

# 云南至广东±800kV直流输电工程 施工关键技术研究

中国南方电网有限责任公司超高压输电公司 编著



中国水利水电出版社  
www.waterpub.com.cn

# 云南至广东±800kV直流输电工程 施工关键技术研究

中国南方电网有限责任公司超高压输电公司 编著



中国水利水电出版社  
www.waterpub.com.cn

## 内 容 提 要

本书为世界上首个特高压直流输电工程云南至广东±800kV 直流输电工程的研究成果。

本书共分 8 章, 包括工程简介, 换流站高端换流变压器、高端阀厅、直流场设备安装工艺, 直流输电线路铁塔组立、张力架线、附件安装工艺以及楚雄换流站土工格栅施工工艺等方面内容。

本书可供从事直流输电工程建设、设计、运行、监理、施工的技术和管理人员学习使用。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

云南至广东±800kV 直流输电工程施工关键技术研究/  
中国南方电网有限责任公司超高压输电公司编著. —北京:  
中国水利水电出版社, 2008

ISBN 978 - 7 - 5084 - 5222 - 7

I. 云… II. 中… III. 超高压—直流—输电技术—研究—  
中国 IV. TM726.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 000096 号

书 名	云南至广东±800kV 直流输电工程施工关键技术研究
作 者	中国南方电网有限责任公司超高压输电公司 编著
出版 发行	中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044) 网址: www. waterpub. com. cn E-mail: sales@waterpub. com. cn
经 售	电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (营销中心) 北京科水图书销售中心 (零售) 电话: (010) 88383994、63202643 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市兴怀印刷厂
规 格	889mm×1194mm 16 开本 15.5 印张 469 千字
版 次	2008 年 1 月第 1 版 2008 年 1 月第 1 次印刷
印 数	0001—2000 册
定 价	88.00 元

凡购买我社图书, 如有缺页、倒页、脱页的, 本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究



## 编 委 会

---

主 任：侯卫东

副主任：尚 春

委 员：尚 涛 曹惠潮 龚天森 林光龙 何忠明

凌一朋 朱大桥

## 编 写 组

---

主 编：尚 涛

副 主 编：曹惠潮

编写人员：陈 兵 蔡希鹏 黄礼奎 吴若婷 张雪波

蔡 华 甘运良 陈显坤 邵 刚 李剑华

李家干 赵燕平 李庆林 宋 晖 甘 丹

高腾尧

# 序

---

云南至广东±800kV 直流输电工程（以下简称云广直流输电工程）是南方电网“十一五”西电东送的主要输电通道，汇集云南小湾、金安桥等水电站的电力输送至广东。工程额定输电电压±800kV，额定输电容量 500 万 kW，输电距离 1412km，计划 2009 年上半年单极投产，2010 年双极投产。该工程是世界上第一个特高压直流输电工程，也是我国特高压直流示范工程，是我国电网建设史上的一个里程碑，在世界电力工程史上也是一个重大突破。

建设云广直流输电工程是中国南方电网有限责任公司按照科学发展观的要求，落实国家“西电东送”战略的重大举措，符合国家建设资源节约型社会和可持续发展战略的要求，符合自主创新的精神，对进一步促进西部地区能源资源的开发、扩大区域能源资源优化配置、实现东西部地区的资源经济优势互补、促进经济社会发展、提高土地资源有效利用率、节约线路走廊资源、带动我国电力科技水平发展、增强我国电力工业自主创新能力具有重大意义，同时为后续开发的西南大规模水电的长距离输送奠定技术基础。

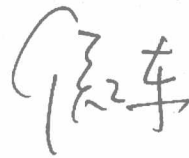
工程施工是把工程设计转化为工程成果的关键一环。云广直流输电工程建设规模巨大、技术先进、设备复杂、施工难度大，没有现成的施工经验可借鉴。如何安全、优质、高效地完成工程施工是该工程需要重点解决的问题之一。

中国南方电网有限责任公司超高压输电公司作为云广直流输电工程的建设单位，从 2006 年 6 月开始，成立了专门的课题组，组织了国内有关科研、设计、监理、施工单位对施工技术进行了深入的研究，根据该工程的实际情况选取了换流站高端换流变压器安装、换流站高端阀厅安装、换流站直流场设备安装、线路工程铁塔组立、线路工程张力架线、线路工程附件安装、土工格栅敷设等云广直流输电工程的

施工关键技术项目进行了科研攻关。目前，所有科研项目已完成，成果已通过了专家评审。

在云广直流输电工程即将全面开工之际，将施工技术关键科研项目成果汇编出版，对于指导工程施工，保证工程安全、质量、进度具有重要意义。希望云广直流输电工程相关参建单位继续努力，将有关科研成果落实到工程施工中去，精心施工，精心管理，为把该工程建设成为世界一流工程做出贡献。

为了充分发挥本书对于现场工程施工的指导作用，特将《云广直流输电工程质量监督检查典型大纲》作为本书附录，便于技术人员对该工程的质量管理有全局观念及整体认识，从而进一步做好工程质量管理，确保实现工程质量目标。



2008年1月

# 目 录

## 序

第 1 章 云南至广东±800kV 直流输电工程简介 .....	1
1.1 工程概况 .....	1
1.2 工程建设意义 .....	1
1.3 工程建设规模 .....	1
1.4 工程情况 .....	3
第 2 章 高端换流变压器安装工艺 .....	14
2.1 适用范围 .....	14
2.2 规范性引用文件 .....	14
2.3 基本规定 .....	14
2.4 云南至广东±800kV 直流输电工程高端换流变压器简介 .....	14
2.5 施工流程 .....	17
2.6 施工准备 .....	18
2.7 验收检查与现场保管 .....	19
2.8 绝缘油处理 .....	20
2.9 换流变压器总装前检查 .....	21
2.10 换流变压器总装 .....	23
2.11 真空注油 .....	28
2.12 热油循环 .....	29
2.13 补油、静置和整体密封试验 .....	30
2.14 二次线安装 .....	30
2.15 换流变压器就位 .....	30
2.16 换流变压器就位后的安装工作 .....	32
第 3 章 高端阀厅安装工艺 .....	33
3.1 高端阀厅建造工艺 .....	33
3.2 高端阀厅穿墙套管安装工艺 .....	71
3.3 高端阀厅主设备安装工艺 .....	75
3.4 高端阀厅辅助设备安装工艺 .....	86
第 4 章 直流场设备安装工艺 .....	98
4.1 干式平波电抗器安装工艺 .....	98
4.2 直流断路器安装工艺 .....	105
4.3 隔离开关安装工艺 .....	112
4.4 直流滤波器安装工艺 .....	117

4.5	大口径管母线安装工艺 .....	122
<b>第5章</b>	<b>±800kV 直流输电线路铁塔组立工艺 .....</b>	<b>126</b>
5.1	编制依据 .....	126
5.2	云广直流输电线路及塔型简介 .....	126
5.3	方案选择理由及适用范围 .....	128
5.4	工艺特点及主要布置参数 .....	129
5.5	工艺流程 .....	129
5.6	施工准备 .....	130
5.7	地面组装 .....	131
5.8	起立抱杆 .....	134
5.9	内悬浮外拉线抱杆分解组塔操作要点 .....	137
5.10	内悬浮内拉线抱杆分解组塔操作要点 .....	141
5.11	分解组塔的安全措施 .....	143
5.12	汽车起重机组塔的安全措施 .....	144
5.13	地面组装的质量要求 .....	145
5.14	铁塔组立的质量要求 .....	146
5.15	组立铁塔的主要工器具配置 .....	147
5.16	施工计算 .....	149
<b>第6章</b>	<b>±800kV 直流输电线路张力架线工艺 .....</b>	<b>158</b>
6.1	编制依据 .....	158
6.2	工程概况 .....	158
6.3	张力架线工艺特点 .....	159
6.4	张力架线施工准备 .....	160
6.5	张力放线 .....	167
6.6	紧线 .....	176
6.7	液压施工 .....	182
6.8	质量保证措施 .....	185
6.9	架线施工安全措施 .....	189
<b>第7章</b>	<b>±800kV 直流输电线路工程附件安装工艺 .....</b>	<b>193</b>
7.1	编制依据 .....	193
7.2	工程设计特点 .....	193
7.3	附件安装一般要求 .....	195
7.4	附件安装工器具选型 .....	196
7.5	耐张塔附件安装(挂线) .....	196
7.6	直线塔附件安装 .....	200
7.7	间隔棒安装 .....	203
7.8	跳线安装 .....	204
7.9	附件安装质量措施 .....	207
7.10	附件安装安全措施 .....	208
<b>第8章</b>	<b>楚雄换流站土工格栅施工工艺 .....</b>	<b>210</b>
8.1	编制依据 .....	210



8.2	施工准备 .....	210
8.3	基底处理技术 .....	211
8.4	第一层土工格栅加筋材料铺设方法 .....	211
8.5	填料的摊铺与压实 .....	212
8.6	土工格栅反包与连接 .....	214
8.7	质量控制措施 .....	214
8.8	安全保证措施 .....	215
附录	云南至广东±800kV 直流输电工程质量监督检查典型大纲 .....	216
附录 A	云南至广东±800kV 直流输电工程质量监督方案 .....	216
附录 B	变电站土建工程质量监督检查典型大纲 .....	218
附录 C	云南至广东±800kV 直流输电工程质量监督检查典型大纲 (换流站电气安装调试部分) .....	227
附录 D	云南至广东±800kV 直流输电工程质量监督检查典型大纲 (直流输电线路部分) .....	235

# 第 1 章 云南至广东±800kV 直流 输电工程简介

## 1.1 工程概况

云南至广东±800kV 直流输电工程（简称云广直流输电工程）是南方电网“十一五”西电东送的主要输电通道，汇集云南小湾、金安桥等水电站的电力输送至广东。额定输电电压±800kV，额定输电容量 500 万 kW，输电距离 1412km。送端换流站选定在云南楚雄州禄丰县，受端换流站选定在广州市增城市，直流线路途经云南、广西至广东。配合小湾、金安桥等水电站的建设进度，计划 2009 年上半年单极投产，2010 年双极投产。

## 1.2 工程建设意义

建设云广直流输电工程是中国南方电网有限责任公司落实国家“西电东送”战略的重大举措，对促进西部地区能源资源的开发、扩大区域能源资源优化配置、实现东西部地区的资源经济优势互补、促进经济社会发展具有重大意义。

建设云广直流输电工程同时是中国南方电网公司落实科学发展观的重大举措，它能实现远距离、大容量、低损耗输电，从根本上提高了输电通道走廊的利用率，大幅度提高了土地资源的有效利用率，节约了宝贵的线路走廊资源，符合国家建设节约型社会和可持续发展战略的要求。

建设云广直流输电工程将推动国内科研、设计和制造等部门掌握特高压直流输电核心技术，全面提升国内输变电设备制造水平，实现我国交、直流设备制造技术升级，带动我国电力科技水平发展，符合自主创新的发展国策，对于增强我国电力工业自主创新能力、占领世界电力科技制高点具有重要意义，同时为后续开发的西南大规模水电的长距离输送奠定技术基础。

该工程是世界上第一个特高压直流输电工程，也是我国特高压直流示范工程，它是我国电网建设史上的一个里程碑，在世界电力工程史上也是一个重大突破。

## 1.3 工程建设规模

云广直流输电工程建设规模包括新建楚雄换流站、穗东换流站、楚雄—穗东直流线路、接地极及接地极线路、相应的二次系统和控制系统等。

### 1.3.1 新建楚雄换流站

#### 1.3.1.1 直流部分

- (1) ±800kV 直流出线一回，双极同时建成。
- (2) 采用国内成熟的 5in 晶闸管制造技术，建设（400kV+400kV）串联的双 12 脉动阀组。
- (3) 装设总容量 3366Mvar 交流滤波器，分 5 个大组，共 18 小组，每小组无功补偿容量约 187Mvar（额定电压 525kV）。
- (4) 装设 24 台单相双绕组换流变压器，另加 4 台备用，换流变压器单台容量 25 万 kVA，采用

$Y_0/\Delta$ 和  $Y_0/Y$  接线。

### 1.3.1.2 交流部分

(1) 500kV 出线。远景出线 7 回, 至小湾电站 2 回、金安桥电站 2 回、和平变 2 回、备用 1 回; 本期出线 6 回, 小湾电站 2 回、金安桥电站 2 回、和平变 2 回。

(2) 500kV 高压电抗器。至小湾电站每回出线上装设高抗及中性点小电抗, 高抗容量 180Mvar; 至金安桥电站每回出线上装设高抗及中性点小电抗, 高抗容量 210Mvar。

### 1.3.2 新建穗东换流站

#### 1.3.2.1 直流部分

(1) ±800kV 直流出线一回, 双极同时建成。

(2) 采用国内成熟的 5in 晶闸管制造技术, 建设 (400kV+400kV) 串联的双 12 脉动阀组。

(3) 装设总容量 3010Mvar 交流滤波器, 分 4 个大组, 共 15 小组, 每小组无功补偿容量 190~210Mvar (额定电压 500kV)。

(4) 装设 24 台单相双绕组换流变压器, 另加 4 台备用, 换流变压器单台容量 24 万 kVA, 采用  $Y_0/\Delta$ 和  $Y_0/Y$  接线。

#### 1.3.2.2 交流部分

(1) 500kV 主变。远景规模按  $4 \times 1000$ MVA 变压器考虑; 本期不考虑装设主变。

(2) 500kV 出线。远景出线 8 回, 至增城变、横沥变、水乡变、备用各 2 回; 本期 6 回, 至增城变、横沥变各 2 回 (即解口增城—横沥变双回线路), 水乡变 2 回。

(3) 220kV 出线。远景出线 12 回; 本期不出线。

(4) 低压无功补偿设备。远景暂按每组主变低压侧装设  $5 \times 60$ Mvar 低压无功补偿设备考虑; 本期不装设。

### 1.3.3 新建楚雄至穗东±800kV 直流线路

直流线路长度 1412km, 轻冰区和 20mm 重冰区导线采用 LGJ—630/45 钢芯铝绞线, 30mm 冰区导线采用 AACSR—651/45 钢芯铝合金绞线。其中云南境内线路长度 287km, 广西境内线路长度 811.5km, 广东境内线路长度 313.5km。

### 1.3.4 新建两端换流站接地极及接地极线路

新建楚雄换流站接地极一座, 接地极线路长度 108km, 导线截面  $2 \times 630$ mm<sup>2</sup>。

穗东换流站与贵州至广东第二回±500kV 直流输电工程共用接地极, 接地极线路长度 100km, 导线截面为  $2 \times 630$ mm<sup>2</sup>。

### 1.3.5 换流站光纤通信工程

楚雄换流站—和平变电站双回线路上各架设一根 24 芯 OPGW 光缆及相应的光传输设备。

穗东换流站解口增城变电站—横沥变电站双回解口线路上各架设一根 48 芯 OPGW 光缆及相应的光传输设备。

### 1.3.6 二次系统及控制系统

建设相应的系统保护装置、安全稳定装置、调度自动化、计量计费系统、通信系统等二次系统及直流控制系统。

## 1.4 工程情况

### 1.4.1 楚雄换流站工程

#### 1.4.1.1 电气主接线

(1) 直流部分。按双极配置，每极按2个12脉冲阀组串联、400kV+400kV配置，设旁路开关接线；按极装设平波电抗器、直流滤波器等装置；每极装设一组三调谐直流滤波器，预留另一组直流滤波器的位置。装设大地和金属回路运行方式相互转换用的MRTB和MRS开关等装置。

(2) 交流部分。换流变压器交流侧标称电压为500kV，采用1个半断路器接线，远景500kV出线7回，交流滤波器4大组，换流变进线4回，站用电两回从换流站500kV交流母线引接，按7个完整串和1个不完整串规划。本期换流变压器进线4回、500kV出线6回、交流滤波器4大组，组成6个完整串和2个不完整串。

#### 1.4.1.2 主要设备选择

(1) 爬距。换流站屋外电气设备瓷外绝缘爬电比距按Ⅲ级污区设计。500kV采用25mm/kV（按最高工作电压计算爬电距离）。阀厅内直流设备外绝缘（包括伸入阀厅内的套管）的爬电比距不低于14mm/kV。

楚雄换流站站址海拔约1850m，应对站内设备外绝缘进行修正。

(2) 直流系统主要设备选择。晶闸管阀采用5in光触发换流阀，空气绝缘，水冷却户内式，悬吊式安装。二次冷却采用水冷方式。

换流变压器采用单相双绕组，调压方式采用有载调压，冷却方式采用ODAF。采用28台换流变压器，其中4台备用。

平波电抗器采用干式。平波电抗器分别串接在极母线和中性母线上，按极母线和中性母线各装2台75mH干式平波电抗器串联。采用9台平波电抗器，其中1台备用。

直流滤波器采用无源滤波器。

穿墙套管采用干式合成套管。

换流站±800kV级直流隔离开关采用三柱式（合成绝缘子）双断口形式。

(3) 交流系统主要设备选择。换流站交流500kV短路水平按63kA考虑。500kV配电装置串中和小组交流滤波器断路器均采用户外瓷柱式SF<sub>6</sub>断路器。换流变网侧及小组交流滤波器的断路器装设选相合闸装置。

楚雄换流站至金安桥回路断路器装设合闸电阻，根据成套设计研究结论，滤波器大组进串回路两侧断路器采用四断口断路器，换流变压器交流侧及滤波器大组母线避雷器采用双柱式。

#### 1.4.1.3 电气布置

换流站采用户外直流场布置方案。阀厅布置按二重阀考虑。500kV配电装置采用悬吊管母线、断路器三列式中布置方式，500kV出线不跨越交流滤波器；交流滤波器回路和母线采用常规敞开式设备；500kV配电装置间隔宽度采用30m，对于侧向斜拉进串回路及低架横穿软导线相间采用6.5m回路；高抗布置在外侧，TA、TV和避雷器布置在内侧，线路与高抗共用避雷器，取消高抗构架。

#### 1.4.1.4 站用电源

站用电系统考虑3回独立的站用电源，采用两级降压方式。从换流站500kV母线引接2回工作电源；从220kV禄丰变电站引接1回110kV线路作为备用电源。站用变压器采用无载调压方式。

### 1.4.1.5 土建及辅助设施

(1) 总布置。本工程站址位于云南省昆明市西北 80km 楚雄州禄丰县和平乡, 新建进站道路从站区东侧县道引接, 长度 100m。

站区总体规划采用北偏东 38° 布置, 站区总布置 800kV 直流开关场布置在站区北侧, 500kV 交流配电装置和交流滤波器组布置在站区南侧; 从站区东侧进站。

本工程按最终规模一次征地, 围墙内占地面积 23.65hm<sup>2</sup>, 全站共计征地面积 31.25hm<sup>2</sup> (469 亩)。

本工程采用竖向设计方式, 站址地处山冈地带, 高于百年一遇洪水位, 不受内涝水的影响, 土方自行平衡, 采用平坡式布置, 土石方工程量 110 万 m<sup>3</sup>, 土石比 5:5。

挖方区边坡采用放坡, 填方区边坡采用分级放坡和挡土墙, 高填方区采用加筋土边坡。

站内道路采用公路型, 变压器运输道路 6m, 平波电抗器运输道路 4.5m, 消防环行通道 4m, 站内道路总面积 6 万 m<sup>2</sup>。

换流变压器、平波电抗器及交流滤波器等考虑噪声治理, 设置隔声屏障等措施。

(2) 建构筑物。

1) 主要建筑。本工程设 1 座主控楼 (2324m<sup>2</sup>)、1 座辅控楼 (1248m<sup>2</sup>)、4 座阀厅 (8268m<sup>2</sup>)、3 座继电器小室 (721m<sup>2</sup>)、2 座备品、备件库 (1974m<sup>2</sup>)、综合楼 (2375m<sup>2</sup>)、车库 (466m<sup>2</sup>) 和水工消防等建筑物, 全站总建筑面积 18274m<sup>2</sup>。

2) 布置形式和结构。主控楼、辅控楼和阀厅采用“一”字形联合布置。主控楼采用三层框架结构; 辅控楼采用两层框架结构; 阀厅采用钢和混凝土混合结构; 防火墙采用框架填充墙。

3) 抗震设计。站址区地震动峰值加速度为 0.15g, 主辅控楼、阀厅、继电器小室等主要生产建筑物按 8 度采取抗震措施, 其余建筑按 7 度采取抗震措施。

4) 构架。500kV 交流场构架、交流滤波器构架及直流场地构架按最终规模一次建成, 采用钢管结构, 直流拉线塔采用钢管主材、角钢腹材格构式结构; 设备支架按本期规模建设, 采用钢管和格构式结构。

5) 地基处理。换流变压器, 阀厅和主、辅控制楼位于挖方区, 基础以砂、泥岩层为基础持力层, 采用天然地基。500kV 配电装置场地、交流滤波器区位于填方区域, 采用换填和分层强夯处理方案。

(3) 辅助系统。

1) 空调通风。阀厅和主辅控制楼采用集中空调, 继电器小室采用分体空调; 综合楼采用多联机空调。

2) 冷却系统。晶闸管阀的外冷却采用水冷却方式, 设 4 套独立的阀冷却系统。

3) 水源。一路采用东河水库取水 (距离 12km), 另一路采用和平乡水源地供水 (距离 3km)。

4) 站内供水。全站共设工业、消防、生活三个供水系统, 站内设 2×800m<sup>3</sup> 工业消防蓄水池。

5) 排水。站区雨水和经处理达标后的污水汇集后排入站外北侧 80m 和西南侧 350m 冲沟。

6) 消防。全站在主、辅控楼, 阀厅, 换流变压器, 继电器小室等均设置火灾探测报警系统。主、辅控楼设室内、外设水消防系统; 主、辅控楼, 阀厅, 继电器小室设移动式化学灭火装置; 换流变压器采用水喷雾灭火装置。

## 1.4.2 穗东换流站工程

### 1.4.2.1 电气主接线

(1) 直流部分。双极配置, 每极按 2 个 12 脉冲阀组串联、400kV+400kV 配置, 设旁路开关接线; 按极装设平波电抗器、直流滤波器等装置; 每极装设一组三调谐直流滤波器, 预留另一组直流



滤波器的位置。

(2) 交流部分。换流变压器交流侧标称电压为 500kV。500kV 采用 1 个半断路器接线，远景换流变压器进线 4 回，500kV 出线共 8 回，500kV 降压变压器 4 组，其中 2 组接入 500kV 串内，另 2 组分别接入 500kV 母线，交流滤波器 4 大组，按 9 个完整串规划。220kV 采用双母线双分段接线，共 12 回出线。本期建设的 500kV 部分规模为：换流变进线 4 回、500kV 出线 6 回、交流滤波器 4 大组，站用电 1 回（布置在#3 降压自耦变压器位置），组成 6 个完整串和 3 个不完整串。交流滤波器设独立的滤波器大组母线。本期 500kV 降压变压器和 220kV 部分不建设。

#### 1.4.2.2 主要设备选择

(1) 爬距。两换流站屋外电气设备瓷外绝缘爬电比距按Ⅲ级污区设计。500kV 采用 25mm/kV（按最高工作电压计算爬电距离）。阀厅内直流设备外绝缘（包括伸入阀厅内的套管）的爬电比距不低于 14mm/kV。

(2) 直流系统主要设备选择。晶闸管阀采用 5in 光触发换流阀，空气绝缘、水冷却户内式，悬吊式安装。二次冷却采用水冷方式。

换流变压器采用单相双绕组，调压方式采用有载调压，冷却方式采用 ODAF。采用 28 台换流变压器，其中 4 台备用。

平波电抗器采用干式。平波电抗器分别串接在极母线和中性母线上，按极母线和中性母线各装 2 台 75mH 干式平抗串联。采用 9 台平波电抗器，其中 1 台备用。

直流滤波器采用无源滤波器。

穿墙套管采用干式合成套管。

换流站±800kV 级直流隔离开关采用三柱式（合成绝缘子）双断口形式，需要注意合成绝缘子的抗弯、抗扭强度。

(3) 交流系统主要设备选择。换流站交流 500 kV 短路水平按 63kA 考虑。500kV 配电装置串中和小组交流滤波器断路器均采用户外瓷柱式 SF<sub>6</sub> 断路器。换流变网侧及小组交流滤波器的断路器装设选相合闸装置。

穗东换流站 220kV 按采用户外 GIS 设备规划。

#### 1.4.2.3 电气布置

换流站采用户外直流场布置方案。阀厅布置按二重阀考虑。500kV 配电装置采用悬吊管母线、断路器三列式中中型布置方式，500kV 出线不跨越交流滤波器；交流滤波器回路和母线采用常规敞开式设备；不完整串断路器有条件时可安装中间断路器，相应安装母线侧隔离开关，不先安装中间隔离开关，若先安装靠母线断路器，则需增加支柱绝缘子。

#### 1.4.2.4 站用电源

站用电系统考虑 3 回独立的站用电源，采用两级降压方式。本期 1 回工作电源从换流站 500kV 串内引接，500kV/10kV 站用变压器安装于远景 3 号降压变压器位置；另 1 回工作电源从 220kV 荔城变电站引接 1 回 110kV 线路；第 3 回从 110kV 朱村变电站引接 1 回 110kV 线路作为备用电源。远景 2 回站用工作电源分别改接至 2 组 500kV 降压变压器 35kV 侧，保留从 220kV 荔城变电站引接的一回 110kV 线路作为备用电源。

#### 1.4.2.5 土建及辅助设施

(1) 总布置。本工程站址位于广东省广州增城市以西 16km 的朱村镇和中新镇。新建进站道路从站区北侧县级公路引接，长度 900m。

站区总体规划采用北偏东 37°布置，总布置直流开关场布置在站区西侧，交流滤波器组布置在站区北侧；500kV 交流配电装置布置在站区南侧，从站区北侧进站。

本工程按最终规模一次征地，围墙内占地面积 22.50hm<sup>2</sup>，全站共计征地面积 29.90hm<sup>2</sup>（449

亩)。

本工程采用竖向设计方式,站址地处山冈地带,高于百年一遇洪水位,不受内涝水的影响,土方自行平衡,采用平坡式布置,土方工程量 106 万  $\text{m}^3$ 。挖填方区边坡均采用分级护坡加挡土墙方案。

站内道路采用公路型,变压器运输道路 6m;平波电抗器运输道路 4.5m,消防环行道路 4m,站内道路总面积 4.7 万  $\text{m}^2$ 。

#### (2) 建构筑物。

1) 主要建筑。本工程设 1 座主控楼 ( $2564\text{m}^2$ )、2 座辅控楼 ( $1107\text{m}^2$ )、4 座阀厅 ( $8334\text{m}^2$ )、4 座继电器小室 ( $819\text{m}^2$ )、1 座备品备件库 ( $2144\text{m}^2$ )、综合楼 ( $2000\text{m}^2$ )、车库 ( $407\text{m}^2$ ) 和水工消防等建筑物,全站总建筑面积  $17780\text{m}^2$ 。

2) 布置形式和结构。主控楼、辅控楼和阀厅采用三列式布置。主控楼、辅助控楼采用两层框架结构;阀厅采用钢和混凝土混合结构;阀厅及换流变防火墙采用框架填充墙结构;继电器小室改为钢筋混凝土框架结构;备品、备件库按 10t 吊车考虑;综合楼采用两层框架结构,建筑面积控制在  $2000\text{m}^2$  左右。

3) 抗震设计站址区地震动峰值加速度为  $0.05g$ ,主辅控楼、阀厅、继电器小室等主要生产建筑物按 7 度采取抗震措施,其余建筑按 6 度采取抗震措施。

4) 构架。500kV 交流场构架、交流滤波器构架及直流场地构架按最终规模一次建成,采用钢管结构;设备支架按本期规模建设,采用钢管结构。

5) 地基处理。位于挖方区的直流滤波器场,换流变压器,阀厅和主、辅控制楼,220kV 配电装置等采用天然地基和局部换填。位于回填土区域 500kV 交流配电装置、交流滤波器场地采用桩基础处理。站前区及换流变压器运输广场采用强夯处理。

#### (3) 辅助系统。

1) 空调通风。阀厅和主、辅控楼采用集中空调,继电器小室和综合楼采用分体空调。

2) 冷却系统。晶闸管阀的冷却采用水冷却方式,设 4 套独立阀冷却系统。

3) 水源。本工程一路水源采用市政自来水管路供水(距离 1km),另一路水源朱村镇自来水厂供水(距离 5km)。

4) 站内供水。全站共设工业、消防、生活三个供水系统,站内设  $2 \times 800\text{m}^3$  工业消防蓄水池。

5) 排水。站区雨水和经处理的污水排入站外北侧沟渠。

6) 消防。全站在主、辅控楼,阀厅,换流变压器,继电器小室等均设置火灾探测报警系统。主、辅控楼设室内、外设水消防系统;主、辅控楼,阀厅,继电器小室设移动式化学灭火装置;换流变压器采用水喷雾灭火装置。

### 1.4.3 直流输电线路工程

#### 1.4.3.1 路径

本工程起自云南楚雄换流站,止于广东穗东换流站。途经云南省的禄丰县、富民县、昆明市、崇明县、马龙县、陆良县、曲靖市、罗平县,共 8 个市县;途经广西的西林县、田林县、百色市、田阳县、大化县、马山县、上林县、来宾市、武宣县、桂平县、平南县、藤县、苍梧县、梧州市,共 14 个市县;途经广东的封开县、怀集县、广宁县、四会市、清新县、清远市、佛冈县、从化市、增城市,共 9 个市县。线路路径全长约 1412km,其中云南境内线路长约 287km,广西境内线路长约 811.5km,广东境内线路长约 313.5km。线路沿线地形比例为:高山大岭 31.35%,一般山地 44.47%,丘陵 15.94%,平地 5.53%,泥沼 2.71%。线路途经集中林区按跨越设计。

#### 1.4.3.2 气象条件

基本风速取百年一遇、离地 10m 高、10min 平均最大风速取值。全线分 3 个风区,分别为 27m/s、

30m/s 和 32m/s。30m/s 风区长约 355km, 主要分布在马龙县、罗平县、平南县、四会市、清远市等地, 32m/s 风区长约 48km, 主要分布在广东省增城市至穗东换流站段, 其余地段约 1009km 为 27m/s 风区。

本工程全线分为 0mm、10mm、15mm、20mm 和 30mm 5 个冰区, 长度分别为 895km、388km、49km、66km 和 19km。对于高差相对较大、连续上下山的易覆冰地段, 适当提高杆塔的抗冰能力。

#### 1.4.3.3 导、地线

设计根据系统输送容量, 考虑经济电流密度及节能降耗要求, 满足电磁环境影响要求, 经过综合技术经济比较, 轻冰区和 20mm 重冰区导线采用 LGJ—630/45 钢芯铝绞线, 30mm 冰区导线采用 AACSR—651/45 钢芯铝合金绞线, 每极六分裂, 分裂间距为 450mm。

轻冰区和 20mm 冰区地线采用 LBGJ—180—20AC 铝包钢绞线, 30mm 冰区地线采用 LBGJ—210—20AC 铝包钢绞线。

#### 1.4.3.4 导线、地线防振

轻冰区导线利用阻尼式间隔棒的消振作用, 一般挡距不装防振锤, 大挡距采用防振锤防振; 地线采用防振锤防振。重冰区导线采用预绞丝护线条防振; 地线采用阻尼线或护线条防振。

#### 1.4.3.5 绝缘配置

(1) 污区划分。全线划分为轻污区、中污区和重污区, 盐密分别为  $0.05\text{mg}/\text{cm}^2$ 、 $0.08\text{mg}/\text{cm}^2$  和  $0.15\text{mg}/\text{cm}^2$ , 长度分别约为 658km、621km 和 138km。

(2) 绝缘配置。

1) 轻冰区绝缘配置。直线塔悬垂串采用合成绝缘子; 耐张串采用盘式绝缘子; 广东境内重污区部分耐张塔试用合成绝缘子。

2) 重冰区绝缘配置。悬垂串和耐张串均采用盘式绝缘子。

#### 1.4.3.6 绝缘子串和金具

轻冰区悬垂串采用 210kN、300kN、400kN 单双联 V 形合成绝缘子串; 重冰区悬垂串采用 210kN、300kN、400kN 单双联 V 形盘式绝缘子串。耐张串 20mm 及以下冰区采用三联 400kN 或双联 530kN 直流盘式绝缘子, 绝缘子串呈水平布置。30mm 冰区采用三联 530kN 绝缘子串直流盘式绝缘子, 绝缘子串呈水平布置。耐张塔跳线型式推荐采用笼式硬跳线。跳线串采用 160kN 单联 V 形合成绝缘子串。

轻冰区悬垂绝缘子串联间距为 800mm, 耐张绝缘子串联间距为 1000mm。重冰区悬垂绝缘子串联间距为 1000mm, 耐张绝缘子串联间距为 1200mm。

#### 1.4.3.7 防雷接地

本工程架设双地线防雷设计, 地线保护角为  $-8^\circ \sim -11^\circ$ 。接地装置为方框加射线形式。接地体采用  $\phi 10$  圆钢, 接地引下线采用  $\phi 12$  圆钢。对于土壤电阻率较高的山区, 可以采取换土、接地模块等综合降低接地电阻的措施。

#### 1.4.3.8 对地及交叉跨越距离

本工程导线对地距离可按下述原则考虑: 居民区地面最大场强不大于  $25\text{kV}/\text{m}$ , 对应最小对地距离为 21m (V 形绝缘子串); 非居民区地面最大场强不大于  $30\text{kV}/\text{m}$ , 对应最小对地距离为 18m (V 形绝缘子串)。

导线对各种交叉跨越距离由电场强度、电气绝缘间隙和其他因素决定, 具体数值按交叉跨越距离研究专题报告推荐值选用。

距线路边导线 7m 内的房屋应进行拆迁; 距边导线 7m 以外地面, 未畸变合成场强大于  $15\text{kV}/\text{m}$  或最大计算风偏净距小于 15.5m 时, 应考虑拆迁。

### 1.4.3.9 铁塔与基础

(1) 杆塔规划。本工程共分 6 个区段进行杆塔规划。区段一最大设计风速 27m/s, 覆冰厚度 10mm 和 0mm; 区段二最大设计风速 30m/s, 覆冰厚度 10mm 和 0mm; 区段三最大设计风速 32m/s, 覆冰厚度 0mm; 区段四最大设计风速 30m/s, 覆冰厚度 15mm; 区段五最大设计风速 30m/s, 覆冰厚度 20mm; 区段六最大设计风速 30m/s, 覆冰厚度 30mm。

(2) 杆塔形式。全线采用自立式铁塔。本工程直线塔采用 V 形绝缘子串水平排列的铁塔, 悬垂转角塔采用 L 形绝缘子串水平排列的自立塔。轻冰区耐张转角塔采用干字形铁塔, 转角度数分为  $0^{\circ}\sim 20^{\circ}$ 、 $20^{\circ}\sim 40^{\circ}$ 、 $40^{\circ}\sim 60^{\circ}$ 。重冰区耐张塔采用分体式铁塔 (转角度数分为  $0^{\circ}\sim 20^{\circ}$ 、 $20^{\circ}\sim 40^{\circ}$ ) 或整体式干字形铁塔 (转角度数分为  $0^{\circ}\sim 40^{\circ}$ )。

铁塔材料采用 Q235、Q345 及 Q420 高强度钢, 铁塔螺栓采用 4.8 级 (M16)、6.8 级 (M20)、8.8 级 (M24) 镀锌螺栓。

地面以上 9m 范围内铁塔螺栓采取防盗措施, 其余铁塔螺栓均采取防松措施。

直线转角塔分为两种, 分别为  $0^{\circ}\sim 12^{\circ}$  和  $10^{\circ}\sim 20^{\circ}$ 。

(3) 杆塔荷载。杆塔结构重要性系数  $\gamma_0$  取 1.1, 安装工况仍取 1.0。杆塔结构构件可靠度指标  $\beta$  不应低于 3.7。

对于 15mm 冰区地段, 为提高杆塔的抗冰能力, 各相导线及地线均考虑同时有纵向不平衡张力。导线纵向不平衡张力取值为最大使用张力的 15% (同期同向), 地线取最大使用张力的 25%。

(4) 基础。

1) 根据不同地质条件和铁塔型式, 基础型式可采用斜柱基础、台阶基础、掏挖基础、人工挖孔桩、大板基础、岩石嵌固基础、岩石锚杆基础、联合基础和深基础, 地质条件较差的塔位可采用灌注桩基础。

2) 为减少土石方量, 保护自然环境, 丘陵和山区段杆塔采用全方位高低腿设计, 并与主柱加高基础配合使用。山区杆塔基础采取必要的护坡、保坎、排水沟等确保塔基稳定并利于水土保持的措施。

### 1.4.3.10 环境保护

本工程电磁环境的影响标准要满足国家环保总局《关于云广特高压直流输电工程环境影响报告书的批复》(环审〔2006〕199号) 批复意见的要求。

(1) 地面合成场强。非居民区地面合成场强不大于 30kV/m, 临近民房地面最大合成场强不大于 25kV/m, 80% 测量值不超过 15kV/m。

(2) 离子流密度。非居民区地面离子流不大于 100nA/m<sup>2</sup>。

(3) 无线电干扰限值要求。距极导线外 20m 处 0.5MHz 不大于 55dB ( $\mu\text{V}/\text{m}$ )。

(4) 可听噪声限值。一般地区小于 50dB (A), 居民区小于 45dB (A)。

## 1.4.4 接地极线路工程

### 1.4.4.1 楚雄换流站侧接地极线路

(1) 线路路径。本工程起自楚雄换流站, 途径云南省禄丰县、武定县、禄劝县、寻甸县, 止于马街接地极, 全长约 108km。

(2) 气象条件。按离地 10m 高、30 年一遇、10min 平均最大风速取值, 最大设计风速为 25m/s。覆冰厚度分为 10mm 和 20mm 两个冰区, 其中 20mm 重冰区长度约 1km。

(3) 导线、地线型号。导线采用  $2\times 630\text{mm}^2$  钢芯铝绞线; 地线采用 1 根 GJ—80 钢绞线。

(4) 绝缘子串。悬垂串采用单、双联 160kN 直流盘式绝缘子; 耐张串采用双联 210kN 直流盘式绝缘子。