

# 110kV 室内变电站接地网设计技术研究

钱银其

(常州电力设计研究院, 常州市东河沿 1 号 213000)

**摘 要:** 本文着重于对江苏地区近几年较为典型的 110kV 室内变电站接地网设计技术进行计算、分析和研究, 得出的计算数据、分析研究结论, 对 110kV 室内变电站接地网设计具有指导意义。

**关键词:** 接地网设计; 土壤电阻率; 接地电阻; 接触电位差; 跨步电位差; 铜质材料; 铜覆钢材料

## 0 引言

按国网公司输变电工程初步设计内容规定, 变电站接地网设计必须测量土壤电阻率, 必须深入开展接地网设计, 避免工程中的被动局面, 要详细计算接触电位差、跨步电位差。接地材料选择要体现全寿命周期设计理念, 满足 40 年寿命期要求。又根据省公司《十八项反措实施细则》, 第 14.1 条: 在强碱性土壤地区或者其站址土壤和地下水条件会引起铜质材料严重腐蚀的中性土壤地区, 宜采用铜质、铜覆钢或者其他具有防腐性能材质的接地网。对于室内变电站及地下变电站应采用铜质材料的接地网。

由于土壤环境复杂, 存在多种的微生物和化学物质, 对于金属存在着腐蚀。如果接地体被严重腐蚀, 就无法与大地很好的接触, 或者导致接地导体腐蚀断裂, 造成地网性能的下降。另外, 接地系统一般都埋设在地下, 开挖检查与维护都比较困难。所以, 接地材料的耐腐蚀性能直接决定了地网的使用寿命和经济性。国网输变电工程初步设计内容规定接地网的使用寿命要大于被保护设备的使用寿命。所以接地网的使用寿命需要在 40 年以上。

## 1 标准与规定

IEEEStd80-2000《交流变电站接地安全导则》中对于接地体的选择在 11 章导体与连接的选择提出了基本要求: 接地系统中的每一个要素, 包括水平导体、联接、垂直接地极、引上线、其使用寿命都应当大于建筑物或者设备的最大预期使用寿命进行设计, 每一个要素都应当满足下列的条件:

- a) 具有良好的导电性, 以减小导体周围的电位差;
- b) 在故障峰值电流持续的时间内, 不会被熔化, 保持完整;

c) 机械性能稳定可靠;

d) 当发生腐蚀和自然破坏时, 仍然能够保持性能稳定。

## 2 接地材料

### 2.1 铜

铜是接地中最常用的一种材料。铜导线除了有良好的导电性能之外, 还有很好的耐腐蚀性能, 这主要是因为铜相对于其他的金属来说, 绝大多数的情况下都是阴极。

### 2.2 铜镀钢

铜镀钢常作为接地系统中的垂直接地极, 也用作水平网格的导体。因为土壤对于铜材的腐蚀有限, 所以使用纯铜或者铜镀钢作为接地导体时, 只要选择了合适的导体尺寸, 并且导体是完好未被破坏的, 就可以在几十年的时间内保证接地网络的完整性。IEEEStd80-2000《交流变电站接地安全导则》中规定铜镀钢接地棒的铜层厚度不小于 0.254mm。

在《美国军用标准——接地、联结和屏蔽》MIL-STD-188-124B 中规定: 最基本的接地电极的配置应当是在建筑物滴水沿 0.6 至 1.8m 的范围内均匀的布置垂直接地极。所有的接地极都应当由美标 1/0 的裸铜绞线连接在一起, 裸铜线的埋深为至少地平线以下 0.45m, 连接的电缆和接地棒之间应当使用铜焊或者放热焊接连接在一起, 水平铜线应当构成一个闭合环形, 首尾端使用铜焊或者放热焊接连接在一起。接地极应当使用铜镀钢, 其最小长度为 3m, 直径不小于 19mm, 接地极之间的距离不要小于两倍的接地极长度, 镀铜层的厚度在 0.3mm 以上。

## 3 复合接地网接地电阻、接触电压和跨步电压限值分析

变电站接地电阻大小与接地材质没有直接关系，只与土壤导电性，水平地网面积，外围垂直接地极长度，施工工艺（如：添加接地导电性改良材料，外延地网，深井施工等）有关系。以江苏电网目前应用较多的 110kV 室内变电站设计总平面图（变电站长×宽=77m×39.5m）为计算依据，输入数据如下：接地网长 76m、宽 38m，长度方向布置 7 根水平接地体，宽度方向布置 12 根水平接地体，外边缘线总长度 228m，计算面积：76×38=2888m<sup>2</sup>。

复合接地网接地电阻随土壤电阻率变化曲线见图 1，接触电压和跨步电压限值随土壤电阻率变化曲线见图 2。

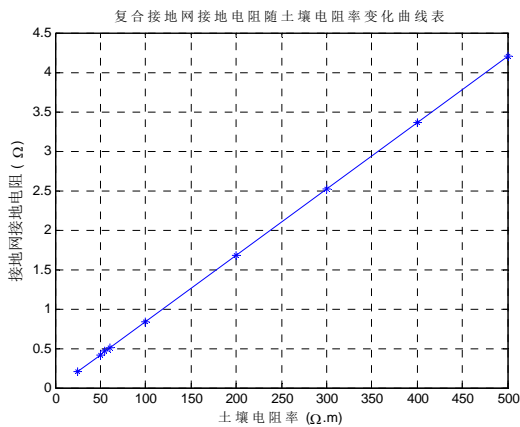


图 1 复合接地网接地电阻随土壤电阻率变化曲线

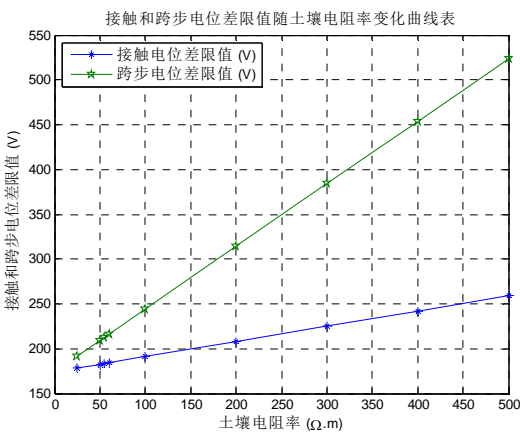


图 2 接触电压和跨步电压限值随土壤电阻率变化曲线

从图 1 可以看出：当土壤电阻率达到 60Ω·m 时，接地电阻值已达到 0.5049Ω；当土壤电阻率达到 500Ω·m 时，接地电阻值已达到 4.2Ω；从图 2 可以看出：接触电位差限值在跨步电位差限值之下，随着土壤电阻率的升高，接触电位差和跨步电位差限值差距越来越大。根据 DL/T621-1997《交流电气装置的接地》5.1.1 条：接地装置的接地电阻应符合

$R \leq 2000/I$ ，其中  $I$  为流经接地装置的入地短路电流；

当接地装置的接地电阻不符合该式要求时，可通过技术经济比较增大接地电阻，但不得大于 5Ω，且应符合本标准 6.2.2 的要求：a) 为防止转移电位引起的危害，对可能将接地网的高电位引向厂、所外或将低电位引向厂、所内的设施，应采用隔离措施。b) 考虑短路电流非周期分量的影响，当接地网电位升高时，发电厂、变电所内的 3-10kV 避雷器不应动作或动作后应承受被赋与的能量。c) 设计接地网时应验算接触电位差和跨步电位差。

#### 4 按接地装置热稳定校验不同接地材料的最小截面和直径

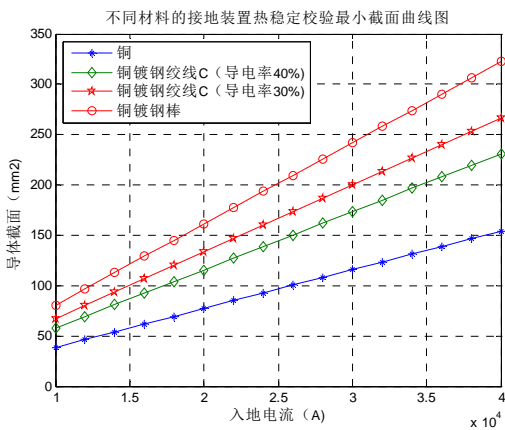


图 3 不同材料接地装置热稳定校验最小截面变化曲线

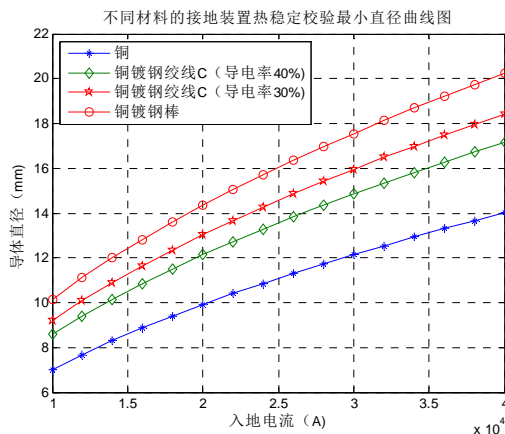


图 4 不同材料接地装置热稳定校验最小直径变化曲线

由于本文只针对室内变电站的接地网设计，故按规定接地材料仅对铜质或铜镀钢材料进行分析：流过接地线的入地短路电流从 10kA 开始一直计算到 40kA，步长按 2kA 考虑。材料的热稳定系数  $C$  根据 GB50065-2011《交流电气装置的接地设计规范》选用，故障切除时间按  $T_e=1.0s$  计算。不同材

料接地装置热稳定校验最小截面变化曲线见图 3，不同材料接地装置热稳定校验最小直径变化曲线见图 4。

从图 3 和图 4 中可以看出：当入地短路电流达 30kA 时，接地引下线要求铜质接地材料截面必须大于  $115.83\text{m}^2$ （直径 $\Phi 12.14\text{mm}$ ），铜镀钢绞线(导电率 40%)截面必须大于  $173.41\text{m}^2$ （直径 $\Phi 14.86\text{mm}$ ），铜镀钢棒截面必须大于  $241.94\text{m}^2$ （直径 $\Phi 17.55\text{mm}$ ）。当入地短路电流达 40kA 时，接地引下线要求铜质接地材料截面必须大于  $154.44\text{m}^2$ （直径 $\Phi 14.02\text{mm}$ ），铜镀钢绞线(导电率 40%)截面必须大于  $231.21\text{m}^2$ （直径 $\Phi 17.16\text{mm}$ ），铜镀钢棒截面必须大于  $322.58\text{m}^2$ （直径 $\Phi 20.27\text{mm}$ ）。

考虑分流的影响，故当短路电流达 40kA 时，接地引下线材料可按如下数据选型：铜质接地材料截面按  $150\text{mm}^2$  选择（直径 $\Phi 14\text{mm}$ ），铜镀钢绞线(导电率 40%)截面按  $240\text{mm}^2$  选择（直径 $\Phi 17.3\text{mm}$ ）。水平接地体截面根据 DL/T621-1997《交流电气装置的接地》规定，取接地引下线的 75%，即铜质： $120\text{mm}^2$ （直径 $\Phi 12.4\text{mm}$ ），铜镀钢绞线(导电率 40%)： $185\text{mm}^2$ （直径 $\Phi 15.3\text{mm}$ ）。垂直接地体：铜质： $120\text{mm}^2$ （直径 $\Phi 12.4\text{mm}$ ），铜镀钢棒： $240\text{mm}^2$ （直径 $\Phi 17.3\text{mm}$ ）。

在变电站接地网中采用铜覆钢，特点如下：(1) 导电性能好：铜覆钢材料的导电率为 20%-40% IACS，在疏导电流相当的情况下，铜覆钢的截面积理论上可比镀锌钢材减小。(2) 抗腐蚀性强：实验表明铜是一种耐土壤腐蚀材料，仅在土壤中含有高量的有机硫化物和高酸性时，铜才产生点蚀。铜层达到一定厚度时使用寿命可为 60 年，宜按当地土壤腐蚀实验结果选择铜层厚度。(3) 机械强度高：传统镀锌钢导体在打入地下时，镀锌层易剥落。铜覆钢导体由于铜层厚度大，铜层结合度高，因此在与土壤的摩擦中不会影响其防腐性能。室内变电站主接地网采用网格布置，由水平接地体和垂直接地体构成复合接地网。水平接地体可采用铜绞线或镀铜钢绞线，垂直接地体建议采用镀铜钢棒，因为其相对于铜棒强度高，宜施工，安装设备齐全，而且可以节省铜材，降低投资，并满足变电站全寿命周期的要求。

## 5 接地装置电压随接地电阻和短路电流变化数据分析

图 5 为接地装置电压随接地电阻  $R_f$  和短路电流变化曲线（ $R_f$  为不同土壤电阻率下的接地电阻），其值与图 1 中接地电阻相对应；横坐标为不同的短路电流  $I_g(\text{kA})$ ，纵坐标为接地装置电压  $U_g(\text{V})$ ，图中不同的曲线与不同的接地电阻相对应。站内故障分流系数取  $S_f=0.5$ ，接地网材料等效直径取  $17.3\text{mm}$ 。

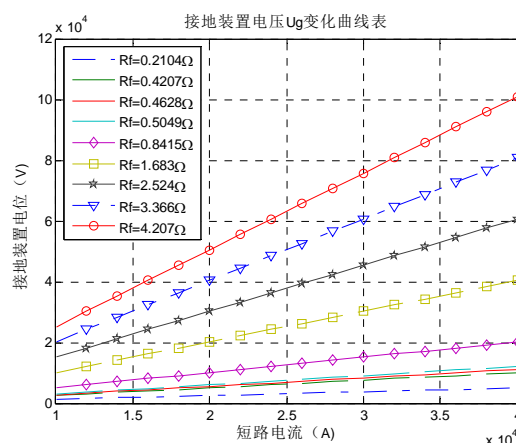


图 5 接地装置电压随接地电阻  $R_f$  和短路电流变化曲线

从上图可以看出：当接地电阻不大于  $0.5\Omega$ ，短路电流不大于  $18\text{kA}$  时，地电位升高小于  $5\text{kV}$ ；当短路电流达  $40\text{kA}$  时，接地电阻必须下降到  $0.2\Omega$  及以下，才能符合 DL/T621-1997《交流电气装置的接地》规程地电位升高不大于  $5\text{kV}$  的要求。由于  $110\text{kV}$  室内变电站接地网面积较小，从而导致接地电阻值较大。从图 1 中可以看出：只有当土壤电阻率不大于  $25\Omega\cdot\text{m}$  时，接地电阻才能下降到  $0.2\Omega$ 。所以， $110\text{kV}$  室内变电站的接地网电阻不宜大于  $0.5\Omega$ ，而且，接地短路电流越大，则接地网接地电阻必须越小。

图 6 和图 7 分别为接地网表面最大接触电位差、最大跨步电位差随接地电阻  $R_f$  和短路电流变化曲线（ $R_f$  为不同土壤电阻率下的接地电阻），其值与图 1 中接地电阻相对应；横坐标为不同的短路电流  $I_g(\text{kA})$ ，纵坐标分别为最大接触电位差、最大跨步电位差，图中不同的曲线与不同的接地电阻相对应。站内故障分流系数取  $S_f=0.5$ ，接地网材料等效直径取  $17.3\text{mm}$ ；

对照图 1、图 2 中接地电阻、接触电压和跨步电压限值曲线，并参照图 1 中极端情况：当土壤电阻率达  $500\Omega\cdot\text{m}$  时，接地网接地电阻为  $4.2075\Omega$ ，接触电压限值为  $259\text{V}$ ，跨步电压限值为  $524\text{V}$ 。但图 6、图 7 中绝大多数情况，接触电压都超过了此

限值。

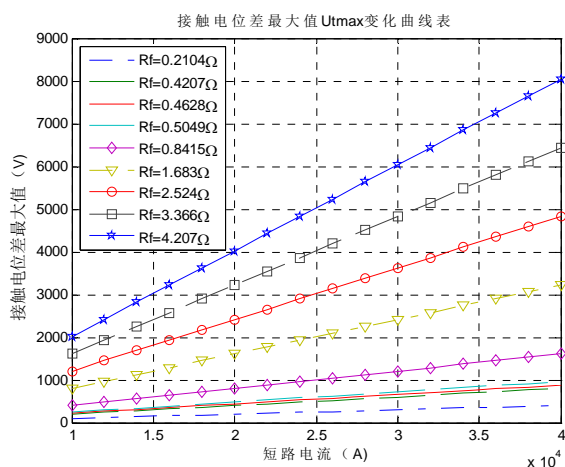


图 6 接地网表面最大接触电位差随接地电阻  $R_f$  和短路电流变化曲线

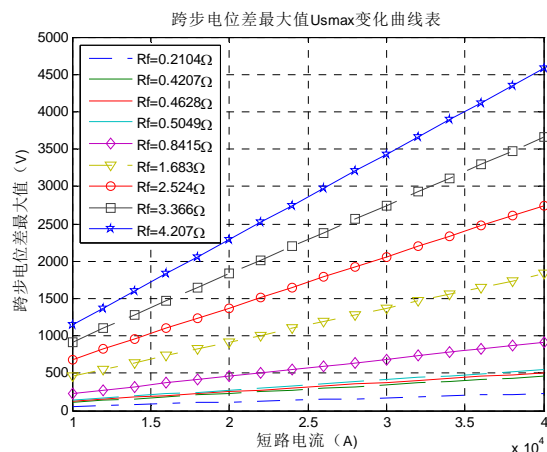


图 7 接地网表面最大跨步电位差随接地电阻  $R_f$  和短路电流变化曲线

图 7 中最大跨步电位差近一半满足限值要求, 情况比接触电位差要好一些。接地网表面最大接触电位差只有在土壤电阻率极小, 入地电流不大时, 才不会超过限值。大部分情况, 接地网表面最大接触电位差超过了电压限值, 而且幅值很高, 一半情况已经超过了千伏, 极端情况达数千伏。一旦变电站发生严重的接地故障, 对设备和人身都会产生严重的事故后果, 所以, 变电站应采用完善的均压及隔离措施, 防止人身及设备事故, 方可投入运行。对弱电设备应有完善的隔离或限压措施, 防止接地故障时地电位的升高造成设备损坏。

## 6 结论

1) 对于室内变电站及地下变电站、强碱性土壤地区或者其站址土壤和地下水条件会引起钢质材料

严重腐蚀的中性土壤地区, 应采用铜质、铜覆钢材料的接地网。

2) 对于室内变电站及地下变电站, 应进行接地网接地电阻、接触电位差、跨步电位差限值及最大值计算, 对于不符合限值要求的变电站地网, 应采用完善的均压及隔离措施, 防止人身及设备事故, 方可投入运行。对弱电设备应有完善的隔离或限压措施, 防止接地故障时地电位的升高造成设备损坏。

3) 当系统短路电流达 40kA 时, 接地引下线材料可按如下数据选型: 铜质接地材料截面按  $150\text{mm}^2$  选择 (直径  $\Phi 14\text{mm}$ ), 铜镀锌绞线 (导电率 40%) 截面按  $240\text{mm}^2$  选择 (直径  $\Phi 17.3\text{mm}$ )。水平接地体截面: 铜质:  $120\text{mm}^2$  (直径  $\Phi 12.4\text{mm}$ ), 铜镀锌绞线 (导电率 40%):  $185\text{mm}^2$  (直径  $\Phi 15.3\text{mm}$ )。垂直接地体: 铜质:  $120\text{mm}^2$  (直径  $\Phi 12.4\text{mm}$ ), 铜镀锌棒:  $240\text{mm}^2$  (直径  $\Phi 17.3\text{mm}$ )。

4) 与镀锌钢接地体相比较, 铜接地体具有导电性能和热稳定性能好, 耐腐蚀能力强, 施工方便, 寿命长, 投运后减少了检验维护工作量, 并对土壤无污染等特点。故对于室内变电站及地下变电站应采用铜质或铜覆钢接地材料。

5) 采用铜接地网, 应加强对其临近金属的防腐措施, 如: 调整钢管线或铜接地体的布置方案, 使两者交会处尽可能垂直相交; 对受影响的金属进行防护隔离; 采用非金属管子或导管。

## 参考文献:

- [1] DL/T621-1997, 交流电气装置的接地[S].
- [2] GB50065-2011, 交流电气装置的接地设计规范[S].
- [3] 国际电气和电子工程师协会 IEEE Std 80-2000, 交流变电站接地安全指南[S].
- [4] 变电站铜覆钢接地材料[R]. 中国电力科学研究院. 基建新技术 JXYM-2012-AA-B-04.
- [5] 黄晓明. 高土壤电阻率变电站接地设计[R]. 西南电力设计院.

## 作者简介:

钱银其 (1964-), 男, 江苏常州人, 高级工程师, 从事电气注册师 (输变电)、变电设计, E-mail: qsyuan0252@163.com。