

智能施工机器人在建筑装配作业中的应用与发展路径分析

罗宇翔

江西宏鼎建设工程有限公司 江西九江 332000

摘要：智能施工机器人作为智能建造的核心装备，在建筑装配作业中的应用有效破解传统施工效率低、安全风险高、质量稳定性不足等难题。本文系统梳理智能施工机器人在构件吊装定位、连接固定、质量检测验收等装配作业环节的应用现状；深入分析技术适应性、成本效益、标准人才等方面的推广制约因素；从技术创新、产业协同、政策引导三个维度，提出智能施工机器人的发展路径。研究旨在为推动智能施工机器人在建筑装配领域的规模化应用提供参考，助力建筑行业向工业化、智能化转型升级。

关键词：智能施工机器人；建筑装配作业；应用现状；制约因素

引言

在建筑工业化与智能建造政策的双重驱动下，装配式建筑因具备质量可控、施工高效、绿色环保等优势，已成为建筑行业转型升级的重要方向。建筑装配作业作为装配式建筑施工的核心环节，涉及构件吊装、连接、检测等多个关键工序，对施工精度、效率与安全性要求极高。传统装配作业依赖人工与通用工程机械，存在劳动强度大、作业效率低、安全风险高、质量波动大等问题，难以满足装配式建筑规模化发展的需求。智能施工机器人融合人工智能、物联网、自动控制等先进技术，能够自主完成装配作业中的复杂任务，大幅提升施工效率与质量，降低安全风险。近年来，国内外已涌现出构件装配机器人、吊装机器人、检测机器人等多种产品，在建筑装配作业中开展试点应用并取得初步成效。但当前智能施工机器人的应用仍处于起步阶段，面临技术适应性不足、成本过高、标准缺失等诸多制约，规模化推广难度较大。因此，深入分析智能施工机器人在建筑装配作业中的应用现状与制约因素，探索科学合理的发展路径，对于推动智能建造技术落地、提升装配式建筑施工水平具有重要的现实意义。

一、智能施工机器人在装配作业中的应用现状

（一）在构件吊装与定位中的应用

构件吊装与定位是建筑装配作业的首要环节，要求精准控制构件的起吊、转运与安装位置，确保构件与设计坐标的偏差在允许范围内。智能吊装机器人通过集成GNSS定位系统、激光测距仪、视觉识别技术，实现构件吊装过程的自动化与精准化控制。机器人能够自主识别

构件的吊点位置，自动规划吊装路径，避免与周边障碍物发生碰撞；在构件定位阶段，通过实时采集安装面的三维数据，与设计模型进行比对，自动调整构件姿态，实现毫米级定位精度。

这类机器人已在预制箱梁、预制墙板等大型构件的装配作业中得到应用。相较于传统起重机依赖人工指挥的吊装方式，智能吊装机器人不仅大幅提升了定位精度，减少了构件安装后的调整工作量，还降低了人工高空作业的安全风险，作业效率提升显著。部分智能吊装机器人还具备多机协同作业功能，能够根据施工进度需求，合理分配吊装任务，进一步提升装配作业的整体效率。

（二）在构件连接与固定中的应用

构件连接与固定是保障装配式建筑结构安全的关键环节，连接质量直接影响结构的整体性与稳定性。智能连接机器人针对不同的连接方式，如螺栓连接、焊接连接、灌浆连接等，开发了专用作业装备。智能螺栓连接机器人通过视觉识别技术精准定位螺栓孔位置，自动完成螺栓的输送、拧紧作业，并且能够实时监测螺栓的拧紧力矩，确保连接强度符合设计要求；智能焊接机器人则适用于钢结构构件的连接作业，通过路径规划与焊缝跟踪技术，实现焊缝的自动化焊接，保证焊缝质量均匀一致，避免人工焊接易出现的夹渣、未焊透等缺陷。

在预制混凝土构件的灌浆连接作业中，智能灌浆机器人能够自动识别灌浆孔位置，精准控制灌浆量与灌浆压力，确保灌浆饱满度，避免因人工灌浆操作不当导致的连接缺陷。这类机器人的应用不仅提升了构件连接的质量稳定性，还大幅提高了作业效率，缩短了装配作业周期^[1]。

（三）在质量检测与验收中的应用

质量检测与验收是建筑装配作业的重要环节，需对构件安装精度、连接质量、外观缺陷等进行全面检测，确保工程质量符合相关标准。智能检测机器人凭借高精度传感器与智能识别技术，实现检测作业的自动化与智能化。三维激光扫描检测机器人能够快速获取构件安装后的三维点云数据，与设计模型进行比对分析，自动生成安装偏差报告，精准识别构件的位置偏差、垂直度偏差等问题；视觉检测机器人则通过高清摄像头采集构件表面图像，利用图像识别技术自动检测构件表面的裂缝、蜂窝、麻面等外观缺陷，并对缺陷尺寸进行量化分析。

在构件连接质量检测方面，超声波检测机器人可对焊接接头、灌浆套筒等连接部位进行无损检测，自动识别内部缺陷；螺栓扭矩检测机器人则能够对已安装螺栓的拧紧力矩进行复检，确保连接质量达标。智能检测机器人的应用不仅提高了检测效率与检测精度，还实现了检测数据的数字化存储与追溯，为质量验收提供了可靠依据。

二、应用推广面临的主要制约因素

（一）技术层面的适应性与可靠性挑战

技术适应性不足是制约智能施工机器人推广应用的核心因素。建筑装配作业场景复杂多变，不同项目的构件类型、结构形式、施工环境存在显著差异，导致智能施工机器人的通用性较差。部分机器人针对特定构件或特定施工场景开发，难以快速适配不同项目的需求，更换作业场景时需要进行大量的参数调整与程序优化，增加了施工复杂度。此外，施工现场的粉尘、振动、光照变化等环境因素，也会影响机器人传感器的检测精度与控制系统的稳定性，导致机器人作业可靠性下降。

机器人的自主决策能力不足也限制了其应用范围。当前多数智能施工机器人仍需人工进行部分干预，尤其是在处理突发情况时，如构件碰撞预警、设备故障等，难以自主做出合理的应对决策，需要依赖操作人员进行远程控制或现场处理。同时，机器人与施工现场其他设备的协同作业能力较弱，尚未形成完整的智能装备协同体系，影响了整体施工效率的提升^[2]。

（二）经济层面的成本效益与投资回报

高昂的成本是智能施工机器人推广应用的重要障碍。智能施工机器人集成了多种先进技术与高精度部件，研发成本与制造成本较高，导致设备售价昂贵，远超传统施工设备的价格。对于中小型建筑企业而言，一次性购置智能施工机器人的资金压力较大，难以承担高额的设备投入。此外，智能施工机器人的运维成本也相对较高，

需要专业技术人员进行设备维护、程序升级与故障排查，而这类专业人才的薪酬水平较高，进一步增加了企业的运营成本。

投资回报周期长也降低了企业的应用意愿。虽然智能施工机器人能够提升作业效率、降低人工成本，但由于设备购置成本高昂，多数企业需要较长时间才能收回投资。在建筑行业市场竞争激烈、项目利润空间压缩的背景下，企业更倾向于选择短期投资回报快的传统施工方式，对智能施工机器人的投入积极性不足。部分项目的施工周期较短，机器人的应用优势难以充分发挥，也影响了其成本效益的体现。

（三）管理层面的标准缺失与人才匮乏

标准体系缺失制约了智能施工机器人的规范化应用。目前，智能施工机器人在建筑装配作业中的应用缺乏统一的技术标准、安全标准与验收标准。不同厂家生产的机器人在技术参数、接口协议、作业流程等方面存在差异，导致机器人之间难以兼容协同，也给施工现场的管理与质量验收带来困难。此外，针对机器人作业的安全操作规程、设备维护标准等尚未完善，易引发安全事故与设备故障，影响推广应用。

专业人才匮乏是智能施工机器人应用的另一重要制约因素。智能施工机器人的操作、维护与管理需要具备跨学科知识的复合型人才，既需要掌握建筑施工技术，又要熟悉机器人控制技术、人工智能、物联网等相关知识。当前建筑行业这类专业人才储备不足，现有施工人员的技术水平难以满足智能施工机器人的应用需求，而高校与职业院校相关专业的人才培养滞后于行业发展，导致人才供给缺口较大。人才匮乏不仅影响了机器人的应用效果，还增加了企业的人才培养成本^[3]。

三、智能施工机器人的发展路径分析

（一）以技术创新为核心的功能强化路径

技术创新是推动智能施工机器人发展的核心动力，需聚焦适应性、可靠性与自主化水平的提升。在适应性方面，应加强模块化与标准化设计，开发可快速更换的功能模块，使机器人能够根据不同构件类型、施工场景的需求，灵活调整作业功能；同时，利用人工智能技术优化机器人的自适应控制算法，提升机器人对复杂环境与多变工况的适应能力，减少人工干预。某装配式建筑项目中，采用模块化设计的智能装配机器人，通过更换不同的作业模块，实现了预制墙板、预制柱等多种构件的吊装与连接作业，大幅提升了机器人的通用性。

在可靠性方面，需加强机器人关键部件的研发与测

试,选用耐高温、抗粉尘、抗振动的高性能部件,提升设备在复杂施工环境下的稳定性;同时,开发冗余设计与故障自诊断系统,当机器人某一部件出现故障时,能够自动切换备用部件或发出预警信息,确保作业连续进行。在自主化方面,应提升机器人的自主决策与协同作业能力,通过融合多传感器数据与深度学习算法,使机器人能够自主识别施工场景中的突发情况,做出合理的应对决策;开发多机器人协同作业系统,实现不同类型机器人之间的信息共享与任务协同,形成完整的智能施工装备体系。

(二) 以产业协同为支撑的生态构建路径

产业协同是推动智能施工机器人规模化应用的重要支撑,需构建“产学研用”一体化的产业生态。高校与科研机构应聚焦行业需求,开展关键核心技术研发,突破机器人自适应控制、多机协同、智能感知等技术瓶颈;企业应加大研发投入,与高校、科研机构开展深度合作,将科研成果转化为实际产品,并根据市场反馈持续优化产品性能。某建筑装备企业与高校合作,联合研发的智能灌浆机器人,通过将实验室研发的高精度灌浆控制技术转化为实际产品,成功应用于多个装配式建筑项目,实现了技术成果的快速落地^[4]。

上下游企业之间应加强协同合作,构建完善的产业链体系。机器人生产企业应与构件生产企业、施工企业密切配合,根据构件生产标准与施工工艺要求,优化机器人的设计方案;构件生产企业则应推进构件的标准化与模块化生产,为机器人作业创造有利条件。同时,应培育专业的运维服务企业,为施工企业提供机器人租赁、操作培训、维护保养等一体化服务,降低企业的应用门槛与运营成本。此外,行业协会应发挥桥梁纽带作用,搭建企业交流合作平台,推动行业资源整合与共享。

(三) 以政策引导为驱动的市场培育路径

政策引导是培育智能施工机器人市场的关键手段,需通过政策支持与市场规范,激发企业应用积极性。政府应加大对智能施工机器人研发的扶持力度,设立专项研发资金,支持关键核心技术攻关与创新产品研发;对购置智能施工机器人的企业给予税收减免、财政补贴等优惠政策,降低企业的设备投入成本。同时,应出台相关政策,鼓励在政府投资项目、重点工程中优先采用智能施工机器人,为机器人应用提供示范场景,带动市场需求增长。

加强标准体系建设是规范市场发展的重要保障。政

府相关部门应联合行业协会、企业、科研机构,加快制定智能施工机器人的技术标准、安全标准、验收标准与操作规范,统一技术参数与接口协议,实现机器人之间的兼容协同;建立机器人产品认证制度,加强市场监管,打击劣质产品,保障市场秩序。此外,还应加强人才培养体系建设,支持高校与职业院校开设相关专业,培养复合型技术人才;鼓励企业开展内部培训与技能竞赛,提升现有施工人员的智能装备操作能力,为智能施工机器人的推广应用提供人才支撑^[5]。

结语

智能施工机器人在建筑装配作业中的应用,为装配式建筑施工带来了效率提升、质量优化、安全保障等多方面优势,是推动建筑行业智能化转型升级的重要装备。当前,智能施工机器人已在构件吊装定位、连接固定、质量检测验收等环节取得初步应用成效,但仍面临技术适应性不足、成本过高、标准缺失、人才匮乏等诸多制约因素,规模化推广应用任重道远。推动智能施工机器人的健康发展,需要以技术创新为核心,强化机器人的适应性、可靠性与自主化水平;以产业协同为支撑,构建“产学研用”一体化的产业生态,完善产业链体系;以政策引导为驱动,加大政策扶持力度,加快标准体系建设,培育专业人才队伍。通过多方面的共同努力,智能施工机器人在建筑装配作业中的应用将不断深化,为建筑行业高质量发展注入强大动力,推动智能建造时代的加速到来。

参考文献

- [1] 李永鑫, 郭安福, 李俊颖, 等. 高层建筑外墙喷涂机器人的结构设计与仿真分析[J]. 现代制造技术与装备, 2021(001): 057.
- [2] 玓微. 国内首台建筑构件装配机器人下线[J]. 机器人技术与应用, 2021(5).
- [3] 朱鲁峰, 梁喆, 孟浩. 基于智能建造的装配式建筑发展及产学研实践[C]//2022全国建筑院系建筑数字技术教学与研究学术研讨会. 全国高等学校建筑学专业指导委员会, 2022.
- [4] 肖阳功杰, 朱生媛, 李佳荣, 等. 智能机器人在装配式建筑中的应用分析[J]. 智能建筑, 2021.
- [5] 王森. 智能机器人在装配式建筑中的应用分析[J]. 电脑高手, 2021(4).