

# 景区道路纯电动客车选型测试方案设计

詹振宇, 闫晟煜, 元军鹏, 马振祥

(中交第二航务工程局有限公司设计研究院, 武汉 430050)

**摘要:**分析纯电动客车在景区路况的运营特征,设计适用于景区山地路况的车辆动力性能、制动能力和经济性能的测试方法,并开展实车测试验证。

**关键词:**景区道路;纯电动客车;选型测试

中图分类号:U467.1<sup>+</sup>1

文献标志码:A

文章编号:1006-3331(2023)06-0020-03

## Design of Selection Test Scheme for Pure Electric Buses in Scenic Road

ZHAN Zhenyu, YAN Shengyu, YUAN Junpeng, MA Zhenxiang

(CCCC Second Harbor Engineering Company Ltd. Design & Research Institution, Wuhan 430050, China)

**Abstract:** The authors analyze the operational characteristics of pure electric buses in scenic road conditions, design the testing methods for vehicle power performance, braking capacity, and economic performance suitable for scenic mountainous road conditions, and conduct the vehicle testing verification.

**Key words:** scenic road; pure electric bus; selection test

景区纯电动客车的选型是指通过选型测试,遴选适合景区复杂道路路况的纯电动客车车型,以满足景区游客的运输需求。通过分析现有的相关标准,发现现有标准的测试场景无法覆盖部分山地景区的复杂路况,不能满足景区对纯电动客车的选型需求。因此,本文提出一种针对景区复杂路况的选型测试方法,用于纯电动客车的选型测试。

## 1 总体方案

我国有大量山地景区,景区内进行纯电动客车道路试验有其必要性:相较于传统能源客车,不规则的山路坡道和弯道会对电池、电机等部件产生较大的压力。本试验方案为现场试验,与传统的实验室试验有所区别;在现场试验的基础上采取循环试验法,完全模拟纯电动客车电量降低至20%前在运行线路上的运行情况;结合山地景区线路起点海拔低,终点海拔高的特征,有针对性地作出区分,并提出上行试验和下行试验的侧重指标与试验要求。

整体评价指标的选择:纯电动客车的动力性通过在不同坡度路面的稳定车速及不同速度区间的加速度来评价;制动能力主要通过缓速制动和紧急制动的相关指标评价;经济性主要依据能量消耗率与制动能量回收效率评价。

景区纯电动客车运营线路的特点是始发站与终点站海拔差较大,在景区单一的上下行运营路线中,通常行程整体为上坡道路,返程整体为下坡道路,因此测试时可将1个往返程作为1个试车循环。每个试车循环分为上行试验和下行试验。为分析不同坡度下的测试数据,测试开始前,需采集路谱信息,以确定线路各点坡度。测试时车辆处于满载状态,空调温度为20℃,按景区规定正常行驶。

本文测试场地为某景区西线客运线路,该线路全长29 km,始发站为山底A站(西门换乘中心),终点站为山顶B站(台怀镇换乘中心),陡坡路段较多,对长、陡坡道路按照等距取样,道路纵坡度基本在10%以内,结果详见表1。

收稿日期:2023-09-19。

第一作者:詹振宇(1995—),男,硕士;助理工程师;主要从事路线设计及载运工具运用研究工作。E-mail:1186196615@qq.com。

表1 某景区客运线路纵坡取样

典型坡道	典型坡道情况
山底 A→测量点 1	线路长度 6 km, 最大坡度 6.6%; 5% 及以上的坡度约 60 m; 其余为 5% 以下。
测量点 1→测量点 2	线路长度 6 km, 最大坡度 6.8%; 5% 及以上的坡度总计约 120 m; 其余为 5% 以下。
测量点 2→测量点 3	线路长度 6 km, 最大坡度 9.6%; 5% 及以上的坡度约 160 m; 其余为 5% 以下。
测量点 3→测量点 4	线路长度 6 km, 最大坡度 9.9%; 5% 及以上坡度约 530 m (其中 8% 及以上坡度 320 m); 其余为 5% 以下。
测量点 4→山顶 B	线路长度 5 km; 坡度均在 5% 以下。

本文提出的测试方法优点如下:①该测试方法属于现场试验,测试结果更接近车辆的真实运行工况;②在传统测试方法的基础上,增加了对三电部件的温控检测以及针对电池的续航能力测试,该方案适用于纯电动客车的选型测试,同时也能兼容传统能源客车的测试需求。

## 2 测试方法

### 2.1 上行试验

上行过程主要侧重动力性指标是否满足要求,其次需要采集耗电性能相关数据,耗电性能数据在循环试验中用于分析纯电动客车的经济性能。本文上行试验指标的选取与分析主要依据文献[1]中的相关内容。

在测试动力性指标时,采集实时速度、瞬时加速度、实时坡度。根据相关标准<sup>[2-3]</sup>,处理数据时可追踪实时坡度,将道路分为 $[0, 5\%)$ 、 $[5\%, 9\%)$ 、9%及以上3个坡度等级,根据对应的实时车速,计算3个坡度等级下行驶时的平均稳定车速,以此评价车辆的爬坡能力。评价动力性的另一个指标是车辆爬坡时的加速度。将上坡过程分为 $[0, 20)$ 、 $[20, 40)$ 、40 km/h及以上3个速度区间,根据每个区间对应的瞬时加速度,计算不同速度区间内的平均加速度。

在上行试验中记录上坡续驶里程、荷电状态(SOC)数据,并计算每百公里电耗。基于文献[4-5]

的研究可计算出仿真状态下传统客车的油耗指标,基于文献[6]计算仿真状态的百公里电耗为参照。对比仿真油耗、模拟电耗以及实际电耗,评估纯电动客车经济水平。

与传统能源客车相比,纯电动客车通过动力电池、电机输出动力,坡度较大时会加重三电部件工作负担,存在热失控的风险。上行试验需实时监控电池、电机和电控系统的温度。根据文献[7]的研究,在环境温度高于40℃或者低于0℃时,电池单体的放电效率明显下降。在温度小于-15.5℃或者大于53℃时,电池的放电效率小于80%,因此锂离子动力电池不适宜在环境温度小于-15.5℃或者大于53℃时无辅助热管理运行。

### 2.2 下行试验

下坡路段主要进行制动性能测试,需要完成缓速制动试验和紧急制动试验。缓速制动测试是为了测试车辆的抗热衰退能力;紧急制动试验是为了测试车辆防抱死(EBS)性能,避免出现滑移、甩尾的情况。

两种试验均需满足GB 12676—2014《商用车辆和挂车制动系统技术要求及试验方法》<sup>[8]</sup>对车辆的制动力要求。考虑景区实际运行中可能频繁发生缓速制动与紧急制动,因此本测试方案要求在下行试验中交替进行紧急制动试验与缓速制动试验,以模拟景区纯电动客车真实运营条件。

实际运行中由于景区路况复杂,下坡车速一般在60 km/h以下,对于M<sub>3</sub>类客车,制动系统充分发挥作用时的制动指标参考GB 12676—2014的指标,详见表2。其中制动距离由开始减速时的实验车速 $v$ 确定。

表2 制动试验性能指标

试验项目	标准要求
制动力/N	≤700
平均减速度/(m·s <sup>-2</sup> )	≥4.0
制动距离/m	≤0.15v+v <sup>2</sup> /130.5

缓速制动试验根据GB 12676—2014在I型试验(衰退实验)中的规定执行。

紧急制动试验测试紧急制动能力,制动力、平均

减速度、制动距离指标都应满足表2的要求。本文通过滑移率指标判断EBS是否充分发挥作用。当EBS充分发挥作用时,车轮的滑移率应保持在10%~30%的范围内。滑移率计算公式为:

$$s = (u - \omega r) / u$$

式中: $s$ 为滑移率; $u$ 为车速; $\omega$ 为车轮滚动角速度; $r$ 为车轮半径。

纯电动客车需要增加制动能量回收效率指标,试验中要记录下坡过程耗电数据以分析纯电动客车的经济性。下行试验中需采集下坡续驶里程、荷电状态数据,可采用百公里耗电量表征耗电性能。也可以根据上行试验与下行试验数据计算制动能量回收效率。

### 2.3 循环测试方式

基于上行试验与下行试验开展循环测试,循环测试侧重于收集上行试验与下行试验的耗电数据,综合分析车辆经济性能,制定运营调度策略。每个试车循环包括一个上行试验和一个下行试验。循环试验需要进行多组试车循环以获取3~5组有效数据。

### 2.4 分析示例

按照表1路线进行循环测试,得到某款纯电动客车测试的相关数据如下:

1) 上坡行车数据显示,在[0%,5%)、[5%,9%)、9%及以上道路坡度等级下,稳定车速分别为40.306、36.497、31.329 km/h;速度区间在[0,20) km/h、[20,40) km/h、40 km/h及以上,对应的平均加速度分别为0.732、0.659、0.426 m/s<sup>2</sup>。本试验中只针对单一配置的客车进行了测试,在实际应用中,应测试收集不同配置的纯电动客车动力性数据,横向对比不同车型的性能,以选用更能满足景区运营要求的客车。

2) 下行试验得到缓速制动平均减速度为0.952 m/s<sup>2</sup>,测试过程减速度均在0.6 m/s<sup>2</sup>以上,表明缓速制动装置制动力满足要求;制动盘温度无明显增幅且均未超过270℃,表明未产生明显的热衰退现象;紧急制动测试时记录数据显示初始速度为59 km/h,平均减速度约6.5 m/s<sup>2</sup>,制动距离21 m,符合表2中的指标要求。

3) 循环测试结果显示,滑移率平均计算结果为

24.8%,未偏离最佳滑移率区间,表明EBS充分发挥作用,客车车轮有良好的纵向、侧向附着力;测试上坡能量消耗率为0.48%、制动能量回收效率为75%,主要目的是对比不同车型的耗电性能,以此选出经济性更好的客车;循环试验数据可用以研究发车配时等运输规划问题,在后续研究中将建立相关模型进一步分析。

## 3 结论

1) 区分上行试验与下行试验可以根据实际运行情况细化测试指标,简化测试流程,减少测试工作量,并充分模拟景区纯电动客车运行线路的基本情况。

2) 测试方案本质上是考虑到景区运输规划的运营性测试,故选择现场试验方案可更好地评估该车型对特定道路环境的适应性和运营状况,为遴选车型以及运输规划提供基本的数据支撑。

3) 本文的测试方法主要依据景区路况匹配满足整体运营条件的车型,后续研究可根据客流量大小、道路拥堵状况等指标进一步研究车型大小、座椅布置等微观参数配置。

### 参考文献:

- [1] 闫晟煜,肖媛. 新能源公交客车爬坡与燃耗性能测试方法[J]. 车辆与动力技术,2018(4):17-21.
- [2] 中华人民共和国交通运输部. 公路路线设计规范: JTG D20—2017[S]. 北京:人民交通出版社,2017:40-42.
- [3] 中华人民共和国交通运输部. 小交通量农村公路工程技术标准: JTG 2111—2019[S]. 北京:人民交通出版社,2019:9.
- [4] 孙宏图,王天灵,宋希庚. 城市公交客车行驶工况研究[C] //2007 中国汽车工程学会年会论文集,2007:4-6.
- [5] 邓超,石琴. 基于道路工况的城市客车传动系参数的优化[J]. 汽车科技,2009(2):49-52.
- [6] 张显胜,张宏潇. 纯电动客车 Cruise 模型参数修正与经济性研究[J]. 客车技术与研究,2012,34(5):5-6.
- [7] 谢金法,谢宁,李博超. 纯电动汽车锂离子动力电池热特性研究[J]. 电源技术,2019,43(6):1001-1004.
- [8] 中华人民共和国工业和信息化部. 商用车辆和挂车制动系统技术要求及试验方法: GB 12676—2014[S]. 北京:中国标准出版社,2015:25-27.