

电动客车再生制动系统现行测试标准分析

张涛¹, 王治文¹, 姚成金²

(1. 招商局检测车辆技术研究院有限公司, 重庆 401329; 2. 常州市高级职业技术学校, 江苏 常州 213161)

摘要:现行标准中关于电动客车再生制动系统的要求和试验方法都不够完备和明确。本文通过研究再生制动系统结构,从制动、防抱死制动、能量回收效率等方面分析相关标准存在的问题,提出一些建议。

关键词:电动客车; 再生制动; 标准分析

中图分类号:U469.72

文献标志码:A

文章编号:1006-3331(2024)02-0059-04

Analysis of Current Test Standards for Regenerative Braking System in Electric Buses

ZHANG Tao¹, WANG Zhiwen¹, YAO Chengjin²

(1. China Merchants Testing Vehicle Technology Research Institute Co., Ltd., Chongqing 401329, China;

2. Changzhou Vocational College of Technology, Changzhou 213161, China)

Abstract: The requirements and test methods of regenerative braking system for electric buses in current standards are not complete and clear. By studying the structure of regenerative braking system, this paper analyzes the problems existing in related standard from the aspects of braking, anti-lock braking, energy recovery efficiency, etc., and then proposes some suggestion.

Key words: electric bus; regenerative braking; standard analysis

利用驱动电机和储能装置进行再生制动,从而替代辅助制动和部分行车制动功能,可以降低电动客车使用成本,提升续航里程。该项技术已广泛应用于电动客车。但是对于再生制动系统性能的测试,包括安全性、能量回收效能等,现行标准还不完善。本文主要对目前标准中涉及电动客车再生制动的相关条款和存在的问题进行分析,提出改进和优化再生制动系统的测试方法。

1 再生制动结构概述

再生制动系统主要包含驱动电机、动力电池、电机控制器、电池管理系统以及逆变器等^[1]。驱动电机是系统实现再生制动的关键元件,其性能会直接影响制动、能量回收效果;动力电池是储存制动回收能量的储能元件,其最大充电功率等参数同样会影响再生制动功率。再生制动力受驱动电机转矩、储能装置

SOC 等因素影响,能提供的制动力有限,当所需的制动力大于再生制动力时,就需要摩擦制动参与到行车制动中。电动客车按照再生制动和摩擦制动的耦合关系分为并联式和串联式,如图1所示^[2]。

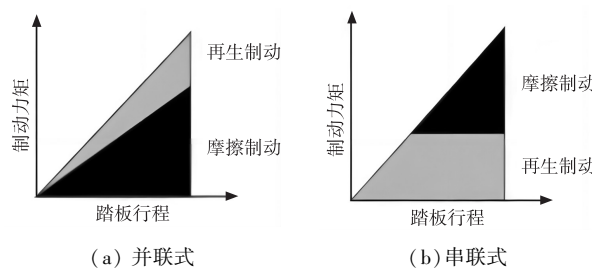


图1 再生制动和摩擦制动的耦合关系

并联式的结构系统不调节原有的摩擦制动系统,也无需进行额外的改进,按照所需的制动力大小以一定比例输出摩擦制动力和再生制动力。这种结构比较方便,有利于工程实现,但是该结构制动能量回收

收稿日期:2023-11-15。

第一作者:张涛(1987—),男,硕士;高级工程师;主要从事新能源及整车检测研究工作。E-mail:cjzhangtao@cmhk.com。

率较低。早期的传统能源汽车改造的新能源汽车,采用该结构的较多。

串联式的结构在所需的制动力较小时,优先采用再生制动,当所需的制动强度超过一定值时,驱动轮上的再生制动力不变,剩下的制动力由摩擦制动补充。该结构能充分利用再生制动效能,能量回收率高,减少摩擦制动系统的磨损,但是系统比较复杂,技术难度也较大。

2 现行标准中针对再生制动的相关条款及问题

现行相关标准主要是 GB 7258—2017《机动车运行安全技术条件》^[3],其规定:车长大于 9 m 的未设置乘客站立区的客车装备的辅助制动装置的性能要求应使汽车能通过 GB 12676—2014^[4]规定的 II A 型试验。而 GB 12676—2014《商用车辆和挂车制动系统技术要求及试验方法》中并未对电动客车的 II A 型试验状态、方法进行说明。

由于目前主流电动客车制动结构大多采用串联式,行车制动时先再生制动,制动力不足时,再机械制动介入,而再生式制动由电机控制策略规定,ABS 系统只控制液压或气压制动力,可见两套系统的控制对象完全不同,在极端工况下,必须对制动力进行协调,否则车辆很可能发生车轮抱死或制动力突然减小导致车辆前冲甚至刹不住车,危及道路交通安全。对于 M_3 类电动客车,防抱系统是否控制再生制动系统现行标准也无明确规定。

在再生制动能量回收测试方面,目前只有 QC/T 1089—2017《电动汽车再生制动系统要求及试验方法》^[5]提出了适用于乘用车的制动能量回收效能的测试方法,用来评价制动能量回收的有效性。关于电动客车的再生制动能量回收测试,目前还没有标准进行规定。

3 相关条款应完善的几个方面

3.1 制动测试方面

目前客车在进行 GB 12676—2014《商用车辆和挂车制动系统技术要求及试验方法》试验时,需要进行 II A 型试验(客车)或者 II 型试验(城市客车),是

通过坡道模拟方法,测试车辆在长下坡工况下,辅助制动可能会因为制动器长期工作导致热衰退,造成制动功能降低。

常规车辆中,制动过程减少的机械能被车辆制动系统转化为内能,散失到空气中,因此常规车辆必须设计合理的制动冷却系统或辅助制动系统,保证在连续制动过程中,制动器不会因过热导致制动效能下降。对于电动客车,这部分机械能被再生制动系统转化为电能,存储在车载储能装置中,不存在制动器的热衰退现象,但车载储能装置存储的电能有限,若 SOC 已充满,则再生制动系统可能停止工作,造成辅助制动系统失效,难以满足标准要求。因此对于电动客车来说,进行 II A 型试验或者 II 型试验时,应考虑车载储能装置的充电情况,即应在车辆充满电情况下进行,此时为电动客车进行该项目试验的最恶劣条件。

车辆设计时,也应考虑车载储能装置 SOC 较高时的车辆制动效能,为保证满足标准要求,应在充电控制策略设计时进行充分考虑,或者增加制动电阻,在 SOC 较低时将再生制动产生的电能存储在储能装置中;当储能装置充满电时,将再生制动产生的电能通过制动电阻,以热的形式散发到环境中。

3.2 防抱死制动测试方面

GB 12676—2014《商用车辆和挂车制动系统技术要求及试验方法》对于电动车辆,规定对装有电力再生式制动系统的 M_2 、 N_1 和最大设计总质量小于 5 000 kg 的 N_2 类车辆,当装备防抱系统时,由防抱系统控制电力再生式制动系统。对于 M_3 类客车防抱制动系统和再生制动系统没有进行任何规定。GB/T 13594—2003《机动车和挂车防抱制动系统性能和试验方法》^[6]由于标准发布较早,对电动汽车的防抱制动系统也未进行规定。

对于电动客车,防抱制动系统只能控制传统的气压或者液压制动力;当再生制动系统工作时,为保障安全性,整车控制系统应同时控制电机的再生制动和传统气压或液压制动系统,需要对再生制动力和传统摩擦制动力进行协调,从而使驱动轮将要抱死时,停止再生制动或者减小再生制动力,增加从动轮的摩擦制动力,防止驱动轮抱死,这也带来了制动强度在一

段时间内明显减小,制动距离增加的结果。

因此,对于装配再生制动系统和防抱死制动系统的电动客车来说,在进行防抱死制动测试时,应考虑以下方面:第一,对于装备A型再生制动车辆^[5],应测试仅再生制动工作且制动强度最大时,车辆在低附着系数路面、车辆由高附着系数路面驶向低附着系数路面、车辆的左右两侧车轮分别位于两种不同附着系数情况下,车辆是否抱死;第二,对于装备B型再生制动车辆^[4],应测试全力制动时,车辆在不同附着系数路面上是否抱死,并且测试车辆再生制动系统和机械制动同时工作时的制动距离相对仅机械制动时的制动距离是否显著增大,特别是低附着系数路面上的变化率。

车辆设计时,应充分考虑再生制动系统工作时制动力的控制算法;同时,也应考虑在特定附着系数路面上,再生制动系统和防抱制动系统的协调控制,尽量减小再生制动和控制策略对制动效能的影响。

3.3 再生制动能量回收效率测试方面

再生制动能量回收的特性对于电动客车的续驶里程提升明显,能在较频繁制动与起动的城市工况运行条件下,有效地回收制动能量,电动汽车大约可降低15%的能量消耗,可使电动汽车的行驶距离延长10%~30%^[7-8],这也是公交运营企业采购、运营非常关注的性能指标。但是针对电动客车再生制动能量回收性能的评价指标和测试方法都还没有统一的标准进行规定。

QC/T 1089—2017《电动汽车再生制动系统要求及试验方法》针对乘用车提出制动能量回收效率、制动能量回收系统续驶里程贡献率两个指标。制动能量回收效率是指汽车减速过程中,由再生制动系统回收,最终回馈至可充电储能系统的能量与汽车减速过程中所需施加的制动能量之间的比值;制动能量回收系统续驶里程贡献率是指相同试验条件下,开启与关闭制动能量回收功能时电动汽车运行里程的差值,与关闭制动能量回收功能时的运行里程的比值^[5]。相对电动客车来说,该评价指标试验周期长,试验数据庞大,计算复杂,且需要更改整车控制策略,不适合运营时进行计算分析。

有文献提出制动能量回收率^[9],即电机回收的制

动能能量经过电机控制器输出的能量与在制动过程中车辆总动能的比值。相比QC/T 1089,该评价指标只需要进行3个完整的试验工况,每次计算偏差小于规定值,即可确定最终制动能量回收率,试验周期短,计算过程较简单。但是,该方法对于运营时的电动客车分析制动能量回收效率,也同样存在着试验数据量较大,不够直观的问题。

目前部分公交运营企业提出了利用单次工况循环过程中,电机回收至储能装置的制动能量与储能装置输出的能量比值来评价制动能量回收效率。表1为某纯电动城市客车(车长为6 005 mm)按照GB/T 38146.2—2019《中国汽车行驶工况 第2部分:重型商用车辆》^[10]中的中国城市客车行驶工况进行3次试验的数据。

表1 某纯电动客车制动能量回收效率试验数据

试验次数	电机回收至 储能装置的 制动能量/kW·h	储能装置输出 的能量/kW·h	制动能量 回收效率/%
第一次循环	0.786	3.69	21.30
第二次循环	0.744	3.62	20.55
第三次循环	0.763	3.65	20.90

可以看出,该测试方法计算的制动能量回收效率相对标准偏差为0.37%,重复性好。而且该方法测试简单,适用性强。专业机构可以通过外接高精度仪器测量电流、电压进行计算,普通运营者也可通过车载程序进行粗略计算。

4 结束语

本文针对电动客车再生制动系统,分别从制动测试、防抱死制动测试、能量回收效率测试三个方面,探讨了现行相关标准中再生制动系统相关条款存在的问题,并提出了优化建议。

参考文献:

- [1] 方春杰,李军. 电动汽车再生制动系统综述[J]. 上海汽车,2016(5):3-7.
- [2] 向佳豪. 纯电动汽车再生制动策略研究[D]. 秦皇岛:燕山大学,2022.

- [3] 中华人民共和国公安部. 机动车运行安全技术条件:GB 7258—2017[S]. 北京:中国标准出版社,2017:22.
- [4] 全国汽车标准化技术委员会. 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,2015:26.
- [5] 中华人民共和国工业和信息化部. 电动汽车再生制动系统要求及试验方法:QC/T 1089—2017[S]. 北京:科学技术文献出版社,2018:1-6.
- [6] 全国汽车标准化技术委员会. 机动车和挂车防抱制动性能和试验方法:GB/T 13594—2003[S]. 北京:中国标准出版社,2004:1.
- [7] 仇斌,陈全世,张开斌. 北京市区电动轻型客车制动能量回收潜力[J]. 机械工程学报,2005(12):87-91.
- [8] 何仁,胡青训. 带有制动能量再生系统的公共汽车制动过程[J]. 江苏大学学报(自然科学版),2005(5):389-392.
- [9] 初亮,刘达亮,刘宏伟,等. 纯电动汽车制动能量回收评价方法研究[J]. 汽车工程,2017,39(4):471-479.
- [10] 全国汽车标准化技术委员会. 中国汽车行驶工况 第2部分:重型商用车辆:GB/T 38146.2—2019[S]. 北京:中国标准出版社,2019:3-4.

《客车技术与研究》征稿启事

《客车技术与研究》创刊于1979年,双月刊,是目前国内唯一一本公开发行的客车领域学术期刊。本刊由重庆市交通局主管,重庆交通科研设计院、重庆车辆检测研究院和中国公路学会客车分会主办,现已被国内外多家检索机构收录,包括中国核心期刊(遴选)数据库、万方数据——数字化期刊群、中国期刊全文数据库、中文科技期刊数据库、中国学术期刊综合评价数据库、JST 日本科学技术振兴机构数据库(日)(2018)等,是《CAJ-CD 规范》执行优秀期刊。在“中国知网”收录的与汽车相关的近70种学报和期刊中,本刊的复合影响因子位列前十,具有较高的学术影响力。

本刊主要刊登国家科技政策及国内外客(汽)车技术等方面的学术论文,包括科研成果和实践经验,标准,新技术、新工艺及新材料,客车市场,客车检测,使用和维修,经营与管理等。欢迎相关领域的专家、学者赐稿。

本刊重点关注的研究方向:

- | | | |
|------------|-----------|----------|
| ◆智能网联客(汽)车 | ◆新能源客(汽)车 | ◆节能与排放 |
| ◆安全与碰撞 | ◆振动与噪声 | ◆新工艺与新材料 |
| ◆客(汽)车电子 | ◆设计与计算 | ◆标准解读 |

E-mail:btrcq@163.com

Q Q:1711088150

微信公众号:客车技术与研究

网址(在线投稿):<http://bus-in.cmvrr.com.cn/>(中交客车网)

地址、电话:重庆市高新区新金大道9号 023-62653044

