

运用检修

ZD114-A型电机电刷与换向器 异常磨耗分析与改进

龙世杰

(南车株洲电机有限公司, 湖南 株洲 412001)

摘 要: 针对SS_{4B}型电力机车ZD114-A型脉流牵引电动机成批出现电刷与换向器异常磨耗的故障现象, 分析其故障产生的原因, 提出了相应的改善措施, 并付诸实施, 使问题得到了有效解决。

关键词: ZD114-A型脉流牵引电动机; 换向器; 稳定性; SS_{4B}型电力机车

中图分类号: U269.6; U264.1+2 **文献标识码:** B

文章编号: 1000-128X(2014)03-0103-03

1 概述

朔黄铁路车辆公司配属肃宁机务段的SS_{4B}型电力机车2002年11月开始陆续投入运行, 运用20万~30万km后, 机车上的ZD114-A型脉流牵引电动机成批出现电刷与换向器异常磨耗的故障现象。换向器工作表面出现凹槽, 电刷寿命仅为3万~5万km, 磨耗严重的为2万km, 在肃宁机务段西线运行个别最严重的为0.1万km。

2 存在的问题

现场情况为故障电机主要出现在运行于坡道较大的西线的机车上, 运行在东线平坦线路的机车故障电机少。现场还反映, 换向器工作面凹槽越深, 电刷的寿命就越短。

由于配属肃宁机务段的SS_{4B}型电力机车电机电刷及换向器异常磨耗而严重影响机车正常运行, 并且ZD114-A型脉流牵引电动机换向器及刷架系统是引进日立公司的技术, 故障形成机理很复杂, 要找到故障的真正原因才能做出有效的改进, 形势紧迫, 且技术难度很大。

3 原因分析

3.1 运行环境的影响

朔黄铁路神肃区段在12‰长大下坡道采用单机牵引5 600 t重载列车, 由于列车下滑力已经超过单机电气制动力, 机车靠电制动力不足以维持恒速下坡。由于机车下行速度太快, 司机采用了间断式空气制动降速, 所以机车呈现出一种周期性变化的波浪式速度变化形式, 常常又遇到轨面存在油渍、机车过快下冲、轮轨振

动, 还有恶劣的冰雪风雨天气、钢轨不平、车轮不圆等不利因素, 轮轨间的动态粘着就会被破坏, 不能实现最佳的轮轨粘着状态。为了控制机车快速下冲, 司机加长了空气制动的时间, 当发生轮对抱死、机车滑行时, 电机停转, 电刷与换向器位置相对静止, 最大制动电流导致电刷与换向器接触位置温度急剧升高, 最终导致电机换向器等节距的变形。最大制动工况下的滑行率上升, 它频繁地给牵引电机带来了周期性的电气、热应力和离心力的冲击, 在夹杂着大量的高次谐波的最大制动电流作用下, 电机磁场严重畸变, 换向恶化, 车轮踏面擦伤造成车轮失圆, 由于异常磨损的积累, 加剧了轮轨的振动, 进而激化了机车的滑行, 导致了“滑行—擦伤—振动—擦行”的恶性循环, 剧烈的振动又将加剧电机换向的恶化, 进而发生换向器变形、电刷碎裂、连线振断等现象, 这是在肃宁机务段机车电机换向器异常磨耗的主要原因之一。

3.2 换向器结构的影响

ZD114-A型脉流牵引电动机采用传统的拱式换向器结构, 其换向器由压圈、云母环、套筒等通过螺栓进行轴向紧固。要求螺栓、换向片环有合理的轴向柔度匹配, 在换向器冷热交替变化过程中能得到轴向的弹性补偿, 保持换向器工作面的圆滑。在返厂修电机换向试验后, 在07-04-54#换向器工作面上沿轴向分别取3点进行测量, 测量结果如图1(图中数字的量纲为丝米, 即 10^{-2} mm)。

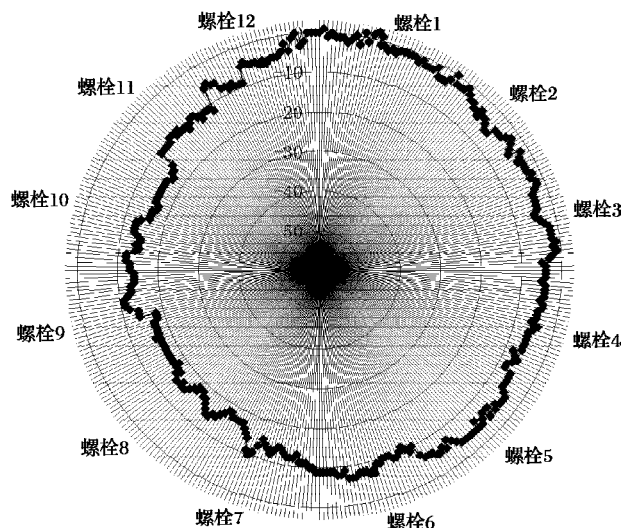


图1 换向器表面变形量

换向器表面变形有2个特点:

- ①在多数螺栓位置换向片变形量大, 且呈6等极距的变形, 说明机车滑行对换向器的影响很大。
- ②换向器工作面变形曲面并不连贯, 呈断续跳跃变化, 说明换向器抗应力变形裕度不够、换向片滑片现象严重。

从3个测点的变形量分布图中可以看出, 换向器工作面中间点凸出量达0.10~0.15 mm, 说明换向器翻转变形。

通过对返厂修电机020877#电枢换向器解体检测发现:换向器工作面有2组6极距变形;圆周跳动量达0.58 mm,最大凸片0.3 mm;换向片环30° 鸽尾部角度塑性变形:一端为0.14~0.23 mm,另一端为0.22~0.30 mm;云母环30° 受力面有滑片,受力部位表面有磨损产生的白色粉末。

换向器发生以上变形,说明换向器抗应力变形能力不够,国产化材料不匹配,换向器螺栓弹性太小,换向片环的轴向柔度与螺栓的轴向柔度之比值匹配不合理,即换向器的轴向柔度匹配不合理,导致换向器不能根据内应力的变化而均匀地变化。

运用中,ZD114A电机换向器在冷热交替、加减速冲击的作用下,其内部应力大小也跟随变化,换向片环会在螺栓、压圈和套筒夹紧下,由于受热膨胀、振动和离心力的影响,产生过大的内应力,它会使换向片鸽尾部和云母环产生塑性变形,云母环滑片断续变薄,换向片鸽尾部断续变形,使换向片环的夹紧力断续地、不均匀地减小,当压力减到一定程度,片间压力锐减而无法正常夹紧时,夹紧力最小的某些部位在振动、离心力和内应力的联合作用下率先外凸,从而使换向器工作表面凹凸不平,电刷与换向器表面磨损加剧。这是电机换向器及电刷异常磨损的原因之一。

3.3 换向磁场的影响

SS4B型电力机车为什么运行在肃宁机务段的西线上其电机电刷及换向器异常磨损的故障率就特别高,而运行在东线平坦线路上的机车的电机故障就少得多呢?为了弄清楚电机内部的原因,查阅了2001年《ZD114-A型脉流牵引电动机的型式试验报告》,报告中的数据基本正常,而西线与东线最大的区别就是西线上有又长又大的坡道,SS4B型电力机车运行在这条线路上时,机车拖动电机,电机做发电机状态运行,电机起电气制动作用;而型式试验报告中的数据是电动态的数据,不能真实地反映机车运行在长大坡道线路上机车电机的实际运行状态。带着这个疑问重做了ZD114-A型脉流牵引电动机的型式试验,在试验过程中,通过认真对比、观察,发现电机在额定转速条件下,发电态的换向火花等级超过电动态,最大的火花等级达到3级,而电动态的火花等级只有2级,发电态的火花相比电动态整整高出一个等级。说明电机欠补偿,这是电机换向器及电刷异常磨损的原因之一。

3.4 碳刷的影响

针对ZD114-A型电机原使用DHT电刷时换向火花过大的问题,特选用CE20电刷进行了换向对比试验;将CE20电刷先后装于6台ZD114-A型电机上进行试验,与先前装于同台电机上的DHT电刷进行对比,结果显示:CE20电刷的换向火花明显降低,同样工况条件下火花等级大多对应降低1个等级。电机原使用DHT电刷时换向火花过大,这是电机换向器及电刷异常磨损的

原因之四。

3.5 其他因素的影响

在试验中还发现电机火花大与碳刷压指压力普遍偏小4~5 N、刷架等分度超差0.3 mm、电枢套了内油封后不平衡量达62 gcm等有密切关系。这是电机换向器及电刷异常磨损的其他原因。

3.6 故障现象综述

电力机车在长大下坡道上运行时电机呈发电态运行,换向火花增大,换向器表面的温度会快速升高,特别是在机车轮对滑行时,电刷与换向器位置相对静止,最大制动电流将造成电刷下的换向片表面的温度急剧升高,换向片表面硬度会快速下降,换向片内热应力随之增高,加之在线路上的振动,换向片凸出量及云母滑片机率增加,换向器等节距变形,换向器工作面失圆。滑行缓解后,电机旋转,凸出的换向片使电刷跳动量加大,电刷和换向器的接触由滑动变成了跳动,在最大制动电流下电刷离开换向器的瞬间产生拉弧,表面氧化膜被破坏,在接触的瞬间又变成剪切运动,电刷和换向器的磨损加剧,尤其硬度下降的换向片磨损更大,工作面的氧化膜难以形成,电刷寿命就会大大降低。

4 改进措施

4.1 改善电机的运行环境

根据朔黄铁路机车重载特点并经过机车添乘的实践,建议采取如下措施:

①在神肃区段坡度最大的下坡路段采取双机电气制动运行方式,让电气制动在长大坡道上发挥准恒速调速作用。

②改进微机滑行保护逻辑与门槛值整定,以降低轮对抱死滑行率。

③加强轮周踏面状态检查,及时镟轮,确保转向架良好的动力学性能和减少机车的振动。

④保障机车撒砂状态良好,严控砂粒质量,找准机车运行中的撒砂时机,改善轮轨粘着,减少滑行率。

⑤加强滤尘网的清洗、保障机车通风良好状态,保障换向器的热稳定性。

通过从多方面采取措施,改善了机车的运行环境,减少了机车的振动和滑行。

4.2 提高换向器的机械稳定性

攻关小组从制造工艺、原材料与原设计的相互匹配性着手,做了大量细致的调研、研究性试验、解体检测和分析等工作,认为要解决电机本身存在的缺陷,必须从电机的设计、制造工艺和材料全面改进,重点解决换向器的机械稳定性和电机的换向性能。

1)改进设计

在设计上引入弹性换向器设计的理念,对原换向器作了多项设计改进,消除了原设计上存在的换向片

鸽尾部应力过大、换向器轴向柔度匹配欠佳和换向器翻转变形等缺陷。

其中一项是更换更为细长的柔性螺栓的技术方案,它可以使ZD114-A型脉流牵引电动机的换向器轴向柔度比值从70降到了49,更换了柔性螺栓的电机换向器的机械稳定性得到了较大的提高,取得了比较明显的整改效果。经装车运行证明:ZD114-A脉流牵引电机在换向器其他条件基本相同的情况下,更换了柔性螺栓的电动机平均无故障运行里程(正态分布的中心值)可提高20万km以上。

2)改进生产工艺

在生产工艺中,对换向器制造工艺和工装模具作了多项改进,重点提高了换向器压装等工艺的要求,达到了精细化生产的水平,确保换向器内应力适中,12个换向器螺栓受力均匀,且预应力减小,提高了换向器的机械稳定性。

3)优选材料

在材料的选用上,将梯排的抗拉强度提高到日立设计图纸的要求,提高梯排两侧面的平面度要求;将换向器云母板胶粘剂改用进口无机胶粘剂,通过优选材料,提高了换向片环抗变形的能力。

除上述3点之外,还有值得一提的就是提高换向器合格的验收检测质量标准。

4.3 改善电机的换向性能

4.3.1 改善换向磁场

针对电机在额定转速条件下,发电态的换向火花超过电动态一个等级的情况,通过对换向磁势的计算,验证电机换向性能。

换向器的总磁势:

$$AW_Z = AW_{ph} + AW_{H2} = 4850(A) + 1313(A) = 6163(A)$$

式中: AW_{ph} 为第一气隙磁势,查设计手册为4850(A);

AW_{H2} 为第二气隙磁势,查设计手册为1313(A)。

实际换向磁势:

$$AW = I_a \times W_H = 845 A \times 7 \text{匝} = 5915(A)$$

换向磁势差值:

$$AW - AW_Z = 5915 - 6163 = -248(A)$$

换向磁势差值数据说明电机确实属于欠补偿。

实际换向极第二气隙磁势:

$$AW_{H2S} = AW_{H2} - 248 = 1065(A)$$

因此必须对换向磁路进行调整,一般选择对换向极第二气隙重新进行计算:

$$\delta_{H2} = \frac{AW_{H2S} b_{mH}''}{0.8 B_{mH} b_{mH}' - 3 AW_{H2}} = \frac{1065 \times 3.9}{0.8 \times 0.5083 \times 10^4 \times 3.3 - 3 \times 1065} = 0.406 \text{ cm}$$

式中: $b_{mH}'' = 3.9 \text{ cm}$, 为换向极第二气隙(平均)宽度;

$b_{mH}' = 3.3 \text{ cm}$, 为换向极铁心最小宽度;

B_{mH} 为换向极铁心磁密,查设计手册为0.5083 T。

将原来第二气隙由5.4 mm调整到3.9 mm。对换向磁势进行了补偿;并应用有限元法分析换向磁场后,对换向极极靴进行了削角处理,经多次无火花区试验,对换向极第二气隙进行了最后确认,改善了电机的换向磁场,从而使得电机在发电态和电动态的换向火花的变化趋于平衡,消除了旋转电势引起的换向火花对电机的影响。

4.3.2 电刷选型优化

在试验中还发现电机的无火花区与电刷结构及许多因素有关。电刷结构改进后进行换向试验,结果显示:结构改为斜楔形压块式的CE20电刷,电机热态运行3 h后的换向火花等级与1 h后的等级基本相同,即电机长时间运行后换向火花没有变化。经无火花区试验验证:正负馈电流 ΔI 基本对称,无火花区宽度略有增加。在肃宁机务段SS4B型电力机车ZD114-A电机上批量使用CE20电刷,未发现电刷本身原因引起的故障。

4.3.3 提高电刷的压力

对电刷弹簧压力进行了调整,由 $34(1 \pm 7\%) \text{ N}$ 调整为 $34(1+7\%) \text{ N}$,使电刷的跳动量相应地减少。

针对其他原因,已在生产中采取严格控制工艺质量的方法加以克服。

通过减少机车振动和滑行频次、对电机第二气隙的调小、碳刷的优选、电刷弹簧压力的提高等措施,有针对性地降低了电机换向火花,改善了电机的换向性能,对换向器轴向柔度的优化和内应力的调小,从内部提高了换向器的机械稳定性,从而改善了换向器的运用状态。

5 实施效果

改进后的电机已通过型式试验,各项性能完全满足设计要求,换向器稳定性大大提高,基本消除电机运用中换向器与电刷异常磨损的惯性故障,满足了机车正常运行的要求。电机投入运行考核,到目前为止已运行了151万~190万km,运行情况良好,无故障运行时间达到和超过了预定目标(一个中修期:50万~55万km无故障),为用户减少维护成本近亿元,用户很满意。

参考文献:

- [1] M Д 纳霍德金. 牵引电机设计[M]. 北京:中国铁道出版社,1983.
- [2] 西安交通大学电机系. 牵引电机[M]. 北京:中国铁道出版社,1981.
- [3] 曹飞. 直流电机无火花换向区的试验调整原理及方法[J]. 九方技艺,2004(2):24-26.
- [4] 谢嘉伟. SS7型电力机车牵引电机环火原因分析与措施[J]. 机车电传动,2013(3):101-102.

