

某地铁车辆轴箱轴承失效故障分析及改进建议

赵伟龙 梁学文

(广州地铁集团有限公司, 511400, 广州)

摘要 [目的] 地铁车辆轴箱轴承失效会造成轮对卡滞, 轻则清客、救援, 重则导致车辆堵塞区间甚至造成出轨事故, 严重影响到车辆的服务水平和运营安全。某地铁线路在运营过程中曾出现2次轴承失效问题, 需要对其失效原因进行深入分析。[方法] 对失效的轴箱轴承部件状态进行了采样分析, 对维修及使用过程进行追溯, 以及对同批次、同使用条件下的轴承开展了振动、温度、影像等跟踪测试, 同时对轴承及附属部件安装结构和配合尺寸等方面进行了系统分析。[结果及结论] 分析结果表明, 轴端接地装置绝缘板加工倒角超出设计尺寸上限, 导致接合面密封不良, 车辆运营过程中空调冷凝水沿接合面进入轴箱轴承, 引起润滑油脂乳化变质、润滑能力下降, 使轴承发热失效。

关键词 地铁车辆; 轴箱轴承; 密封性; 故障分析

中图分类号 U270.33:U231

DOI:10.16037/j.1007-869x.2025.03.058

Failure Fault Analysis and Improvement Recommendations for Axlebox Bearing Failures in Metro Vehicle

ZHAO Weilong, LIANG Xuewen

(Guangzhou Metro Group Co., Ltd., 511400, Guangzhou, China)

Abstract [Objective] Axlebox bearing failures in metro vehicles can lead to wheelset seizing, resulting in scenarios ranging from passenger evacuation and vehicle rescue to severe incidents such as interval blockages or even derailments. These failures significantly compromise vehicle service performance and operational safety. A particular metro line experiences two instances of bearing failure during operation, necessitating an in-depth analysis of the root causes. [Method] A detailed sampling analysis is conducted on the failure axlebox bearing components. Retrospective checking of the maintenance and operational processes are traced, and tracking tests are conducted on vibration, temperature, and imaging of bearings from the same batch under same operating conditions. Additionally, a systematic analysis is conducted on the installation structure and fitting dimensions of the bearings and the auxiliary components. [Result & Conclusion] The analysis results reveal that the chamfering of the insulation board in the axle-end ground-

ing device exceeds the upper design limit, leading to poor sealing at the joint surface. During vehicle operation, air-conditioning condensate infiltrates the axlebox bearings along the joint surface, causing emulsification and degradation of the lubricant, which results in reduced lubrication performance, bearing overheating and eventual bearing failure.

Key words metro vehicle; axlebox bearing; sealing performance; fault analysis

地铁车辆轴箱轴承是车辆构架和轮对之间降低滚动摩擦、承载列车重量和传递载荷的重要部件, 对地铁车辆安全运营起着至关重要的作用。失效是轴承故障的最终形式, 轴承将无法正常运转与承载, 甚至发生内、外圈及滚动体变形, 通常伴有噪音、高温等现象, 使列车无法继续提供运营服务, 甚至堵塞区间或脱轨。

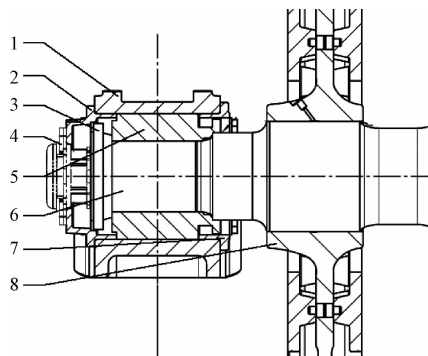
本文通过对某地铁车辆发生的2次轴箱轴承失效故障进行调查分析, 采取针对性解决措施, 以避免相关问题的再次出现, 保障地铁车辆安全运营, 同时为同行提供借鉴思路。

1 轴箱轴承的安装结构

某地铁车辆所用轴箱轴承为SKF品牌的双列圆锥滚子轴承, 系整体自密封结构。轴承滚子之间采用塑钢保持架进行限位, 两列滚子之间设有金属隔圈, 两端采用金属橡胶密封环密封, 内部填充润滑脂。

轴承安装结构如图1所示。轴箱轴承通过过盈配合安装在轴径上, 内圈靠轴肩和轴承挡圈在车轴上定位, 外圈靠内外端盖与轴箱定位。部分轮对的轴箱外端盖装有接地装置或速度传感器。轴箱和内外端盖以及外端盖和接地装置之间的安装面装有密封圈, 从而起到防水、防尘的密封作用, 以避免水、杂质进入轴承, 造成润滑脂性能下降。

根据轴承的使用维护手册, 该轴承设计使用寿命为200万km。每间隔60~80万km需要返厂进



注:1—轴箱;2—外端盖;3—挡圈;4—接地装置;5—轴承;6—车轴;
7—内端盖;8—车轮。

图1 轴箱轴承安装结构

Fig.1 Installation structure of axlebox bearings

进行一次检查、维修,更换油脂和密封件等。

2 轴承失效情况

根据故障记录,该线路列车自开通运营以来,共计出现2起轴承失效故障,均为在车辆运营时出现烧焦味后立即停止运营,因处理及时,未对正线运营造成较大影响。

2起故障的轴箱和轴承均出现明显的高温变色,轴箱上用以监测轴箱温度的温度贴呈焦黑状;轴承严重受损,轴承密封环碎裂,塑钢保持架大部分熔融,滚子从内部脱出并出现变形;内外圈轴承滚道凹凸不平,轴承挡圈安装螺栓断裂;轴箱端盖附带的接地装置铜支架碎裂,接地碳刷粉末化,如图2所示。



图2 失效轴承部件状态

Fig.2 Status of failure bearing components

3 轴承失效原因调查

3.1 失效轴承的使用、维修情况

失效的2套轴承一直在同一线路、相同车型上安装使用,线路状态良好,高峰时段载客量较大,但

未超出车辆和轴承的承载能力。

截止故障发生时刻,2套轴承运用总里程分别为112万km、166万km,最近一次维修后分别装车运营39万km、48万km,维修周期满足要求。经回查轴承返厂维修记录,轴承的检查、探伤均未见异常,内外圈关键尺寸、加油量符合限度要求;轴承的包装、运输过程规范,装配记录无异常。

3.2 轴承的振动测试情况

根据机械类部件的一般失效过程,通常经历振动、噪声、发热、失效4个阶段,部件的异常振动是发生失效的前兆。为避免再次发生轴承正线失效的故障,以及根据前期故障征兆分析故障原因,使用在线检测装置对2起故障轴承相同维修批次的180套轴承进行了振动测试,其中6套轴承在加速度包络图上出现较为明显的缺陷频率,需要退卸检查。

3.3 轴承退卸检查

结合振动测试情况,对有振动缺陷频率和故障轴承同转向架安装的轴承进行退卸检查。发现部分轴箱内部存在水迹,轴承与轴箱间的抗蠕动腐蚀剂存在乳化现象,轴承内部油脂严重乳化变色,中隔圈生锈,个别轴承滚子和滚道出现热变色,如图3所示。



图3 轴承内乳化的油脂

Fig.3 Emulsified lubricating grease inside bearing

轴承油脂是降低摩擦,并提供散热、防锈、吸振等功能的重要组成部分,轴承的正常运行离不开有效的润滑。轴承进水会导致油脂基础油氧化,氧化产物与水再接触,又会生成酸性物质腐蚀金属;同时,水还会造成油脂内的抗磨剂、抗挤压剂、抗氧化剂等添加剂的水解、结团、流失,使油脂呈油泥状,影响油的黏度和正常流动性,丧失油脂的润滑能力,进而造成轴承失效。

根据排查分析,本次2起轴承失效故障,与轴承进水有直接关系。

4 轴承进水原因调查及改进措施

4.1 水源排查

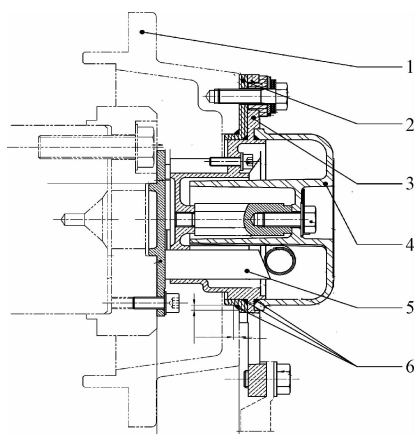
轴承的压装和轴箱的维修均在远离水源的场所下开展,不会有水进入轴箱。根据轴承的压装记录日期,作业期间天气干燥,环境无显著温差变化,不会产生冷凝水,且大部分与进水轴箱同时期、同环境下维修,以及在同条件下运用的轴箱均为无进水情况,这说明水并非在维修过程中进入。

对所有进水轴承进行整理对比,发现均为带有接地装置轴箱的轴承,且个别接地装置金属部位有生锈或水痕。对曾进水轴箱通过实时摄像和每日开箱检查跟踪,发现在列车运营时,空调冷凝水会飘落至轴箱部位,在列车运营2 d左右,轴箱内即会出现明显集水现象。表明轴箱内的水来自于空调冷凝水,从轴箱端盖和接地装置处渗入。

4.2 渗水原因分析

查阅相关设计资料和图纸,轴箱外端盖和接地装置的设计防护等级为IP65,具备从任何角度抵挡喷射的防水能力。但根据喷水测试,实际上无法达到设计防水等级要求,渗水位置为接地装置密封圈处。

接地装置安装结构如图4所示。接地装置主要由铜支架、绝缘板、压盖、碳刷和相应的紧固连接部件等组成。在绝缘板和轴箱、绝缘板和铜支架、铜支架和压盖之间设有密封圈,均通过部件倒角将密封圈挤压在接合面。



注:1—外端盖;2—绝缘板;3—铜支架;4—压盖;5—碳刷;6—密封圈。

图4 接地装置安装结构

Fig.4 Installation structure of grounding device

进水点主要在铜支架和绝缘板之间,经分解确

认,存在渗水接地装置的绝缘板和铜支架之间的密封圈不能被有效压缩。

根据部件设计图纸,绝缘板的倒角设计尺寸为 $3.5^{+0.5}_{-0.3}$ mm,密封圈的线径为2.62 mm,据此计算,当倒角尺寸大于4.47 mm时,密封圈的压缩量为0。而根据对进水接地装置该处倒角的实测值,均远大于设计上限和密封圈能够有效压缩的极限值,最大达到5.04 mm,密封圈完全失去密封作用,导致空调冷凝水沿接地装置进入轴箱内部。

4.3 改进措施

因该故障为接地装置绝缘板质量不合格造成,故在线网内,对于该品牌接地装置全部拆下测量倒角尺寸,更换不合格产品。在后续架、大修修程中,应例行测量接地装置各处密封圈安装位置的倒角尺寸。

5 结语

根据以上分析,该地铁车辆2次轴承失效故障均为接地装置绝缘板加工尺寸不合格导致。绝缘板无法压紧密封圈,致使空调冷凝水进入轴箱,而造成轴承油脂乳化、降低润滑性,进而造成轴承严重发热、油脂在高温下彻底变质、保持架融化、轴承滚子和内外圈出现卡滞挤压,使轴承彻底失效。

通过对绝缘板进行普查并更换尺寸不合格产品,后续轴承运营状态良好,定期跟踪开箱检查,未再发现轴箱进水问题。

参考文献

- [1] 葛党朝,曹双胜. 地铁车辆轴箱轴承故障分析及预防[J]. 铁道车辆, 2018, 56(12): 36.
GE Dangchao, CAO Shuangsheng. Analysis of troubles in axle box bearings in metro vehicles and prevention[J]. Rolling Stock, 2018, 56(12): 36.
- [2] 杨晓林. 地铁车辆轴箱轴承故障分析及预防策略[J]. 南方农机, 2019, 50(13): 121.
YANG Xiaolin. Fault analysis and preventive strategy of axle box bearing of subway vehicle[J]. China Southern Agricultural Machinery, 2019, 50(13): 121.

· 收稿日期:2022-12-08 修回日期:2022-12-27 出版日期:2025-03-10

Received:2022-12-08 Revised:2022-12-27 Published:2025-03-10

· 通信作者:赵伟龙,工程师,chengfeng8503@126.com

· ©《城市轨道交通研究》杂志社,开放获取 CC BY-NC-ND 协议

© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license