ICS 27.140
P 59
备案号：J2045—2015

NB

中华人民共和国能源行业标准

P

NB / T 35050 — 2015

代替 DL / T 5091 — 1999

水力发电厂接地设计技术导则

Earthing design guide for hydropower station

2015-04-02 发布　　2015-09-01 实施

国家能源局　发布

中华人民共和国能源行业标准

水力发电厂接地设计技术导则

Earthing design guide for hydropower station

NB / T 35050 — 2015

代替 DL / T 5091 — 1999

主编部门：水电水利规划设计总院
批准部门：国 家 能 源 局
施行日期：2015 年 9 月 1 日

中国电力出版社

2015 北 京

国 家 能 源 局

公　　告

2015 年　第 3 号

依据《国家能源局关于印发〈能源领域行业标准化管理办法（试行）〉及实施细则的通知》（国能局科技〔2009〕52 号）有关规定，经审查，国家能源局批准《压水堆核电厂用碳钢和低合金钢 第 31 部分：安全壳用 15Mn 锻件》等 203 项行业标准，其中能源标准（NB）106 项和电力标准（DL）97 项，现予以发布。

附件：行业标准目录

国家能源局

2015 年 4 月 2 日

附件：

行 业 标 准 目 录

序号	标准编号	标准名称	代替标准	采标号	批准日期	实施日期
…						
71	NB/T 35050—2015	水力发电厂接地设计技术导则	DL/T 5091—1999		2015-04-02	2015-09-01
…						

前　言

根据《国家发展改革委办公厅关于印发2008年行业标准计划的通知》（发改办工业〔2008〕1242号）的要求，编制组经广泛调查研究，认真总结工程实践经验，结合当前电力系统的发展对水力发电厂接地技术提出的新要求，并在广泛征求意见的基础上，修订本导则。

本导则的主要技术内容包括：接地设计原则和程序，接地电阻，降低接地电阻的措施，接地电阻计算，均压设计计算，转移电位隔离，设备接地特殊要求，接地装置，接地导体截面选择及防腐，以及接地装置工频参数测量。

本导则修订的主要技术内容是：

——根据条文内容的修订，适当增加了术语。

——新增防静电接地及要求。

——水下接地网可采用截面不小于 40mm×4mm 的扁钢或ϕ14 的圆钢，改为水下接地网可采用截面不小于 50mm×6mm 的扁钢或ϕ20 的圆钢；并补充了对于坝区距离厂房较近水力发电厂应优先采用水下接地的方式。

——修改了接触电势和跨步电动势的计算公式。

——新增对大型水力发电厂接地参数计算分析方法的要求，明确大型水力发电厂接地网可采用数值计算方法计算，并考虑上下游不同水位对接地阻抗的影响。

——取消工频暂态电压反击、微波通信站接地等相关内容。

——新增离相式封闭母线接地，高压电缆线路接地，变压器中性点接地，监控、保护、通信及监测系统接地，保护线，以及等电位联结导体等章节。

——接地装置工频参数测量部分取消了电流—电压表四极法

接地电阻测量，增加电位降法接地阻抗测量。

——接地装置电位计算修编在附录 B，新增附录 E 系数 k 的求取方法和附录 D 表层衰减系数。

本导则由国家能源局负责管理，由水电水利规划设计总院提出并负责日常管理，由能源行业水电电气设计标准化技术委员会负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议，请寄送水电水利规划设计总院（地址：北京市西城区六铺炕北小街 2 号，邮编：100120）。

本导则主编单位：中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司

本导则主要起草人员：王耀辉　吴建生　李　强　余　丹
罗晓雪　庞芝碧　李　勇　侯彦硕

本导则主要审查人员：阮全荣　于庆贵　王润玲　贾俊田
李定中　郭　宁　吴仲平　张俊才
石凤祥　滕　军　刘长武　冯真秋
杨建军　康本贤　戴勇干　孙成章
张静芳　陈寅其　李仕胜

目　　次

1　总则 …… 1
2　术语 …… 2
3　接地设计原则和程序 …… 3
3.1　接地设计原则 …… 3
3.2　接地设计程序 …… 7
4　接地电阻 …… 9
4.1　有效接地系统的接地电阻 …… 9
4.2　非直接接地系统的接地电阻 …… 10
4.3　低压系统的接地电阻 …… 11
4.4　杆塔的接地电阻 …… 12
5　降低接地电阻的措施 …… 14
5.1　水下接地 …… 14
5.2　引外接地 …… 14
5.3　深井接地 …… 14
5.4　人工降阻 …… 15
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 …… 20
7　均压设计计算 …… 23
7.1　均压网设计 …… 23
7.2　接触电位差和跨步电位差允许值规定 …… 25
7.3　接触电位差和跨步电位差计算 …… 25
8　转移电位隔离 …… 31
9　设备接地特殊要求 …… 32
9.1　GIS 接地 …… 32
9.2　离相式封闭母线接地 …… 33

9.3 高压电缆线路的接地……33
9.4 变压器中性点接地……35
9.5 监控、保护、通信及监测系统接地……36
9.6 保护线……39
9.7 等电位联结导体……43
9.8 移动式电力设备接地……43
9.9 携带式电力设备接地……44
10 接地装置……45
10.1 接地体……45
10.2 接地导体（线）……46
10.3 接地线连接……46
10.4 接地标志……48
11 接地导体截面选择及防腐……49
11.1 截面选择及计算……49
11.2 接地体防腐……54
12 接地装置工频参数测量……56
12.1 接地电阻测量……56
12.2 接触电位差和跨步电位差测量……62
12.3 土壤电阻率测量……63
12.4 水电阻率测量……65
12.5 四极法测量电极布置及典型视电阻率曲线……65
附录 A 非均匀土壤中接地网接地电阻的计算……68
附录 B 接地装置电位计算……74
附录 C 单独接地体的冲击系数……78
附录 D 表层衰减系数……80
附录 E 系数 k 的求取方法……82
附录 F 典型土壤、水及岩石电阻率……86
本导则用词说明……89
引用标准名录……90
附：条文说明……91

Contents

1 General provisions 1
2 Terms 2
3 The principles and procedures of earthing design 3
3.1 The principles of earthing design 3
3.2 The procedures of earthing design 7
4 Earthing resistance 9
4.1 Earthing resistance of effectively earthing system 9
4.2 Earthing resistance of non-direct earthing system 10
4.3 Earthing resistance of low voltage system 11
4.4 Earthing resistance of tower 12
5 Measures to reduce earthing resistance 14
5.1 Underwater earthing 14
5.2 Outer lead earthing 14
5.3 Deep well earthing 14
5.4 Artificial resistance-reducing 15
6 Earthing resistance calculation 16
6.1 Power frequency earthing resistance calculation 16
6.2 Impulse earthing resistance calculation 20
7 Equalizing potential calculation 23
7.1 Equalizing potential network design 23
7.2 Allowable value of touch potential difference and step potential difference 25
7.3 Touch potential difference and step potential difference calculation 25
8 Diverting potential insulation 31
9 Special requirements for equipment earthing 32

9.1 GIS earthing ····· 32
9.2 IPB earthing ····· 33
9.3 High voltage cable lines earthing ····· 33
9.4 Transformer neutral point earthing ····· 35
9.5 Control system、protection system、communication system and monitoring system earthing ····· 36
9.6 Protective conductor ····· 39
9.7 Equipotential bonding conductor ····· 43
9.8 Mobile power equipment earthing ····· 43
9.9 Portable power equipment earthing ····· 44
10 Earthing device ····· 45
10.1 Earthing body ····· 45
10.2 Earthing conductor ····· 46
10.3 Earthing connect ····· 46
10.4 Earthing sign ····· 48
11 Section selection and anticorrosion of earthing conductor ····· 49
11.1 Section selection and calculation ····· 49
11.2 Earthing conductor anticorrosion ····· 54
12 Earthing device power frequency measurement ····· 56
12.1 Earthing resistance measurement ····· 56
12.2 Touch potential difference and step potential difference measurement ····· 62
12.3 Soil resistivity measurement ····· 63
12.4 Water resistivity measurement ····· 65
12.5 Four-electrode method and apparent resistivity curve ····· 65
Appendix A Earthing resistance calculation in non-uniform soil ····· 68
Appendix B Earthing device potential calculation ····· 74
Appendix C Impulse coefficient of alone earthing conductor ····· 78

Appendix D Determination of attenuation coefficient of surface soil layer ····· 80
Appendix E Calculation method of coefficient k ····· 82
Appendix F Special soil and water and rock resistivity ····· 86
Explanation of wording in this code ····· 89
Lists of normative standards ····· 90
Addition: Explanation of provisions ····· 91

1 总　　则

1.0.1 为使水力发电厂接地设计在电力系统运行和故障时能确保人身及设备的安全，做到技术先进、经济合理，修订本导则。

1.0.2 本导则适用于水力发电厂所有电气装置和设施的接地设计。

1.0.3 本导则规定了水力发电厂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。水力发电厂的接地设计应根据实际情况因地制宜地确定接地设计总体方案。

1.0.4 水力发电厂接地设计，除应符合本导则外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术　　语

2.0.1 自然接地体　natural earthing body

兼作接地体用的直接埋入地下或水中的各种金属构件、金属井管、钢筋混凝土建筑物的基础和设备等。

2.0.2 均压网　equalizing potential network

为了改善接地装置的地面电位分布，减小网孔的电位差并使接地网外电位分布减缓而在接地网内设置的多根水平接地体。

2.0.3 有效接地系统　effectively earthing system

变压器和发电机的中性点直接或经过小阻抗与接地装置连接的系统。

2.0.4 非直接接地系统　non-direct earthing system

中性点不与接地装置连接，即中性点不接地，或经过消弧线圈、电压互感器及高电阻与接地装置连接的系统。

2.0.5 深井接地　deep well earthing

置于深井钻孔内的垂直接地。

2.0.6 等电位接地　equipotential earthing

为实现等电位联结而设置的专用接地。

除以上术语外，其余术语均参照《交流电气装置的接地设计规范》GB 50065—2011 中第 2 章中有关术语。

3 接地设计原则和程序

3.1 接地设计原则

3.1.1 水力发电厂电气装置及设施的接地设计应满足初期发电和本电厂设计水平年接地要求。接地体应充分利用直接埋入水下和土壤中的各种自然接地体，并校验其热稳定性。按用途接地可分为系统接地、保护接地、防雷接地和防静电接地。

3.1.2 不同用途和不同额定电压的电气设备，除另有规定者外，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。

3.1.3 接地设计应考虑土壤干燥或冻结等季节变化的影响，接地电阻、接触电位差和跨步电位差在四季中均应符合本导则的要求。但雷电保护装置的接地电阻，可只考虑在雷季中土壤干燥状态的影响。

3.1.4 水力发电厂的接地网，在中性或酸性土壤地区，接地体宜采用热镀锌钢；在强碱性土壤地区或其土壤和地下水条件会引起钢制材料严重腐蚀的中性土壤地区，宜采用铜质或者其他具有防腐性能材质的接地体；在接地设计有特殊要求或高土壤电阻率地区的电厂接地体可采用铜质导体。

3.1.5 系统接地及要求：

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，应按照系统要求进行接地。有效接地系统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需直接接地。非直接接地系统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。

3.1.6 保护接地及要求：

1 水力发电厂下列所有电气装置及设施金属部件，除另有规定者外，均应接地或接保护线（PE 线）。

1） 发电机、变压器/电抗器、静止变频启动装置（SFC）和配电装置等电气设备的金属外壳。

2） 电力电缆接线盒、终端盒的外壳、电缆的屏蔽铠装外皮、穿线的钢管等；非铠装或非金属护套电缆的1～2 根屏蔽芯线；电缆沟和电缆隧道内，以及地上各种电缆金属支架等。

3） 励磁系统、调速系统及电动机等设备的外壳及金属支架。

4） 装有避雷线的电力线路杆塔。

5） 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杆塔。

6） 控制和保护用的控制柜、端子箱、保护屏、仪表屏（柜、箱）及操作台等的金属框架。

7） 计算机监控、直流、通信、火灾报警、工业电视、监测等系统设备的外壳。

8） 携带式及移动式用电器具等的底座和外壳。

9） 船闸、升船机等过坝设施的金属部件。

10） 屋内外配电装置的金属架构和钢筋混凝土架构，以及接地网以内的金属操作平台、巡视平台、围栏和金属门、窗。

11） 通风空调系统的设备外壳。

12） 桥机、门机、启闭机、电梯、电动葫芦等起重设备的轨道或金属外壳。

13）油、气、水系统设备的金属部分。

2 电力设备的下列金属部分，除另有规定者外，可不接地或不接保护线。

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物体时除外。

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（应保证电气接触良好），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 在中性点有效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保护。

对于用电设备较少、分散，且又无接地线的地方，宜采用接中性线保护。而接中性线保护确有困难，土壤电阻率较低时，可采用直接埋设接地体进行接地保护。但由同一台发电机、变压器或同一段母线供电的低压线路，不宜采用接中性线、接地两种保护方式。

在低压电力系统中，采用接地保护时，应装设能自动切除接地故障的保护装置。

3.1.7 防雷接地及要求：

1 所有设有避雷针、避雷线的构架均应设置集中接地装置。

2 避雷器的接地导体应以最短的距离与电厂接地网连接，且应在连接处设置集中接地，以满足冲击接地阻抗的要求。

3 独立避雷针（线）应设独立的集中接地装置，接地电阻不宜超过 10Ω。在高土壤电阻率地区，当要求不超过规定的 10Ω确有困难时，允许采用较高的数值，并应将该装置与主接地网连接，但从避雷针与主接地网的地下连接点到 35kV 及以下电气设备与主接地网的地下连接点，沿接地体的长度不得小于 15m。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，否则应采取均压措施，或者铺设砾石或沥青地面。

3.1.8 防静电接地及要求：

所有易燃油、可燃油、易燃易爆物管道及容器的金属外壳需进行接地。接地导体（线）布置方式应符合下列要求：

1 易燃油、可燃油、易燃易爆物管道应在其始端、末端、分支处，以及每隔 50m 处设防静电接地。

2 净距小于 100mm 的平行或交叉管道，应每隔 20m 用金属线跨接。

3 不能保持良好电气接触的阀门、法兰、弯头等管道连接处应跨接，跨接线可采用直径不小于 8mm 的圆钢。

4 易燃油、可燃油和易燃易爆物的储罐顶，应用可挠的跨接线与罐体相连，且不应少于 2 处。跨接线可用截面不小于 25mm^2 的钢绞线、扁铜、铜绞线。

5 金属罐罐体钢板的接缝、罐顶与罐体之间，以及所有管、阀与罐体之间，应保证可靠的电气连接。

3.1.9 接地网设计的一般要求：

1 水下接地网宜采用截面不小于 50mm×6mm 的镀锌扁钢

或ϕ20 的圆钢焊接成外缘闭合的接地网。

2 各个自然接地网和人工接地网，应至少用 2 根接地干线连接，以构成全厂的接地网。

3 主接地网（水下接地网）与电厂主设备（主机、主变压器、开关站设备）所处接地网的干线连接宜采用铜导体。其余接地干线宜采用不小于 50mm×6mm 的扁钢、直径 20mm 的圆钢或截面 120mm^2 的铜等。

3.2 接地设计程序

3.2.1 调查水力发电厂所在地的土壤特性及地质构造，实测接地装置区域的土壤电阻率和河水电阻率。

3.2.2 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，在可行性研究设计阶段应确定全厂接地总体设计方案，提出接地计算成果。对高土壤电阻率电站的接地设计方案，要有分析论证，并提出主要解决措施。

3.2.3 按设计水平年确定系统最大运行方式下在接地网内、外发生接地故障时，经接地网入地并计及直流分量的最大入地电流有效值。对分期开发的电厂，确定初、终期地网的最大接地故障电流有效值。

3.2.4 确定接地装置初、终期地网的接地电阻允许值，以及接触电位差和跨步电位差允许值。

3.2.5 当接地电阻偏大时，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、深井接地等措施以降低接地电阻。如仍达不到较好的效果，应研究转移电位的隔离措施和校验反击电压。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。

3.2.6 设计配电装置均压网并计算接触电位差和跨步电位差。不满足要求时，应采取加强分流、限制人身电流、均压和隔离等措施，使最终设计计算值满足要求。

3.2.7 选择接地装置的材质和导体截面。设计应考虑使用年限内土壤对其的腐蚀程度，并考虑流过的入地短路电流进行热稳定校验。人工接地网宜采用镀锌钢材。对于有特殊要求的场所和腐蚀特别严重的地区，可考虑采用其他材质的材料。

3.2.8 绘制技施设计图纸。

3.2.9 根据实测结果校验接地设计。当不满足时应补充和完善接地装置或增加有关防护措施。

4 接 地 电 阻

4.1 有效接地系统的接地电阻

4.1.1 有效接地系统的水力发电厂接地装置的接地电阻宜符合式（4.1.1）的要求

$$R \leqslant \frac{2000}{I} \qquad (4.1.1)$$

式中：R——考虑到季节变化的最大接地电阻（Ω）；

I——计算用流经接地装置的最大入地电流（A，有效值）。

4.1.2 本导则式（4.1.1）中计算用流经接地装置的最大入地电流，采用在接地装置内、外短路时，经接地装置流入地中的最大周期分量起始值。该电流应按电厂全部投产后本电厂设计水平年的系统最大运行方式确定，并应考虑电网中各接地中性点间的短路电流分配，以及接地避雷线中分走的接地短路电流。

4.1.3 在高土壤电阻率地区或其他严重情况下，当接地装置要求做到规定的接地电阻值在技术上难以实施、经济上极不合理时，接地装置电位可以放宽，以接地装置电位（$E_w = IR$）不超过 5000V 为宜，但应符合以下规定：

1 设计接地网时，应验算接触电位差和跨步电位差，并符合本导则第 7.2 节的规定。施工完毕，应进行现场实测并绘制电位分布曲线。

2 保护接地接至水力发电厂接地网的站用变压器的低压侧，应采用 TN 系统，且低压电气装置应采用保护等电位联结接地系统（含建筑物钢筋）。

3 应采取相应措施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。例如采用扁铜或铜绞线与二次电缆屏蔽层并联敷设。扁铜应至少在两端就近与接地网连接。当接地网为钢材时，还应防止铜、钢连接产生腐蚀。扁铜较长时，应多点与接地网连接。二次电缆屏蔽层两端应就近与扁铜连接。扁铜的截面应满足热稳定的要求。

4 应评估计入短路电流非周期分量的接地网电位升高条件下，厂内 6kV 或 10kV 金属氧化物避雷器吸收能量的安全性。

5 可能将接地网的高电位引向厂外或将低电位引向厂内的设备，应采取下列防止转移电位引起危害的隔离措施：

1） 站用变压器向厂外低压电气装置供电时，其 0.4kV 绕组的短时（1min）交流耐受电压应比电厂接地网地电位升高超出 40%。向厂外供电用低压线路采用架空线，其电源中性点不在厂内接地，改在厂外适当的地方接地。

2） 对外通信通道采用无金属光纤，非光纤通信设备加装隔离变压器。

3） 通向厂外的管道采用绝缘段或绝缘法兰。

4） 通向厂外的铁路轨道分别在两处加绝缘鱼尾板等。

必要时，经专门计算，且采取的措施可确保人身和设备安全可靠时，接地网地电位升高可超过 5000V。

4.2 非直接接地系统的接地电阻

4.2.1 水力发电厂非直接接地系统接地装置的接地电阻应符合以下要求。

1 高压与低压电力设备共用的接地装置：

$$R \leqslant \frac{120}{I} \qquad (4.2.1\text{-}1)$$

式中：I——计算用的接地故障电流（A）。

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：

$$R \leqslant \frac{250}{I} \qquad (4.2.1\text{-}2)$$

接地电阻 R 不宜超过 10Ω。

4.2.2 在高土壤电阻率地区，允许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，以满足安全要求。

4.2.3 在中性点经消弧线圈接地的电力网中，接地装置的接地电阻按本导则式（4.2.1-1）、式（4.2.1-2）计算时，计算用的接地故障电流应采用下列数值：

1 对装有消弧线圈的发电厂或电力设备的接地装置，计算电流等于接在同一接地装置中同一电力网各消弧线圈额定电流总和的 1.25 倍。

2 对不装消弧线圈的发电厂或电力设备的接地装置，计算电流等于电力网中断开最大一台消弧线圈时的最大残余电流值，但不得小于 30A。

4.2.4 计算用的接地故障电流，应按设计水平年的系统最大运行方式确定。

4.2.5 在小接地短路电流系统中，为保证迅速切除接地故障，应根据发电厂接地装置的接地电阻，验算继电保护装置的两相异点接地短路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，或熔断器熔体额定电流的 4 倍。当不符合要求时可降低接地电阻或采取其他措施。

4.3 低压系统的接地电阻

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单电源低压电力网中，中性线宜在电源处接地，以免负荷切除时，造成不接地运行而危及人身和设备

安全；在中性点直接接地的多电源低压电力网中，中性线或保护中性线宜在电源处或进线柜内一点接地，以免产生杂散电流。

4.3.3 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 为了防止触电危险，在低压电力网中严禁利用大地作相线或中性线。

4.4 杆塔的接地电阻

4.4.1 厂内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（Ωm）	≤100	100～500（含 500）	500～1000（含 1000）	1000～2000（含 2000）	>2000
工频接地电阻（Ω）	10	15	20	25	30

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按表 4.4.2 确定。

表 4.4.2 放射形接地体每根的最大长度

土壤电阻率（Ωm）	≤500	500～1000（含 1000）	1000～2000（含 2000）	2000～5000（含 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 为防止雷电波从低压架空线路侵入建筑物，接户线的绝缘子铁脚宜接地，电阻不宜超过 30Ω。土壤电阻率在 200Ωm 及以下地区的铁横担钢筋混凝土杆线路，由于连续多杆自然接地作用，可不另设人工接地装置。屋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 30d 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 水力发电厂应尽量在水下敷设人工接地体来降低接地电阻，通常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，应注意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。在水下敷设接地网时，若水下结构为混凝土结构，接地网布置在混凝土内，距表面不少于 50mm；若水下结构为自然地表或喷锚结构，则无论是动水还是静水，建议采用打插筋锚固焊接固定。

5.1.3 水下接地网应与其他接地网保持足够的距离，以减少相互间的屏蔽影响，充分地利用其各自的散流作用。水下接地网与其他接地网之间应采用多根接地线连接。

5.2 引 外 接 地

5.2.1 当水力发电厂附近有可利用的低土壤电阻率地区或水源，可采取引外接地措施降低接地电阻。

5.2.2 为了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，可采用增大引外导体截面、增加导体根数等措施，或采用铜导体引线和电缆引线等措施。

5.3 深 井 接 地

5.3.1 当水力发电厂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，采用深井接地对减少接地装置接地电阻的效果较为显著，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，其水平间距宜大于埋设深度，以减少相互屏蔽影响，提高各接地体的利用率。

5.3.3 深井接地体宜设置在接地网引外地方或接地网的边缘地带，且便于施工。

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降阻剂、电解极和低电阻率材料置换。

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。要因地制宜，就近取材。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，且无明显腐蚀作用的，且应施工简单，经济合理。置换材料通常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。

5.4.3 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宜布置为辐射形。

6 接地电阻计算

6.1 工频接地电阻计算

6.1.1 均匀土壤电阻率的人工接地体的接地电阻按下列方法计算。

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

当 $l \gg d$ 时

$$R=\frac{\rho}{2\pi l}\left(\ln\frac{8l}{d}-1\right) \qquad (6.1.1\text{-}1)$$

式中：ρ ——土壤电阻率（Ωm）；

l ——垂直接地体的长度（m）；

d ——垂直接地体的等效直径（m）。

对于扁钢，$d=b/2$，b 为扁钢宽度；对于角钢，$d=0.71\sqrt[4]{b_1 b_2(b_1^2+b_2^2)}$，$b_1$、$b_2$ 为角钢边长；对于等边角钢，$d=0.84b$。

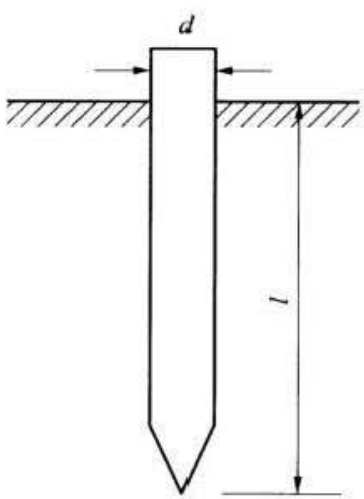


图 6.1.1 垂直接地体

2 不同形状水平接地体的接地电阻 R 可按式（6.1.1-2）计算

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

式中：L——水平接地体的总长度（m）；

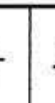
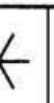
h——水平接地体的埋设深度（m）；

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。

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

形状										
A	5.65	4.71	3.03	2.19	1	0.89	0.48	0	–0.18	–0.6

3 均匀土壤中水平接地极为主边缘闭合的复合接地极（接地网）的接地电阻，可按下列公式计算

$$R=\alpha_1 R_e \qquad (6.1.1\text{-}3)$$

$$\alpha_1=\left(3\ln\frac{L_0}{\sqrt{S}}-0.2\right)\frac{\sqrt{S}}{L_0} \qquad (6.1.1\text{-}4)$$

$$R_e=0.213\frac{\rho}{\sqrt{S}}(1+B)+\frac{\rho}{2\pi L}\left(\ln\frac{S}{9hd'}-5B\right) \qquad (6.1.1\text{-}5)$$

$$B=\frac{1}{1+4.6\dfrac{h}{\sqrt{S}}} \qquad (6.1.1\text{-}6)$$

式中：R——任意形状边缘闭合接地网的接地电阻（Ω）；

α_1——任意形状边缘闭合接地网接地电阻计算系数；

R_e ——等值（即等面积、等水平接地极总长度）方形接地网的接地电阻（Ω）；

L_0——接地网的外缘边线总长度（m）；

S——接地网总面积（m^2）；

B——等值方形接地网的影响系数。

4 人工接地体工频接地电阻还可按表 6.1.1-2 中所列公式估算。

表 6.1.1-2 人工接地体工频接地电阻

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	$R \approx 0.5 \times \frac{\rho}{\sqrt{S}} = 0.28 \times \frac{\rho}{r}$ 或 $R \approx \frac{\sqrt{\pi}}{4} \times \frac{\rho}{\sqrt{S}} + \frac{\rho}{L} = \frac{\rho}{4r} + \frac{\rho}{L}$	S 为大于 $100m^2$ 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 非均匀土壤中接地网接地电阻按本导则附录 A 的方法计算。

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 6.1.3-1 所示人工接地坑的接地电阻可按式（6.1.3-1）计算

$$R = \frac{\rho_y}{2\pi l} \ln \frac{4l}{d_1} + \frac{\rho_z}{2\pi l} \ln \frac{d_1}{d} \qquad (6.1.3\text{-}1)$$

式中：ρ_y ——原地层的电阻率（Ωm）；

ρ_z ——置换材料的电阻率（Ωm）；

d_1 ——计算直径（人工接地坑底部直径，m）。

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

$$R=\frac{\rho_y}{2\pi L}\ln\frac{2L}{d_1}+\frac{\rho_z}{2\pi L}\ln\frac{L}{d'} \qquad (6.1.3\text{-}2)$$

式中：d_1——计算直径（人工接地沟梯形断面的内切圆直径，m）。

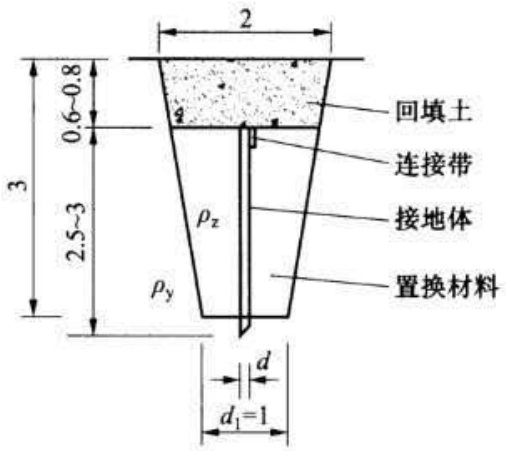


图 6.1.3-1 人工接地坑（单位：m）

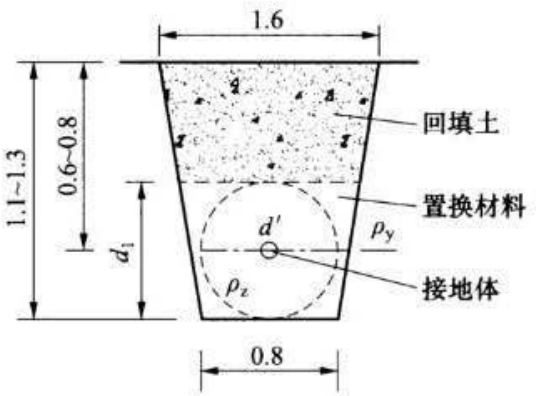


图 6.1.3-2 人工接地沟（单位：m）

6.1.4 大型水力发电厂接地系统多由多重互联的接地网构成。各接地极间的距离越大时，越能充分地发挥各地网的接地效果；反之则应考虑各地网间的相互屏蔽影响。其接地电阻可按下列方法计算：

1 接地电极间距较大的多重互连接地系统。各接地电极间的相互影响甚微，接地系统的接地电阻计算可不计及电极间的互相影响，将各接地电极电阻按并联计算。

2 对于地网相距很近且联系十分紧密的接地系统，可将互联地网作为一个整体地网，按简化公式 $R=0.5\rho/\sqrt{S}$ 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，并按式（6.1.4）计算

$$R=K\frac{0.5\rho}{\sqrt{S}} \qquad (6.1.4)$$

式中：K——大型地网工频有效利用系数，详查图 6.1.4 中曲线可得其值。

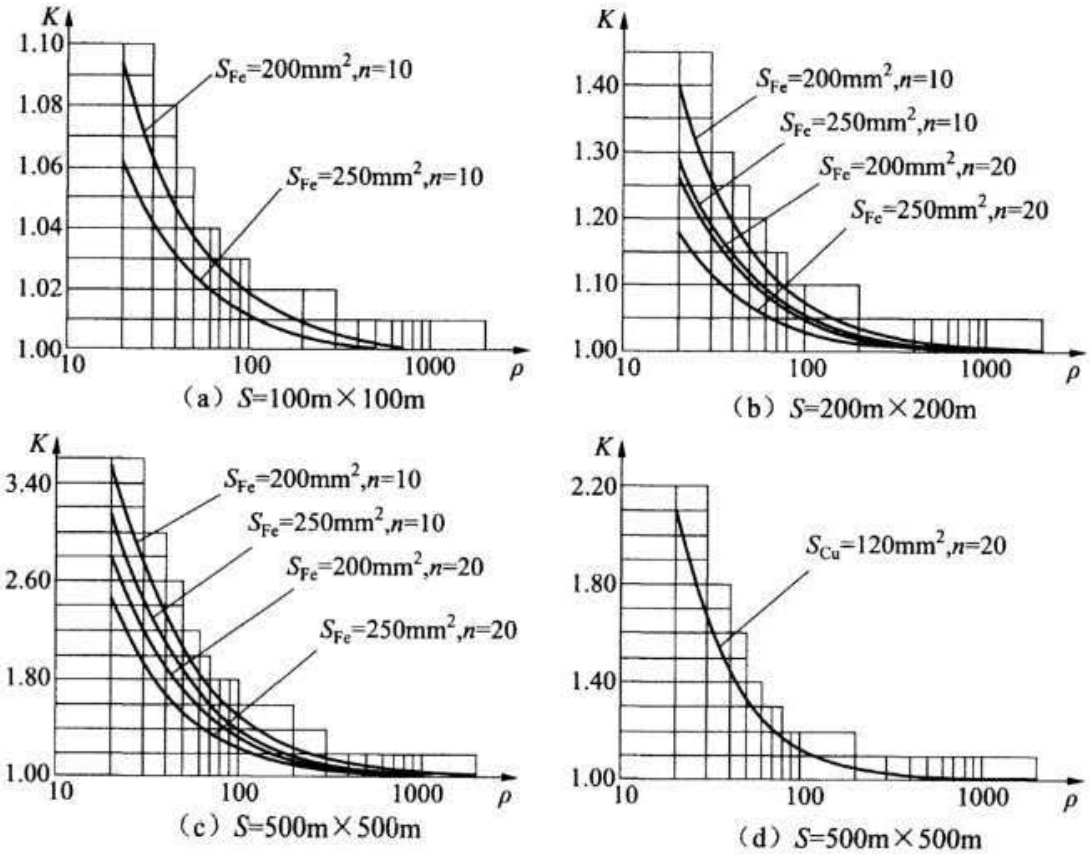


图 6.1.4　大型地网工频有效利用系数曲线

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

6.1.5　大型水力发电厂接地网可采用数值计算方法计算，并考虑上、下游不同的水位对接地阻抗的影响。

6.1.6　当接地网范围较大时，接地阻抗的计算应计入电感的影响。

6.1.7　接地装置电位可按附录 B 方法计算。

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，一般按式（6.2.1）计算

$$\rho = \rho_0 \psi \tag{6.2.1}$$

式中：ρ_0 ——雷季中无雨水时所测得的土壤电阻率（Ωm）；

ψ ——考虑土壤干燥所取的季节系数。

系数 ψ 应查表 6.2.1 中数值。

表 6.2.1 防雷接地装置的季节系数 ψ

接地体埋深（m）	水平接地体	2m～3m 的垂直接地体
0.5	1.4～1.8	1.2～1.4
0.8～1.0	1.25～1.45	1.15～1.3
2.5～3.0	1.0～1.1	1.0～1.1

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按式（6.2.2）进行计算

$$R_{ch} = \alpha R \tag{6.2.2}$$

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，可按附录 C 计算。

6.2.3 当接地装置由很多水平接地体或垂直接地体组成，为减少相邻接地体的屏蔽作用，垂直接地体的间距不应小于其长度的 2 倍；水平接地体的间距可根据具体情况确定，但不宜小于 5m。

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）计算

$$R_{ch} = \frac{R'_{ch}}{n} \times \frac{1}{\eta_{ch}} \tag{6.2.3}$$

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。

系数 η_{ch} 按表 6.2.3 的规定确定。

表 6.2.3 接地体的冲击利用系数 η_{ch}

接地体形式	接地导体的根数	冲击利用系数	备　注
n 根水平射线（每根长 10m～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	

续表 6.2.3

接地体形式	接地导体的根数	冲击利用系数	备　注
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	

6.2.4 由水平接地体连接的 n 根垂直接地体的冲击接地电阻 R_{cch} 可按式（6.2.4）计算：

$$R_{cch}=\frac{\frac{R'_{cch}}{n}R_{pch}}{\left(\frac{R'_{cch}}{n}+R_{pch}\right)\eta_{ch}} \tag{6.2.4}$$

式中：R'_{cch} ——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）。

6.2.5 大型水平接地网的冲击接地电阻 R_{ch}，可按式（6.2.5-1）或式（6.2.5-2）计算。

对长条形网孔的地网：

$$R_{ch}=0.65\sqrt{\rho} \tag{6.2.5-1}$$

对方形网孔的地网：

$$R_{ch}=0.2\sqrt{\rho} \tag{6.2.5-2}$$

7 均压设计计算

7.1 均压网设计

7.1.1 均压网的设计应以接触电位差和跨步电位差允许值作为设计的安全标准。

7.1.2 均压网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，均压带宜沿接地网长度方向敷设。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，接地网内应敷设水平均压带。

7.1.3 均压网埋设深度宜采用 0.6m～0.8m。

7.1.4 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规定值，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。高电阻率路面结构层的最小厚度和电阻率见表 7.1.4-1 和表 7.1.4-2。此外，还可采用局部地方放置绝缘垫等做法。

表 7.1.4-1 高电阻率路面结构层的最小厚度（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	1～2.5	2～5
碎石（砾石）及其他粒料	6～8	15～20

表 7.1.4-2 高电阻率路面结构层的电阻率（Ωm）

路面材料名称	潮湿状态电阻率
砾石	11 670
碎石	5830

续表 7.1.4-2

路面材料名称	潮湿状态电阻率
卵石	5000
沥青路面	>46 600
块石混凝土地面	1000

7.1.5 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，并与均压网相连的“帽檐式”均压带，见图 7.1.5。

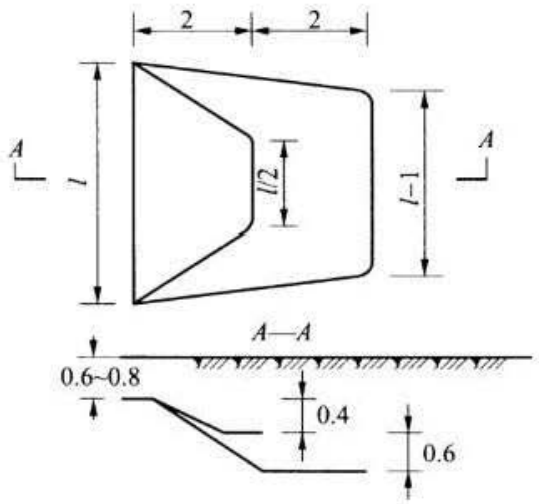


图 7.1.5 “帽檐式”均压带（单位：m）

l—门的宽度

7.1.6 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地网对角线方向将边角网孔对角相连，使最大接触电位差、跨步电位差降低。

7.1.7 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，均不得引起混凝土破坏。钢筋均压网应与接地网连接，连接点不少于 4 点，间距不大于 20m。

7.1.8 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 接触电位差和跨步电位差允许值规定

7.2.1 在有效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：

$$E_j = \frac{174 + 0.17\rho_s C_s}{\sqrt{t_s}} \qquad (7.2.1\text{-}1)$$

$$E_k = \frac{174 + 0.7\rho_s C_s}{\sqrt{t_s}} \qquad (7.2.1\text{-}2)$$

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_s ——地表层的电阻率（Ωm）；

C_s ——表层衰减系数，按本导则附录 D 的规定确定；

t_s ——接地故障电流持续时间，与接地装置热稳定校验的接地故障等效持续时间 t_e 取相同值（s）。

7.2.2 在非直接接地短路电流系统中，当发生单相接地故障时，由于系统通常不立即迅速切除故障，此时发电厂电力设备接地装置的跨步电位差、接触电位差允许值较低，不应超过下列数值：

$$E_j = 50 + 0.05\rho_s C_s \qquad (7.2.2\text{-}1)$$

$$E_k = 50 + 0.2\rho_s C_s \qquad (7.2.2\text{-}2)$$

7.3 接触电位差和跨步电位差计算

7.3.1 均压网接触电位差和跨步电位差的计算可采用数值计算或解析计算。

7.3.2 均压网的布置有均压带等间距布置和不等间距布置的两

种，不等间距布置的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，可按表 7.3.2 进行排列。

表 7.3.2　均压网不等间距布置网孔边长为地网边长百分数

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					
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	1.56	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。

2　此表适用于均压网长和宽两个方向的网孔设计。

7.3.3　在发生接地短路时，接地网地表面的最大接触电位差即网孔中心对接地网接地体的最大接触电位差 E_{jm} 可按式（7.3.3）计算：

$$E_{jm} = K_j E_w \tag{7.3.3}$$

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。

7.3.4 根据均压带布置的方式，接触系数可按下列方法确定。

1 当均压带为等间距布置时（如图 7.3.4 所示），接地体的埋设深度 h=0.6m～0.8m，K_j 可按式（7.3.4-1）计算：

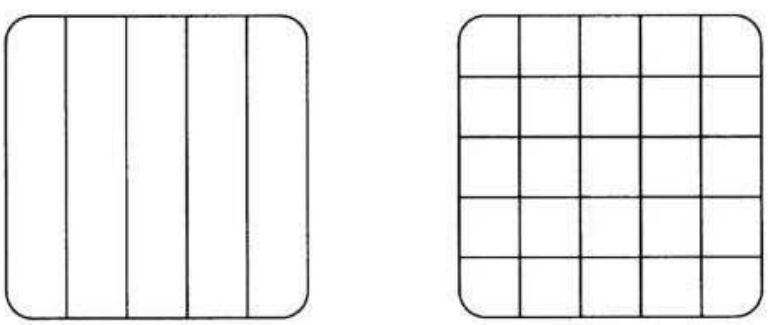
$$K_j = K_{jn} K_{jd} K_{js} K_{jL} \tag{7.3.4-1}$$

式中：K_{jn} ——均压带根数对接触电位的影响系数；

K_{jd} ——均压带导体直径对接触电位的影响系数；

K_{js} ——接地网面积对接触电位的影响系数；

K_{jL} ——接地网形状对接触电位的影响系数。



（a）长孔接地网（n=6）　　（b）方孔接地网（n=6）

图 7.3.4　均压带为等间距布置

当 30m×30m≤S≤500m×500m 时，K_{jn}、K_{jd}、K_{js} 和 K_{jL} 可采用下列方法计算：

$$K_{jn} = 0.076 + 0.776 / n \tag{7.3.4-2}$$

$$K_{jd} = 0.841 - 0.225 \lg d \tag{7.3.4-3}$$

$$K_{js} = 0.234 + 0.414 \lg \sqrt{S} \tag{7.3.4-4}$$

$$K_{jL}=\begin{cases}1.0 & \text{（用于方孔排列）}\\ 1.1\sqrt[4]{L_1L_2} & \text{（用于长孔排列）}\end{cases} \qquad (7.3.4\text{-}5)$$

式中：n——接地网均压带根数；

d——接地网均压带导体等效直径（m）；

S——接地网面积（m^2）；

L_1——接地网长度（m）；

L_2——接地网宽度（m）。

2 当均压带为不等间距布置时，K_j可按式（7.3.4-6）计算：

$$K_j=K_{jh}K_{jn}K_{jd}K_{js}K_{jm}K_{jL} \qquad (7.3.4\text{-}6)$$

式中：K_{jh}——均压带埋深影响系数；

K_{jm}——接地网网孔数影响系数。

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

$$K_{jh}=0.257-0.095\sqrt[5]{h} \qquad (7.3.4\text{-}7)$$

$$K_{jn}=0.021+0.217\sqrt{n_2/n_1}-0.132n_2/n_1 \quad (n_2\leqslant n_1) \qquad (7.3.4\text{-}8)$$

$$K_{jd}=0.401+0.658/\sqrt[6]{d} \qquad (7.3.4\text{-}9)$$

$$K_{js}=0.054+0.410\sqrt[8]{S} \qquad (7.3.4\text{-}10)$$

$$K_{jm}=2.837+240.021/\sqrt[3]{m^2} \qquad (7.3.4\text{-}11)$$

$$K_{jL}=0.168+0.002L_2/L_1 \quad (L_2\leqslant L_1) \qquad (7.3.4\text{-}12)$$

式中：h——接地网水平均压带埋设深度（m）；

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——接地网网孔数，其中$m=(n_1-1)(n_2-1)$。

7.3.5 在发生接地短路时，接地网外的地表面的最大跨步电位差E_{km}可按式（7.3.5）计算：

$$E_{km}=K_kE_w \qquad (7.3.5)$$

式中：E_{km}——最大跨步电位差；

K_k——跨步系数。

7.3.6 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 7.3.6 确定。

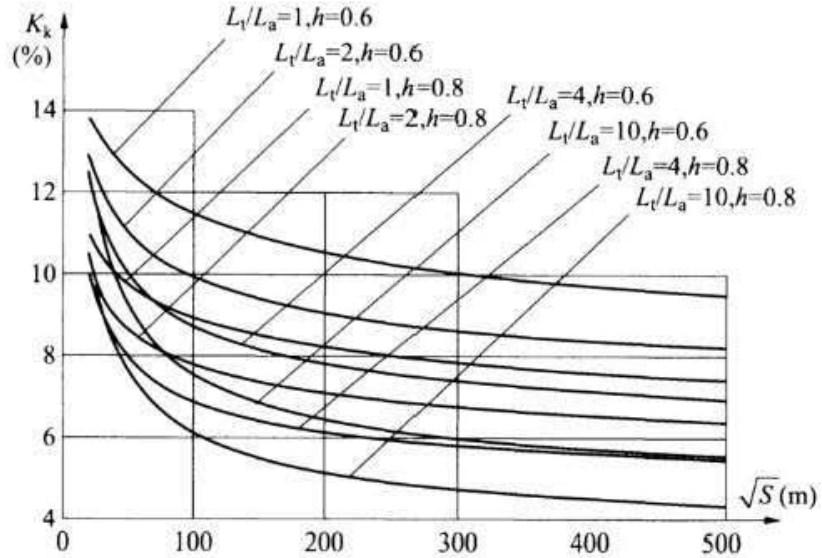


图 7.3.6 最大跨步电位差所用跨步系数 K_k 与均压网面积 S 的关系

L_t —均压网中接地体总长度（m）；L_a —均压网的外缘边线总长（m）；

h —均压网埋深（m）

2 当均压带为不等间距布置时，跨步系数可按下列公式计算：

$$K_k = K_{kh} K_{kn} K_{kd} K_{ks} K_{km} K_{kL} \qquad (7.3.6\text{-}1)$$

$$K_{kh} = 383.964 e^{-2.709\sqrt[3]{h}} \qquad (7.3.6\text{-}2)$$

$$K_{kn} = 0.849 - 0.234\sqrt[12]{(n_2 / n_1)} \quad (n_2 \leqslant n_1) \qquad (7.3.6\text{-}3)$$

$$K_{kd} = 0.574 + 0.64\sqrt[3]{d} \qquad (7.3.6\text{-}4)$$

$$K_{ks} = 0.07 + 1.08 / \sqrt{S} \qquad (7.3.6\text{-}5)$$

$$K_{km} = 0.056 + 1.072 / m \qquad (7.3.6\text{-}6)$$

$$K_{kL} = 0.741 - 0.011(L_2 / L_1) \quad (L_2 \leqslant L_1) \qquad (7.3.6\text{-}7)$$

式中：K_{kh}——均压带埋深对跨步电位的影响系数；

K_{kn}——均压带根数对跨步电位的影响系数；

K_{kd}——均压带导体直径对跨步电位的影响系数；

K_{ks}——接地网面积对跨步电位的影响系数；

K_{km}——接地网网孔数对跨步电位的影响系数；

K_{kL}——接地网形状对跨步电位的影响系数。

8 转移电位隔离

8.1 在接地短路故障时，由于与地网相连的低压中性线、通信线路和金属管道、铁轨等导体将地网的高电位传递到厂外或将厂外零电位引进厂内，在设备绝缘体上产生高电位，危及人身和设备的安全，因而应采取相应隔离措施。

8.2 低压供电线路隔离应采取下列措施：

1 向厂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。全塑电缆在厂区内与电气设备连接时，应将端部 50mm～100mm 的全塑电缆暴露在空气中。

3 对厂内供电的便携式设备和用具，在厂外作业时，应将供电回路与厂内地网绝缘，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。

8.3 金属管道与水力发电厂接地系统应多点连接，以避免在厂区内发生危险。对引出接地网区域外的管道，宜直接埋入地中引出。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。

8.4 若有进厂铁路专线，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，其相邻两处间距视进厂列车长度确定。

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

9 设备接地特殊要求

9.1 GIS 接 地

9.1.1 GIS 应采用多点接地方式。分相式 GIS 接地线应布置在三相短接板（线）处。

9.1.2 外壳与支架之间的连接可采用绝缘垫或直接相连。

9.1.3 GIS 正常运行时外壳上感应电压最大值不得超过 24V 的安全电压值。

9.1.4 所有母线伸缩节和有绝缘的法兰处应设有金属跨接线。分相式 GIS 与其他设备连接的端部外壳间应设有三相短接板（线）。

9.1.5 为了避免 GIS 外壳电流通过电缆金属单屏蔽外皮构成回路，GIS 设备低压电缆（包括动力电缆、控制电缆）的所有单屏蔽电缆外皮应采用单点接地，并不宜在 GIS 端接地。

9.1.6 GIS 应设置有专用的接地母线。所有外壳接地引线应直接接在接地母线上，不允许将数个接地点串联引到接地母线上。GIS 专用的接地母线与水力发电厂总接地网的连接线不应少于 4 根。接地母线及连接线截面应进行热稳定校验。接地母线宜采用铜排。

9.1.7 气体绝缘金属封闭开关设备的接地导体（线）及其连接，应符合下列要求：

1 三相共箱式或三相分相式设备的金属外壳与其底座上接地母线的连接方式，应按制造厂要求执行。其采用的连接方式，应确保无故障时所有金属外壳运行在地电位水平。当在指定点接地时，应确保母线各段外壳之间电压差在允许范围内。

2 设备底座上的接地母线应按制造厂要求与该区域专用接地网连接。

3 本条第 1 款和第 2 款连接线的截面，应满足设备接地故障（短路）时热稳定的要求。

9.1.8 GIS 的接地设计应考虑到隔离开关操作时伴随的外壳暂态电压升高的影响。

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。

9.2.3 当离相式封闭母线采用单点接地时，接地点宜设在母线连接段的中部，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得超过 24V 的安全电压值。支撑架与外壳之间绝缘的耐受电压不得小于 2kV。与电气设备连接应设有绝缘法兰，绝缘法兰耐受电压不得小于 2kV。

9.2.4 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。

9.3 高压电缆线路的接地

9.3.1 电力电缆线路的金属套应直接接地。

9.3.2 交流系统中三芯电缆的金属套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套，应在电缆线路上至少有一点直接接地。

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，如图 9.3.3-1 所示。

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，如图 9.3.3-2 所示。

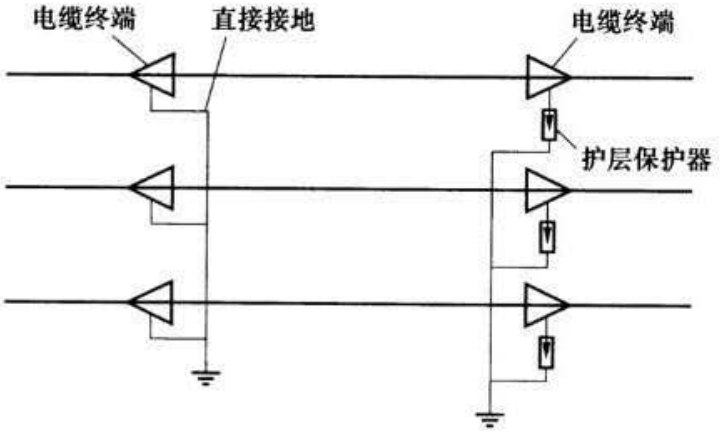


图 9.3.3-1　电缆线路一端单点直接接地

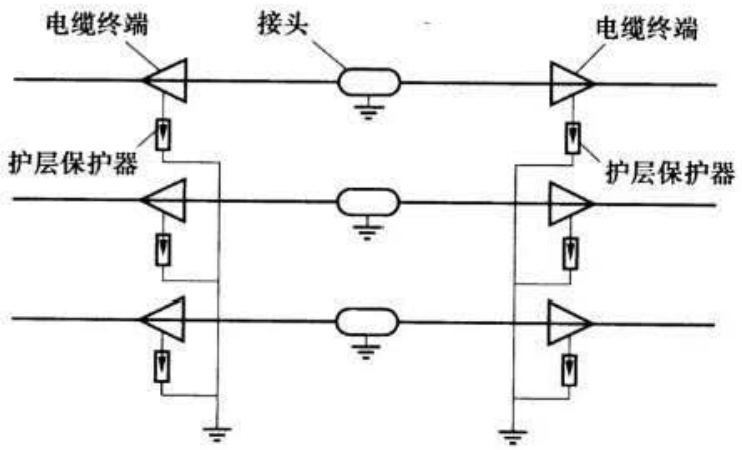


图 9.3.3-2　电缆线路一端或中央部位单点直接接地

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

1　在正常满负载情况下，未采取以防止人员任意接触金属套或屏蔽层的安全措施时，感应电压不得大于 50V；

2　在正常满负载情况下，采取有效防止人员任意接触金属套或屏蔽层的安全措施时，感应电压宜不大于 100V。

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套感应电压的要求时，可采取在电缆线路两终端金属套直接接地方式，如图 9.3.5 所示，并验算感应电压满足本导则第 9.3.4 条的要求。

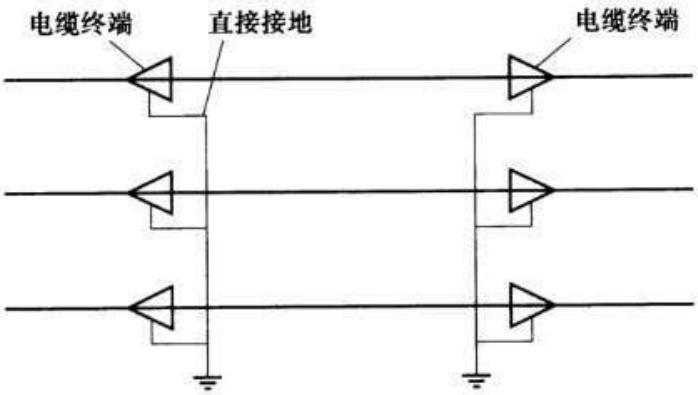


图 9.3.5　电缆线路两端直接接地

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，将金属套交叉互联经护层保护器接地，电缆终端和接头处均应直接接地，如图 9.3.6 所示。

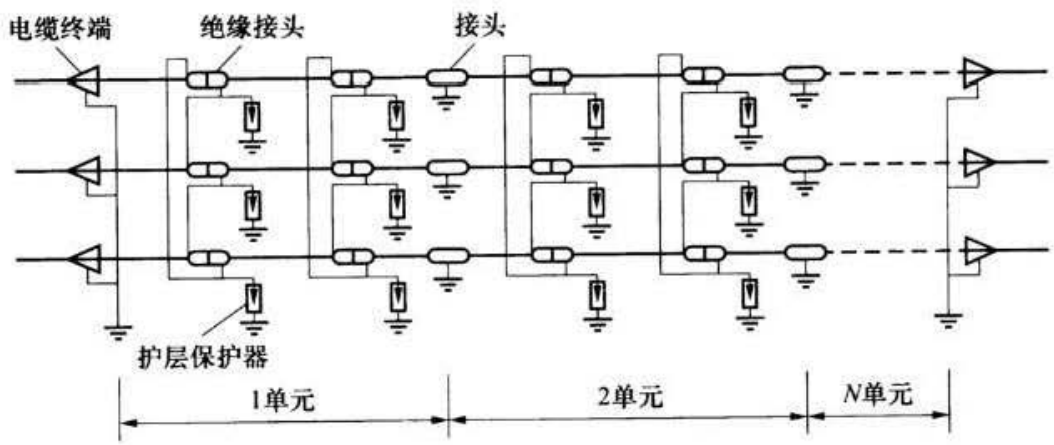


图 9.3.6　交叉互联接地

注：图中护层保护器示例接 Y_0 接线。

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。

9.4　变压器中性点接地

变压器中性点应有 2 根与地网主网格的不同边连接的接地引下线，并且每根接地引下线均应符合热稳定校核的要求。主设备

及设备架构等宜有 2 根与主地网不同干线连接的接地引下线，并且每根接地引下线均应符合热稳定校核的要求。连接引线应便于定期进行检查、测试。

9.5 监控、保护、通信及监测系统接地

9.5.1 水力发电厂接地网内的监控、保护和通信等系统接地应与水力发电厂使用同一个接地装置。

9.5.2 水力发电厂应采取有效措施防止空间磁场对二次电缆的干扰，宜根据开关站和电气设备安装的实际情况，敷设与电厂主接地网可靠连接的等电位接地网。等电位接地网应满足以下要求：

1 应在中控室、保护室、敷设二次电缆的沟道、开关站的就地端子箱及保护用结合滤波器等处，使用截面不小于 100mm^2 的裸铜排（缆），敷设与主接地网可靠连接的等电位接地网。

2 在中控室、保护室屏柜下层的电缆室（或电缆沟）内，按屏柜布置的方向敷设 100mm^2 的专用铜排（缆），将该专用铜排（缆）首末端连接，形成保护室内的等电位接地网。保护室内的等电位接地网与电厂主接地网只能存在唯一连接点，连接点位置宜选择在电缆竖井处。为保证连接可靠，连接线必须用至少 4 根以上、截面不小于 50mm^2 的铜缆（排）构成共点接地。

3 分散布置的保护就地站、通信室与集控室之间，应使用截面不少于 100mm^2 的铜缆（排）可靠连接，连接点应设在室内等电位接地网与电厂主接地网连接处。

4 静态保护和控制装置的屏柜下部应设有截面不小于 100mm^2 的接地铜排。屏柜上装置的接地端子应用截面不小于 4mm^2 的多股铜线和接地铜排相连。接地铜排应选用截面不小于 50mm^2 的铜缆与保护室内的等电位接地网相连。

5 沿二次电缆的沟道敷设截面不少于 100mm^2 的铜排（缆），并在保护室（控制室）及开关站的就地端子箱处与电厂主接地网紧密连接，保护室（控制室）的连接点宜设在室内等电位接地网

与电厂主接地网连接处。

6 开关站的就地端子箱内应设置截面不少于 100mm^2 的裸铜排，并使用截面不少于 100mm^2 的铜缆与电缆沟道内的等电位接地网连接。

7 保护装置之间、保护装置至开关站就地端子箱之间联系电缆以及高频收发信机的电缆屏蔽层应双端接地，使用截面不小于4mm^2 多股铜质软导线可靠连接到等电位接地网的铜排上。

8 由开关站的变压器、断路器、隔离刀闸、电流互感器和电压互感器等设备至开关站就地端子箱之间的二次电缆应经金属管从一次设备的接线盒（箱）引至电缆沟，并将金属管的上端与上述设备的底座和金属外壳良好焊接，下端就近与主接地网良好焊接。上述二次电缆的屏蔽层在就地端子箱处应使用截面不小于4mm^2 多股铜质软导线可靠连接至等电位接地网的铜排上，在一次设备的接线盒（箱）处不接地。

9 在干扰水平较高的场所，或是为取得必要的抗干扰效果，宜在敷设等电位接地网的基础上使用金属电缆托盘（架），将各段电缆托盘（架）与等电位接地网紧密连接，并将不同用途的电缆分类、分层敷设在金属电缆托盘（架）中。

9.5.3 继电保护二次回路接地，应满足以下要求：

1 保护柜屏和继电保护装置本体应设有专用的接地端子，微机型保护装置和收发信机机箱应构成良好的电磁屏蔽体，并使用截面不小于 4mm^2 多股铜质软导线可靠连接至等电位接地网的铜排上。

2 公用电压互感器的二次回路只允许在控制室内有一点接地，为保证接地可靠，各电压互感器的中性线不得接有可能断开的开关或熔断器等。已在控制室一点接地的电压互感器二次绕组，宜在开关场将二次绕组中性点经放电间隙或氧化锌阀片接地，其击穿电压峰值应大于 $30 \cdot I_{max}$ V（I_{max} 为电网接地故障时通过变电站的可能最大接地电流有效值，单位为 kA）。应定期检查放电间

隙或氧化锌阀片，防止造成电压二次回路多点接地的现象。

采用不同电压等级电压互感器零线（N 线）小母线连接方式的变电站，只能在控制室一处使用 2 根 4mm^2 及以上铜芯线可靠接地。

采用在不同小室设置电压互感器零线（N 线）独立接地方式的变电站，其独立接地系统之间 N 线不能连接，并在一处使用 2 根 4mm^2 及以上铜芯线可靠接地。

3 公用电流互感器二次绕组二次回路只允许且必须在相关保护柜屏内一点接地。独立的、与其他电压互感器和电流互感器的二次回路没有电气联系的二次回路应在开关场一点接地。

4 微机型继电保护装置柜屏内的交流供电电源（照明、打印机和调制解调器等）的中性线不应接入等电位接地网。

9.5.4 安装在通信室的保护专用光电转换设备与通信设备间应使用屏蔽电缆，并按敷设等电位接地网的要求，沿电缆敷设截面不小于 100mm^2 铜排（缆）与通信设备的接地网可靠、紧密连接。

9.5.5 结合滤波器引入通信室的高频电缆，以及通信室至保护室的电缆，宜按上述要求敷设等电位接地网，并将电缆的屏蔽层两端分别接至等电位接地网的铜排。

9.5.6 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。

9.5.7 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如下原则接地：

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 未隔离开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。

9.5.8 远端（附属设备）元件的接地，如果是在远离主建筑物接地点处接到独立的接地网上时，在设备的连接上应使用调制解调器加以隔离。

9.5.9 各种用途接地线的截面选择见表 9.5.9。

表 9.5.9 各种用途接地线的截面选择（mm^2）

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

9.6 保 护 线

9.6.1 保护线（PE）的最小截面积应符合下列要求：

1 每根 PE 的截面积均应符合现行国家标准《低压电气装置 第 4-41 部分：安全防护 电击防护》GB 16895.21 的要求，并应能承受预期的故障电流。

PE 的最小截面积可按式（9.6.1）计算，也可按表 9.6.1 确定。

表 9.6.1 PE 的最小截面积（mm^2）

相线截面积 S_a	相应 PE 的最小截面积	
	PE 与相线使用相同材料	PE 与相线使用不同材料
$S_a \leqslant 16$	S_a	$\frac{k_1}{k_2} \times S_a$

续表 9.6.1

相线截面积 S_a	相应 PE 的最小截面积	
	PE 与相线使用相同材料	PE 与相线使用不同材料
$16<S_a\leqslant 35$	16	$\frac{k_1}{k_2}\times 16$
$S_a>35$	$\frac{S_a}{2}$	$\frac{k_1}{k_2}\times\frac{S_a}{2}$

注：1 k_1 为相导体的 k 值，按线和绝缘的材料由本导则附录表 E.0.1 的有关规定选取。

2 k_2 为 PE 的 k 值，按本导则附录表 E.0.2-1～E.0.2-5 的规定选取。

2 切断时间不超过 5s 时，PE 的截面积不应小于式（9.6.1）的要求：

$$S=\frac{\sqrt{I^2t}}{k} \qquad (9.6.1)$$

式中：S——截面积（mm^2）；

I——通过保护电器的阻抗可忽略的故障产生的预期故障电流有效值（A）；

t——保护电器自动切断时的动作时间（s）；

k——由 PE、绝缘和其他部分的材料以及初始和最终温度决定的系数，按本导则附录 E 的规定取值。

3 不属于电缆的一部分或不与相线共处于同一外护物之内的每根 PE，其截面积不应小于下列数值：

1） 有防机械损伤保护，铜为 $2.5mm^2$；铝为 $16mm^2$。

2） 没有防机械损伤保护，铜为 $4mm^2$；铝为 $16mm^2$。

4 当两个或更多个回路共用一个保护线时，其截面积应按下列要求确定：

1） 按回路中遭受最严重的预期故障电流和动作时间，其截面积按本条第 1 款计算。

2） 对应于回路中的最大相线截面积，其截面积按表

9.6.1 选定。

9.6.2 PE 类型应符合下列要求：

1 PE 应由下列一种或多种导体组成：

1） 多芯电缆中的芯线。

2） 与带电线共用的外护物（绝缘的或裸露的线）。

3） 固定安装的裸露的或绝缘的导体。

4） 符合本导则第 9.6.2 条第 2 款第 1～2 项规定条件的金属电缆护套、电缆屏蔽层、电缆铠装、金属编织物、同心线、金属导管。

5） PE 的配置，还应符合本导则第 9.6.6 条的规定。

2 装置中包括带金属外护物的设备，其金属外护物或框架同时满足下列要求时，可用作保护导体：

1） 能利用结构或适当的连接，使对机械、化学或电化学损伤的防护性能得到保护，并保持电气连续性。

2） 符合本导则第 9.6.1 条的规定。

3） 在每个预留的分接点上，允许与其他保护导体连接。

3 下列金属部分不应作为 PE 或保护联结导体：

1） 金属水管。

2） 含有可燃性气体或液体的金属管道。

3） 正常使用中承受机械应力的结构部分。

4） 柔性或可弯曲金属导管（用于保护接地或保护联结目的而特别设计的除外）。

5） 柔性金属部件。

6） 支撑线。

9.6.3 PE 的电气连续性应符合下列要求：

1 PE 对机械伤害、化学或电化学损伤、电动力和热动力等，应具有适当的防护性能。

2 除下列各项外，PE 接头的位置应是可接近的：

1） 填充复合填充物的接头。

2） 封闭的接头。

3） 在金属导管内和槽盒内的接头。

4） 在设备标准中已成为设备的一部分的接头。

3 在 PE 中，不应串入开关器件，可设置能用工具拆开的接头。

4 在采用接地电气监测时，不应将专用器件串接在 PE 中。

5 除本导则第 9.6.2 条第 2 款外，器具的外露可导电部分不应用于构成其他设备保护导体的一部分。

9.6.4 PEN 应符合下列要求：

1 PEN 应只在固定的电气装置中采用，铜的截面积不应小于 $10mm^2$，铝的截面积不应小于 $16mm^2$。

2 PEN 应按可能遭受的最高电压加以绝缘。

3 从装置的任一点起，N 和 PE 分别采用单独的导体时，不允许该 N 再连接到装置的任何其他的接地部分，允许由 PEN 分接出的 PE 和 N 超过一根以上。PE 和 N，可分别设置单独的端子或母线，PEN 应接到为 PE 预设的端子或母线上。

9.6.5 保护和功能共用接地应符合下列要求：

1 保护和功能共用接地用途的导体，应满足有关 PE 的要求，并应符合现行国家标准《低压电气装置 第 4-41 部分：安全防护 电击防护》GB 16895.21 的有关规定。

信息技术电源的直流回路的 PEL 或 PEM，也可用作功能接地和保护接地两种共用功能的导体。

2 外界可导电部分不应用作 PEL 和 PEM。

9.6.6 当过电流保护器用作电击防护时，PE 应合并到与带电导体同一布线系统中，或设置在靠过电流保护器最近的地方。

9.6.7 预期用作永久性连接，且所用的 PE 电流又超过 10mA 的用电设备，应按下列要求设置加强型 PE：

1 PE 的全长应采用截面积至少为 $10mm^2$ 的铜线或 $16mm^2$ 的铝线。

2 也可再用一根截面积至少与用作间接接触防护所要求的

PE 相同，且一直敷设到 PE 的截面积不小于铜 10mm^2 或铝 16mm^2 处，用电器具对第 2 根 PE 应设置单独的接线端子。

9.7 等电位联结导体

9.7.1 总接地端子应符合下列要求：

1 在采用保护联结的每个装置中都应配置总接地端子，并应将下列导线与其连接：

1） 保护联结导体（线）。

2） 接地导体（线）。

3） PE（当 PE 已通过其他 PE 与总接地端子连接时，则不应把每根 PE 直接接到总接地端子上）。

4） 功能接地导体（线）。

2 接到总接地端子上的每根导体，连接应牢固可靠，应能被单独地拆开。

9.7.2 作为总等电位联结的保护联结导体和按本导则第 9.7.1 条的规定接到总接地端子的保护联结导体，其截面积不应小于下列数值：

1 铜为 6mm^2。

2 镀铜钢为 25mm^2。

3 铝为 16mm^2。

4 钢为 50mm^2。

9.7.3 做辅助联结用的保护联结导体应符合下列要求：

1 联结两个外露可导电部分的保护联结导体，其电导不应小于接到外露可导电部分的较小的 PE 的电导。

2 联结外露可导电部分和外界可导电部分的保护联结导体的电阻，不应大于相应 PE 1/2 截面积导体所具有的电阻。

3 应符合本导则第 9.6.1 条第 3 款的规定。

9.8 移动式电力设备接地

9.8.1 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。

在中性点不接地的电力网中，可在移动式机械附近装设接地装置，以代替上述金属连接线。如附近有自然接地体应充分利用，其接地电阻应符合本导则 4.2 节的要求。

如根据移动式机械的特殊情况，按本导则的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。

9.8.2 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 2 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。

9.8.3 移动式电力设备和机械的接地线截面，应符合本导则 11.1 节的规定。

9.9 携带式电力设备接地

9.9.1 携带式电力设备应用专用芯线接地，此芯线严禁同时用来通过工作电流。严禁利用其他电力设备的中性线接地，中性线和接地线应分别与接地网相连接。中性线上禁止设分断电器及熔断器。

携带式电力设备的接地芯线，应采用多股软铜线，其截面不应小于 $1.5mm^2$。

9.9.2 携带式电力设备的插座上应备有专用的接地触头。该触头应同时与接地线和中性线相连接，而且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。

9.9.3 携带式设备接地线的夹具应保证其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热稳定和动稳定的要求。

10 接 地 装 置

10.1 接 地 体

10.1.1 水力发电厂中可利用接地的自然接地体有：

1 与水或潮湿土壤相接触的钢筋混凝土水工建筑物的表层钢筋，如蜗壳、尾水管、护坦、水下挡水墙、进水口、引水隧洞、导流洞和船闸闸室底板、输水管道、大坝等处迎水面层钢筋网和潮湿的廊道的钢筋网。

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 建筑物用的金属板桩、钢筋笼、锚索、锚杆。

5 埋设地中的供水用钢管。

6 金属井管等。

10.1.2 用作接地线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，过土建分缝线时，应作过缝处理。

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。

10.1.4 当利用自然接地体接地，接地电阻不满足要求时和在高压配电装置的场地应设置人工接地装置。

10.1.5 水平敷设的接地体可采用圆钢、扁钢、铜排、铜绞线等；垂直敷设的可采用角钢、圆钢、钢管等。

10.1.6 垂直接地体多用在防雷接地装置中。对泄放雷电流的设备和构筑物，如进出线构架，避雷针（线）和避雷器均应设置人工集中垂直接地装置。垂直接地体的长度宜为 2.5m～3.0m，接地体顶端埋设深度宜为 0.6m～0.8m。

10.1.7 高土壤电阻率地区宜采用水平放射形接地体，接地体埋深

不宜小于 0.6m。放射形接地体每根的最大长度应根据土壤电阻率确定，但不得超过本导则第 4.4.2 条所限定数值。

10.2 接 地 导 体（线）

10.2.1 交流电力设备接地所利用的金属构件、普通钢筋混凝土构件的钢筋、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导体时，金属构件之间应以截面不小于 160mm^2 的钢材焊接。

如上述要求得到满足时，可不另设接地线。但易燃易爆危险场所应按相关专用规定执行。

10.2.2 不得使用蛇皮管、保温管的金属网或外皮，以及低压照明网络的导线铅皮作接地线。在电力设备需要接地的房间内，这些金属外皮应接地，并应保证其全长为完好的电气通路；接地线应与金属外皮用螺栓连接或低温焊接。

10.2.3 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除外，接地线应便于检查。

潮湿的或有腐蚀性蒸汽的房间内，接地线应在墙上明敷，且接地线离墙不得小于 10mm。

10.2.4 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，对接地线应采取保护措施。

10.2.5 接地线不应兼作其他用途。

10.2.6 中性线上不应装设开关和熔断器，单相开关应装在相线上。

10.3 接 地 线 连 接

10.3.1 接地线的连接应符合以下要求：

1 宜采用焊接，焊接必须牢固无虚焊。如采用搭接焊，其搭接

长度必须为其中较大扁钢宽度的2倍或其中较大圆钢直径的6倍。

2 接至电气设备上的接地线应用镀锌螺栓连接，采用螺栓连接时应设防松螺帽或防松垫片。

3 有色金属接地线不能采用焊接时，可用螺栓连接、压接或热剂焊（放热焊接）方式连接。铜接地线与钢接地线的连接必须采用放热焊接。

4 架空线中性线的连接，可采用与相线相同的方法。

5 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。

6 不同材料的接地线的连接应采用焊接或螺栓连接，焊接处应做防腐处理。

10.3.2 低压配电系统中如利用钢管做接地线，钢管连接处应保证有可靠的电气连接，如跨接线、板等连接。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。

10.3.3 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，在管道因检修而可能断开时，接地装置的接地电阻应仍能符合本导则的要求。管道上的表计和阀门等处，均应装设跨接线。

10.3.4 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，并且与主接地网的连接不宜少于2点。

10.3.5 电力设备每个接地部分应以单独的接地线与接地干线相连接，严禁在一个接地线中串接几个需要接地的部分。

10.3.6 跨土建结构分缝的接地线，在分缝处应做过缝伸缩处理，以免温度应力或不均匀沉降将接地线拉断。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，第三层涂沥青。

10.3.7 用作接地体的混凝土内的钢筋的连接应采用焊接，在分段处应焊为一体。

10.4 接 地 标 志

10.4.1 明敷接地导体（线）的表面均应涂 15mm～100mm 宽度相等的绿、黄相间的条纹。如因建筑要求，需涂其他颜色，则应在连接处及分支处涂两条间距为 150mm 的紫带。在三相四线制的电力网中，如接有单相分支线并用其中性线作接地线时，中性线在分支点应涂淡蓝色。

10.4.2 凡接地线引进建筑物的入口处，应设有标志。

10.4.3 水力发电厂中，如设有接地测量井，接地测量井处应设有标志。

11 接地导体截面选择及防腐

11.1 截面选择及计算

11.1.1 接地导体（线）的截面，应考虑设计使用年限内土壤对接地导体的腐蚀，并应符合载流量、短路时自动切除故障段时间以及热稳定与均压的要求。接地网采用钢材时，按机械强度要求的钢接地材料的最小尺寸，应符合表 11.1.1-1 的要求。接地网采用铜材时，按机械强度要求的铜接地材料的最小尺寸，应符合表 11.1.1-2 的要求。

表 11.1.1-1 钢接地材料的最小尺寸

种类	规格及单位	地上	地下
圆钢	直径（mm）	8	8/10
扁钢	截面（mm^2）	75	120
	厚度（mm）	4	4
角钢	厚度（mm）	2.5	4
钢管	管壁厚（mm）	2.5	3.5/2.5

注：1 地下部分圆钢的直径，其分子、分母数据分别对应于架空线路、发电厂和变电站的接地网。

2 地下部分钢管的壁厚，其分子、分母数据分别对应于埋于土壤和埋于室内混凝土地坪中。

3 架空线路杆塔的接地极引出线，其截面不应小于 $50mm^2$，并应热镀锌。

表 11.1.1-2 铜接地材料的最小尺寸

种类	规格及单位	地上	地下
铜棒	直径（mm）	8	水平接地极为 8
			垂直接地极为 15

续表 11.1.1-2

种类	规格及单位	地上	地下
扁铜	截面（mm^2）	50	75
	厚度（mm）	2	2
铜绞线	截面（mm^2）	50	50

注：铜绞线单股直径不小于 1.7mm。

11.1.2 低压电力设备的铜或铝接地线截面不应小于表 11.1.2 所列数值。

表 11.1.2 低压电力设备的铜或铝接地线的最小截面（mm^2）

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

11.1.3 有效接地系统中，接地线截面应按电厂全部投产后设计水平年，最大运行方式下接地短路电流进行热稳定校验；短路电流持续时间按保护故障持续时间考虑，即对于 110kV 和 220kV 发电厂，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 发电厂，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℃。

如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，但其短时温度不得高于材料熔断温度。

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得超过 100℃。

地中接地体的截面不得小于设备接地线截面的 70%。

11.1.4 非直接接地系统中，与设备和接地体连接的钢、铜接地线的截面，应保证在设计水平年，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高于 150℃；敷设在地下的接地线温度不高于 100℃。

如按 70℃的允许载流量曲线选定接地线的截面，则所用电流对敷设在地上的接地线，应采用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，应采用流过接地线的计算用单相故障电流的 75%。

在一般情况下，还应校验（除发电机电压系统）发生两相异点短路时接地线的热稳定。

11.1.5 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。爆炸危险场所应按相关专用规定设计。

为使线路自动切除故障段，接地线及用作接地线的设施的电导，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。

11.1.6 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见表 11.1.6。采用钢接地线时，其接地线截面应不大于 800mm^2；采用铝接地线时，其接地线截面应不大于 70mm^2；采用铜接地线时，其接地线截面应不大于 50mm^2。

表 11.1.6 钢、铝、铜接地线的等效截面（mm^2）

钢	铝	铜
15×2	—	1.3～2

续表 11.1.6

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

11.1.7 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（11.1.7）确定。

$$I = \frac{U_{xge}}{Z_d + Z_b} \qquad (11.1.7)$$

式中：I——短路电流，A；

U_{xge}——电力网的标称相电压，V；

Z_b——变压器正序阻抗、负序阻抗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 0.6Ω/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 0.6Ω/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_b 可忽略不计。当按式（11.1.7）计算的短路电流值不符合本导则第 11.1.5 条的要求时，应装设能自动切除接地故障的保护装置。

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

11.1.9 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（11.1.9）进行计算。

$$S_{jd} \geqslant \frac{I_{jd}}{C}\sqrt{t_d} \qquad (11.1.9\text{-}1)$$

式中：S_{jd}——接地导体（线）的最小截面，mm^2；

I_{jd}——流过接地导体（线）的最大接地故障电流有效值，按工程设计水平年系统最大运行方式确定，A；

t_d——接地故障的等效持续时间，s；

C——接地导体（线）材料的热稳定系数，根据材料的种类、性能及最高允许温度和接地故障前接地导体（线）的初始温度确定。

1 在校验接地导体（线）的热稳定时，I_{jd}及t_d应采用表11.1.9-1所列数值。接地导体（线）的初始温度取40℃。

对钢和铝材的最大允许温度分别取400℃和300℃。钢和铝材的热稳定系数C值分别为70和120。铜材采用放热焊接方式时的最大允许温度，应根据土壤腐蚀的严重程度确定，经验算分别取900℃、800℃或700℃。爆炸危险场所，应按专用规定选取。铜和铜覆钢材的热稳定系数C值可采用表11.1.9-2给出的数值。

表11.1.9-1 校验接地导体（线）热稳定用的I_{jd}和t_d值

系统接地方式	I_{jd}	t_d
有效接地	三相同体设备：单相接地故障电流 三相分体设备：单相接地或三相接地流过接地线的最大接地故障电流	按式（11.1.9-2）或式（11.1.9-3）计算
低电阻接地	单相接地故障电流	按式（11.1.9-2）或式（11.1.9-3）计算

表 11.1.9-2　铜和铜覆钢材的热稳定系数 C 值

最大允许温度（℃）	铜	导电率 40% 铜镀钢绞线	导电率 30% 铜镀钢绞线	导电率 20% 铜镀钢棒
700	249	167	144	119
800	259	173	150	124
900	268	179	155	128

2　热稳定校验用的时间可按下列规定计算。

（1）发电厂和升压站的继电保护装置配置有 2 套速动主保护、近接地后备保护、断路器失灵保护和自动重合闸时，t_d 应按式（11.1.9-2）取值：

$$t_d \geqslant t_m + t_f + t_o \qquad (11.1.9\text{-}2)$$

式中：t_m ——主保护动作时间，s；

t_f ——断路器失灵保护动作时间，s；

t_o ——断路器开断时间，s。

（2）配有 1 套速动主保护、近或远（或远近结合的）后备保护和自动重合闸，有或无断路器失灵保护时，t_d 应按式（11.1.9-3）取值：

$$t_d \geqslant t_o + t_r \qquad (11.1.9\text{-}3)$$

式中：t_r ——第一级后备保护的动作时间，s。

11.1.10　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工程设计使用年限内腐蚀的增加截面。

11.2　接 地 体 防 腐

11.2.1　接地体的腐蚀速度与该接地体所处地区土质、气候和周围环境等诸多因素有关。接地体的防腐设计应根据当地腐蚀数据确

定，如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。

11.2.2 除临时接地装置的接地体外，接地体通常情况下采用热镀锌钢材。镀锌层应有一定的厚度。接地导体（线）与接地极或接地极之间的焊接点外侧 100mm 范围内，应做防腐处理。在做防腐处理前，表面须除锈并去掉焊接处残留的焊药。

11.2.3 当接地体腐蚀速度较大时，宜采取防腐措施或采用不易腐蚀的接地材料。如无防腐措施需增加接地体截面或采用阴极保护措施。

11.2.4 在有腐蚀蒸汽或气体的房间内，接地体应有防腐措施。混凝土中的接地体，可不考虑腐蚀。接地体的设计使用年限，应与水力发电厂的设计使用年限一致。通常情况下不低于 30 年。

12 接地装置工频参数测量

12.1 接 地 电 阻 测 量

12.1.1 接地电阻测量要求

1 水力发电厂接地网和线路杆塔接地装置的工频特性与土壤的潮湿程度有密切关系，应尽量在干燥季节和土壤未冻结季节进行；避免在雷、雨、雪中或雨、雪后立即测量，应在连续晴天3天后测量。

2 接地测量前要事先了解清楚地下金属物情况，在布置电流极和电压极时，试验电极应尽可能远离地下金属物，并应与埋在地下的金属管道走向垂直。

3 测量时，接地装置宜与线路避雷线断开，否则应采用分流系数对测量结果进行修正。

4 接地测量的入流测量点宜分别设在主变压器接地处和高压配电装置接地处。

5 大型接地网的接地电阻测量，如采用工频电流测试，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，并尽可能加大测量电流，测量电流不宜小于50A。

小型接地网的接地电阻可采用电流瓦特表法和接地摇表测量。

输电线路杆塔接地装置的接地电阻，可采用接地摇表测量。

6 接地装置的接地电阻宜采用两种方法或两种电极布置方式测量，以便互相验证，提高测量结果的可信度。

12.1.2 电流—电压表三极法

如图12.1.2-1所示，电流极与地网边缘之间的距离 d_{13}，宜取接地网最大对角线长度 D 的4倍～5倍。当 d_{13} 达到4倍～5倍地网最大对角线长度确有困难时，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 $3D$。

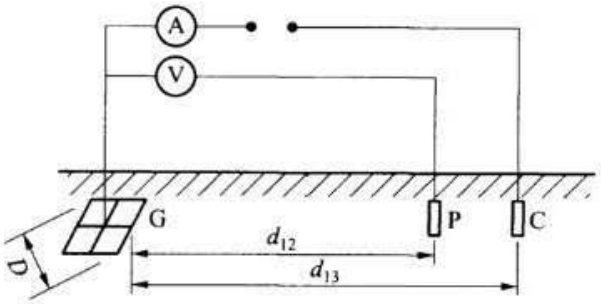


图 12.1.2-1　电流—电压表三极法接线示意图

在电流、电压极的布置上，应尽量避免电流线与电压线之间的互感，不宜利用同杆架设或相互平行且靠近的两根导线进行测量。

1　采用图 12.1.2-2 所示的任意夹角三极法测量时，接地电阻可用式（12.1.2）进行电阻修正：

$$R_0=\frac{R}{1-\frac{D}{2}\left[\frac{1}{d_{12}}+\frac{1}{d_{13}}-\frac{1}{\sqrt{d_{12}^2+d_{13}^2-2d_{12}d_{13}\cos\theta}}\right]} \qquad (12.1.2)$$

式中：R_0——接地网的接地电阻，Ω；

R——接地电阻测量值，Ω；

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。

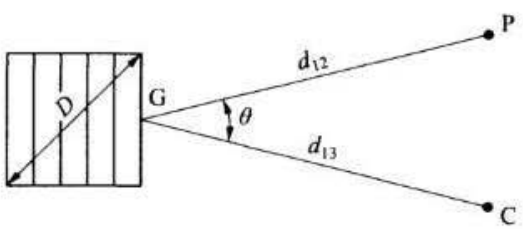


图 12.1.2-2　三极任意夹角布极法

2　采用图 12.1.2-3 所示的直线布极时，电压极一般到接地网的距离约为电流极到接地网的距离的 50%～60%。测量时应沿接

地网和电流极的连线移动三次，每次移动距离为 d_{13} 的 5%左右，如三次测量得的电阻值接近即可。

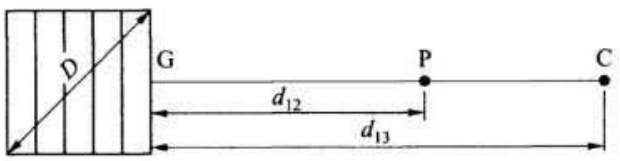


图 12.1.2-3　三极直线布极法

G—被试接地装置；P—电位极；C—电流极

3　采用图 12.1.2-4 所示的等腰三角形布极时，宜使夹角 $\theta \approx 30°$，且 $d_{12}=d_{13} \geqslant 2D$。

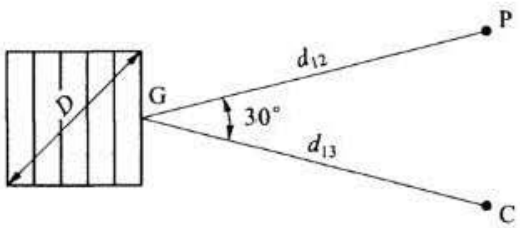


图 12.1.2-4　三极等腰三角形布极法

G—被试接地装置；P—电位极；C—电流极

12.1.3　电位降法测量接地阻抗的接线图如图 12.1.3 所示。

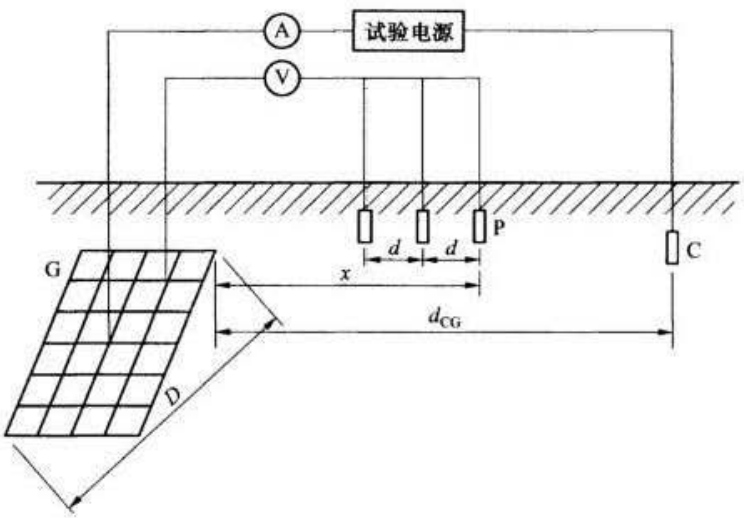


图 12.1.3　电位降法测量接地阻抗的接线图

G—被试接地装置；P—电位极；C—电流极；d_{CG}—电流极与被试接地装置边缘的距离；x—电位极与被试接地装置边缘的距离；d—测试距离间隔

流过被试接地装置 G 和电流极 C 的电流 I 使地面电位变化，电位极 P 从 G 的边缘开始沿与电流回路呈 30° ～45° 的方向向外移动，每间隔 d（50m、100m 或 200m）测试一次 P 与 G 之间的电位差 U。绘出 U 与 x 的变化曲线，曲线平坦处即为电位零点，与曲线起点间的电位差即为在试验电流下被测接地网的电位升高 U_m，接地网的接地阻抗 $Z=\frac{U_m}{I}$，如果电位测试线与电流线呈角度放设确实困难，可与之同路径放设，但要保持尽量远的距离。

如果电位降曲线的平坦点难以确定，则可能是受被测试接地网或电流极 C 的影响，可考虑延长电流回路；当地下情况复杂，可考虑以其他方法来测试和校验。

12.1.4 电流—瓦特表三极法接地电阻测量接线图如图 12.1.4 所示。

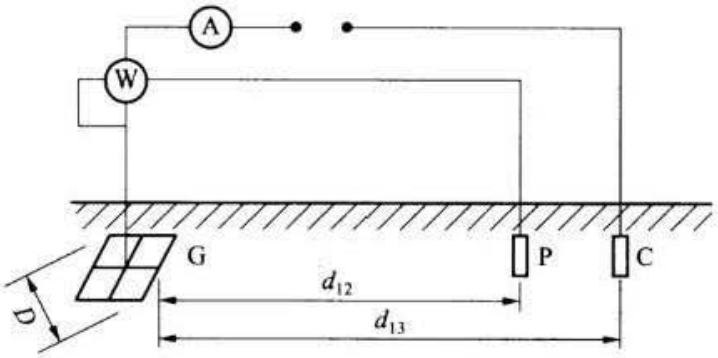


图 12.1.4 电流—瓦特表三极法接地电阻测量接线图

G—被试接地电阻；P—电位极；C—电流极

1 采用电流—瓦特表法测量，所测接地电阻 R 可按式（12.1.4）估算：

$$R=\frac{P}{I^2} \qquad (12.1.4)$$

式中：P——瓦特表所测读数，W；

I——电流表所测得的读数，A。

2 在测量布极上应遵循本导则第 12.1.2 条的规定。当测量线间互感较大时应采用低功率因数瓦特表。

12.1.5 对线路杆塔接地网或小面积地网可采用接地绝缘电阻表进行接地电阻测量，接地绝缘电阻表测量的接线方式如图 12.1.5-1 所示。

当被测接地电阻小于 1Ω时，宜采用四端子接线仪测量，电极的布置如图 12.1.5-2 所示，d_{13} 宜取接地装置最长射线长度 L 的 4 倍，d_{12} 取 L 的 2.5 倍。

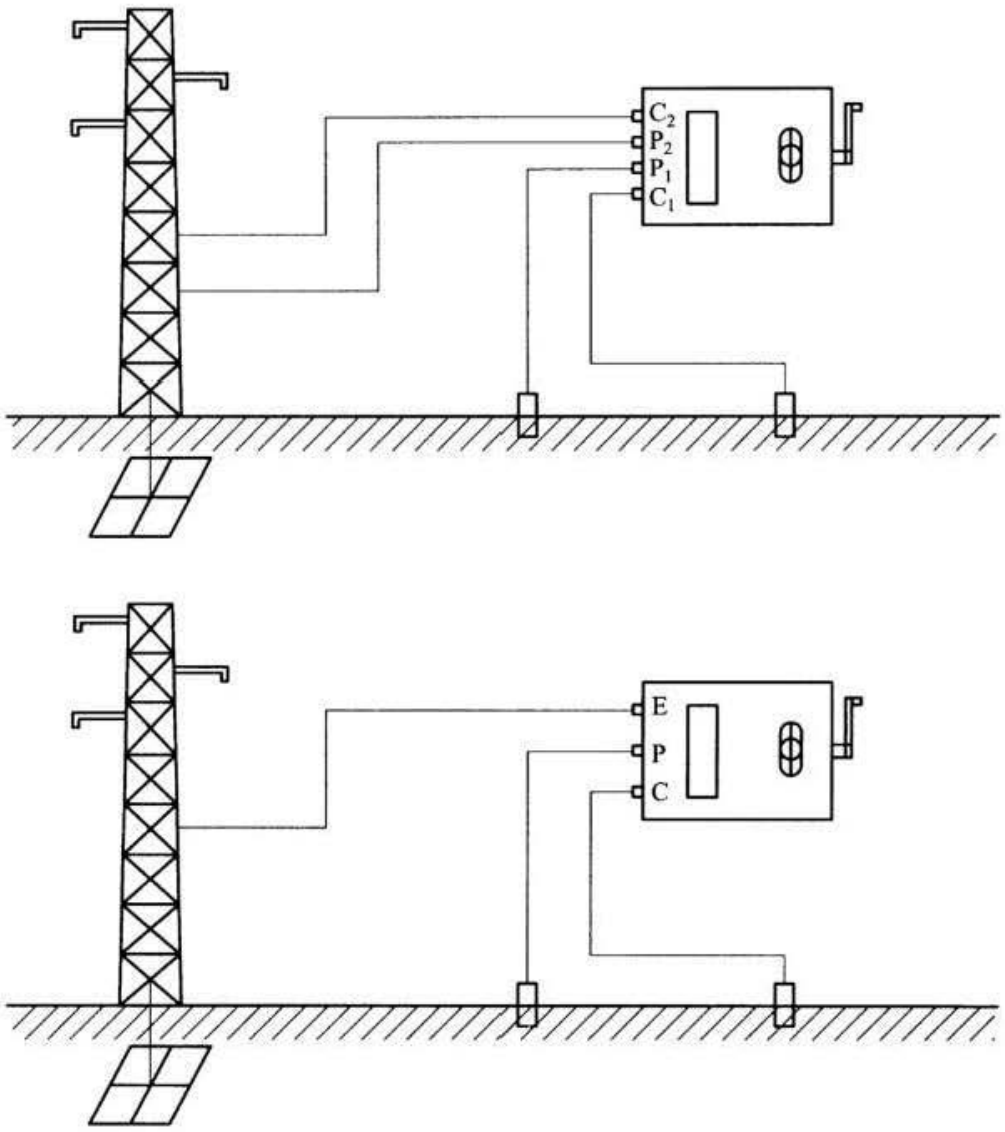


图 12.1.5-1 接地绝缘电阻表测量的接线方式

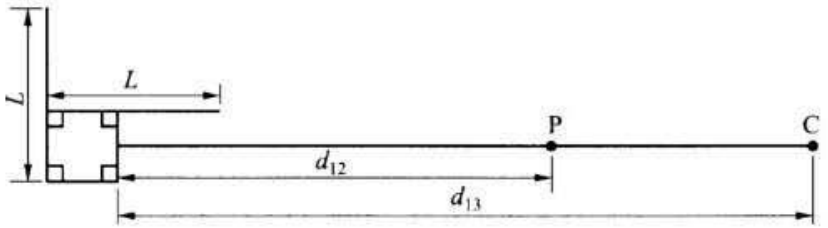


图 12.1.5-2　杆塔接地电阻测量布极法

P—电位极；C—电流极

12.1.6　通常地中有不平衡零序电流入地，该电流将在地网上产生零序电压，为了消除地网的零序电流和电压对测量的影响，可采用倒相法和三相电源法进行测量。

1　采用倒相法消除工频干扰，其接地电阻可用式（12.1.6-1）和式（12.1.6-2）计算：

对电流—电压表法，有

$$R=\sqrt{\frac{1}{2}(U_1^2+U_2^2)-U_0^2}\Big/\sqrt{\frac{1}{2}(I_1^2+I_2^2)-I_0^2} \qquad (12.1.6\text{-}1)$$

式中：U_0、I_0——断开电源，接通电流线后测量的干扰电压（V）和干扰电流（A）；

U_1、I_1——接通电源后测量接地网的压降（V）和电流（A）；

U_2、I_2——倒相后测量的接地网压降（V）和电流（A）。

对电流——瓦特表法，有

$$R=\frac{P_1+P_2}{2I^2} \qquad (12.1.6\text{-}2)$$

式中：P_1、P_2——倒相前后测量的功率。

2　采用三相电源法消除干扰，用三相电源分别加压测量，所测结果代入式（12.1.6-3）计算：

$$R=\sqrt{\frac{1}{3}(U_A^2+U_B^2+U_C^2)-U_0^2}\Big/\sqrt{\frac{1}{3}(I_A^2+I_B^2+I_C^2)-3I_0^2} \qquad (12.1.6\text{-}3)$$

式中：U_A、U_B、U_C——依次接通三相电源后测量的地网压降，V；

I_A、I_B、I_C——依次接通三相电源后测量的入地电流，A。

12.2 接触电位差和跨步电位差测量

12.2.1 测量地网内的接触电位差和跨步电位差可与测量接地网电阻同时进行。

12.2.2 接触电位差和跨步电位差的测量原理接线图如图 12.2.2 所示。

接触电位差和跨步电位差测量用电压表应采用高内阻（30kΩ以上）表计。

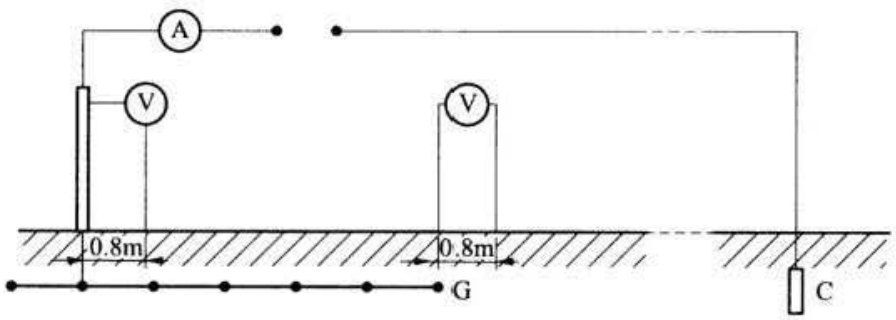


图 12.2.2 接触电位差和跨步电位差的测量原理接线图

G—被试接地电阻；C—电流极

12.2.3 接触电位差应在电厂工作人员经常出现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 2m 以上处注入接地装置，在构架离地面垂直距离 2m 处和距构架水平距离 1m 处地面上两点进行测量。

12.2.4 跨步电位差应在接地装置的边缘处进出口处进行测量。电流注入点应在测量处附近，在距离接地装置边缘接地体 1m 处进行测量。

12.2.5 测量接触电位差和跨步电位差时，模拟人脚的金属板采用 0.1m 半径的圆板或 0.125m×0.250m 的长方板，为了使金属板与地面接触良好，可在金属板与地面的接触面间洒一些水，并在每块板上站人或放置 15kg 的重物。

12.2.6 发生单相接地故障时的接触电位差 E_j 和跨步电位差 E_k，

应根据测量得到的接触电位差和跨步电位差按下列公式进行换算：

$$E_j = \frac{I}{I_c} U_{jc} \qquad (12.2.6\text{-}1)$$

$$E_k = \frac{I}{I_c} U_{kc} \qquad (12.2.6\text{-}2)$$

式中：I——发生接地故障时，计算用的流经接地装置的入地短路电流，A；

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_{jc}、U_{kc}——接触电位差和跨步电位差测量值，V。

12.3 土壤电阻率测量

12.3.1 土壤电阻率测量应避免雨后或雪后立即进行，一般宜在连续晴天 3 日后或在冬天干燥季节进行测量。在冻土区，测量电极必须打入冰冻线以下。

12.3.2 尽量减小地下金属管道的影响。地下可能有水管等具有一定金属部件的管道，应把电极布置在与管道垂直的方向上，并且要求最近的测试电极（电流极）与地下管道之间的距离不小于极间距离。

12.3.3 为尽量减小土壤结构不均匀性的影响，不应在有明显的岩石、裂缝和边坡等不均匀的土壤上布置测试电极；为了得到较真实的结果，可以把被测试场地分片，进行多处测量。

12.3.4 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。先测出电极接地电阻，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，其准确性与测量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。

12.3.5 四极等距法（或称 Wenner 四极法）如图 12.3.5 所示：4 个测量电极位于同一深度的一条直线上，测得的土壤视在电阻率为：

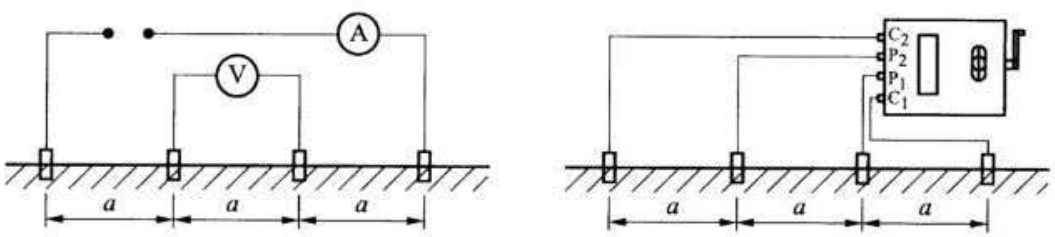
$$\rho_s = 2\pi aU / I = 2\pi aR \qquad (12.3.5)$$

式中：a ——两电极之间的距离，不应小于电极埋深的 20 倍，m；

U ——电流电压表法所测的电压值，V；

I ——电流电压表法所测的电流值，A；

R——接地绝缘电阻法所测得的电阻值，Ω。



（a）电流—电压表法　　（b）接地绝缘电阻法

图 12.3.5　四极等距法

12.3.6 四极非等距法或称施伦贝格巴莫（Schlumberger-Palmer）法。

当电极间距相当大时，四极等距法内侧两个电极的电位差迅速下降，通常仪器测不出或测不准如此低的电位差。电位极的布置如图 12.3.6 所示，电位极布置在相应的电流极附近，可升高所测的电位差值。如果电极的埋深 h 与其距离 a 和 b 相比较很小，由式（12.3.6）计算土壤电阻率：

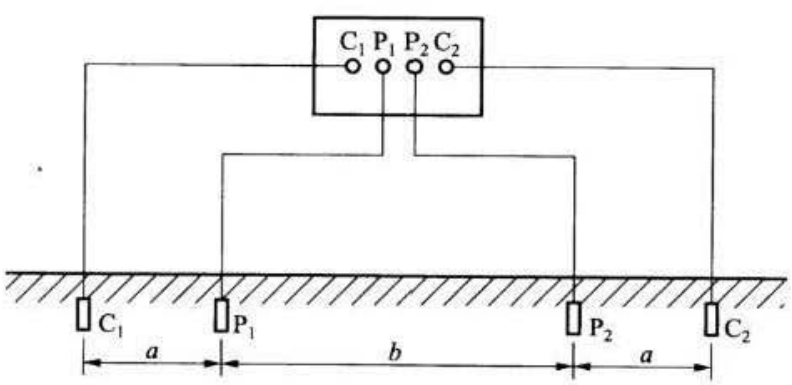


图 12.3.6　四极非等距法电位极的布置

$$\rho = 2\pi a(a+b)R/b \qquad (12.3.6)$$

式中：a ——电流极与电位极间距；

b ——为电位极间距。

12.4 水电阻率测量

12.4.1 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1/20，极距可从水深 1/10～1/20 开始测量，测得的视电阻率曲线水平段为水电阻率。

12.4.2 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。

12.5 四极法测量电极布置及典型视电阻率曲线

12.5.1 在被测场地中心设置如图 12.5.1 所示的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 $\rho_s = f(a)$。

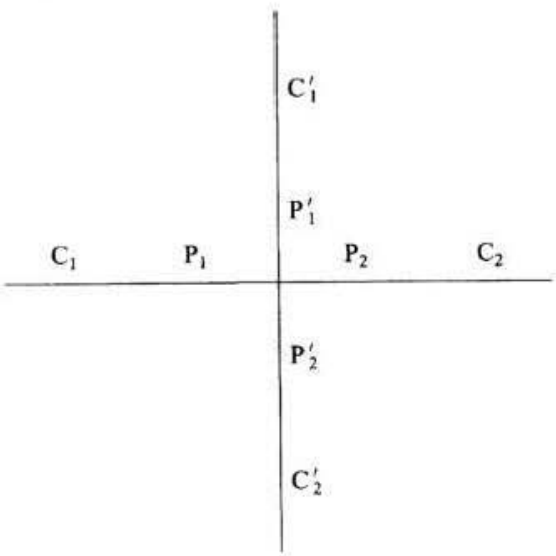


图 12.5.1 基线测量布极图

12.5.2 当被测场地较大时，应在被测场地上按图 12.5.2 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。

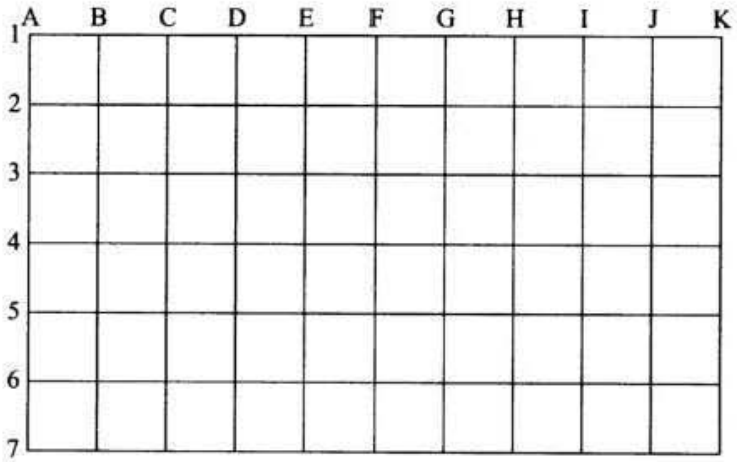


图 12.5.2　场地电阻率测量的网形系统

12.5.3　为了较准确反映接地装置的工频特性，测量电极间的最小距离（即最小测量深度）a_{min} 不宜小于式（12.5.3-1）或式（12.5.3-2）：

对地网面积 $S<1600m^2$ 时：

$$a_{min} \geqslant \sqrt{S} \qquad (12.5.3\text{-}1)$$

对地网面积 $S \geqslant 1600m^2$：

$$a_{min} \geqslant \frac{1.6\sqrt{S}}{\lg\sqrt{S}} \qquad (12.5.3\text{-}2)$$

式中：S——地网所占区域的面积（m^2）。

12.5.4　对土壤不均匀地区，宜测出各测点视电阻率 ρ_s 与测量电极极距 a 的关系曲线 $\rho_s = f(a)$，并对照图 12.5.4-1 和图 12.5.4-2 中各典型曲线，确定地中各层电阻率及其变化，决定接地装置的设计方案和措施。

对二层地质结构土壤，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 $\rho_1>\rho_2$ 且 $\rho_2<\rho_3$，A 型曲线表示 $\rho_1<\rho_2<\rho_3$，K 型为 $\rho_1<\rho_2$ 且 $\rho_2>\rho_3$，而 Q 型则表示 $\rho_1>\rho_2>\rho_3$。对更多层的地质结

构应尽可能化为三层。

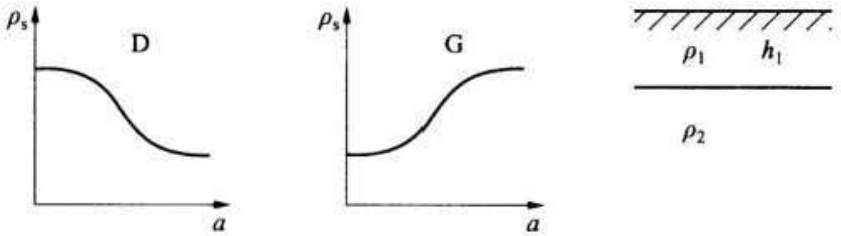


图 12.5.4-1　二层土壤典型曲线

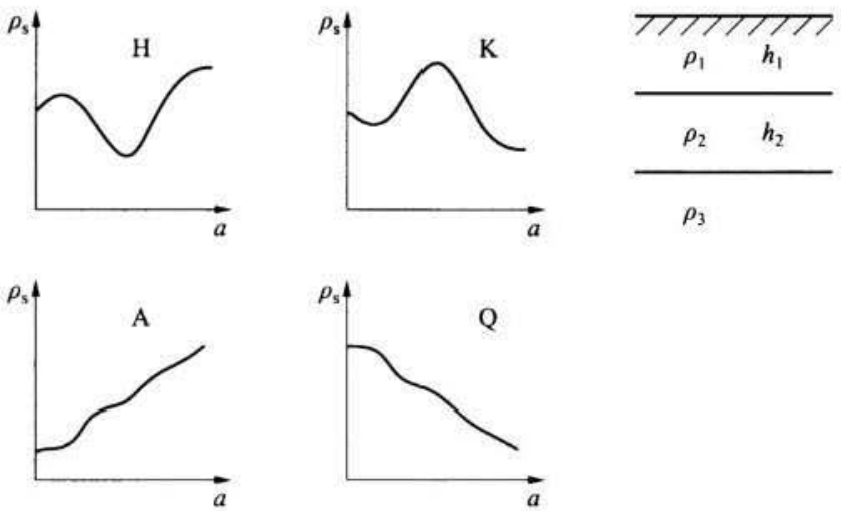


图 12.5.4-2　三层土壤典型曲线

12.5.5　利用网形测量结果，做出各深度的土壤电阻率等值曲线图，以便合理的设置集中接地体。或做出各剖面的土壤电阻率等值曲线，采用加权平均法求出整个地网区域的平均土壤电阻率，以便设计采用。

12.5.6　在缺少电阻率实测数据时，可根据地质构造，按本导则附录 F 中所列典型土壤和水的电阻率参考值选取。

附录 A　非均匀土壤中接地网接地电阻的计算

A.0.1　土壤具有图 A.0.1 所示的两个剖面结构，水平接地网的接地电阻 R 可用式（A.0.1）计算：

$$R = \frac{0.5\rho_1\rho_2\sqrt{S}}{\rho_1 S_2 + \rho_2 S_1} \qquad \text{（A.0.1）}$$

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

S——接地网总面积，m^2。

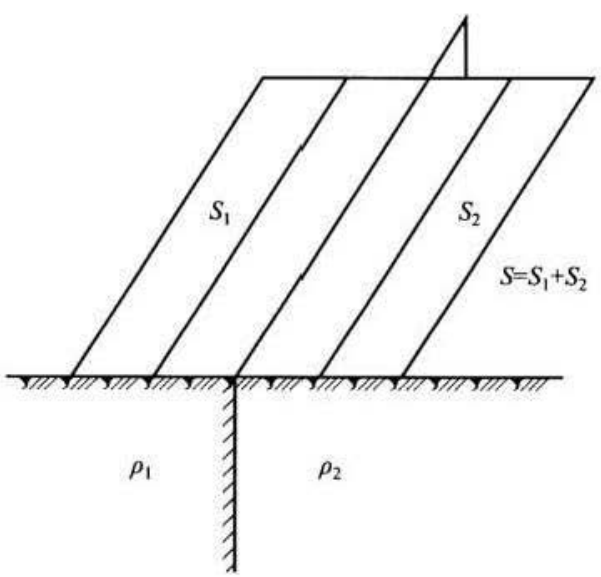


图 A.0.1　两种土壤电阻率的接地网

A.0.2　土壤具有两层结构（图 A.0.2-1），水平接地网的接地电阻 R 可用式（A.0.2）计算：

$$R = 0.5 \times \frac{K(\rho_2 - \rho_1) + \rho_1}{\sqrt{S}} \qquad \text{（A.0.2）}$$

式中：ρ_1、ρ_2——上、下层土壤电阻率，Ωm；

K——系数。

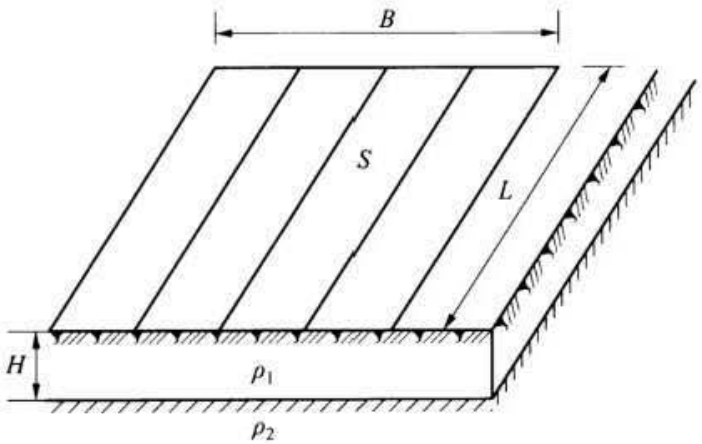


图 A.0.2-1　两层土壤电阻率的接地网

系数 K 由图 A.0.2-2 查出，其方法如下：先从图 A.0.2-2 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。

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

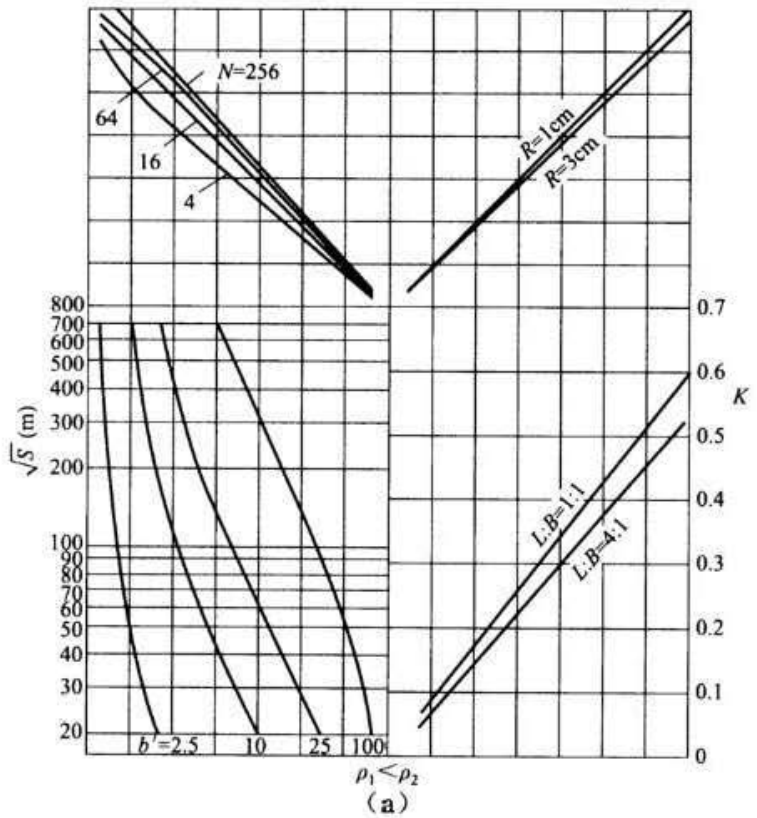
A.0.3　水下接地网接地电阻可按式（A.0.3）计算：

$$R = K_s \frac{\rho_s}{40} \qquad \text{（A.0.3）}$$

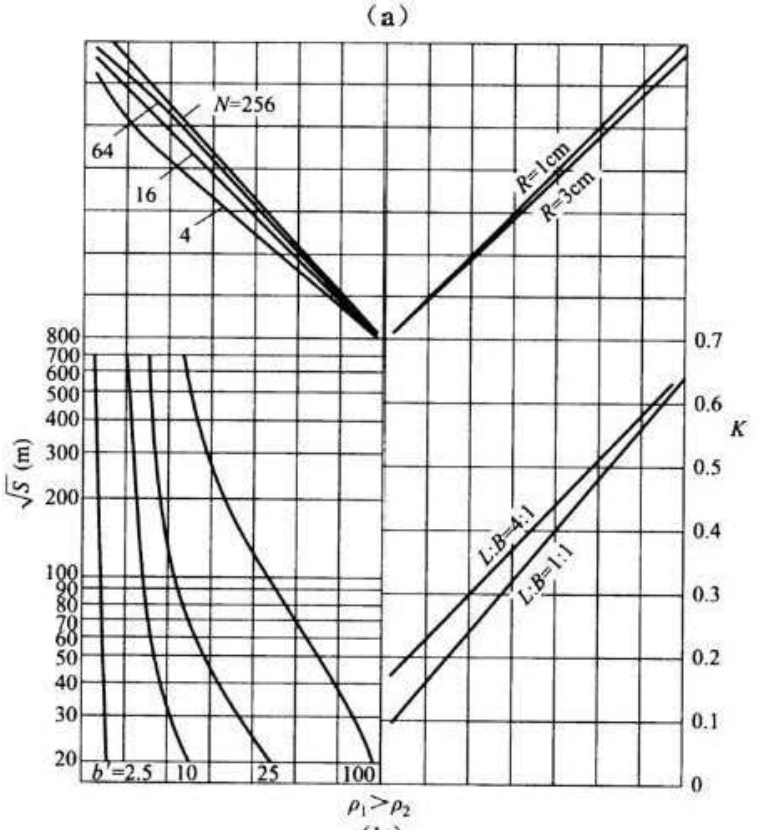
式中：K_s——接地电阻系数；

ρ_s——水电阻率。

系数 K_s 可由图 A.0.3-1～图 A.0.3-5 曲线查得，图中 H 为水深。



(a)



(b)

图 A.0.2-2　系统 K 的曲线

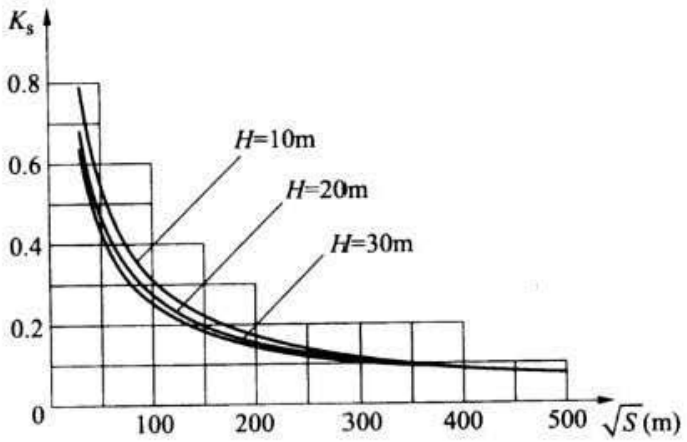


图 A.0.3-1　水下接地网接地电阻计算系数（ρ_2/ρ_1=2）

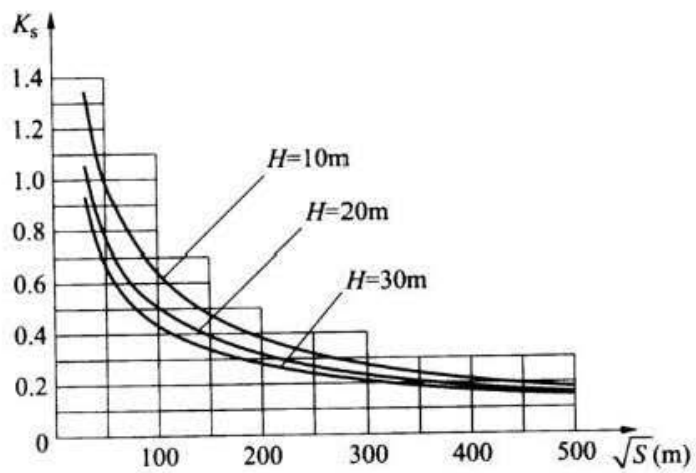


图 A.0.3-2　水下接地网接地电阻计算系数（ρ_2/ρ_1=6）

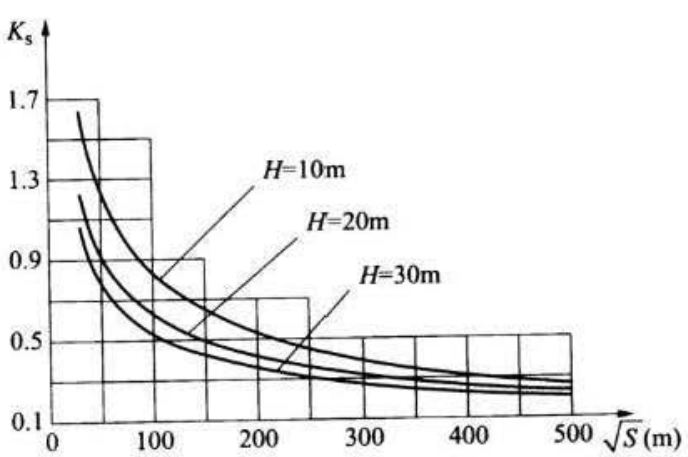


图 A.0.3-3　水下接地网接地电阻计算系数（ρ_2/ρ_1=10）

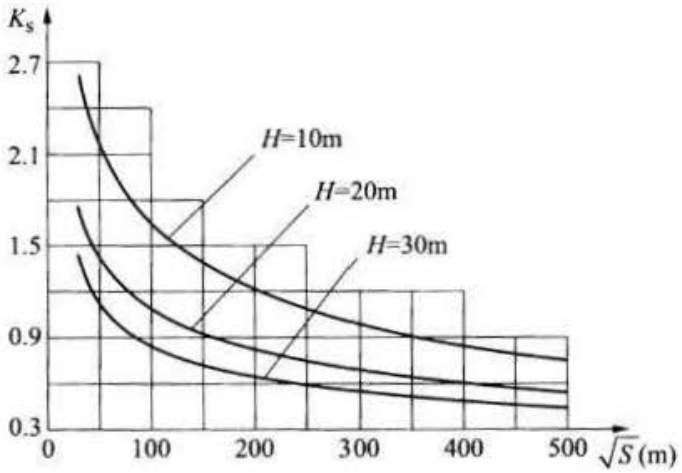


图 A.0.3-4　水下接地网接地电阻计算系数（ρ_2/ρ_1=50）

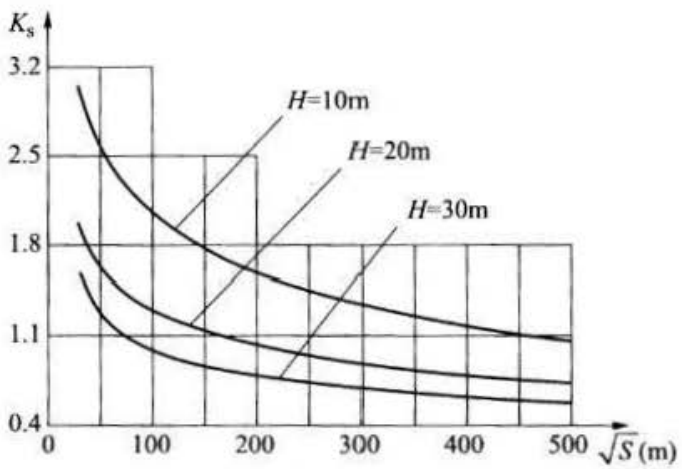


图 A.0.3-5　水下接地网接地电阻计算系数（ρ_2/ρ_1=100）

A.0.4　两层电阻率土壤深埋接地体（图 A.0.4）接地电阻可按下列各式计算：

$$R=\frac{\rho_a}{2\pi l}\left(\ln\frac{4l}{d}+C\right) \qquad \text{（A.0.4-1）}$$

$l<H$ 时，

$$\rho_a=\rho_1 \qquad \text{（A.0.4-2）}$$

$l>H$ 时，

$$\rho_a=\frac{\rho_1\rho_2}{\frac{H}{l}(\rho_2-\rho_1)+\rho_1} \qquad \text{（A.0.4-3）}$$

$$C=\sum_{n=1}^{\infty}\left(\frac{\rho_2-\rho_1}{\rho_2+\rho_1}\right)^n \ln\frac{2nH+l}{2(n-1)H+l} \qquad \text{（A.0.4-4）}$$

式中：R——接地电阻，Ω；

ρ_a——两层土壤电阻率计算值，Ωm；

l——接地体的长度，m；

d——接地体的直径，m；

C——两层土壤深埋接地体的影响系数；

ρ_1——上层土壤电阻率，Ωm；

ρ_2——下层土壤电阻率，Ωm；

H——电阻率为ρ_1的土壤深度，m。

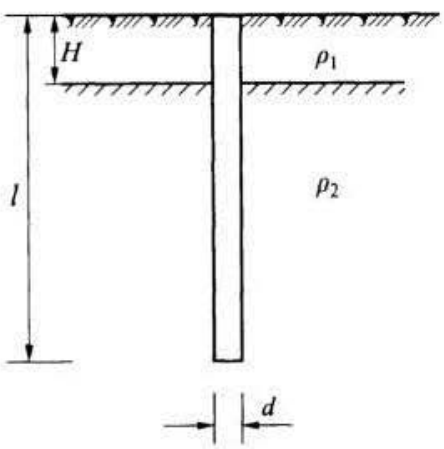


图 A.0.4　深埋接地体示意图

附录 B　接地装置电位计算

B.0.1　在发生接地故障时，接地装置的电位可按式（B.0.1）计算：

$$E_W = IR \qquad \text{（B.0.1）}$$

式中：E_W——接地装置的电位，V；

I——计算用入地短路电流，A；

R——接地装置（包括人工接地网及与其连接的所有其他自然接地体）的接地电阻，Ω。

B.0.2　流经接地装置的入地短路电流计算：

1　当在接地装置内发生单相接地短路时，流经接地装置的电流可按式（B.0.2-1）计算：

$$I = (I_{max} - I_Z)(1 - K_{f1}) \qquad \text{（B.0.2-1）}$$

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，流经发电厂、变电所接地中性点的最大短路电流，A；

K_{f1}——当接地网内短路时，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，流经接地装置的电流可按式（B.0.2-2）计算：

$$I = I_Z(1 - K_{f2}) \qquad \text{（B.0.2-2）}$$

式中：K_{f2}——接地网外短路时，避雷线的工频分流系数。

计算用入地短路电流取式（B.0.2-1）和式（B.0.2-2）中较大的电流值。

B.0.3　当电厂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，分流系数的计算分网内短路和网外短路两种情况。

1 在接地网内短路时工频分流系数 K_{f1} 可按式（B.0.3-1）计算：

$$K_{f1}=\frac{Z_{mo}}{Z_{bo}}+\left(1-\frac{Z_{mo}}{Z_{bo}}\right)e^{-\beta} \qquad \text{（B.0.3-1）}$$

其中，
$$e^{-\beta}=\left(1-\sqrt{\frac{b}{4+b}}\right)\Big/\left(1+\sqrt{\frac{b}{4+b}}\right)$$

$$b=\frac{Z_{bo}}{3R_{\omega}}$$

式中：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；

β ——计算系数；

Z_{bo} ——避雷线平均档距的零序阻抗，Ω；

b ——避雷线平均档距的零序阻抗与 3 倍水力发电厂接地网的接地电阻的比值；

R_{ω} ——水力发电厂接地网的接地电阻，Ω。

$$Z_{mo}=\left(0.15+j0.189\ln\frac{D_g}{D_{1-2}}\right)\frac{l_{pj}}{1000} \qquad \text{（B.0.3-2）}$$

式中：D_g ——避雷线对地的等价镜象距离，m；

l_{Pj} ——线路平均档距，m；

D_{1-2} ——避雷线对导线的几何平均距离，m。

$$D_g=\frac{1.94\times10^{-3}}{\sqrt{f/\rho_{pj}\times10^{-11}}} \qquad \text{（B.0.3-3）}$$

式中：f ——频率，取 f=50Hz；

ρ_{Pj} ——线路所经地段的土壤电阻率平均值，Ωm。

对于双避雷线，

$$D_{1-2}=\sqrt[6]{D_{1-A}D_{1-B}D_{1-C}D_{2-A}D_{2-B}D_{2-C}} \qquad \text{（B.0.3-4）}$$

对于单避雷线，

$$D_{1\text{-}2}=\sqrt[3]{D_{1\text{-A}}D_{1\text{-B}}D_{1\text{-C}}} \qquad \text{(B.0.3-5)}$$

式中：$D_{1\text{-A}}$，$D_{1\text{-B}}$，$D_{1\text{-C}}$——1 号避雷线对导线 A、B、C 相的距离，m；

$D_{2\text{-A}}$，$D_{2\text{-B}}$，$D_{2\text{-C}}$——2 号避雷线对导线 A、B、C 相的距离，m。

$$Z_{\text{bo}}=\left(\frac{3r}{P}+0.15+j0.189\ln\frac{D_{\text{g}}}{R_{\text{g}}}\right)\frac{l_{\text{pj}}}{1000} \qquad \text{(B.0.3-6)}$$

式中：P——避雷线根数；

r——避雷线电阻，Ω/km；

R_{g}——避雷线的等价几何平均半径，m。

对于双避雷线，

$$R_{\text{g}}=\sqrt{r_{\text{m}}D_{\text{m}}} \qquad \text{(B.0.3-7)}$$

对于单避雷线，

$$R_{\text{g}}=r_{\text{m}} \qquad \text{(B.0.3-8)}$$

式中：r_{m}——避雷线的等价几何计算半径，当用于钢芯铝线时，$r_{\text{m}}=0.95r_0$，当用于铝合金线时，$r_{\text{m}}=0.75r_0$，m。

D_{m}——避雷线之间距离，m；

r_0——避雷线半径，m，参数见表 B.0.3。

当用于钢绞线时，

$$r_{\text{m}}=r_0\text{e}^{-6.9X_{\text{en}}} \qquad \text{(B.0.3-9)}$$

X_{en}——单位长度钢绞线的内感抗，Ω/km，见表 B.0.3。

表 B.0.3　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/半径（mm^2/mm）	35/3.9	50/4.6	70/5.75

续表 B.0.3

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/外径（铝/钢）（mm^2/mm）	120/20	150/25	185/30
电阻（Ω/km）	0.22	0.19	0.16
铝合金线 LHBGJ			
标称截面/半径（mm^2/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[1, 2, 3]			

注：1 光缆的型号较多，截面、半径、电阻由制造厂家提供。

2 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。

3 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_{f2} 可用式（B.0.3-10）计算

$$K_{f2}=\frac{Z_{mo}}{Z_{bo}} \qquad \text{（B.0.3-10）}$$

B.0.4 可建立电厂—线路—系统模型，采用软件准确计算分流系数和入地短路电流。

附录 C　单独接地体的冲击系数

C.0.1　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，各种形式人工接地体和线路自然接地体在$\rho \leqslant 2000\Omega m$下，其冲击系数可按式（C.0.1）计算：

$$\alpha = \frac{1}{a_i + b_i (I_i \rho)^{m_i} / L^p} \qquad (C.0.1)$$

式中：　α ——冲击系数；

I_i ——通过接地体的雷电冲击电流值，kA；

ρ ——土壤电阻率，kΩm；

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——系数，见表 C.0.1。

C.0.2　杆塔自然接地体的效果，仅在$\rho \leqslant 300\Omega m$ 才加以考虑，其冲击系数可按式（C.0.2）计算：

$$\alpha = \frac{1}{a_i + b_i I_i^{m_i}} \qquad (C.0.2)$$

表 C.0.1　用于冲击系数计算的常数

接地体形式		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

续表 C.0.1

接地体形式		a_i	b_i	m_i	p
杆塔自然接地	钢筋混凝土杆	1.35	0.053	1.5	0
	钢筋混凝土桩	1.35	0.053	1.5	0
	装配式钢筋混凝土基础（1 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（1 个塔脚）	1.35	0.053	1.5	0

附录D 表层衰减系数

D.0.1 表层衰减系数可按下列各式计算：

$$C_s = 1 + \frac{16b}{\rho_s}\sum_{n=1}^{\infty}[K^n \cdot R_{m(2nh_s)}] \qquad \text{（D.0.1-1）}$$

$$K = \frac{\rho - \rho_s}{\rho + \rho_s} \qquad \text{（D.0.1-2）}$$

$$R_{m(2nh_s)} = \frac{1}{\pi b^2}\int_0^b (2\pi x \cdot R_{r,z})\mathrm{d}x \qquad \text{（D.0.1-3）}$$

$$R_{r,z} = \frac{\rho_s}{4\pi b}\sin^{-1}\left[\frac{2b}{\sqrt{(r-b)^2+z^2}+\sqrt{(r+b)^2+z^2}}\right] \qquad \text{（D.0.1-4）}$$

式中：C_s——表层衰减系数，通过镜像法进行计算，也可通过图D.0.1中C_s受h和K变化的曲线查取，其中b取0.08m；

b——代表人脚长度的金属圆盘半径，m；

K——不同电阻率土壤的反射系数，可按式（D.0.2）计算；

$R_{m(2nh_s)}$——两个相似、平行、相距$2nh_s$且置于土壤电阻率为ρ的无限大土壤中的两个圆盘之间的互阻，Ω；

ρ_s——表层土壤电阻率，Ωm；

h_s——表层土壤厚度，m；

$2nh_s$——两个圆盘之间的距离，m；

ρ——下层土壤电阻率；

x——积分变量；

r, z——以圆盘1的中心为坐标原点时，圆盘2上某点的极坐标；

$R_{r,z}$——任意点（r, z）的电阻，Ω。

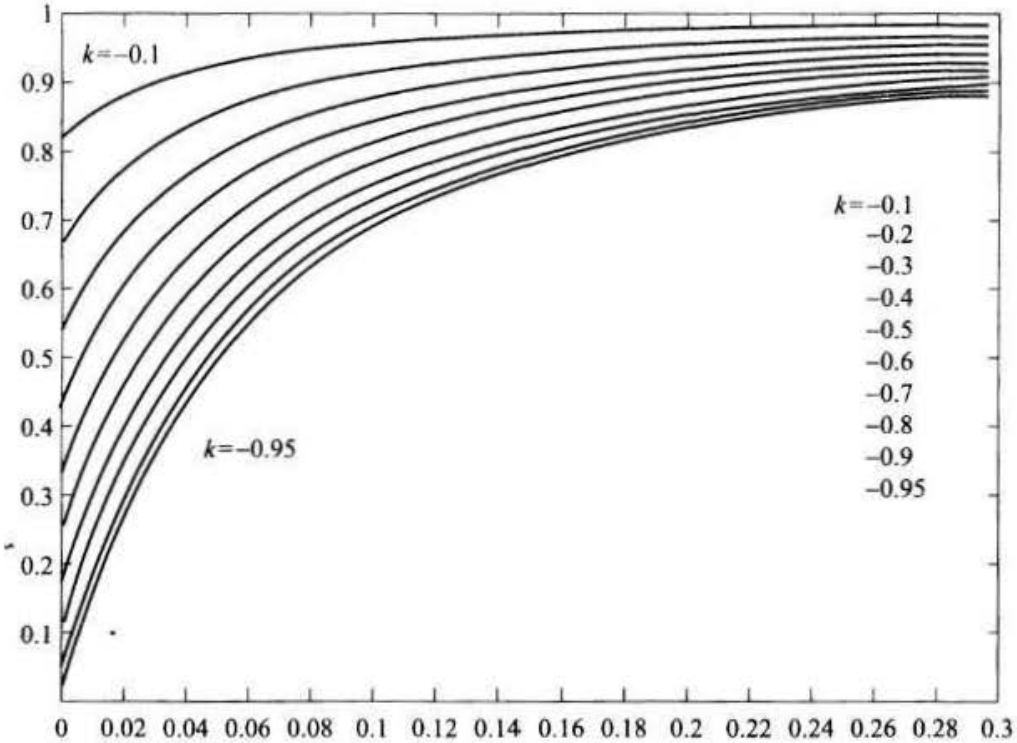


图 D.0.1　C_s 受 h_s 和 K 变化的曲线

D.0.2　工程中对地网上方跨步电位差和接触电位差允许值的计算精度要求不高（误差在 5%以内）时，也可采用式（D.0.2）计算：

$$C_s = 1 - \frac{0.09 \times \left(1 - \dfrac{\rho}{\rho_s}\right)}{2h_s + 0.09} \qquad \text{（D.0.2）}$$

附录 E　系数 k 的求取方法

E.0.1　本导则第 9.6.1 条第 2 款中式（9.6.1）中的 k 值可由式（E.0.1）计算：

$$k=\sqrt{\frac{Q_c(\beta+20)}{\rho_{20}}\ln\left(1+\frac{\theta_f-\theta_i}{\beta+\theta_i}\right)} \qquad (E.0.1)$$

式中：Q_c ——导线材料在 20℃的体积热容量，J/（℃ · mm^3）；

β ——导线在 0℃时的电阻率温度系数的倒数，取值见表 E.0.1，℃；

ρ_{20} ——导线材料在 20℃时的电阻率，取值见表 E.0.1，Ω · mm；

θ_i ——导线的初始温度，℃；

θ_f ——导线的最终温度，℃。

表 E.0.1　式（E.0.1）中的参数取值

材料	β（℃）	Q_c [J/（℃ · mm^3）]	ρ_{20}（Ω · mm）	$\sqrt{\frac{Q_c(B+20)}{\rho_{20}}}$ ($A\sqrt{S}$ / mm^2)
铜	234.5	3.45×10^{-3}	17.241×10^{-6}	226
铝	228	2.5×10^{-3}	28.264×10^{-6}	148
铅	230	1.45×10^{-3}	214×10^{-6}	41
钢	202	3.8×10^{-3}	138×10^{-6}	78

E.0.2　用法不同或运行情况不同的保护导体的 k 值，可按表 E.0.2-1～表 E.0.2-5 选取。

表 E.0.2-1　非电缆芯线且不与其他电缆成束敷设的绝缘保护导体的 *k*

导体绝缘	温度（℃）		*k*		
			导体材料		
	初始	最终	铜	铝	钢
70℃ PVC	30	160/140	143/133	95/88	52/49
90℃ PVC	30	160/140	143/133	95/88	52/49
90℃ 热固性材料	30	250	176	116	64
60℃橡胶	30	200	159	105	58
85℃橡胶	30	220	166	110	60
硅橡胶	30	350	201	133	73

注：温度中的较小数值适用于截面积大于 300mm² 的 PVC 绝缘导体。

表 E.0.2-2　与电缆护层接触但不与其他电缆成束敷设的裸保护导体的 *k*

导体绝缘	温度（℃）		*k*		
			导体材料		
	初始	最终	铜	铝	钢
PVC	30	200	159	105	58
聚乙烯	30	150	138	91	50
氯磺化聚乙烯	30	220	166	110	60

表 E.0.2-3　电缆芯线或与其他电缆或绝缘导体成束敷设的保护导体的 *k*

导体绝缘	温度（℃）		*k*		
			导体材料		
	初始	最终	铜	铝	钢
70℃ PVC	70	160/140	115/103	76/68	42/37
90℃ PVC	90	160/140	100/86	66/57	36/31

续表 E.0.2-3

导体绝缘	温度（℃）		k		
			导体材料		
	初始	最终	铜	铝	钢
90℃热固性材料	90	250	143	94	52
60℃橡胶	60	200	141	93	51
85℃橡胶	85	220	134	89	48
硅橡胶	180	350	132	87	47

注：温度中较小数值适用于截面积大于 300mm² 的 PVC 绝缘导体。

表 E.0.2-4 用电缆的金属护层（如铠装、金属护套、同心导体等）作保护导体的 *k*

导体绝缘	温度（℃）		k			
			导体材料			
	初始	最终	铜	铝	铅	钢
70℃ PVC	60	200	141	93	26	51
90℃ PVC	80	200	128	85	23	46
90℃热固性材料	80	200	128	85	23	46
60℃橡胶	55	200	144	95	26	52
85℃橡胶	75	220	140	93	26	51
硅橡胶	70	200	135	—	—	—
裸露的矿物护套	105	250	135	—	—	—

注：温度的数值也应适用于外露可触及的或与可燃性材料接触的裸导体。

E.0.2-5　所示温度不损伤相邻材料时的裸导体的 *k*

条件	初始温度（℃）	导体材料					
		铜		铝		钢	
		k	最高温度（℃）	*k*	最高温度（℃）	*k*	最高温度（℃）
可见的和狭窄的区域内	30	228	500	125	300	82	500
正常条件	30	159	200	105	200	58	200
有火灾危险	30	138	159	91	150	50	150

附录F　典型土壤、水及岩石电阻率

表 F.0.1　土壤和水的电阻率（Ωm）

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	陶黏土	10	5～20	10～100	3～10
	泥炭、泥灰岩、沼泽地	20	10～30	50～300	3～30
	捣碎的木炭	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	80～100	10～30
	黄土	200	100～200	250	30
	含砂黏土、砂土	300	100～200	1000 以上	30～100
	河滩中的砂	—	300	—	—
	煤	—	350	—	—
	多石土壤	400	—	—	—
	上层红色风化黏土、下层红色页岩（30%湿度）	500	—	—	—
	表层土夹石、下层砾石（15%湿度）	600	—	—	—
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	—	—	—

续表 F.0.1

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
岩石	砾石、碎石	5000	—	—	—
	多岩石山地	5000	—	—	—
混凝土	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	12 000～18 000	—	—	—
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	40～50	—	—	—
	地下水	20～70	—	—	—
	溪水	50～100	—	—	—
	河水	30～280	—	—	—
	污秽的冰	300	—	—	—

表 F.0.2　岩石电阻率（Ωm）

序号	名称	电阻率ρ	
		潮湿状态	干燥状态
1	花岗岩	10^3	10^6
2	正长岩	10^3	10^6
3	闪长岩	—	10^6

续表 F.0.2

序号	名称	电阻率ρ	
		潮湿状态	干燥状态
4	辉长岩	10^4	10^6
5	玄武岩	—	10^6
6	辉绿岩	10^4	10^7
7	安山岩	10^3	—
8	片麻岩	10^4	10^8
9	页岩	10^3	—
10	大理岩	10^4	10^8
11	石灰岩	10^3	10^8～10^9
12	砂岩	10^3	10^3～10^8

本导则用词说明

1 为便于在执行本条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1）表示很严格，非这样做不可的：
正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；

2）表示严格，在正常情况下均应这样做的：
正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；

3）表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：
正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；

4）表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引 用 标 准 名 录

《低压电气装置　第 4-41 部分：安全防护　电击防护》GB 16895.21

《交流电气装置的接地设计规范》GB 50065—2011

中华人民共和国能源行业标准

水力发电厂接地设计技术导则

NB / T 35050 — 2015

代替 DL/T 5091 — 1999

条 文 说 明

修 订 说 明

《水力发电厂接地设计技术导则》NB/T 35050—2015，经国家能源局 2015 年 4 月 2 日以第 3 号公告批准发布。

本导则是在《水力发电厂接地设计技术导则》DL/T 5091—1999 的基础上修订而成，上一版的主编单位是长江水利委员会长江勘测规划设计研究院，参编单位是成都水利水电勘测设计院，主要起草人员是舒廉甫、覃利明、李定中。

本导则修订过程中，编制组进行了广泛的调查研究，总结了我国水力发电厂接地设计技术的实践经验，同时参考了国内外相关标准。

为便于广大设计、施工、科研、学校等单位有关人员在使用本导则时能正确理解和执行条文规定，《水力发电厂接地设计技术导则》编制组按章、节、条顺序编制了本导则的条文说明，对条文规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项进行了说明。但是，本条文说明不具备与导则正文同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握导则规定的参考。

目　　次

2　术语 ……95
3　接地设计原则和程序 ……96
3.1　接地设计原则 ……96
4　接地电阻 ……97
4.1　有效接地系统的接地电阻 ……97
5　降低接地电阻的措施 …… 103
5.1　水下接地…… 103
5.3　深井接地…… 103
5.4　人工降阻…… 103
6　接地电阻计算 …… 104
6.1　工频接地电阻计算 …… 104
7　均压设计计算 …… 105
7.1　均压网设计 …… 105
7.2　接触电位差和跨步电位差允许值规定…… 105
7.3　接触电位差和跨步电位差计算 …… 106
8　转移电位隔离 …… 107
9　设备接地特殊要求 …… 108
9.1　GIS 接地 …… 108
9.2　离相式封闭母线接地…… 108
9.3　高压电缆线路的接地…… 108
9.4　变压器中性点接地 …… 108
9.5　监控、保护、通信及监测系统接地 …… 109
9.6　保护线 …… 109
9.7　等电位联结导体…… 109
9.8　移动式电力设备接地…… 109

9.9 携带式电力设备接地 …… 110
10 接地装置 …… 111
10.1 接地体 …… 111
10.3 接地线连接 …… 111
10.4 接地标志 …… 111
11 接地导体截面选择及防腐 …… 112
11.1 截面选择及计算 …… 112
11.2 接地体防腐 …… 114
12 接地装置工频参数测量 …… 116
12.1 接地电阻测量 …… 116
12.3 土壤电阻率测量 …… 116

2 术　　语

2.0.5　深井是指深度大于 20m 或深度大于接地网等效半径 1.5 倍的井。

本导则的术语仅保留水电行业专用术语，其余术语请参见《交流电气装置的接地设计规范》GB 50065—2011。

3 接地设计原则和程序

3.1 接 地 设 计 原 则

3.1.4 鉴于混凝土内的接地导体不易腐蚀，但引出混凝土部分的接地导体应考虑腐蚀的情况，因此，设计单位可根据工程实际情况自行考虑在混凝土内的接地体是否采用普通扁钢。

选择接地装置材料的出发点是接地网在水力发电厂的设计使用年限内要做到免维护。其尺寸要综合考虑接地故障电流热稳定的要求，也要考虑水力发电厂在设计使用年限内导体的腐蚀总量。材料的选择需由综合的技术经济分析确定。

接地导体（线）材料一般采用镀锌钢。镀锌钢的镀锌层必须采用热镀锌的方法，且镀层要有足够的厚度，以满足接地装置设计使用年限的要求。已有的研究表明，土壤电阻率、类别、含盐量、酸碱度和含水量等因素会导致钢材质接地装置的腐蚀。确定水力发电厂厂址土壤的腐蚀率是确定接地装置截面尺寸的基础。接地设计应按厂址当地土壤腐蚀条件选择适当的材料和防腐蚀措施。

接地网采用铜材一般较贵，但铜材比钢材耐腐蚀性能好，在腐蚀严重地区不用钢而代之以铜是合理的。

3.1.7 避雷器安装在不同位置情况下可采取不同的降低冲击接地阻抗的措施。在能够设置集中接地装置的情况下应设置集中接地装置。在无法设置集中接地装置时，应采取相应的措施，比如布置在 GIS 室内的避雷器，在 GIS 室位于楼板上时，由于无法设置集中接地装置，可就近与楼板上的接地网相连，并尽可能近地与地下洞室的锚杆或者地面集中接地装置连接。

3.1.8 引自《交流电气装置的接地设计规范》GB 50065—2011。

4 接 地 电 阻

4.1 有效接地系统的接地电阻

4.1.3 由于我国电网的发展，系统短路容量迅速扩大，在一般情况下系统接地故障后流经水力发电厂接地网的电流 I 已达 10kA 甚至更高，因此式（4.1.1）很难满足。这次修订时，参考有关科研成果和国内外标准以及工程经验等将水力发电厂接地网地电位升高允许值适当地加以提高。但这是有条件的，即要以符合本导则第 4.1.3 条的要求为前提。

本条第 2 款依据《交流电气装置的接地设计规范》GB 50065—2011，提高水力发电厂接地网地电位升高允许值时，应考虑站用变压器 0.4kV 侧中性点的接地与站用变压器保护接地共用条件下人身与设备的安全问题。对于 $1200/I \leqslant R \leqslant 2000/I$ 的情况，为确保人身和低压电气装置的安全，低压（380/220V）应采用 TN 系统且低压电气装置采用（含建筑物钢筋的）保护等电位联结系统的要求。低压 TN 系统发生接地故障时接触电压可能达到 100V～150V，从人身安全考虑，也应采取保护等电位联结。对于有效接地系统和低电阻接地系统，当满足 $R \leqslant 1200/I$ 时，保护接地接至变电站接地网的站用变压器的低压接地系统的形式不予限制，但低压电气装置应采用（含建筑物钢筋的）保护总等电位联结系统。

本条第 3 款依据《交流电气装置的接地设计规范》GB 50065—2011，水力发电厂接地网地电位升高直接与二次系统的安全性相关。系统发生接地故障时接地网中流动的电流，将在二次电缆的芯线—屏蔽层之间，或二次设备的信号线之间，或电源线与地之间产生电位差。当此电位差超过二次电缆或二次设备绝缘的工频

耐受电压时，二次电缆或设备将会发生绝缘破坏。因此，必须将极限电位升高控制在二次系统安全值之内。

一般二次电缆工频耐受电压较高（≥5kV），其耐受时间为1min。二次设备，如综合自动化设备，其工频绝缘短时（1min）耐受电压为2kV，其耐受时间为1min。从安全出发，二次系统的绝缘耐受电压可取2kV。

二次系统在短路时承受的地电位升高，还取决于二次电缆的接地方式。

二次电缆屏蔽层单端接地时，电缆屏蔽层中没有电流流过，接地故障时二次电缆芯线上的感应电位很小，二次电缆承受的电位差即为地电位升高。该电位差施加在二次电缆的绝缘上，因此地电位升高直接决定于二次电缆绝缘的交流耐压及二次设备绝缘的交流耐压值。

当电缆的屏蔽层双端接至接地网时，接地故障电流注入接地网会有部分电流从电缆的屏蔽层中流过，将在二次电缆的芯线上感应较高的电位，从而使作用在二次电缆的芯—屏蔽层电位差减小。对水力发电厂二次电缆的不同布置方式及不同接地故障点位置，清华大学通过大量的计算表明，双端接地电缆上感应的芯—屏蔽层电位通常不到地网电位升高的20%。甚至对于土壤电阻率为50Ωm左右，边长大于100m的接地网，即使在二次电缆屏蔽层接地点附近发生接地故障时，芯—屏蔽层电位小于地网电位升高的40%。目前，水力发电厂已实现保护在电气装置处就近设置，水力发电厂内的二次电缆一般都较短，如果二次电缆的长度小于接地网边长的一半，则在最严酷的条件下，芯—屏蔽层电位差也小于40%甚至更小。

因此，采用二次电缆屏蔽层双端接地，可以将地电位升高放宽到2kV/（40%）=5kV。采用二次电缆屏蔽层双端接地的方式，即使短路时地电位升高达到5kV，但作用在二次电缆芯—屏蔽层之间和二次设备上的电位差只有2kV，满足了二次系统安全的要求。

二次电缆屏蔽层双端接地带来的一个问题是接地故障时有部分故障电流流过二次电缆的屏蔽层。如果故障电流较大，则有可能烧毁屏蔽层。应在电缆沟中与二次电缆平行布置一根扁铜或铜绞线，且接至接地网。二次电缆与扁铜可靠连接。这样接地故障时，由于扁铜的阻抗比二次电缆屏蔽层的阻抗小得多，因此故障电流主要从扁铜中流过，而流过二次电缆的屏蔽层的电流较小。可以消除屏蔽层双端接地时可能烧毁二次电缆的危险。

本条第5款依据《交流电气装置的接地设计规范》GB 50065—2011，当站用变压器向厂外低压用户供电时，由于站用变压器外壳已连接至水力发电厂接地网，为此，应避免水力发电厂接地网过高的地电位升高对站用变压器低压绕组造成反击。一般条件下，10/0.4kV站用变压器的0.4kV侧的短时交流耐受电压仅为3kV（例如《电力变压器　第11部分：干式变压器》GB 1094.11对0.4kV侧的短时交流耐受电压就规定为该值）。为此，当接地网地电位升高超过2kV时规定：10/0.4kV站用变压器的0.4kV侧的短时交流耐受电压应比水力发电厂接地网地电位升高超出40%，以确保水力发电厂接地网地电位升高不会反击至低压系统。而向厂外供电用低压线路要采用架空线路，站用变压器低压绕组中性点不在厂内接地，改在厂外适当的地方接地。

对于与水力发电厂连接的通信线路，也要考虑地电位升高的高电位引出及其隔离措施。目前水力发电厂的通信线路一般采用光缆通信线路，此问题可不予考虑。未采用光缆通信线路时，则必须采用专门的隔离变压器。其一、二次绕组间绝缘的交流1min耐压值不低于15kV。

对本条中提及的“专门计算”在设计中的具体操作给出如下参考意见：

1 关于接地计算采用的专用程序。目前，水平或垂直分层的多层土壤中接地网性能的数值仿真方法已经非常成熟，包括土壤分层结构、接地电阻、地电位升高分布、跨步电位差、接触电位

差、地表任意点的电位等均可以计算。

一般来说，土壤都可以用分层模型来表示，对于 n 层土壤则有 $2n-1$ 个未知量。土壤建模的过程也就是用最小二乘法对测量点进行拟合的过程。在数学上这是一个反演问题，已知响应，需要由响应反推得到实际土壤的分层模型。反演过程实际上就是假设多种分层结构模型，由假设模型的计算结果与实测结果比较，调整假设模型，直到二者之间的误差达到一定的要求。

因此，土壤分层的原理是：首先对需要建模的土壤进行测量，得到土壤表面实际的视在电阻率。用最小二乘法建立由测量值 ρ_m 及由未知土壤模型建立的计算值 ρ_c 所构成的目标函数：

$$f(\rho_1,\rho_2,\cdots,\rho_n,h_1,h_2,\cdots,h_{n-1})=\sum_{j=1}^{N}\left[\frac{\rho_m(r_j)-\rho_c(r_j)}{\rho_m(r_j)}\right]^2 \qquad (4\text{-}1)$$

式中：$f(\rho_1,\rho_2,\cdots,\rho_n,h_1,h_2,\cdots,h_{n-1})$ ——目标函数；

$\rho_1,\rho_2,\cdots\rho_n$ ——各层土壤电阻率；

$h_1,h_2,\cdots h_{n-1}$ ——各层土壤厚度；

n ——土壤层数；

N——测量得到的土壤表面视在电阻率个数。

最后，利用无约束非线性最优化方法目标函数进行寻优，得到最佳土壤模型，也就是得到了土壤的结构。

接地电阻、地电位升高分布、跨步电位差、接触电位差和地表任意点的电位等的分析可以通过电磁场数值计算完成。

土壤中任一点的电位是土壤中向外泄漏电流的源产生的。接地系统就是一个向外泄漏电流的源。其附近任意点的电位都是由它产生的，求出接地体上的泄漏电流分布就可以求得接地电阻、地电位升高分布、跨步电位差、接触电位差和地表任意点的电位等。因此，得到导体中泄漏电流的分布是关键。实际的接地体中泄漏电流的分布是不均匀的，通常将接地体分为若干短的导体棒，

来分段逼近实际的电流分布。最基本的方法是按照接地体之间的相互交叉情况分段。使用导体表面上电位的连续性来建立方程组，即在导体段表面上两点间的电位差是由各导体段上的泄漏电流决定的，而导体段内这两点间的电位差是由导体本身的阻抗和流过导体段上的轴向电流产生的，这两个电位差应当相等，同时导体段上的轴向电流可以用各导体段上的泄漏电流表示，从而建立了一组方程，解之可得接地网上的泄漏电流分布。

依据上面的思想，在每段导体增加一个中间节点，在中间节点和端节点间添加金属导体的内阻，在中间节点上连接由所有泄漏电流产生的电位决定的电压源，则可按电路理论中的节点法列出节点方程进行求解。

假设每剖分导体的泄漏电流在中间节点流入大地，可得中间节点上电压源与泄漏电流的关系为

$$[U^{\mathrm{M}}]=[R^{\mathrm{MM}}][I^{\mathrm{M}}] \tag{4-2}$$

上标 M 表示中间节点，R^{MM} 电阻矩阵，由土壤结构决定，当 $i=j$ 时，R_{ij} 为第 i 段自电阻，二者不等时为导体剖分段间的互阻。

金属的内阻可以很容易由导体尺寸及其电导率求得，考虑中间节点后的接地系统网络的节点方程为

$$\begin{bmatrix} G^{\mathrm{MM}} & G^{\mathrm{MT}} \\ G^{\mathrm{TM}} & G^{\mathrm{TT}} \end{bmatrix}\begin{bmatrix} U^{\mathrm{M}} \\ U^{\mathrm{T}} \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} -I^{\mathrm{M}} \\ I^{\mathrm{T}} \end{bmatrix} \tag{4-3}$$

式（4-3）中上标 T 表示剖分段端部节点；I^{T} 为端部节点的注入电流列向量，只有短路节点有注入接地系统的电流，其余节点的注入电流都为零；G^{MM} 为中间节点的自导对角矩阵，其元素可以由金属导体的电阻公式计算；G^{MT} 为中间节点和端部节点间的互导，当节点 i 和 j 相连时，元素值为二者间导体段的自导纳，元素值为负，当节点不连时，元素值为零；G^{TM} 为 G^{MT} 的转置矩阵；G^{TT} 为端部节点的自导纳对角矩阵。

由上述两个方程组可以求解得到剖分导体段的中间点和端部

点的电位及中间点流入大地的泄漏电流为

$$\begin{bmatrix} G^{MM} & G^{MT} & E \\ G^{TM} & G^{TT} & 0 \\ -E & 0 & R^{MM} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U^{M} \\ U^{T} \\ I^{M} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ I^{T} \\ 0 \end{bmatrix} \tag{4-4}$$

分析得到各导体段的入地电流后，按照电场理论就可以计算接地系统在任一点产生的电位，进而求得接地电阻、地电位升高分布、跨步电位差、接触电位差和地表任意点的电位等。对于并联电缆和扁铜的情况，可以先求得两个连接点的电位和由这两个点看入的接地系统等效内阻，然后按照戴维南等效电路求得流过电缆或扁铜的电流。

5 降低接地电阻的措施

5.1 水 下 接 地

5.1.2 更新了水下接地网的布置方式。

5.3 深 井 接 地

5.3.3 对于深井接地体的设置进行了说明。

5.4 人 工 降 阻

5.4.3 参照《水利水电工程接地设计规范》SL 587—2012 的 5.4.4 条进行修订。

6 接地电阻计算

6.1 工频接地电阻计算

6.1.1 参照《交流电气装置的接地设计规范》GB 50065—2011 的附录 A.0.3 条，修订了均匀土壤中水平接地极为主边缘闭合的复合接地极（接地网）的接地电阻计算公式。

6.1.5 对于大型水力发电厂的接地电阻计算提出了建议方式。接地阻抗计算时应考虑水力发电厂无水、低水位、初期发电等各种情况对电厂接地电阻的要求。

7 均压设计计算

7.1 均压网设计

7.1.1 更新了将跨步电位差允许值作为均压网设计的安全标准。

7.1.2 根据《水利水电工程接地设计规范》SL 587—2012 第 7.1.2 条进行修订。

7.1.3 本条是对一般情况下均压网埋设深度的要求，应根据工程实际情况确定均压网的埋设深度。如楼板内的均压网，应敷设在楼板混凝土面层钢筋以下；冻土层地区的均压网，宜根据所处地的实际情况敷设在冻土层以下。

7.1.5 根据《水利水电工程接地设计规范》SL 587—2012 的 7.1.4 条进行修订。

7.1.7 新增利用楼板钢筋作为均压网的情况及均压网布置要求。

7.1.8 新增均压网四周设置围墙或护栏的情况及均压网布置要求。

7.2 接触电位差和跨步电位差允许值规定

7.2.1 参照《交流电气装置的接地设计规范》GB 50065—2011 第 4.2.2 条进行修订。

热稳定校验用的时间可按下列规定计算：

1 发电厂和变电站的继电保护装置配置有 2 套速动主保护、近接地后备保护、断路器失灵保护和自动重合闸时，t_e 应按式（7-1）取值：

$$t_e \geqslant t_m + t_f + t_0 \tag{7-1}$$

式中：t_m——主保护动作时间（s）；

t_f——断路器失灵保护动作时间（s）；

t_0——断路器开断时间（s）。

2 配有 1 套速动主保护、近或远（或远近结合的）后备保护和自动重合闸，有或无断路器失灵保护时，t_e应按式（7-2）取值：

$$t_e \geqslant t_0 + t_r \tag{7-2}$$

式中：t_r——第一级后备保护的动作时间（s）。

7.2.2 参照《交流电气装置的接地设计规范》GB 50065—2011 第 4.2.2 条进行修订。

7.3 接触电位差和跨步电位差计算

7.3.1 新增均压网接触电位差和跨步电位差的计算方法。

8 转移电位隔离

8.2 参照《水利水电工程接地设计规范》SL 587—2012 第 8.2.2 条进行修订。

9 设备接地特殊要求

9.1 GIS 接 地

9.1.6 参照《交流电气装置的接地设计规范》GB 50065—2011 第4.4.2 条和第 4.4.5 条进行修订。

9.1.7 参照《交流电气装置的接地设计规范》GB 50065—2011 第4.4.6 条进行修订。

9.1.8 新增 GIS 设备接地设计应考虑到的因素。

9.2 离相式封闭母线接地

9.2.1 参照《水利水电工程接地设计规范》SL 587—2012 第 9.2.1 条进行修订。

9.2.2 参照《水利水电工程接地设计规范》SL 587—2012 第 9.2.2 条进行修订。

9.2.3 参照《水利水电工程接地设计规范》SL 587—2012 第 9.2.3 条进行修订。

9.2.4 参照《水利水电工程接地设计规范》SL 587—2012 第 9.2.5 条进行修订。

9.3 高压电缆线路的接地

本节参照《水利水电工程接地设计规范》SL 587—2012 第 9.3 节进行修订。

9.4 变压器中性点接地

本节参照《国家电网公司十八项电网重大反事故措施》(修订

版，2011 年 12 月）第 14.1.1.5 条进行修订。

9.5 监控、保护、通信及监测系统接地

9.5.2 参照《国家电网公司十八项电网重大反事故措施（修订版）》，2011 年 12 月第 15.7.3 条进行修订。

9.5.3 参照《国家电网公司十八项电网重大反事故措施（修订版）》，2011 年 12 月第 15.7.5 条进行修订。

9.5.4 参照《国家电网公司十八项电网重大反事故措施（修订版）》，2011 年 12 月第 15.7.12 条进行修订。

9.5.5 参照《国家电网公司十八项电网重大反事故措施（修订版）》，2011 年 12 月第 15.7.13 条进行修订。

9.5.6 参照《水利水电工程接地设计规范》SL 587—2012 第 9.6.3 条进行修订。

9.5.7 参照《水利水电工程接地设计规范》SL 587—2012 第 9.6.4 条进行修订。

9.5.9 参照《水利水电工程接地设计规范》SL 587—2012 第 9.6.5 条进行修订。

9.6 保 护 线

本节参照《交流电气装置的接地设计规范》GB 50065—2011 第 8.2 条进行修订。

9.7 等电位联结导体

本节参照《交流电气装置的接地设计规范》GB 50065—2011 第 8.3 条进行修订。

9.8 移动式电力设备接地

本节参照《水利水电工程接地设计规范》SL 587—2012 第 9.5

条进行修订。

9.9 携带式电力设备接地

本节参照《水利水电工程接地设计规范》SL 587—2012 第 9.5 条进行修订。

10 接 地 装 置

10.1 接 地 体

10.1.1 补充的自然接地体均为水力发电厂中常见的设施。

10.3 接 地 线 连 接

10.3.1 铜绞线的连接方式目前主要采用的有放热焊接和螺栓连接两种，放热焊接施工工艺复杂、施工环境要求高，价格也较昂贵；螺栓连接方式施工条件相对简单。目前，主接地网通常采用放热焊接方式，与设备连接通常采用螺栓连接方式，以方便与设备的连接或者断开。

10.3.4 补充螺栓连接方式时搭接面的要求，满足实行多年的《电气装置安装工程　母线装置施工及验收规范》GB 50149—2010 中的相关要求。

10.3.7 补充了用作接地体的混凝土内的钢筋的具体要求。

10.4 接 地 标 志

10.4.1 根据《人机界面标志标识的基本和安全规则　导体颜色或字母数字标识》GB 7947—2010 中的要求修改。

11 接地导体截面选择及防腐

11.1 截面选择及计算

11.1.1 根据 DL/T 621—1997 第 6.1.5 条而来。表 11.1.1-1 参考欧洲标准 EN 50164-2 Lightning Protection System Components (LPSC)—Part 2：Requirements for conductors, earth electrodes and earth electrode accessories《防雷系统组成部分——第二部分：对导体、接地极和接地 极附件的要求）August 2002，取消了地上导体分为室内和室外的分法，只考虑地上和地下两类，及其对接地极的要求。

表 11.1.1-2 参考欧洲标准 EN 50164-2 Lightning Protection System Components (LPSC)—Part 2: Requirements for conductors, earth electrodes and earth electrode accessories《防雷系统组成部分——第二部分：对导体、接地极和接地极附件的要求）August 2002 和《交流变电站接地安全导则》IEEE Std80—2000，给出了对铜材料的要求。

11.1.9 本导则式（11.1.9-1）引自《交流电气装置的接地》DL/T 621—1997 的附录 C。式中 I_{jd} 为流过接地导体（线）计及直流分量的最大接地故障不对称电流有效值（A）。《交流变电站接地安全导则》IEEE Std80—2000 中 11.3.1 的式（37）给出了计算热稳定的公式。经推导由其得到热稳定系数 C 值的计算式如下：

$$C = 10\sqrt{\frac{TCAP}{\alpha_r \times \rho_r}\ln\left(\frac{K_0 + T_m}{K_0 + T_\alpha}\right)} \qquad (11\text{-}1)$$

式中：$TCAP$——单位体积热容常数，J/cm³℃；

K_0——$1/\alpha_0$ 或（$1/\alpha_0 - T_r$）（℃），其中，α_0 表示温度为

0℃时的电阻率温度系数（1/℃），T_r 表示材料物理常数的参考温度℃；

T_m ——最大允许温度，℃；

α_r ——温度为参考温度 T_r 时的电阻率温度系数（1/℃）；

ρ_r ——温度为参考温度 T_r 时接地导体的电阻率（μΩ·cm）；

T_a ——环境温度，℃。

按照《交流变电站接地安全导则》IEEE Std80—2000，在表11-1中给出了用于 C 值计算的有关材料的参数。

表 11-1　用于 C 值计算的有关材料的参数

材料	材料导电率（%）	T_r=20℃时 α_r（1/℃）	0℃时 K_0（℃）	熔化温度（℃）	T_r=20℃时 ρ_r（μΩ·cm）	TCAP 热容量（J/cm³℃）
铜，韧化，软拉	100.0	0.003 93	234	1083	1.72	3.42
铜镀钢绞线	40	0.003 78	245	1084	4.4	3.85
铜镀钢绞线	30	0.003 78	245	1084	5.86	3.85
铜镀钢棒	20	0.003 78	245	1084	8.62	3.85
镀锌钢	8.6	0.003 2	293	419	20.1	3.93

铜材的 C 值与采用的焊接方式密切相关。过去铜材一般采用铜焊焊接，铜材最大允许温度 T_m 取450℃。参照表11-1中的材料参数，取环境温度 T_a=40℃并代入式（11-1），可得 C=215.141，它与《交流电气装置的接地》DL/T 621—1997中的210相当接近。

目前铜材焊接方式已有很大进步，英国接地标准（BS7430-1998：Code of Practice for Earthing）规定，铜材采用焊接（非铜焊焊接）方式，最大允许温度可采用500℃、600℃直至700℃。为节约铜材，在本导则中对铜材推荐采用放热焊接方式。考虑土壤对铜腐蚀的因素，正如《交流变电站接地安全导则》IEEE Std80—2000中11.3.3所指出“应该仔细检查导体暴露在腐蚀性土壤性环

境的可能性。因为即使合理的导体尺寸和正确的连接方法已经满足标准要求，仍然需要选择更大的导体尺寸以补偿土壤腐蚀环境中，导体截面积在接地装置设计寿命内的逐渐减少”，并参考BS7430—1998，本导则中规定对铜材采用放热焊接方式时的最大允许温度，视土壤腐蚀的轻重程度而定，经验算可分别取为900℃、800℃和700℃，其相应的 C 值分别为268、259和249。

本导则中还对国内目前已采用的铜镀钢绞线（导电率 40%和30%）和铜镀钢棒（导电率 20%），按与铜材相同的最大允许温度和表11-1中相应的参数给出了其 C 值。

至于其他导电率的铜镀钢绞线、铜镀钢棒和采用连铸以及套管冷拉工艺等制造的铜覆钢材料的 C 值，应按产品技术条件提供的材料参数和采用的 T_m 按式（11-1）计算确定。

由于铜或铜覆钢材主要用于土壤腐蚀较严重地区，因此设计时宜按实际腐蚀情况校核所选择的截面并留有相当的裕度，以确保在设计使用年限内接地导体（线）和接地极的最大温度不高于其熔化温度。

铝与钢的 C 值仍维持《交流电气装置的接地》DL/T 621—1997附录C中的相应值，即120和70。它们对应的最大允许温度为分别为300℃和400℃。

本导则式（11.1.9-1）就是在上述基础上获得的。

还应强调的是，当采用放热焊接方式时，铜或铜覆钢材的最大允许温度已提升较高，因此应严格遵循放热焊接工艺、使用质量合格的焊接材料，以确保焊接头的质量。

本导则表11.1.9-1由《交流电气装置的接地》DL/T 621—1997的附录C修订而得；表11.1.9-2由《交流电气装置的接地设计规范》GB 50065—2011的附录E修订而得。

11.2 接 地 体 防 腐

11.2.2 根据GB 50169第3.2.5条和第3.3.3条修订。

11.2.3 根据近年我国华北电网、江苏、河南和广东等地企业标准和国家电网公司反事故措施中已明确推荐采用铜材或铜镀钢材料的规定，经技术经济比较，接地体可因地制宜选择。1988 年 8 月投产的华能大连发电厂接地装置采用的材质是退火铜绞线，未采取特殊防腐措施。接地引下线/水平接地极的截面为 $2\times150mm^2$ 和 $250mm^2$ 两种。垂直接地极为 1.2m 长的镀铜钢棒，虽然该厂的土壤为碱性土壤，但未出现问题。广东江门 500kV GIS 变电站接地网水平接地极采用 4mm×30mm 的扁铜。设备接地引下线采用 4mm×60mm 的扁铜，已运行 20 余年，情况仍然良好。由于扁铜太软，在进行垂直接地极施工时采用铜镀钢棒。接地网采用铜材和铜覆钢材一般认为较贵。然而铜和铜覆钢材比钢材耐腐蚀性能好，在腐蚀严重地区不用钢而代之以铜将是合理的。

12 接地装置工频参数测量

12.1 接 地 电 阻 测 量

12.1.1 参照《接地装置特性参数测量导则》DL/T 475—2006 第4.2条、第6.6.1条，第6.6.2条修订。

12.1.3 四极法由于运用效果不好被取消，增加了电位降法测接地阻抗，该方法是国家标准 GB/T 179491.1—2000 中优先推荐的，其原理是逐步找到电位降曲线平滑点，比三极法、直线法等更合理。东北电力科学研究院有限公司应用多年，效果良好。

12.3 土壤电阻率测量

12.3.2 引自《接地装置特性参数测量导则》DL/T 475—2006 第8.1.2条。

12.3.3 引自《接地装置特性参数测量导则》DL/T 475—2006 第8.1.3条。

12.3.4 引自《接地装置特性参数测量导则》DL/T 475—2006 第8.3.1条。

NB / T 35050 — 2015

代替 DL / T 5091 — 1999

155123.2647

定价：33.00 元

上架建议：水力发电

中国电力出版社官方微信

掌上电力书屋