

紧凑型成套开关设备国内外发展水平

王海斌, 张文兵

(西安高压电器研究院有限责任公司, 西安 710077)

摘要: 笔者介绍了紧凑型成套开关设备的组成形态,论述了紧凑型成套开关设备的技术特点,通过对国内外紧凑型成套开关设备技术特点及参数的分析,重点论述了紧凑型成套开关设备的发展水平。总结了各个公司紧凑型成套开关设备的主要技术特点,在此基础上阐述了紧凑型成套开关设备的发展趋势。

关键词: 紧凑型;成套;开关设备

中图分类号: TM643

文献标志码: A

文章编号: 1001-1609(2012)06-0103-06

Overview on Development of Compact Switchgear Assemblies at Home and Abroad

WANG Hai-bin, ZHANG Wen-bing

(Xi'an High Voltage Apparatus Research Institute Co.,Ltd., Xi'an 710077, China)

Abstract: This paper introduced the conformation of compact switchgear assemblies and discussed the technical characteristics of compact switchgear assemblies. Through the analysis of technical characteristics and parameters of compact switchgear assemblies at home and abroad, this paper emphatically discussed the development level. Moreover, it summarized the main technical characteristics of compact switchgear assemblies of every company, on this basis explained the development trend of compact switchgear assemblies in the world.

Key words: compact; assemblies; switchgear

0 引言

紧凑型成套开关设备,在中国俗称高压复合电器,是近十年来推出的一种新型的具有组合特征的高压开关设备,它在成本上低于气体绝缘金属封闭式开关设备(GIS),由它构成的变电站在占地面积上大大小于由常规瓷柱式断路器及隔离开关等构成的敞开式变电站,在安装维护、电站基础建设、运行可靠性等综合性价比方面有其独特的优点,是介于常规敞开式高压开关设备和气体绝缘金属封闭式开关设备(GIS)之间的一种户外开关电器。

由于产品种类较多,各大公司命名不统一,使用户在选型和应用上没有对应的标准,近年来,国际电工委员会针对这种情况制定了新的标准 IEC 62271-205:2008《高压开关设备和控制设备 第 205 部分:额定电压 52 kV 以上的紧凑型成套开关设备》,标准中对该类产品的统一命名为“紧凑型成套开关设备”,定义为“至少有一台开关装置直接和一

台或多台其他装置连接、或者与其分享元件以使得各分立元件之间的功能相互作用”。紧凑型成套开关设备可以安装在一个或多个构架上,但是,只能作为一个单一的、完整的单元安装和运行。相互作用是指各个装置之间的应力(例如电气的、机械的和热的)传递^[1-2]。

紧凑型成套开关设备的核心技术是各元件的合理布置,新型设备中还采用电子式光电电流/电压互感器等智能组件与就地智能控保模块,最终达到成本、性能、安装维护、电站内布局尺寸、运行可靠性、环保等综合指标要求,优化了产品的性价比。该产品特别适用于敞开式变电站扩建、改建工程。高压复合电器的推广应用丰富了变电站的布局形式,促进了智能化变电站的发展^[3]。

1 紧凑型成套开关设备的各元件类型

紧凑型成套开关设备的形式是多种多样的,主要由断路器、隔离开关、电流互感器、电压互感器等有机地组合成一个模块单元,断路器可以是罐式,也

可以是瓷柱式;隔离开关有敞开的也有封闭的。其每个模块单元的各元件类型见表1。

表1 各元件类型

Tab. 1 The type of every component

主要元件	各元件类型
断路器	瓷柱式 SF ₆ 断路器、罐式 SF ₆ 断路器
隔离开关	普通型、三工位、多工位 PS/ES 组合元件、SF ₆ 气体绝缘隔离开关
电流/电压互感器	电子式、数字式光电
控制、保护、测量单元	传统式、数字化、智能化就地控制
连接电缆	电缆连接、光纤电缆
套管	瓷套管、复合绝缘套管

2 技术经济比较

紧凑型成套开关设备与 GIS、AIS 构成的变电站的技术经济比较见表2^[3]。

表2 各类变电站技术经济比较

Tab. 2 Technical and economic comparison of various types of substation

项目	GIS变电站	紧凑型成套开关设备变电站	AIS变电站
占地面积	最小	较小	最大
维护工作量	最小	较小	最大
土建基础工作量	最大	最小	较小
对地质的要求	很高	较小	较高
可靠性	较高	较高	不高
施工难度	最大	最小	较大
施工时间	最长	较短	较长
检修难度	最大	最小	较大
投资成本	最大	较小	最小
运行成本	较小	较小	较大
改扩建敞开式变电站的适用性	不适合	最好	一般

3 组成形态

3.1 ZCW 的组成形态

如图1所示,将自能式 SF₆ 断路器安装在可移动的导轨上,断路器在导轨上的移动是由一个隔离开关操作机构完成,具有隔离开关功能,可使断路器维持在退出或维护状态,该功能是由装在导轨上的断路器脱离固定触头来实现。

3.2 ZHW 的组成形态

如图2所示,以 SF₆ 罐式断路器为基础,并集成多工位组合式隔离/接地开关,处于同一个 SF₆ 气室中,无外露触头,提高了运行可靠性;多工位隔离/接地开关可装在一端或两端;所有模块均在工厂完成安装调试,然后整体运输,到达现场后安装快捷简便。



图1 ZCW 的组成形态

Fig. 1 The conformation of ZCW

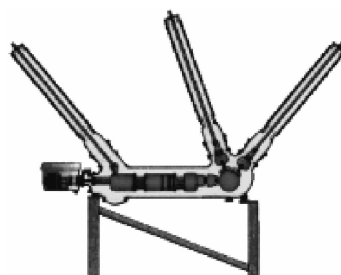


图2 ZHW 的组成形态

Fig. 2 The conformation of ZHW

3.3 其他组成形态

ABB 公司近年来研发了 Combined disconnecting SF₆ circuit-breakers, 见图3, 其集断路器、隔离开关、接地开关于一体,通过断路器的触头系统来实现隔离功能,安装快捷、简便,节省用地,节约成本。

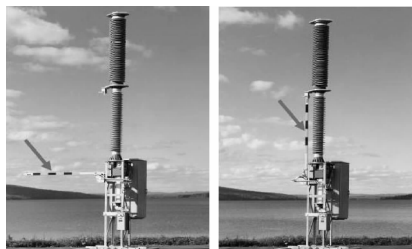


图3 ABB 公司的 DCB

Fig. 3 DCB of ABB

4 国内外发展水平

4.1 国外紧凑型成套开关设备

4.1.1 ABB 公司

ABB 公司是从事复合电器研究最早的企业之一。该公司深入地研究了变电站接线方式、布置方式、电网控制和保护策略、产品品质及生命周期、变电站投资与运行成本等领域的技术发展和融合,并在此基础上,不断引领变电站新的构架和运行方式。基于以上研究和市场推广,不仅推出了基于敞

开式断路器的 Compass、Compact 产品, 还推出了基于罐式断路器的 PASS 系列产品。近年来, 又陆续推出了隔离断路器的产品概念, 在某种程度上讲, 是对变电站布置和运行方式的革新。它所生产的高压复合电器不仅品种多而且水平比较高, 在中国市场上具有较为广泛的应用^[4-10]。其主要产品品种和技术参数见表 3-5。

1) PASS 系列

表 3 PASS 类型及技术参数

Tab. 3 Types and technical parameters of PASS

参数	PASS	M0	PASS	M1	PSSS M2
额定电压/kV	145	170	300		550
额定电流/A	2 500	2 500	3 150		4 000
额定短路开断电流/kA	40	31.5	50	40	63
额定频率/Hz	50/60	50/60	50	60	50/60

2) 敞开式复合电器系列

表 4 敞开式复合电器类型及技术参数

Tab. 4 Types and technical parameters of ZCW

参数	Compass	Compact
额定电压/kV	145	145 362 420 550
额定电流/A	2 500	3 150 4 000
额定短路开断电流/kA	40	40 63

3) 隔离断路器

表 5 隔离断路器类型及技术参数

Tab. 5 Types and technical parameters of DCB

参数	LTB Combined	LTB Combined	HPL Combined	HPL Combined
	72.5	145	170~300	362~420
额定电压/kV	72.5	145	170~300	362~420
额定电流/A	3 150	3 150	3 150	4 000
额定短路开断电流/kA	31.5	40	40	50

4.1.2 西门子公司

西门子公司紧凑型成套开关设备产品分为 HIS 系列和 DTC 系列两种, 具体参数见表 6^[9-11]。

表 6 西门子公司紧凑型成套开关设备类型及参数

Tab. 6 Types and technical parameters of compact switchgear assemblies of Siemens

参数	HIS	3AP1DTC
额定电压/kV	145	550 145
额定电流/A	3 150	5 000 3 150
额定短路开断电流/kA	40	63 40

4.1.3 法国阿海珐(AREVA)公司

AREVA(原 ALSTOM)公司开发紧凑型成套开关

设备起步也较早。早期的产品主要是基于敞开式断路器和隔离开关组合的 AIM 系列以及基于 GIS 产品的 GIM 系列。目前这些产品已经不作为 AREVA 公司的主流产品, 重新规划后的紧凑型成套开关设备产品主要包括基于罐式断路器的 CAIS 型和 HYpact(Hybrid Integrated Compact)型, 具体参数见表 7^[12-13]。

表 7 AREVA 公司紧凑型成套开关设备类型及参数

Tab. 7 Types and technical parameters of compact switchgear assemblies of AREVA

参数	CAIS	HYpact
额定电压/kV	72.5、123、145、170	123、145
额定电流/A	2 500	2 500
额定短路开断电流/kA	40	40

4.2 国内紧凑型成套开关设备

4.2.1 西安西电开关电气有限公司

1)ZHW-550SF₆ 复合电器。该产品继承了 ZF8-550GIS 的技术优势, 具有高可靠性、实用性强等特点。由于采用 550 kV GIS 标准化结构模块形式, 结构紧凑, 现场安装工作量小, 周期短, 安装费用低; ZHW-550 变电站的价格是 GIS 产品的 80%左右, 占地面积为 AIS 变电站的 45%左右。其主要技术参数为: 额定电压 550 kV, 额定电流 4 000 A, 额定短路开断电流 63 kA^[14]。

2)ZHW-252 型复合式组合电器。该产品具有如下特点: 布置灵活、紧凑, 可满足各种接线形式; 采用三工位隔离接地开关, 实现隔离开关与接地开关的机械联锁, 结构简单, 可靠性高; 间隔宽度小于 2.5 m, 适合整体运输; 解体面少, 运输安装方便、快捷; 就地控制柜与本体高度融合, 间隔的二次配线在厂内完成, 现场工作量少; 产品布置方式易于维护, 且方便扩建。其主要技术参数为: 额定电压 252 kV, 额定电流 4 000 A, 额定短路开断电流 50 kA^[14]。

4.2.2 西安西电高压开关有限责任公司

1)ZHW□-252/Y4000-50 复合式组合电器。该产品具有如下特点: 断路器采用成熟产品 LW23-252 改进而成, 具有单压式灭弧室, 利用自吹式技术原理进行工作; 隔离开关和接地开关采用 ZF9-252 上的隔离开关和接地开关, 具有稳定性好, 结构简单等优点; 隔离开关/接地开关采用具有国际一流水平的 CJ17 双轴输出轴电动机操动机构; 为了保证更好的安全性, 设计了敞开式检修接地开关, 具有可见断口, 符合用户使用习惯; 使用硅橡胶套管, 具有重量轻、抗裂抗暴、防污、免维护等特点。其主要技术参数为: 额定电压 252 kV, 额定电流 4 000 A, 额

定短路开断电流 50 kA。

2)ZHW4-126(L)/T3150-40 复合式组合电器。该产品具有如下特点:断路器采用成熟产品 LW24-126 改进而成,具有单压式灭弧室,利用自吹式技术原理进行工作;采用三相联动的组合式隔离开关/接地开关,以动触头的旋转运动为基础,开关可以合上母线、接地或停留在隔离位置上,简化了机械结构和电气控制回路,使设备具有更高的可靠性;隔离开关/接地开关采用先进的 CJ16 三工位电动机操动机构;为了保证更好的安全性,设计了敞开式检修接地开关,具有可见断口,符合用户使用习惯;使用硅橡胶套管,具有重量轻、抗裂抗暴、防污、免维护等特点。其主要技术参数为:额定电压 126 kV,额定电流 3 150 A,额定短路开断电流 40 kA。

4.2.3 河南平高电气股份有限公司

1)ZHW1-252 型复合式组合电器。该产品具有如下特点:断路器灭弧室采用 SF₆ 压气式变开距结构;液压操动机构的弹簧储能代替氮气储能,避免了环境温度的影响;多工位组合式隔离/接地开关,其动触头为旋转运动方式,可实现隔离开关和接地开关的机械连锁;组合电器组合光电电流电压互感器、复合绝缘套管、插接式复合光纤电缆、就地保护测控柜等当今世界上相关领域内的新技术,符合国际上的发展方向;将每一相的各种高压电器设备组合在一起,密封在 SF₆ 气体绝缘的壳体内,可靠性高;同时比常规敞开式大量减少了对地绝缘支柱,减少了设备对地闪络的几率,大大提高了设备运行的可靠性;组合电器本体内部元件小型化、组化,布置紧凑,大大压缩了高压配电装置的纵向尺寸,节省占地;模块化设计,大大减少了变电所设计、施工安装、运行维护及检修的工作量。其主要技术参数为:额定电压 252 kV,额定电流 3 150 A,额定短路开断电流 50 kA^[15-16]。

2)ZCW-126 户外敞开式组合电器。该产品具有如下特点:断路器间隔和测保间隔每个间隔均由固定和移动两大部分组成,断路器间的固定部分装有隔离插头;采用自能式配弹簧机构 SF₆ 断路器;断路器和测保间隔均为移动小车式,布置整齐;二次接线为插接式,到主控室接线均从控制柜引出,现场接线快速、方便,也可配智能控制柜。其主要技术参数为:额定电压 126 kV,额定电流 2 000 A,额定短路开断电流 40 kA^[16]。

4.2.4 新东北电气(沈阳)高压开关有限公司

1)ZHW-550 型复合式组合电器。该产品具有与 GIS 相同的可靠性;采用与 550 kV GIS 相同的标准模

块结构;现场安装工作量大、安装工期短;占地面积比 AIS 节省约 40%。其主要技术参数为:额定电压 550 kV,额定电流 4 000 A,额定短路开断电流 63 kA^[17]。

2)ZHW-252 型复合式组合电器。该产品具有与 GIS 相同的可靠性;采用与 252 kV GIS 相同的标准模块结构;现场安装工作量大、安装工期短;占地面积比 AIS 节省约 40%。其主要技术参数为:额定电压 252 kV,额定电流 4 000 A,额定短路开断电流 50 kA^[17]。

4.2.5 西安高压电器研究院与云南云开电气股份有限公司

ZHW6-126(L)(G)/T2000-40 复合式组合电器:该产品具有如下特点:选用铝合金外壳和复合套管,实现了轻量化;采用优化组合技术,使产品具有创新的紧凑型布置,外形整齐美观;可实现整体运输,到达安装现场后不需进行气体处理;安装快捷简单,不需极柱吊装;全新的直动式三工位隔离—接地开关,配用 1 台三工位操作机构,可靠性高,且 DS 具有开合母线转换电流能力;复合化程度高,PT、AR 等均有安装接口;采用新型灭弧技术的断路器,具有优越的开断性能;少维护、免维护;DS 和 ES 封闭于金属壳体内,不受外界运行环境的影响^[18-19]。其主要技术参数为:额定电压 126 kV,额定电流 2 000 A,额定短路开断电流 40 kA。

4.2.6 北京北开电气股份有限公司

ZCW-126 户外敞开式组合电器:该产品具有如下特点:由典型的断路器间隔和测保间隔组成,将断路器和电流互感器装在同一手车上,在断路器上出线 and 电流互感器上分别装上隔离插头,手车运动即实现隔离开关的插入和拉出,将电压互感器和避雷器装在同一手车上;采用自能式配弹簧机构 SF₆ 断路器;电流式互感器根据用户需求可选传统的或 SF₆ 的电压互感器,避雷器可选瓷套式的也可选环氧树脂瓷套;与 AIS 站比节省占地 60%。其主要技术参数为:额定电压 126 kV,额定电流 3 150 A,额定短路开断电流 40 kA。

4.2.7 中电新源智能电网科技有限公司

1)高压组合电器 HGIS。该产品具有如下特点:采用新型全六氟化硫密封的隔离/接地开关,从根本上避免了大气条件对触头的影响;配置电子式电流互感器、电子式电压互感器、智能汇控柜,具有智能高压开关设备的高新技术特点;组合灵活、运行可靠性高,检修维护工作量大(25 年基本免维护);安装快捷、简单,适合发电厂、变电站的新建、扩建或改造工程。其主要技术参数为:额定电压 40.5/72.5/145/252 kV,额定电流 2 000/2 000/2 500/3 150 A,

额定短路开断电流:31.5/31.5/40/50 kA^[20]。

2)HGIS-126/1600-31.5 真空型户外气体绝缘金属封闭式组合电器。该产品具有如下特点:断路器使用双断口真空灭弧室,使用氮气和六氟化硫作为组合绝缘,分相开断功能,三相断路器分别有各自的操作机构,通过本身智能控制系统实现分相过零点断开操作,提高开断次数;采用罐式断路器结构布置,便于整体运输与安装;采用三工位隔离开关,隔离开关机构采用全密封旋转方式;配置独立的电磁式电流互感器;可配置电子式电流互感器和电子式电压互感器及合并单元,控制柜配置数字化智能终端、状态监测系统等设备,满足智能变电站设计规范要求。其主要技术参数为:额定电压 126 kV,额定电流 2 000 A,额定短路开断电流 31.5 kA^[20]。

4.2.8 山东泰开中压开关有限公司

ZCW10-40.5 (G)/T1600-31.5 敞开式组合电器。该产品具有如下特点:结构紧凑:将断路器、隔离开关、接地开关、电流互感器、电压互感器、避雷器、母线等元件有机的组合在接地钢架结构支架上,组成功能不同的间隔单元;占地面积小,工程整体造价低;安装周期短:每个间隔由工厂预制,在出厂前完成装配及调试,整体运输到安装现场;可靠性高,维护费用低:断路器部分采用自能式灭弧室,隔离开关采用复合绝缘支柱,测保间隔上采用电压互感器、复合绝缘氧化锌避雷器基本无需维护;布置灵活,运输拆装方便,易于扩展。其主要技术参数为:额定电压 40.5 kV,额定电流 1 600 A,额定短路开断电流 31.5 kA^[21]。

5 发展趋势

紧凑型成套开关设备是介于常规敞开式高压开关设备和气体绝缘金属封闭式开关设备 (GIS)之间的一种户外开关电器。其技术特征是在两者之间找到最佳的性价比,在变电站的不同构成方式上达到用户利益的最大化。在未来几年的发展趋势如下:

5.1 开发智能化的复合电器产品

随着中国开始广泛深入地进行智能化电网的建设,复合电器将逐渐过渡到智能化开关设备。具体包括电子式电流、电压传感器的广泛应用;局放、机械特性、微水、气体状态等智能化在线监测组件的应用;间隔层和过程层的通信技术应用等等。

5.2 向特高压等级的应用

随着中国 750、1 000 kV 特高压输电线路的应用,为复合电器向特高压领域应用提供了平台。复合电器特别适用于国内常用的一倍半接线,可大大

节省变电站成本。国内已有企业开始 800 kV 复合电器的研制工作。

5.3 向大容量、高参数产品发展,适用于更广阔的市场需求

在中国,复合电器不仅用于末端电站,而且越来越多地开始在枢纽电站、铁道牵引变电站中应用,这是市场需求的一个新特点。这样要求复合电器在额定电流和短路开断电流等参数上要做的更大,才能满足市场的需求。

5.4 精巧设计满足更高的产品复合化

复合电器在中国已基本完成了从无到有的过程,目前产品在一次技术的研发重点就是通过精心设计,在满足可靠性、操作性和经济性的前提下,达到更高的复合化,从而实现产品的小型化,节约成本。

5.5 在较低电压等级实现环保气体或固体复合绝缘技术的应用

在 40.5~126 kV 等级,逐步研究使用环保性能高的气体或固体复合绝缘技术解决产品的绝缘要求,同时采用真空灭弧室技术解决开断要求,从而达到整机不使用 SF₆ 气体,提升产品的环保性能^[9]。

6 结语

经过对以上产品的分析,可以看出高压紧凑型成套开关设备由于在技术及成本上独特性,对敞开式变电站的改扩建或升级有着广阔的市场空间,是建设户内外变电站的又一很好选择,是对敞开式变电站和 GIS 变电站设备的重要补充。

声明:文中引用产品以及技术参数版权分别归所属公司所有。

参考文献:

- [1] IEC 62271-205:2008.High-voltage switchgear and controlgear-Part 205:Compact switchgear assemblies for rated voltages above 52 kV[S].
- [2] GB XXXXX-XXXX.额定电压 72.5 kV 及以上紧凑型成套开关设备[S].
GB XXXXX-XXXX.Compact switchgear assemblies for rated voltages above 72.5 kV[S].
- [3] 张文兵,王海斌.紧凑型成套开关设备.高压开关设备国内外产品水平(第五版)[M].西安:西安高压电器研究院有限责任公司,2011.
ZHANG Wen-bing,WANG Hai-bin. Compact switchgear assemblies. high voltage switchgear development worldwild (The fifth edition)[M]. Xi'an:Xi'an High Voltage Apparatus Research Institute Co.,Ltd.,2011.
- [4] 陈芳,包红旗.变电站设计中的新概念[J].高压开关行业通讯,2004(10):41-44.

- CHEN Fang, BAO Hong-qi. The new conception in transformer substation design[J]. High Voltage Switchgear Review, 2004(10): 41-44.
- [5] CAMERONI R, CALAMARI L, PACCHIONI A. PASS-ABB 的混合型气体绝缘变电站解决方案[J]. 高压开关, 2009(5): 61-63.
- CAMERONI R, CALAMARI L, PACCHIONI A. The solution of transformer substation with PASS-ABB[J]. High Voltage Switchgear, 2009(5): 61-63.
- [6] ABB 中国官方网站. Compass, Compact, Pass, DCB 系列产品[EB/OL]. Compass, <http://www.abb.com.cn>, 2011-09-16.
- [7] 黎 斌. SF₆ 高压电器设计[M]. 北京: 机械工业出版社, 2003.
- LI Bin. The design of SF₆ high voltage apparatus[M]. Beijing: China Machine Press, 2003.
- [8] 卢 静. ABB 公司 PASS 组合开关智能化特点及其应用[EB/OL]. <http://www.doc88.com/p-30490876029.html>, 2011-09-16.
- LU Jing. The intelligent features and application of ABB PASS combination switchgear [EB/OL]. <http://www.doc88.com/p-30490876029.html>, 2011-09-16.
- [9] 张鸿燕. 西门子 HIS 型与 ABB 瑞士工厂 PASS 型两种组合电器在电网中的应用[J]. 中国新技术新产品精选, 2009(21): 154-155.
- ZHANG Hong-Yan. The application in power network of siemens HIS and ABB PASS in Swiss factory[J]. Chinese Selected New Technologies and Products, 2009(21): 154-155.
- [10] 孙 岗, 顾霓鸿, 袁大陆. 新型高压插接式开关系统[J]. 电力设备, 2000(3): 41-44.
- SUN Gang, GU Ni-hong, YUAN Da-lu. New high voltage plug and switch system[J]. Electrical Equipment, 2000(3): 41-44.
- [11] 西门子中国官方网站. HIS, DTC 系列产品[EB/OL]. <http://www.siemens.com.cn>, 2011-09-16.
- [12] 阿海砧公司官方网站. CAIS, HYpact 型产品[EB/OL]. www.aveva.com, 2011-09-16.
- [13] Hauser J U. 综合型 Hypact 户外紧凑型开关装置(模块)[J]. 华东电力, 2007(C00): 77-80.
- HAUSER J U. HYpact integrated compact hybrid module for outdoor installation[J]. East China Electric Power, 2007(C00): 77-80.
- [14] 西安西电开关电气有限公司网站. 复合式组合电器[EB/OL]. <http://www.gykg.com>, 2011-09-16.
- [15] 赵兴乐. 平高 ZHW□-252/3150-50 型复合式组合电器通过样机鉴定[J]. 高压开关行业通讯, 2005(5): 12.
- ZHAO Xing-Le. ZHW □-252/3150-50 hybrid combined apparatus through prototype identification[J]. High Voltage Switchgear Review, 2005(5): 12.
- [16] 中电装备平高集团有限公司网站. ZHW1-252, ZCW-126 产品[EB/OL]. <http://www.pinggaogroup.com>, 2011-09-16.
- [17] 新东北电气(沈阳)高压开关有限公司网站. ZHW-550, ZHW-252 产品[EB/OL]. <http://www.xdbdq.ch000.com>, 2011-09-16.
- [18] 张文兵, 王海斌. 一种气体绝缘复合电器[P]. 中国专利: ZL 2007 20032682.X, 2008-09-10.
- ZHANG Wen-bing, WANG Hai-bin. A gas insulated combined apparatus[P]. China Patent: ZL 200720032682.X, 2008-09-10.
- [19] 王海斌, 严 旭. 一种新型 126 kV 紧凑型成套开关设备[J]. 高压开关, 2011(4): 66-67.
- WANG Hai-bin, YAN Xu. A new 126 kV compact switchgear assemblies[J]. High Voltage Switchgear, 2011(4): 66-67.
- [20] 中电新源智能电网科技有限公司网站. HGIS 型产品[EB/OL]. <http://www.cphv.com.cn>, 2011-09-16.
- [21] 山东泰开中压开关有限公司网站. ZCW10-40.5(G)/T1600-31.5 敞开式组合电器[EB/OL]. <http://www.tkzykg.com>, 2011-09-16.
- 王海斌(1977—), 男, 大学本科, 现从事高压断路器的设计。

(上接第 102 页)

- [20] 王世山, 李彦明, 佟 威, 等. SF₆ 电流互感器电场计算及其结构优化[J]. 电磁避雷器, 2003(4): 22-27.
- WANG Shi-shan, LI Yan-ming, TONG Wei, et al. Electric stress calculation and design optimization of SF₆ current transformer[J]. Insulators and Surge Arresters, 2003(4): 22-27.
- [21] 刘玉凤, 罗青林. SF₆ 气体绝缘电流互感器电容锥设计及外绝缘电场计算[J]. 变压器, 2000, 37(10): 1-4.
- LIU Yu-feng, LUO Qing-lin. Cone capacitor design and external insulation electric field calculation of SF₆ gas insulation current transformer[J]. Transformer, 2000, 37(10): 1-4.
- [22] 张俊锋. 500 kV SF₆ 电流互感器事故分析及预防损坏措施[J]. 福建电力与电工, 2005, 25(3): 8-10.
- ZHANG Jun-feng. Accident analysis and prevention measures of 500 kV SF₆ current transformer[J]. Fujian Power and Electrical, 2005, 25(3): 8-10.
- [23] 吴锦华. 电流互感器绝缘总体状态现场测试新方法的研究[J]. 变压器, 2006, 43(8): 32-36.
- WU Jin-hua. Research on new measurement method of total insulation situation of current transformer[J]. Transformer, 2006, 43(8): 32-36.
- 周海滨(1981—), 男, 硕士, 从事高压电气设备的检修试验工作。