

地铁车辆合成闸瓦产生裂纹的原因及其解决措施

孔德鹏¹ 王超恒¹ 李国庆¹ 尚小菲² 宋传云¹

(1. 中车青岛四方车辆研究所有限公司, 266031, 青岛; 2. 中车长客股份有限公司, 130052, 长春//第一作者, 高级工程师)

摘 要 对某 A 型地铁车辆采用的进口 JURID J2338 合成闸瓦产生裂纹的原因进行分析。闸瓦产生裂纹后须及时换新并提前报废处理,增加使用和维护成本;若闸瓦产生裂纹后未及时换新,可能进一步发生闸瓦掉块甚至造成磨托,影响列车的运行安全。通过对闸瓦与踏面的匹配关系分析、闸瓦的压缩强度校核计算及闸瓦弯曲试验,找到了 JURID J2338 合成闸瓦产生裂纹的主要原因是闸瓦局部存在应力集中。建议合成闸瓦装车后,采用小级别纯空气制动进行闸瓦磨合,使闸瓦与踏面有效接触面积达到 80% 以上,消除应力集中。

关键词 地铁列车; 合成闸瓦; 裂纹; 应力集中

中图分类号 U270. 351

DOI:10. 16037/j. 1007 - 869x. 2021. 07. 046

Causes and Countermeasures of Cracks in Composite Brake Shoe of Metro Vehicle

KONG Depeng, WANG Chaoheng, LI Guoqing, SHANG Xiaofei, SONG Chuanyun

Abstract The reason of cracks in imported JURID J2338 composite brake shoe used in an A-Type metro vehicle is analyzed. After the brake shoe cracks, it must be replaced in time and discarded in advance, which will increase the cost of use and maintenance. If the brake shoe is not replaced in time after the crack occurs, the brake shoe may further fall off and even cause wear, which affects the safety of train operation. Through analysis of the matching relationship between brake shoe and tread, compression strength calculation and bending test of brake shoe, it is found that the main reason for cracks occurring in JURID J2338 brake shoe is local stress concentration of the brake shoe. It is recommended that after synthetic brake shoes are loaded, a small-level air brake can be used during run-in period, so that the effective contact area of the brake shoe and the tread surface can reach more than 80% , and stress concentration can be eliminated.

Key words metro train; composite brake shoe; cracks;

stress concentration

First-author's address CRRC Qingdao Sifang Rolling Stock Research Institute Co. , Ltd. , 266031 , Qingdao , China

某 A 型地铁车辆采用了进口 JURID J2338 合成闸瓦,在使用过程中闸瓦容易出现裂纹。本文从 JURID J2338 合成闸瓦与车轮踏面匹配、闸瓦应力集中等方面对引起闸瓦裂纹的原因进行分析,并提出解决的建议措施。

1 JURID 合成闸瓦简介

JURID J2338 合成闸瓦由德国 JURID 公司制造,符合 UIC 541-4 标准^[1],主要应用于采用单侧单瓦踏面制动形式的 A 型地铁车辆上。每辆车通常配置 8 块 JURID J2338 合成闸瓦。该 A 型地铁车辆的部分参数及制动要求如表 1 所示。

表 1 某 A 型地铁车辆的部分参数及制动要求

序号	参数或要求	数值
1	车辆轴重/t	≤16
2	新轮轮径/mm	840
3	全磨耗轮轮径/mm	770
4	最大运行速度/(km/h)	80
5	紧急制动平均减速度/(m/s ²)	≥1. 2
6	AW3 下从 80 km/h 紧急制动至 0 所需距离/m	≤215
7	载荷不大于 AW2 时的紧急制动距离/m	≤190
8	AW3 下列车停放制动的坡度/‰	≤40
9	列车紧急制动闸瓦压力/kN	≥40

注:AW3——超员载重;AW2——定员载重。

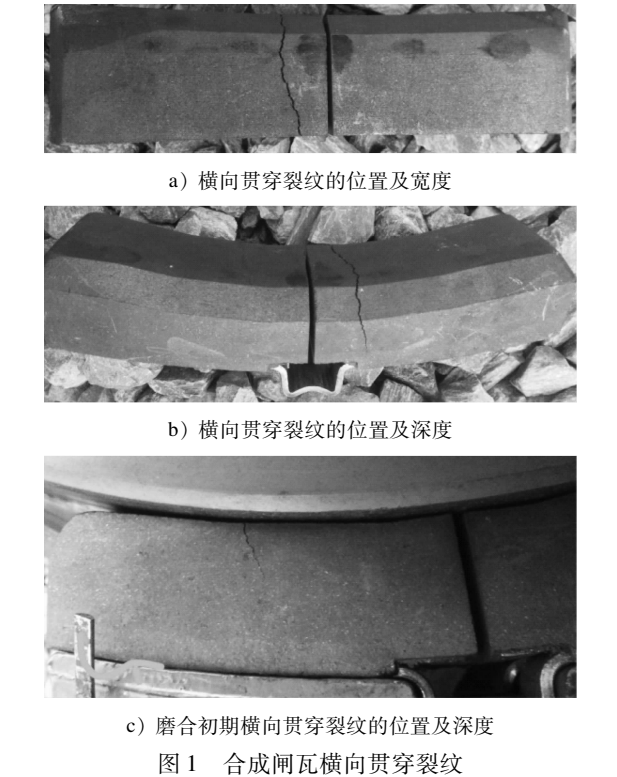
JURID J2338 合成闸瓦采用多内弧设计,即新闸瓦的摩擦面是由 5 个平面构成的组合轮廓,保证无论与新轮还是与旧轮匹配,均能在较短的磨合时间内使闸瓦与踏面的有效接触面积达到 80% 以上。JURID J2338 合成闸瓦的物理性能如表 2 所示。

表 2 JURID J2338 合成闸瓦的物理力学性能		
序号	参数	指标值
1	冲击强度/(kJ/m ²)	7.9
2	压缩强度/MPa	23.5
3	压缩模量/MPa	355
4	硬度/HRR	27
5	密度/(g/cm ³)	2.0
6	闸瓦有效摩擦面积/mm ³	25.6×10 ³

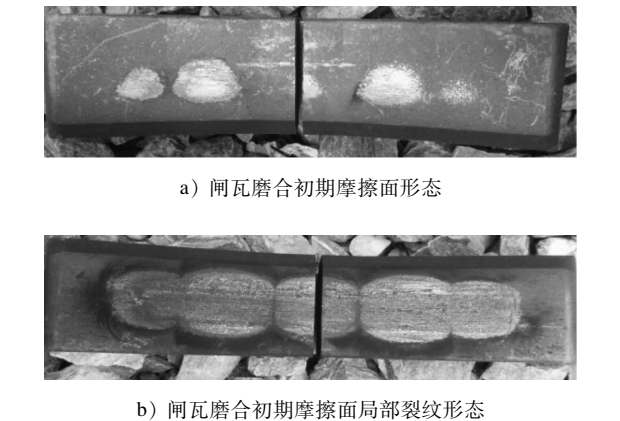
2 JURID J2338 合成闸瓦的裂纹情况

在地铁车辆的使用过程中,发现 JURID J2338 合成闸瓦易产生裂纹。闸瓦产生裂纹后需要更换,造成闸瓦提前报废,增加了使用及维护成本。如果闸瓦产生裂纹后未能及时更换,可能进一步导致闸瓦掉块、磨托等,进而影响列车的运行安全。通过对 JURID J2338 合成闸瓦裂纹的进一步调查,发现具有如下特点:

1) 产生裂纹的闸瓦多为刚刚更换的新闸瓦,且更换了闸瓦后的列车往往施加过较大级别(包括紧急制动)的纯空气制动。裂纹多数表现为沿闸瓦摩擦体宽度方向的横向裂纹,如图 1 a)所示,有一定深度,甚至贯穿了整个摩擦体的厚度方向,如图 1 b)、图 1 c)所示。裂纹的位置主要集中在闸瓦摩擦面组合平面结合区域。



2) 车辆更换闸瓦后,如果先施加小级别的纯空气制动进行闸瓦磨合,闸瓦一般不会产生裂纹。即使有些闸瓦产生了裂纹,其裂纹的深度往往较浅,且随着闸瓦进一步磨合,裂纹通常会消失。裂纹位置主要集中在闸瓦摩擦面组合平面结合区域或摩擦面局部接触面附近区域,如图 2 所示。



3) 经过磨合且未产生裂纹的闸瓦,在其全寿命周期内一般均不产生裂纹,磨合后的闸瓦摩擦面状态良好。

3 JURID J2338 合成闸瓦产生裂纹原因分析

通常情况下合成闸瓦产生裂纹是由以下原因引起:①闸瓦质量问题导致的裂纹,如闸瓦的强度不足、材料缺陷等;②热损伤造成的热裂纹;③应力集中引起的裂纹;④使用原因引起的裂纹;⑤其他原因引起的裂纹。

由于 JURID J2338 合成闸瓦裂纹的产生与“新闸瓦”、“大级别纯空气制动”、“磨合状态”等高度相关,且闸瓦裂纹位置较为集中,本文重点从闸瓦结构及应力方面进行分析。

3.1 闸瓦与车轮踏面匹配分析

3.1.1 闸瓦与车轮踏面的理论匹配关系

新 JURID J2338 合成闸瓦的摩擦面由 5 个平面组合而成,相邻平面间无圆角过渡。列车的车轮踏面为磨耗型踏面。新闸瓦与新轮/全磨耗轮在踏面滚动圆处的配合关系分别如图 3~4 所示。

从图 3 可以看出,新闸瓦与新轮匹配时,理论上闸瓦的平面 1、平面 5 与踏面接触,闸瓦的平面 2、平面 3、平面 4 呈悬空状态。由于新闸瓦的摩擦面为平面,而车轮为磨耗型踏面,两者只能局部接触。

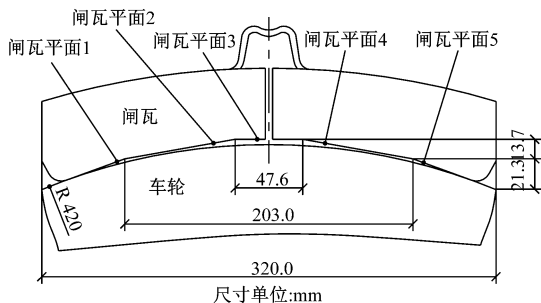


图3 新闸瓦与新轮在踏面滚动圆处的配合示意图

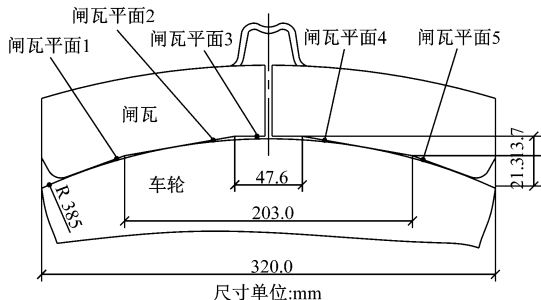


图4 新闸瓦与全磨损轮在踏面滚动圆处的配合示意图

从图4可以看出,新闸瓦与全磨损轮匹配时,理论上闸瓦的平面2、平面4与踏面接触,闸瓦的平面1、平面3、平面5呈悬空状态,局部接触。

3.1.2 闸瓦与车轮踏面的实际匹配关系

如图5所示,新闸瓦与新轮踏面样板进行实物匹配,可以看出靠近闸瓦中部的2个平面与踏面接触,其余均呈悬空状态。



图5 新闸瓦与新轮踏面样板的配合示意图

3.2 闸瓦压缩强度校核

新闸瓦在接触面上局部压应力的计算式为:

$$\sigma = K / (S \times 5\%) \quad (1)$$

式中:

σ ——新闸瓦在接触面上的局部压应力,MPa;

K ——闸瓦压力,kN;

S ——闸瓦与车轮踏面接触面积, m^2 。

式(1)中,新闸瓦与踏面的有效接触面积约占闸瓦摩擦面面积的5%, K 取40 kN, S 取 $32 \times 10^{-6} \text{ m}^2$,可得到闸瓦压力为40 kN时新闸瓦接触面上的局部压应力为25 MPa。该局部压应力已略微超出

闸瓦的压缩强度极限(23.5 MPa),容易在接触面及四周产生局部裂纹。

3.3 闸瓦弯曲试验

闸瓦摩擦体为有机合成材料,其材料特性与刚体、连续弹性体等有显著的不同,难以通过计算的方法求解出制动时施加的闸瓦压力与闸瓦应力的对应关系。为了模拟新闸瓦与踏面的接触关系,本文对JURID J2338合成闸瓦进行了半瓦弯曲试验,图6为半瓦弯曲试验压力位移曲线。

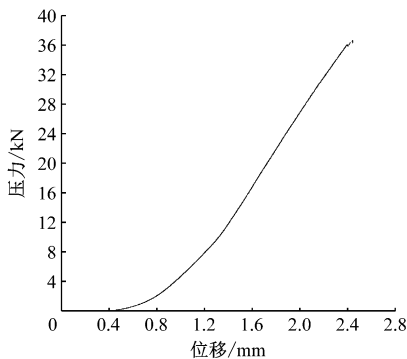


图6 闸瓦弯曲试验加载曲线

半瓦弯曲试验当施加的压力达到36 kN时,闸瓦摩擦体产生贯穿裂纹,裂纹的位置及形态与图1 a)、图1 b)所示实际运用中产生的裂纹吻合。

由上文的分析可知,未经磨合的新闸瓦装车后,新闸瓦与车轮踏面局部接触。列车施加较大级别(包括紧急制动)的纯空气制动,在闸瓦与踏面的局部接触面和四周,以及闸瓦摩擦面平面结合处出现应力集中。应力超过闸瓦的抗压和抗拉强度极限,闸瓦产生裂纹。

4 解决措施及列车制动试验验证

针对闸瓦产生裂纹的具体原因,有两种解决措施:一是通过优化闸瓦的摩擦面形状,消除闸瓦摩擦体的局部应力集中;二是采用小级别纯空气制动磨合闸瓦,消除闸瓦摩擦体的局部应力集中。而在实际应用中则是通过对装用新闸瓦的A型地铁车辆先施加数次的小级别纯空气制动,磨合闸瓦,直至闸瓦与踏面的有效接触面积达到80%以上^[2]。对于因应力集中导致的闸瓦裂纹,该措施起到了非常好的效果。

某A型地铁车辆的制动试验情况表明:装用新闸瓦后立即进行较大级别(包括紧急制动)的纯空气制动,1列车上的48块闸瓦中最多有8块闸瓦产

(下转第215页)

件时取 400 m,在困难条件时取 200 m。

结合运行安全和舒适性条件,齿轨铁路最小竖曲线半径在一般条件时取 400 m,在困难条件时取 200 m。

3.2.2.3 最大竖曲线半径

比对国内轮轨交通的相关要求,齿轨铁路的最大竖曲线半径不宜大于 4 000 m。

3.2.3 竖曲线设置的坡度差

齿轨列车的质量较小,且采用密接式车钩,相邻坡段的坡度差不受限制,故齿轨线路竖曲线的坡度差可参照 GB 50157—2013《地铁设计规范》规定设置。

3.3 相邻竖曲线间的夹直线长度

夹直线长度需保证齿轨车辆在竖曲线路段的振动衰减完全。经初步研究,不同速度下车体在竖曲线起点处的振动衰减距离约为 7 ~ 11 m,因此相邻竖曲线间最小夹直线长度暂推荐为 15 m。

3.4 最小坡段长度 l_{\min}

l_{\min} 应结合竖曲线半径和相邻坡段最大坡度差计算,其计算式为:

$$l_{\min} = 2 R_{\text{SH}} \Delta i_{\max} / 2\,000 + 0.4 v_{\max} \quad (14)$$

式中:

R_{SH} ——竖曲线半径,m;

Δi_{\max} ——相邻坡段最大坡度差,‰。

齿轨列车按 3 节编组考虑,车辆两端预留 15

m,由式(14)可得 l_{\min} 为 100 m。

4 结语

本文从静态计算的角度出发,参考国内轮轨铁路平纵断面参数计算理论及实际运行经验,以张家界七星山观光火车项目为案例,研究了齿轨铁路的线路平纵断面主要技术参数,初步分析了齿轨铁路的线路曲线半径、缓和曲线、线间距、最大坡度及竖曲线设置、坡段长度的限制条件,并给出了相应的取值范围。本文的研究成果可以在工程设计中作参考运用。

参考文献

- [1] 李发福,刘梦汝.关于齿轨制式车辆的特点及应用于山地旅游项目工程化的要点[J].科学技术创新,2019(18):15.
- [2] 中铁第一勘察设计院集团有限公司.新建张家界七星山观光火车项目初步设计[R].西安:中铁第一勘察设计院集团有限公司,2019.
- [3] 冯慧森.菲律宾北吕宋窄轨铁路线路设计标准研究[J].铁道标准设计,2011(11):24.
- [4] 欧阳全裕,李际胜,杨作刚.城市轨道交通市郊线特点与线路技术参数研讨[J].城市轨道交通研究,2008(9):9.
- [5] 王彦琛.时速 140 km 地铁线路主要技术标准探讨[J].铁道标准设计,2016(7):69.
- [6] 蒋登伟,谢毅,易思蓉,等.莫斯科至喀山高速铁路竖曲线半径研究[J].铁道标准设计,2018(6):25.

(收稿日期:2021-01-05)

(上接第 210 页)

生了裂纹,裂纹产生的比例为 1/6;而装用新闸瓦后先进行小级别的纯空气制动,待闸瓦与踏面的有效接触面积达到 80% 以上后再进行较大级别(包括紧急制动)的纯空气制动,1 列车 48 块闸瓦中仅有 1 块闸瓦产生了裂纹,裂纹产生比例为 1/48,且该裂纹的深度较浅,无需更换闸瓦。

5 结论

1) 应力集中是引起地铁列车新的 JURID J2338 合成闸瓦产生裂纹的主要原因。

2) 新的 JURID J2338 合成闸瓦安装后,地铁列车不宜立即施加较大级别的纯空气制动,闸瓦压力不宜超过 36 kN。建议先采用小级别(闸瓦压力 30 kN 以下)的纯空气制动进行闸瓦磨合,使闸瓦与踏

面有效接触面积达到 80% 以上。

3) 新的 JURID J2338 合成闸瓦安装后,应做好闸瓦运用状态的检查工作。如发现闸瓦出现裂纹,尤其是贯穿型裂纹,应立即予以更换,保证地铁列车的运行安全。

参考文献

- [1] International Union of Railways. Brakes-Brakes with components brake blocks-General conditions for certification of composite brake blocks;UIC 541-4[S]. Paris: International Union of Railways, 2010:2.
- [2] 中国城市轨道交通协会技术装备专业委员会.城市轨道交通车辆电空制动系统装车后的试验规则:CZJS/T 0006—2015[S].北京:中国城市轨道交通协会,2015:7.

(收稿日期:2019-06-28)