

# 准东—华东 $\pm 1100$ kV特高压送端换流站 接地极及接地极线路规划

综合考虑准东—华东（皖南） $\pm 1100$  kV特高压直流送端换流站周边地理条件、气象条件、基础设施、交通条件、地形地貌和土壤的电气性能等多项因数，对送端换流站的接地极极址和接地极线路进行了规划，并对接地极埋设方式、布置型式、导线型号、地线型号和杆塔型号等进行了选择。

章文俊<sup>1</sup> 钱毅<sup>2</sup> 张凤新<sup>3</sup> 单鸿涛<sup>1</sup> / 1. 上海工程技术大学电子电气工程学院 2. 上海送变电工程公司 3. 中国建筑上海设计研究院有限公司



章文俊/讲师

## 0 引言

准东—华东（皖南） $\pm 1100$  kV特高压直流工程规划于2019年左右建成投产，输电电压等级为 $\pm 1100$  kV，输电规模12000 MW。为便于电源就近接入、就地送出，送端换流站落点位于靠近电源中心的准东五彩湾地区。

参照新疆自治区地形图及新疆2012年电网规划地理接线图，根据接地极极址的选择原则，并结合换流站所在位置，本文主要对送端换流站的接地极极址和接地极线路进行了规划设计。

## 1 接地极极址规划

对若干待选极址进行初步比较后，获得送端换流站的两个备选极址：一个是位于桥子村西8.5 km处，距县城北约15 km左右的桥子村极址，如图1所示；另一个是位于旱沟四小队西侧2.5 km处，临近X166公路的旱沟极址，如图2所示。两处极址用地均属新疆维吾尔自治区昌吉回族自治州奇台县所有，区域周围基础设施较为丰富，临近省道及当地县道，交通条件便利，极址范围及四周均为草场，地形平

坦，地势开阔，出线走廊较好。



图1 桥子村极址地貌



图2 旱沟极址地貌

### 1.1 极址土壤电阻率

#### (1) 桥子村接地极土壤电阻率

根据现有的地质资料及电法勘探所测得电测深曲线可知：在测深范围内桥子村极址区大概可划分四个电性层：

1) 第一电性层为粉土。埋深约0~1.7 m，该范围内的土壤电阻率值为22~42  $\Omega \cdot m$ 。

2) 第二电性层为层粉砂、圆砾。埋深约1.7~12 m，该范围内的土壤电阻率值为13~21  $\Omega \cdot m$ 。

3) 第三电性层岩性未知。埋深约12~51 m，该范围内的土壤电阻率值为51~76  $\Omega \cdot m$ 。

4) 第四电性层岩性未知。埋深约51~200 m，该范围内的土壤电阻率值为20~38  $\Omega \cdot m$ 。

### 关键词/Keywords

$\pm 1100$  kV特高压·  
换流站·  
接地极·  
规划·

桥子村极址5个测点的土壤电阻率平均值为 $35.6 \Omega \cdot \text{m}$ 。

#### (2) 旱沟村接地极土壤电阻率

在测深范围内旱沟村极址区大概可划分四个电性层：

1) 第一电性层为粉土。埋深约 $0 \sim 1.3 \text{ m}$ ，该范围内的土壤电阻率值为 $21 \sim 66 \Omega \cdot \text{m}$ 。

2) 第二电性层为粉细砂。埋深约 $1.3 \sim 11 \text{ m}$ ，该范围内的土壤电阻率值为 $7 \sim 22 \Omega \cdot \text{m}$ 。

3) 第三电性层岩性未知。埋深约 $11 \sim 135 \text{ m}$ ，该范围内的土壤电阻率值为 $44 \sim 88 \Omega \cdot \text{m}$ 。

4) 第四电性层岩性未知。埋深约 $135 \sim 200 \text{ m}$ ，该范围内的土壤电阻率值为 $18 \sim 22 \Omega \cdot \text{m}$ 。

旱沟村极址5个测点的土壤电阻率平均值为 $43.8 \Omega \cdot \text{m}$ 。

### 1.2 极址主要技术条件

极址应满足的主要设计技术条件包括：入地额定电流为 $5\,455 \text{ A}$ ；最大过负荷电流为 $6\,000 \text{ A}$  ( $1.1\text{pu}$ )；暂态电流为 $7\,100 \text{ A}$  ( $1.3\text{pu}$ )；最大跨步电压 $<7.42 + 0.0318\rho \text{ (V/m)}$ ；投运初期单极大地运行时间为1个月；土壤最高允许温度为 $90^\circ\text{C}$ ；电极布置方式为双环布置。

实际计算结果如表1所示。

表1 主要计算结果

| 序号 | 极址名称  | 外/内环<br>半径/m | 外/内环<br>埋深/m | 跨步电压/(V/m)                      | 结论     |
|----|-------|--------------|--------------|---------------------------------|--------|
| 1  | 桥子村极址 | 400/280      | 3.5/3.5      | 控制值： $\leq 8.692$<br>计算最大值：4.51 | 跨步电压满足 |
| 2  | 旱沟村极址 |              |              | 同上                              |        |

### 1.3 数据分析与极址选择

#### (1) 相关数据分析

根据目前桥子村和旱沟村极址的浅层电阻率测量情况，此两处均可作为接地极极址使用。

根据计算结果，两接地极极址在外径达到 $400 \text{ m}$ 时可满足跨步电压要求；而且两极址可用面积范围也满足极环尺寸要求。因此，从跨步电压及可用面积考虑，此两处也均满足作为接地极极址的要求。

根据《新疆自治区750 kV及以上电网2012年接线规划图》，桥子村接地极极址附近变电站及电厂相对较少，根据工程经验初步判断，接地极运行时对附近变电站的变压器影响不大，但具体情况有待下阶段做进一步详细计算。

#### (2) 比选结果

根据以上分析，目前阶段两地址均可作为备选极址，但桥子村接地极极址离换流站站址较旱沟村近，工程投资少，故本文推荐的接地极极址为桥子村极址。

## 2 接地极与导流系统的布置

### 2.1 接地极极体材料的选择

直流感地极一般采用两种材料：

1) 金属材料。主要起馈电作用，因此也称为馈电体，本文推荐采用高硅铬铁材料作为馈电体。

2) 活性材料。是填充在馈电体周围的材料，其作用是扩大馈电体的散流面积，减少接地电阻，同时避免金属材料（馈电体）与土壤直接接触，从而减低馈电体的腐蚀速率。通常使用的活性材料是焦炭或焦炭碎屑，前者是煤炭干馏的产物，后者是精炼石油裂化过程留下的小颗粒固体残留物。本文推荐采用焦炭作为填充材料。

### 2.2 接地极埋设方式及布置型式

电极的设计和入地电流大小、场地形状、面积、土壤电阻率及周围环境条件等因素密切相关。因此，接地极的形状、大小及埋设方式的选择，要综合考虑地形地貌、地下水位、土壤的电气性能及热性能等多项参数。

#### (1) 接地极的埋设方式

陆地接地极的形状可分为两类：一类是井型电极，它是由若干根垂直于地面布置的子电极组成；另一类是沟型（也称浅埋型）电极。沟型接地极已广泛运用于常规直流和特高压直流接地极工程。

本文推荐采用运行经验成熟、设计经验丰富和施工运行方便的浅埋沟型接地极。

(2) 接地极的布置型式

由于极址（桥子村和旱沟子村）地面较平坦且开阔，推荐采用圆形布置的接地极。圆环形接地极的最大优点是电流在电极上分布均匀，不会出现局部跨步电压过高；而且在同样的设计条件下，电极长度较短，材料用料省，运行性能好。

根据极址浅层土壤电阻率测量结果，经初步计算后，考虑到一定的裕度，接地极可布置为：电极采用同心两圆环布置：外环半径 $R_1=400\text{ m}$ （周长 $2\,513\text{ m}$ ）；内环半径 $R_2=280\text{ m}$ （周长 $1\,912\text{ m}$ ），内、外极环埋深均为 $3.5\text{ m}$ 。

极环馈电棒采用 $\phi 50$ 高硅铬铁，填充材料为焦炭，内、外环焦炭截面积均为 $1.0\text{ m} \times 1.0\text{ m}$ 。

极址共设110个渗水井、16个检测装置以及8个引流井。

2.3 导流系统的布置原则

为了获得比较均匀的电流分布，保证导流系统的安全运行，导流系统的布置应遵循以下原则：

1) 导流系统布置应与电极形状相配合。若接地极为对称型，导流线也应对称布置。

2) 适当增加导流线分支数目，当一根导流线停运（损坏或检修）时，应不影响其他导流线的安全运行，以提高系统的可靠性。

3) 导流电缆应有足够的载流容量储备，绝缘外套应具有较好的热特性。

4) 导流电缆应尽量避免从接地极电流密度大的部位接入，防止土壤发热致使电缆热变形，损坏电缆。

5) 连接点应牢固可靠。

6) 为减少征地面积，推荐采用直埋电缆引流至极环。

本文推荐导流系统采用1个进线中心塔，内、外环各自分为4段，每段分别采用两根埋地电缆从进线中心塔引流，引流电缆型号为 $6\text{ kV YJY}-6-1 \times 500$ ，引流电缆在电缆沟内敷设，馈电棒之间通过辅助导流电缆采用放热焊进行续接。

根据上述接地极与导流系统的布置方式，可得主要工程量如表2所示。

表2 接地极与导流系统主要工程量

| 序号 | 名称       | 数量     |
|----|----------|--------|
| 1  | 焦炭/t     | 5 400  |
| 2  | 馈电棒/根    | 2 400  |
| 3  | 6 kV电缆/m | 11 000 |

注：焦炭数量按投运初期单极大地运行时间1个月考虑。

3 送端换流站接地极线路规划

3.1 线路路径

因条件所限，本文仅给出一个接地极线路路径方案，线路平行于直流线路走线，线路沿线有较长的沙丘地，交通条件较差，线路长度为 $81\text{ km}$ ，并已取得全部路径协议。

3.2 主要工程设想

(1) 导线和地线选型

根据当地气象资料及现场调查，本文推荐路径的设计风速为 $32\text{ m/s}$ （ $15\text{ m}$ 高处30年一遇 $10\text{ min}$ 平均最大值），设计覆冰厚度全线采用 $5\text{ mm}$ 。因此，本文推荐使用 $2 \times 2 \times \text{JNRLH60G1A}-630/45$ 钢芯耐热铝合金绞线，地线采用 $\text{JLB20A}-100$ 。性能参数如表3所示。

表3 推荐的导、地线性能参数表

| 导线型号                                             | JNRLH60G1A-630/45     | JLB20A-100          |
|--------------------------------------------------|-----------------------|---------------------|
| 截面积/ $\text{mm}^2$                               | 672.50                | 100.88              |
| 直径/mm                                            | 33.75                 | 13                  |
| 单位质量/( $\text{t/km}$ )                           | 2.078                 | 0.674 1             |
| 综合弹性系数/MPa                                       | 63 700                | 147 200             |
| 综合温度膨胀系数/( $1/^\circ\text{C}$ )                  | $20.8 \times 10^{-6}$ | $13 \times 10^{-6}$ |
| 额定抗拉力/N                                          | 150 190               | 121 660             |
| 20 $^\circ\text{C}$ 时直流电阻/( $\Omega/\text{km}$ ) | 0.047 1               | /                   |

(2) 绝缘配置

考虑到接近换流站的接地极线路易受雷击导致跳闸，本文推荐靠近换流站 $0\% \sim 41\%$ （以换流站为起点，接地极址为终点）线路区段采用5片绝缘子， $41\% \sim 100\%$ 线路区段悬垂串采用3片绝缘子，耐张串采用4片绝缘子。

空气间隙取值如表4所示。

(3) 杆塔规划

铁塔型式根据沿线地形、海拔、气象情况和

表4 空气间隙取值

| 工况 | 空气间隙取值/m             |
|----|----------------------|
| 大风 | 0.2                  |
| 雷电 | 0.5                  |
| 带电 | 0.65（包含0.5 m的人体活动范围） |

电气要求进行规划，拟选取 $Z_1$ 、 $Z_2$ 和 $Z_3$ 共3种直线塔， $JG_1$ 、 $JG_2$ 和 $JG_3$ 共3种转角塔以及DG终端塔。规划的塔型使用条件如表5所示。

表5 杆塔使用表

| 塔类  | 塔型     | 呼高/m      | 转角(°) | 水平档距/m | 垂直档距/m |
|-----|--------|-----------|-------|--------|--------|
| 直线塔 | $Z_1$  | 19~31     | 0     | 420    | 500    |
|     | $Z_2$  | 19~37     | 0     | 550    | 660    |
|     | $Z_3$  | 19~43     | 0     | 750    | 900    |
| 耐张塔 | $JG_1$ | 15.5~27.5 | 0~20  | 400    | 450    |
|     | $JG_2$ | 15.5~27.5 | 20~40 | 350    | 500    |
|     | $JG_3$ | 15.5~27.5 | 40~60 | 350    | 500    |
| 终端塔 | DG     | 15.5~27.5 | 0~90  | 400    | 550    |

4 结束语

换流站接地极起到钳制电位并将系统电流导入大地的重要作用。

本文主要参照准东—华东（皖南）±1 100 kV特高压直流送端换流站周边地理条件、气象条件、基础设施及交通条件，综合考虑地形地貌、土壤的电气性能等多项因数对送端换流站的接地极极址和接地极线路进行了规划，并对接地极埋设方式、布置型式等进行了选择。

参考文献

[1] 李晓黎，陈祖胜．特高压直流输电技术发展综述[J]．广西电力，2009（1）：23-26．

[2] 中国电力科学研究院．特高压输电技术 直流输电分册[M]．北京：中国电力出版社，2012．

（收稿日期：2015-03-09）
 EA

（上接第52页）

全运行直接关系着油田的安全稳定生产。而造成高压异步电动机负序过电流保护动作的原因复杂多样，如工作电压不平衡、电动机缺相或接地故障及电压的扰动等，这些因素给海上平台故障排查带来一定的困难。本文采用对称相量法，阐述了负序电流产生的机理，分析了保护装置负序过电流II段保护动作的原因，现针对设计、审图、施工及竣工验收提出以下几点建议。

- 1) 设计单位编制的图样应符合国家的标准和规范，设计要满足实际需求。
- 2) 审图人员应对设计图样进行严格审查和把关，避免因设计原因给用户造成不必要的损失。
- 3) 盘柜厂家生产的产品在出厂前要加强出厂测试管理，细化质检程序。
- 4) 现场调试人员应参照国家相关规范，对产

品进行严格的检查及校验。

- 5) 验收人员应加强验收管理制度，及时发现问题，并提出整改意见。

参考文献

[1] 符国善，姜斌．一起高压异步电动机负序电流保护动作事故的原因分析[J]．科技信息，2010（35）：1116-1117．

[2] 高春如，张金水，赵旭东，等．高压电动机负序过电流保护整定计算[J]．电力系统自动化，2011，35（15）：93-97．

[3] 李光琦．电力系统暂态分析[M]．北京：中国电力出版社，2007．

[4] 李发海，朱东起．电机学[M]．北京：科学出版社，2007．

（收稿日期：2016-01-26）
 EA