

紧凑型252 kV GIS产品研发及单元化设计

王春艳^{1,2}, 巫世晶³, 王亚鸽¹, 刘 分¹, 李松磊¹, 马志强¹

(1. 河南平芝高压开关有限公司, 河南 平顶山 467013; 2. 平高集团有限公司, 河南 平顶山 467013;

3. 武汉大学动力与机械学院, 武汉 430072)

摘要: 论述了国内外252 kV GIS的发展现状及趋势展望, 详细介绍了某高压开关有限公司最新研制的额定参数为“252 kV-4 000 A-50 kA(3 s)-50 Hz”的新一代紧凑型252 kV GIS的设计理念、关键技术、结构特点及型式试验情况。秉承“高可靠性、小型化、低成本”的设计理念, 断路器采用自能灭弧室结构, 配弹簧操作机构; 隔离/接地开关通用化设计, 与主母线气室独立; 主母线三相共箱上侧布置; 电流互感器整体浇注成型, 有内置/外置式2种规格; 隔离/接地开关的操作机构集成化设计, 在机构箱内实现间隔内电气互锁; 整间隔一体化运输、安装与调试。该产品拥有自主知识产权, 已完成全套型式试验并通过国家新产品技术鉴定, 成功应用于变电站工程。

关键词: 紧凑型; 252 kV GIS; 产品研发; 单元化设计; 型式试验

Unitized Design and Product R&D of Compact 252 kV GIS

WANG Chunyan^{1,2}, WU Shijing³, WANG Yage¹, LIU Fen¹, LI Songlei¹, MA Zhiqiang¹

(1. Henan Pingzhi High-voltage Switchgear Co., Ltd., Henan Pingdingshan 467013, China; 2. Pinggao Group Co., Ltd., Henan

Pingdingshan 467013, China; 3. School of Power and Mechanical Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

Abstract: This paper discusses the present situation and tendency of the development of 252 kV GIS at home and abroad, introduces the rated parameters of the newly developed “252 kV-4 000A-50 kA(3 s)-50 Hz” of a new generation of compact 252 kV GIS design concept, key technology, structure features and type tests Adhering to the “high reliability, miniaturization, low cost” design concept, circuit breaker, can adopt the arcing chamber structure with spring operating mechanism; Generalized design disconnector/earthing switch, and the main bus-bar chamber independence; Main bus-bar three-phase upper layout box; Current transformer integral pouring shape, inner/outer type two kinds of specifications; Integrated design of operation mechanism of disconnector/earthing switch, the institutions in the implementation of interval electric interlock; The integration between transportation, installation and debugging. This product has independent intellectual property rights, has completed a full set of type test and through the national new product technical appraisalment, and has been successfully applied to substation project.

Key words: compact; 252 kV GIS; product R&D; unitized design; type test

0 引言

随着全球电力系统的发展和对电力系统运行可靠性要求的提高, 气体绝缘金属封闭开关设备(简称GIS)作为输配电系统的变电站基础设备, 以其占地面积及体积小、可靠性高、配置灵活、安装方便、环境适应能力强、维护工作量小等特点倍受业主青睐^[1]。

随着城市用电量的激增, 亟需252 kV乃至550 kV

变电站设在市区或接近城郊, 迫切要求GIS变电站尽量减小占地面积或布置在地下室等狭小空间^[2], 因此GIS设备的小型化、整体布置紧凑、安装维护便捷等成为企业产品核心竞争力的体现。

1 252 kV GIS 发展现状及趋势展望

252 kV GIS设备在电力系统中需求量极大, 目前国内制造厂家均在推进GIS设备的小型化, 进一

步优化结构、均匀电场,同时尽量减小设备体积、降低成本,推进产品的换代升级。从产品结构看,国内产品主要有3相分箱型、仅主母线共箱其他单元分箱型和除断路器及电流互感器单元其他全共箱3种类型,以上类型产品各有其优势。国外厂商如ABB、SIEMENS、TOSHIBA等公司在252 kV电压等级都有紧凑型产品推向市场。

可以预见:未来252 kV GIS设备将继续沿全寿命周期成本低、操作机构无油化(弹簧机构)、状态监测有效可靠、整体布置紧凑、安装维护便捷等方向发展^[3]。

2 紧凑型252 kV GIS整体结构及参数

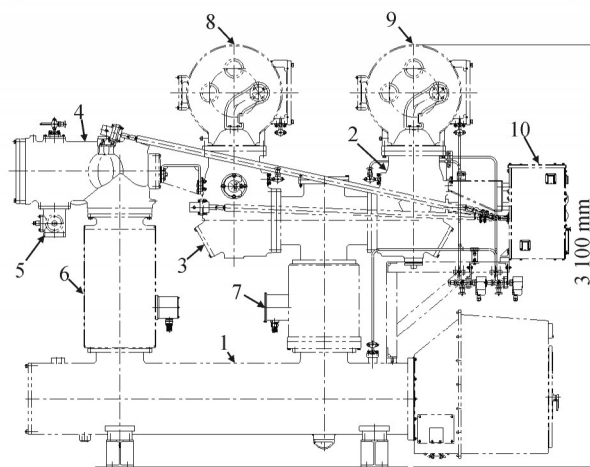
河南平芝高压开关有限公司最新研制的紧凑型252 kV GIS设备的主要元件有断路器、三工位隔离/接地开关、快速接地开关、电流互感器、电压互感器、共箱型主母线、分支母线、套管及电缆终端等。其相间距离560 mm,间隔宽度1 850 mm,间隔运输高度3 100 mm,可满足各种接线方式。GIS设备主要技术参数见表1,基本构成见图1,产品外观见图2。

表1 主要技术参数

Table 1 Main technical parameters

序号	参数	值数
1	额定电压/kV	252
2	额定频率/Hz	50
3	额定电流/A	4 000
4	额定短路开断电流/kA	50
5	额定短路持续时间/s	3
6	额定峰值耐受电流/kA	125
7	额定雷电冲击耐受电压(1.2/50 μ s 峰值)/kV	相对地 1 050
		断口间 (1 050+206)
	1 min工频耐受电压(有效值)/kV	相对地 460
		断口间 (460+145)
9	机械试验	断路器(GCB) M2(10 000次)
		隔离开关(DS) M2(10 000次)
		接地开关(ES) M2(10 000次)
		快速接地开关(HES) M2(10 000次)
		断路器气室(GCB) 0.6
10	额定气室压力/MPa	其他气室 0.5

该产品采用主母线共箱上侧布置形式,整体结构紧凑、气室独立、功能元件故障易更换,隔离/接地/快速接地开关的操作机构集成化设计,在机构箱内实现间隔内的电气互锁,不仅节约成本、方便巡检,还可有效减少电缆用量及现场配线工作量。各单元模块化设计,通用化程度高,互换性强,可灵活应对各种接线形式^[4]。间隔内操作机构和SF₆密度



1—断路器; 2—母线侧隔离/接地开关; 3—母线侧隔离开关;
4—线路侧隔离/接地开关; 5—快速接地开关;
6—线路侧电流互感器; 7—母线侧电流互感器;
8—主母线 II; 9—主母线 I; 10—四合一操作机构。

图1 紧凑型252 kV GIS构成

Fig. 1 Component of compact 252 kV GIS

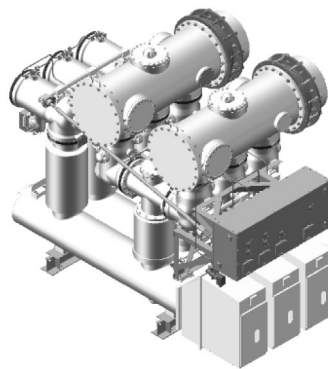


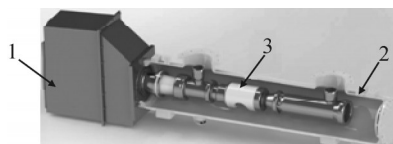
图2 紧凑型252 kV GIS外观

Fig. 2 Appearance of compact 252 kV GIS

继电器集中布置方便操作、维护和巡检,与同行知名企业产品相比独具特色。

2.1 断路器结构

断路器作为GIS设备的核心单元,担负着线路正常电流的承载、开断和关合,也承担着在规定时间内短路电流的承载、开断和关合,担负着电力系统的控制和保护任务^[5]。断路器采用卧式布置,配无油化弹簧操动机构,结构简单、可靠性高、开断性能优越。其主要由灭弧室、壳体和操作机构等组成,见图3。



1—弹簧操作机构; 2—壳体; 3—灭弧室。

图3 断路器结构

Fig. 3 Structure of GCB

断路器采用直列式自能灭弧室结构, 设置有压气室和热膨胀室, 可有效利用电弧能量, 减小操作功^[5-6]。在借鉴国内外各电压等级灭弧室结构的基础上, 综合运用Ansys、ADAMS、Ace等解析软件, 对灭弧室的电场、温度场和气流场等进行仿真优化, 将热膨胀室与压气室有机结合, 凸现了低操作功、小型化、高性能的设计理念^[2]。自能灭弧室工作原理见图4。



图4 自能灭弧室工作原理

Fig. 4 Principle of tandem puffer

2.2 隔离/接地/快速接地开关通用化、集成化设计

为应对不同接线方式, 秉承通用化设计理念, 开发出3种规格的隔离/接地开关: ①隔离开关; ②三工位隔离/接地开关; ③隔离/接地/快速接地开关。3种规格开关的壳体、导体均采用铸造件, 取消传统的屏蔽罩结构, 优化了电场分布和装配结构, 最大程度减少零部件种类和数量, 在降低成本的同时减少安装环节, 提高了产品可靠性和装配效率^[7]。同时采用螺旋弹簧触指取代传统的鱼形触指, 使整体结构更加紧凑, 对中性更易保证。

2.2.1 隔离/接地/快速接地开关设计

母线侧隔离/接地开关与主母线气室独立, 采用三工位结构, 共用一台操作机构, 机械上解决了隔离开关和接地开关间的互锁问题, 杜绝误操作。通过对绝缘距离、断口距离、传动力矩、传动比、隔离开关切环流要求的结构应对及导体外形等方面的优化设计, 并采用新的铸造工艺提高铸件导体通流性能, 使得整体结构极为简化, 尺寸显著变小^[8]。

线路侧隔离/接地/快速接地开关集成设置在同一个壳体内, 结构紧凑、零件数量少。通过对快速接地开关关合短路电流结构的优化设计, 使得设备性能更加稳定、可靠^[9]。同时, 与母线侧隔离/接地开关通用化设计, 内部元件通用化程度高。

隔离/接地开关配电动机构, 快速接地开关配电动弹簧机构, 机械寿命均达到10 000次。线路侧隔离/接地/快速接地开关结构见图5。快速接地开关静触头侧绝缘解析结果见图6。经优化后的结构电场分布更加合理。

2.2.2 四合一集成式操作机构

隔离/接地/快速接地开关采用四合一集成式操作机构, 不仅有效节约成本, 且操作、巡检方便。同

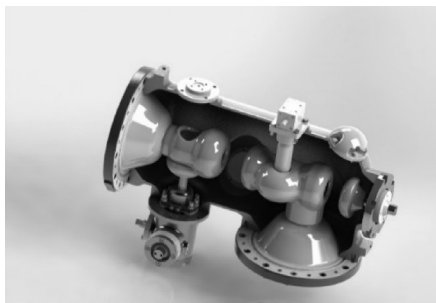


图5 线路侧隔离/接地/快速接地开关

Fig. 5 Structure of LINE-DS/ES(HES)

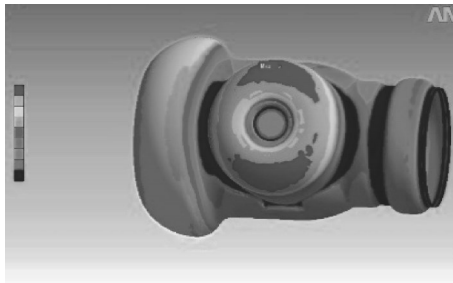


图6 快速接地开关静触头侧绝缘解析结果

Fig. 6 Insulation analysis results for static contact of HES

时, 在机构箱内部可实现间隔内的二次互锁, 大幅减少电缆用量和现场配线工作量, 提高了产品的可靠性, 具体结构见图7。

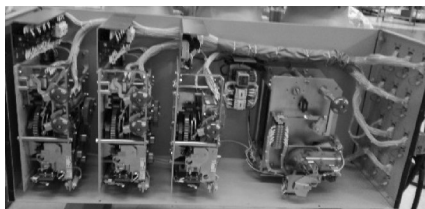


图7 集成式操作机构

Fig. 7 Integrated operating mechanism

2.3 其他单元

2.3.1 主母线

主母线采用三相共箱结构, 气室独立, 电联接采用螺旋弹簧触指, 结构简单, 装配便捷。利用母线侧隔离/接地开关的绝缘盆作为导体支撑, 减少了内部绝缘件数量, 降低成本的同时提高了设备的可靠性^[10]。为吸收间隔间的安装偏差装设有补偿用伸缩节, 同时为了消除母线热胀冷缩产生的应力, 可根据需要装设专用温度补偿伸缩节^[11]。共箱主母线结构见图8。绝缘解析结果见图9。敏感部位如绝缘支柱的电场值有不小于20%的绝缘裕度^[12]。

2.3.2 电流互感器

电流互感器(简称CT)采用整体浇注成型, 提供内置和外置式两种结构, 可灵活布置在断路器两侧并不改变间隔总体尺寸, 整单元一体供货, 减少了工厂内的装配作业量。

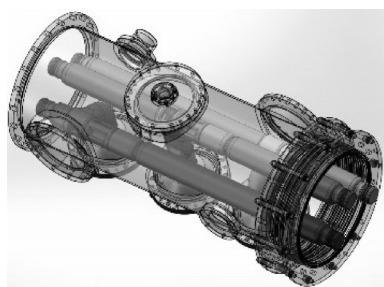


图8 共箱主母线结构
Fig. 8 Structure of main-bus

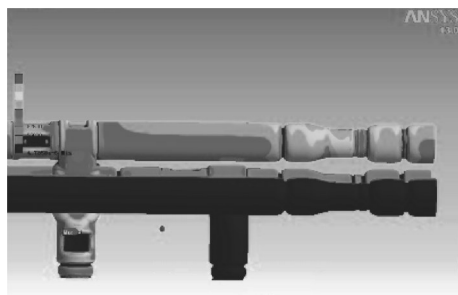


图9 共箱主母线绝缘解析结果
Fig. 9 Insulation analysis results of main-bus

3 型式试验介绍

2014年4月至2015年8月,该GIS产品依据GB、DL及IEC等标准要求,在西安高压电器研究院有限责任公司等检测机构完成了全部型式试验项目。部分型式试验项目现场照片见图10-13。其中图10为单相断路器进行开断试验时的姿态;图11为隔离开关小容性电流开合试验姿态;图12为主母线温升型式试验姿态;图13为整间隔局放试验姿态。

3.1 断路器型式试验

断路器的型式试验包括开断、绝缘、温升、短时耐受、机械寿命、20次电寿命试验等^[13]。

3.2 隔离开关型式试验

隔离开关的型式试验包括小电容电流、小电感电流开合,绝缘,温升,切合母线转换电流,操作和机械寿命,短时耐受及峰值耐受电流试验等^[14]。主要试验参数见表2。



图10 断路器开断试验
Fig. 10 GCB interrupting test



图11 隔离开关小容性电流开合试验
Fig. 11 Capacitive current test of DS

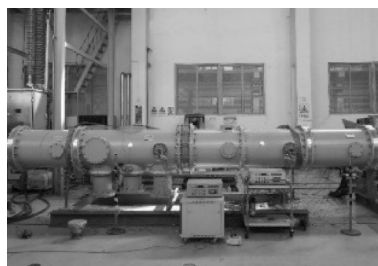


图12 主母线温升试验
Fig. 12 Temperature rise test of main bus



图13 整间隔局放试验
Fig. 13 Partial discharge test of integral interval

表2 隔离开关主要试验参数
Table 2 The main test data of DS

试验项目	参数
切合母线转换电流	1 600 A/100 V, 100次
小电容电流开合	2 A/50次
小电感电流开合	2 A/50次

3.3 快速接地开关型式试验

快速接地开关的型式试验包括短路关合能力、开合感应电流能力、操作和机械寿命、短时耐受及峰值耐受电流试验等^[15-16]。主要试验参数见表3。

表3 快速接地开关主要试验参数
Table 3 The main test data of FES

项目	参数
开合电磁感应电流试验	160 A/15 kV, C、O各10次
开合静电感应电流试验	10 A/15 kV, C、O各10次

3.4 主母线型式试验

主母线的型式试验包括绝缘、温升、短时耐受

及峰值耐受电流试验等^[15-16]。截至2015年8月,该紧凑型252 kV GIS产品已完成全套型式试验,表现出优异的产品性能。于2016年通过中国机械工业联合会组织的新产品技术鉴定,目前已成功应用变电站工程。

4 结论

该自主研制的紧凑型252 kV GIS设备具有如下特点:

1)断路器采用串联双缸自能灭弧室,配无油化弹簧操作机构。

2)隔离/接地开关采用三工位结构,三相机械联动;电连接采用螺旋弹簧触指,导体采用高导电率铝合金铸造。

3)隔离/接地开关采用高集成化四合一操作机构,间隔内电气互锁。

4)主母线三相共箱,与隔离/接地开关气室独立;间隔间通过短距波纹管连接。

5)GIS整体布置紧凑,相间距离560 mm,间隔宽度1 850 mm,间隔运输高度3 100 mm,整间隔模块化装配、试验、运输与安装,现场对接快速便捷。

综上所述,ZFW52-252(L)/T4000-50型GIS作为252 kV GIS设备的更新换代产品,其布置紧凑、品质可靠、结构简单、安装便捷。

参考文献:

- [1] 周小谦. 我国的能源结构与电力规划[J]. 高压电器, 2003, 39(2):33-39.
ZHOU Xiaqian. China's energy structure and electric power planning[J]. High Voltage Apparatus, 2003, 39(2):33-39.
- [2] 崔洪舰, 陈国顺, 刘涛. 一种新型小型化252 kV GIS设备的研制[J]. 高压电器, 2014, 50(2):105-108.
CUI Hongjian, CHEN Guoshun, LIU Tao. Development of a new type small-sized 252 kV GIS [J]. High Voltage Apparatus, 2014, 50(2):105-108.
- [3] 刘振亚. 特高压电网[M]. 北京: 中国经济出版社, 2005.
LIU Zhenya. Ultra-high voltage grid[M]. Beijing: China Economy Press, 2005.
- [4] 丁锐. GIS电站抗震计算及支撑设计[J]. 能源与节能, 2014(12):58-59.
DING Rui. GIS station aseismic calculation and support design[J]. Energy and Conservation, 2014(12):58-59.
- [5] 林莘. 现代高压电器技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2002.
LIN Xin. Modern high voltage electrical technology[M]. Beijing: China Machine Press, 2002.
- [6] 徐国政. 高压断路器原理和应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2000.
XU Guozheng. Principle and application of high voltage circuit breaker[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2000.
- [7] 艾华强. 高压电器GIS设计研究[D]. 苏州: 苏州大学 2015.
AI Huaqiang. High voltage electrical GIS design research[D]. Suzhou: Suzhou University, 2015.
- [8] 王亚鸽, 苏戈. 新型252 kV GIS隔离开关铸造壳体压力-应力试验研究[J]. 铸造技术, 2016(1):196-199.
WANG Yage, SU Ge. Test and study of casing hydrostatic pressure-stress relationship of new 252 kV GIS disconnector[J]. Foundry Technology, 2016(1):196-199.
- [9] 黎斌. SF₆高压电气设计[M]. 北京: 机械工业出版社, 2009.
LI Bin. Design of SF₆ high voltage apparatus[M]. Beijing: China Machine Press, 2009.
- [10] 卢鹏, 韩书谟, 赵文强, 等. 1 100 kV GIS关键技术研究[J]. 高压电器, 2010, 46(3):1-5.
LU Peng, HAN Shumo, ZHAO Wenqiang, et al. Key technology research of 1 100 kV GIS[J]. High Voltage Apparatus, 2010, 46(3):1-5.
- [11] 施围. 高电压工程基础[M]. 北京: 机械工业出版社, 2014.
SHI Wei. High voltage engineering foundation[M]. Beijing: China Machine Press, 2014.
- [12] 高压输变电设备的绝缘配合: GB 311.1—1997[S]. 1997.
Insulation co-ordination for high voltage transmission and distribution equipment: GB 311.1—1997[S]. 1997.
- [13] 高压交流断路器: GB/T 1984—2014[S]. 2014.
High-voltage alternating-current circuit-breakers: GB/T 1984—2014[S]. 2014.
- [14] 高压交流隔离开关和接地开关: GB/T 1985—2014[S]. 2014.
High-voltage alternating-current disconnectors and earthing switches: GB/T 1985—2014[S]. 2014.
- [15] 胡辉. 新型252 kV GIS产品设计理念及关键技术[J]. 电气技术, 2013(5):103-117.
HU Hui. Key technology and product design concept of the new 252 kV GIS[J]. Electrical Engineering, 2013(5):103-117.
- [16] 王亚鸽, 王春艳. GIS接地线径的设计原则探讨[J]. 科学与财富, 2015(11):199-200.
WANG Yage, WANG Chunyan. Study on the design principle of GIS grounding wire diameter[J]. Science and wealth, 2015(11):199-200.

- [17] 高压开关设备和控制设备标准的共用技术要求:GB/T 11022—2011[S]. 2011.

Common specifications for high-voltage switchgear and control gear standards:GB/T 11022—2011[S]. 2011.

王春艳(1983—),第一作者,男,工程师,主要从事GIS新产品研发及科技管理工作。

巫世晶(1963—),男,博士,教授,博士生导师,主要从事机械与动力方面的研究。

王亚鸽(1986—),男,工学硕士,工程师,主要从事GIS新产品研发工作(通讯作者)。

刘 分(1980—),女,工程师,主要从事GIS新产品研发工作。

李松磊(1983—),男,工程师,主要从事GIS新产品研发工作。

马志强(1990—),男,助理工程师,主要从事GIS新产品研发工作。

(上接第214页)

taic systems[J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2016,31 (3): 2120-2128.

- [12] SEYEDMAHMOUDIAN M, RAHMANI R, MEKHILEF S, et al. Simulation and hardware implementation of new maximum power point tracking technique for partially shaded PV system using hybrid DEPSO method[J]. IEEE Transactions on Sustainable Energy, 2015, 6(3):850-862.

- [13] SUNDARESWARAN K, SANKAR P, NAYAK P S, et al. Enhanced energy output from a PV system under partial shaded conditions through artificial bee colony[J]. IEEE Transactions on Sustainable Energy, 2015, 6(1):198-209.

- [14] LYDEN S, HAQUE M E. A simulated annealing global maximum power point tracking approach for PV modules under partial shading conditions[J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2016,31(6):4171-4181.

- [15] GHASEMI M A, FORUSHANI H M, PARNIANI M. Partial shading detection and smooth maximum power point tracking of PV arrays under PSC[J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2016,31(9):6281-6292.

- [16] 刘家赢,韩肖清.一种改进的变步长电导增量法在光伏MPPT中的应用[J]. 电气应用,2014,33(13):23-27.

LIU Jiaying, HAN Xiaoqing. Application of an improved

variable step size conductance increment method in photovoltaic MPPT[J]. Electrical Applications,2014,33(13):23-27.

- [17] 王冰清.光伏发电系统MPPT研究[D].北京:北方交通大学,2013.

WANG Bingqing. Research on photovoltaic power system MPPT[D]. Beijing: North Jiaotong University, 2013.

- [18] 陈 剑,赵争鸣,袁立强,等.光伏系统最大功率点跟踪技术的比较[J].清华大学学报(自然科学版),2010,50(5):700-704.

CHEN Jian, ZHAO Zhengming, YUAN Liqiang, et al. Comparison of maximum power point tracking technology for photovoltaic systems[J]. Journal of Tsinghua University(Science and Technology), 2010, 50(5):700-704.

- [19] 王建华,韩 伟.光伏阵列的仿真模型研究[J].信息技术,2011(6):122-126.

WANG Jianhua, HAN Wei. Research on simulation model of photovoltaic array[J]. Information Technology, 2011(6): 122-126.

王 露(1986—),女,本科,工程师,主要从事高电压试验以及EMC试验研究工作。