

# 集约式绿色换流站设备选型及优化布置研究

黄阳<sup>1</sup>, 王建武<sup>1</sup>, 鲁翔<sup>2</sup>, 黄雄辉<sup>2</sup>

(1. 中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广州 510663;

2. 中国南方电网有限责任公司超高压输电公司, 广州 510000)

**摘要:** [目的] 优化设备选型, 是实现换流站集约式布置的基础, 是建设绿色换流站的重要组成部分。[方法] 以常规典型换流站为模型, 结合当前国内外换流站主设备的生产能力和新型设备的研发情况, 对不同配电装置区域的设备特性进行分析。[结果] 提出了集约式换流站的建设理念, 对不同配电装置区域的设备布置提出建议。[结论] 所提理念和建议为后续不断优化换流站设计、打造绿色低碳的集约式换流站提供参考。

**关键词:** 集约式; 设备选型; 布置; 绿色; 换流站

中图分类号: TM7; TM631

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2020)01-0107-06

## Research on Equipment Selection and Optimal Layout of Intensive Green Converter Station

HUANG Yang<sup>1</sup>, WANG Jianwu<sup>1</sup>, LU Xiang<sup>2</sup>, HUANG Xionghui<sup>2</sup>

(1. China Energy Engineering Group Guangdong Electric Power Design Institute Co., Ltd., Guangzhou 510663, China;

2. China Southern Power Grid Co., Ltd. Extra High Voltage Power Transmission Company, Guangzhou 510000, China)

**Abstract:** [Introduction] Optimizing equipment selection is the basis of realizing intensive layout of converter station and an important part of building green converter station. [Method] Based on the model of conventional and typical converter stations, combined with the production capacity of main equipment and the research & development of new equipment of converter stations at home and abroad, this paper analyzed the characteristics of equipment in different distribution device areas. [Result] This paper presents the construction concept of intensive converter station and puts forward some suggestions on distribution device layout in different areas. [Conclusion] This work provides reference for optimizing the design of converter station and building intensive green converter station.

**Key words:** intensive; equipment selection; layout; green; converter station

本文提出了“集约式绿色换流站”的建设理念, 旨在制定资源节约、环境友好、可持续发展的换流站设计方案。建设集约式绿色换流站, 有利于在换流站的全寿命周期内, 最大限度地节约资源<sup>[1-3]</sup>、保护环境和减少污染, 提供安全、适用、健康的工作环境, 建设高效低耗、环境友好的换流站。

要实现绿色换流站的资源节约, 一定程度上对换流站的总平面布置和设备选型提出了更高的要求。优化设备选型, 采用配电装置集约式布置, 打造集约式换流站, 是实现绿色换流站的重要组成部分

分。因此, 开展集约式换流站设计, 节约用地, 符合国家一贯的基本国策, 也是提高电力建设技术水平、提高行业影响力的有力手段。本文以常规±500 kV典型换流站为例, 依据相关规程规范<sup>[4-5]</sup>, 开展集约式设备选型工作, 为实现换流站的集约式布置进行探讨。

### 1 集约式设备的应用

在常规交流变电站中, 为实现站区的集约式布置, 常将除变压器以外的一次设备进行组合式封装, 经优化设计有机地组合成一体。组合式设备常用的设备型式有两种: GIS (Gas Insulated Switchgear) 和 HGIS (Half Gas Insulated Switchgear)。GIS/HGIS 设备因其结构紧凑、组合

收稿日期: 2019-03-04 修回日期: 2019-10-22

基金项目: 中国能建广东院科技项目“集约式绿色换流站/变电站关键技术研究”(EV00931W)

安装、封闭运行的独特设计,使其具有占地面积少、安装方便、配置灵活、环境适应能力强、运行安全可靠、维护工作量少、检修周期长、施工周期短、安装方便及没有无线电、噪声干扰等明显优势,在电力系统中得到了广泛应用。

在换流站设计时,可通过借鉴组合式设备的理念,根据换流站内不同设备的特性,探讨选择合适的设备型式,以实现换流站最终的集约式布置。

## 2 直流场设备

### 2.1 直流场设备现状

换流站的直流场采用典型双极接线,不同的设备分区功能各不相同。直流场设备主要包括直流穿墙套管、隔离/转换开关、避雷器、电容器、电抗器和测量装置等;目前国内外的直流场设备布置主要有两种布置方式:敞开式户外布置和户内布置,占地面积较大,因此,对直流场进行集约式布置有一定的现实意义。

实现直流场的集约式布置,主要从三个方面考虑:(1)采用组合式设备;(2)采用集约式设备型式;(3)优化直流场的布置方案。

从目前的技术水平来看,暂不具备采用组合式设备的条件,具体分析如下:

1) 直流 GIS 设备的技术要求更高。与交流 GIS 设备不同,在直流电压下, GIS 内的金属导电微粒受到单极性电压作用,静电力的方向是恒定的<sup>[6-12]</sup>。在一定条件下,金属微粒会从外壳的内壁向高压导体运动,并与之发生剧烈的碰撞,且一旦金属微粒附着在绝缘子表面,沿面电场分布则产生畸变,降低了绝缘子的耐受电压,甚至引起绝缘子闪络。

2) 从直流场布置来看,平波电抗器和直流滤波器区域的设备型式和布置方式是限制直流场布置尺寸的关键因素。但就目前的设备制造水平来看,油浸式平波电抗器、直流滤波器区域的 C1 电容器塔体型庞大,且干式平波电抗器、滤波器电抗器对周边防磁空间有严格要求,通过对此两类设备采用组合方式来实现集约式布置,目前暂无成功案例。

3) 从设备制造水平来看,国内直流设备近几年才逐步实现国产化,技术水平和成熟度有待进一步提高。此外,与交流工程建设总量相比,直流工

程相对较少,目前国内主流设备厂家出于开发成本和技术难度的考虑,均未对直流 GIS 设备进行研发。

4) 设备采购受限。国内直流生产厂家目前暂无直流 GIS 的生产能力,我国自 20 世纪 80 年代就开始直流 GIS 的相关研究但目前仍处于理论研究阶段。国外对直流 GIS 的研究起步较早。1985 年,美国 BPA 电力公司即着手利用直流 GIS 来解决换流站的防污问题。1988 年 BPA 与 ABB 开展了合作研究,将交流 550 kV GIS 和 800 kV GIS 改装为直流  $\pm 500$  kV GIS,并于 1996 年顺利通过了长期试验。2000 年,由日本关西电力公司、四国电力公司和电源发展公司联合研制的直流  $\pm 500$  kV GIS 成功应用于日本纪伊水道的阿南换流站,但其实际运行电压只有  $\pm 250$  kV<sup>[13-14]</sup>。对于建立在负荷中心城市的换流站而言,其风险性需进一步评估。

### 2.2 直流场集约式布置

为了实现直流场的集约式布置,节约占地,便于运行维护,集约式直流场的布置可考虑采用如下方案:

1) 采用户内直流场,采用钢筋混凝土或钢结构,根据设备间的联络情况实现直流场与其他设备区域(如阀厅)的双层布置。

2) 对于不同的直流场设备,尽量采取占地面积小的设备型式,如直流开关采用双柱水平伸缩式替代传统的三柱式的水平旋转式;C1 电容器塔采用支撑式布置方案;采用油浸式平波电抗器配合阀厅的四重阀布置;采用光 CT<sup>[3]</sup>,节约占地面积等。

3) 随着技术的不断发展和技术的逐渐成熟,有针对性的对于直流场开关设备采用直流 GIS 型式。

## 3 换流变压器

### 3.1 换流变设备型式

换流变压器的主体结构型式有四种:三相三绕组式、三相双绕组式、单相双绕组式和单相三绕组式。不同结构型式的换流变压器,应根据换流变压器交流侧及直流侧的系统电压要求、变压器的容量、制造技术、运输条件、设备造价以及换流站布置要求等因素综合考虑。另一方面,换流变压器的型式选择对阀组接线及阀厅布置有决定性影响,换流变压器的可靠性及可用率对于整个电力系统的安全稳定运行意义重大。

### 3.2 换流变型式选择及适用性分析

对于中等额定容量和电压的换流变压器<sup>[15]</sup>, 可选用三相式。采用三相式的优点是减少材料用量、减少变压器的占地空间及损耗, 特别是空载损耗。三相一体式的换流变包括三相三绕组换流变和三相双绕组换流变。对于中小型直流工程, 一般可采用三相三绕组换流变压器, 该换流变具有接线布置简单、占地面积小、投资最省的优点。由于受制造能力、运输尺寸及桥梁荷载等的限制<sup>[16]</sup>, 对于大型直流工程, 对应于 12 脉动换流器的两个 6 脉动换流桥, 在设备制造容量和运输条件许可的情况下, 三相变压器宜选择两台三相双绕组变压器, 其阀侧输出电压彼此保持 30° 的相角差, 网侧绕组均为 Y 连接, 阀侧绕组一台为 Y 接, 一台为 Δ 连接。

对于大型直流工程且容量较大的换流变压器, 一般采用单相变压器组。在运输条件较好且匀速时, 应采用单相三绕组换流变压器, 反之, 则采用单相双绕组变压器。单相三绕组换流变压器带有一个交流网侧绕组和两个阀侧绕组, 阀侧绕组分别为 Y 连接和 Δ 连接。两个阀侧绕组具有相同的额定容量和运行参数 (如阻抗和损耗), 线电压之比为  $\sqrt{3}$ , 相角差为 30°。

单相双绕组换流变适用于各种容量的直流工程, 适用性较好, 且技术成熟, 具有丰富的运行经验; 单相三绕组换流变压器相对于采用单相双绕组来说, 单相三绕组的换流变压器具有更少的铁芯、油箱、套管及有载调压开关, 因此原则上采用三绕组换流变压器要更经济、可靠; 据有关资料估计, 采用单相三绕组比采用单相双绕组在换流变方面节约投资约 40%; 但单相三绕组换流变压器的运输重量约为单相双绕组的 1.6 倍<sup>[15]</sup>, 这对常规交通运输的运输能力是一大挑战, 一般适合容量较小的换流变。

### 3.3 换流变套管布置型式的差异分析

对于我国的常规直流工程, 换流变压器已完全实现国产化, 其布置型式主要有 2 种, 型式 A- 阀侧套管水平布置 (以 ABB 为代表) 和型式 B- 阀侧套管垂直布置 (以 SIEMENS 为代表), 如图 1 和图 2 所示。

对于型式 A, 换流变阀侧套管能承受的弯曲悬臂试验载荷较大。在阀厅布置时, 可以通过换流变

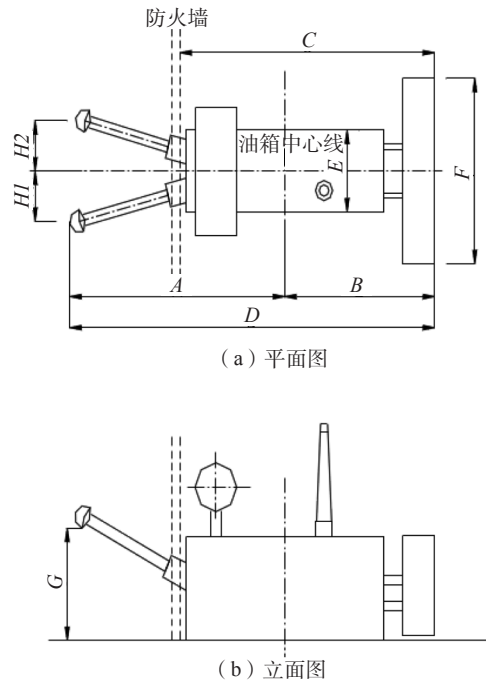


图 1 型式 A 换流变外形

Fig. 1 Converter transformer shape of type A

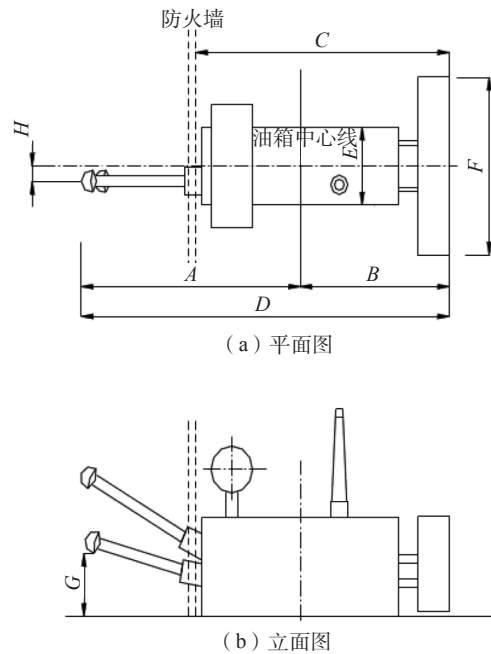


图 2 型式 B 技术换流变外形

Fig. 2 Converter transformer shape of type B

的阀侧套管作为阀厅 Y 套管和 Δ 套管的固定支点和受力点, 完成换流变阀侧套管阀厅内的接线, 减少阀厅内支柱绝缘子的数量, 节省投资。除此以外, 型式 A 的阀侧套管均压球直径较大, 阀侧地刀的静触头可以安装在均压球中, 减少了单独设置支柱



绝缘子加装静触头部分的费用,且接线简单清晰,方便运行巡视。

对于型式 B,换流变阀侧套管能承受的弯曲悬臂试验载荷较小(约 8 kN),阀侧套管进行 Y 连接时,需在每相阀侧套管附近加装两节支柱绝缘子,分别用作 Y 连接支撑点和安装阀厅地刀静触头,接线相对复杂,投资较多,占地面积较大。

为配合阀厅的集约式布置,阀侧套管建议暂按型式 A 考虑。

### 3.4 集约式换流变压器的适用性分析

为了实现换流变的集约式设计,考虑设备的制造能力及运输条件限制,结合不同结构型式的换流变在实际高压直流工程中的应用,本文推荐采用单相双绕组和单相三绕组型式。

1) 对于输送功率较小或不受运输条件限制的直流工程,可采用三相一体式换流变;该结构型式能减少换流站内换流变的数量,在换流站的集约式布置上具有相当的优势,能有效的节约占地。如东北-华北联网高岭背靠背换流站工程等。

2) 对于高压大容量的直流工程来说,可采用具有丰富运行经验的单相双绕组换流变;目前国内的常规大容量高压直流输电工程一般选用单相双绕组形式的换流变,如  $\pm 800$  kV 直流换流站和部分  $\pm 500$  kV 的直流换流站。

通过对国内主流换流变设备厂家调研结果发现,目前大容量单相三绕组换流变压器生产制造没有技术困难<sup>[15]</sup>,随着厂家制造技术水平的日渐成熟,大容量的单相三绕组换流变可以通过其分相运输、现场组装的方式,解决运输受限的问题,为后续开展集约式换流站布置提供了可行性和技术支撑。

## 4 换流阀

换流阀是阀厅内的主要设备,换流阀的结构、布置型式是影响阀厅尺寸的关键因素。换流阀一般采用悬吊式结构。换流阀按照叠装型式分为二重阀和四重阀,在我国目前投运的  $\pm 500$  kV 直流输电工程中,两种结构均有成功运用。其中  $\pm 500$  kV、3 000 MW 的葛南、天广、贵广 I、II 回直流输电工程和  $\pm 500$  kV、2×3 200 MW 溪洛渡右岸电站送电广东等高压直流输电工程及部分特高压直流输电工程中的低端阀厅均采用的是四重阀;三常、三广、三沪等高压直流输电工程采用的是二重阀。随着电

压等级的提升,阀塔重量大,目前特高压直流工程的阀厅多采用二重阀结构。

从常规四重阀和二重阀布置方案来看,制约阀厅布置尺寸的主要因素是阀塔的尺寸和布置方式。阀塔采用四重阀布置方案时,每个阀厅内悬吊 3 个四重阀阀塔,每个阀组件之间呈之字形布置。阀厅布置整洁、美观,换流变与阀塔的电气连接简单、安全可靠,功能分区明确,与换流站总平面布置适应性较好。当换流站场地高度不受限制时,可以将四重阀的所有阀组件通过层间绝缘子悬吊在一起,通过增加阀厅的高度来减少阀厅的横向尺寸,实现集约式四重阀布置方式,即四重阀的单塔布置方案。

当换流变采用单相三绕组布置方式时,四重阀布置方式可以有效的节省阀厅区域的占地,一定程度上实现换流站的集约式布置。综合比较,四重阀阀厅占地面积较小,可以节省占地,更符合集约式布置的理念和要求。

## 5 组合式交流滤波器的适用性分析

目前交流滤波器电气设备均采用户外敞开式 AIS 设备;受不同设备间安全净距、设备尺寸、防磁空间要求等限制,整个交流滤波器区域的占地在整个换流站的布置中接近 1/4,如何合理有效的对交流滤波器场地进行优化,对减少换流站围墙内占地意义重大。

交流滤波器场按照区域划分为两部分:500 kV 交流滤波器小组围栏外设备及交流滤波器小组围栏内设备。

### 5.1 交流滤波器围栏外设备

借鉴 500 kV 交流变电站中 GIS 的思路,将滤波器围栏外的设备进行组合式布置,将围栏外的母线、断路器、隔离开关、电流互感器、电压互感器、接地开关等组合在一个气体绝缘的封闭组合电器 GIS 中,能够显著地节省交流滤波器区域的占地。另外,相对 AIS 设备,GIS 设备布置占地少,设备可靠性高,运行维护量少,且通过 GIL 管线引接,有利于交流滤波器的灵活布置。

### 5.2 交流滤波器围栏内设备

考虑到除了高压电容器塔 C1 和不平衡 CT 以外,其余均为 110 kV 以下低电压设备。因此,借鉴串抗平台的设计思路,对交流滤波器围栏内的低压电气设备按照分相层叠型式进行空间组合。组合

以后,同一相的低压电气设备放在同一平板上,每一个平板采用门型架结构,门型架采用小车轨道运输方式抽出进行设备的检修与更换,有效利用了空间,使得围栏内设备更为紧凑。

## 6 交流开关场的集约式布置

随着我国电力建设的迅速发展,交流设备型式日益集约化和多样化,技术成熟,制造水平先进,设备型式多样。从占地规模来看,常规设备占地最大,HGIS约为60%左右,GIS最为节省,约为30%左右;从设备采购价格来说,GIS最高,HGIS次之,AIS瓷柱式最低。随着我国国土资源日益减少,节约建设用地已经成为设计的重要指导思想,且换流站选址地区多为负荷集中地区,人口密度较大;选择GIS的设备型式,对节约占地,实现场区的集约式布置,具有重要的现实意义。GIS在常规交流变电站已获得大规模应用。

## 7 GIL 管母的应用

GIL是气体绝缘输电线路(gas insulated transmission line)的简称,结构上类似于GIS的母线,是20世纪六七十年代初开发并适用于变电站、水电站等的输电技术,是一种采用SF<sub>6</sub>气体或N<sub>2</sub>或SF<sub>6</sub>与N<sub>2</sub>混合气体绝缘,外壳与导体同轴布置的高电压、大电流的电力传输设备,具有传输容量大、损耗小、电容小、占地少、可靠性高、适用于恶劣环境的特点,为电力传输提供了一个紧凑、可靠、经济的电力输送方式。GIL的设计提供了有效的电磁屏蔽以保证最小的线路走廊要求并保证周围环境的安全。

气体绝缘输电线路近几年的应用越来越广泛,得益于市场对输电设备要求的不断提高。总体上看,GIL的关键技术主要体现在安全可靠、输电容量大、环境效率高等特点上。其中,可靠性和安全性是GIL区别与架空或电缆走线的关键技术。GIL作为一种新兴的输电方式,在国内外得到一定的发展和越来越广泛应用。在常规高压直流输电工程中,云南±800 kV普洱换流站、新松换流站和±500 kV昭通等换流站均采用了GIL管母作为连接导体,GIL使用范围广(单站使用多在1 km以上),场区布置简单、紧凑、节省占地,适用于换流站的集约式布置需要。

## 8 换流站集约式布置的主要问题

换流站主要包括直流场、阀厅及换流变区域、交流滤波器场和交流开关场四个区域;不同配电装置区域需结合交、直流线路走廊进行统筹考虑和整体规划,并结合站区的生产工艺流程进行布局。集约式换流站应在满足以上功能要求的前提下,从集约式设备的角度出发进行优化,打造理念先进、指标优异的设计方案,节约占地,最终实现换流站的集约式布置。

影响换流站集约式布置的设备主要是直流场和交流开关场;交流场设备技术成熟,特别是GIS设备对实现站区的集约式布置具有重要的意义。直流场集约式设备适应性较差,目前尚不具备组合式布置的条件;与常规交流变电站不同,高压直流输电是在“引进”和“消化吸收”的基础上逐步成长起来的,近几年来,国内的直流输电工程逐步实现了全国产化,设备制造水平有了显著提高,但是与外方的差距依然存在,个别直流设备的生产仍然依赖外方;另一方面,目前国内设备厂家出于开发成本和技术难度的考虑,研发重点在于如何更好的实现直流设备的完全自主国产化和优化自身设计,暂未对换流站的集约式设备进行大规模的研发和制造。因此,要实现直流场的集约式布置,还有较长的路要走。

## 9 结论

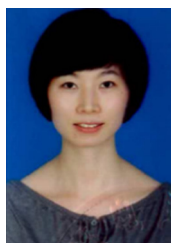
发展集约式换流站关键技术,符合国家低碳经济发展方针,也契合电网公司绿色电网发展目标。本文通过对换流站不同区域的设备进行分析,并结合目前国内的设备制造水平,提出了集约式换流站的布置思路。

- 1) 直流场推荐采用户内直流场布置方案,同时采用紧凑型的直流设备。
- 2) 换流变推荐采用单相双绕组和单相三绕组型式。对于输送功率较小或不受运输条件限制的直流工程,可采用三相一体式换流变。
- 3) 换流阀推荐采用四重阀布置方案。
- 4) 交流滤波器区域,围栏外可采用组合式设备,围栏内按照分相层叠型式进行空间组合。
- 5) 交流场推荐采用GIS设备。

## 参考文献:

- [1] 黄道春, 魏远航, 钟连宏, 等. 我国发展特高压直流输电中一些问题的探讨 [J]. 电网技术, 2007 (8): 6-12.  
HUANG D C, WEI Y H, ZHONG L H, et al. Discussion on several problems of developing UHVDC transmission in China [J]. Power System Technology, 2007, 31 (8): 6-12.
- [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 Q Y. Present state and application prospect of ultra HVDC transmission in China [J]. Power System Technology, 2005, 29 (14): 1-3.
- [3] 梁旭明, 张平, 常勇. 高压直流输电技术现状及发展前景 [J]. 电网技术, 2012, 36 (4): 1-9.  
LIANG X M, ZHANG P, CHANG Y. Recent advances in high-voltage direct-current power transmission and its developing potential [J]. Power System Technology, 2012, 36 (4): 1-9.
- [4] 中华人民共和国国家发展和改革委员会. 高压直流换流站设计技术规定: DL/T 5223—2005 [S]. 北京: 中国电力出版社, 2005.  
National Development and Reform Commission. Code for design of HVDC converter station: DL/T 5223—2005 [S]. Beijing: China Electric Power Press, 2005.
- [5] 中华人民共和国住房和城乡建设部, 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局.  $\pm 800$  kV 直流换流站设计规范: GB 50789—2012 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2012.  
People's Republic of China Ministry of Housing and Urban Rural Development, State General Administration of the People's Republic of China for Quality Supervision and Inspection and Quarantine. Code for design of  $\pm 800$  kV DC converter station: GB 50789—2012 [S]. Beijing: China Planning Press, 2015.
- [6] 谭向宇, 郭浩, 张乔根, 等. 直流下 GIS 内运动金属微粒的超声波特性及状态识别 [J]. 高电压技术, 2010, 36 (2): 391-395.  
TAN X Y, GUO H, ZHANG Q G, et al. DC ultrasonic characteristics and states recognition of motion metallic particles in GIS [J]. High Voltage Engineering, 2010, 36 (2): 391-395.
- [7] 司文荣, 李军浩, 袁鹏, 等. 直流电压下油纸绝缘中局部放电的超高频特性 [J]. 高电压技术, 2008, 34 (7): 1336-1341.  
SI W R, LI J H, YUAN P, et al. Ultra-high-frequency characteristic of partial discharge in oil-paper insulation under DC voltage [J]. High Voltage Engineering, 2008, 34 (7): 1336-1341.
- [8] 牛海清, 陈小林, CAVALLINI A, 等. 高压直流局部放电的试验研究及其放电源识别策略 [J]. 高电压技术, 2009, 35 (7): 1641-1647.  
NIU H Q, CHEN X L, CAVALLINI A, et al. Experimental research on partial discharge at HVDC voltage and identification of PD source [J]. High Voltage Engineering, 2009, 35 (7): 1641-1647.
- [9] 杨钦慧. 500 kV 交-直变换站用 GIS [J]. 高压电器, 1999, 35 (2): 61-62.  
YANG Q H. 500 kV AC-DC converter station [J]. High Voltage Apparatus, 1999, 35 (2): 61-62.
- [10] 汪泓, 邱毓昌. 直流气体绝缘开关装置绝缘设计的探讨 [J]. 中国电力, 2002 (11): 50-53.
- [11] 唐炬, 潘成, 王邸博, 等. 高压直流绝缘材料表面电荷积聚研究进展 [J]. 电工技术学报, 2017, 32 (8): 10-21.  
TANG J, PAN C, WANG D B, et al. Development of studies about surface charge accumulation on insulating material under HVDC [J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2017, 32 (8): 10-21.
- [12] 王邸博, 唐炬, 陶加贵, 等. 直流电压下闪络及电晕后聚合物表面电荷积聚特性 [J]. 高电压技术, 2015, 41 (11): 3618-3627.  
WANG D B, TANG J, TAO J G, et al. Surface charge accumulation characteristics on polymer after flashover and corona charging under DC voltage [J]. High Voltage Engineering, 2015, 41 (11): 3618-3627.
- [13] OHKI Y. Thyristor valves and GIS in Kii channel HVDC link [J]. IEEE Electrical Insulation Magazine, 2001, 17 (3): 78-79.
- [14] 杨钦慧. 日本交直流换流设备的新技术 [J]. 华通技术, 2000 (3): 42-48.
- [15] 赵晓君. 高压直流输电工程技术 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2011.  
ZHAO W J. HVDC transmission engineering technology [M]. China Electric Power Press, 2011.
- [16] 胡劲松, 张映楨, 葛明, 等. 锦屏特高压换流站换流变压器型式选择与大件运输研究 [J]. 电力设备, 2008, 9 (10): 28-30.  
HU J S, ZHANG Y Z, GE M, et al. Study on converter type selection and transportation of Jinping UHV converter station [J]. Electrical Equipment, 2008, 9 (10): 28-30.
- [17] 孙优良, 王清璞, 李文平, 等.  $\pm 800$  kV 直流输电工程用换流变压器的研发 [J]. 电力设备, 2006, 7 (11): 17-20.  
SUN Y L, WANG Q P, LI W P, et al. Research and development of converter transformers for  $\pm 800$  kV HVDC transmission projects [J]. Electrical Equipment, 2006, 7 (11): 17-20.

## 作者简介:



黄阳

## 黄阳 (通信作者)

1984-, 女, 湖南常德人, 中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司高级工程师, 武汉大学高电压与绝缘技术专业硕士, 现从事变电站(换流站)的电气一次设计工作 (e-mail) huangyang@gedi.con.cn。

## 王建武

1981-, 男, 湖北荆州人, 中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司级工程师, 武汉大学高电压与绝缘技术专业博士, 现从事变电站(换流站)的电气一次设计工作 (e-mail) wangjianwu@gedi.com.cn。

(责任编辑 郑文棠)