智慧工地背景下土木工程施工精细化管理创新研究

甄为跃　张贤才（通讯作者）

湖南科技学院土木与环境工程学院 湖南 永州 425199

【摘　要】：随着数字技术和建筑行业深度融合，智慧工地成了土木工程施工管理转型发展的主要动力。本文根据智慧工地技术体系，对传统的施工管理模式进行了全面分析，并从安全、质量、进度、成本、绿色施工五个方面提出精细化管理创新方案，创建起以数字孪生为基础的全要素动态管控机制。经由研究可知，智慧工地技术可以使得施工安全事故发生率下降到原来的一半以上，材料损耗率缩减到了原来的十五分之一至二十万分之一，项目整体效率改善到原来的二十五分之一到三十分之一。本文的研究成果给土木工程施工企业完成数字化转型，改善精细化管理水平给予理论支撑和实际参照。

【关键词】：智慧工地；土木工程；精细化管理；数字孪生

DOI:10.12417/2811-0528.26.21.058

引言

目前我国建筑行业正处在由高速增长转向高质量发展的阶段。传统的土木工程施工管理模式依靠人工巡检、纸笔记录和经验判断，存在着信息滞后、协同效率低等问题，不能满足现代工程项目建设的要求。智慧工地是建筑数字化转型的载体，它利用物联网等技术搭建起一个全方位的智能感知网络系统，达到施工可视化、数字化、智能化的目的。近几年来，国家出台政策文件，要求加快智慧工地的建设，提高施工管理的精细化水平。根据行业统计可知，2025 年中国智慧工地管理系统市场规模为 600 亿元，同比增长 20.0%，到 2026 年将达 780 亿元，同比增长 30.0%，说明智慧工地技术得到行业的普遍认可，并且成为施工管理的标准配置。但是在实际的应用当中，很多施工企业对于智慧工地的理解还处在浅层的数字化阶段，并没有很好地利用技术的优势来变革管理模式。一些项目存在技术同管理相脱离的现象，造成建设投入和产出不成正比。由此可见，在探讨智慧工地环境之下的土木工程施工精细化管理新途径的时候，对推进建筑业数字化转型、改善工程品质、提高经济效益有着极其重大的意义。

1 智慧工地技术体系与精细化管理的内在契合性

1.1 智慧工地的技术架构体系

智慧工地是技术系统，它用数字化手段对施工现场全要素、全过程进行实时感知、数据传输、智能分析、精准控制。成熟的智慧工地系统一般采用感知层、传输层、平台层、应用层这四个层次一起工作的模式，形成了一个从数据采集到数据分析再到数据应用的完整的闭环。

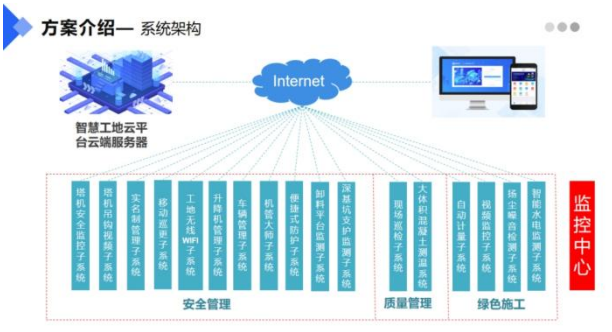


图 1 智慧工地系统平台架构图

感知层是智慧工地的“神经末梢”，可以收集施工现场原始数据。在人员、设备等关键节点上安装智能传感器等终端设备，从而达到对施工过程的全面感知的目的。在塔吊安装防碰撞传感器、吊钩可视化系统对运行情况进行监测的同时，布置扬尘噪声监测仪获取环境数据并联动喷淋降尘。传输层是智慧工地的“神经网络”，可以迅速、稳定的把感知层的数据传递给平台层。5G 技术被广泛使用之后，传输能力得到极大提高，其具有高带宽、低时延、大连接等特性，给智慧工地的深入应用赋予了网络支撑。平台层属于智慧工地的“核心大脑”，担当起数据存贮，加工，剖析以及算法支撑的任务。利用云计算等技术对施工数据进行清洗、整合与挖掘，给出有价信息支撑决策，并且创建统一接口和服务，达成数据共享与业务协同。应用层是智慧工地的最终体现，是给施工管理人员、作业人员使用。根据施工管理核心业务创建多个功能模块，用 PC 端和移动端的方式给用户提供管理工具[1]。

【作者简介】甄为跃（2004-），男，湖南张家界人，土家族，本科在读；研究方向：土木工程施工。

通讯作者：张贤才，硕士，讲师，198602，研究方向，土木施工绿色施工。

1.2 精细化管理的核心内涵与要求

精细化管理是一种以精、准、细、严为核心的一种管理理念与方法，它的本质就是把管理的过程细化，把管理的责任明确，把管理的指标量化，把管理的资源优化，从而达到管理过程标准化、规范化的高效化。土木工程施工精细化管理要求施工过程各个环节、每一个要素都必须被准确控制，做到事事有人管、时时有监控、处处有标准。传统施工管理模式下，精细化管理不能落地的主要原因就是缺少有效的技术手段。由于施工现场环境复杂、人员流动大、设备种类多、工序交叉多，不能用人工进行全方位的管理和控制，容易造成管理松散、漏洞百出。智慧工地技术的产生，给精细化管理赋予了强大的技术支撑，“全员、全过程、全方位”的精细化管理就成为可能[2]。

1.3 智慧工地与精细化管理的内在契合性

智慧工地同精细化管理在目标、理念、方法上不谋而合。目标上两者都是为了提高工程建设的质量、降低造价、保证安全、提高效益；理念上都重视过程控制、数据驱动和持续改进；方法上智慧工地给精细化管理提供技术支持，精细化管理给智慧工地指明发展方向。智慧工地技术对于精细化管理的支持作用表现在四个方面，分别是实现管理对象数字化、管理过程可视化、管理决策智能化以及管理协同高效化。一是把人、机、料、法、环这些实物变成可以计算、分析的数字信息；二是用数字孪生技术创建虚拟工地，使管理人员能够直接看到现场的实时状况；三是依靠大数据分析与人工智能算法来提前预估并发出施工危险预警信息，给决策提供依据；四是促使各个参建方、部门之间数据互通、业务协同，冲破信息孤岛[3]。

2 智慧工地背景下施工精细化管理的创新维度

2.1 安全管理智能化创新

安全是土木工程施工的命脉。传统的安全管理依靠安全员进行人工巡检，巡检范围小、发现问题不及时、隐患整改跟进不到位。智慧工地技术创建起一个“事前预防-事中控制-事后追溯”的全周期智能安全管理体系，改善了施工安全管理水平。事前预防方面采用 AI 视频分析技术对施工现场进行实时监测，发现不安全行为后会发出报警声光，把报警信息传递给相关人员，它的不安全行为识别准确率为 98%以上，可以避免安全事故的发生[4]。除此之外，利用 UWB 人员定位技术掌握施工人员的位置和轨迹，在危险区域设置电子围栏，人员靠近时发出警报。事中控制时，用物联网传感器对重大危险源进行实时监测，在深基坑周围、高支模上安装传感器，监测变形和稳定性。监测数据达到预警阈值的时候，系统会发出报警信号，提示管理人员处理。事后追溯的时候智慧工地系统会把安全管理工作资料加以整理并保存起来。事故发生之后可以很快地找出原因，并且可以确定责任人，为处理事故提供依据。对历史安全数据进行分析，找出事故的规律特点，给以后的安全管理提供依据[5]。

表 1 传统安全管理与智慧安全管理效果对比

管理指标	传统安全管理	智慧安全管理	提升幅度
安全隐患发现率	60%-70%	95%以上	+35%-45%
隐患整改及时率	50%-60%	90%以上	+40%-50%
安全事故发生率	较高	降低 40%以上	-40%以上
安全员工作效率	较低	提升 2 倍以上	+100%以上
安全管理成本	较高	降低 20%-30%	-20%-30%

数据来源：中国建筑业协会 2025 年建筑施工安全管理发展报告

2.2 质量管理数字化创新

质量是工程建设的灵魂。传统的质量管理采取的是“事后检验”的模式，存在着发现问题晚、整改难、成本高、影响工期等弊端。智慧工地技术创建起一个“全过程、全要素、可追溯”的数字化质量管理体系，把质量管理由原来的“事后检验”转变为现在的“事前预防、事中控制”。事前预防依靠 BIM 技术进行施工模拟、碰撞检查，提前找出设计及施工方案的隐患，改善方案，防止产生质量问题。用 BIM 技术综合排布机电管线，提前发现碰撞问题，减少返工，用 BIM 技术进行技术交底，用三维可视化的方式展示施工工艺，提高技术交底的准确性、有效性。事中控制时用智能检测设备和移动终端对施工质量进行实时监测和记录。使用智能混凝土回弹仪检测强度，数据自动上传，用三维激光扫描仪扫描构件，与 BIM 模型比对发现尺寸偏差。采用二维码技术来实现建筑材料的全生命周期管理，记录质量信息，达到可追溯的目的。事后验收用数字技术来提高效率和准确性。通过 BIM 模型与现场进行比对来完成隐蔽工程的验收工作，并且使用移动终端电子化地填写和上传验收记录以达到无纸化的办公目的。智慧工地系统自动生成质量验收报告，给出完整的质量档案[6]。

2.3 进度管理可视化创新

进度管理属于工程项目管理的主要内容之一。传统的进度管理使用甘特图、网络图等方法，存在进度信息更新慢、对比和调整迟缓的现象。智慧工地技术创建起一个计划、执行、检查、调整的循环进度管理体系，从而达到可视化、动态化的管理效果。首先，结合 BIM 技术和进度计划软件创建 4DBIM 模

型，把施工进度计划同三维模型联系起来，实现施工过程的可视化模拟，有利于管理者掌握施工内容和进度，提前发现施工问题，改进施工及资源调配。其次，利用物联网、无人机、视频监控等方式对施工现场的进度数据进行实时采集，使用无人机航拍对比法计算出施工进度和工序作业时间及效率。系统自动比较实际进度和计划进度，发现差异就立即发出警报并加以剖析，从而给制订新的计划给予支撑。最后利用大数据分析技术对历史进度数据进行挖掘，构建进度预测模型来预测未来施工进度，使管理者在计划外的事件发生前做好准备，保证项目按时竣工。

2.4 成本管理精细化创新

成本控制是工程项目利润的主要因素。传统的成本管理采取的是“事后核算”的方式，存在着成本数据不准确、控制滞后、浪费严重的弊端。智慧工地技术创建起全过程、全要素、动态化的成本管理体系，从而达成精细化与精准化的管理。事前控制，使用 BIM 技术进行计算和估计成本，提高预算的准确性。BIM 模型包含建筑物的几何和属性信息，可以自动计算量，防止人为错误的发生，根据市场价格快速编制预算，给投标以及成本控制提供依据。事中控制，使用物联网和移动终端技术实时采集人、材、机消耗数据。利用 RFID 技术对材料进出库进行管理，掌握库存及使用情况，对设备运行数据进行分析来获取利用率和油耗。系统会自动把实际消耗和预算消耗进行对比，超过部分就会立即发出警报，分析原因后采取相应措施。事后分析，使用大数据分析技术对项目成本数据进行全方位的分析，找到薄弱环节，提炼经验，为以后的项目提供借鉴。并且与其它项目成本数据进行对比，形成企业成本数据库来提高企业的整体管理水平。

表 2 2025 年至 2026 年，中国智慧工地解决方案细分市场结构及增长预测

细分市场类别	2025 年市场规模(亿元)	2025 年占比(%)	2026 年预测规模(亿元)	2026 年预测增长(%)
安全监管类	712.8	39.6	782.5	9.8
进度与成本协同类	438.5	24.4	479.6	9.4
绿色施工与碳管理类	196.2	10.9	248.3	26.6
实名制与薪资代发类	265.4	14.7	290.1	9.2
AI 视觉质检与无人机巡检类	187.1	10.4	229.5	22.6
合计	1800.0	100.0	2030.0	12.8

数据来源为博研咨询发布的 2026 年中国智慧工地解决方案行业市场现状调查及投资机会研判报告。

2.5 绿色施工智慧化创新

伴随着双碳目标的提出，绿色施工成为土木工程施工必然的要求。传统的绿色施工管理依靠人工进行监测和记录，会造成监测数据不准、环保措施执行不到位、碳排放核算困难等状况。智慧工地技术创建起实时监测、智能控制、精准核算的绿色施工管理体系，推动绿色施工智慧化。在施工现场布置扬尘、噪声等环境监测设备，及时对监测数据进行采集。当环境指标超标时，系统就会立刻启动降尘降噪设备以达到标准，同时也会对相关数据进行保存并且制作成报告提供给环保监察部门使用。能耗管理上使用智能电表、水表等装置实时监测计量水、电、气等消耗情况，剖析数据找到重点部分，实施节能举措。采用智能照明系统自动调节照明亮度，节能。在碳排放方面，借助 BIM 以及大数据分析技术对施工过程中产生的碳排放展开准确的计算，并产生统计报表，从而给予企业制订碳排放削减计划的参照，而且可以凭借改良方案、应用绿色建材等方式来削减碳排放[7]。

3 基于数字孪生的施工精细化管理创新机制

3.1 数字孪生工地的构建

数字孪生是智慧工地发展到高级阶段的表现形式，就是用数字技术建立与物理工地完全一致的虚拟工地，使物理工地和虚拟工地实时映射、交互。数字孪生工地的创建包含如下几个步骤，首先用 BIM 技术建立建筑物三维模型，包括建筑、结构、机电等各个专业的模型。BIM 模型给数字孪生工地赋予基础，这个基础里包含建筑物所有的几何及属性信息。其次使用三维激光扫描、无人机航拍等技术对施工现场进行实景建模，得到施工现场的实景模型。将实景模型和 BIM 模型结合起来，得到完整的数字孪生模型。最后用物联网技术把物理工地的各类传感器同数字孪生模型连接起来，从而达成物理工地和虚拟工地的数据同步。物理工地的任何改变都会立刻映射到数字孪生模型里，管理人员依靠数字孪生模型可以清楚知晓施工现场的当前状况。

3.2 全要素动态管控机制

以数字孪生工地为基础，创建起包含“人、机、料、法、环”所有要素的动态管控体系。数字孪生模型中的各个要素都存在对应的数字孪生体，管理人员可以对其物理要素进行实时监控并进行远程控制。一是人员管控，用 UWB 定位技术将施工人员的位置信息实时映射到模型上，管理人员可以看到人员

在模型中的位置及轨迹。人员进入危险区域，数字孪生体发出红色警告，系统启动声光报警。二是设备管控，利用物联网传感器把施工设备运行参数实时映射到模型上，管理人员可以看到运行状态等信息。设备出现故障或者异常运行时，数字孪生体发出黄色或者红色的预警，提示进行维修。三是材料控制，用 RFID 技术把材料信息即时关联到模型上，管理人员可以知道库存及使用情况。当材料库存小于设定阈值时，数字孪生体会发出蓝色预警信号，提示需要补货。四是环境控制，利用环境监测设备把施工现场环境数据实时地投射到模型上，管理人员可以查看环境指标。当环境指标超过规定的限值时，数字孪生体就会发出绿色的警报，进而促使环保设备进行处理[8]。

3.3 智能决策支持机制

利用数字孪生工地、大数据分析技术来创建智能决策支持系统，给施工管理决策提供科学的依据。数字孪生工地产生大量施工数据，对这些数据进行深入挖掘分析，可以得到规律和趋势，预测可能出现的危险、问题。对历史安全事故数据建立预测模型，预测安全事故的概率并提前预防，对历史进度数据建立预测模型，预测施工进度并调整计划，对历史成本数据建立预测模型，预测最终成本并控制成本。利用数字孪生模型做施工模拟和方案优化。模拟不同的施工方案效果，比较优缺点，选择最优方案。模拟塔吊布置方案选最优，模拟施工顺序选最优。

4 结论

智慧工地技术快速进步给土木工程施工精细化管理提供机会。创建起“感知层—传输层—平台层—应用层”四层联动的技术体系，从安全、质量、进度、成本、绿色施工五个方面创新管理方式，创建起全要素动态管控以及智能决策支撑的机制，可以很好地解决问题，改善施工管理的精细程度。经过实际应用，发现使用智慧工地可以降低施工安全事故发生率 40%以上、减少材料损失 15%-20%、提升项目整体工作效率约 25%-30%，具有很强的效果。但是智慧工地建设属于长期的系统工程，需要施工企业在组织、技术、制度、资金等各方面给予支持。由于人工智能的发展，使智慧工地越来越向无人化的趋势发展。施工企业要抓住数字化转型的有利时机，推动智慧工地的创建，改进管理方式，提高竞争力，为建筑行业高质量发展出一份力。

参考文献：

[1] 鲁娜.精益建造理念下土木工程施工项目成本精细化管理实践[C]//《中国招标》期刊有限公司.新质生产力驱动第二产业发展与招标采购创新论坛——实践路径探索与案例分享专题论文集(第二册).广西鸿威建设工程有限责任公司,2026:1413-1417.

[2] 张佳.关于土木工程全过程造价管理研究[C]//中国国土经济学会.2026 智慧城市建设与创新发展研讨会论文集(二).秀水工程建设管理有限公司,2025:337-340.

[3] 孙巧.基于精细化管理理念的土木工程施工成本管控策略[C]//中国智慧工程研究会.2025 智慧设计与建造经验交流会论文集.四川衡立泰工程管理咨询有限公司,2025:229-230.

[4] 周海燕.建筑土木工程精细化管理措施探讨[J].住宅与房地产,2025,(08):88-90.

[5] 折志梅.房屋建筑土木工程造价全过程控制策略[J].建材发展导向,2025,23(01):124-126.

[6] 张凌峰.小区治理中土木工程改造项目的精细化管理研究[J].张江科技评论,2024,(09):91-93.

[7] 孙林.住宅建筑土木工程精细化管理措施探讨[J].居舍,2024,(22):134-137.

[8] 邹雅眉.基于天然采光利用效能与光舒适综合提升的高校科研办公空间精细化设计研究[D].东南大学,2024.