

电力机车牵引电机温升偏高的分析与优化

汪世锋

国能朔黄铁路机辆分公司机车检修中心 河北 沧州 062350

摘要: 机车牵引电机由逆变器供电, 牵引系统联调试验时, 逆变器输出的电流或电压中均含有大量高次谐波, 使牵引电机定、转子电流和高次谐波铁损增加, 从而使牵引电机定子绕组温升增加。牵引电机在进行逆变器供电温升试验时, 经常出现绕组温升偏高问题。机车牵引电机由逆变器供电, 牵引系统联调试验时, 逆变器输出的电流或电压中均含有大量的高次谐波, 使牵引电机定、转子电流和高次谐波铁损增加, 从而使牵引电机定子绕组温升增加。

关键词: 牵引电机; 定子绕组; 温升

引言: 随着铁路运输不断发展, 列车在追求快捷、方便、安全和舒适的同时, 也朝着多样化、个性化方向发展, 因此, 新产品的研制越来越多, 研发周期越来越短。牵引电机作为列车的核心零部件, 既要求具有高安全性、高可靠性和高稳定性, 又要求研发周期短、交货快。成型线圈作为牵引电机定子的主要组成部分, 普遍的设计过程是先根据电磁方案计算出线圈尺寸, 再用绘制线圈图纸, 最后进行尺寸标注。

1 牵引电机温升的原因分析

牵引电动机温升特性影响因素较多, 一方面牵引电动机本身就是一种机电能量转换机器, 在能量相互转换中, 能量转换以及耗散导致牵引电动机温升。另一方面由于牵引电机使用时间过长, 如热老化、匝间放电、局部放电、外界环境影响, 就会导致绝缘层受损, 使得牵引电动机内部热源分布不均匀, 导致热量的不均衡传递, 从而使电机局部温度过高, 使牵引电动机温度场分布较不规则, 降低了牵引电动机使用寿命。牵引电机温升特性失常大多数情况下, 绝缘层受损有三个直接因素, 而影响绝缘层绝缘特性的因素有四大类, 即热量传递、局部电流、外界环境、机械振动等, 实际运用中, 四种因素常常共同作用, 因此使绝缘层影响较大, 牵引电机温升特性更加不可控。牵引电动机内部热源分布不均匀, 导致进行电机温度场以及温升计算较难, 由传热学知识可知, 电机的温升与传热介质的导热系数和表面传热系数有直接关系^[1]。

2 温升试验的必要性

电力机车牵引电传动系统主要由网侧电路、牵引变压器、主变流器、牵引电机等组成。在运行过程中, 受电弓从接触网上受流, 单相交流高压电经牵引变压器降压后传入牵引变流器, 整流逆变为三相交流电, 最终

进入牵引电机绕组。其中, 牵引电机由大量绕组线圈组成, 是系统中最主要阻性部件, 也是系统工作过程中最大的发热部件。因此, 牵引电传动系统温升试验需要着重关注其变化。因此, 电力机车整车型式试验中也相应地规定了牵引电机温升试验项目, 主要测量牵引电动机绕组装车后的持续温升, 确认牵引设备在设计温升限值内按规定负载周期运行的能力^[2]。

3 电力机车牵引电机温升偏高的分析与优化

3.1 梳理试验数据

试验数据的梳理对牵引电机定子绕组温升偏高的原因分析, 起到至关重要作用。如果试验数据缺失、测试位置不明, 甚至测试方法不准确, 将直接影响温升偏高现象的分析方向, 无法找到真正原因。如果试验数据准确、测点位置清晰、测试方法明确, 可有效地为找到温升偏高原因提供正确的分析方向。温升异常数据梳理包含正弦波供电和逆变器供电的电压、电流、功率因数、效率、损耗、各测点绕组温升、电阻法绕组平均温升和各测点铁心温升、轴承温升、进风口温升、出风口温升和环境温度等。通过对该类数据的记录、收集和整理, 并与测点位置一一对应, 将试验数据进行整理, 再进行数据分析, 可确定供电电源品质、牵引电机温度分布特点和温升异常区域。

3.2 审核技术设计

审核技术设计对牵引电机定子绕组温升偏高问题的源头定位作用明显, 经全面、反复、多次深入分析, 找到异常问题与技术设计的相关性, 可有效为温升和静压异常问题提供正确解决方向^[3]。(1) 电磁结构审核包含电机总体数据, 定、转子冲片数据, 定、转子槽数据, 定子线圈数据和转子导条数据等。通过对该类数据进行梳理、分析, 并比较本牵引电机电磁结构与原型机的差

异,判断电磁结构参数设计是否合理,是否存在由异常电磁结构设计导致的电机严重发热。如该牵引电机相对原型机铁心长度增加了140mm,对轴向通风散热结构的电机而言,两端冷却效果的差异很大。(2)电磁参数审核包含牵引电机额定电压、电流、功率因数和效率等性能参数。磁通、磁密和满载电势标准值等磁负荷参数。电密、热负荷和损耗等热性能参数。电阻、电感和电抗等主电路参数等。通过对该类数据进行分析,比较本牵引电机电磁参数与原型机的差异,确定哪些参数存在异常,从而影响电机的发热和散热^[4]。

3.3 运行试验过程

运行试验过程中,接触网电压应在适当的范围之间,被试机车牵引手柄在最高级位,陪试的负载机车处于再生制动并控制试验列车速度在持续速度 v 运行下运行,使电机绕组温度达到稳态。试验过程中,记录牵引电机电流电压、牵引变压器绕组电压电流及列车速度、环境温度、测试牵引电机出风口温度等参数。在牵引电机绕组温度达到稳态后,实施紧急制动停车,并分主断路器,切断接触网供电,对牵引变流器中间直流环节进行快速放电。向被测牵引电机绕组送入30A左右的直流电流,连续(不少于5min)采集牵引电机绕组的电压、电流值^[1]。温度达到稳态的判断原则为:(1)牵引电机出风口温度的上升在最后1h内不超过2K。(2)被试机车持续工况运行达到3.5h以上。另外,为减少被测绕组内部热量流失,提高测量准确度,并保证试验安全性,被试机车断电到开始测量热态电阻的过程中应注意如下几点:

(1)在机车放电结束前禁止进行热态电阻测量。(2)通过紧急制动按钮来实现快速停车及断电降弓,一方面可实现最快速度断电停车减少热量损耗,另一方面牵引电机在快速降弓后产生励磁电流,也符合恶劣试验条件的要求。(3)机车停稳后电机励磁完全消除,方可接通直流电源、测量热态电阻。(4)应保证机车断电开始时刻到开始测量之间的时间差尽量短,IEC60349-2建议不超过45s^[2]。

3.4 牵引电动机温升影响

牵引电动机内部交换热量过程是一个相对较复杂的过程,由于外部环境和内部部件之间的磨合等因素的影响,导致牵引电机温度场变化无规律分布。国内外学者对牵引电动机空气冷却系统研究较多,使得牵引电动机某一项指标符合设计规范值,降低牵引电机温度上升步长并一定程度上延长牵引电动机寿命,提高牵引电动机运行效率。牵引电动机部件发热严重,不仅仅会降低牵

引电动机的使用寿命,也会引起电机内部结构部件的严重变形,严重时导致牵引电机驱动机组剧烈振动从而危及牵引电机运行安全。因此,正确计算与研究电机各部件温升情况,不仅可以优化电机设计,还为今后电机高效、安全运行奠定了坚实的基础^[3]。对于牵引电机而言,牵引电机内部绕组和铁心温度的上升对牵引电机温升影响较显著,由于牵引电机绕组和铁心温度随进风口风温的升高而逐渐升高,进风口温度上升对牵引电动机的温升特性影响较显著,经实验表明,电机绝缘材料的导热性能以及冷却气体温度对牵引电动机温升影响也较明显。冷却气体温度越低对牵引电动机冷却效果较好,因此,可以该表绝缘材料选择、冷却气体温度和进风口温度对牵引电动机温升具有较好的作用。

对于牵引电动机温升特性控制归纳为以下几点:

(1)对于轴向通风牵引电机,由于冷却气体在循环系统中不断的流动并吸收热量,而忽略冷却气体轴向变换,导致温度并没有下降,而致使系统温度不断的上升,牵引电动机轴向温度分布较不均匀。

(2)由于牵引电动机定子的最高温度出现在距出风口较近的位置,因此保证铁心温度,是保证牵引电动机温升均衡的重要指标,系统最低温度常常出现在铁心附近,因此铁心起着关键性作用^[4]。

(3)考虑牵引电动机内部绝缘特性,因此保证良好的绝缘特性,使得电子绕组上下层的平均温度相差较小,应保证其平均温度低于股线绝缘时的温度的最低值。

(4)保证股线绝缘性能良好的通风系统,对牵引电动机温升均衡性有着较好的作用。

3.5 验证

(1)堵转子孔温升试验验证使用相同的供电电源(正弦波供电)、对同一台牵引电机未堵转子孔和堵转子孔两种状态分别进行堵转子孔温升试验。验证结果为:定子绕组平均温升降低7.7K,最高温升降低18.2K,铁心温升降低21.4K,温升降低效果明显。转子侧,导条温升从104K增加至113K,温升增加幅度不大,且温升也较低。

(2)进风口优化温升试验验证使用相同的供电电源(正弦波供电)、对采用原进风口结构和优化后的进风口结构的同一台牵引电机分别进行进风口优化温升试验。验证结果为:绕组平均温升降低0.8K,最高温升降低7.9K,铁心温升降低5.4K。绕组最高温升降低效果明显^[1]。

3.6 电机改造温升结果

通过对其各种工况下的温升分析,现对直驱电机传动端和非传动端端盖换成了非绝缘端盖,并进行最高转

速下的轴承温升试验。试验条件：转速706r/min、满载、风量1.2m³/s、环温15.1℃，可以看出传动端轴承温升为43.8K；非传动端轴承温升53.1K，可以看出轴承温度符合要求。

结束语

牵引电机本体通风结构优化后，为了更接近实际工况，又进行了用逆变器供电的牵引电机绕组温升试验，该试验结果显示，定子绕组平均温升由197K降低至179K，定子绕组最高温升由222K降低至192K，绕组温升降低明显。采用上述分析方法可系统、有效解决牵引电

机在逆变器供电条件下的绕组温升偏高问题，提供了一种有效的工程解决方案，具有一定的借鉴性和推广性。

参考文献

- [1]罗湘.HXD1型电力机车牵引电机轴承温升报警原因分析及优化措施[J].技术与市场,2019,26(06):55-56.
- [2]宋丽萍.牵引电机温升特性分析[J].装备制造技术,2018(02):186-188
- [3]秦虹.逆变器供电异步电动机的设计难点.机电工程技术[J].2013, 32(5): 33-36.