

智能建造技术在建筑工程全生命周期的实践应用

文 / 周生飞 山东新鲁建工程管理咨询有限公司

杨明儒 营特国际工程咨询集团有限公司

摘要：随着科学技术的不断进步，智能建筑技术已经广泛应用于建筑工程领域。全面分析了智能建筑技术在建筑工程全生命周期（规划设计、施工建设、运营维护、拆除回收）的具体实践，深入探讨了其应用优势、面临的挑战和未来发展趋势，以为建筑行业的智能化转型提供理论和实践参考。

关键词：智能建筑技术；全生命周期；建筑工程

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.11.053

引言

建筑业作为国民经济的重要支柱，长期以来面临着劳动生产率低、资源浪费严重、安全事故频发等诸多问题。传统的建筑方法已经无法满足现代社会对建筑质量、效率和可持续性的需求。智能建筑技术融合了物联网、大数据、人工智能、BIM等先进技术，为建设项目全生命周期的各个环节带来创新变革，成为推动建筑业转型升级的关键力量。

一、智能建筑技术综述

（一）智能建筑技术的内涵

智能建筑技术是利用数字化、智能化、自动化等先进技术手段，实现建筑工程从规划设计、施工到运营维护的全过程智能化管理和控制，以提高建筑工程的质量、效率、安全性和可持续性。

（二）主要智能建筑技术

1. 建筑信息模型（BIM）技术

BIM技术是基于数字三维模型的信息集成技术，可以集成建设项目全生命周期的各种信息，包括几何信息、物理信息、时间信息等，并为项目的所有参与者提供一个协作工作平台。

2. 物联网技术

物联网技术通过在施工设备、材料、构件上安装传感器，实现施工现场的实时数据采集和传输，从而实现施工现场的智能监控和管理。

3. 大数据和云计算技术

大数据技术可以对建设项目全生命周期产生的海量数据分析和挖掘，为项目决策提供数据支持；云计算技术为大数据处理提供了强大的计算能力和存储能力。

4. 人工智能技术

人工智能技术在建筑工程中的应用主要包括智能设计、智能施工管理、智能运维等。通过机器学习、深度学习等算法实现建筑工程的智能决策和控制。

5. 机器人和自动化技术

机器人和自动化技术在建筑施工中的应用，如3D打印建筑、施工机器人等，可以提高施工效率，降低劳动强度，减少人为失误。

二、智能建筑技术在建筑工程全生命周期中的应用。

（一）规划和设计阶段

1. 基于BIM的协同设计

传统设计模式下，各专业设计师之间信息沟通不畅，容易出现设计冲突和错误。基于BIM的协同设计平台可以实现各专业设计师在同一三维模型上的实时协同，及时发现和解决设计问题。例如，在一个大型商业综合体项目中，利用BIM技术进行协同设计，提前发现并解决建筑、结构、机电等专业之间的200多个设计冲突，有效避免了施工阶段的设计变更，节约了工期和成本。在该项目中，建筑师在BIM模型中设计建筑的空间布局时，结构工程师可以实时查看模型，评估建筑结构的可行性，一旦发现不合理的结构，可以及时提出修改建议。机电工程师还可以在模型中进行管线布局设计，检查与建筑、结构设计的实时碰撞，提前解决管线与建筑结构的冲突。这种协同设计模式打破了专业之间的壁垒，提高了设计质量和效率。

2. 性能分析和优化

借助BIM技术和相关分析软件，可以模拟分析建筑的能耗、采光、通风等性能，优化设计方案。在一个绿色建筑项目中，通过对不同设计方案的能耗模拟分析，选出最节能的设计方案，使建筑能耗降低了20%。本项目利用专业能耗分析软件导入BIM模型，设置不同的用能场景和建筑围护结构参数，模拟建筑在不同季节、不同时间段的能耗。通过对比分析不同设计方案的能耗模拟结果，设计人员可以调整建筑朝向、窗墙比、保温材料等设计参数，优化设计方案，实现建筑的节能目标。同时利用采光分析软件和通风模拟软件对建筑的采光通风效果进行模拟分析，保证室内环境的舒适性。

（二）施工阶段

1. 施工进度管理

将BIM模型与施工进度计划相结合，建立4D施工进度管理模型，实现施工进度的实时监控和动态调整。利用物联网技术，可以对施工现场的人员、设备、材料等资源进行实时定位和跟踪，及时掌握施工进度。当实际进度偏离计划进度时，系统能自动分析原因并提供调整

建议。某桥梁工程采用 4D 施工进度管理模式，使施工进度提前 15 天完成。该项目通过在施工现场部署物联网定位设备，对施工人员、施工设备、建筑材料进行实时定位和跟踪。将这些实时数据与 4D 施工进度管理模型相结合，管理人员可以直观地看到施工现场的资源分布和施

工进度。一旦发现实际进度滞后，系统会自动分析可能的原因，如设备故障、人员不足、材料供应不及时等，并根据预设的算法给出相应的调整建议，如增加施工人员、调整施工顺序、加快材料采购等，从而保证施工进度按计划进行。



图 1 BIM 模型与施工进度计划相结合

2. 质量管理

利用物联网传感器、无人机航拍、三维激光扫描等技术，对施工质量进行实时监控和检测。将收集的数据与 BIM 模型进行对比分析，及时发现质量问题并整改。例如，在某高层建筑工程中，采用三维激光扫描技术对混凝土结构进行检测，发现并纠正了 10 多处尺寸偏差问题，保证了工程质量。本项目在混凝土浇筑完成后，采用三维激光扫描技术对混凝土结构进行全面扫描，获得结构表面的三维点云数据。将这些点云数据与 BIM 模型进行对比，通过专业软件计算出结构的实际尺寸与设计尺寸的偏差。一旦发现尺寸偏差超出允许范围，应及时纠正偏差部位，避免出现影响建筑结构安全的质量问题。同时利用物联网传感器实时监测混凝土的温度、湿度等参数，确保混凝土的养护条件符合要求，保证混凝土的强度和耐久性。

3. 安全管理

在施工现场部署智能安全监控系统，利用视频监控、传感器等设备实时监控施工现场的安全隐患，如人员不戴安全帽、违章动火等。通过人工智能图像识别技术，对监控视频进行分析，及时发出警报并通知相关人员进行处理。在某地铁工程中，智能安全监控系统成功预警并避免了 5 起安全事故。本项目中，智能安防监控系统通过在施工现场安装多个高清摄像头，对施工现场进行全方位视频监控。利用人工智能图像识别技术，对监控视频中的人员行为和运行状态进行实时分析。当系统识别到人员不戴安全帽、非法进入危险区域、非法动

火等安全隐患时，会立即报警，并通过短信、APP 推送等方式通知相关管理人员。管理人员可以根据报警信息及时采取措施，消除安全隐患，确保施工现场的安全。

4. 资源管理

借助物联网技术和大数据分析，实现施工现场人员、设备、材料等资源的精细化管理。通过对设备运行数据的实时监控和分析，可以提前预测设备故障，合理安排设备维护和保养计划，提高设备利用率。例如，在一个大型基础设施项目中，通过对设备运行数据的分析，设备的故障率降低了 30%。本项目在施工设备上安装物联网传感器，实时采集设备的运行数据，如设备的速度、温度、振动等。利用大数据分析技术，对这些设备的运行数据进行分析挖掘，建立设备故障预测模型。通过对设备运行数据的实时监控和与故障预测模型的对比分析，提前预测设备可能出现的故障，及时安排设备维护和保养计划，避免施工过程中设备突发故障，提高设备的可靠性和利用率。同时利用物联网技术实时监控物资的库存和使用情况，实现物资的精准采购和配送，减少物资的浪费和积压。

5. 自动构造

采用自动化施工设备，如 3D 打印建筑技术、施工机器人等，实现部分施工过程的自动化。3D 打印建筑技术可以快速准确地打印建筑构件，减少现场湿作业，提高施工效率和质量。建筑机器人，如砌墙机器人、喷漆机器人等，可以代替人工完成一些重复性、危险性的工作，降低劳动强度和施工成本。在某住宅项目中，采用砌墙

机器人进行墙体砌筑，施工效率提高了2倍，墙体砌筑质量更加稳定。在这个项目中，砌墙机器人可以通过预设的程序将砖块准确地移动到指定位置，并涂抹适量的砂浆进行砌筑。与人工砌墙相比，砌墙机器人的工作效率更高，能够保证墙体的平整度和垂直度，提高墙体的砌筑质量。同时，由于砌墙机器人可以在恶劣的施工环境下工作，降低了人工在高空、高温等危险环境下工作的风险，保证了施工人员的安全。3D打印建筑技术可以根据设计模型快速打印出建筑物的梁、板、柱等构件，减少模板支撑、混凝土浇筑等湿作业，缩短工期，提高施工效率。

（三）运行和维护阶段

1. 设备和设施管理

利用物联网技术，将各种设备设施（如电梯、空调、照明等）连接到统一的管理平台，从而实现对设备设施的实时监控、远程控制和智能管理。通过对设备运行数据的分析，可以预测设备故障，提前进行维修，提高设备的可靠性和使用寿命。例如，在一个办公楼项目中，通过智能设备管理系统，设备的平均无故障时间延长了20%，并且降低了设备的维护成本。该项目通过在电梯、空调、照明等设备上安装IOT传感器，将设备的运行数据实时传输到智能设备管理平台。管理人员可以通过平台实时监控设备的运行状态，如电梯的运行楼层、空调的温度设置、照明的开关状态等。同时，利用大数据分析技术，对设备运行数据进行分析，预测设备可能出现的故障，提前安排维修计划。比如，通过对空调设备运行数据的分析，发现某空调压缩机运行电流逐渐增大，根据经验可能是压缩机即将出现故障。安排维修人员及时对空调进行检查维护，更换压缩机易损件，避免压缩机突发故障，延长设备使用寿命，降低设备维护成本。

2. 能源管理

通过安装智能电表、水表、煤气表等能源计量设备，实时采集建筑能耗数据，运用大数据分析技术进行能耗分析诊断，制定节能措施。例如，通过优化空调系统的运行时间和温度设置，某酒店的能耗降低了15%。在这个酒店项目中，安装了智能电表、水表、煤气表等能源计量设备，实时采集酒店的电、水、气等能耗数据。利用大数据分析技术，对这些能耗数据进行分析，找出能耗高峰期和主要耗能设备。比如通过分析发现，酒店的空调系统在夏季的能耗比较大，在入住率较低的时期，空调系统仍然满负荷运行。针对这种情况，制定节能措施，优化空调系统的运行时间和温度设置。在低入住率时期，应适当提高空调的温度设置，根据房间实际入住情况合理调整空调数量，实现节能。同时，通过对能耗数据的长期分析，还可以评估节能措施的实施效果，不断优化节能方案。

3. 空间管理

利用BIM技术和物联网技术，对建筑物的空间使用情况进行实时监控和管理。通过分析人员流动数据和空间使用数据，优化空间布局，提高空间利用率。比如某

大型商场项目，通过空间使用数据分析，调整店铺布局，使商场营业额提升10%。在这个商场项目中，利用物联网技术，在商场的入口、通道、店铺安装人流传感器，实时采集人流数据。同时，商场的BIM模型结合人流数据，分析不同区域的人员停留时间和客流分布。通过对这些数据的分析，发现部分区域客流量较大，但商铺销售额较低，可能是由于商铺布局不合理，导致顾客停留时间较短。针对这种情况，商场的店面布局进行了调整，将一些热门品牌的店面调整到客流量大的区域。同时，优化了渠道的设计，提高了顾客的购物体验。调整后，商场的营业额有了明显的提升，空间利用率也得到了提高。

4. 应急管理

建立智能应急管理系统，通过整合火灾报警、安防监控、应急照明系统，实现突发事件的快速响应和协同处置。利用物联网技术和人工智能技术，对突发事件进行实时监控和预警，制定应急预案并进行演练，提高建筑物应急管理能力。例如，在医院项目中，当火灾发生时，智能应急管理系统可以快速启动应急预案，引导人员疏散，确保人员安全。在该医院项目中，智能应急管理系统集成了许多子系统，如火灾报警系统、安全监控系统 and 应急照明系统。通过物联网技术，对这些子系统的数据进行实时采集和整合，实现对医院突发事件的全方位监控。利用人工智能图像识别技术，可以对安防监控视频进行分析，及时发现火灾、人员打架等突发事件。一旦检测到紧急情况，系统会立即报警并自动启动应急预案。比如发生火灾时，系统会自动切断非消防电源，启动应急照明和疏散指示系统，通过广播系统引导疏散。同时，该系统还会将火灾的位置、大小等信息实时传输给消防部门，为消防救援提供准确的信息支持。通过定期的应急预案演练，提高了医院工作人员和患者的应急逃生能力，保障了人员的生命安全。

结语

智能建筑技术在建筑项目全生命周期的应用，为建筑行业的转型升级带来了新的机遇。通过在规划、设计、施工、运营维护、拆除回收等方面的实际应用，智能建筑技术可以提高工程质量，提高施工效率，降低成本，加强安全管理，促进可持续发展。然而，智能建筑技术的应用也面临着技术标准和规范不完善、人才短缺、数据安全和隐私保护问题、成本高等挑战。未来，随着技术的不断发展创新，智能建筑技术将朝着技术创新、智能化不断提升、全产业链协同发展、绿色可持续发展的方向发展，为建筑行业高质量发展注入新的动力。建筑企业应积极拥抱智能建筑技术，加强技术研发和人才培养，推动智能建筑技术在建筑工程中的广泛应用，提升企业核心竞争力。

参考文献

[1] 王学通, 任柏源, 刘景矿, 等. TOE视角下建筑业智能建造技术应用的影响因素研究[J/OL]. 工程管理学报, 1-7[2025-02-19].