

# 深圳变电站第三台联络变压器进线方案分析

胡蓉, 简翔浩

(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)

**摘要:** 本文针对深圳变电站超规模扩建第三台联络变压器的 500 kV 进线方案, 分别采用交联聚乙烯(XLPE)电缆和气体绝缘管道母线(GIB)进行技术经济比较。GIB 较 XLPE 电缆具有工艺成熟、性能优越、安全可靠的技术优势, 同时在全寿命周期来看经济可行。深圳站第三台联络变压器进线最终采用 750 单相米的 500 kV GIB 架空敷设, 敷设路径包括屋面、围墙、道路以及狭窄区域。通过技术参数、方案设计、地基处理三方面总结工程经验, 为 GIB 在空间紧张、布置困难的变电工程中应用提供参考。

**关键词:** 500 kV; 气体绝缘管道母线; GIB; 交联聚乙烯电缆

**中图分类号:** TM63

**文献标志码:** A

**文章编号:** 2095-8676(2015)S1-0076-04

## Analysis on the No. 3 Connecting Transformer Incoming Feeder Scheme in Shenzhen Substation

HU Rong, JIAN Xianghao

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

**Abstract:** Shenzhen substation is ultra-scale extending the NO. 3 connecting transformer. 500 kV XLPE cable and GIB incoming feeder schemers of the NO. 3 connecting transformer were analysed through techno-economic comparison in this paper. Comparing to XLPE cable, GIB is more technically mature, superior performance and reliable. On the other side of life cycle cost (LCC), GIB schemer is economically feasible. The NO. 3 connecting transformer incoming feeder finally adopt GIB schemer with length of 750 meters, its aerial installation path contains roof, wall, road and narrow area. Engineering experiences are summarized from three aspects of technical parameters, schemer design and foundation constructing. These experiences could be used for reference in other substation extending, where the tension space is too difficult to arrange and GIB is adopted.

**Key words:** 500 kV; Gas-Insulated metal-enclosed bus bar; GIB; XLPE cable

深圳变电站始建于 1992 年, 属于深圳电网与香港中华电力公司现有两条 500/400 kV 联网通道之一。其中 500 kV 配电装置由深圳供电局有限公司运营, 500/400 kV 联络变压器(联变)及 400 kV 配电装置由香港中华电力有限公司(中电)运营。为适应香港地区负荷增长, 由中电投资在深圳变电站超规模扩建第三台联变。由于 500 kV 配电装置采用气体绝缘金属封闭开关设备(GIS)布置在超规模扩建的 GIS 室西侧, 而联变则布置在东南角相邻的 400 kV 深圳站内。两者距离两百余米并且间隔多个配电装置区域, 导致联络变进线方案布置较为困难, 详见图 1。受围墙内场地条件限制, 本期联变

进线不考虑架空线路方案。本文针对第三台联变采用交联聚乙烯(XLPE)电缆和气体绝缘管道母线(GIB)方案进行技术经济比较分析。

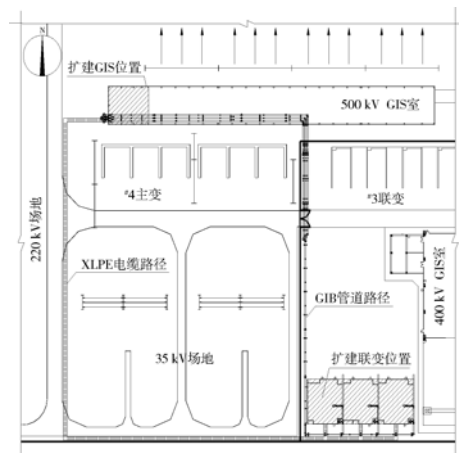


图 1 深圳变电站平面布置示意图

Fig. 1 Layout Diagram of Shenzhen Substation

收稿日期: 2015-10-23

作者简介: 胡蓉(1987), 男, 湖南娄底人, 工程师, 硕士, 主要从事变电站电气一次设计工作(e-mail) hurong\_09@126.com。

## 1 联络变压器进线方案分析

### 1.1 XLPE 电缆连接方案

目前, 国内外已投运的交流 500 kV 电力电缆主要分为充油电缆和交联聚乙烯 (XLPE) 电缆两类, 参见表 1<sup>[1]</sup>。

表 1 国内外重要交流 500 kV 电力电缆工程一览  
Table 1 Important 500 kV AC Cable Engineering Index at Home and Abroad

年份	工程名称	电缆类型
1 988	在日本今市与下乡抽水蓄能电站用电缆	XLPE 绝缘
2 000	新京叶丰州线和跨东京湾电缆项目	XLPE 绝缘
1 997	浙江天荒坪水电站	XLPE 绝缘
2 009	中国海南联网海底电缆工程	充油电缆
2 010	上海静安输变电工程	XLPE 绝缘
2 014	北京市海淀电缆输电线路	XLPE 绝缘

相较于充油电缆, XLPE 电缆具有交流电气性能良好、允许工作温度高、便于大落差敷设等优点, 且质量较轻、辅助设施少, 便于安装和维护。因此, 本工程采用 XLPE 电缆进行方案分析。

深圳站采用 XLPE 电缆方案可行的敷设路径如下: 电缆自 500 kV GIS 室南下后, 沿 35 kV 场地与 220 kV 场地间道路东侧敷设, 至南侧围墙后向东敷设至联变区域。考虑裕度并预留一组电缆头更换所需长度后, 电缆全长约 800 单相米, 全程沿 1.2 m × 1.2 m 电缆沟敷设。

### 1.2 GIB 连接方案

气体绝缘管道母线 (Gas-Insulated metal-enclosed bus bar, GIB) 与气体绝缘金属封闭输电线路 (Gas-Insulated metal-enclosed transmission line, GIL) 有所区别, 参见表 2<sup>[2]</sup>。前者多适用于电气距

离紧张时距离较短的 GIS 设备进出线, 后者则适用于使用条件更加严酷的长距离输电情况。深圳站第三台联变扩建工程在设备招标过程中采用 GIL/GIB 通用的技术条件, 并最终确定采用厦门 ABB 生产的 GIB 设备。

深圳站采用 GIB 方案可行的敷设路径如下: GIB 自 500 kV GIS 室西侧上屋面后, 向东敷设至正对 400 kV 场地位置, 向南跨越围墙并沿围墙西侧敷设至联变区域。GIB 全长约 750 单相米, 全程架空敷设, 可分段吊装。

### 1.3 技术经济比较

从敷设路径来看, XLPE 电缆与 GIB 连接方案均可行, 需进一步技术经济比较:

#### 1.3.1 技术比较

受限于材料特性和制造水平, 目前世界上已投运的 500 kV XLPE 电缆截面最大为 2 500 mm<sup>2</sup>, 埋地三相水平敷设时的载流量约 1 600 A<sup>[3]</sup>。而 GIB 由于与 GIS 设备遵循一致的制造标准, 目前国内载流量 4 000 A 的 GIB 已经有较丰富的运行经验。对于深圳站单台容量为 335 MVA 的联变进线而言, 无论采用 2 500 mm<sup>2</sup> 截面的 XLPE 电缆, 或者 4 000 A 的 GIB 均能满足持续运行电流要求。但是, 在某些输送容量需要进一步增大的场合, GIB 显然更具优势。并且在输送容量相同时, 500 kV GIB 较 XLPE 电缆损耗更低<sup>[4]</sup>。

《额定电压 500 kV (Um = 550 kV) 交联聚乙烯绝缘电力电缆及其附件——试验方法和要求》(GB/T 22078.1—2008) 和《72.5 kV 及以上气体绝缘金属封闭开关设备》(GB 7674—1997) 中, 对于 XLPE 电缆和 GIB 的雷电及操作冲击耐受电压要求相同。但参考目前的 500 kV GIS 设备的制造和招标情况,

表 2 GIB 与 GIL 的主要区别

Table 2 The Primary Difference Between GIB and GIL

序号	内容	GIB (Gas-Insulated metal-enclosed bus bar)	GIL (Gas-Insulated metal-enclosed transmission line)
1)	标准	GB 7674—1997《72.5 kV 及以上气体绝缘金属封闭开关设备》、DL/T 978—2005《气体绝缘金属封闭输电线路技术条件》、IEC 62271—203《额定电压为 52 kV 及以上气体绝缘金属封闭开关设备》	IEC 62271—2004《额定电压为 72.5 kV 及以上高压气体绝缘输电线路》
2)	结构	标准单元长度多在 7.5 m 左右; 盆式绝缘子部分外露在空气中; 标准气室长度一般小于 50 m;	标准单元长度多大于 10 m; 盆式绝缘子固定在管道外壳内; 标准气室长度一般大于 100 m;
3)	安装	地面; 每百米允许土建误差 < 30 mm; 充 SF6 气体需分段、分气室相隔进行	地面、沟道、竖井、隧道或者直接掩埋; 每百米允许土建误差 < 100 mm; 充 SF6 气体仅针对单一气室;
4)	维护	大修周期 15 年;	大修周期 30 年;

500 kVGIB 的雷电冲击耐受电压可由 1 550 kV 提高至 1 675 kV, 操作冲击耐受电压可由 1 175 kV 提高至 1 300 kV, 绝缘水平优于 XLPE 电缆。

此外, 500 kV GIB 方案便于任意位置配置避雷器, 而 XLPE 电缆方案则只能装设 GIS 侧避雷器, 侵入波防护效果较差。另一方面, 500 kV GIB 较 XLPE 电缆可靠性更高。参照电力可靠性管理中心发布的 2011 年全国输变电设施可靠性指标统计结果<sup>[5]</sup>, 详见表 3。组合电器 GIS 的可用系数、强迫停运率、非计划停运时间、计划停运时间四类可靠性指标均优于电缆线路。而 GIB 较 GIS 设备结构更为简单, 不含任何开关和可动元件, 只需具备基本的通流、绝缘和动热稳定等电气性能, 因而可靠性也更优于电缆线路。

表 3 2011 年组合电器与电缆线路可靠性指标

Table 3 Combination with Cable Line Reliability Index in 2011

类别	可用系数%	强迫停运率	非计划停运时间	计划停运时间
电缆线路	99.936	0.052	0.15	5.42
组合电器	99.972	0.004	0.01	2.44

注: 强迫停运率单位: 电缆线路为次/(100 km·a), 组合电器为次/(100 台·a); 停运时间单位: 电缆线路为 h/(100 km·a), 组合电器为 h/(100 台·a)。

然而, 500 kV XLPE 电缆埋地敷设较长距离 GIB 安装相对简便<sup>[6]</sup>。由于 GIB 对于基础的平整度和稳定性要求较高, 地基处理时需尤其注意减少不均匀沉降的影响。此外, 深圳站长距离 GIB 方案由于两端接口位置确定, 管道敷设路径复杂, 吊装运输电气距离紧张等原因, 也将进一步导致安装精度较高、难度较大、周期较长。

### 1.3.2 经济比较

经济性方面<sup>[7]</sup>, 载流量 4 000 A 的 500 kV GIB 按照 1.4 万元/单相米估算, 与 GIS 或者变压器油气套管直连, 无需计列终端费用。截面 2 500 mm<sup>2</sup> 的 XLPE 电缆按照 0.6 万元/单相米估算, GIS 及变压器电缆终端按照 60 万元/相估算。两个方案均按照配置一组避雷器进行经济比较。从表 4 可见, GIB 方案综合造价约为 1 240 万元, XLPE 电缆方案综合造价约为 950 万元。

但是考虑到目前 500 kV XLPE 电缆, 尤其电缆终端等附件大多依赖日本、欧洲等国家进口<sup>[8]</sup>, 设备采购以及故障后更换周期长。并且由于超高压电

缆故障诊断和定位技术尚不完备, 一旦因制造不良或者绝缘受潮等原因故障后, 往往需要将整条电缆进行更换。而 GIB 方案则可通过加装局放在线监测装置进行实时监测, 定点排查故障后仅更换局部管道, 72 h 内即可恢复供电。此外, 500 kV XLPE 电缆的设计寿命多为 30 年, 而 GIB 则可达到 50 年。综合全寿命周期的角度考虑, GIB 方案在经济性上是可行的。

表 4 500 kV GIB 方案与 XLPE 方案经济比较

Table 4 Economic Comparison of 500 kV GIB and XLPE Solutions

	比较项目	单价/万元	数量	合计/万元
GIB 方案	GIB 本体	1.4	750	
	避雷器	30	3	1 240
	土建/施工费	100	1	
XLPE 方案	电缆本体	0.6	800	
	终端	60	6	950
	避雷器	30	3	
	土建/施工费	20	1	

因此综合技术经济比较, 深圳变电站第三台联络变压器进线最终确定采用 500 kV GIB 方案。

## 2 深圳站 GIB 应用情况介绍

### 2.1 技术参数

深圳变电站 500 kV GIB 长约 750 单相米, 由厦门 ABB 生产。主要技术参数如下: 额定电压 550 kV; 雷电冲击耐受电压 1 675 kV; 操作冲击耐受电压 1 300 kV; 1min 工频耐受电压 740 kV; 额定电流 4 000 A (最高环境温度不超过 50℃, 24 h 内平均温度不超过 45℃); 额定短时耐受电流 63 kA (3 s); 额定峰值耐受电流 171 kA; 标准单元长度 8 m; 铝制壳体外径 550 mm, 厚度 7 mm; 单相母线充气后净重 63.5 kg/m; 电容 54.5 Pf/m; 电感 0.173 uH/m; 损耗 235 W/ph-m; 最大气室长度 40 m; SF6 气体压力 0.68 MPa; 年漏气率不大于 0.1%; 土建容许误差 5 mm/20 m; 单个补偿单元的误差调整量 30 mm。

### 2.2 方案设计

通过针对深圳站 500 kV 配电装置的雷电侵入波及快速暂态过电压的专题研究, 最终确定在 GIB 的联变侧及 GIS 侧均设置避雷器保护。此外, 考虑到切除长距离 GIB 时电容电流较大, GIS 出线侧按照配置 B 类快速接地开关考虑。500 kV GIB 全长

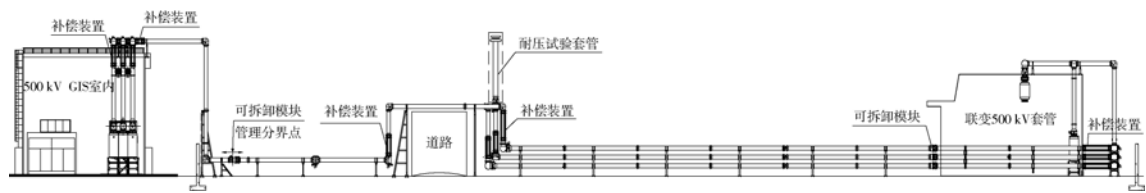


图2 深圳变电站 500 kV GIB 布置断面图

Fig. 2 Section Diagram of 500 kV GIB in Shenzhen Substation

共有 12 个气室, 其中避雷器、变压器油气套管以及维护分界点处均设置有单独气室。其中避雷器相邻气室设计成短气室, 有利于缩短耐压试验时解除避雷器后相邻气室降半压的气体处理时间。每个气室均单独配置有带温度补偿的密度继电器、自封阀、防爆片, 便于监控和维护。

由于安装路径包括屋面、围墙、道路以及狭窄区域, 深圳站 500 kV GIB 需相应进行升高、降低、跨越、以及三相水平转变为垂直敷布置。为便于检修维护, GIB 全程共设置三个可拆卸模块。同时为适应热胀冷缩以及消除部分土建误差, GIB 按照变形量设置多处方向补偿装置, 综合补偿位置及受力分析后确定滑动支架与固定支架位置。就地控制柜布置在深圳供电局和香港中电管理分界点附近, 便于向两侧运行单位发送监测信号。此外为满足现场耐压试验电气距离要求, 将试验套管位置确定在道路南侧 GIB 上方。详见图 2。

深圳站 500 kV GIB 采用多点接地方式, 该接地方式较一点接地具有感应电压低、电磁屏蔽效果好、施工简单等优点。GIB 沿线地面明敷一根  $50 \times 5$  接地干线, 并每隔 10 m 左右与主地网可靠连接。除在联变侧采用两根  $50 \times 5$  铜导体分别进行三相短路并接地外, GIB 其他位置采用一根  $80 \times 10$  铝导体在法兰盘处进行三相短路并经  $50 \times 5$  铜导体与明敷接地干线连接。所有可能接触的金属部件, 包括支架、预埋件、爬梯等均经过明敷接地干线接地。

### 2.3 地基处理

根据勘察结果, 深圳站扩建场地内软弱土、中软土覆盖层厚度为 1.40~3.50 m, 中硬土覆盖层厚度  $\geq 5$  m。场地类别为 II 类, 属对建筑抗震一般地段。为减少基础后期不均匀沉降对 GIB 的影响, 深圳站内联络变压器区域采用联合桩筏基础, 地面 GIB 支架采用高强预应力管桩基础, 局部管桩施工

困难区域采用大块平板基础, 屋面 GIB 支架采用结构横梁上设置的独立基础。此外为提高 GIB 安装时对土建误差的适应性, 地面部分支架采用化学锚栓固定, 屋面及防火墙上支架采用预埋钢板固定。

### 3 结论

经过技术经济比较, 深圳变电站第三台联络变压器进线最终采用 750 单相米 500 kV GIB 连接方案。通过应用情况介绍及工程经验总结为后续工程提供参考。随着城市电网负荷增长和土地资源紧张的矛盾逐渐凸显, GIB 因其具有输电容量大、占地面积小、布置灵活、可靠性高等特点具有一定的技术优势, 随着 GIB 经济性提高, 其在变电工程中的应用空间将更加广泛。

#### 参考文献:

- [1] 周远翔, 刘睿, 张云霄, 等. 高压/超高压电力电缆关键技术分析及展望 [J]. 电工文摘, 2014(6): 1-14.
- [2] 杨琪. GIL 与 GIS 母线的结构特点与应用 [J]. 高压电器, 2011, 47(8): 71-74.
- [3] 蒋佩南. 500 kV 交联聚乙烯电缆绝缘结构的研究设计 [J]. 电线电缆, 2006(6): 1-4.
- [4] 高凯, 李莉华. 气体绝缘输电线路技术及其应用 [J]. 中国电力, 2007, 40(1): 84-88.
- [5] 陈丽娟, 李霞. 2011 年全国输变电设施可靠性分析 [J]. 中国电力, 2012, 45(7): 89-93.
- [6] 吴邦庆, 胡雪琴. 缅甸邦朗电站 230 kV 高压电缆及 GIL 管母安装 [J]. 云南水利发电, 2007, 23(2): 106-107.
- [7] Roger Faulkner. Elpipes for the High Capacity Backbone of An Asian Grid [J]. High Voltage Apparatus, 2011, 37(11): 2857-2865.
- [8] 张东斐, 唐庆华, 满玉岩, 等. 超高压电缆系统现状及可靠性的分析研究 [J]. 电线电缆, 2011(6): 9-11.

(责任编辑 黄肇和)