

基于运行大数据的新能源客车状态综合评价方法

吴洪亭, 刘 雷, 牛天才, 杨海涛, 张忠东, 王照亮

(中通客车股份有限公司, 山东 聊城 252000)

摘要:针对新能源客车故障率高、状态评估困难的问题,本文提出一种基于车辆运行大数据的综合评价方法。该方法通过整合驾驶行为、电池健康状态等多源数据,构建了包含续驶里程、安全性、车辆性能及问题预警在内的多维度评价体系。通过融合决策树模型与多维度加权算法,实现了对车辆状态的精准评估。实车验证表明,该方法相较于传统方法,评价准确率提升了20%以上,为新能源客车的智能化预测性运维提供了有效的数据支持与决策依据。

关键词:新能源客车; 状态评价; 决策树模型; 大数据

中图分类号:U469.7

文献标志码:A

DOI:10.15917/j.cnki.1006-3331.2026.01.007

Comprehensive Evaluation Method of New Energy Bus Status Based on Operational Big Data

WU Hongting, LIU Lei, NIU Tiancai, YANG Haitao, ZHANG Zhongdong, WANG Zhaoliang

(Zhongtong Bus Holding Co., Ltd., Liaocheng 252000, China)

Abstract:To address the issues of high failure rates and challenging status assessment of new energy buses, this paper proposes a comprehensive evaluation method for the status of new energy buses based on operational big data. This method integrates multiple sources of data, including driving behavior and battery health status, by constructing four units: a driving range evaluation unit, a safety evaluation unit, a vehicle performance evaluation unit, and a vehicle problem warning unit. It uses a decision tree model and a multi-dimensional weighting algorithm to achieve an accurate evaluation of vehicle status. The vehicle test results show that the method can improve the evaluation accuracy by more than 20%, providing data support for the intelligent operation and maintenance of new energy buses.

Key words:new energy bus; state evaluation; decision tree model; big data

新能源客车由于运行工况严苛、动力电池充放电频次高、启停频繁等因素,普遍存在故障率高、故障排查困难、动力电池性能衰退快等问题^[1]。随着新能源客车应用规模的不断扩大,运营单位及社会公众对车辆里程衰减与安全性问题越发关注。然而,目前行业内缺乏对新能源客车状态的客观综合评价手段,难以适应规模化发展的科学管理需求^[2]。因此,如何基于实际运行大数据^[3],建立一套科学客观的车辆状态综合评价方法,已成为一个亟待解决的技术问题^[4]。

要包括续驶里程评价单元、安全性评价单元、车辆性能评价单元和车辆问题预警单元。各评价单元的作用和评价指标见表1。

表1 各单元作用及指标

评价单元	作用	评价指标
续驶里程评价单元	客车续驶里程预测	续驶里程
安全性评价单元	客车安全评价	车辆安全性评分
车辆性能评价单元	客车实时性能监测	实时性能分析系数
车辆问题预警单元	预警或提示驾驶员	预警有效性

1 技术方案

本文提出一种车辆状态综合评价方法,该方法主

1) 续驶里程评价单元。该单元充分考虑新能源客车驾驶员习惯、车辆行驶工况、环境气温等因素^[5],

收稿日期:2025-04-21。

第一作者:吴洪亭(1989—),男,硕士,高级工程师,主要从事客车产品研发及测试、客车市场研究、大数据分析及应用工作。E-mail:wuht@zhongtong.com。

并将动力电池健康状态纳入分析,从而有效提升新能源客车续驶里程预测精度^[6]。该评价单元包括数据获取模块、数据处理模块、特征划分模块、车辆状态评价模块。

2) 安全性评价单元。该单元从新能源客车故障率、电池安全评分、整车安全评分三个维度对新能源客车的安全性进行评价。

3) 车辆性能评价单元。该单元通过动态监测和实时分析,判断新能源客车性能指数是否合格。若不合格,则触发预警单元。

4) 车辆问题预警单元。当新能源客车出现电量较低、零部件故障、胎压异常等问题时,系统会触发低电量警示和故障告警,使驾驶员能够快速了解电池状态及故障原因,便于驾驶员提前规划行程或及时采取应对措施,规避抛锚风险,确保驾乘人员安全^[7]。

2 实施方式

本文提出的评价方法通过续驶里程预测(权重 30%)、安全性评价(权重 40%)、车辆实时性能评价(权重 20%)及车辆问题预警(权重 10%)四个单元,对新能源客车状态进行综合评价。其中,安全性权重最高,体现了“隐患零容忍”的底线原则;续驶里程预测关乎运营基础保障,需重点关注;车辆实时性能直接关联驾乘体验与问题排查;车辆问题预警则主要起辅助风险预测作用。基于四个评价单元的权重,通过式(1)计算车辆状态综合评价值 P_f 。

$$P_f = f(x) \times 30\% + T_r \times 40\% + G_i \times 20\% + W_i \times 10\% \quad (1)$$

式中: $f(x)$ 为预测续驶里程评分; T_r 为车辆安全性评分; G_i 为车辆实时性能评分; W_i 为车辆问题预警评分。

2.1 续驶里程评价单元

续驶里程评价单元是预测车辆实际续驶里程的核心功能模块,其通过数据获取、数据处理、特征划分、车辆状态评价四个子模块的协调工作,对多源数据进行处理、分析与建模。

1) 数据获取模块。该模块负责获取车辆运行、环境、静态及动力电池健康状态等多源数据,并对其进行处理。首先对获取的数据(主要字段包含 VIN 码、时间、速度、行驶里程、电池电流、电压及荷电状态)进行合规性检测,依据时间、VIN 码和车辆状态剔除空值、错误值及异常值;进而通过数据清洗、重构、切片和整合等方法^[8-9]形成规范化的数据集。

2) 数据处理模块。该模块首先对车辆核心数据进行梳理与归纳,进而从充电行为、驾驶行为、电池健康状态、天气、道路情况、能耗效率等多个维度进行分析,将数据场景划分为用车行为场景、环境类场景、车辆静态场景,随后基于各场景进行数据字段的提取与重组。

3) 特征划分模块。该模块基于已划分的场景将数据划分为训练集、验证集和测试集,并提取核心特征(包括用车行为类特征、环境类特征及车辆静态特征)。根据各场景下的特征值计算对应的车辆续驶里程,并将计算结果设定为该场景类别的目标值。用车行为类特征包括充电行为、驾驶行为及电池健康状态;环境类特征包括环境温度、天气及道路状况;车辆静态特征包括车辆类型、标称里程及能耗。

4) 车辆状态评价模块。该模块按照对应的场景构建多个决策树模型,将每个场景的特征值与目标值输入决策树模型中,根据权值最大原则选择最优模型,输出最终的车辆续驶里程预测结果。

上述模型的训练、优化与评价,遵循标准学习流程,并依托划分好的数据集进行。训练集数据用于决策树模型的参数训练;验证集数据用于检验模型的平均预测误差,评价决策树模型的预测准确性,并选择最优模型进行迭代优化;测试集数据用于测试模型的预测精度。决策树模型误差值的计算公式见式(2)。

$$E_r = \sum_{i=0}^m [y_i - g(x_i)]^2 \quad (2)$$

式中: E_r 为误差值; y_i 为目标值; $g(x_i)$ 为输出值; m 为求和范围上限。

先按照对应的场景,构建多个决策树模型,然后根据基础决策树的输出结果进行模型选择。基础决策树公式见式(3)。

$$g(x_i) = \sum_{i=1}^k E_i I(x_i \in D_i) \quad (3)$$

式中: E_i 为第 i 个小单元的样本输出值; I 为指示函数; D_i 为样本子集; k 为决策树节点总数。

通过验证集计算决策树模型的平均误差,先采用公式 $\max(E_1, E_2, E_3, \dots)$ 进行模型选择,随后利用该模型,在输入特征值后进行迭代优化,最终输出车辆续驶里程的预测结果。根据预测结果,按式(4)计算评分。

$$f(x) = [g(x)/D_r] \times 100\% \quad (4)$$

式中: $g(x)$ 为续驶里程预测值; D_r 为标称续驶里程。

2.2 安全性评价单元

从新能源客车故障率、动力电池安全评分、整车安全评分三个维度评价新能源客车的安全性, 将三个维度评分的平均值作为最终安全性评分。计算公式见式(5)。

$$T_r = \frac{100 - \lambda_D + S_{\text{batt}} + S_{\text{bus}}}{3} \quad (5)$$

式中: λ_D 为万公里故障率; S_{batt} 为电池安全评分; S_{bus} 为整车安全评分。

1) 新能源客车故障率维度。根据新能源客车在行驶一定累计里程内发生故障的次数与故障等级计算故障率。故障率计算公式见式(6)。

$$\lambda_D = \frac{0.2 \times r_1 + r_2 + 10 \times r_3}{S} \times 10^4 \quad (6)$$

式中: r_1 为1级故障的次数(1级故障指不影响车辆正常行驶的故障); r_2 为2级故障的次数(2级故障指影响车辆性能, 需驾驶员降低车速、温和驾驶的故障); r_3 为3级故障的次数(3级故障指驾驶员应立即停车处理或请求救援的故障); S 为行驶里程, km。

2) 动力电池安全评分维度。分别统计动力电池电压、温度、一致性及绝缘电阻值数据的报警次数占总报文帧数的比例, 并据此计算动力电池安全评分。计算公式见式(7)。

$$S_{\text{batt}} = k_1 e_v + k_2 e_T + k_3 e_{\text{con}} + k_4 e_r \quad (7)$$

式中: e_v 为电压安全评分, 基于新能源客车统计周期内电池过压三级报警率 f_s 计算, $e_v = 100(1 - f_s)$; e_T 为温度安全评分, 基于新能源客车统计周期内电池温度报警率 f_T 计算, $e_T = 100(1 - f_T)$; e_{con} 为电池一致性安全评分, 基于新能源客车统计周期内电池一致性报警率 f_c 计算, $e_{\text{con}} = 100(1 - f_c)$; e_r 为绝缘电阻值安全评分, 基于新能源客车统计周期内绝缘电阻高报警率 f_R 计算, $e_r = 100(1 - f_R)$; k_1 、 k_2 、 k_3 、 k_4 分别代表4个安全评分各自的权重。

3) 整车安全评分维度。统计整车 DC/DC 状态、驱动电机数据中报警次数占总报文帧数的比例, 以及低级故障向更严重故障的转化率, 并据此计算整车安全评分。计算公式见式(8)。

$$S_{\text{bus}} = k_5 e_{\text{cs}} + k_6 e_{\text{cm}} + k_7 e_{\text{Tr}} \quad (8)$$

式中: e_{cs} 为 DC/DC 状态安全评分, 基于 DC/DC 状态报警率 f_{DC} 和 DC/DC 高温报警率 f_p 计算, $e_{\text{cs}} = 50(1 - f_{\text{DC}}) + 50(1 - f_p)$; e_{cm} 为驱动电机安全评分, 基于驱动电机控制器温度报警率 f_{MC} 和驱动电机温度报警率

f_M 计算, $e_{\text{cm}} = 50(1 - f_{\text{MC}}) + 50(1 - f_M)$; e_{Tr} 为故障转化率评分, 计算公式见式(9); k_5 、 k_6 、 k_7 分别代表3个安全评分各自的权重。

$$e_{\text{Tr}} = 100[k_{12}(1 - f_{12}) + k_{23}(1 - f_{23}) + k_{13}(1 - f_{13}) + k_{02}(1 - f_{02}) + k_{03}(1 - f_{03})] \quad (9)$$

式中: f_{12} 、 f_{23} 、 f_{13} 、 f_{02} 、 f_{03} 分别为各级故障向更高级故障的转化率, 其计算公式见式(10)至式(14)。

$$f_{12} = \frac{\text{一级故障引发的二级故障数}}{\text{总一级故障数}} \quad (10)$$

$$f_{23} = \frac{\text{二级故障引发的三级故障数}}{\text{总二级故障数}} \quad (11)$$

$$f_{13} = \frac{\text{一级故障引发的三级故障数}}{\text{总一级故障数}} \quad (12)$$

$$f_{02} = \frac{\text{无故障跳变为二级故障数}}{\text{总无故障数}} \quad (13)$$

$$f_{03} = \frac{\text{无故障跳变为三级故障数}}{\text{总无故障数}} \quad (14)$$

2.3 车辆性能评价单元

车辆性能评价单元接收到车辆性能分析信号后, 立即对新能源客车进行实时分析, 计算实时性能分析系数。若系数超出阈值, 则向预警单元发送性能异常信号, 并同步生成车辆性能维护信号。由此实现对分析对象的实时精准监测^[10-12]。

将新能源客车接收控制指令与执行控制指令的间隔时长记为 C_i , 执行控制指令的偏差值记为 Z_i ; 实时性能分析系数 R_i 的计算公式见式(15)。控制指令为速度控制、角度控制等信号。

$$R_i = \frac{C_i \times a_4 + Z_i \times a_5}{a_4 + a_5} \quad (15)$$

式中: a_4 和 a_5 均为预设比例系数, 且 $a_4 > a_5 > 0$ 。

将新能源客车的实时性能分析系数 R_i 与阈值比较: 若超过阈值, 则判定实时性能不合格, 向警示单元发送性能异常信号, 并同步生成车辆性能维护信号, 以便及时检修; 若未超过阈值, 则判定合格, 生成性能正常信号^[13]。车辆实时性能评分的计算公式见式(16)。

$$G_i = (1 - R_i / P_i) \times 100 \quad (16)$$

式中: P_i 为预设阈值。

2.4 车辆问题预警单元

通过设置预警单元, 该系统可在新能源客车电量过低时发出低电量提醒^[12], 提示驾驶员及时充电并规划行程; 可在车辆性能异常时发出安全警示, 以便及时进行车辆维护; 可在动力电池安全评分异常时发

出预警,提示进行电池安全检查。车辆问题预警评分的计算公式见式(17)。

$$W_i = (L_s \times 0.6 + W_a \times 0.4) - F_p \times 2 \quad (17)$$

式中: L_s 为低电量预警准确率(权重 0.6); W_a 为故障预警准确率(权重 0.4); F_p 为误报次数(根据行业标准,按 2 分/次进行扣减)。

3 实车验证

为验证本方法的应用效果,以一辆 12 m 纯电动城市客车为例,对其运营情况进行综合评价并提出建议。该车累计里程为 85 600 km,配备 350 kW·h 的磷酸铁锂电池,分析数据为 2023 年 1 月全月运营数据。

3.1 实车续驶里程评价

续驶里程评价单元权重设为 30%,模型输入特征包括以下 4 类:

- 1) 驾驶行为特征:平均加速度为 0.3 m/s^2 ,急减速频次为 2 次/百公里。
- 2) 环境特征:月平均气温为 $-5 \text{ }^\circ\text{C}$,雨雪天气占比 20%。
- 3) 电池状态特征:电池健康状态(SOH)为 88%。
- 4) 车辆静态特征:标称续驶里程为 400 km($25 \text{ }^\circ\text{C}$ 标准工况)。

基于决策树模型,计算得到续驶里程预测值为 280 km;该模型在验证集上的平均误差为 5%。因此,续驶里程评分 $f(x) = (280/400) \times 100 = 70$ 。

3.2 实车安全性评价

安全性评价单元为核心评价指标,权重设为 40%,由故障率、电池安全与整车安全三个维度计算得出。

1) 故障率。根据故障等级进行加权计算(权重系数:1 级故障 0.2,2 级故障 1,3 级故障 10)。万公里故障率 $\lambda_D = (12 \times 0.2 + 3 + 0 \times 10) / 85\,600 \times 10^4 \approx 0.63$ 。

2) 电池安全评分。基于电压、温度、一致性及绝缘电阻报警率计算各分项评分,并按预定权重(0.4、0.3、0.2、0.1)加权求和,电池安全评分 $S_{\text{batt}} = (98.8 \times 0.4 + 97.5 \times 0.3 + 98.2 \times 0.2 + 99.5 \times 0.1) = 98.36$ 。

3) 整车安全评分。评估关键部件(DC/DC 变换器、驱动电机)状态及其故障恶化趋势。

①DC/DC 状态报警率为 1.0%,高温报警率为 1.0%,DC/DC 状态安全评分 $e_{\text{cs}} = 50 \times (1 - 0.01) + 50 \times (1 - 0.01) = 99$ 。

②电机控制器温度报警率为 1.5%,电机温度报警率为 1.5%,电机安全评分 $e_{\text{cm}} = 50 \times (1 - 0.015) + 50 \times (1 - 0.015) = 98.5$ 。

③故障转化率 $f_{12} = 2\%$ (1 级引发 2 级),转化率为 98。

整车安全评分 $S_{\text{bus}} = 99 \times 0.4 + 98.5 \times 0.4 + 98 \times 0.2 = 98.6$ 。

因此,综合安全性评分 $T_i = (100 - 0.63 + 98.36 + 98.6) / 3 \approx 98.8$ 。

3.3 实车车辆性能评价

车辆性能评价单元权重设为 20%,通过采集实时总线数据,计算控制指令响应延迟(0.1 s)与执行偏差值(2%)。采用加权综合法(权重系数 $a_4 = 0.7$, $a_5 = 0.3$)计算性能系数,并与预设阈值(1.2)对比,得出性能评价结果。

$$R_i = (0.7 \times 0.1 + 0.3 \times 2\%) / (0.7 + 0.3) = 0.076 \quad (18)$$

0.076 小于 1.2,实时性能分析系数在阈值范围内,合格。车辆性能评分 $G_i = (1 - 0.076/1.2) \times 100 = 93.7$ 。

3.4 实车问题预警

问题预警单元主要考核预警系统的准确性与可靠性,权重为 10%。低电量预警准确率为 95%;故障预警准确率为 90%;误报次数为 2 次。预警有效性基础分与扣分后的 $W_i = (95 \times 0.6 + 90 \times 0.4) - 2 \times 2 = 89$ 。

3.5 综合评分及结果分析

根据既定权重,车辆状态最终综合评价得分 $P_i = 70 \times 30\% + 98.8 \times 40\% + 93.7 \times 20\% + 89 \times 10\% = 88.16$ 分(≥ 90 为优, $\geq 80 \sim < 90$ 为良, $\geq 70 \sim < 80$ 为中, < 70 为差),评价结果分析见表 2。

表 2 各维度分析诊断及建议

评价维度	得分	问题诊断	改进建议
续驶里程	70	低温+电池衰减导致里程下降	优化冬季电池保温策略
安全性	98.8	故障率略高(1 级故障为主)	检查车载传感器误报情况
实时性能	93.7	响应延迟接近阈值	维护电机控制系统
预警有效性	89	误报需减少	升级预警算法

该车辆综合评分为 88.16 分,状态良好。其中续驶里程评分较低(70 分),主要原因是低温环境和电池自然衰减,导致实际续驶里程仅为 280 km。可采

取以下措施延长电池使用寿命:一是加强电池物理保温(如加装保温装置);二是优化电池应用策略,具体包括:①缩短充电末端和运营的时间间隔,规避或减少电池自加热电耗;②禁止电池在自加热过程中驱动车辆;③限制驾驶员猛踩油门时的放电功率。

此外,针对该车1级故障频发的问题,在排除车载传感器硬件故障后,通过屏蔽无效报文和优化故障判定标准,有效提高了车辆状态评价的准确性。

4 结 论

本文基于运行大数据提出的新能源客车综合评价方法,可有效提升车辆状态分析的准确性。

1) 在续驶里程预测方面,融合用车行为、环境及车辆静态数据特征,并将动力电池健康状态作为关键输入,构建了基于决策树模型的预测算法;通过参数与模型优化,实现了对续驶里程的精准预测。

2) 在安全性评价方面,构建由故障率、动力电池安全评分和整车安全评分三个维度组成的创新性综合评价体系,能够及时、准确地识别安全隐患。

本方法实现了对新能源客车的科学、精准管理,能够及时发现车辆性能衰退,为预防性保养和精准维修提供了科学依据,显著提升了新能源客车的运行安全性及可靠性,并延长了其使用寿命。

参考文献:

[1] 李放, 闵永军, 张涌. 基于大数据的动力锂电池可靠性关键技术研究综述储能测试与评价[J]. 储能科学与技术, 2023, 12(6): 1981-1994.

- [2] 崔帆帆, 曾繁琦, 袁晓静. 锂离子电池寿命预测研究现状[J]. 兵器装备工程学报, 2023, 44(增刊1): 405-413.
- [3] 熊霄. 大数据技术在新能源汽车行业的应用[J]. 内燃机工程, 2023, 44(1): 112-113.
- [4] 北京理工大学. 基于大数据的新能源公交车辆综合性能评价方法: 202210468080.8[P]. 2022-07-29[2025-04-20].
- [5] 吴洪亭, 刘静雯, 王海文, 等. 基于综合台架的同级客车用驱动电机序列性能测试与评价[J]. 客车技术与研究, 2020, 42(3): 53-56.
- [6] 吴洪亭, 刘雷, 刘静雯, 等. 一种模拟车载动力电池动态充放电的方法[J]. 客车技术与研究, 2023, 45(1): 23-26.
- [7] 万一帆, 张朝宇. 基于大数据的新能源智慧管控平台研究[J]. 机电信息, 2023(14): 50-53.
- [8] 吴洪亭, 张忠东, 宋朋, 等. 小线径高压线束并线电流精准检测方式的实现[J]. 客车技术与研究, 2023, 45(6): 53-56.
- [9] 中通客车股份有限公司. 基于新能源汽车运行大数据的续驶里程预测方法及系统: 202210961082.0[P]. 2022-10-21[2025-04-20].
- [10] 吴洪亭, 赵子龙, 张忠东, 等. 氢燃料电池堆运行环境全时域服务及控制系统研究[J]. 客车技术与研究, 2023, 45(4): 7-9.
- [11] 胡舒淋, 蔡春花. 基于大数据的新能源汽车健康状态评价技术[J]. 办公自动化, 2023, 28(3): 15-19.
- [12] 深圳市天赋新能源科技有限公司. 一种基于物联网的新能源汽车用运行智能监控系统: 202310442018.6[P]. 2023-08-11[2025-04-20].
- [13] 吴洪亭, 肖亮, 刘静雯, 等. 一种模拟整车环境的电驱系统测试方法[J]. 客车技术与研究, 2023, 45(2): 17-20.