

高原运用环境下交流传动电力机车 检修维护优化建议

王 爽

(青藏铁路公司, 青海 西宁 810006)

摘 要: 介绍了HX_D1C型大功率交流传动电力机车在西格线的运用情况, 重点分析了高原环境因素对电力机车设备绝缘性能、负载能力和材料寿命的影响, 对典型设备运用于高原环境条件下的检修维护技术进行深入分析, 提出预防性维修优化建议。实际应用表明, 采用预防性维修优化建议能提高电力机车在高原运用环境下的运用质量。

关键词: HX_D1C型机车; 高原环境; 高原铁路; 高海拔; 检修维护

中图分类号: U269.6; U260.9⁺7

文献标识码: B

doi: 10.13890/j.issn.1000-128x.2016.06.027

0 引言

高原铁路所处的高原地区, 存在气压低、空气密度小、太阳辐射及紫外线辐射强、昼夜温差大和冬季严寒等特殊气候因素, 这些因素对电力机车的电气设备绝缘性能和功率发挥、材料寿命等均有较大的影响, 需要对电力机车开展具有针对性的检修维护, 以保障电力机车在高原环境条件下的可靠运用。由于前期国内外在高海拔地区运用的铁路机车主要为内燃机车, 因此在电力机车检修运用方面尚缺乏可借鉴的成熟经验。本文将设计运用海拔不高于2 500 m的HX_D1C型交流传动货运电力机车(以下简称“HX_D1C型机车”)在西格线的实际运用情况为基础, 对运用于高原环境条件下的交流传动电力机车检修维护技术进行探讨。

1 HX_D1C型机车运用概况

2010年12月, 青藏铁路西格线率先开通世界首条高原电气化铁路, 该线路全程834 km, 最大坡度16‰, 其中西宁海拔高度为2 205 m, 格尔木海拔高度为2 814 m, 海拔最高点位于关角隧道内, 海拔高度为

3 750 m, 西格线平均海拔高度为3 037 m。

从2011年1月开始, 共有68台HX_D1C型机车陆续配属到青藏铁路公司西宁机务段, 在西宁至格尔木间(最高海拔3 750 m)担当货物列车牵引。该型机车总体运用质量稳定, 但由于HX_D1C型机车总体性能参数和各部件的选型均按照运用海拔不超过2 500 m进行设计, 通过对上线初期约2.5年统计的部分设备故障情况发展趋势进行分析, 发现该型机车在西格线投入运用以来, 其高海拔环境的不适应性逐渐显现出来。

通过对收集到的西宁机务段该型机车连续28个月的高压电器(包括受电弓和主断路器)故障数据进行分析, 在整个运行时间段的故障发生概率比较离散, 但从台车故障频次的对数趋势线(如图1)分析可以看出, 高压电器设备故障率虽总体平缓, 但有缓慢上升趋势。

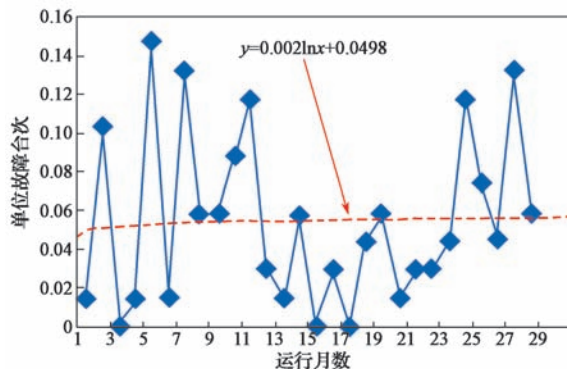


图1 高压电器故障频次及趋势

通过对连续2年时间内发生牵引电机绕组的故障统计数据进行分析, 发现配属西宁机务段的HX_D1C型机车牵引电机绕组平均故障概率远高于该型机车在其他低海拔地区运用的情况。牵引电机绕组一旦发生故障, 将导致三相电流不平衡、过流、主电路接地等故障。

通过对机车电子控制设备(包括变流器控制板、网络控制设备、主断路器控制器、空调、过分相装置等)故障数据的统计分析, 各设备故障相对较分散, 但故障率呈上升趋势。图2所示为连续2年多时间内相关设备故障率按月分布状况及其对数趋势曲线。从其他低海拔地区机务段了解到, 该型机车的电子控制设备

故障率均呈下降趋势。

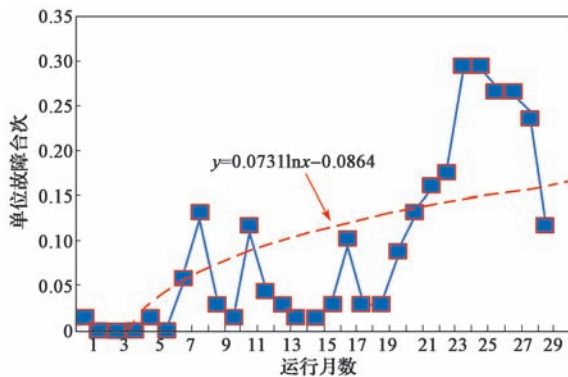


图2 电子控制设备故障频次及趋势

此外，对变流器、冷却塔、压缩机、电机、油泵、高压电压互感器、干燥器等设备润滑油脂漏油和冷却液漏液等故障数据进行统计分析，发现含油脂、冷却液的密封设备故障发生具有明显的季节性，冬季故障率明显高于夏季，从统计数据看，每年1月份出现漏油、漏液的故障数量达到该年度最高值。从总体趋势上看，漏油、漏液故障呈上升趋势，如图3所示。

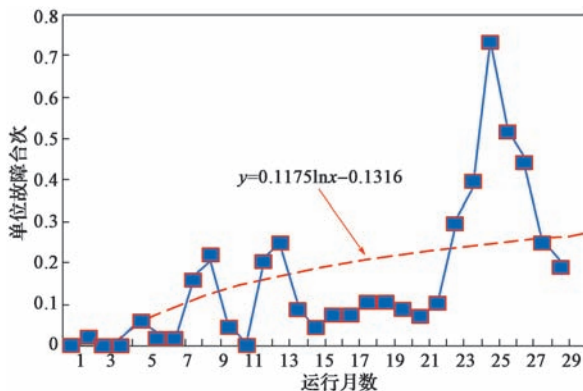


图3 漏液故障频次及趋势

2 高原环境因素影响分析

高原环境条件对电力机车的影响是多方面的，通过对上述统计数据进一步分析和总结，设备故障主要体现在电气设备的绝缘性能下降、负载能力下降、材料老化等方面。

2.1 绝缘性能

国内外专家对高海拔环境对电气设备绝缘性能的影响已有较多的研究^[1-2]，且已形成了基本的共识。随着海拔高度的升高，气压逐渐减小，空气密度降低，使电气设备外绝缘耐电强度下降，尤其是高压电气的绝缘性能下降明显。高海拔地区空气绝对湿度小是影响高海拔地区高压电器外绝缘放电电压降低的另一因素。高海拔地区气压低、空气稀薄，高压电气设备和绝缘子交流电晕起始电压降低，因而电晕现象较平原地区严重。在海拔2 000 m左右的地区，高压电气设备等带电部分电晕现象显得尤为突出。电晕放电会引起导体腐蚀、绝缘子闪络等故障的发生，严重时甚至干扰网络通信及保护控制系统的正常工作。

GB 311.1—2012《绝缘配合 第1部分：定义、原则和规则》和 GB/T 20635—2006《特殊环境条件高原用高压电器的技术要求》中明确指出，电气设备的外绝缘强度随海拔高度升高而呈指数下降，在确定设备外绝缘水平时应进行海拔修正^[3-4]。此外，GB/T 21413.1—2008《铁路应用机车车辆电气设备 第1部分：一般使用条件和通用规则》对机车主电路、辅助电路和控制电路上电气设备的使用海拔做了规定，海拔一般不超过1 400 m，如应用在更高的海拔地区时，应考虑介电强度降低的影响^[5]。

2.2 负载能力

随着海拔升高，对电力机车运行的另一个重要影响就是牵引电机、变压器、变流器等大功率牵引系统设备和其他电气设备负载能力下降。设备的负载能力下降的直接原因是，高海拔环境下以额定工作条件运行时设备温升较低海拔地区高。设备长期运行在高于设计温升情况下，对设备使用寿命影响较大，因此需要降低功率使用。

导致设备温升偏高的根本原因则是随着海拔增高，空气压力和空气密度降低，引起空气介质冷却效应降低。对于以自然对流、强迫通风及空气散热为主要散热方式的电器设备，由于空气介质冷却效应的降低，设备温升随之升高，相关文献对此做了大量试验验证^[6]。此外，GB/T 20635—2006中还指出，交流系统的设备温升随海拔升高呈指数增长，另外，在高海拔地区由于太阳辐射强，也会增加设备表面附加温升。TB/T 3213—2009《高原机车车辆电工电子产品通用技术条件》则针对海拔升高给出了具体的温升设计修正方法^[7]。对于高发热电器，海拔每升高100 m，温升极限值可增加2 K，应降低额定电流值使用，或选用较高一级额定电流值的产品；电机温升极限值按海拔每升高100 m增加0.8 K修正，电流容量按海拔每升高300 m降低1%修正；对于油浸强迫风冷的牵引变压器、电抗器等设备的额定温升按每升高100 m增加0.6%修正。

2.3 材料寿命

西格线最低海拔2 200 m，最高海拔3 750 m，海拔落差达到1 550 m。沿线日温差大、低温时间长、气压低、紫外线强、热辐射高、多盐污、多沙尘爆是西格线的典型环境气候特点。随着海拔增高，环境条件急剧恶化，对设备的使用寿命和可靠性有较大的影响。

气象资料显示，西格线冬季最低气温低至-40℃，最大日温差达到30 K，从最低海拔至最高海拔之间平均气压变化达21%。4 000 m高海拔地区，最大太阳辐射强度达到1 180 W/m²，是平原地区相应值的1.18倍；紫外线辐射强度随着海拔升高的增加率比太阳热辐射的增加率还高，达到了平原地区相应值的2.5倍以上。青藏铁路西宁至格尔木铁路沿线通过察尔汗盐湖边缘并且在冬、春两季沙尘活动较频繁。

日温差大和低气压条件易引起材料膨胀和收缩,导致结构尺寸的变化而产生变形,或造成应力集中而发生开裂;引起密封体内相对湿度变化,造成凝露、冻结或蒸发,加速腐蚀率或降低绝缘电阻和抗电强度。低温环境对机械及车载电气设备的影响是多方面的,如使电解液冻结,导致蓄电池不能正常使用;影响网络控制设备正常启动,增大传感器误差;使材料变脆,如塑料、钢材在低温下容易发生脆裂损坏,橡胶材料硬度增大,弹性下降等;低温使齿轮箱、轴承等润滑油粘度增加,甚至冷凝冻结,影响产品润滑性能。

紫外线使有机材料(如塑料、橡胶、涂料等)劣化,如失去光泽、表面粉化、性能变脆、机械强度下降、产生裂纹、使空气易于电离而导致外绝缘强度及电晕起始电压降低等,涂料会产生气泡和脱落现象。热辐射对物体有加热作用,将降低有机绝缘材料的机械电气性能,使材料变形,产生机械热应力等。盐污对金属和防护层造成腐蚀,影响外观质量,甚至锈蚀而对产品的装饰性造成破坏;当紧固件锈蚀严重时,拆卸困难,影响产品的维修性;微细导线腐蚀严重时,将造成断路等。沙尘对电力机车电气设备、空气管路、润滑油脂、设备外壳等造成较大的影响,如使电气触点接触不良,使管道设备堵塞,对冷却或润滑油造成污染,对设备外壳、油漆造成磨损。

前述电力机车的漏液故障直接反应了恶劣的环境条件对密封材料性能和使用寿命的影响。

3 典型设备检修分析及维修优化建议

受高海拔、低气压、大温差、强紫外线等特殊高原环境因素影响,机车的电气设备绝缘击穿电压降低、空气冷却效果减弱、功率输出设备负载承受能力降低、部分设备提前老化失效;在这种特殊恶劣环境下长期使用,电力机车车顶高压设备、变流器模块、牵引电机、走行部橡胶关节、油脂等关键设备和材料故障概率日趋增大,增加了检修维护作业难度和检修运用维护成本。

为降低检修维护作业难度,提高机车可靠性和维护性,运用RCM(以可靠性为中心的维修)分析技术^[8],对受高原环境影响较大的部件和系统开展可靠性、维修性分析工作。以HXD1C型机车主要系统及部件FMECA(故障模式、影响及危害性分析)结果作为RCM分析的输入,针对RCM分析项点,按逻辑决断图的流程对各功能故障原因进行分析,从部件或系统功能故障可能导致的后果着手进行判断,选择适用而有效的预防性维修工作类型;对于没有找到适用的和有效的维修工作类型的项点,根据其故障后果的严重程度提出设计改进建议。基于RCM分析结果,结合运用过程中不断总结的经验,对电气绝缘、冷却系统、材料防老化3个主要方面提出预防性维修优化建议。

加强针对电气设备绝缘性能的维护和检测。为了

降低高压设备在高原地区的故障风险,在对电力机车进行日常维护保养时,需扩大对高压电器设备的日常维护保养范围,机车入库即对车顶高压设备进行清洁,检查外观是否正常,定期对高压电器进行绝缘电阻测量,并持续跟踪绝缘参数的发展趋势。根据运用经验,对牵引电机三相绕组电阻特性进行定期检测也是很有必要的,采用该项措施能及时发现电机绕组绝缘损伤。

增加针对冷却系统的检验。由于冷却系统的性能直接影响整车负载能力,对于机车冷却设备的检修维护措施,除缩短定期检修周期外,还需增加必要的理化指标分析措施,如定期化验牵引变流器冷却液的成分,以确定其冷却能力是否减弱;化验变压器油的气体含量,判断冷却油的老化变质程度;化验齿轮箱油的成分,判断由于高低温冷热交替引起油脂粘度变化,以减轻对轴承的损坏程度等。

对于材料防老化的预防性维修是重点关注绝缘材料和密封设备。针对绝缘材料的维修措施主要是进行绝缘电阻的测量和外观检查。针对密封设备的检查措施主要包括定期检测橡胶关节外观、冷却管路和制动管路查漏补缺、缩短补充关节和轴承油脂的周期等等。

4 结语

本文结合HXD1C型机车在西格线的实际运用情况,分析了高原环境对电力机车设备的影响,针对电力机车电气设备绝缘、冷却系统和材料防老化等方面提出了预防性维修优化建议,为进一步完善电力机车在高原地区的检修维护体系建设和新型电力机车高原环境适应性技术提升提供参考。经过高原环境适应性改进的HXD1C(高原)机车在绝缘性能、冷却系统性能、材料防老化性能、防寒性能等方面有了较全面的提升,在西格线的运用质量较其原型机车HXD1C型机车有较大的改善。此外,通过上述预防性检修维护措施的应用,近年来HXD1C型机车在西格线的运用质量得到了较好的提升,也验证了本文提出的检修维护措施的有效性。

参考文献:

- [1] 严云升, 范祚成. 高原环境对机车车辆电工电子产品性能的影响[J]. 铁道技术监督, 2010, 38(11): 1-5.
- [2] 马连仲, 康明明, 陈安俊. 高原环境对电力机车车顶高压电器的影响及对策分析[J]. 电力机车与城轨车辆, 2013, 36(5): 44-47.
- [3] 绝缘配合 第1部分: 定义、原则和规则: GB 311.1—2012[S].
- [4] 特殊环境条件高原用高压电器的技术要求: GB/T 20635—2006[S].
- [5] 铁路应用机车车辆电气设备 第1部分: 一般使用条件和通用规则: GB/T 21413.1—2008[S].
- [6] 曹寅, 孙建民, 谢磊雷. 高海拔地区对电子产品的使用安全性影响分析[J]. 上海标准化, 2008(12): 31-35.
- [7] 高原机车车辆电工电子产品通用技术条件: TB/T 3213—2009[S].
- [8] 李耀军. 基于RCM的和谐型机车维修系统研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2012: 10-11.