

新沈高 1 100 kV GIS 的结构及计算

孙永恒¹, 张 铎¹, 孟维东¹, 魏俊梅²

(1. 新东北电气(沈阳)高压开关有限公司, 辽宁 沈阳 110025; 2. 沈阳工业大学, 辽宁 沈阳 110023)

Introduction of 1100kV GIS of Shenyang High Voltage Switchgear Co. Ltd

SUN Yong-heng¹, ZHANG Duo¹, MENG Wei-dong¹, WEI Jun-mei²

(1. Shenyang High Voltage Switchgear Co. Ltd., Shenyang 110025, China;
2. Shenyang University of Technology, Shenyang 110023, China)

摘要: 介绍了国外特高压开关设备的发展状况和新沈高 1 100 kV GIS 中的断路器、隔离开关、接地开关、母线和套管等关键组成元件的主要结构特点; 对其中盆式绝缘子、支持绝缘子、进出线套管等关键部件的绝缘性能进行了分析计算, 以该产品为主体的 HGIS 将进入国网特高压交流的示范工程。

关键词: 1 100 kV GIS; 结构特点; 绝缘性能

中图分类号: TM561

文献标志码: A

Abstract: Constructing ultra-high voltage power net is very essential to optimizing power development. This paper introduced the international situation of ultra-high voltage switchgear's development at present. The main characteristics of key components in 1 100 kV GIS (made by Shenyang high voltage Switchgear Co. Ltd) such as CB, DS, ES, and bushing were also introduced. The insulation performance of basin insulator, support insulator and bushing were calculated and analyzed.

Key words: 1 100 kV GIS; structure character;
insulation performance

0 引言

发展特高压电网, 是优化电力发展的必然要求^[1]。根据国家电网规划, 到 2020 年, 我国电源装机容量要在现有 6 亿千瓦的基础上翻一番, 达到 12 亿千瓦^[2]。为满足我国未来电力需求的快速增长, 迫切需要提高电力系统的供电能力, 而提高输电电压是提高输送功率、降低线路损耗、解决短路电流超标及节省线路走廊最为有效的方式^[3]。国家电网公司在特高压交流试验示范工程晋东南、南阳、荆门变电站中采用 1 100 kV GIS 及 HGIS 开关设备, 新东北电气(沈阳)高压开关有限公司(新沈高)在国家电网公司特高压交流试验示范工程招标中, 得到南阳站 2 个间隔 HGIS 订单。

1 国外特(超)高压开关设备的发展概况

世界上一些国家如前苏联、美国、日本、南非、韩国、加拿大等国均已规划或建设特(超)高压交流输电线路, 一些著名的跨国电器制造公司也均在进行交流特高压输电设备的研究^[4]。

1.1 前苏联 1 150 kV 开关设备概况

前苏联于 20 世纪 70 年代做出规划, 拟建起始于西伯利亚的坎斯克, 经由伊塔特、巴尔脑尔到哈萨克斯坦的科克切塔夫、库斯坦奈, 然后到乌拉尔的车里雅宾斯克约 2 500 km 的 1 150 kV 输电线路^[5]; 并已于 80 年代建成埃基巴斯图兹到科克切塔夫 500 km 和科克切塔夫到库斯坦奈 400 km、1 150 kV 输电线路。从 1985 年到 1992 年, 埃基巴斯图兹到科克切塔夫的 1 150 kV 输电线路累计全电压运行 23 787 h, 从科克切塔夫到库斯坦奈的 1 150 kV 输电线路累计全电压运行 11 379 h; 从 1992 年起这两条输电线路降压为 500 kV 运行^[6]。

前苏联百万伏输变电线路采用敞开式变电站, 其中已运行的断路器采用 5 柱 10 断口压缩空气断路器, 额定电流 4 000 A, 额定短路开断电流为 40 kA^[6]。

1.2 欧美一些国家超高压开关设备概况

20 世纪 60 年代, 美国、加拿大建成 750 kV 输电线路。欧美目前大都采用敞开式开关设备, 735 ~ 800 kV 断路器为多断口少油、压缩空气或六氟化硫断路器。瑞士 ABB 公司在 20 世纪 80 年代向南非 ESKOM 电力公司提供了 800 kV GIS 设备。

20 世纪 70 年代, 意大利及瑞士 ABB 公司进行了 1 050 kV GIS 的研究工作, 意大利 1 050 kV Suvereto 试验站使用全套 GIS 设备, 采用 1050kV/6000A 四断口断路器, 由两台液压机构操动, 每个液压机构操作两个断口^[7]。

1.3 日本 1100 kV GIS的发展概况

日本于20世纪80年代初开始特高压技术研究,规划建设东西和南北两条1000 kV输电主干线^[8];两条线全长487.2 km,于1999年已全部建成,但一直降压至500 kV运行^[9]。

为实现1000 kV输电,日本日立、东芝、三菱三家公司于1995年各自研制出一极配双断口SF₆断路器的1100 kV GIS,并已于1996年在东京电力公司新榛名特高压试验站作长期带电试验。1100 kV

断路器采用液压机构操动,设置阻值为700 的分、合闸电阻和单独的操动机构,增设机械延时动作控制装置,确保主断口与电阻断口开断时间的控制^[9]。

2 新沈高研制的1100 kV GIS

新沈高于2006年与日本AE-POWER公司合作开发1100 kV GIS,其中断路器的主要技术参数与国外特高压断路器的比较见表1。

新沈高研制的1100 kV GIS的结构示意图见

表1 新沈高1100 kV断路器与国外特高压断路器主要技术参数比较

	额定电压/kV	额定电流/A	额定工频 耐受电压/kV	额定雷电冲击 耐受电压/kV	额定操作冲击 耐受电压/kV	断路器 断口数/个	额定短路 开断电流/kA	操动机构
前苏联	1150	4000		2500	2100	10	40	气动机构
意大利	1050	6000		2250	1675	4	63	液压机构
日本	1100	8000	1100	2250	1550	2	50	液压机构
新沈高	1100	8000	1100	2400	1800	2	50	液压机构

图1。它由断路器(GCB)、隔离开关(DS)、检修用接地开关(ES)、快速接地开关(FES)、母线(GIB)、伸缩节、套管(BG)、电流互感器(CT)等元件组成,各元件均采用分箱结构。

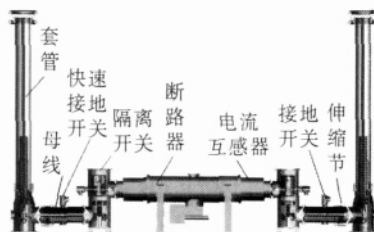
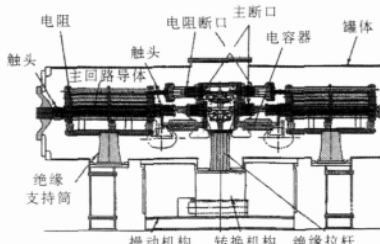


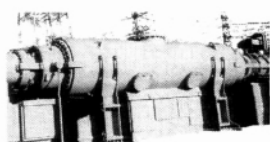
图1 1100 kV GIS结构示意图

2.1 断路器(GCB)

1100 kV断路器结构及外形见图2,其主要结构特点有:①断路器为双断口结构,采用压气式灭弧原理;②只采用限制合闸过电压的合闸电阻,电阻合闸触头随主断口动侧一起动作,以确保超前合闸的可靠性;③操动机构为液压操动机构。



(a)断路器结构图

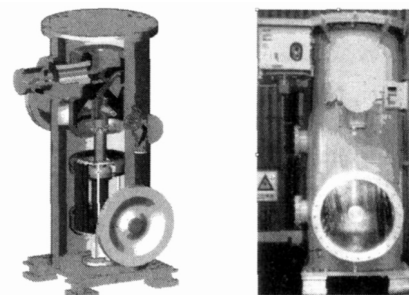


(b)断路器外形

图2 1100 kV断路器结构及外形图

2.2 隔离开关(DS)

1100 kV隔离开关结构及外形见图3。



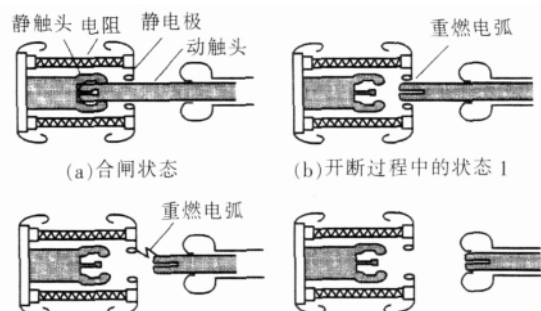
(a)隔离开关结构图

(b)隔离开关外形

图3 1100 kV隔离开关结构图及外形图

为抑制隔离开关操作过程中重击穿产生的陡波过电压,1100 kV隔离开关增设了分、合时串入的电阻,动作原理见图4。分合闸电阻安装在隔离开关静触头的管壁上,开关从合闸状态开始分断到分断中间,在动触头与静触头之间产生电弧,静触头管壁上的电阻自然就在回路中串联,降低了产生多次重燃的概率,从而也降低了陡波过电压的倍数。合闸时的次序相反,电阻也是在完全关合前投入,降低了产生多次重燃的概率。

1100 kV隔离开关采用电动弹簧操动机构,根



(c)开断过程中的状态2

(d)开断状态

图4 带分合闸串入电阻的隔离开关动作原理

据开断母线环流的要求和电阻的性能决定分合闸速度。隔离开关可与接地开关组合。

2.3 接地开关(ES、FES)

1 100 kV 接地开关外形见图 5, 其主要结构特点有: ①ES采用电动操动机构, FES采用电动弹簧操动机构; ②在合闸的状态下, 具有耐受额定短路电流的能力; ③为测量主回路电阻和电流互感器的电流变比, 安装有绝缘法兰, 通过拆卸和安装接地铜带与外壳相连接。在拆除接地铜带后可作试验端子使用。

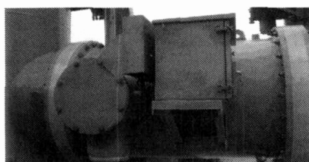


图5 110 kV 接地开关外形

2.4 母线(GIB)

1 100 kV 母线结构及外形见图 6, 其主要结构特点: ①母线根据其电流的不同分为铝罐结构和钢罐结构; ②母导体之间的连接采用梅花触头连接, 在组装时可方便连接, 该连接方式还可补偿因温度变化带来的导体膨胀或收缩; ③母线温升试验电流 10 000 A, 短时耐受电流 63 kA/3s, 峰值耐受电流 171 kA。

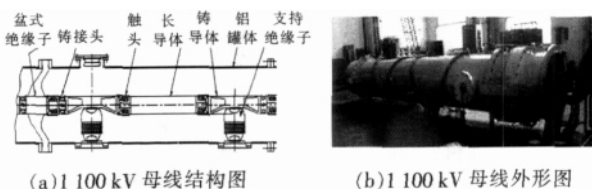


图6 110 kV 母线结构及外形图

2.5 套管(BG)

采用瓷套管或复合套管的形式, 见图 7, 套管内充有 SF₆ 气体, 屏蔽结构采用中间电位屏蔽罩和接地屏蔽罩相结合的方式, 从而有效地改善了套管周围的电磁环境。

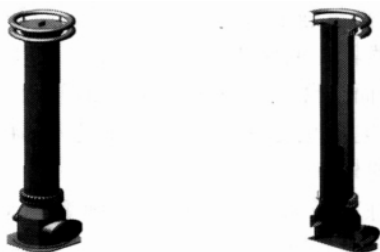


图7 110 kV 套管结构

2.6 伸缩节

因 GIS 各部件间连接复杂, 使用伸缩节用于调整各部位间存在的伸缩或变形。1 100 kV 伸缩节结构见图 8, 使用伸缩节可解决以下问题: ①吸收地基及设备的制造误差和组装误差; ②吸收设备外壳和基础的相对热伸缩; ③发生事故时, 容易将设备进行拆卸和重新组装; ④减少传到设备外壳的震动冲击; ⑤吸收地基因地震或长期沉降不均造成的位移。

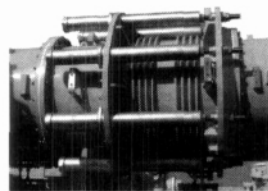


图8 110 kV 伸缩节外形图

3 110 kV GIS的主接线方式

1 100 kV GIS 布置方式可以选择双母线双断路器、3/2 接线等接线方式。以 1 000 kV 特高压交流试验示范工程晋东南变电站投标方案为例, 一期选择了双母线双断路器的接线方式, 远期可扩展为双母线双断路器接线或 3/2 接线接线方式, 见图 9。

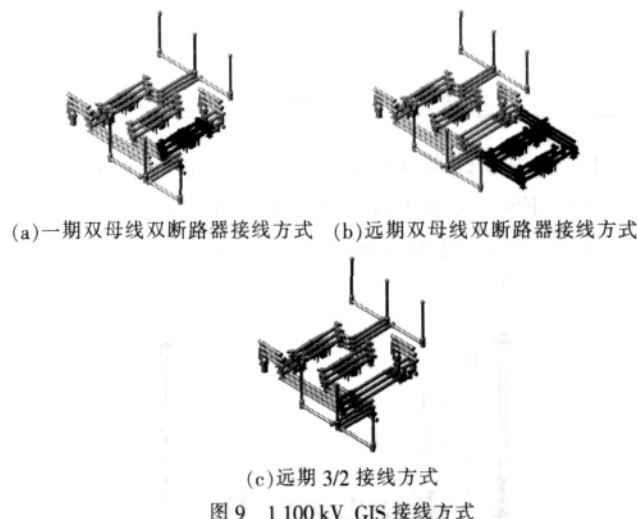
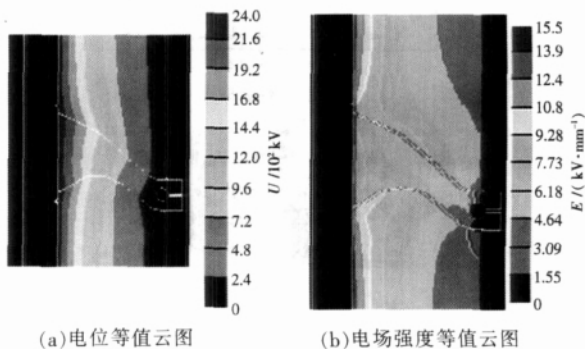


图9 110 kV GIS 接线方式

4 110 kV GIS关键绝缘件电场分析计算

4.1 盆式绝缘子电场分布计算

由于 1 100 kV 盆式绝缘子结构具有轴对称特点, 所以采用轴坐标平面分析方法对其轴截面的一半进行研究(边界条件: 中心导体施加雷电冲击耐受电压 2 400 kV, 罐体施加 0 电位), 计算结果见图 10。其中导体上最大场强 15.49 kV/mm, 盆式绝缘子沿面最大场强 7.855 kV/mm, 低于 0.5 MPa SF₆ 气体(20 绝对压力, 1 100 kV GIS 的最低功能压力) 的气体间隙击穿场强 24 kV/mm 和沿面击穿场强 12 kV/mm^[10]。



(a) 电位等值云图

(b) 电场强度等值云图

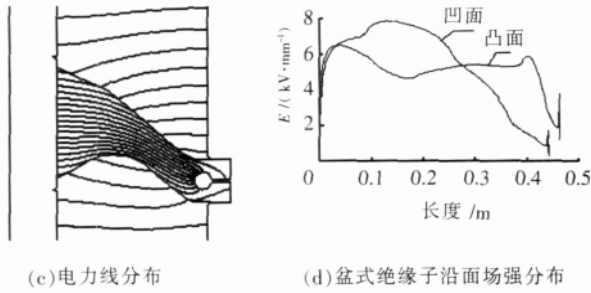


图10 盆式绝缘子电场计算结果

4.2 支持绝缘子电场分布计算

对支持绝缘子的电场分布作近似二维计算(边界条件:导体施加雷电冲击耐受电压 2 400 kV,罐体施加 0 电位),计算结果见图 11。其中支持绝缘子沿面最大场强 7.855 kV/mm, 低于 0.5 MPa SF₆ 气体的沿面击穿场强 12 kV/mm^[10]。

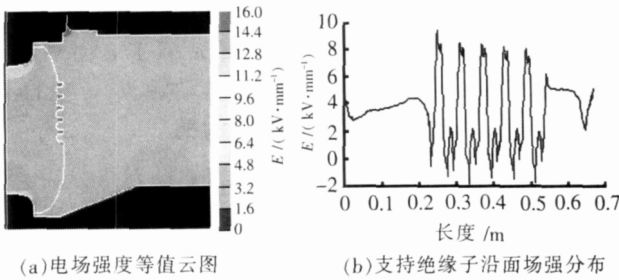


图11 支持绝缘子电场计算结果

4.3 套管电场分布计算

1100kV 套管由上法兰、上均压环、套管(内径 1m, 高 10 m)、中心导体(引线)、中间电位屏蔽罩、接地屏蔽罩以及下法兰等元件构成,具体结构见图 12。采用电场数值分析计算方法优化其绝缘结构(边界条件:中心导体施加雷电冲击耐受电压 2 400 kV,罐体施加 0 电位),最优化方案的计算结果见图 13,各关键部位的电场强度最大值见表 2。额定运行电压下距地面 1.5 m 高度处的电场强度分布见图 14,其中最大值为 4.63 V/mm,因此对其周围生态环境安全可靠^[1]。

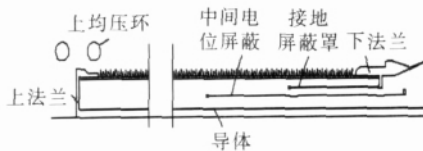


图12 套管结构图

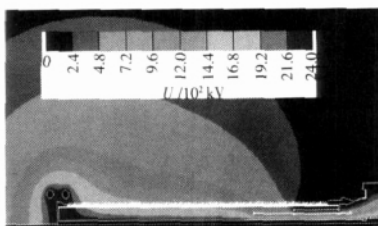


图13 套管电位等值云图分布

表2 1 100 kV 套管各关键部位电场强度最大值

部位	电场强度最大值/(kV·cm ⁻¹)
导体	157.10
中间电位屏蔽罩	153.70
接地屏蔽罩	170.90
下法兰	4.281
瓷套内壁沿面	14.38
瓷套外壁沿面	11.38

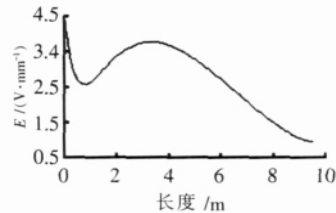


图14 额定运行电压下地面 1.5 m 处电场强度分布

1 100 kV GIS, 其组成元件为标准化模块组件,可根据用户需要对各种接线方式和布置方式进行组合;对工程的扩建也很方便。以该产品为合作主体,新沈高与日本 AE- POWER 公司合作生产的 HGIS 将进入南阳站试验示范工程。随着该产品的逐步国产化,必将进一步提升新沈高公司特高压工程 GIS 的产品技术水平和生产能力。

参考文献:

- [1] 刘振亚. 特高压电网[M]. 北京: 中国经济出版社, 2005.
- [2] 周小谦. 我国的能源结构与电力规划 [J]. 高压开关, 2003 (2): 25- 28.
- [3] 周 浩. 发展我国交流特高压输电的建议 [J]. 高电压技术, 1996, 22(1): 25- 27.
- [4] 黎巧华. 世界各国 UHV 输电现状 [J]. 广东电力, 1993(1): 34- 38.
- [5] KLINGER M, ANNESTRAND S A, PARKS G A, et al. Experience of 6-year 1 200 kV Transmission Line Test and Development Program at the Bonneville Power Administration [C]// IIGRE, 1984: 38.
- [6] KOVALEV V, PANIBRATETS A, VOLKOVA O, et al. The Equipment for the AC 1 150 kV Transmission Line [C]// Proceeding of International Workshop of UHVAC Transmission Technology, 2005: 25- 28.
- [7] ARDITO A, GIORGI A, PIGINI A, et al. The Italian 1000kV Project [C]// Proceeding of International Workshop of UHVAC Transmission Technology, 2005: 25- 28.
- [8] ICHIDA Y, OZAKI Y, SEKINE Y. Latest Developments in the Japanese 1 000 kV Transmission Technology [C]// 1988 CIGRE Session, 1988: 28.
- [9] 中村秋夫, 冈本浩, 曹祥麟. 东京电力公司的特高压输电技术应用现状[J]. 电网技术, 2005, 29(6): 1- 5.
- [10] 黎 斌. SF₆ 高压电器设计 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2003.

5 结语

新沈高与日本 AE- POWER 公司合作开发的