

北川智能变电站 GIS 现场耐压方式的选择与分析

李 晶, 范松海, 苏明虹, 肖 伟

(四川电力科学研究院, 四川 成都 610072)

摘 要:根据试验参数和现场的试验条件,北川 110 kV 智能变电站的 GIS 现场耐压试验选择了调频串联谐振耐压装置。耐压试验结果表明,北川变电站 GIS 无明显绝缘缺陷,但在设计上存在 GIS 气室结构不合理、互感器和避雷器布置不规范等缺陷。为了减少这些缺陷给试验带来的影响,提出了一些弥补措施和建议。

关键词:耐压试验;谐振;避雷器

Abstract: According to the test parameters and test conditions FM series resonant withstand voltage device is chosen for on-site withstand voltage tests of GIS in 110 kV Beichuan Smart Substation. The experimental results show that none of the obvious insulation defects exist in GIS. However, there still have the design defects such as unreasonable structure of gas room, irregular layout of surge arrester and potential transformer etc. Some remedial measures are proposed to reduce the influence of these defects on the tests.

Key words: withstand voltage test; resonance; surge arrester

中图分类号: TM835 **文献标志码:** A **文章编号:** 1003-6954(2011)02-0007-03

GIS 诞生于 20 世纪 70 年代初,其显著特点是集成化、小型化、美观化和省力化,使变电站的结构发生了巨大的变化^[1]。GIS 的故障率比传统的敞开式设备低一个数量级,检修周期大大延长。但是,由于 GIS 电气设备全部封闭的特点,一旦发生内部绝缘故障,危害后果比分离式敞开设备更严重,故障的修复周期更长。

GIS 内部以 SF₆ 气体为绝缘介质,绝缘间隙小,在运输以及现场安装中可能有外界杂质、微粒混入内部,从而导致 GIS 绝缘强度急剧下降^[2]。从 GIS 变电站长期运行及维护的经验表明,GIS 设备故障多数是由设备内部的绝缘故障引起的^[3]。河南电网调查发现,在 110 kV 电压等级以上的 60 余座 GIS 变电站,1996 年以来发生 GIS 事故 10 余起,其中一座新建 110 kV GIS 变电站在投运 7 个月后因支撑绝缘子闪络引发相对地短路,造成三相支撑及盆式绝缘子、管母等多处烧损。根据 CIGRE2310 工作组国际调查报告的统计,在日本投运的 GIS 中,1985 年以前发生的 562 次故障中绝缘故障占 60%,1985 年以后发生的 247 次故障中绝缘故障占 51%。总的来看,绝缘故障是 GIS 故障中最频繁最常见的故障。

对新安装 GIS 设备,交流耐压试验是交接试验中的必要环节^[4-7],其目的是对 GIS 设备做“老炼”处理,发现 GIS 绝缘薄弱环节或者电场畸变的区域,使变电

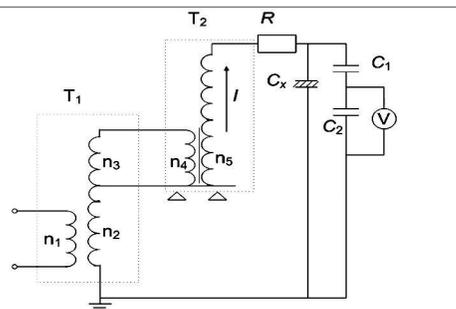
站投运后尽可能少地发生绝缘故障。同时,耐压试验所产生的尖端放电,可以烧掉 GIS 内的毛刺,除掉部分杂质,所以耐压试验对 GIS 还能起到一定的修复作用。

1 GIS 交流耐压方法概述

1.1 工频耐压试验装置

工频耐压试验装置主要由升压变压器、调压器、分压器、限流电阻等构成,根据被试品的耐压试验电压值和电容量,选择由单变或串激式^[8]。串激式工频耐压试验装置接线如图 1 所示。

大家知道,工频试变所串台数越多,其容量利用率越低,且装置的短路阻抗也会随着增大,一般串级数不大于 3 级。



T₁ 为变压器 1; T₂ 为变压器 2; R 为电阻; n₁~n₅ 为线圈;

C_x 为试品; C₁ 为分压器高压臂; C₂ 为分压器低压臂

图 1 工频试验变的交流耐压接线

工频耐压试验装置中升压的容量与其体积和重量呈正比,试验电压值与其体积和串级数也呈正比,故对于试验电压高、容量大的现场交流耐压试验,因受运输条件、现场电源等限制少有采用。

1.2 谐振耐压装置

串激式工频耐压装置可在试验室内满足小容量较高电压的耐压试验,对于现场交流耐压试验被广泛采用的是谐振耐压装置。谐振耐压装置按接线方式可以分为串联谐振装置和并联谐振装置两大类;按调节方式可以分为工频谐振装置和变频谐振装置^[9]。

串联谐振装置的等效电路图如图 2 所示。图中, R 为试验回路中损耗的等值电阻, C_x 为试品。R 和 C_x 两端的输出电压可以表示为

$$U_c = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_c)^2}} X_c \quad (1)$$

式中, X_L 为可调电感 L 的电抗, Ω; X_c 为试品 C_x 的电抗, Ω。当线路发生串联谐振时,满足以下条件。

$$X_L = X_c \quad (2)$$

由式 (1) 可知,发生串联谐振时,输出电压 U_c 达到最大值。设 Q 为谐振回路的品质因素, Q 可以表示为

$$Q = \frac{\sqrt{L/C}}{R} = \frac{\omega L}{R} = \frac{1}{\omega CR} \quad (3)$$

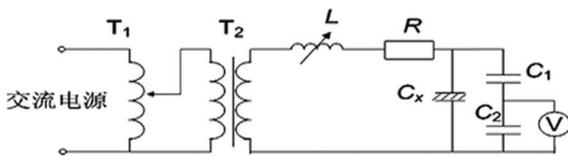
根据式 (3),可知输出电压 U_c = QU。设 S_x 为加在试品 C_x 上的容量,则

$$S_x = U_c I = QUI = QS \quad (4)$$

式中, S_x 为加在试品上的容量, V · A; S 为变压器 T₂ 的容量, V · A。

调频谐振是通过调节电流频率 f 实现谐振,电抗器的参数固定不需要调节机构,电抗器的体积和重量都有所减少,因而更适合现场交流耐压试验的需要。

并联谐振装置的原理与串联谐振装置基本相同,把图 2 中电抗器 L 和试品 C_x 由串联改成并联。谐振时试品上的容量也为变压器输出容量的 Q 倍。与串联谐振不同的时,并联谐振加载在试品两端的电压与



T₁ 为调压器; T₂ 为试验变压器; R 为电阻; L 为可调电感; C_x 为试品; C₁ 为分压器高压臂; C₂ 为分压器低压臂

图 2 串联谐振装置的等效电路图

变压器输出电压相同,而通过试品的电流是变压器输出电流的 Q 倍,因而适用于试验电流较大的耐压试验。

2 北川变电站 GIS 现场耐压试验

2.1 试验参数及试验装置的选择

北川变电站全站采用全封闭 GIS 且三相共用同一母线筒,导体对筒壳的间距很小,因而对地电容很大,单相对地电容可达 2 × 10⁴ pF 以上。根据 GB 50150-2006、DL/T 618-1997 等要求,试验电压按出厂试验电压值的 80%,出厂试验电压为 230 kV,所以试验电压 U_x 为

$$U_x = 230 \text{ kV} \times 80\% = 184 \text{ kV} \quad (5)$$

当采用工频电流时,试验电流为

$$I_x = U_x \omega C_x = 1.2 \text{ A} \quad (6)$$

试验对装置容量的要求为

$$S_x = U_x I_x = 212.6 \text{ kVA} \quad (7)$$

由此可见,若选用工频耐压装置,其升压变容量至少需要 250 kVA,且现有装置 250 kV/250 kVA 的试验电流还是不能满足现场试验要求。

北川 110 kV 智能变电站 GIS 现场耐压试验使用的串联谐振装置参数如表 1 所示。

表 1 GIS 交流耐压试验设备及其型号规格

设备名称	型号规格
单相励磁变压器	LB3598-150 kVA / 10 kV / 20 kV / 36 kV
变频电源	TC-2008 / 200 kW
电抗器	HVDK-200 kVA / 200 kV
电容分压器	HV-10 000 pF / 200 kV

试验程序按照 DL/T 618-1997 规定实施,完成对 GIS 整体的交流耐压。

2.2 分析与建议

(1) 组合式电子互感器

电磁电压互感器受铁心磁饱和影响,在采用调频谐振耐压装置实施时,其试验电压频率较难满足要求,所以一般未让互感器与 GIS 本体连同耐压。但电子式电压互感器不存在磁饱和问题,其绝缘强度与 GIS 内绝缘的耐受水平一致,故智能变电站 GIS 的电子式电压互感器无需单独进行倍频耐压。

(2) 避雷器

北川变电站 GIS 线路间隔隔离气室分布结构如图 3,按照厂家安装方式是在整体完成交流耐压试验后,回收 SF₆ 气体后,打开连接避雷器的接口端盖进行避雷器连接。

从断路器气室隔离盆起至线路套管(图 3 中深色部分),装配有套管、组合式电子互感器、隔离开关和接地开关等单元,在避雷器安装过程相当于被全部解体,而安装完成后受避雷器限制,无法再实施现场交流耐压。所以该安装方式和结构不利于设备运行安全。

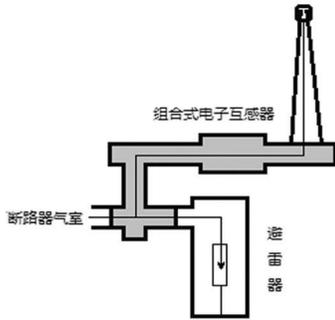


图 3 北川变电站 GIS 线路间隔气室结构

(3) 弥补措施

由于北川变电站 GIS 的避雷器安装后无法进行交流耐压,对线路间隔采用了校验互感器用的三相升压装置,对全部安装完毕带避雷器的线路间隔进行了三相电压升至额定电压的带电考核试验,由于是三相电压同时施加,其相间考核较耐压装置的单相施加额定电压更严格。

(4) 建议

鉴于 GIS 绝缘故障率的比例最高,所以在设计选型时,可考虑在避雷器与本体连接处加装隔离开关或独立连接小气室,以避免解体安装或减小影响范围。

若还是前面的结构形式,应采用在避雷器气室里(图 4)取掉导电杆进行避雷器的隔离,如图 5 所示,其避雷器与导电杆接头的最小绝缘距离为 94 mm,完全满足 184 kV 交流耐压的实施^[10]。由于北川工程受投运时间限制,未能实施此方案。

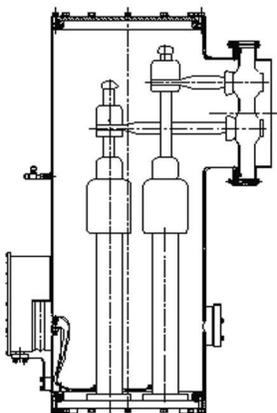


图 4 北川变电站 GIS 避雷器气室结构

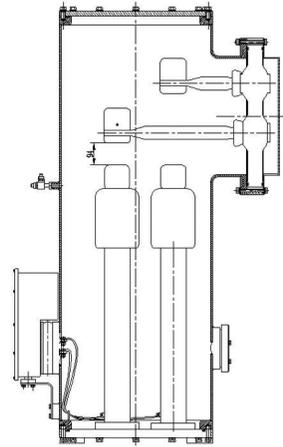


图 5 取掉导电杆的避雷器气室结构与尺寸

另外,电子互感器与避雷器的安装位置不合理,如图 3 所示,与避雷器安装处相比,北川变电站的互感器更接近于线路端,虽然其距离非常近,但当雷电波侵入时,首先是经过电子互感器,然后才到避雷器,这有悖于北川站设计的一次主接线图。

参考文献

- [1] 邱毓昌. GIS 装置及其绝缘技术 [M]. 北京: 水利电力出版社, 1994.
- [2] 吴桂生, 陈劲松. 浅谈 GIS 现场试验 [J]. 四川电力技术, 2004, 27(1): 61-62.
- [3] 金立军, 刘卫东, 钱家骊. GIS 绝缘配合中的故障分析及诊断和检测技术 [J]. 中国电力, 2002, 35(3): 52-55.
- [4] 侍海军, 王光前, 张少炎. GIS 现场绝缘试验技术 [J]. 高压电器, 2005, 41(1): 55-58.
- [5] 章述汉, 朱跃, 吴良科, 等. 750 kV GIS 电流互感器现场检定试验方法 [J]. 高电压技术, 2009, 35(5): 1200-1205.
- [6] 张文亮, 张国兵. 特高压 GIS 现场工频耐压试验与变频谐振装置限频方案原理 [J]. 中国电机工程学报, 2007, 27(24): 1-4.
- [7] 徐贞华, 田伟莉. 220 kV 六氟化硫组合电器的运行与试验 [J]. 有色冶金节能, 2003, 20(5): 27-29.
- [8] 陈化钢. 电力设备预防性试验方法及诊断技术 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2009.
- [9] 张文亮, 张国兵. 特高压 GIS 现场工频耐压试验与变频谐振装置限频方案原理 [J]. 中国电机工程学报, 2007, 27(24): 1-4.
- [10] 黎斌. SF₆ 高压电器设计 (第 2 版). 北京: 机械工业出版社, 2007.

(收稿日期: 2011-01-04)