

建筑机器人的应用现状与发展挑战

周发东

西藏交通发展集团有限公司，西藏 拉萨 850000

DOI:10.61369/ME.2025060037

摘要：随着我国建筑业向高质量、智能化、绿色化转型，建筑机器人作为智能建造的核心载体，正逐步从实验室走向实际工程应用。本文系统梳理了建筑机器人在主体结构、装修施工与新型技术领域的应用现状，分析其在技术、政策、市场与商业化层面的发展动因与现实瓶颈。研究表明，尽管建筑机器人在提升施工效率、保障作业安全、降低碳排放方面展现出显著优势，但仍面临技术适配性不足、成本高昂、标准缺失与复合型人才短缺等多重挑战。未来，需通过政策引导、技术创新与产业协同，推动建筑机器人实现规模化、标准化与可持续发展。

关键词：建筑机器人；智能建造；施工自动化；技术瓶颈；发展挑战；中国

The Current Application Status and Development Challenges of Construction Robots

Zhou Fadong

Xizang Jiaofa Project Management Co., LTD., Lasa, Xizang 850000

Abstract : With the transformation of China's construction industry towards high quality, intelligence and greenness, construction robots, as the core carrier of intelligent construction, are gradually moving from the laboratory to practical engineering applications. This article systematically reviews the current application status of construction robots in the fields of main structure, decoration construction and new technologies, and analyzes the development drivers and practical bottlenecks in terms of technology, policy, market and commercialization. Research shows that although construction robots have demonstrated significant advantages in enhancing construction efficiency, ensuring operation safety, and reducing carbon emissions, they still face multiple challenges such as insufficient technical adaptability, high costs, lack of standards, and shortage of compound talents. In the future, it is necessary to promote the large-scale, standardized and sustainable development of construction robots through policy guidance, technological innovation and industrial collaboration.

Keywords : construction robot; intelligent construction; construction automation; technical bottleneck; development challenges; china

引言

建筑业是我国国民经济的重要支柱产业，2021年其增加值占国内生产总值（GDP）比重达6.26%。然而，行业长期依赖劳动密集型模式，面临劳动力短缺、安全事故频发、生产效率低下与环境污染等问题。据不完全统计，2012至2018年间，全国建筑施工领域共发生死亡事故5011起，年均死亡人数超700人，安全形势严峻。与此同时，新生代劳动力对“危、繁、脏、重”的传统建筑岗位意愿持续下降，倒逼行业寻求自动化替代路径^[1]。

在此背景下，建筑机器人作为融合机械工程、人工智能、传感控制与建筑工艺的跨界技术，成为推动建筑业转型升级的关键力量。建筑机器人泛指可替代人工完成砌筑、喷涂、测量、混凝土整平、钢筋绑扎等施工任务的自动化设备，按应用场景可分为主体结构施工类、装修施工类与新型技术类三大类别^[2]。近年来，我国政府密集出台政策推动智能建造发展，建筑机器人迎来前所未有的发展机遇。然而，其大规模落地仍面临诸多现实挑战。本文旨在系统分析建筑机器人在中国的应用现状，揭示其发展中的核心矛盾，并提出应对策略^[3]。

一、技术应用现状

(一) 主体结构施工机器人

在主体结构施工领域，砌砖与3D打印机器人是代表性技术。砌砖机器人如美国 Construction Robotics 公司研发的 SAM100，已在部分试点项目中应用，其砌筑效率可达人工的3倍以上。然而，当前多数设备仍需人工辅助定位与供料，运动轨迹规划在复杂墙体结构中仍存在适应性不足问题，难以应对非标建筑形态。

混凝土施工机器人发展较快。例如，混凝土整平机器人已实现无人化作业，作业效率可达 $200 - 300 \text{ m}^2/\text{h}$ ，较传统人工提升3倍以上。安徽水利某项目于2024年首次引入混凝土浇筑与整平机器人，实现施工过程零碳排放与零人员直接接触高温作业面，初步验证了其在大型基础设施中的应用潜力^[4]。

3D打印建筑机器人方面，CyBe Construction 等企业已实现小型建筑结构的现场打印，国内企业亦在推进轻量化、模块化设备研发，推动设备向低成本、易运输方向演进。

(二) 装修施工机器人

装修施工机器人广泛应用于墙面打磨、瓷砖铺贴与喷涂作业。墙地面打磨机器人依赖高精度激光扫描与路径规划算法，通过实时反馈优化打磨轨迹，提升表面平整度。喷涂机器人在高空幕墙与室内墙面施工中表现突出，作业效率为人工的3倍，且能有效减少涂料浪费与有害气体吸入风险^[5]。

然而，当前喷涂机器人自主性仍不足，需依赖预设路径与人工监控，难以应对现场突发障碍或结构变更。瓷砖铺贴机器人则普遍存在适用尺寸单一问题，仅能处理标准规格瓷砖，对异形、大尺寸或复杂拼花场景适应能力弱，限制了其推广应用。

(三) 新型技术类机器人

测量机器人采用激光扫描与 SLAM（同步定位与地图构建）技术，可实现毫米级精度的三维建模，效率为传统人工测量的40倍以上，已在住建部推广的智能建造试点项目中广泛应用。然而，其在强光、雨雾等复杂环境下存在数据丢失风险，且对软件算法依赖度高，数据安全与系统稳定性亟待加强^[6]。

此外，钢筋绑扎机器人、外墙清洗机器人等新型设备也逐步投入使用。江西理工大学研发的幕墙清洗机器人成功替代高空人工作业，显著降低坠落风险，但当前覆盖率仅达60%，受限于设备灵活性与建筑立面复杂度。

二、政策与市场驱动

(一) 政策支持体系逐步完善

自2017年起，国务院办公厅明确提出鼓励研发与推广建筑机器人等智能建造设备。2020年，住房和城乡建设部发布《关于推动智能建造与建筑工业化协同发展的指导意见》，明确到2025年培育一批智能建造龙头企业，形成以工程物联网、BIM 技术与建筑机器人为核心的技术体系。

2024年，住建部启动首批智能建造试点城市与项目，覆盖设

计、生产、施工全链条，推动建筑机器人在实际工程中的集成应用。地方层面，安徽、广东、江苏等地出台财政补贴政策，对采购建筑机器人的企业给予设备总价10%–30%的补贴，有效降低中小型企业应用门槛^[7]。

(二) 市场需求持续增长

全球建筑机器人市场正处于高速增长期，预计2030年市场规模将达110亿美元，年复合增长率接近29%。中国作为全球最大建筑市场，将成为主要增长引擎。劳动力成本上升、安全监管趋严与“双碳”目标共同构成市场驱动力。

据国际劳工组织统计，建筑业工伤事故率占全球工业事故的30%以上，建筑工人致命风险是其他行业的4倍。建筑机器人的普及可显著降低高空、高温、高粉尘环境下的作业风险，安全价值凸显。同时，机器人可减少建筑材料浪费（传统浪费率高达40%），助力绿色施工与资源节约。

三、商业化发展瓶颈

尽管前景广阔，建筑机器人在商业化落地过程中仍面临多重挑战。

(一) 成本投入高，投资回报周期不确定

当前主流建筑机器人设备单价普遍较高，如钢筋绑扎机器人单台投入可达百万元级别，中小企业难以承受。尽管长期可节约人工与事故成本，但短期内投资回报率（ROI）不明确，导致企业持观望态度。部分设备需配备专业操控人员或进行定制化调试，进一步推高使用成本^[8]。

(二) 技术适应性与协同能力不足

建筑工地具有非结构化、动态变化、多工种交叉作业等特点，对机器人环境感知、导航定位与多机协作能力提出极高要求。现有机器人在雨雪、强风等极端天气下作业稳定性差，路径规划算法难以应对突发障碍，导致作业中断频发。

此外，BIM（建筑信息模型）系统与机器人控制平台尚未实现完全打通，存在“数据孤岛”现象，影响施工指令的精准传递与施工进度的动态调整。

(三) 行业标准与法规滞后

目前，建筑机器人领域缺乏统一的技术标准与安全规范。不同厂商设备接口不兼容，难以实现跨品牌协同作业。更关键的是，机器人作业过程中若发生安全事故，责任界定模糊，缺乏明确的法律依据，制约了保险机制的建立与用户信任的形成^[9]。

(四) 复合型人才严重短缺

建筑机器人是典型的交叉学科领域，需兼具机械设计、人工智能算法与建筑工程管理知识的复合型人才。然而，当前高校相关专业设置滞后，企业内部培训体系不健全，导致“会用机器人的人”极度稀缺，成为制约技术落地的“最后一公里”难题。

四、发展建议与未来展望

为推动建筑机器人在中国的规模化应用，建议从以下方面

着手：

1. 加强政策引导与标准建设：加快制定建筑机器人安全、性能、接口与数据交互的国家标准，推动跨企业设备协同。建立机器人作业责任认定机制，完善保险制度，降低用户风险。

2. 推动“机器人即服务”（RaaS）模式^[10]：鼓励企业从设备销售向服务化转型，按施工面积或任务量收费，降低中小企业使用门槛，提升设备利用率^[10]。

3. 强化技术研发与轻量化设计：重点突破复杂环境下的自主导航、多模态交互（如语音指令控制）与多机器人协同控制技术。推动模块化、轻量化设备研发，提升运输与部署效率。

4. 构建人才培养体系：支持高校设立“智能建造工程”等交叉学科专业，推动校企联合培养。建立职业培训认证体系，提升现有施工人员的机器人操作与维护能力。

5. 建设BIM-机器人协同平台：打通设计、施工与运维数据链，实现从BIM模型到机器人作业指令的自动转换，提升施工智能化水平。

五、结论

建筑机器人正成为中国建筑业转型升级的重要引擎，在提升效率、保障安全、推动绿色建造方面展现出巨大潜力。然而，其发展仍处于初级阶段，面临技术适配性差、成本高、标准缺失与人才短缺等现实挑战。未来，需通过“政策+技术+产业+人才”四位一体的协同推进，突破瓶颈，实现建筑机器人从“试点示范”向“规模应用”的跨越，助力中国从“建造大国”迈向“建造强国”。

参考文献

- [1]住建部.《关于推动智能建造与建筑工业化协同发展的指导意见》.2020.
- [2]央视网.《建筑机器人派上大用场》.新华网,2024.
- [3]网易新闻.《建筑施工机器人研究进展》.2024.
- [4]中研普华产业研究院.《2024-2029年中国建筑机器人行业市场分析及发展前景预测报告》.2024.
- [5]国际劳工组织(ILO).《全球建筑业安全状况报告》.2022.
- [6]腾讯新闻.《机器人在建筑业的未来发展：挑战与突破路径》.2025.
- [7]王广明.推动智能建造与新型建筑工业化协同发展的实施路径研究[J].住宅产业,2020,(09):12-15.
- [8]白宇,徐铭原.浅谈建筑机器人与装配式建筑融合在未来建筑行业的发展[J].居舍,2020,(27):189-190.
- [9]雷小康,曹建福.面向装配式建筑的智能机器人应用现状与关键技术探讨[J].自动化博览,2018,35(07):66-70.
- [10]林治阳.建筑机器人在我国建筑业企业中的应用障碍及对策研究[D].重庆大学,2017.