

±800 kV特高压直流换流站阀厅金具的结构特点

丁永福¹, 王祖力¹, 张燕秉¹, 徐光辉², 韩国辉², 孔玉辉², 刘建权²

(1. 国家电网公司, 北京 100031; 2. 平高集团有限公司, 平顶山 467000)

摘要: ±800 kV特高压直流换流站阀厅工程设计中, 换流阀与换流变压器及穿墙套管之间采用管型母线连接方式, 设备连接需采用特殊的管型母线连接金具。笔者通过对向家坝—上海、锦屏—苏南±800 kV特高压直流输电工程换流站阀厅金具的结构介绍, 阐述了阀厅金具的整体结构特点, 分析了金具的载流量和耐热性、防电晕特性、机械强度的可靠性、外形尺寸以及连接形式等要求。通过实例介绍了5种常用的阀厅金具的结构细节及特点, 为哈密南—郑州及溪洛渡—浙江等特高压换流站阀厅金具设计提供参考和借鉴。

关键词: ±800 kV; 特高压直流; 换流站; 阀厅金具

中图分类号: TM642

文献标志码: A

文章编号: 1001-1609(2013)09-0013-06

Design Structure Characteristics of Valve Hall Fittings in the ±800 kV HVDC Converter Station

DING Yong-fu¹, WANG Zu-li¹, ZHANG Yan-bing¹, XU Guang-hui², HAN Guo-hui²,
KONG Yu-hui², LIU Jian-quan²

(1. State Grid Corporation of China, Beijing 100031, China; 2. Pinggao Group Co., Ltd., Pingdingshan 467000, China)

Abstract: During the design stage of valve hall project in the ±800 kV ultra-high voltage direct current (UHVDC) convertor station, the connections among convertor valve, convertor transformer and the wall bushings have to use the tubular busbar connection type, whereas, the devices connections need the special tubular busbar link fitting. In this paper, taking the valve hall fittings in the Xiangjiaba-Shanghai and Jinping-Sunan ±800 kV UHVDC convertor station as example, the overall structure characteristics of the valve hall hardware fittings are discussed including the requirements of hardware fitting such as the carrying capacity and heat resistance, the anti-corona characteristics, the reliability of mechanical strength, dimensions and shapes, and the connection types. At last, the structure details and characteristics of five often-used valve hall fittings are introduced in the examples. They are useful and can be referred in the design of valve hall fittings for the new UHVDC convert stations such as Haminan-Zhengzhou, and Xiluodu-Zhejiang etc.

Key words: ±800 kV; UHVDC; convertor station; valve hall fitting

0 引言

中国幅员辽阔, 各地区差别很大, 西南广大地区水利资源丰富, 西北地区煤炭资源丰富。在“西电东送, 南北互连”的战略布局下, 把当地的资源直接转化成电能以高压直流输电的方式外送电能成为重点发展的技术^[1], 该技术在中国已经得到了大量

的应用, 并且越来越成为中国未来远距离大容量输电工程的主流^[2], 国家电网公司已成功建设了±500、±600、±800 kV 直流输电工程, 现在正在对±1 100 kV 直流输电工程技术进行研究。

目前在建的特高压直流工程中, 一些复杂的设备例如换流变压器、换流阀、控制、测量、保护、平波电抗器等设备已基本实现国内供货, 而看似简单的直流场和阀厅金具国内企业参与的程度相对较低, 不论是国网还是南网的阀厅金具都采用了外方制

收稿日期: 2013-05-24; 修回日期: 2013-06-24

基金项目: 国家电网公司科技项目(SGJSKJ[20121256号])。

Project Supported by Science and Technology Project of SGCC (SGJSKJ[No.20121256]).

造的产品^[3-5]。为此,国内金具厂也正在积极的进行阀厅金具国产化的探索,笔者通过对已经投运的特高压直流输电工程(向家坝—上海、锦屏—苏南)阀厅金具的结构进行分析和研究,为后续特高压直流工程中阀厅金具的设计提供参考。

± 800 kV 特高压直流换流站阀厅内布置的主要设备是换流阀组^[6]、交直流避雷器、直流电压/电流测量装置、接地开关、直流穿墙套管、变压器出线套管等,上述设备一般采用悬吊式安装,有的采用支柱绝缘子支撑式安装,特殊的则侧墙安装或固定于墙上,设备与设备之间呈空间布置,存在连接角度复杂的特点,因此,如何实现换阀厅内各设备之间的连接就成为阀厅金具设计上需要重点考虑的问题。在换流站工程实践中,阀厅中设备间的连接一般采用软导线的方式进行^[7]。一方面软导线具有调节位移和转角的功能,但另一方面随着载流量的增大,软导线所占据的空间位置和弧垂也在增大,使得阀厅内的整体布置和接线不够清晰和美观。目前已经投运的 ± 800 kV 换流站阀厅无一例外均采用了管型母线和软导线混合联结的方式,即阀厅内设备连接总体上采用管型母线,管型母线与设备的连接在局部上则采用软导线,使得阀厅的整体布置显得非常清晰简洁,但阀厅内连接的金具则需采用特殊的管型母线连接金具,这些金具在设计上要考虑载流量、防电晕、设备端子的形状、连接角度以及受力等要求,难以做到标准化,笔者通过对阀厅金具的结构特点进行分析,供国内同仁参考。

1 ± 800 kV 特高压换流站阀厅金具的布置示意图

± 800 kV 特高压直流输电工程由于输送的容量较大^[8],受设备运输条件和工程造价的影响,通常将 ± 800 kV 换流站阀厅拆分为 $-800 \sim -400$ kV、 $-400 \sim 0$ kV、 $0 \sim +400$ kV 和 $+400 \sim +800$ kV 4 个阀厅并相互串联,同时为减小换流变压器设备的体积和重量并降低制造的难度,换流变压器往往做成是单相双绕组的,并且变压器的阀侧出线套管直接插入阀厅在阀厅内完成星形和三角形连接。阀厅金具主要布置在变压器阀侧套管的端部、穿墙套管阀侧的端部、阀塔进线处和出线处、避雷器、电流互感器等设备的连接接点处^[7,9-11]。阀厅中的设备布置见图 1-4。

2 ± 800 kV 特高压换流站阀厅金具的使用要求

± 800 kV 换流站阀厅金具在结构设计中应主要考虑连接位置的载流量要求、防电晕特性要求、机

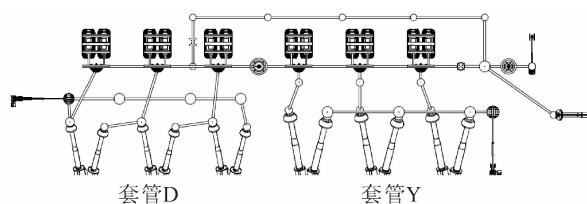


图 1 高端阀厅金具布置图 1

Fig. 1 The first layout of fittings in the high-end valve hall

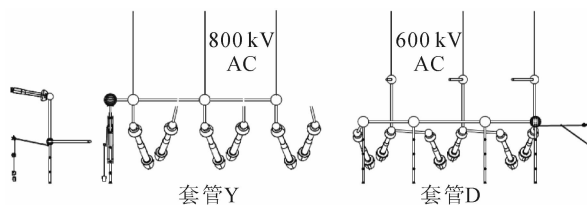


图 2 高端阀厅金具布置图 2

Fig. 2 The second layout of fittings in the high-end valve hall

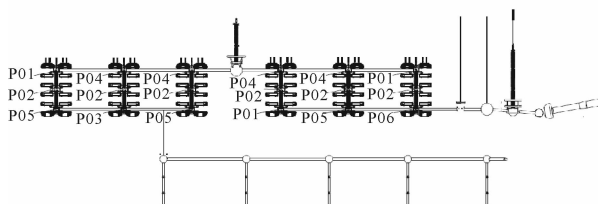


图 3 高端阀厅金具布置图 3

Fig. 3 The third layout of fittings in the high-end valve hall

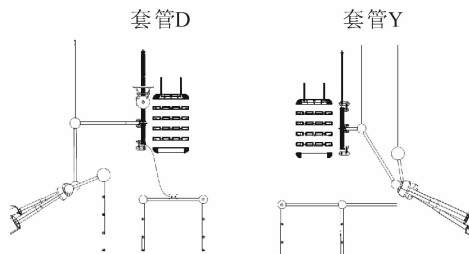


图 4 低端阀厅金具布置图 4

Fig. 4 The fourth layout of fittings in the low-end valve hall

械强度的可靠性要求、耐热性要求、外形尺寸以及金具连接型式的要求^[12]等。

2.1 载流量要求

± 800 kV 阀厅金具在结构设计中必须按照金具安装位置的电气连接的额定电流、最大连续电流、过负荷电流来确定金具的载流量,载流金具的横截面积要不小于连接管型母线的横截面积,同时应使电流的分布均匀,尽量减小集肤效应的影响。

2.2 电晕及无线电干扰能力要求

针对 ± 800 kV 换流站阀厅中交直流混合的特点,阀厅金具的结构应满足电晕、无线电干扰等电

磁环境方面的要求。金具产品首先应提高自身的防电晕特性,通过对边线和棱角进行圆角化设计、增加金具曲率半径及生产工艺控制,以保证金具的整体表面光洁度,提高金具的电晕起始电压。其次当金具自身的防电晕特性无法满足要求时,应考虑采用适当直径的球形或环形屏蔽罩,以改善空气间隙的静电场分布,满足无线电干扰电压水平低于 $1000 \mu\text{V}$ 的要求^[13-14],同时优化阀厅内空气净距的取值,减小阀厅的尺寸,降低阀厅的建设、运行和维护费用。

2.3 机械强度的可靠性、耐热性要求

金具制造应采用优质的材料和合理的制作工艺^[15],以保证金具的强度、耐热要求,必要位置可采用有色金属连接以加强金具的机械强度,载流金具的设计应采用软连接导线,以满足悬吊设备在发生摆动时的位移要求,同时软连接导线的长度应尽量相等,以使电流的分布更趋均匀。

2.4 外形尺寸要求

金具的表面应光滑倒角,所有螺栓应沉在凹槽内,不应该有凸起,以避免金具表面出现电晕放电^[7,16]。为了有利于电气距离的控制,金具外形应尽可能小巧,特别是需要加装屏蔽罩的位置,金具尺寸直接影响安装在它外面的屏蔽罩的设计尺寸,进而影响整个布置中各点的电气距离。当需要加装屏蔽球时,球体的开孔处应向内折弯,以防止开孔处起电晕。

2.5 安装要求

金具设计时应考虑连接设备的相对位置是否有位移要求,管型母线的安装形式是悬吊或是支撑,支撑处是固定、滑动还是摆动^[17-18]。对于每根空间连接管型母线,为了确保管型母线在短路或者地震、风力、环境温度变化等情况下能够可靠的工作,应保证管型母线的一端为固定型连接金具,另一端为滑动型连接金具。由于滑动型连接金具的滑动作用可以将施加在设备上的地震力等作用力分配到其他设备或构件上,因此能够适当降低该设备沿管型母线方向地震等作用力的反应。

3 ± 800 kV 阀厅金具结构特点介绍

由于阀厅金具在结构上需要联结包括换流阀、换流变压器、接地开关、直流穿墙套管、平波电抗器套管、避雷器、TV、TA、支撑绝缘子、悬吊绝缘子等众多设备,在功能上需满足工作电流、电晕、机械强度等多方面的要求,所以进行阀厅金具结构设计时应综合考虑上述各种因素,满足多个方面的要求^[7]。阀厅金具的结构一般是多种变电金具类型的组合结

构金具(以下简称组合金具),单一的交流线路金具和变电金具均不能够准确地来进行描述。这个组合金具一般可以包括以下 3 个模块:一是铝合金铸件与纯铝绞线焊接的导流元件,即接续金具模块;二是屏蔽球壳或屏蔽环构成的屏蔽结构,即防护金具模块;三是支撑屏蔽结构、管型母线或设备的连接金具模块。

由于当前直流换流站阀厅金具的分类标准尚未颁布,为了叙述地方便,根据管型母线的连接方式和屏蔽要求,可以将阀厅金具主要分为管型母线滑动/固定型金具、屏蔽球保护金具、二通金具和三通金具;根据阀厅金具的安装方式又可以将阀厅金具分为支柱绝缘子支撑金具和悬吊绝缘子串悬挂金具等。下文按照上述分类方法对阀厅金具的结构特点进行介绍。

3.1 支柱绝缘子支撑金具

该金具属于二通管型母线金具组合金具,见图 5,通常用于换流变压器阀侧套管的星形连接或阀塔出线连接处。该组合金具不仅需要满足两段管型母线间的通流要求和防电晕的要求^[19-20],而且由于连接的两段管型母线有可能是空间布置,管型母线间还有转动和位移的要求,故该金具的结构通常设计为一端铰链固定,另一端滑块滑动。

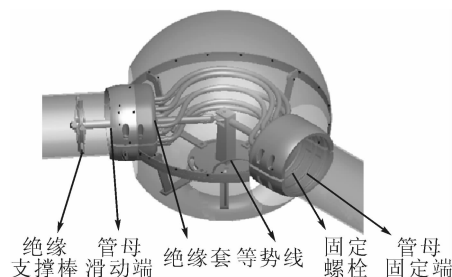


图 5 支柱绝缘子支撑金具

Fig. 5 The support fitting on the support insulator

接续金具的载流部分是通过管型母线固定金具端部焊接纯铝绞线的方式来实现,其中管型母线固定金具采用 ZL101A 铸铝硅合金铸造工艺生产而成,导电性能和机械性能均非常优良,铸件外形所有棱边均进行圆角化设计,连接螺栓处采用元宝形设计,连接螺栓完全沉在金具铸件的内部,提高了金具铸件自身防电晕能力。载流导线采用 JLR 小节距纯铝绞线,具有一定的伸缩性能和成型特性,通过和管型母线固定金具的内端面焊接在一起,导电性能可靠。

连接金具部分通过圆盘底板焊装和支撑绝缘子进行支撑连接,圆盘焊装上的立柱分别通过转动副和移动副与管型母线连接。为避免圆盘底板焊装

等零部件产生悬浮电位,用等势线把支撑连接部分和载流部分连接,使整个金具呈现等电位,避免了金具间可能产生的放电打火等现象。

防护金具采用薄壁球壳体,壳体通过内壁上焊接的4个支撑架固定在底部的圆盘底板焊装上,由于屏蔽球壳体的直径较大,这里采用薄铝合金板通过特殊工艺生产而成。整个金具的支撑部分和载流导线均罩在屏蔽球内部,利用屏蔽球的电场屏蔽效应使球内电场为零。

3.2 悬吊绝缘子串悬挂金具

该系列金具属于二通管型母线组合金具,见图6,主要用于阀塔的进线处,连接的两端管型母线处于空间位置,该组合金具包含接续金具、屏蔽保护金具和连接金具。其中接续金具和屏蔽保护金具同上3.1所述,连接金具用销轴和悬吊绝缘子串连接,可以满足悬吊位置的需要,同时该类金具用两个万向节和管型母线固定金具的支撑杆相连接,使连接金具与两端管型母线以转动副进行连接,使整个金具安装调节方便灵活,机械性能可靠。

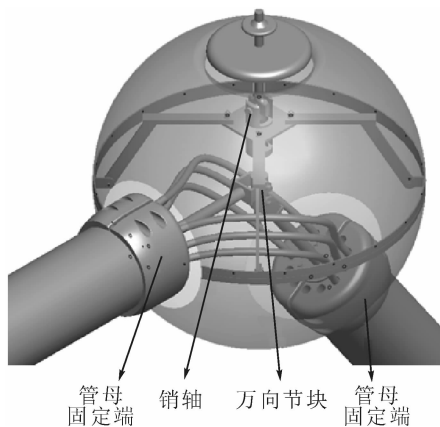


图6 悬吊绝缘子串悬挂金具

Fig. 6 The suspension fitting on the suspension insulator string

3.3 Y-D 换流变端子金具

该系列金具属于三通管型母线组合金具,见图7,主要用于换流变压器阀侧套管接线端子连接处,两端固定,一端滑动,管型母线端部固定金具通过两个万向节和支撑部分相连,安装调节方便,机械性能可靠。管型母线固定金具的设计特点、屏蔽球的设计特点以及载流导线的选型和连接和以上3.1、3.2两种金具的设计特点相同。

3.4 Y-D 换流变 A-C 跳线含地刀静触头

该系列金具属于二通管型母线组合金具,见图8,一端与管型母线固定连接,一端与管型母线滑动连接,下方连接支撑绝缘子,侧面安装阀厅接地开关的接地刀静触头,详细的结构特点见上述3.1条内容。

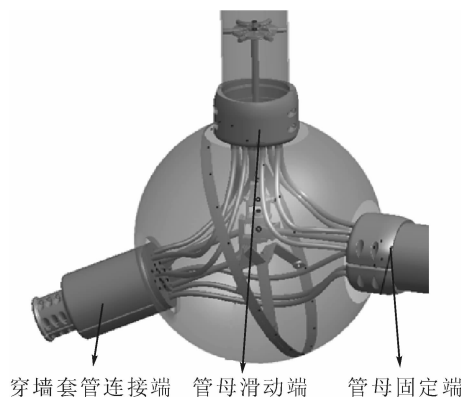


图7 Y-D 换流变端子金具

Fig. 7 Y-D converter transformer terminal fitting

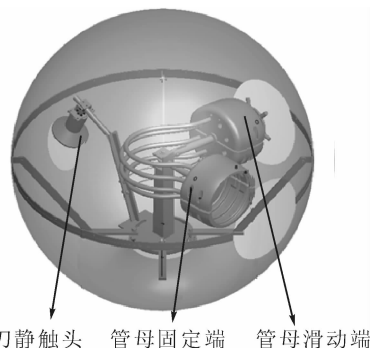


图8 Y-D 换流变 A-C 跳线含地刀静触头金具

Fig. 8 A-C jumper with a knife the static contact fitting on the Y-D converter transformer

3.5 直流穿墙套管端部金具

该金具属于二通组合金具,见图9,用于管型母线端部与直流穿墙套管连接处,由于此处的通流容量较大而允许的空间位置有限,用铜导电带进行载流,外面的屏蔽球罩将管型母线固定金具和穿墙套管接线端子抱夹罩在内部,起到了屏蔽球内金具表面的电场防止起电晕的效果^[2]。管型母线固定金具和穿墙套管抱夹采用 ZL101 铸铝合金件,该铝合金件采用屏蔽效果良好的元宝外形,螺栓完全沉在沉孔内部,能够提高金具自身的防电晕效果。

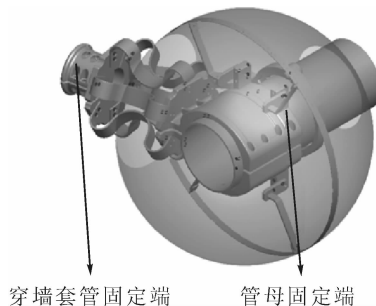


图9 直流穿墙套管端部金具

Fig. 9 DC bushing end fitting

4 结语

特高压换流站阀厅金具设备的安装位置和使

用功能要求,决定了阀厅金具的结构不同于普通的线路金具和变电站金具,阀厅金具的结构总体上可以划分为3个模块,即屏蔽结构模块、续流结构模块和支撑结构模块,3个模块有机结合,共同承担了阀厅金具的防电晕及无线电干扰、接续载流、承受机械负荷等功能。

换流站阀厅金具设备虽小,但起着连接阀厅内各种电气设备的重要作用,对特高压直流输电工程的安全可靠运行有极其重要的影响,因此对阀厅金具的设计和制造技术进行研究是一项富有挑战性的工作,国内一些金具厂家和科研机构在此方面已经进行了大量的研究工作,取得了一些成果,但从特高压直流输电工程的实践应用看,今后还需要对阀厅金具的材料、焊接、设计、试验、标准等方面进一步深化研究,彻底掌握特高压阀厅金具的设计和制造的关键技术,满足国家电力发展的迫切需要。

参考文献:

- [1] 刘振亚. 特高压直流电气设备[M]. 北京:中国电力出版社,2009.
LIU Zhen-ya. HVDC equipment[M]. Beijing:China Electric Power Press,2009.
- [2] 袁清云. 特高压直流输电技术现状及在我国的应用前景[J]. 电网技术,2005,29(14):1-3.
YUAN Qing-yun. Present state and application prospect of ultra HVDC transmission in China[J]. Power System Technology,2005,29(14):1-3.
- [3] 杨万开,印永华,王明新,等. 灵宝背靠背直流工程换流站和系统调试总结[J]. 电网技术,2006,30(19):36-41.
YANG Wan-kai,YIN Yong-hua,WANG Ming-xin,et al. Summary of converter station commissioning and system commissioning for lingbao back to back HVDC project[J]. Power System Technology,2006,30(19):36-41.
- [4] 杨万开,王明新,曾南超,等. 灵宝背靠背直流工程系统调试中的关键技术分析[J]. 电网技术,2007,31(10):32-37.
YANG Wan-kai,WANG Ming-xin,ZENG Nan-chao,et al. Analysis on several key technologies applied in system commissioning of Lingbao back-to-back HVDC project[J]. Power System Technology,2007,31(10):32-37.
- [5] 赵 军. “云-广”特高压直流输电滤波电容器装置的设计与调试[J]. 电力电容器与无功补偿,2010,31(1):48-50.
ZHAO Jun. Design and debugging on the capacitor bank for Yun -Guang HVDC project[J]. Power Capacitor & Reactive Power Compensation,2010,31(1):48-50.
- [6] 赵畹君. 高压直流输电工程技术[M]. 第2版. 北京:中国电力出版社,2011.
ZHAO Wan-jun. High voltage direct current engineering technology[M]. The Second Edition. Beijing:China Electric Power Press,2011.
- [7] 刘小刚,王茂忠,种芝艺,等. 宝鸡换流站阀厅电气连接及金具设计特点[J]. 电力建设,2011,32(9):24-29.
LIU Xiao-gang,WANG Mao-zhong,CHONG Zhi-yi,et al. Electric connections and fittings design in vall hall of ± 500 kV Baoji converter station[J]. Electric Power Construction,2011,32(9):24-29.
- [8] 刘水平,饶 娣. ± 500 kV 超高压直流输电直流滤波电容器及装置的开发[J]. 电力电容器与无功补偿,2009,30(1):1-3.
LIU Shui-ping,RAO Di. Development of DC filtering capacitors and installations for ± 500 kV extra HVDC transmission[J]. Power Capacitor & Reactive Power Compensation,2009,30(1):1-3.
- [9] 国家电网公司直流建设分公司. 高压直流输电系统成套标准化设计[M]. 北京:中国电力出版社,2012.
State Grid Corporation of DC Construction Branch. Complete sets of standardized design of the HVDC system [M]. Beijing:China Electric Power Press,2012.
- [10] 张 凌,杨金根,曾 静. 特高压阀厅电气设计研究[J]. 电力建设,2007,28(5):12-16.
ZHANG Ling,YANG Jin-gen,ZENG Jing. Study on electric design of UHV valve hall[J]. Electric Power Construction,2007,28(5):12-16.
- [11] 吴 轶,杨 春,蔡 健,等. 阀厅结构悬吊设备地震作用的简化计算方法[J]. 广西大学学报:自然科学版,2012,37(1):41-48.
WU Yi,YANG Chun,CAI Jian,et al. A simplified method for earthquake actions on suspended equipments in valve-hall structures[J]. Journal of Guangxi University:Natural Science Edition,2012,37(1):41-48.
- [12] 王丽杰,杨金根. 高岭背靠背换流站阀厅金具设计[J]. 电力建设,2009,30(9):31-35.
WANG Li-jie,YANG Jin-gen. Hardware design of Gaoling back-to-back conversion station valve hall[J]. Electric Power Construction,2009,30(9):31-35.
- [13] 张广洲,万保权,路 遥,等. 特高压交流试验基地电晕噪声抑制[J]. 高电压技术,2008,34(11):2300-2304.
ZHANG Guang-zhou,WAN Bao-quan,LU Yao,et al. Restraint of corona noise in UHV AC test base[J]. High Voltage Engineering,2008,34(11):2300-2304.
- [14] 王 栋,阮江军,杜志叶,等. ± 660 kV 直流换流站阀厅内金具表面场强数值求解[J]. 高电压技术,2011,37(10):2594-2600.
WANG Dong,RUAN Jiang-jun,DU Zhi-ye,et al. Numerical solution of electric power fittings about surface electric field in ± 660 kV DC collverter station valve hall[J]. High Voltage Engineering,2011,37(10):2594-2600.
- [15] 董吉涛. 电力金具手册[M]. 第2版. 北京:中国电力出版社,2001.

- DONG Ji-e. Electrical fittings manual[M]. The Second Edition. Beijing: China Electric Power Press, 2001.
- [16] 黄玲, 曾静, 张先伟. ± 660 kV 阀厅金具采购技术规范研究[J]. 中国电力, 2012, 45(6): 26-29.
- HUANG Ling, ZENG Jing, ZHANG Xian-wei. Study on technical specification of ± 660 kV valve hall fittings[J]. Electric Power, 2012, 45(6): 26-29.
- [17] GB/T 2314—2008. 电力金具通用技术条件[S].
- GB/T 2314—2008. General technical requirements for electric power fittings[S].
- [18] DL/T 758—2009. 接续金具[S].
- DL/T 758—2009. Splicing fittings[S].
- [19] 张文亮, 于永清, 李光范, 等. 特高压直流技术研究[J]. 中国电机工程学报, 2007, 27(22): 1-7.
- ZHANG Wen-liang, YU Yong-qing, LI Guang-fan, et al. Researches on UHVDC technology[J]. Proceedings of the Chinese Society for Electrical Engineering, 2007, 27(22): 1-7.
- [20] 刘振亚, 舒印彪, 张文亮, 等. 直流输电系统电压等级序列研究[J]. 中国电机工程学报, 2008, 28(10): 1-8.
- LIU Zhen-ya, SHU Yin-biao, ZHANG Wen-liang, et al. Study on voltage class series for HVDC transmission system[J]. Proceedings of the CSEE, 2008, 28(10): 1-8.
- [21] 舒印彪, 刘泽洪, 高理迎, 等. ± 800 kV 6 400 MW 特高压直流输电工程设计[J]. 电网技术, 2006, 30(1): 1-8.
- SHU Yin-biao, LIU Ze-hong, GAO Li-ying, et al. A preliminary exploration for design of ± 800 kV UHVDC project with transmission capacity of 6 400 MW[J]. Power System Technology, 2006, 30(1): 1-8.
- 丁永福(1961—), 男, 高工, 本科, 研究方向为电力系统及其自动化。
- 王祖力(1964—), 男, 高工, 本科, 研究方向为高压直流建设管理。
- 张燕秉(1971—), 男, 高工, 硕士, 研究方向为高压直流建设管理。
- 徐光辉(1972—), 男, 高工, 硕士, 研究方向为高压电器。
- 韩国辉(1973—), 男, 高工, 硕士, 研究方向为高压电器。
- 孔玉辉(1984—), 男, 助工, 本科, 研究方向为材料成型。
- 刘建权(1975—), 男, 工程师, 本科, 研究方向为机械制造。

简 讯

新能源光伏发电的应用前景广阔

据国际能源机构预测, 21 世纪中叶世界的能源结构将发生转变, 因为传统化石能源储量会越来越少, 可再生能源必然会得到迅猛发展并将成为最重要的能源组成部分, 太阳能是地球最丰富的可再生能源, 而且太阳能的利用是新能源中综合性价比最高, 其发展潜力巨大, 一旦能够开发和利用好太阳能, 就可以获得日常生产、经济生活中所需的取之不尽的可再生能源。

与其他新能源相比较, 一是太阳能最清洁、最环保, 使用也最便利, 不仅符合国家《可再生能源中长期发展规划》和环保产业政策; 而且对一个城市来说, 太阳的辐射总量相对稳定, 在太阳能电站持续 20 年左右的运行期间没有 CO_2 和污染物的排放, 不会对周边环境造成破坏。二是资源最为丰富, 全国地表每年接受辐射的太阳能, 其总量相当于 2.4 万亿吨标准煤, 是全国能源消耗总量的几百倍, 并且太阳能用之不竭, 况且还没有其他能源需要的运输的烦恼。三是转化最直接, 是可再生能源类型中一次性转化效率最高、转换环节最少的能源, 太阳能光伏发电是将太阳辐射能直接转换成电能, 经过多年的科技开发和产业化, 目前多晶硅太阳能电池的转换率应用水平甚至可达 20%, 是风能、生物质等清洁能源转化效率的几十到几百倍, 进而利用更充分。

太阳能光伏发电技术在实验室研究开发和应用于电力网络实践过程中的结构形式大致可分为 3 种类型: 1) 独立型, 即太阳能光伏系统的控制方式通过电压源电压来实现, 属于家庭和小型工厂常用的方式, 已开始进入寻常百姓家; 2) 并网型, 太阳能光伏系统的控制方式通过电压源电流来实现, 适合集中区域的应用方式, 技术上对控制有更高的要求; 3) 属于前两者的结合形式, 光伏系统在电压源控制过程中实现有效切换。在太阳能光伏发电技术应用于电力用户的实践中发现难度较大的环节是如何针对波形、波动等电能质量进行有效的动态控制。

近年来, 虽然中国和部分发达世界的光伏产业发展迅速, 但人类利用太阳能发电目前仍然处于较低的水平, 太阳能的百分之九十多还没有被开发和充分利用, 作为新能源的光伏发电的未来前景十分广阔。(翁钊 赵爽)

(2013 年 9 月)