

当代机械新能源与节能技术应用研究

高梓航

河北大唐国际唐山北郊热电有限责任公司 河北 唐山 063021

摘要：本文围绕当代机械新能源与节能技术应用展开研究，首先构建工程机械新能源技术体系，涵盖纯电动、混合动力、氢燃料电池三条技术路径；接着聚焦纯电动工程机械，剖析装载机、推土机、锂电池叉车的关键设备技术突破；最后从轻量化设计、低摩擦、热管理、智能控制及能量回收与循环利用五方面，阐述新能源工程机械节能技术应用。为工程机械新能源化转型与节能效率提升提供系统支撑，助力行业绿色可持续发展。

关键词：工程机械；新能源技术；纯电动工程机械；节能技术；能量回收

引言：当前工程机械行业面临能源消耗大、碳排放高的发展挑战，传统燃油设备已难以适配绿色低碳发展需求。随着新能源技术不断突破，纯电动、混合动力、氢燃料电池等技术逐渐应用于工程机械领域，为行业节能降耗提供新路径。纯电动装载机、推土机、叉车等设备的技术突破，以及轻量化、智能控制等节能技术的落地，可显著降低设备能耗与环境影响。深入研究当代机械新能源与节能技术应用，对推动工程机械行业转型升级、实现“双碳”目标具有重要现实意义。

1 工程机械新能源技术体系

1.1 纯电动技术路径

动力电池技术中，磷酸铁锂电池凭借高安全性与长循环寿命，适配对稳定性要求高的装载机、叉车等机型，即便在频繁充放电场景下也能维持较长使用周期；三元锂电池具备高能量密度与快速充电特性，能为推土机等大功率需求设备提供充足续航，缩短补能时间；固态电池作为未来发展方向，通过固态电解质替代液态电解质，有望进一步提升能量密度与安全性，解决现有电池在极端工况下的性能短板^[1]。驱动系统方面，永磁同步电机效能高且运行噪音低，能精准匹配工程机械不同作业工况的动力需求，在铲装、举升等作业中保持稳定功率输出；轮毂电机采用分布式驱动设计，可简化整机传动结构，减少动力传递损耗，尤其适合叉车等对灵活性要求高的机型，提升作业时的转向与移动效率。能量管理系统通过制动能量回收技术，在设备制动或下坡过程中将动能转化为电能存储于电池，为后续作业补充能量；智能功率分配算法能根据实时作业负载，动态调节电机功率输出，避免动力过剩造成的能耗浪费，实现能源高效利用。

1.2 混合动力技术路径

串联式混合动力采用发动机发电与电机驱动的组合

模式，发动机仅作为发电装置不直接参与驱动，电机负责为设备提供动力，这种模式适用于低速重载场景，如装载机在矿区的低速铲运作业，能减少发动机怠速运行时的能耗与排放，适配港口堆高机等固定区域作业设备，作业时可通过调节发电功率匹配实时负载。并联式混合动力中，发动机与电机可共同驱动设备，在复杂工况下能根据负载需求灵活切换动力来源，轻载时由电机单独驱动，重载时发动机与电机协同输出，满足推土机在不同作业强度下的动力需求，平衡能耗与作业效率。插电式混合动力支持外接充电与双模式运行，设备可通过外接电源补充电量，日常短途作业依赖电机驱动实现零排放，长途或高强度作业时切换至发动机与电机混合模式，兼顾续航能力与节能效果，适配作业范围灵活的工程机械，充电不便场景下可依赖发动机持续供能。

1.3 氢燃料电池技术

氢能储存与加注技术需解决高压储存与快速加注难题，通过高压储氢罐实现氢能安全存储，配套专用加氢设备缩短加注时间，适配工程机械连续作业的补能需求。70兆帕高压储氢系统已在重型矿用卡车中应用，可实现大容量储氢与高效补能，部分机型储氢量超5000升，单次加注续航能满足长时间重载作业。氢能运输环节同样需要优化，专用运氢车辆与站内储氢系统协同运作，能保障氢能供应稳定性。燃料电池堆效率优化需提升电化学反应效率，通过优化电极材料与流场设计减少能量损耗，确保为设备提供持续稳定的电能输出，堆体散热设计也需强化，避免高温影响运行稳定性。高压大功率电堆集成技术已实现突破，多堆组合模式可满足装载机、矿用卡车等大功率设备的动力需求。低温启动与耐久性提升技术针对寒冷地区作业场景，加热系统可保障燃料电池在低温环境下正常启动，材料性能优化能延长电堆使用寿命，助力氢燃料电池技术在严寒地区工

程机械中落地应用。

2 纯电动工程机械关键设备技术突破

2.1 纯电动装载机

动力系统优化采用双电机驱动方案,行走与液压系统分别由独立电机控制,行走电机专注提供行驶动力,液压电机精准匹配铲装、举升等作业需求,避免传统单电机驱动时的动力损耗,提升能量利用效率;定变量液压系统根据作业负载自动调节液压油流量,轻载时减少流量输出,重载时保障流量充足,显著降低液压系统能耗^[2]。续航与补能技术方面,快速充电技术可在1.5小时内完成电池充满,满足设备午间休息时段的补能需求,减少停机等待时间;换电模式通过标准化电池组设计,仅需3分钟即可完成电池更换,适合高强度连续作业场景,确保设备长时间稳定运行。智能化控制功能提升设备运行稳定性,工况自适应能量分配系统能根据实时作业状态,动态调整动力输出与能耗分配,铲装作业时优先保障液压动力,行驶时优化行走电机能耗;远程监控与故障诊断系统可实时采集设备运行数据,发现异常时及时预警,同时支持远程排查故障,减少现场维修耗时。

2.2 纯电动推土机

结构轻量化设计通过采用高强度钢与铝合金复合结构,在保证机身强度的前提下减轻整体重量,降低动力系统负荷;电池组集成化布局将电池融入机身结构,减少额外占用空间,同时优化整机重心分布,提升行驶与作业稳定性。大容量电池组搭配独立热管理系统,可适应高温或严寒作业环境,避免温度波动影响电池性能与寿命。动力输出控制采用四轮独立驱动技术,各车轮可根据地形情况独立调节动力,复杂地形中能有效避免车轮打滑,提升设备通过性;智能扭矩分配系统实时监测车轮负载,将扭矩精准分配至受力车轮,减少打滑造成的能耗浪费,同时保护驱动系统部件。结合多传感器融合感知技术,还能预判地形变化提前调整动力输出,进一步优化通过性。作业效率提升体现在电动刀板液压系统响应速度更快,刀板动作更敏捷,缩短作业循环时间;自动铲装模式可根据物料特性预设铲装参数,设备自动完成铲斗切入、举升等动作,降低操作人员劳动强度,同时保证铲装作业质量。

2.3 锂电池叉车

电池性能突破显著提升设备适用性,能量密度提升后电池续航能力增强,单次充电可完成更多作业任务;低温环境适应性优化使电池在-20℃低温下仍能正常工作,满足寒冷地区冬季作业需求,无需额外加热设备。电池模块化设计便于快速检修更换,配合智能电池管理

系统,可精准监控电芯状态,延长整体使用寿命。载重与稳定性优化采用分布式驱动轮设计,驱动轮布局更合理,转向时车轮转向角度更大,缩小转向半径,提升狭窄空间作业灵活性;主动平衡系统可实时监测车身倾斜状态,通过调节重心或车轮支撑,控制车身倾斜角,避免载重时发生侧翻。针对不同载重等级,系统还能自动调整平衡参数,适配多样化作业需求。智能化功能扩展丰富设备应用场景,AGV导航结合激光与视觉融合定位技术,实现无人自动行驶与作业,适合标准化仓储作业;负载感知自动调节系统根据货物重量调整动力输出与能耗,轻载时降低电机功率,减少不必要能耗,提升能源利用效率。

3 新能源工程机械节能技术应用

3.1 轻量化设计技术

高强度材料应用是轻量化设计的核心支撑,碳纤维复合材料凭借高强度与低密度特性,在工程机械车身框架、作业臂等部件中替代传统钢材,既能保证部件承载能力满足作业需求,又能大幅减轻整体重量。这种材料还具备良好的抗腐蚀与抗疲劳性能,减少部件维修更换频率,间接降低设备全生命周期能耗^[3]。拓扑优化结构通过计算机仿真技术,对设备部件结构进行重新设计,去除受力较小的冗余部分,保留核心承载结构。例如在装载机铲斗、推土机车架设计中,采用拓扑优化后可减少不必要的材料使用,在减轻重量的同时避免结构强度下降。轻量化的部件能降低动力系统驱动负荷,使电机或发动机无需输出过多功率即可带动设备运行,从源头减少能源消耗,尤其在设备启动与频繁启停作业场景中,节能效果更为明显。

3.2 低摩擦技术

纳米涂层轴承在轴承表面形成超薄纳米级涂层,该涂层具有优异的润滑性能,能显著降低轴承转动时的摩擦系数。相比传统未涂层轴承,纳米涂层轴承可减少摩擦阻力带来的能量损耗,同时降低轴承磨损速度,延长轴承使用寿命,减少因部件故障导致的停机能耗。在新能源工程机械的驱动系统、液压系统等高频转动部位应用,能持续提升动力传递效率,减少无效能耗。磁悬浮减速器利用磁场力使转动部件与固定部件之间保持无接触状态,彻底消除机械摩擦带来的损耗。这种减速器无需传统机械传动中的齿轮啮合或皮带传动,避免了机械接触产生的磨损与能量损失,同时减少润滑剂使用需求,降低维护成本。在纯电动或混合动力工程机械的动力传动环节应用,可提升动力传递效率,使电机输出的能量更高效地转化为设备作业动力,减少中间环节的能

量损耗。

3.3 热管理技术

液冷电池组通过循环冷却液带走电池运行时产生的热量,配合智能温控系统,能将电池温度控制在精准范围内。稳定的温度环境可避免电池因高温出现性能衰减,或因低温导致容量下降,确保电池始终处于高效充放电状态,提升能源利用效率。精准的温度控制能减少电池内部能耗,延长电池循环寿命,降低电池更换频率带来的成本与资源消耗。相变材料散热技术利用相变材料在温度变化时吸收或释放热量的特性,为电机、电控系统等发热部件降温。当部件温度升高时,相变材料吸收热量并发生相变,维持部件温度稳定;当温度降低时,材料释放热量,避免部件因温度骤降影响性能。这种散热方式无需额外动力驱动,属于被动散热,能减少散热系统自身能耗,同时有效保护发热部件,延长其使用寿命,保障设备长期稳定运行,间接减少因部件故障导致的能源浪费。

3.4 智能控制技术

数字孪生模型通过构建与实体设备完全一致的虚拟模型,实时采集设备运行数据并映射到虚拟系统中。技术人员可通过虚拟模型监测设备运行状态,模拟不同作业参数下的能耗情况,进而优化实际运行参数。例如在装载机铲装作业中,通过数字孪生模型调整铲斗切入角度、举升速度等参数,找到能耗最低且作业效率最高的运行方案,指导实体设备调整操作,实现精准节能。针对不同作业场景,模型还能自动适配参数,如矿山重载作业与市政轻载作业的参数切换,进一步提升节能适配性。预测性维护基于设备运行数据与故障数据库,通过算法分析判断部件健康状态,提前预警可能出现的故障^[4]。在故障发生前及时更换老化或即将损坏的部件,避免因部件突发故障导致设备停机维修,减少停机期间的能源浪费与生产损失。预测性维护可根据部件实际磨损情况制定维修计划,避免过度维修造成的资源消耗,确保设备始终处于高效运行状态,间接提升能源利用效率。维护数据还能反向反馈至数字孪生模型,优化模型参数,形成“监测-优化-维护”的闭环,持续提升整体节

能效果。

3.5 能量回收与循环利用技术

作业工况能量回收技术针对工程机械特定作业动作回收冗余能量,装载机举升后下放铲斗时,通过液压马达驱动发电机发电,将重力势能转化为电能存储于电池;推土机下坡或制动时,利用驱动电机反向运转发电,回收动能补充电量,减少动力系统额外能耗。这类技术可将作业中原本浪费的能量转化为可用能源,尤其在多循环作业场景中,能显著提升能源利用效率。辅助系统能量循环利用聚焦非作业环节的能源优化,驾驶室空调、照明等辅助设备采用低功耗部件,通过光伏板集成技术,在设备顶棚铺设柔性光伏板,利用自然光发电为辅助设备供电,减少主电池能量消耗。部分大型工程机械还可通过余热回收装置,收集电机、电控系统运行时产生的余热,转化为暖风为驾驶室供暖或为电池保温,避免额外消耗电能加热,形成能源循环利用闭环,进一步降低设备整体能耗。

结束语

当代机械新能源与节能技术的应用,为工程机械行业绿色转型提供有力支撑。通过构建多元新能源技术体系、突破纯电动设备关键技术、推广多维度节能技术,可有效降低设备能耗、提升能源利用效率。未来需进一步优化新能源技术的环境适应性与成本控制,完善节能技术协同应用机制,推动新能源与节能技术在更多工程机械品类中落地,助力行业实现能源结构优化与可持续发展目标,为机械领域绿色转型提供实践参考。

参考文献

- [1]秦梦涛,张春幸.机械新能源与节能技术的运用分析[J].造纸装备及材料,2022,51(03):139-141.
- [2]蓝良生.新能源电机机械技术与轴承应用技术[J].铸造,2022,71(5):671-671.
- [3]李华,张涛.新能源技术在机械工程中的应用与发展趋势[J].机械设计与制造,2022,54(10):235-238.
- [4]王明,刘洋.机械工程中的新能源技术应用研究[J].新能源技术与应用,2023,12(2):45-50.