广州地铁 8 号线车辆制动参数对轮对、闸瓦的影响分析及优化

黄　幸

（佛山市轨道交通发展有限公司运营事业总部车辆维保部，528200，佛山//工程师）

摘　要　基于广州地铁 2、8 号线拆分后对 8 号线列车轮对、闸瓦磨耗及轮对病害的数据统计，总结以往的试验成果，分析不同制动参数对轮对、闸瓦磨耗及轮对病害的影响；综合定量成本分析，得出现阶段最优制动参数方案。此外提出了后续的优化思路和方向。通过优化制动参数降低了轮对、闸瓦磨耗，减少了轮对病害，达到了节约维护成本的目的。

关键词　地铁；车辆制动参数；轮对病害；闸瓦；磨耗

中图分类号　U260.13+8

DOI：10.16037/j.1007-869x.2020.07.031

Influence of Braking Parameters on Vehicle Wheel Set and Brake Shoe on Guangzhou Metro Line 8 and Optimization Scheme

HUANG Xing

Abstract　Based on the data statistics of wheel set, brake shoe wear and wheel set diseases on Guangzhou metro Line 8 after the split with Line 2, the previous test results are summarized, the impact of different braking parameters on wheel set, brake shoe wear and wheel set diseases is analyzed. On the basis of quantitative cost analysis, the optimal braking parameter program at this stage is obtained. In addition, the follow-up optimization ideas and directions are further proposed. The optimization of the braking parameters has effectively reduced the wear of wheel set and brake shoe, as well as the wheel set diseases, achieved the goal of saving maintenance cost.

Key words　metro; vehicle braking parameters; wheel set disease; brake shoe; wear

Author's address　Department of Vehicle Maintenance and Operation Center, Foshan Rail Transit Development Co., Ltd., 528200, Foshan, China

轮对、闸瓦作为地铁车辆的主要易耗件，降低它们的磨耗对于节省运营成本意义重大。制动参数对于轮对、闸瓦的磨耗有着直接影响，并与轮对病害存在一定的关联性。本文在前期对广州地铁 2、8 号线拆分引起轮对磨耗变化调查研究的基础上，通过一系列数据统计、定量分析，得出现阶段最优制动参数方案，降低了轮对、闸瓦磨耗，减少了轮对病害，达到了节约维护成本的目的。

1　车辆轮缘厚度偏大原因分析

由于线路条件的变化，拆分后广州地铁 8 号线（以下简称“8 号线”）列车轮径值磨耗较快，轮缘厚度值则呈变大趋势，轮对首次出现了轮缘厚度值偏大问题，多列列车轮缘厚度值达到了 33 mm 以上。

图 1 为 ORES1002 型踏面 32 mm 厚轮缘轮廓图。图 1 中，轮缘测量点下方的轮廓线斜率越来越小，因此当轮径的磨耗率大于 4.8 倍的轮缘厚度磨耗率时，轮缘测量点的位置将下移，使测量的厚度变大，即由于轮径磨耗过快使轮缘测量点下移，导致轮缘厚度变大。如此磨耗下去，轮缘厚度将随着轮径的磨耗变得越来越大，形成了轮缘偏大的问题。

轮缘厚度原始值为 32 mm，距离上限值只有 2 mm，其呈变大趋势发展会导致镟修频率的增加，对于测量的频率、精度要求较高；且拆分后的闸瓦磨耗也有所增大。因而，针对轮缘厚度变大、闸瓦磨耗增大问题，2012 年修改了踏面清扫施加逻辑。

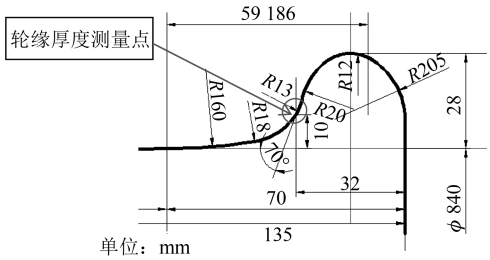

图 1　ORES1002 型踏面 32 mm 厚轮缘轮廓图

列车出厂时踏面清扫施加的逻辑为：ATO（列车自动运行）模式下，任何速度下列车接收到制动指令，踏面清扫气压立即施加。该逻辑未能充分

利用电制动，导致踏面、闸瓦磨耗较大，所以把踏面清扫施加的速度值由任何速度改为“小于 15 km/h”及“小于 45 km/h”两种方案（以下简称“15 km/h 方案”“45 km/h 方案”）进行持续跟踪验证。

逻辑修改后，有效减少了踏面清扫的频率，轮径的磨耗率和闸瓦磨耗率显著下降，则轮径的磨耗率小于 4.8 倍的轮缘厚度磨耗率，轮缘厚度偏大问题得到了解决。

2　轮对病害数据统计分析

解决了轮缘偏大问题后，在此后几年的运用中，轮对的病害却显著增加，导致镟修工作量大大增加，并造成轮对浪费。其中，轮对主要病害为轮对圆跳动、踏面擦伤、踏面翻边等。

对轮对病害简单定义如下：

1）轮对圆跳动：即单个轮对出现椭圆现象。

2）踏面擦伤：踏面因空转滑行、碾压外物等原因所产生的损伤。

3）踏面翻边：轮轨长时间相互作用导致踏面边缘形成毛刺。

广州地铁曾就轮对圆跳动、踏面擦伤、踏面飞边等轮对问题咨询庞巴迪，得到的答复大意为：目前并无证据表明该问题是由轨道方面的原因所造成；而针对车辆方面，加速时的空转、制动时的滑行是最可能的因素。初始踏面清扫逻辑下，踏面清扫的频率较现时的要高；每次施加踏面清扫时就会对轮对踏面进行一次修磨，由于空转滑行造成轮对不平或缺陷等都会被磨掉。而现时逻辑，由于施加次数减少，轮对表面的修磨也随之减少，因此，有缺陷的部位就会慢慢积累，最终形成轮对病害。

从理论上分析，“45 km/h 方案”在踏面上施加踏面清扫的频率更高，修磨作用也更多，有利于减少轮对病害；但该方案对于轮对、闸瓦的磨耗要较“15 km/h 方案”的大。因此，有必要对此进行定量分析，即分别对两种踏面清扫方案进行统计分析，通过对比以选出更优方案。

选取 12 列列车进行数据统计与分析，数据范围为 2013 年 6 月至 2016 月 3 月，所选列车在该时间段内制动参数均没有进行过修改。表 1 为两种方案下各轮对病害的统计数据。表 2—表 4 为轮径、轮缘、闸瓦磨耗统计表。表 5 为两种方案下轮对病害及轮对、闸瓦磨耗统计表。

表 5 体现了单节车每 10 万 km 因各病害而镟修的次数，数值越小表征该病害越少。从统计数据

表 1　轮对病害统计表

车号	圆跳动/起	踏面翻边、擦伤/起	轮径超差/起	轮缘偏小/起	运行里程/km	踏面清扫施加的速度值/(km/h)
5354	0	4	1	0	151 893	<45
5556	4	1	4	0	220 713	<15
5758	8	0	2	0	152 505	<15
5960	4	3	1	4	221 825	<45
6364	5	1	3	0	210 397	<15
6566	1	1	3	2	237 702	<45
6768	3	1	2	0	215 667	<45
6970	2	0	5	0	223 568	<45
7374	6	0	6	0	225 666	<45
7576	0	3	1	4	269 948	<15
7778	0	4	0	0	237 580	<45
7980	0	6	1	0	191 498	<15

表 2　轮径磨耗统计表

车号	车厢号	里程差/km	4#轮径差/mm	6#轮径差/mm	8#轮径差/mm	2#轮径差/mm	1#轮径差/mm	3#轮径差/mm	5#轮径差/mm	7#轮径差/mm	轮径平均磨耗率/(mm/(万 km))
5354	偶数 A	80 288	1.10	0.80	0.90	1.10	1.20	1.00	1.00	0.80	0.123
5354	偶数 B	80 288	1.80	1.10	1.40	1.60	1.90	1.60	1.30	1.30	0.187
5354	偶数 C	80 288	1.40	1.50	1.20	1.50	1.30	1.10	1.20	1.00	0.159
5354	奇数 A	70 082	1.30	1.50	1.50	1.30	1.50	1.20	1.00	1.10	0.185
5354	奇数 B	80 288	1.80	1.50	1.80	1.40	2.00	1.70	1.80	1.70	0.213
5354	奇数 C	59 534	0.60	0.70	0.80	1.20	1.30	0.80	0.80	0.80	0.147
5556	奇数 C	102 081	2.00	1.40	1.60	1.30	1.60	1.70	1.60	1.80	0.159

表 3　轮缘磨耗统计表

车号	车厢号	里程差/km	4#轮缘厚度差/mm	2#轮缘厚度差/mm	6#轮缘厚度差/mm	8#轮缘厚度差/mm	3#轮缘厚度差/mm	1#轮缘厚度差/mm	5#轮缘厚度差/mm	7#轮缘厚度差/mm	轮缘厚度平均磨耗率/(mm/(万 km))
5354	偶数 A	80 288	0.50	0.80	0.70	1.20	1.30	1.20	0.20	0.90	0.162
5354	偶数 B	80 288	1.00	0.60	0.10	0.50	0.20	0.20	0.90	0.40	0.125
5354	偶数 C	80 288	0.50	0.70	0.10	0.60	0.80	0.80	0.50	0.90	0.112
5354	奇数 A	70 082	1.90	1.70	1.30	2.30	1.90	1.50	1.30	1.80	0.328
5354	奇数 B	80 288	0.80	0.60	0.50	0.60	0.60	0.30	0.20	0.80	0.100
5354	奇数 C	59 534	0.10	0.30	0.10	0.10	0.20	0.20	0.10	0.10	0.050
5556	奇数 C	102 081	0.90	1.10	0.60	1.30	−0.10	0.30	−0.10	0.20	0.127

表 4　闸瓦磨耗统计表

车号	车厢号	里程差/km	1#闸瓦厚度差/mm	2#闸瓦厚度差/mm	3#闸瓦厚度差/mm	4#闸瓦厚度差/mm	5#闸瓦厚度差/mm	6#闸瓦厚度差/mm	7#闸瓦厚度差/mm	8#闸瓦厚度差/mm	闸瓦厚度平均磨耗率/(mm/(万 km))
5556	奇数 A	48 244	2.00	1.00	2.00	−1.00	0	3.50	2.00	1.00	0.272
5556	奇数 B	59 145	−1.00	0.50	−1.00	−1.00	1.50	0	1.00	1.50	0.032
5556	奇数 C	30 359	0.50	0	2.00	2.00	0.50	−0.50	−0.50	1.00	0.206
5556	偶数 A	59 145	0	1.00	0	1.00	2.00	0.50	3.00	1.00	0.180
5556	偶数 B	59 145	1.50	2.00	−1.00	1.00	2.50	0.50	1.00	0.50	0.169
5556	偶数 C	59 145	2.00	−0.50	1.00	−0.50	1.00	0	1.00	0	0.085

表 5　两种方案下轮对病害及轮对、闸瓦磨耗统计表

参数	不同方案下的取值	
	15 km/h 方案	45 km/h 方案
圆跳动镟修的次数/(次/(10 万 km·单节车))	0.271 116 550	0.176 145 38
踏面翻边、擦伤镟修的次数/(次/(10 万 km·单节车))	0.175 428 356	0.099 081 78
轮径超差镟修的次数/(次/(10 万 km·单节车))	0.175 428 356	0.198 163 55
轮缘偏小/(mm/(10 万 km·单节车))	0.063 792 130	0.066 054 52
轮径磨耗率/(mm/(10 万 km))	1.650 000 000	1.890 000 00
轮缘磨耗率/(mm/(10 万 km))	2.880 000 000	2.550 000 00
闸瓦磨耗率/(mm/(10 万 km))	1.280 000 000	2.590 000 00

结果来看,采用“45 km/h 方案”时,圆跳动、踏面翻边和擦伤等病害要明显优于“15 km/h 方案”。从轮径、轮缘磨耗来看,两方案相近,“45 km/h 方案”的轮径磨耗较“15 km/h 方案”略大,而轮缘磨耗较“15 km/h 方案”略小。

3　两方案成本对比分析

轮径超差、轮缘偏小、轮径磨耗率、轮缘磨耗率等数值相近且互有大小,因而在考虑成本时可撇除这几项。两种方案的成本分析如表 6 所示。

由表 6 可知,“45 km/h 方案”在成本上更具优势。此外,圆跳动、踏面翻边、擦伤等故障可通过镟修 3 mm 可修复。镟修作业的减少能降低因镟修而导致的调车作业成本、镟修工作成本等,也有利于降低轮对磨耗。因此目前已逐步将列车制动参数调整为“45 km/h 方案”。

表 6　两种方案下成本分析

方案	轮对成本/(元/(10 万 km·每列车))	闸瓦成本/(元/(10 万 km·每列车))	总成本/(元/(10 万 km·每列车))
15 km/h 方案	4 587	1 092	5 949
45 km/h 方案	2 828	2 210	5 038

4　轮径、轮缘磨耗率对轮对运用里程的影响

ATO 模式下踏面清扫气压施加控制逻辑的改变对于圆跳动、踏面擦伤、翻边等确实存在较大影响,通过改变该逻辑来减少圆跳动、踏面擦伤、翻边等将能有效减少镟修次数,提高轮对运用里程。

关于轮径、轮缘磨耗率对于轮对运用里程的影响,可采用式(1)—式(2)进行计算:

$$D_w x + 3D_w(b + c + d) + 30z = 70 \quad (1)$$

$$D_w y - 0.6D_w(b + c + d) = 6(z + 1) \quad (2)$$

式中:

D_w——轮对运用里程,万 km;

x——轮径磨耗率,mm/(万 km);

y——轮缘磨耗率,mm/(万 km);

b、c、d——每万 km 每节车因圆跳动、踏面异常、轮径超差进行的镟修次数;

z——因轮缘偏小(低于 26 mm)而进行镟修的次数。

上述公式中,镟修系数取 5.0。

通过式(1)—式(2),得出:

$$D_w = 100/(x + 5y) \quad (3)$$

若将两个方案的磨耗具体数值代入式(3),则可得出采用“45 km/h 方案”时,D_w为 104 万 km,采用“15 km/h 方案”时,D_w为 91 万 km。综上所述,可以得出“45 km/h 方案”更适用于 8 号线的实际运用。

由上述公式可以看出,要使 D_w最大化,理论上需使 $x+5y$ 的取值尽量减少。在实际运用中,轮径与轮缘磨耗率存在一定关联性,即轮径磨耗率的提高会降低轮缘磨耗率。如果能通过调整 ATO 模式下踏面清扫气压施加时的控制逻辑、踏面清扫气压等来使 $x+5y$ 的取值达到最小值,将能有效提高轮对运用里程。

当然,该公式还存在许多不足之处,例如:

1)轮对镟修后,在接下来的 1~2 万 km 中轮径及轮缘磨耗率将大大上升,减少轮对的镟修次数有利于提高轮对的运用里程;

2)轮对处在不同的轮径值和轮缘值范围时,其磨耗率有所差异,因此通过控制使轮对处在最佳轮径值、轮缘值范围内,并且尽量多进行运用也会有利于提高轮对运用里程。

5 结论

1)在广州地铁 8 号线现有线路条件下,踏面清扫施加采用“45 km/h 方案”时,圆跳动、踏面翻边和擦伤等故障要明显优于“15 km/h 方案”。轮径、轮缘磨耗两方案相近,“45 km/h 方案”的轮径磨耗较“15 km/h 方案”的大,而轮缘磨耗较“15 km/h 方案”的小。总体而言,“45 km/h 方案”在成本上有较大优势,因此现已逐步将列车踏面清扫参数调整为“45 km/h 方案”。

2)从理论上分析,通过调整 ATO 模式下踏面清扫气压施加的控制逻辑、踏面清扫气压等方式来使 $x+5y$ 的取值达到最小值,将能有效提高轮对运用里程。

参考文献

[1] KNORR-BREMSE.广州地铁 2 号线制动计算[Z].长春:长春长客-庞巴迪轨道车辆有限公司,2005..

[2] KNORR-BREMSE.广州地铁 2 号线项目技术说明[Z].长春:长春长客-庞巴迪轨道车辆有限公司,2005.

[3] 广州市地下铁道总公司.车辆检修工[M].北京:中国劳动社会保障出版社,2009.

[4] 巫红波,王明娟,吕劲松.广州地铁 2 号线车辆闸瓦与车辆磨耗异常分析及改进[J].电力机车与城轨车辆,2006(5):51.

(收稿日期:2018-07-20)

(上接第 145 页)

律,将乘客需要的营销及服务信息进行点到点的精准传达。

5)加快推进长三角区域的地铁二维码互联互通工作,吸引外地乘客向二维码支付转变。

4 结语

本文研究表明,地铁二维码支付产品也将历经培育期、增长期和平稳期这几个阶段,不同营销活动在不同特征日、不同客流规模和不同发展阶段将发挥不同的客流刺激效用。因此,各大城市地铁票务管理部门应面向数据导向,积极探索二维码客流变化规律及其影响因素和作用机理,在此基础上制定符合时代背景和乘客需求的多元化营销策略,以不断提升地铁二维码支付的吸引力和服务水平。

然而,由于地铁二维码支付起步和实施时间较短,涉及城市不广泛,因此本文基于上海轨道交通数据的建模方法和分析结论仍需不断完善。考虑城市交通、经济等差异化特征,考虑更全面的客流影响因素,积累更长久完备的数据等进行二维码客流分析与建模将是未来的研究方向。

参考文献

[1] 徐高峻.脱机二维码支付在城市轨道交通售检票系统中的应用[J].城市轨道交通研究,2018(8):146.

[2] 闫青.微信读书 APP 的 4P 营销策略研究[J].广西质量监督导报,2019(7):125.

[3] 陈维亚,潘鑫,方晓平.基于 K-means 聚类组合模型的公交线路客流短时预测[J].华南理工大学学报(自然科学版),2019(4):83.

[4] 胡建波.从产品生命周期看采购与供应[J].企业管理,2019(11):90.

[5] 孟子悦,左忠义,尹盼盼,等.高速铁路列车运行晚点特征分析[J].中国安全科学学报,2018(增刊 2):93.

[6] 伍煦,伍青生.应用结构方程模型及多元回归分析的营销系统研究[J].北京理工大学学报,2019(12):1315.

[7] 傅莺莺,田振坤,李裕梅.多元回归的参数线性约束检验及其应用[J].统计与决策,2020(2):21.

(收稿日期:2019-02-10)