

研究分析

特高压63 kA大容量GIS设备的研制

张 猛, 李心一, 穆双录

(西安西电开关电气有限公司, 西安 710077)

摘要: 分析了国内外1 100 kV气体绝缘金属封闭开关设备(GIS)的制造水平,详细介绍了西开电气公司1 100 kV, 6 300 A/63 kA GIS的设计、结构特点及型式试验情况。该断路器具有在直流分量衰减时间常数120 ms的条件下开断短路电流63 kA的能力,额定电流达到6 300 A;隔离开关有不带投切电阻和带投切电阻两种结构,母线接头采用球形转换结构,满足不同的连接要求;电流互感器采用外置式整体浇注结构;整体采用低位布置,抗震性能好。该产品在国家电网专家组的见证下,在国家高压电器质量监督检验中心按照IEC 62271-100—2006、IEC 62271-203—2003、IEC 62271-1—2007、IEC 62271-102—2002等标准完成了全部型式试验项目,并通过了国家能源局组织的产品鉴定。鉴定委员会认为该产品具有自主知识产权,达到国际领先水平。

关键词: 特高压; 气体绝缘金属封闭开关设备; 结构特点; 型式试验

中图分类号: TM564

文献标志码: A

文章编号: 1001-1609(2011)04-0001-06

Research and Development of UHV 63 kA GIS with High-power

ZHANG Meng, LI Xin-yi, MU Shuang-lu

(Xi'an XD Switchgear Electric Co., Ltd., Xi'an 710077, China)

Abstract: This paper analyzed the manufacturing level of 1 100 kV SF₆ gas insulated metal enclosed switchgear (GIS) of both domestics and abroad, and specifically introduced the design, constructions characteristics and type test of 1 100 kV, 6 300 A/63 kA GIS manufactured by Xi'an XD Switchgear Electric Co., Ltd.. The capacity of CB with breaking short-current 63 kA under the conditions of declining time constant 120 ms of DC component, rated current reaches 6 300 A. The DS with two constructions: one with damping resistor and the other without damping resistor, the busbar joint adopts spherical transferring constructions, which can fulfill different connection requirement. The current transformer adopts the external type with integral casting constructions, and the integral product adopts the lower layout with good seismic performance. This UHV switchgear completed all item of type test which is carried in National Quality Supervision and Inspection for high voltage apparatus according to IEC 62271-100—2006、IEC 62271-203—2003、IEC 62271-1—2007、IEC 62271-102—2002 etc under the witness of national grid expert, and it has passed the product identification of National Energy Bureau. The appraisal committee considers that the product has independent intellectual property rights, and reaches the international advanced level.

Key words: UHV SF₆ gas insulated metal enclosed switchgear (GIS); constructions characteristics; type test

0 引言

能源问题是关系经济社会发展全局的重大战略问题。针对中国幅员辽阔、能源分布不均衡、经济发展不均衡、能源需求持续增长的现状,国家发改委、国家电网公司确立了中国电力发展的整体规划,即通过建设坚强的特高压电网,优化中国能源

布局,保障能源战略安全。

作为上述战略的具体实施,2007—2008年,中国首条特高压线路晋东南—南阳—荆门 1 000 kV 特高压交流试验示范工程顺利建设完成,投入商业运行。该工程的成功建设,为中国后续特高压建设工作积累了宝贵的经验,打下了坚实的基础。

然而,随着特高压电网系统规模的扩大,试验示范工程中额定电流 4 000 A, 额定短路开断电流

50 kA 的开关设备已经不能满足后续特高压工程项目的需求。为了满足中国后续特高压工程项目对大容量开关设备的需求,保障后续特高压工程的建设,促进和实现中国重大装备关键技术及装备的国产化,西安西电开关电气有限公司(西开电气)从 2009 年初开始进行额定电流 6 300 A,额定短路开断电流 63 kA 的特高压开关设备的研制。

经过近两年的努力,2010 年 9 月,西开电气研制的世界首台(套)特高压 1 100 kV,6 300 A/63 kA 气体绝缘金属封闭开关设备在国家高压电器质量监督检验中心顺利通过全套型式试验,宣告了中国在特高压大容量开关设备制造领域取得了重大突破,为后续特高压建设奠定了良好的基础。

1 1 100 kV GIS 技术水平现状

除中国以外,至今尚无商业运行状态的百万伏级输电线路。20 世纪一些国家曾经试验或运行过,如前苏联于 20 世纪 80 年代中期建成了世界首条 1

150 kV 输电线路并投入运行,后因多种原因降压为 500 kV 运行;意大利于 1988 年建成了 1 000 kV 试验线路及户外试验场进行试验;日本于 1996 年建成 1 000 kV 试验线路及试验场,但该试验线路已降至 500 kV 电压运行^[1]。2007—2008 年,中国的晋东南—南阳—荆门 1 000 kV 特高压交流试验示范工程得以顺利实施,主参数为 4 000 A/50 kA,2009 年初投入商业运行。在试验示范工程中,西开电气与 ABB 公司、平高电气与东芝公司、新东北电气与日立公司合作分别提供了 1 100 kV GIS 产品。

为了满足国网公司后续特高压工程 6 300 A/63 kA 开关设备的市场需求,国内主要制造商均对该参数特高压开关设备进行了研发,西开电气于 2010 年 9 月完成 6 300 A/63 kA 特高压开关设备的研制,使西开成为目前国际上唯一掌握该技术的开关设备制造商。国内外主要制造商 1 100 kV GIS 主要技术性能对比见表 1^[2-3]。

表1 国内外公司1 100 kV GIS主要技术性能对比

Tab.1 The comparison of main technical performance of 1 100 kV GIS between domestic and abroad company

参数性能	国内			国外		
	西开	平开	新东北	ABB	东芝	日立
额定电压/kV	1 100	1 100	1 100	1 100	1 100	1 100
额定电流/A	6 300	6 300	8 000	4 000	5 000	5 000
额定短时耐受电流/kA	63	50	50	50	50	50
额定峰值耐受电流/kA	171	135	135	135	135	135
额定短路开断电流/kA	63	50	50	50	50	50
断路器每极断口数	4	2	2	4	2	2
断路器是否带合闸电阻	是	是	是	是	是	是
断路器操动机构	液压弹簧	液压	液压	液压弹簧	液压	液压
SF ₆ 气体额定压力/MPa(CB/其他)	0.58/0.36	0.6/0.5	0.6/0.5	0.58/0.36	0.6/0.5	0.6/0.5

2 1 100 kV, 6 300 A/63 kA GIS 的研制

为了满足中国特高压电网建设对 1 100 kV 大容量 GIS 设备的需求,西开电气于 2009 年正式启动了 1 100 kV GIS 的研发工作。西开电气基于长期从事气体绝缘金属封闭开关设备设计制造积累的丰富经验,在特高压试验示范工程原有 4 000 A/50 kA 设备基础上研发了 1 100 kV,6 300 A/63 kA 大容量开关设备。

1 100 kV,6 300 A/63 kA 大容量开关设备 GIS 采用整体分相式结构,由断路器、电流互感器、隔离开关、接地开关、快速接地开关、充气套管、母线、电压互感器、避雷器等元件组成^[4]。

2.1 断路器

1 100 kV 断路器整体采用水平布置,中心高度

1.3 m,便于操作、维护、检修。灭弧室采用 4 断口串联结构,水平布置,每断口间带有并联电容器。合闸电阻与灭弧室并联分列,处于一个单独的气室,并带有一个单独的合闸电阻开关。合闸电阻开关是一个合分开关,采用了合后即分的设计原理。每相断路器配用一台 HMB-16 型液压操动机构,机构与灭弧室采用直连结构,通过传动机构驱动合闸电阻开关。结构见图 1。

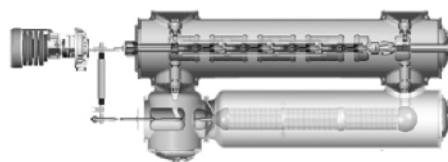


图1 断路器结构

Fig.1 The CB constructions

2.1.1 灭弧室

断路器灭弧室是在原有 4 000 A/50 kA 技术基础上进行研发的, 为了满足额定电流 6 300 A 的要求。通过反复优化导电结构, 结合试验验证, 使灭弧室额定电流达到了 6 300 A, 额定电流增容主要采取了以下措施^[5]:

1) 对通流 4 000 A 产品的温升试验数据进行分析, 计算分析出通流 $1.1 \times 6\,300\text{ A}$ 可能会超标的部位, 优化这些部位的导电结构;

2) 触头连接部位通过增加触指片数量, 导体采用高导电率的材料减少发热;

3) 改善散热情况, 如将静侧触指支撑分拆为两个零件, 其中与静触头接触部分的材料由铸铝改为铜材, 以改善导热、散热条件, 降低设备温升。

为了满足 63 kA 短路的开断要求, 采用了 Ace、

ANSYS、HT206 等分析计算软件, 对灭弧室进行了精细计算, 优化了灭弧室的电场、气流场和温度场, 提高灭弧室的开断能力, 使断路器具备了 63 kA 的短路开断能力。

2.1.2 合闸电阻开关

断路器合闸时, 通过辊子凸轮、传动机构驱动合闸电阻开关, 并通过传动机构为合闸电阻开关绝缘拉杆加速, 绝缘拉杆带动动触头作直线运动, 进行合闸。电阻开关静侧的电阻触头系统设有阻尼弹簧, 该弹簧作为合闸时的缓冲元件, 在合闸时是被压缩的。分闸时, 储能后的阻尼弹簧为动触头系统提供动力。断路器合闸过程中, 电阻开关进行的是合后即分的合分操作。断路器分闸过程中, 电阻开关不动作。电阻开关结构及电阻断口与主断口的运动见图 2。

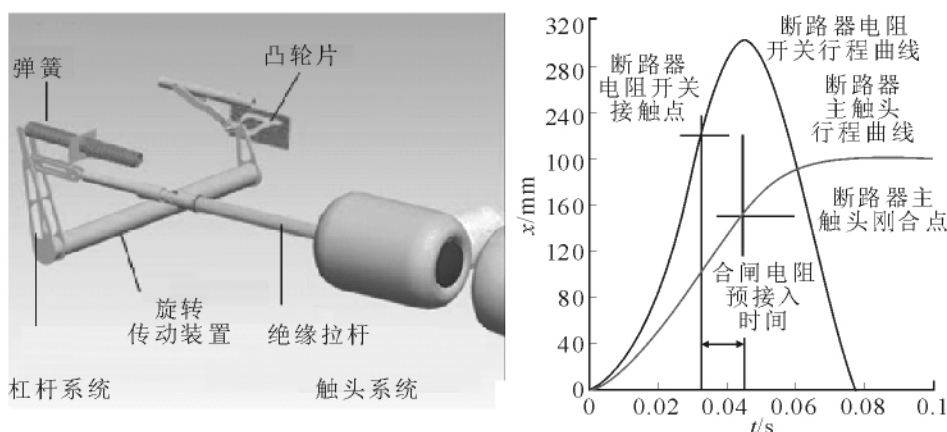


图 2 电阻开关结构及运动特点

Fig.2 The constructions and movement characteristics of resistor switchgear

2.1.3 电阻堆设计

电阻堆安装在独立的电阻壳体内, 每 1 个电阻堆由 3 节电阻串联组成, 每节电阻由 5 个电阻串组成。3 节电阻用 1 个中央支撑绝缘管支撑, 以承载重量。电阻堆与盆式绝缘子连接, 另一端用 1 个垂直支撑绝缘子来支撑整个电阻堆。电阻堆结构见图 3。

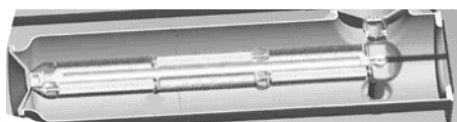


图 3 电阻堆结构

Fig.3 The resistor constructions

2.2 隔离开关

隔离开关分为带投切电阻和不带投切电阻两种, 不带电阻隔离开关为直角型隔离开关, 配用电动机机构, 不带电阻隔离开关外形图见图 4。带投切电阻隔离开关, 采用立式布置, 配用电动弹簧操动机构, 设有 $500\ \Omega$ VFT 电阻, 带电阻隔离开关外形

图见图 5。两种结构的隔离开关均采用单相操作, 三相间无传动装置, 可根据需要设置观察窗, 方便观察断口状态。可与接地开关组合, 也可单独使用。壳体采用焊接结构。

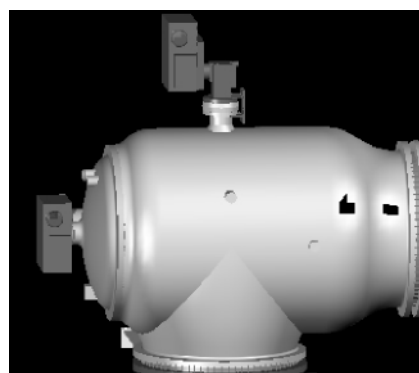


图 4 不带电阻隔离开关

Fig.4 DS without resistor

两种隔离开关均具有开、合容性电流(有效值) 2 A, 感性电流(有效值) 1 A 及合母线转移 1 600 A, 转换电压 400 V 的能力。



图 5 带投切电阻隔离开关

Fig.5 DS with damping resistor

2.3 接地开关、快速接地开关

接地开关、快速接地开关设计理念先进,零部件数量少,通用性强,生产组织极为方便。

接地开关配用电动机构,快速接地开关配用电动弹簧操动机构,可以与隔离开关配合使用,也可以与母线接头配合使用。快速接地开关具有关合短路电流,以及开合静电感应电流、电磁感应电流的能力。采用铸铝壳体,结构简单,性能可靠。快速接地开关具有开合电磁感应电流 360 A,电磁感应电压 30 kV、静电感应电流 50 A,静电感应电压 180 kV。额定短路关合能力 171 kA,2 次。

2.4 电流互感器

电流互感器采用电磁式原理,外置式结构,采用 SF₆ 气体绝缘,安装在断路器两侧。互感器线圈采用环氧树脂半浇结构,整体结构紧凑,可靠性高。电流互感器线圈技术参数根据订货要求确定。

2.5 母线和母线接头

母线壳体两端的铸件法兰与中间的林德焊管或铝板卷制管焊接而成,壳体两端各带 1 个盆式绝缘子,中间为带电导体。母线接头有“T”型联接和“L”型联接以及直线型联接等多种形式,可以适应于不同的连接要求和盆子朝向、可以带或不带接地开关,零部件种类很少,结构简单,布置灵活。母线接头的内装导电件也用于断路器、合闸电阻、隔离开关等其他元件中,整个产品零件的通用性高。为了消除母线热胀冷缩产生的应力,设计有专用的横向补偿伸缩节。母线接头及补偿伸缩节结构见图 6。

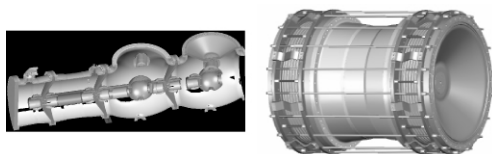


图 6 母线和母线接头结构及伸缩节结构

Fig.6 The constructions of busbar and busbar joint and constructions of expansion joint

2.6 进出线套管

套管可选用瓷套管或复合套管,复合充气套管的导体、内外屏蔽、过渡触头连接等完全自主设计制造^[6]。套管结构见图 7。



图 7 套管结构

Fig.7 The bushing constructions

过渡触头选择铬铜材料的自力型触头,过渡触头和导向支撑配合,形成对导体的导向和支撑,保证导体在安装和运行中可靠接触。过渡触头具有足够的抱紧力,可以保证通过很大的额定电流和瞬态电流。

套管采用接地屏蔽和中间屏蔽结构,接地屏蔽和中间屏蔽之间采用两组绝缘支撑连接,将接地屏蔽和中间屏蔽连成整体,可有效保证两屏蔽之间的相对位置固定,从而长期保证屏蔽效果。

2.7 其他

电压互感器、避雷器均选用专业生产厂家的产品,电压互感器由上互或无锡日新公司生产;避雷器由西电集团高压避雷器公司或廊坊东芝避雷器公司配套;对于 GIS 设备中的其他重要零部件如绝缘拉杆、弹簧触头等均采用专业制造厂的产品,可保证 GIS 设备的整体质量。

3 型式试验

2009 年 11 月—2010 年 9 月西开电气自主研发的 110 kV,6300 A/63 kA 大容量气体绝缘金属封闭开关设备,在国家电网专家组的见证下,在国家高压电器质量监督检验中心按照 IEC 62271-100—2006、IEC 62271-203—2003、IEC 62271-1—2007、IEC 62271-102—2002 等标准完成了全部型式试验项目。主要试验项目有断路器开断试验、绝缘试验、峰值、短时电流耐受试验、温升试验、密封及机械寿命、隔离开关开合小电感电流、母线充电电流、快速接地开关的短路关合、开合感应电流等,其中部分试验项目试验值高于 IEC 及国家标准要求^[7-10]。

3.1 断路器试验

2010 年 4 月—8 月 110 kV GIS 设备用 6300 A/63 kA 断路器在西安高压电器研究院有限责任公司进行了全套型式试验,主要包括温升试验、短时、峰值耐受电流试验、机械寿命试验、全套的开断与关合等试验。

2010 年 4 月 7 日断路器成功通过的非对称条件下、满容量 63 kA 短路电流(T100a)的开断试验,系统时间常数达到 120 ms,成为国际上首次达到这

一性能的特高压开关设备。2010 年 6 月 22 日~28 日又分别通过了 63 kA 短路电流的 T100s、T60、T30、T10 关合和开断试验, 成为国际上首次完成全部短路开断和关合试验的特高压开关设备。试验进行过程中, 断路器表现出了优异的开断性能, T100s、T60、T30、T10 试验之间未经任何检修和调整, 一气呵成, 顺利通过试验。2010 年 7 月顺利通过了线路充电电流(C1 级)试验、失步关合与开断试验以及考虑串补对线路断路器瞬态恢复电压影响增加的两项特殊试验(恢复电压峰值为 2 450 kV 和 2 610 kV, 开断电流为 9 kA)和电寿命试验(16 次), 上述 4 项试验之间断路器未经检修。2010 年 8 月通过了近区故障 L90、L75 试验, L90、L75 试验之间断路器未经检修。整个开断与关合试验过程中断路器表现出优越的开断性能。

断路器的温升试验严格按照标准进行, 试验电流为 $1.1 \times 6\,300\text{ A}$, 电流从壳体回流; 短时耐受电流试验试验参数为 63 kA, 2 s; 峰值耐受电流试验为 171 kA。断路器机械寿命试验按 5 000 次进行, 并在机械寿命后进行了温升试验, 试验结果合格。断路器型式试验照片见图 8。

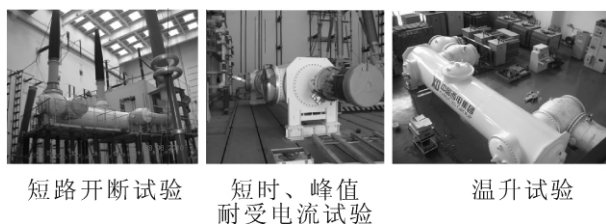


图 8 断路器型式试验照片

Fig.8 CB type test photos

3.2 隔离开关试验

隔离开关分为带电阻和不带电阻两种形式, 只需在原有 50 kA 产品技术基础上补做部分试验。按照专家组意见, 带电阻隔离开关本次重新进行了绝缘试验, 开合母线充电电流试验, 开合小电感电流试验, 短时、峰值耐受电流试验; 不带电阻隔离开关补做了短时、峰值耐受电流试验。隔离开关试验形态见图 9, 试验主要参数见表 2。



带电阻隔离开关绝缘、
开合小电流试验

不带电阻隔离
开关STC试验

图 9 隔离开关试验形态

Fig.9 DS test pole

表2 隔离开关主要试验参数

Tab.2 The main test data of DS

序号	试验项目	参数
1	绝缘试验	短时工频 1 100 kV; 雷电冲击耐受电压 2 400 kV; 操作冲击耐受电压 1 800 kV
2	短时、峰值耐受电流试验	短时耐受电流 63 kA, 2 s 峰值耐受电流 171 kA
3	开合母线充电电流 TD3 试验	2 A, 635 kV, 50 次
4	开合小电感电流试验	1 A, 635 kV, 15 次

3.3 接地开关、快速接地开关试验

接地开关与原 50 kA 产品结构形式完全一致, 按照要求补做了 63 kA、171 kA 短时、峰值耐受电流试验; 快速接地开关为本次新设计的元件, 主要进行了开合静电感应电流试验、电磁感应电流试验、短路电流关合试验、短时耐受电流和峰值耐受电流试验、机械寿命等试验, 主要试验参数见表 3, 快速接地开关的机械寿命试验照片见图 10。

表3 快速接地开关主要试验参数

Tab.3 The main test data of FES

序号	试验项目	参数
1	绝缘试验	短时工频 1 100 kV; 雷电冲击耐受电压 2 400 kV; 操作冲击耐受电压 1 800 kV
2	短时、峰值耐受电流试验	短时耐受电流 63 kA, 2 s 峰值耐受电流 171 kA
3	短路关合试验	171 kA, 2 次
4	开合电磁感应电流试验	360 A, 30 kV
5	开合静电感应电流试验	50 A, 180 kV
6	机械寿命试验	3 000 次



图 10 快速接地开关的机械寿命试验照片

Fig.10 The mechanical endurance test of FES

3.4 其他试验

除上述试验外, 特高压 6 300 A/63 kA 大容量开关设备研发项目还补做了母线、电流互感器、套管以及接地回路的 63 kA、171 kA 短时、峰值耐受电流试验。母线、电流互感器、套管、接地回路的短

时、峰值耐受电流试验照片见图 11。



图 11 母线、电流互感器、接地回路、套管的短时、峰值耐受电流试验照片

Fig.11 Photos of short time and peak withstand current test of Busbar, CT, earthing circuit and bushing

截至 2010 年 9 月 15 日,西开电气顺利通过了特高压 63 kA 大容量 GIS 设备的全部型式试验,研制成功了世界上第一台 1 100 kV, 63 kA/6 300 A 特高压气体绝缘金属封闭开关设备,并于 9 月 29 日通过了国家能源局组织的产品鉴定,鉴定委员会认为该产品,具有自主知识产权,达到国际领先水平,同意通过技术鉴定,可以投入生产。

4 结语

西开电气 1 100 kV, 6 300 A/63 kA 特高压气体绝缘金属封闭开关设备的成功研制,具有重要的社会意义:①在国际上率先掌握了特高压气体绝缘金属封闭开关设备研发、制造、试验等核心技术,为中国后续特高压工程建设提供了设备保障;②坚持自主创新,拥有自主知识产权,技术水平国际领先,填补了国际空白,使中国高压开关设备的研发和制造技术走在了世界前列,在国际特高压输电领域取得了技术优势和竞争优势。其研制成功和产业化生产极大地带动了相关产业的发展。

另外,按照电网公司的规划,中国未来 10~20 年拟建的特高压线路有十多条,如锡盟—南京、淮南—庐西,拟建的特高压变电站或开关站有 50 多座,需要使用的特高压 GIS 预计有 500 多间隔,预计总价为 500 亿元。特高压开关设备市场前景十分广阔,这必将为企业带来良好的经济效益^[10]。

参考文献:

- [1] 吴敬儒,徐永禧.我国特高压交流输电发展前景[J].电网技术,2005,29(3):1-4.
WU Jing-ru, XU Yong-xi. UHV AC power transmission

development prospect in china[J]. Power Grid Technology, 2005, 29(3): 1-4.

- [2] 李建基.我国特高压开关设备技术(上)[J].大众用电, 2010(8):47-49.
LI Jian-ji. UHV switchgear technology in china (first volume) [J]. Popular Utilization of Electric, 2010(8):47-49.
- [3] 李建基.我国特高压开关设备技术(下)[J].大众用电, 2010(9):48-49.
LI Jian-ji. UHV switchgear technology in china (next volume) [J]. Popular Utilization of Electric, 2010(9):48-49.
- [4] 李心一,徐晟,张晓菁,等.特高压交流试验示范工程 GIS 设备研制[C]//2009 输变电年会论文集.常州:[s.n.], 2009:177-184.
LI Xin-yi, XU Sheng, ZHANG Xiao-jing, et al. R&D of GIS in UHV AC demonstration project [C]//The Collection of these of 2009 Power Transmission and Transformation Annual Meeting. Changzhou: [s.n.], 2009: 177-184.
- [5] 张猛,李心一,杨鹏,等.一种高压开关设备用高载流能力灭弧室[P].中国:201010262513.1, 2010-12-29.
ZHANG Meng, LI Xin-yi, YANG Peng, et al. The interrupter with strong current-carrying capability of high-voltage switchgear[P]. China: 201010262513.1, 2010-12-29.
- [6] 李心一,夏文,张晓菁,等.高压开关设备用进出线充气套管[P].中国:200810232112.4, 2009-04-08.
LI Xin-yi, XIA Wen, YANG Peng, et al. The incoming and outgoing filled-in gas bushing of high-voltage switchgear [P]. China: 200810232112.4, 2009-04-08.
- [7] GB/Z 24836—2009. 1 100 kV 气体绝缘金属封闭开关设备技术规范[S].
GB/Z 24836—2009. The technical specification of 1 100 kV SF₆ gas insulated metal enclosed switchgear[S].
- [8] GB/Z 24837—2009. 1 100 kV 高压交流隔离开关和接地开关技术规范[S].
GB/Z 24837—2009. The technical specification of 1 100 kV high-voltage AC DS and ES[S].
- [9] GB/Z 24838—2009. 1 100 kV 高压交流断路器技术规范[S].
GB/Z 24838—2009. The technical specification of 1 100 kV high-voltage AC CB[S].
- [10] 西安西电开关电气有限公司. ZF17A-1100/Y6300-63 气体绝缘金属封闭开关设备产品介绍[R].
Xi'an XD Switchgear Electric Co., Ltd. ZF17A-1100/Y6300-63 the introduction of SF₆ gas insulated metal enclosed switchgear[R].

张猛(1963—),男,正高工,硕士,主要从事高压开关设备的研发设计。