

1 100 kV GIS用断路器的设计

金麟吉, 李二赫, 郑智均, 权奇永, 宋元杓, 金德秀

(韩国 晓星(株), 庆尚南道 昌原 641-712)

Design of 1 100 kV GIS Circuit-breaker

I K KIM, Y H LEE, J K JUNG, Y K KWON, W P SONG, D S KIM

(Hyosung Corporation, 641-712 Nae-dong Changwon, Kyounghnam, Korea)

摘要: 介绍了所研制的 1 100 kV、50 kA GIS 用断路器的技术规范、基本结构及合闸电阻的合理布置; 利用商用 Maxwell 2D、3D 软件及专用的程序, 对断路器灭弧室的电场分布情况进行了分析, 对合闸电阻的热容量进行了计算, 并做了相关的试验验证, 证明该型断路器的开断性能良好, 其所配用的合闸电阻的热容量满足使用要求。

关键词: 1 100 kV GIS 用断路器; 电场分布; 合闸电阻; 热容量计算

中图分类号: TM56

文献标志码: A

Abstract: This paper introduced the technical criterion, the reasonable disposition to basic structure and the close resistance of circuit breaker for 1 100 kV, 50 kA GIS developed by Hyosung in Korea. Based on Maxwell 2D 3D software, the electric field distribution of the interrupter in breaker was analyzed, the calculations of the close resistor's thermal capacity and the validate tests were carried out. It is proved that the capability of the circuit breaker is good, and the thermal capacity of the select close resistance can satisfy the requirement.

Key words: circuit breaker for 1100 kV GIS; electric filed distribution; close resistance

0 引言

为了满足迅速增长的电力需求, 中国正在推进 1 100 kV 电网的建设。为了适应该项工程, 韩国 Hyosung 公司正在研究与该电网相配用的大容量 1 100 kV GIS。

Hyosung 公司在 1998 年设计的 800 kV、50 kA GIS, 已经在韩国的 4 个变电站运行, 也在中国的 2 个变电站进行了安装, 并于 2005 年开始了商业运行。图 1 为运行在中国官亭变电站的 800 kV、50 kA GIS 的外观图^[1]。

在这些经验和技術基础上, 已研制出了 1 100 kV、50 kA GIS 用断路器。该断路器已完成了部分研究性



图 1 运行在中国官亭变电站的 800 kV GIS

试验, 并已委托韩国 KERI 实验室, 按照 IEC 62271-100(2003) 及 GB 1984(2003)^[2, 3] 进行产品的型式试验。

1 基本技术规范和结构

1.1 基本技术规范和结构

表 1 和图 2 分别为 1 100 kV 断路器的基本技术规范和 T100 试验时的暂态恢复电压 (TRV) 参数; 并与该公司已有的 800 kV 用断路器进行了比较。从

表 1 1 100 kV 断路器的基本技术规范

项目	额定值	
	1 100 kV	800 kV
额定电压/kV	1 100	800
额定电流/A	4 000	8 000
额定短时耐受电流	50 kA, 2 s	50 kA, 2 s
额定频率/Hz	50	50/60
每相断口数量	2	2
操动机构数量	1	1
操动机构类型	液压	液压
首相开断系数	1.3	1.3
TRV 上升率/(kV·μs ⁻¹)	2	2
U _c /kV	1 635	1 189
合闸电阻/	400 ~ 600	575 ~ 800
工频耐受电压	1 100 kV [*] 1 100(+635) kV ^{**}	830 kV [*] 1 100 kV ^{**}
雷电冲击耐受电压/kV	2 400 [*] 2 400(+900) ^{**}	2 250 [*] 2 250(+457) ^{**}
操作冲击耐受电压/kV	1 800 [*] /1 675(+900) ^{**}	1 425 [*] 1 100(+653) ^{**}
切容量性电流时的 U _c /kV	2 051 [*] /2 236 ^{**}	1 492 [*] /1 626 ^{**}

*——相对地 **——断口间

收稿日期: 2007-03-28; 修回日期: 2007-05-17

作者简介: 金麟吉(1962-), 男, 韩国人, 总工程师, 长期从事高压断路器的设计和研究工作。

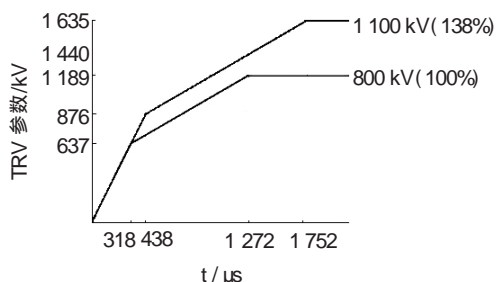


图 2 T100 试验时的 TRV 参数图

灭弧室设计的观点来看,规范中的参数大多比 800 kV 断路器的高。最重要的是,容性电流开断性能、合闸电阻的热容量及断路器的短路开断性能是研制 1100 kV 断路器需要深入研究的主要技术课题。

1.2 断路器的结构

1100 kV 断路器的结构见图 3。其中:图 3(a)为断路器内部整体结构图,图 3(b)为断路器的外观图,图 3(c)为灭弧室单元的内部图。考虑到断路器的整体重量,采用了铝外壳。断路器的中间布置有开断单元,它由绝缘支持筒一点支撑。为了使触头间的电场均匀分布,断口间装有并联电容器。所采用的单吹弧灭弧室的结构,迄今为止有很多供货纪录,而且结构简单而可靠。采用液压机构,易获得大的储存能量,使得操作速度更快。



图 3 1100 kV 断路器的结构

1.3 电阻单元

用于操作的合闸电阻的热容量是与试验电压的平方成正比的。因此,1100 kV 断路器中所用合闸电阻的热容量大约比 800 kV 断路器的高两倍。在合闸电阻为 500 时,其热容量增大到了 70 MJ。

这种情况下,电阻的体积和重量都会相应增大。因此,合理地布置合闸电阻是有效提高散热性能的重要因素。图 4 为电阻单元的布置和回路连接图。它由 2 组 4 条相互并联的电阻组成,电阻被理想地布置在主回路导体的周围。

2 分析和结果

2.1 电场分析

通过使用商业程序(Maxwell 2D, 3D)对灭弧室

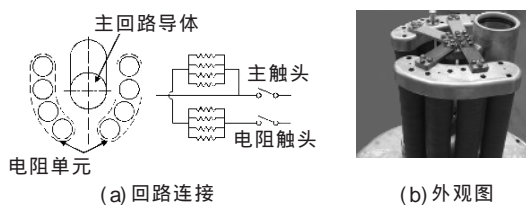


图 4 电阻单元的布置和回路连接图

进行了电场分析,以验证其介电性能。对于相间的介电性能,在断口间一步步地对触头的每一个位置进行了电场计算。通过电场分析,以确认灭弧室单元有足够的介电能力。图 5(a)为断路器在合闸位置时的相对地的电场分析,图 5(b)为灭弧室在开断位置时断口间的电场分析。

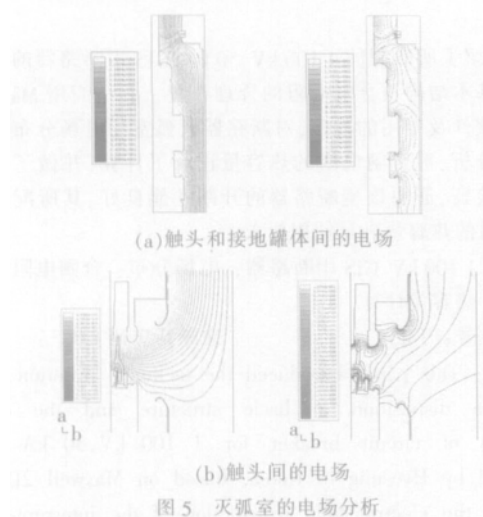


图 5 灭弧室的电场分析

2.3 冷态气流场的分析

小电流情况下可以按冷态气流场进行分析。小电流开断与大电流开断热气体状态不同,尽管其电流小、电弧几乎没发生,但其性能要求开断后在断口间很高的恢复电压下不应发生绝缘击穿。因此,小电流开断后第 1 次达到 TRV 峰值的 0.5 周期下进行能否确保绝缘性能的分析验证,这是很重要。在进行开断设计时应考虑在此区间内的开断速度及气体密度、电场分布值等。

对耐受电压的计算方式,分析时采用实际测量的动作特性曲线。

利用冷气流分析结果(气体密度)和电场分析结果中设定的耐受电压计算区域的密度和电场分布,按以下方式计算耐受电压值

$$U_d = \frac{E}{\rho}$$

式中 U_d 为耐受电压; ρ 为气体密度; ρ_0 为试验相数; E 为电场值。图 6 为燃弧时间为 0 ms 时的小电流分析结果曲线。由图 6 可知,耐受电压比施加电压值高,这意味着小电流开断性能良好。

2.4 热气流分析

灭弧室在开断由短路击穿等现象产生的故障电

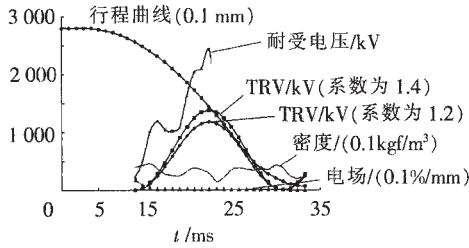


图6 小电流分析结果曲线(燃弧时间为0 ms)

流时,是在很短的时间内进行的。其间,电流的开断表现出了复杂的物理现象、电磁场和流场。通常而言,开断过程的分析 and 实验都比较困难。因此,Hyosung 公司编制出一个程序,在对断路器进行试验前,用来验证并分析这种断路器的开断性能。对于 1100 kV 断路器的灭弧室,为了实现灭弧室中的热气流的准确分析,采用了一个商业的计算动态流体(CFD)的程序包,计算并模拟了灭弧室中电弧现象在压气室中的气压变化。另外,通过热气流分析,也进行了近区故障(SLF)试验和基本短路试验(T100)时的开断性能的预测和改进。图7为灭弧室的数学分析模型,图8为根据燃弧时间确定的断路器的压气室的气压升高变化,图9为在电流过零时,灭弧室中的气压、温度和密度的等高线。

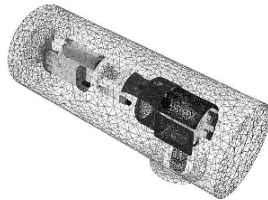


图7 1100 kV SF₆ 断路器的数学分析模型

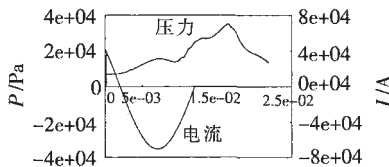
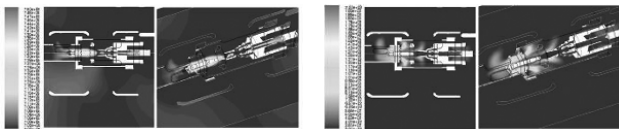
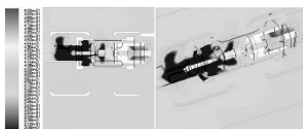


图8 燃弧时间为 12 ms,开断电流为 50 kA 时压气室中的预测的气压变化



(a) 气压 (b) 温度



(c) 密度

图9 在电流过零时气压、温度和密度等高线(燃弧时间 12 ms, 开断电流 50 kA)

2.5 合闸电阻的热容量分析

通过分析 1100 kV 断路器合闸电阻的温升模型来验证其合闸电阻的热容量。首先,为了分析合闸

电阻的温度变化,需要计算出冷却和绝缘用 SF₆ 气体的对流热传导系数, SF₆ 在散热和绝缘方面是性能优越的。SF₆ 气体的对流热传导系数比空气的高 3~4 倍,为 5 W/(m²K)。图 10 为 SF₆ 气体的对流热传导系数和温度差异之间的关系曲线,图 11 为电阻热分析模型和它的边界条件。

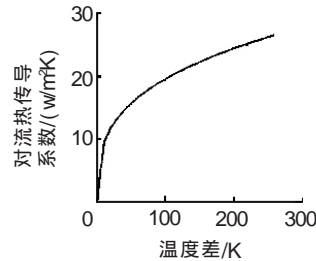


图10 SF₆ 气体的对流热传导系数与温度差异的关系

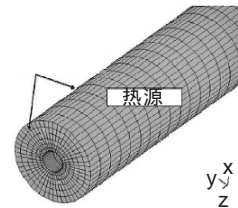


图11 电阻的热分析模型和边界条件

表 2 是为分析合闸电阻热容量所用的两种不同的操作规范。电阻和 SF₆ 气体的最初温度分别采用 60 和 40 。

表 2 合闸电阻热容量的操作规范

类型	操作规范	分析电压
1	CO-30 min-CO	2 倍额定电压
2	CO-3 min-CO-30 min-CO-3 min-CO	1.3 倍额定电压

图 12 为采用 2 倍的额定电压和在 CO-30 min-CO 的操作规范(表 2 的类型 1)的情况下电阻的温度变化图。图 13 为采用 1.3 倍的额定电压和在 CO-3 min-CO-30 min-CO-3 min-CO 的操作规范(表 2 的类型 2)时电阻的温度变化图。

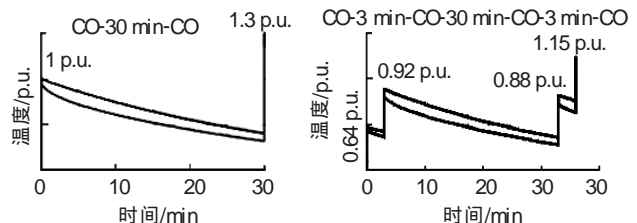


图12 类型1操作的温度变化 图13 类型2操作的温度变化

图 14 为在表 2 的类型 1 条件下的电阻的温度扩散模型。假设图 12 中,在表 2 规定的类型 1 的操作规范下,第 1 次 CO 操作时的温度上升值为 1 p.u.,那么在第 2 次 CO 操作后,这个温升值就达到了 1.33 p.u.,比图 13 所示的,按表 2 的类型 2 中规定的第 4 次 CO 操作后的温升值 1.15 p.u.高 16%,根据这个分析结果,认为电阻有足够的热容量。它也被证明可以耐受最高达 250 的温度。(下转第 193 页)

路原因,如倒塔、输电线因风摆动造成线间击穿和污闪等出现短路, 只会工频电压瞬时值较高时出现, 因而实际上不会出现零点延迟电流现象; ③开断空载线路, 只在电源电压高时才会出现短路, 因此不大会出现电流零点延迟现象; ④开断并联电抗器, 过电压应出现在电抗器侧, 不会导致线路短路; ⑤关合空载线路, 有可能在任何时刻短路, 但概率也应较小; ⑥人为短路故障, 误合接地开关导致短路, 短路时电源电压瞬时值较高, 实际上不会出现电流零点延迟现象; 未取下接地线情况下断路器合闸, 由于在关合高压断路器时触头间隙耐压强度降低很快, 有可能在电压零值附近出现短路, 所以有出现的可能但概率小。

2.2 能否出现带有容性的总负荷电流

一般负荷应接近纯阻性, 但考虑输电线路后总负荷则可能成为电阻-电感性或电阻-电容性。输电线路根据负荷电流大小两种可能均有。当负荷电流大时呈感性, 此时不会出现无零点短路电流; 当负荷电流小甚至空载而线路空载电流较大时, 则会出现零点延迟短路电流。上述负荷电流的大小可大致根据负荷阻抗小于或大于输电线路波阻抗值确定。如果负荷为纯电阻型, 加上线路电容电流, 总负荷应为电阻-电容型, 故有可能出现零点延迟短路电流, 但装有并联电抗器或串补装置时则更复杂。对双电源系统, 当输电线路发生短路时, 电源侧及负荷侧断路器均动作, 需考虑两侧断路器开断电流都能否出现零点延迟现象。在此情况下, 两侧负荷电流的大小及相位都不同, 负荷电流与短路电流相位关系正相反, 因此分析时更复杂。

2.3 实际情况下短路电路中串联电阻的影响。

情况可分为: ①接地电阻, 从不到 1 到几 Ω , 应有一些作用; ②SF₆ 断路器的电弧电阻很小, 如百分之几 Ω 且起作用时间短; ③空气间隙电弧电阻。空气中电弧电压降约为 1 500 V/m, 如短路电流为 5 000 A, 则弧阻不过 0.3 Ω /m 左右, 只有电弧较长时起作用。由于电弧电压小, 接近方波, 对短路电流值有影响但对它的衰减率影响很小。

(上接第 191 页)



图 14 类型 1 操作的温度扩散模式

3 结语

综上所述, 该公司通过采用合闸电阻等元件的理想布置, 已经设计了一种紧凑型 1 100 kV 断路器, 并通过使用分析程序进行了诸如合闸电阻热容量、短路

2.4 短路电流能否与负荷电流大小相近

在长输电线及大负荷电流情况下, 而且短路发生在输电线路远端时, 短路电流才有可能相对较小。

3 结论

(1) 输电线路中出现零点延迟短路电流的条件有 4 种: ①在电压零点及附近发生短路; ②短路电流的直流分量衰减较慢; ③短路前的线路电流有容性分量; ④短路前的线路电流比短路电流小得不多。因此, 短路电流中零点延迟现象是一个与多种条件有关的小概率的事件, 但如果出现则会对高压断路器提出新的要求。

(2) 从电网条件看, 只有在长输电线路远端短路的情况下, 短路电流比负荷电流倍数不够大, 并在电容电流较大时, 才有出现电流零点延迟条件的可能, 以后随着电网的发展, 短路电流的不断增加, 可能性将逐渐消失。

(3) 只有雷电过电压、带接地线合闸和无载线合闸等几种情况下才会出现较小概率。

(4) 通过电网调度, 在小范围内调节负荷功率因数, 可有助于避免该现象的发生。

(5) SF₆ 超高压断路器因电弧电压极小, 几乎没有在高电压下开断不过零电流的能力, 而加大其开断直流的能力是相当困难的, 这将使断路器的结构复杂且价格昂贵。但实际上, 在此情况下开断无零点电流, 断路器的灭弧室及弧触头只有几十到上百毫秒的时间可以承受电弧的能量和烧损, 并当这一时段过去后电弧有可能最后熄灭, 因为在此情况下短路电流很小, 而且随后的电流过零点的电流下降率及恢复电压都很低 (电流过零时电源电压也接近零)。这是一个有待分析研究的问题, 希望此问题能得到进一步的关注。

参考文献:

- [1] 特殊用途断路器技术和应用调查专门委员会. 特殊用途断路器技术和应用[R]. 日本: 电气学会技术报告 865 号, 2003.
- [2] 钱家骊. 8 种电流零点延迟现象 [J]. 华通技术, 2004(1): 18-20.

开断等主要性能的验证。

参考文献:

- [1] KIM J B, YANG D I, SONG W P. Overview of 800 kV Gas Insulated Switchgear in Real Commercial Operation[C]// 2005 Korea-Japan Joint Symposium on ED&HVE, Seoul:[sn.], 2005: 1-5.
- [2] IEC 62271-100(2003). High Voltage Alternating Current Circuit Breaker[S].
- [3] GB 1984(2003). 高压交流断路器[S].