

# 云南富宁 $\pm 500$ kV 换流站总平面布置优化研究

付冠辉<sup>1</sup>, 叶煜明<sup>1</sup>, 张涛<sup>2</sup>, 刘然<sup>2</sup>, 姜海博<sup>2</sup>

(1. 云南电网有限责任公司, 昆明 650011; 2. 电力规划设计总院, 北京 100120)

**摘要:** [目的] 云南富宁  $\pm 500$  kV 换流站由于系统要求复杂、进出线回路多、站址地形条件恶劣等限制因素, 有必要优化电气总平面布置, 以减少占地、节约工程投资。[方法] 从影响并制约电气总平面布置的系统条件、线路条件、地形条件等外部条件适应性入手, 探讨本站电气总平面可利用的区域范围及合理的各配电装置区域布置分布图, 根据对站内各配电装置区域典型布置的分析研究, 提出各区域典型布置图, 并给出了 4 个电气总平面布置方案。[结果] 经过技术经济综合比较, 推荐了占地少、投资省、建设快、运行便利的总平面布置方案。[结论] 依据系统条件、出线条件、站址地形条件, 并综合考虑建设、投资和运维等因素进行的总平面优化思路能为后续工程提供有益借鉴和参考。

**关键词:** 配电装置; 总平面; 交直流合建; 布置优化

**中图分类号:** TM7; TM75

**文献标志码:** A

**文章编号:** 2095-8676(2018)S1-0082-07

## Research on Optimization of Yunnan Funing $\pm 500$ kV Converter Station Layout

FU Guanhui<sup>1</sup>, YE Yuming<sup>1</sup>, ZHANG Tao<sup>2</sup>, LIU Ran<sup>2</sup>, JIANG Haibo<sup>2</sup>

(1. Yunnan Power Grid Limited Liability Company, Kunming, 650011, China;

2. Electric Power Plants and Engineering Institute, Beijing, 100120, China)

**Abstract:** [Introduction] As far as Yunnan Funing converter station ( $\pm 500$  kV), it is necessary to optimize the general electric arrangement to reduce the land occupation and save project investment because of the complicated requirements of the system, the large number of circuits and the rough site terrain and so on. [Method] To start with the adaptability of the external conditions such as the system conditions, line conditions and terrain conditions which affect and restrict the general electric arrangement, the available area coverage of the general electric plane and the reasonable distribution map of the distribution devices were discussed. Afterwards, based on the analysis of the typical distribution of the distribution units in the station, the typical layout of each regions was presented, meanwhile four proposals were concluded. [Result] In the end, it is recommended one proposal which requires less land, less investment, faster construction and more convenient operation after the comprehensive technical and economic comparison. [Conclusion] Based on the system conditions, line conditions, site terrain conditions, and comprehensive consideration of the construction, investment and operation and maintenance, the optimization ideas in this article is able to provide a useful reference for follow-up projects.

**Key words:** distribution device; general plane; AC/DC building; layout optimization

总平面布置是换流站设计的重要内容之一, 集中体现各专业配合、优化设计的成果, 合理的总平面布置不仅能为换流站创造良好的安全运行条件, 提高经济效益, 还可以获得完美的视觉效果<sup>[1-2]</sup>。对于换流站工程, 尤其交直流合建的换流站工程,

站内配电装置复杂, 平面布置设计更需要设计者的智慧, 兼顾工程投资、占地面积、运行维护等诸多工程关键要素, 达到整体最优目标<sup>[3-4]</sup>。富宁  $\pm 500$  kV 换流站除常规 500 kV 交直流、滤波器场、220 kV 及 35 kV 设备外, 还有国内首次在换流站应用的 STATCOM 装置、串联无功补偿装置, 加之站址地形、出线条件受限, 因此研究本站的总平面布置方案, 对于减少占地面积、节约投资、保障直流

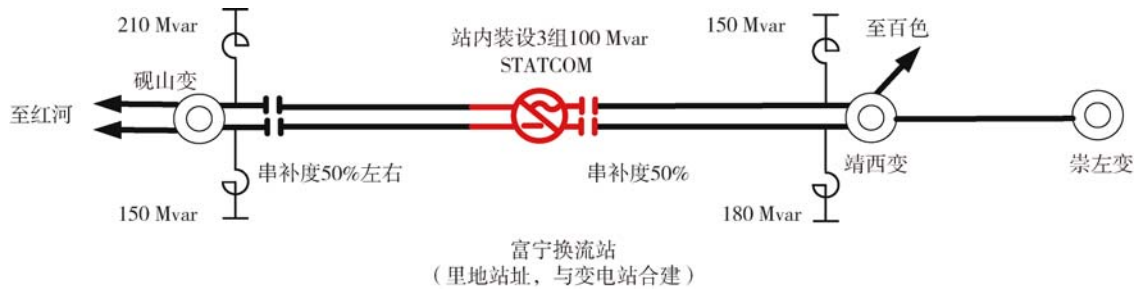


图 1 富宁 ±500 kV 换流站接入系统图

Fig. 1 Access system diagram of Funing ±500 kV converter station

工程的顺利开展, 具有重要的工程价值及研究意义。

## 1 工程条件

### 1.1 工程概况

云南永仁—富宁 ±500 kV 直流输电工程不仅是云南省内主要电源送出通道, 也是南方电网西电东送通道的重要组成部分, 为云南电网与南方主网异步联网创造条件, 有助于提高南方电网和云南电网安全稳定水平, 其受端富宁 ±500 kV 换流站位于云南省富宁县山区, 额定换流容量 3 GW, 采用与变电站合建方案。

### 1.2 系统接入方案及设计规模

目前, 云南电网与广西电网由交流 500 kV 砚山—靖西双回线路联系, 本工程将砚山~靖西 500 kV 双回线路解口接入富宁 ±500 kV 换流站。接入系统方案如图 1 所示。

根据系统规划, 本站 500 kV 交流出线 8 回, 500 kV 交流联络变 4 组, 每组联络变低压侧各带 5 小组无功补偿装置, 220 kV 交流出线 16 回, 500 kV 交流滤波器 12 小组, 另外换流站内还装设有 3 组 35 kV/100 MVA 的 STATCOM 装置和 2 组 500 kV 出线串联补偿装置。直流侧每极一组 12 脉动换流器, 采用双极接线。

## 2 总平面布置分析

### 2.1 电气总平面布置主要设计原则

电气总平面布置关系到工程投资、占地面积、运行维护等变电站设计关键要素, 为实现工程技术经济最优目标, 需对电气总平面外部条件、内部条件适应性进行全面分析。对于外部条件, 主要根据系统接入方案, 尽量满足进出线路顺畅、不交叉, 减少土方量, 减少施工难度等基本原则进行优化;

对于内部条件, 主要按照平面布置清晰、工艺流程顺畅、运行与维护方便、减少占地、对周围环境影响小、便于各配电装置顺畅承接等基本原则进行优化<sup>[5-6]</sup>。

### 2.2 系统条件对换流站总平面布置的要求

为满足云南文山和广西百色地区灵活接受金沙江观音岩电站送出电力, 并适应今后云南电网与南方主网实现异步联网的需要, 系统要求换流站满足三种运行方式: (1) 直流双极全部送云南电网; (2) 直流双极全部送广西电网; (3) 直流双极分送广西电网和云南电网。特殊的运行方式要求本站 500 kV 需采用一个半断路器、母线三分段接线方案<sup>[7]</sup>, 相应 500 kV 开关场 20 个进出线元件在各运行方式下的分区组合如图 2 所示。

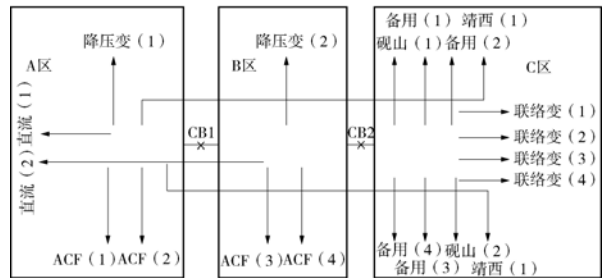


图 2 满足 3 种运行方式的分区示意图

Fig. 2 Subdomain schematic to meet 3 operating modes

### 2.3 相关线路工程对换流站总平面布置的要求

根据相关线路工程要求, 直流出线为向西出线; 交流 500 kV 本期出线 4 回, 即靖西、砚山各 2 回, 其中靖西Ⅰ和砚山Ⅰ出线接于站址北侧的原滇南Ⅰ回线路, 靖西Ⅱ和砚山Ⅱ接于站址南侧的原滇南Ⅱ回线路, 另有远景出线 4 回, 分别为 2 回出线向北备用, 2 回出线向南备用; 220 kV 出线 16 回, 大部分出线均向东出线。根据上述近、远期出线方向的分析, 初步总结本站出线方向示意图, 如图 3 所示。

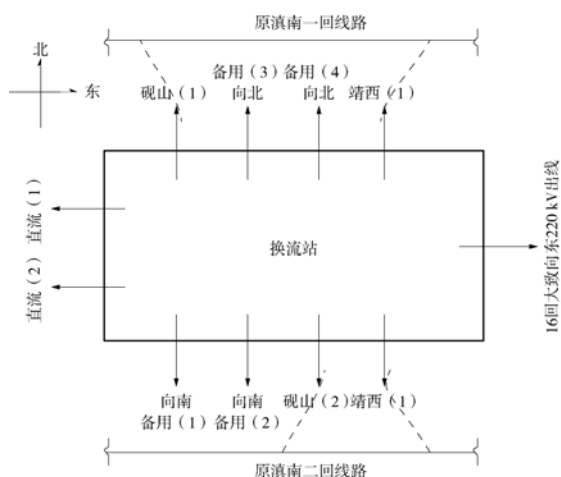


图3 进出线示意图

Fig. 3 Schematic diagram of the import and export line

## 2.4 地形条件对总平面布置的要求

富宁 $\pm 500$  kV换流站站址隶属富宁县里达镇辖区。如图4所示,站址为低中山地貌,局部为峰林地形。站址可利用区域东西向较长,南北向短,可用地面积约为 $800\text{ m} \times 400\text{ m}$ ,站址东侧E区和F区、北侧A区和G区及南侧C区为高大厚实山体,场地高差达108 m,山体东西两侧均为较深自然冲沟,对站区定位形成障碍。站址西侧有岩溶漏斗及洼地,南侧D区大冲沟处分布有密集溶洞区,同时站址区域内分布有多个泉眼。

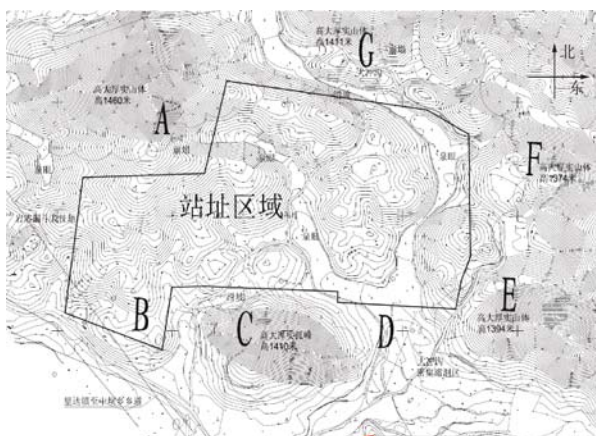


图4 站址地形

Fig. 4 Site terrain

以上站址地形特点均限制了总平面布置,即电气布置中,需尽量避开山体,以减少土方量,降低施工难度,缩短施工周期;需避开当地岩溶漏斗洼地及溶洞区域,还要满足与换流站进站道路顺畅对

接的需求。图4换流站轮廓线即为满足站址地形外部条件的大致区域,该区域可利用面积较小,形状极不规则,且站区临近的最近道路为里达镇至中坝乡乡道,换流站进站道路需在原有乡道基础上进行延伸改造。

## 2.5 系统条件、出线条件、站址地形对总平面布置的综合分析

根据前述系统条件、进出线条件及地形适应性对总平面布置要求的分析,得出以下几点初步结论:

1)针对本站系统接入条件要求,电气总平面布置中,宜将500 kV硯山I、硯山II、4回备用出线及500 kV联络变进线(含35 kV配电装置)相邻布置,以避免站内进出线的交叉。

2)本站交流500 kV配电装置异常复杂,其中向北6回出线、向南2回出线,并有多回出线引至换流变、联络变、交流滤波器、STATCOM专用变压器等配电装置,因此将500 kV配电装置布置在站址区域靠近中心的位置,并选用GIS小型化设备,以方便向各配电装置引接。针对线路工程出线要求,为避免线路交叉跨越,将直流场配电装置布置在站址西侧,220 kV配电装置区域布置在站址东侧。

3)根据站址地形条件,可利用区域具有南北向短,东西向长的特点,为避开周围的高山,并利用站址附近的乡道作为换流站进站道路,配电装置需在站址可利用轮廓线内进行布置,且站前区宜布置在站区的西南角,另外出线应尽量避免站址北侧的大山峰区域。

综上所述,在站址可利用范围内,各配电装置相对位置示意图如图5所示:

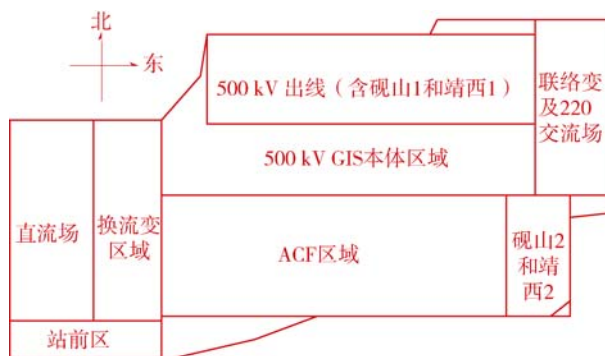


图5 配电装置初步布置方案

Fig. 5 Preliminary layout scheme of distribution equipment

### 2.6 内部条件适应性分析

根据功能配置要求, 本站主要由直流场区域、换流区域、交流滤波器场区域、500 kV 交流场区域、联络变及无功补偿区域、220 kV 区域、站前区

等若干个功能区组成, 电气总平面布置在满足各个区域内部布置的同时, 还应结合各区域的特点进行合理协调<sup>[8-10]</sup>, 综合前述控制因素, 提出 4 个总平面布置方案, 如图 6~图 9 所示。

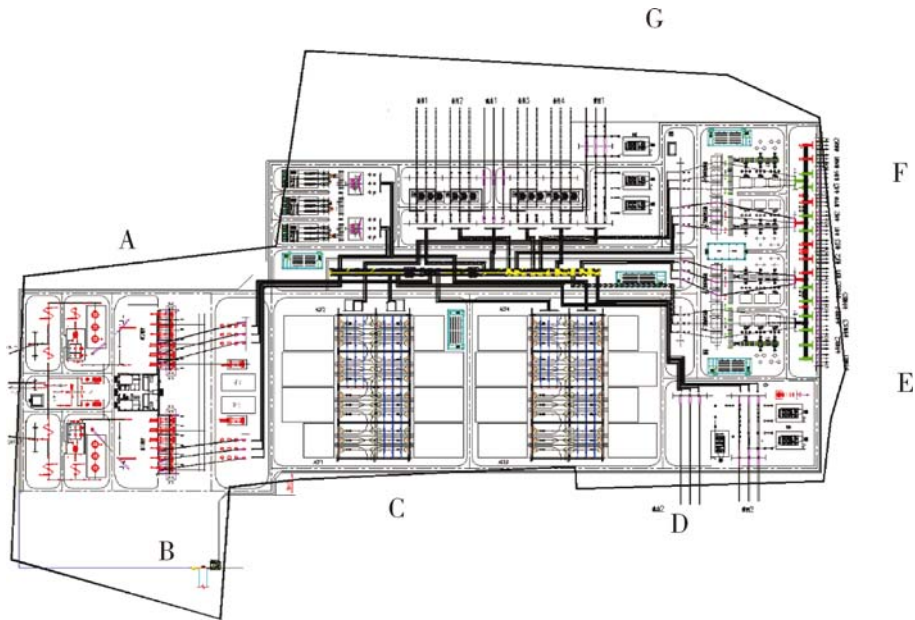


图 6 电气总平面布置图(方案 1)

Fig. 6 General layout of electric plane (scheme 1)

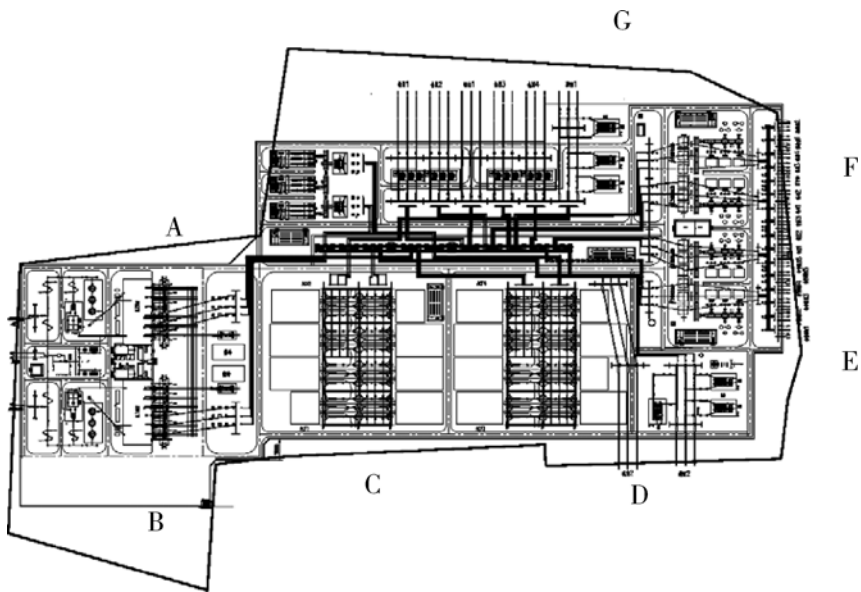


图 7 电气总平面布置图(方案 2)

Fig. 7 General layout of electric plane (scheme 2)

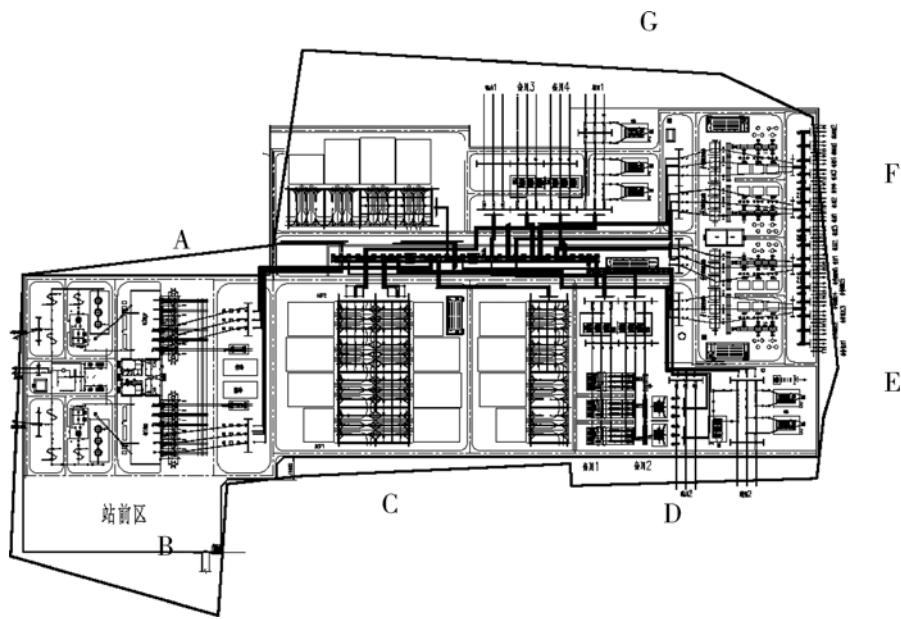


图8 电气总平面布置图(方案3)

Fig. 8 General layout of electric plane (scheme 3)

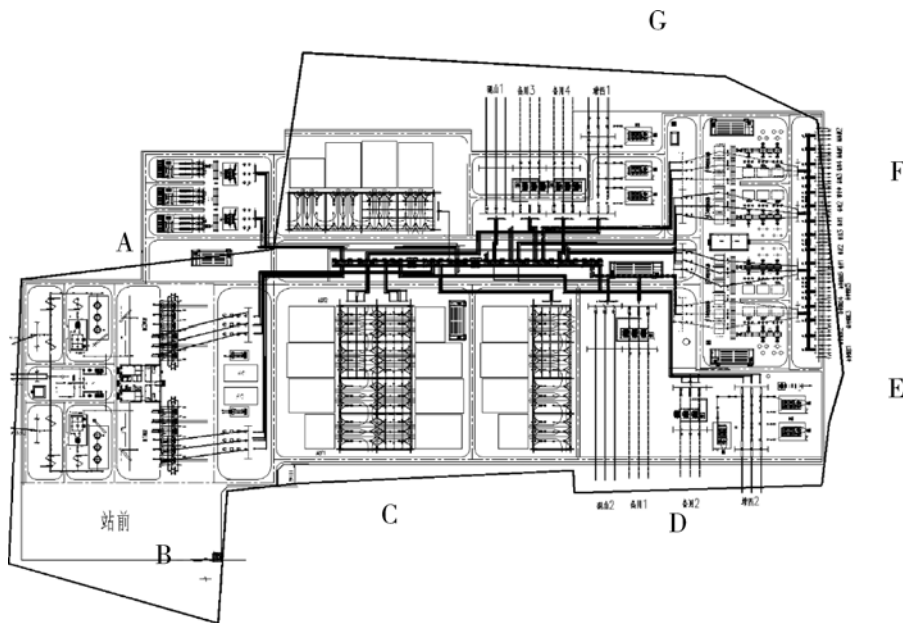


图9 电气总平面布置图(方案4)

Fig. 9 General layout of electric plane (scheme 4)

上述4个总平面布置方案主要技术特点如下:

方案1: 在既满足系统条件又满足线路出线要求的情况下, 将两回靖西出线布置在换流站500 kV出线东侧, 以避免两回靖西出线与其他500 kV出线交叉, 但相应增加了GIS分支母线的长度, 不足之处在于备用I、备用II出线方向与线路条件中的

方向要求相反, 即该两回备用出线需与直流出线及砚山II出线交叉, 本方案占地面积17.46 hm<sup>2</sup>。

方案2: 不同于方案1, 本方案中, 砚山II出线跨越交流滤波器配电装置低压设备的区域, 进一步节省了占地, 并较好的避开了E区山峰区域, 本方案占地面积17.27 hm<sup>2</sup>。

方案 3: 与方案 1 相比, 本方案将 1 组交流滤波器移至站区的西北角, 并将降压变及 STATCOM 移至原交流滤波器位置, 同时将方案 1 中的备用 I 和备用 II 两回向北出线调为向南出线, 即满足了系统条件和线路出线要求, 但该布置方式较难实现, 降压变需布置在架空线下方, 不利于降压变的维护和检修, 且引接至 2 组降压变的 GIS 分支母线长度增加, 本方案占地面积  $18.06 \text{ hm}^2$ 。

方案 4: 在方案 3 的基础上, 将降压变及 STATCOM 区域由站区东南角移至西北角, 但导致占用西北角海拔  $1460 \text{ m}$  高的 A 区域, 相应土方量增大、施工难度增加, 本方案占地面积  $19.2 \text{ hm}^2$ 。

上述方案中, 除方案 3 中的 STATCOM 及其降压变布置在出线构架下方, 导致降压变运行检修不方便外, 其余 3 个方案均满足功能分区明确, 运行维护方便的要求, 方案 1 和方案 2 存在线路交叉情况, 但占地面积明显优于方案 3、方案 4, 相应大大减少了土石方量, 并尽量规避了深挖高

填带所引发的地基处理风险, 综合考虑方案 2 技术较优。

各方案对于设备投资最大的区别在于 GIS 分支母线的长度, 按 GIS 分支母线  $1.3 \text{ 万/单相米}$  计算, 4 个方案 GIS 分支母线设备投资差异如表 1 所示:

表 1 GIS 分支母线设备投资比较表

Tab. 1 Investment comparison table of GIS branch bus equipment

	方案 1	方案 2	方案 3	方案 4
GIS 分支母线长度/m	7 780	7 340	9 790	8 360
GIS 分支母线总价/万元	10 114	9 542	12 727	10 868
价差/万元	+572	0	+3 185	+1 326

由表 1 可以看出, 方案 2 中,  $500 \text{ kV}$  交流开关场距各配电装置均较近, GIS 分支母线最短, 经济性最好, 综合前述技术比较, 本工程推荐总平面布置方案 2, 效果如图 10 所示:



图 10 富宁  $\pm 500 \text{ kV}$  换流站推荐方案效果图

Fig. 10 Recommendation scheme effect diagram of Funing  $\pm 500 \text{ kV}$  converter station

### 3 结论

富宁 ±500 kV 换流站采用与交流站合建方案, 站内配电装置复杂, 总平面布置既要满足出线要求、站内功能分区要求, 又要避开高大山峰, 减少占地面积和土方工程量, 需对电气总平面布置统筹考虑。本文通过研究富宁 ±500 kV 换流站各边界条件, 从系统接入条件、站址地形条件、出线条件、电气主接线方案、建设投资等多方面考虑, 协调各专业的要求, 分析各配电装置的连接关系, 经过综合比较, 提出推荐换流站总平面布置方案的東西向尺寸为 686.5 m, 南北向尺寸为 333.7 m, 围墙内占地面积约 17.27 hm<sup>2</sup>, 在国内同等规模换流站工程中, 技术、经济各项指标均居较高水平, 得到各相关单位的一致好评。

#### 参考文献:

- [1] 孔志达. ±500 kV 深圳宝安换流站总平面布置优化设计 [J]. 广东输电与变电技术, 2008, 12(3): 61-64.  
KONG Z D. Optimizing design of general plane arrangement for ±500 kV Shenzhen Baoan converting station [J]. Transmission and Substation Technology in Guangdong, 2008, 12(3): 61-64.
- [2] 曹效义, 杜建建. ±800 kV 特高压换流站电气总平面布置设计优化 [J]. 内蒙古电力技术, 2015, 33(4): 5-10.  
CAO X Y, DU J J. Optimization of general electric arrangement design for ±800 kV extra-high tension convertor station [J]. Inner Mongolia Electric Power, 2015, 33(4): 5-10.
- [3] 张劲松. 高压换流站交、直流合建主要技术原则 [J]. 电力建设, 2009, 30(5): 21-24.  
ZHANG J S. Main technical principles for combining HV AC and DC converter station construction [J]. Electric Power Construction, 2009, 30(5): 21-23.
- [4] 姜鹏. 有效节约工程用地的电气总平面优化布置 [J]. 广东电力, 2012, 25(9): 99-102.  
JIANG P. The general plane optimal arrangement for effective lane-saving [J]. Guangdong Electric Power, 2012, 25(9): 99-102.
- [5] 范锡普. 发电厂电气部分 [M]. 北京: 中国电力出版社, 1995.
- [6] 史京楠, 胡君慧, 黄宝莹, 等. 新一代智能变电站平面布置优化设计 [J]. 电力建设, 2014, 35(4): 31-37.  
SHI J N, HU J H, HUANG B Y, et al. Layout optimization design of new generation smart substation [J]. Electric Power Construction, 2014, 35(4): 31-37.
- [7] 张涛. 某换流站交流 500 kV 电气主接线方案优化研究 [J]. 电力勘测设计, 2016, 12(1): 196-201.  
ZHANG T. Optimization of main electrical connection scheme for AC 500 kV of a converter station [J]. Electric Power Survey & Design, 2016, 12(1): 196-201.
- [8] 水利电力西北电力设计院. 电气工程电气设计手册: 电气一次部分 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2007.
- [9] 孝小昂. 变电站电气总平面布置设计思路探讨 [J]. 陕西电力, 2006, 34(5): 42-45.  
XIAO X A. Design thought of general electric arrangement in substation [J]. Shaanxi Electric Power, 2006, 34(5): 42-45.
- [10] 中国电力企业联合会. 高压配电装置设计技术规程: DL/T 5352—2006 [S]. 北京: 中国电力出版社, 2006.

#### 作者简介:



FU G H

#### 付冠辉

1960-, 男, 云南昆明人, 高级工程师, 学士, 云南电网公司调研员(500 kV 永富直流启动及建设期间, 时任云南电网公司副总工程师兼基建部主任), 主要从事电网建设管理工作, 研究方向为智能电网、装配式变电站(e-mail) tjzhd@sina.com。

#### 叶煜明(通信作者)

1973-, 男, 云南昆明人, 高级工程师, 学士, 云南电网有限责任公司基建部主任(500 kV 永富直流启动及建设期间, 时任云南电网公司建设分公司总经理), 主要从事电网建设管理工作, 研究方向为智能电网、装配式变电站(e-mail) 1923282038qq.com。

(责任编辑 李辉)