

[GIS]

红外成像技术在GIS断路器热故障诊断中的应用

文/晋城供电公司 王文华

从红外成像技术在GIS设备热故障诊断中的重要性入手，阐述了GIS设备红外成像技术的应用现状，对一起220 kV GIS断路器热故障的发现、诊断和处理过程进行了深入地分析，并提出了详细的预防措施，对GIS设备热故障检测分析及处理具有一定的借鉴意义。

气体绝缘金属封闭组合开关设备（GIS）具有结构紧凑、可靠性高、运维简单等优点，在电力系统中应用广泛。近年来，随着GIS设备数量的不断增加，运行年限的不断增长，由于GIS设备内部故障引起的事故偶有发生，造成巨大的经济损失。红外成像是一种新型的红外测温技术，可远距离地将被测目标表面的热信息瞬间可视化，在分析热特征和对应部位内部结构的基础上，可快速定位故障，大大提高GIS设备内部故障检测的及时性和准确性。

GIS设备红外成像技术应用现状

目前，红外成像技术在电力系统中的应用已非常广泛，发现了大量隔离开关触头、接线板等接触电阻增大引起的电流致热型缺陷，避雷器内部阀片受潮等引起的电压致热型缺陷，主变漏磁引起的箱体螺栓发热等电磁致热型缺陷，大大提高了红外成像技术的应用水平，积累了丰富的技术经验。

由于GIS设备可靠性高等优点，缺陷主要集中在密封垫老化变形、罐体砂眼、焊接不良等引起的密封面、焊接面、法兰面、充气口等薄弱部位SF₆气体泄漏。近年来，随着GIS设备数量的不断增加和运行年限的不断增长，GIS设备热故障不断

增多，主要发生在汇控柜、机构箱等内部，尤以加热照明回路居多，GIS设备内部热故障较少，而一旦发生，必将严重危及设备安全运行。利用红外成像技术优势，可及时准确的对GIS设备内部故障进行判定，并提出科学合理的处置措施。

应用案例

1. GIS断路器热故障发现过程

2015年9月24日晚，电气试验人员在对某220 kV变电站红外诊断排查时，发现220 kV紫神线286断路器C相红外诊断异常，断路器C相整体发热均匀，但与正常相比较高2.4 k，检测数据见表1，断路器红外图谱见图1和图2所示。检测人员将异常情况记录在案，加强了红外检测。



图1 286断路器红外图谱



图2 286间隔局放检测布置图

表1 286断路器温度表

相别	A	B	C
温度/℃	22.0	21.8	24.2
负荷/A	145.72	132.24	142.60

注：环境温度：20℃；相对湿度48%。

2015年9月28日，电气试验人员对该断路器红外复测，整体发热均匀，与正常相比高2.3 k左右。2015年9月29日，增加了微水、纯度、组分、超声波局放、特高频局放、红外检漏检测项目，试验结果分别见表2、表3、表4、表5，局放布点见图2所示，结果显示其它试验项目合格。

表2 286间隔C相超声波局放检测位置及测量值

检测布点	连续模式/mV				相位模式
	有效值	峰值	50 Hz	100 Hz	
			相关性	相关性	
背景	0.5	0.7	0	0	—
点1	0.5	0.7	0	0	—
点2	0.5	0.7	0	0	—
点3	0.5	0.7	0	0	—
点4	0.5	0.7	0	0	—
点5	0.5	0.7	0	0	—
点6	0.5	0.7	0	0	—
点7	0.5	0.7	0	0	—
点8	0.5	0.7	0	0	—
点9	0.5	0.7	0	0	—
点10	0.5	0.7	0	0	—
点11	0.5	0.7	0	0	—
点12	0.5	0.7	0	0	—

表3 286间隔C相特高频局放检测位置及测量值

检测点	背景值/dB	测量值/dB	放电图谱
盆1	0	0	无
盆2	0	0	无
盆3	0	0	无
C相 盆4	0	0	无
盆5	0	0	无
盆6	0	0	无
盆7	0	0	无

表4 286断路器SF₆组分

气体组分	A	B	C
SO ₂ / (μL/L)	0	0	0
HF/ (μL/L)	0	0	0
CO/ (μL/L)	9	11	10
H ₂ S/ (μL/L)	0	0	0

标准：SO₂≤1μL/L（注意值）；H₂S≤1μL/L（注意值）。

表5 286断路器SF₆微水及纯度

相别	A	B	C
报警/闭锁值/MPa	0.52/0.50	0.52/0.50	0.52/0.50
额定/当前值/MPa	0.60/0.64	0.60/0.63	0.60/0.63
微水/(μL/L)	84	82	85
纯度 (%)	99.1	99.3	99.2

标准：断路器运行中，微水≤300 μL/L（注意值），纯度≥97%。

2. 跟踪检测情况

2015年10月开始，对286断路器带电检测跟踪，检测项目有红外测温、微水、组分、超声波局放、特高频局放。2015年10月每周一次，带电检测结果相对稳定，2015年11月开始每月一次，带电检测结果相对稳定。

近两年跟踪情况显示，286断路器C相温度异常，长期以来与正常相温差最大值均没有超过3 k，温度及温差与负荷、环境温度等有关，负荷越大，温度越高，热积累效应显著，温差越明显；环境温度越低，散热越良好，温差越不明显。微水、组分、超声波局放、特高频局放结果一直正常。

3. 诊断分析

GIS断路器发热异常原因多种多样，主要有以下几种：

(1) 日照影响

由于286断路器正面朝东，C相位于南侧，受日照影响，C相断路器白天温度都比其它相高，所有220 kV间隔C相断路器都具有此现象，为避免日照对检测结果的影响，均选择夜间检测，但C相断路器夜间检测仍然发热异常，故排除日照影响。

(2) 加热器影响

286断路器为三相分箱式，每相机构箱位于该相断路器正下侧，内有加热器，加热器产生的热量可通过箱体和机构等传导至断路器本体，若C相加热器正常工作，其它两相加热器因故未投运，也会产生C相断路器发热异常，但在投退加热器后，C相断路器任然发热异常，排除加热器影响。

(3) 辐射系数的影响

286断路器外观正常，罐体外漆一致，无其它异物或脏污，故三相辐射系数一致，排除此影响。

(4) 三相负荷不平衡

2015年9月24日夜红外测温，测试情况见表1，当时负荷A、C相接近，但A相比C相负荷高3.12 A，B相比A、C两相负荷分别小13.48 A、10.36 A；温度测试情况为A、B相温度接近，但A相比B相温度高0.2 k，C相比A、B两相温度分别高2.2 k、2.4 k，可以看出此时的负荷差异对温差影响很小，C相发热异常与三相负荷不平衡无关。后期红外跟踪测试情况对以上结论亦有佐证。

(5) 局部放电

局部放电会产生发热异常。2015年9月24日，C相断路器罐体温度与正常相比较高2.4 k，内部发热程度会更高，如此大的发热差别必然需伴随较为强烈的局放，但C相罐体发热均匀，局放、微水、组分检测正常，且SF₆压力正常，故排除。

(6) 断路器接触电阻大

断路器内部接触电阻增大也会导致发热异常，断路器触头位于断路器罐体中心部位，且断路器罐体较大，内部充满SF₆气体，热量经SF₆气体传导至罐体外壳，由于气体的扩散性，致使C相断路器整体发热较为均匀，而没有出现局部过热特征。

综合以上6种原因分析，考虑到286断路器C相发热异常与负荷有关，基本判断为断路器接触电阻增大引起。

4. 停电检查

2017年11月27日，286间隔停电检查，导回路电阻测试情况见图3、表6所示，从中可以看出，28610-286东刀间C相回路电阻大，该段设备主要为母线侧电流互感器、上绝缘盆、断路器、下绝缘盆、线路侧电流互感器，回路电阻主要为上绝缘盆气室间电气连接、断路器静触头与上绝缘盆连接、断路器动静触头、断路器动触头与下绝缘盆连接、下绝缘盆气室间电气连接。



图3 286间隔回路电阻测试图

表6 286回路电阻交接试验值及故障试验值/ $\mu\Omega$

测试位置	A	B	C	备注
286套管-286西0(交接)	181	180	188	交接试验三相正常
286套管-286西0	201	174	647	286C相大
286西0-286东刀-东母-285东刀-285西0	235	236	231	286西0-286东刀正常
286套管-28610	75	64	71	286套管-28610正常
28610-286西0	112	109	580	28610-286东刀C相大

5. 解体检查

由于28610-286东刀间C相回路电阻严重超标，且断路器发热异常，经研究决定对C相断路器进行解体检查，断路器触头结构见图4，解体情况见图5~图10所示。

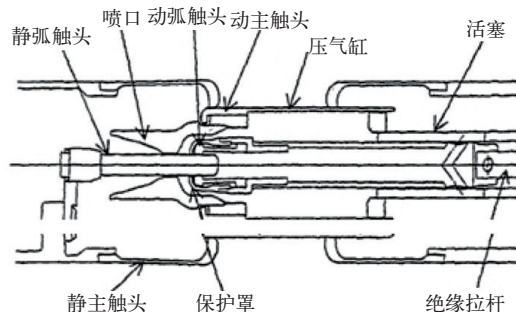


图4 断路器结构图



图5 286断路器C相分离图



图6 绝缘盆与过渡连接



图7 断路器与过渡连接



图8 断路器合闸状态



图9 断路器动触头



图10 断路器动主触头与压气缸

为了确认故障位置，对解体位置进行了回路电阻测量，测量结果见表7，从中可以看出C相断路器内部压气缸与动主触头间回路电阻大。

表7 286断路器C相回路电阻试验值/ $\mu\Omega$

测试位置	C	备注
286线0—上绝缘盆过渡连接	84	正常
286西0—下绝缘盆过渡连接	57	正常
断路器上部—断路器下部	401	断路器接触电阻大
断路器上部—静主触头	10	正常
断路器下部—压气缸	20	正常
断路器下部—动主触头	400	接触电阻大

经检查发现灭弧室压气缸动主触头松动。顶丝滑丝，其他部位未见异常。

主回路电阻超标的主要原因为，装配过程中

由于动主触头的顶丝滑丝，但接触较为良好，所以导致286回路电阻交接试验合格，但在后期断路器分合闸操作和长期运行过程中，由于振动力及电动力的作用，致使紧固螺钉进一步松动，造成动主触头松动，回路电阻增大。

6. 缺陷处理

针对286C相断路器故障情况，迅速联系厂家对损坏配件进行了更换，并复测了回路电阻，测试情况见表8，测试结果正常。

表8 286断路器处理后回路电阻试验值/ $\mu\Omega$

测试位置	A	B	C	备注
286线0—286西0	157	167	174	三相正常

GIS热故障预控措施

1) GIS设备常见缺陷为漏气，其他缺陷较少，需要不断总结相关案例经验。

2) 由于GIS设备是金属全密封结构，缺陷隐患通过正常巡视和周期较长的例行试验不易被提早发现，红外成像、局放检测等是GIS缺陷检测的有效手段。

3) 根据Q/GDW1168—2013《输变电设备状态检修试验规程》的有关规定，GIS主回路电阻测量是诊断性试验，通过此案例可以看出，在设备投运后的首检，应安排主回路电阻测量，保证设备投运时没有显现出来的设备隐患，经过一段时间运行形成隐患后，能被及早的检测出来。

4、能否准确掌握GIS设备结构原理，对检测人员来说尤为关键，直接关系到检测定位是否精确，检测结论是否详实准确，意见建议是否科学合理，故应加强检测人员对一次设备结构原理的理论学习和实际经验。

5、应加强全过程技术监督，以提升设备全过程管理水平。此次故障是由于生产装配过程控制不严，装配人员工作失误造成。

结束语

GIS设备热故障相对较少，多发于汇控柜、机构箱等内部，尤以加热照明回路居多，GIS设备内部热故障较少，但破坏力更大，直接影响GIS设备的安全、稳定运行。红外成像检测是一种安全、快速、可靠的热故障诊断技术，结合GIS局放、SF₆分解产物等检测手段，可大大提高故障检测的安全性和准确性。 **EA**

(收稿日期：2018.04.01)

(编辑：白文亭)