

“双碳”驱动下纯机电机械在路桥施工中的应用效益分析

易 硕

(四川公路桥梁建设集团有限公司公路三分公司, 四川 成都 610200)

摘 要 为推动路桥施工领域绿色转型、助力“双碳”目标落地, 本文聚焦纯电动工程机械在该领域的应用价值, 通过剖析纯电动工程机械的技术特性与路桥施工场景的适配性, 从核心施工环节、政策驱动、技术迭代、市场需求四个方面分析应用前景, 进而从环境、经济、社会层面评估应用效益, 并提出风险应对策略, 以期为路桥施工领域绿色发展提供理论参考。结果表明, 纯电动工程机械较传统燃油机型能减少 CO_2 排放且改善作业环境, 应用前景广阔。

关键词 纯电动工程机械; 路桥施工; 场景适配; 技术参数对比

中图分类号: U415.5

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.26.025

0 引言

路桥工程属于基础设施建设的主要部分, 施工过程中所表现出的高耗能、高排放特性, 已经成为行业绿色转型的主要障碍。传统的燃油工程机械占路桥施工总能耗的 65% 以上, 尾气排放和高噪声都会对环境造成污染, 还会对施工人员的职业健康产生危害。随着“双碳”目标的推进以及动力电池技术的进步, 纯电动工程机械凭借零排放、低噪声、高效率的优势逐渐进入了路桥施工当中^[1]。目前, 纯电动工程机械在路桥施工上还处在试验阶段, 有技术适用性问题, 初期投入高, 充电设施短缺等状况。本文对纯电动工程机械的技术特点和路桥施工场景的匹配逻辑进行梳理, 分析纯电动工程机械应用前景的驱动因素, 评价环境、经济和社会效益, 提出风险应对措施, 以确定纯电动工程机械的应用价值, 促进工程机械行业由“粗放式燃油作业”向“精细化电动作业”的转变, 为基础设施建设高质量发展提供参考。

1 纯电动工程机械的技术特性与路桥施工适配性

纯电动工程机械的核心竞争力源于其技术体系与路桥施工场景的深度匹配, 需从技术构成、场景适配、参数对比三方面展开分析, 明确其替代传统燃油机型的可行性。

1.1 技术核心构成适配路桥施工重载与续航需求

纯电动工程机械以“三电系统”为核心, 针对性解决路桥施工关键需求。动力电池多采用磷酸铁锂体

系, 能量密度达 $180 \text{ Wh/kg} \sim 220 \text{ Wh/kg}$, 支持 1C 快充, 单台 15 吨级电动压路机配备 200 kWh 电池组时^[2], 可满足 8 小时连续压实作业; 永磁同步电机效率达 92% ~ 96%, 扭矩响应时间 < 0.5 秒, 更适应路基开挖、路面压实的变负载工况; 电控系统集成智能功率分配算法, 可根据施工场景动态调整动力输出, 确保作业精度, 如电动摊铺机行驶速度控制精度优于燃油机型。

1.2 场景适配覆盖路桥施工全环节需求

路桥施工涵盖路基、路面、桥梁、附属设施四大环节, 纯电动工程机械可通过技术调整适配不同场景。在路基工程中, 电动挖掘机、装载机电机峰值扭矩较同级别燃油机高 15% ~ 20%, 可满足单日土方作业量需求; 在路面工程中, 电动摊铺机、压路机凭借电机恒转速控制特性, 提升摊铺平整度与压实度精度; 在桥梁施工中, 电动起重机、泵车电控系统可实现吊臂起降速度精准调节, 避免构件晃动; 在附属设施安装中, 电动叉车车型灵活, 适配路桥沿线狭窄作业空间^[3]。

1.3 技术参数对比凸显纯电动机型核心优势

以路桥施工常用机型为例, 纯电动机型与传统燃油机型核心参数差异显著。在环保性上, 纯电动机型实现零尾气排放, 作业噪声较燃油机降低 15 dB ~ 20 dB, 满足居民区噪声标准; 在经济性上, 纯电动机型作业能耗成本较燃油机降低 70% ~ 80%; 在维护性上, 纯电动机型无发动机、变速箱等易损部件, 维护周期延长, 年维护费用显著节省; 在效率上, 纯电动机型启动速

作者简介: 易硕 (1996-), 男, 本科, 助理工程师, 研究方向: 路桥施工机械设备的。

度快，单日有效作业时长增加，可缩短项目工期。

2 纯电动工程机械在路桥施工中的应用前景分析

纯电动工程机械在路桥施工中的应用前景受场景需求、政策驱动、技术迭代、市场导向共同支撑，呈现“多维度发力、规模化推进”的趋势，各维度通过功能适配、政策保障、技术突破与需求牵引形成协同效应，推动其从技术可行向实践普及跨越。

2.1 核心施工环节应用场景从试点到普及

当前纯电动工程机械已在路桥施工核心环节实现试点应用，未来将逐步扩大覆盖范围并深化应用深度。在路基工程中，电动挖掘机、装载机凭借驱动电机峰值扭矩优势，可适应短途高频的土方开挖与转运作业，其扭矩响应速度快于传统燃油机，能应对硬土层等复杂地质条件下的重载需求，同时无怠速能耗特性可降低等待间隙的能源浪费，提升单日作业能效；在路面工程中，电动摊铺机与压路机联合作业成为技术趋势，电机恒转速控制特性可减少摊铺速度波动，进而提升路面平整度合格率，电动压路机的无级调节振动频率功能，能适配不同材料（沥青、水稳层）的压实需求，减少返工成本；在桥梁施工中，电动起重机的零尾气排放特性适配深基坑、隧道等密闭空间作业，避免燃油尾气积聚对作业人员健康的影响，其精准的电控系统可降低吊臂晃动幅度，提升构件安装安全性；在附属设施安装中，电动叉车已实现规模化应用，其体型灵活、转弯半径小的优势适配路桥沿线狭窄作业空间，能高效完成护栏、路灯等小型构件的转运，且无尾气污染可保护周边绿化环境，进一步拓展应用场景^[4]。

2.2 政策驱动助力应用潜力释放与红利落地

国家与地方政策为纯电动工程机械在路桥施工中的应用提供多层次、全方位的强力支撑，形成政策红利闭环。在国家层面，将路桥施工领域列为工程机械电动化重点应用场景，设定更高的电动化率目标以推动基础设施绿色转型；《纯电动工程机械通用技术条件》从电池安全、充电接口（统一直流快充标准）、环境适应性（低温、高温工况性能）等维度规范技术要求，降低企业应用的技术门槛与兼容风险。在地方层面，多省份针对路桥施工用纯电动工程机械推出差异化购置补贴政策，通常按机型吨位分档，重载机型补贴比例更高，部分地区还将补贴与项目类型挂钩，对市政、高速等重点路桥项目给予额外支持；同时，多地对路桥项目配套充电设施建设提供资金补贴，按充电功率、覆盖范围分级补助，鼓励施工企业与电网企业合作完善补能设施。一线城市进一步强化政策约束，将施工环节碳排放纳入路桥项目审批核心指标，要求不断提

高新建项目纯电动工程机械使用比例，未达标项目不予通过环评审批，通过“正向激励+反向约束”倒逼施工企业加速设备电动化更新。

2.3 技术迭代推动应用前景拓展与瓶颈突破

动力电池、智能网联、充电技术不断更新，不断打破纯电动工程机械在路桥施工上的应用障碍，扩大了它的适用范围和作业能力。动力电池方面固态电池技术研究加快，能量密度比传统磷酸铁锂电池高一倍以上，循环寿命达到 5 000 次以上，快充时间缩短到 15 分钟~30 分钟，可以完全解决重载机型的续航问题；对于寒冷地区路桥施工，电池包集成 PTC 加热系统和高效的保温层，在低温环境下快速提高电池温度，保证放电效率大于 85%，满足东北、西北等地区冬季施工的要求。智能网联，纯电动工程机械与 BIM 系统、无人施工技术深度融合，依靠高精度传感器和边缘计算模块，可以完成施工参数的自动调节，无需人工干预，依靠 5G 网络可以实现设备运行数据的实时传送以及远程监控，管理人员可以在后台了解机械的工作状况，及时调配作业资源，无人化作业模式既可以提高施工速度，又可以缩减人工成本和安全问题。移动充电车已经实现了规模化应用，单次储能容量可以满足多台重载机械补能的需求，支持现场快速部署；光伏+储能充电站利用清洁能源发电和储能相结合的方式，可以实现偏远路桥项目能源自给，减少对电网的依赖，两种充电方案互相补充，解决了各种场景下的补能问题，为纯电动工程机械的广泛使用打下了基础。

2.4 市场需求导向促进应用前景释放与闭环形成

施工企业、业主方、社会公众的多层次需求形成合力，推动纯电动工程机械市场扩容，构建“需求—应用—反馈”的良性闭环。在施工企业层面，纯电动机型全生命周期成本优势显著，虽购置成本高于燃油机，但运营阶段能耗成本降低 70%~80%，维护成本节省 75% 以上，叠加政策补贴，成本回收周期可缩短至 3 年~4 年，长期经济效益突出，尤其对大型路桥企业而言，规模化应用可显著提升利润空间与市场竞争力。在业主方层面，绿色路桥项目已成为行业主流，业主将纯电动工程机械应用比例纳入项目评价体系，在招投标中赋予其较高权重，部分 PPP 项目甚至将“零碳排放施工”作为核心要求，纯电动工程机械成为企业中标关键，推动施工企业主动更新设备以抢占市场份额。在社会层面，民众对施工环境的要求持续提升，纯电动机械的低噪声特性可减少周边居民区、学校、医院的干扰，零尾气排放能改善区域空气质量，两类优势共同降低项目扰民投诉量，减少因投诉导致的施

工中断,提升项目推进效率,同时助力施工企业树立绿色品牌形象,增强社会认可度,进一步激发市场对纯电动工程机械的需求。

3 纯电动工程机械在路桥施工中的应用效益评估

从环境、经济、社会三维度评估纯电动工程机械的应用效益,同时分析潜在风险并提出应对策略,确保效益最大化^[5]。

3.1 环境效益体现为减排降污与资源节约

纯电动工程机械的环境效益主要是从减排、降噪、节能三个方面体现出来。在减排上,燃油机型比纯电动机械少 CO₂、NO_x、颗粒物排放,如果全国路桥施工领域推广 50% 的纯电动机械,每年可以减排 CO₂ 超过 500 万吨;在降噪上,作业区周边的噪声明显降低,符合建筑施工场界环境噪声排放标准,夜间施工噪声达标率提高;在节能上,纯电动机械的电能可以来自清洁能源,实现施工环节的零碳排放,减少对化石能源的依赖。

3.2 经济效益凸显全生命周期成本优势

纯电动工程机械的经济效益要从购置、运营、维护、政策红利四个方面综合来计算。从购置成本上来说,纯电动机型要高于燃油机,不过可以凭借政策补贴来削减压力;从运行成本来说,纯电动机型每小时能耗成本比起燃油机低得多,每年作业能省下不少费用;从维护成本来说,纯电动机型缺少发动机方面的维护需求,年维护费明显降低;从政策红利来说,除了购置补贴之外,部分地方还会提供低息贷款、碳排放交易收益等综合测算,得出全生命周期成本比燃油机低 15%~20%。

3.3 社会效益助力作业环境改善与产业升级

纯电动工程机械的社会效益表现在职业健康、产业升级、双碳助力这三个方面。职业健康上无尾气排放、低噪音降低施工人员的呼吸道疾病、听力损伤的风险,提高人员满意度;产业升级上促进上下游产业链发展、创造就业机会,推动路桥施工领域绿色装备、智能施工新模式的发展,为国家实现“双碳”目标贡献力量。

3.4 潜在效益风险识别与针对性应对策略

纯电动工程机械在路桥施工中的应用还存在着三个主要的风险,要根据行业实际状况和技术更新特点提出相应的对策,从而达到效益稳步提高的目的。一是初期投资风险,纯电动机型购置成本比燃油机型高 30%~50%,中小企业资金周转压力大,单纯依靠自有资金无法满足设备更新需求,可以采用融资租赁加分期付款的方式,租赁公司支付设备购置费用,企业按季度支付租金,到期可以续租或者低价买断,对接地方政策性银行申请低息贷款,降低融资成本,减轻资金压力。二是充电设施风险,偏远路桥项目电网覆盖

不足,固定充电站建设成本高,单站服务半径小,容易造成补能不及时的情况,需要施工企业、电网公司、新能源企业三方合作共建移动充电车和固定充电站的互补网络,固定充电站覆盖核心施工区域,移动充电车按照作业需求动态调度(24 小时内响应),充电车上还装有储能模块,单次补能可以满足 3 台~4 台重载机械 2 小时作业的需求,解决应急补能问题。三是低温适应性风险,严寒地区(-20℃以下)电池活性降低,续航能力下降 20%~30%,影响单日作业时间,可采取技术改善和作业改变两种办法来应对,技术上给电池包装上 PTC 加热系统和聚氨酯保温层,在低温环境里自动开启加热功能,保持电池温度在 5℃~10℃之间,保证放电效率,作业上调整施工时序,把高能耗作业安排在日间高温时段,低温时段做低能耗的构件转运和设备保养,保证整个作业进度不受影响。

4 结束语

纯电动工程机械在路桥施工中的应用,是“双碳”目标下行业绿色转型的必然选择,技术特性与路桥施工场景的适配性已经得到试点验证,应用前景受到政策、技术、市场等各方面的驱动,环境、经济、社会效益明显。虽然目前还存在着初期投入大、充电设施短缺等问题,但是通过融资租赁、共建充电网络、技术改进等手段可以加以解决,随着固态电池、智能网联技术的发展,将由“试点应用”迈向“规模化普及”。未来,纯电动工程机械在路桥施工中要依靠技术、政策、市场三者之间的相互配合来实现。从技术上加强电池能量密度、低温适应性研究;从政策上完善补贴、标准体系,降低应用门槛;从市场角度培育绿色施工理念,形成需求闭环。相信经过各方面努力,纯电动工程机械会将路桥施工领域带入“零碳、高效、安全”的新阶段,给基础设施建设高质量发展提供新动能。

参考文献:

- [1] 张玉香. 电动工程机械的现状 & 展望 [J]. 内燃机与配件, 2023(10):107-109.
- [2] 王福军, 张松, 王昌儒, 等. 某纯电动工程机械变速器振动噪声分析 [J]. 汽车实用技术, 2023, 48(08):91-96.
- [3] 夏子航. 大力发展洁净绿色工程机械 [N]. 上海证券报, 2023-03-10(004).
- [4] 王大宇, 张梅青. 推进工程机械电动化促进行业绿色高质量发展 [J]. 建筑机械, 2022(06):19-21.
- [5] 王武双, 李杰, 陈效, 等. 配电带电作业和停电检修配合的研究与应用 [J]. 电工技术, 2021(03):69-72, 76.