

# 智能控制技术在工程机械中的应用研究

车玉禄 郭壮壮

山东太古飞机工程有限公司 山东 济南 250107

**摘要：**智能控制技术通过多维度技术融合推动工程机械升级，在作业精度调节、故障预警、自动化操作及工况自适应调整等场景中实现高效应用。其关键支撑要素包括硬件系统适配优化、控制逻辑升级、工况数据采集与处理技术及安全保障措施。该技术推动工程机械从经验驱动向数据驱动转变，提升作业效率、安全性与能效比，为行业高质量发展提供技术支持。

**关键词：**智能控制技术；工程机械；工况数据采集

引言：工程机械行业正经历智能化转型，智能控制技术作为核心驱动力，通过实时数据感知、动态算法优化及多设备协同，实现作业参数自适应调节、故障精准预警及无人化操作。该技术突破传统机械固定参数限制，提升设备在复杂工况下的稳定性与效率，推动作业模式向智能化、高效化方向演进，成为行业技术升级的关键路径。

## 1 智能控制技术在工程机械中应用的重要性

智能控制技术在工程机械领域的应用，是推动行业技术升级与作业效能提升的核心驱动力；其重要性体现在多维度技术融合带来的系统性变革中。（1）从作业效率维度看：智能控制系统通过实时数据采集与动态算法优化，可实现设备操作参数的自适应调节。例如，挖掘机在复杂地质条件下，通过传感器监测土壤硬度、挖掘阻力等参数，系统自动调整液压系统压力与铲斗挖掘角度，使单次挖掘效率提升，同时降低能耗。这种动态适配能力突破了传统机械固定参数运行的局限，使设备始终处于最优工作状态。（2）在安全性能方面：智能控制技术构建了多层次防护体系。通过安装多类型传感器，系统可实时监测设备运行状态，如液压油温、电机电流、结构应力等关键指标。当监测数据超出安全阈值时，系统自动触发预警或紧急停机机制，避免因设备故障引发安全事故。此外，基于视觉识别与路径规划的防碰撞系统，可有效避免作业过程中与障碍物或其他设备的碰撞，保障作业人员与设备安全。（3）从设备维护角度：智能控制系统具备预测性维护功能。通过对设备运行数据的持续采集与分析，系统可提前识别潜在故障征兆，如轴承磨损、液压系统泄漏等，并生成维护建议。这种基于数据的维护模式，将传统定期维护转变为针对性维护，既减少了不必要的停机时间，又降低了维护成本，同时延长了设备使用寿命<sup>[1]</sup>。智能控制技术的深度应

用，不仅重塑了工程机械的技术架构，更推动了作业模式从经验驱动向数据驱动的转变，为行业高质量发展提供了坚实的技术支撑。

## 2 智能控制技术在工程机械中的具体应用场景

### 2.1 在工程机械作业精度调节中的应用

智能控制技术依托多传感器融合与自适应算法，为工程机械作业精度调节带来革新。以挖掘机作业为例，施工环境复杂，土壤硬度不均、地形起伏大；智能控制系统集成压力、位移、角度等多类型传感器，构建全方位监测网络，能实时精准捕捉铲斗运动轨迹与受力状态的细微变化。结合模糊控制算法，系统依据实时数据自动调整液压阀开度与发动机转速，让挖掘动作高度贴合预设路径，有效减少因土壤阻力波动产生的轨迹偏差，保障挖掘作业精准稳定。压路机作业中，智能压实系统作用显著，它利用加速度传感器与振动频率分析技术，动态评估路面压实度。检测到压实不足区域，系统迅速增强振动能量、延长停留时间，保证压实效果；识别到过度压实风险，则自动降低振幅，避免损伤路面，确保压实质量均匀稳定，提升道路使用寿命。起重机作业时，智能防摇系统借助惯性测量单元与运动预测模型，实时计算吊物摆动角度与速度。基于这些数据，系统提前调整变幅机构与回转电机输出，将吊物定位误差控制在极小范围，为高层建筑吊装作业提供可靠保障，大幅提升作业安全性与效率。

### 2.2 在工程机械故障预警中的应用

智能控制技术在工程机械故障预警中发挥着关键作用，通过多维数据融合与智能算法分析实现精准预警。该技术依托传感器网络实时采集设备运行状态数据，如振动频率、温度变化、液压油清洁度等关键参数，构建动态监测体系。（1）在数据采集层面：高精度传感器可捕捉设备细微异常信号。例如，通过加速度传感器监测

发动机振动变化,识别轴承磨损或齿轮啮合异常;利用温度传感器追踪液压系统油温波动,预警油路堵塞或冷却系统故障风险。这些实时数据通过边缘计算节点进行初步筛选,剔除噪声干扰,保留有效特征信号。(2)在分析处理环节:智能算法模型对数据进行深度挖掘。基于机器学习的模式识别技术可对比历史数据建立正常运行基线,当实时数据偏离基线超过阈值时,系统自动触发预警机制。同时,通过关联分析不同传感器数据间的内在联系,如振动与温度的同步变化可综合判断故障类型,提升预警准确性<sup>[2]</sup>。该技术应用实现了从被动维修向主动预防的转变,通过早期故障识别降低非计划停机风险,减少因突发故障导致的作业中断与维修成本,保障工程机械持续稳定运行,提升整体作业效率与安全性。

### 2.3 在工程机械自动化操作中的应用

智能控制技术推动工程机械实现高度自动化操作,通过环境感知、路径规划与动态决策实现无人化作业。该技术集成多模态传感器,如激光雷达、视觉传感器及惯性导航单元,实时构建作业环境三维地图,精准识别障碍物、地形起伏及作业目标位置。在路径规划层面,智能算法基于实时环境数据生成最优作业轨迹。例如,挖掘机在土方作业中,系统根据土壤硬度分布自动规划挖掘路径,避免重复挖掘或过度挖掘;起重机通过动态调整吊臂角度与起升速度,确保负载平稳移动,减少摆动风险。这些路径规划算法结合机器学习模型,可适应复杂作业场景,如狭窄空间内的精准作业或斜坡上的稳定操作。动态决策系统则根据作业需求与环境变化实时调整操作参数,当检测到作业面突然出现障碍物时,系统自动暂停作业并调整路径;在负载变化时,系统自动优化液压系统压力与发动机转速,保持作业效率与能耗平衡。这种自适应能力使设备在无人干预下完成复杂作业任务,提升作业精度与安全性,同时降低人工操作风险,推动工程机械向智能化、无人化方向迈进。

### 2.4 在工程机械工况自适应调整中的应用

智能控制技术通过动态感知与实时决策,推动工程机械实现工况自适应调节。以挖掘机为例,其作业时应对不同土质、坡度及负载变化。智能系统集成土壤硬度传感器与倾角传感器,实时采集环境数据并构建三维地形模型。结合自适应控制算法,系统可自动调整铲斗挖掘角度、液压泵输出压力及发动机转速,使挖掘动作与地质条件精准匹配,避免因阻力突变导致的机械过载或效率下降。装载机作业中,智能称重系统通过动臂油缸压力传感器与运动轨迹分析,动态识别物料类型(如砂石、黏土)及装载量;当检测到物料密度变化时,系

统自动优化抓取力度与举升速度,防止超载或物料洒落。同时,通过坡度传感器监测地面倾斜角度,系统可调整履带驱动扭矩分配,确保车辆在斜坡作业时的稳定性与安全性。起重机作业时,智能防摇系统结合惯性测量单元与运动预测模型,实时计算吊物摆动趋势;在风速变化或负载重心偏移时,系统自动调整变幅机构与回转电机输出,抑制吊物晃动并优化吊装路径<sup>[3]</sup>。通过工况自适应调整,起重机可在复杂环境中实现精准定位与高效作业,显著提升施工安全性与作业效率。

## 3 工程机械智能控制核心技术优化与安全保障体系构建

### 3.1 工程机械硬件系统的适配优化

工程机械硬件系统适配优化是智能控制技术落地的关键支撑,需从传感器、执行器、控制器及通信模块协同改进。传感器作为数据采集核心,需提升精度与抗干扰性,高分辨率激光雷达构建作业环境三维模型,六轴惯性传感器精准捕捉设备动态参数,防尘防水设计确保复杂工况稳定工作。执行器需强化动态响应与控制精度,液压系统通过电液比例阀优化实现流量、压力精准调节;电机驱动系统采用矢量控制技术提升转速与扭矩稳定性,确保操作指令快速准确执行。控制器作为决策中枢,集成高性能计算单元与边缘计算能力,支持实时数据处理及复杂算法运行,同时优化散热与防护设计,保障高温、高尘等恶劣环境下的稳定运行。通信模块构建低延迟、高带宽数据传输网络,采用工业以太网、5G等技术实现设备间高速数据交互,支持多设备协同与远程监控。硬件系统兼顾模块化设计与可扩展性,便于后续功能升级;通过轻量化材料与结构优化降低能耗,提升整体能效比。通过硬件系统全面适配优化,为智能控制技术提供坚实物理载体,推动工程机械向智能化、高效化方向演进。

### 3.2 智能控制逻辑的优化升级

智能控制逻辑的优化升级是提升工程机械性能的核心路径。其核心在于通过动态调整控制策略,使设备在不同工况下均能保持高效稳定运行。例如,在挖掘机作业中,传统固定参数的控制逻辑难以适应土壤硬度变化。通过引入自适应调整机制,系统可根据实时采集的土壤阻力、液压压力等参数,动态优化铲斗挖掘角度与液压泵输出压力,使挖掘动作与地质条件精准匹配,避免因阻力突变导致的机械过载或效率下降。控制逻辑的优化还体现在对复杂工况的预判与响应能力上。以起重机为例,当吊装重物时,风速变化或负载重心偏移可能引发吊物摆动。通过优化控制逻辑,系统可结合惯性测

量数据与运动预测模型,提前调整变幅机构与回转电机输出,抑制吊物晃动并优化吊装路径。这种动态调整不仅提升了作业精度,还显著增强了设备在复杂环境中的安全性与稳定性。此外,控制逻辑的升级需兼顾系统的鲁棒性与可扩展性。通过模块化设计,控制逻辑可灵活适配不同型号的工程机械,同时支持后续功能的迭代更新<sup>[4]</sup>。这种设计理念确保了智能控制技术在工程机械领域的长期适用性与技术延续性,为未来更复杂的作业需求提供了坚实的技术支撑。

### 3.3 工况数据采集与处理技术

工况数据采集与处理技术作为智能控制的核心支撑,需构建精准感知与高效分析的完整链路。数据采集环节通过多类型传感器协同实现多维信息捕获,例如振动传感器监测设备振动频率以识别机械故障,压力传感器追踪液压系统负荷变化以预防过载,视觉传感器捕捉作业面形态变化以指导操作路径。这些传感器需具备高灵敏度与强抗干扰能力,在粉尘弥漫、震动剧烈的作业环境中稳定工作,确保数据采集的连续性与准确性。数据传输采用工业以太网、5G等低延迟高可靠通信技术,构建设备端与云端的高速数据通道,避免传输延迟或数据丢失影响控制决策的实时性。数据处理则融合边缘计算与云端分析优势,在设备端完成数据清洗、特征提取等初步处理,如通过滤波算法消除噪声干扰,通过时域频域转换提取关键特征;云端则运用机器学习模型深入挖掘数据关联,识别设备运行规律与潜在故障模式。该技术强调数据质量与处理效率的动态平衡,通过动态数据流管理实现采集-处理-决策的闭环优化,使控制系统能够根据实时工况动态调整控制策略,在提升作业精度与效率的同时降低能耗与设备损耗,为工程机械智能化提供坚实的数据基石。

### 3.4 技术应用中的安全保障措施

智能控制技术在工程机械中的应用需构建多层次安全保障体系,确保设备运行稳定可靠。(1)硬件层面:采用高精度传感器与冗余执行器设计,实时监测液压压力、电机温度、结构应力等关键参数,一旦检测到超

限值立即触发保护机制,避免机械过载或部件损坏。例如,挖掘机液压系统配备压力传感器,当压力异常波动时自动调整泵输出,防止管路爆裂。(2)软件层面:嵌入故障诊断与容错算法,对控制逻辑进行实时校验。若检测到逻辑冲突或数据异常,系统自动切换至备用控制通道,维持基本功能并提示维护;同时,通过加密通信协议与访问权限管理,防止外部干扰或非法接入,保障控制系统网络安全。(3)操作安全方面:设计智能人机交互界面,结合视觉与触觉反馈,清晰传递设备状态与操作指引;例如,起重机操作台集成力反馈手柄,当吊物接近障碍物时自动增加操作阻力,提醒操作员调整动作,避免碰撞风险<sup>[5]</sup>。通过硬件防护、软件容错、网络加密及智能交互的协同作用,智能控制技术可在复杂工况下保障工程机械安全运行,为高效作业提供坚实支撑。

结束语:未来需聚焦硬件适配性优化,提升传感器与执行器的兼容性和响应速度;深化控制逻辑智能化,融入自适应学习算法以应对复杂工况;强化数据处理能力,通过边缘计算实现实时分析与决策;完善安全保障体系,构建硬件防护、软件容错、网络加密的多维防护网。这些举措将推动工程机械向更高级别的智能化、无人化演进,持续赋能行业高质量发展。

### 参考文献

- [1] 龚涛,卢宁,郑宏远.智能控制技术在工程机械中的应用研究[J].中国工程机械学报,2025,23(2):249-253.
- [2] 吴成松.智能控制技术在工程机械中的应用研究[J].中国设备工程,2022(7):34-36.
- [3] 陈浩森.电气工程自动化系统中的智能控制技术应用研究[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2025(8):134-137.
- [4] 焦东旭,董慧.智能制造技术在工程机械企业发展中的应用分析[J].造纸装备及材料,2025,54(5):76-78.
- [5] 赵国龙.智能化技术在电气工程自动化控制中的应用探究[J].中文科技期刊数据库(引文版)工程技术,2025(1):078-081.