

# 智能建造时代建筑工程管理人机协同模式构建

文 / 严广棚 广州市城镇工程监理有限公司

**摘要：**在当今数字化和智能化技术迅猛发展的时代背景下，建筑工程行业正朝着能建造时代迈进，该时代特征是以技术创新为主导，借助 BIM、IoT、AI 等先进技术，实现建筑工程全生命周期的高效协同和价值创造。但是，传统的建筑工程管理模式存在信息不共享、决策效率不高、管理成本高等难题，不能达到时代对高效性和精准管理的要求，所以构建人机协同模式成为推进建筑工程管理转型升级的主要途径，这对于加强行业竞争力和实现可持续发展非常关键。

**关键词：**能建造时代；建筑工程管理；人机协同模式；构建

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.19.008

## 引言

随着社会经济的快速发展和科技进步，建筑工程行业正在发生前所未有的变革。能建造理念的提出意味着建筑工程行业从传统劳动密集型转向技术密集型，这期间建筑工程管理面临新的机遇和挑战。一方面，数字化和智能化技术给提升管理效率和工程质量带来了强大助力，另一方面，传统管理模式的弊端日益凸显，亟须革新突破。人机协同模式的构建既是应对当前挑战的必然之举，又是引领行业走向未来的战略创新，对于推进建筑工程行业的现代化进程有着深远意义。

### 一、能建造相关理论

#### （一）能建造的概念与内涵

“能建造”是融合技术创新、管理优化与社会经济发展的现代化建造理念，指利用数字化、智能化技术对建筑工程全生命周期进行赋能，实现建造过程的高协同和高价值<sup>[1]</sup>。这包括建筑信息模型（BIM）和物联网（IoT）等数字化技术、人工智能（AI）及任务分配与动态调控的管理要素，产能优化以降低成本和缩短工期，推动建筑业向绿色化和工业化转型的社会经济要素。三个维度形成的技术可行、管理科学和经济合理三重统一。

#### （二）能建造的关键技术

能建造以 BIM、物联网、大数据、AI 作为核心技术。BIM 通过三维模型融合建筑全生命周期数据，实现设计、施工和运维的可视化协同；物联网凭借传感器网络即时收集现场数据，如设备运行情况、环境参数等，塑造“物-人-数据”互联体系；大数据技术针对海量施工数据执行清洗并加以分析，从而为进度预估、费用控制提供依据；AI 算法通过机器学习优化资源调配，如塔吊调度、混凝土浇筑线路等，促进智能决策。这些技术在工程管理中互相补充，共同提高建筑工程的管理效能和建造精度。

### 二、传统建筑工程管理模式的局限性

#### （一）信息不共享

传统建筑工程管理模式，各个参与方（设计、施工、监理）之间存在信息壁垒，图纸、进度数据、变更通知等信息依靠纸质文件或孤立系统进行传递，从而造成了信息滞后和失真情况的发生。设计变更需要人工逐层传

递给施工方，施工方很难及时拿到最新的图纸，容易造成返工现象；材料进场验收的数据不能与预算系统进行互通，导致成本核算出现偏差，这种信息孤岛现象使得各个环节之间的协同效率很低，无法形成一个数据驱动的管理闭环。

#### （二）管理成本高

人工密集型管理模式抬高成本，材料盘点要多人现场核查，误差率 5%-8%，返工成本占总造价 10%-15%。安全巡检依靠人工目视检查，深基坑支护等隐蔽工程漏检率高，后期维修成本暴增，多层级管理架构造成沟通成本高，项目越大，指令传递损耗越严重，如某 30 万 m<sup>2</sup> 项目实测表明，传统模式下管理成本占比达 22%，远超智能建造模式的 8%-12%。

### 三、能建造时代建筑工程管理人机协同模式构建策略

#### （一）构建人机协同技术架构

构建人机协同技术架构是能建造时代建筑工程管理的基础。以云计算、物联网、分布式智能设备为基础，搭建建筑工程管理协同平台，实现施工设备传感器数据、BIM 模型参数、人员操作指令等数据的实时交互，打破信息孤岛，促使施工现场的数据快速流动和共享。例如，在施工设备上安装传感器，实时收集设备运行数据，并上传到云端，同时结合 BIM 模型中的设计参数和施工进度，管理人员可以实时监控施工情况，及时发现并解决问题，提高管理效率和决策的准确性。利用边缘计算节点处理现场数据，结合云端的 AI 算法对施工方案加以优化，实现人机双方反馈的目的。边缘计算可以在施工现场迅速处理大量的实时数据，缩减数据传输的时间差，加快应答速度，如在混凝土浇筑过程中，边缘计算节点能够及时对传感器的数据加以分析，判定其是否均匀及强度如何，然后把这些信息上传到云端。云端的 AI 算法规则根据以前的历史数据和即时反馈改进浇筑的方案，调节有关设备的参数，保证施工质量，这样可以实现双向反馈，进而让施工变得更加智能化和更准确<sup>[3]</sup>。构建人机协同技术架构可以实现施工过程的自动化与智能化，从而改进施工效率与施工质量，如用智能机器人开展高精度的钢结构焊接，智能机器人可以凭借 BIM 模型的

设计参数，自行调整焊接的路径与参数，保证焊接质量一致并稳定，而管理者也可借助协同平台随时观测焊接的过程，及时调节方案，实现人机相互配合，既减轻了人员失误，又增强了建筑项目整体质量。

### （二）优化人机任务分工体系

优化人机任务分工体系是能建造时代建筑工程管理中提升效率和质量的重要策略。依据人类创造力与机器高效性的互补特点，把复杂的决策、预估风险等任务分给管理人员，把重复工作、精确操作等交给智能设备完成，这样就把人类和机器各自的优势得以发挥。管理人员凭借自己的经验和创造力处理复杂的问题，做出决定，预估风险；而智能设备依靠自身高精度、高效率的特性去做重复性的工作，如在混凝土浇筑时，工业机器人能够精准控制浇筑的路径和速度，保证混凝土被均匀地分布且达到质量要求；工程师则负责观察机器的状态，并按照实际情况调整参数，保障施工进度顺利展开。通过恰当安排任务，管理人员可专心对付主要问题，智能化设备能很好地应对标准化任务，如在钢结构焊接环节中，智能机器人按照既定的程序与参数去做精确焊接，减少由于人为因素造成的操作错误，从而提升焊接质量的同一性与稳定性。通过监控系统，管理人员能随时知晓焊接进程与质量，快速找出并解决问题，保证施工进度既高效又顺畅。在施工期间，管理人员和智能设备协作配合可以有效实现资源的合理利用和调配。在施工进度管理期间，根据智能设备运作信息及施工进度及时调整资源，促进施工过程的顺利进行，从而达到高效的施工效

果，减少资源的浪费现象，提高建筑工程整体管理效能，进而助力建筑工程高质量完成。

### （三）建立动态协同管理机制

建立动态协同管理机制是能建造时代建筑工程管理中实现高效协作的关键，采用敏捷的管理手段，借助数字化看板及时同步设计更改、采购进程、施工节点等信息，这种及时信息共享机制可保证项目各参与方随时知晓项目动态，迅速应对变动。例如，一旦出现设计更改，数字化看板就能立刻更新相关信息，施工队伍、供货商及设计方可以立即获得更改内容，及时调整工作安排和资源调配，防止因信息延迟导致的延误和成本增加。采用区块链技术可以实现多方共享数据并控制权限，保证设计方、供应商、施工团队之间的信息透明度，降低协同误差。区块链具有分布式的记账特性，可以保障数据真实且不可被修改，各个参与方都可以在链上安全地分享并查阅数据，供应商可随时知晓采购订单的状态及需求变动；设计方能追踪到设计图纸的使用情形及其反馈状况；施工团队可获得确切的施工指令和材料供应信息<sup>[4]</sup>。这种透明化的数据共享机制能够减少信息不对称现象，提升协同效率。在建筑工程运作中，各种未知因素及变动始终存在，动态协同运作机制能够使各方迅速适应那些改变，调整运作方法，如在施工期间随时观测施工进度和施工质量情况，工作人员能迅速察觉潜在的危险，立刻更改施工安排方案，重新规划资源分配等，这样可以按时保质保量地将工程完成。

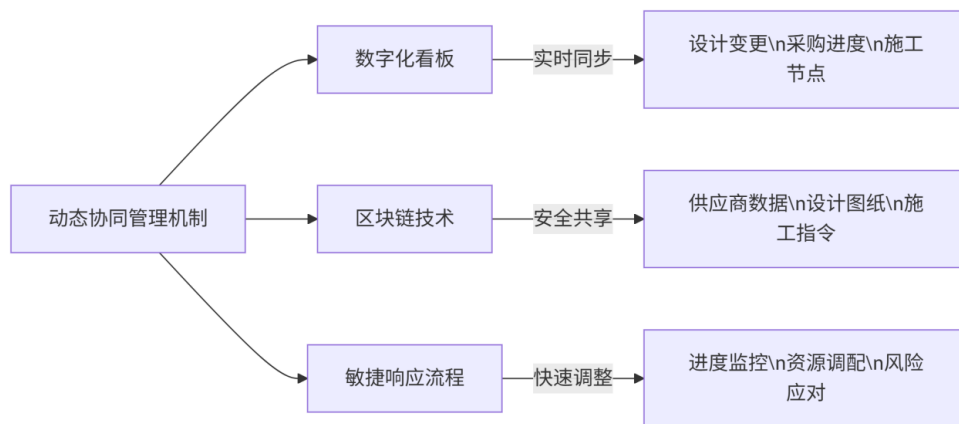


图1 动态协同管理机制结构图

### （四）强化人机交互界面设计

强化人机交互界面设计是能建造时代建筑工程管理中提升工作效率和用户体验的有效手段。开发多模态交互系统，支持语音指令、手势识别、AR可视化等操作方式，操作便捷高效，利用AR眼镜把BIM模型叠加到施工现场，工人可以直观看到管线走向和施工细节，不用频繁翻看图纸，减少操作失误，提高施工精度。这种直观的交互方式，使工作效率更高，且对操作人员的专业技能要求降低，更多工人可以快速上手。采用自然语言处理技术可以实现施工日志的智能生成和风险预警，这会

进一步加强管理的智能化程度。管理人员可凭借语音指令记录施工日志，系统会自动整理并分析日志内容，找出潜藏的风险并及时发出警报，若施工日志中经常有关于某个设备故障的记录，系统会自动展开分析，并提醒管理人员对这个设备进行检查和维修，防止因为设备故障而造成施工延误。这种智能生成和预警的功能既改善了日志管理效率，又提升了风险管理的主动性。加强人机交互界面设计可实现人机协同工作完美融合，好的交互界面可使人、智能设备间交流更自然、流畅，避免操作复杂造成时间的浪费与错误，如通过手势识别技术，

在施工时工人可通过手势控制智能设备运行，而无需复杂的操作界面。这样提高了工作效率和操作安全性，使施工更高效，也使工人对智能设备更认可与信任，使人机协同工作得以广泛应用。

### （五）完善协同绩效评估体系

完善协同绩效评估体系是能建造时代建筑工程管理中保障人机协同模式顺利运转的重要部分。通过搭建包含人机协作效率、资源利用率、质量达标率等维度的KPI指标，能全方位评判人机协同的效果。通过设定清晰的绩效指标，管理人员能量化评价人机协同在各个方面的表现，人机协作效率可以用任务完成时间、设备利用率来衡量；资源利用率可用材料浪费率、设备闲置时间来评判；质量达标率可通过施工质量检查结果来判定<sup>[5]</sup>。这些指标设定为管理人员提供了明晰的评判准则，有助于找出协同进程中的问题并加以改善。用机器学习算法分析历史数据，可以动态改善任务分配策略，也能加强人机协同的效率，通过仔细分析历史数据，机器学习算法能找到影响协同效率的主要因素，然后优化任务分配。比如，算法能依照各个任务的不同特点及以往的完成状况，自动变化分配给人工还是机器的任务量，从而保证资源得到最恰当的利用。这样的动态优化任务分配，不但提升了任务完成效率，还减少了由于任务分配不合适造成的资源浪费和延误。建立人机协同能力认证体系，把设备操作熟练度、系统适配性当作人员考核内容，可以改善人员的专业能力及协同效果，通过认证体系，保证了操作人员具有必要的技能和知识，能够顺利操作智能设备，并有效地与系统协同，如对操作人员执行设备操作熟练度考核，促使他们可以高效率地完成工作；对管理人员开展系统适配性培训和考核，保证他们可以恰当分配任务，优化协同流程。

### （六）推进协同标准体系建设

推进协同标准体系建设是能建造时代建筑工程管理实现高效人机协同的根基保证。制定人机协同作业流程规范，通过清楚设备接口标准、数据传输协议、应急响应机制，能保证各个系统之间可以完美衔接并协同工作，如规定塔吊智能调度系统与BIM模型的兼容性需求，保证施工机器人与人工合作的安全操作规则。这些规范和标准为现场人机协同提供了清晰的操作指引，减少了由于标准不统一而引发的混乱和错误，优化了施工效率和安全水平。协同标准体系创建可以推动不同设备和系统之间的相互配合，建筑工程管理牵涉多种智能设备及软件系统，统一的标准能促使这些设备和系统之间高效开展数据交流并协同工作，如制订统一的数据传输协议，从而保证施工现场的传感器数据能够精准无误地传送到云端进行分析处理，并还要保证不同设备之间的指令能够准确执行<sup>[6]</sup>。这种相互配合不但优化了系统的整体性能，且降低了系统的整合成本和保养难度。推动协同标准体系的建设有益于提升建筑工程管理的规范化与专业化水平，有着明晰的作业流程和操作规范，施工人员与

管理人员能更为高效地开展工作，从而减少由人为因素造成的错误和耽误，如制定详尽的应急响应机制，当遭遇突发状况时，人员和设备可以快速又有效地协同应对，减少事故损失。

### （七）培育复合型协同人才

培育复合型协同人才是能建造时代建筑工程管理实现高效人机协同的关键。开展“BIM+智能建造”双技能培训，技术人员需掌握机器人编程、传感器调试等技能。双技能培训让技术人员既熟悉传统的建筑信息模型(BIM)技术，又掌握了智能建造中的关键技术，如机器人编程、传感器调试等，技术人员可借助BIM模型了解施工设计和进度，再运用机器人编程技能控制智能设备进行高精度作业，这种跨领域的技能组合可大幅提升施工效率和质量。设立人机协同实验室，模拟复杂的施工状况执行应急排练，可以提升人员跨系统协作水平。凭借模拟实际施工时的复杂情形与意外情况，技术人员可以在安全的环境下展开应急排练，熟悉人机协同操作流程，改善应对突发事件的水平。例如，在实验室中模仿塔吊出现故障或机器人操作出错等场景，技术人员可以练习如何迅速反应并解决问题。这样的练习训练能够提升技术人员的应急处理能力及跨系统协作水平，从而保证在实际施工时能高效地应对各种状况。

### 结语

综上，通过创建人机协同技术架构，改善人机任务分工体系，形成动态协同管理机制，加强人机交互界面设计，完善协同绩效评价体系，推动协同标准体系创建，培育复合型协同人才等多种途径，可以实现能建造时代建筑工程管理由传统模式转向智能化、高效化模式。这不仅解决了传统管理模式中的信息孤岛、决策迟缓、成本高等问题，还明显优化了建筑工程的管理效率和质量，为行业可持续发展奠定了基础。

### 参考文献

- [1] 刘宁, 崔金海, 崔坤伟. 建筑施工人机协同作业模式的构建与效能优化[J]. 城市开发, 2025, (07): 175-177.
  - [2] 邓伟欣. 建筑机器人多机协同的精益建造体系与管理模式研究[J]. 建设科技, 2025, (05): 31-34.
  - [3] 高精理. 地质工程勘察施工现场无人机与遥感技术的协同应用[J]. 四川水泥, 2024, (08): 81-82+85.
  - [4] 段瀚, 罗庆泉, 陈琳欣. 建筑机器人多机协同的绿色建造模式与实践研究[J]. 建筑技术, 2023, 54(23): 2861-2866.
  - [5] 牛健. B建筑企业集团基于人机协同的资金风险控制研究[D]. 北京交通大学, 2023.
  - [6] 伍时辉. 基于“人机料法环”协同应用的智慧工地管理[J]. 广州建筑, 2023, 51(04): 105-108.
- 作者简介: 严广棚, 1996年6月17日, 男, 汉, 广东花都, 本科, 二级建造师, 研究方向: 建筑工程管理。