

[电气零件]

绝缘盆子等高压电气产品 用关键零部件的性能研究

文/西安西电开关电气有限公司 李 渊 白晓萍 王 澄 夏永喜

对绝缘盆子进行了性能检测，取样微观性能分析；对密封圈进行了外观检查
 和重新装配后的密封性能检测；对铸件进行了强度和取样检测。研究结果表明长
 期运行的GIS产品中的这三种零件，关键性能没有明显下降，仍能满足最初的设计
 要求。该项研究填补了GIS产品核心零部件长期运行后相关基础工艺参数的空白。

随着我国电气事业的不断发展，电力行业已经
 进入超高压、特高压和大容量的开关时代。高
 压开关作为整个电力系统中的重要组成部分，对
 我国电力系统的安全稳定运行起到重要的作用，
 也直接影响着用户的用电安全。为了维护开关运
 行的稳定性和可靠性，人们也开始逐渐重视高压
 电气开关的可靠性问题。本文选择一个已投运
 20多年的六氟化硫气体绝缘金属封闭组合电器
 （GIS）产品大修工程作为研究对象，对运行多年
 GIS产品中绝缘件等核心零件进行基础工艺性能参
 数变化分析，积累工艺基础数据，掌握基础零件
 的运行经验。

本文选取了GIS产品中三种零件：绝缘盆子、
 密封圈和铸件壳体。其中对绝缘盆子进行水压、
 标样力学性能和电气性能测试；对O形密封圈进行
 外观检查及装配后气密性试验；对铸件壳体和导
 体进行了机械强度和取样成分检测。通过研究分
 析，了解运行20多年GIS产品的绝缘件、密封圈和
 铸件等零件的关键性能变化水平，实物印证三种
 零件的使用寿命。

研究方案

试验研究方案如表1所示。

表1 试验方案

零件名称	试验项目	执行标准
绝缘盆子 氧化硅填料 氧化铝填料	工频耐压、局部放电	企业标准
	破坏水压	
	弯曲，扭曲，拉伸	
	标样(冲击)	
O形密封圈	标样的介电常数，介质损	企业标准
	耗角正切，击穿强度	
	外观检测	
铸件	装配后气密性试验	企业标准
	密封圈老化寿命试验	
	水压例行试验	
	水压破坏试验	
壳体	分析化学成分	企业标准
	取样试棒的机械性能	

研究试验过程及检测结果

1. 盆式绝缘子

（1）盆式绝缘子的机械和电气性能测试

按照图样设计参数要求进行相关性能测试如
 表2所示。

表2 力学和电气性能

实验项目	试验内容	测试结果 与企业标准比对（%）
力学性能试验	抗弯试验/N·m	106.12
	抗拉试验/N	117.35
	抗扭试验/N·m	117.35
	水压试验/MPa	128.00
电气性能	工频耐压试验/ (kV·1 min)	128.00

(2) 盆式绝缘子取试样进行电气理化性能测试
试验按照GB/T 2567—2008树脂浇铸体性能试验方法、GB/T 1410—2006固体绝缘材料体积电阻率、表面电阻率试验方法、GB/T 1409—2006测量电气绝缘材料在工频、音频、高频(包括米波波长存内)下电容率和介质损耗因数的推荐方法和以及GB/T 27761热重分析仪和剩余量的试验方法进行,具体试验情况如下。

取水压试验后含有Al₂O₃和SiO₂填料的盆式绝缘子的样块,委托西安交通大学电气绝缘实验室

加工取样,进行电气性能、热重分析和显微结构分析等。

1) 电气性能

分别使用2821型西林电桥Concept 80型宽带介电谱仪和吉士利6517B高阻计和电压击穿试验仪进行了测试,试样为在零件破坏水压后取的不规则形状块后加工成型,厚度略有差异。

试验内容包括:介电性能、体积电阻率和击穿强度。试验结果与目前国网公司要求及行业的绝缘件标准(讨论稿)试样性能参数进行比较,如表3、表4所示。

表3 试样电气性能检测结果

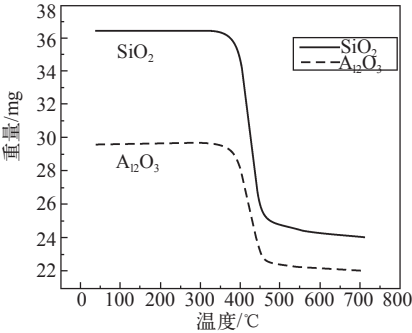
项目	试样		体积电阻率/ Ω·cm		介电常数		介质损耗		结论
	编号	厚度/mm	标称值	实测	标称值	实测	标称值	实测	
三氧化二铝 填料绝缘盆子	1#	2.04	≥1.0×10 ¹⁵	1.47×10 ¹⁶	≤6.3	4.94	≤0.7	0.005 3	合格
	2#	1.92		1.51×10 ¹⁶		4.62		0.005 4	合格
	3#	2.11		1.33×10 ¹⁶		4.53		0.004 6	合格
二氧化硅填料 绝缘盆子	1#	1.87	≥1.0×10 ¹⁵	6.21×10 ¹⁵	≤6.3	3.83	≤0.7	0.010 7	合格
	2#	1.84		6.35×10 ¹⁵		3.77		0.008	合格
	3#	1.63		6.17×10 ¹⁵		3.34		0.008 1	合格

表4 击穿强度检测结果

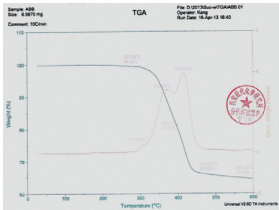
项目	试样		击穿强度/(kV/mm)		结论
	编号	厚度/mm	标称值	实测	
三氧化二铝填料 绝缘盆子	1#	1.97	≥20	21.08	合格
	2#	1.88		21.53	合格
	3#	1.91		20.54	合格
二氧化硅填料 绝缘盆子	1#	1.76	≥20	26.24	合格
	2#	1.66		26.66	合格
	3#	1.61		28.53	合格

2) 理化性能——热重分析

检测仪器:瑞士梅特勒TGA951分析仪。检验结果如图1所示。



(a) 试样水压试验后取样测试曲线



(b) 某公司绝缘件试样测试曲线

图1 热失重分析图

从图1可见,两种配方的分解温度与某公司配方相近,说明配方及固化物的性能稳定完好。

(3) 样块显微结构分析

检测仪器:KEYENCE VE9800型扫描电子显微镜(SEM)。

在含有三氧化二铝和二氧化硅填料的环氧基盆子端面分别取样,喷金后进行扫描电镜观察。可以看出,填料与树脂融为一体分布均匀,固化体仍然润泽完好。两者相比,二氧化硅填料的更加均匀。

通过上述试验表明,盆式绝缘子在GIS产品中带电运行20年以上其电气性能、力学特性均没有明显损失,满足设计要求,仍可安全可靠运行。

2. 密封圈

(1) 密封圈外观检查及压缩量

拆卸后的O形密封圈参考国标测试压缩永久变形的标准,静置30 min后观察外观,表面光滑,无龟裂纹,有轻微扁平的痕迹。

(2) 密封圈压缩量计算及气密性验证试验

经对拆卸后密封圈测量截面尺寸 $\phi 6.2 \sim \phi 5.9 \text{ mm}$ 之间,图样尺寸为 6.0 ± 0.15 。理论平面静密封装置金属—金属法兰,静密封时密封圈的相对压缩率 W 约为25%~30%。

随机抽取四个密封圈进行清理,并装入产品中进行了气密性验证试验,如图2所示。



图2 密封圈气密性试验

通过对使用过的密封圈在高低温试验设备下进行 $-40 \sim 80^\circ\text{C}$ 的循环试验及气密性验证试验,经过24 h的静止后,检测其泄漏率仍能满足产品的密封要求。同时委托国家橡胶密封制品质量监督检验中心对同材质“三元乙丙橡胶”进行了老化寿命试验,试验依据GB/T20028—2005《硫化橡胶或热塑性橡胶应用阿罗尼乌斯图推算寿命和使用温度》进行,试验结果预测三元乙丙橡胶密封圈在 60°C 时的使用寿命约为41年,远超过GIS产品的正常使用寿命。

通过上述实验表明,三元乙丙橡胶材质密封圈在GIS产品中运行20年以上其密封性能可以满足GIS产品使用要求。

3. 铸件

(1) 铸造壳体

对拆卸后的隔离开关铸造壳体进行了例行水压和破坏试验,试验状态如图3所示,试验结果符合铸件壳体的设计要求和标准。

表5 水气压试验结果

实验项目	试验内容	执行标准	结论
结构强度试验	例行水压试验为最高工作压力的2倍	企业标准	合格
	破坏水压试验为最高工作压力的5倍		合格



图3 壳体水压试验状态

(2) 铸造导体

对铸造导体进行试棒取样后,测试了其化学成分、硬度和力学性能,均符合图样要求铸铝导体导体的指标。

表6 化学成分检测结果

化学成分	Si	Mg	Ti	Fe	Mn	Zn	Cu	Al
要求值(%)	6.5~7.5	0.25~0.45	0.08~0.2	≤ 0.2	≤ 0.1	≤ 0.1	≤ 0.2	余量
实际含量(%)	6.87	0.30	0.13	0.15	0.06	0.04	0.11	余量
结论	合格	合格	合格	合格	合格	合格	合格	合格

表7 本体试棒机械性能检测结果

力学性能	抗拉强度 σ_b/MPa	延伸率 δ (%)	硬度 HB
要求值	177	1	70
检测结果	190	3.5	88
结论	合格	合格	合格

试验表明铸铝壳体和导体及材料的性能稳定,运行20年以上性能仍满足设计要求。

结束语

通过此次对运行二十余年的GIS产品的绝缘盆子(Al_2O_3 和 SiO_2 填料)、密封圈以及隔离开关铸铝件壳体、导体三种关键零部件的研究,可以得出以下几点结论:

1) 已安全运行20年的GIS产品,其三种主要零部件的力学、电气性能仍符合设计图样要求。

2) 根据三元乙丙橡胶材质密封圈的老化寿命试验结果,可判断此种材质的密封圈可以满足未来用户对GIS产品延长使用寿命的要求。

3) 该项研究成果对制定环氧浇注绝缘件的国家及行业标准具有参考价值,同时对行业进一步研究GIS/GCB产品长期运行维护、检修,寿命推断技术,降低电力成本,延长设备使用寿命等具有较高的参考价值。EA

(收稿日期:2018.10.09)

(编辑:朱金凤)