

机车牵引电机接线盒盖板螺栓断裂原因分析及改进

丁禄振, 陈泓宇, 孙 兵
(中车株洲电机有限公司, 湖南 株洲 412001)

摘 要: 对机车牵引电机接线盒盖板紧固螺栓断裂故障原因进行分析, 提出了针对性的改进措施。采用改进措施后, 故障彻底消除, 改进效果显著。

关键词: 接线盒盖板; 紧固螺栓; 剪切作用; 疲劳断裂

中图分类号: TM 307 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-6540(2018)04-0094-04

Reason Analysis and Improvement of the Locomotive Traction Motor Terminal Box Coverplate Bolt Fracture Failure

DING Luzhen, CHEN Hongyu, SUN Bing
(CRRC Zhuzhou Electric Co., Ltd., Zhuzhou 412001, China)

Abstract: The fastening bolts of the locomotive traction motor terminal box coverplate had happened fracture in the running, the fracture failure reason was analyzed. The improved solutions were proposed. After improvement, the fault was solved, the application effect was very significant.

Key words: terminal box coverplate; fastening bolts; shear action; fatigue break

0 引 言

大功率交流传动电力机车^[1]因其显著的性能及维护优势在我国得到普遍发展应用, 牵引电机是其中最核心的部件之一。牵引电机为高电压大电流电气设备, 一般会设置接线盒来连接牵引电机接线端子和机车主电缆。牵引电机接线盒需有足够的电气间隙和清洁的环境, 避免出现接线端子对地放电或爬电, 同时货运机车牵引电机多为抱轴安装, 牵引电机需要直接承受来自轮轨的冲击振动。因此, 为保证牵引电机可靠运行, 要求接线盒盖板具有抗振、密封、绝缘等性能。此外为了方便牵引电机检修和维护, 接线盒盖板还应易于拆卸安装。

自 2013 年起, 多个型号大功率机车牵引电机^[2]接线盒盖板紧固螺栓在运行过程中发生松脱、断裂故障, 经过多次处理, 问题一直未得到有效解决, 对

行车安全构成威胁, 严重影响了机车的正常运用。本文就牵引电机接线盒盖板紧固螺栓断裂的根本原因进行了分析, 并提出了针对性改进措施。

1 接线盒盖板的结构

牵引电机接线盒盖板采用接线盒盖加绝缘橡胶密封垫结构。接线盒盖采用 8 mm 厚 Q235 钢板, 密封垫采用 3 mm 硅橡胶垫, 用于接线盒盖板的密封同时增大接线端子与接线盒盖板之间电气绝缘间隙, 橡胶垫用密封胶粘在接线盒盖板上。接线盒盖板通过 M8×25 mm 螺栓和标准型弹簧垫圈紧固在接线盒上, 满足接线盒盖板易于拆卸安装的要求。电机接线盒盖板安装如图 1 所示。

2 故障原因分析

2.1 外观检查

断裂的紧固螺栓外观如图 2、图 3 所示。螺

作者简介: 丁禄振(1982—), 男, 研究方向为电机设计及制作工作。

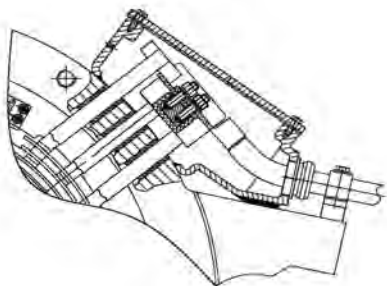


图1 牵引电机接线盒盖板安装图

栓大部分都在距离螺栓小端面 12 mm 处断裂,断裂部位位于螺栓根部,断面与轴向基本垂直,断口处附近未见明显的塑性变形。



图2 牵引电机接线盒盖板紧固螺栓断裂

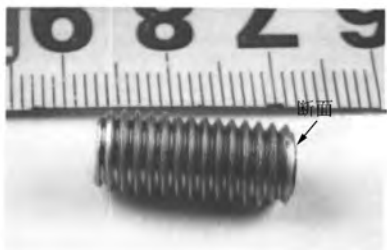


图3 断裂螺栓外观检查

2.2 断口分析

(1) 断口宏观分析。断口宏观观察如图4所示,可见螺栓断口为典型的疲劳断口,断面较平整,呈浅灰色,局部锈蚀,断裂起始于外圆一侧,向对面扩展直至断裂,疲劳源区可见疲劳台阶,未见明显的冶金缺陷及加工缺陷,疲劳区面积约占整个断面的90%。

(2) 断口微观分析。断口微观观察如图5所示,在扫描电镜下观察,断口起始于外圆一侧(螺纹槽底),向对面扩展直至断裂。疲劳源区可见疲劳台阶,未见明显的冶金缺陷及加工缺陷,疲劳扩展区可见疲劳条带,断裂部位有明显的剪切唇。

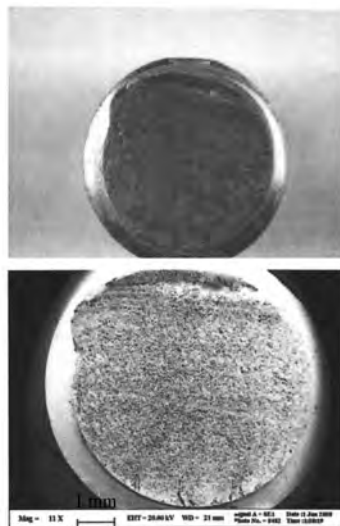


图4 断口宏观观察

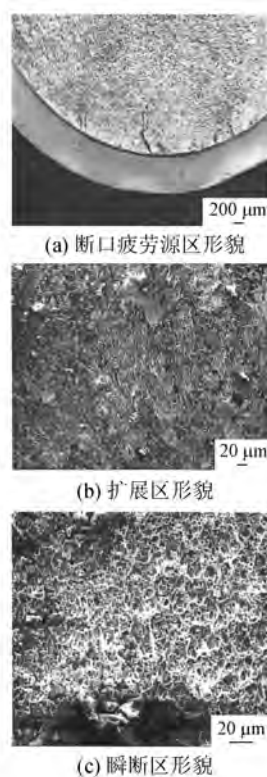


图5 断口微观观察

2.3 结构受力及故障原因分析

通过对断裂螺栓外观检查和断口分析,可以确定螺栓是典型的疲劳断裂。分析其断裂过程是由于接线盒盖板与接线盒之间采用橡胶垫密封,接线盒盖板与接线盒之间为弹性连接结构,运行

过程中,牵引电机接线盒盖板受到来自轮轨的周期性冲击振动,橡胶密封垫产生弹性压缩,接线盒盖板紧固螺栓发生松弛,最后导致接线盒盖板松动。如图1所示,接线盒盖板为倾斜安装结构,接线盒盖板松动后,在机车振动和接线盒盖板自身重力作用下,接线盒盖板同螺栓间产生相对位移,开始持续对紧固螺栓产生横向的剪切作用。

盖板紧固螺栓为六角头螺栓,螺栓根部为整个螺栓最薄弱的地方,螺栓受到长时间的剪切力导致螺栓根部逐渐出现早期裂纹;在运行过程中,接线盒盖板持续对螺栓产生横向的剪切作用,引起裂纹的进一步扩大,最终造成螺栓疲劳断裂。

2.4 抗振防松验证

选取带橡胶密封垫的牵引电机接线盒盖板一块,将接线盒盖板安装到牵引电机接线盒上,用标准 20 N·m 力矩将4个螺栓紧固好;放置 24 h 后,用重物敲击接线盒盖板 30~50 次,模拟运行振动作用,用力矩扳手从小到大逐渐施加力矩的方式检查螺栓紧固力的下降和螺栓松弛情况,记录如表1所示。

表1 橡胶密封垫弹性连接结构紧固验证 (20 N·m)

检查力矩/ (N·m)	4 件样品紧固螺栓松动情况			
	1 号	2 号	3 号	4 号
15	达标	达标	达标	达标
18	达标	达标	达标	达标
20	松弛, 旋转约 10°	松弛, 旋转约 10°	松弛, 旋转约 10°	松弛, 旋转约 10°

通过试验验证发现,接线盒盖板带橡胶密封垫弹性连接情况下,紧固螺栓紧固力矩短时间内出现下降,螺栓发生松弛,验证结果进一步证实了对故障原因的分析判断。

3 改进措施

根据断口和结构分析的结论,同时结合试验验证情况,为了避免因接线盒盖板紧固螺栓松动导致螺栓长期受到剪切作用而疲劳断裂,主要改进思路为将接线盒盖板的弹性连接改为刚性连接,同时满足接线盒盖板抗振、密封、绝缘及易于拆卸安装的要求。

3.1 连接结构改进

接线盒盖板与接线盒之间由弹性连接改为刚

性连接。接线盒盖板安装孔改为冲孔形式,在接线盒盖内侧形成凸台,凸台高度为 2.2~2.5 mm。粘上 3 mm 硅橡胶垫后,橡胶垫高出安装凸台 0.5~0.8 mm。在用螺栓紧固压紧后,橡胶垫压缩,接线盒盖板安装凸台与接线盒之间形成刚性连接结构,避免因振动及橡胶垫压缩导致的接线盒盖板松动,从而减少盖板对紧固螺栓的剪切作用,同时能压紧橡胶垫,保证接线盒密封性。

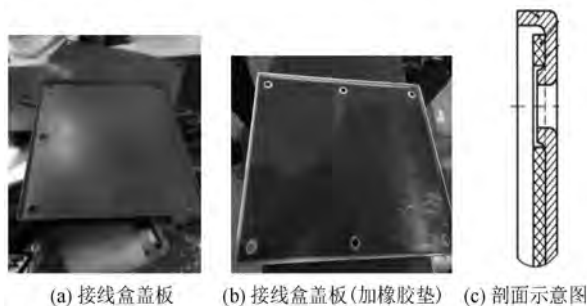


图6 改进后结构图

3.2 接线盒盖板改进

(1) 接线盒盖板的主要作用是防止运行中异物磕碰和对接线盒进行密封防护。在保证接线盒盖板功能的前提下,将接线盒盖板厚度由 8 mm 减薄到 3 mm,降低接线盒盖板重量,减少运行中接线盒盖板对紧固螺栓的剪切作用。

(2) 接线盒盖板四周冲成帽型,增加盖板的防水、防尘性能,异常情况下对接线盒盖板及紧固螺栓提供一定保护作用。

(3) 接线盒盖板安装孔及安装凸台采用冲压工艺实现。为提高安装孔及安装凸台冲压质量,盖板材料采用塑性更好的 Q195 钢板取代原有的 Q235 钢板。

3.3 橡胶密封垫选型计算

橡胶材料在纯拉伸和压缩负荷作用下,应力 σ 和应变 ε 间关系为

$$\sigma = \frac{E}{3} [(1 + \varepsilon) - (1 + \varepsilon)^{-2}] \quad (1)$$

式中: E ——弹性模量。

式(1)在 20%~50% 压缩的工程应用范围内,具有足够的精确性。当应变在 $\pm 15\%$ 的范围内,可以将应力和应变间的关系近似地用式(2)表示:

$$\sigma = E\varepsilon \text{ 或 } F = \frac{EAf}{h} \quad (2)$$

式中: F ——橡胶材料承受的载荷;

A ——橡胶材料的承载面积;

f ——橡胶材料的变形量;

h ——橡胶材料的高度。

橡胶材料在剪切负荷作用下,当切应变不超过 100%,切应力 τ 和切应变 γ 间的关系为

$$\tau = G\gamma \quad (3)$$

式中: G ——切变模量。

由试验得到,橡胶材料的弹性模量 E 和切变模量之间具有以下关系:

$$E = 3G$$

橡胶材料的切变模量 G 和橡胶材料的牌号和组成成分几乎无关,而与橡胶的硬度有关。成分不同,硬度相同的橡胶其切变模量之差很小。计算切变模量的值可由式(4)计算:

$$G = 0.119e^{0.034HS} \quad (4)$$

式中: HS ——橡胶材料的肖氏硬度。

考虑橡胶垫的耐高、低温性能及绝缘性能,橡胶垫原材料仍选取硅橡胶。根据上述分析及机械设计手册^[3]公式分别计算橡胶垫在 40、50、60 度级硬度下,在 20 N·m 紧固力矩下压缩位移分别为 0.95、0.85、0.65 mm。

接线盒盖内侧凸台高度考虑到橡胶垫压紧密封要求和凸台加工误差,确定凸台高度为 2.2~2.5 mm,根据这一高度,粘上 3 mm 硅橡胶垫后,橡胶垫高出安装凸台 0.5~0.8 mm,橡胶密封垫在 20 N·m 紧固力矩下压缩位移需要大于 0.8 mm 才能保证接线盒盖板凸台与接线盒之间为刚性连接,综合考虑橡胶垫性能、加工工艺性及材料通用性,橡胶垫材料建议选取 50 度级硅橡胶。

3.4 垫圈选型计算

接线盒盖板螺栓安装孔及安装凸台采用冲压结构,安装孔边缘区域凹陷。为保证紧固螺栓压紧接触面积及防松效果,紧固螺栓配合 8 mm 大垫圈和标准弹簧垫圈一起使用,提高螺栓紧固性能,防止接线盒盖板松动。但在验证试验过程中发现采用大垫圈加普通弹簧垫圈结构,在 20 N·m 紧固力矩下大垫圈有一定的变形。对上述结构进行分析,认为标准弹簧垫圈与大垫圈处接触面积过小,导致应力主要集中在大垫圈的悬空部分上,易导致大垫圈变形。因此考虑将标准弹簧垫圈改为锥形弹簧垫圈,在压紧后锥形弹簧垫圈外径超

过大垫圈的悬空部分,垫圈应力分布将更均匀,同时为精确了解其变形过程,用 Ansys 对上述紧固结构受力进行仿真对比大垫圈压缩后变形量仿真,如图 7、图 8 所示。



图 7 大垫圈压缩后变形量仿真



图 8 采用大垫圈和锥形弹簧垫圈压缩后变形量仿真

从以上仿真分析结果看,采用大垫圈和锥形弹簧垫圈结构,垫圈的最大变形量为 0.05 mm,变形量明显减小,同时应力分布更均匀。在实际的验证中,用肉眼观察,大垫圈没有再发生变形,因此考虑采用锥形弹簧垫圈加大垫圈的螺栓紧固防松方式。

3.5 试用验证

选取新结构接线盒盖板,在紧固后静置 24 h,然后采用扭力扳手在 15~20 N·m 范围力矩内逐级试验。经试验,在 15~20 N·m 范围内扭力扳手无法打动螺栓,说明螺栓紧固力矩没有下降,紧固效果很好。

拆卸接线盒盖板,检查接线盒盖板安装凸台面,有明显接触痕迹,说明接线盒盖板与接线盒之间已经形成刚性连接。

4 结 语

机车牵引电机接线盒盖板紧固螺栓断裂主要是由于接线盒盖板与接线盒之间为弹性连接结构,在运行过程中振动及橡胶密封垫压缩作用下

(下转第 104 页)

【参考文献】

- [1] 杨存祥,朱琛,解豪杰.基于 RPROP 神经网络算法的异步电动机故障诊断[J].电力自动化设备, 2012,32(1): 90-93.
- [2] 王臻,李承,王蕾,等.基于解析导纳的感应电机故障诊断[J].电力自动化设备, 2016, 36(8): 170-175.
- [3] SIN M L, SOONG W L, ERTUGRUL N. Induction machine on-line condition monitoring and fault diagnosis-A survey [C] // Australasian Universities Power Engineering Conference, 2003: 1-6.
- [4] 鲍晓华,吕强.感应电机气隙偏心故障研究综述及展望[J].中国电机工程学报, 2013, 33(6): 93-100.
- [5] 孙丽玲,许伯强,李志远.基于旋转不变信号参数估计技术与模式搜索算法的异步电动机转子故障检测新方法[J].机械工程学报, 2012, 48(13): 89-95.
- [6] 高靖凯,林荣文,张润波.永磁同步电机直接转矩控制的研究及算法改进[J].电机与控制应用, 2015, 43(11): 16-20.
- [7] CUSIDÓ J, ROMERAL L, ORTEGA J A, et al. Fault detection in induction machines using power spectral density in wavelet decomposition[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2008, 55(2):

633-643.

- [8] FOURNIER E, PICOT A, RÉGNIER J, et al. Current-based detection of mechanical unbalance in an induction machine using spectral kurtosis with reference [J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2015, 62(3): 1879-1887.
- [9] 侯志祥,申群太,李河清.电机设备的现代故障诊断方法[J].电力系统及其自动化学报, 2003, 15(6): 61-63.
- [10] 杨定新,胡葛庆,张朝众.基于复杂度分析的电机转子-轴承系统早期故障检测方法[J].中国电机工程学报, 2004, 24(11): 126-129.
- [11] EGUCHI M. Canned motor bearing wear monitoring device; U.S. Patent 5,926,001 [P]. 1999-07-20.
- [12] 朱奇,侍洪波.基于 PCA 多变量统计的故障检测与诊断[J].控制工程, 2006, 13(增刊1): 216-219.
- [13] 张学工.统计学习理论的本质[J].北京:清华大学出版社, 2000.
- [14] DE W S, BROERSEN P M T. Order selection for vector autoregressive models [J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2003, 51(2): 427-433.
- [15] LEE J M, YOO C K, CHOI S W, et al. Nonlinear process monitoring using kernel principal component analysis[J]. Chemical Engineering Science, 2004, 59(1): 223-234.

收稿日期: 2017 -08 -16

(上接第 97 页)

接线盒盖板紧固螺栓发生松弛,最后导致接线盒盖板松动,使得紧固螺栓受到接线盒盖板持续的横向剪切力而发生疲劳断裂。在保证接线盒盖板满足抗振、密封、绝缘、拆卸方便等性能要求的同时,通过改变接线盒盖板弹性连接结构为刚性连接结构、合理选择橡胶密封垫材料、优化螺栓紧固防松方式、减薄接线盒盖板等措施,避免紧固螺栓长期受到接线盒盖板的剪切作用。采用改进措施后,该结构已安全运行超过 3 年,期间未发生过接线盒盖板紧固螺栓松脱、断裂故障,改进效果显著。目前该结构已经在公司新研制机车牵引电机

上全面推广运用,取得了良好的社会效益。

【参考文献】

- [1] 廖洪涛.和谐 HXD1 型大功率交流电力机车概述[J].电力机车与城轨车辆, 2007, 30(1): 7-10.
- [2] 邓日江.和谐 HXD1 型机车用变频异步牵引电机[J].电力机车与城轨车辆, 2007, 30(1): 18-20.
- [3] 蔡春源.机械设计手册[M].北京:机械工业出版社, 2000.

收稿日期: 2017 -10 -20