

工程机械自动化在智能施工中的应用与发展

程刚, 张鹤, 盛庆祝

长春杰维技术有限公司, 吉林 长春 130000

DOI: 10.61369/ERA.12278

摘要： 随着科技的飞速发展，工程机械自动化已成为智能施工领域的关键驱动力。本文深入探讨了工程机械自动化在智能施工中的应用现状、核心技术支撑、典型应用场景、发展面临的挑战以及未来发展趋势。通过分析其在提升施工效率、保障施工安全、降低施工成本和实现绿色环保等方面的重要意义，阐述了工程机械自动化对建筑行业生态的重塑作用，以及推动行业向高质量发展的重要贡献。同时，针对当前存在的技术瓶颈、成本与普及问题、安全与法规空白以及人才缺口等挑战，提出了相应的解决思路和发展方向，为相关从业者和研究者提供全面的参考和借鉴。

关键词： 工程机械自动化；核心技术；典型应用场景；发展挑战；未来趋势

Application and Development of Construction Machinery Automation in Intelligent Construction

Cheng Gang, Zhang He, Sheng Qingzhu

Changchun Jiewei Technology Co., Ltd. Changchun, Jilin 130000

Abstract: With rapid technological progress, construction machinery automation has become a key driver in intelligent construction. This paper explores its application status, core technologies, typical application scenarios, developmental challenges, and future trends in intelligent construction. By analyzing its significance in improving efficiency, ensuring safety, reducing costs, and achieving eco – friendliness, it shows how it reshapes the construction industry and promotes high – quality development. Moreover, it proposes solutions and directions for current challenges like technical bottlenecks, costs, safety – legal issues, and talent shortages, offering a full reference for relevant workers and researchers.

Keywords: construction machinery automation; core technology; typical application scenarios; developmental challenges; future trends

引言

（一）传统施工的痛点

传统施工方式在长期的实践过程中暴露出诸多问题。首先，施工效率低下，依赖大量的人力进行重复性劳动，且受人为因素如工人技能水平、体力和工作状态等影响较大，导致施工进度难以精准把控，容易出现延误。其次，施工安全风险高，在复杂的施工现场环境中，工人面临高空坠落、机械伤害、坍塌等各种危险，事故一旦发生，将对人员生命和财产造成严重损失。此外，对人力的高度依赖使得劳动力成本不断攀升，且在劳动力短缺的情况下，施工项目的人员组织和管理难度进一步加大，制约了施工行业的规模化和高效化发展。

（二）智能施工的定义与核心目标

智能施工是借助先进的信息技术、自动化技术和人工智能技术，对传统施工过程进行全面升级改造的一种新型施工模式。其核心目标是实现自动化、数字化和智能化。自动化是指机械设备能够在预设程序或指令下自主完成各项施工任务，减少人工干预；数字化则是将施工过程中的各种数据进行采集、传输和处理，构建一个数字化的施工模型，实现施工信息的精准管理和共享；智能化是在自动化和数字化的基础上，通过人工智能算法对施工数据进行分析 and 决策，使施工过程能够自适应不同的环境和条件，优化施工方案和资源配置。

（三）工程机械自动化的意义

一方面，它能够显著降本增效。通过自动化作业，机械设备可以按照最优的施工参数和路径进行操作，提高施工效率，缩短工期，同时减少人力投入和人为失误导致的成本增加。另一方面，它有助于实现绿色环保。自动化工程机械能够精准控制材料的使用和能源的消耗，降低施工过程中的浪费和污染排放。此外，精准施工也是其重要优势之一，能够确保施工质量符合高标准要求，减少后期维修和返工的可能性，从而提升整个建筑项目的品质和效益。

一、核心技术支撑

（一）感知技术

感知技术是工程机械自动化的基础，它使机械设备能够感知自身状态和周围环境信息。传感器在其中发挥着关键作用，包括位置传感器，用于实时确定机械设备的地理位置和姿态，确保其在正确的施工位置和姿态下进行作业；压力传感器，能够监测机械设备关键部件的受力情况，如挖掘机的挖掘力、压路机的压实压力等，从而实现对施工力度的精准控制；环境监测传感器，可对施工现场的温度、湿度、粉尘浓度等环境参数进行实时监测，为施工过程的环境适应性调整提供依据^[1]。机器视觉技术则是另一种重要的感知手段，通过摄像头对施工现场进行图像采集和分析，能够实现障碍物的识别与定位，避免机械设备在作业过程中发生碰撞；同时，还可以对地形进行扫描和建模，为施工规划和机械路径规划提供详细的地形信息，使机械设备能够更好地适应复杂多变的施工现场环境^[2]。

（二）控制技术

自动驾驶技术使工程机械能够在预设的路径上自主行驶，通过先进的导航系统和控制系统，结合感知技术获取的环境信息，实现精准的路径跟踪和避障。例如，在大型土方工程中，自动驾驶的挖掘机和运输车辆能够按照规划好的路线进行挖掘和物料运输，提高施工效率和安全性。远程操控技术借助 5G 通信技术的低延迟特性，使操作人员能够在远离施工现场的安全地点对机械设备进行实时控制。这对于一些特殊环境或高危环境下的施工具有重要意义，如在放射性区域、深海作业或灾后救援现场等，操作人员可以通过远程操控机械设备完成任务，避免直接暴露在危险环境中，同时也能利用操作人员的专业技能和经验，弥补自动化系统的不足，实现更灵活的施工操作。

（三）数据融合与 AI

在施工现场，各种传感器和机器视觉设备会产生海量的数据，通过数据融合技术，将这些来自不同来源、不同格式的数据进行整合和处理，提取出有价值的信息，为施工决策提供全面的数据基础^[3]。例如，将挖掘机的工作参数数据、运输车辆的位置和状态数据以及施工现场的环境数据等进行融合分析，能够实时了解施工进度和质量状况。机器学习算法则能够对这些融合后的数据进行深度挖掘和分析，实现施工过程的优化和预测维护。通过对历史施工数据的学习和分析，机器学习模型可以预测机械设备的故障发生概率，提前安排维护保养，减少设备停机时间；同时，也能够根据不同的施工条件和要求，自动生成最优的施工方案和作业参数，提高施工效率和质量，为工程机械的自动化作业提供更加智能、高效的决策支持^[4]。

二、典型应用场景

（一）土方工程

在土方工程中，自动化挖掘机和无人压路机的应用显著提升了施工效率和质量。自动化挖掘机能够根据预设的施工图纸和地

形模型，自主进行挖掘和填方作业。它通过传感器和机器视觉技术实时感知土壤的硬度、湿度等特性，自动调整挖掘力度和角度，确保挖掘作业的精准性和高效性。同时，多台自动化挖掘机之间还可以进行协同作业，根据施工进度和任务分配，自动调整工作区域和作业顺序，提高整体施工效率。无人压路机则在道路压实作业中发挥重要作用，它能够按照预设的压实路径和压实遍数进行自主压实作业，并通过安装的传感器实时监测压实效果，如地面的平整度、密实度等指标^[5]。一旦检测到压实效果不符合要求，无人压路机会自动调整压实参数或返回进行补压，确保道路压实质量的均匀性和稳定性，提高道路的使用寿命和安全性。

（二）混凝土施工

智能泵车和 3D 打印建筑机械是混凝土施工领域的创新应用^[6]。智能泵车具备流量自适应控制功能，能够根据施工现场的混凝土需求量和管道阻力情况，自动调整混凝土的输送流量，避免混凝土输送过程中的溢出或中断现象，提高施工效率和材料利用率。同时，操作人员可以通过远程控制技术对智能泵车进行操作，实时监控泵车的工作状态和混凝土输送情况，确保施工的安全性和精准性。3D 打印建筑机械则基于数字化建模技术，将建筑结构的设计模型直接转化为打印路径和施工指令，通过自动化浇筑设备将混凝土或其他建筑材料按照设计要求逐层堆积成型，实现建筑结构的快速建造。这种方法不仅能够大幅缩短施工周期，减少人工操作和模板使用，降低施工成本，还能够实现复杂建筑结构的精确建造，为建筑设计师提供了更大的创作自由度，推动了建筑行业的创新发展。

（三）高空作业

无人塔吊通过精准的吊装控制系统和避障系统，能够在复杂的施工现场环境中自主完成物料的吊装和运输任务。它利用传感器和机器视觉技术实时监测吊装物料的位置、重量以及周围障碍物的情况，自动规划吊装路径，避免与建筑物或其他施工设备发生碰撞，确保吊装作业的安全性和精准性。智能升降平台则具备安全监测和自动调平功能，在高空作业过程中，能够实时监测平台的载荷分布、倾斜角度等安全参数，一旦发现异常情况，立即自动采取调整措施，如调整平台的支撑腿或平衡装置，确保作业平台始终保持稳定和水平状态，为施工人员提供安全可靠的作业环境，有效降低高空作业的安全风险^[7]。

（四）特殊环境施工

在隧道、矿山等特殊环境以及灾后救援现场，工程机械自动化技术的应用具有不可替代的重要作用。隧道和矿山施工环境复杂危险，存在坍塌、瓦斯爆炸、地下水突涌等安全隐患。自动化隧道 / 矿山机械，如自动化掘进机、自动支护设备等，能够在危险区域实现无人化作业。自动化掘进机通过远程操控或自主导航技术，在隧道或矿井内按照预设的掘进路径进行挖掘作业，同时实时监测周围的地质情况和有害气体浓度等环境信息，一旦发现异常能够自动采取安全措施或撤离危险区域，保障施工安全^[8]。在灾后救援现场，时间就是生命，自动化救援机械如自动化破拆机器人、无人运输车等能够快速响应，进入倒塌建筑物等危险区域进行救援作业。破拆机器人能够在远程控制下对障碍物进行破拆

清理，开辟救援通道；无人运输车则负责将救援物资和设备运送到指定地点，同时将受伤人员安全转移出现场，大大提高了救援效率和成功率，减少了救援人员在危险环境中的暴露时间。

三、发展面临的挑战

（一）技术瓶颈

尽管工程机械自动化技术已经取得了一定的进展，但在复杂环境适应性和多机协同算法优化方面仍面临技术瓶颈。在复杂多变的施工现场环境中，如极端天气条件、特殊地质结构或动态障碍物频繁出现等情况，现有的自动化工程机械的感知和控制系统可能无法准确、及时地做出响应，导致作业效率下降或出现安全问题。此外，多台自动化工程机械之间的协同作业需要高度精确的算法支持，以实现任务分配、路径规划和作业衔接的优化。然而，目前的多机协同算法在应对复杂施工场景和实时动态变化方面还存在不足，容易出现协同失误或效率低下的情况，限制了工程机械自动化在大规模、复杂施工项目中的广泛应用。

（二）成本与普及

工程机械自动化的初期投入成本较高，包括设备购置、技术研发、系统集成以及人员培训等方面。这对于一些中小企业来说是一笔巨大的开支，导致它们在接受和应用工程机械自动化技术时存在较大的经济压力，从而影响了该技术在行业内的普及速度。此外，自动化工程机械的运行和维护也需要专业的技术人员和相应的配套设施支持，进一步增加了企业的运营成本和管理难度。因此，如何降低工程机械自动化的成本，提高其经济性和可及性，是推动该技术在建筑行业全面普及的关键问题之一。

（三）安全与法规

随着工程机械自动化程度的提高，数据安全和法律空白问题日益凸显。在数据安全方面，自动化工程机械在运行过程中会产生大量涉及施工项目敏感信息的数据，如施工图纸、地理位置、施工进度等。这些数据在传输和存储过程中可能面临网络攻击、数据泄露等风险，给施工项目和相关企业带来潜在的经济损失和商业机密泄露问题。在法律方面，目前对于自动化工程机械的操作规范、责任界定和事故处理等方面还存在法律空白。例如，当自动化工程机械发生事故时，难以明确界定是设备制造商、施工单位还是软件供应商的责任，这给事故的处理和责任追究带来了困难，也使得企业和用户在使用自动化工程机械时存在法律风险和担忧，阻碍了该技术的进一步推广和应用。

（四）人才缺口

工程机械自动化的应用和发展需要跨领域复合型人才，他们既需要具备机械工程、电气工程等传统工程机械领域的专业知识，又要掌握人工智能、大数据分析、自动化控制等前沿信息技术，同时还应了解建筑施工工艺和项目管理等相关知识。然而，目前行业内这类跨领域复合型人才严重短缺，高校和职业院校的相关专业设置和人才培养模式还不能完全满足市场需求，导致企业在推进工程机械自动化项目时面临人才匮乏的困境，影响了技术创新和应用的效率和质量，制约了整个行业向智能化施工方向

的快速发展。

四、未来发展趋势

（一）深度智能化

全自主施工机械将成为现实，这些机械能够在复杂多变的施工现场环境中，依靠先进的 AI 技术自主完成从施工规划、任务分配到具体作业的全过程，实现真正的无人化施工^[9]。同时，人机协作模式也将得到进一步优化和广泛应用，在一些需要人类专业知识和经验判断的施工环节，人类监督人员将与自动化机械紧密协作，人类负责总体决策和复杂问题处理，机器负责具体的执行和操作，充分发挥人和机器的各自优势，提高施工效率和质量，降低施工风险。

（二）绿色化与可持续

在环保要求日益严格的背景下，工程机械自动化的绿色化与可持续发展趋势将更加明显。新能源机械如电动化、氢能工程机械将逐渐取代传统的燃油机械，减少施工过程中的碳排放和环境污染^[10]。这些新能源机械不仅具有零排放、低噪音等环保优势，而且随着电池技术和氢燃料电池技术的不断进步，其续航能力和性能也将得到显著提升，能够满足各种施工场景的需求。此外，在施工过程中，通过优化施工方案和机械作业模式，实现能耗的优化管理，提高能源利用效率；同时，注重施工材料的循环利用和废弃物的处理，降低资源消耗和环境负荷，推动建筑行业向绿色化、可持续方向发展。

（三）平台化与生态化

施工管理云平台将整合施工项目中的各种数据资源，包括机械设备数据、施工进度数据、人员数据、环境数据等，实现数据的共享和全局调度。通过云平台，施工单位、设计单位、监理单位、设备供应商等产业链上的各个环节能够实时获取和共享施工信息，协同工作，优化施工流程和资源配置，提高整个项目的管理效率和效益。同时，产业链协同将更加紧密，从设计阶段开始，就充分考虑施工的自动化和智能化要求，实现设计 - 施工 - 运维的一体化，打破传统建筑行业各环节之间的信息孤岛，形成一个有机的产业生态系统，推动建筑行业的整体转型升级和创新发展。

五、结论

工程机械自动化作为智能施工的核心驱动力，在提升施工效率、保障施工安全、降低施工成本和实现绿色环保等方面具有重要意义，对建筑行业的生态重塑和高质量发展起着关键的推动作用。然而，在发展过程中，仍面临着技术瓶颈、成本与普及问题、安全与法规空白以及人才缺口等多方面的挑战。未来，通过突破这些瓶颈和障碍，工程机械自动化将朝着深度智能化、绿色化与可持续、平台化与生态化等方向发展，为建筑行业带来更加高效、智能、绿色和安全的施工解决方案，助力全球建筑行业在数字化时代实现可持续的繁荣与发展。同时，相关企业和从业者

应积极关注这一领域的技术动态和发展趋势，加强技术研发、人才培育和合作交流，共同推动工程机械自动化在智能施工中的广泛应用和深入发展，为构建更加美好的城市和基础设施贡献力量。

参考文献

- [1] 李卫社, 王新伟. 机电自动化在工程机械制造中的应用 [J]. 造纸装备及材料, 2025, 54 (02): 52-54.
- [2] 张晟浩. 智能化技术在工程机械设备安全管理中的应用 [J]. 大众标准化, 2024, (18): 139-141.
- [3] 张倩, 路易霖, 肖利伟. 工程机械领域人工智能前沿热点可视化分析 [J]. 工程机械, 2024, 55 (06): 1-8+255.
- [4] 朱俊杰, 黄浩, 谢仁乾. 工程机械行业智能化发展现状与趋势 [C]// 中国电力设备管理协会. 全国绿色数智电力设备技术创新成果展示会论文集 (四). 温州美瑞克液压科技有限公司; 温州海思创信息科技有限公司, 2024: 258-260.
- [5] 李海微. 工程机械智能装配线规划方案探讨 [J]. 建筑机械, 2024, (04): 51-57.
- [6] 孔庆波. 工程机械电气设备自动化技术分析 [J]. 现代制造技术与装备, 2024, 60 (03): 183-185.
- [7] 侯金华, 段冬冬, 王琦, 等. 工程机械自动化中的智能控制系统研究 [J]. 时代汽车, 2024, (05): 16-18.
- [8] 祝恩治. 机电自动化在工程机械制造中的应用技术分析 [J]. 居业, 2024, (02): 231-233.
- [9] 张潇月. 工程机械电气设备自动化技术分析 [J]. 大众标准化, 2023, (22): 60-62.
- [10] 周迪. 机械电子工程与人工智能的关系分析 [J]. 数字通信世界, 2023, (09): 78-80.