

文章编号:1001-4179(2016)15-0071-04

特大型水电站 GIS 雷电冲击试验分析

喻文球, 罗建锋, 靳 坤

(中国长江三峡集团公司, 四川 成都 610042)

摘要:以三峡水利枢纽地下水电站开关站(GIS)设备的雷电冲击电压试验为例,对试验原理、设备和试验程序进行了详细描述。在试验过程中出现了放电现象,同时发现大容量的试品在进行雷电冲击电压试验的波形选择和 GIS 设备的安装施工中也出现了一些问题。为此,针对上述出现放电现象的原因及其他一些问题进行了分析研究,研究结果可以为大型气体绝缘开关站的雷电冲击电压试验提供借鉴与指导。

关键词:GIS; 雷电冲击电压试验; 地下电站; 三峡水利枢纽

中图分类号: TV734

文献标志码: A

DOI:10.16232/j.cnki.1001-4179.2016.15.015

1 项目背景

为了检查 GIS 的绝缘性能,以验证是否存在可能会导致内部产生绝缘故障的各种绝缘隐患(例如:安装错误,包装、运输、储存和安装调试过程中的损坏,以及存在异物等),因此在 GIS 整体安装完成以后,需要对主回路进行绝缘试验^[1-2]。其中,GB 7674-2008《额定电压 72.5kV 及以上气体绝缘金属封闭开关设备》的 10.2 条款中对以下 2 种试验程序作出了规定,即工频电压试验之后补充局部放电测量,或者工频电压试验之后补充雷电冲击电压试验^[3]。考虑到雷电冲击电压试验对 GIS 内的异常电场分布和异常带电结构(例如电极损坏)较为敏感^[4-5],以及工频电压试验互为补充,因此,在对三峡水利枢纽地下电站 GIS 进行现场试验时,选择了工频电压试验再辅以雷电冲击电压试验的试验程序。

2 雷电冲击电压试验

以三峡水利枢纽地下电站为例,对其 GIS 进行了雷电冲击电压试验。本文主要对试验的要求、方法以及主要参数等基本情况进行阐述。

2.1 雷电冲击电压试验设备

试验所采用的雷电冲击电压发生器成套试验设

备,由 CDYH-1500kV/100kJ 冲击电压发生器本体、ZD-150 kV 直流充电装置、FY-1 500 kV 弱阻尼电容分压器以及 CCK-2511 型计算机测量与控制系统等组成。

冲击电压发生器本体结构采用的是 H 型四柱方形仿德国的 Highvolt 结构。由 4 根方形环氧立柱构成设备的基本结构,每级均平行外挂 2 只干式电容器,以构成一个稳定的结构并组成为一级;组成组合塔式结构,各级逐级叠接,整体结构稳定。主体设备为 10 级,每级的额定电压为 150 kV,高大约为 8 m。

2.2 幅值的选择

考虑到设备合同中规定了型式试验的雷电冲击耐受电压的幅值为 1 675 kV,因此,将现场雷电冲击耐受电压幅值选择为型式试验的 80%,即 1 340 kV。该值高于 GB 7674-2008 规定的现场雷电冲击耐受电压幅值 1 240 kV 的要求。

2.3 波前时间的选择

雷电冲击电压试验放电时的等效电路如图 1 所示^[6-7]。

在图 1 中, C_1 为主放电电容, C_2 包含了试品电容和冲击电压发生器的出口电容。因此,波前时间为

$$t = 3.24(R_d + R_f)C_1C_2 / (C_1 + C_2) \quad (1)$$

收稿日期:2016-05-17

作者简介:喻文球,男,高级工程师,主任专业师,主要从事水电站公用系统的规划和现场施工管理工作。E-mail:418630948@

qq.com

回路效率为

$$\eta = R_1 C_1 / [(R_d + R_1)(C_1 + C_2)] \quad (2)$$

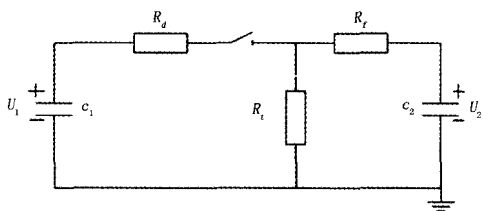


图1 雷电冲击电压试验放电等效回路

考虑到现场试验中 C_2 过大,回路效率比较低,为了提高回路效率和减小波前时间,试验时选取了振荡形雷电冲击电压波。

标准的雷电冲击电压试验电压波的波前时间为 $1.2 \pm 30\% \mu\text{s}$ 。在 DL/T 555 中,规定了雷电冲击电压试验电压波的波前时间不得大于 $8 \mu\text{s}$,振荡形雷电冲击电压波的波前时间不得大于 $15 \mu\text{s}$ 。实测的典型波形如图 2 所示,波前时间平均约为 $10.3 \mu\text{s}$,符合规定。

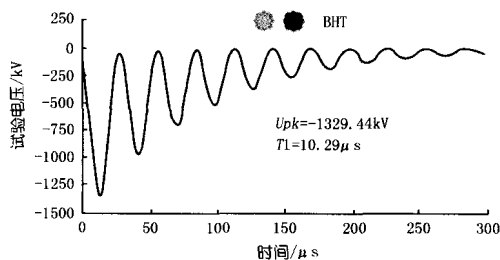


图2 标准振荡形雷电冲击电压波

2.4 加压程序的选择

为了避免设备本身存在的缺陷(起始电压幅值过高会对设备造成损坏),因此,采取了 $30\% U - 60\% U - 100\% U$ (3次)的加压步骤。

2.5 GIS 分段方式的选择

三峡水利枢纽地下电站的主接线方式如图 3 所示。发电机变压器组合为双机联合单元接线, GIS 为 3/2 断路器接线方式,共有 3 回进线和 4 回出线,包括 17 个断路器的间隔。

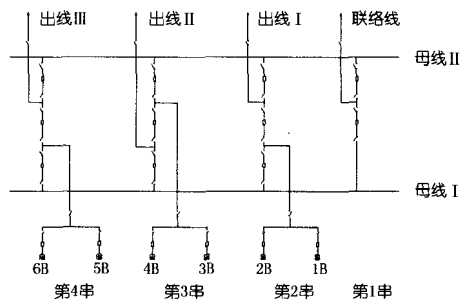


图3 电站主接线

考虑到试验设备容量等方面的因素,决定将 GIS

17 个断路器的间隔分为 2 个部分进行试验。具体分段如图 4 所示。

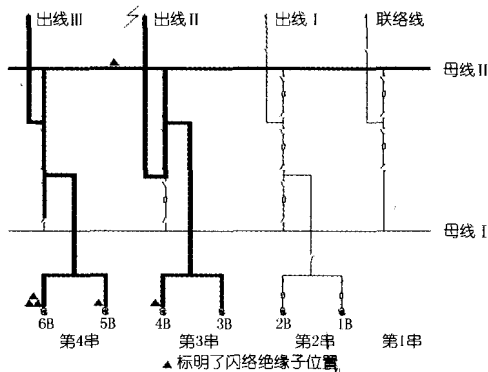


图4 雷电冲击电压试验分段示意

(1) 分段 I (粗线部分)。包括母线 II、出线 II、出线 III、3 号、4 号、5 号、6 号主变的进线以及第 3 串和第 4 串共 9 个间隔。

(2) 分段 II。包括母线 I、出线 I、联络线、1 号和 2 号的主变进线以及第 1 串和第 2 串共 8 个间隔。

2.6 雷电冲击电压试验过程

在工频电压试验通过以后,再进行雷电冲击电压试验,加压点为出线 II 的套管处。其中,分段 I 的 A、C 两相以及分段 II 的 B、C 两相均顺利地通过了试验;分段 I 的 B 相负极性通过了试验,正极性 100% U 闪络 2 次;分段 II 的 A 相第一次负极性 100% U 出现了闪络。具体试验记录情况详见表 1。

表1 雷电冲击电压试验记录

顺序	电压幅值/kV	加压范围	是否闪络
1	正 1340(3次) 负 1340(3次)	分段 I 的 C 相	未闪络
2	正 1340(3次) 负 1340(3次)	分段 II 的 C 相	未闪络
3	正 1340(3次) 负 1340(3次)	分段 II 的 B 相	未闪络
4	负 1340(3次)	分段 I 的 B 相	未闪络
5	正 1340(第1次)	分段 I 的 B 相	闪络
6	正 1340(第2次)	分段 II 的 B 相	闪络
7	正 1340(3次) 负 1340(3次)	分段 I 的 A 相	未闪络
8	负 1340(第1次)	分段 II 的 A 相	闪络

试验后,使用 $30\% U$ 、 $60\% U$ 的冲击电压对闪络点进行定位。由此发现了多处盆式绝缘子闪络。其中分段 II 的 B 相共有 6 个盆式绝缘子闪络,具体位置见图 4 中的 Δ 标识,分别为 6 号主变进线段相邻的盆式绝缘子闪络有 3 处,5 号主变进线段有 1 处,4 号主变进线段有 1 处,母线 II 的 U 形单元有 1 处。

将故障盆式绝缘子更换以后,对分段 I 的 B 相和分段 II 的 A 相 2 个部分再细分为多段进行雷电冲击

电压试验。为了避免耐受电压幅值过高会对 GIS 绝缘造成损伤,将耐受电压幅值选择为 1 240 kV(符合 GB 7674 的要求),随即通过了试验。

3 试验现象解释及分析

3.1 试验现象整理

通过对试验过程和放电痕迹进行整理,发现存在以下现象。

(1) 在试验中,将整个 GIS 三相分为 6 个部分进行雷电冲击电压试验,其中,有 4 个部分的试验均顺利通过,而另外 2 个部分的多个盆式绝缘子的沿面出现了闪络。

(2) 考虑到之后查找故障将会使用的 60% U 雷电冲击电压试验的加压幅值不高,在最危险的情况下,产生的过电压倍数也低于型式试验的雷电冲击耐压值,因此,可以认为在设备本身不存在故障的情况下不会造成新的闪络点。以分段 I 的 B 相为例,在整个试验过程中,试验电压的幅值均大于 1 240 kV 且出现闪络的加压次数为 2 次,但是却造成了 6 处盆式绝缘子的沿面出现闪络,并出现了一次加压、多处闪络的现象。

(3) 发生沿面闪络的盆式绝缘子均出现在线路的末端和母线的拐角处。

(4) 2 处盆式绝缘子的表面有比较明显的凹坑,如图 5 所示。

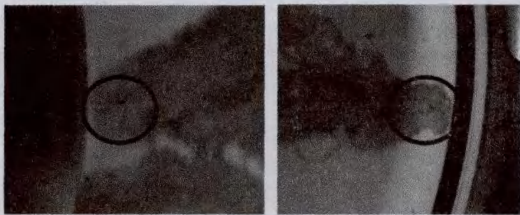


图 5 盆式绝缘子上有 2 处凹坑

(5) 等电位的触头和均压罩之间发生了放电的现象,如图 6 所示。

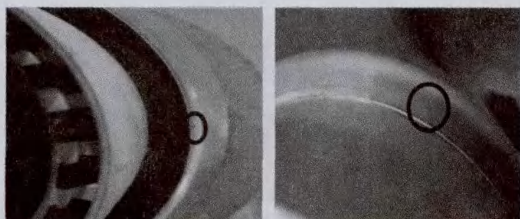


图 6 触头与相连的均压罩上对应的放电点

(6) 分段 I 的 B 相第 1 次 100% U 的放电波形如图 7 所示。

3.2 试验现象分析

对上述在试验过程中出现的现象进行了分析,分析结果总结如下。

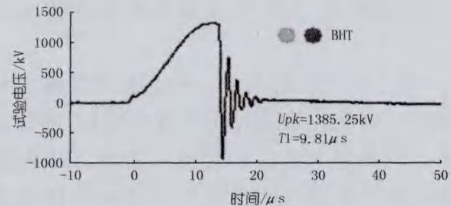


图 7 分段 I 的 B 相第 1 次放电波形

(1) 因为闪络的盆式绝缘子集中在 GIS 分段 I 的 B 相和分段 II 的 A 相处,而且数量较多,考虑到其余 4 个部分均顺利地通过了试验,所以,完全可以排除盆式绝缘子存在重大设计缺陷和大规模制造缺陷的可能性。

(2) 闪络的盆式绝缘子中有 2 处存在表面缺陷,而表面缺陷会改变电场的分布情况,从而导致沿面闪络的电压下降^[8]。

(3) 发生沿面闪络的盆式绝缘子均出现在线路的末端和母线的拐角处,这几处均为波阻抗发生变化的位置,而且此处肯定会产生波的折反射,特别是线路的末端为开路,其反射现象就更为明显^[9]。

(4) 在本次试验过程中,振荡形的雷电冲击波的波前时间为 10.3 μ s,波头长大约为 3 090 m,相对于 GIS 的尺寸来说,仍然比较大,雷电波在 GIS 导体末端所产生的反射波的幅值有限,GIS 内如果仅通过雷电波,不大可能引起大规模的闪络。然而在等电位的均压罩和触头之间发生了放电现象,说明两者之间产生了比较大的电位差;考虑到雷电波的陡度没有对其余的 4 个部分造成以上现象,因此,认为该现象很可能是由更陡的入侵波所造成的^[10-11]。

(5) 假定某个盆式绝缘子在雷电冲击电压试验中首先发生了沿面闪络,那么这就相当于叠加了一个幅值等于首次闪络的电压、极性相反的阶跃电压行波,而且叠加后的波形极陡,如图 7 所示。

综上所述,经过研究分析,本文认为,造成一次加压、多个盆式绝缘子沿面闪络的试验现象,是由于某个盆式绝缘子因绝缘缺陷首先发生了闪络以后,在 GIS 内部形成了比较高的电压幅值的快速暂态振荡冲击波,而且由于波形极陡,因此在 GIS 线路的末端甚至会产生 2 倍于电压幅值的反射波,而该反射波又造成了二次闪络,最终导致多处线路末端的盆式绝缘子发生闪络。

4 三峡地下电站雷电冲击电压试验的启示

4.1 雷电波波形的选择

考虑到试品电容较大的因素,因此,在现场进行雷电冲击电压试验时,往往是采取振荡形的雷电冲击电压波。

为了减小雷电波的反射,并且达到探测异常带电结构的目的,应使波前的时间相对地增长,因此宜选取为 15 μs 。但是考虑到伏秒特性和避免二次闪络可能造成的损伤,因而雷电冲击电压试验的电压幅值的选择,应当能保证其在发生首次闪络后所产生的快速暂态过电压不至于会引起二次闪络,为此,所选取的雷电冲击电压试验的电压幅值应相对较低。

与 ABB 公司的观点相同,本文认为:选取波前时间为 15 μs ,电压幅值为 70% 的型式试验电压幅值的振荡形雷电冲击电压波,应当比较适合于规模较大的气体绝缘开关站。

4.2 对现场工作的指导意义

对所发生沿面闪络的盆式绝缘子进行了观察,结果发现,部分盆式绝缘子上存在着很小的凹坑,而这些表面缺陷会严重影响到盆式绝缘子的绝缘特性,也会给 GIS 的稳定运行带来安全隐患。因此,在设备安装期间,建议应加强对盆式绝缘子的外观进行检查,以便及时、尽早地发现问题。

此外,为了减少二次闪络造成的影响,有必要在进行雷电冲击电压试验时,尽量将每次试验的范围缩小。

5 结论

综上所述,可以做出以下结论。

(1) 根据试验现象进行了分析,分析结果表明,出

现一次加压、多个盆式绝缘子沿面闪络的试验现象,是由于某个盆式绝缘子因绝缘缺陷而首先发生闪络以后所产生的快速暂态振动冲击波,该波形在 GIS 线路末端的反射电压又造成了二次闪络。

(2) 对于大型气体绝缘开关站,分析结果认为,在现场进行雷电冲击电压试验的过程中,宜采用波前时间为 15 μs ,电压幅值为 70% ~ 75% 的型式试验电压幅值的振荡形雷电冲击电压波,并且应尽量将每次试验的范围缩小。

参考文献:

- [1] 邱毓昌. 全封闭组合电器的现场耐压试验[J]. 电力技术, 1985, 18(11): 28-32.
- [2] 朱旭东. GIS 现场耐压试验[J]. 高电压技术, 1991, 61(3): 61-65.
- [3] GB 7674-2008 额定电压 72.5kV 及以上气体绝缘金属封闭开关设备[S].
- [4] 俞华, 马锐, 连建华, 等. 特高压 GIS 设备雷电冲击试验波形及参数探讨[J]. 山西电力, 2009, 154(3): 44-46.
- [5] DL/T 555-2004 气体绝缘金属封闭开关设备现场耐压及绝缘试验导则[S].
- [6] 朱旭东. GIS 现场耐压试验用振荡操作波发生器研究[J]. 高电压技术, 1992, 66(4): 57-60.
- [7] 张仁豫, 陈昌渔, 王昌长. 高电压试验技术(第三版)[M]. 北京: 清华大学出版社, 2009.
- [8] 邱毓昌. GIS 装置及其绝缘技术[M]. 北京: 水利电力出版社, 1994.
- [9] 周泽存, 沈其工, 方瑜, 等. 高电压技术(第三版)[M]. 北京: 中国电力出版社, 2007.
- [10] 吉嘉琴. GIS 中的 VFT 过电压分析[J]. 清华大学学报: 自然科学版, 1994, 34(1): 12-14.
- [11] 陈庆国, 张乔根, 邱毓昌. GIS 在快速暂态过电压下的放电特性[J]. 电网技术, 2000, 24(9): 1-4.

(编辑: 赵秋云)

Analysis of GIS lightning hit withstand test of extra - large hydropower station

YU Wenqiu, LUO Jianfeng, JIN Kun

(China Three Gorges Corporation, Chengdu 610042, China)

Abstract: Taking lightning hit withstand test of GIS for the underground power station of Three Gorges hydro - junction as a case, the principle, equipment and procedures of test are described in detail. The electric discharge phenomena occurred in the test process, and the problems existed in waveform selection for the test devices of large electric capacity during the test and installation of GIS. The causes for the discharge and other problems were analyzed. The results could provide reference and guide GIS lightning hit test for power stations.

Key words: GIS; lightning impulse withstand test; underground power station; Three Gorges Reservoir