

# 某背靠背换流站柔性直流换流变压器出线 布置方案比较与选择

殷勤,李沛准

(中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司,广东 广州 510663)

**摘要:**换流站站址周围有居民小区,人口密度较大,需要减少换流站对周边环境的影响。柔性直流变压器作为换流站的噪声源和主要设备之一,如何布置、采用何种出线方式是研究的关键问题。基于已投运换流站的典型出线及布置方案并结合某工程的具体布置要求,给出了柔性直流变压器采用油气套管、空气套管及出线方向不同组合等6种出线方案,并分析了每种出线方案的优缺点。从试验与备用相更换的便利性、出线结构的成熟性、站内布置空间可行性以及对网侧进线方式的限制性等对不同出线方案进行比较后,建议该工程采用阀网长轴同侧出线结构,即柔性直流变压器采用阀侧、网侧均为空气套管且同一方向侧出的布置方案。该方案试验和运维便利性好,节约站内布置尺寸,可适应不同网侧进线方式。

**关键词:**柔性直流变压器;出线结构;同侧出线

**中图分类号:**TM 402 **文献标志码:**A **文章编号:**1003-6954(2024)01-0078-06

**DOI:**10.16527/j.issn.1003-6954.20240112

## Comparison and Selection of Layout Scheme for Flexible HVDC Transformer in A Back-to-back Converter Station

YIN Qin, LI Peizhun

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

**Abstract:** There are residential areas around the converter station, and the population density is relatively large. In order to promote the smooth implementation of the project and reduce the impact of converter station on the surrounding environment, as one of the noise sources and main equipment of converter station, how to layout and what kind of outlet method for flexible HVDC transformers are the key issues to be studied. Based on the typical outlet and layout scheme of converter station in operation, and combined with the specific layout requirements of converter station, six outlet schemes of flexible HVDC transformer using oil-gas bushing or air bushing, and different combinations of outlet direction are given, and the advantages and disadvantages of each outlet scheme are analyzed. Different outlet schemes are compared from the convenience of test and replacement of standby phase, the maturity of outlet structure, the feasibility of space arrangement in the station, and the restriction of outlet method etc. It is suggested that the outlet structure with the same side of the long axis is adopted for the converter station, that is, transformer adopts the arrangement scheme that both the valve side and the grid side are air bushing and the same direction is out of the side, which is convenient for testing, operation and maintenance, saves the layout size in the station, and can adapt to the different grid side into the line.

**Key words:** flexible HVDC transformer; outlet structure; outlet structure with the same side

## 0 引言

已投运的某背靠背柔性直流换流站站址周边大部分为规划的工业区,站址北侧为已有住宅小区、东侧为规划的工业区、西南为自然村落,人口密度较

大。工程建设方案必须考虑与周围环境的协调一致<sup>[1-2]</sup>。周边小区居民主要在噪声问题、变电站设备感观问题等方面提出了反对建设意见。为了利于工程推进实施,减少项目建设完成后对周边环境的影响,作为换流站的主要噪声源与核心设备,有必要开展柔性直流换流变压器(以下简称为柔直变)出

线布置方案的研究工作。

目前国内外柔性直流输电工程中,由于柔直变不需要阀侧套管伸入阀厅,柔直变的网侧、阀侧套管出线方式多与常规交流变压器类似,网侧、阀侧套管从油箱顶盖斜向上出线或者从油箱侧壁出线后再向上。这种出线方式的柔直变一般考虑在户外布置,采用 box-in 技术对换流变压器本体进行封闭来降低噪声,但噪声能降低的程度有限。因此,下面提出了柔直变的多种出线方式并进行比选,给出适应所述工程的建议方案。

## 1 柔直变布置方案的需求

与以往换流站的选址相比,所述换流站站址离小区距离是最近的,因此柔直变的噪声问题和设备的感观问题较为突出。从减少对小区居民影响的角度出发,并结合运行维护的需求,提出该柔直变布置的需求为:

1) 为了降低裸露设备对小区居民的感观影响,以及柔直变本体噪声及冷却器噪声对周边小区的影响,需要采用全户内布置形式;

2) 柔直变有多种出线布置方案,需要比较试验与备用相更换的便利性、出线结构的成熟性、站内布置空间可行性以及对网侧进线方式的限制性等,推荐适合该工程的出线布置方案。

## 2 换流变压器典型出线布置方案

### 2.1 常规直流换流变压器

为便于接线并保证换流变压器布置尺寸与阀厅布置尺寸配合,常规直流换流变压器出线一般采用如图 1 所示方式:阀侧套管短轴侧出线,伸进阀厅;网侧套管采用油箱顶部出线<sup>[3-5]</sup>;网侧、阀侧均采用空气套管。

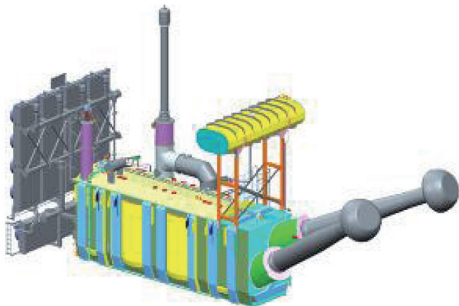
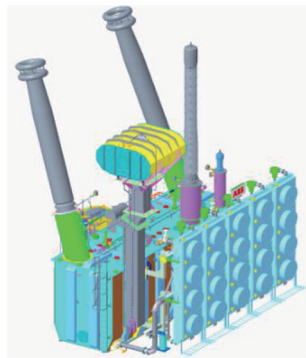


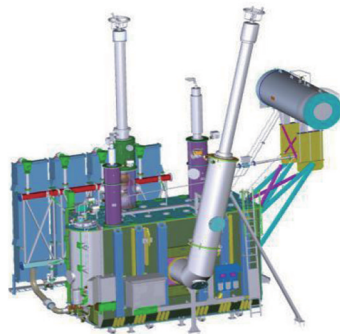
图 1 常规直流换流变压器出线方式

### 2.2 柔性直流换流变压器

已投运的柔性直流输电工程中,柔直变主要有两种出线方式:1) 网侧、阀侧套管从油箱顶盖斜向上出线,如图 2(a) 所示;2) 网侧、阀侧套管从油箱侧壁出线后再向上<sup>[4,6]</sup>,如图 2(b) 所示。



(a) 从油箱顶盖斜向上出线



(b) 从油箱侧壁出线

图 2 柔性直流换流变压器出线方式

## 3 柔直变出线方式比选

由于邻避效应突出,所述换流站柔直变在布置时需满足如下条件:

1) 该站柔直变采用全户内布置,减少噪声对周边的干扰;

2) 由于此换流站增城侧离小区较近,应尽量减少架空线的设置,因此柔直变增城侧网侧采用 GIS 分支母线进线;而穗东侧离小区较远,从降低造价与方便运维的角度考虑,穗东侧网侧推荐采用架空进线。

根据以上条件,提出了 6 种不同的柔直变出线布置方案,如表 1 所示。下面针对柔直变不同的出线布置方式,分别给出平面、断面图,并分析各自的优缺点。

3.1 方案 1:网侧采用油气套管,阀侧采用空气套管侧出线

网侧进线采用 GIS 分支母线与油气套管连接,阀

侧进线采用变压器套管侧出。结合主流变压器的询价尺寸,柔直变室净空尺寸设计为  $19\text{ m}\times 14\text{ m}\times 15\text{ m}$ 。柔直变区域横向尺寸约为  $45\text{ m}$ 。方案 1 的柔直变室布置如图 3 所示。

表 1 柔直变出线布置方案

方案	网侧	阀侧
1	油气套管	空气套管侧出线
2	油气套管	空气套管向上出线
3	油气套管	油气套管
4	空气套管向上出线	空气套管向上出线或侧出线
5	空气套管一侧侧出	空气套管另一侧侧出
6	空气套管同一侧侧出	

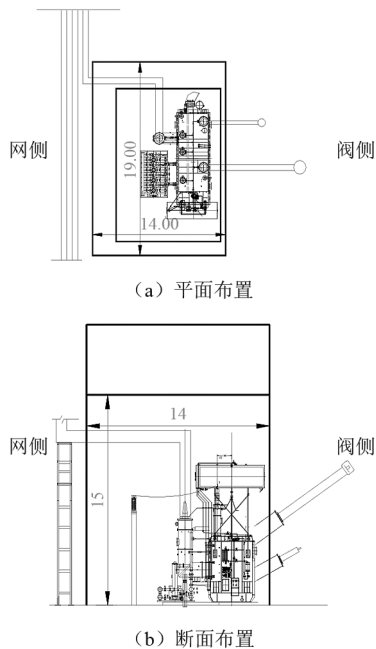


图 3 方案 1 柔直变室布置

方案 1 的优点为:网侧、阀侧套管分别布置在变压器两侧,接线较为清晰,避免交叉;同时阀侧、网侧套管出线均为常规出线结构。

方案 1 的缺点为:

1) 对现场试验、备用变压器更换造成一些限制与不便。由于柔直变网侧采用油气套管,与 GIS 分支母线连接时需设置可拆卸断口便于对 GIS 进行工频耐压试验。柔直变备用相更换时,需要拆除室内网侧部分 GIS 管母线。同时,在对柔直变进行感应局部放电的现场交接试验时,网侧需装设临时试验套管。另外,受房间高度限制,需要在室外完成交接试验后再整体推入变压器室。

2) 限制了穗东侧网侧进线形式:为了保证两侧柔直变形式统一,减少备用变压器的数量,穗东侧与增城侧均需采用 GIS 分支母线进线。

3) 增加了 GIS 分支母线设备的制造难度。如图 3(a) 所示,柔直变网侧进线为平行的 GIS 分支母线,除了柔直变运输路段,柔直变室前也需要满足柔直变带套管运输的尺寸(约  $14\text{ m}\times 15\text{ m}$ )要求。但 GIS 标准母线长度约  $7\text{ m}$ ,最大跨距不超过  $10\text{ m}$ ,底部支撑的高度一般不超过  $7.5\text{ m}$ ,因此这里需要设备厂家采用特殊设计,增加了设备的制造难度。

4) 网侧中性点采用空气套管,中性点管母线需要采用多根电缆并联进行汇流,柔直变更换时,需要拆除电缆头及支柱绝缘子,增加了备用相更换时间。

### 3.2 方案 2:网侧采用油气套管,阀侧采用空气套管向上出线

网侧进线采用 GIS 分支母线与油气套管连接,阀侧进线采用变压器套管向上出。柔直变室净空尺寸为  $19\text{ m}\times 16\text{ m}\times 17\text{ m}$ 。柔直变区域横向尺寸约为  $45\text{ m}$ 。方案 2 的柔直变室布置如图 4 所示。

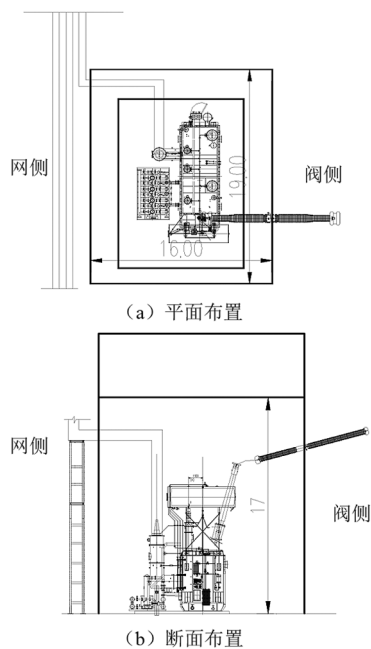


图 4 方案 2 柔直变室布置

方案 2 的优、缺点与方案 1 基本一致,区别在于方案 2 的阀侧套管向上出线与阀侧设备连接时需要增加穿墙套管,设备费与设备维护工作有所增加。

### 3.3 方案 3:网侧、阀侧均采用油气套管

柔直变网侧、阀侧均为油气套管,采用 GIS 分支母线与油气套管连接。柔直变室净空尺寸按  $18\text{ m}\times 16\text{ m}\times 13\text{ m}$ 。柔直变区域横向尺寸约为  $45\text{ m}$ 。方案 3 的柔直变室布置如图 5 所示。

方案 3 在方案 1、方案 2 的基础上,将阀侧套管

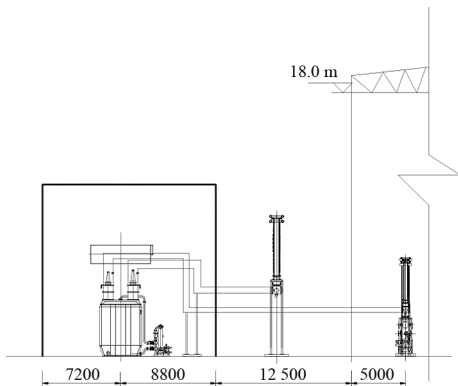


图 5 方案 3 柔直变室布置(断面)

修改为油气套管。其优点为:与方案 1、方案 2 相比,柔直变的高度有所降低,可以压缩柔直变室的高度;油气套管出线均为常规出线,其结构、制造与运行经验丰富。

方案 3 的缺点为:

1) 由于柔直变网侧、阀侧都采用油气套管,与方案 1 相同,对现场试验、备用变压器更换造成一些限制与不便;

2) 同方案 1,限制了穗东侧网侧进线形式;

3) 同方案 1,增加了 GIS 分支母线设备的制造难度;

4) 网侧、阀侧中性点采用空气套管,中性点管母线需采用多根电缆并联进行汇流,同样会增加备用相更换时间。

#### 3.4 方案 4: 阀侧网侧均为空气套管,网侧向上出线,阀侧向上出线或侧出线

方案 4 与鲁西、张北柔直变布置类似,网侧套管从油箱顶部向上出线,阀侧从油箱顶部向上出或从油箱侧壁侧出。但由于柔直变采用全户内布置,需考虑柔直变户内与户外进线部分的连接方案。网侧进线可采用交流 500 kV 穿墙套管进线或者 GIS 分支母线穿墙,阀侧可采用交流 300 kV 穿墙套管。

增城侧采用 GIS 分支母线,建议网侧采用 GIS 分支母线穿墙进柔直变室。柔直变网侧采用空气套管,需要增加 GIS 分支母线末端空气套管与柔直变网侧空气套管进行连接。布置需考虑空气净距以及试验距离;考虑均压环外径(1.0 m)及墙体厚度等,柔直变室宽度方向需要增加 4 m;考虑各厂家网侧套管高度不一致,柔直变室的净空尺寸不小于 19 m×20 m×20 m。

穗东侧网侧进线采用架空进线,需要设置 500 kV 穿墙套管,以实现网侧进线引入柔直变室。考虑

500 kV 交流穿墙套管安装空间及带电距离,初步估计柔直变室的净空尺寸不小于 19 m×20 m×22 m。

方案 4 的柔直变室布置如图 6 所示。

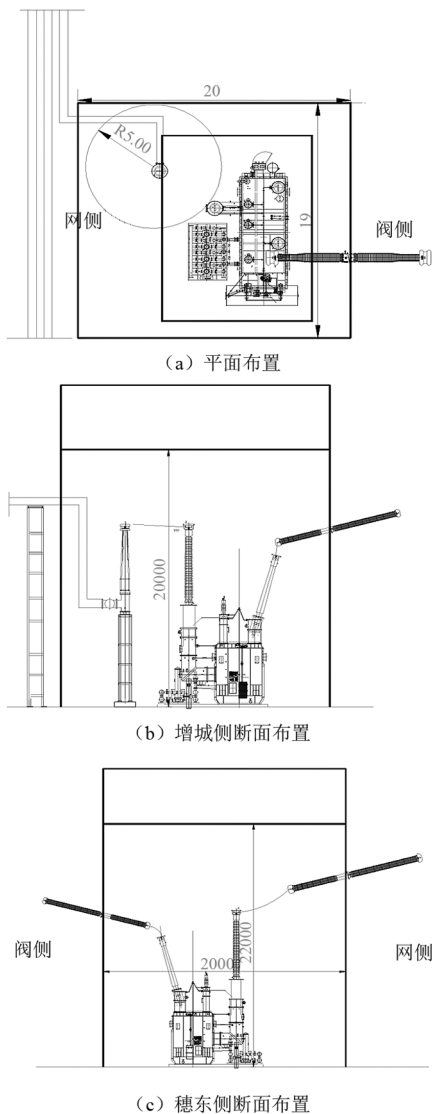


图 6 方案 4 柔直变室布置

方案 4 的优点与方案 1 一致,同时柔直变可以与 GIS 分支母线分开进行试验,可以适应网侧 GIS 或架空进线两种接线形式。

方案 4 的缺点为:

1) 柔直变备用相更换时,需要拆除室内网侧部分 GIS 侧套管及分支母线。对备用变压器更换造成一些限制与不便;

2) 同方案 1,增加了 GIS 分支母线设备的制造难度;

3) 同方案 3,由于阀侧及网侧中性点的布置问题会增加备用相更换时间;

4) 穗东侧靠网侧需采用穿墙套管,变压器运输

时需要考虑备用相与穿墙套管的电气距离,单侧增加横向尺寸约 12 m;

5) 柔直变区域横向尺寸较大,约为 55 m。

### 3.5 方案 5: 阀侧网侧均为空气套管, 分别向两侧侧出线

柔直变网侧空气套管侧出与 GIS 分支母线连接, 阀侧套管侧出与启动回路设备连接。方案 5 的柔直变室断面布置如图 7 所示。

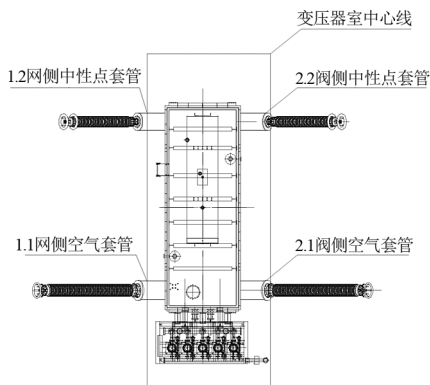


图 7 方案 5 柔直变室布置 (断面)

方案 5 的优点为: 网侧、阀侧均采用空气套管侧向穿出柔直变室, 节省了穿墙套管及 GIS 分支母线长度; 柔直变套管与 GIS 分支母线网侧及阀侧有明显断开点, 便于两者分开试验; 可以适应网侧 GIS 或架空进线两种接线形式。

方案 5 的缺点为:

1) 两侧均为套管侧出, 无法打开柔直变室大门, 柔直变移出需要破除柔直变室网侧墙壁。

2) 柔直变室宽度由柔直变器身及套管升高座宽度确定, 与其他方案相比房间较窄, 不利于运行维护。

3) 柔直变带套管在站内转运时, 长度方向需要考虑阀侧套管长度+网侧套管长度+柔直变本体宽度共约 18 m; 再考虑带电距离要求柔直变转运时长度方向需要约 24 m, 占用空间较大。

4) 同方案 1, 增加了 GIS 分支母线设备的制造难度。

5) 柔直变区域横向尺寸较大, 约为 57 m; 主控楼前的变压器运输空间需增加 7 m。

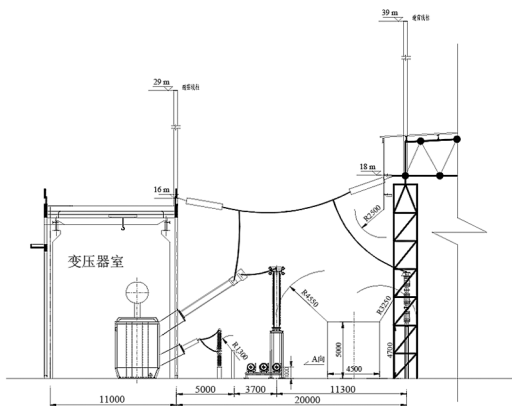
### 3.6 方案 6: 阀侧网侧均为空气套管, 同一方向侧出线

方案 6 的柔直变室布置如图 8 所示。柔直变网侧、阀侧采用空气套管从柔直变室的阀侧方向伸出。增城侧网侧 GIS 分支母线的起点为增城站出线间

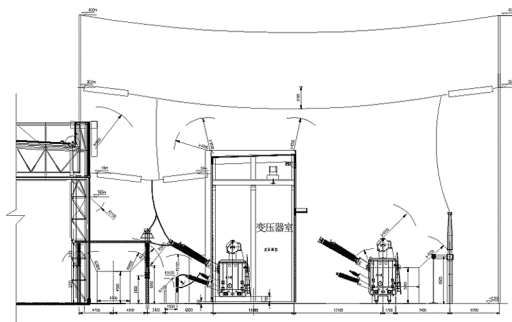
隔, 跨过柔直变运输道路, 终点为柔直变室与启动回路室间的空地。增城侧网侧采用 GIS 分支母线通过短跳线与柔直变网侧空气套管相连。柔直变阀侧空气套管通过跳线与启动回路区域的设备相连。

穗东侧网侧 GIS 分支母线的起点为 GIS 配电装置, 终点为 GIS 室侧的空地。柔直变网侧空气套管通过跳线与 GIS 分支母线套管相连, 柔直变阀侧空气套管通过跳线与启动回路区域的支柱绝缘子设备相连。

柔直变阀侧、网侧中性点套管均采用空气套管, 各相的中性点通过铝管母线进行汇流。



(a) 增城侧断面



(b) 穗东侧断面

图 8 方案 6 柔直变室布置

方案 6 的优点为: 柔直变网侧和阀侧均采用空气套管侧向伸出, 不用额外增加空气套管的断口, 节省了网侧与阀侧的穿墙套管。柔直变的整体高度与网侧阀侧采用油气套管相当。此方案避免了网侧阀侧连线交叉的情况, 且柔直变区域横向尺寸仅约 40 m。

方案 6 的缺点为: 出线结构成熟性相对较低。

### 3.7 方案对比

将 6 个方案进行对比, 如表 2 所示。

方案 1 至方案 5 均为成熟的柔直变出线方式。

方案 3 的试验、备用相更换便利性较差, 相比方案 6, 柔直变区域横向尺寸增加 5 m, 网侧只能为 GIS 进线, GIS 分支母线有多处高跨; 网侧、阀侧接线

表 2 柔直变出线各种布置方式对比

对比项	方案 1	方案 2	方案 3
试验是否便利	否	否	否
备用相更换是否便利	否	否	否
出线结构是否成熟	是	是	是
站内布置空间可行性	横向尺寸 45 m	横向尺寸 45 m	横向尺寸 45 m
对网侧进线的限制	两侧均为 GIS 进线	两侧均为 GIS 进线	两侧均为 GIS 进线
网侧阀侧接线是否交叉	否	否	是
GIS 分支母线制造难度	大	大	较大
对比项	方案 4	方案 5	方案 6
试验是否便利	是	是	是
备用相更换是否便利	否	否	是
出线结构是否成熟	是	是	是
站内布置空间可行性	横向尺寸 55 m	横向尺寸 57 m,纵向 增加 7 m	横向尺寸 40 m
对网侧进线的限制	无	无	无
网侧阀侧接线是否交叉	否	否	否
GIS 分支母线制造难度	大	较大	一般

还存在交叉,给运维带来不便。

方案 1、方案 2 相比方案 3 来说,网侧、阀侧接线没有交叉,运维更为便利。

方案 4、方案 5 与方案 1、方案 2 相比,试验便利性好,网侧进线不受限制,但方案 4 柔直变区域横向尺寸相比方案 6 增加约 15 m,方案 5 柔直变区域横向尺寸相比方案 6 增加约 17 m,纵向尺寸需增加约 7 m。

方案 6 与方案 4、方案 5 相比,备用相更换便利性好,不增加横向尺寸,GIS 分支母线仅有两处高跨,但出线结构成熟性低一点。

针对方案 6,即柔直变阀网长轴同侧出线结构形式,国内几大变压器厂家进行了结构及出线初步设计,提供了引线整体布置图;在此基础上,计算分析该结构形式的变压器在主体结构、电磁场分布、内绝缘、生产工艺等方面相对常规变压器的变化,评估其技术成熟度及风险性;同时对比类似出线结构的工程案例,分析了所提方案是否存在技术的难度及风险。得出以下结论:

1)常用的换流变压器(柔直变)厂家均采用单相四柱、双柱并联结构。线圈排列结构为铁芯—阀侧线圈—网侧线圈—调压线圈,与传统换流变压器结构相同。

2)阀侧绕组采用线圈端部轴向出线,网侧绕组采用辐向出线;经过仿真,电场强度、磁场强度、机械强度均满足设计要求;与常规换流变压器阀侧套管由短轴侧侧出出线、网侧套管从油箱顶盖出线方式

相比,该工程阀侧采用阀、网长轴侧出线,内部引线更短,更利于出线装置的布置。

3)各厂的类似出线结构变压器均有可参考的工程案例,可满足工程建设要求。

因此建议所述工程采用方案 6。

## 4 结 论

由于所述背靠背换流站地理位置的特殊性,工程建设方案须考虑与周围环境的协调一致性,上面针对柔直变压器的各种出线布置方案进行了比较研究。针对所述工程的实际情况,从试验与备用相更换的便利性、出线结构的成熟性、站内布置空间可行性、对网侧进线方式的限制性、网侧和阀侧接线是否交叉以及 GIS 分支母线的制造难度等多个方面分析了每个方案的优缺点,推荐选择柔直变压器阀侧、网侧均为空气套管且同一方向侧出的方案。该方案试验、运维便利性好,节约站内布置尺寸,可适应不同网侧进线方式且 GIS 分支母线的制造难度也较低。通过对主流变压器厂家的调研,认为该方案的出线结构成熟,技术成熟度较高,不存在技术风险。推荐所述工程采用该出线方式。

对于其他不同的工程特点与平面布置方式,也可以根据前述 6 种出线方式进行比较,选择柔直变合适的出线方式。

### 参考文献

- [1] 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.
- [2] 朱博,姚晓健,吴彦伟,等. 中通道柔直背靠背换流站的布置优化研究[J]. 南方能源建设,2021,8(S1):39-45.
- [3] 郝为瀚,郭金川,周钰,等.  $\pm 800$  kV 柔性直流换流站换流变区域电气布置研究[J]. 南方能源建设,2018,5(3):67-71.
- [4] 简翔浩,卢毓欣,郝为瀚,等. 广州换流站柔性化改造设计方案研究[J]. 南方能源建设,2020,7(4):54-60.
- [5] 黄阳,王建武,鲁翔,等. 集约式绿色换流站设备选型及优化布置研究[J]. 南方能源建设,2020,7(1):107-112.
- [6] 谢畅,陈建华,钱锋,等. 超高压柔性直流换流站换流区优化布置研究[J]. 浙江电力,2021,40(3):29-34.

作者简介:

殷勤(1989),女,硕士,研究方向为变电站和换流站设计。(收稿日期:2023-06-07)