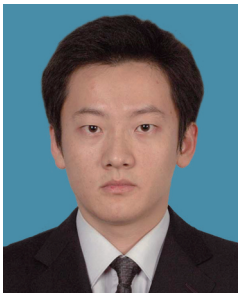
状态检测技术在电气设备中的应用

介绍了红外热成像、振动检测等状态检测技术，通过几起案例介绍其在电气设备预防性维修中的实际应用，为电气设备预防性维修管理提供方法与依据。

赵小伟　翁建峰　于洪乾/万华化学（宁波）有限公司



赵小伟/助理工程师

关键词/Keywords
红外热成像·
振动检测·
预防性维修·

0　引言

传统的维修方式有故障维修、定时维修及预防性维修等。故障维修也称事后维修，是有故障才维修的方式。定时维修是以时间为依据的维修，如大、中、小修。而这两种方式的缺点是容易造成维护不足或过度维修。预防性维修是以预防故障为目的，通过对设备的检查、检测发现故障征兆，或为防止故障发生，使其保持规定功能状态，在故障发生之前所进行的各种维护活动。预防性维修是防止设备故障发生的有效手段，已成为现代企业所普遍采用的一种维护方式。

1　状态检测技术应用

1.1　红外热成像原理

热成像技术是利用热感应照相机的红外线成像技术。热感应照相机可生成热而不是光的图像，它可以测量红外（IR）能量，并将数据转换成相应的温度图像。

1.2　红外热成像判断标准

GB 763—1990《交流电器在长期工作时的发热》判断依据如下：

1）危急热缺陷（Ⅰ）：电气设备表面温度超过90 ℃、温升超过75 ℃或相对温差（温差）超过55 ℃。

2）严重热缺陷（Ⅱ）：电气设备表面温度超过75 ℃、温升超过65 ℃或相对温差（温差）超过50 ℃。

3）一般热缺陷（Ⅲ）：电气设备表面温度超过60 ℃、温升超过30 ℃或相对温差（温差）超过25 ℃。

4）热隐患（Ⅳ）：电气设备表面温度超过50 ℃或相对温差（温差）超过20 ℃。

1.3　红外热成像技术应用

红外热成像是目前行业内对电气设备热隐患检测应用较多的新技术手段，也是比较普遍非接触式故障检测手段。它可以显示故障部位和故障严重程度，能够进行设备缺陷热分布场的分析，比传统测温枪更能准确判断内、外部故障的具体部位，在设备状态诊断中发挥着巨大作用。下面就以下两个案例介绍红外热成像技术在预防性维修中的实际应用。

（1）案例1

某台生产装置电动机在红外检测过程中发现有一温度异常点，如图1所示，该点温度比电动机整体温度高出近30 ℃，通过分析确认电动机存在热隐患，而电动机温度异常的主要原因有：①定子线圈引线接触不良或短路；②设备外壳由于铁心老化、散热不良导致外

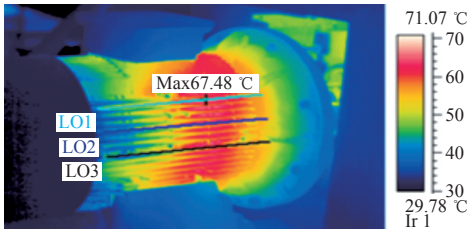


图1　电动机红外热成像

壳温度过高或温度不均匀；③电动机轴承润滑不良或内部转动部件存在摩擦。

针对以上可能原因安排停机检修，在对电动机绕组直阻测试中发现三相直阻不平衡，随后解体电动机发现接线柱下侧绕组压接处虚接，导致接触不良；电动机引线存在发热破损，如图2所示。

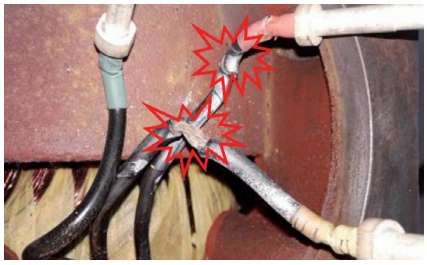


图2　电动机故障点

引线故障位置与热成像指示区域一致，对电动机接线进行处理并更换引线，重新压接接线柱，绕组直流电阻及绝缘检测合格后投入使用。设备投运后再次进行热成像检测，显示温度异常点消失。针对此故障情况制订后期预防性维修计划如下：

1）将大功率设备的红外检测纳入到SAP系统PM模块计划，定期弹出工单提醒对设备温度进行检测。

2）制订设备定期开盖检查计划，在具备条件时（大、中、小修）对设备进行批量检查。

3）将三相绕组直流电阻检测纳入电动机检修必检项目并做好记录。

（2）案例2

在对某装置配电室低压MCC盘柜红外热成像检测时，发现一台变频器进线电抗器B相接线处温度达到120.5 ℃，较A、C两相高出约60 ℃，如图3所示。

图3　变频器红外热成像

色谱图如图4所示。根据图4分析来看，线缆接头有极温点，判断接头处异常缺陷导致线缆表面发热严重，电缆接线头处异常的主要原因有：

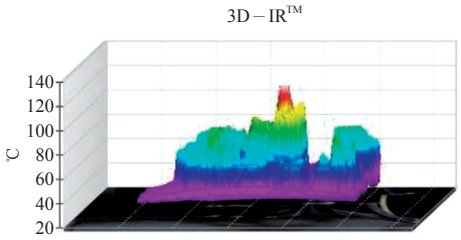


图4　色谱图

1）氧化腐蚀。金属表面严重锈蚀氧化，造成金属接触面的接触电阻值呈几十倍到几百倍增加。

2）导线断股、接头松动。导体连接部位长期受到机械振动，使导体压接部位螺钉松动，导线断股致电阻值增大。

3）因为结构设计、安装工艺质量所引起的异常发热。

根据现场实际情况制订了切机检修方案，对设备停电检查，发现电抗器B相接线处由于接触不良氧化导致产生白色斑点，判断为电抗器引线触头锈蚀氧化导致发热严重，如图5所示。

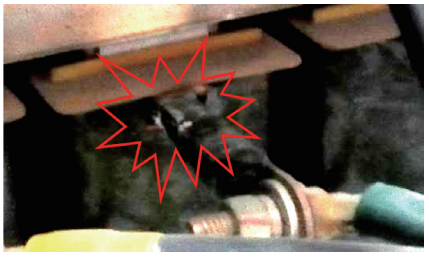


图5　电抗器故障点

根据故障分析确认该电抗器继续使用存在运行隐患，需要更换新电抗器并制订预防性维修计划：

1）将配电室电气设备红外检测纳入PM系统预防性维修计划管理，定期弹出工单。

2）对于重要设备设定储备定额，发生异常时及时替换。

3）从采购源头把控设备质量，杜绝问题设备

进入。

1.4 振动检测技术

振动检测是利用振动分析仪对设备进行振动信号在线采集，然后线下对所采集的振动数据进行分析、讨论或模拟试验，因而称为振动检测离线诊断。

振动检测主要采集设备加速度、速度、位移以及包络值，通过数据和波形分析电动机是否存在不平衡、不对中或基础松动现象。目前振动检测主要判断标准是ISO10816，主要应用于电动机、泵和风机等设备的振动数据判断。

（1）案例3

在对某装置运行电动机进行定期预防性振动检测时发现，该电动机的振动数据异常偏高。振动速度和加速度情况如图6、图7所示。

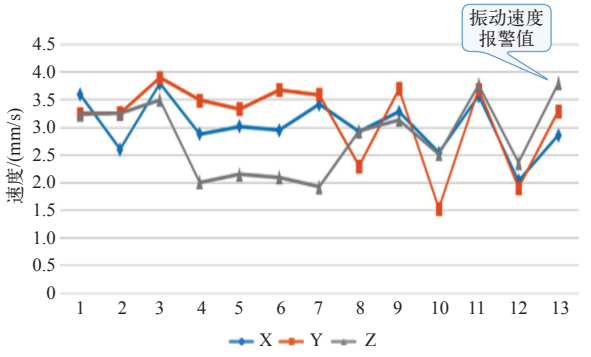


图6 振动速度

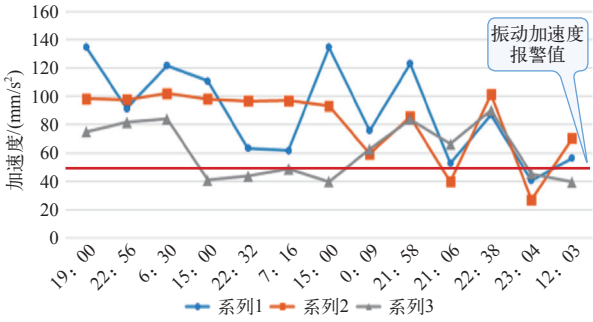


图7 振动加速度

结合图6、图7对振动数据进行分析发现，电动机前轴承振动加速度最高点在140 mm/s^2，振动速度在4 mm/s，温度在75 ℃左右。从振动结果分析可知，振动加速度是主要故障参数，振动频率为高频振动，振动速度超标但不是主要故障原因。进一步分析电动机振动原因为：轴承磨损导致内部发热引起润滑失效。需要对电动机进行解体更换轴承才能消除故障。但考虑该设备停机检修将会对产业链造成重大影响，经专业论证通过特殊监控运行来维持设备运转。以下为具体监护运行计划：

1）每天四次振动检测及热成像检测，并对采集数据进行趋势比对分析。

2）当加速度值超过150 mm/s^{2}时，对电动机进行润滑脂补充，加注量控制在15 g/次。

实际热成像检测电动机运行温度基本控制在60 ℃以下。

在不影响设备运转的情况下，通过监护运行方式保证了产业链运行直至检修周期，避免一次因单台设备异常导致产业链系统停车损失。后期对该电动机解体检修发现轴承出现机械磨损，根据磨损情况及运行时间分析，确认润滑不当是造成轴承失效的主要原因。

润滑不当主要原因有：①润滑过量或欠润滑；②润滑油品污染。

为保证重要设备运转稳定，特制订后期预防性维修计划，具体包括：①更改PM中预防性维修周期，增加重要设备预防性检测频次；②引进在线单点自动润滑器。

（2）案例4

某装置的一台电动机由于原设备防护等级不能满足环境要求，需将原有电动机进行更换。更换后的新电动机采用水冷却方式，因其上部设有水冷器，其工作重心上移，投运后发现电动机振动较大，振动结果如表1所示。

表1 改善前振动数据

测点位置	加速度/(mm/s^2)	速度/(mm/s)	位移/s	高频	部位
H0601C－AX	26	11	353	1.2	
H0601C－AY	28	20	563	4.2	负荷端
H0601C－AZ	12	7	98	2.7	
H0601C－BX	40	7	168	2.4	
H0601C－BY	21	5.8	69	1.8	非负荷端
H0601C－BZ	17.8	6.5	68	3.3	

由振动数据可知，该电动机振动速度严重超过允许运行标准（2.8 mm/s），且振动位移较大。按振动烈级分类判定该振动情况下不允许电动机长时间运行，需要停机处理。

对电动机振动特征进行分析，电动机负荷端振动较非负荷端振动更剧烈，且电动机振动越靠近基础处振动减小。经分析确认振动产生的原因是多重的：①由于负荷特性及轴系特性传递过来的振动；②电动机基础支撑能力不足。

轴系问题短时无法解决，设计部门提供的改造方案主要是对电动机基座中空部分进行加固处理，采用灌浆方式进行。经过灌浆加固后，对电动机再次开机振动测量，其结果如表2所示。

表2　改善后振动数据

测点位置	加速度 /(mm/s²)	速度 /(mm/s)	位移 /s	高频	部位
H0601C－AX	8.5	2.3	120	0.8	
H0601C－AY	11.2	2.4	40	1.5	负荷端
H0601C－AZ	7.1	3.5	76	0.8	
H0601C－BX	35	2.5	84	3.4	
H0601C－BY	39	2.3	16	5.3	非负荷端
H0601C－BZ	11.8	2.2	36	1.5	

经对比可知：电动机振动速度基本降到标准值（2.8 mm/s）以下，AZ方向3.5 mm/s可以保证长时间运行。由此判定电动机振动已经恢复至可以长周期运行状态。

通过以上两个案例可以得出振动检测技术在电动机早期隐患发现及后期故障原因分析方面具有较大优势，能指导维护人员更具针对性地开展处理工作。

2　经验

预防性维修主要分为如下五步骤：

1）通过红外热成像、振动分析仪等专业设备的使用，采集记录设备运行状态数据，工器具的使用方法、收集数据的可靠性以及测量人员的素质，对于数据准确性至关重要，所以人员的培养和实践是状态检测的基础。

2）对数据进行诊断分析，通过对数据的积累，将数据通过曲线或者条形图分布进行分析判断，确定设备运转状态的变化。

3）状态预测。就是根据设备的运行变化情况，评估部件当前状态并预计未来的状态。

4）确定设备需要进行预防性维修时，从人员、资源、时间、费用及效益等多方面、多角度出发，根据状态检测、故障诊断和状态预测的结果进行维修可行性分析，制订出维修计划，确定维修保障资源，给出维修活动的时间、地点、人员和方案。

5）根据发现的问题完善后续的预防性维修方案并持续开展。

3　结束语

状态检测技术的应用能够发现并确定运行设备的早期故障，指导设备维护人员针对性开展预防性维修工作，为设备管理人员作预防性维修策略提供有效支撑。状态检测技术的成功应用对生产设备长周期稳定运行具有重要意义。

参考文献

[1] 陶文伟，周凯，李金，等．基于状态监测的智能变电站二次设备状态检修 [J]．电气技术，2016 (12)：102-107．

[2] 白鹏飞，景采文．电气设备状态检修技术的分析应用 [J]．电气技术，2016 (9)：139-141．

[3] 程帆，曾浩松．电缆终端异常发热案例分析 [J]．电气技术，2015 (11)：122-124．

[4] 沈怀洋．机械设备的振动监测 [J]．仪器仪表用户，2010 (5)：51-52．

[5] 钟秉林，黄仁．机械故障诊断学 [M]．北京：机械工业出版社，1997．

[6] 张显镇，刘北萍，张丕宇．预测性维修发展及应用浅析 [J]．科技信息，2009 (36)．

[7] 张永海，李磊．对设备预测性维修发展趋势的思考 [J]．科技信息，2013 (23)．

[8] 卢守海．设备管理与维修专业化模式的探讨 [J]．硅谷，2009 (1)．

（收稿日期：2017－05－19）EA