

城轨车辆踏面制动单元内部摩擦力 对制动系统性能的影响

纪铅磊, 王超恒, 孙全涛

(中车青岛四方车辆研究所有限公司 制动事业部, 山东 青岛 266031)

摘要: 为提高城轨车辆制动系统整体性能, 采用理论分析和地面试验的方法, 验证了在制动施加和缓解过程中, 城轨车辆踏面制动单元由于内部摩擦力的影响, 在相同的制动缸压力下, 其实际输出的闸瓦压力并不相同; 进一步分析了这种特性对常用制动性能、闸瓦磨耗等制动系统整体性能的影响, 并提出了对应的解决措施, 为今后城轨车辆制动系统的方案设计提供了参考。

关键词: 城轨车辆; 制动系统; 踏面制动单元; 内部摩擦力; 制动性能

中图分类号: U231; U260.35

文献标识码: A

doi: 10.13890/j.issn.1000-128x.2019.01.122

Influence of Internal Friction Force of Urban Rail Vehicles Tread Brake Unit on Brake System Performance

JI Qianlei, WANG Chaoheng, SUN Quantao

(Braking Section, CRRC Qingdao Sifang Rolling Stock Research Institute Co., Ltd., Qingdao, Shandong 266031, China)

Abstract: In order to improve the overall performance of the brake system of urban rail vehicles, the theoretical analysis and ground test were adopted to verify the effect of the internal friction force of the brake unit of the urban rail vehicles in the process of braking and remission. The actual output of shoe pressure was proved different under the same brake cylinder pressure. The effect of the characteristics on the overall performance of brake system, such as common brake performance and brake shoe wear, was proposed, and the corresponding measures were put forward, which would provide reference for the scheme design of the braking system of urban rail transit vehicles in the future.

Keywords: urban rail vehicles; braking system; tread brake unit; internal friction force; braking performance

0 引言

制动系统作为城轨车辆的关键子系统, 其性能直接决定了制动距离、ATO 停车精度、轮对及踏面状态等车辆参数; 踏面制动单元是城轨车辆制动系统的核心部件, 其受制动控制装置的控制, 产生符合制动指令要求的闸瓦压力, 因此其性能对制动系统的整体性能有着很大的影响。

1 踏面制动单元基本工作原理

如图 1 所示, 踏面制动单元主要包括箱体组成、

闸瓦托组成、活塞组成、间隙调整器、丝杠等部件。制动施加时, 制动缸内压缩空气作用在制动缸活塞上, 活塞在克服复位弹簧弹力的同时垂直向下运动, 通过与推动部的斜楔配合将力放大并将垂向运动转化为水平运动, 进而通过丝杠将力传递给闸瓦托, 最终闸瓦托推动闸瓦作用在车轮踏面上产生制动力完成制动作用; 制动缓解时, 制动缸内压缩空气排空, 活塞在复位弹簧力的作用下复位, 推动部及丝杠等在缓解弹簧作用下复位, 从而带动闸瓦托及闸瓦与车轮踏面分离完成缓解作用^[1]。

制动施加过程中, 踏面制动单元内部摩擦力为闸瓦托推出的阻力; 而制动缓解时(包括完全缓解及阶

收稿日期: 2017-03-28; 修回日期: 2018-06-11

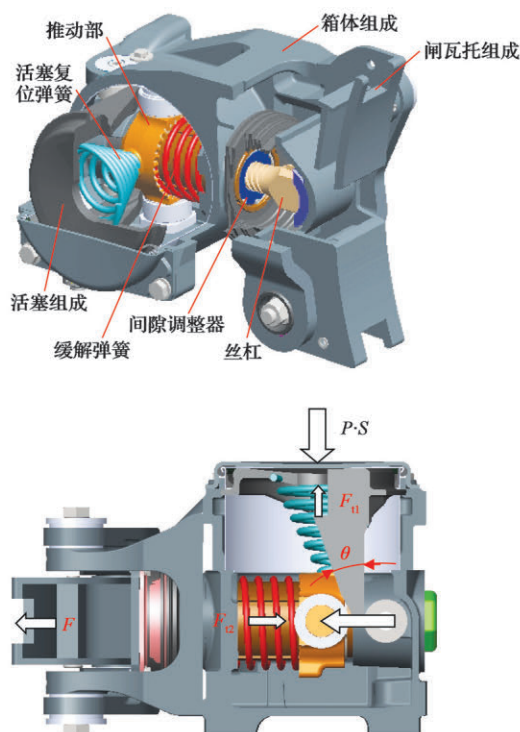


图 1 踏面制动单元结构组成及原理示意图

段缓解), 此摩擦力又变成闸瓦托复位的阻力。制动施加过程中闸瓦压力分析如式 (1) 所示, 制动缓解过程中闸瓦压力分析如式 (2) 所示。

$$F_1=\frac{P\cdot S-F_{t1}}{\operatorname{tg}\theta}-F_{t2}-f$$

(1)

$$F_2=\frac{P\cdot S-F_{t1}}{\operatorname{tg}\theta}-F_{t2}+f$$

(2)

式中: F_1 和 F_2 为闸瓦压力; P 为制动缸压力; S 为活塞面积; θ 为活塞斜楔角度; F_{t1} 为活塞复位弹簧力; F_{t2} 为内部弹簧力; f 为踏面制动单元内部摩擦力。

通过式 (1) 及式 (2) 可以看出, 在制动施加和缓解过程中, 在相同的制动缸压力下, 理论上踏面制动单元输出的闸瓦压力并不相同, 并且缓解过程中形成的闸瓦压力较大。

2 试验验证及分析

为了验证踏面制动单元内部摩擦力在制动施加和缓解过程中对闸瓦压力的影响, 进行了地面试验。试验时, 通过制动缸压力发生装置向踏面制动单元充入各级别的制动缸压力, 并通过闸瓦测力装置测量踏面制动单元的闸瓦压力。

被测件为某型踏面制动单元, 已在国内地铁项目上长时间批量运用, 产品性能稳定。试验过程中, 制动缸压力目标值分别设定为 500 kPa, 400 kPa, 300 kPa, 200 kPa, 150 kPa, 100 kPa, 50 kPa, 30 kPa, 20 kPa 以及 10 kPa。模拟制动施加过程时, 直接向踏面制动单元充入以上各压力目标值的压缩空气; 模拟制动缓解过程时, 先向踏面制动单元充入 600 kPa 的压缩空气, 然后排风缓解至以上各压力目标值, 每种工况各进行 3 次

试验, 闸瓦压力平均值统计见表 1。根据表 1 数据绘制图 2 曲线, 图 3 为图 2 的局部放大图。

表 1 试验结果汇总表

制动缸压力	500		400		300		200		150	
目标值 /kPa	施加	缓解	施加	缓解	施加	缓解	施加	缓解	施加	缓解
闸瓦压力 /kN (平均值)	36.5	42.7	29.3	34.0	21.5	24.7	14.0	16.3	10.0	11.7

制动缸压力	100		50		30		20		10	
目标值 /kPa	施加	缓解	施加	缓解	施加	缓解	施加	缓解	施加	缓解
闸瓦压力 /kN (平均值)	6.2	7.7	2.5	3.7	0.0	0.8	0.0	0.3	0.0	0.0

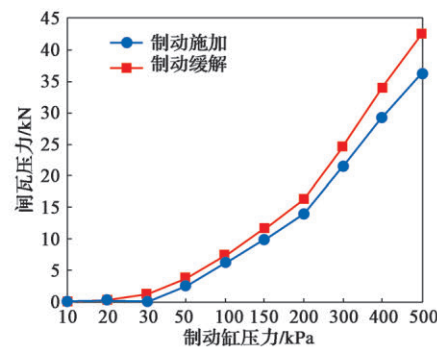


图 2 闸瓦压力对比折线图

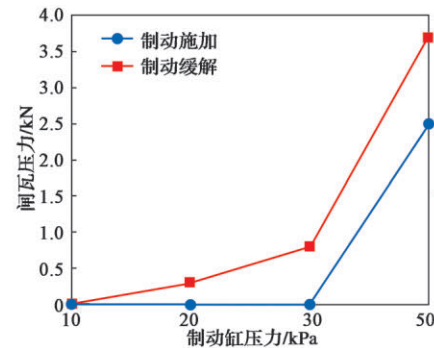


图 3 闸瓦压力对比放大图 (0~50 kPa)

从表 1 数据和图 2、图 3 的试验结果明显可以看出:

- ①施加和缓解至相同的制动缸压力下, 形成的闸瓦压力并不相同, 缓解时形成的闸瓦压力较大, 与前面的理论分析一致。
- ②随着制动缸压力的减小, 施加和缓解至相同的制动缸压力下形成的闸瓦压力差也逐渐减小。500 kPa 时闸瓦压力差达到 6.2 kN; 施加至 30 kPa 时闸瓦压力为 0, 缓解至 30 kPa 时闸瓦压力为 0.8 kN; 缓解至 10 kPa 时闸瓦压力为 0。

3 内部摩擦力对制动性能的影响

3.1 对常用制动性能的影响及解决措施

在城轨车辆的实际运营过程中, 由于调速和停车对标的需要, 列车经常需要进行常用制动施加和缓解的操作^[2], 而根据前面的分析, 施加和缓解至同一制动级位时形成的闸瓦压力并不相同, 所以产生的实际减速度也不同, 这就影响了制动系统的控制精确性。例如, 根据运营经验, 列车在运营过程中的制动级位一般不

会超过最大常用制动的 70%,且城轨 B 型车超载工况下 B4 级制动的制动缸压力一般在 300 kPa 左右,此压力下的闸瓦压力差约为 3.2 kN(见表 1),那么列车制动力差约为 44.5 kN(闸瓦平均动摩擦因数按 0.29 考虑),而 B 型车超载工况下列车质量为 310 t 左右(乘客每人质量按 60 kg 计算),所以在制动施加和缓解过程中形成的减速度差值达 0.14 m/s^2 ,这对制动距离以及 ATO 模式下的停车精度产生了较大的影响。空车时和超载时各级制动缸压力下的减速度差分别如图 4、图 5 所示。

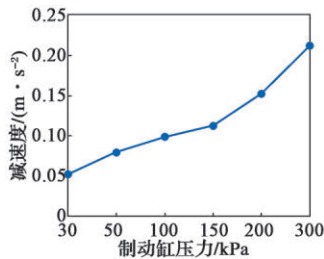


图 4 空车时各级制动缸压力下的减速度差

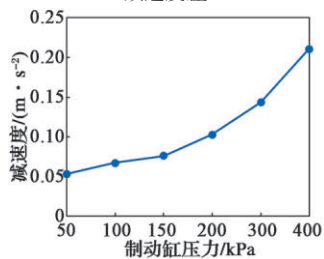


图 5 超载时各级制动缸压力下的减速度差

根据以上分析,为了提高制动系统的控制精确性,建议对踏面制动单元进行更多的试验,掌握其在相同的输出闸瓦压力下制动施加和缓解过程中制动缸压力差的规律性,以便对常用制动施加和缓解过程中各级制动缸压力目标值进行补偿。

3.2 对闸瓦磨耗等方面的影响及解决措施

目前很多城轨车辆制动系统都设置了预压力补偿功能,也就是在有制动指令时,即使不需要施加空气制动,踏面制动单元制动缸也会保留一定的压力^[3],使闸瓦与踏面处于“似贴非贴”的状态,从而消除电制动衰减时空气制动系统踏面制动单元的出闸时间。此补偿压力的大小与各厂家踏面制动单元的机械特性有关,一般在 30 kPa 左右。

电-空混合制动时,电制动反应比较慢,一般自接收到制动指令后 1.5~2 s 左右才开始发挥^[4],所以为了满足总制动力的需求并尽量缩短制动距离,这段时间内各车辆的空气制动系统会根据本车制动需求计算并投入空气制动,待电制动开始发挥后,制动缸压力再逐渐减小至预补偿压力,时序如图 6 所示。

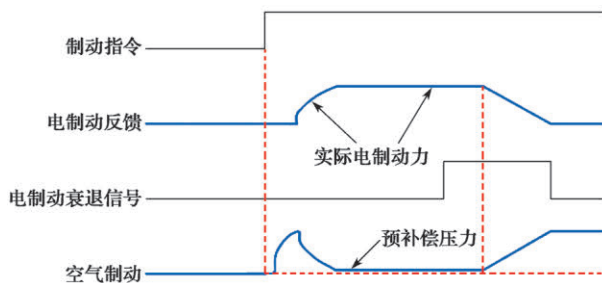


图 6 电-空混合制动时序图

根据前面的分析,当制动缸压力逐渐减小至 30 kPa 时,闸瓦压力却为 0.5 kN,此压力虽然对列车的减速度影响不大,但是影响了制动系统的整体性能:一方面无疑增大了闸瓦磨耗;另一方面恶化了瓦轮接触状态,加剧了车轮踏面制动热裂纹的产生^[5]。因此在设置了预压力补偿功能的前提下,建议采用已经在很多项目上实际应用的电-空混合逻辑—从接收到制动指令到电制动开始发挥的这段时间内,由牵引系统发出一个持续的虚拟电制动力信号,之后牵引系统再将实际输出的电制动力反馈给制动系统,这就避免了空气制动的补充。电-空混合制动时序图如图 7。

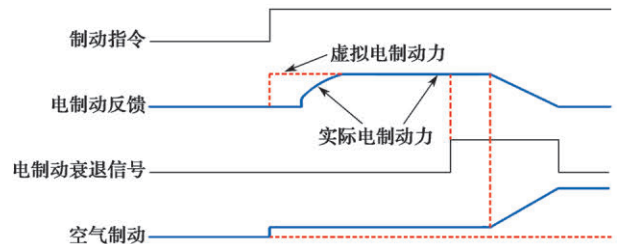


图 7 电-空混合制动时序图

4 结语

通过以上分析可以看出,踏面制动单元内部摩擦力对制动系统整体性能确实存在一定程度的影响,为此提出以下两点建议:

①进行常用制动控制逻辑设计时,应考虑踏面制动单元内部摩擦力而引起的减速度差,并建议进行补偿校正,以提高制动系统的精确度,从而保证列车运行的安全性。

②进行电-空混合制动或者预压力补偿逻辑设计时,为了减少运营成本并符合当今社会资源节约和环境友好的发展需求,应考虑踏面制动单元内部摩擦力对闸瓦磨耗及瓦轮接触状态等性能的影响。

参考文献:

- [1] 谢启明,王俊勇.BFCE 型踏面制动单元原理分析[J].机车电传动,2010(3):30-32.
- [2] 张振森.城市轨道交通车辆[M].北京:中国铁道出版社,2007.
- [3] 史富强,曹双胜.城市轨道交通车辆制动技术[M].重庆:重庆大学出版社,2014.
- [4] 葛超明,何鹏.城市轨道交通车辆牵引及供电系统[M].重庆:重庆大学出版社,2013.
- [5] 铁道部运输局.铁路货车轮轴典型损伤图册[M].北京:中国铁道出版社,2006.

作者简介:纪铅磊(1986—),男,硕士,现从事轨道交通车辆制动系统生产管理工作。