

郑州地铁车辆齿轮箱典型故障分析及处理

程相勋

(郑州地铁集团有限公司, 450046, 郑州//工程师)

摘要 根据郑州地铁车辆维保检修的实际经验, 齿轮箱出现的典型故障有齿轮箱油发黑、齿轮箱挡油块脱落、齿轮箱渗油及齿轮箱油有铜屑等。针对典型故障, 详细分析了故障发生的原因、环节和影响因素, 并针对性地提出解决措施, 为齿轮箱的设计和维修提供参考。

关键词 地铁车辆; 齿轮箱; 故障分析

中图分类号 U270.331⁺.3

DOI:10.16037/j.1007-869x.2022.04.049

Typical Fault Analysis and Handling of Zhengzhou Metro Vehicle Gear Box

CHENG Xiangxun

Abstract Based on the practical experience of Zhengzhou Metro vehicle maintenance and repair, the typical faults of gear box are gear box oil darkening, gear box oil baffle block falling, gear box oil leakage and copper filings in gear box oil. Targeting these typical faults, the causes, links and influencing factors of faults occurrence are analyzed in detail. Specific solutions are proposed, providing reference for the design and maintenance of gear box.

Key words metro vehicle; gear box; fault analysis

Author's address Zhengzhou Metro Group Co., Ltd., 450046, Zhengzhou, China

齿轮箱为车辆走行部的关键部件, 其可靠性直接关系到列车能否安全运行。近年来郑州地铁车辆维保中陆续发现齿轮箱漏油、齿轮箱油发黑及齿轮箱内有金属异物等典型故障。本文对齿轮箱典型故障进行分析研究并提出处理措施。

1 齿轮箱概况

转向架上牵引电机产生的驱动转矩通过联轴节和齿轮箱传递至驱动轮。齿轮箱还可传递制动转矩。郑州地铁列车车辆所用齿轮箱均采用轴悬式安装, 通过吊杆与转向架固定。吊杆具有弹性支座, 能满足车辆系统的动静态载荷。联轴节可吸收电机和齿轮箱之间的轴向和径向相对运动能量。

齿轮箱箱体由球墨铸铁加工而成, 由上下两部分组成。箱体内有主动、从动螺旋斜齿轮。主动齿轮通过固定轴承装置安装在箱体内。固定轴承装置由2个圆柱滚子轴承和1个角接触球轴承组合而成。从动齿轮通过热缩固定在轮轴上。

齿轮箱内的齿轮和全部轴承都使用润滑油进行润滑。齿轮箱运行过程中, 通过箱体內的油槽收集上箱体油壁上甩落的润滑油, 润滑油通过油槽和油孔流向轴承, 从而起到润滑的作用; 同时, 磁性油堵收集润滑油中的金属颗粒和灰尘颗粒。主动齿轮和齿轮箱箱体之间, 以及轮轴和齿轮箱箱体之间的密封均采用非接触性迷宫式密封, 不仅可保证保留箱体内润滑油, 还可防止灰尘或其他污染物进入^[1]。

2 齿轮箱典型故障分析及处理措施

2.1 齿轮箱油发黑

日检作业时发现, 某列车有一齿轮箱油发黑, 而整列车其他齿轮箱油却颜色正常, 故检修人员将该车扣停。

将齿轮箱放油发现, 润滑油中有金属碎屑。随后拆解该齿轮箱发现, 输入轴系车轮侧四点接触球轴承定位销槽处开裂(如图1所示), 保持架发生磨损变形, 定位销磨损, 箱体内有大量铜屑。由此判断, 轴承故障为齿轮箱油发黑的直接原因。

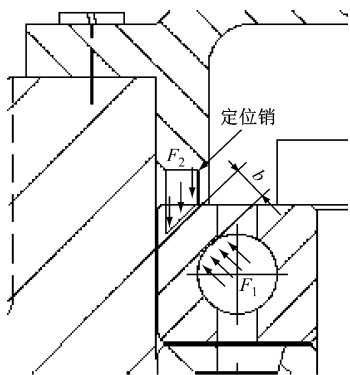
分析发现, 齿轮箱在组装过程中, 如定位销过长, 则定位销端面将于止动槽底部压紧, 并引起此处轴承外圈产生变形。由于定位销端面圆周为棱边, 且四点接触球轴承滚子为球型, 故当输入齿轮轴轴向力指向车轮侧时, 轴承定位销槽处外圈在定位销与滚子作用下存在交变应力变形, 进而引起定位销槽处开裂。其受力示意图如图2所示。

为避免再次发生类似故障, 对同批次齿轮箱进行全面普查, 并确保定位销斜面与止动槽底部之间均留有间隙。此后, 齿轮箱制造厂家对定位销长度



图1 轴承定位销处开裂

Fig. 1 Cracking at the bearing dowel pin



注: F_1 为定位销对四点接触球轴承外圈的力; F_2 为定位销端面对于止动槽底部的压紧力。

图2 定位销与四点接触球轴承的受力示意图

Fig. 2 Dowel pin producing stress with four-point contact ball bearing

进行了优化。优化后的定位销与闷盖组装后,能保证定位销斜面与止动槽底部之间的间隙大于 0.3 mm。后续列车未再发生同种故障。

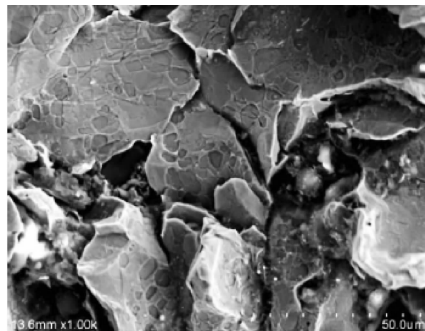
2.2 齿轮箱挡油块脱落

某线路年检中,在齿轮箱换油作业时发现,1 处齿轮箱排油堵上吸附了 1 块约 38 mm(长)×13 mm(宽)×4 mm(厚)的铁块。使用内窥镜对齿轮箱体内部进行检查,发现电机侧挡油板脱落。之后将该齿轮箱发往厂家进行拆解分析。

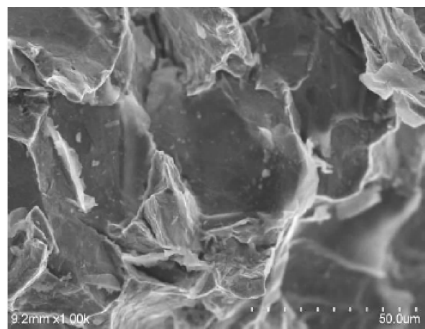
齿隙及输出轴轴承间隙的开箱前测量值均在正常范围内。开箱后,对输入轴轴承间隙、大齿轮定位尺寸及跳动进行测量,结果均在正常范围内,大小齿轮状况良好,无明显异常。进一步检查发现,下箱体油池有 1 块铁块,其形貌与脱落的挡油板吻合,经确认是另 1 块脱落的挡油板。

将箱体挡油板失效样块及掉落的铁块送往检测中心进行失效分析。

使用扫描电镜观察发现,挡油板样块断口存在片状石墨及片状石墨撕脱后的方形印痕。对掉块断口进行电镜扫描,确认断口存在片状石墨。扫描电镜检查结果如图 3 所示。



a) 挡油板断口 1 000 倍形貌



b) 掉块断口 1 000 倍形貌

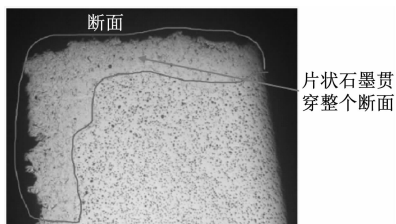
图3 扫描电镜检查结果

Fig. 3 Scanning electron microscope examination results

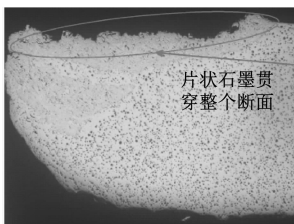
将挡油板断口截面进行金相检查,发现试样断口处整个截面均为片状石墨。对掉块断口截面进行金相检查,发现片状石墨已贯穿整个拐角截面,与挡油板吻合。金相检查结果如图 4 所示。

由检查结果可知:送检挡油板断口具有脆性断裂特征;断口处存在的片状石墨,属于球化衰退恶化层缺陷,会导致该区域脆性急剧增加,使挡油板位置的强度受到影响;因片状石墨具有切口效应,致使挡油板疲劳寿命也会大幅降低。经进一步调查发现,在箱体铸造过程中,人工涂刷涂料时未对挡油板拐角处有效涂抹,导致砂型中硫元素进入箱体,进而造成拐角截面处整体球化衰退。在箱体加工镗孔时,挡油板区域受到切削力和振动,导致该区域产生初始裂纹;由于材料存在缺陷,随着列车长时间运行,原始裂纹因振动延展,导致挡油块脱落^[2]。

针对此问题,制造厂家将之前对挡油板外观目视检查,改为箱体挡油板处 100% 无损探伤,确认挡



a) 挡油板断口截面微观形貌



b) 掉块断口 1 000 倍形貌

图4 金相检查结果

Fig. 4 Metallographic examination results

油板区域无裂纹。

2.3 齿轮箱渗油

在某新开通线路, 齿轮箱小轴电机侧端盖处陆续批量出现渗油现象, 如图5所示。



图5 齿轮箱电机侧渗油

Fig. 5 Oil leakage on the gear box motor side

经分析, 造成齿轮箱渗油的因素为: 齿轮箱密封设计结构、端盖组装机工艺、零部件制造质量及组装操作过程。

经确认, 该型号齿轮箱已在其他线路应用, 运营状态良好, 未出现类似问题, 说明端盖密封设计结构和组装机工艺可靠。经核实, 该批次齿轮箱的箱体、套杯及端盖的零部件尺寸检查记录均符合要求。由此初步推测该故障由组装操作过程导致。齿轮箱输入端结构如图6所示。

根据齿轮箱结构分析, 若箱体断面与套杯端面、端盖与套杯端面密封不良, 将会出现端盖渗油现象^[3]。

对端盖渗油齿轮箱进行拆解检查发现, 箱体与套杯端面密封胶涂抹连续完整, 未有渗油现象, 符

合工艺要求。进一步检查发现, 端盖与套杯端面密封胶不连续, 套杯端面下部光孔处密封胶相对薄弱, 并有油渍 (如图7所示)。润滑油通过此薄弱处渗入光孔, 造成齿轮箱输入端电机侧从螺纹孔渗油。

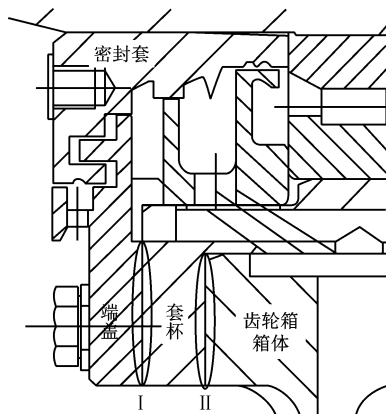


图6 齿轮箱输入端结构

Fig. 6 Gear box input end structure



图7 端盖密封缺陷情况

Fig. 7 The defect situation of end cap sealing

针对此故障采取以下措施: 在端盖紧固螺栓端部密封处、端盖与套杯密封处、套杯与箱体密封处涂抹密封胶; 日常跟踪齿轮箱油位变化; 在列车架修时, 对齿轮箱进行拆解和清洗, 并按工艺重新进行组装。之后该问题得以彻底解决。

2.4 齿轮箱油有铜屑

在双日检时, 检修人员通过油镜观察发现润滑油中有铜屑微粒。将齿轮箱油放出后, 在齿轮箱油中发现铜屑微粒 (见图8)。

齿轮箱箱体内含有铜材质的零件有: 圆柱滚子轴承保持架和四点接触球轴承保持架。这两种铜保持架的材料一样。对保持架局部和铜屑各放大10倍观察, 发现颜色差异较大, 说明铜屑不是来自于保持架。

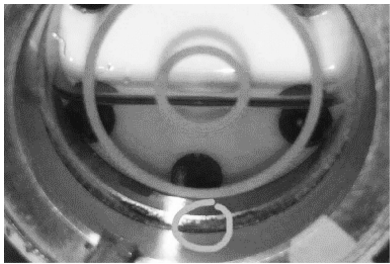


图8 齿轮箱内铜屑微粒

Fig.8 Copper filings in gear box

在检查工器具时发现,在轴承套杯与齿轮箱箱体装配过程中使用的紫铜棒含有铜材质。从紫铜棒上取出铜屑,放大10倍发现,紫铜棒铜屑和齿轮箱油中的异物铜屑外观颜色一致。

紫铜是一种纯净度较高的铜,塑性较好、硬度较低,即使随齿轮箱油进入轴承或齿轮啮合区域,也不会对硬度较高的轴承或齿轮齿面造成影响,但铜屑堆积仍存在造成齿轮箱油路堵塞的风险。

对此,要求生产厂家在齿轮箱加工及装配后加强箱体内部残留金属材质的吹尘和清洁,确保箱体内无金属异物,以避免类似铜屑造成轴承损伤及油路堵塞。

3 结语

本文针对郑州地铁齿轮箱出现的典型故障进

(上接第176页)

3 结语

牵引系统作为地铁车辆的关键系统,其高速断路器的闪断直接影响了正线运行。经分析,高速断路器的闪断是由于逆变器检测空转滑行导致,虽然故障发生后牵引系统在短暂的保护后即可自动复位,但正线运行中频繁发生的闪断,会对牵引电机及逆变器内部电子元件的使用寿命有很大影响。优化滑行控制策略,可防止高速断路器频繁闪断,提高正线牵引系统的稳定性,保证地铁列车的正点运营,具有非常重要的意义。

参考文献

- [1] 禹建伟. 地铁车辆牵引电机过电流原因分析及措施[J]. 轨道交通装备与技术, 2014(4): 23.
- YU Jianwei. Cause analysis of metro vehicle traction motor over-

行分析,确认故障原因和解决措施,对齿轮箱的维护保养具有指导意义。齿轮箱日常维护简单,但运行过程中问题繁杂,故障造成影响较大,制造厂商应严控生产质量,改进生产工艺,确保齿轮箱安全可靠。

参考文献

- [1] 牟文博. 地铁车辆齿轮箱常见故障分析及处理建议[J]. 机车车辆工艺, 2015(1): 47.
- MOU Wenbo. Common fault analysis and treatment suggestions for metro vehicle gear box[J]. Locomotive & Rolling Stock Technology, 2015(1): 47.
- [2] 殷桂明, 吴国文, 罗志勇. 城轨地铁车辆牵引齿轮渗碳层裂纹失效分析[J]. 铁道机车车辆, 2020(5): 121.
- YIN Guiming, WU Guowen, LUO Zhiyong. Failure analysis of carburizing layer crack in traction gear of metro vehicles[J]. Railway Locomotive & Car, 2020(5): 121.
- [3] 王东道, 安靖宇, 吴亮. 地铁齿轮箱分箱面渗油原因分析及处理[J]. 机车车辆工艺, 2017(5): 43.
- WANG Dongdao, AN Jingyu, WU Liang. Reason analysis and treatment of oil leakage in a subway gear box's closing face[J]. Locomotive & Rolling Stock Technology, 2017(5): 43.

(收稿日期: 2021-06-17)

current[J]. Rail Transportation Equipment and Technology, 2014(4): 23.

- [2] 王伟, 张峰, 皇甫小燕, 等. 地铁车辆异步电机矢量控制系统的研究[J]. 电力电子技术, 2009(12): 16.
- WANG Wei, ZHANG Feng, HUANGPU Xiaoyan, et al. Research on the asynchronous motor vector control system of the metro vehicles[J]. Power Electronics, 2009(12): 16.
- [3] 刘龙, 吴冰. 上海11号线地铁车辆高速断路器控制原理分析[J]. 交通世界, 2017(30): 161.
- LIU Long, WU Bing. Analysis of control principle of Shanghai Metro Line 11 vehicle high-speed circuit breaker[J]. Transworld, 2017(30): 161.
- [4] 陈勇, 张俊哲. 深圳地铁1号线续建工程车辆高速断路器控制原理及故障分析[J]. 电力机车与城轨车辆, 2012(2): 82.
- CHEN Yong, ZHANG Junzhe. Control principle and fault analysis of high-speed circuit breaker of Shenzhen Metro Line 1 continued project vehicle[J]. Electric Locomotives & Mass Transit Vehicles, 2012(2): 82.

(收稿日期: 2020-04-30)