

工程机械绿色节能改造及降噪技术应用探析

马龙晶

上海崇盛电力工程有限公司, 上海, 202150;

摘要: 在“双碳”战略与绿色施工政策持续推进背景下, 工程机械绿色化、低噪化升级已成为行业高质量发展核心方向。针对传统设备能耗偏高、排放超标、噪声污染突出等现实问题, 本文从动力系统优化、清洁能源替代、液压与传动能效提升、余热回收利用、声源控制、传播路径阻隔、结构减振及智能管控等维度, 系统探析绿色节能改造与降噪技术的实施路径与应用要点, 结合工程实践数据阐明技术落地成效, 为工程机械低碳化运行、合规化作业与长效化运维提供理论支撑与实践参考, 助力工程建设领域实现生态效益、经济效益与社会效益协同提升。

关键词: 工程机械; 绿色节能; 能效提升; 噪声控制; 低碳改造; 绿色施工

DOI: 10.69979/3029-2727.26.02.088

引言

工程机械作为垃圾焚烧发电厂建设及运维领域的核心装备, 其能耗水平与噪声排放直接关系电厂施工现场环境质量、作业人员健康保障及周边居民生活秩序。当前国内垃圾焚烧发电厂施工与运维场景中, 大量在役设备存在动力系统老化、液压回路损耗偏高、传动匹配不合理、噪声控制措施缺失等问题, 不仅造成能源浪费与污染物过量排放, 还易引发环境投诉与合规风险。随着国家对施工装备排放限值、厂界噪声标准不断收紧, 叠加垃圾焚烧电厂低碳转型与绿色运维双重要求, 对电厂在用工程机械实施系统性绿色节能改造与专业化降噪处理, 已成为电厂运营企业降本增效、合规运营的必然选择。本文立足垃圾焚烧发电厂工程装备运维实际, 围绕节能改造核心技术、噪声控制关键方案、一体化实施策略及长效管理机制展开论述, 推动电厂传统工程机械向高能效、低排放、低噪声方向升级。

1 动力系统绿色节能改造: 从源头降低能耗与排放

工程机械是垃圾焚烧发电厂建设及运维的主要设备, 工程机械能耗水平和噪声排放同电厂施工现场环境质量、作业人员健康保障、周边居民生活秩序密切相关。目前国内垃圾焚烧发电厂施工和运维场景中, 大量在役设备存在动力系统老化、液压回路损耗大、传动匹配不合理、噪声控制措施缺失等问题, 造成能源浪费和污染物超标排放, 也容易引发环境投诉和合规风险。随着国家对施工装备排放限值、厂界噪声标准的不断收紧, 叠加垃圾焚烧电厂低碳转型和绿色运维的双重要求, 对电厂在用工程机械进行系统性的绿色节能改造和专业化降噪处理, 已经成为电厂运营企业降本增效、合规运营

的必然选择。本文立足垃圾焚烧发电厂工程装备运维实际, 从节能改造核心技术、噪声控制关键方案、一体化实施策略、长效管理机制四个方面展开论述, 促进电厂传统工程机械向高能效、低排放、低噪声方向升级。

动力系统是垃圾焚烧发电厂用工程机械能耗和排放的主要来源, 动力系统改造重点是燃烧效率提高、能源结构优化、余热回收利用、智能管控, 根据电厂作业工况特点, 通过技术升级实现燃油消耗降低、污染物减排和热效率提高的多重目标。

发动机高效燃烧优化属于节能改造的基础工作。高压共轨燃油喷射技术可以精确控制喷油压力、喷油量、喷油时序, 配合多级喷射策略, 使燃油充分雾化、混合, 提高燃烧完善度, 降低不完全燃烧造成的能源损耗和颗粒物生成, 适合电厂垃圾转运、炉体检修等高频作业。涡轮增压中冷技术通过提高进气密度和含氧量来改善高负荷工况下燃烧条件, 使发动机在相同的功率输出下降低燃油消耗, 抑制氮氧化物的生成, 符合垃圾焚烧电厂严格的排放管控要求。废气再循环系统把部分低温废气引入进气侧, 降低气缸最高燃烧温度, 削减氮氧化物排放, 符合国四及以上排放合规要求。部分重载机型采用分层稀薄燃烧和可变气门正时组合方案, 使发动机热效率达到52%左右, 综合油耗降低15%到18%, 在电厂履带式起重机、垃圾装载机大功率设备上应用效果最好。

清洁能源替代改造给垃圾焚烧发电厂工程机械绿色化提供根本性的解决办法。纯电动驱动系统以永磁同步电机为动力核心, 大容量动力电池和集成式电控单元一起工作, 取消传统内燃机结构, 实现运行阶段零排放、低能耗, 适合电厂厂区内短途转运、设备检修等封闭场景。燃油机型单位作业能耗成本比电动工程机械降低

60%以上,维护周期延长,易损件数量减少,全生命周期经济效益好,符合电厂降本运维需求。氢燃料电池动力系统以氢气为能源载体,发电产物只有水,具有零污染、加氢快、续航稳等优势,适合电厂长途垃圾转运和固定场站作业。混合动力系统依靠内燃机和电机共同驱动,在怠速、轻载工况下以电机输出为主,重载工况下双源互补,很好地避免了怠速能耗的浪费,综合节油率可以达到12%到20%,适合电厂挖掘机、装载机等工况变化较大的设备^[1]。

2 液压与传动系统能效提升:减少中间环节能量损耗

液压系统与传动系统是工程机械能量传递的关键载体,其内部损耗占总能耗比例较高,通过结构优化、元件升级与控制策略改进,可显著降低压力损失、机械摩擦与流量浪费,提升能量传递效率。

液压系统节能改造以精准供能、减少损耗为核心目标。负载敏感变量泵可实时感知执行元件负载需求,动态调节输出流量与压力,避免定量泵在非满负荷工况下产生的溢流损失,使液压系统在中低负载率工况下能效提升20%以上。电液比例控制技术替代传统手动调节,实现阀门开度、动作速度的精细化控制,减少液压冲击与压力脉动,降低管路能耗与部件磨损^[2]。集成式液压模块通过简化管路布局、减少接头数量,降低沿程压力损失与泄漏风险,同时提升系统响应速度与运行稳定性。液压油精细化管理同样重要,选用抗磨、低黏度液压油并定期检测污染度,可降低摩擦损耗与泵体负荷,延长液压元件寿命,维持系统高效运行状态。

传动系统改造聚焦效率提升与匹配优化。传统机械传动存在换挡冲击大、高效区间窄等缺陷,采用无级变速传动与液力机械复合传动,可扩大高效工作区间,使传动效率从85%左右提升至95%以上,适配复杂工况下连续变速需求。对齿轮箱、传动轴等部件进行精度优化与表面处理,降低齿轮啮合摩擦与轴承损耗,同时优化润滑系统,确保高速、重载工况下稳定润滑,减少机械效率损失。动力总成动态匹配技术通过仿真优化与台架标定,使发动机、液压泵、传动机构实现最佳协同,避免因匹配不合理导致的功率冗余与能耗上升,在推土机、平地机等设备上应用后,综合能耗可下降8%—12%。

3 整机轻量化与辅助系统节能:拓展节能增效空间

轻量化设计与辅助系统优化从结构与附属环节入手,降低整机运行负荷与无用能耗,与动力、液压、传

动改造形成协同效应,实现综合能效提升。

结构轻量化采用高强度钢、铝合金等轻质高强材料,在保障结构强度与作业安全性的前提下,降低整机自重,减少行驶与作业过程中的能量消耗。优化结构受力路径,通过有限元分析去除冗余材料,采用一体化铸锻、焊接工艺简化构件数量,既提升结构可靠性,又降低材料消耗与运行负荷。数据显示,工程机械整机质量每降低10%,可实现油耗下降6%—8%,同时提升设备操控灵活性及运输便捷性,轻量化改造已成为大型起重机械、高空作业平台等机型节能升级的重要方向。

辅助系统节能改造聚焦冷却、润滑、控制等环节。智能热管理系统根据发动机水温、液压油温、环境温度等参数,自动调节风扇转速与冷却液流量,避免传统定速风扇持续高功率运行带来的能耗浪费,降温能耗可降低30%以上。电控取代机械驱动的水泵、油泵,实现按需启停与流量调节,减少怠速与轻载工况下的附件能耗^[3]。驾驶室空调、照明等系统采用变频控制与LED节能光源,降低低压电路能耗,提升设备整体节能水平。

4 工程机械噪声控制技术:声源、路径与接收端多维治理

工程机械噪声主要来源于发动机燃烧与振动、液压系统压力脉动、机械传动啮合、风扇气流及作业冲击,控制策略遵循“源头削减、路径阻隔、接收端防护”原则,通过系统化技术方案实现噪声达标与作业环境改善。

声源控制是噪声治理的核心环节。低噪声发动机通过优化燃烧室结构、采用预喷射策略、增强机体刚度等措施,降低燃烧噪声与表面辐射噪声;配合高效减震悬置,减少发动机振动向车架传递,从源头抑制噪声生成。液压系统通过优化泵体结构、降低压力脉动、加装蓄能器与缓冲阀,减少液压冲击与管路振动噪声;采用低噪声液压泵与降噪型控制阀,可使液压回路噪声降低5—8dB(A)。传动系统通过提高齿轮加工精度、优化齿形设计、采用静音传动链,降低齿轮啮合与传动冲击噪声;对回转机构、行走机构进行阻尼处理,减少结构共振与摩擦噪声。作业装置优化方面,通过缓冲结构、柔性接触设计降低铲斗、斗杆等部件作业冲击噪声,实现声源端噪声有效削减。

传播路径阻隔通过隔声、吸声、减振措施阻断噪声扩散。发动机舱采用双层阻尼钢板与多孔吸声材料复合隔音罩,有效吸收中高频噪声,阻隔噪声向外辐射;驾驶室采用密封隔声设计,配备双层隔音玻璃与密封胶条,降低舱内噪声水平。在设备关键振动部位安装橡胶减振垫、液压减振器,阻断结构振动传播,减少二次辐射噪

声。排气系统加装多级阻复合式消声器,通过扩张室、共振腔与吸声材料组合,衰减排气气流噪声,可使排气噪声降低10—15dB(A)。施工现场可设置移动式声屏障,阻挡噪声向敏感区域传播,配合绿植隔离带,提升噪声衰减效果。

智能降噪技术实现动态精准控制。基于传感器阵列与算法分析的噪声监测系统,可实时识别噪声源类型与强度,自动调节发动机转速、液压参数与风扇运行状态,抑制异常噪声生成^[4]。主动降噪技术通过发射与噪声相位相反的声波,实现针对性抵消,对低频与脉冲噪声控制效果显著,可使驾驶室耳旁噪声进一步降低3—5dB(A)。部分新型电动工程机械因取消内燃机,运行噪声可控制在69dB(A)以下,满足医院、学校、居民区等敏感区域静音施工要求。

5 绿色节能与降噪一体化实施策略：技术落地与长效保障

绿色节能改造与降噪技术需遵循系统性、适配性、经济性原则,结合设备类型、工况特点、合规要求制定一体化方案,通过科学实施与规范管理,确保改造效果稳定长效。

设备分类施策是改造落地的前提。针对老旧高耗能、高噪声设备,优先实施动力系统优化、液压传动能效提升、噪声源头治理等经济型改造,满足排放与噪声合规要求;对核心作业设备,可采用混合动力、能量回收、智能管控等进阶方案,兼顾能效提升与作业效率;新增设备直接选用纯电动、低噪声高能效机型,从源头实现绿色低碳化。不同工况适配差异化方案:城市密集区施工侧重降噪与零排放,优先电动化与全封闭隔声改造;野外重载施工侧重节能与可靠性,主推高效燃烧、能量回收与轻量化方案。

施工与运维规范保障技术效果。改造过程严格遵循工艺标准,确保动力调校、液压匹配、隔声安装、减振固定等环节质量,避免因安装缺陷导致能效下降或噪声反弹。建立设备全生命周期运维体系,定期开展燃油系统清洗、液压油检测更换、润滑保养、隔声部件检修、噪声与能耗监测,及时处理泄漏、磨损、松动等问题,维持设备稳定运行状态^[5]。加强操作人员专业培训,规范怠速控制、动作协同、负载匹配等操作行为,减少人为因素导致的能耗上升与噪声增大,将节能降噪要求融

入日常作业流程。

政策与管理协同推动行业升级。依托国家低碳转型、绿色施工相关政策,落实节能改造补贴、低噪声设备推广等激励措施,降低企业改造成本。完善施工现场能耗与噪声监测机制,将能效指标、噪声达标率纳入垃圾焚烧发电厂项目建设考核体系,推动施工企业主动实施设备升级。建立技术交流与标准协同平台,促进节能降噪新技术、新材料、新工艺的推广应用,形成政策引导、企业主体、技术支撑的良性发展格局,助力工程机械行业全面绿色转型。

6 结语

工程机械绿色节能改造与降噪技术是实现工程建设领域低碳化、环保化、人性化发展的关键支撑。通过动力系统清洁化升级、液压与传动能效优化、能量回收利用、轻量化设计等节能路径,可显著降低设备能耗与污染物排放;依托声源控制、传播路径阻隔、智能降噪等技术方案,能够有效削减噪声污染,改善作业与周边环境。在“双碳”目标与绿色建造政策驱动下,施工企业应立足设备实际,采用分类施策、一体化实施策略,推动节能降噪技术深度落地,同时强化全生命周期运维与规范化管理,实现生态效益、经济效益与社会效益协同统一。未来,随着清洁能源、智能控制、新材料等技术持续进步,工程机械绿色节能与降噪水平将不断提升,为工程建设行业高质量可持续发展提供坚实保障。

参考文献

- [1] 蔡启超. 工程机械设计中轻量化技术的应用研究[J]. 中国设备工程, 2022, (15): 225-227.
- [2] 李聪波, 刘飞, 曹华军. 机械加工制造系统能效理论与技术[M]. 机械工业出版社: 202204: 431.
- [3] 李新良. 探讨工程机械设计中轻量化技术的应用[J]. 中国设备工程, 2021, (11): 231-232.
- [4] 范青. 工程机械设计中轻量化技术的应用[J]. 南方农机, 2020, 51(20): 103-104.
- [5] 曹欢欢. 绿色节能视阈下的工程机械设计制造要点研究[J]. 门窗, 2019, (11): 22.

作者简介: 姓名: 马龙晶, 1987.06, 性别: 男, 民族: 汉, 籍贯: 江苏省淮安市, 学历: 大专, 职称: 无, 研究方向: 机械。