值模拟结果的分析与验证,本研究得出在该特定火灾场景条件下,建筑可用安全疏散时间的定量评估结果为 204 秒。这一关键时间参数为制定人员疏散方案提供了科学依据,表明建筑物内所有人员需在此时间阈值内完成安全撤离。

4.3 火灾疏散路径规划

为构建建筑内部消防疏散路径的优化方案,需首先建立基于拓扑分析的道路网络模型,该模型通过关键节点的选取与配置形成室内可行路径系统。在此基础上,结合烟雾报警器等火灾探测设备定位火源位置,并通过空间查询功能获取该楼层消防设施分布及障碍物信息,最终通过综合分析确定最优疏散路线。

5 结论

鉴于公共建筑火灾安全问题的严峻性,为确保人员生命财产安全,有必要在建筑设计初期阶段系统评估其火灾疏散性能。本研究创新性地构建了整合建筑信息模型技术的火灾模拟与疏散路径优化方法体系,并以典型教学楼为实证案例,对所提方法框架的可行性和有效性进行了验证,最终得出以下研究结论:

(1)通过将建筑信息模型技术整合至火灾仿真领域,可实现火灾模拟数据处理流程的标准化,进而显著提升仿真结果的精确度与可信度。

(2)通过建筑信息模型(BIM)技术的应用,本研究实现了对火灾安全关键参数(包括环境温度、一氧化碳浓度及烟气层高度等指标)的实时动态可视化呈现。

(3)本研究针对三维空间环境中的疏散路径规划与空间解析展开深入探讨,通过构建包含精细建筑内部结构的三维疏散模型,不仅显著提升了用户对疏散路线的认知程度,优化了使用体验,而且有效改善了传统平面疏散示意图难以理解所导致的盲目逃生现象,此外,该研究成果还为消防设备配置及工程验收等环节提供了重要的决策支持依据。

应急消防疏散动态标识视觉诱导有效性研究

◎ 文 / 湖北博士来科技集团有限公司 刘伟

摘要:为研究消防应急消防疏散动态标识视觉诱导有效性,以动态式及常亮式疏散标志为研究对象,设计视觉诱导有效性模拟实验。结果表明:在洁净和烟雾两种环境下参与者对于频闪标识的选择概率都大于高亮标识,验证了疏散标识的频闪特征具有更好的视觉诱导效果。

关键词:消防安全疏散标志 可供性理论 层次分析法

1 绪论

作为应急导向标识系统的核心要素,消防安全疏散标志在空间方向信息传递方面发挥着关键作用,其设计质量直接影响疏散人员在紧急情况下对逃生路线的辨识效率,进而显著影响人员伤亡程度。文献通过特定人群的主观评价实验,构建了能见度感知的心理模型,指出亮度、尺寸和色彩是影响主观能见度的三大关键参数。值得注意的是,文献的研究表明,相较于无烟环境,在烟雾条件下亮度因素对疏散指示能见度的主导作用更为突出,同

时通过实验证明了疏散标识图像对比度变化可作为量化烟雾环境中能见度的有效指标。在认知心理学层面,文献深入探讨了情绪因素对消防安全疏散标志识别效能的影响机制。另一方面,关于智能化疏散系统的研究也取得重要进展:文献证实智能疏散诱导系统中的动态标志能有效调节人员的安全出口选择行为,实现疏散人群的均衡分布;而文献则创新性地将基于物联网的 ZigBee 技术应用于消防安全疏散标志的管理系统。

基于国际学术界关于疏散标识可见性特征与辨识度评价的既有研究成果,本研究引入可供性理论框架,系统分析了火灾情境下人员对消防疏散标识的感知机制与使用行为,并以此构建了动态标识视觉诱导效果的评价体系。通过问卷调查与实地调研相结合的混合研究方法,重点考察了具有频闪和高亮特征的动态疏散标识在视觉诱导方面的实际效能,从而为相关领域提供了实证研究数据。

2 基于可供性理论诱导效果评价

基于生态心理学理论框架,可供性作为环境与行为之间的中介变量,从生态交互视角阐释了人类知觉系统与环境特征之间的动态耦合机制。该理论指出,个体对物体的感知取决于该物体所呈现的功能性特征,即物体为实现特定目标而向感知者提供的潜在行为可能性。在消防疏散情境中,疏散标识的可供性具体体现为向受灾者传递的有效引导信息,这些信息旨在辅助其达成安全疏散的行为目标。为进一步解析消防疏散系统的可供性特征,学者哈特森在经典理论基础上构建了四维分类体系,将可供性划分为感官、认知、实践及功能性四个维度,这一分类模型为理解受灾者对疏散标识的认知差异提供了理论依据。

1. 从感知心理学视角来看,疏散标识的感官可供性体现为人类感知系统对其视觉或听觉特征的识别能力。为确保消防疏散标识系统实现其预设功能,首要前提是确保受灾个体能够通过视觉或听觉通

道有效感知标识信息。这一功能实现需要满足两个关键条件:其一,标识系统的设计须具备充分的感知显著性以引起注意定向;其二,无论是图形符号、文字信息还是语音提示,都必须达到足够的辨识度与可理解性标准。

2. 动态疏散标识的认知可感性体现为其引导意图能否被准确理解和有效传达,当受灾人员观察到消防疏散标识时,必须正确解读其指引信息以避免因理解偏差而引发的行为混乱,故而确保动态疏散标识的认知准确性具有至关重要的现实意义。

3. 实践可供性体现为疏散标识信息在实际场景中的具体应用,当受灾个体完成对消防疏散标识的认知解读并明确其引导功能后,便会触发相应的疏散行为响应机制,典型表现为应急疏散门的启闭操作等具体避险行动。

4. 功能可供性这一概念特指疏散标识系统在实现预设目标与个体疏散需求

方面的有效性,其核心内涵体现在消防疏散标识能够有效协助受灾人员达成快速撤离火灾现场这一关键目标。从理论层面分析,该属性可视为感官可供性、认知可供性与实践可供性三者协同作用的最终呈现形态。为确保受灾人员能够高效达成紧急疏散这一核心目标,必须重点优化疏散标识系统的动态引导设计策略,从而确保系统能够提供充分且适宜的功能可供性支持。

动态引导型消防疏散标识的设计旨在通过增强标识的感官刺激与认知辨识度,从而提升其在紧急情境下的视觉引导效能。具体而言,该特性通过调控标识系统的视觉特征及听觉辅助等多模态要素,显著改善信息传递效率。这种优化机制促成了“感知-认知-决策-行动”的完整行为链:首先确保疏散标识被有效感知,继而引导受灾者正确解读标识意图,最终促使个体采纳标识信息并实现预期的疏散目标,形成完整的应急疏散行为闭环。

3 问卷调研结果

3.1 实验设计

本研究采用沉浸式实验设计，首先在教室内营造安静环境，通过火灾场景描述引导被试进入情境模拟状态，随后依次呈现具有不同动态特征的疏散标识刺激材料。实验流程要求被试在观看包含左右同步显示的频闪标识与高亮度标识的动态视频后，立即完成标准化问卷，重点评估两类标识在传达“通行/前进”与“禁行/停止”指令时的信息明确性，并要求被试者做出最优选择。研究对象为18-30岁高校学生群体，共发放问卷111份，实现100%的回收率与有效率，所有收回问卷均符合研究要求纳入最终数据分析。

基于可供性理论框架，本研究采用对照实验设计，分别在洁净环境与烟雾环境两种典型场景下，通过五组标准化测试问题对消防疏散动态标识的视觉诱导效能进行实证评估。

1) 本研究旨在探讨视觉感知的可供性特征，具体分析不同标识形式对观察者注意力的引导效应，为此设计了以下核心研究问题：“在频闪标识与高亮标识这两种视觉呈现方式中，何种形式具有更为显著的注意力捕获效果？”

2) 本研究旨在探究疏散标识的特定视觉特征对其信息传递效能的提升作用，具体聚焦于频闪与高亮两种显示方式在传达通行意图方面的表现差异。通过实验设计，重点考察不同标识特征如何增强疏

散通道可用性的认知可供性，从而验证何种视觉表现形式能更有效地引导受试者识别并选择正确的应急疏散路径。

3) 感知可感性研究：本实验旨在探究特定视觉特征对标识显著性的影响机制，其核心假设在于注意捕获是标识识别的先决条件。具体实验问题表述为：“在频闪标识与高亮标识两种视觉呈现方式中，何种形式具有更强的注意捕获效能？”

4) 本研究通过认知可供性视角，重点探讨特定视觉特征对疏散标识劝阻效能的提升作用，旨在识别何种标识特征能更有效地向使用者传递禁行指令，使其明确认知特定疏散通道或应急出口的不可用性。具体而言，研究问题聚焦于对比分析频闪标识与高亮标识在传达禁行意图方面的表现差异。

5) 本研究旨在探究特定视觉特征对个体风险感知强度的影响机制，通过对频闪式与高亮度疏散标识两种视觉刺激模式，重点考察不同标识类型在诱发紧急情境下的紧迫感差异，从而揭示何种视觉特征更易引发被试对突发事件风险程度的认知提升。

3.2 实验结果

基于对111名受试者在洁净与烟雾环境中的疏散标识视觉诱导实证研究数据分析表明，相较于传统静态标识，具备频闪特性的动态标识在所有评估指标上均展现出更为优越的表现。

实验数据表明，在洁净环境情境



图 3.1 动态疏散标识

下，动态频闪标识在吸引视觉注意力方面展现出显著优势：针对通行指示场景，80.18%的受试者认为其更具视觉吸引力，64.86%的参与者认可其信息传达的明确性；就禁行指示功能而言，该标识分别获得73.87%和59.46%的受试者在注意力吸引和信息传达有效性方面的积极评价。值得注意的是，在营造紧急情境感知维度，频闪动态标识的表现尤为突出，高达81.98%的样本倾向于选择该标识作为紧急提示的有效载体。

实验数据显示，在烟雾干扰情境中，针对通行指示功能，分别有79.28%和62.16%的受试者认为频闪标识在注意力吸引和意图传达方面表现更优；而对于禁行指示功能，该比例分别为71.17%和54.95%。值得注意的是，在营造紧迫感维度，频闪动态标识获得了81.08%受试者的优先选择，详细数据参见表3.1。

表 3.1 洁净环境和烟雾环境下调研结果

实验场景	动态特征	表示通行的疏散标识		表示禁行的疏散标识		导致形势紧迫感
		吸引注意力	传达通行意图	吸引注意力	传达通行意图	
洁净环境	频闪	89(80.2%)	72(64.9%)	82(73.9%)	66(59.5%)	91(82.0%)
	高亮度	22(19.8%)	39(35.1%)	29(26.1%)	45(40.5%)	20(18.0%)
烟雾环境	频闪	88(79.3%)	69(62.2%)	79(71.2%)	61(55.0%)	90(81.0%)
	高亮度	23(20.7%)	42(37.8%)	32(28.8%)	45(45.0%)	21(19.0%)

4 动态标识诱导有效性分析

基于可供性理论框架中的感官与认知属性维度,本研究运用层次分析法构建了动态疏散标识视觉诱导效果的评价体系。通过实地调研与问卷设计,确立了五项关键评价指标:通行方向注意力吸引度、通行意图传达有效性、禁行区域注意力集中度、禁行信息识别准确度以及紧急情境感知强度,并据此要求受试者对高亮显示与频闪效果两种动态特征进行对比评估。

为提升评估过程的客观性并降低主观因素的影响,本研究运用层次分析法对各影响因素的权重进行科学量化,进而确定备选方案的选择概率。通过组织专家系统进行深入研讨,最终构建了洁净环境与烟雾环境指标层各要素间的两两比较判断矩阵。

基于上述分析可知,在洁净环境与烟雾环境条件下,针对目标层 A1 至 A5 各指标的权重分配,本研究通过构建方案层的成对比较矩阵进行量化分析,进而对各

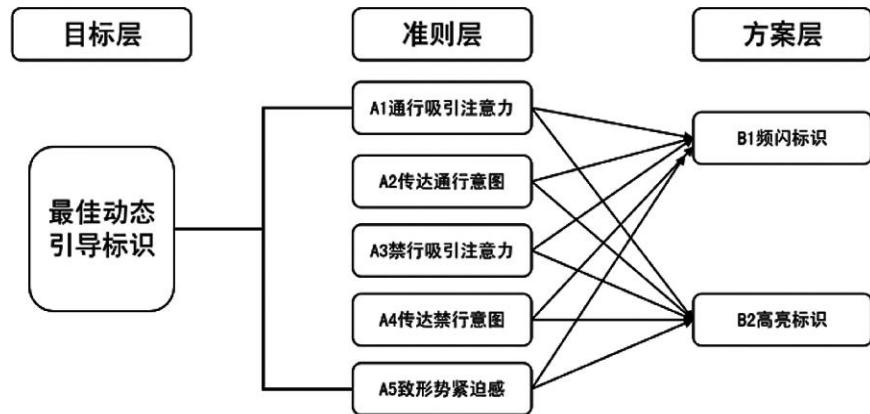


图 4.1 层次结构模型

项指标的权重系数及选择概率展开系统计算, 最终所得统计结果详见表 4.1 所示。

这些数值反映了不同方案的选择概率分布, 为最终决策提供了量化依据。研究数据进一步揭示,无论在洁净环境还是烟雾条件下,受试者对频闪标识的选择概率均显著高于高亮标识,这一结果充分验证了具有频闪动态特征的疏散标识在视觉引导效能方面的优越性。

表 4.1 方案层对准则层的权重

对比情况	洁净环境	烟雾环境
B1B2→A1	[0.80,0.20]	[0.80,0.20]
B1B2→A2	[0.67,0.33]	[0.60,0.40]
B1B2→A3	[0.75,0.25]	[0.75,0.25]
B1B2→A4	[0.60,0.40]	[0.55,0.45]
B1B2→A5	[0.82,0.18]	[0.82,0.18]

洁净环境 =	1	3	1/3	2	5
	1/3	1	1/2	1/2	4
	3	2	1	3	5
	1/2	2	1/3	1	3
	1/5	1/4	1/5	1/3	1
烟雾环境 =	1	3	3	4	3
	1/3	1	1/2	3	2
	1/3	2	1	3	4
	1/4	1/3	1/3	1	2
	1/3	1/2	1/4	1/2	1

5 结论

基于建筑科学与公共安全领域的研究现状分析,紧急情况下人员疏散效率的提升已成为学界关注的核心议题。本研究采用层次分析法构建评价体系,通过建立层次结构模型、评判矩阵及方案层比较矩阵,并运用权重计算模型进行定量分析,实验数据表明:在洁净与烟雾弥漫两种典型环境条件下,受试者对频闪式疏散标识的选择概率均显著高于高亮式标识,这一实证结果充分验证了频闪特征在视觉引导效能方面的优越性。

●辅助理论研究

纤维织物复合风管施工工法

◎文 / 湖北楚梦缘安装装饰工程有限公司 王宗元

1. 前言

在国家实施碳中和、碳达峰使命的背景下,对建筑装配式、绿色化、智能化的需求越来越高。传统空调风管采用镀锌铁皮为基础,外包橡塑保温材料或玻璃棉等保温材料的施工工艺,在施工过程中造成了大量的材料浪费和相应的环境污染和噪音污染,后期在使用过程中由于施工工艺的刷胶处理也会增加室内环境的甲醛污染。然而该种施工工艺在过去延续了几十年,始终保持工人敲敲打打的状态,没能取得明显的变革。

由国家“专精特新”小巨人企业、国家高新技术企业——杜肯新材料(武汉)集团股份有限公司研发生产的绝热索斯纤维织物复合风管,通过橡塑生产时对外表面进行热复合织物贴面技术一体成型,采用高强度拉链连接技术和自锁双绞链防漏风技术。彻底实现风管施工过程中的完全装配化。

2. 工法特点

2.1 在方案设计之初,通过柔性风管专用的 iDuct 设计平台,风管系统进行快

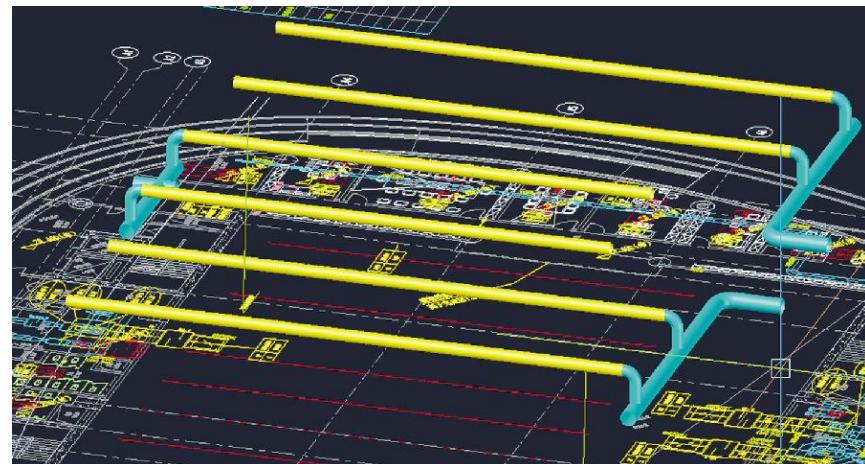


图 2.1 iDuct 模块化设计平台

速布局并进行自动进行模块化拆分和统计,按同类规格生成模块清单。

2.2 所有标准化的管段包含直管段与连接管件,均采用工厂化提前预制的方式,在工厂内部加工完毕,现场安装时无需进行任何的二次加工。

2.3 通过集团信息化下单生产平台,实现风管生产流程的全自动化生产,出厂的每一段风管都有自己的二维码标签,保证每一段风管的可追踪和可溯源实现风管系统的智能化。现场安装时便于快速定位管段所在位置,避免了错装、漏装的情

况,同时我们提供了数字化的现场仓管理平台,当因现场干涉阻挡需要临时变更方案而导致需要增补管段时,可以快速的获取增补管段的参数和数量清单。

2.4 现场安装时,由于风管较轻,因此无需设置铁皮类似的支吊架,而是采用滑竿加上 1.5mm 钢索快速悬吊即可挂装,最后通过垂直收紧器进行调平,极大地简化了现场施工工序。

2.5 可拆卸的喷嘴

对于公建类场所,其特点是高度高,跨度大,要实现远距离送风,需采用大型

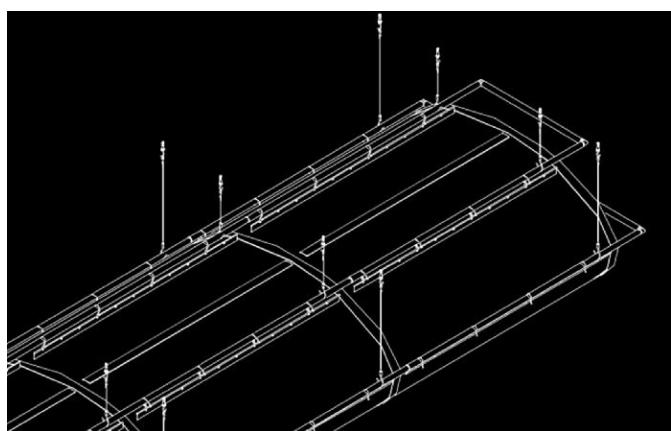


图 2.4 滑竿、钢索快速悬吊

喷嘴定向射流送风才可以把空调风送达目标区域,因此在此类场所应用织物风管时可配套选用织物大喷口,同时为了便于仓储也运输,采用可拆卸的喷嘴,使其作为风管的一个独立部件,同时也为后期调整送风角度和风量提供了便利。

2.6 采用独特创新的钢丝悬吊技术,省去了抗震支架的同时,保证了风管系统的百分百安全。

2.7 风管耐压强度由传统风管的1800pa 提升到 3000pa, 漏风率降低20%,使风管节能性大大提高,有效的降低了空调使用能耗。

2.8 采用 APT 抗冷凝质感表纹技术和抗老化技术大大杜绝了冷凝水的产生和提高了风管保温的使用寿命。

3.适用范围

适用于公建类建筑室内送风系统工程。

4.工艺原理

本工法是对室内送风系统现有问题的不断改进与完善,在实践中不断摸索创新形成的,通过 iDuct 模块化拆分等前端数据化处理手段,配合后期的现场仓管理手段,确保了现场施工高效、高速、高质量,由于所有管段模块均是工厂提前预制的,也就避免了现场修改造成了浪费和对环境的影响与破坏。同时,由于柔性风管系统的工厂预制、高度可定制化、灵活布局等特性,可以根据建筑结构美观性需求及管线干涉情况灵活调整布局。

5.施工工艺流程及操作要点

施工工艺流程图见图 5。

5.2 操作要点

5.2.1 施工准备

1)风管到现场之前,需提前根据风管模块拆解图对所有管段进行编号,形成风管安装装配图,并形成编号清单,此装配图和清单应随成品风管管段同时发货到项目现场。

2)开始施工之前,施工人员应认真识



图 5

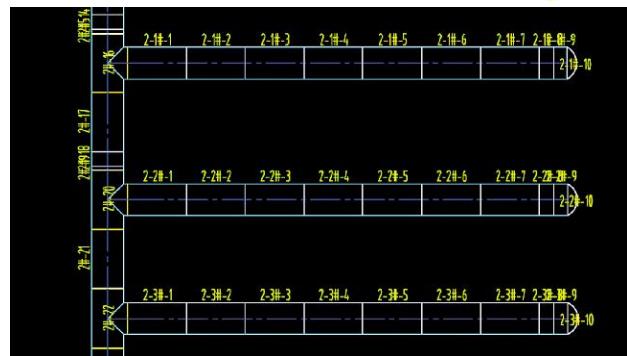


图 5.2.1 风管装配图模块编码

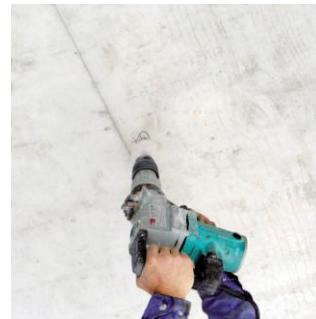


图 5.2.3-1 楼板打吊点孔



图 5.2.3-1 安装吊点

读风管装配图,提前熟知每个风管系统的
位置及其周边的干涉情况,根据安装指导
手册,阅读施工手册,熟悉每种配件和工
具的安装和使用方法。

3)配备相应管理人员,手艺精湛的操作
人员,参与登高安装作业的人员,需持
有高空作业证,特此说明的是,此风管系
统施工全程不涉及电焊及动火作业。

4)为有效管控配件的质量,精准核算
配件用量,风管系统安装所涉及到的所有
配件(包含螺丝等)均会随成品风管同时
运输到现场,材料进场后,收货人员应认
真进行自检,确保无错发、漏发的情况,
确保无生锈、无污损等瑕疵,自检合格后上
报监理单位。

5)针对现场结合该工法,对施工人员
进行技术交底及安全交底。

6)清理施工现场,确保施工作业环境
清洁、安全,以便施工。

5.2.2 布局定位

工人应详细阅读风管装配图,然后结
合现场环境的实际情况,找到图纸上每个
风管系统在建筑内的实际位置,根据每个
风管系统的宽度参数(装配图及清单上均
会标记),在在楼板上划定好每个风管系

统的吊点所在方位,做好标记。

5.2.3 安装吊点

确定好吊点方位后,接下来需要在每
个吊点的位置安装悬吊点,可通过电动冲
击钻首先固定 5mm 的膨胀螺勾,然后下
挂约 1m 长度的 1.5mm 钢丝,钢丝下端
下穿一套 单向收紧吊钩,即完成了吊点的
安装,简单快捷

5.2.4 挂装悬吊滑杆

根据风管管径的不同,滑竿的尺寸有
28mm 和 19mm 两种规格,选定好具体
的规格之后,根据风管系统的长度,通过
切管器对滑竿进行拼接成所需长度,滑竿
长度通常为风管长度 *1.05, 然后把滑竿
挂装在 1.5mm 钢绳上面。

5.2.5 风口安装

为提高仓储效率,风管成品从生产
工厂运抵现场时,管段与风口是分离装
箱的,因此,当悬吊系统工序完成之后,
需要先把所有的风口安装在风管本体
上。所有需要装配风口的管段,均已提前
划定了风口定位孔,同样的,风口上已设
置好了开合机构,现场安装时卡入旋转
即可,简便快捷,无需使用其它复杂工具
做繁琐操作。



图 5.2.4-1 挂装悬吊滑竿



图 5.2.4-2 挂装悬吊滑竿



图 5.2.6-1 管段间拉链连接

5.2.6 风管及管件挂装

纤维织物复合风管的直管段和连接件上方，均提前预置了包含挂孔的卡条，当滑竿安装完成之后，首先把 S 钩穿过卡条的挂孔，再把另一端挂扣在滑竿上，简单快捷。对于三通、四通等管段，则采取同样的操作进行处理。

5.2.7 管段拼接

在每一个管段的两端，均预置了统一规格的拉链的公带和母带。当直管段和连接件挂装完成之后，则可直接把相邻的两个管段的拉链进行合拉合处理，方便快捷，无需做其它额外的处理。

5.2.8 风管通风测试

风管系统安装完毕后，应在风柜设备接电之后开展通风测试工作，检查风管外观知否饱满，确保悬吊点均处于同一水平高度，如有高低不一致的情况，可通过调节悬吊细钢绳上的调节器进行调平。

5.3 劳动力组织

表 5.3 劳动力组织

序号	岗位及工种	人数	职责分工
1	班组长	2	负责指挥具体施工人员工作
2	支架安装工	2	负责吊点安装、滑竿安装工作
3	风管安装工	4	负责风管挂装、风口连接、调平工作



图 5.2.6-2 管段挂装完成

6.材料与设备

6.1 本工法主要使用的材料表如表 6.1。

6.2 主要施工机具如表 6.2

7.质量控制

7.1 风管安装前应对到货的风管成品进行检查,确保规格数量匹配,无破损污渍;

7.2 配套的滑杆及五金配件,质量应复合要求,无生锈、掉漆、折弯等不良现象;

7.3 风管安装过程中应小心谨慎,避免金属件对风管外壁面划伤损伤;

7.4 风口安装过程中确保风口开合机构已正确卡入到位,与风管之间无缝隙,保证后期使用时无掉落风险,风口安装成形美观;

8.安全措施

8.1 认真贯彻落实安全第一、预防为主的方针,严格按照《建筑施工安全检查标准》落实安全措施;

8.2 进入施工现场,必须佩带安全帽,穿工作服,管井高空作业时,必须佩戴安全带。使用直(交)流电焊机时必须佩带绝缘手套,穿漏电保护鞋;

8.3 登高车必须有检查报告,使用者有保险,作业人员需持有登高作业证,作业人员必须至少两人为一个班组,互相监督,互相提醒。

8.4 开展风管挂装作业时,需划定作业警戒线,确保没有无关人员进入作业范围。

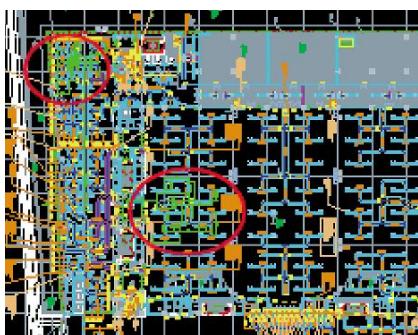


表 6.1 主要材料

名称	规格/型号	数量
滑竿	直径 28mm 厚度 1.0mm	风管总长度*悬挂排数*1.05
1.5mm 钢丝绳	2m 长度	等于吊点数
绝热索斯风管	25mm 厚度	依据风管总数量确定
1.5mm 钢丝绳调节器	1.5mm	等于吊点数

表 6.2 主要施工机具

序号	名称	型号	用途	数量	备注
1	裁切刀具	-	修剪风口连接段	2 台	
2	卷尺	5m	套管定位	2 把	
3	水平仪	GWP-91A	套管定位	1 台	
4	电动冲击钻	-	吊点安装	2 台	

9.环保措施

9.1 施工区应保持清洁,施工产生的废料要及时清理,工完场清,做好绿色施工;

9.2 施工现场安装废料和余料应妥善分类收集,并应统一处理和回收利用,不得随意搁置、堆放。

10 效应分析

10.1 经济分析

本工法与传统施工工法相比,解决了传统铁皮风管需要在现场切割加工导致的工期过长、风管质量受制于工人人员的能力而导致质量不可控的问题,同时也解

决了传统风管重量较重,现场加工耗时繁琐,施工难度大的问题,同时也缓解了后期使用过过程中的铁皮风管噪声、滴水等问题,这些问题的改善都从不同方面为近期的施工成本及远期的运维使用成本带来了有效的降低。

取项目一层风管做计算,传统铁皮风管用量为 1032 平,因为铁皮风管有 1.135 的余量系数,纤维织物保温风管为装配式风管,无余量损失,所以纤维织物风管用量仅为 909 平米。

综上,采用纤维织物复合风管能够节省造价 $394360 - 302697 = 91663$ 元,所以采用纤维织物复合风管能够节省造价 30% 左右。

初始投资费用	明细	传统铁皮风管				纤维织物复合风管				备注
		主材面积	单位	单价	合计	主材面积	单位	单价	合计	
	材料面积	1032	m ²	60	154800	909	m ²	260	236340	
	保温材料	1032	m ²	50	51600	0			0	29 厚
	抗震支架	35	套	800	28000	悬挂钢绳支架	m ²	20	18180	
	角铁	774	米	20	15480	0			0	
	铁皮安装费用	1032	m ²	80	82560	909	m ²	53	48177	
	保温安装费用	1032	m ²	60	61920					
	总造价				394360	总造价				302697



10.2 运行效益

对于公建类建筑,通过应用此类新型的柔性风管,解决了现有铁皮风管在使用过程中的缺陷,同时也对室内的空气质量、噪声环境有了极大的改善,大大增强人员舒适性。施工速度快,质量可供、无需进行复杂的二次加工降低了对环境的影响。赢得了甲方、监理及同行的称赞,成为工程亮点。

10.3 安全效益

该风管重量特别轻,风管组成为布

和橡塑棉,由于风管多数为高空施工,人员在风管下方,所以采用该类型风管,大大提高了传统风管施工托举失误造成的人员安全问题。另外该风管没有硬质的棱角,和毛刺不会由于施工空间的交叉作业给施工人员造成任何安全迫害。

10.4 社会效益

目前工地 50-60 岁人员占施工人员的 30%以上,后续年轻施工人员越来越少,传统风管施工班组人员要求较多。

纤维织物复合风管和传统风管的用人比例为 1:5,大大节省劳动力,保证劳动力供给。

10.6 施工管理效益

纤维织物复合风管属于成品风管发到现场,风管放置于托盘之上,占用施工作业区域很少,传统铁皮风管由于要合管成形,特别占施工场地。在和多工种交叉施工时,会遇到占其他工种的上方施工空间,造成风管的搬运挪动,橡塑保温风管不会有该问题存在。

新能源背景下城市隧道消防安全性研究

◎ 文 / 湖北博士来科技集团有限公司 刘伟

摘要:随着“双碳”目标的确定,新能源汽车行业快速发展,新能源汽车保有量三年来增长了近 400%,新能源汽车已经成为城市交通领域重要的一环。与传统燃油车相比,新能源汽车增加了热管理失控这一安全隐患。隧道由于施工难度大、周期长,其设计时多以传统汽车作为消防风险点加以考虑。本文通过对传统燃油车和新能源汽车突发燃烧情况,探究隧道过火后结构安全。同时以城市隧道为主要研究对象,对隧道安全性加以分析并提出针对性加强安全措施建议。

关键词:“双碳”目标;新能源汽车;隧道安全性;

1 引言

作为“双碳”目标下重点工作,我国交通出行发展将从化石能源转向为非碳能源新结构,在此背景下,汽车行业的发展开始向新能源转向。2020 年底,全国新能源汽车保有量为仅 492 万辆,2020 年 10 月,国务院出台《新能源汽车发展规划》,此后新能源汽车迎来了发展高峰期,截至 2023 年 9 月,新能源乘用车保有量为 1821 万辆已成为我国交通出行领域重要的一环。

对新能源汽车突发应急状况的研究也日趋重要。新能源汽车消防风险主要来自热管理系统失控，包括外界温度过高导致汽车局部温度失控、过充过放时电池过热、碰撞对电池的挤压、穿刺，发动机冷却系统故障等。相较传统燃油车，汽车消防风险源主要来自锂电池起火、爆炸。王震坡等从电池设计层面，提出了电池安全系统优化建议。刘蒙蒙对车用电池在极端条件下安全特性进行了研究，提出了车用电池热安全的针对性建议。陈文丰对电动汽车火灾防治技术进行了研究并提出了相关建议。相较对汽车电池安全特性研究，探究电动汽车对城市市政基础设施的研究较少。市政下穿隧道作为市政消防安全领域的重点一环，具有车流量大、潮湿、通风差等特征。本文以某市政单洞单向下隧道为例，通过对传统燃油车和新能源汽车在突发情况时火灾情况进行模拟，得出新能源背景下城市下穿隧道消防相关建议。

二、新能源对隧道安全影响

通过对火灾热释放速率分析以及燃烧反应分析，对新能源工况下隧道安全情况进行对比。实际工况中，火灾类型分为稳态火灾和非稳态火灾，稳态火灾更为方便计算，非稳态火灾与实际更相符。《消防安全工程第4部分：设定火灾场景和设定火灾的选择》(ISO/TS16733)中给出了不同燃烧物的火灾增长系数，定义了4种标准 t^2 火灾， t^2 函数增长曲线更能体现非稳态火灾随时间变化特征，其模型表达式为：

$$Q = \alpha t^2 \quad (2-1)$$

式中， Q 为火源热释放率， kW ； t 为时间， s ； α 为火灾增长率，需要说明的是，在建筑防火设计中，一般不考虑火灾前期酝酿阶段。为传统燃油车燃烧为汽车发动机碰撞产生电火花进而引发全车火灾。同时按照相关研究认知，燃油车起火速率一般为中速，按 4400mw 为热释放峰值，0.0192 为增长系数进行模型建立。对于新能源汽车，其热释放峰值为 4200–6900kW，取 5.5mw 为峰值，

图 1 近三年新能源汽车增长速度

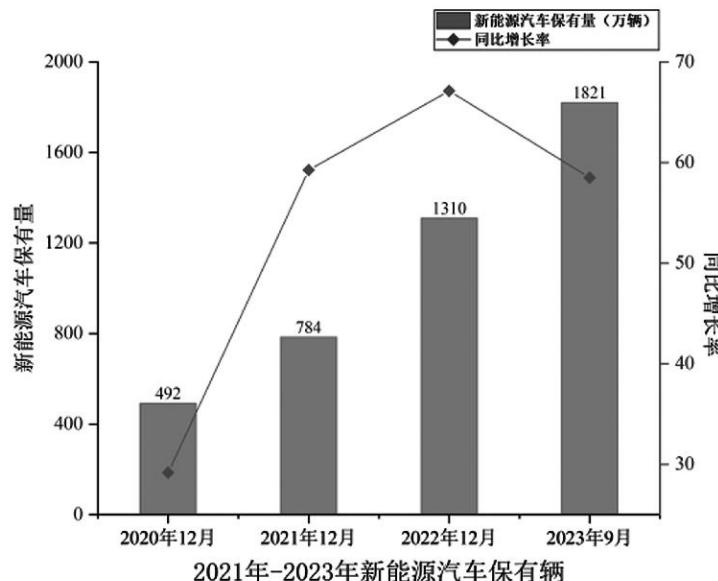
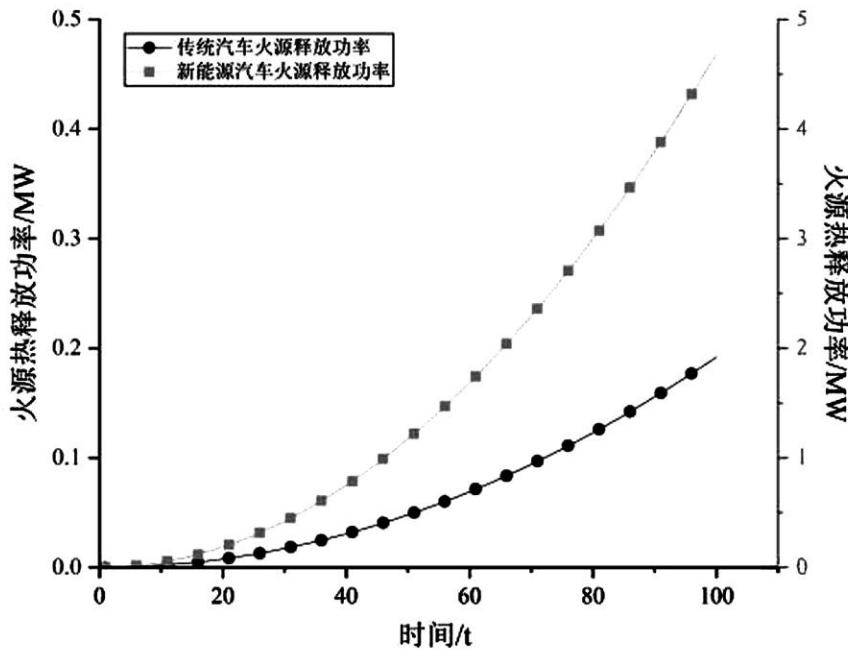


表 1 不同燃烧物火灾增长系数

燃烧物质	火灾类比	火灾增长系数 (kW/s^2)	达到 1MW 所需要时间 (s)
未说明	慢速火	0.00293	600
无棉制品、聚氨酯垫子	中速火	0.01172	300
装满的邮件袋、木制品	快速火	0.04686	150
甲醛、快速燃烧的装饰	超快速火	0.1875	75

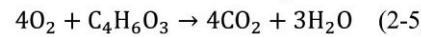
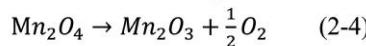
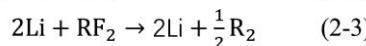
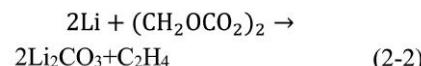
图 2 两种工况下热释放曲线



0.04686 为系数。

通过对比可以看出,相较传统汽车而言,新能源汽车突发情况下热释放功率更高,达到峰值速度更快,相应的新能源汽车突发情况造成的温度上升也就更快。这是由于电池单体触发热失控后会发生剧烈反应,短时间温度快速升高释放大量热量,通过固体传热、对流、热辐射等方式传递给其他电池单体,即热失控会在电池组间会迅速传递扩散。

由于锂电池汽车突发状况下反应情况复杂,锂离子电解液里面含有有机物和氟化物,含氟化物,产生含 F⁻ 的强酸,锂电池燃烧存在锂燃烧反应,大体上可分为固体电解质界面(SEI)膜的分解反应、嵌入的锂和电解液之间的反应、嵌入的锂和电解液之间的反应、嵌入的锂和氟化粘结剂之间的反应、电解液分解反应、正极材料的分解反应,金属锂和粘结剂之间的反应。部分公式如下:



由此可见,纯电动车在火灾机理、火灾荷载、烟气特性等方面与传统燃油汽车有显著差别,将对消防安全、防灾救援等相关设计产生重大的影响。

三、城市隧道火灾消防安全分析

随着中国城市化进程的加剧,现有城市隧道既有按照道路隧道规范设计的城市道路下穿隧道,也有按照公路隧道设计规范设计的原有公路隧道。对于公路隧道设计规范,其消防主要控制指标为火灾储备消防用水和固定式水成膜泡沫灭火装置要求。市政隧道则对隧道的防火耐火、排烟通风做了较为详细的要求。通过对隧道设施结构安全,隧道运行安全两方面对既有城市隧道安全性进行判断。

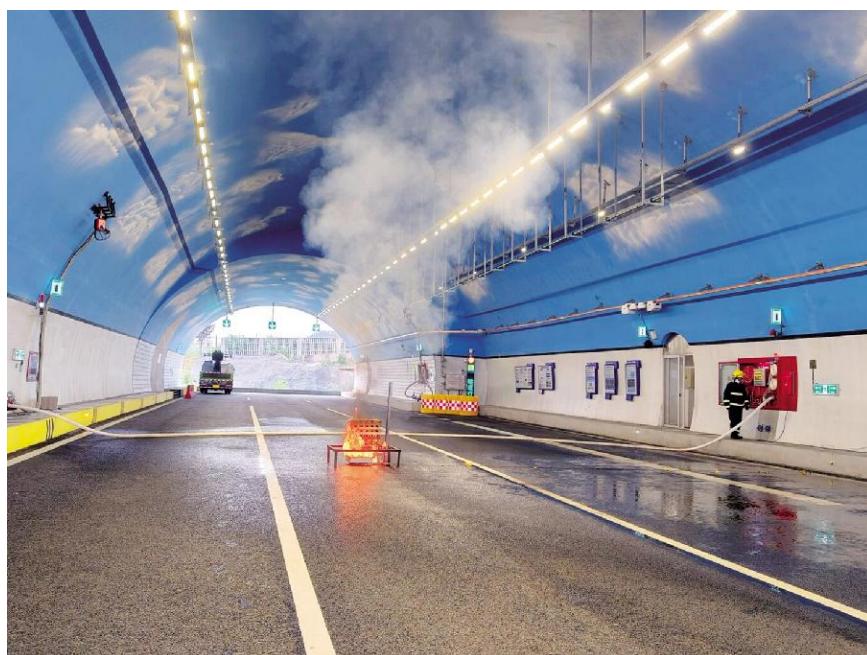
表 2 碳氢化合物升温曲线

时间 (min)	3	5	10	30	60	90	120	120 以后
炉内稳定 (℃)	887	948	982	1110	1150	1150	1150	1150

按照道路隧道设计规范,考虑到一般城市下穿隧道为中隧道,本文给出了 HC 升温曲线表作为设计极限值。对隧道结构安全主要分析一般燃烧状况后隧道主体不受损坏或不需要修理即可继续使用。通过查找相关数据,新能源的火灾燃烧极限

温度一般在 800 摄氏度,普通轿车燃烧时其极限温度一般为 990 度。仍在设计容许最大值以内。除极限温度外在考虑隧道火灾后结构安全时烟气温度也应考虑在内。对于混凝土材料,其表面温度超过 380 摄氏度时就判断其达到耐火极限。目前对于新能源的烟气温度研究尚处于起步阶段,根据王杰等的研究,电动车起火时距 2.2m 高处温度对于 380 度有较大的安全冗余,可以认为电动汽车对现有隧道顶部安全无较大影响,相较新能源车辆,燃油车辆的烟气温度则明显超过混凝土材料耐火极限,根据公安部天津消防研究所相关数据,烟气温度最高可达 900 度。

传统汽车燃烧为发动机起火引发汽车内饰着火,进而传递至全车。在这一过程中,主要烟气产物为 CO、CO₂;新能源汽车燃烧为汽车电池起火引发内饰着火,进而传递到全车。燃烧烟气产物较为复杂,以磷酸铁锂电池为例,主要刺激性气体为氟化氢(HF)、一氧化硫(SO)、二氧化硫(SO₂)、一氧化氮(NO)、二氧化氮(NO₂)和氯化氢(HCl)。可能存在氟化氢(HF)、氟化氢(HCN)、氟氧化磷(POF₃)等有毒有害气体。



四、既有城市隧道消防措施建议

通过对城市隧道火灾安全性分析,城市运行隧道相较公路、铁路隧道,其运行长度较短、管理养护人员较全面,消防安全设施较为全面且能及时得到专业消防力量支援。从隧道管理人员角度考虑,应做好以下几点。

做好应急机制建设:做好隧道管路养护人员培训工作,隧道管理养护人员作为第一处置人,要能做到及时通过隧道内广播,情报板等措施做好车辆管控、隧道

人员疏散工作;加强与交通管理部门、消防应急部门联动,当出现突发事件时及时请求专业力量接入;针对新能源汽车燃烧编制应急预案,对工作人员进行专门培训使其能够判断车辆状态。

针对新能源汽车燃烧特性配置专业的设备。就新能源汽车火灾扑灭而言,由于其为燃烧锂电池燃烧,传统的水雾灭火和泡沫灭火效果较差,应针对性配置灭火毯。同时锂电池起火具有易复燃的特性,

在灭火时应尤其注意。针对新能源汽车的燃烧产物中含有的 SO₂、NO₂ 和氯化氢(HCl)。氟化氢(HF)、氰化氢(HCN)、氟氧化磷(POF₃)等有毒有害气体,要配备相应的防毒面具。

三、隧道侧壁、顶部宜加装防火板,同时火灾后做好结构检测工作。新能源汽车燃烧峰值超过混凝土结构安全限值,在火灾后要做好相关过火部位结构强度检测,针对性做出加固工作。

五、结论与展望

本文以某城市下穿隧道为背景,建立新能源汽车与传统燃油汽车燃烧对比。并对车辆燃烧特性进行分析,得出如下结论。

(1)相较于传统燃油车,新能源汽车热释放速率快,燃烧区域影响面积大。同时燃烧存在易复燃的情况,应针对性布置灭火装置。

(2)由于新能源汽车燃烧温度峰值相较于传统燃油车稍低,对于过火隧道而言,

其结构安全仍处于允许范围内。

(3)新能源汽车由于锂电池的参与,其燃烧产物中有毒有害物质较为复杂,其烟雾对人体危害更严重,隧道救援人员应注意佩戴防毒面具。

目前新能源汽车仍处于不断发展阶段,对其研究也越来越深入,但新能源汽车热失控仍处于起步阶段,尤其是不同负荷状态下汽车电池的研究仍需深入。不同汽车电路问题也不相同,突发事件中人员



安全仍然是第一位的因此需要对新能源汽车反应烟气进行进一步研究。

会刊 2026 年第 2 期专题策划约稿 继往开来 拓路前行

回首 2025 年,武汉建筑业在“十四五”圆满收官之际,坚守匠心、砥砺前行,行业发展质效稳步提升,为城市能级跃升奠定了坚实基础。展望 2026,这是“十五五”规划全面启航之年,新征程召唤新作为。我们需坚持以习近平新时代中国特色社会主义思想为指导,把握新阶段要求,凝聚行业智慧,勇于创新突破,共同开拓武汉建筑业高质量发展新局面。为此,本期会刊特以“继往开来 拓路前行”

为主题向广大会员单位诚挚约稿。诚邀您分享过去一年的实践收获与思考,并对行业新一年的发展机遇、挑战与路径提出真知灼见。具体要求如下:

1. 契合主题,2000~3000 字左右为宜,最多不超过 5000 字;
2. 内容原创,文责自负;
3. 配图要求自行提供,与文稿内容相关,图片清晰,像素高;
4. 2026 年 2 月 18 日前投稿;

5. 文末留下作者的联系方式、通讯地址及邮编;

6. 投稿联系人及联系方式:
封面人物、封底工程、专题策划、行业论坛及会员之家:陶凯,电话 18672937026,邮箱 13389662@qq.com 或 whjzyxhyx@163.com。
文苑、光影世界、武汉建讯(会员新闻):韩冰,电话 18171464909,邮箱 807606404@qq.com。

建筑企业如何开展城市运营业务

◎ 文/彭宏

当前我国城镇化率已超 67%，城市发展进入存量提质增效关键阶段，土地财政逻辑逐步向要素运营转型，城市更新、“双碳”目标等政策持续释放红利，《中国城市运营指数报告(2024)》将“智慧治理”纳入核心评估指标，推动城市运营向智能化、精细化升级，市场机遇显著。

传统建筑企业普遍面临施工业务盈利微薄、回款困难、增长乏力等困境，城市运营业务能提供稳定的现金流，帮助企业穿越周期，还能反哺建造主业形成“投建运”一体化闭环。本文从开展城市运营业务的前期准备和实施路径两个维度探讨，为建筑企业开展城市运营业务提供借鉴。

一、城市运营的概念

城市运营是指对城市的整体资源、经济、环境、社会事务等各个方面进行规划、建设、管理和运营，旨在实现城市的可持续发展和市民生活品质的提升，本质是通过市场化方式优化“人、地、财、产、政、文、技、数”八大要素配置，通过“规划 - 建设 - 运营 - 服务”全生命周期参与，达成城市公共价值与运营主体收益的动态平衡，核心是从“重建设”向“建运并重”转型，既涵盖土地、市政设施等硬资产的保值管护，也包括数据治理、营商环境等软资产的优化升级。



二、开展城市运营业务的前期准备

理清核心逻辑：跳出传统施工的短期项目思维，树立“建运并重”的全生命周期服务理念，明确城市运营需兼顾政府公共价值（如民生服务、生态治理）与企业商业可持续（如资产增值、运营收益），避免“重建设轻运营”误区。同时厘清业务边界，区分资产运营（持有管理资产）与服务运营（输出管理品牌）的差异，结合自身优势选

方向，不盲目扩张。

适配资源与能力：激活施工积累的工程技术、政企合作、供应链整合优势，转化为设施维保、老旧改造等运营切入点；针对短板，补充设计、运维资质，布局智慧运营平台、低碳技术，匹配“智慧治理”、“生态资产”需求，同时学习REITs等资本工具，破解长期资金占用

难题。

搭建组织机构与人才团队：设立独立城市运营板块，如成立专业子公司，明确权责与考核机制，避免与施工业务混管；组建复合型团队，内部选拔项目管理人才培养运营思维，外部招聘规划设计、数字化运营人才，建立侧重客户续约率、资产增值率的长期考核体系。

三、开展城市运营业务的实施路径

城市运营需依托建筑企业传统优势，结合市场需求与政策导向，关注业务切入、合作模式、全周期运营和风险防控四大维度，确保转型实效。

1. 业务切入点

建筑企业需避开盲目扩张，要围绕自身能力和属地城市需求精准定位，优先选

择业务可延伸、资源可复用的模块切入。

基础设施运维类。可依托市政、交通、管廊等施工经验，关注存量基础设施运维。擅长桥梁隧道施工的企业可延伸至道路养护、隧道智能监测等，例如部分企业通过数字化监测系统实现故障预判，降低运维成本；具备管网施工优势的企业，可

承接给排水、燃气管网的巡检、修复运营。此类业务技术门槛与施工关联性强，可以快速建立差异化优势。

城市更新运营类。可关注老旧小区、旧工业厂房等改造运营，将施工阶段的改造经验延伸至后期服务。负责老旧小区改造的企业可同步承接改造后的物业、适老

化服务运营；参与工业厂房改造的企业，可提供园区管理、文创招商服务等。

专项公共服务类。结合政府民生需求，关注细分公共服务领域。如依托体育场馆施工优势，运营大型赛事场馆，提供赛事保障、市民健身等服务；具备医院、学校施工经验的企业，可延伸至后勤运维、智慧校园搭建。

2.合作模式

城市运营涉及多方主体，建筑企业需通过灵活的合作模式整合资源、分摊风险，核心模式包括政企合作、跨界联合、轻资产输出三类。

政企合作方面，可优先采用PPP和特许经营模式承接长期项目，明确权责与收益分配。例如参考产城融合模式，与地方政府合作产业园区运营，政府提供土地与政策支持，建筑企业负责园区建设、产业招商与后期服务，通过税收分成、租金收益方式实现盈利；对供水、污水处理等公益类项目，可采用委托运营+政府购买服务模式，保障现金流。同时要注意规避土地财政依赖风险，优先选择财政健康、人口流入的城市合作，减少政策波动带来的影响。

跨界联合方面，针对诸如数字化、产业资源等短板地带，可与专业企业建立合作关系。联合互联网科技企业搭建智慧运营平台，实现能耗、安防等实时管控；联合金融机构研究REITs退出方式，可参考“并购-运营-增值-退出”模式，将优质运营资产（如文体场馆、产业园区）通过资产证券化盘活资金。

轻资产输出方面，可以将成熟的设施维保标准、智慧运营方案输出给地方城投公司，收取管理费；为地方政府提供城市管家服务（如环卫、市政巡查），无需持有资产即可获取稳定收益。这种模式资金占用少、复制性强，适合转型初期的建筑企业试水，逐步积累运营经验。

3.项目全周期运营

建筑企业需将运营逻辑贯穿项目的调研、建设、运营、增值全流程。

前期调研规划方面，调研阶段需同步明确运营目标，一方面对接政府需求（如民生改善、产业升级），另一方面评估运营收益（如租金、服务费、资产增值空间）。承



接产业园区项目时，需提前调研区域内的产业基础，规划适配的业态（如低碳园区、数字经济园区），避免后期招商困难；结合城市人口、技术等资源禀赋，确保项目与城市发展节奏匹配，提升项目可持续性。

建设落地方面，施工阶段需预留运营空间，减少后期改造成本。建设文体场馆时，同步规划商业配套区域、智能安防系统，满足运营期的赛事、会展、消费需求；改造老旧小区时，提前布局充电桩、适老化设施，为后期物业运营奠定基础。部分企业在管廊建设中同步植入智能监测设备，运营期可实时掌握管廊运行状态，大幅降低运维成本。

运营服务与智慧化赋能方面，搭建标准化服务体系，制定设施巡检流程、客户反馈机制，保障服务质量；同时推进智慧化改造，通过数字孪生技术构建项目模型，实现能耗、客流等数据实时监控，例如部分企业用数字化平台管理上千公里道路，故障响应效率提升30%；引入AI算法优化资源调度，如智慧停车系统实现车位高效利用，既提升用户体验，又增加运营收益。

盈利模式创新方面，可从收取基础服务费向收益多元转化，基础层面依托政府购买服务、租金获取稳定现金流；增值层面拓展衍生服务，如产业园区提供政策咨询，文体场馆承接商业演出、培训业务；资产层面通过资产增值获利，如老旧小区改造后提升租金、工业遗存活化后实现资产溢价，或通过REITs实现资产证券化退出，形成运营-增值-再投资的良性循环。

4.风险防控

城市运营周期长、涉及面广，需建立全维度风险防控体系。

政策与合规风险防控方面，跟踪土地、财税、环保等政策，对土地财政依赖度高的城市谨慎承接重资产项目；严格遵守招投标、环保法规，建立内部合规审查机制，针对项目方案开展合规审查，避免因政策调整或合规问题导致项目停滞。

资金风险防控方面，优化投融资结构，优先使用长期资金承接运营项目；动态监控现金流，精准测算运营期收入与支出，确保资金链稳定；探索REITs、资产证券化等工具，盘活存量资产，降低资金占用压力。

运营风险防控方面，制定应急预案，针对设施故障、极端天气等突发情况，快速响应、及时解决；加强服务质量管控，开展客户满意度调研、第三方评估等优化服务。

四、总结与展望

建筑企业开展城市运营业务，核心在于打破传统施工思维，以技术赋能、模式创新与协同合作打造核心竞争力。通过精准切入优势场景、深化智慧化运营、创新盈利与退出机制，可实现商业价值与公共价值双赢。

未来，随着智慧城市与绿色发展理念深化，建筑企业需持续强化数字化、低碳化能力，聚焦民生需求深耕细作，以长期视角深耕城市运营赛道，为城市高质量发展注入持久动力。

设计路上的传承

◎ 文 / 中铁大桥局六公司 顾英 封宇涛

晨光总是偏爱中铁大桥局六公司设计事业中心靠窗的那个工位，这个位置承载着一段跨越六年的成长故事——从2019年夏贤庆入职时的满心憧憬，到2023年他作为导师迎接新员工的到来，再到如今成为独当一面的设计骨干。时光在这里刻下了设计人薪火相传的印记，也见证着责任与匠心的生动实践。



夏贤庆在工作中



陈军洋(中)组织内部交流,夯实理论

“这里比我想象中还要好！”2019年，夏贤庆初到设计事业中心，看着良好的办公环境，难掩心中雀跃。可职场没有一帆风顺，夏贤庆和一同入职的十几个年轻人都在工作面前陷入了迷茫——第一次提交的设计方案被批得一无是处；曾经在学校备受赞誉的想法，在工程实际需求面前显得格外稚嫩。

如何让这些有灵气却基础薄弱的新人快速成长？总工程师陈军洋的决定，为这群年轻人点亮了前行的灯。“每人带两个徒弟，从辅助开始练，三个月内必须顶上来！”这不仅是任务，更是对部门长远发展的打算。陈军洋一边组织内部交流帮大家夯实理论，一边安排外部学习提升大家的技术，工作室里充满了比学赶超的积极氛围。

宜来项目部的临时结构设计，是夏

贤庆成长路上的重要一课。当陈军洋审阅他提交的梁场设计布置图初稿时，不时眉头紧皱、面露难色，手中的铅笔在图纸上圈圈点点，留下密密麻麻的批注。直到细致看完所有内容，他才神色一缓，对夏贤庆说：“小夏，梁场图纸我看完了，总体内容规划没有问题，做得很好，只是部分区域布置需要适当调整，还有些问题得去现场实际勘察。来，我跟你仔细讲讲。”

夏贤庆一听此言，迅速拿出厚厚的笔记本，眼神里满是专注。“各个生产区域的布置次序是合适的，但钢筋材料加工车间前面的出路口设计得太窄了。咱们的原材料基本都是半挂大货车运送，你设计时得充分考虑运输车的进出问题，目前这个道路回转半径根本不够。还有场地排水布置，要结合原有地形图来设计，现在这个

排水方向不对，出口设置也不合理，得因地制宜。晚点咱们去现场看看，光在办公室拍脑袋可不行。”在这个洒满阳光的靠窗工位上，陈军洋滔滔不绝地讲解着设计要点与工程实际的衔接逻辑，夏贤庆频频点头，笔尖飞速舞动，生怕错过任何一个细节，一颗“严谨务实”的种子悄悄种进了他的心里。

从那以后，“画图前先去现场走三圈”成了夏贤庆恪守的铁律。而陈军洋始终坚持认真复核每一张图纸、每一个方案，面对问题从不疾言厉色，而是耐心拆解、帮助修改优化。在他的带领下，这群年轻人在一次次方案推翻与重建中打磨技艺，在一次次现场核查与调整中积累经验。夏贤庆后来常说：“陈总教给我的不只是画图技巧，更是对生命安全的敬畏和对工作的极致担当。”



六年光阴弹指而过。曾经的青涩少年们在深度参与新疆和若铁路、高原铁路项目、马来西亚鲁巴跨海大桥、兰合铁路、襄荆铁路、成渝中线等众多国内外重大项目筹备、策划、施工设计与技术服务工作后，从无人问津的新人变成了各个项目部争抢的“香饽饽”。

2023年夏天，5名新员工的到来让夏贤庆和伙伴们迎来了角色转变——从徒弟正式成为师父。其中，瘦小内向的小胡格外引人注目，他总是睁着圆圆的大眼睛，像受惊的小鹿怯生生地打量着四周，说话声音细得像丝线。“这孩子交给夏贤庆，我们放心！”陈军洋的打趣里，满是对夏贤庆的信任。

就这样，小胡成了夏贤庆形影不离的“小尾巴”。第一次安排任务时，夏贤



夏贤庆在宜来高速项目施工现场

庆特意递上一份相对简单的图纸：“咱先从工程量统计开始，别急，有任何疑问随时喊我。”看着小胡颤抖的双手，他拍了拍他的肩膀，语气温和：“没事，放手去做，我当年比你还紧张。”当小胡战战兢兢地交上第一份任务时，夏贤庆仔细翻阅后立刻竖起大拇指：“你看，这不就成了！第一次做就能这么规范，比我当初强多了！”

一句真诚的鼓励，点亮了小胡心中的光。在夏贤庆的悉心带领下，小胡在一次次实战历练中逐渐变得自信从容，专

业能力也飞速提升。而夏贤庆和伙伴们始终延续着陈军洋当年的培养模式，为新人量身定制详细的成长计划，从设计计算到图纸绘制、方案编写，由易到难、循序渐进；带着他们深入施工现场观摩学习，现场答疑解惑，促进理论知识与工程实际的深度融合。

设计事业中心里，这样的传承故事还在不断续写。未来，会有更多年轻的设计人踏上这条路，他们将在前辈的引领下成长，也将成为新的引领者，把设计事业的火炬代代相传。



夏贤庆(中)组织内部交流



躬耕特高压一线 铸就专业新典范

——浙江二建中南建设者深耕换流站建设之路

◎ 文 / 浙江二建中南公司 王焱栋 李绍华

“十四五”以来，国家“双碳”战略纵深推进，新型电力系统加速构建，特高压输电工程成为能源转型的核心引擎。作为“西电东送”与“跨区联网”的关键枢纽，换流站建设迎来前所未有的发展机遇。浙江二建中南公司顺势而为，锚定国家电网换流站核心产品线，深耕中南区域市场，以“区域+大业主”双轮驱动战略为引领，在专业深耕、技术创新、人才培育中突破突围，走出一条专业化、差异化、高质量的发展新路，实现规模与效益的双重跃升，成为换流站建设领域的标杆力量。

一、市场攻坚破局，实现跨越式突破

“十四五”期间，公司紧跟集团“走出去”战略步伐，坚持品牌立身、信誉拓市、口碑赢誉，依托管理提升、创新驱动与改革攻坚，在激烈的市场竞争中崭露头角。五年来，累计承接京东智能产业园柳州柳江工程等项目21个，获“楚天杯”“黄鹤杯”等省市优质工程奖6项。新签合同额中仅国家电网相关项目就达8.2亿元，奠定了在特高压换流站建设领域的重要地位。

公司深度融入国家电网重大工程建设，相继承接湖北大冶、湖南衡阳、安徽合肥、浙江绍兴等5个特高压换流站土建及调相机项目，市场版图持续拓展。其中，衡阳换流站作为首批“沙戈荒”绿电外送重点工程，项目团队直面极端寒潮与持续强降雨双重挑战，昼夜攻坚，提前30天完成关键节点，以“零缺陷”通过阶段性验收，赢得国网高度评价。凭借过硬的履约能力，分公司实现从“参与方”到“主力承建者”的关键跨越，承建世界首条“双柔性直流”特高压工程——越州换流站，成功跻身国网公司A级承包商（全国仅4家），并具备同期在建4项换流站工程的硬核实力，形成“建设—认可—再合作”的良性循环。



湖南衡阳换流站鸟瞰图



衡阳换流站项目开工仪式

二、精耕专业管理,锻造核心竞争力

公司坚持“专精特新”发展路径,推动专业管理与技术创新深度融合,构建起覆盖投标策划、设计协调、施工组织到竣工交付的全流程管理体系,实现项目管理标准化、精细化、高效化。针对换流站结构复杂、精度要求高、多专业交叉等行业痛点,采用“模块化施工+数字化管理”模式,实现土建与电气高效协同,多个项目工期缩短15天以上,以“现场赢市场”的实效打造核心竞争力。

技术攻关团队聚焦行业难题持续发力,深耕大体积混凝土温控防裂、GIS基础高精度调平、抗震优化等关键领域,形成10余项专利与工法。自主研发的“换流阀厅基础微变形控制施工技术”应用于±800kV项目,沉降偏差控制在2mm以内,达到行业领先水平。越州±800kV换流站防火墙高达40.4米、全长94米,创国内在建同类工程高度纪录,项目团队通过优化模板与浇筑工艺,布设温度传感器实时监测,结合组合模板、自密实混凝土与专项养护,成功攻克400毫米薄壁设计带来的施工难题,平整度误差控制在3毫米内,一次性验收通过,成果获国网推广。



越州换流站极2高端换流变防火墙主体结构封顶

在质量创优领域,公司表现亮眼。《衡阳±800千伏换流站土建A包工程质量策划》荣获中国施工企业管理协会首届建设工程质量提升竞赛一等奖,合州换流站项目《站区主建筑设备基础作业交底》获三等成果;在中国电力建设企业协会

2025年度QC小组成果竞赛中,《降低换流站筏板基础裂缝发生率》等三项成果全部荣获一等奖,充分彰显了在专业技术领域的领先实力。同时,公司全面推广智慧工地平台与PM系统应用,实现在建项目全覆盖,数字化、信息化水平持续提升。

三、党建人才赋能,厚植发展底蕴

公司将红色基因深度融入项目建设全过程,联合业主开展党建共建,组织赴湖南韶山瞻仰伟人故里,凝聚奋进力量。成立青年突击队与党员先锋队,深入开展

“双强双好”示范创建,推进党员“亮身份、唱主角、勇争先”行动,确保关键岗位有党员引领、关键工序有党员盯控、关键环节有党员把关。衡阳换流站项目党支部获浙

建集团“双强双好”擂台赛三等奖,成为党建与业务融合的典范。

通过党建联建、志愿服务、走访帮扶等举措,公司积极融入地方发展,“建一项工程、交一方朋友”的理念赢得广泛认可,相关事迹获学习强国、央广网等主流媒体报道60余条,社会影响力持续增强。在人才培养方面,实施“双导师带徒”“项目总工轮训”等工程,加速青年成长成才。目前已形成一支由35名注册建造师、高级工程师等组成的核心技术人才队伍,其中12人具备5个以上换流站项目经验,结构合理、经验丰富的骨干梯队为企业发展提供了坚实支撑。

站在“十五五”的新起点,浙江二建中南公司将继续秉持“专业立身、品质为本”理念,深耕换流站建设领域,以更精的专业、更强的技术、更优的人才、更红的底色,为新型电力系统建设和国家能源战略实施贡献更大力量。



中南公司党总支与业主临时党支部党建共建

评标智能化：从自动初审到可解释评分的实现路径

◎ 文 / 武汉市硚房汉信建设项目管理有限责任公司 戚方薇

一、引言

随着信息技术的飞速发展，人工智能(AI)在政府采购、工程招标等评标环节的应用，正日益成为推动招投标业务现代化、智能化与合规化的重要力量。传统评标流程依赖大量人工操作，不仅效率低下且容易受到主观因素影响，难以满足招标公正、透明和高效的要求。近年来，伴随大模型(如ChatGPT)的突破、规则引擎技术的成熟及可解释人工智能(XAI)理论的进步，评标流程迎来智能化升级的新机遇。

本文将系统分析评标流程中的智能化实践路径，探讨AI如何赋能资格/格式初审、技术比对、异常项提示，以及如何切实保障评标结果的可解释性与合规性。核心思路聚焦“规则引擎+大语言模型(LLM)混合架构”的系统实现，并梳理RAG(检索增强生成)、Shapley Value(夏普利值)等可解释性技术在保证审计合规和全流程留痕方面的落地机制，为招标领域的智能化转型提供可复制的实施方案。

二、评标流程数字化转型的必要性

2.1 传统评标流程痛点

1. 人工操作为主，效率低

资格/格式审查、技术评分依赖专家逐项查阅文档。

易出现漏项、错判、人为偏见。

2. 可追溯性与公正性欠佳

评审理由难以量化表达，争议时无法追溯详细判断过程。

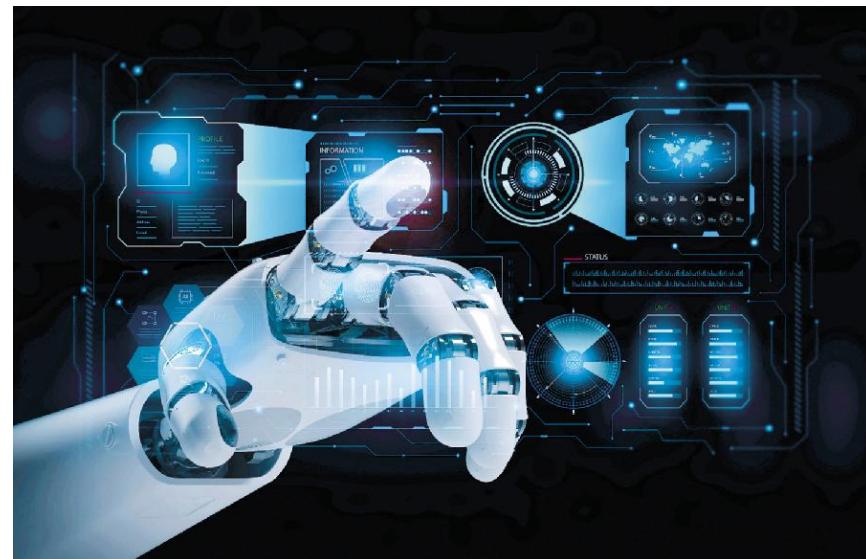
3. 合规压力与审计挑战

评标过程难以满足监管部门的合规检查与历史追溯需求。

2.2 数字化、智能化目标

解放人力：自动完成繁琐的初审与分项比对，提升效率。

增强可解释性：形成清晰的评分和审查依据，降低争议。



审计合规：全流程审计留痕，为质检和监管留存证据。

智能辅助决策：发现异常、规避主观化风险，辅助专家公正判断。

三、智能评标核心能力拆解

3.1 资格/格式初审自动化

资格审查(如企业资质、注册资金、人员情况)、格式审查(如表格填写完整性、文件签章等)，是招标流程的基础关卡。

实现要点如下：

结构化规则引擎：先通过规则引擎对公开、标准、结构性强的条款进行自动判定(如“注册资金不少于1000万元”)。

文本理解赋能：利用大语言模型，解决表述多样但实质相同的资质描述自动识别与匹配(如不同表达下的“同类业绩”比对)。

异常项提示：AI自动挖掘格式遗漏、逻辑不一致、资质异于常规等异常点，生成提示给专家复核。

3.2 技术比对与评分智能化

技术评分往往涉及复杂标准与多维权重，不仅关注合规，更考量技术创新、实施方案、服务等。

实现要点如下：

规则引擎定量判分：标准规范的“硬指标”由规则引擎自动判分。

大模型助力创新与案例分析：利用LLM理解复杂文本，如技术路线创新性、案例背景相符性等，给出基于证据的分析建议。

辅助决策而非替代人脑：AI输出可解释比对报告，专家把关并作最终确认。

3.3 可解释性与合规保障

AI自动化流程要获得信任，必须解释“为什么给出如此判定或评分”，而拒绝“黑箱式AI”。

核心举措如下：

RAG 证据链：检索增强生成(Retrieval-Augmented Generation)，将所有给分理由与源文档位置、相关法条等关联，生成溯源路径。

Shapley值解释：通过夏普利值(合作博弈价值分配理论)，量化各评分项对最终得分的贡献度，便于追溯影响权重。

详细审计留痕：自动记录每轮判定的原始数据、模型输出、中间推理、人工修订，保障全流程可溯源、可复查。

四、技术实现路径分析

4.1 规则引擎+LLM混合架构设计

A. 规则引擎负责标准化、结构化部分

针对“可明确转化为if-else形式的规则”的资质与格式类条款，采用规则引擎自动匹配。

如：投标企业注册资本≥1000万、具有ISO认证证书、合同业绩表中包含某关键词。

B. 大语言模型(LLM)处理非标准文本、复杂语义理解

针对行业惯例、案例分析、创新性要素等非结构化评分点，通过LLM完成文本摘要、语义归纳。

结合RAG框架，实现“AI判分+证据链输出”，所有给分必须附有“文档原文/条款/上下文”溯源。

C. 智能调度与人工复核机制

多模型融合判断，自动触发“人机复核”机制，对重要争议点、异常情况送入人工二审。

系统自动分级：结构化→AI辅助→专家复核，多层次安全兜底。

4.2 可解释性增强实践

(一) RAG (Retrieval-Augmented Generation) 证据链

LLM不能生成凭空解释，平台需先检索中标/投标文件、技术规范、参考文献，再结合基础大模型生成比对分析，输出：“本项得分因相关内容见于XX文档第N页……”

用户与监管可追溯每项评分背后的依据，降低争议与黑箱风险。

(二) Shapley值解析

针对多因子评分，利用夏普利值算法定量分摊各因子对总分的边际贡献（即“哪项评分起的决定性作用”）。

在出现质疑时，能明确告知“最终分数主要受哪几项驱动”。

4.3 审计留痕全流程落地

所有自动判定、模型结果、人工修订，均自动关联对应的电子标签与证据链，写入不可篡改的审计日志。

审核界面支持回溯对比、过程复盘、监管抽查，一键导出审计报告。

五、具体应用场景举例

5.1 自动资格初审

自动化流程：上传所有投标企业材料，系统批量解析资质、登记证书、业绩证明，根据设定规则一遍判定所有条目。

异常提示：如发现某供应商遗漏特定格式/资质，系统自动高亮并推送专家审核。

5.2 技术方案打分

AI辅助理解与摘要比对：对于项目方案报告多达上百页，由大模型先自动摘要项目关键技术路径、核心竞品信息，专家直接查看对比表。

创新性证据链：如评分项“技术创新”，AI自动链接原文描述，并输出“创新点溯源”索引。

5.3 合规与过程追溯

留痕机制：专家任何一次人工修订、批准，都要生成说明、打点，并与AI历史自动结果对比归档。

监管复查：未来项目一旦被抽检，可直接拉取全部审计流、评分细节及依据链，保障流程合法、合规、透明。

六、落地挑战与风险控制

6.1 数据质量与模型适配

真实采购/招标文件多为复杂PDF、扫描件，需OCR文本结构化及语义理解协同。

要持续训练适应本地化法规、条例与行业标准的AI微调模型。

6.2 规则动态演化与维护

法律、招标政策常变，规则引擎须支持在线动态维护，保证判定实时合规。

配合专业招标管理团队，定期优化与复审自动判定框架。

6.3 人机协同边界

严定“AI自动化”与“专家最终把关”

的责任边界，防范无人机全自主判决的失误风险。

建立异常多级预警与人工紧急介入流程，确保重大决策安全。

6.4 可解释性与“黑箱”困境

纯LLM输出远不够，必须硬性要求“基于原文证据+评分链”透明解释。

监管、监督部门与业务专家联手，推动AI透明化标准建设。

七、未来展望与结语

评标智能化是招标业态数字创新的关键抓手。从自动化资格初审，到AI助力复杂技术评分，再到全程可溯的合规留痕，每一环节都离不开规则引擎的结构判断与大语言模型的高阶文本理解，更尤其需依赖于RAG、Shapley值等可解释AI方法来消除“黑箱”争议，赢得监管、投标人及社会的广泛信任。

随着AI技术成熟，未来的智能化评标平台将更广泛连接各类信用、监管、知识库，实现端到端的高效、合规、可解释评标闭环。但要注意，智能化不是“全程无人”，而是“AI为主、专家把控”的协同新范式。合规性、可解释性与审计可追溯性，将是每一家招标平台迈向智能化的底线与核心。

在招标评标智能化转型前沿，不仅要技术创新提效，更要制度设计保公正。唯有如此，才能真正实现“中国式招标评标现代化”的目标，推动公共采购、工程建设等关键领域全面升级，助力国家数字经济建设迈向更高质量发展。



普话智造①政策观察

《加快推进绿色智能建造产业发展实施意见》

◎ 文 / 武汉建筑业协会秘书处 何洪普

近日,湖北省人民政府办公厅印发了《关于加快推进绿色智能建造产业发展的实施意见》(鄂政办发[2025]42号,以下简称《实施意见》)。这份政策文件顺应国家“十五五”战略规划数字化、智能化、绿色化的发展方向,立足我省2024年建筑业2.2万亿元产业规模(全国第4、中部第1)的坚实基础,针对当前行业“产业结构偏重传统、生产方式粗放低效、工程品质有待提升”等突出问题,量身定制的建筑业高质量发展蓝图。

首先值得一提的是,这个针对建筑业的文件并不像以往由省住建厅牵头或多个委厅局联合发文,下到各地市就是资建局、住更局去落实。这次是由省政府办公厅发文,面向的是各市州政府及省各部门,力度之大近年来十分罕见,尤其在文件最后,要求“各市州政府强化组织领导,细化落实措施”,那代表着不仅是住建一个系统的工作,而是强化了统筹协调和系统推进。下面何洪普就来具体聊聊文件的几处关键信息,供您参考。

一、新起点,新提法——“绿色智能建造”

为何要提出绿色智能建造?让我们来看下时间轴。今年7月的中央城市工作会议提出的推广新型建造模式,适用于不同气候区域、资源禀赋和应用场景的智能建造、绿色建造、装配式建造等新型建造方式及其一揽子解决方案。10月在国新办举行的“高质量完成‘十四五’规划”系列主题新闻发布会上,住建部表示,“十四五”期间,我国建筑业正以智能建造和绿色建造为双引擎,加速向工业化、数字化、绿色化转型。

首先智能建造为“好房子”注入智慧基因。从“智慧安防”到“全屋智能”,新一代信息技术的应用让住宅变得更安全、更便捷。这正是智能建造在应用层面的延伸,提升了居住的科技感和舒适度。



其次绿色建造为“好房子”筑牢健康基石,无论是空间尺度、空气质量、噪声、保温节能、人文关怀等都将健康守护贯穿

于建造全过程,将“以人为本”落到实处。

第三智能建造与绿色建造并非两条独立的平行线,而是相互促进、深度融合的有机整体。它们的最终落脚点正是满足人民群众对“好房子”的期盼,其核心是对人的健康、实用与关怀的极致追求。

正如武汉建筑业协会常务副会长刘自明两年前曾言道:我们现在很多企业把更多的经历放在了建筑设计和施工上面,忽视了建筑建成后的运营阶段,房子是供人居住的,道路桥梁是供车辆行驶的,建造阶段2-3年,后期使用则是几十年之久,绿色智能建造不能向后期运维延伸就无法体现真正价值。



二、新理念、新产业——融合发展

【原文】以现代工业理念改造传统建筑业,坚持研发设计、建造工艺、建筑材料和运营模式的融合创新。

【观点】工业的基本理念应该为通过标准化与规模化生产模式,为广大消费者提供物美价廉的产品。而用现代工业理念改造传统建筑业,聚焦设计、工艺、材料、模式等方面创新,无疑装配式建筑是最

贴合的技术体系,但是现在很多业内人“谈装色变”,何洪普相信在“十五五”期间,湖北省秉承以现代工业理念改造传统建筑业,建筑“产品”定能在标准化和规模化方面实现重大突破。

当然建筑业具有特殊性,所谓标准化也是相对的标准化,对于相同地区、相同功能、相同类型、相同规模的建筑,其设计荷

载差别较小,可以采用标准化的构件实现替代。相对标准化可以确保建设项目在设计、施工和采购时均选择同等标准的零部件与构配件,而且零部件、构配件的生产可以独立于设计施工过程,由“订购”模式,转变为“采购”模式,大幅提高零部件与构配件的生产效率和生产规模,可以极大地简化建设程序,提高建设效率,降低成本。

三、新角色、新分工——多方协同共享红利

【原文】鼓励龙头企业转型,构建集研发设计、部品部件生产、施工运维、咨询服务等业务于一体的全产业链格局,打造绿色智能建造标杆项目,从工程承包商向绿色智能建造整体方案供应商和城市综合服务运营商转变。

【观点】引导中小企业向专业承包细分赛道转型,鼓励开展细分领域的技术创新,支持申报高新技术和专精特新及“小巨人”企业称号。

【观点】湖北省于2023年12月率先发布了地方标准《智能建造评价标准》,武汉建筑业协会次年联合武汉市建筑行业工会联合、长江日报社九派新闻、湖北省智能建造产业协作联盟联合主办了首届武汉地区智能建造标杆项目竞赛活动,至今已举办第二届。在活动举办的效果、各企业的参与度、各项目的认知方面都呈现逐年向好的趋势。此次《实施意见》的发布再一次明确了绿色智能建造标杆项目的提法,再一次印证了绿色智能建造已成为建筑企业未来争夺高端市场的良兵利器。

鼓励“从工程承包商向绿色智能建造整体方案供应商和城市综合服务运营商转变”。这个提法核心是将建筑企业的角色定位,从单纯完成施工任务的“工程承包商”,提升为有能力提供一体化解决方案和长期运营服务的“整体方案供应商”与“城市综合服务运营商”。推动企业价值链的全面提升,从过去依赖施工环节的微薄利润,转向覆盖研发、设计、生产、运维、数据服务等全产业链的高附加值环节。从



武汉的实际案例上看,中建三局、武汉城建集团、湖北联投等企业早已洞悉政策方向,取得了显著成效。当下,正是有远见的企业摒弃旧有路径依赖、拥抱新模式、构建面向未来核心能力的关键窗口期。

此外对于中小企业也提出了细分赛道转型的要求,从近几年武汉市在建项目承接和各项目绿色智能建造成果应用上来看,中小企业的短板逐渐显露。在“十三五”、“十四五”期间,国家的城镇化处在高速发展期,在这个大开发、大建设的时代,绝大部分企业都以区域拓展、产值增速、规模扩张为发展的首要任务,建筑行业一路高歌猛进。传统建筑业中的管理的精细化、工效的标准化、成品的均质化以及从业人员素质等方面的问题,在高速发展过程中被掩盖住,在存量时代的当今逐渐暴露出来,是我们需要重点破解的难题。在行业下行的大势下,转型升

级便成了必然趋势。

在何洪普看来,升级对于龙头企业来说更为恰当,而对于中小企业来说向细分赛道转型则更加重要,聚焦工业软件算法、高精度传感器、小型智能建造装备和工具等领域是文件中所倡导的。在协会会员企业中有不少转型成功的中小企业,有主体劳务单位向文旅特色的模块化房屋产品转型的,有弱电专业分包单位向研发生产智慧工地产品转型的,有提供软件平台的服务商向机械装备自动驾驶操作系统转型的,这些成功案例无不说明在绿色智能建造领域细分赛道还存在一片蓝海。中小企业在资金、人才、技术、全产业链布局等方面的短板注定无法达到“整体方案供应商”和“城市综合服务运营商”的要求,那么将有限的资源和精力全心投入到细分赛道并做到最强,同样能在这场改革浪潮中屹立不倒。

四、新思维、新平台——完善产业生态

【原文】强化建筑产品思维，以提供“标准化产品+全流程服务”的系统解决方案为重点，加强绿色建材、智能装备、人力资源、建造技术、资金和信息流等生产要素协同，推动高水平供需对接。

【观点】这一条可谓“脑洞大开”。建筑产品思维的提法呼应了前文现代工业理念。建筑如何做成产品呢？我们都知道，传统建筑业更偏向于定制化，全生命周期的每一个环节都是相互独立且为

“串联关系”。设计出了图纸后才能招标，才有施工总承包，才能确定预制构件生产企业，才能开始室内装饰、室外景观绿化等相应专项设计和施工方案。而这次产品概念的提出，有望改变整个建筑业的布局和分工，将原有的“串联模式”变为各环节同步“并联”的模式。《实施意见》中的打造线上“淘宝网”和线下“广交会”或将实现绿色建材、智能装备、人力资源、部品部件多要素协同，为建筑产品

化提供平台保障。

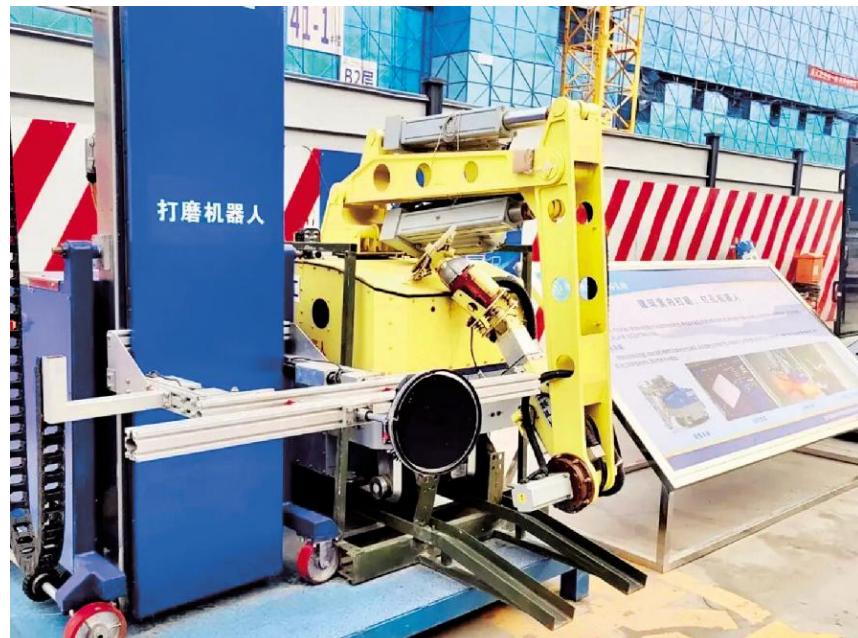
我们不妨大胆设想一下未来建筑业的场景：工程总承包商就在湖北省绿色智能建造产业互联网平台线上下单钢材、部品部件、产业工人、建筑机械租赁等，收到货确认付款，7天无理由退货，全省包邮，双十一促销等，并对各个细分领域的劳务、设备、材料等供应商给以相应的星级评价。在质量和服务双重保障下，建筑业的发展一定会有质的飞跃。

五、国内为基、拓展海外——助推建筑业双循环

【原文】拓展国内国际市场。发挥我省绿色智能建造产业先发优势，积极拓展国内市场。统筹推动“建筑业全链条+优势制造业”产业集群抱团出海，拓展出海通道，扩大开拓国际市场。

【观点】此条意见全面响应了住建部组织召开的服务“双循环”建设企业座谈会，会议进一步为新发展格局下建筑业转型升级和建设企业未来发展指明了方向。一是要立足于国内大循环，在提升发展质量上做文章。以系统推进好房子、好小区、好社区、好城区“四好”建设为契机，大力推动建筑业供给侧结构性改革，大力推进科技创新，巩固世界领先技术、集中攻关“卡脖子”技术、大力推广惠民适用技术。二是要促进国内国际双循环，在开拓国际市场上做文章。抓住机遇，提高国际市场开拓能力，积极塑造参与国际合作和竞争的新优势，同时，坚持两个市场、两种资源联动，提升“双循环”效率和水平。

湖北省建筑业的整体实力全国领先，



这里有“房魔”中建三局、“桥魔”中铁大桥局、“铁魔”中铁十一局、“港魔”中交二航局……可以说湖北省是中国基建狂魔的一个缩影，自2023年湖北省智能建造产

业协作联盟成立后，各“狂魔”之间的互动协作频率明显提升，《实施意见》中的抱团出海，将在十五五期间全面展示“湖北建造”的品牌形象。

六、建标准、重应用——筑牢建筑数字化基石

【原文】全省新立项房屋建筑、市政工程、国家高速公路、大型水利工程须采用BIM技术。加快推进工程建设管理BIM云平台建设，房屋建筑和市政工程的设计方案审查、施工图设计文件审查、竣工验收、档案移交等各环节须提交BIM文件。

【观点】BIM应用近几年来很少看到政府办的文件中如此明确的要求。《实施意见》中有几个关键词：全省、新立项、须采用、须提交。我们工程人都知道“须、应、宜”在标准条款中的力度。此次罕见的用了“须”，是否意味着BIM的价值已经得到了

全行业的普遍认同？何洪普认为答案是肯定的。在第二届智能建造标杆项目竞赛初赛环节以及热身赛“智汇江城，辩建未来”主题辩论赛上，不少民营企业也纷纷表示BIM技术应用为企业为项目带来的成本、效率、质量等价值。那么从明年开始，新立

项的房屋建筑、市政工程、国家高速公路、大型水利工程都将全面应用BIM技术,这

应该不仅仅限于设计BIM模型,生产BIM、施工BIM、运维BIM都将在未来得

到全面应用,真正的数字化工程时代已经来临,中小企业是否做好了充足准备呢?

七、变模式、调机制——发挥技术第一生产力作用

【原文】全面推行工程总承包。工程总承包项目采用总价合同,推行综合评标法,不得采用下浮率和模拟清单招标。工程总承包单位承担BIM贯通与智能装备应用责任,通过提高设计、建造和管理水平所节约的费用,作为企业合理利润。

【观点】有很多会员企业跟何洪普吐槽过,EPC做的不顺利,合同条款和结算模式设置不合理,无法充分激发工程总承包单位创新及降本的积极性。在调研过程中遇到了两类很有特点的项目。一个是设计院牵头的总价包干合同,一个是施工单位牵头的“双限”合同。

总价包干:约定了交付标准(品牌、材料、参数、效果、工期、奖项等要求),给以设计院充分的自主性,设计院通过精细化设计最大程度的控制了工程成本,通过对设计文件的充分理解最大程度的确保了工程质量进度,通过对主材用量的精确统计最大程度的提升了资金利用率。通过几点核心优势,得到了各方的认可,当然也收获了应得的利润。

“双限”:一限总价“天花板”,二限据



实结算。可以理解为工程总承包单位做超了的部分自己承担,节省的部分归甲方所有。往往这类项目,工程总承包单位要不凭借丰富经验贴近天花板做设计,做到合同额最大化,但风险颇高;要不谨慎设计,严格控制造价,但收入差距很大。无论是哪种选择对于建筑行业的整体进步提升都是不利的。

《实施意见》中提到了采用总价合同,通过提高设计、建造和管理水平所节约的费用,作为企业合理利润。这无疑对于推行工程总承包模式是利好的,在何洪普的认知里,工程总承包才是推动绿色智能制造的最好模式。此次将推进产业发展和推行模式创新放在一起,将为全省建筑业的绿色智能转型提供基础保障。

八、工业化、绿色化——明方向定目标

【原文】全面推广装配式建筑。2026年1月1日起,将装配式建筑要求纳入土地出让(划拨)条件,设区城市的中心城区与直管市城区新建房屋建筑工程应100%实施装配式建筑;2028年1月1日起实施范围扩展至设区城市其他城区。装配式建筑要求纳入规划设计条件、设计文件审查、质量安全监督,并作为竣工验收重要内容。鼓励应用保温结构一体化预制外墙、集成厨房、整体卫浴等高效集成的部品部件。国有资金投资的市政工程应采用预制箱梁、墩柱、检查井、管片、箱涵等

部品部件,逐步扩大应用范围。鼓励工业建筑和交通、水利、能源等工程项目积极应用装配式部品部件。新建和改造的居住建筑、酒店、商超、学校、医院等项目应采用装配式装修。鼓励研发应用建筑工业化新型结构体系和部品部件连接安装新技术,试点推广模块化建筑。(责任单位:省住建厅、省自然资源厅、省发改委、省交通运输厅、省水利厅)

【观点】此原文完整摘抄,何洪普一个字都不舍得删减。“全面推广”这已经有别于十四五初期湖北省住建厅等15部门联

合发布的《关于推动新型建筑工业化与智能建造发展的实施意见》鄂建文〔2021〕34号中的“大力发展”、“积极推广”等字眼,可见5年间湖北省尤其是武汉市装配式建筑的发展情况和经验积累已经达到一定的水平。

1.《实施意见》中“全面”的起始点有两个时间点:一是2026年1月1日,涉及的范围包含武汉、宜昌、襄阳等12个地级市以及天门、仙桃、潜江3个直管市的主城区;二是2028年1月1日起涉及的范围扩展至其他城区。

2、工程类别为新建房屋建筑工程应100%实施装配式建筑。是的，你没有看错，两个很亮眼的词。“应”、“100%”。这个力度在全国一线城市中都较为罕见，再看看管理层面，土地出让（划拨）条件、规划设计条件、设计文件审查、质量安全监督、竣工验收全部纳入装配式要求。之前接触过很多被处罚的项目案例，根本原因还是管理不闭环，武汉市自2024年转隶以来，实行的是规建营一体的管理机制，那么这次调整，彻底做到了对装配式建筑的行业闭环管理。

3、鼓励应用保温结构一体化预制外墙。这一条非常关键，保温层脱落已成为近年来频发的质量和安全问题，究其根本原因就是两种建筑材料的使用寿命不同以及连接方式的耐久性和耐候性不强。外墙外保温与结构同寿命是好房子必要条件，之所以用鼓励，何洪普认为除了保温结构一体化预制外墙（三明治墙）以外，预制混凝土反打保温外墙、应用免拆复核保温模板的现浇外墙、结合装配式装修的外墙内保温技术都具备了保温与结构同寿命的技术要求（详见DB42/T 2068-2023），那么就可以根据相关边界条件选择最优技术方案。



4、应用范围的扩大，延伸至了国有资金投资的市政工程应采用预制箱梁、墩柱、检查井、管片、箱涵等部品部件。注意看，对，又是“应”，湖北省的各个预制构件工厂相信将迎来一波红利，这些领域的技术、资源、市场的储备应该尽早建立；而在标准体系方面，相关的产品标准以及评价标准也亟待建立，武汉建筑业协会2024年批准立项了装配式桥梁评价标准，目前已完成初稿编制，相信在评价标准的驱动

下，市政工程的部品部件的应用也将进入一个新的阶段。

5、《实施意见》中将装配式装修也提到了一个新的高度。三个关键词“新建”、“改造”、“应”，我想表达一点，在未来增量市场和存量市场此消彼长的态势下，城市更新类项目尤其是各个老破小房屋的改造方面，装配式装修具备了明显的优势，此次实施意见极有可能带来一批既有建筑改造的试点示范项目，咱们拭目以待。

九、从设计、到运维——全生命周期贯通

文件的第（九）条到第（十三）条主要是从数字设计、智能生产、智能施工、智慧运维、绿色智慧产品维度提出了很多新的技术应用点。这些过于专业，具体内容可

详见湖北省地方标准《智能建造评价标准》（详见DB42/T 2159-2023），但其中有一个词语非常的亮眼就是“全生命周期追溯体系”。前面的设计到运维讲的是过

程，最后的绿色智慧产品讲的是结果，如果建筑真正做到了产品化，那么这个产品的全生命周期追溯体系便应该要贯穿每一个环节了。

十、完善支撑、强劲保障——多措并举利发展

《实施意见》的最后六条是人才链、资金链、服务链的产业生态优化以及资金、政策、宣传的大力支持。其中有些意见尚需等待具体落实措施，暂无法提出比较新的观点在这里不做过多赘述，但有几条政策还是想重点提一下。

【原文】土地出让条件中应明确装配式建设要求，项目立项阶段应明确BIM技术应用要求，完善工程总承包、BIM应

用等取费计价标准。

【原文】支持部品部件生产企业开展产线智能化改造与生产工艺创新，享受工业技改相关政策。

【原文】保障绿色智能建造产业园区项目用地，并对土地亩均产出率、地均纳税额等用地控制指标放宽执行，

【观点】分开表述对应三类企业。第一类是利于设计与施工企业，明确了项目来

源和取费依据；第二类是利于构件生产企业，享受工业政策，是否意味着预制构件将被重新赋予工业产品属性；第三类是利于产业集群，尤其强调了产出率和均地纳税额两项利好政策，将吸引更多优秀企业在湖北落户。

以上内容仅代表个人观点，欢迎行业同仁评论交流。

从香港火灾到全国城市安全： 城市建筑“老化”与“长高”的双重安全命题如何破解？

◎ 文 / 中智联研究院 靳成娇

凌晨两点，一场持续燃烧超过 24 小时的五级大火终于被扑灭。香港大埔宏福苑七栋楼宇外墙那层不符合防火标准的保护网和防水帆布，已经在烟囱效应中化为灰烬。这场噩梦，正在中国数以万计的老旧建筑中酝酿。

2025 年 11 月 26 日，香港大埔宏福苑一场燃烧超过 24 小时的五级大火，暴露了楼龄超过 42 年的住宅区安全体系深层裂痕。警方调查发现，建筑物外墙保护网、防水帆布和塑料布疑似不符合防火标准，而电梯大堂窗外的发泡胶包封加速了火势蔓延。

这场火灾与一个月前上海某超高层写字楼因电气老化引发的火警形成鲜明对比——中国城市同时面临着高层建筑风险集中和老旧建筑隐患普遍化的“双高”挑战。数据显示，截至 2024 年，我国 200 米以上高层建筑已达 957 座，占全球总数 40%，而房龄超 30 年的建筑占比达 35%。

一、双高挑战：高层建筑与老旧住宅的安全博弈

高层建筑与老旧住宅共同构成了中国城市安全的双重挑战，这两类建筑在风险特征、管理难度和更新需求上呈现明显差异却又相互关联。

高层建筑风险集中化特征显著。以上海为例，全市 150 米以上高层建筑突破 200 座，这些“垂直城市”容纳了数十万人口和大量商业活动。根据应急管理部门统计，高层建筑火灾平均救援时间是普通建筑的 3.5 倍，而完全疏散所需时间则高达 5 倍以上。

宏福苑火灾暴露了高层建筑特有的“烟囱效应”风险。火势在仅 0.5 米的外墙间隙中迅速蔓延，12 分钟内从地面直窜 40 层顶楼，这是低层建筑极少出现的现象。高层建筑复杂的竖向通道系统、密集的人员分布以及受限的消防救援条件，使其安全隐患具有明显的“放大效应”。

老旧住宅区则面临隐患普遍化的挑战。截至 2024 年，全国城镇老旧小区约有 22 万个，涉及居民约 3900 万户。这些建于上世纪 80-90 年代的住宅区普遍存在“五大防火短板”：消防设施缺损、违章搭建普遍、电气隐患突出、消防通道堵塞以及特殊群体防护不足。

更值得警惕的是，许多老旧住宅正在通过“旧改”项目转变为小高层或高层建筑，却未能同步提升消防安全标准。清华大学建筑学院教授尹稚指出：“建筑高度与风险等级呈指数级增长关系，但我们的安全标准更新却滞后于建设速度。”



二、高度困境：摩天大楼的全生命周期管理难题

中国高层建筑的快速扩张与安全管理体系的不匹配，正在形成日益严重的“高度困境”。从设计施工到运营维护，高层建筑的全生命周期管理面临系统性挑战。

设计阶段的安全缺陷被锁定。部分早期高层建筑为追求标志性外观或最大化可售面积，牺牲了消防安全设计。常见问题包括避难层设置不足、疏散楼梯宽度不够、消防电梯配置不达标等。根据中国建筑科学研究院2024年发布的报告，全国约18%的200米以上高层建筑存在先天的消防设计缺陷。

施工质量隐患难以追溯。不同于老旧住宅的显性老化问题，高层建筑的结构安全和防火系统缺陷往往隐蔽在墙体内部或设备层中。上海一栋28年楼龄的写字楼在2024年检修时发现，原设计的防火涂料在关键结构部位未按标准施工，这一隐患存在了近三十年才被发现。

运营维护成本呈非线性增长。研究显示，建筑高度超过150米后，每增加50米，年度维护成本增加约40%。超高层建筑的幕墙清洁、电梯维护、消防系统检测等专业服务，需要远高于普通建筑的资金和技术投入。然而，许多高层建筑的维修基金并未按此增长规律足额筹集。

技术更新迭代速度快于改造周期。智慧消防、电气火灾监控、自动喷淋系统等安全技术平均每5-7年就有重大升级，但高层建筑的全面系统更新周期通常长达15-20年。这种技术迭代与改造周期的错配，导致许多高层建筑始终在使用落后一代甚至两代的安全技术。



三、治理难题：多方责任下的管理真空

高层建筑和老旧住宅在城市更新中面临相似的治理困境，但表现形式和解决难度存在显著差异。责任主体不明、资金筹措困难、技术标准滞后共同构成了城市建筑安全更新的三重障碍。

高层建筑的责任分散问题尤为突出。一栋典型的商业高层建筑可能涉及业主、物业管理公司、租户、设备供应商等多方主体，而消防安全责任往往在各方之间模糊不清。2024年深圳一栋高层写字楼火灾后的责任认定中，发现了至少六个相关方对同一安全隐患负有不同程度的责任。

老旧住宅区则面临业主自治能力不足的挑战。以香港宏福苑为例，业主立案法团虽具有法律主体资格，但缺乏专业能力评估复杂的维修工程。该苑维修工程预算超3亿港币，法团已支付近1.8亿港币，然而对工程质量、安全标准的监管能力明显不足。

资金缺口呈现不同类型。高层建筑的

维修资金缺口主要体现在专业性强、成本高的系统更新上，如消防系统整体改造、智能安防升级等；老旧住宅则面临基础性、全面性的维修资金短缺。数据显示，全国老旧小区改造的资金需求约5.8万亿元，而实际筹资仅为需求的约30%。

技术标准滞后于现实发展。中国建筑

标准设计研究院专家指出，现行《建筑设计防火规范》对150米以上超高层建筑的防火要求缺乏针对性规定，而这类建筑恰恰面临最严峻的消防安全挑战。同时，老旧小区改造中广泛使用的保温材料、外装饰材料等，其防火标准与施工工艺之间的衔接存在明显空白。

四、国际比较：针对不同建筑类型的更新策略

全球主要城市针对高层建筑和老旧小区的不同特点，形成了多样化的更新策略。这些经验为中国城市应对“双高”挑战提供了有价值的参考。

五、中国路径：分层分类的系统性解决方案

面对高层建筑与老旧小区的双重挑战，中国需要建立分层分类的系统性解决方案，将政策引导、市场机制和技术创新有机结合，形成可持续的城市建筑安全更新生态。

建立建筑安全风险分级管理体系。根据建筑高度、楼龄、结构类型、使用功能等因素，建立全国统一的建筑安全风险评级标准。可将建筑分为A(高风险)、B(中风险)、C(低风险)三个等级，实施差异化的监管和更新要求。高层建筑和超过30年楼龄的老旧小区应自动纳入A级或B级监管范围。

创新针对性的融资机制。对于高层商业建筑，可推广“安全更新REITs”模式，将建筑安全改造项目打包为不动产投资信托基金，吸引社会资本参与。对于老旧小区，可建立“政府引导基金+居民合理分担+金融机构信贷支持”的多层次资金体系。财政部数据显示，2024年已安排超过4250亿元中央资金支持城市更新项目，应明确一定比例专门用于建筑安全改造。

完善技术标准与认证体系。针对高层

模式	高层建筑策略	老旧小区策略	核心机制	中国适应性分析
纽约模式	政府强制立面检查(FISP)，业主承担维修责任	容积率奖励激励私人资本参与改造	业主每月需缴纳一定数额的地产税与管理费，政府实施监管，强制要求购买保险，高度市场化运作。	仅适用于商业高层建筑，住宅应用困难
东京模式	公寓自主管理组合+法定长期修缮计划	建立维修储备金制度，政府提供低息贷款	业主购房时需缴纳类似中国维修基金性质的费用，但是资金有限	维修储备金制度已在中国部分城市试点
伦敦模式	成立高层建筑安全基金，资助危险外墙材料更换	选择性重点改造，政府主导高风险建筑更新	开发商交一笔建筑安全税，政府成立基金共同承担，总体资金额度有限	适合中国城市集中资源优先解决高风险建筑的安全隐患
新加坡模式	公租高层住宅政府兜底，私有高层建筑设立维修基金	组屋区系统性更新计划，每7-10年进行一次主要翻新	公租房政府兜底，住户补部分，属于非市场化行为	适合中国保障性住房和高风险老旧小区改造

建筑，应制定专门的《超高层建筑消防安全技术标准》，明确200米以上建筑的防火、疏散、救援特殊要求。对于老旧小区改造，建立建筑材料防火认证制度，确保外墙保温、装饰材料等符合最新安全标准。中国建筑科学研究院等部门正在编制的《房屋建筑体检实施评价导则》应加快推广实施。

强化全生命周期安全管理。推广建筑“安全护照”制度，记录从设计、施工到运营、维护全过程的安全信息。要求高层建

筑每5年进行一次全面安全评估，老旧小区每3年进行一次重点评估。评估结果与建筑使用许可、房产交易、保险费用等挂钩，形成闭环管理。

培育专业化的更新服务产业。鼓励工程咨询企业、物业管理公司和专业施工企业形成“更新服务联合体”，为不同类型建筑提供定制化更新解决方案。支持专业机构开展高层建筑消防救援技术研发和老旧小区快速改造技术开发，提高更新效率和安全性。

六、工程咨询企业的新角色：从蓝图绘制到安全守护

在应对城市“双高”挑战的过程中，工程咨询企业正从传统的设计服务提供者转变为城市安全系统的重要参与者和协调者。这一角色转变为企业带来了新的责任和机遇。

工程咨询企业可建立建筑安全数字底座平台，整合高层建筑和老旧住宅的结构数据、设备状态、维修记录等多维信息，实现安全风险的实时监测与预警。通过物联网传感器、无人机巡检和人工智能分析，平台可提前识别潜在隐患，建议精准的干预措施。

针对复杂的多方协调难题，工程咨询企业可扮演城市更新协调平台的角色。借鉴香港业主立案法团的独立法人地位，工程咨询企业可接受委托作为第三方管理主体，协调业主、政府、施工方和专业机构，确保更新项目的专业性和透明度。

在融资机制创新方面，工程咨询企业可开发建筑安全更新金融产品。通过精确的项目评估和风险管理，将安全改造项目转化为可投资的金融产品，吸引保险资金、养老金等长期资本进入城市更新领域。这种基于专业评估的金融创新，能够有效解决更新资金短缺问题。

工程咨询企业还应推动安全技术研发与标准制定。与科研机构合作，针对高层建筑消防救援、老旧住宅快速加固等难题开发新技术、新材料。同时，参与国家和行业标准的制定，将实践经验转化为规范要求，提高整个行业的安全水平。

最为关键的是，工程咨询企业需要培养跨领域的综合能力。城市建设安全涉及建筑结构、消防工程、电气安全、智能系统等多个专业领域，传统单一专业的服务模式已无法满足需求。企业需要建立跨专业团队，提供从检测评估、方案设计、施工管理到后期维护的全过程服务。



七、结语

夜幕降临，上海陆家嘴的摩天楼群灯火通明，而几公里外老城区的旧式里弄则显得昏暗许多。这两种截然不同的城市景观，正面临着各自的安全挑战，却又被同一个更新体系所连接。

在南京，部分片区的高层住宅刚刚开

展了消防隐患整改工程，改造资金来自业主维修基金、政府补贴和第三方机构投资的组合。在北京，首个针对超高层建筑的智慧消防标准正在征求意见，试图用技术手段弥补物理空间的局限。

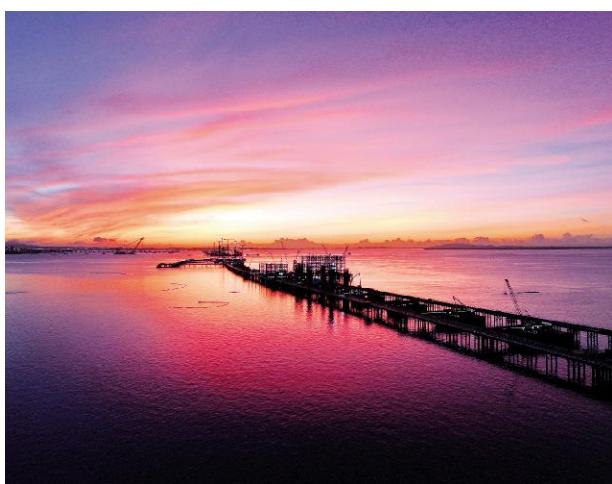
当城市高度不断刷新天际线，当老

旧社区承载着几代人的记忆，中国城市更新正站在一个关键转折点。香港大埔宏福苑的火灾警示我们：建筑安全问题不分新旧高低，唯有系统性的更新思维和多元化的实施路径，才能构建真正安全的城市未来。

武汉建筑业“逐梦新征程 建功新时代” 主题摄影大赛一等奖获奖作品



武汉常青路主线转体桥工程 中铁十一局六公司 杨光摄



厦金大桥(厦门段)霞光绽放 中交二航局 席婷婷摄



《炽焰匠心》 中建三局一公司 顾宇辉摄

冬日里的咸菜

◎文/中建三局第二建设工程有限责任公司 梁征



入冬后的小区，随处可见晾晒的小萝卜块，这让我不禁想起童年家里腌菜往事。那些秋后经霜打过的白菜、芥菜和白萝卜等，被母亲一车车拉回家中。每到这个时候，母亲总会坐在屋前的小井边，清洗大堆的芥菜和白萝卜，而我则在一旁来回地围着转。日光下，眼睛被晒得昏昏沉沉，猛地一站起来还会打晃，两手被水浸泡得白白皱皱，被阳光一照，却冰冷得异常发痛。

在那个年代，生活虽然简单，但充满了温馨与快乐。记得那时，我最喜欢做的就是打赤脚站在缸里踩实腌菜。当时并不懂得腌菜压实的原理，只知道这种简单的劳作能带来满满的成就感，并且乐此不疲。后来想想，那种快乐是真正纯粹的，让人难以忘怀。或许正是因此，我们常常感慨越长大越孤单，也不是没有道理的。生活还是要简单点，简单即快乐！



母亲总是忙碌不停，散乱的头发被风吹起，脸颊被吹得红红的，微微干裂着。她依然不停地忙碌着，满手的泥转眼就被水冲掉又回来了。那些芥菜、白萝卜清洗干净后，母亲把它们分门别类地放到比我还高的大缸里，压瓷实后撒上调料，做成各种各样的腌菜。一个月后，这些美味可口的腌菜就可以上桌了。

芥菜的菜叶切小块晾干后就成了梅干菜，那些菜头和萝卜会切成小条或薄片儿，晾晒在门前那些没有常人走动的田埂边，或是稍晒干然后放进腌菜坛子里做成咸菜。大萝卜和萝卜缨子一起剁碎了，稍稍吹干水分，撒上盐腌起来，这个就是我一直以来都比较想念和回味的萝卜腌菜了。

等母亲忙完，就连被削下来的皮啊根啊也不浪费，枝枝叶叶归拢归拢，撮到大门口的水泥坪上晒晒，到时候用来当柴火。儿时的我久居乡下，交通不便，只有每周赶集时能添些零食。正是嘴馋的年纪，屋里的腌菜坛便成了我的美食百宝箱，不管什么季节都有相应的美食。这些年，腌菜一直陪伴着我。

在省城读大学期间，我每个月都会回家，把母亲腌制的萝卜、辣椒姜丝、刀芭豆

等腌菜用玻璃瓶装好。每当吃饭的时候，拧开瓶盖，一股熟悉的浓香扩散开来，携着丝丝酸意勾人食欲。舀起一小勺辣椒放入嘴里，久违的味道包裹着味蕾，像是老友相逢，熟悉而热烈。

后来，参加工作后，天天有鱼、顿顿吃肉，再也没有吃过母亲的腌菜了。前不久，妻子说想吃母亲的腌菜，我便给母亲打了电话。没有想到，不到一个半月的时间，我们就收到了母亲快递来的一坛腌菜。

母亲制作腌菜的做法看上去和别家区别不大，内外的细节却大有不同。不管是原料的选用、盐的配比、腌制的时间，还是萝卜条大小和日晒时间、姜丝细度等，都有其讲究。历年来根据自家的口味不断调整，才凝聚成这独特的美味。只是随着母亲年纪大了，开始力不从心，便逐渐放弃了腌菜制作，没想到为了我又捡了起来。

“这萝卜爽脆，又香又下饭，没想到我在这还能尝到这么正宗的味道，真是绝了！”同事在我家吃饭的时候如此感慨道。我夹起一根萝卜放入口中，仿佛看见了母亲蹒跚的脚步，腌制着萝卜的场景。也许，我该回去一趟，看看母亲，好好尝尝母亲亲手腌制的咸菜……