

智能建造技术在大型公共建筑施工中的应用前景

郑全阔

天津地铁资源投资有限公司 天津 300000

摘要：大型公共建筑规模大、结构复杂、技术集成度高，传统建造模式面临效率低、资源浪费、安全隐患和信息孤岛等问题。智能建造技术——融合BIM、物联网、人工智能、大数据与机器人等——正成为破解这些难题的关键，有望重塑施工范式。本文系统探讨其在大型公建全生命周期中的深度应用：首先界定智能建造内涵并分析其独特价值；其次梳理各项关键技术的具体应用场景；再次阐述其在提升效率、绿色性、安全性与精益化方面的变革作用；最后指出当前面临的标准缺失、复合型人才短缺、数据安全与系统互操作性等挑战，并展望以“数字孪生”和“人机协同”为核心的智能建造新生态。研究旨在为大型公共建筑智能化转型提供理论参考与战略指引。

关键词：智能建造；大型公共建筑；BIM；物联网；人工智能

引言

大型公共建筑如体育场馆、交通枢纽和超高层综合体，是城市精神与科技实力的象征，但其建设长期受困于传统建造模式：工期冗长、成本超支、安全风险高、资源消耗大。这些问题源于建筑业过度依赖人工经验、信息传递失真及多方协同低效。面对挑战，以BIM、物联网、人工智能、大数据等为代表的新一代信息技术驱动的智能建造应运而生。对大型公建这一复杂巨系统而言，智能建造不是技术简单叠加，而是生产力与生产关系的深刻变革。它通过构建覆盖项目全生命周期的数字化“神经中枢”，实现对人、机、料、法、环等要素的精准感知、实时分析、科学决策与自动执行，有效破解传统痛点，并推动建造效率、工程品质与管理模式跃升。深入研究其应用图景与发展路径，对引领我国建筑业高质量发展具有重大战略意义。

1 智能建造的内涵及其在大型公建中的战略价值

1.1 智能建造的内涵界定

智能建造，是以建筑工业化为基础，深度融合以BIM、物联网、云计算、大数据、人工智能、5G、区块链及建筑机器人等为代表的新一代信息技术，对工程建设全过程进行数字化表达、智能化决策、自动化作业和智慧化管理的一种新型建造方式。其核心在于打破物理世界与数字世界的壁垒，通过创建一个与实体建筑完全对应的、动态演进的“数字孪生体”，实现虚拟与现实的交互融合与闭环优化。智能建造的目标，是全面提升工程的安全、质量、效益和品质，推动建筑业向绿色化、工业化、数字化、智能化转型升级。

1.2 在大型公共建筑中的独特价值

在大型公共建筑中，智能建造具有突出战略价值：

一是应对复杂性，如异形结构、多专业管线交织，依赖BIM等工具进行三维模拟与冲突预演；二是满足高度集成需求，通过统一数据平台实现数十至上百参与方高效协同；三是保障高标准，以精细化、可追溯的管理手段确保工程在质量、安全、环保等方面的严苛要求；四是支撑全生命周期管理，建造阶段植入的数字化基础为后期长达数十年的智慧运维和资产增值提供关键支撑。

2 智能建造关键技术在大公建施工中的应用

2.1 基于BIM的全生命周期协同设计与深化

BIM是智能建造的基石。在大型公建项目中，BIM的应用远不止于三维建模。在设计阶段，通过建立高精度（LOD 400及以上）的BIM模型，可以进行多专业协同设计，利用碰撞检查功能提前发现并解决数千甚至数万个管线、结构、设备之间的空间冲突，避免现场返工。在施工准备阶段，BIM模型被用于施工方案模拟（4D/5D），将进度计划与成本信息与模型关联，直观地展示施工全过程，优化工序逻辑、资源配置和场地布置^[1]。对于钢结构、幕墙等复杂构件，BIM模型可直接输出数控加工数据（CNC），驱动工厂自动化生产线，实现“所见即所得”的精准制造。例如，针对大跨度网架结构，可通过BIM进行分段吊装模拟，精确计算每块单元的重心、吊点位置及受力状态，生成最优的吊装顺序和临时支撑方案，确保施工安全与精度。

2.2 物联网（IoT）驱动的施工现场万物互联

物联网技术将施工现场的“哑”设备变为“会说话”的智能终端。通过在塔吊、施工电梯、高支模架体等关键设备和危险区域部署传感器，可以实时采集应力、位移、倾角、风速等数据，一旦超过预警阈值，系统立即报警，实现对重大危险源的主动预防。在人员管

理方面,通过为工人佩戴集成了UWB(超宽带)或北斗定位芯片的智能安全帽,可以实现厘米级精度的人员定位、考勤统计和电子围栏管理,在发生险情时能迅速锁定受困人员位置。在物料管理上,利用RFID或二维码技术,可以对钢筋、混凝土预制构件等大宗材料进行从出厂、运输、进场验收到安装使用的全流程追踪,确保材料质量可溯、用量可控。此外,环境监测物联网也至关重要,通过布设PM2.5、噪音、温湿度传感器,可实时监控现场环保指标,自动生成合规报告。

2.3 人工智能(AI)赋能的智能决策与自动化施工

人工智能是智能建造的大脑。在安全管理领域,AI视频分析技术可以7x24小时自动识别监控画面中的未戴安全帽、未系安全带、闯入危险区域等违章行为,并即时推送告警信息至相关责任人。在质量管理方面,AI算法可以分析无人机或高清摄像头拍摄的墙面、地面图像,自动检测平整度、裂缝、色差等缺陷,其识别精度可达亚毫米级^[2]。更进一步,AI正逐步走向现场作业一线。建筑机器人家族日益壮大,包括用于室内喷涂、地面整平、墙体砌筑、钢筋绑扎甚至高空焊接的各类机器人。它们不仅能替代人工完成繁重、危险、重复性高的工作,更能保证作业的毫米级精度和一致性,彻底改变“人海战术”的粗放模式。例如,激光导引的地面整平机器人,能根据BIM模型中的地坪标高数据,自动规划路径并完成高精度混凝土找平,效率是人工的3-5倍。

2.4 大数据分析支撑的精益化项目管理

大型公建项目每天产生海量的进度、成本、质量、安全、物料等数据。通过构建项目级大数据中心,对这些多源异构数据进行清洗、整合与挖掘,可以实现前所未有的管理洞察力。例如,通过分析历史项目的进度数据与天气、供应链等因素的关联性,可以构建基于机器学习的工期预测模型,提前数周甚至数月预警潜在的延误风险。通过实时监控人材机的实际消耗与BIM 5D模型中的预算对比,可以进行动态的成本偏差分析,及时采取纠偏措施。通过对质量问题的聚类分析,可以识别出高频次、高影响的质量通病,从而有针对性地加强过程控制。此外,大数据还能优化物流与供应链管理,通过预测材料需求高峰,协调供应商提前备货,避免因材料短缺导致的停工待料。

2.5 面向智慧运维的数字交付与孪生底座

施工阶段的终点,是运维阶段的起点。智能建造强调面向运维的交付。项目竣工时,不再仅仅交付一套纸质或电子版的竣工图纸,而是交付一个包含所有建筑构件几何信息、物理属性(如防火等级、隔声性能)、生

产厂家、维护手册、保修信息、IoT设备点位等丰富数据的竣工BIM模型。这个模型作为建筑的“数字身份证”,无缝接入后期的建筑运维管理系统(CAFM/IWMS),为设施管理、能源管理、应急管理等提供强大的数据支持。在此基础上,结合IoT实时数据流,即可构建起一个活的“数字孪生”建筑,管理者可以在虚拟空间中对各种运维策略(如空调系统节能运行方案、大型活动人流疏散预案)进行仿真和优化,再将最优方案应用于物理实体,实现真正的智慧化、预测性运维。

3 智能建造驱动的大型公建施工模式变革

3.1 从“碎片化”到“一体化”的协同模式

智能建造平台打破了传统项目管理中各参与方“信息孤岛”的壁垒。设计、施工、供应商等各方在同一平台上基于同一套权威数据进行工作,所有的设计变更、技术核定、进度更新都能实时同步。这种一体化的协同模式,极大地减少了沟通成本和误解,确保了项目信息的唯一性和一致性,从根本上提升了协同效率。例如,当机电设计师在BIM模型中调整了一根风管的位置,结构工程师能立刻收到通知,并检查是否与梁发生冲突,从而将问题解决在设计阶段。

3.2 从“被动响应”到“主动预防”的安全管控

借助IoT和AI,安全管理实现了质的飞跃。系统不再是事故发生后的事后追责,而是通过全天候、全方位的智能监控与风险预警,将安全隐患消灭在萌芽状态。这种主动预防的模式,显著降低了安全事故的发生率,保障了工人的生命安全,也为企业规避了巨大的法律和声誉风险^[3]。例如,高支模监测系统能在架体发生微小变形时就发出预警,远早于肉眼可见的危险征兆。

3.3 从“粗放式”到“精益化”的资源管理

通过BIM 5D和大数据分析,项目管理者可以像指挥家一样,对人、材、机等资源进行精细化的调度与优化。材料按需精准配送,避免了现场大量堆存和二次搬运;劳动力根据工序需求动态调配,减少了窝工现象;机械设备的使用效率得到最大化。这种精益化管理,直接转化为成本的节约和效益的提升。例如,通过分析塔吊的运行日志,可以优化其作业半径内的任务分配,减少空载回转时间。

3.4 从“高碳排”到“绿色化”的建造过程

智能建造是实现“双碳”目标的重要抓手。通过精确的BIM算量,可以最大限度地减少材料浪费;通过优化施工方案和物流路径,可以降低能源消耗;通过推广装配式建筑和建筑机器人,可以减少现场湿作业和扬尘噪音。整个建造过程变得更加清洁、低碳、环保,符合

可持续发展的时代要求。例如,利用BIM进行日照和风环境模拟,可以优化施工场地布局,减少夜间照明和通风能耗。

4 挑战、对策与未来展望

4.1 当前面临的主要挑战

首先是标准与规范体系不健全。不同软件、硬件、数据格式之间缺乏统一标准(如IFC、COBie等开放标准的普及度不足),导致系统间难以互联互通,形成了新的“数据烟囱”。其次是复合型人才极度短缺。既懂土木工程又精通信息技术的“智能建造师”凤毛麟角,制约了技术的深度应用。再次是初期投入成本较高。软硬件采购、系统集成、人员培训等都需要大量前期投资,对于部分企业构成门槛。最后是数据安全与隐私保护问题。海量的工程数据一旦泄露或被恶意攻击,后果不堪设想。

4.2 应对策略与发展建议

针对上述挑战,应多措并举。国家层面应加快制定和完善智能建造相关的技术标准、数据标准和评价体系,营造良好的产业生态。教育机构应大力改革人才培养模式,开设智能建造交叉学科,培养急需的专业人才。企业层面应转变观念,将智能建造视为长期的战略投资而非短期的成本负担,并通过试点项目积累经验、验证效益。同时,必须高度重视网络安全防护体系建设,采用区块链等技术确保数据的真实、完整与安全。

4.3 未来展望:迈向“人机共生”的智能建造新纪元

展望未来,智能建造将朝着更加自主、协同、智慧的方向演进。数字孪生技术将从单体建筑扩展到整个片区乃至城市,实现宏观层面的规划、建设和管理协同。人工智能将从辅助决策走向自主决策,能够根据实时数据自动调整施工计划和资源配置。建筑机器人将形成集群协作能力,多个机器人可以像一支训练有素的队伍,协同完成复杂的建造任务^[4]。例如,一个由测量机器人、钢筋绑扎机器人和混凝土浇筑机器人组成的“无人化”

作业单元,可以在BIM模型的统一指挥下,自主完成一个标准楼层的施工。最终,人类工程师的角色将从繁重的体力劳动和重复性脑力劳动中解放出来,更多地聚焦于创造性设计、复杂问题解决和人机协同的顶层规划,共同迈向一个高效、安全、绿色、充满创造力的智能建造新纪元。

5 结语

大型公共建筑的建造,正站在一个历史性转折点上。以BIM、物联网、人工智能等为代表的智能建造技术,不再是遥不可及的概念,而是正在深刻重塑行业格局的现实力量。本文系统梳理了这些技术在大型公建设计、施工、管理、运维等环节的具体应用场景,并揭示了其在推动项目协同一体化、安全主动化、管理精益化、建造绿色化等方面的变革性价值。尽管在标准化、人才、成本和安全等方面仍存在挑战,但其巨大的潜力和明确的发展方向已毋庸置疑。拥抱智能建造,不仅是提升单个项目效率与品质的技术选择,更是关乎整个建筑业能否成功转型升级、实现高质量发展的战略抉择。未来已来,唯变不破。唯有积极布局、勇于创新、系统推进,才能在这场波澜壮阔的产业变革中抢占先机,打造出更多代表中国建造最高水平的传世精品。

参考文献

- [1]谢骥宏.智能施工技术在大型公共建筑项目中的应用研究[J].深圳特区科技,2025,(06):147-149.
- [2]王龙.大型复杂公共建筑智能建造关键技术.广东省,广州建筑股份有限公司,2023-08-07.
- [3]刘美霞,卞光华,陈伟,等.超高层公共建筑智能建造技术体系探索实践[J].建筑结构,2023,53(10):10-14+73.
- [4]赵坤,杜倩倩.大型公共建筑项目BIM与智能建造技术多模态集成应用研究[C]//中国图学学会建筑信息模型(BIM)专业委员会,北京城建集团有限责任公司.第十一届全国BIM学术会议论文集.北京城建建设工程有限公司,2025:205-209.