

ICS 27. 140
P 55

SL

中华人民共和国水利行业标准

SL 587—2012

水利水电工程接地设计规范

Guide for grounding design of hydro-power engineering

2012-09-19 发布

2012-12-19 实施



中华人民共和国水利部 发布

<https://www.slzjxx.com>
水利造价信息网

中华人民共和国水利部
关于批准发布水利行业标准的公告

2012 年第 53 号

中华人民共和国水利部批准《水利水电工程接地设计规范》
(SL 587—2012) 标准为水利行业标准，现予以公布。

序号	标准名称	标准编号	替代标准号	发布日期	实施日期
1	水利水电工程接地 设计规范	SL 587—2012		2012. 9. 19	2012. 12. 19

水利部

2012 年 9 月 19 日

前 言

根据水利部水利行业标准制修订计划,按照《水利技术标准编写规定》(SL 1—2002)的要求,编制本标准。

本标准共 11 章 31 节 207 条和 2 个附录。

主要技术内容有:

- 总则;
- 术语;
- 基本规定;
- 接地电阻;
- 降低接地电阻的措施;
- 接地电阻计算;
- 均压;
- 工频暂态电压反击及转移电位隔离;
- 设备特殊接地;
- 接地装置;
- 接地装置工频参数测量。

本标准为全文推荐。

本标准批准部门:中华人民共和国水利部

本标准主持机构:水利部水利水电规划设计总院

本标准解释单位:水利部水利水电规划设计总院

本标准主编单位:长江勘测规划设计研究院

本标准出版、发行单位:中国水利水电出版社

本标准主要起草人:计绿野 舒廉甫 许 军 袁爱玲
毛永松 梁 波 江 琴 陈晓明
刘 瑜 阳少华 石凤翔 邵国华
熊为军 蔡 彬 黄 涵

本标准审查会议技术负责人:王庆明

本标准体例格式审查人:陈登毅

目 录

第一章 绪论	1
第一节 水利工程的定义	1
第二节 水利工程的分类	2
第三节 水利工程的作用	3
第四节 水利工程的发展概况	4
第五节 水利工程的管理	5
第六节 水利工程的规划	6
第七节 水利工程的施工	7
第八节 水利工程的运行	8
第九节 水利工程的维护	9
第十节 水利工程的更新	10
第十一章 水利工程的效益	11
第十二章 水利工程的造价	12
第十三章 水利工程的成本	13
第十四章 水利工程的收入	14
第十五章 水利工程的利润	15
第十六章 水利工程的税金	16
第十七章 水利工程的折旧	17
第十八章 水利工程的摊销	18
第十九章 水利工程的利息	19
第二十章 水利工程的汇率	20
第二十一章 水利工程的保险	21
第二十二章 水利工程的担保	22
第二十三章 水利工程的抵押	23
第二十四章 水利工程的质押	24
第二十五章 水利工程的留置	25
第二十六章 水利工程的查封	26
第二十七章 水利工程的冻结	27
第二十八章 水利工程的解冻	28
第二十九章 水利工程的解封	29
第三十章 水利工程的解冻	30

<https://www.sljzjxx.com>
水利造价信息网

目 次

1	总则	1
2	术语	2
3	基本规定	5
4	接地电阻	9
4.1	大接地短路电流系统	9
4.2	小接地短路电流系统	10
4.3	低压系统	11
4.4	杆塔	11
5	降低接地电阻的措施	13
5.1	水下接地	13
5.2	引外接地	13
5.3	深井接地	13
5.4	人工降阻	14
6	接地电阻计算	16
6.1	工频接地电阻计算	16
6.2	冲击接地电阻计算	26
7	均压	29
7.1	均压网设计	29
7.2	接触、跨步电位差允许值	30
7.3	接触、跨步电位差计算	31
7.4	接地装置电位计算	36
8	工频暂态电压反击及转移电位隔离	40
8.1	工频暂态电压反击	40
8.2	转移电位隔离	41
9	设备特殊接地	42
9.1	GIS接地	42

9.2	离相式封闭母线接地	43
9.3	高压电缆线路的接地	44
9.4	微波通信站接地	47
9.5	移动式 and 携带式电力设备接地	48
9.6	监控系统接地	49
10	接地装置	51
10.1	接地系统、接地体和接地线	51
10.2	接地线连接	52
10.3	接地导体截面选择及计算	53
10.4	接地体防腐	57
10.5	接地标志	58
11	接地装置工频参数测量	59
11.1	接地电阻测量	59
11.2	接触、跨步电位差测量	63
11.3	土壤电阻率测量	64
11.4	水电阻率测量	65
附录 A	架空线路杆塔接地体的冲击系数	66
附录 B	四极法测量电极布置及典型视电阻率曲线 与典型土壤（水）电阻率	68
	标准用词说明	73
	条文说明	75

1 总 则

1.0.1 为保证水利水电工程正常运行和故障时的人身及设备安全，电气设备及设施应接地，并应做到因地制宜、安全可靠、经济合理。

1.0.2 本标准适用于水利水电工程中的电气设备的接地和交流电网中用于安全自动装置的 220V 及以下直流电气设备的接地。

1.0.3 本标准规定了水利水电工程接地设计的一般原则、步骤、方法，以及接地装置工频参数的测量。

1.0.4 水利水电工程接地设计除应符合本标准外，尚应符合国家有关标准的规定。

2 术 语

2.0.1 自然接地体 natural earthing body

兼作接地体用的直接与大地接触的各种金属构件、金属井管、钢筋混凝土建筑物的基础、水下钢筋混凝土面层钢筋等。

2.0.2 集中接地体 concentrated earthing body

为加强对雷电流的散流作用，降低对地电位而设置的附加接地体。

2.0.3 接地线 earthing connection

将设备和设施的某部分与接地体连接用的金属导体。

2.0.4 接地装置（接地网） earthing device (earthing network)

接地体和接地线的总和。

2.0.5 接地系统 earthing system

由多个接地装置所组成的一个整体。

2.0.6 工作接地 operating earthed

因系统运行需要电力设备而设置的接地。

2.0.7 保护接地 protective earthed

电力设备的金属外壳、金属和混凝土杆塔，金属架构和设施等，为保护人身安全而设置的接地。

2.0.8 防雷接地 lightning protective earthed

为泄放雷电荷而设置的接地。

2.0.9 防静电接地 static electricity protective earthed

防止产生火花引起爆炸和燃烧而设置的接地。

2.0.10 接地电阻 earthing resistance

对接地装置注入交流电流，接地装置产生交流电位与电流有效值的比值，为工频接地电阻（简称接地电阻），或接地装置对无穷远的大地所具有的工频电阻。

2.0.11 冲击接地电阻 impulse earthing resistance

对接地装置注入冲击电流，接地装置产生冲击电位峰值与冲击电流峰值的比值，为冲击接地电阻。

凡未标明冲击接地电阻的都是指工频接地电阻。

2.0.12 接地装置电位 potential of earthing device

电力系统发生不对称接地故障时，其接地部分与大地零电位之间的电位差。

2.0.13 均压网 equalizing potential network

接地网内设置多根水平接地线，改善接地装置的地面电位分布，减小网孔的电位差和使接地网外电位分布减缓。

2.0.14 接触电位差 touch voltage

当短路电流流入接地网时，设备外壳或架构距离地面 1.8m 处与该处地面水平距离 0.8m 处，两点间的电位差。

2.0.15 最大接触电位差 maximum touch voltage

当短路电流流入接地网时，在整个接地网中，各网孔中心地面对相应网孔接地体的电位差的最大值。

2.0.16 跨步电位差 step voltage

当短路电流流入接地网时，地面上水平距离为 0.8m 的两点间的电位差。

2.0.17 最大跨步电位差 maximum step voltage

当短路电流流入接地网时，在出入口接地网边缘地面水平距离为 0.8m 与接地体间的最大电位差。

2.0.18 转移电位 diverting potential

当短路电流流入接地装置时，一端与接地装置连接的金属导体向外传递的接地装置的电位。

2.0.19 低压、高压 low voltage, high voltage

标称电压低于 1kV 的为低压。标称电压为 1kV 及以上的为高压。

2.0.20 大接地短路电流系统 high short circuit current earthing system

高压系统中，单相或同点两相接地时，入地电流大于 500A 的系统。

2.0.21 小接地短路电流系统 low short circuit current earthing system

高压系统中，单相或异点两相接地时，入地电流为 500A 及以下的系统。

2.0.22 中性线 neutral connection

低压系统电源中性点引出用来传输电能的金属导体。

2.0.23 保护线 protection connection

低压系统电源中性点引出用来防止触电与设备金属外壳连接的金属导体。

2.0.24 接地保护 earthing protection

中性点直接接地的低压电网中，电力设备外壳与独立的接地装置连接。

2.0.25 接中性线保护 neutral connection protection

中性点直接接地的低压电力网中，电力设备外壳与中性线连接。

2.0.26 接保护线保护 protective connection protection

中性点直接接地的低压电力网中，电力设备外壳与保护线连接。

3 基本规定

3.0.1 应调查工程所在地的土壤特性及地质构造、测量接地装置区域的土壤电阻率和河水电阻率。

3.0.2 应了解水工建筑物的布置、结构、钢筋配置情况，确定可利用作为接地装置的各种自然接地体。

3.0.3 应按设计水平年确定电网在非对称故障情况下，流入接地网的最大入地电流值。对分期开发的水电工程，应确定初、终期接地网的最大入地电流值。

3.0.4 不同用途和不同电压的电气设备，除特殊要求外，应使用一个总的接地系统，接地电阻应符合其中最小值的要求。

3.0.5 接地装置应充分利用直接埋入水下和土壤中的各种自然接地体接地，并校验其热稳定。

3.0.6 当接地电阻难以满足运行要求时，可根据技术经济比较，因地制宜地采用扩大接地网面积、水下接地、引外接地、深井接地等措施，并采取加强分流、限制人身电流、均压和隔离等措施。对小面积接地网和集中接地装置可采用人工降阻的方式降低接地电阻。

3.0.7 接地设计应考虑土壤季节变化的影响，接地电阻在四季中均应符合本标准的要求。防雷装置的接地电阻，应只考虑在雷季中土壤干燥状态的影响。

3.0.8 初期运行时，应根据电网实际的短路电流和所形成的接地系统，校核初期运行时的接触电位差、跨步电位差和转移电位。当不满足安全要求时，应采取临时措施。

3.0.9 水利水电工程的接地网，主要以钢材为主，人工接地网宜采用镀锌钢材。对于有特殊要求的场所，以及腐蚀特别严重的地区可考虑采用本标准规定的其他材质材料。

3.0.10 工作接地应满足下列要求：

1 有效接地系统中，需要接地的变压器中性点和变压器中性点电抗器接地端、线路并联电抗器中性点电抗器接地端、接地变压器中性点、电压互感器、接地开关接地端等设备，应按照系统要求进行接地。应装设能迅速自动切除接地短路故障的保护装置。

2 非直接接地系统中，消弧线圈接地端、中性点电阻接地端和绝缘监视电压互感器一次侧中性点应直接接地。应装设能迅速反应接地故障的信号装置，也可装设延时自动切除接地故障的保护装置。

3.0.11 保护接地应满足下列要求：

1 电力设备的下列金属部件，除特殊要求外，均应接地或接保护线（中性线）：

- 1) 电动机、变压器、电抗器、电器、携带式及移动式用电器具等底座和外壳。
- 2) SF₆气体绝缘金属封闭开关设备（GIS）与封闭母线外壳以及电气设备箱、柜的金属外壳。
- 3) 电力设备传动装置。
- 4) 互感器的二次绕组。
- 5) 配电、控制保护屏（柜、箱）及操作台等的金属框架。
- 6) 屋内、外配电装置的金属架构和钢筋混凝土架构，以及靠近带电部分的金属围栏和金属门、窗。
- 7) 交、直流电力电缆桥架、接线盒、终端盒的外壳、电缆的屏蔽层和铠装外皮、穿线钢管（避免传递高电位）和人能触摸到的金属管道等。
- 8) 装有避雷线的电力线路杆塔。
- 9) 在非沥青地面的居民区内，无避雷线非直接接地系统架空电力线路的金属杆塔和钢筋混凝土的杆塔。
- 10) 铠装控制电缆的外皮、非铠装或非金属护套电缆的1~2根屏蔽芯线。

2 电力设备的下列金属部件，除特殊要求外，可不接地或

不接保护线（中性线）：

- 1) 在木质、沥青等不良导电地面的干燥房间内，交流额定电压 380V 及以下、直流额定电压 220V 及以下的电力设备外壳，但当维护人员可能同时触及设备外壳和接地体时除外。
- 2) 在干燥场所，交流额定电压 127V 及以下、直流额定电压 110V 及以下的电力设备外壳，但爆炸危险场所除外。
- 3) 安装在配电屏、控制屏和配电装置上的电气测量仪表、继电器和其他低压电器等的外壳，以及当发生绝缘损坏时，在支持物上不会引起危险电压的绝缘子金属底座等。
- 4) 安装在已接地的金属架构上的设备，如套管等。
- 5) 标称电压 220V 及以下的蓄电池室内的支架。
- 6) 已与接地的底座之间有可靠电气接触的电动机和电器的外壳。

3.0.12 防雷接地应满足下列要求：

- 1 所有设有避雷针、避雷线的构架，微波塔均应设置集中接地装置。
- 2 避雷器宜设置集中接地，其接地线应以最短的距离与地网相连。
- 3 独立避雷针（线）应设独立的集中接地装置。避雷针（线）到被保护设施的空气中距离和地中距离还应符合防止避雷针（线）对被保护设备反击的要求。
- 4 独立避雷针（线）不应设在人经常通行的地方，避雷针（线）及其接地装置与道路或入口等的距离不宜小于 3m，否则应采用均压措施，铺设砾石或沥青地面。
- 5 采用避雷带保护的较高建筑物，避雷带的引下线应接至设有集中接地体的闭合接地装置。

3.0.13 防静电接地：应对储油罐、输油管、易燃易爆物体的金

属外壳、输送皮带机的金属支撑架进行接地。

3.0.14 低压设备的接地应满足下列要求：

1 在中性点直接接地的低压电力系统中，电力设备的外壳和机座宜采用接地或接保护线（中性线）保护。

2 对于用电设备较少、分散，且又无接地线的地方，宜采用接保护线进行保护接地。而接保护线保护确有困难，且土壤电阻率较低时，可采用直接埋设接地体进行接地保护。

3 当低压电力设备的机座或金属外壳与接地网可靠连接后，可不作短路验算。

4 由同一台发电机、变压器或同一段母线供电的低压线路，不宜同时采用接中性线和接地两种保护方式。

5 在低压电力系统中，电力设备的外壳和机座全部采用与接地网可靠连接时，应装设能自动切除接地故障的继电保护装置。

4 接地电阻

4.1 大接地短路电流系统

4.1.1 大接地短路电流系统的水利水电工程接地装置的接地电阻宜符合式(4.1.1)要求:

$$R \leq \frac{2000}{I} \quad (4.1.1)$$

式中 R ——考虑到季节变化的最大接地电阻, Ω ;

I ——接地装置的最大入地短路电流, A。

4.1.2 计算接地装置的最大入地短路电流,应采用在接地装置内、外短路,接地装置流入地中的最大周期分量起始值。该电流应按水利水电工程全部投产后,系统发展10年左右的最大运行方式确定。

4.1.3 在高土壤电阻率地区,当接地装置要求做到规定的接地电阻值在技术、经济上极不合理时,接地装置电位可放宽,接地装置电位($E_w = IR$)不宜超过5000V,但应符合以下规定:

1 应验算接地均压网的接触电位差和跨步电位差在允许值范围内。施工完毕,应进行现场实测。

2 考虑地电位暂态电压的影响,当接地装置电位升高时,3~10kV碳化硅避雷器间隙不应动作;暂态电压不应超过3~10kV金属氧化物避雷器1s内工频耐受电压值。

3 对可能将接地装置的高电位引向站外,或将低电位引向站内的设施,应采取隔离措施。

4 应防止接地装置的工频暂态电压升高对弱电设备和控制电缆的反击或误动,应采取相应措施。

4.1.4 接地装置无高压引外、低压引内的问题,又采取了各项措施,地电位仍超过5000V时,应通过专题论证。

4.2 小接地短路电流系统

4.2.1 小接地短路电流系统的水利水电工程接地装置的接地电阻应符合下列要求:

1 高压与低压电力设备共用的接地装置:

$$R \leq \frac{120}{I} \quad (4.2.1-1)$$

接地电阻 R 不宜超过 4Ω 。

2 仅用于高压电力设备的接地装置:

$$R \leq \frac{250}{I} \quad (4.2.1-2)$$

接地电阻 R 不宜超过 10Ω 。

4.2.2 在高土壤电阻率地区,可放宽接地电阻的限制,但不宜超过 15Ω 。对于地网外的高压电力设备接地电阻不宜超过 30Ω ,并应校验接触电位差和跨步电位差。

4.2.3 在中性点经消弧线圈接地的配电网中,接地装置的接地电阻按式(4.2.1-1)和式(4.2.1-2)计算时,计算用的接地短路电流应采用下列数值:

1 对装有消弧线圈的接地装置,计算电流等于接在同一接地装置中同一电网各消弧线圈额定电流总和的1.25倍。

2 对不装消弧线圈的接地装置,计算电流等于电力网中断开最大一台消弧线圈或系统中最长线路被切除时的最大残余电流值,但不应小于 $30A$ 。

4.2.4 计算接地短路电流,应按水利水电工程全部投产后,系统发展10年左右的最大运行方式确定。

4.2.5 在小接地短路电流系统中(经电阻接地除外),为能迅速切除接地故障,应根据接地装置的接地电阻,验算发生两相异点接地短路时继电保护装置的动作电流或熔断器熔体的熔断电流。

接地短路电流不应小于继电保护装置换算到一次侧的动作电流的1.5倍,熔断器熔体额定电流的4倍。当不符合要求时,应

降低接地电阻或采取其他措施。

4.3 低压系统

4.3.1 低压电力设备接地装置的接地电阻不宜超过 4Ω 。

4.3.2 在中性点直接接地的低压电力网中，中性线应在电源处接地。

4.3.3 架空线路的干线和分支线的终端及沿线，中性线应重复接地，重复接地间隔不应超过 1000m 。电缆和架空线在引入建筑物处，中性线应重复接地，或在屋内将中性线与配电屏、控制屏的接地装置相连。中性线的重复接地，应充分利用自然接地体。

4.3.4 配电线路中性线每处重复接地装置的接地电阻不应超过 10Ω 。在电力设备接地装置的接地电阻允许达到 10Ω 的电力网中，每一重复接地装置的接地电阻不应超过 30Ω ，但重复接地不应少于 3 处。

4.4 杆塔

4.4.1 架空线路段每基杆塔的接地装置，在雷季干燥时，不连避雷线的工频接地电阻，不宜超过表 4.4.1 所列的数值。

表 4.4.1 架空线路段杆塔的工频接地电阻

土壤电阻率 ρ ($\Omega \cdot \text{m}$)	≤ 100	101~500	501~1000	1001~2000	>2000
工频接地电阻 (Ω)	10	15	20	25	30 ^a
^a : 当土壤电阻率超过 $2000\Omega \cdot \text{m}$ ，接地电阻很难降低到 30Ω 时，可采用两根水平接地体与最近的杆塔接地装置相连。					

4.4.2 高压架空电力线路的接地装置宜采用放射形接地，放射形接地体每根的最大长度，应根据土壤电阻率确定，见表 4.4.2。

表 4.4.2 根据土壤电阻率确定的放射形接地体每根的最大长度

土壤电阻率 ($\Omega \cdot m$)	≤ 500	501~1000	1001~2000	2001~5000
最大长度 (m)	40	60	80	100

4.4.3 小接地短路电流系统中，无避雷线的高压电力线路在居民区的钢筋混凝土杆宜接地，金属杆塔应接地，其接地电阻不宜超过 30Ω 。

中性点直接接地低压电力系统中以及高低压共杆的电力系统中，钢筋混凝土杆的铁横担和金属杆，以及中性线应接地，其接地电阻不宜超过 50Ω ，钢筋混凝土杆中的钢筋不宜作接地引线使用。

沥青路面上的高、低压线路的钢筋混凝土杆和金属杆塔，以及已有运行经验的地区，可不另设人工接地装置。钢筋混凝土杆的铁横担和金属杆塔，也可不与中性线连接。

4.4.4 从低压架空线路接入建筑物的接户线，绝缘子铁脚宜接地，接地电阻不宜超过 30Ω 。土壤电阻率在 $200\Omega \cdot m$ 及以下地区的铁横担钢筋混凝土杆线路，具有连续多杆自然接地作用，可不另设人工接地装置。户内有电力设备接地装置的建筑物，在入户处宜将绝缘子铁脚与该接地装置相连，而不另设接地装置。

年平均雷暴日数不超过 30 的地区，低压线被建筑物等屏蔽的地区，以及接户线距低压线路接地点不超过 50m 的地方，绝缘子的铁脚可不接地。

5 降低接地电阻的措施

5.1 水下接地

5.1.1 水利水电工程可在水下敷设人工接地装置,来降低接地电阻。水下接地网可敷设在水库、上游围堰、施工导流隧洞、尾水渠、下游河道或附近的低电阻率的水源中,且应布置在水库蓄水及引水系统最低水位以下区域。

5.1.2 水下接地网不宜设在水流湍急处,以及含有腐蚀性物质的水域。当必须在水流湍急处敷设水下接地网时,可采用打插筋锚固焊接或在接地体上浇筑混凝土约 50~100mm 的方法固定。净水中的水下接地网可用大石压住。

5.1.3 水下接地网应与其他接地网保持足够的距离。水下接地网与其他接地网之间宜采用多根接地线连接。

5.1.4 水下接地网可采用截面不小于 40mm×4mm 的扁钢或 $\phi 14$ 的圆钢,焊接成外缘闭合的矩形网,网孔数目不宜多于 16 个。

5.2 引外接地

5.2.1 在高土壤电阻率地区,当接地装置接地电阻难以满足要求,且附近有可设置人工接地装置的低土壤电阻率地区(包括湿地)或水源区,可采取引外接地。

5.2.2 引外接地应注重减小接地引线的阻抗压降,提高引外接地体的利用效果,通过技术经济比较,可采用增加导体根数、导体截面,或采用铜导体接地引线等措施。

5.2.3 引外接地引线的长度,钢质接地线不宜超过 1000m,铜质接地线不宜超过 2000m。

5.3 深井接地

5.3.1 当水利水电工程及其附近地区,地下深处土壤电阻率较

低或有地下水，而地表层土壤电阻率很高时，可采用深井接地。

5.3.2 深井接地体宜延伸至地下水位以下和地层中电阻率较低处，同时，深井接地体水平间距宜大于接地体埋设深度。

5.3.3 对冻土地区，深井接地体可选择在融冰区。

5.3.4 深井接地体宜设置在接地网以外地区，不宜设置在边坡上。

5.4 人工降阻

5.4.1 在不可能采用深井接地和引外接地的地方，当接地网面积不太大时，可根据现场情况和技术经济比较，因地制宜地采用人工降阻措施来降低接地电阻。人工降阻措施包括使用低电阻率材料置换和使用降阻剂。

5.4.2 对集中接地体宜采用置换材料的方法降低接地电阻。应因地制宜，就地取材。所用置换材料应是电阻率低、不易流失、性能稳定、易于吸收和保持水分，且无明显腐蚀作用、施工简单、经济合理的。置换材料可采用低电阻率的黏土或膨润土。

置换材料填入人工接地坑（沟）时，应分层捣紧。接地坑、沟的尺寸如图 5.4.2-1 和图 5.4.2-2 所示。

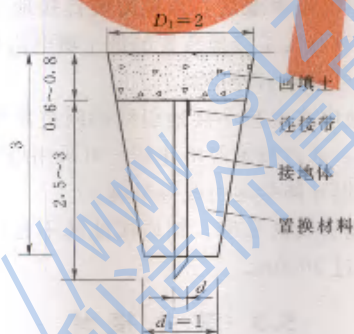


图 5.4.2-1 人工接地坑 (单位: m)

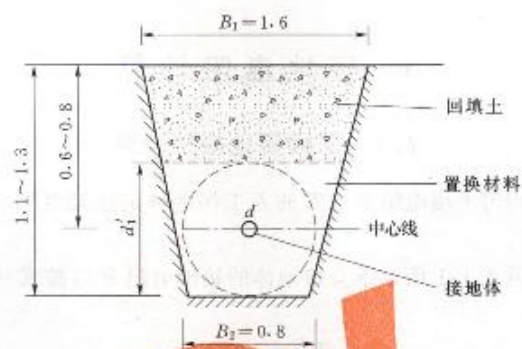


图 5.4.2-2 人工接地沟 (单位: m)

5.4.3 人工降阻材料应呈中性或弱碱性。氯离子浓度 pH 值应在 7~12 的范围内, 接地体的腐蚀速度不应大于 0.03mm/a。

5.4.4 人工降阻材料和降阻剂不宜大面积使用。采用人工降阻的垂直接地体布置宜为辐射形。

6 接地电阻计算

6.1 工频接地电阻计算

6.1.1 均匀土壤电阻率地区的人工接地体的接地电阻可按下列方法计算:

1 图 6.1.1 所示垂直接地体的接地电阻 R 可按式 (6.1.1-1) 计算:

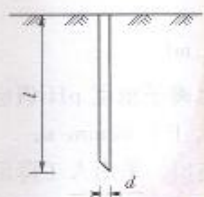


图 6.1.1 垂直接地体

当 $l \gg d$ 时

$$R = \frac{\rho}{2\pi l} \left(\ln \frac{4l}{d} - 0.31 \right) \quad (6.1.1-1)$$

垂直接地体采用扁钢时

$$d = \frac{b}{2}$$

垂直接地体采用角钢时

$$d = 0.71 \sqrt[4]{b_1 b_2 (b_1^2 + b_2^2)}$$

对于等边角钢

$$d = 0.84 b_1$$

式中 ρ ——土壤电阻率, $\Omega \cdot \text{m}$;

l ——垂直接地体的长度, m ;

d ——垂直接地体的等效直径, m ;

b ——扁钢宽度, m ;

b_1 、 b_2 ——角钢边长, m 。

2 不同形状水平接地体的接地电阻 R 可用式 (6.1.1-2) 计算:

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{L^2}{hd} + A \right) \quad (6.1.1-2)$$

式中 L ——水平接地体的总长度, m ;

h ——水平接地体的埋设深度, m;

d ——水平接地体的直径或等效直径, m;

A ——水平接地体的形状系数, 可采用表 6.1.1-1 所列数值。

表 6.1.1-1 水平接地体的形状系数 A

形状								
A	5.65	3.03	1.00	0.89	0.48	0	-0.18	-0.60

3 以水平接地体为主, 且边缘闭合的复合接地体, 其接地电阻可按式 (6.1.1-3) 计算:

$$R = \left(0.22 - 0.007 \frac{L_1}{L_2} \right) \frac{\rho}{\sqrt{L_1 L_2}} (1 + B) + \frac{\rho}{2\pi L'} \left(\ln \frac{L_1 L_2}{9hd} - 5B \right) \quad (6.1.1-3)$$

其中

$$B = \frac{1}{1 + 4.6 \frac{h}{\sqrt{L_1 L_2}}}$$

式中 L_1 、 L_2 ——接地网水平投影长度、宽度, m, $\frac{L_1}{L_2} \leq 8$;

L' ——接地体的总长度, 包括垂直接地体在内, m。

4 人工接地体工频接地电阻还可按表 6.1.1-2 所列公式估算。

表 6.1.1-2 人工接地体工频接地电阻估算式

接地体型式	估算式	备 注
垂直式	$R \approx 0.3\rho$	长度 3m 左右的接地体
单根水平式	$R \approx 0.03\rho$	长度 60m 左右的接地体
复合式接地网	$R \approx 0.5 \times \frac{\rho}{\sqrt{S}}$ $R \approx \frac{\rho}{4r} + \frac{\rho}{L}$	S 为大于 100m^2 的闭合接地网的面积; r 为与接地网面积 S 等值的圆的半径, 即等值圆半径 (m); L 为接地体的总长度 (m)

6.1.2 非均匀土壤电阻率地区的人工接地体接地电阻应按下列方法计算：

1 土壤具有两个剖面结构（见图 6.1.2-1），水平接地网的接地电阻 R 可用式（6.1.2-1）计算：

$$R = \frac{\rho_1 \rho_2}{\rho_1 \sqrt{2S_2} + \rho_2 \sqrt{2S_1}} \quad (6.1.2-1)$$

式中 S_1 、 S_2 ——覆盖在 ρ_1 、 ρ_2 电阻率上的接地网面积， m^2 。



图 6.1.2-1 两种土壤电阻率的接地网

2 土壤具有两层结构（见图 6.1.2-2），水平接地网的接地电阻 R 可用式（6.1.2-2）计算：

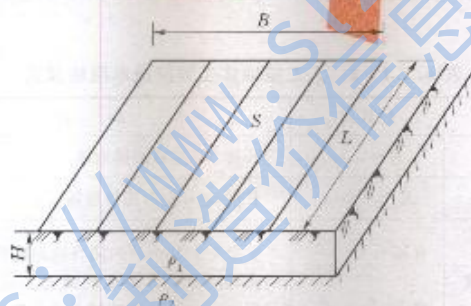


图 6.1.2-2 两层土壤电阻率的接地网

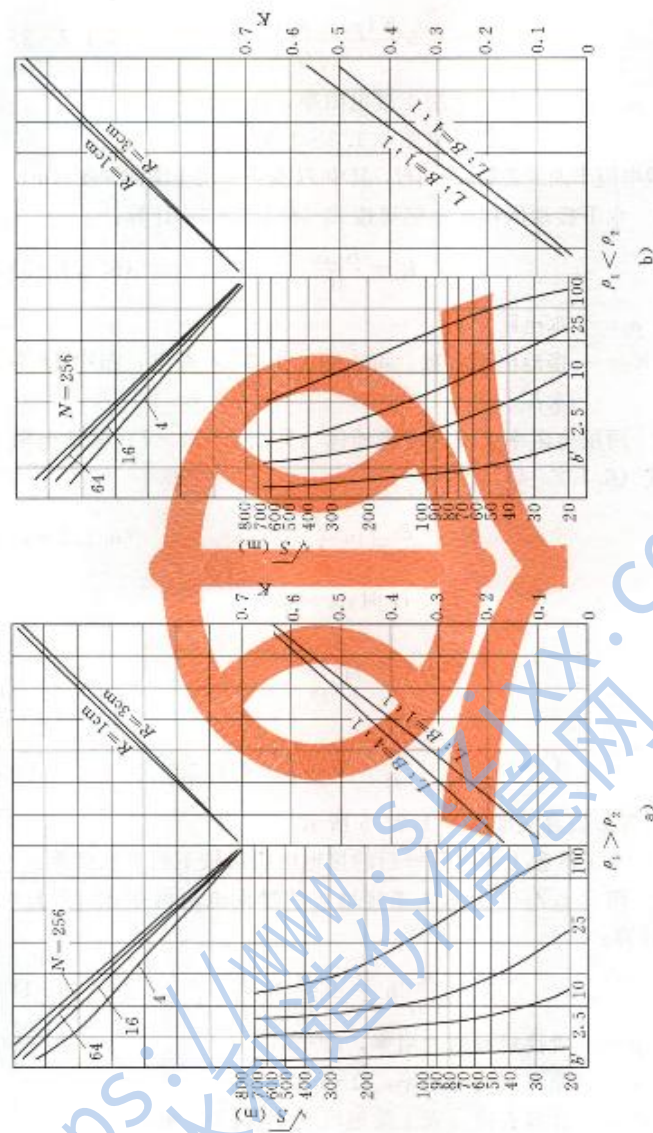


图 6.1.2-3 系数 K 的曲线图

$$R = 0.5 \frac{K(\rho_1 - \rho_2) + \rho_1}{\sqrt{S}} \quad (6.1.2-2)$$

式中 ρ_1 、 ρ_2 ——上、下层土壤电阻率， $\Omega \cdot \text{m}$ ；

K ——系数，由图 6.1.2-3 查出。

视电阻率曲线常数 $b' \approx 3H$ ，其中 H 为第一层土壤的深度 (m)。

3 水下接地网接地电阻可按式 (6.1.2-3) 计算：

$$R = \frac{K_s \rho_s}{40} \quad (6.1.2-3)$$

式中 ρ_s ——水电阻率；

K_s ——接地电阻系数，可由图 6.1.2-4 查出，图中 H 为水深。

4 两层电阻率土壤深埋接地体 (见图 6.1.2-5) 接地电阻可按式 (6.1.2-4) 计算：

$$R = \frac{\rho_s}{2\pi d} \left(\ln \frac{4l}{d} + C \right) \quad (6.1.2-4)$$

$$l < H \text{ 时, } \rho_s = \rho_1$$

$$l > H \text{ 时, } \rho_s = \frac{\rho_1 \rho_2}{\frac{H}{l}(\rho_2 - \rho_1) + \rho_1}$$

$$C = \sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1} \right)^n \ln \frac{2nlI + l}{2(n-1)H + l}$$

式中 各参数含义如图 6.1.2-5 所示。

6.1.3 人工改善土壤电阻率后的接地电阻可按下列方法计算：

1 图 5.4.2-1 所示人工接地坑的接地电阻可按式 (6.1.3-1) 计算：

$$R = \frac{\rho_s}{2\pi l} \ln \frac{4l}{d_1} + \frac{\rho_r}{2\pi l} \ln \frac{d_1}{d} \quad (6.1.3-1)$$

式中 ρ_s ——置换材料的电阻率， $\Omega \cdot \text{m}$ ；

ρ_r ——原地层的电阻率， $\Omega \cdot \text{m}$ ；

d_1 ——计算直径 (人工接地坑底部直径)，m。

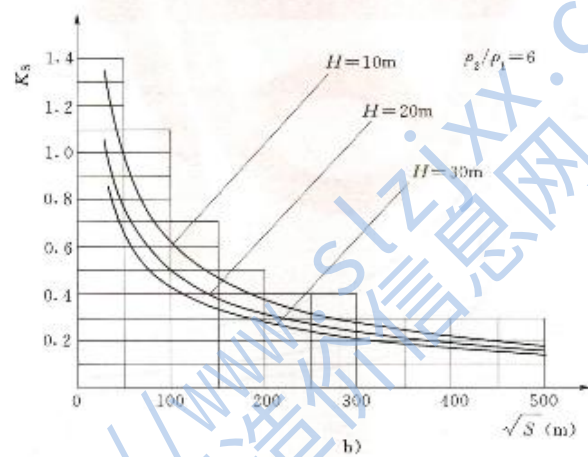
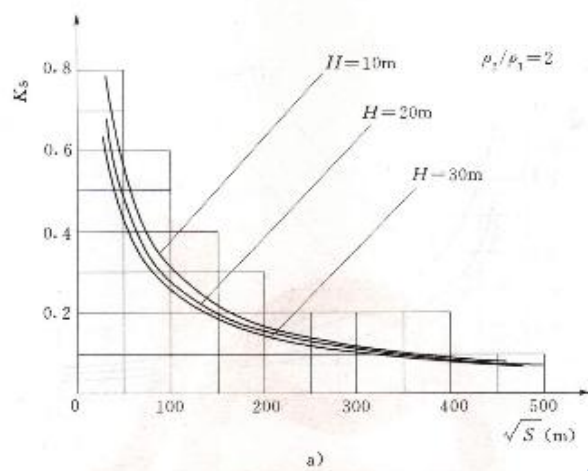


图 6.1.2-4 (一) 水下接地网接地电阻计算系数图

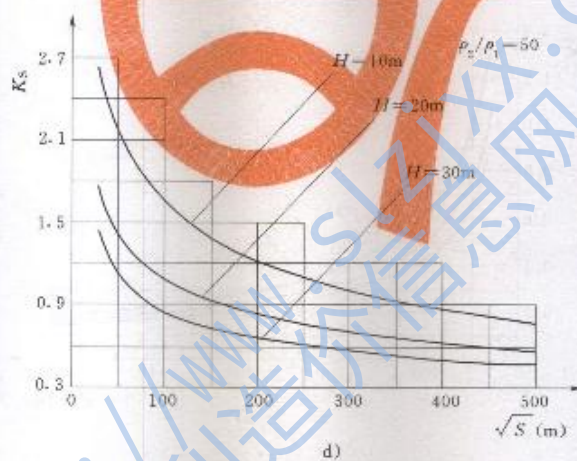
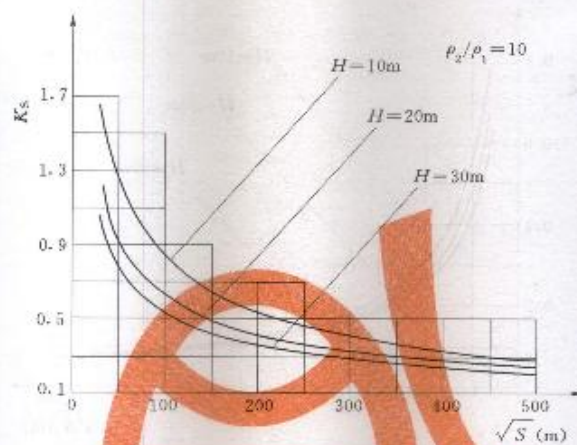


图 6.1.2-4 (二) 水下接地网接地电阻计算系数图

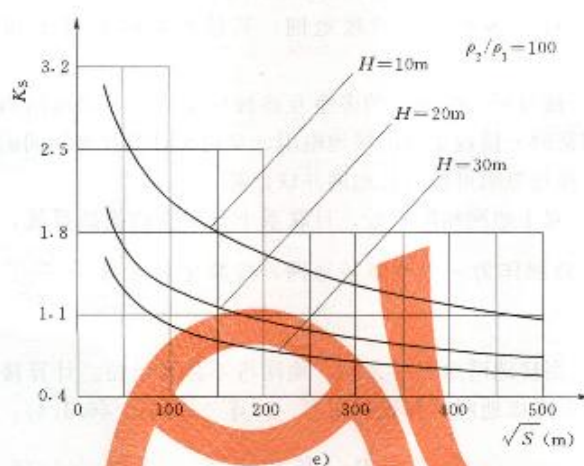


图 6.1.2-4 (三) 水下接地网接地电阻计算系数图

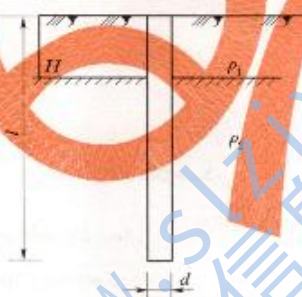


图 6.1.2-5 深埋接地体示意图

2 图 5.4.2-2 所示人工接地沟的接地电阻可按式 (6.1.3-2) 进行计算:

$$R = \frac{\rho_1}{2\pi L} \ln \frac{2L}{d_1} + \frac{\rho_2}{2\pi L} \ln \frac{L}{d} \quad (6.1.3-2)$$

式中 d'_1 ——计算直径（人工接地沟梯形断面的内切圆直径），m。

6.1.4 对于多重互连的接地网，其接地电阻可按下列方法计算：

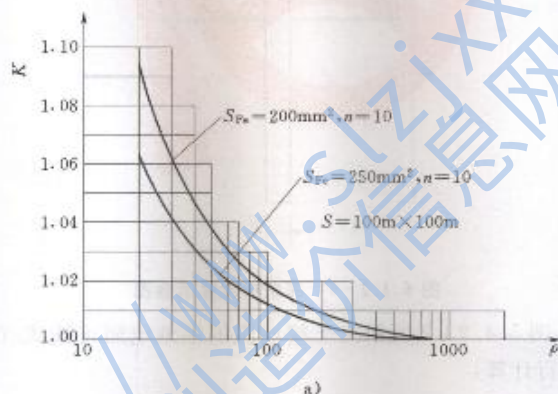
1 接地网间距较大的多重互连接地系统。各接地网间的相互影响甚微，接地系统的接地电阻计算可不计及接地网间的相互影响，接地电阻可按各接地网并联计算。

2 对于地网相距很近，且联系十分紧密的接地系统，可将互连接地网作为一个整体接地网，按简化公式 $R = \frac{0.5\rho}{\sqrt{S}}$ 进行计算。

3 当接地网面积很大时，地网将不是等电位。计算接地网电阻时应考虑地网的有效利用率。计算公式如式（6.1.4）：

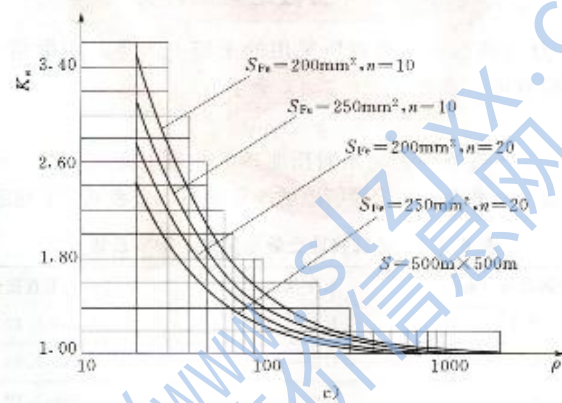
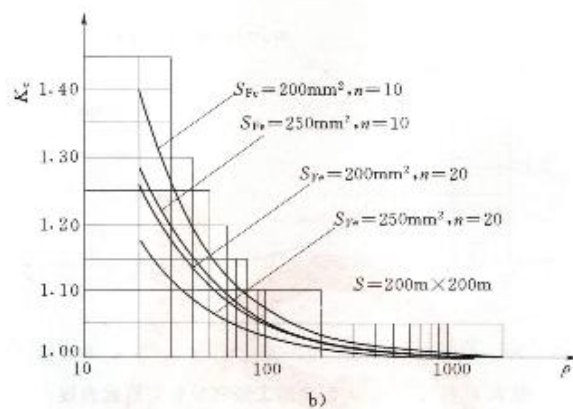
$$R = K_e \frac{0.5\rho}{\sqrt{S}} \quad (6.1.4)$$

式中 K_e ——大型地网工频有效利用系数，查图 6.1.4 中曲线可得其值。



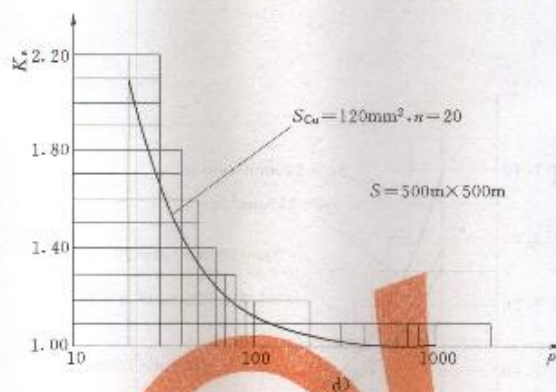
注： S_{Fe} ——钢质导体截面积； S_{Cu} ——铜质导体截面积； n ——网孔数。

图 6.1.4 (一) 大型地网工频有效利用系数曲线



注: S_{Fc} —铜质导体截面积; S_{Fe} —铜质导体截面积; n —网孔数。

图 6.1.4 (二) 大型地网工频有效利用系数曲线



注: S_{Se} —铜质导体截面积; S_{Se} —铜质导体截面积; n —网孔数。

图 6.1.4 (三) 大型地网工频有效利用系数曲线

6.2 冲击接地电阻计算

6.2.1 计算防雷接地装置所采用的土壤电阻率, 应取雷季中最大可能的数值, 并按式 (6.2.1) 计算:

$$\rho = \rho_0 \psi \quad (6.2.1)$$

式中 ρ_0 ——雷季中无雨水时所测得的土壤电阻率, $\Omega \cdot m$;

ψ ——考虑土壤干燥所取的季节系数, 查表 6.2.1 确定其值。

表 6.2.1 防雷接地土壤电阻率的季节系数 ψ

接地体埋深 (m)	水平接地体	2~3m 的垂直接地体
0.5	1.40~1.80	1.20~1.40
0.8~1.0	1.25~1.45	1.15~1.30
2.5~3.0	1.00~1.10	1.00~1.10

注: 测定土壤电阻率时, 如土壤比较干燥, 则应采用表中的较小值; 如比较潮湿, 则应采用较大值。

6.2.2 单独接地体的冲击接地电阻可用式 (6.2.2) 进行计算:

$$R_{ch} = aR \quad (6.2.2)$$

式中 R ——单独接地体的工频接地电阻, Ω ;

α ——单独接地体的冲击系数可参照附录 A 计算。

6.2.3 由多根水平接地体或垂直接地体组成的接地装置, 垂直接地体的间距不应小于其长度的两倍; 水平接地体的间距可根据具体情况确定, 但不宜小于 5m。并应符合下列规定:

1 由 n 根等长水平放射形接地体组成的接地装置, 其冲击接地电阻可按式 (6.2.3-1) 计算:

$$R_{ch} = \frac{R'_{ch}}{n} \times \frac{1}{\eta_{ch}} \quad (6.2.3-1)$$

式中 R'_{ch} ——每根水平放射形接地体的冲击接地电阻, Ω ;

η_{ch} ——考虑各接地体间相互影响的冲击利用系数, 见表 6.2.3。

表 6.2.3 接地体的冲击利用系数 η_{ch}

接地体型式	接地导体的根数	冲击利用系数	备 注
n 根水平射线 (每根长 10~80m)	2	0.83~1.00	较小值用于较短的射线
	3	0.75~0.90	
	4~6	0.65~0.80	
以水平接地体连接的 垂直接地体	2	0.80~0.85	D (垂直接地体间距) / l (垂直接地体长度) = 2~3; 较小值用于 $D/l=2$ 时
	3	0.70~0.80	
	4	0.70~0.75	
	6	0.65~0.70	

2 由水平接地体连接的 n 根垂直接地体的冲击接地电阻可按式 (6.2.3-2) 计算:

$$R_{ch} = \frac{R'_{ch} R_{pch}}{\left(\frac{R'_{ch}}{n} + R_{pch} \right) \eta_{ch}} \quad (6.2.3-2)$$

式中 R'_{ch} ——每根垂直接地体的冲击接地电阻, Ω ;

R_{pch} ——水平接地体的冲击接地电阻, Ω 。

6.2.4 大型水平接地网的冲击接地电阻，可按式 (6.2.4-1) 或式 (6.2.4-2) 估算：

对长条形网孔的地网

$$R_{ch} = 0.6\sqrt{\rho} \quad (6.2.4-1)$$

对方形网孔的地网

$$R_{ch} = 0.2\sqrt{\rho} \quad (6.2.4-2)$$

7 均 压

7.1 均压网设计

7.1.1 高压配电装置应设置均压网。均压网的外缘应闭合，外缘各角应做成圆弧形，圆弧的半径不宜小于均压带间距的一半，均压网内应敷设水平均压带。埋设深度宜采用0.6~0.8m。

7.1.2 均压网的设计应以网内的接触电位差和网外的跨步电位差作为设计的安全标准。宜采用等网孔电位的不等间距布置。均压网采用长形网孔时，均压带宜沿长度方向敷设。

7.1.3 对局部特别危险的区域，如接触电位差或跨步电位差超过了允许值，可采用局部增设水平均压带或铺设砾石、沥青等高电阻率的地面层。路面结构层的最小厚度和电阻率见表7.1.3-1和表7.1.3-2。

表 7.1.3-1 高电阻率路面结构层的最小厚度 单位：cm

结构材料名称	结构层最小厚度	建议的结构层最小厚度
黑色（沥青或渣油） 碎石和沥青（渣油）灌入碎石	4	8
沥青（渣油）表面处理	1.0~2.5	2~5
碎石（砾石）及其他粒料	6~8	15~20

表 7.1.3-2 高电阻率路面结构层的电气参数

单位：Ω·m

路面材料名称	潮湿状态电阻率
砾石	11670
碎石	5830
卵石	5000
沥青路面	>46600
块石混凝土地面	1000

7.1.4 均压网边缘经常有人出入的通道处,应根据情况铺设砾石、沥青路面或在出入口的均压网外地下装设两条不同埋深和长度(见图 7.1.4, L 为门的宽度)并与均压网相连的“帽檐式”均压带。

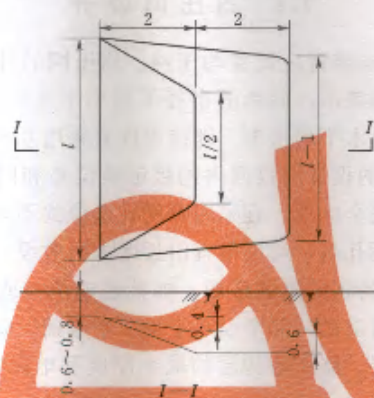


图 7.1.4 帽檐均压带例图 (单位: m)

7.1.5 当采用等间距布置的方格网孔均压网时,边角网孔处接触电位差最大,宜采用辅助均压带沿均压网对角线方向将边角网孔对角相连,降低最大接触、跨步电位差。

7.1.6 当配电装置及出线设备布置在整体浇筑的钢筋混凝土楼板上时,可利用楼板钢筋作为均压网。凡作为均压网的钢筋的连接应采用焊接,并且在正常运行和短路故障下,均不应引起混凝土破坏。

7.1.7 在均压网四周设置围墙或护栏时,应设置在均压网外距网边缘 0.5m 处。金属护栏宜设在混凝土墩上,且不与接地网相连,但在护栏外应设有埋入地中的集中接地体与护栏相连。

7.2 接触、跨步电位差允许值

7.2.1 在大接地短路电流系统中,当电网发生单相接地或同点两相接地故障时,产生的接触电位差和跨步电位差不应超过下列

数值:

$$E_j = \frac{174 + 0.17\rho_b}{\sqrt{t}} \quad (7.2.1-1)$$

$$E_k = \frac{174 + 0.7\rho_b}{\sqrt{t}} \quad (7.2.1-2)$$

式中 E_j ——接触电位差允许值, V;

E_k ——跨步电位差允许值, V;

ρ_b ——人脚站立处地表面的土壤电阻率, $\Omega \cdot m$;

t ——接地短路故障的持续时间, s, 取值见 10.3.5 条。

7.2.2 在小接地短路电流系统中, 当发生单相接地故障时, 电力设备接地装置的跨步电位差、接触电位差不应超过下列数值:

$$E_j = 50 + 0.05\rho_b \quad (7.2.2-1)$$

$$E_k = 50 + 0.2\rho_b \quad (7.2.2-2)$$

7.3 接触、跨步电位差计算

7.3.1 均压网布置有均压带等间距布置和不等间距布置两种, 不等间距布置的均压带可按表 7.3.1 进行排列。

表 7.3.1 均压网不等间距布置网孔边长为均压网边长百分数

网孔序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
网孔数	网孔边长百分数 (%)									
3	27.50	45.00	—	—	—	—	—	—	—	—
4	17.50	32.50	—	—	—	—	—	—	—	—
5	12.50	23.33	28.33	—	—	—	—	—	—	—
6	8.75	17.50	23.75	—	—	—	—	—	—	—
7	7.14	13.57	18.57	21.43	—	—	—	—	—	—
8	5.50	10.83	15.67	18.00	—	—	—	—	—	—
9	4.50	8.94	12.83	15.33	16.78	—	—	—	—	—
10	3.75	7.50	11.08	13.08	14.58	—	—	—	—	—

表 7.3.1 (续)

网孔序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
网孔数	网孔边长百分数 (%)									
11	3.18	6.36	9.54	11.36	12.73	13.46	—	—	—	—
12	2.75	5.42	8.17	10.00	11.33	12.33	—	—	—	—
13	2.38	4.69	6.77	8.92	10.23	11.15	11.69	—	—	—
14	2.00	3.86	6.00	7.86	9.28	10.24	10.76	—	—	—
15	1.66	3.62	5.35	6.82	8.07	9.12	10.01	10.77	—	—
16	1.46	3.27	4.82	6.14	7.28	8.24	9.07	9.77	—	—
17	1.38	2.97	4.35	5.54	6.57	7.47	8.24	8.90	9.47	—
18	1.14	2.58	3.86	4.95	5.91	6.76	7.50	8.15	8.71	—
19	1.05	2.32	3.47	4.53	5.47	6.26	6.95	7.53	8.11	8.63
20	0.95	2.15	3.20	4.15	5.00	5.75	6.40	7.00	7.50	7.90

注 1: 由于布置对称, 表中只列出一半数值。
 注 2: 表适用于均压网长和宽两个方向的网孔设计。
 注 3: 不等间距布置的均压带目的是使各网孔接触电位差相等, 均压带布置为地网边孔至中间孔逐渐增大。

7.3.2 在发生接地短路时, 均压网地表面的最大接触电位差 E_{jm} 可按式 (7.3.2) 计算:

$$E_{jm} = K_j E_w \quad (7.3.2)$$

式中 E_{jm} ——最大接触电位差, V;

K_j ——接触系数;

E_w ——接地装置的电位, V。

7.3.3 根据均压带布置的方式, 接触系数可按下列方法确定:

1 当均匀带为等间距布置时 (见图 7.3.3), 对接地体的埋设深度为 $h=0.6\sim 0.8m$, 接触系数 K_j 可按式 (7.3.3-1) 计算:

$$K_j = K_{jm} K_{jd} K_{js} K_{jl} \quad (7.3.3-1)$$

式中 K_{jm} ——均压带根数影响系数;

K_{jd} ——均压带直径影响系数;

K_{js} ——均压网面积影响系数;

K_{jL} ——均压网形状影响系数。

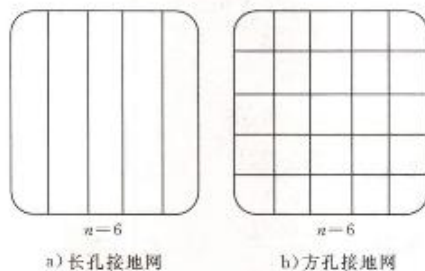


图 7.3.3 均压接地网 n 的取法

当地网面积 $30\text{m} \times 30\text{m} \leq S \leq 500\text{m} \times 500\text{m}$ 时, K_{jn} 、 K_{jd} 、 K_{js} 、 K_{jL} 系数可采用下列方法计算:

$$K_{jn} = 0.076 + \frac{0.776}{n}$$

$$K_{jd} = 0.841 - 0.225 \lg d$$

$$K_{jn} = 0.234 + 0.414 \lg \sqrt{S}$$

$$K_{jL} = 1.0 \quad (\text{用于方孔排列})$$

$$K_{jL} = 1.1 \sqrt{\frac{L_2}{L_1}} \quad (\text{用于长孔排列})$$

式中 n ——均压网均压带根数;

d ——均压网均压带导体等效直径, m;

S ——均压网面积, m^2 ;

L_1 ——均压网长度, m;

L_2 ——均压网宽度, m。

2 当均压带为不等间距布置时, 接触系数 K_j 可按式 (7.3.3-2) 计算:

$$K_j = K_{jh} K_{jn} K_{jd} K_{js} K_{jm} K_{jL} \quad (7.3.3-2)$$

K_{jh} 、 K_{jn} 、 K_{jd} 、 K_{js} 、 K_{jm} 、 K_{jL} 可按下列方法计算:

$$K_{js} = 0.257 - 0.095 \sqrt[5]{h}$$

$$K_{jn} = 0.021 + 0.217 \sqrt{\frac{n_2}{n_1}} - \frac{0.132n_2}{n_1} \quad (n_2 \leq n_1)$$

$$K_{jd} = 0.401 + \frac{0.658}{\sqrt[3]{d}}$$

$$K_{js} = 0.054 + 0.410 \sqrt[3]{S}$$

$$K_{jm} = 2.837 + \frac{240.021}{\sqrt[3]{m^2}}$$

$$K_{jl} = 0.168 + \frac{0.002L_2}{L_1} \quad (L_2 \leq L_1)$$

$$m = (n_1 - 1)(n_2 - 1)$$

式中 K_{jh} ——均压带埋深影响系数；

K_{jm} ——均压网网孔数影响系数；

n_1 ——沿长方向布置的导体根数；

n_2 ——沿宽方向布置的导体根数；

m ——均压网网孔数；

h ——均压网水平均压带埋设深度，m。

7.3.4 在发生接地短路时，均压网外的地表面的最大跨步电位差 E_{km} 可按式 (7.3.4) 计算：

$$E_{km} = K_k E_0 \quad (7.3.4)$$

式中 E_{km} ——最大跨步电位差，V；

K_k ——跨步系数。

7.3.5 根据均压带布置的方式，跨步系数可按下列方法确定：

- 1 当均压带为等间距布置时，跨步系数可按图 7.3.5 确定。
- 2 当均压带为不等间距布置时，跨步系数 K_k 可按式 (7.3.5) 计算：

$$K_k = K_{kh} K_{kn} K_{kl} K_{ks} K_{jm} K_{jl} \quad (7.3.5)$$

K_{kh} 、 K_{kn} 、 K_{kl} 、 K_{ks} 、 K_{jm} 、 K_{jl} 可按下列方法计算：

$$K_{kh} = 383.964 e^{-\frac{2.76}{\sqrt[3]{h}}}$$

$$K_{kn} = 0.849 - 0.234 \sqrt{\frac{n_2}{n_1}} \quad (n_2 \leq n_1)$$

$$K_{kl} = 0.574 + 0.64 \sqrt[3]{d}$$

$$K_{ks} = 0.07 + \frac{1.08}{\sqrt{S}}$$

$$K_{km} = 0.056 + \frac{1.072}{m}$$

$$K_{kl} = 0.741 - 0.011 \left(\frac{L_2}{L_1} \right) \quad (L_2 \leq L_1)$$

式中 K_{kh} ——均压带埋深影响系数；

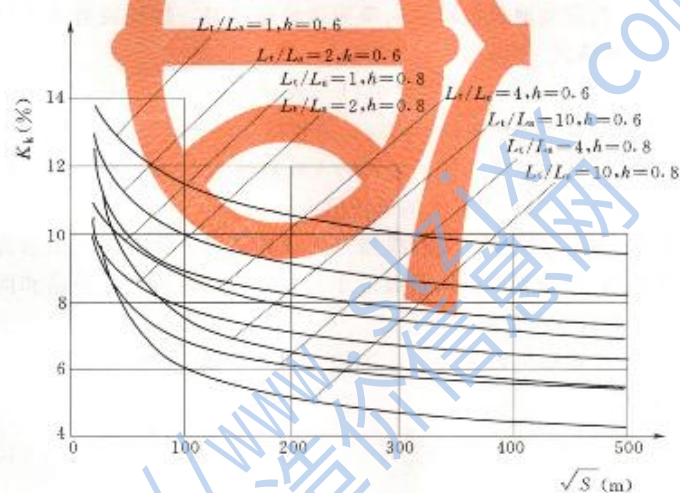
K_{kn} ——均压带根数影响系数；

K_{kl} ——均压带半径影响系数；

K_{ks} ——均压网面积影响系数；

K_{km} ——均压网网孔数影响系数；

K_{kl} ——均压网形状影响系数。



注： L_1 ——均压网中接地体总长度，m； L_2 ——均压网的外边缘线总长，m； h ——均压网埋深，m。

图 7.3.5 最大跨步电位差所用跨步系数 K_k 与均压网面积 S 的关系

7.4 接地装置电位计算

7.4.1 在发生接地故障时,接地装置的电位可按式(7.4.1)计算:

$$E_w = IR \quad (7.4.1)$$

7.4.2 接地装置入地短路电流按下列要求计算:

1 当在接地装置内发生单相接地短路时,接地装置入地短路电流可按式(7.4.2-1)计算:

$$I = (I_{\max} - I_z)(1 - K_{\text{fl}}) \quad (7.4.2-1)$$

式中 $I_{\max}$ ——系统最大运行方式下,最大单相短路电流, A;

I_z ——发生最大接地短路时,发电厂或变电站提供的短路电流, A;

K_{fl} ——接地网内短路时,避雷线工频分流系数。

2 当在接地装置外发生单相接地短路时,接地装置入地短路电流可按式(7.4.2-2)计算:

$$I = I_z(1 - K_{\text{e}}) \quad (7.4.2-2)$$

式中 K_{e} ——接地网外短路时,避雷线工频分流系数。

3 计算用的流经接地装置的入地短路电流取式(7.4.2-1)和式(7.4.2-2)中较大的电流值。

7.4.3 当有多回架空输电线路与系统连接时,计算用的工频分流系数 K_{f} 应取其中分流系数最小者,分流系数按网内短路和网外短路两种情况计算如下:

1 在接地网内短路时,工频分流系数 K_{fl} 可按式(7.4.3-1)计算:

$$K_{\text{fl}} = \frac{Z_{\text{m0}}}{Z_{\text{b0}}} + \left(1 - \frac{Z_{\text{m0}}}{Z_{\text{b0}}}\right) e^{-s} \quad (7.4.3-1)$$

其中

$$e^{-s} = \frac{\left(1 - \sqrt{\frac{b}{4+b}}\right)}{\left(1 + \sqrt{\frac{b}{4+b}}\right)}$$

$$b = \frac{Z_{10}}{3R_u}$$

$$Z_{m0} = \left(0.15 + j0.189 \ln \frac{D_g}{D_{1-2}} \right) \frac{l_{p1}}{1000}$$

$$D_g = \frac{1.94 \times 10^{-5}}{\sqrt{\frac{f}{\rho_{p1}} \times 10^{-11}}}$$

对于双避雷线:

$$D_{1-2} = \sqrt{D_{1-U} D_{1-V} D_{1-W} D_{2-U} D_{2-V} D_{2-W}}$$

对于单避雷线:

$$D_{1-2} = \sqrt[3]{D_{1-U} D_{1-V} D_{1-W}}$$

$$Z_{10} = \left(\frac{3r}{P} + 0.15 + j0.189 \ln \frac{D_g}{R_g} \right) \frac{l_{p1}}{1000}$$

对于双避雷线:

$$R_g = \sqrt{r_m D_m}$$

对于单避雷线:

$$R_g = r_m$$

$$r_m = 0.95r_0 \quad (\text{用于钢芯铝线})$$

$$r_m = 0.75r_0 \quad (\text{用于铝合金线})$$

$$r_m = r_0 10^{-0.5 X_{cs}} \quad (\text{用于钢绞线})$$

式中

R_u ——水电站接地网的接地电阻, Ω ;

Z_{m0} ——架空输电线路导线与地线间平均档距的零序互感阻抗, Ω ;

l_{p1} ——线路平均档距, m;

D_g ——避雷线对地的等价镜像距离, m;

f ——频率, 取 $f=50\text{Hz}$;

ρ_{p1} ——线路所经地段的土壤电阻率平均值, $\Omega \cdot \text{m}$;

D_{1-2} ——避雷线对导线的几何平均距离, m;

D_{1-U} 、 D_{1-V} 、 D_{1-W} ——1号避雷线对导线 U、V、W 相的距

离, m;

D_{2-U} 、 D_{2-V} 、 D_{2-W} ——2号避雷线对导线U、V、W相的距离, m;

Z_{b0} ——避雷线平均档距的零序阻抗, Ω ;

P ——避雷线根数;

r ——避雷线电阻, Ω/km , 见表 7.4.3;

R_g ——避雷线的等价几何平均半径, m;

D_m ——避雷线之间距离, m;

r_0 ——避雷线半径, m, 见表 7.4.3;

X_{en} ——单位长度钢绞线的内感抗, Ω/km , 见表 7.4.3。

表 7.4.3 钢绞线、钢芯铝线和光缆 OPGW 的电阻和内感抗

钢绞线 GJ			
标称截面 (mm^2) / 半径 (mm)	35/3.9	50/4.6	70/5.75
电阻 (Ω/km)	4.6	3.5	2.2
内感抗 (Ω/km)	2.4	1.5	1.2
钢芯铝线 LGJ			
标称截面 (mm^2) / 外径 (mm) (铝/钢)	120/20	150/25	185/30
电阻 (Ω/km)	0.22	0.19	0.16
铝合金线 LHBG			
标称截面 (mm^2) / 半径 (mm)	70/13.6	95/16	120/18
电阻 (Ω/km)	0.48	0.35	0.27
架空地线复合光缆 OPGW ^a			
a: 光缆的型号较多, 截面、半径、电阻由制造厂家提供; 当线路有两根架空地线时, 光缆的电阻与良导体地线的电阻宜一致; 若一根光缆和一根钢绞线时, 仅计算一根光缆的分流系数, 计算结果略偏小。			

2 在接地网外短路时，工频分流系数 K_g 可用式 (7.4.3-2) 计算：

$$K_g = \frac{Z_{m0}}{Z_{b0}} \quad (7.4.3-2)$$

8 工频暂态电压反击及转移电位隔离

8.1 工频暂态电压反击

8.1.1 在高土壤电阻率地区,当接地电阻不满足式(4.1.1)要求时,应验算接触电位差和跨步电位差,并考虑短路时电流非周期分量的影响,要求3~10kV阀型避雷器不应动作。

8.1.2 3~10kV系统阀型避雷器在暂态电压作用下不应动作,接地网工频接地电阻值应为:

$$R_w \leq \frac{U_{gr} - U_{xw}}{1.8I} \quad (8.1.2)$$

式中 U_{gr} ——3~10kV碳化硅避雷器间隙工频放电电压下限值或3~10kV无间隙金属氧化物避雷器1s工频耐受电压, kV;

U_{xw} ——系统最高相电压, kV。

在不同入地短路电流值下,3~10kV碳化硅阀型避雷器和无间隙金属氧化物避雷器允许的接地装置接地电阻值可按表8.1.2计算。

表 8.1.2 不同入地短路电流下允许电站接地装置的接地电阻

系统标称电压 (kV)	碳化硅阀型避雷器		无间隙金属氧化物避雷器	
	工频放电电压下限 (kV)	接地电阻值 (Ω)	工频耐受电压 (kV)	接地电阻值 (Ω)
3	9	$R \leq \frac{3.85}{I}$	6.25	$R \leq \frac{2.32}{I}$
6	16	$R \leq \frac{6.56}{I}$	12.50	$R \leq \frac{4.64}{I}$
10	26	$R \leq \frac{10.6}{I}$	21.25	$R \leq \frac{7.95}{I}$

注1: 3~10kV无间隙金属氧化物避雷器1s工频耐受电压为1.25 U_r (U_r 为避雷器的额定电压);
注2: I 的单位为kA。

8.2 转移电位隔离

8.2.1 在接地短路故障时，将接地网的高电位传递到电站外或将电站外零电位引进电站内，应采取相应隔离措施。

8.2.2 低压供电线路隔离应采用下列措施：

1 向厂、站外供电的低压电力线路宜采用架空出线，不在电源变压器中性点接地，改在用户中性线处接地。

2 当采用电力电缆向接地网外供电时，不宜采用铠装电缆，应采用全塑电缆。全塑电缆在站区内与电气设备连接时，应将端部 50~100mm 的全塑电缆暴露在空气中。

3 对站内供电的便携式设备和用具，在站外作业时，应将供电回路与本站地网绝缘，中性点与设备外壳在工作现场接地，并将该处最大接地短路电流限制在较低的数值。

8.2.3 金属管道和铁轨的隔离应采用下列措施：

1 金属管道与接地系统宜多点连接。对引出接地网区域外的管道，宜直接埋入地中。对埋在高土壤电阻率地区的金属管道和采用外露引出的金属管道，应在管道中接入一段绝缘管（绝缘长度视地网最大电位而定）或在法兰连接处（通常不少于 3 处）采取绝缘隔离措施。

2 铁轨的隔离可在地网边缘外至少两处设置可拆接头和绝缘鱼尾板或采用沥青混凝土固定。两处间距离，可视进站列车长度确定。

8.2.4 通信宜采用光纤，若采用金属通信电缆引外时，应接入隔离变压器限制地网电位转移。

9 设备特殊接地

9.1 GIS 接地

9.1.1 三相共筒式 GIS 正常运行时外壳感应电流接近零,对支撑构架和基础不会产生发热,宜采取多点接地方式。

9.1.2 离相式 GIS 宜采取多点接地方式。接地线宜布置在外壳三相短接板处,接地线在正常运行时,只流过不平衡电流,不会引起钢构发热。

9.1.3 离相式 GIS 采用单点接地时,接地点宜设在 GIS 各连续段的中部,设备支撑构架与外壳间绝缘(除利用设备支撑架接地外)。在外壳连续段的端部和接地点处均应设置三相短接板。

9.1.4 单点接地的 GIS 连续段,在正常运行时外壳上感应电压最大值不应超过 50V 的安全电压值。支撑架与外壳之间绝缘的耐受电压不应小于 2kV。连续段之间应设有绝缘法兰,绝缘法兰耐受电压不应小于 2kV。

9.1.5 外壳与支架之间的支撑可采用绝缘体或直接相连,其连接方式的选择宜结合工程和制造厂的经验,应符合下列要求:

1 当外壳与设备支架采用绝缘垫块支撑时,绝缘垫块应能承受 2kV 工频耐压 1min。

2 当外壳与设备支架直接连接时,应保证支架钢结构在流过短路电流时的机械特性。

9.1.6 所有母线伸缩节间和有绝缘的法兰处(除外壳单点接地所设分段绝缘法兰),应设有金属跨接线,离相式 GIS 与其他设备连接的端部,外壳间应设有三相短接板,GIS 母线中部应根据运行需要由制造厂适当设置一定的三相短接板。

9.1.7 GIS 母线外壳与变压器高压侧外壳间应设置绝缘衬垫,两者外壳间宜设置避雷器。

9.1.8 GIS 设备低压（包括动力、控制）电缆的所有单屏蔽电缆外皮应采用单点接地，不应在 GIS 端接地。

9.1.9 GIS 应设置专用的接地母线，外壳接地引线应直接接在接地母线上，不应将数个接地点串联引到接地母线上；当间隔较多时，可设置两条接地母线。接地母线两端应与接地网相连；当接地母线较长时，宜增设接地线与接地网的连接点。

9.1.10 对单点接地方式，外壳接地引下线截面应按流过的最大单相短路电流选择；对多点接地方式，外壳接地引下线截面可按单相短路电流的 70% 选择。接地母线及与地网连接线截面选择应按最大单相短路电流的 70% 进行选择。

9.2 离相式封闭母线接地

9.2.1 离相式封闭母线的外壳及支持结构的金属部分应可靠接地。

9.2.2 离相式封闭母线的外壳宜采用多点接地方式，接地线宜布置在三相短接板处，正常运行时，接地线只流过约为导体电流的 20%~30% 的不平衡电流。

9.2.3 当离相式封闭母线采用单点接地时，设备支撑钢构应与母线外壳间绝缘。单点接地的封闭母线连续段不宜过长，正常运行时外壳上感应电压最大值不应超过 50V 的安全电压值。支撑架与外壳之间绝缘的耐受电压不应小于 2kV。与电气设备连接应设有绝缘法兰，绝缘法兰耐受电压不应小于 2kV。

单点接地的封闭母线接地点宜设在母线连接段的中部；母线上设有发电机断路器时，在每相断路器外壳与支撑钢构绝缘之间宜设置 2~5 μ F 脉冲电容器。

9.2.4 离相式封闭母线外壳与支撑钢构的连接方式应符合下列要求：

- 1 外壳与设备支架采用绝缘垫块支撑，绝缘垫块应能承受 2kV 工频耐压 1min。
- 2 外壳与设备支撑钢结构直接连接并接地，应保证支架钢

结构在流过短路电流时的机械特性。

9.2.5 母线外壳多点接地或单点接地，在外壳连续段的端部和接地点处均应设置三相短接板。封闭母线外壳与变压器低压侧外壳间应设置绝缘衬垫。

9.2.6 接地导线应有足够的截面，具有通过短路电流的能力。

9.3 高压电缆线路的接地

9.3.1 电力电缆线路的金属层应直接接地。

9.3.2 交流系统中三芯电缆的金属层应在电缆线路两终端和中间接头等部位直接接地。

9.3.3 交流系统中单芯电缆的金属层，应在电缆线路上至少有一点直接接地（见图 9.3.3）：

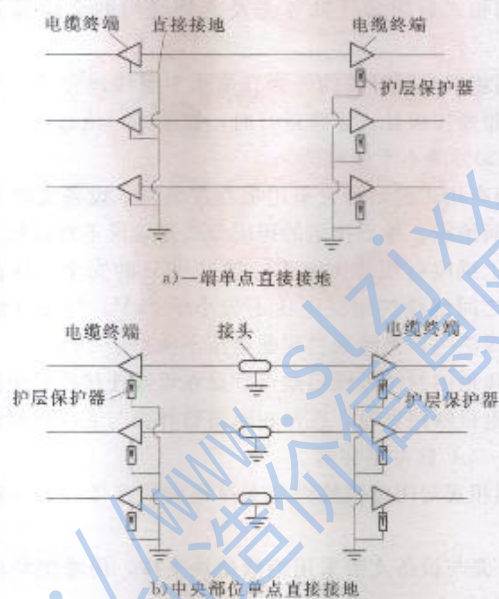


图 9.3.3 电缆线路一端或中央部位单点直接接地

1 在电缆线路任一终端处单点直接接地，另一终端经护层保护器接地。

2 在电缆线路中央部位接头单点直接接地，两终端经护层保护器接地。

9.3.4 在电缆线路金属层上任一点非接地处的正常感应电压，应符合下列规定：

1 在满负荷运行下感应电压不应大于 50V。

2 采取有效防止人员任意接触金属层的安全措施时，在满负荷运行下感应电压不应大于 300V。

9.3.5 电缆线路较长的水下电缆、35kV 及以下电缆或输送容量较小的 35kV 以上电缆，一端接地不能满足金属层感应电压的要求时，可采取在电缆线路两终端金属层直接接地方式（见图 9.3.5），验算感应电压满足 9.3.4 条的要求。

9.3.6 电缆线路较长时，宜将电缆划分适当的单元，在每个单元电缆分成相等长度的 3 段，并设置绝缘接头，将金属层交叉互连经护层保护器接地，电缆终端和接头处均应直接接地（见图 9.3.6）。

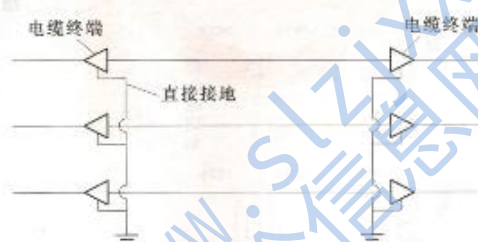


图 9.3.5 电缆线路两端直接接地

9.3.7 金属制桥架系统，应保证可靠的接地连接，使用玻璃钢桥架，应沿桥架全长另敷设专用接地线。



注：图中护层保护器示例按 Y0 接线。

图 9.3.6 交叉互连接地

9.4 微波通信站接地

9.4.1 微波站不宜设置在电站控制室和开关站控制室附近。微波站宜设置单独的接地装置。

9.4.2 微波站的接地电阻不应超过 5Ω ，在土壤电阻率较低的有条件的地区不应超过 1Ω ，高土壤电阻率地区不应超过 10Ω 。接地体应围绕微波塔基作成闭合环形，宜减小接触电位差和跨步电位差。

9.4.3 微波站接地网与工程接地网宜采用弱连接，可用 2 根接地带与工程主接地网相连，但应远离中控室和有控制电缆的电缆沟。机房接地网与微波塔的接地网间，至少应有 2 根接地带连接。

9.4.4 机房内应具有环形接地母线。环形接地母线应与地网相连接。

9.4.5 环形接地母线与室外闭合接地网、房顶均压带之间，至少应用 4 根对称布置的连接线相互连接，相邻连接线间的距离不宜超过 15m。

9.4.6 同一机房内互相靠近的各种通信设备及设备外壳的接地线应就近与室内环形接地母线连接，且室内环形接地母线应一点与电站地网连接。

9.4.7 机房内通信电缆终端配线架应接地，其上的信号线应装有保安设施。电缆中凡未使用的线对，均应两端接地。

9.4.8 波导管（同轴电缆）的金属外皮至少应在微波天线塔的上、下两端与微波塔身金属结构连接。当波导管经由馈线桥引进机房时，应在进口处将波导管与接地体连接，并加设集中接地体。进入机房的波导管在机房内应直接就近与接地母线连接。室外馈线桥始端应与铁塔金属结构连接。

9.4.9 微波塔上的航空灯电源线，应采用金属外皮电缆或将导线穿入金属管道中，金属外皮或金属管道至少应在上、下两端与塔身金属结构连接。该电缆进入机房前应水平埋入地下，且埋地

长度不应小于 10m。其他室外电缆进入机房也应同样处理。

9.4.10 室外电缆进入机房前应埋地或穿入金属管道中埋地进入，且长度不应小于 10m。

9.4.11 外来 380V 交流电源中性线在电源室内应与接地母线连接。

9.4.12 直流电源“+”极在电源侧和通信设备侧均应直接接地。“-”极对地之间，在电源侧和通信设备侧均应接入压敏电阻。

9.5 移动式和携带式电力设备接地

9.5.1 由固定式电源或由移动式发电设备供电的移动式机械的金属外壳或底座，应与电源的接地装置有可靠的金属连接。

在中性点非直接接地的电力网中，可在移动式机械附近装设接地装置，可充分利用附近的自然接地体，接地电阻应符合 4.2 节的要求。

根据移动式机械的特殊情况，按要求进行实施不可能或不合理时，可利用自动切断电源装置代替接地。

9.5.2 移动式电力设备和机械的接地应符合固定式电力设备接地的要求，但下列情况可不接地或不接中性线：

1 移动式机械自用的发电设备直接放在机械的同一金属支架上，且不供给其他设备用电时。

2 不超过两台机械由专用的移动式发电设备供电，机械距移动式发电设备不超过 50m，且发电设备和机械的外壳之间有可靠的金属连接时。

9.5.3 移动式电力设备和机械的接地线截面，应符合 10.3 节的规定。

9.5.4 携带式用电设备应用专用芯线接地，此芯线不应同时用来通过工作电流。不应利用其他用电设备的中性线接地，中性线和接地线应分别与接地网相连接。携带式用电设备的接地芯线应采用多股软铜线，其截面不应小于 1.5mm^2 。

9.5.5 携带式用电设备的插座应有专用的接地触头。触头应同时与接地线和中性线相连接，所用插销的结构应能避免将导电触头误作接地触头使用。插座和插销的接地触头应在导电的触头接触之前连通，并应在导电的触头脱离之后才断开。金属外壳的插座，其接地触头和金属外壳应有可靠的电气连接。

9.5.6 携带式设备接地线的夹具应保证与电力设备及接地体的连接处电气接触良好，并应符合短路电流作用下的热稳定和动稳定的要求。

9.6 监控系统接地

9.6.1 工程的计算机监控系统应与发电厂、变电站使用同一个接地装置，不宜设置独立的接地装置。

9.6.2 主控室、计算机房、单元控制室、保护盘室和通信机房应设置截面不小于 100mm^2 的铜排环形接地母线，环形接地母线仅有一处与工程的接地装置连接。

9.6.3 计算机系统内电气相连的各种性质的接地应用绝缘导体引至总接地板，再由总接地板经电缆或绝缘导体与接地装置连接。

9.6.4 计算机工作（逻辑）接地应避免产生接地环流，消除噪声干扰和过电压干扰，保证设备的安全防护。计算机监控系统设备的外壳、交流电源、逻辑回路、信号回路和电缆屏蔽层应按下列原则接地：

1 任一机柜（或一套装置）内全部对外接口设备有隔离（或光纤）时，机柜外壳、交流电源、计算机直流电路和电缆屏蔽层的接地，应在该机柜内共一点接地。计算机逻辑回路在机柜内应只有一点同机柜的公共接地点连接。

2 未隔离的所有计算机直流回路（包括直流电源、逻辑回路、信号回路）中只应有一个接地点；如有两点或多点接地时，其任意两接地点的地电位差在任何时候均不能大于设备所允许的干扰电压，否则应在相邻接地点间增加专用的短接线。

3 当控制电缆电磁感应的干扰较大时,宜采用两点接地,双重屏蔽电缆内屏蔽层采用一点接地,外屏蔽层采用两点接地。

9.6.5 各种用途接地线的截面选择见表 9.6.5。

表 9.6.5 各种用途接地线的截面选择 单位: mm²

序号	连接对象	接地线截面
1	总接地板—接地点	≥35
2	系统地—总接地板	≥16
3	机柜间链式接地连接线	2.5

10 接地装置

10.1 接地系统、接地体和接地线

10.1.1 接地网应至少用两根接地干线连接，构成整个工程的接地系统。接地干线间宜相距较远，干线截面宜不小于 $50\text{mm} \times 6\text{mm}$ 的扁钢或直径 20mm 的圆钢。

10.1.2 工程中可用作接地的自然接地体有：

- 1 与水或潮湿土壤相接触的水工建筑物的钢筋混凝土的表层钢筋。
- 2 压力钢管、尾水锥管和尾水管金属里衬。
- 3 各种闸门、拦污栅的金属结构。
- 4 施工建筑物用的不拆除的金属板桩、钢筋笼。
- 5 埋设地中的供水用钢管。
- 6 金属井管。
- 7 穿线的钢管以及电缆金属外皮。
- 8 架空地线。

10.1.3 预应力钢筋混凝土构件中的钢筋不宜用作自然接地体。

10.1.4 水平敷设的接地体可采用圆钢、扁钢；垂直敷设的可采用角钢、圆钢和钢管。

10.1.5 垂直接地体的长度宜为 $2.5 \sim 3.0\text{m}$ ，埋设深度宜采用 $0.6 \sim 0.8\text{m}$ 。

10.1.6 垂直接地体多用在防雷接地装置中。对泄放雷电流的进出线架构、避雷针（线）架构和避雷器的接地均应设置人工集中接地装置。

10.1.7 工程中变压器至开关站的高压架空进线段的杆塔应设置人工接地装置，人工接地体埋设深度不宜小于 $0.6 \sim 0.8\text{m}$ 。

10.1.8 高土壤电阻率地区，宜采用水平放射形接地体，接地体埋设深度不宜小于 0.5m 。放射形接地体每根的最大长度，应根

据土壤电阻率确定，但不超过 4.4.2 条所限定数值。

10.1.9 交流电力设备接地所利用的金属构件、建筑钢筋、穿线的钢管和电缆的铅、铝外皮等接地线，应符合下列要求：

1 应保证其全长为完好的电气通路。

2 利用串联的金属构件作为接地线时，金属构件之间应用截面不小于 160mm^2 的钢材焊接。

3 满足上述要求时，可不另设接地线。但易燃、易爆危险场所除外。

10.1.10 蛇皮管、保温管的金属网或外皮以及低压照明网络的线缆外皮不应用作接地线。在电力设备需要接地的房间内，这些金属外皮应接地，并应保证其全站为完好的电气通路；接地线应与金属外皮用螺栓连接或低温焊接。

10.1.11 接地线所经途径中，所有紧挨的金属物体应与接地线焊接。

10.1.12 所有电缆廊道（沟）中应有接地线，电缆廊道（沟）中的电缆支架应与接地线连接。

10.1.13 接地线应便于检查，除用作接地线的电缆的零芯和金属外皮，暗敷的穿线钢管以及地下的金属构件外。潮湿的或有腐蚀性蒸气的房间内，接地线应在墙上明敷，且离墙不应小于 10mm 。

10.1.14 接地线应防止发生机械损伤和化学腐蚀，与公路、铁道或化学管道等交叉的地方，以及有可能发生机械损伤的地方，应对接地线采取保护措施。

10.1.15 中性线上不应装设开关和熔断器，单相断路器应装在相线上，接地线不宜兼作其他用途。

10.2 接地线连接

10.2.1 接地线连接处应焊接。如采用搭接焊，其搭接长度应为其中较大扁钢宽度的 2 倍或其中较大圆钢直径的 6 倍。架空线中性线的连接，可采用与相线相同的方法。

潮湿的和有腐蚀性蒸气或气体的房间内，接地装置的所有连接处应焊接；如确不易焊接，可采用螺栓连接，但应采取可靠的防锈蚀处理。

不同材料的接地线的连接宜采用焊接，焊接处应作防腐处理。

10.2.2 低压配电系统中如利用钢管作接地线，钢管连接处应保证有可靠的电气连接。利用穿线的钢管作接地线时，引向电力设备的钢管与电力设备之间，应有可靠的电气连接。

10.2.3 接地线与管道等伸长接地体的连接处应焊接。连接点应选在近处，并应在管道因检修而可能断开时，接地装置的接地电阻仍能符合本标准的要求。

管道上的表计和阀门等处，均应装设跨接线。

10.2.4 接地线与接地体的连接宜采用焊接；接地线与电力设备的连接，可用螺栓连接或焊接。用螺栓连接时，应用防松动螺母或防松动垫片。

10.2.5 直接接地或经消弧线圈接地的主变压器、发电机的中性点与接地体或接地干线连接，应采用单独的接地线。变压器中性点接地时，应有两根与主接地网不同干线连接的接地引下线。

10.2.6 电力设备每个接地部分应用单独的接地线与接地干线相连接，不应在一个接地线中串接几个需要接地的部分。

10.2.7 用作接地体的混凝土内的钢筋的连接应采用焊接。对分断处应焊为一体。跨结构分缝的接地线，在分缝处应作过缝伸缩处理。

10.3 接地导体截面选择及计算

10.3.1 钢接地线的截面积应符合载流量、短路时自动切除故障段时间内热稳定与均压的要求，且不应小于表 10.3.1 所列规格。

表 10.3.1 钢接地体和接地线的最小规格

种类	规格	地上		地下
		屋内	屋外	
圆钢	直径 (mm)	8	10	12
扁钢	截面 (mm ²)	75	100	120
	厚度 (mm)	3	4	4
角钢	厚度 (mm)	2.5	3	4
钢管	管壁厚度 (mm)	2.5	3	4

10.3.2 低压电力设备的铜或铝接地线截面不应小于表 10.3.2 所列数值。

表 10.3.2 低压电力设备的铜或铝接地线的最小截面

单位: mm²

种类	铜	铝
明敷裸导体	4	6
绝缘导线	1.5	2.5
电缆的接地芯线或与相线包在同一保护外壳内的多芯导线的接地芯线	1.0	1.5

10.3.3 中性点接地的低压电力设备, 专用接地线或中性线宜与相线一起敷设。钢、铝、铜接地线的等效截面积见表 10.3.3。

表 10.3.3 钢、铝、铜接地线的等效截面 单位: mm²

钢	铝	铜	钢	铝	铜
15×2	—	1.3~2	40×4	25	12.5
15×3	6	3	60×5	35	17.5~25
20×4	8	5	80×8	50	35
30×4 或 40×3	16	8	100×8	70	47.5~50

中性点直接接地的低压电力设备, 接地线截面积: 钢不大于 800mm², 铝不大于 70mm², 铜不大于 50mm²。

10.3.4 根据热稳定条件, 接地线材料为钢、铜或铝材的最小截

面应按式 (10.3.4) 进行计算:

$$S_{jd} \geq \frac{I_{jd}}{C} \sqrt{t_d} \quad (10.3.4)$$

式中 S_{jd} ——接地线的最小截面, mm^2 ;

I_{jd} ——流过接地线的短路电流稳定值, A; 根据系统 10 年左右发展规划, 按系统最大运行方式确定;

t_d ——短路的等效持续时间, s, 大接地短路电流系统, 可按 10.3.5 条取值;

C ——接地线材料的热稳定系数。

热稳定系数应根据材料的种类、性能及最高允许温度和短路前接地线的初始温度确定。接地线初始温度宜取 40°C , 可按表 10.3.4 所列数值计算。

表 10.3.4 校验接地线热稳定用的 I_{jd} 、 t_d 及 C 值

参数	大接地短路电流系统中的接地线	中性点直接接地的低电压电网的接地线 和中性线	各种电力网中用的 携带式接地线
I_{jd}	单相接地、两相接地短路时, 流过接地线的短路电流	导电部分与被接地部分或中性线间发生短路时, 流过接地线的短路电流	发生各种类型短路时, 流过接地线的短路电流
t_d	相当于继电保护发生一重故障后, 保护动作的等效持续时间	相当于继电保护主保护动作的等效持续时间	相当于继电保护主保护动作的等效持续时间, 宜按电力网中, 各设备继电保护主保护的最大整定时间确定
C	钢	70	90 (61)
	铝	120	155 (100)
	铜	210	270 (180)

注: 括号中的数值用于架空接地线和中性线。

10.3.5 大接地短路电流系统中,设备接地引下线截面应按工程全部投产后系统发展 10 年左右,最大运行方式下接地短路电流进行热稳定校验:短路电流持续时间应按保护故障持续时间考虑,对于 110kV 和 220kV 电压等级的工程,短路电流持续时间为第一级后备保护动作持续时间 0.6s;330kV 和 500kV 电压等级的工程,短路电流持续时间为断路器失灵保护持续时间 0.4s。此时钢接地线的短时温度不应超过 400℃;铜接地线的短时温度不应超过 450℃。

若短路电流持续时间按更长时间考虑,则所用的接地线短时温度应允许达到 600℃或更高,但其短时温度不应高于材料熔断温度。

利用混凝土中的钢筋作接地引下线时,为避免高温破坏混凝土与钢筋间的结合力,钢筋的最大允许温升不应超过 100℃。地中接地体的截面不应小于设备接地引下线截面积的 70%。

10.3.6 小接地短路电流系统中,接地线的截面应按工程全部投产后系统发展 10 年左右,接地线流过单相接地故障电流时,长时间温度不应超过下列数值:敷设在地上的接地线温度不大于 150℃;敷设在地下的接地线温度不大于 100℃。

若按 70℃的允许载流量曲线选定接地线的截面积,对敷设在地上的接地线,所用电流应为流过接地线的计算用单相接地故障电流的 60%;对敷设在地下的接地线,所用电流应为流过接地线的计算用单相接地故障电流的 75%。

应校验(除发电机电压系统采用离相封闭母线外)发生两相异点短路时,接地线的热稳定要求。

10.3.7 中性点直接接地的低压电力设备,为保证自动切除线路故障段,其接地线和中性线应保证在导电部分与被接地部分或中性线之间发生短路时,电力网任一点的短路电流不应小于最近处熔断器熔体额定电流的 4 倍,或不应小于自动开关瞬时或短延时动作电流的 1.5 倍,接地线和中性线在短路电流作用下不应熔断。爆炸危险场所除外。

接地线及用作接地线的设施的电导，应不小于本线路中最大相线电导的 1/2；但如能符合本条对短路电流值和热稳定条件的要求，电导亦可小于相线电导的 1/2。

10.3.8 在中性点直接接地的低压电力网中，相线与中性线之间的短路电流可按式 (10.3.8) 确定。

$$I = \frac{U_{\text{spe}}}{Z_d + Z_0} \quad (10.3.8)$$

式中 I ——短路电流，A；

U_{spe} ——电力网的标称相电压，V；

Z_0 ——变压器正序、负序和零序阻抗的算术平均值， Ω ；

Z_d ——相线与中性线回路的总阻抗， Ω 。

对架空线路，铜、铝导线回路的电抗可按 $0.6\Omega/\text{km}$ 计算；钢导线的电阻及内电抗应根据电流的数值确定，此电流应采用线路始端熔断器熔体额定电流的 4 倍，或线路始端自动开关瞬时或短延时动作电流的 1.5 倍，外电抗可按 $0.6\Omega/\text{km}$ 计算。

在较长的钢导线架空线路上，容量大于 500kVA 的变压器， Z_0 可忽略不计。当按式 (10.3.8) 计算的短路电流值不符合 10.3.7 条的要求时，应装设能自动切除接地故障的保护装置。

10.3.9 携带式接地线应采用裸铜软绞线，其截面积应符合短路时热稳定的要求，短时温度不应超过 730°C ，且截面不宜小于 25mm^2 。

10.3.10 在选择接地线截面时，应考虑接地体在土壤中易受到腐蚀。接地体腐蚀应根据各地区接地线的腐蚀速度，确定接地体的腐蚀量。接地体的最小截面应包括接地线在规定使用年限内腐蚀的增加截面积。

10.4 接地体防腐

10.4.1 接地体的腐蚀速度应考虑所处地区土质、气候和周围环境等因素。若没有当地土壤中接地体腐蚀速度的数据，可根据同类土壤腐蚀性地区的运行经验确定。

10.4.2 当接地体腐蚀速度较大时，宜采取防腐措施。若无防腐措施，应增加接地体截面。

10.4.3 在有腐蚀蒸气或气体的房间内，接地体应有防腐措施。混凝土中的接地体，可不考虑腐蚀。接地体的设计工作寿命，不宜低于 30 年。

10.4.4 在腐蚀严重的地区或南方雨水较多容易引起腐蚀性断裂的场所，接地体可因地制宜地选择抗腐蚀性能较好的材料。设备接地引下线可采用镀铜扁钢、镀铜钢绞线或铜材接地线。

10.5 接地标志

10.5.1 明敷接地线在导体的全长度或区间段及每个连接部位附近的表面应涂绿、黄相间条文标识，也可使用双色胶带。在三相四线制的低压电力网中，用中性线作接地线时，中性线在分支点处应涂淡蓝色标识。

10.5.2 凡接地线引进建筑物的入口处，应设有标志。

10.5.3 水利水电工程中，如设有接地测量井，接地测量井处应设有标志。

11 接地装置工频参数测量

11.1 接地电阻测量

11.1.1 接地电阻测量应满足下列要求：

1 接地装置的接地电阻与土壤的潮湿程度有密切关系，应避免雨天和雨后立即测量，应在连续天晴3天后测量。

2 接地电阻与水库蓄水位关系密切，测量接地电阻时，应满足工程蓄水位（或分期蓄水）的要求，且测量接地电阻时的工况与电站最大入地短路电流时工况（或初期发电运行工况）相对应。

3 接地测量前要事先了解地下金属管道情况，在布置电流极和电压极时，应与埋在地下的金属管道走向垂直。

4 测量时，接地装置应与所有出线线路的架空地线断开，若有复合光缆（OPGW），应将光缆外皮与构架绝缘，并与接地端子解开。

5 接地测量的电流流入点和电位测量点宜选择高压配电装置接地网边缘处。主变压器和高压配电装置未布置在一起时，接地测量点宜分别设在主变压器接地处和高压配电装置的接地网边缘处。

6 大型接地网的接地电阻测量，宜采用独立电源或经隔离变压器供电的电流—电压表法测量，工频测量电流不宜小于10A，并宜加大测量电流。

11.1.2 电流—电压表三极法测量接地电阻的要求如下：

1 电流—电压表三极法接线示意如图11.1.2-1所示。在电流、电压极的布置上，应避免电流线与电压线之间的互感。

2 采用图11.1.2-2所示的任意夹角三极法测量时，电压极、电流极与地网边缘之间的距离 d_{12} 、 d_{13} 宜取接地网最大对角线长度 D 的5倍及以上。当布置电极有困难时，在土壤电阻率均匀的地区，可取 $2D$ 。在土壤电阻率不均匀地区可取 $3D$ 。接地电阻可用式（11.1.2）进行电阻修正：

$$R = \frac{R_0}{1 - \frac{D}{2} \left(\frac{1}{d_{12}} + \frac{1}{d_{13}} - \frac{1}{\sqrt{d_{12}^2 + d_{13}^2 - 2d_{12}d_{13}\cos\theta}} \right)} \quad (11.1.2)$$

式中 D ——被测接地网的最大对角线长度, m;

d_{12} ——接地网边缘和电压极之间的距离, m;

d_{13} ——接地网边缘和电流极之间的距离, m;

θ ——电压极与电流极之间的夹角;

R_0 ——接地网的接地电阻测量值, Ω 。

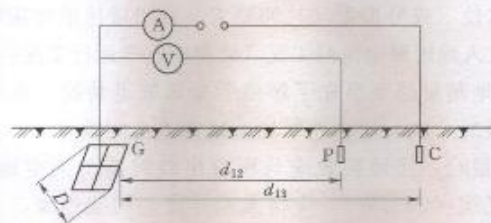


图 11.1.2-1 电流—电压表三极法接线示意图

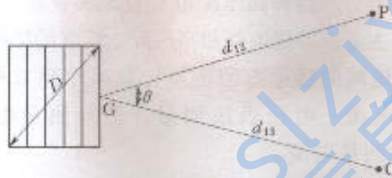


图 11.1.2-2 三极任意夹角布极法

对大、中型水利水电工程接地网的接地电阻测量应采用电流—电压表三极任意夹角法进行测量。电压极与电流极之间的夹角 θ 宜加大。

3 采用图 11.1.2-3 所示 (被测点、电压极、电流极应在一条直线上) 的直线布极法测量时, 电压极到接地网的距离宜为电流极到接地网的距离的 50%~60%。测量时应将电压极沿接

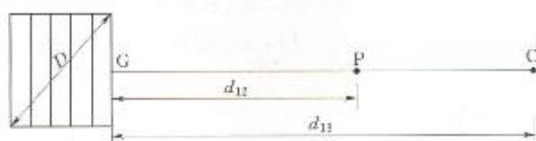


图 11.1.2-3 三极直线布极法

地网和电流极的连线移动 3 次，每次移动距离为 d_{13} 的 5% 左右，3 次测量得的电阻值应接近。当接地装置面积较大，难以找到长距离的直线，且土壤电阻率分布不均匀时，不宜采用三极直线布极法。

11.1.3 采用倒向法进行测量，可消除接地网的零序电流、电压对测量结果的影响，消除工频干扰，其接地电阻可用式 (11.1.3-1) 计算：

$$R = \frac{\sqrt{\frac{1}{2}(U_1^2 + U_2^2) - U_0^2}}{\sqrt{\frac{1}{2}(I_1^2 + I_2^2) - I_0^2}} \quad (11.1.3)$$

式中 U_0 ——倒向前、后，断开电源，接通电流线后测量的干扰电压，V；

I_0 ——倒向前、后，断开电源，接通电流线后测量的干扰电流，A；

U_1 ——倒向前，测量接地装置的电压，V；

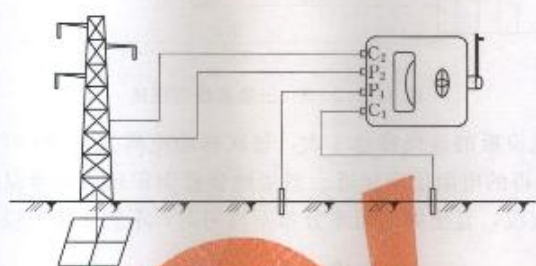
I_1 ——倒向前，流经接地装置的电流，A；

U_2 ——倒向后，测量接地装置的电压，V；

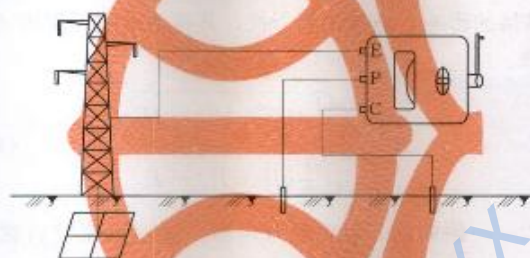
I_2 ——倒向后，流经接地装置的电流，A。

11.1.4 对线路杆塔接地网或小型接地网可采用接地绝缘电阻表法进行接地电阻测量，接地绝缘电阻表法测量的接线方式如图 11.1.4-1 所示。当被测接地电阻小于 1Ω 时，宜采用四端子接线仪测量；当被测接地电阻大于 1Ω 时，宜采用三端子测量仪测量。

电极的布置见图 11.1.4-2, d_{12} 宜取接地装置最长射线长度 L 的 4 倍或接地网对角线的 4 倍, d_{13} 宜取 L 的 2.5 倍。



a) 接地电阻小于 1Ω 的测量接线



b) 接地电阻大于 1Ω 的测量接线

图 11.1.4-1 接地电阻测量仪的测量接线图



图 11.1.4-2 杆塔接地电阻测量布极法

11.2 接触、跨步电位差测量

11.2.1 测量地网内的接触电位差和网外跨步电位差可与测量接地装置的接地电阻同时进行。

11.2.2 接触电位差和跨步电位差的测量应采用图 11.2.2 所示的原理接线。接触电位差和跨步电位差测量用的电压表应采用高内阻 ($30\text{k}\Omega$ 以上) 表计。

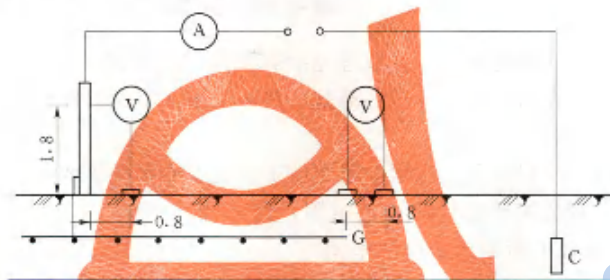


图 11.2.2 接触电位差和跨步电位差测量
原理接线图 (单位: m)

11.2.3 接触电位差应在靠近接地网边缘内的电力设备操作箱或构架附近测量。电流应从构架离地面垂直距离 1.8m 以上处注入接地装置，在构架离地面垂直距离 1.8m 处和距构架水平距离 0.8m 处两点进行测量。

11.2.4 跨步电位差应在接地装置的外边缘进出口处进行测量。入流点应在测量处附近，在距离接地装置边缘接地体 0.8m 处进行测量。

11.2.5 测量接触电位差和跨步电位差时，模拟人脚的金属板宜采用 0.1m 半径的圆板或 $0.125\text{m} \times 0.25\text{m}$ 的长方板，在金属板与地面的接触面间洒水，并在每块板上站人或放置 15kg 的重物。

11.2.6 测量出的接触电位差和跨步电位差应按式 (11.2.6-1) 和式 (11.2.6-2) 进行换算，得出发生接地故障时的接触电位差和跨步电位差。

$$E_i = \frac{I}{I_c} U_{ic} \quad (11.2.6-1)$$

$$E_k = \frac{I}{I_c} U_{kc} \quad (11.2.6-2)$$

式中 I_c ——测量接触电位差和跨步电位差时，注入接地装置的电流，A；

U_{ic} 、 U_{kc} ——接触电位差和跨步电位差测量值，V。

11.3 土壤电阻率测量

11.3.1 土壤电阻率测量应避免雨后立即进行，宜在连续天晴 3 天后或在冬天干燥季节进行测量。在冻土区，测量电极应打入冻土层以下。

11.3.2 三极法测量土壤电阻率应采用垂直或水平接地电极进行测量。应先测出电极的接地电阻，然后按式 (6.1.1-1) 或式 (6.1.1-2) 推算土壤电阻率 ρ 。

用三极法测土壤电阻率时，其准确性与棒对土壤接触的紧密程度有很大关系，往往由此而产生较大的测量误差。

11.3.3 对称四极法（或称 Wenner 四极法）如图 11.3.3 所示。四个测量电极位于同一深度的一条直线上，测量的土壤视电阻率为

$$\rho = 2\pi a \frac{U_0}{I_0} = 2\pi a R_0 \quad (11.3.3)$$

式中 U_0 ——电流电压表法所测的电压值，V；

I_0 ——电流电压表法所测的电流值，A。

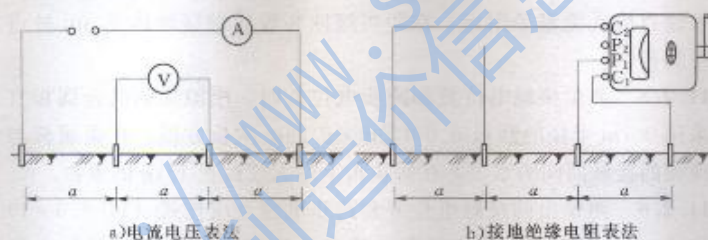


图 11.3.3 对称四极法接线图

四极法测量电极布置及典型视电阻率曲线见附录 B。

11.4 水电阻率测量

11.4.1 现场测量水电阻率宜采用四极法，电极入水深度 h 不应大于极间距离 a 的 $1/2$ ，极距可从水深 $1/10 \sim 1/20$ 开始测量，测得的视电阻率曲线水平段为水电阻率。

11.4.2 取水样测量水电阻率宜采用电导测量仪，每种水样分 3 瓶盛装，每瓶约 1000mL，瓶口应用蜡封密，水样保存期不宜过长，测量电阻率时应记录水温。

附录 A 架空线路杆塔接地体的冲击系数

A.0.1 架空线路杆塔接地体的冲击系数与单独接地体的形状、尺寸、冲击电流值，以及土壤电阻率有关，各种型式人工接地体和线路自然接地体在 $\rho \leq 2000\Omega\text{m}$ 下，其冲击系数可按式 (A.0.1-1) 计算：

$$\alpha = \frac{1}{a_i + \frac{b_i (I_i \rho)^{m_i}}{L^p}} \quad (\text{A.0.1-1})$$

式中 I_i ——通过接地体的雷电冲击电流值，kA；
 ρ ——土壤电阻率， $\text{k}\Omega \cdot \text{m}$ ；
 L ——垂直接地布置的长度、水平带形接地体的长度、水平环形接地体布置的直径，以及各种杆塔自然接地体的长度，m；
 a_i 、 b_i 、 m_i 、 p ——常数，列于表 A.0.1 中。

A.0.2 杆塔自然接地体的效果，仅在 $\rho \leq 300\Omega\text{m}$ 才加以考虑，其冲击系数可按简化公式 (A.0.1-2) 计算：

$$\alpha = \frac{1}{a_i + b_i I_i^{m_i}} \quad (\text{A.0.1-2})$$

式中各常数如表 A.0.1 所列。

表 A.0.1 用于冲击系数计算的常数

接地体型式		a_i	b_i	m_i	p
人工接地体	垂直接地体	1.35	1.35	0.8	1.2
	水平带形接地体	1.35	3.3	0.8	1.2
	水平环形接地体	1.35	3.3	0.8	1.2

表 A.0.1 (续)

接地体型式		a_i	b_i	m_i	p
杆塔自然 接地体	钢筋混凝土杆	1.35	0.053	1.5	0
	钢筋混凝土桩	1.35	0.053	1.50	
	装配式钢筋混凝土 基础 (一个塔脚)	1.35	0.038	1.5	0
	拉线盘 (带拉线棒)	1.35	0.038	1.5	0
	铁塔的基础 (一个塔脚)	1.35	0.053	1.5	0

附录 B 四极法测量电极布置及 典型视电阻率曲线与典型 土壤（水）电阻率

B.1 四极法测量电极布置及 典型视电阻率曲线

B.1.1 在被测场地中心设置如图 B.1.1 所示两条互相垂直的基线，将 C_1 、 P_1 、 P_2 和 C_2 四个测量电极沿着基线布置，改变极距 a 可测得视电阻率 ρ_s 与极距 a 的关系曲线 $\rho_s = f(a)$ 。

B.1.2 当被测场地较大时，应在被测场地上按图 B.1.2 所示网格设置测点，同样按上述方法测出各点的视电阻率曲线。

B.1.3 测量电极间距（即最小测量深度）不宜小于 $2D$ （ D 为接地网最大对角线），场地测量困难时，测量电极间距不小于 D 。

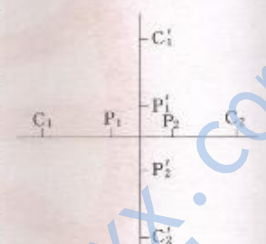


图 B.1.1 基线测量布极图



图 B.1.2 场地电阻率测量的网形系统

B.1.4 对土壤不均匀地区，宜测出各测点视电阻率曲线，并对照图 B.1.4-1 和图 B.1.4-2 中各典型曲线，确定地中各层土壤电阻率及其变化，决定接地装置的设计方案和措施。

对两层地质结构土壤，当所测曲线与 D 型典型曲线相似，表示 $\rho_1 > \rho_2$ ，与 G 型曲线相似，表示 $\rho_1 < \rho_2$ ；对三层地质结构土壤，H 型曲线表示 $\rho_1 > \rho_2 < \rho_3$ ，A 型曲线表示 $\rho_1 < \rho_2 < \rho_3$ ，K 型为 $\rho_1 < \rho_2 > \rho_3$ ，而 Q 型则表示 $\rho_1 > \rho_2 > \rho_3$ 。对更多层的地质结构，宜化为三层。

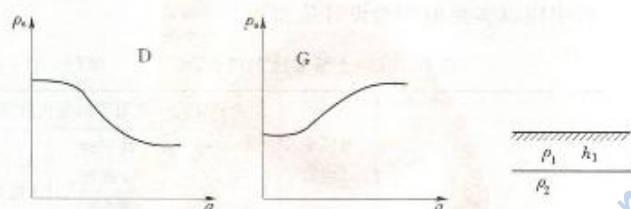


图 B.1.4-1 二层土壤典型曲线图

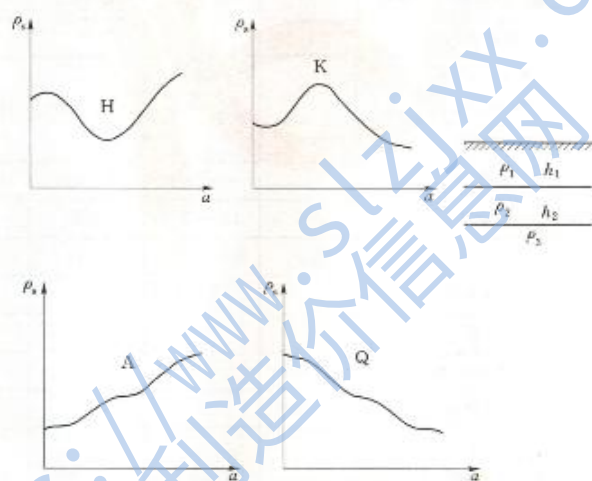


图 B.1.4-2 三层土壤典型曲线图

B.1.5 利用网形系统测量的结果,可作出各深度的土壤电阻率值,合理地对土壤电阻率进行分层,再计算整个接地网区域的等效土壤电阻率。

B.1.6 在缺少电阻率实测数据时,可根据地质构造,按附录 B.2 节中所列典型土壤和水的电阻率参考值选取。

B.2 典型土壤(水)电阻率

表 B.2.1 和表 B.2.2 仅供缺少土壤和水的电阻率数据时参考,工程中应以实测值作为设计依据。

表 B.2.1 土壤和水的电阻率 单位: $\Omega \cdot m$

类别	名称	电阻率 近似值	不同情况下电阻率的变化范围		
			较湿时 (一般地区、 多雨区)	较干时 (少雨区、 沙漠区)	地下水 含盐碱时
土	陶土	10	5~20	10~100	3~10
	泥炭、泥灰岩、沼泽地	20	10~30	50~300	3~30
	捣碎的本炭	40	—	—	—
	黑土、园田土、 陶土、白垩土	50	30~100	50~300	10~30
	黏土	60	—	—	—
	砂质黏土	100	30~300	80~1000	10~30
	黄土	200	100~200	250	30
	含砂黏土、砂土	300	100~1000	1000 以上	30~100
	河滩中的砂	—	300	—	—
	煤	—	250	—	—
	多石土壤	400	—	—	—
	上层红色风化黏土,下层	500	—	—	—
	红色页岩(30%湿度)	—	—	—	—
	表土层夹石、下层 砾石(15%湿度)	600	—	—	—

表 B.2.1 (续)

类别	名 称	电阻率 近似值	不同情况下电阻率的变化范围		
			较湿时 (一般地区、 多雨区)	较干时 (少雨区、 沙漠区)	地下水 含盐碱时
砂	砂、砂砾	1000	250~1000	1000~2500	
	砂层深度大于 10m、 地下水较深的草原	1000		—	—
	地面黏土深度不大于 1.5m、底层多岩石	1000	—	—	—
岩石	砾石、碎石	5000		—	—
	多岩石山地	5000		—	—
混凝土	在水中	40~55		—	—
	在湿土中	100~200		—	—
	在干土中	500~1300	—	—	—
	在干燥的大气中	12000~ 18000	—	—	—
矿	金属矿石	0.01~1	—	—	—
水	海水	1~5	—	—	—
	湖水、池水	30	—	—	—
	泥水、泥炭中的水	15~20	—	—	—
	泉水	10~50	—	—	—
	地下水	20~70	—	—	—
	溪水	50~100	—	—	—
	河水	30~280	—	—	—
	污秽的冰	300	—	—	—

表 B.2.2 岩石电阻率

单位: $\Omega \cdot m$

序号	名 称	电阻率 ρ	
		潮湿状态	干燥状态
1	花岗岩	10^5	10^6
2	正长岩	10^5	10^6
3	闪长岩	—	10^6
4	辉长岩	10^4	10^5
5	玄武岩	—	10^6
6	辉绿岩	10^4	10^7
7	安山岩	10^5	—
8	片麻岩	10^4	10^5
9	页岩	10^8	—
10	大理岩	10^4	10^5
11	石灰岩	10^5	$10^6 \sim 10^8$
12	砂岩	10^3	$10^2 \sim 10^4$

标准用词说明

标准用词	在特殊情况下的等效表述	要求严格程度
应	有必要、要求、要、只有……才允许	要 求
不应或不得	不允许、不许可、不要	
宜	推荐、建议	推 荐
不宜	不推荐、不建议	
可	允许、许可、准许	允 许
不必	不需要、不要求	

附录 附录 附录

附录 附录 附录	附录 附录 附录 附录 附录 附录	附录 附录
附录 附录	附录 附录 附录 附录 附录 附录	附录 附录
附录 附录	附录 附录 附录 附录 附录 附录	附录 附录
附录 附录	附录 附录 附录 附录 附录 附录	附录 附录
附录 附录	附录 附录 附录 附录 附录 附录	附录 附录
附录 附录	附录 附录 附录 附录 附录 附录	附录 附录

<https://www.slzjxx.com>
 水利造价信息网

中华人民共和国水利行业标准

水利水电工程接地设计规范

SL 587—2012

条文说明



<https://www.slzjxx.com>
水利造价信息网

目 次

1 总则	77
2 术语	78
3 基本规定	79
4 接地电阻	80
5 降低接地电阻的措施	81
6 接地电阻计算	82
7 均压	84
8 工频暂态电压反击及转移电位隔离	86
9 设备特殊接地	87
10 接地装置	90
11 接地装置工频参数测量	91
附录 B 四极法测量电极布置及典型视电阻率曲线 与典型土壤（水）电阻率	92

1 总 则

1.0.2 本标准适用于水利水电工程中的接地设计，对于改建、扩建的水利水电工程可参照使用。

2 术 语

2.0.23 保护线名词定义仅适用于低压三相五线制中。



3 基本规定

3.0.9 根据《电气装置安装工程接地装置施工及验收规范》(GB 50169—2006)第3.2.5条“接地装置应采用热镀锌钢材”的要求,本标准结合工程实际情况,规定“人工接地网宜采用镀锌钢材”,使其不与验收规范相悖。

3.0.12 集中接地对雷电流泄放、降低冲击接地电阻有显著的效果。

3.0.14 水利水电工程电气设备接地使用一个总的接地装置,一般电气设备安装处都有接地装置,低压电气设备外壳或机座皆采用接地,只有少数远离接地装置的电气设备采用接中性线保护。在接地网外的电气设备可从接地网引出保护线进行保护。

由同一台发电机、变压器或同一段母线供电的低压线路,不宜同时采用接中性线和接地两种保护方式。如果采用两种接地方式,当接地设备发生对外壳短路时,保护装置动作失灵,故障不能迅速切断。故障电流通过变压器中性点接地电阻时,使变压器中性线上产生高电位,接中性线设备的外壳就会危及人身安全。

4 接地电阻

4.1 大接地短路电流系统

4.1.2 本标准计算接地装置的人地短路电流按照工程全部投产后 10 年左右的最大运行方式确定，依据是《电力系统设计技术规程》(DL/T 5429—2009) 第 3.0.7 条和第 8.3.2 条的规定。

4.1.3 土壤电阻率高的地区，接地装置的接地电阻很难降低，当发生接地短路故障时，接地装置的电位会超过 2000V。为了确定接地装置的允许电位升高值，通过对低压电缆、控制电缆和继电器的工频伏秒特性进行试验得出：继电器和电缆的工频伏秒特性曲线较平坦。微型继电器最低能承受 5.5kV 电压；电缆外皮剥去 1cm、2cm，最低分别能承受 6kV、10kV。当接地装置地电位的升高按 5000V 进行接地设计时，建议在低压及二次回路的接地网内敷设铜接地干线，以降低接地装置电位差，无需剥去电缆外皮。

4.2 小接地短路电流系统

4.2.1 不同电压等级的电气设备共用一个接地装置时，接地电阻值应符合其中最小值的要求，因低压系统要求接地装置不大于 4Ω ，故高低压电力设备共用的接地装置接地电阻也不应超过 4Ω 。

5 降低接地电阻的措施

5.1 水下接地

5.1.4 采用方形接地网，计算不同网孔数的接地电阻值，以 1 个网孔接地电阻值为 1，计算其他网孔数的比例值，见表 1。

表 1 不同网孔数接地电阻值的比值

接地网面积 (m×m)	1 网孔	4 网孔	9 网孔	16 网孔	25 网孔	36 网孔
100×100	1.00	0.8479	0.7783	0.7389	0.7140	0.6975
300×300	1.00	0.8295	0.7501	0.7045	0.6754	0.6502
500×500	1.00	0.8222	0.7387	0.6906	0.6598	0.6396

注：本表取自舒康甫编著的《发电厂 变电站过电压保护及接地设计》（中国电力出版社，2009 年）一书第六章第三节。

对自然接地网孔数的规定。随着接地网孔的增加，接地电阻减小趋于饱和，32 个网孔与 16 个网孔相比，接地电阻仅减小 10% 左右，而增加了大量的施工工程量，故定为 16 个网孔为宜。

5.4 人工降阻

5.4.1 在接地体周围加入降阻剂，其目的是降低接地体与土壤的接触电阻，改善其传导性能，并扩大接地体散流的尺寸。

5.4.2 人工降阻成本高，且仅对单个或集中接地体的工频接地电阻具有显著效果，对减小接地体冲击接地电阻的效果不如工频电阻显著，冲击电流越大，效果越差。对小地网也有一定效果，对大、中型地网没有任何作用，可针对工程具体情况适当采用。

6 接地电阻计算

6.1 工频接地电阻计算

6.1.1 式(6.1.1-2)的水平接地体形状系数 A 按解广润编写的《电力系统接地技术》(水利电力出版社,1991年)一书制定。

式(6.1.1-3)引自王洪泽编写的《高电压技术》1987年第1期“计算水平地网接地电阻的新公式”,其误差为 $\pm 2\%$ 。

6.1.2 式(6.1.2-1)取自舒廉甫编著的《发电厂 变电站过电压保护及接地设计》(中国电力出版社,2009年)第六章第三节“工频接地电阻计算”(第111页)。

式(6.1.2-2)对美国曲线进行了校核,原曲线使用地网面积为 15000m^2 ,对大型地网不适用,为此重新绘制曲线,适用到 500000m^2 的地网面积。

土壤具有两层结构的水平接地网的接地电阻 R 计算公式(6.1.2-2)中的系数 K 查找方法如下:

先从图6.1.2-3左下角选定的接地网面积 S 作水平线与视电阻率曲线常数 b' 相交;然后由交点向上作垂线与网孔个数曲线 N 相交;从此交点向右作水平线与图右上角接地体半径曲线 R 相交;再由新交点向下作垂线与接地网长宽比 $L:B$ 曲线相交;最后由交点向右作水平线即得 K 。

水电站中经常在水中设置接地网,为便于计算水中地网的接地电阻,采用了接地电阻系数的计算公式,同时根据岩石与水的电阻率比值的不同,绘制了多组不同水深和接地网面积的接地电阻系数曲线,以便计算中直接查用。

6.1.4 大型水利水电工程接地通常由几个接地网组成一个总接地装置,各接地网间的距离越大,越能充分地发挥各地网的接地效果;反之则应考虑各接地网间的相互屏蔽影响。如何准确计算

这样复杂的大面积接地装置的接地电阻，是比较困难的，只能采用本条规定的宏观计算来加以判断。

目前计算接地电阻的公式，皆为等电位体推导的，而大面积接地装置并非是一个等电位体，故对大面积的接地装置的接地电阻计算，需加上一个修正系数。为此，委托武汉水利电力大学进行研究，对不同接地材料和地网面积，绘制了不同土壤电阻率下接地电阻的修正系数曲线。

6.2 冲击接地电阻计算

6.2.4 根据舒廉甫编写的《水电站雷击厂房反击过电压现场试验研究》（长江流域规划办公室，1981年）推导。

7 均 压

7.1 均压网设计

7.1.2 在进行均压网设计时,推荐采用等网孔电位的不等间距布置,这样可节省钢材。

7.2 接触、跨步电位差允许值

7.2.1 美国达尔基尔早年提出人体安全电流 $I = \frac{0.165}{\sqrt{t}}$ (A),我国规程中的接触电位差和跨步电位差公式也是采用了该公式导出的,后因人体安全电流修改为 $I = \frac{0.116}{\sqrt{t}}$ (A),故对原公式进行相应的修改。

7.3 接触、跨步电位差计算

7.3.1~7.3.5 均压网不等间距布置的排列和接触系数、跨步系数的计算,按陈先禄等编写的《用不等间距布置发、变电所水平接地网均压导体的设计方法及其参数经验公式研究报告》制定。

等间距布置的接触系数计算,按解广润编写的《电力系统接地技术》(水利电力出版社,1991年)制定。等间距的跨步系数曲线根据武汉水利电力大学的研究成果制定。

7.4 接地装置电位计算

7.4.2 接地短路电流的分配图如下:

1 接地短路发生在接地装置内电流分配图如图1所示。

$$I = (I_{\max} - I_e) - (I_{\max} - I_e)K_{\Pi} = (I_{\max} - I_e)(1 - K_{\Pi})$$

式中 $I_{\max}$ ——最大单相短路电流, A;

I_e ——发电厂或变电站提供的短路电流, A;

$(I_{\max} - I_s)$ ——系统供给的短路电流；

K_{fl} ——当接地装置内短路时，避雷线工频分流系数；

$K_{fl}(I_{\max} - I_s)$ ——避雷线分走的短路电流；

I ——接地装置入地短路电流。

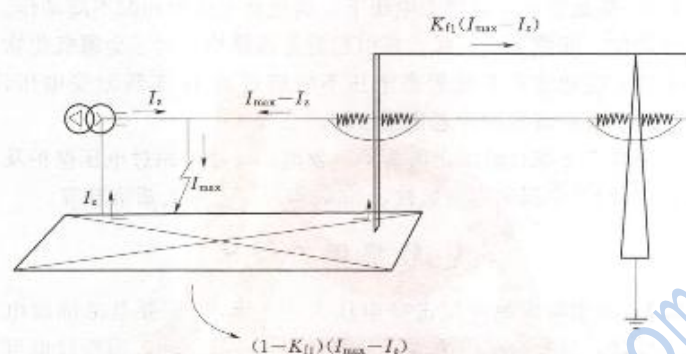


图 1 接地短路发生在接地装置内电流分配图

2 接地短路发生在接地装置外电流分配图如图 2 所示。

$$I = I_s - I_s K_{fl} = I_s (1 - K_{fl})$$

式中 K_{fl} ——当接地装置外短路时，避雷线工频分流系数；

$K_{fl} I_s$ ——避雷线分走的短路电流。

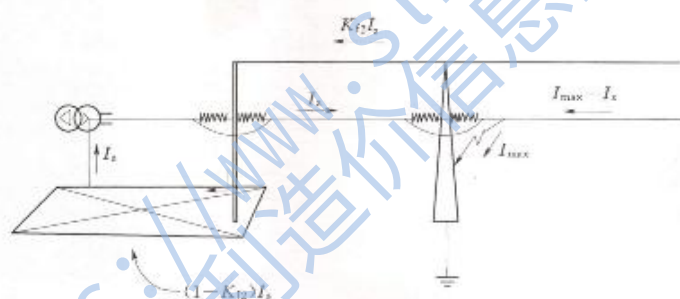


图 2 接地短路发生在接地装置外电流分配图

8 工频暂态电压反击及转移电位隔离

8.1 工频暂态电压反击

8.1.2 接地装置工频暂态电压下，碳化硅避雷器间隙不应动作。一旦动作，间隙无法灭弧，将引起避雷器爆炸。对于金属氧化物避雷器，接地装置工频暂态电压不应超过其 1s 工频耐受电压，否则将引起避雷器阀片老化或损坏。

表 8.1.2 取自舒廉甫编著的《发电厂 变电站过电压保护及接地设计》（中国电力出版社，2009 年）一书第七章第五节。

8.2 转移电位隔离

8.2.2 全塑电缆绝缘层击穿电压大于 10kV，主要是沿面放电电压较低。只要全塑电缆端部暴露在空气中 30mm，沿面放电可耐受 10kV 以上。若全塑电缆端部暴露在空气中 50~100mm，就更安全。

9 设备特殊接地

9.1 GIS 接地

9.1.5 为了防止外壳感应电流经设备支撑架和结构钢筋构成回路,可将设备支架与外壳绝缘,以保证支承结构和接地装置不受短路时感应电流的影响。

外壳多点接地时,流过金属支撑架的不平衡电流小于最大工作电流 30%,流过金属支撑架的电流小于单相短路电流的 70%;对外壳单点接地,流过金属支撑架的电流为单相短路电流。应保证支架钢结构的机械特性。

9.1.8 参照 IEEE 80—2000 第 10.4 条,防止电缆金属外皮与 GIS 外壳构成回路。

9.1.10 GIS 外壳接地线截面的选择要求,考虑短路电流分流不均匀,一般不会大于 70%。GIS 设备本体自配接地线的热稳定时间一般由制造厂确定,厂家考虑的接地线截面其热稳定时间通常较长达 2~3s。

9.2 离相式封闭母线接地

9.2.2 采用多点接地方式通常不会由于支撑钢构的发热而影响机械强度的变化。虽然采用多点接地方式将会带来封闭母线外壳的电能损耗。

9.2.3 根据舒廉甫编著的《发电厂、变电站过电压保护及接地设计》(中国电力出版社,2009 年)一书第一篇第二章第三节中第四点:合空载变压器引起的 VFTO 实例。大电流封闭母线采用单点接地,同时母线上设有发电机断路器时,为防止高压断路器合空载变压器产生的快速暂态过电压通过变压器高、低压绕组间电容传递到变压器低压侧。低压侧 VFTO 通过发电机断路器的电容器(限制变压器低压侧恢复电压上升速率)传递到发电机

断路器的外壳上，引起断路器外壳与支撑钢构放电。在每相断路器外壳与支撑钢构之间宜设置 $2\sim 5\mu\text{F}$ 脉冲电容器。

9.3 高压电缆线路的接地

9.3.4 此条根据《电力工程电缆设计规范》(GB 50217—2007)第 4.1.10 条编写，50V 是交流系统中人体接触带电设备的安全容许限制，它基于 IEC 61936—1 标准中给出的人体安全容许电压 $50\sim 80\text{V}$ ；IEC 61200—413 标准按通过人体不危及生命安全的容许电流 29mA（试验测定值为 $30\sim 67\text{mA}$ ）和人体电阻 1725Ω 计，推荐在带电接触时容许电压 50V。

9.4 微波通信站接地

9.4.1 对微波塔设置位置的要求，为防止雷击微波塔不致对控制设备造成反击或控制回路误动。

9.4.2 高土壤电阻率地区做到 5Ω 非常困难，允许高土壤电阻率地区提高到 10Ω 。

9.4.3 微波站接地网与电厂主接地网连接应远离中控室，以防止对弱电设备的影响。

9.4.6 为防止地网冲击电位差引入同一机房内靠近的通信设备及外壳，造成设备的损坏和干扰，故采用一点将接地母线接入电站地网。

9.4.11 为防止外来电源中性线引入零电位到机房内，与地网形成电位差，故要求中性线与机房接地母线连接。

9.6 监控系统接地

9.6.1 如计算机厂家有特殊要求，需要设置独立的接地装置，应防止雷击或电力系统发生单相接地短路时，接地装置与计算机独立接地装置间产生危险电压，给计算机及电子元件带来危害。

9.6.4 该条根据电力行业标准《水电厂计算机监控系统基本技

术条件》(DL/T 578—2008)第4.3.11节“接地”，以及舒廉甫编著的《发电厂 变电站过电压保护及接地设计》(中国电力出版社，2009年)一书第二篇第八章第六节“计算机监控系统接地”，综合整理编写。

10 接地装置

10.2 接地线连接

10.2.7 通常的过缝处理为将接地线在过缝处弯曲，并在接地线弯曲部分表面包上一层油纸、第二层包麻和第三层涂沥青。

10.3 接地导体截面选择及计算

10.3.4 热稳定系数 C 与导体短路前的温度和短路时导体最高允许温度密切相关，其计算公式为

$$C = \sqrt{k \ln \frac{\tau + \tau_2}{\tau + \tau_1}} \times 10^{-4}$$

式中 k, τ ——常数；

τ_1 ——导体短路前的温度；

τ_2 ——短路时导体最高允许温度。

10.3.5 接地线的允许温度，钢不大于 400°C 、铜不大于 450°C 是在以下短路电流持续时间的前提下：110~220kV 系统多为一套主保护，按一级后备保护动作时间为 $t = t_{\text{主}} + t_{\text{后}} + t_{\text{断}} = 0.03 + 0.5 + 0.07 = 0.6\text{s}$ ；330~500kV 多为两套主保护，按失灵保护动作时间为 $t = t_{\text{主}} + t_{\text{失}} + t_{\text{断}} = 0.03 + 0.3 + 0.07 = 0.4\text{s}$ 。式中 $t_{\text{主}}$ 为主保护动作时间， $t_{\text{后}}$ 为第一级后备保护时间， $t_{\text{失}}$ 为失灵保护时间， $t_{\text{断}}$ 为断路器固有分闸时间。如接地故障持续时间要求更长，为避免选择更大截面的导体，允许接地线温度可适当增高至 600°C 。此时，铜的热稳定系数 $C=240$ ，钢的热稳定系数 $C=82$ ，更高的接地线允许温度， C 值可按公式计算。

11 接地装置工频参数测量

11.1 接地电阻测量

11.1.1 若不断开架空地线或与用作接地电阻测量电极的架空线平行时, 会存在分流和互感的影响, 利用计算分流系数或测量分流系数来确定接地电阻都是不准确的。同时将线路接地系统引入所测接地网中, 被测接地网的最大对角线不易确定, 测量的接地电阻也不正确, 无法对测量的接地电阻值进行修正。所以架空地线与发电厂或变电站接地装置必须断开才能进行正确的测量。

11.1.3 通常地中有不平衡零序电流, 该电流将在接地网上产生零序电压, 为了消除接地网的零序电流和零序电压对测量的影响, 故采用倒向法予以消除。

附录 B 四极法测量电极布置及 典型视电阻率曲线与典型 土壤（水）电阻率

B.1 四极法测量电极布置及 典型视电阻率曲线

B.1.3 参照苏联四极法测量电极最小距离归纳的公式。

B.1.4 按视电阻率曲线判断土壤分层，参照傅良魁著《电法勘探教程》，93 页。

中国水利水电出版社

水利水电技术标准咨询服务中心简介

中国水利水电出版社，一个创新、进取、严谨、团结的文化团队，一家把握时代脉搏、紧跟科技步伐、关注社会热点、不断满足读者需求的出版机构。作为水利部直属的中央部委专业科技出版社，成立于1956年，1993年荣膺首批“全国优秀出版社”的光荣称号。经过多年努力，现已发展成为一家以水利电力专业为基础、兼顾其它学科和门类，以纸质书刊为主、兼顾电子音像和网络出版的综合性出版单位，迄今已经出版近三万种，数亿余册（套、盒）各类出版物。

水利水电技术标准咨询服务中心（第三水利水电编辑室）主要负责水利水电技术标准及相关出版物的出版、宣贯、推广工作，同时还负责编辑出版水利水电类科技专著、工具书、文集及相关职业培训教材。

感谢读者多年来对水利水电技术标准咨询服务中心的关注和垂爱，中心全体人员真诚欢迎广大水利水电科技工作者对标准出版及推广工作多提意见和建议，我们将秉承“服务水电，传播科技，弘扬文化”的宗旨，为您提供全方位的咨询服务，进一步做好标准出版工作。

联系电话：010—68317913（传真）

主 任：王德鸿 010—68545951 wdh@waterpub.com.cn

主任助理：陈 昊 010—68545981 hero@waterpub.com.cn

策划编辑：林 京 010—68545948 lj@waterpub.com.cn

王 启 010—68545982 wqi@waterpub.com.cn

杨露茜 010—68545995 ylx@waterpub.com.cn

王丹阳 010—68545974 wdy@waterpub.com.cn

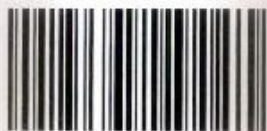
中国水利建设成就

水利部水利研究所编 水利出版社

中国水利建设成就，是新中国成立以来，在党的领导下，全国人民艰苦奋斗、自力更生、奋发图强的结果。本书系统地总结了我国水利建设的成就和经验，为今后水利事业的发展提供借鉴。本书共分五章：第一章，水利建设的成就；第二章，水利建设的经验；第三章，水利建设的成就；第四章，水利建设的成就；第五章，水利建设的成就。

<https://www.slzjxx.com>
水利造价信息网

<https://www.slzjxx.com>
水利造价信息网



155170.13

SL 587—2012

中华人民共和国水利行业标准
水利水电工程接地设计规范
SL 587—2012

*

中国水利水电出版社出版发行
(北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038)
网址: www.waterpub.com.cn
E-mail: sales@waterpub.com.cn
电话: (010) 68367658 (发行部)
北京科水图书销售中心(零售)
电话: (010) 88383994、63202543、68545874
全国各地新华书店和相关出版物销售网点经售
北京瑞斯通印务发展有限公司印刷

*

140mm×203mm 32开本 3.125印张 84千字
2012年11月第1版 2012年11月第一次印刷
印数 000—3000册

*

书号 155170·13
定价 32.00元

凡购买我社书籍,如有缺页、倒页、脱页的,
本社发行部负责调换
其他问题,请与本社水利水电技术标准咨询服务中心联系
电话(传真): (010) 68317913
E-mail: jwh@waterpub.com.cn

版权所有·侵权必究