

关于“和谐”型机车牵引电机 线圈烧损分析及对策

蒋富强¹ 侯玉民²

(1. 检修事业部,山西 永济 044502

2. 西安中车永电电气有限公司,山西 永济 044502)

摘要 随着“和谐”型机车牵引电机的修程越来越高,定子故障率也呈上升趋势,而定子故障现象主要表现为定子绕组绝缘击穿,线圈与定子铁心电腐蚀严重。本文针对定子线圈烧损现象,分析了产生原因并提出了应对措施。

关键词 牵引电机 绝缘击穿 真空压力浸漆

0 引言

“和谐”型机车牵引电机为三相鼠笼式异步牵引电动机,牵引电机的可靠性受到其绝缘性能的制约,特别在基于 PWM 脉宽调制变频器供电的三相异步牵引电机中,电机定子绕组反复承受短时矩形电压脉冲的冲击,电机绕组端电压变化率很大,这对牵引电机绝缘性能的要求很高,否则电机很容易发生绝缘击穿,以致烧损电机。

“和谐”型机车牵引电机的定子接地,基本全部都是由于定子绕组绝缘击穿造成,因此,“和谐”型机车牵引电机在经过近 10 年(目前部分车型已进行 C6 修程)的运行后,定子绝缘老化的趋势不可避免,如不采取措施,牵引电机烧损的情况还会继续出现,将严重威胁机车正常运营。

1 定子绕组绝缘击穿分析

“和谐”型机车牵引电机采用 VVVF 牵引逆变器供电,额定功率 2150kW,定子绕组为 Y 型接法,定子绕组节距 14,极数为 4 极。定子绕组绝缘系统等级 200,对地用聚酰亚胺复合云母作为主绝缘,外包绝缘采用无碱玻璃丝带,采用环氧亚胺树脂作为绕组浸渍漆,并且在绕组出槽口采用 Nomex 纸以增强线圈的耐振动能力,同时采用 VPI(真空压力浸漆)技术,旋转烘焙固化成型。

“和谐”型机车牵引电机大多数牵引电机运行已达百万公里,就目前的烧损情况看,其故障比率还是相对较低。但是在长时间的运行后,其绝缘性能势必会下降,并且由于其供电环境多变,电机烧损的几率相对而言更高,故有必要对烧损原因进行分析,

从定子绕组烧损现象看,造成牵引电机烧损的原因主要有以下 2 点。

1.1 绕组绝缘材料局部放电的影响

发生局部放电的主要原因是过电压致使绝缘体内部或表面电场强度分布不均,特别是当绝缘内部存在缺陷时,例如存在气隙或金属杂质等,出现某些区域的电场强度高于平均电场强度或击穿场强低于平均场强的情况,从而导致在该区域发生放电现象。而电机在制造过程中又不可避免地或多或少会存在缺陷,例如绕组绝缘与槽壁间的气隙导致槽放电,严重影响绕组绝缘。有资料表明,绕组绝缘内部的局部放电现象对绝缘寿命的影响很大。局部放电会造成空间电荷的抽出与注入,增加绝缘材料介质损耗,并逐渐导致绝缘材料发热分解,致使绝缘性能降低。

目前对绝缘局部放电的研究已经成为评价绝缘材料性能和寿命的重要方向。由于局部放电的复杂性,需要通过多种表征参数(最大放电电量、平均放电电量、放电重复率、起始放电电压等)才能全面地反映绝缘状态。局部放电的检测大多都是通过脉冲电流检测法进行,然后对采集到的数据特征参数进行统计分析,从而评估试验对象的绝缘性能,测试标准可以参阅 IEC60851-5。国内外已有研究表明局部放电的表征参数随着老化程度的加剧呈现出一定的变化规律,并且通过分析这些参数,可以了解绝缘在热老化作用下内部缺陷的微观变化。

1.2 电机绕组发热对绝缘的影响

“和谐”型机车牵引电机采用强迫通风,但由于机车运行路况等因素的影响,进风口容易积累灰尘等异物,阻碍进风量。在牵引电机非传动端也会因为灰尘等异物导致出风量较小,从而导致与外界

热交换减小。同时由于传动端处为出风口,牵引电机通过该处与外界进行热量交换,因此,该区域温度相对其他区域较高,发热对该区域的绝缘老化程度影响相对较大,而“和谐”型机车牵引电机的烧损位置就处于该区域,绝非巧合。

集肤效应的作用也会增加电机损耗,特别是转子的铜耗,也会增加电机发热。牵引电机的损耗发热会加剧绕组老化,并且热量会使绝缘材料膨化,进一步增强局部放电或者电晕的力度,使绝缘性能下降,在过电压尖峰的作用下就很容易导致绝缘击穿。在牵引电机定子绕组通风槽口、线圈直线出槽口处以及绕组端部,电场比较集中,当局部位场强达到一定数值时,气体发生局部电离,产生电晕现象。电晕产生热效应和臭氧、氮的氧化物使线圈内局部温度升高,致使绝缘老化、破损、腐蚀。

从“和谐”型机车牵引电机的烧损现象来看,电机烧损位置十分相近,均位于绕组通风槽直线出槽口处,线圈和定子铁心电腐蚀严重,最终导致匝间绝缘击穿,绝缘击穿后短路大电流发热烧损对地绝缘而使电机对地短路。因此,综合考虑定子线圈直线出槽口处的通风条件、绕组匝间绝缘材料、发热情况等因素,“和谐”型机车牵引电机定子绝缘薄弱区域很有可能就位于定子绕组直线出槽口处。

2 牵引电机烧损的对策

为了降低牵引电机烧损故障率,从“和谐”型机车牵引电机大修工作的实际情况出发,可以采用以下方案解决。

2.1 对“和谐”型机车牵引电机重新进行真空压力浸漆(VPI),或者进行绝缘升级

为了提高大中型电机质量和可靠性,现在均采用真空压力浸漆工艺,将电机的定子、转子先放到烘炉内预热,然后在浸漆罐内抽空空气,再把浸渍漆输入罐内,浸没电机,用干燥空气在液面上加一定的压力,利用毛细作用,以实现均匀浸漆,最后再送到烘炉,在一定的温度和时间条件下,使电机的绕组和铁心固化成一体。其主要优点如下:(1)增强绕组的机械强度;(2)增强绕组层间、匝间的绝缘强度;(3)达到“三防”即防潮、防盐雾、防霉的要求;(4)降低运行温度和温升;(5)提高绝缘导热性以及电机的出力,一般可提高10%~15%,并且降低电机的噪声。当然,如果“和谐”型机车牵引电机进行重新浸漆,其浸漆前的预备工作跟新制电机不同,旧电机重新浸漆需要对定子绕组重新进行严格地清洁除漆,

以保证浸漆效果。采用真空压力浸漆重新对牵引电机进行加强绝缘,可以在一定程度上降低定子绝缘老化导致可能引发的绝缘击穿故障率。

2.2 完善电机检修工艺与手段

在牵引电机大修过程中,目前只作绝缘测试、耐压试验以及相间直流电阻的测量。采用1000V兆欧表测量绕组与机壳绝缘电阻,要求大于100 MΩ,50Hz,4050 V对绕组进行耐压测试,时间1min,要求绕组无短路击穿。这样静态测试的结果都能符合要求值,但是无法模拟电机动态运行过程,包括变化的负载、频繁的起停、多向的振动等等。因此目前的检修手段,无法对电机的绝缘性能作出全面、细致地评估,也无法掌握绝缘性能的老化情况。另外,目前的检修只是对两相之间的静态电阻进行了测量,而牵引电机本身就是很大的感性负载,因此仅凭测量的电阻值来判断定子绕组三相平衡是不够准确的,只有综合考虑阻抗相角等参数才能比较准确地判断电机的静态电气性能。

为了实现牵引电机运行状态的全面监测与预测维修,需要完善与改进现有的检修手段。因此,在较为完善的检修设备与技术条件下,通过测试表征牵引电机运行状态的关键参数,例如三相电压、电流、直流电阻、阻抗、电感、相角、对地绝缘、介质损耗、吸收比等,从而利于评判绕组匝间品质并且发现早期微小的匝间短路。

表1为美国能源部及IEEE的电机参数评判标准。该标准认为,阻抗测试较直流电阻的测试更精确, I/F 用于评估故障源于定子还是转子,且能够诊断早期匝间短路等故障。如今这一标准已成为美国能源部推荐的电机质量评判依据。表中数据为三相绕组任意两相之间绕组参数测量值的偏差,例如当任意两相之间阻抗偏差大于等于5%,则可判定该电机存在绕组故障。

表1 IEEE电机三相不平衡评判标准

绕组参数	良好	缺陷	故障
电感 L/mH	5%	10%	15%
电阻 Z/G	2%	3%	5%
$(L/F)/\%$	0	2	>2
相数 $F_i/(\circ)$	0	1	2

总之,通过完善与改善牵引电机检测手段,对电机运行过程中的各关键参数进行定期监控,将有助于对其状态的全面评估,将电机烧损的风险降低到最小。

3 结论

“和谐”型机车牵引电机绝缘系统的老化不可避免。电机的烧损是由端电压过冲、发热损耗空间电荷以及电磁激振力的综合作用导致的,并且以上各种因素活跃的主要区域很可能就位于绕组直线出槽口处。因此有必要完善牵引电机架在大修过程中的检修手段以及对定子绝缘采取补救措施,特别是对匝间绝缘进行加强。与此同时,采用比较可靠的检测手段对“和谐”型牵引电机进行全面的绝缘性能评测,对存在问题的电机采取相应措施。

参考文献

- [1]陆宝琦. 交流变频电机的绝缘. 绝缘材料, 2001, (3):29-34.
- [2]何恩广. 交流传动机车变频调速牵引电机绝缘破坏机理及对策研究. 北京:清华大学, 2003.
- [3]何恩广, 陈红生, 刘学忠, 等. 变频交流牵引电机绝缘系统新构想. 电力机车技术, 2002, (3):17-19.