

铁路通信电源设备全生命周期成本管理研究

耿传周

通号通信信息集团有限公司北方分公司 北京 100070

摘要: 铁路通信电源设备是铁路通信系统稳定运行的关键,其成本管控对铁路运营意义重大。本文围绕全生命周期成本管理展开研究,深入剖析规划、采购、运维、退役各阶段成本构成与核心影响因素。通过构建融入数据驱动预测与智能优化算法的成本管理模型,搭建可视化决策支持体系,并结合铁路行业特性分析其对成本管理的影响。提出强化全流程协同、推进智能化应用等实施策略,为铁路运营单位科学管控成本、提升设备可靠性、推动铁路通信系统高质量发展提供有效参考。

关键词: 铁路通信电源设备;全生命周期成本管理;成本模型;智能化运维

引言:随着我国铁路建设飞速发展,通信系统作为保障行车安全与调度指挥的核心,对电源设备稳定性要求日益提高。铁路通信电源设备包含多种关键组件,其运行状态关乎通信链路畅通。当前,传统成本管理方式难以满足需求,全生命周期成本管理以设备全周期为视角统筹成本,成为有效路径。本文结合铁路行业特性,深入研究全生命周期成本管理体系并构建模型,旨在为提升铁路运营经济效益与通信保障能力提供有益借鉴。

1 铁路通信电源设备全生命周期成本构成分析

1.1 规划阶段成本

规划阶段作为全生命周期成本管控的源头,其决策质量直接影响后续各阶段成本支出,该阶段成本主要涵盖需求调研、方案设计、选址评估及技术选型等相关费用。需求调研成本包括对铁路通信网络负荷、运行环境、扩容需求等数据的采集与分析费用,涉及调研团队薪酬、检测设备租赁及数据处理软件使用等支出。方案设计成本需结合铁路线路布局、站点分布特点,开展电源系统架构设计、容量配置及冗余设计等工作,涵盖设计人员劳务、方案评审及仿真测试等费用。选址评估成本重点针对电源机房选址进行地质勘察、环境监测及合规性评估,避免因选址不当导致后续运维成本增加。技术选型成本则与设备技术路线、品牌定位相关,需对比不同技术方案的经济性与适用性,避免盲目追求高端技术导致成本浪费。另外,规划阶段还需预留一定的风险准备金,应对需求变更、技术迭代等不确定因素带来的额外成本。

1.2 采购阶段成本

采购阶段成本是全生命周期成本中最直观的部分,主要由设备购置费用、运输仓储费用、安装调试费用及验收检测费用构成。设备购置费用占据采购阶段成本的

核心,涵盖UPS电源、蓄电池组、配电设备等核心组件的采购支出,其金额与设备品牌、技术参数、产能规模直接相关,需在满足铁路通信可靠性要求的前提下,实现性价比最大化。运输仓储费用涉及设备从生产厂家到铁路站点的运输费用、途中保险费用及临时仓储管理费用,铁路站点多分布在偏远区域,部分站点交通不便,会增加运输与仓储的难度及成本^[1]。安装调试费用包括施工团队劳务、安装辅料、设备调试及系统联调等费用,需严格遵循铁路通信施工规范,确保设备安装质量。验收检测费用则用于采购设备的性能检测、质量验收及合规性核查,包括检测设备使用、第三方检测机构服务等支出,保障采购设备符合铁路行业相关标准。

1.3 运维阶段成本

运维阶段是设备全生命周期中持续时间最长的阶段,其成本占比最高,主要包括日常维护费用、故障维修费用、能耗费用、人工成本及备件储备费用。日常维护费用涵盖设备定期巡检、清洁、参数校准及预防性维护等支出,如蓄电池容量检测、UPS电源滤网更换等,通过常态化维护降低故障发生率。故障维修费用包括故障部件更换、维修材料、维修团队上门服务等费用,铁路通信电源设备故障直接影响通信系统运行,需快速响应维修,可能产生紧急维修溢价成本。能耗费用是运维阶段的主要隐性成本,包括设备运行耗电、机房空调制冷耗电等,长期累积金额可观。人工成本涉及运维人员薪酬、技能培训及绩效考核等支出,随着铁路通信技术升级,还需投入费用提升运维人员的智能化操作能力。备件储备费用用于储备关键易损部件,保障故障时快速更换,涉及备件采购、仓储及定期更新等费用。

1.4 退役阶段成本

退役阶段成本虽占比相对较低,但关乎环保合规与

资源回收效率，主要包括设备拆除费用、运输处置费用、环保处理费用及资源回收收益抵扣成本。设备拆除费用涉及拆除团队劳务、拆除工具使用及机房场地清理等支出，需严格按照铁路施工安全规范操作，避免对周边通信设备造成影响。运输处置费用涵盖退役设备从机房到处置场地的运输费用及临时堆放管理费用。环保处理费用是退役阶段的关键支出，铁路通信电源设备中的蓄电池含有重金属等有害物质，需委托专业机构进行无害化处理，符合环保法规要求，否则将面临环保处罚。资源回收收益抵扣成本则来自退役设备中可回收部件的变卖或再利用收益，如金属外壳、可修复组件等，合理的资源回收可降低退役阶段净成本，提升全生命周期成本管理效益。

2 全生命周期成本管理模型构建

2.1 模型框架设计

铁路通信电源设备全生命周期成本管理模型框架以“全流程覆盖、多维度协同、智能化支撑”为核心，涵盖成本核算、预测、优化及管控四大核心模块，实现从规划到退役各阶段成本的全链条管理。成本核算模块基于作业成本法，细化各阶段成本构成要素，明确成本核算对象与核算标准，精准归集规划调研、设备采购、日常运维及退役处置等各环节成本数据。成本预测模块结合历史成本数据、设备运行参数、行业发展趋势等多维度数据，构建预测模型，对各阶段成本支出进行动态预测，提前识别成本波动风险。成本优化模块针对各阶段成本痛点，制定差异化优化策略，如规划阶段优化技术选型方案、运维阶段优化能耗管理模式等。成本管控模块建立动态监控机制，实时跟踪成本支出情况，对比实际成本与预算成本差异，及时调整管理策略，确保成本控制在合理范围。模型框架还预留接口，可与铁路通信运维管理系统、财务管控系统对接，实现数据共享与协同管理^[2]。

2.2 关键技术方法

2.2.1 数据驱动的成本预测

数据驱动的成本预测以大数据技术为支撑，构建涵盖多源数据的数据集，包括设备全生命周期成本数据、运行状态数据、环境监测数据、行业政策数据等。通过数据清洗、标准化处理，剔除无效数据，提升数据质量。采用机器学习算法，如随机森林、神经网络等，构建成本预测模型，通过历史数据训练优化模型参数，实现对规划阶段设备购置成本、运维阶段能耗成本及故障维修成本的精准预测。例如，基于蓄电池运行温度、充放电次数等数据，预测蓄电池使用寿命及更换成本；结

合机房环境温度、设备负载率等数据，预测运维阶段能耗成本。同时，建立预测模型动态更新机制，实时融入新数据，提升预测精度，为成本决策提供科学依据。

2.2.2 优化算法

优化算法是成本优化模块的核心支撑，结合铁路通信电源设备全生命周期成本管理的特点，选取遗传算法、粒子群优化算法等智能优化算法，针对不同阶段成本优化需求构建优化模型。在规划阶段，基于成本、可靠性、能耗等多目标优化目标，采用遗传算法优化设备选型方案与容量配置方案，实现成本与性能的平衡。在运维阶段，采用粒子群优化算法优化巡检计划与备件储备方案，在保障设备稳定运行的前提下，降低运维成本。例如，通过优化巡检周期，减少不必要的巡检支出；通过优化备件库存结构，降低备件储备成本与资金占用成本。优化算法还可结合实时成本数据与运行数据，动态调整优化策略，确保优化方案的适用性与有效性。

2.3 可视化与决策支持

可视化与决策支持系统以成本管理模型为核心，采用数据可视化技术，将全生命周期成本数据以图表、仪表盘等形式直观呈现，实现成本数据的动态展示与多维度分析。系统涵盖成本总览、各阶段成本明细、成本趋势分析、成本差异对比等功能模块，运维管理人员可实时查看设备全生命周期成本支出情况，快速定位成本管控薄弱环节。基于可视化数据，系统结合内置的决策规则与算法模型，为成本管理决策提供智能化建议。例如，当运维阶段能耗成本超出预算时，系统自动分析能耗超标原因，推荐优化空调运行参数、更换高效节能设备等解决方案；在设备更新改造决策中，系统对比不同方案的全生命周期成本，推荐最优方案。此外，系统支持数据导出与报表生成功能，为财务核算与管理决策提供数据支撑，提升成本管理的智能化与精细化水平。

3 铁路行业特性对成本管理的影响

3.1 环境适应性成本

铁路线路覆盖范围广，设备运行环境复杂多样，高温、高寒、高湿、风沙、雷雨等恶劣环境场景较多，环境适应性要求高，直接增加全生命周期成本支出。在规划与采购阶段，需额外投入成本选取耐候性强的设备组件，如在高寒地区选用低温启动性能好的蓄电池，在风沙地区选用防尘密封式UPS电源，设备采购成本较常规环境高10%-30%。在运维阶段，恶劣环境会加速设备老化，增加故障维修频率与维护成本，如高温环境下需加强设备散热维护，增加空调运行能耗；雷雨多发地区需定期检测防雷装置，增加防雷维护成本^[3]。部分偏远铁路

站点环境恶劣,设备运输与维修难度大,需投入额外的运输费用与人工成本,进一步提升环境适应性相关成本占比。

3.2 运维模式特殊性

铁路通信系统需保障24小时不间断运行,电源设备作为核心保障设施,其运维模式具有高可靠性、快速响应的特殊性,直接影响全生命周期运维成本。为保障设备稳定运行,需采用“预防性维护+故障应急抢修”的双重运维模式,预防性维护需增加定期巡检频率与检测项目,投入更多的人工与检测成本;故障应急抢修需建立快速响应机制,配备专业抢修团队与应急备件,增加备件储备成本与团队运维成本。铁路站点分布分散,部分站点地理位置偏远,运维人员往返成本高,且需设立区域运维站点,增加场地租赁与设备配置成本。此外,铁路通信电源设备与调度系统、信号系统等高度关联,运维工作需与其他系统协同配合,增加沟通协调成本,且运维流程需符合铁路行业严格的安全规范,进一步提升运维成本。

3.3 政策与标准约束

铁路行业作为国家重点基础设施行业,受到严格的政策与标准约束,相关要求直接影响成本管理的方向与成本支出结构。在设备采购阶段,需严格遵循国家及铁路行业关于通信设备质量、安全、环保等方面的标准,优先选用符合国家标准国产化设备,部分高端设备需满足特定技术规范,可能增加采购成本。在环保政策方面,随着国家环保要求不断提高,退役电源设备的无害化处理标准更加严格,需委托具备资质的专业机构处理,增加环保处理成本,同时需投入成本改造现有设备以符合节能减排要求。在安全政策方面,铁路行业对通信电源设备的安全运行要求极高,需增加安全防护设施投入,如安装过载保护、短路保护装置等,增加设备改造与维护成本。政策与标准的动态更新还要求设备与管理模式及时调整,进一步增加成本管控的复杂性与额外支出。

4 铁路通信电源设备全生命周期成本管理的实施策略

4.1 强化全流程协同管理机制

建立跨部门协同管理团队,整合规划、采购、运维、财务等部门资源,打破信息壁垒,实现全生命周期各阶段成本数据的实时共享与动态交互。通过制定统一

的成本管理流程与标准,明确各部门职责与协作界面,确保成本管控措施在全流程中有效衔接。例如,规划阶段需充分考虑运维阶段成本,采购阶段需与运维部门协同制定设备选型标准,避免因部门间沟通不畅导致成本失控^[4]。

4.2 推进智能化技术应用深化

结合5G、物联网、大数据等技术,构建智能化的成本监控与优化平台。通过部署传感器实时采集设备运行状态、能耗数据等,结合数据驱动预测模型,实现成本支出的动态预警与精准预测。利用智能优化算法,自动生成成本优化方案,如动态调整巡检周期、优化备件库存等,降低人工干预成本,提升管理效率。同时,通过可视化决策支持系统,为管理层提供直观的成本分析报告与决策建议,支撑科学决策。

4.3 完善成本管理制度与标准体系

结合铁路行业特性,制定全生命周期成本管理的专项制度与标准,明确成本核算方法、预测模型构建规则、优化策略制定流程等,提升成本管理的规范化与标准化水平。建立成本管控考核机制,将成本指标分解至各部门与岗位,通过绩效考核激励全员参与成本管理。定期开展成本管控培训,提升运维人员与管理人员的成本意识与专业技能,为成本管理实施提供人才保障。

结束语

本研究全面探讨了铁路通信电源设备全生命周期成本管理,清晰呈现各阶段成本要点与行业特性影响,构建科学合理的成本管理模型并给出实施策略。未来,应持续强化智能化技术在成本管理中的应用,利用新兴技术实现成本数据实时精准采集与动态优化,进一步提升成本管理的精细化与智能化水平,为铁路行业的高质量、可持续发展筑牢坚实基础,提供更有力的支撑与保障。

参考文献

- [1]李伟.铁路通信设备中铁路通信电源的应用分析[J].通信电源技术,2023,40(17):108-110.
- [2]刘海滨.铁路通信电源维护及故障问题解决方式探索[J].通信电源技术,2025,42(14):100-102.
- [3]王国丽.铁路通信电源系统设计常见问题及对策分析[J].运输经理世界,2022(21):153-155.
- [4]向敬波.铁路通信设备中铁路通信电源的应用分析[J].电子元器件与信息技术,2021,5(2):107-108.