

The Area Comparison of LCC-HVDC and VSC-HVDC

Jiang Haibo, Fang Jing, Zhang Tao, Fan Xiaomu

Electric Power Planning and Engineering Institute, Beijing, China

Email address:

hbjiang@eppei.com (Jiang Haibo), jfang@eppei.com (Fang Jing), taozhang@eppei.com (Zhang Tao), cxfan@eppei.com (Fan Xiaomu)

To cite this article

Jiang Haibo, Fang Jing, Zhang Tao, Fan Xiaomu. The Area Comparison of LCC-HVDC and VSC-HVDC. *Science Discovery*. Vol. 5, No. 7, 2017, pp. 502-508. doi: 10.11648/j.sd.20170507.15

Received: October 31, 2017; Accepted: November 9, 2017; Published: December 28, 2017

Abstract: With the mature of high power IGBT, VSC-HVDC technique is gradually adopted in principle power grid with higher voltage and capacity. At present, it is generally considered that compared with traditional HVDC technique, VSC-HVDC will save lots of land resources. However, it is not always the case. In this paper, two recent projects are used to compare the area between LCC-HVDC and VSC-HVDC. The factors which affect the area of LCC-HVDC converter station and VSC-HVDC converter station are analyzed. Generally, with the improvement of DC voltage, the advantage of VSC-HVDC for land saving would gradually decrease. The comparison between the area of LCC-HVDC and VSC-HVDC is mainly depend on DC rate Voltage, the nominal AC voltage, the account of groups for AC filter, etc.

Keywords: VSC-HVDC, LCC-HVDC, Area, Converter Station

常规直流输电与柔性直流输电工程占地对比

姜海博, 方静, 张涛, 樊晓牧

电力规划设计总院, 北京市, 中国

邮箱

hbjiang@eppei.com (姜海博), jfang@eppei.com (方静), taozhang@eppei.com (张涛), xmfan@eppei.com (樊晓牧)

摘要: 随着大功率压接式IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)器件的逐渐成熟, 柔性直流技术(VSC-HVDC)已逐步在主网中铺开使用, 其电压等级和输送容量逐年攀升。目前普遍认为柔性直流输电技术相比于常规直流技术(LCC-HVDC)会节省大量的土地资源, 然而事实上不能一概而论, 本文通过两个近期的工程实例, 对两种技术路线的占地情况分区域进行对比, 分析了给出影响各区域占地的因素。随着直流电压的上升, 柔性直流技术的占地优势会逐渐缩小, 柔性直流输电和常规直流输电占地对比主要取决于直流额定电压、常规直流交流侧标称电压、常规直流交流滤波器组数、柔性直流是否采用高低阀组等因素。

关键词: 柔性直流, 常规直流, 占地面积, 换流站

1. 引言

随着大功率压接式IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)器件的逐渐成熟, 柔性直流技术(VSC-HVDC)已逐步在主网中铺开使用, 其电压等级和输送容量逐年攀升。[1]

目前我国的柔性直流工程建设如火如荼, 已有舟山、南澳、厦门、鲁西背靠背等多个工程先后顺利投运, 渝鄂背靠背已进入工程建设阶段, 张北柔直、乌东德送出工程也接近完成初步设计阶段。由于柔性直流没有换相失败的特性, 葛沪直流、天广直流也在论证受端换流站改造成柔性直流换流站的可能性。[2]

相比于常规直流技术，柔性直流输电技术更为昂贵，目前投运的工程初期调试消缺时间较长；但柔性直流也具有很多常规直流所没有的技术优势，采用可关断的器件，具有更多的控制自由度，柔直直流输电技术具有可独立控制有功功率和无功功率，不会发生系统换相失败，可提供快速独立的动态无功补偿，解决多直流馈入的问题，响应速度快等优势。[3] [4] [5]

柔性直流技术的另一个优点在文献中被大量提到，即：柔性直流基本不需要额外的无功补偿滤波器，同样的工程采用柔性直流技术要比采用常规直流技术会更为节省土地资源，十分适合于土地资源紧张区域的应用。[5] [6]然而，事实并非一概而论，本文根据近期开展的两个工程实例对

同一个换流站在相同的输入条件下分别采用柔性直流技术和常规直流技术的工程占地进行对比分析。

2. 鲁西背靠背柔直单元与常规直流单元的占地对比

鲁西换流站是世界上首个采用常规直流单元和柔性直流单元并列运行的背靠背换流站，其直流额定电压为350kV，交流侧的标称电压为500kV。该工程1期分别投运1个1000MW常规直流单元和1个1000MW柔性直流单元，目前正在扩建1×1000MW常规直流单元。



图1 鲁西换流站全站鸟瞰图。

表1 鲁西背靠背常直和柔直的占地对比表。

		长(m)	宽(m)	一期数量	一期面积(公顷)	终期数量	终期面积(公顷)
常规直流	阀厅尺寸	40	32	1	0.13	2	0.26
	换流变区域(含阀厅)	63	95	1	0.60	2	1.20
	换流变进线PLC区域	50	37	2	0.37	4	0.74
	ACF区域(云南侧2大组+广西侧2大组)	303	144	1	4.35	1	4.35
	广西侧第三大组ACF	111	111	1	1.23	1	1.23
	常规单元总面积(换流变阀厅区域+ACF+PLC, 共2个常规直流单元)				6.55		7.52
	1个常规直流单元平均总面积						3.76
柔性直流	阀厅尺寸	71	57	2	0.81	2	0.81
	柔直区域总面积(1个柔直单元)	278	72	1	2.0016	1	2.0016

鲁西背靠背的柔性直流单元与常规直流单元容量一致、电压相等，可以达到在同样的设计条件和设计深度对比柔性直流和常规直流技术的要求，是一个难得的例证。

图1为鲁西背靠背的鸟瞰图，从图中可以看出只有站址中间的红线区域为柔直区域，其他均为常规直流区域和交流开关场，具体尺寸如表1所示：

从表1中可以看出，针对鲁西背靠背工程，相同输入条件下，1个常规直流单元的平均总占地面积为3.76hm²，而1个柔性直流单元的平均总占地面积为2hm²，1个常规直流单元接近1个柔性直流单元占地面积的2倍。

3. 乌东德送出工程柔直方案与常直方案占地对比

乌东德电站送电广东广西输电工程拟采用±800kV多端直流输电方案,送电规模为8000MW。工程拟采用三端直流输电方案，建设1回±800千伏、800万千瓦特高压多端直流输电工程，送端云南建设±800千伏、800万千瓦换流站，受端广东建设±800千伏、500万千瓦换流站，广西建设±800千伏、300万千瓦换流站。

由于采用的技术方案十分新颖，在世界范围内为首次工程应用，为了充分论证该工程技术方案的可行性、

合理性、该工程的两个受端换流站（龙门换流站和柳北换流站），方便南网公司和国家能源局决策，在可行性研究阶段，按照同等深度分别对柔性直流方案和常规直流方案进行了成套设计和工程设计工作。

由于设计目标是同一个换流站，设计深度也均已达到可行性研究的深度，乌东德送出工程两个受端换流站对分析柔性直流和常规直流换流站占地具有重要的意义。

3.1. 龙门换流站柔直方案与常直方案的占地对比

对于常规直流方案，全站划分为直流场、阀厅及换流变压器区域、500kV交流场、500kV降压变及35kV交流场、220kV交流场、500kV交流滤波器场、站前区，其面积分别如图2所示。围墙内用地面积19.05公顷。[9]

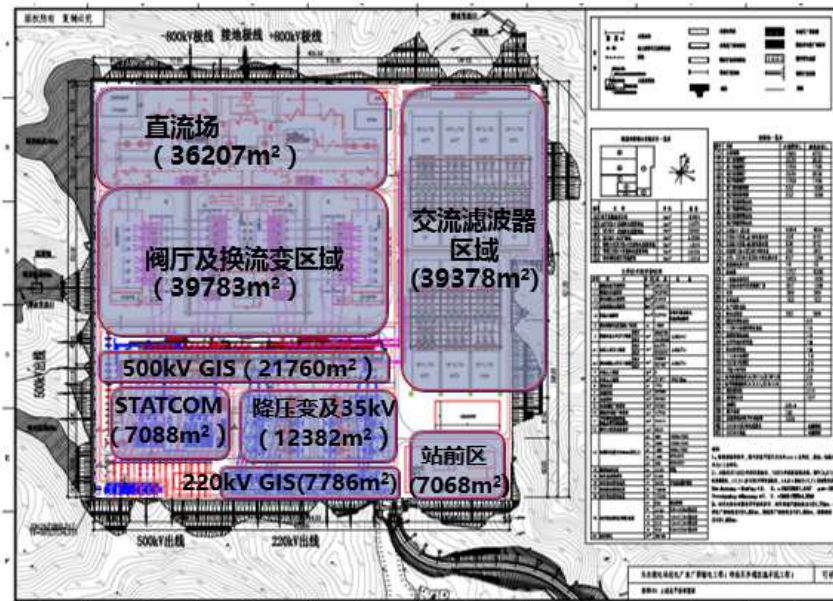


图2 龙门换流站常规直流方案。

对于柔性直流方案，全站划分为直流场、阀厅、电抗器室及联接变压器区域、500kV交流场、500kV降压变及35kV交流场、220kV交流场、站前区，其面积分别如图3

所示。本工程阀厅中除了包括柔直换流阀之外，桥臂电抗器也布置在阀厅内。围墙内用地面积18.74公顷。

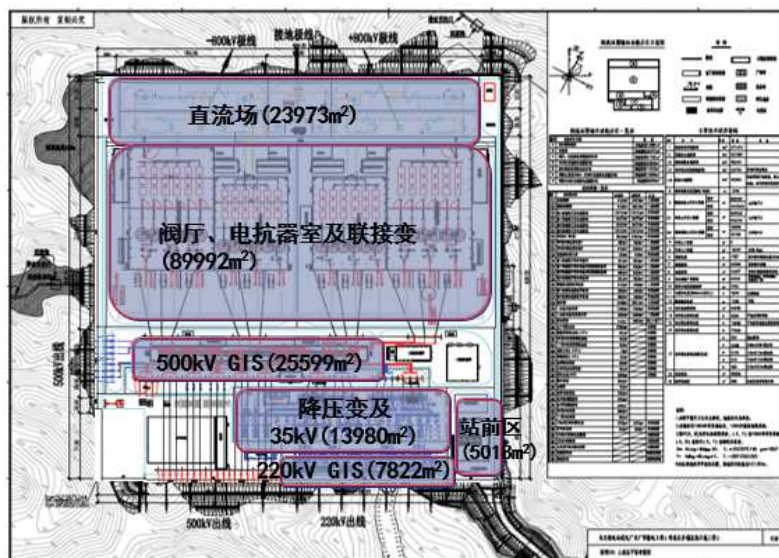


图3 龙门换流站柔性直流方案。

柔性直流方案无交流滤波器场地，其直流滤波器场地要小于常规直流方案（无直流滤波器）；但其阀厅、电抗器室及联接变区域的占地要远大于常规直流阀厅及换流变区域。综合来看，龙门换流站柔直方案的占地面积与常

规直流的占地面积基本相当（常规直流方案占地面积略大于柔性直流方案，但扣除STATCOM所占的面积，柔性直流方案则会大于常规直流方案）。

3.2. 柳北换流站柔直方案与常直方案的占地对比

对于柳北换流站，其常规直流方案区域划分与龙门换流站类似，多了业主用于做培训的实训场地，此外，为了

配合VSC-HVDC的换流站倒换极性，在直流场地增加了部分倒换极性用的隔离开关，一定程度上增大了该方案直流场的面积，该方案围墙内用地面积为23.39hm²。[10]

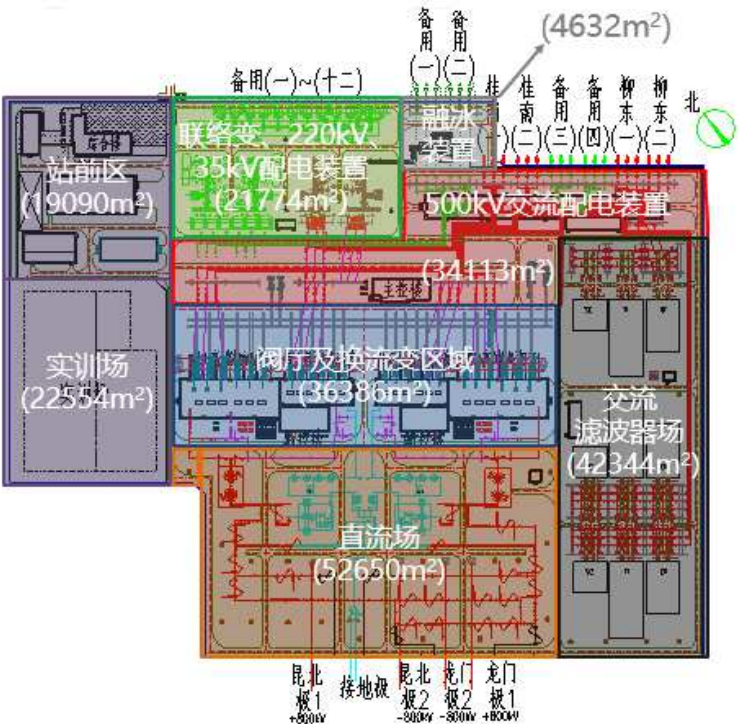


图4 柳北换流站常规直流方案。

对于柔性直流方案，也增加了实训场地，其他与龙门换流站类似，柔性直流方案的围墙内用地面积为22.53hm²。

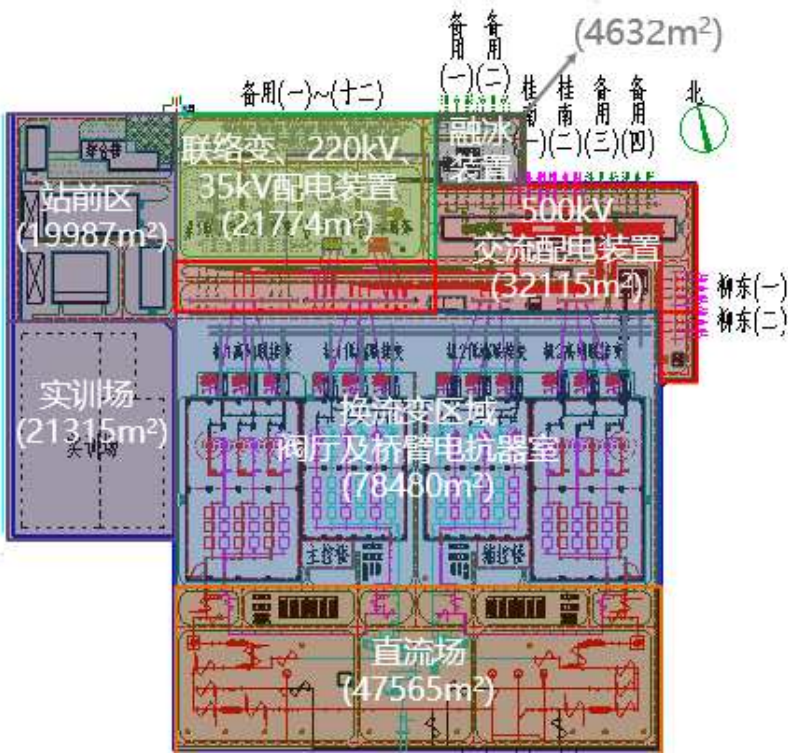


图5 柳北换流站柔性直流方案。

相比于常规直流方案, 柔性直流方案无交流滤波器。

相比于常规直流方案, 柔直方案的阀厅、电抗器室及联接变区域的占地要远大于常规直流阀厅及换流变区域。

直流场方面, 由于本站是三端直流的T接点, 其直流侧接线较为复杂, 造成其纵向长度较长, 又因其宽度方向取决于柔直阀, 长度较常规直流方案长, 所以虽然相比于常规直流方案柔直方案无直流滤波器, 但对于柳北换流站直流场其面积的节省比较有限。

其他区域, 两方案比较接近。

综合来看, 柳北换流站柔直方案的占地面积与常规直流的占地面积基本相当。

4. 常规直流与柔性直流占地对比分析

上文中列举了在相同输入条件下一些工程经过详细设计后, 工程的占地情况的对比。可以看出, 对于鲁西背靠背工程, 其占地面积的对比符合我们的常规认识, 即柔性直流工程可以节省土地资源; 而根据乌东德送出工程的对比, 柔性直流方案与常规直流方案的占地面积比较接近, 下面会对其原因进行着重分析。

4.1. 交流滤波器区域

该区域的占地面积的大小主要和滤波器的大组数、交流滤波器的标称电压、交流滤波器的型式有关。

在相同输入条件下, 常规直流比柔直占地大的地方主要是交流滤波器场地和直流场中直流滤波器的节省, 其中交流滤波器对于占地的节省更为明显。

从表1可以看出, 对于鲁西背靠背工程单纯交流滤波器场地的面积就已经接近柔直总面积的1.5倍。



图7 常规直流换流阀示意图。

柔性直流方案还多了桥臂电抗器、启动电阻等设备, 故柔直方案的阀厅和换流变区域的纵向尺寸会远大于常规直流。随着高电压、大容量IGBT的逐渐成熟, 对于低

所有区域的面积均由其长度和宽度组成。由于交流电网一般接于500kV主网上, 所以交流滤波器的标称电压一般为500kV, 此时, 其间隔宽度为30m。

其大组的纵向尺寸一般由三调谐、HP3滤波器、双调谐确定, 其纵向长度分别为64m、47.5m、44m。在组数和型式完全确定后可适当优化。

柳北换流站可研方案中交流滤波器每组均按三调谐确定尺寸, 其纵向长度很长, 这也是柳北换流站常规直流方案占地面积略大于柔性直流方案的原因。

但值得注意的是, 对于一个特定的系统, 若交流侧标称电压不变, 当直流侧电压提升时, 对交流滤波器的占地影响比较有限。

4.2. 阀厅及换流变区域

柔直换流换流阀一般由多阀塔组成, 如下图所示:



图6 柔性直流换流阀示意图。

而常规直流阀, 一般只需倒吊一个阀塔, 其纵向长度较短, 如下图所示:

电压等级的柔性直流工程, 其阀塔数量可以减小, 一定程度上缩小这种差距放大的倍数。

对于鲁西背靠背直流工程, 其直流侧电压只有 $\pm 350\text{kV}$, 其电气距离要求不大, 由于其容量有限, 电压

不高,只需要采用单阀组方案。故其宽度方向绝对宽度不大,只有73m,长度方向虽比常规直流方案长,但增加的绝对面积比较有限。

而对于乌东德送出工程,其直流侧电压高达 $\pm 800\text{kV}$ 。

一方面,启动回路、换流变、阀组区域的操作冲击绝缘水平达到 1600kV ,桥臂电抗器、阀组相间(端间)的绝缘水平也达到了 950kV ,其电气距离的要求远超交流滤波器的横向距离(500kV 的操作冲击绝缘水平一般在 1175kV 左右),又因为柔直阀的纵向长度较长,其增加的绝对面积较大。

另一方面,从图3和图5可以看出,为保证工程的可用率、减少设备的制造难度、保证运行方式的灵活性,乌东德送出工程每极采用高低阀组方案。相比于单阀组方案,虽高低阀组方案阀厅的纵向长度有所减小且阀本体的占地面积相当,但其横向长度更长,造成了换流变、启动回路、直流场的横向尺寸变长,进而导致整体占地面积的增大。

单阀组方案的布置方案如下图所示,其围墙内占地面积为 16.49hm^2 。可以看出,即便电压达到 800kV ,采用单阀组方案,采用柔性直流相比于常规直流仍有一定的占地面积的优势。

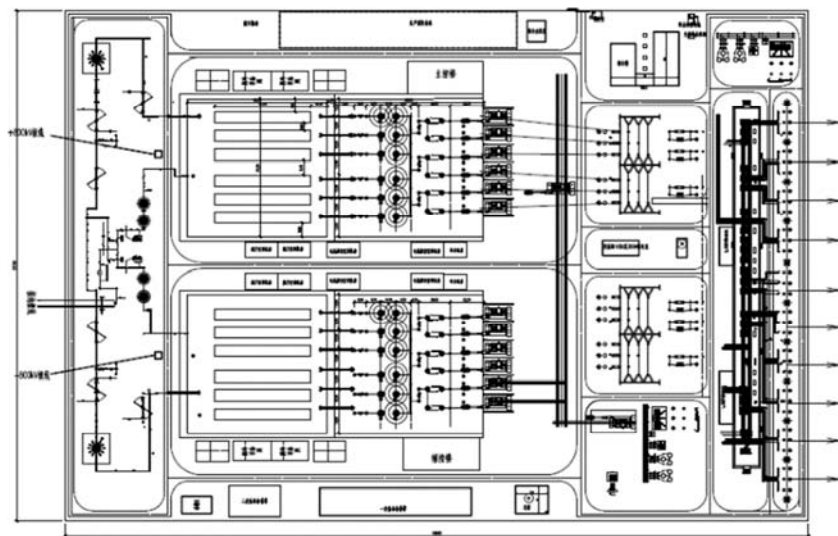


图8 龙门换流站柔性直流单阀组方案。

综上,当直流额定电压较低,而交流侧标称电压为 500kV 时,如鲁西背靠背工程,柔性直流方案会节省占地,对于大部分工程都可得出类似结论。

但对于特高压柔性直流工程,比如乌东德送出工程,其直流额定电压上升到 800kV ,由于绝缘的原因和采用高低阀组的因素造成换流变和桥抗区域(宽度方向)急剧增大,导致阀厅、换流变、启动回路的面积大幅度增加,而交流标称电压仍为 500kV ,滤波器的占地的变化比较有限,导致出现前文中所述的结论:龙门换流站、柳北换流站柔直方案占地与常直方案相当。

当然,若交流滤波器的标称电压抬高到 750kV 甚至 1000kV ,柔直方案的占地优势会更为明显。

5. 结论

柔性直流输电和常规直流输电占地主要取决于直流额定电压、常规直流交流侧标称电压、常规直流交流滤波器组数、柔性直流是否采用高低阀组等因素。

常规交流滤波器组数一般较多,总体来说,对于大部分的柔性直流工程,相同输入条件下,其占地面积一般会小于常规直流工程。

但随着直流侧电压的上升,柔直占地面积的优势会逐渐减小,当上升到 $\pm 800\text{kV}$ 的电压等级,若需要采用高低阀组,则柔直占地面积与常直基本相当。

参考文献

- [1] 马为民,吴方劫,杨一鸣等. 柔性直流输电技术的现状及应用前景分析[J]. 高电压技术, 2014, 40(8): 2429-2439. DOI:10.13336/j.1003-6520.hve.2014.08.02.
- [2] 刘强,姜海博,徐林, 特高压多端直流技术方案研究专题报告, 乌东德电站送电广东广西输电工程可行性研究报告[M], 2017年2月。
- [3] 汤广福,罗湘,魏晓光等. 多端直流输电与直流电网技术[J]. 中国电机工程学报, 2013, 33(10): 8-17.
- [4] 徐政,薛英林,张哲任等. 大容量架空线柔性直流输电关键技术及前景展望[J]. 中国电机工程学报, 2014, (29): 5051-5062. DOI:10.13334/j.0258-8013.pcsee.2014.29.006.
- [5] 徐政,陈海荣. 电压源换流器型直流输电技术综述[J]. 高电压技术, 2007, 33(1): 1-10.2007, 33(1):1-10 (in Chinese).

- [6] 汤广福. 基于电压源换流器的高压直流输电技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2010. China Electric Power Press, 2010 (in Chinese)。
- [7] Amirnaser Y, Reza I. Voltage-sourced converters in power systems [M]. Hoboken, New Jersey, USA: John Wiley & Sons, Inc, 2010.
- [8] 徐政, 屠卿瑞, 管敏渊, 等. 柔性直流输电系统[M]. 北京: 机械工业出版社, 2013: 1-25. Beijing: China Machine Press, 2013:1-25 (in Chinese)。
- [9] 电力规划设计总院, 广东电力设计院, 广东受端换流站站址选择及工程设想, 乌东德电站送电广东广西输电工程可行性研究报告[M], 2017年2月。
- [10] 电力规划设计总院, 中南电力设计院, 广西受端换流站站址选择及工程设想, 乌东德电站送电广东广西输电工程可行性研究报告[M], 2017年2月。