

汽车运输地铁车辆时的牵引电机轴承防护方案

吕 杰¹ 李国强² 薛秀慧¹ 赵英豪¹ 李 霞¹

(1. 中车永济电机有限公司, 710086, 西安; 2. 南阳理工学院机械与汽车工程学院, 473004, 南阳//第一作者, 高级工程师)

摘 要 牵引电机轴承损伤是汽车运输地铁车辆过程中常见问题,也是导致地铁列车运行过程中出现异音的根源。结合车辆生产周转工序,分析了汽车运输导致牵引电机轴承损伤的原因;分析了传统轴承防护方案存在的问题;介绍了改进后的轴承防护方案,并通过实际案例对改进后的轴承防护方案进行了适用性验证。轴承在线检测结果表明,轴承状态正常,汽车运输过程中未出现牵引电机轴承损伤问题。

关键词 地铁车辆; 汽车运输; 牵引电机; 轴承防护

中图分类号 U471.22

DOI:10.16037/j.1007-869x.2020.06.045

Protection Scheme for Traction Motor Bearing During Transportation of Metro Vehicles by Automobile

LYU Jie, LI Guoqiang, XUE Xiuhui, ZHAO Yinghao, LI Xia

Abstract Traction motor bearing damage is one of the frequent problems occurring during transportation of metro vehicles by automobile and is the cause of abnormal noise that happens in train operation. Taking vehicle production turnover process into consideration, the causes of traction motor bearing damage were analyzed; the problems of traditional bearing protection scheme were analyzed; the improved bearing protection scheme was introduced, the applicability of which was verified through actual case. The on-line inspection results of bearing have shown that the bearing was in normal condition and the traction motor bearing damage problem didn't occur during transportation by automobile.

Key words metro vehicle; automobile transportation; traction motor; bearing protection

First-author's address CRRC Yongjie Electric Co., Ltd., 710086, Xi'an, China

随着城市轨道交通的快速发展,逐渐出现了一些新问题,如在重庆、郑州、福州、成都^[1-2]等城市的多个地铁项目中,采用汽车长途运输的地铁车辆,

在列车上线初期出现了不同程度的异音现象。初步判断为牵引电机异音。

1 原因分析

对牵引电机落车,进行异音追溯。发现牵引电机进行通电空转试验时,其传动端轴承(圆柱滚子轴承)存在轴承异音。将牵引电机解体后,发现圆柱滚子轴承内圈存在3~5道等间距的假性布氏压痕,压痕间距与轴承滚子间距相同^[3],如图1所示。

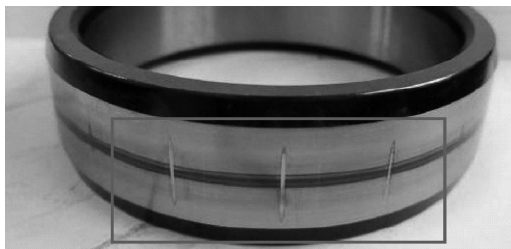


图1 轴承内圈假性布氏压痕

由此可判断列车异音是由牵引电机轴承内圈凹痕所致。当列车运行时,牵引电机轴承滚子旋转,当旋转至凹痕处,与凹痕产生碰撞发出声音,而引起列车异音。

牵引电机轴承假性布氏压痕产生的环节可以根据车辆生产工序进行推断。列车生产工序及各工序的责任方为:牵引电机组装(牵引电机供方)→牵引电机出厂试验(牵引电机供方)→牵引电机汽车运输(从牵引电机供方所在地运输至车辆供方所在地)→转向架组装(车辆供方)→转向架周转(车辆供方)→车辆组装(车辆供方)→车辆调试(车辆供方)→车辆长途汽车运输(从车辆供方所在地运输至车辆段)→列车运行(车辆段)。牵引电机轴承一旦产生凹痕,在低速旋转下会有明显的异音。牵引电机出厂试验、转向架周转、列车调试环节均存在电机通电或者不通电的低速旋转状态,如果存在异音便会发现异常。现场列车异音均在初始运行

阶段发现,由此可判断异音产生的环节在于车辆长途汽车运输环节。

汽车运输车辆时,路面不平,路况复杂,且路途遥远,在运输过程中,车辆频繁处于颠簸状态。虽然车辆车轮有止动装置,但是电机通过万向联轴节,联接齿轮箱后与车轮联接,万向联轴节存在径向 360° 及轴向偏摆量,也就是说牵引电机转子并未完全固定。

地铁牵引电机转子质量通常在 200 kg 左右,轴承内部存在游隙,受重力影响,转子质量全部施加在轴承正下方的数个滚动体上^[5]。在车辆的长途汽车运输过程中,牵引电机不转动,受运输途中颠簸的影响,轴承滚动体和内圈接触面处于微振状态,造成轴承内圈逐步磨损,严重时产生类似布氏压痕的痕迹^[6]。

2 传统防护方案

根据轴承运输损伤的原因机理分析可知:只要将牵引电机转子和定子进行可靠固定,避免滚动体与轴承内圈之间相对振动,消除两者间的微振现象,即可避免轴承运输过程中的损伤问题。

牵引电机单独运输防护方案为:采用工装安装于牵引电机传动端,通过工装将牵引电机定子及转子固定在一起,如图 2 所示。牵引电机安装到转向架后,传动端与齿轮箱通过多个径向均布的螺栓紧固联接,如图 3 所示。为实施防护方案,需将联轴节解耦,即拆除联轴节联接螺栓,将电机侧联轴节与齿轮箱侧联轴节分开,利用两侧联轴节的轴向位移量,在两侧联轴节间形成一定间隙。利用该间隙采用工装将牵引电机定转子固定。但该防护方式需要在车辆运输前将联轴节分开,运到目的地后再重

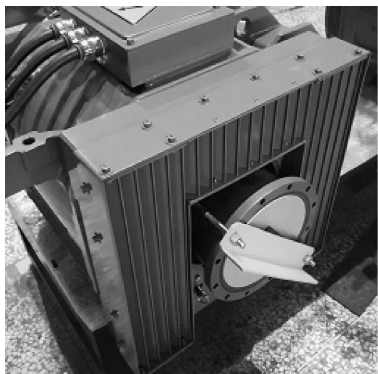


图2 牵引电机单独运输防护方案



图3 牵引电机装车后传动端情况

新联接联轴节,存在操作工作量大、作业困难、耗时长等问题。

除此之外,联轴节属于高速旋转部件,内部填充有大量润滑脂或润滑油。两侧联轴节分开后会导致油脂的泄漏,油脂也极易受到污染,造成联轴节故障隐患。另外联轴节安装螺栓为关键联接部件,通常要求不得重复使用,二次紧固联接需要更换新的紧固件,成本大大增加。

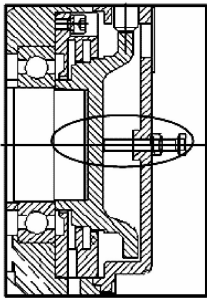
3 改进防护方案

结合牵引电机安装后周边空间情况优化运输防护方案设计。牵引电机传动端与齿轮箱联接,不易进行布置;非传动端为车轮及刹车装置等,存在一定空间间隙,因此可利用该空间进行防护方案设计。

对牵引电机结构进行改进,在非传动端定子部件上设计螺纹孔,使用长螺栓旋过螺纹孔,螺栓端面顶紧在转子上,从而将转子与定子固定。改进后的防护方案能够避免运输过程中轴承滚动体和内圈接触面的微振状态,进而能够避免轴承运输损伤。改进后的防护方案如图 4 所示。

4 改进防护方案适用性验证

中车永济电机有限公司生产的某款地铁牵引电机,采用了适于汽车运输的改进防护方案。通过汽车运输将首列车从主机厂运送至车辆段,全程超过 1 900 km。列车运抵上线试运行过程中未见异音现象。采用轴承在线检测技术,对轴承进行状态检测。检测设备为 SKF 便携式数据采集仪 CMXA80。在牵引电机轴承附近布置振动传感器,线缆引入列车车厢,并连接到数据采集仪。列车以定速行驶,通过数据采集仪采集轴承振动频谱,如图 5 所示。

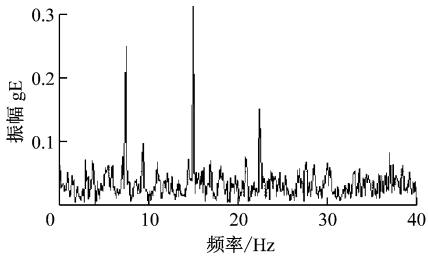


a) 改进防护方案原理图



b) 改进防护方案实物图

图4 牵引电机非传动端轴承防护方案



注: gE 是振动分析中表示振幅的一个加速度指标; 是瑞典 SKF 公司采用的表示加速度包络的单位。

图5 轴承振动频谱图

按照文献[7]中的轴承缺陷频率计算方法, 具体计算公式见式(1)一式(4)。

$$B_{PFO} = \frac{N_b}{2} \times S \times \left(1 - \frac{B_d}{P_d} \times \cos \alpha \right) \quad (1)$$

$$B_{PFI} = \frac{N_b}{2} \times S \times \left(1 + \frac{B_d}{P_d} \times \cos \alpha \right) \quad (2)$$

$$B_{SF} = \frac{P_d}{2B_d} \times S \times \left(1 - \frac{B_d}{P_d} \times \cos \alpha \right)^2 \quad (3)$$

$$F_{TF} = \frac{S}{2} \times \left(1 - \frac{B_d}{P_d} \times \cos \alpha \right) \quad (4)$$

式中:

B_{PFO} 、 B_{PFI} ——分别为轴承外圈、内圈缺陷频率, 单位为 Hz;

B_{SF} ——滚动体缺陷频率, Hz;

F_{TF} ——保持架缺陷频率, Hz;

N_b ——轴承滚子数;

S ——轴转速, r/min;

B_d ——滚子直径, mm;

P_d ——滚子分度圆直径, mm;

α ——接触角, ($^{\circ}$)。

经过计算, 非驱动端轴承相关参数数值为: B_{PFO} 为 15.2 Hz, B_{PFI} 为 21.5 Hz, B_{SF} 为 19.0 Hz, F_{TF} 为 1.4 Hz; 驱动端轴承相关参数数值为: B_{PFO} 为 25.6 Hz, B_{PFI} 为 34.4 Hz, B_{SF} 为 22.4 Hz, F_{TF} 为 1.4 Hz。

将轴承振动频谱图与轴承缺陷频率进行对比发现, 对应的缺陷频率及倍频中并未出现振动峰值, 从而可以判定轴承运行状态正常, 汽车运输过程中未出现轴承损伤问题。

5 结语

地铁车辆在汽车运输过程中的工况有别于正常使用工况, 需要考虑各系统是否满足汽车运输要求。牵引电机轴承作为高速旋转支撑部件, 是关系到行车安全的关键部件之一, 其汽车运输防护方案的制定不仅要安全可靠, 还要考虑现场的可操作性。本文提出一种改进防护方案, 某款地铁车辆牵引电机采用该改进防护方案运输, 列车上线后的检测结果表明, 汽车运输过程中, 未出现牵引电机轴承损伤问题。本文提出的改进防护方案适用于地铁车辆的汽车运输。

参考文献

- [1] 王雪岭, 李秀艳, 杜宏光, 等. 运输导致地铁牵引电机轴承失效分析与防护[J]. 机电传动, 2018(4): 113.
- [2] 梁海清, 曲晶. 成都地铁 1 号线正线异响浅析[J]. 铁道机车与动车, 2014(10): 31.
- [3] 郭磊, 钟博, 李长俊. 地铁牵引电机轴承异响故障排查[J]. 电机技术, 2013(5): 59.
- [4] 刘书琼. 浅析城轨车辆整车公路运输时的电机防护问题[J]. 城市建设理论研究, 2017(14): 128.
- [5] 王多多. 电机轴承的非运转性失效[J]. 电机与控制应用, 2015(6): 63.
- [6] 冉继勇, 董良. 滚动轴承状态监测技术与失效根本原因分析[J]. 汽车工艺师, 2006(12): 78.
- [7] 冯帅. 地铁列车走行部滚动轴承故障诊断与剩余寿命预测研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2016.

(收稿日期: 2018-08-28)