

城市轨道交通车辆转向架踏面制动单元闸瓦吊销轴松脱故障原因分析及优化

甄文通 褚洪菲 刘顾同 李 津

(徐州地铁运营有限公司, 221005, 徐州//第一作者, 高级工程师)

摘 要 针对城市轨道交通车辆转向架踏面制动单元闸瓦吊销轴松脱现象,结合闸瓦吊销轴连接结构的特点,验算了螺栓紧固力矩,调查了螺栓质量检验控制结果,并核查了闸瓦吊销轴安装工艺的规定及执行标准,推断得到销轴螺纹孔内残存的防锈油降低了锁固胶强度,是引发闸瓦吊销轴松脱故障的根本原因。通过相关模拟试验验证了该推断的正确性。针对故障原因,提出改用高强度螺纹锁固胶、增设双叠自锁垫圈、增大紧固扭矩等优化措施。相关试验及应用结果表明,优化措施可有效避免类似故障的发生。

关键词 城市轨道交通; 车辆; 转向架; 踏面制动单元; 闸瓦吊销轴脱落故障

中图分类号 U270.331

DOI:10.16037/j.1007-869x.2022.08.036

Cause Analysis and Optimization of Loose Revocation Shaft of Brake Shoe Pin of Bogie Tread Brake Unit of Urban Rail Transit Vehicle

ZHEN Wentong, CHU Hongfei, LIU Gutong, LI Jin

Abstract Targeting urban rail transit vehicle bogie brake shoe pin revoked tread braking unit shaft loose phenomenon, based on the characteristics of brake shoe pin revoked shaft connection structure, bolt tightening torque is checked with calculation and bolt quality inspection control is investigated. The brake shoe revoked shaft installation process rules and enforcement is examined, which further concluded that pin screw hole residual rust-preventative oil decreases the intensity of locking glue, which is the root cause of the loose fault of brake shoe pin revocation shaft. The correctness of the inference is verified by the relevant simulation experiments. In view of the fault cause, the optimization measures such as using high strength thread locking glue, adding double self-locking gasket and increasing tightening torque are put forward. The results of relevant tests and applications show that the optimized measures can effectively avoid the occurrence of similar faults.

Key words urban rail transit; vehicle; bogie; tread brake u-

nit; loose revocation shaft of brake shoe pin

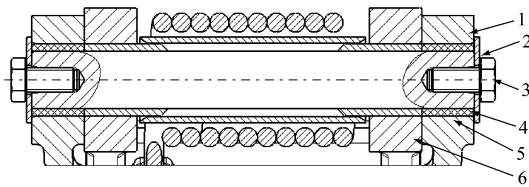
Author's address Xuzhou Metro Operation Co., Ltd., 221005, Xuzhou, China

在对徐州地铁列车的检查中发现,部分车辆出现转向架踏面制动单元闸瓦吊销轴(以下简称“闸瓦吊销轴”)松脱故障。经现场确认,该故障由紧固螺栓及支撑环脱落引起。闸瓦吊销轴主要起到连接闸瓦托及箱体的铰链作用。如果销轴松脱,闸瓦则会从车上脱落,从而严重影响运营安全。因此,有必要深入分析闸瓦吊销轴脱落故障的根本原因,并采取相应的优化措施,以避免此类故障引起的严重后果。

1 闸瓦吊销轴脱落故障的根本原因

1.1 闸瓦吊销轴连接结构

闸瓦吊销轴连接结构如图1所示。由图1可见,闸瓦吊销轴两端通过连接螺栓将2片支撑环固定,以防止闸瓦吊销轴左右脱出。



注:1——闸瓦吊;2——支撑环;3——连接螺栓;
4——闸瓦吊销轴;5——衬套;6——箱体。

图1 闸瓦吊销轴连接结构示意图

Fig.1 Schematic diagram of brake shoe revocation shaft structure

1.2 闸瓦吊销轴脱落的原因

由闸瓦吊销轴的连接结构可知,闸瓦吊销轴脱松是由连接螺栓松脱引起的。进一步分析可知,发生螺栓松脱的可能原因为:①螺栓紧固力矩偏低,

未达到规定的扭矩要求;② 螺栓的螺纹锁固胶固化不良;③ 未严格按照安装工艺规定执行;④ 销轴相关配合尺寸不满足要求。

1.2.1 螺栓紧固力矩

从设计上核准闸瓦吊销螺栓力矩分析,有:

$$T = T_1 + T_2 = KF_0d_0 \tag{1}$$

式中:

- T ——拧紧扭矩;
- T_1 ——螺纹摩擦力造成的力矩;
- T_2 ——螺栓断面摩擦力造成的力矩;
- F_0 ——轴向预紧力;
- d_0 ——螺栓的公称直径;
- K ——拧紧力矩系数。

闸瓦吊销轴表面均采用锰酸盐处理,故本文中 K 取 0.24 (无润滑)。经计算,当 $T = 25.5 \text{ N} \cdot \text{m}$ 时, $F_0 = 10\,625 \text{ N}$,满足设计要求。

1.2.2 闸瓦吊销轴的质量控制检验

在零部件入厂检验中,对闸瓦吊及闸瓦吊销轴的配合尺寸、螺纹规格等进行检验。在生产过程检验中,对扭力工具有效期及螺纹锁固胶有效期等过程要素进行确认,并对清洗、涂抹锁固胶等操作及相应工艺的文件符合性进行检验;同时,按照零缺陷 ($C=0$) 抽样方案、AQL (接收质量限) 为 1.5 的抽样标准,对扭矩施加有效性进行复核。完工检验时,检查六角头螺栓、支撑环及闸瓦吊销轴的安装状态。每周对安装扭力工具进行校验,确认工具状态。故障发生后,从供应商库存零部件中随机抽取了 10 件闸瓦吊及 10 件闸瓦吊销轴,经配合尺寸检查,均满足图纸设计要求。上述质量控制检验结果表明,零部件均为合格产品。

1.2.3 闸瓦吊销轴安装工艺

由于闸瓦吊销轴表面采用了锰酸盐及防锈油防腐处理,故现有闸瓦吊销轴安装工艺规定:首先,在产品组装前须用清洗剂清洗闸瓦吊销轴螺纹孔内油污,并用风枪吹干;然后,在螺纹前端 2~3 牙位置涂抹乐泰 243 螺纹锁固厌氧胶 (以下简为“乐泰 243 胶”),且涂抹量约为 0.2 ml;紧固扭矩为 25.5 N·m,并在紧固处画好防松标记。

经核查,上述工艺规定满足生产工艺要求。但在现场拆解故障件时发现,螺纹孔内依然存在油污。这说明,现场未能按照工艺规定要求严格执行,未能彻底清除螺纹孔内油污,从而导致螺栓螺纹紧固胶固化不良。由此可以推断,螺纹孔内残留

的防锈油是闸瓦吊销轴松脱的主要原因。

1.3 闸瓦吊销轴脱落原因的试验验证

为验证扭矩、螺纹锁固胶以及防锈油对紧固效果的影响,按照 IEC 61373 中 2 类工况,对踏面制动单元按 3 个方向分别进行 5 h 模拟长寿命试验及模拟振动冲击试验。经试验测试,产品性能正常,能满足 T/CAMET 04004.8—2018《城市轨道交通车辆制动系统,第 8 部分:踏面制动单元技术规范》^[1] 的要求。冲击试验垂向、横向、纵向 3 个方向尖峰加速度为 300 m/s²,额定试验时间为 18 ms,试验频率为 5~250 Hz。模拟长寿命试验以及振动冲击试验及结果如表 1~2 所示。

表 1 模拟长寿命试验条件

Tab.1 Long lifespan test simulation conditions		
方向	功能试验 ASD/ ((m/s ²) ² /Hz)	加速度均方根值/ (m/s ²)
垂向	11.84	42.5
横向	8.96	37.0
纵向	2.62	20.0

注:ASD——加速度频谱密度。

表 2 模拟振动冲击试验条件及结果

Tab.2 Conditions and results of simulation vibration and impact test		
序号	试验条件	试验结果
1	紧固扭矩为 25.5 N·m,无螺纹锁固胶,螺纹孔残留防锈油	无异常
2	紧固扭矩为 5.0 N·m,无螺纹锁固胶,螺纹孔无防锈油	无异常
3	紧固扭矩为 25.5 N·m,有乐泰 243 胶,螺纹孔残留防锈油	无异常
4	紧固扭矩为 5.0 N·m,有乐泰 243 胶,螺纹孔残留防锈油	螺栓松动

由模拟长寿命试验及振动冲击试验结果,在低扭矩且残留防锈油的情况下,闸瓦吊销轴螺栓的防松性能下降,可能导致闸瓦吊销轴松脱。

为研究防锈油残留对螺纹锁固胶紧固效果的影响,在采用乐泰 243 锁固胶、紧固扭矩为 25.5 N·m 的工况下,进行螺栓松脱试验,结果如表 3 所示。由表 3 可见,防锈油残留会明显影响螺栓锁固胶的固化效果,降低螺栓连接强度。

上述模拟试验结果进一步验证了闸瓦吊销轴脱落的原因。如果闸瓦吊销轴在组装前未能将防锈油彻底清理,则将影响螺纹锁固胶的固化效果,从而降低螺纹副的锁固性能。

表 3 螺栓松脱扭矩影响分析

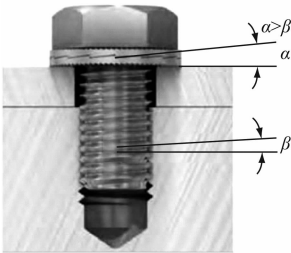
Tab. 3 Influence analysis of bolt release torque					
防锈油残留情况	松脱扭矩测试结果/(N·m)				松脱扭矩平均值/(N·m)
	第 1 组	第 2 组	第 3 组	第 4 组	
有	22.9	21.9	19.9	20.6	21.3
无	25.9	24.7	28.8	25.0	26.1

2 针对闸瓦吊销轴脱落故障的优化

基于对质量、工艺及试验等分析,踏面制动单元闸瓦吊销轴连接结构优化措施主要为:改用乐泰 272 螺纹锁固胶(以下简为“乐泰 272 胶”),增设双叠自锁垫圈,将紧固扭矩增至 49 N·m。

1) 改用乐泰 272 胶。现使用的乐泰 243 胶为高强度螺纹锁固胶。与乐泰 243 胶相比,乐泰 272 胶为高强度锁固胶,其平均拆卸扭矩更大,具有更好的锁固效果。

2) 增设双叠自锁垫圈。为了进一步防止螺栓松脱,可在连接螺栓与支撑环之间增设双叠自锁垫圈(符合 DIM 2501 对螺栓连接等级的要求)。1 套双叠自锁垫圈由 2 片相同的垫圈组成,其结构原理如图 2 所示。每片垫圈的上、下面都带有不同锯齿:一面为凸轮状大齿,其斜坡角度 α 大于螺栓螺纹角 β ;另一面为较密小齿。安装垫圈时,大齿面相对,并成对安装。小齿面分别与螺母和被紧固件接触。拧紧螺栓连接紧固件后,一旦发生振动,则大齿面就会错动抬升,因 $\alpha > \beta$,故螺栓将被锁住,不能松动。



注: α 为凸轮状大齿斜坡角; β 为螺栓螺纹角。

图 2 双叠自锁垫圈原理图示

Fig. 2 Illustration of principle of double self-locking gasket

3) 增大闸瓦吊销轴的螺栓紧固扭矩。对于性能等级为 8.8 级的 M10 螺栓,可将紧固扭矩增大至 49 N·m。闸瓦吊销轴材料为 45 号钢,螺栓旋合深度为 16 mm,相应的闸瓦吊销轴内螺纹孔强度校核如表 4 所示(VDI 2230—2010《高强度螺栓紧固系统设计计算》)。由表 4 可知: $\sigma_{p,a} > \sigma_p$,即螺纹挤压

应力满足螺纹抗挤压要求; $\tau_a > \tau$,即螺纹剪切应力满足螺纹抗剪切要求; $\sigma_{b,a} > \sigma_b$,即螺纹弯曲应力满足螺纹抗弯曲要求;原螺栓的强度、牙型及螺距等均满足紧固扭矩增大的要求。

表 4 螺纹孔强度校核

Tab. 4 Threaded holes strength examination		
校核项目	校核计算式	计算值
大径 D_1 /mm		10.000
中径 D_2 /mm		9.030
小径 D_3 /mm		8.340
导程 S /mm		1.500
紧固扭矩为 49 N·m 对应的预紧力 F /N		20 416
螺纹牙根部宽度 b /mm	$b = 0.65S$	0.975
螺纹工作高度 h /mm	$h = 0.5S$	0.750
旋合圈数 z	$z = 16 \text{ mm}/S$	10.67
挤压应力 σ_p /MPa	$\sigma_p = F/(\pi D_2 h z)$	88.67
剪切应力 τ /MPa	$\tau = F/(\pi D_3 b z)$	60.45
弯曲应力 σ_b /MPa	$\sigma_b = 3Fh/(2\pi D_1 b z)$	9.1
材料屈服应力 σ_s /MPa		355.0
材料许用拉应力 σ_a /MPa	$\sigma_a = \sigma_s/2$	177.50
许用挤压应力 $\sigma_{p,a}$ /MPa	$\sigma_{p,a} = \sigma_a$	177.50
许用切应力 τ_a /MPa	$\tau_a = 0.6 \sigma_a$	106.50
许用弯曲应力 $\sigma_{b,a}$ /MPa	$\sigma_{b,a} = \sigma_a$	177.50

3 优化效果验证

对优化后的闸瓦吊销轴进行螺纹紧固力矩试验检测。结果显示:螺栓螺纹通止规检测合格;销轴螺纹通止规检测合格;螺纹拆卸力矩高达 38.5 N·m,比表 3 中有防锈油残留时的松脱扭矩(21.3 N·m)高出约 80%。

对完成优化整改后的列车进行试车线运行、过弯运行、模拟线路运行及纯空气线路运行的制动工况冲击振动试验。试验结果表明,优化效果明显。优化后列车在 1 年的上线运营跟踪观察中,未再出现闸瓦吊销轴松脱的故障,取得了预期效果。

4 结语

通过对闸瓦吊销轴松脱故障件的调查和试验,确认了闸瓦吊销松脱的根本原因。由于组装前,未能彻底清理销轴内螺纹孔的防锈油,导致残留的防

(下转第 165 页)