doi:10.16018/j.cnki.cn32-1650/n.202101005

GIS 调频式串联谐振耐压试验方案研究

冯相永',贾会星',李永泉2,杨 诚'

(1. 滁州职业技术学院 机械与汽车工程学院,安徽 滁州 239000;)

2. 滁州职业技术学院继续教育学院,安徽 滁州 239000

摘要:为了检查 220 kV 六氟化硫组合电器安装后的绝缘性能,详尽阐述了对其进行交流耐压试验的步骤与操作方法,试验时特别要注意以下事项:试验前应对相关人员进行培训,促使其加强自我保护意识,对于未现场操作过高压耐压试验的调试人员,要在具有相关资质人员的指导下进行;耐压试验过程中要注意环境湿度与气体、粉尘对设备绝缘性能的影响,试验一般选在晴天进行;变频电源的输出值和额定容量能否达到耐压水平将影响整个试验的顺利进行;采取相应的辅助仪器来监测 GIS 耐压试验过程中是否放电以及放电部位,便于后期拆装检查与更换。

关键词:GIS;串联谐振;耐压试验;试验方案

中图分类号:TM645 文献标志码:A 文章编号:1671-5322(2021)01-0022-04

气体绝缘金属封闭组合电器 GIS 是把断路器、隔离开关、接地开关、互感器、避雷器、母线、连接件和出线终端等全部组装在一个封闭的金属接地的外壳里,并充以一定压力的惰性气体 SF₆ 以实现可靠绝缘^[1-4]。为了检验 GIS 绝缘水平,《电力设备交接和预防性试验规程》^[5]规定,对 GIS 设备需进行交接试验及预防性试验,即对 GIS 内PT(电压互感器)进行感应耐压试验,对盆式绝缘子及开关进行交流耐压试验,并测试金属氧化性避雷器持续运行的电压,以及持续运行电压下的全电流和阻性电流分量^[6-8]。本文依托某变电站220 kV 区域 GIS 现场耐压试验,并制定严格的加压步骤,最后又对试验过程中的注意事项进行详细总结,期望给后期相关试验人员提供参考。

1 交流耐压试验原理

本文采用变频式串联谐振原理的方式实现 GIS 设备的交流耐压试验。根据组合电器主回路 接线构建变频串联谐振耐压系统模型,原理图如 图1所示。

图中: C_1 、 C_2 为分压电容器的电容, C_x 为待测



图 1 变频式串联谐振原理图 Fig 1 Schematic diagram of variable frequency series resonance

试品的电容,pF。

图1谐振电路是由变频电源、励磁变压器、 RL电抗器以及分压器组成的串联谐振组件所构成,其工作原理为:通过变频电源将三相工频电源 输出为频率和电压均可调的变频电源;调节电源 频率使试验回路中的感抗等于容抗,让电路发生 串联谐振,此时电感和试品电容两端的电压均为 励磁变压器输出电压的 Q 倍(Q 为谐振回路的品 质因数)。

图1串联谐振电路的原理图可以等效为 图2。



图 2 等效原理图 Fig 2 Equivalent schematic diagram

由图2的等效原理图可得等效阻抗如下:

$$\begin{cases} Z = R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right) \\ Z = R; \omega_0 L = \frac{1}{\omega_0 C}; f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \end{cases}$$
(1)

式中:R 为等效电阻, Ω ;L 为等效电感,H;C 为等 效电容,F; ω_0 为谐振角频率,rad/s; f_0 为谐振频 率, Hz_o

在角频率 $\omega = \omega_0$ 时电路发生谐振,则有:

$$I = \frac{U}{R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)} = \frac{U}{R}$$
(2)

式中:U为等效电路的输入电压,V;I为等效电路 的回路电流,A。

电路谐振时, $U_{\rm L}$ + $U_{\rm C}$ =0,而

$$U_{\rm L} = j\omega_0 LI = j \frac{\omega_0 L}{R} U = jQU$$
$$U_{\rm C} = -j \frac{1}{\omega_0 C} I = -j \frac{1}{\omega_0 C R} U = -jQU \quad (3)$$

式中: $U_{\rm L}$ 、 $U_{\rm C}$ 分别为等效电感、等效电容两端的电压, $V_{\rm o}$

则品质因数:

$$Q = \frac{P_{\pi \eta}}{P} = \frac{\omega_0 L}{R} = \frac{1}{\omega_0 CR} = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (4)$$

式中: P_{xy} 为无功功率,P为电源的有功输出, kW。

由式(4)可知,当电抗器电感确定了,品质因数 Q 将由 R、C 决定,当电源输出的激励电压一定时,试验电压的大小取决于品质因数 Q。由于设备安装完毕后待测设备的试验回路和电抗器相应物理量都已确定,试验回路的品质因数 Q 也已确定,要想提高待测系统两侧的试验电压,就只能通过提高励磁电压 U 来调节。

2 现场耐压试验参数

现场耐压试验主要设备有变频电源、励磁变

压器、试验电抗器和分压电容。试验前应综合考虑 GIS 耐压值和对地电容大小,并根据具体实施 方案和现场条件合理选择试验设备及相关仪器。 为了方便现场安装调试,在满足试验的前提下尽 量选择小型设备。经过对相关设备参数的计算, 选择设备及其参数如表1、表2所示。

表 1 变频电源、励磁变压器主要参数 Table 1 Main parameters of variable frequency power supply and excitation transformer

参数	参数取值
变频电源额定容量/kVA	100
变频电源额定电流/A	200
变频电源输出电压/V	0 ~ 500
励磁变压器额定容量/kVA	100
励磁变压器额定变比	25
温度范围/℃	$5 \sim 40$
频率范围/Hz	20 ~ 300

表2 电抗器、电容器主要参数

 Table 2
 Main parameters of reactor and capacitor

设备参数	参数取值
电抗器额定容量/ kVA	1 500
电抗器额定电流/A	3
电抗器电感量/H	589.5
分压电容器额定容量/pF	500
分压电容器额定电压/kV	500
分压电容器额定变比	25 037/1

3 现场耐压试验实施方案

3.1 试验前状态检查

现场耐压试验加压前要检查设备状态,并确 认现场试验人员工作是否已经完成以及完成情况。主要检查项目有:GIS 设备出厂前常规试验 参数是否满足相关规定,各设备元器件以及主回 路电阻测量值是否符合标准;GIS 气室内 SF。气 体密封性和环境湿度;设备的外壳接地铜排是否 接好;SF。的气体压力是否正常,气体阀门有没有 完全打开;GIS 出线套管导线有没有断开,并绝缘 接地;电流互感器二次侧绕组短接并接地;电压互 感器处于分闸状态且待试设备刀闸合闸、接地刀 闸断开,并检查备用间隔。

3.2 现场试验操作步骤

根据核算结果确定电抗器的连接方式和激励 变压器的分接位置,然后进行试验连线(图3),并 检查设备状态;在完成仪器设置后,开始自动寻找 谐振频率点。

本试验采用自动找频手动升压方式,试验升 压步骤如图4所示。



图 3 现场耐压试验图 Fig 3 Field withstand test drawing





第1阶段:从0开始升压至1.0倍设备额定 相对地电压,即145 kV,保持5 min,检查设备状 态并记录,特别要注意试验过程中是否出现异常 现象。

第Ⅱ阶段:保持5 min 后开始寻找谐振频率 点,然后升压至√3倍额定相对地电压,即251 kV, 保持3 min,并时刻检查设备状态。

第 III 阶段:在保持3 min 后升压至试验交流 耐压值 500 kV,持续2 min。

第 IV 阶段:持续 2 min 后降低电压至 1.2 倍额定相对地电压,即 174 kV,然后进行局部放电试验,持续 4 min,7 min 后降低试验电压至 0。

4 现场耐压试验结果分析与数据计算

现场试验过程中无击穿电压,耐压试验通过。 试验时自动找频后的频率为52 Hz,耐压实测值 为503 kV,电源功率显示为25%,电流为2.7 A。 无功功率 $P_{\pi \eta} = U_c \times I = 503 \times 2.7 = 1358$ (kW), 电源的有功输出 $P = 500 \text{ V} \times 200 \text{ A} \times 25\% = 25$ kW,由式(4)知,品质因数 $Q = P_{\pi \eta}/P = 54.32_{\odot}$

根据试品容量,计算每一部分耐压主回路对 地的电容量 $C_x = 15$ 700 pF,根据式(1)计算试验 回路谐振频率 $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = 51.5$ Hz(L 为电抗器 的等效电感,电感量为 589.5 H,C 为分压电容量 和试品电容量 C_x 之和,分压电容器的电容量固定 为 500 pF)。在理想状态下,高压回路的电流 $I = U\omega C = 2U\pi f_0 C = 500\ 000 \times 2 \times 3.14 \times 51.5 \times 16\ 200 \times 10^{-12} = 2.62$ (A)。励磁变压器变比为 25,则输出电压为 $U_0 = 500\ V \times 25 = 12.5\ kV$ 。试 验回路的品质因数 $Q > 500\ kV/12.5\ kV = 40$ 。

由上面计算结果可知,实测数据与计算结果 基本一致,谐振频率存在偏差的原因主要是现场 试验过程中存在杂散电容,故现场试验电压值略 高于计算值500 kV。由此可见,理论计算以及整 个现场耐压试验方法基本正确,但由于有功损耗 过大导致品质因数达不到要求,这可以通过在高 压连接线加装波纹管及分压器加均压环等措施来 减少有功损耗。

5 结论

从现场试验过程及结果可知,变频式串联谐 振 GIS 耐压试验前须制定严格的操作步骤,但由 于 GIS 设备绝缘配合紧密、现场试验电压较高、设 备额定容量大、套管高度高等一系列因素,现场实 际实施时仍可能面临着诸多难题。因此现场耐压 试验应着重考虑以下几个方面:(1)保障试验人 员的人身安全,在进行耐压试验前应对相关人员 进行培训,促使其加强自我保护意识,特别是未现 场操作过高压耐压试验的调试人员,更应该提前 阅读相关操作手册,并在具有相关资质人员的指 导下进行:(2)在 GIS 耐压试验过程中要注意环 境湿度与气体、粉尘对设备绝缘性能的影响,试验 一般选在晴天进行;(3)变频电源的输出值和额 定容量能否达到耐压水平将影响整个试验的顺利 进行:(4)采取相应的辅助仪器来监测 GIS 耐压 试验过程中是否放电以及放电部位,便于后期拆 装检查与更换。

参考文献:

- [1] 齐波,李成榕,耿弼博,等. GIS 设备绝缘子高压电极故障局部放电严重程度的诊断与评估[J]. 高电压技术,2011,37
 (7):1719-1727.
- [2] BOLIN P, KOCH H. Introduction and applications of gas insulated substation (GIS) [C] // IEEE Power Engineering Society General Meeting. California, United States: IEEE Power & Energy Society, 2005:920-926.
- [3] 张仁豫,陈昌渔,王昌长.高电压试验技术[M].2版.北京:清华大学出版社,2003.
- [4] 中国电力出版社.电气设备用六氟化硫标准汇编[M].北京:中国电力出版社,1998.
- [5] 上海电力公司.电力设备交接和预防性试验规程[S].北京:中国电力出版社,2009.
- [6] 洪贞贤,金向朝. 电容器组 CT 保护用避雷器爆裂原因分析[J]. 电力电容器与无功补偿,2008,29(5):51-53.
- [7] 马维勇,梁琮,赵彦军,等.特高压交流试验示范工程110 kV 并联电容器装置用避雷器的选择[J].电力电容器与无 功补偿,2011,32(2):13-15.
- [8] 中华人民共和国建设部,国家质量监督检验检疫总局.电气装置安装工程 电气设备交接试验标准:GB 50150—2006 [S].北京:中国计划出版社,2006.

Research on Voltage Withstand Test Scheme of Frequency Modulation Series Resonance for GIS

FENG Xiangyong¹, JIA Huixing¹, LI Yongquan², YANG Cheng¹

1. College of Mechanical and Automotive Engineering, Chuzhou Vocational and Technical College,

Chuzhou Anhui 239000, China;

2. College of Continuing Education, Chuzhou Vocational and Technical College, Chuzhou Anhui 239000, China

Abstract: In order to check the insulation performance of 220KV sulfur hexafluoride combination electric appliance after installation, this paper describes the steps and operation methods of AC withstand voltage test in detail. Special attention should be paid to the following items during the test: before the test, relevant personnel should be trained to strengthen their self-protection awareness, and the commissioning personnel who have not operated the high voltage withstand voltage test on site should be under the guidance of relevant qualified personnel. Whether the output value and rated capacity of the variable frequency power supply can reach the withstand voltage level will affect the smooth progress of the whole test. The corresponding auxiliary instruments are used to monitor the discharge and the discharge position during the GIS withstand voltage test, which is convenient for later disassembly, inspection and replacement.

Keywords:GIS; series resonance; withstand voltage test; test scheme

(责任编辑:李华云)