

动力集中动车组动力车全寿命周期成本分析

韩家宝 左凡 蒋镗 王敏 石香花

中车株洲电力机车有限公司, 湖南株洲, 412001;

摘要: 阐述了动力集中动车组动力车的全寿命周期成本构成, 并根据车辆实际运营及维护模式, 对其购置成本、运营成本、维护成本进行分析, 从而实现对动力车全寿命周期成本做出定量的评估和计算。数据结果显示, 动力车维修成本在全寿命周期成本种占比最大, 为 54.35%, 采购成本仅占 10.47%。

关键词: 动力集中动车组; 动力车; 全寿命周期成本分析

DOI: 10.64216/3080-1508.26.03.040

引言

动力集中动车组动力车的全寿命周期成本(以下称 LCC)是动车组重要的评估指标, 旨在以满足车辆的性能指标、安全性、可维修性、可用性和可靠性等要求为前提, 对车辆全寿命周期成本进行评估或优化。在前期设计决策阶段提供参考依据, 在寿命周期的后续阶段优化工程决策、促进资源高效分配, 最终实现产品全生命周期成本最小化, 资源高效利用, 提升产品竞争力。

本文通过对动力集中动车组动力车 LCC 的各项成本构成进行详细的统计和分析, 以便于车辆运营公司对动力车的经济性分析和运营维护策略的制定提供参考, 在车辆寿命周期各阶段做出更科学的 LCC 管理和决策。

1 动力集中动车组动力车 LCC 的主要构成

动力集中动车组动力车的 LCC 构成通常包括以下四个部分:

采购成本: 一般指车辆没有投入运营之前的阶段, 如论证车辆采购可行性, 对车辆进行设计和开发, 生产, 安装等费用, 如研发调研费、专用工装费、设备购置及调试费、一次性试验费等;

2) 运营能耗成本: 车辆投入运用后产生的费用, 动力车主要为车辆运行所消耗的电能或其他能源费用;

3) 维护成本: 通常为可用预防性维护成本和纠正性维修成本。前者指按计划对产品进行维护保养的费用; 后者指当产品出现故障之后, 核查与排除故障以及在零件更换或修理等环节发生的费用, 包含材料费、劳务费、差旅费等;

4) 报废处理成本: 动力车在运营满 30 年寿命后的处置或回收所产生的费用。鉴于目前暂无出台相应回收

政策, 此项费用暂不纳入 LCC 计算中。

根据车辆实际运用情况, 动力集中动车组动力车 LCC 可分为三个部分, 即采购成本、运营能耗成本和维护成本。因此可以顺利推导出动力集中动车组动力车 LCC 的数学模型

$$LCC=C_k+C_o+C_m$$

式中 C_k 为车辆购置成本, C_o 为车辆运营能耗成本, C_m 为车辆维修养护成本。

2 购置成本分析

采购成本即为合同采购价, 主要含以下项点:

- 1) 车辆购置费(包括硬件、应用软件及测试软件等费用);
- 2) 车辆的试验费用;
- 3) 车辆的技术资料费;
- 4) 维修人员初始培训费;
- 5) 车辆开通运行前期必须的工具及备件费;
- 6) 车辆的物流运输费用。

此部分费用在项目招标阶段统一组成车辆的采购费用, 本文中动力集中动车组动力车新车采购费用为 A_0 , 即 $C_k=A_0$ 。

3 运营能耗成本

车辆在运行期间主要消耗就是电力, 包括: 牵引需要的能耗, 辅助设备需要的能耗。

在列车启动过程中, 通常列车要通过两段加速(或多段加速)达到运行最大设定速度值(或适当数值)之后, 列车进入滑行阶段, 依靠惯性运行。当运行至离下一站有一定距离时, 列车才开始制动。

当列车进入制动工作阶段时, 若在线运行车辆较多

(运营高峰),采用再生回馈制动,将能量回馈到接触网供线路上的其它运行车辆或其它能耗单元使用。

车辆的能耗受到多种因素的影响,包括运行速度、站间距、启停次数、牵引传动系统效率、质量、运行阻力、辅助系统能耗等。例如,车辆速度增加时,空气阻力在运行阻力中的占比越大,同时会产生巨大的车辆能耗;动车组站台间距设置较远,可以使车辆匀速运行的时间更长,避免因启停过程过于频繁增加大量能耗。辅助系统能耗一般包括照明系统、充电机系统和空调系统等,相同距离下车辆运行速度越快,能耗越低。

对某车辆段动力集中动车组动力车能耗进行调研情况如下表所示:

表 2-1 动力车能耗情况

路线	总能耗 Q KWh	运行总里程 S km	单位能耗 q KWh/km
A	Q _A	S _A	q _A
B	Q _B	S _B	q _B

取 A、B 两段线路进行分析,则动力车平均每公里能耗为:

$$q = (q_A \times S_A + q_B \times S_B) / (S_A + S_B)$$

根据调研数据分析,动力车年平均运行里程 L₀ 电费均价按 0.6 元/kWh 计算

$$C_0 = q \times 30 \times L_0 \times 0.6 \approx 3.36A_0$$

4 车辆维修养护成本

车辆维护养护成本即用户在车辆寿命期内使用时支付的成本,通常是 LCC 的主要构成部分,而且在多数情况下超过采购成本,无法直观体现而且难以预测。此类成本费用(包括与安全性、可靠性、可维护性、维护支持性相关的成本)的非直观性构成了早期设计阶段决策过程的不确定性和风险因素。

车辆维修养护成本主要包括:车辆日常维护费、预防维修费、纠正维修费。

预防性维修是主动性维修工作,通过维修活动的实施,可以有效防止车辆性能退化,降低车辆故障发生的概率,以确保车辆能够满足正常运营的状态。预防性维修发生的费用包括每个检修层级下所有的维护人工成本和材料费用。纠正性维修是指车辆系统发生故障或部件意外损坏后所进行的维修,属于事后维修范畴。

根据各车辆段动力集中动车组维护检修模式进行调研分析,车辆日常维护和预防性维护分析主要包括车辆的日常整备和 D1-D6 修程。按照修程修制安排,其中 D1-D2 修为日常检修, D3 修为中级检修, D4-D6 为高级检修,目前对于动力车的中级和高级检修,一般委托给检修基地或者主机厂。根据以往经验,对于 D1-D2 修,各车辆段均能进行自主检修,主要费用为人工成本,占检修费用的 90%左右。D3-D4 修费用各车辆段比较均衡。D5-D6 修费用主要发生在物料及委外成本上。

动力车修程如下:

表 2-2 动力车的检修计划

修程	走行公里数(km)	时间周期	检修范围(供参考)
D1 修	不超过 4000+400	动力车出入库	对应实施机车一级整备。
D2 修	/	每月	对应实施机车二级整备。
	/	每季度	例行检查和保养,利用车辆自检系统进行故障诊断,按状态修理。
	/	每半年	关键部件重点检查维修。有针对性地恢复车辆运行可靠性。
	30±3 万	1 年	关键部件重点检查维修。有针对性地恢复车辆运行可靠性。
D3 修	60±6 万	距上次 D3 修以上修程 2.5 年	主要部件检查,恢复车辆可靠质量状态。
D4 修	110±10 万	距上次 D3 修 2.5 年	主要部件分解检修,性能参数测试,恢复车辆可靠质量状态。
D5 修	220±22 万	距新造或 D6 修 10 年	全面分解检修,动力车和主要部件的技术提升。
D6 修	440±22 万	距上次 D5 修 10 年	全面分解检修,全面性能参数测试,恢复基本性能,动力车和主要部件的技术提升。
UM 修	计划外维修		

调研某车辆段检修班组,详细情况见下表。

表 2-3 某车辆段检修人员配置情况

班组	人员配置情况	作业时间	作业内容
班组 1	正工班长两个, 三个副班长: 31 人白班, 28 人晚班	8.00-18.00 18.00-作业结束	趟检、D1 修
班组 2	专修 1 班 16 人 专修 2 班 32 人	无固定作业时间	D2 修
班组 3	共计 24 人, 设有正工班长 1 名, 副班长 1 名	8.00-18.00 18.00-作业结束	临碎修

车辆的日常整备、D1、D2 和临碎修任务均由检修班组完成

CPP 人工成本=年平均工资×人数

单台动力车日常维护费用=(人工成本+材料成本)/车辆总数 $\approx 0.54A_0$

在 30 年的寿命周期内, 动力车按照修程规定进行 D3 修 9 次、D4 修 6 次、D5 修 3 次、D6 修 2 次。

动力车维修成本 $=9 \times T_{D3} + 6 \times T_{D4} + 3 \times T_{D5} + 2 \times T_{D6} \approx 4.16A_0$

车辆维修养护成本=日常维护费用+维修成本 $=4.7A_0$

纠正性维护发生的费用包括所用部件和维修工时, 此部分费用一般为车辆维修养护成本的 20%。

纠正性维护成本 $=0.2 \times$ 车辆维修养护成本 $=0.49A_0$

车辆维修养护成本 C_m =日常维护费用+维修成本+纠正性维护成本 $=5.19A_0$

综上所述, 动力车 $LCC=C_k+C_o+C_m = A_0+3.36A_0+5.19A_0=9.55A_0$

5 结论

当前大部分运营单位在车辆招标时, 仅把初期车辆采购价格作为主要参考依据, 对车辆全寿命周期不同阶段费用的考量相对不足。本文从动力车的市场运用情况出发, 对车辆 LCC 进行分析, 并对动力车 LCC 进行了定量计算, 为车辆招标提供了另外一种考量依据。

通过对动力车全寿命周期成本分析得出:动力车车辆购置成本仅占车辆全寿命周期成本的 10.47%, 运营能耗成本占车辆全寿命周期成本的 35.18%, 维修成本

占车辆全寿命周期成本的 54.35%。数据表明, 车辆在运营及维护过程中产生的费用在 LCC 中的比重较大, 应将车辆全寿命周期成本作为车辆选购的重要参考指标, 从而提高成本的可控性。

参考文献

- [1] IEC 60300-3-3:2004 可信性管理 3-3 部分: 应用指南-全寿命周期成本计算.
- [2] EN 50126 铁路应用-可靠性、可用性、维修性和安全性 (RAMS) 规范与验证.
- [3] 张大勇. 时速 160 km 动力集中动车组机辆融合管理模式探索与研究[J]. 中国铁路, 2020, (03): 44-48.
- [4] 王华胜, 朱庆龙, 李雷, 等. 动力集中动车组修程修制优化探讨[J]. 铁道机车车辆, 2021, 41 (05): 92-97.
- [5] 廖继军, 文静, 肖惠杰, 等. 城市轨道交通车辆全寿命周期成本研究[J]. 物流科技, 2024, 47 (18): 111-115.
- [6] 王志伟, 杨军永, 王大海, 等. 轨道车辆全寿命周期成本分析流程和应用研究[J]. 计算机仿真, 2020, 37 (04): 118-122+259.
- [7] 孙悦, 张光准. 城市轨道交通车辆全寿命周期成本招标分析[J]. 城市轨道交通研究, 2020, 23 (07): 153-157.
- [8] 曲凤国. 时速 160km 动力集中动车组高级修过程管理系统方案设计[J]. 科技与创新, 2023, (10): 157-159.
- [9] 王建华, 李兵, 刘晓霞, 等. 时速 160km 动力集中动车组一体化作业指挥系统应用探讨[J]. 铁道车辆, 2020, 58 (02): 40-42+6.