

基于建筑机器人驱动的智能建造技术研究

张雪芹 张继丁 汪黎 张皓翔 任鹏宇

重庆市建筑科学研究院有限公司 重庆 400016

摘要：在建筑领域，传统建造模式面临效率、质量与安全等诸多挑战。本文聚焦基于建筑机器人驱动的智能建造技术。建筑行业面临诸多挑战，信息技术发展推动其变革。关键技术涵盖人工智能、传感器、机器人控制、物联网、大数据与云计算等。建筑机器人在设计、施工、运维各阶段有不同应用模式。未来，该技术将加速市场化落地，研发趋向专用化与定制化，传统建筑机械智能化升级改造加快，且多技术深度融合以实现更高级智能化，为建筑行业带来全新发展格局。

关键词：建筑机器人；智能建造；信息技术；智能应用

引言：在科技飞速发展的当下，建筑行业作为传统产业，正站在变革的关键节点。传统建筑模式面临效率低、质量参差不齐、劳动力短缺且成本上升等诸多难题，严重制约行业发展。与此同时，信息技术日新月异，人工智能、物联网等前沿技术不断涌现，为建筑行业转型提供强大技术支撑。此外，相关部门出台一系列政策鼓励创新，市场对高效、优质建筑产品的需求也日益增长。在此背景下，基于建筑机器人驱动的智能建造技术应运而生，成为推动建筑行业迈向现代化、智能化的关键力量。

1 建筑机器人驱动智能建造的发展背景

1.1 建筑行业面临的挑战

传统建筑行业长期面临诸多难题。一方面，劳动力短缺且成本不断攀升，随着人口结构变化，年轻一代从事建筑工作的意愿降低，导致用工难、用工贵问题突出。另一方面，建筑质量参差不齐，施工过程依赖人工经验和技能，难以保证每个环节都达到高标准。此外，传统建筑模式效率低下，项目周期长，资源浪费严重，且施工过程中存在一定安全隐患，这些都制约着建筑行业的可持续发展，迫切需要新的技术和模式来改变现状。

1.2 信息技术发展的推动

近年来，信息技术的飞速发展为建筑行业变革提供了强大动力。人工智能技术能够实现建筑设计的自动化

基金项目：重庆市建设科技计划项目（城科字2024第3-21）；重庆设计集团关键技术类项目（2023-C3）。

参与人：张雪芹、张继丁、汪黎、张皓翔、任鹏宇

作者简介：张雪芹（1968），男，博士，担任重庆市建筑科学研究院有限公司博士后导师，研究方向：建筑科学技术研究、检测技术与结构鉴定，建筑与房地产管理、工程监理与造价咨询等。

优化、施工过程的智能决策和质量检测；传感器技术可实时监测建筑结构和施工环境的状态；物联网技术让建筑设备、材料等实现互联互通，提升管理效率；大数据与云计算技术则能对海量的建筑数据进行存储、分析和挖掘，为项目规划、成本控制等提供精准依据^[1]。

2 建筑机器人驱动智能建造的关键技术

2.1 人工智能技术

人工智能技术是建筑机器人驱动智能建造的核心关键技术之一，在多个方面发挥着不可替代的作用。（1）在感知与识别方面，人工智能赋予建筑机器人强大的环境感知能力。借助计算机视觉技术，机器人能够精准识别建筑场景中的各类物体，如建筑材料、施工设备、建筑结构等，还能对物体的位置、形状、尺寸等信息进行准确测量和分析。例如，在砌墙作业中，机器人可通过视觉系统识别砖块的位置和姿态，实现精准抓取和放置。（2）决策与规划能力是人工智能的又一重要体现。建筑机器人能够根据感知到的环境信息和预设的任务目标，运用智能算法进行自主决策和路径规划。在复杂多变的建筑工地环境中，机器人可以实时调整施工路线和作业方式，以应对各种突发情况，确保施工的顺利进行。（3）人工智能支持建筑机器人的自主学习与优化。通过对大量施工数据的学习和分析，机器人能够不断总结经验，优化自身的作业参数和操作策略，提高施工效率和质量。同时，人工智能还能实现对建筑机器人的故障预测和健康管理，提前发现潜在问题并及时进行维护，保障机器人的稳定运行，为智能建造提供可靠的技术支持。

2.2 传感器技术

传感器技术作为建筑机器人驱动智能建造的关键支撑，在建筑机器人的运行与智能建造实现过程中发挥着

至关重要的作用。（1）传感器为建筑机器人提供了精准的环境感知能力。在建筑工地上，环境复杂多变，存在诸多不确定因素。通过安装各类传感器，如激光雷达传感器，建筑机器人能够实时获取周围环境的三维空间信息，精确测量距离和方位，从而构建出详细的环境地图，为后续的导航和作业规划提供基础数据。温度、湿度传感器则可以监测施工现场的气候条件，让机器人根据环境变化调整工作参数，确保施工质量和自身性能稳定。（2）传感器助力建筑机器人实现自身状态监测。加速度传感器、陀螺仪等可以实时感知机器人的运动状态，包括速度、加速度、姿态等。通过对这些数据的分析，机器人能够精确控制自身的动作，实现平稳、精准的施工操作。（3）多传感器融合技术进一步提升了建筑机器人的智能化水平。将不同类型传感器的数据进行融合处理，可以弥补单一传感器的局限性，获得更全面、准确的信息。这使建筑机器人能够更好地适应复杂的建筑场景，做出更合理的决策，推动智能建造向更高水平发展。

2.3 机器人控制技术

机器人控制技术是建筑机器人驱动智能建造的核心要素，对建筑机器人的精准作业与智能建造的高效推进起着决定性作用。（1）精准的运动控制是机器人控制技术的基础。在建筑场景中，建筑机器人需要完成诸如搬运、安装、焊接等复杂且精细的动作。通过先进的运动控制算法，能够精确规划机器人各关节的运动轨迹、速度和加速度，确保机器人在三维空间中实现高精度的定位和操作。无论是高空作业还是狭小空间内的施工，精准的运动控制都能保证机器人按照预设要求完成任务，提升施工质量。（2）智能的决策控制赋予建筑机器人自主作业能力。结合传感器采集的环境信息和任务目标，机器人控制技术中的决策模块能够实时分析并做出合理决策。例如，当遇到突发障碍物时，机器人可迅速调整作业路径；根据施工进度和材料供应情况，自动优化施工顺序。这种智能决策控制使建筑机器人能够适应动态变化的建筑工地环境，提高施工的灵活性和效率。（3）协同控制技术实现了多机器人之间的高效配合。在大型建筑项目中，往往需要多台机器人协同作业。通过协同控制技术，各机器人能够共享信息、协调动作，避免碰撞和冲突，共同完成复杂的施工任务，极大提升了智能建造的规模化和整体效能。

2.4 物联网技术

物联网技术是建筑机器人驱动智能建造的关键纽带，为建筑行业的智能化变革提供了强大的技术支撑，

在多个层面发挥着不可或缺的作用。（1）物联网实现了建筑机器人与施工现场的全面互联。通过在建筑机器人及施工现场各类设备上部署传感器和通信模块，借助物联网的无线通信技术，机器人能够实时获取施工现场的温度、湿度、光照、设备状态等环境信息，同时将自身的运行数据，如位置、速度、电量等上传至云端或本地控制中心。这种全方位的信息交互，让建筑机器人可以更好地感知周围环境，为精准作业提供数据基础。（2）物联网促进了建筑机器人之间的协同工作。在大型建筑项目中，往往需要多台不同功能的建筑机器人协同完成复杂任务。物联网技术打破了机器人之间的信息壁垒，使它们能够实时共享任务进度、作业区域等信息，实现高效的分工协作。（3）物联网支持远程监控与管理。管理人员可以通过物联网平台，在任何有网络的地方对建筑机器人进行远程监控和操作。不仅能实时查看机器人的工作状态和施工进度，还能在出现故障或异常情况时，及时发出指令进行调整或维修，大大提高了管理效率和应急处理能力，推动智能建造向更高水平发展。

2.5 大数据与云计算技术

大数据与云计算技术是建筑机器人驱动智能建造的重要基石，为建筑行业的智能化发展提供了强大的数据存储、处理与分析能力，在多个关键环节发挥着重要作用。（1）大数据技术助力建筑机器人实现精准决策。在建筑施工过程中，建筑机器人会产生海量的数据，包括设备运行参数、施工环境信息、作业进度数据等。大数据技术能够对这些分散、复杂的数据进行高效收集、整合与存储，通过数据挖掘和分析，提取有价值的信息和规律。建筑机器人可依据这些分析结果，自动调整作业策略，优化施工流程，从而提升施工的精准度和效率。

（2）云计算技术为建筑机器人提供了强大的计算支持。建筑机器人在运行过程中需要进行大量的实时计算，如路径规划、运动控制、图像识别等。云计算技术凭借其强大的计算能力和弹性扩展特性，能够为建筑机器人提供远程计算服务，减轻机器人本地的计算负担，使其能够快速响应各种复杂任务，保证施工的流畅性和稳定性^[2]。

（3）大数据与云计算技术的结合实现了建筑项目的智能化管理。通过对施工过程中产生的各类数据进行深度分析，管理人员可以实时掌握项目进度、质量、安全等关键指标，及时发现潜在问题并采取相应措施。同时，还能为后续项目的规划与决策提供数据参考，推动建筑行业向智能化、精细化方向发展。

3 建筑机器人在智能建造各阶段的应用模式

3.1 设计阶段

设计阶段，建筑机器人借助先进算法与模拟技术深度参与。它能快速处理海量数据，分析不同设计参数对建筑性能的影响，如结构稳定性、能耗等。通过与虚拟现实（VR）、增强现实（AR）技术结合，为设计师提供沉浸式设计体验，使其更直观感受设计效果，及时调整优化方案。同时，机器人可依据预设规则自动生成多种设计方案，拓宽设计思路，激发创新灵感，提高设计效率，确保设计方案既满足功能需求，又具备前瞻性与创新性。

3.2 施工阶段

施工阶段，建筑机器人成为提升效率与质量的核心力量。在材料加工环节，机器人能按照精确尺寸切割、加工建筑材料，减少人为误差。在施工操作中，不同类型的机器人各司其职，如混凝土浇筑机器人可实现均匀、快速浇筑，提高施工速度与表面平整度；焊接机器人能完成高精度焊接作业，保证焊接质量。此外，机器人配备的传感器可实时监测施工环境与设备状态，及时预警安全隐患，确保施工安全有序进行，全面提升施工的智能化水平。

3.3 运维阶段

运维阶段，建筑机器人承担着建筑健康监测与维护的重要使命。它们可定期或实时对建筑结构、设备进行全面检查，利用高精度传感器收集数据，通过数据分析技术评估建筑状态，提前发现潜在问题。对于日常维护工作，如清洁、通风系统滤网更换等，机器人能够自主完成，降低人工维护成本与劳动强度。当建筑出现故障时，维修机器人可快速定位故障点，依据预设程序进行修复，缩短维修时间，减少对建筑正常使用的影响，保障建筑长期稳定运行。

4 建筑机器人驱动智能建造技术的发展趋势

4.1 研发趋向专用化、定制化

不同建筑场景和施工任务具有独特性，这驱动建筑机器人研发朝着专用化和定制化方向发展。针对高层建筑、桥梁隧道、地下空间等不同工程类型，研发专用机器人以适应复杂环境和特殊作业要求。定制化研发则根据客户的具体需求，对机器人的功能、尺寸、操作方式等进行个性化设计。专用化和定制化的研发模式能够提高机器人的适用性和针对性，更好地解决实际施工中的

难题，提升施工效率和质量。

4.2 传统建筑机械智能化升级改造加快

为顺应智能建造发展趋势，传统建筑机械的智能化升级改造步伐加快。通过加装传感器、智能控制系统和通信模块等，使传统机械具备数据采集、分析和自主决策能力。例如，传统挖掘机升级后可实现精准挖掘和自动调平，混凝土搅拌车能实时监测混凝土质量并调整搅拌参数。智能化升级改造不仅提升了传统机械的性能和效率，降低了人工操作难度和安全风险，还实现了与建筑机器人的协同作业，构建起更加高效、智能的施工体系，推动建筑行业整体向智能化方向迈进。

4.3 多技术深度融合实现更高级智能化

建筑机器人驱动智能建造技术的发展离不开多技术的深度融合。人工智能技术赋予机器人学习和决策能力，使其能根据施工情况自动调整作业策略；物联网技术实现设备间的互联互通和数据共享，构建智能建造信息网络；大数据和云计算技术为海量施工数据的存储、分析和挖掘提供支持，助力精准决策；5G技术保障数据高速稳定传输，实现远程实时操控和监控。多技术融合将推动建筑机器人向更高级的智能化方向发展，实现自主感知、自主规划和自主作业，为建筑行业带来全新的施工模式和管理理念^[3]。

结束语

基于建筑机器人驱动的智能建造技术研究，是建筑行业顺应时代潮流、谋求创新发展的关键探索。本研究深入剖析了相关关键技术，展现了其在提升施工效率、质量和安全性等方面的巨大潜力。随着技术的持续进步，建筑机器人将更加智能、高效，与多技术深度融合。未来，智能建造有望重塑建筑产业格局，实现绿色、可持续的发展目标。

参考文献

- [1] 贾培奇.基于建筑机器人驱动的智能建造实践与发展战略[J].教育学,2023.123-134.
- [2] 曹龙威.建筑机器人驱动下的智能建造实践与发展[J].建筑理论,2023.145-146
- [3] 李劲.建筑机器人驱动下的智能建造实践与发展[J].文化科学,2023.167-178