

《交流电气装置的接地设计规范》GB / T

50065-2011

实施时间：

2012-06-01

目录

[前 言](#)

[1 总 则](#)

[2 术 语](#)

[3 高压电气装置接地](#)

[3.1 一般规定](#)

[3.2 保护接地的范围](#)

[4 发电厂和变电站的接地网](#)

[4.1 110kV 及以上发电厂和变电站接地网设计的一般要求](#)

[4.2 接地电阻与均压要求](#)

[4.3 水平接地网的设计](#)

[4.4 具有气体绝缘金属封闭开关设备变电站的接地](#)

[4.5 雷电保护和防静电的接地](#)

[5 高压架空线路和电缆线路的接地](#)

[5.1 高压架空线路的接地](#)

[5.2 6kV ~ 220kV 电缆线路的接地](#)

[6 高压配电电气装置的接地](#)

[6.1 高压配电电气装置的接地电阻](#)

[6.2 高压配电电气装置的接地装置](#)

[7 低压系统接地型式、架空线路的接地、电气装置的接地电阻和保护总](#)

[等电位联结系统](#)

[7.1 低压系统接地的型式](#)

[7.2 低压架空线路的接地、电气装置的接地电阻和保护总等电位联结系统](#)

[8 低压电气装置的接地装置和保护导体](#)

[8.1 接地装置](#)

[8.2 保护导体](#)

[8.3 保护联结导体](#)

[附录 A 土壤中人工接地极工频接地电阻的计算](#)

[附录 B 经发电厂和变电站接地网的入地故障电流及地电位升高的计算](#)

[附录 C 表层衰减系数](#)

[附录 D 均匀土壤中接地网接触电位差和跨步电位差的计算](#)

[附录 E 高压电气装置接地导体\(线\)的热稳定校验](#)

[附录 F 架空线路杆塔接地电阻的计算](#)

[附录 G 系数 k 的求取方法](#)

[附录 H 低压接地配置、保护导体和保护联结导体](#)

[附录 J 土壤和水的电阻率参考值](#)

[本规范用词说明](#)

[引用标准名录](#)

前 言

前 言

本规范是根据原建设部《关于印发〈二 00 四年工程建设国家标准制订、修订计划〉的通知》(建标[2004]67 号)的要求,由中国电力科学研究院会同有关单位对原国家标准《工业与民用电力装置的接地设计规范》GBJ 65—83 进行修订而成的。

本规范在修订过程中,修订组经过调查研究,广为搜集近年来随着电力系统的发展对电气工程中交流电气装置接地技术提出的新要求以及相关科研成果和工程的实践经验,在原有标准的基础上增添了许多新的内容。在认真处理征求意见稿反馈意见后提出送审稿,最后经审查定稿。

本规范共分 8 章和 9 个附录,主要技术内容包括:总则,术语,高压电气装置接地,发电厂和变电站的接地网,高压架空线路和电缆线路的接地,高压配电电气装置的接地,

低压系统接地型式、架空线路的接地、电气装置的接地电阻和保护总等电位联结系统，低压电气装置的接地装置和保护导体等。

本规范本次修订的主要内容是：

1.对本规范的适用范围作了修订，由适用于 35kV 及以下，扩大到适用于 750kV 及以下电压等级。同时由于接地要求的不同，将交流电气装置按系统标称电压的区别划分为高压(1kV 以上至 750kV)和低压(1kV 及以下)电气装置。

2.根据条文内容的修订，适当增加了术语。

3.规定了接地的种类。随着本规范适用范围的扩大，也将高压电气装置的保护接地的范围加以扩大。

4.提出了 110kV 及以上变电站接地网设计的一般要求。对有效接地系统变电站接地网提出了地电位升高的限值和均压要求。针对接地装置防腐蚀要求引入了铜和铜覆钢材料。补充了具有气体绝缘金属封闭开关设备(GIS)变电站的接地，以及发电厂和变电站雷电保护与防静电的接地要求。

5.对高压架空线路和电缆线路的接地作出了规定。

6.对高压配电电气装置的接地作出了规定。

7.参照 IEC 有关标准和现行国家标准提出低压系统接地型式、架空线路的接地、低压电气装置的接地电阻和保护总等电位联结的规定。

8.参照 IEC 有关标准和现行国家标准提出低压电气装置的接地装置和保护导体的要求。

本规范由住房和城乡建设部负责管理，由中国电力企业联合会标准化管理中心负责具体管理，由中国电力科学研究院负责具体技术内容的解释。本规范在执行过程中，请各单

位结合工程实践。认真总结经验，如有意见或建议请寄送中国电力科学研究院(地址：北京市海淀区小营东路 15 号；邮政编码：100192)，以便今后修订时参考。

本规范主编单位、参编单位、主要起草人和主要审查人：

主编单位：中国电力科学研究院

参编单位：清华大学

主要起草人：杜澍春 陆家榆 何金良 鞠 勇 郭 剑 葛 栋 曾 嵘

主要审查人：方 静 王 茁 陈俊章 李 晖 董晓辉 梁学宇 曾小超 陈宏明 彭 勇 黄

宝莹 丁 杰 马静波 张惠寰 巴 涛 韩敬军 刘庆时 王荣亮 陆宠惠 刘稳坚 陈光华 王碧云

王厚余 黄妙庆 刘 继

1 总 则

1 总 则

1.0.1 为使交流电气装置的接地设计在电力系统运行和故障时能保证电气装置和人身安全，做到技术先进、经济合理，制定本规范。

▼ 点击展开条文说明

1.0.2 本规范适用于交流标称电压 1kV 以上至 750kV 发电、变电、送电和配电高压电气装置，以及 1kV 及以下低压电气装置的接地设计。

▼ 点击展开条文说明

1.0.3 交流电气装置的接地设计，应遵循规定的设计步骤。设计方案、接地导体(线)和接地极材质的选用等，应因地制宜。土壤情况比较复杂地区的重要发电厂和变电站的接地网，宜经经济技术比较后确定设计方案。

▼ 点击展开条文说明

1.0.4 交流电气装置的接地设计，除应符合本规范外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

▼ [点击展开条文说明](#)

2 术 语

2 术 语

▼ [点击展开条文说明](#)

2.0.1 接地 earth

在系统、装置或设备的给定点与局部地之间做电连接。

2.0.2 系统接地 system earthing

电力系统的一点或多点的功能性接地。

2.0.3 保护接地 protective earthing

为电气安全，将系统、装置或设备的一点或多点接地。

2.0.4 雷电保护接地 lightning protective earthing

为雷电保护装置(避雷针、避雷线和避雷器等)向大地泄放雷电流而设的接地。

2.0.5 防静电接地 static protective earthing

为防止静电对易燃油、天然气贮罐和管道等的危险作用而设的接地。

2.0.6 接地极 earthing electrode

埋入土壤或特定的导电介质(如混凝土或焦炭)中与大地有电接触的可导电部分。

2.0.7 接地导体(线) earthing conductor

在系统、装置或设备的给定点与接地极或接地网之间提供导电通路或部分导电通路的导体(线)。

2.0.8 接地系统 earthing system

系统、装置或设备的接地所包含的所有电气连接和器件。

2.0.9 接地装置 earth connection

接地导体(线)和接地极的总和。

2.0.10 接地网 earth-electrode network

接地系统的组成部分，仅包括接地极及其相互连接部分。

2.0.11 集中接地装置 concentrated earth connection ; concentrated grounding connection

为加强对雷电流的散流作用、降低对地电位而敷设的附加接地装置，敷设 3 根 ~ 5 根垂直接地极。在土壤电阻率较高的地区，则敷设 3 根 ~ 5 根放射形水平接地极。

2.0.12 接地电阻 earthing resistance

在给定频率下，系统、装置或设备的给定点与参考地之间的阻抗的实部。

2.0.13 工频接地电阻 power frequency earthing resistance

根据通过接地极流入地中工频交流电流求得的电阻。

2.0.14 冲击接地电阻 impulse earthing resistance

根据通过接地极流入地中冲击电流求得的接地电阻(接地极上对地电压的峰值与电流的峰值之比)。

2.0.15 地电位升高 earth potential rise

电流经接地装置的接地极流入大地时，接地装置与参考地之间的电位差。

2.0.16 接触电位差 touch potential difference

接地故障(短路)电流流过接地装置时，大地表面形成分布电位，在地面上到设备水平距离为 1.0m 处与设备外壳、架构或墙壁离地面的垂直距离 2.0m 处两点间的电位差。

2.0.17 最大接触电位差 maximal touch potential difference

接地网孔中心对接地网接地极的最大电位差。

2.0.18 跨步电位差 step potential difference

接地故障(短路)电流流过接地装置时，地面上水平距离为 1.0m 的两点间的电位差。

2.0.19 最大跨步电位差 maximal step potential difference

接地网外的地面上水平距离 1.0m 处对接地网边缘接地极的最大电位差。

2.0.20 转移电位 diverting potential

接地故障(短路)电流流过接地系统时，由一端与接地系统连接的金属导体传递的接地系统对参考地之间的电位。

2.0.21 外露可导电部分 exposed conductive part

设备上能触及到的可导电部分，它在正常情况下不带电，但在基本绝缘损坏时会带电。

2.0.22 外界可导电部分 extraneous conductive part

非电气装置的，且易于引入电位的可导电部分，该电位通常为局部电位。

2.0.23 中性导体 neutral conductor

电气上与中性点连接并能用于配电的导体。

2.0.24 保护导体 protective conductor(PE)

为了安全目的设置的导体。

2.0.25 保护中性导体 PEN conductor(PEN)

具有中性导体和保护导体两种功能的导体。

2.0.26 等电位联结 equipotential bonding

为达到等电位，多个可导电部分间的电连接。

2.0.27 保护总等电位联结系统 protective equipotential bonding system(PEBS)

用于保护的为实现可导电部分之间的等电位联结而将这些部分相互连接。

2.0.28 直流偏移 dc offset

电力系统暂态情况下，实际电流与对称电流波形之间的差异。

2.0.29 接地故障对称电流有效值 effective symmetrical ground fault current

接地故障时交流电流有效值。

2.0.30 接地故障不对称电流有效值 effective asymmetrical ground fault current

计及直流电流分量数值及其衰减特性影响的不对称电流的等价有效值。

2.0.31 衰减系数 decrement factor

接地计算中，对接地故障电流中对称分量电流引入的校正系数，以考虑短路电流的过冲效应。衰减系数 D_f 为接地故障不对称电流有效值 I_f 与接地故障对称电流有效值 I_f 的比值。

2.0.32 接地网最大入地电流 maximum grid current

接地故障电流中经接地网流入地中的电流最大值，供接地设计使用。

2.0.33 接地网入地对称电流 symmetrical grid current

接地网入地电流的对称分量。

2.0.34 故障电流分流系数 fault current division factor

接地网入地对称电流 I_g 与接地故障对称电流 I_f 的比值。

2.0.35 接地故障电流持续时间 continuous time of ground fault current

接地故障出现起直至其终止的全部时间。

▼ 点击展开条文说明

2.0.36 放热焊接 exothermic welding

利用金属氧化物与铝之间的氧化还原反应，同时释放出大量的热量和高温熔融金属，进行焊接的方法。

▼ [点击展开条文说明](#)

3 高压电气装置接地

3.1 一般规定

3 高压电气装置接地

3.1 一般规定

▼ [点击展开条文说明](#)

3.1.1 电力系统、装置或设备应按规定接地。接地装置应充分利用自然接地极接地，但应校验自然接地极的热稳定性。接地按功能可分为系统接地、保护接地、雷电保护接地和防静电接地。

3.1.2 发电厂和变电站内，不同用途和不同额定电压的电气装置或设备，除另有规定外应使用一个总的接地网。接地网的接地电阻应符合其中最小值的要求。

▼ [点击展开条文说明](#)

3.1.3 设计接地装置时，应计及土壤干燥或降雨和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规范的要求。但雷电保护接地的接地电阻，可只采用在雷季中土壤干燥状态下的最大值。典型人工接地极的接地电阻可按本规范附录 A 计算。

▼ [点击展开条文说明](#)

3.2 保护接地的范围

3.2 保护接地的范围

▼ 点击展开条文说明

3.2.1 电力系统、装置或设备的下列部分(给定点)应接地：

- 1 有效接地系统中部分变压器的中性点和有效接地系统中部分变压器、谐振接地、低电阻接地以及高电阻接地系统的中性点所接设备的接地端子。
- 2 高压并联电抗器中性点接地电抗器的接地端子。
- 3 电机、变压器和高压电器等的底座和外壳。
- 4 发电机中性点柜的外壳、发电机出线柜、封闭母线的外壳和变压器、开关柜等(配套)的金属母线槽等。
- 5 气体绝缘金属封闭开关设备的接地端子。
- 6 配电、控制和保护用的屏(柜、箱)等的金属框架。
- 7 箱式变电站和环网柜的金属箱体等。
- 8 发电厂、变电站电缆沟和电缆隧道内，以及地上各种电缆金属支架等。
- 9 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。
- 10 电力电缆接线盒、终端盒的外壳，电力电缆的金属护套或屏蔽层，穿线的钢管和电缆桥架等。
- 11 装有地线(架空地线，又称避雷线)的架空线路杆塔。
- 12 除沥青地面的居民区外，其他居民区内，不接地、谐振接地和高电阻接地系统中无地线架空线路的金属杆塔。
- 13 装在配电线路杆塔上的开关设备、电容器等电气装置。
- 14 高压电气装置传动装置。

15 附属于高压电气装置的互感器的二次绕组和铠装控制电缆的外皮。

3.2.2 附属于高压电气装置和电力生产设施的二次设备等的下列金属部分可不接地：

1 在木质、沥青等不良导电地面的干燥房间内，交流标称电压 380V 及以下、直流标称电压 220V 及以下的电气装置外壳，但当维护人员可能同时触及电气装置外壳和接地物件时除外。

2 安装在配电屏、控制屏和配电装置上的电测量仪表、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。

3 安装在已接地的金属架构上，且保证电气接触良好的设备。

4 标称电压 220V 及以下的蓄电池室内的支架。

5 除本规范第 4.3.3 条所列的场所外，由发电厂和变电站区域内引出的铁路轨道。

4 发电厂和变电站的接地网

4.1 110kV 及以上发电厂和变电站接地网设计的一般要求

4 发电厂和变电站的接地网

4.1 110kV 及以上发电厂和变电站接地网设计的一般要求

▼ 点击展开条文说明

4.1.1 设计人员应掌握工程地点的地形地貌、土壤的种类和分层状况，并应实测或搜集站址土壤及江、河、湖泊等的水的电阻率、地质电测部门提供的地层土壤电阻率分布资料 and 关于土壤腐蚀性能的数据，应充分了解站址处较大范围土壤的不均匀程度。

▼ 点击展开条文说明

4.1.2 设计人员应根据有关建筑物的布置、结构、钢筋配置情况，确定可利用作为接地网的自然接地极。

4.1.3 设计人员应根据当前和远景的最大运行方式下一次系统电气接线、母线连接的送电线路状况、故障时系统的电抗与电阻比值等，确定设计水平年的最大接地故障不对称电流有效值。

4.1.4 设计人员应计算确定流过设备外壳接地导体(线)和经接地网入地的最大接地故障不对称电流有效值。

4.1.5 接地网的尺寸及结构应根据站址土壤结构及其电阻率，以及要求的接地网的接地电阻值初步拟定，并宜通过数值计算获得接地网的接地电阻值和地电位升高，且将其与要求的限值比较，并通过修正接地网设计使其满足要求。

4.1.6 设计人员应通过计算获得地表面的接触电位差和跨步电位差分布，并应将最大接触电位差和最大跨步电位差与允许值加以比较。不满足要求时，应采取降低措施或采取提高允许值的措施。

4.1.7 接地导体(线)和接地极的材质和相应的截面，应计及设计使用年限内土壤对其的腐蚀，通过热稳定校验确定。

4.1.8 设计人员应根据实测结果校验设计。当不满足要求时，应补充与完善或增加防护措施。

4.2 接地电阻与均压要求

4.2 接地电阻与均压要求

4.2.1 保护接地要求的发电厂和变电站接地网的接地电阻，应符合下列要求：

1 有效接地系统和低电阻接地系统，应符合下列要求：

1)接地网的接地电阻应符合下列公式的要求，且保护接地接至变电站接地网的站用变压器的低压侧应采用 TN 系统，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：

$$R \leq 2000/I_G \quad (4.2.1-1)$$

式中：R——采用季节变化的最大接地电阻(Ω)；

I_G ——计算用经接地网入地的最大接地故障不对称电流有效值(A)，应按本规范附录 B 确定。

I_G 应采用设计水平年系统最大运行方式下在接地网内、外发生接地故障时，经接地网流入地中并计及直流分量的最大接地故障电流有效值。对其计算时，还应计算系统中各接地中性点间的故障电流分配，以及避雷线中分走的接地故障电流。

2)当接地网的接地电阻不符合本规范式(4.2.1-1)的要求时，可通过技术经济比较适当增大接地电阻。在符合本规范第 4.3.3 条的规定时，接地网地电位升高可提高至 5kV。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，接地网地电位升高还可进一步提高。

2 不接地、谐振接地和高电阻接地系统，应符合下列要求：

1)接地网的接地电阻应符合下列公式的要求，但不应大于 4Ω ，且保护接地接至变电站接地网的站用变压器的低压侧电气装置，应采用(含建筑物钢筋的)保护总等电位联结系统：

$$R \leq 120/I_g \quad (4.2.1-2)$$

式中：R——采用季节变化的最大接地电阻(Ω)；

I_g ——计算用的接地网入地对称电流(A)。

2)谐振接地系统中，计算发电厂和变电站接地网的入地对称电流时，对于装有自动跟踪补偿消弧装置(含非自动调节的消弧线圈)的发电厂和变电站电气装置的接地网，计算电流等于接在同一接地网中同一系统各自动跟踪补偿消弧装置额定电流总和的 1.25 倍；对于不装自动跟踪补偿消弧装置的发电厂和变电站电气装置的接地网，计算电流等于系统中断开最大一套自动跟踪补偿消弧装置或系统中最长线路被切除时的最大可能残余电流值。

▼ 点击展开条文说明

4.2.2 确定发电厂和变电站接地网的型式和布置时，应符合下列要求：

1 110kV 及以上有效接地系统和 6kV ~ 35kV 低电阻接地系统发生单相接地或同点两相接地时，发电厂和变电站接地网的接触电位差和跨步电位差不应超过由下列公式计算所得的数值：

$$U_t = (174 + 0.17\rho_s C_s) / (\sqrt{t_s}) \quad (4.2.2-1)$$

$$U_s = (174 + 0.7\rho_s C_s) / (\sqrt{t_s}) \quad (4.2.2-2)$$

式中： U_t ——接触电位差允许值(V)；

U_s ——跨步电位差允许值(V)；

ρ_s ——地表面的电阻率(m)；

C_s ——表层衰减系数，按本规范附录 C 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)。

2 6kV ~ 66kV 不接地、谐振接地和高电阻接地的系统，发生单相接地故障后，当不迅速切除故障时，发电厂和变电站接地装置的接触电位差和跨步电位差不应超过下列公式计算所得的数值：

$$U_t = 50 + 0.05\rho_s C_s \quad (4.2.2-3)$$

$$U_t = 50 + 0.2 \rho_s C_s \quad (4.2.2-4)$$

3 接触电位差和跨步电位差可按本规范附录 D 的规定计算。

▼ 点击展开条文说明

4.3 水平接地网的设计

4.3 水平接地网的设计

4.3.1 发电厂和变电站水平接地网应符合下列要求：

1 水平接地网应利用直接埋入地中或水中的自然接地极，发电厂和变电站接地网除应利用自然接地极外，还应敷设人工接地极。

2 当利用自然接地极和引外接地装置时，应采用不少于 2 根导线在不同地点与水平接地网相连接。

3 发电厂(不含水力发电厂)和变电站的接地网，应与 110kV 及以上架空线路的地线直接相连，并应有便于分开的连接点。6kV ~ 66kV 架空线路的地线不得直接和发电厂和变电站配电装置架构相连。发电厂和变电站接地网应在地下与架空线路地线的接地装置相连接，连接线埋在地中的长度不应小于 15m。

4 在高土壤电阻率地区，可采取下列降低接地电阻的措施：

1)在发电厂和变电站 2000m 以内有较低电阻率的土壤时，敷设引外接地极；当地下较深处的土壤电阻率较低时，可采用井式、深钻式接地极或采用爆破式接地技术。

2)填充电阻率较低的物质或降阻剂，但应确保填充材料不会加速接地极的腐蚀和其自身的热稳定。

3)敷设水下接地网。水力发电厂可在水库、上游围堰、施工导流隧洞、尾水渠、下游河道或附近的水源中的最低水位以下区域敷设人工接地极。

5 在永冻土地区可采用下列措施：

1)将接地网敷设在溶化地带或溶化地带的水池或水坑中。

2)可敷设深钻式接地极，或充分利用井管或其他深埋在地下的金属构件作接地极，还应敷设深垂直接地极，其深度应保证深入冻土层下面的土壤至少 5m。

3)在房屋溶化盘内敷设接地网。

4)在接地极周围人工处理土壤，降低冻结温度和土壤电阻率。

6 在季节冻土或季节干旱地区可采用下列措施：

1)季节冻土层或季节干旱形成的高电阻率层的厚度较浅时，可将接地网埋在高电阻率层下 0.2m。

2)已采用多根深钻式接地极降低接地电阻时，可将水平接地网正常埋设。

3)季节性的高电阻率层厚度较深时，可将水平接地网正常埋设，在接地网周围及内部接地极交叉节点布置短垂直接地极，其长度宜深入季节高电阻率层下面 2m。

▼ 点击展开条文说明

4.3.2 发电厂和变电站接地网除应利用自然接地极外，应敷设以水平接地极为主的人工接地网，并应符合下列要求：

1 人工接地网的外缘应闭合，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 $1/2$ ，接地网内应敷设水平均压带，接地网的埋设深度不宜小于 0.8m。

2 接地网均压带可采用等间距或不等间距布置。

3 35kV 及以上变电站接地网边缘经常有人出入的走道处，应铺设沥青路面或在地下装设 2 条与接地网相连的均压带。在现场有操作需要的设备处，应铺设沥青、绝缘水泥或鹅卵石。

4 6kV 和 10kV 变电站和配电站，当采用建筑物的基础作接地极，且接地电阻满足规定值时，可不另设人工接地。

▼ 点击展开条文说明

4.3.3 有效接地和低电阻接地系统中发电厂和变电站接地网在发生接地故障后地电位升高超过 2000V 时，接地网及有关电气装置应符合下列要求：

1 保护接地接至变电站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(含建筑物钢筋的)保护等电位联结接地系统。

2 应采用扁铜(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，尚应防止铜、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。

3 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，发电厂、变电站内 6kV 或 10kV 金属氧化物避雷器吸收能量的安全性。

4 可能将接地网的高电位引向厂、站外或将低电位引向厂、站内的设备，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、站外低压电气装置供电时，其 0.4kV 绕组的短时(1min)交流耐受电压应比厂、站接地网地电位升高 40%。向厂、站外供电用低压线路采用架空线，其电源中性点不在厂、站内接地，改在厂、站外适当的地方接地。

2)对外的非光纤通信设备加隔离变压器。

3)通向厂、站外的管道采用绝缘段。

4)铁路轨道分别在两处加绝缘鱼尾板等。

5 设计接地网时，应验算接触电位差和跨步电位差，并应通过实测加以验证。

▼ 点击展开条文说明

4.3.4 人工接地极，水平敷设时可采用圆钢、扁钢；垂直敷设时可采用角钢或钢管。

腐蚀较重地区采用铜或铜覆钢材时，水平敷设的人工接地极可采用圆铜、扁铜、铜绞线、铜覆钢绞线、铜覆圆钢或铜覆扁钢；垂直敷设的人工接地极可采用圆铜或铜覆圆钢等。

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 4.3.4-1 的要求。接地网采用铜或铜覆钢材时，按机械强度要求的铜或铜覆钢材料的最小尺寸，应符合表 4.3.4-2 的要求。

表 4. 3. 4-1 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)	48	48
	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和发电厂、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 50mm²，并应热镀锌。

表 4. 3. 4-2 铜或铜覆钢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
扁铜	截面 (mm ²)	50	50
	厚度 (mm)	2	2
铜绞线	截面 (mm ²)	50	50
铜覆圆钢	直径 (mm)	8	10
铜覆钢绞线	直径 (mm)	8	10
铜覆扁钢	截面 (mm ²)	48	48
	厚度 (mm)	4	4

- 注：1 铜绞线单股直径不小于 1.7mm。
- 2 各类铜覆钢材的尺寸为钢材的尺寸，铜层厚度不应小于 0.25mm。

▼ 点击展开条文说明

4.3.5 发电厂和变电站接地装置的热稳定校验，应符合下列要求：

- 1 在有效接地系统及低电阻接地系统中，发电厂和变电站电气装置中电气装置接地导体(线)的截面，应按接地故障(短路)电流进行热稳定校验。接地导体(线)的最大允许温度和接地导体(线)截面的热稳定校验，应符合本规范附录 E 的规定。
- 2 校验不接地、谐振接地和高电阻接地系统中，电气装置接地导体(线)在单相接地故障时的热稳定，敷设在地上的接地导体(线)长时间温度不应高于 150℃，敷设在地下的接地导体(线)长时间温度不应高于 100℃。
- 3 接地装置接地极的截面，不宜小于连接至该接地装置的接地导体(线)截面的 75%。

▼ 点击展开条文说明

4.3.6 接地网的防腐蚀设计，应符合下列要求：

1 计及腐蚀影响后，接地装置的设计使用年限，应与地面工程的设计使用年限一致。

2 接地装置的防腐蚀设计，宜按当地的腐蚀数据进行。

3 接地网可采用钢材，但应采用热镀锌。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，应涂防腐材料。

4 腐蚀较重地区的 330kV 及以上发电厂和变电站、全户内变电站、220kV 及以上枢纽变电站、66kV 及以上城市变电站、紧凑型变电站，以及腐蚀严重地区的 110kV 发电厂和变电站，通过技术经济比较后，接地网可采用铜材、铜覆钢材或其他防腐蚀措施。

▼ 点击展开条文说明

4.3.7 发电厂和变电站电气装置的接地导体(线)，应符合下列要求：

1 发电厂和变电站电气装置中，下列部位应采用专门敷设的接地导体(线)接地：

1)发电机机座或外壳，出线柜、中性点柜的金属底座和外壳，封闭母线的外壳。

2)110kV 及以上钢筋混凝土构件支座上电气装置的金属外壳。

3)箱式变电站和环网柜的金属箱体。

4)直接接地的变压器中性点。

5)变压器、发电机和高压并联电抗器中性点所接自动跟踪补偿消弧装置提供感性电流的部分、接地电抗器、电阻器或变压器等的接地端子。

6)气体绝缘金属封闭开关设备的接地母线、接地端子。

7)避雷器，避雷针和地线等的接地端子。

2 当不要求采用专门敷设的接地导体(线)接地时，应符合下列要求：

1)电气装置的接地导体(线)宜利用金属构件、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，但不得使用蛇皮管、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导体(线)。

2)操作、测量和信号用低压电气装置的接地导体(线)可利用永久性金属管道，但可燃液体、可燃或爆炸性气体的金属管道除外。

3)用本款第 1)项和第 2)项所列材料作接地导体(线)时，应保证其全长为完好的电气通路，当利用串联的金属构件作为接地导体(线)时，金属构件之间应以截面不小于 100mm^2 的钢材焊接。

3 接地导体(线)应便于检查，但暗敷的穿线钢管和地下的金属构件除外。潮湿的或有腐蚀性蒸汽的房间内，接地导体(线)离墙不应小于 10mm 。

4 接地导体(线)应采取防止发生机械损伤和化学腐蚀的措施。

5 在接地导体(线)引进建筑物的入口处应设置标志。明敷的接地导体(线)表面应涂 $15\text{mm} \sim 100\text{mm}$ 宽度相等的绿色和黄色相间的条纹。

6 发电厂和变电站电气装置中电气装置接地导体(线)的连接，应符合下列要求：

1)采用铜或铜覆钢材的接地导体(线)应采用放热焊接方式连接。钢接地导体(线)使用搭接焊接方式时，其搭接长度应为扁钢宽度的 2 倍或圆钢直径的 6 倍。

2)当利用钢管作接地导体(线)时，钢管连接处应保证有可靠的电气连接。当利用穿线的钢管作接地导体(线)时，引向电气装置的钢管与电气装置之间，应有可靠的电气连接。

3)接地导体(线)与管道等伸长接地极的连接处宜焊接。连接地点应选在近处，在管道因检修而可能断开时，接地装置的接地电阻应符合本规范的要求。管道上表计和阀门等处，均应装设跨接线。

4)采用铜或铜覆钢材的接地导体(线)与接地极的连接，应采用放热焊接；接地导体(线)与电气装置的连接，可采用螺栓连接或焊接。螺栓连接时的允许温度为 250℃，连接处接地导体(线)应适当加大截面，且应设置防松螺帽或防松垫片。

5)电气装置每个接地部分应以单独的接地导体(线)与接地母线相连接，严禁在一个接地导体(线)中串接几个需要接地的部分。

6)接地导体(线)与接地极的连接，接地导体(线)与接地极均为铜(包含铜覆钢材)或其中一个为铜时，应采用放热焊接工艺，被连接的导体应完全包在接头里，连接部位的金属应完全熔化，并应连接牢固。放热焊接接头的表面应平滑，应无贯穿性的气孔。

▼ 点击展开条文说明

4.4 具有气体绝缘金属封闭开关设备变电站的接地

4.4 具有气体绝缘金属封闭开关设备变电站的接地

4.4.1 具有气体绝缘金属封闭开关设备的变电站，应设置一个总接地网。其接地电阻的要求应符合本规范第 4.2 节的规定。

▼ 点击展开条文说明

4.4.2 气体绝缘金属封闭开关设备区域应设置专用接地网，并应成为变电站总接地网的一个组成部分。该设备区域专用接地网，应由该设备制造厂设计，并应具有下列功能：

- 1 应能防止故障时人触摸该设备的金属外壳遭到电击。
- 2 释放分相式设备外壳的感应电流。
- 3 快速流散开关设备操作引起的快速瞬态电流。

▼ 点击展开条文说明

4.4.3 气体绝缘金属封闭开关设备外部近区故障人触摸其金属外壳时，区域专用接地网应保证触及者手一脚间的接触电位差符合下列公式的要求：

$$\sqrt{[U_{2tmax}+(U'_{tomax})^2]} < U_t \quad (4.4.3)$$

式中： U_{2tmax} ——设备区域专用接地网最大接触电位差，由人脚下的点决定；

U'_{tomax} ——设备外壳上、外壳之间或外壳与任何水平/垂直支架之间金属到金属因感应产生的最大电压差；

U_t ——接触电位差容许值。

▼ 点击展开条文说明

4.4.4 位于居民区的全室内或地下气体绝缘金属封闭开关设备变电站，应校核接地网边缘、围墙或公共道路处的跨步电位差。变电站所在地区土壤电阻率较高时，紧靠围墙外的人行道路宜采用沥青路面。

▼ 点击展开条文说明

4.4.5 气体绝缘金属封闭开关设备区域专用接地网与变电站总接地网的连接线，不应少于 4 根。连接线截面的热稳定校验应符合本规范第 4.3.5 条的要求。4 根连接线截面的热稳定校验电流，应按单相接地故障时最大不对称电流有效值的 35%取值。

▼ 点击展开条文说明

4.4.6 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 三相共箱式或分相式设备的金属外壳与其基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 设备基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。

▼ 点击展开条文说明

4.4.7 当气体绝缘金属封闭开关设备置于建筑物内时，建筑物地基内的钢筋应与人工敷设的接地网相连接。建筑物立柱、钢筋混凝土地板内的钢筋等与建筑物地基内的钢筋，应相互连接，并应良好焊接。室内还应设置环形接地母线，室内各种需接地的设备(包括前述各种钢筋)均应连接至环形接地母线。环形接地母线还应与气体绝缘金属封闭开关设备区域专用接地网相连接。

▼ 点击展开条文说明

4.4.8 气体绝缘金属封闭开关设备与电力电缆或与变压器/电抗器直接相连时，电力电缆护层或气体绝缘金属封闭开关设备与变压器/电抗器之间套管的变压器/电抗器侧，应通过接地导体(线)以最短路径接到接地母线或气体绝缘金属封闭开关设备区域专用接地网。气体绝缘金属封闭开关设备外壳和电缆护套之间，以及其外壳和变压器/电抗器套管之间的隔离(绝缘)元件，应安装相应的隔离保护器。

▼ 点击展开条文说明

4.4.9 气体绝缘金属封闭开关设备置于建筑物内时，设备区域专用接地网可采用钢导体。置于户外时，设备区域专用接地网宜采用铜导体。主接地网也宜采用铜或铜覆钢材。

▼ 点击展开条文说明

4.5 雷电保护和防静电的接地

4.5 雷电保护和防静电的接地

4.5.1 发电厂和变电站雷电保护的接地，应符合下列要求：

1 发电厂和变电站配电装置构架上避雷针(含悬挂避雷线的架构)的接地引下线应与接地网连接，并应在连接处加装集中接地装置。引下线与接地网的连接点至变压器接地导体(线)与接地网连接点之间沿接地极的长度，不应小于 15m。

2 主厂房装设直击雷保护装置或为保护其他设备而在主厂房上装设避雷针时，应采取加强分流、设备的接地点远离避雷针接地引下线的入地点、避雷针接地引下线远离电气装置等防止反击的措施。避雷针的接地引下线应与主接地网连接，并应在连接处加装集中接地装置。

主控制室、配电装置室和 35kV 及以下变电站的屋顶上如装设直击雷保护装置，若为金属屋顶或屋顶上有金属结构时，则应将金属部分接地；屋顶为钢筋混凝土结构时，则应将其焊接成网接地；结构为非导电的屋顶时，则应采用避雷带保护，该避雷带的网格应为 8m~10m，并应每隔 10m~20m 设接地引下线。该接地引下线应与主接地网连接，并应在连接处加装集中接地装置。

3 发电厂和变电站有爆炸危险且爆炸后可能波及发电厂和变电站内主设备或严重影响发供电的建(构)筑物，应采用独立避雷针保护，并应采取防止雷电磁感应的措施。露天贮罐周围应设置闭合环形接地装置，接地电阻不应超过 30Ω，无独立避雷针保护的露天贮罐不应超过 10Ω，接地点不应小于 2 处，接地点间距不应大于 30m。架空管道每隔 20m~25m 应接地 1 次，接地电阻不应超过 30Ω。易燃油贮罐的呼吸阀、易燃油和天然气贮罐的热工测量装置，应用金属导体与相应贮罐的接地装置连接。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。

4 发电厂和变电站避雷器的接地导体(线)应与接地网连接，且应在连接处设置集中接地装置。

▼ [点击展开条文说明](#)

4.5.2 发电厂易燃油、可燃油、天然气和氢气等贮罐、装卸油台、铁路轨道、管道、鹤管、套筒及油槽车等防静电接地的接地位置，接地导体(线)、接地极布置方式等，应符合下列要求：

- 1 铁路轨道、管道及金属桥台，应在其始端、末端、分支处，以及每隔 50m 处设防静电接地，鹤管应在两端接地。
- 2 厂区内的铁路轨道应在两处用绝缘装置与外部轨道隔离。两处绝缘装置间的距离应大于列车长度。
- 3 净距小于 100mm 的平行或交叉管道，应每隔 20m 用金属线跨接。
- 4 不能保持良好电气接触的阀门、法兰、弯头等管道连接处，也应跨接。跨接线可采用直径不小于 8mm 的圆钢。
- 5 油槽车应设置防静电临时接地卡。
- 6 易燃油、可燃油和天然气浮动式贮罐顶，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 25mm² 的钢绞线、扁铜、铜绞线或覆铜扁钢、覆铜钢绞线。
- 7 浮动式电气测量的铠装电缆应埋入地中，长度不宜小于 50m。
- 8 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。

▼ 点击展开条文说明

5 高压架空线路和电缆线路的接地

5.1 高压架空线路的接地

5 高压架空线路和电缆线路的接地

5.1 高压架空线路的接地

5.1.1 6kV 及以上无地线线路钢筋混凝土杆直接地，金属杆塔应接地，接地电阻不宜超过 30Ω。

▼ 点击展开条文说明

5.1.2 除多雷区外，沥青路面上的架空线路的钢筋混凝土杆塔和金属杆塔，以及有运行经验的地区，可不另设人工接地装置。

▼ 点击展开条文说明

5.1.3 有地线的线路杆塔的工频接地电阻，不宜超过表 5.1. 3 的规定。

表 5. 1. 3 有地线的线路杆塔的工频接地电阻

土壤电阻率 ρ ($\Omega \cdot \text{m}$)	$\rho \leq 100$	$100 < \rho \leq 500$	$500 < \rho \leq 1000$	$1000 < \rho \leq 2000$	$\rho > 2000$
接地电阻 (Ω)	10	15	20	25	30

▼ 点击展开条文说明

5.1.4 66kV 及以上钢筋混凝土杆铁横担和钢筋混凝土横担线路的地线支架、导线横担与绝缘子固定部分或瓷横担固定部分之间，宜有可靠的电气连接，并应与接地引下线相连。主杆非预应力钢筋上下已用绑扎或焊接连成电气通路时，可兼作接地引下线。利用钢筋兼作接地引下线的钢筋混凝土电杆时，其钢筋与接地螺母、铁横担间应有可靠的电气连接。

▼ 点击展开条文说明

5.1.5 高压架空线路杆塔的接地装置，可采用下列型式：

1 在土壤电阻率 $\rho \leq 100\Omega \cdot m$ 的潮湿地区，可利用铁塔和钢筋混凝土杆自然接地。发电厂和变电站的进线段，应另设雷电保护接地装置。在居民区，当自然接地电阻符合要求时，可不设人工接地装置。

2 在土壤电阻率 $100\Omega \cdot m < \rho \leq 300\Omega \cdot m$ 的地区，除应利用铁塔和钢筋混凝土杆的自然接地外，并应增设人工接地装置，接地极埋设深度不宜小于 0.6m。

3 在土壤电阻率 $300\Omega \cdot m < \rho \leq 2000\Omega \cdot m$ 的地区，可采用水平敷设的接地装置，接地极埋设深度不宜小于 0.5m。

4 在土壤电阻率 $\rho > 2000\Omega \cdot m$ 的地区，接地电阻很难降到 30Ω 以下时，可采用 6 根~8 根总长度不超过 500m 的放射形接地极或采用连续伸长接地极。放射形接地极可采用长短结合的方式。接地极埋设深度不宜小于 0.3m。接地电阻可不受限制。

5 居民区和水田中的接地装置，宜围绕杆塔基础敷设成闭合环形。

6 放射形接地极每根的最大长度应符合表 5.1.5 的规定：

表 5. 1.5 放射形接地极每根的最大长度

土壤电阻率 ($\Omega \cdot m$)	$\rho \leq 500$	$500 < \rho \leq 1000$	$1000 < \rho \leq 2000$	$2000 < \rho \leq 5000$
最大长度(m)	40	60	80	100

7 在高土壤电阻率地区应采用放射形接地装置，且在杆塔基础的放射形接地极每根长度的 1.5 倍范围内有土壤电阻率较低的地带时，可部分采用引外接地或其他措施。

▼ 点击展开条文说明

5.1.6 计算雷电保护接地装置所采用的土壤电阻率时，应取雷季中最大值，并按下式计算：

$\rho = \rho_0 \varphi$ (5.1.6)

式中： ρ ——土壤电阻率，土壤和水的电阻率可参考本规范附录 J 的规定取值($\Omega \cdot m$)；

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

φ ——土壤干燥时的季节系数，应按表 5.1.6 的规定取值。

表 5. 1. 6 土壤干燥时的季节系数

埋深(m)	ϕ 值	
	水平接地极	2m~3m的垂直接地极
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

▼ 点击展开条文说明

5.1.7 单独接地极或杆塔接地装置的冲击接地电阻，可按下式计算：

$$R_i = \alpha R \quad (5.1.7)$$

式中： R_i ——单独接地极或杆塔接地装置的冲击接地电阻(Ω)；

R ——单独接地极或杆塔接地装置的工频接地电阻(Ω)；

α ——单独接地极或杆塔接地装置的冲击系数，可按本规范附录 F 的规定取值。

▼ 点击展开条文说明

5.1.8 当接地装置由较多水平接地极或垂直接地极组成时，垂直接地极的间距不应小于其长度的 2 倍；水平接地极的间距不宜小于 5m。

由 n 根等长水平放射形接地极组成的接地装置，其冲击接地电阻可按下式计算：

$$R_i = (R_{hi}/n) \times (1/\eta_i) \quad (5.1.8)$$

式中： R_{hi} ——每根水平放射形接地极的冲击接地电阻(Ω)；

η_i ——计及各接地极间相互影响的冲击利用系数，可按本规范附录 F 的规定选取。

▼ 点击展开条文说明

5.1.9 由水平接地极连接的 n 根垂直接地极组成的接地装置，其冲击接地电阻可按下列式计算：

$$R_i = \frac{\frac{R_{vi}}{n} \times R'_{hi}}{\frac{R_{vi}}{n} \times R'_{hi}} \times \frac{1}{\eta_i}$$

式中：R_{vi}——每根垂直接地极的冲击接地电阻(Ω)；

R'_{hi}——水平接地极的冲击接地电阻(Ω)。

▼ 点击展开条文说明

5.2 6kV ~ 220kV 电缆线路的接地

5.2 6kV ~ 220kV 电缆线路的接地

▼ 点击展开条文说明

5.2.1 电力电缆金属护套或屏蔽层，应按下列规定接地：

- 1 三芯电缆应在线路两终端直接接地。线路中有中接头时，接头处也应直接接地。
- 2 单芯电缆在线路上应至少有一点直接接地，且任一非接地处金属护套或屏蔽层上的

正常感应电压，不应超过下列数值：

- 1)在正常满负载情况下，未采取防止人员任意接触金属护套或屏蔽层的安全措施时，50V。
- 2)在正常满负荷情况下，采取防止人员任意接触金属护套或屏蔽层的安全措施时，100V。
- 3 长距离单芯水底电缆线路应在两岸的接头处直接接地。

5.2.2 交流单芯电缆金属护套的接地方式，应按图 5.2.2 所示部位接地和设置金属护套或屏蔽层电压限制器，并应符合下列规定：

1 线路不长，且能满足本规范第 5.2.1 条的规定时，可采用线路一端直接接地方式。
在系统发生单相接地故障对临近弱电线路有干扰时，还应沿电缆线路平行敷设一根回流线，回流线的选择与设置应符合下列要求：

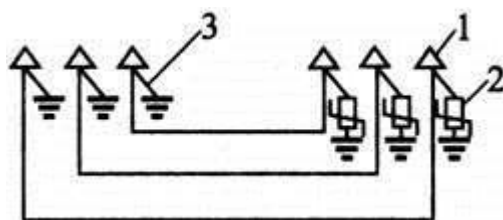
- 1)回流线的截面选择应按系统发生单相接地故障电流和持续时间验算其稳定性。
- 2)回路线的排列布置方式，应使电缆正常工作时在回流线上产生的损耗最小。

2 线路稍长，一端接地不能满足本规范第 5.2.1 条的规定，且无法分成 3 段组成交叉互联时，可采用线路中间一点接地方式，并按本规范第 5.2.2 条第 1 款的规定加设回流线。

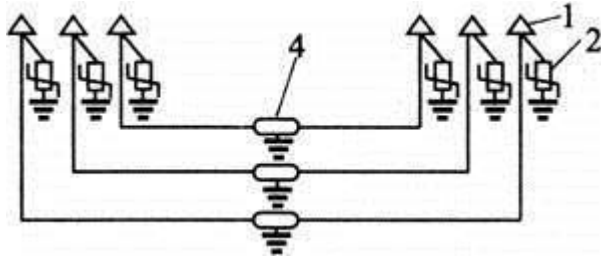
3 线路较长，中间一点接地方式不能满足本规范第 5.2.1 条的规定时，宜使用绝缘接头将电缆的金属护套和绝缘屏蔽均匀分割成 3 段或 3 的倍数段，并按图 5.2.2 所示采用交叉互联接地方式。

5.2.3 金属护套或屏蔽层电压限制器与电缆金属护套的连接线，应符合下列要求：

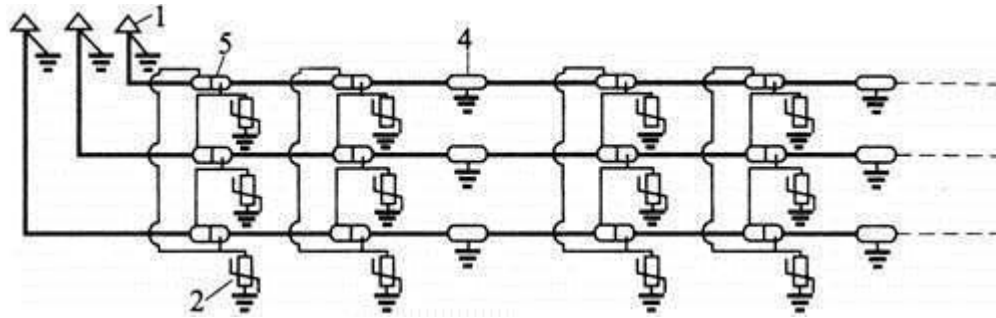
- 1 连接线应最短，3m 之内可采用单芯塑料绝缘线，3m 以上宜采用同轴电缆。
- 2 连接线的绝缘水平不得小于电缆外护套的绝缘水平。



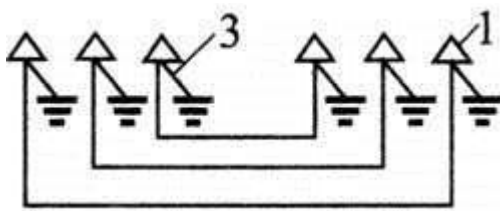
(a)一端接地方式



(b)线路中间一点接地方式



(c)交叉互联接地方式



(d)两端直接接地方式

图 5.2.2 采用金属屏蔽层电压限制器时的接地方式

1—电缆终端头；2—金属屏蔽层电压限制器；3—直接接地；4—中间接头；5—绝缘接头

3 连接线截面应满足系统单相接地故障电流通过时的热稳定要求。

6 高压配电电气装置的接地

6.1 高压配电电气装置的接地电阻

6 高压配电电气装置的接地

6.1 高压配电电气装置的接地电阻

▼ 点击展开条文说明

6.1.1 工作于不接地、谐振接地和高电阻接地系统、向 1kV 及以下低压电气装置供电的高压配电电气装置，其保护接地的接地电阻应符合下式的要求，且不应大于 4Ω ：

$$R \leq 50/I \quad (6.1.1)$$

式中：R——因季节变化的最大接地电阻(Ω)；

I——计算用的单相接地故障电流；谐振接地系统为故障点残余电流。

6.1.2 低电阻接地系统的高压配电电气装置，其保护接地的接地电阻应符合本规范公式(4.2.1-1)的要求，且不应大于 4Ω 。

6.1.3 保护配电变压器的避雷器其接地应与变压器保护接地共用接地装置。

6.1.4 保护配电柱上断路器、负荷开关和电容器组等的避雷器的接地导体(线)，应与设备外壳相连，接地装置的接地电阻不应大于 10Ω 。

6.2 高压配电电气装置的接地装置

6.2 高压配电电气装置的接地装置

6.2.1 户外箱式变压器、环网柜和柱上配电变压器等电气装置，宜敷设围绕户外箱式变压器、环网柜和柱上配电变压器的闭合环形的接地装置。居民区附近人行道路宜采用沥青路面。

▼ 点击展开条文说明

6.2.2 与户外箱式变压器和环网柜内所有电气装置的外露导电部分连接的接地母线，应与闭合环形接地装置相连接。

▼ 点击展开条文说明

6.2.3 配电变压器等电气装置安装在由其供电的建筑物内的配电装置室时，其所设接地装置应与建筑物基础钢筋等相连。配电变压器室内所有电气装置的外露导电部分应连接至该室内的接地母线，该接地母线应再连接至配电装置室的接地装置。

▼ 点击展开条文说明

6.2.4 引入配电装置室的每条架空线路安装的金属氧化物避雷器的接地导体(线)，应与配电装置室的接地装置连接，但在入地处应敷设集中接地装置。

7 低压系统接地型式、架空线路的接地、电气装置的接地电阻和保护总等电位联结系统

7.1 低压系统接地的型式

7 低压系统接地型式、架空线路的接地、电气装置的接地电阻和保护总等电位联结系统

7.1 低压系统接地的型式

▼ 点击展开条文说明

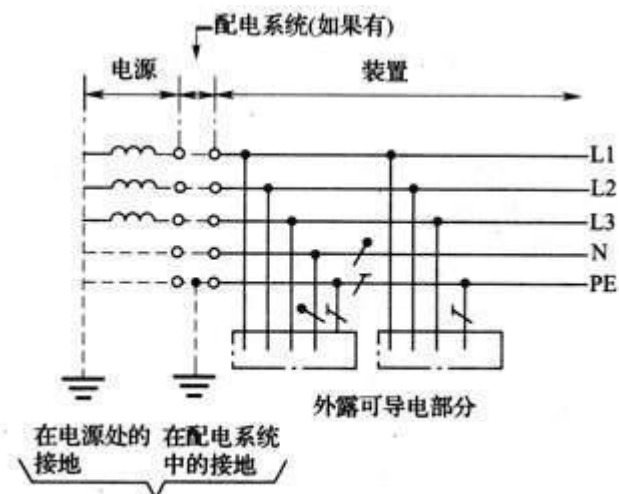
7.1.1 低压系统接地的型式可分为 TN、TT 和 IT 等 3 种。

7.1.2 TN 系统可分为单电源系统和多电源系统，并应分别符合下列要求：

1 对于单电源系统，TN 电源系统在电源处应有一点直接接地，装置的外露可导电部分应经 PE 接到接地点。TN 系统可按 N 和 PE 的配置，分为下列类型：

1)TN-S 系统，整个系统应全部采用单独的 PE，装置的 PE 也可另外增设接地(图

7.1.2-1 ~ 图 7.1.2-3)。



系统的接地可通过一个或多个接地极来实现

图 7.1.2-1 全系统将 N 与 PE 分开的 TN-S 系统

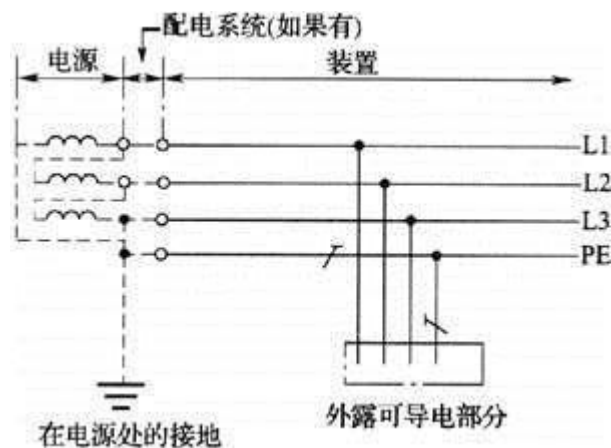
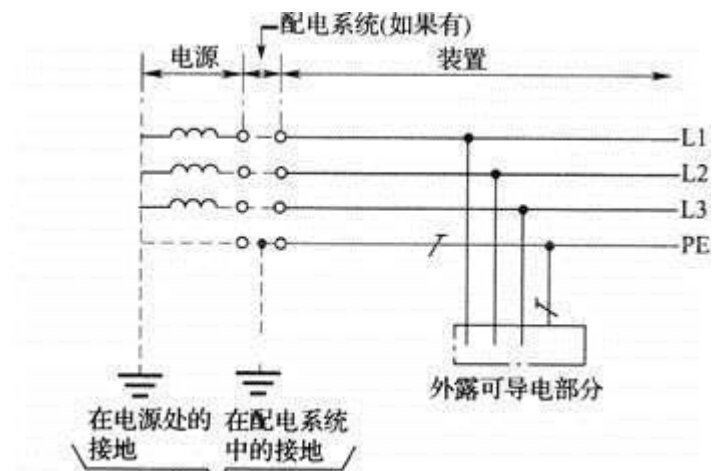


图 7.1.2-2 全系统将被接地的相导体与 PE 分开的 TN—S 系统



系统的接地可通过一个或多个接地极来实现

图 7.1.2-3 全系统采用接地的 PE 和未配出 N 的 TN-S 系统

2)TN-C-S 系统，系统中的一部分，N 的功能和 PE 的功能合并在一根导体中(图 7.1.2-4 ~ 图 7.1.2-6)。图 7.1.2-4 中装置的 PEN 或 PE 导体可另外增设接地。图 7.1.2-5 和图 7.1.2-6 中对配电系统的 PEN 和装置的 PE 导体也可另外增设接地。

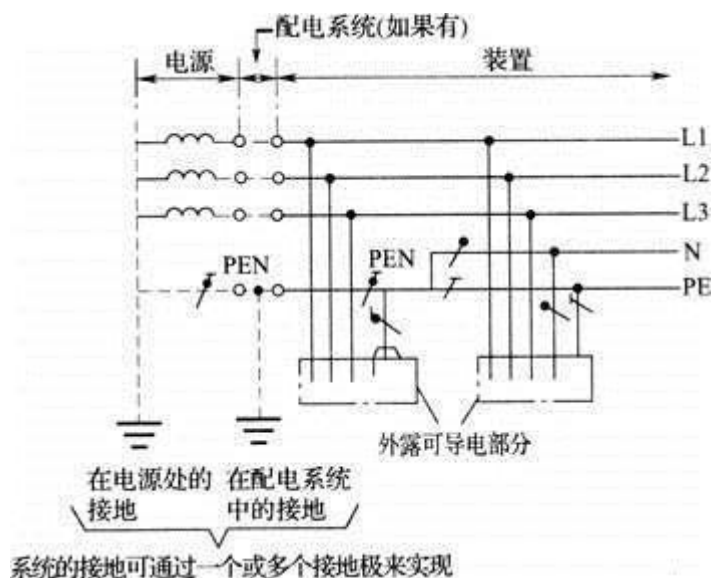


图 7.1.2-4 在装置非受电点的某处将 PEN 分离成 PE 和 N 的三相四线制的 TN-C-S

系统

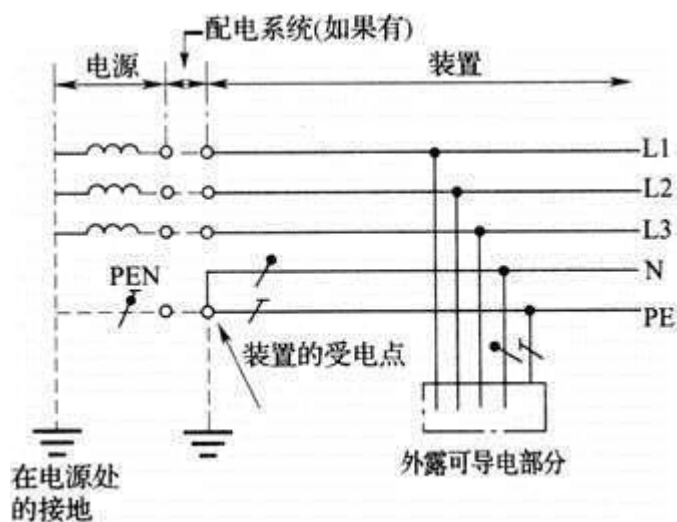


图 7.1.2-5 在装置的受电点将 PEN 分离成 PE 和 N 的三相四线制的 TN-C-S 系统

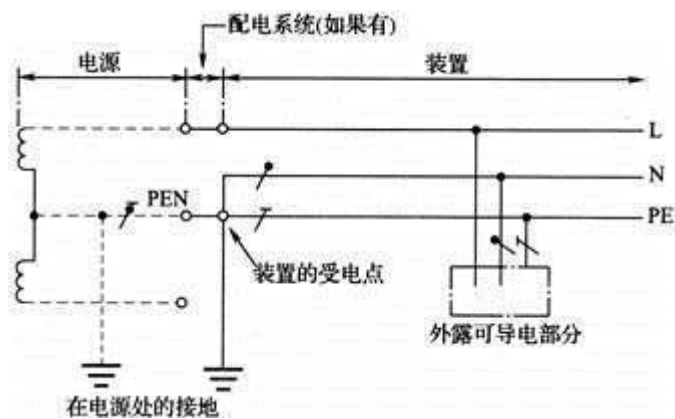


图 7.1.2-6 在装置的受电点将 PEN 分离成 PE 和 N 的单相两线制的 TN-C-S 系统

3)TN-C 系统，在全系统中，N 的功能和 PE 的功能合并在一根导体中(图 7.1.2-7)。

装置的 PEN 也可另外增设接地。

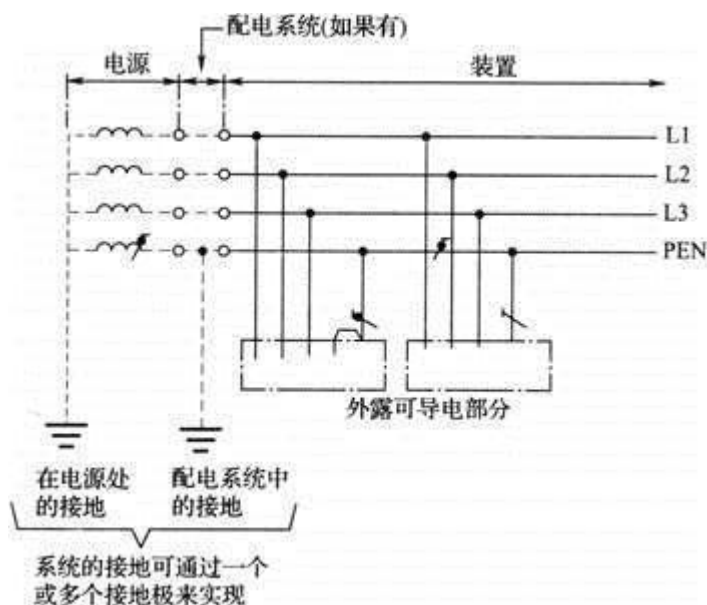


图 7.1.2-7 全系统采用将 N 的功能和 PE 的功能合并于一根导体的 TN-C 系统

2 对于具有多电源的 TN 系统，应避免工作电流流过不期望的路径。

对用电设备采用单独的 PE 和 N 的多电源 TN-C-S 系统(图 7.1.2-8)，仅有两相负荷和三相负荷的情况下，无需配出 N，PE 宜多处接地。

对用电设备采用单独的 PE 和 N 的多电源 TN-C-S 系统(图 7.1.2-8)和对于具有多电源的 TN 系统(图 7.1.2-9)，应符合下列要求：

1)不应在变压器的中性点或发电机的星形点直接对地连接。

2)变压器的中性点或发电机的星形点之间相互连接的导体应绝缘，且不得将其与用电设备连接。

3)电源中性点间相互连接的导体与 PE 之间，应只一点连接，并应设置在总配电屏内。

4)对装置的 PE 可另外增设接地。

5)PE 的标志，应符合现行国家标准《人机界面标志标识的基本和安全规则 导体的颜色或数字标识》GB 7947 的有关规定。

6)系统的任何扩展，应确保保护措施的正常功能不受影响。

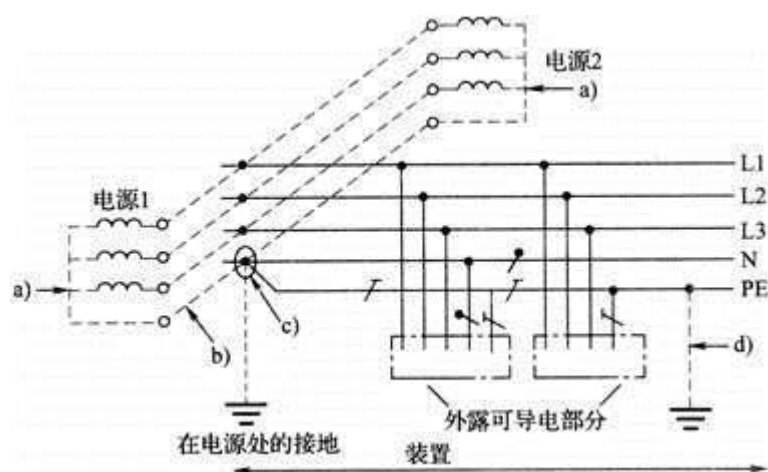


图 7.1.2-8 对用电设备采用单独的 PE 和 N 的多电源 TN-C-S 系统

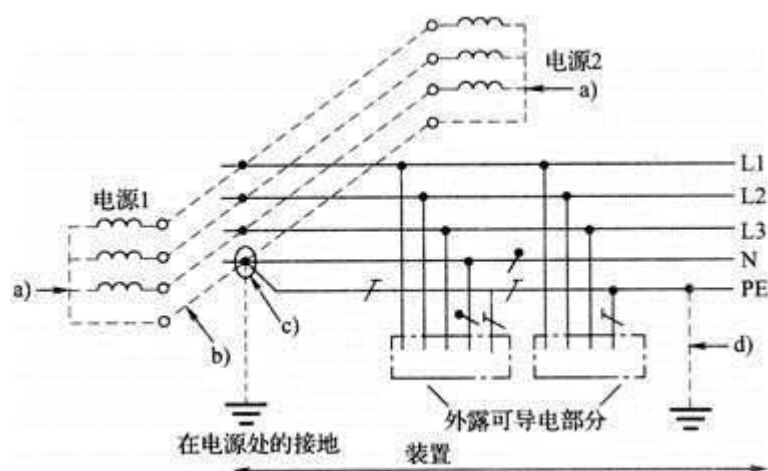


图 7.1.2-9 给两相或三相负荷供电的全系统内只有 PE 没有 N 的多电源 TN 系统

7.1.3 TT 系统应只有一点直接接地，装置的外露可导电部分应接到在电气上独立于电源系统接地的接地极上(图 7.1.3-1 和图 7.1.3-2)。对装置的 PE 可另外增设接地。

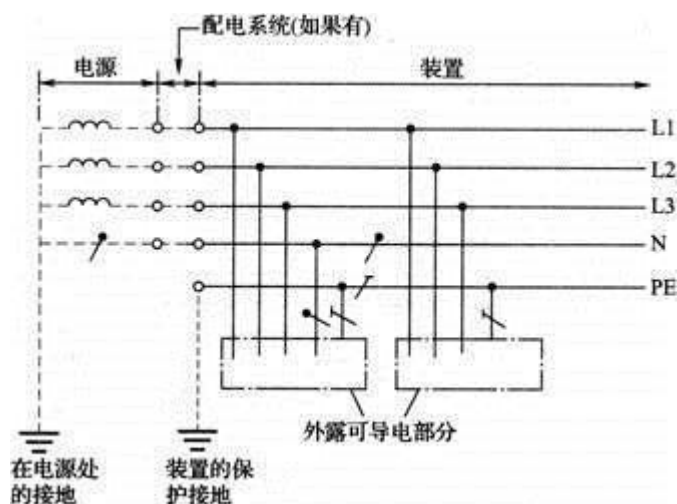


图 7.1.3-1 全部装置都采用分开的中性导体和保护导体的 TT 系统

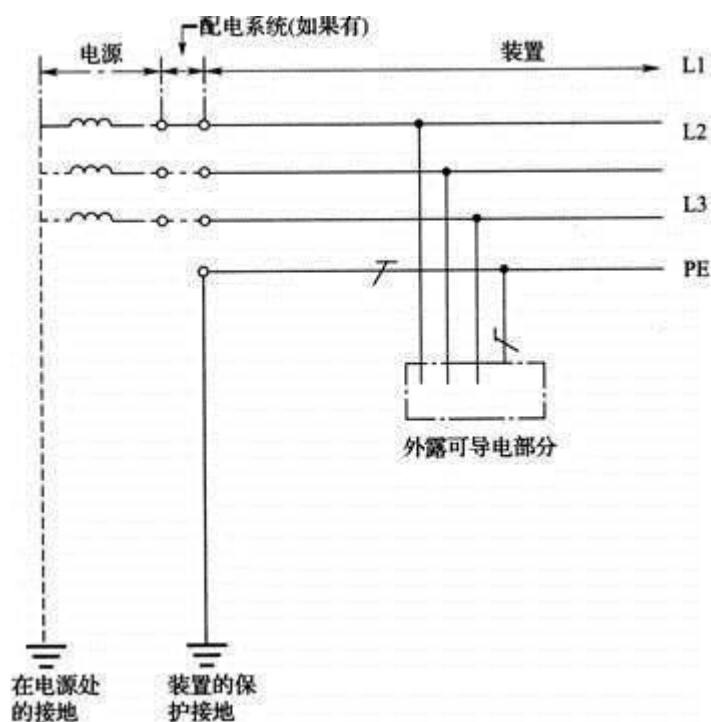


图 7.1.3-2 全部装置都具有接地的保护导体，但不配出中性导体的 TT 系统

7.1.4 IT 电源系统的所有带电部分应与地隔离，或某一点通过阻抗接地。电气装置的外露可导电部分，应被单独地或集中地接地，也可按现行国家标准《建筑物电气装置 第 4-41 部分：安全防护—电击防护》GB 16895.21—2004 的第 413.1.5 条的规定，接到系

统的接地上(图 7.1.4-1 和图 7.1.4-2)。对装置的 PE 可另外增设接地，并应符合下列要求：

- 1 该系统可经足够高的阻抗接地。
- 2 可配出 N，也可不配出 N。

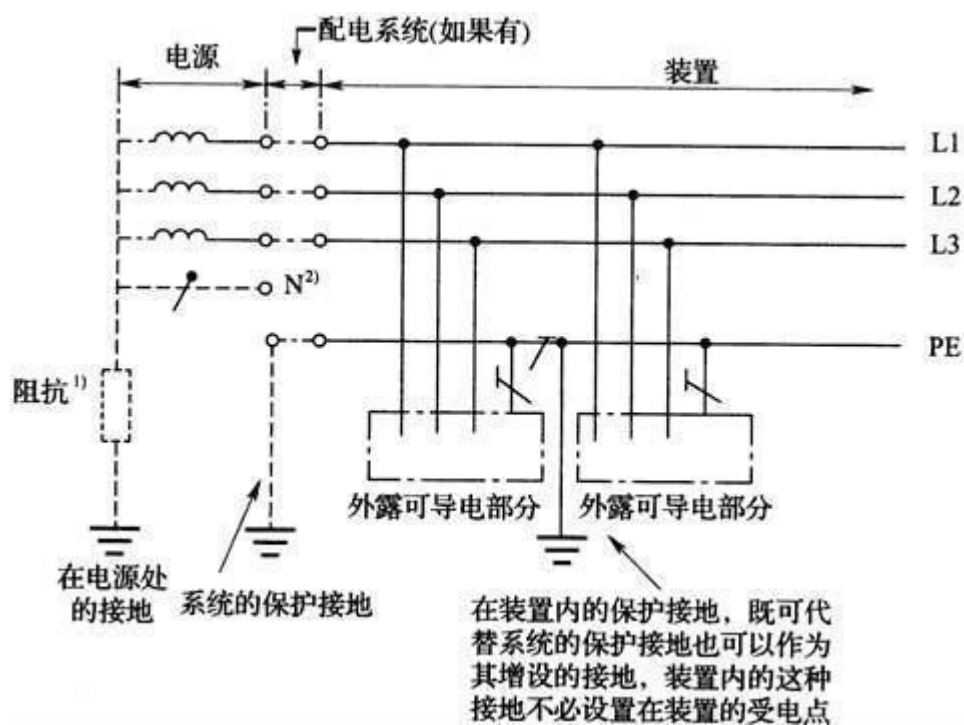


图 7.1.4-1 将所有的外露可导电部分采用 PE 相连后集中接地的 IT 系统

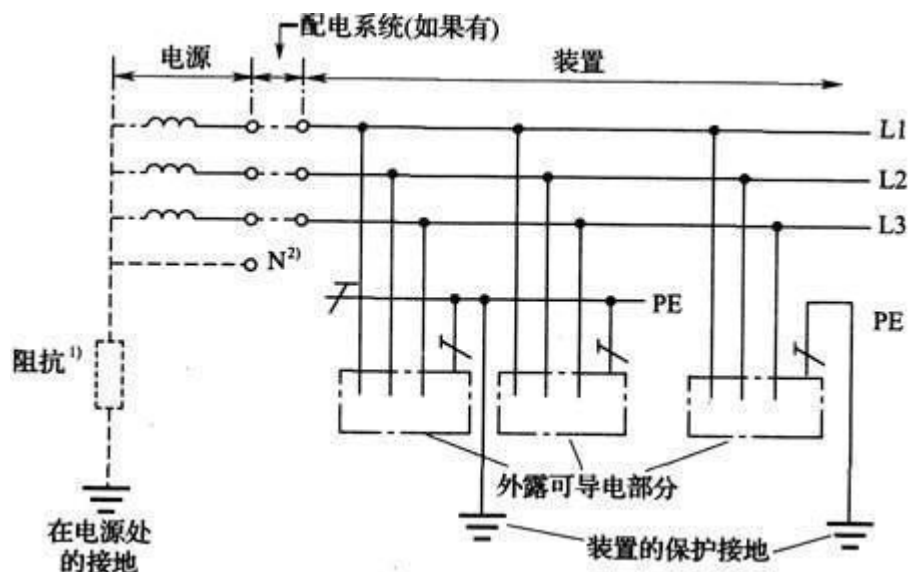


图 7.1.4-2 将外露可导电部分分组接地或独立接地的 IT 系统

7.2 低压架空线路的接地、电气装置的接地电阻和保护总等电位联结系统

7.2 低压架空线路的接地、电气装置的接地电阻和保护总等电位联结系统

7.2.1 单独电源 TN 系统的低压线路和高、低压线路共杆线路的钢筋混凝土杆塔，其铁横担以及金属杆塔本体应与低压线路 PE 或 PEN 相连接，钢筋混凝土杆塔的钢筋宜与低压线路的相应导体相连接。与低压线路 PE 或 PEN 相连接的杆塔可不另做接地。

▼ 点击展开条文说明

7.2.2 配电变压器设置在建筑物外其低压采用 TN 系统时，低压线路在引入建筑物处，PE 或 PEN 应重复接地，接地电阻不宜超过 10Ω 。

▼ 点击展开条文说明

7.2.3 中性点不接地 IT 系统的低压线路钢筋混凝土杆塔宜接地，金属杆塔应接地，接地电阻不宜超过 30Ω 。

▼ 点击展开条文说明

7.2.4 架空低压线路入户处的绝缘子铁脚直接地，接地电阻不宜超过 30Ω 。土壤电阻率在 $200\Omega\cdot\text{m}$ 及以下地区的铁横担钢筋混凝土杆线路，可不另设人工接地装置。当绝缘子铁脚与建筑物内电气装置的接地装置相连时，可不另设接地装置。人员密集的公共场所的入户线，当钢筋混凝土杆的自然接地电阻大于 30Ω 时，入户处的绝缘子铁脚应接地，并应设专用的接地装置。

▼ 点击展开条文说明

7.2.5 向低压电气装置供电的配电变压器的高压侧工作于不接地、谐振接地和高电阻接地系统，且变压器的保护接地装置的接地电阻符合本规范第 6.1.1 条的要求，建筑物内低压电气装置采用(含建筑物钢筋的)保护总等电位联结系统时，低压系统电源中性点可与

该变压器保护接地共用接地装置。

▼ 点击展开条文说明

7.2.6 向低压电气装置供电的配电变压器的高压侧工作于低电阻接地系统，变压器的保护接地装置的接地电阻符合本规范第 4.2.1 条的要求，建筑物内低压采用 TN 系统且低压电气装置采用(含建筑物钢筋的)保护总等电位联结系统时，低压系统电源中性点可与该变压器保护接地共用接地装置。

当建筑物内低压电气装置虽采用 TN 系统，但未采用(含建筑物钢筋的)保护总等电位联结系统，以及建筑物内低压电气装置采用 TT 或 IT 系统时，低压系统电源中性点严禁与该变压器保护接地共用接地装置，低压电源系统的接地应按工程条件研究确定。

▼ 点击展开条文说明

7.2.7 TT 系统中电气装置外露可导电部分应设保护接地的接地装置，其接地电阻与外露可导电部分的保护导体电阻之和，应符合下式的要求：

$$R_A \leq 50/I_a \quad (7.2.7)$$

式中： R_A ——季节变化时接地装置的最大接地电阻与外露可导电部分的保护导体电阻之和(Ω)；

I_a ——保护电器自动动作的动作电流，当保护电器为剩余电流保护时， I_a 为额定剩余电流动作电流 $I_{\Delta n}$ ，(A)。

▼ 点击展开条文说明

7.2.8 TT 系统配电线路内由同一接地故障保护电器保护的外露可导电部分，应用 PE 连接至共用的接地极上。当有多级保护时，各级宜有各自的接地极。

▼ 点击展开条文说明

7.2.9 IT 系统各电气装置的外露可导电部分其保护接地可共用同一接地装置，亦可个别地或成组地用单独的接地装置接地。每个接地装置的接地电阻应符合下式的要求：

$$R \leq 50 / I_d \quad (7.2.9)$$

式中：R——外露可导电部分的接地装置因季节变化的最大接地电阻(Ω)；

I_d ——相导体(线)和外露可导电部分间第一次出现阻抗可不计的故障时的故障电流(A)。

▼ 点击展开条文说明

7.2.10 低压电气装置采用接地故障保护时，建筑物内电气装置应采用保护总等电位联结系统，并应符合本规范附录 H 的有关规定。

▼ 点击展开条文说明

7.2.11 建筑物处的低压系统电源中性点、电气装置外露导电部分的保护接地、保护等电位联结的接地极等，可与建筑物的雷电保护接地共用同一接地装置。共用接地装置的接地电阻，不应大于各要求值中的最小值。

▼ 点击展开条文说明

8 低压电气装置的接地装置和保护导体

8.1 接地装置

8 低压电气装置的接地装置和保护导体

8.1 接地装置

8.1.1 低压电气装置的接地装置，应符合下列要求：

- 1 接地配置可兼有或分别承担防护性和功能性的作用，但首先应满足防护的要求。

2 低压电气装置本身有接地极时，应将该接地极用一接地导体(线)连接到总接地端子上。

3 对接地配置要求中的对地连接，应符合下列要求：

1)对装置的防护要求应可靠、适用。

2)能将对地故障电流和 PE 电流传导入地。

3)接地配置除保护要求外还有功能性的需要时，也应符合功能性的相应要求。

▼ 点击展开条文说明

8.1.2 接地极应符合下列要求：

1 对接地极的材料和尺寸的选择，应使其耐腐蚀又具有适当的机械强度。耐腐蚀和机械强度要求的埋入土壤中常用材料接地极的最小尺寸，应符合表 8.1.2 的规定。有防雷装置时，应符合现行国家标准《建筑物防雷设计规范》GB 50057 的有关规定。

表 8.1.2 耐腐蚀和机械强度要求的埋入土壤中常用材料接地极的最小尺寸

材料	表面	形状	最小尺寸				
			直径 (mm)	截面积 (mm ²)	厚度 (mm)	镀层 / 护套的厚度 (μm)	
						单个值	平均值
钢	热镀锌 或不锈钢	带状	—	90	3	63	70
		型材	—	90	3	63	70
		深埋接地极用的圆棒	16	—	—	63	70
钢	热镀锌或不 锈钢	浅埋接地极用的圆线	10	—	—	—	50
		管状	25	—	2	47	55
	铜护套	深埋接地极用的圆棒	15	—	—	2000	—
	电镀铜护层	深埋水平接地极	—	90	3	70	—
		深埋接地极用的圆棒	14	—	—	254	—
铜	裸露	带状	—	50	2	—	—
		浅埋接地极用的圆线	—	25	—	—	—
	—	绞线	每根 1.8	25	—	—	—
		管状	20	—	2	—	—
	镀锡	绞线	每根 1.8	25	—	1	5
	镀锌	带状	—	50	2	20	40

注：1 热镀锌或不锈钢可用作埋在混凝土中的电极；

2 不锈钢不加镀层；

3 钢带为带圆边的轧制的带状或切割的带状；

- 4 铜镀锌带为带圆边的带状；
- 5 在腐蚀性和机械损伤极低的场所，铜圆线可采用 16mm² 的截面；
- 6 浅埋指埋设深度不超过 0.5m。

2 接地极应根据土壤条件和所要求的接地电阻值，选择 1 个或多个。

3 接地极可采用下列设施：

- 1) 嵌入地基的地下金属结构网(基础接地)。
- 2) 金属板。
- 3) 埋在地下混凝土(预应力混凝土除外)中的钢筋。
- 4) 金属棒或管子。
- 5) 金属带或线。
- 6) 根据当地条件或要求所设电缆的金属护套和其他金属护层。
- 7) 根据当地条件或要求设置的其他适用的地下金属网。

4 在选择接地极类型和确定其埋地深度时，应符合现行国家标准《建筑物电气装置 第 4-41 部分：安全防护-电击防护》GB 16895.21 的有关规定，并结合当地的条件，防止在土壤干燥和冻结的情况下，接地极的接地电阻增加到有损电击防护措施的程度。

5 应注意在接地配置中采用不同材料时的电解腐蚀问题。

6 用于输送可燃液体或气体的金属管道，不应用作接地极。

▼ 点击展开条文说明

8.1.3 接地导体(线)应符合下列要求：

1 接地导体(线)应符合本规范第 8.2.1 条的规定；埋入土壤中的接地导体(线)的最小截面积应符合表 8.1.3 的要求。

表 8. 1. 3 埋入土壤中的接地导体(线)的最小截面积

防腐蚀保护	有防机械损伤保护	无防机械损伤保护
有	铜：2. 5mm ²	铜：16mm ²
	钢：10mm ²	钢：16mm ²
无	铜：25mm ²	钢：50mm ²

2 接地导体(线)与接地极的连接应牢固，且应有良好的导电性能，并应采用放热焊接、压接器、夹具或其他机械连接器连接。机械接头应按厂家的说明书安装。采用夹具时，不得损伤接地极或接地导体(线)。

8.1.4 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。

8.2 保护导体

8.2 保护导体

8.2.1 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《建筑物电气装置 第 4-41 部分：安全防护-电击防护》GB 16895.21-2004 的第 411.1 条的规定，并应能承受预期的故障电流。

PE 的最小截面积可按式(8.2.1)计算，也可按表 8.2.1 确定：

表 8. 2. 1 PE 的最小截面积

相线截面积 S_a (mm ²)	相应 PE 的最小截面积 (mm ²)	
	PE 与相线使用相同材料	PE 与相线使用不同材料
$S_a \leq 16$	S_a	$(k_1/k_2) \times S_a$
$16 < S_a \leq 35$	16	$(k_1/k_2) \times 16$
$S_a > 35$	$S_a / 2$	$(k_1/k_2) \times (S_a / 2)$

注：1 k_1 为相导体的 k 值，按线和绝缘的材料由本规范表 G.0.1 或现行国家标准《建筑物电气装置 第 4 部分：安全防护 第 43 章：过电流保护》GB 16895.5 的有关规定选取；

2 k_2 为 PE 的 k 值，按本规范表 G.0.2-1 ~ 表 G.0.2-5 的规定选取；

3 对于 PEN，其截面积应符合现行国家标准《建筑物电气装置 第 5 部分：电气设备的选择和安装 第 52 章：布线系统》GB 16895.6 规定的 N 尺寸后，再减少。

2 切断时间不超过 5s 时，PE 的截面积不应小于下式的要求：

$$S = \sqrt{(I^2 t) / k} \quad (8.2.1)$$

式中：S——截面积(mm²)；

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，按本规范附录 G 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 2.5mm²，铝为 16mm²；

2)没有防机械损伤保护，铜为 4mm²，铝为 16mm²。

4 当两个或更多个回路共用一个时，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，其截面积按本规范表 8.2.1 选定。

▼ 点击展开条文说明

8.2.2 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)符合本规范第 8.2.2.条第 2 款第 1)项和第 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，还应符合本规范第 8.2.6 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)符合本规范第 8.2.1 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。

8.2.3 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 除本规范第 8.2.2 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。

8.2.4 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 10mm² 或铝的截面积不应小于 16mm²。

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 PE 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。

8.2.5 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《建筑物电气装置 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。

8.2.6 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。

8.2.7 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 10mm² 的铜线或 16mm² 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 1.0mm² 或铝 16mm² 处，用电器具对第二根 PE 应设置单独的接线端子。

8.3 保护联结导体

8.3 保护联结导体

8.3.1 作为总等电位联结的保护联结导体和按本规范第 8.1.4 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 6mm²。

2 镀铜钢为 25mm²。

3 铝为 16mm²。

4 钢为 50mm²。

8.3.2 作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 应符合本规范第 8.2.1 条第 3 款的规定。

附录 A 土壤中人工接地极工频接地电阻的计算

附录 A 土壤中人工接地极工频接地电阻的计算

A.0.1 均匀土壤中垂直接地极的接地电阻可按下列公式计算：

1 当 $l \geq d$ 时，接地电阻可按下列公式计算(图 A.0.1—1)：

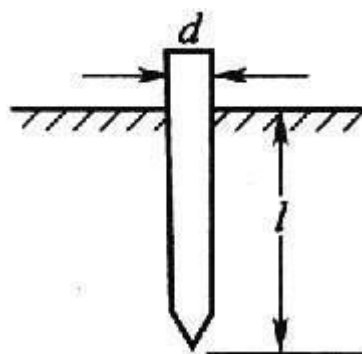


图 A.0.1—1 垂直接地极的示意

$$R_v = \frac{\rho}{2\pi l} \left(\ln \frac{8l}{d} - 1 \right) \quad (\text{A.0.1—1})$$

式中： R_v ——垂直接地极的接地电阻(Ω)；

ρ ——土壤电阻率($\Omega \cdot \text{m}$)；

l ——垂直接地极的长度(m)；

d——接地极用圆导体时，圆导体的直径(m)。

2 当接地极用其他型式导体时，其等效直径可按式计算(图 A.0.1—2)：

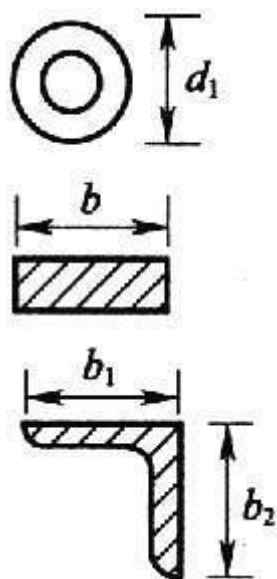


图 A.0.1—2 几种型式导体的计算用尺寸

管状导体， $d = d_1$ (A.0.1—2)

扁导体， $d = b/2$ (A.0.1—3)

等边角钢， $d = 0.84b$ (A.0.1—4)

不等边角钢， $d = 0.71[b_1b_2(b_1^2 + b_2^2)]^{0.25}$ (A.0.1—5)

▼ 点击展开条文说明

A.0.2 均匀土壤中不同形状水平接地极的接地电阻，可按式计算：

$$R_h = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{2L}{h} + A \right) \quad (\text{A.0.2})$$

式中： R_h ——水平接地极的接地电阻(Ω)；

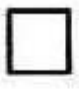
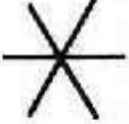
L ——水平接地极的总长度(m)；

h ——水平接地极的埋设深度(m)；

d——水平接地极的直径或等效直径(m)；

A——水平接地极的形状系数，可按表 A.0.2 的规定采用。

表 A. 0. 2 水平接地极的形状系数

水平接地极形状								
形状系数 A	-0.6	-0.18	0	0.48	0.89	1	2.19	3.03

▼ 点击展开条文说明

A.0.3 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：

$R_n = \alpha R_e \text{ (A.0.3—1)}$

$$\alpha = \frac{L_0}{\sqrt{S}}$$

$\alpha = (3.14 \frac{L_0}{\sqrt{S}} - 0.2) \text{ (A.0.3—2)}$

$$\alpha = \frac{\sqrt{S}}{L_0}$$

$$\alpha = \frac{\rho}{\rho_s S}$$

$R_e = 0.213 \frac{\rho}{\sqrt{S}} (1 + B) + \frac{\rho}{2\pi L} (1 - 5B) \text{ (A.0.3—3)}$

$$B = \frac{9hd}{1 + 4.6(h/\sqrt{S})}$$

$$1$$

$B = \frac{1}{1 + 4.6(h/\sqrt{S})} \text{ (A.0.3—4)}$

$$1 + 4.6(h/\sqrt{S})$$

式中：R_n——任意形状边缘闭合接地网的接地电阻(Ω)；

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)；

S——接地网的总面积(m²)；

d——水平接地极的直径或等效直径(m)；

h——水平接地极的埋设深度(m)；

L0——接地网的外缘边线总长度(m)；

L——水平接地极的总长度(m)。

▼ 点击展开条文说明

A.0.4 均匀土壤中人工接地极工频接地电阻的简易计算，可相应采用下列公式：

垂直式：

$$R \approx 0.3\rho \quad (\text{A.0.4—1})$$

单根水平式：

$$R \approx 0.03\rho \quad (\text{A.0.4—2})$$

复合式(接地网)：

$$R \approx 0.5 \frac{\rho}{\sqrt{S}} = 0.28 \frac{\rho}{r} \quad (\text{A.0.4—3})$$

$$\text{或 } R \approx \frac{\rho}{4} \times \frac{\sqrt{S}}{\sqrt{\pi}} + \frac{\rho}{L} = \frac{\rho}{4r} + \frac{\rho}{L} \quad (\text{A.0.4—4})$$

式中：S——大于 100m² 的闭合接地网的面积；

R——与接地网面积 S 等值的圆的半径，即等效半径(m)。

▼ 点击展开条文说明

A.0.5 典型双层土壤中几种接地装置的接地参数，可按下列公式计算：

1 深埋垂直接地极的接地电阻(图 A.0.5—1)：

$$\rho_a = \frac{4l}{\pi d}$$

$$R = \frac{\rho_a}{2\pi l} \left(\ln \frac{4l}{d} + C \right) \quad (\text{A.0.5—1})$$

$$2\pi l \quad d$$

$$l < H \text{ 时: } \rho_a = \rho_1 \quad (\text{A.0.5—2})$$

$$\rho_1 \rho_2$$

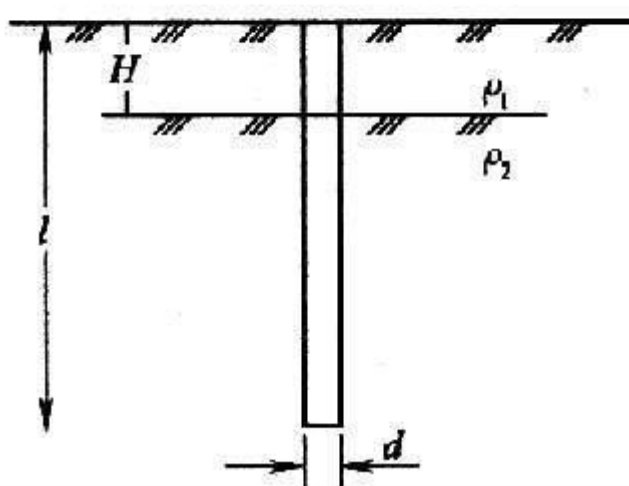
$$l > H \text{ 时: } \rho_a = \frac{\rho_1 \rho_2}{H} \quad (\text{A.0.5—3})$$

$$H$$

$$\frac{1}{l} (\rho_2 - \rho_1) + \rho_1$$

$$l$$

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



$$(\text{A.0.5—4})$$

图 A.0.5—1 深埋接地体示意

2 土壤具有图 A.0.5—2 所示的两个剖面结构时，水平接地网的接地电阻 R：

$$0.5 \rho_1 \rho_2 \sqrt{S}$$

$$R = \frac{0.5 \rho_1 \rho_2 \sqrt{S}}{l} \quad (\text{A.0.5—5})$$

$$\rho_1 S_2 + \rho_2 S_1$$

式中： S_1 、 S_2 ——覆盖在 ρ_1 、 ρ_2 土壤电阻率上的接地网面积(m²)；

S ——接地网总面积(m²)。

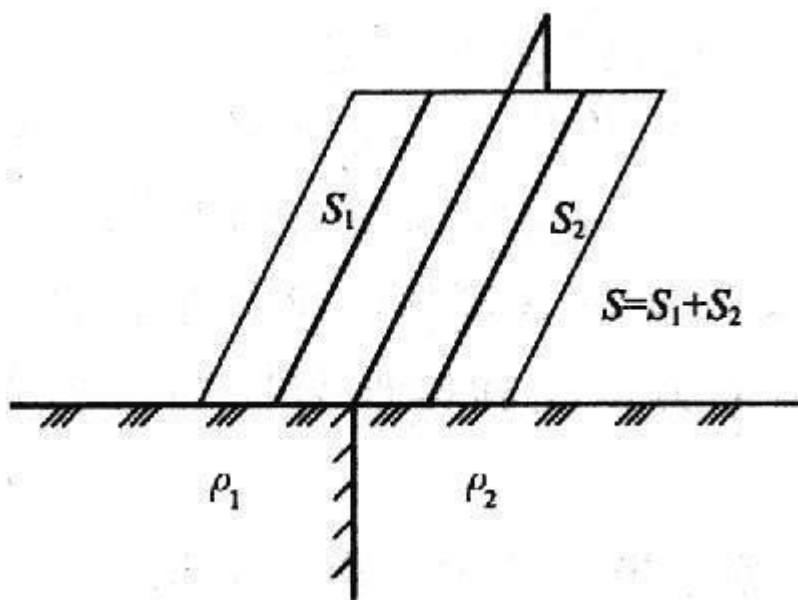


图 A.0.5—2 两种土壤电阻率的接地网

▼ 点击展开条文说明

附录 B 经发电厂和变电站接地网的入地故障电流及地电位升高的计算

附录 B 经发电厂和变电站接地网的入地故障电流及地电位升高的计算

B.0.1 经发电厂和变电站接地网的入地接地故障电流，应计及故障电流直流分量的影响，设计接地网时应按接地网最大入地电流 I_G 进行设计。 I_G 可按下列步骤确定：

1 确定接地故障对称电流 I_f 。

2 根据系统及线路设计采用的参数确定故障电流分流系数 S_f ，进而计算接地网入地对称电流 I_g 。

3 计算衰减系数 D_f ，将其乘以入地对称电流，得到计及直流偏移的经接地网入地的最大接地故障不对称电流有效值 I_G 。

4 发电厂和变电站内、外发生接地短路时，经接地网入地的故障对称电流可分别按下列公式计算：

$$I_g = (I_{\max} - I_n) S_{f1} \quad (\text{B.0.1—1})$$

$$I_g = I_n S_{f2} \quad (\text{B.0.1—2})$$

式中： $I_{\max}$ ——发电厂和变电站内发生接地故障时的最大接地故障对称电流有效值(A)；

I_n ——发电厂和变电站内发生接地故障时流经其设备中性点的电流(A)；

S_{f1} 、 S_{f2} ——厂站内、外发生接地故障时的分流系数。

▼ 点击展开条文说明

B.0.2 故障电流分流系数 S_f 的计算可分为站内短路故障和站外短路故障。

1 站内接地故障时分流系数 S_{f1} 的计算：

1)对于站内单相接地故障，假设每个挡距内的导线参数和杆塔接地电阻均相同(图

B.0.2—1)。不同位置的架空线路地线上流过的零序电流可按下列公式计算：

$$I_{B(n)} = \left[\frac{e^{\beta(s+1-n)} - e^{-\beta(s+1-n)}}{e^{\beta(s+1)} - e^{-\beta(s+1)}} \left(1 - \frac{Z_m}{Z_s} \right) + \frac{Z_m}{Z_s} \right]$$

$$e^{-\beta} = \frac{1 - \sqrt{\frac{Z_s \cdot D}{12 \cdot R_{st} + Z_s \cdot D}}}{1 + \sqrt{\frac{Z_s \cdot D}{12 \cdot R_{st} + Z_s \cdot D}}}$$

$$Z_s = \frac{3r_s}{k} + 0.15 + j0.189 \ln \frac{D_g}{\sqrt[k]{a_s D_s^{k-1}}}$$

钢芯铝绞线： $a_s = 0.95 a_0$

有色金属线： $a_s = (0.724 \sim 0.771) a_0$

钢绞线： $a_s = a_0 \times 10^{-6.9X_{ne}}$

$$Z_m = 0.15 + j0.189 \ln \frac{D_g}{D_m}$$

单地线时： $D_m = \sqrt[3]{D_{1A} D_{1B} D_{1C}}$

双地线时： $D_m = \sqrt[6]{D_{1A} D_{1B} D_{1C} D_{2A} D_{2B} D_{2C}}$

式中： Z_s ——单位长度的地线阻抗(Ω/km)；

Z_m ——单位长度的相线与地线之间的互阻抗(Ω/km)；

D ——档距的平均长度(km)；

r_s ——单位长度地线的电阻(Ω/km)；

a_s ——地线的将电流化为表面分布后的等值半径(m)；

X_{ne} ——单位长度的内感抗(Ω/km) ;

k ——地线的根数 ;

D_s ——地线之间的距离(m) ;

D_m ——地线之间的几何均距(m) ;

D_g ——地线对地的等价镜像距离 , $D_g = 80\sqrt{\rho}(\text{m})$, ρ 为大地等值电阻率($\Omega\cdot\text{m}$)。

2)当 $n = 1$ 时 , 分流系数 S_{f11} 可按下式计算 :

$$S_{f1} = 1 - \frac{I_B(1)}{I_b} = 1 - \left[\frac{e^{\beta \cdot s} - e^{-\beta \cdot s}}{e^{\beta(s+1)} - e^{-\beta(s+1)}} \left(1 - \frac{Z_m}{Z_s} \right) + \frac{Z_m}{Z_s} \right] \quad (\text{B.0.2—10})$$

3)当 $s > 10$ 时 , S_{f1} 可简化为下式 :

$$S_{f1} = 1 - \left[\frac{e^{\beta \cdot s} - e^{-\beta \cdot s}}{e^{\beta(s+1)} - e^{-\beta(s+1)}} \left(1 - \frac{Z_m}{Z_s} \right) + \frac{Z_m}{Z_s} \right] \quad (\text{B.0.2—11})$$

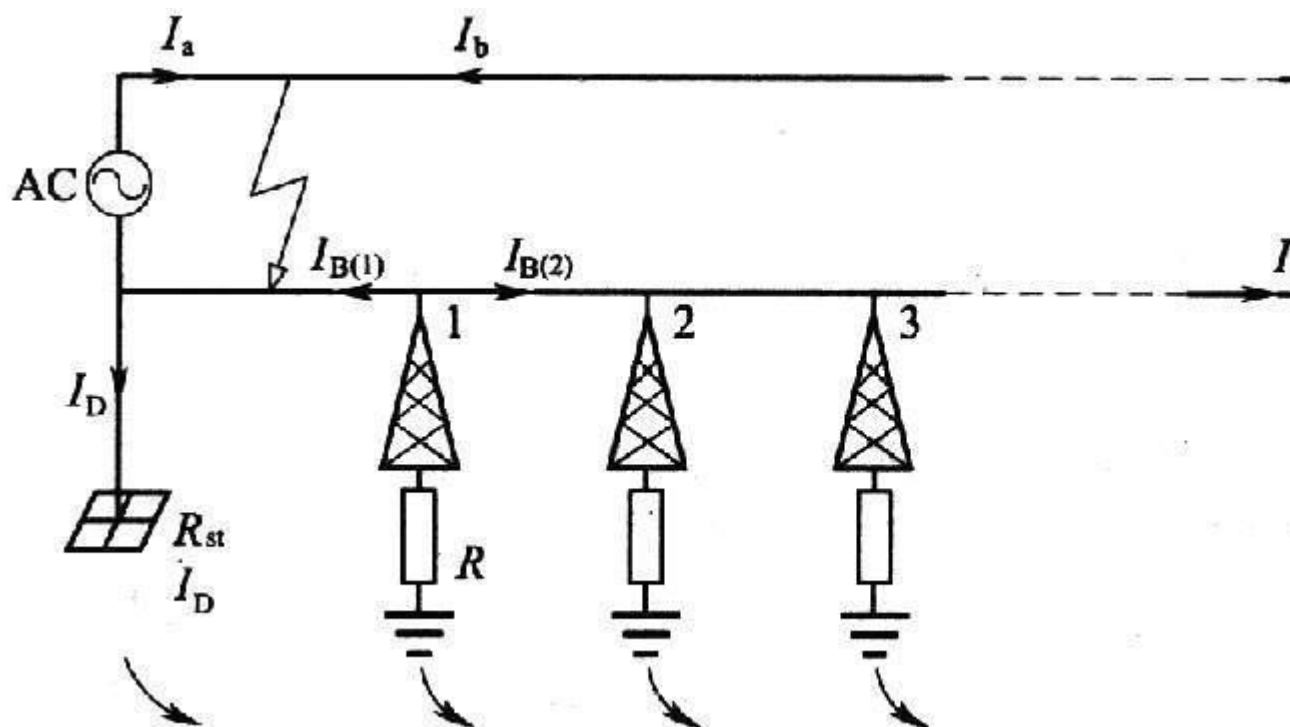


图 B.0.2—1 站内接地故障示意

2 站外接地故障时分流系数 Sf2 的计算：

1)对于站外单相接地故障(图 B.0.2—2)，不同位置的地线上流过的零序电流可按下式计算：

$$I_{B(n)} = \left[\frac{e^{\beta(s+1-n)} - e^{-\beta(s+1-n)}}{e^{\beta(s+1)} - e^{-\beta(s+1)}} \left(1 - \frac{Z_m}{Z_s} \right) + \frac{Z_m}{Z_s} \right] \cdot I_a \quad (\text{B.0.2—12})$$

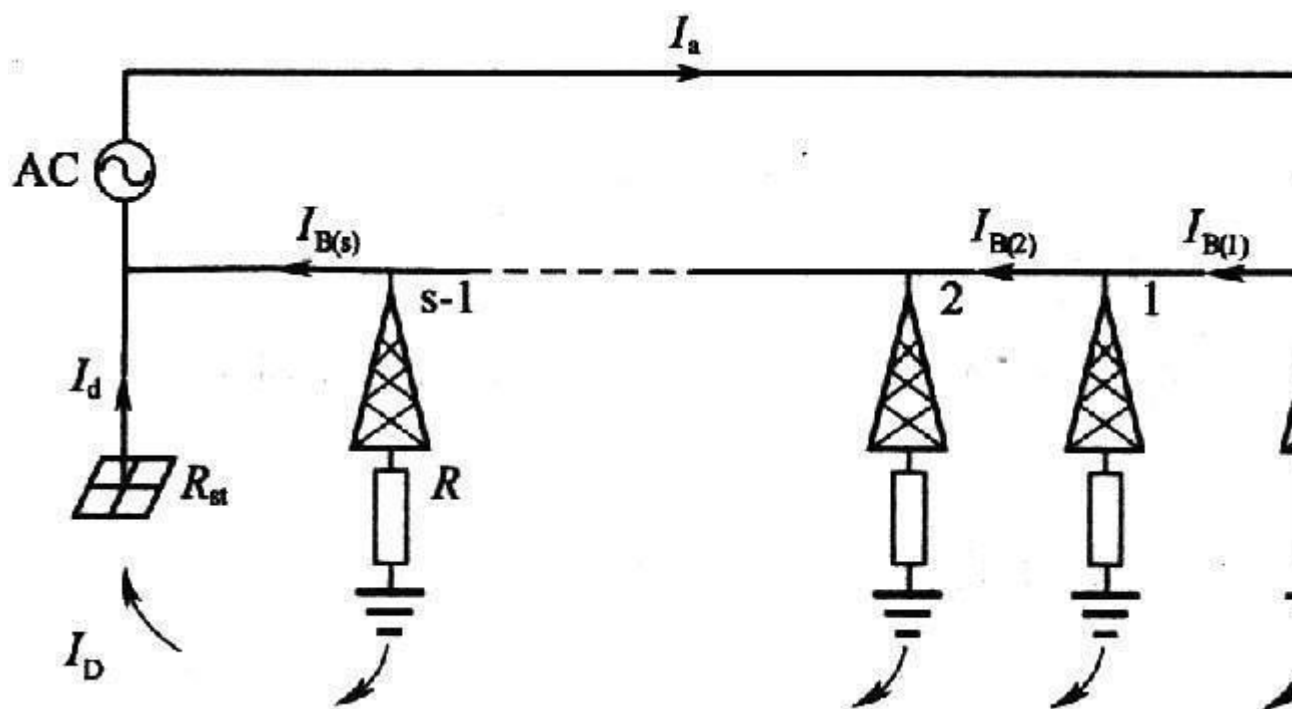


图 B.0.2—2 站外接地故障示意

2)当 $n = S$ 时， $e^{-\beta}$ 计算表达式中的 R_{st} 应更换为杆塔接地电阻 R ，分流系数 Sf_2 可按下式计算：

$$Sf_2 = 1 - \frac{I_{B(s)}}{I_a} = 1 - \left[\frac{e^{\beta} - e^{-\beta}}{e^{\beta(s+1)} - e^{-\beta(s+1)}} \left(1 - \frac{Z_m}{Z_s} \right) + \frac{Z_m}{Z_s} \right] \quad (B.0.2—13)$$

3)当 $S > 10$ 时， Sf_2 可简化为下式：

$$Sf_2 = 1 - \frac{Z_m}{Z_s} \quad (B.0.2—14)$$

▼ 点击展开条文说明

B.0.3 典型的衰减系数 D_f 值可按表 B.0.3 中 t_f 和 X/R 的关系确定。

表 B. 0. 3 典型的衰减系数 D_f 值

故障时延 t_f (s)	50Hz 对应的周期	衰减系数 D_f			
		$X/R=10$	$X/R=20$	$X/R=30$	$X/R=40$
0. 05	2. 5	1. 2685	1. 4172	1. 4965	1. 5445
0. 10	5	1. 1479	1. 2685	1. 3555	1. 4172
0. 20	10	1. 0766	1. 1479	1. 2125	1. 2685
0. 30	15	1. 0517	1. 1010	1. 1479	1. 1919
0. 40	20	1. 0390	1. 0766	1. 1130	1. 1479
0. 50	25	1. 0313	1. 0618	1. 0913	1. 1201
0. 75	37. 5	1. 0210	1. 0416	1. 0618	1. 0816
1. 00	50	1. 0158	1. 0313	1. 0467	1. 0618

▼ 点击展开条文说明

B.0.4 在系统单相接地故障电流入地时，地电位的升高可按下式计算：

$$V = IGR(B.0.4)$$

式中：V——接地网地电位升高(V)；

IG——经接地网入地的最大接地故障不对称电流有效值(A)；

R——接地网的工频接地电阻(Ω)。

▼ 点击展开条文说明

附录 C 表层衰减系数

附录 C 表层衰减系数

C.0.1 接触电位差和跨步电位差允许值可按下列公式计算：

$$U_t = \frac{174 + 0.17 \rho_s C_s}{\sqrt{t_s}}$$

$$U_s = \frac{174 + 0.7 \rho_s C_s}{\sqrt{t_s}}$$

$$C_s = 1 + \frac{16b}{\rho_s} \sum_{n=1}^{\infty} [K^n \cdot R_{m(2nh)}]$$

$$K = \frac{\rho - \rho_s}{\rho + \rho_s}$$

$$R_{m(2nh)} = \frac{1}{\pi b^2} \int_0^b (2\pi x \cdot R_{r,z}) dx$$

$$R_{m(2nh_s)} = \frac{\rho_s}{4\pi b} \sin^{-1} \left[\frac{2b}{\sqrt{(r-b)^2 + z^2} + \sqrt{(r+b)^2 + z^2}} \right]$$

式中： ρ_s ——表层土壤电阻率；

C_s ——表层衰减系数，通过镜像法进行计算，也可通过图 C.0.1 中 C_s 与 h 和 K 的关系曲线查取，其中 b 取 0.08m；

b ——人脚的金属圆盘的半径；

K ——不同电阻率土壤的反射系数，可按公式(C.0.1—4)计算；

h_s ——表层土壤厚度；

$R_{m(2nh_s)}$ ——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 ——下层土壤电阻率；

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。

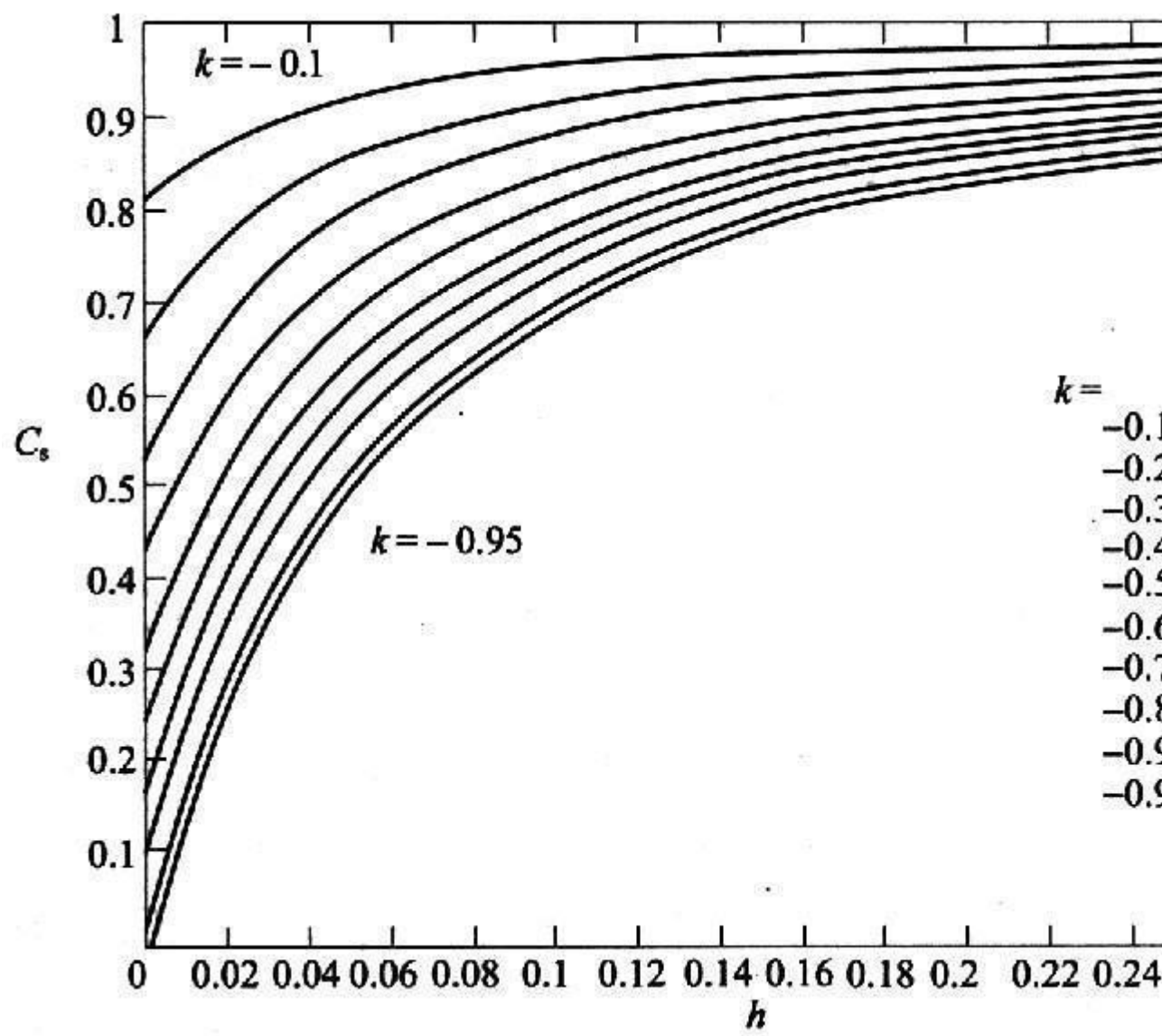


图 C.0.1 C_s 与 h 和 K 的关系曲线

C.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，也可采用下式计算：

$$\rho$$
$$0.09 \cdot \left(1 - \frac{\rho}{\rho_s}\right)$$
$$\rho_s$$

$$C_s = 1 - \frac{1}{2hs + 0.09} \quad (C.0.2)$$

▼ 点击展开条文说明

附录 D 均匀土壤中接地网接触电位差和跨步电位差的计算

附录 D 均匀土壤中接地网接触电位差和跨步电位差的计算

D.0.1 本附录只适用于均匀土壤中接地网接触电位差和跨步电位差的计算。均匀土壤中不规则、复杂结构的等间距布置和不等间距布置的接地网，以及分层土壤中的接地网其接触电位差和跨步电位差的计算，宜采用专门的计算机程序进行。

▼ 点击展开条文说明

D.0.2 接地网接地极的布置可分为等间距布置和不等间距布置。等间距布置时，接地网的水平接地极采用 10m ~ 20m 的间距布置。接地极间距的大小应根据地面电气装置接地布置的需要确定。不等间距布置的接地网接地极从中间到边缘应按一定的规律由稀到密布置。

▼ 点击展开条文说明

D.0.3 等间距布置接地网的接触电位差和跨步电位差的计算。

1 接地网初始设计时的网孔电压计算：

1) 接地网初始设计时的网孔电压可按下列公式计算：

$$U_m = \frac{\rho I G K_m K_i}{L M} \quad (D.0.3-1)$$

$$1 \quad D^2 \quad (D + 2h)^2 \quad h \quad K_{ii} \quad 8$$

$$K_m = \frac{1}{\pi} \left[\ln \left(\frac{1}{\sqrt{1 + \frac{16hd}{8Dd}}} \right) + \frac{1}{\pi} \ln \left(\frac{1}{\sqrt{1 + \frac{4d}{Kh}}} \right) \right] \quad (D.0.3-2)$$

2)

$$K_h = \sqrt{1 + \frac{16hd}{8Dd}} \quad K_h = \frac{1}{\pi(2n-1)}$$

$$K_h = \sqrt{1 + h/h_0} \quad (D.0.3-3)$$

式中： ρ ——土壤电阻率($\Omega \cdot m$)；

K_m ——网孔电压几何校正系数；

K_i ——接地网不规则校正系数，用来计及推导 K_m 时的假设条件引入的误差；

I_G ——接地网的最大入地电流；

D ——接地网平行导体间距；

d ——接地网导体直径。扁导体的等效直径 d 为扁导体宽度 b 的 $1/2$ ；等边角钢的等

效直径 d 为 $0.84b$ (b 为角钢边宽度)；不等边角钢的等效直径 d 为 0.71

$$\sqrt[4]{b_1 b_2 (b_1^2 + b_2^2)} \quad (b_1 \text{ 和 } b_2 \text{ 为角钢两边宽度})；$$

h ——接地网埋深；

K_h ——接地网埋深系数；

h_0 ——参考深度，取 $1m$ ；

K_{ii} ——因内部导体对角网孔电压影响的校正加权系数。

2)式(D.0.3—1) ~ 式(D.0.3—3)对埋深在 $0.25m \sim 2.50m$ 范围的接地网有效。当接地网具有沿接地网周围布置的垂直接地极、在接地网四角布置的垂直接地极或沿接地网四周和其内部布置的垂直接地极时， $K_{ii} = 1$ 。

3)对无垂直接地极或只有少数垂直接地极，且垂直接地极不是沿外周或四角布置时，

K_{ii} 可按下式计算：

$$K_{ii} = 1/(2n)^{2/n} \quad (D.0.3-4)$$

式中：n——矩形或等效矩形接地网一个方向的平行导体数。

4)对于矩形和不规则形状的接地网的计算，n可按下式计算：

$$n = n_a n_b n_c n_d \quad (\text{D.0.3—5})$$

5)式(D.0.3—5)中，对于方形接地网， $n_b = 1$ ；对于方形和矩形接地网， $n_c = 1$ ；对于方形、矩形和L形接地网， $n_d = 1$ 。

对于其他情况，可按下列公式计算：

$$n_a = \frac{2L_c}{L_p} \quad (\text{D.0.3—6})$$

$$n_b = \sqrt{\frac{L_p}{4\sqrt{A}}} \quad (\text{D.0.3-7})$$

$$n_c = \left(\frac{L_x L_y}{A} \right)^{\frac{0.7A}{L_x L_y}} \quad (\text{D.0.3-8})$$

$$n_d = \frac{D_m}{\sqrt{L_x^2 + L_y^2}} \quad (\text{D.0.3—9})$$

式中：Lc——水平接地网导体的总长度(m)；

Lp——接地网的周边长度(m)；

A——接地网面积(m²)；

Lx——接地网x方向的最大长度(m)；

Ly——接地网y方向的最大长度(m)；

Dm——接地网上任意两点间最大的距离(m)。

6)如果进行简单的估计，在计算 K_m 和 K_i 以确定网孔电压可采用 $n = \sqrt{n_1 n_2}$ ，

n_1 和 n_2 为 x 和 y 方向的导体数。

7)接地网不规则校正系数 K_i 可按式计算：

$$K_i = 0.644 + 0.148n \quad (D.0.3—10)$$

8)对于无垂直接地极的接地网，或只有少数分散在整个接地网的垂直接地极，这些垂直接地极没有分散在接地网四角或接地网的周边上，有效埋设长度 LM 按下式计算：

$$LM = L_c + L_R \quad (D.0.3—11)$$

式中： L_R ——所有垂直接地极的总长度。

9)对于在边角有垂直接地极的接地网，或沿接地网四周和其内部布置垂直接地极时，有效埋设长度 LM 按下式计算：

$$LM = L_c + \left[1.55 + 1.22 \left(\frac{L_r}{\sqrt{L_x^2 + L_y^2}} \right) \right] L_R \quad (D.0.3—12)$$

式中： L_r ——每个垂直接地棒的长度(m)。

2 最大跨步电位差的计算：

1)跨步电位差与跨步电位差 U_s 与几何校正系数 K_s 、校正系数 K_i 、土壤电阻率 ρ 、接地系统单位导体长度的平均流散电流有关，可按下列公式计算：

$$U_s = \frac{\rho I G K S K_i}{L_s} \quad (D.0.3—13)$$

$$L_s$$

$$L_s = 0.75L_c + 0.85L_R \quad (D.0.3—14)$$

式中：IG——接地网入地故障电流；

Ls——埋入地中的接地系统导体有效长度。

2)发电厂和变电站接地系统的最大跨步电位差出现在平分接地网边角直线上，从边角点开始向外 1m 远的地方。

对于一般埋深 h 在 0.25m ~ 2.5m 的范围的接地网，KS 可按下列式计算：

$$KS = \frac{1}{\pi} \left(\frac{1}{2h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{D} \right) (1 - 0.5n - 2) \quad (D.0.3-15)$$

D.0.4 不等间距布置接地网的接触电位差和跨步电位差的计算。

1 不等间距布置接地网的布置规则应符合下列要求：

1)不等间距布置的长方形接地网(图 D.0.4)，长或宽方向的第 i 段导体长度 Lik 占边长

L 的百分数 Sik 可按下列式计算：

$$Sik = \frac{Lik}{L} \times 100\% \quad (D.0.4-1)$$

式中：L——接地网的边长，在长方向，L = L1，在宽方向，L = L2。

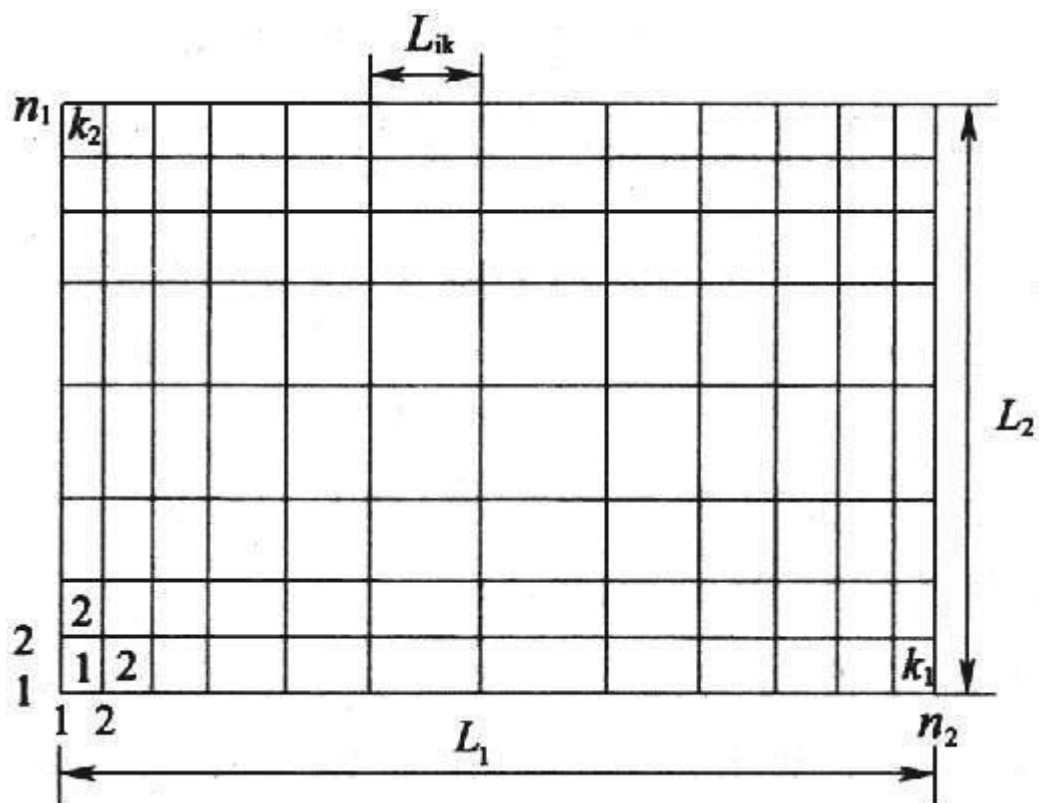


图 D.0.4 不等间距布置的长方形接地网

2)接地网长方向的导体根数为 n_1 ，宽方向的导体根数为 n_2 。长方向上导体分段数为 $k_1 = n_1 - 1$ ，宽方向上的导体分段数为 $k_2 = n_2 - 1$ 。

3) S_{ik} 与导体分段数 k 和从周边导体数起的导体段的序号 i 的关系如表 D.0.4 所示。

因接地网的对称性，如某方向的导体分段为奇数，则列出了 $(k + 1)/2$ 个数据，当 k 为偶数，则列出了 $k/2$ 个数据，其余数据可以根据对称性赋值。

$k \geq 7$ ，对表中结果进行拟合，则 S_{ik} 可按下列公式计算：

$$S_{ik} = b_1 \exp(-ib_2) + b_3 \quad (\text{D.0.4—2})$$

当 $7 \leq k \leq 14$ 时：

$$b_1 = -1.8066 + 2.6681 \lg k - 1.0719 \lg^2 k \quad (\text{D.0.4—3})$$

$$b_2 = -0.7649 + 2.6992 \lg k - 1.6188 \lg^2 k \quad (\text{D.0.4—4})$$

$$b_3 = 1.8520 - 2.8568 \lg k + 1.1948 \lg^2 k \quad (\text{D.0.4—5})$$

当 $14 < k \leq 25$ 时 :

$$b_1 = -0.00064 - 2.50923/(k + 1) \text{ (D.0.4—6)}$$

$$b_2 = -0.03083 + 3.17003/(k + 1) \text{ (D.0.4—7)}$$

$$b_3 = 0.00967 + 2.21653/(k + 1) \text{ (D.0.4—8)}$$

当 $25 < k \leq 40$ 时 :

$$b_1 = -0.0006 - 2.50923/(k + 1) \text{ (D.0.4—9)}$$

$$b_2 = -0.03083 + 3.17003/(k + 1) \text{ (D.0.4—10)}$$

$$b_3 = 0.00969 + 2.2105/(k + 1) \text{ (D.0.4—11)}$$

式中 : b_1 、 b_2 和 b_3 ——与 k 有关的常数。

表D. 0. 4 S_{ik} 与导体分段数k 和从周边导体数起的导体段的序号 i 的关系

$k \backslash i$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3	27.50	45.00								
4	17.50	32.50								
5	12.50	23.50	28.33							
6	8.75	17.50	23.75							
7	71.4	13.75	18.57	21.43						
8	5.50	10.83	15.67	18.00						
9	4.50	8.94	12.83	15.33	16.73					
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	6.67	8.15	8.15	8.71	
19	1.05	2.32	3.47	4.53	5.47	6.26	7.53	7.53	8.11	8.36
20	0.95	2.15	3.20	4.15	5.00	5.75	7.00	7.00	7.50	7.90

2 不等间距布置接地网时接地电阻可按下列公式计算：

$$R = kR_h kR_L kR_m kR_N kR_d (1.068 \times 10^{-4} + 0.445/\sqrt{s}) \rho \quad (D.0.4—12)$$

$$k_{Rh} = 1.061 - 0.070 \sqrt[5]{h} \quad (D.0.4-13)$$

$$k_{RL} = 1.144 - 0.13 \sqrt{L_1/L_2} \quad (D.0.4-14)$$

$$k_{RN} = 1.256 - 0.367 \sqrt{N_1/N_2} + 0.126 N_1/N_2 \quad (D.0.4-15)$$

$$k_{Rm} = (1.168 - 0.079 \sqrt[5]{m}) k_{RN} \quad (D.0.4-16)$$

$$k_{Rd} = 0.931 + 0.0174 / \sqrt[3]{d} \quad (D.0.4-17)$$

$$m = (N_1 - 1)(N_2 - 1) \quad (D.0.4-18)$$

式中： ρ ——土壤电阻率($\Omega \cdot m$)；

k_{Rh} 、 k_{RL} 、 k_{Rm} 、 k_{RN} 、 k_{Rd} ——接地电阻的埋深、形状、网孔数目、导体根数和

导体直径对接地电阻的影响系数；

L_1 、 L_2 ——接地网的长度和宽度(m)；

N_1 、 N_2 ——长宽方向布置的导体根数；

m ——接地网的网孔数目。

3 最大接触电位差 U_T 可按下列公式计算：

$$U_T = k_{TL} k_{Th} k_{Td} k_{TS} k_{TN} k_{Tm} V \quad (D.0.4-19)$$

$$k_{TL} = 1.215 - 0.269 \sqrt[3]{L_2/L_1} \quad (D.0.4-20)$$

$$k_{Th} = 1.612 - 0.654 \sqrt[5]{h} \quad (D.0.4-21)$$

$$k_{Td} = 1.527 - 1.494 \sqrt[5]{d} \quad (D.0.4-22)$$

$$k_{TN} = 64.301 - 232.65 \sqrt[6]{N} + 279.65 \sqrt[3]{N} - 110.32 \sqrt{N} \quad (D.0.4-23)$$

$$k_{TS} = -0.118 + 0.445 \sqrt[12]{S} \quad (D.0.4-24)$$

$$k_{Tm} = 9.727 \times 10^{-3} + 1.356/\sqrt{m} \quad (D.0.4-25)$$

$$N = N_2/N_1 (D.0.4-26)$$

式中：V = IGR——接地网的最大接地电位升高；

IGM——流入接地网的最大接地故障电流；

R——接地网接地电阻；

k_{TL}、k_{Th}、k_{Td}、k_{TS}、k_{TN}、k_{Tm}——最大接触电位差的形状、埋深、接地导体直径、接地网面积、接地体导体根数及接地网网孔数目影响系数。

4 最大跨步电位差 US 可按下列公式计算：

$$US = k_{SL}k_{Sh}k_{Sd}k_{SS}k_{SN}k_{Sm}U_0 \quad (D.0.4-27)$$

$$k_{SL} = 29.081 - 1.862\sqrt{l} + 435.18l + 425.68l^{1.5} + 148.59l^2 \quad (D.0.4-28)$$

$$k_{Sh} = 0.454 \exp(-2.294 \sqrt[3]{h}) \quad (D.0.4-29)$$

$$k_{Sd} = -2780 + 9623 \sqrt[36]{d} - 11099 \sqrt[18]{d} + 4265 \sqrt[12]{d} \quad (D.0.4-30)$$

$$k_{SN} = 1.0 + 1.416 \times 10^6 \exp(-202.7N) - 0.306 \exp[29.264(N - 1)] \quad (D.0.4-31)$$

$$k_{SS} = 0.911 + 19.104\sqrt{S} \quad (D.0.4-32)$$

$$k_{Sm} = k_{SN}(34.474 - 11.541\sqrt{m} + 1.43m - 0.076m^{1.5} + 1.455 \times 10^{-3}m^2) \quad (D.0.4-33)$$

$$N = N_2/N_1 \quad (D.0.4-34)$$

$$l = L_1/L_2 \quad (D.0.4-35)$$

式中：k_{SL}、k_{Sh}、k_{Sd}、k_{SS}、k_{SN} 和 k_{Sm}——最大跨步电位差的形状、埋深、接地导体直径、接地网面积、接地体导体根数及接地网网孔数目影响系数。

附录 E 高压电气装置接地导体(线)的热稳定校验

附录 E 高压电气装置接地导体(线)的热稳定校验

E.0.1 接地导体(线)的最小截面应符合下式的要求：

$$S_g \geq \frac{I_g}{C} \sqrt{t_e} \quad (\text{E.0.1})$$

式中： S_g ——接地导体(线)的最小截面(mm^2)；

I_g ——流过接地导体(线)的最大接地故障不对称电流有效值(A)，按工程设计水平年系统最大运行方式确定；

t_e ——接地故障的等效持续时间，与 t_s 相同(s)；

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

▼ 点击展开条文说明

E.0.2 在校验接地导体(线)的热稳定时， I_g 及 t_e 应采用表 E.0.2—1 所列数值。接地导体(线)的初始温度，取 40°C 。

对钢和铝材的最大允许温度分别取 400°C 和 300°C 。钢和铝材的热稳定系数 C 值分别取 70 和 120。

铜和铜覆钢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经验算分别取 900°C 、 800°C 或 700°C 。爆炸危险场所，应按专用规定选取。铜和铜镀钢材的热稳定系数 C 值可采用表 E.0.2—2 给出的数值。

表 E. 0. 2—1 校验接地导体(线)热稳定用的 I_g 和 t_e 值

系统接地方式	I_g	t_e
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	本规范第 E. 0. 3 条
低电阻接地	单相接地故障电流	本规范第 E. 0. 3 条

表 E. 0. 2—2 校验铜和铜镀钢材接地导体(线)热稳定用的 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

▼ 点击展开条文说明

E.0.3 热稳定校验用的时间可按下列要求计算：

1 发电厂和变电站的继电保护装置配置有两套速动主保护、近接地后备保护、断路器

失灵保护和自动重合闸时， t_e 应按下式取值：

$t_e \geq t_m + t_f + t_o$ (E.0.3—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_o ——断路器开断时间(s)。

2 配有一套速动主保护、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 应按下式取值：

$t_e \geq t_o + t_r$ (E.0.3—2)

式中 t_r ——第一级后备保护的動作时间(s)。

附录 F 架空线路杆塔接地电阻的计算

附录 F 架空线路杆塔接地电阻的计算

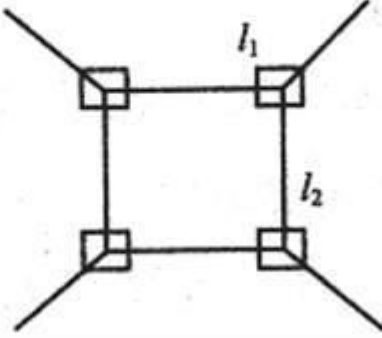
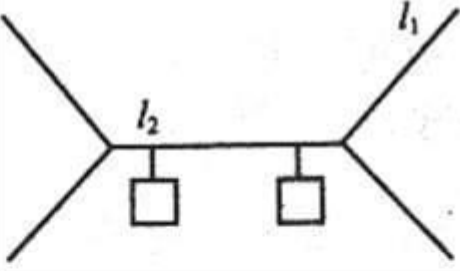
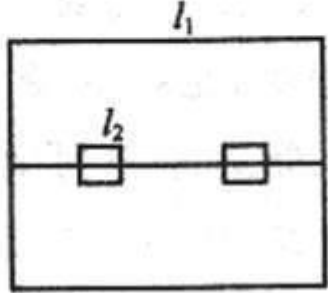
F.0.1 杆塔水平接地装置的工频接地电阻可按下列公式计算：

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{2L}{hd} + A_t \right) \quad (F.0.1)$$

式中： A_t ——按表 F.0.1 取值；

L ——按表 F.0.1 取值。

表 F. 0. 1 A_t 和 L 的意义与取值

接地装置种类	形状	参数
铁塔接地装置		$A_t = 1.76$ $L = 4(l_1 + l_2)$
钢筋混凝土杆放射型接地装置		$A_t = 2.0$ $L = 4l_1 + l_2$
钢筋混凝土杆环型接地装置		$A_t = 1.0$ $L = 8l_2$ (当 $l_1 = 0$ 时) $L = 4l_1$ (当 $l_1 \neq 0$ 时)

F.0.2 杆塔接地装置接地电阻的冲击系数，可按以下公式计算：

1 铁塔接地装置：

$$\alpha = 0.74\rho^{-0.4}(7.0 + \sqrt{L})[1.56 - \exp(-3.0I_i - 0.4)] \quad (\text{F.0.2—1})$$

式中： I_i ——流过杆塔接地装置或单独接地极的冲击电流(kA)；

ρ ——以 $\Omega\cdot\text{m}$ 表示的土壤电阻率。

2 钢筋混凝土杆放射型接地装置：

$$a = 1.36\rho^{-0.4}(1.3 + \sqrt{L})[1.55 - \exp(-4.0I_i - 0.4)] \quad (\text{F.0.2—2})$$

3 钢筋混凝土杆环型接地装置：

$$a = 2.94\rho^{-0.5}(6.0 + \sqrt{L})[1.23 - \exp(-2.0I_i - 0.3)] \quad (\text{F.0.2—3})$$

4 单独接地极接地电阻的冲击系数的计算：

1)垂直接地极：

$$a = 2.75\rho^{-0.4}(1.8 + \sqrt{L})[0.75 - \exp(-1.50I_i - 0.2)] \quad (\text{F.0.2—4})$$

2)单端流入冲击电流的水平接地极：

$$a = 1.62\rho^{-0.4}(5.0 + \sqrt{L})[0.79 - \exp(-2.3I_i - 0.2)] \quad (\text{F.0.2—5})$$

3)中部流入冲击电流的水平接地极：

$$a = 1.16\rho^{-0.4}(7.1 + \sqrt{L})[0.78 - \exp(-2.3I_i - 0.2)] \quad (\text{F.0.2—6})$$

F.0.3 $\rho \leq 300\Omega\cdot\text{m}$ 时，可计及杆塔自然接地极的作用。其冲击系数可利用下式计算：

1

$$a = \frac{1}{1.35 + \alpha I_i^{1.5}} \quad (\text{F.0.3})$$

1.35 + $\alpha I_i^{1.5}$

式中： α_i ——对钢筋混凝土杆、钢筋混凝土桩和铁塔的基础(一个塔脚)，为 0.053；

对装配式钢筋混凝土基础(一个塔脚)和拉线盘(带拉线棒)，为 0.038。

F.0.4 各种型式接地极的冲击利用系数 η_i 可采用表 F.0.4 的数值。工频利用系数可取

0.9。自然接地极，工频利用系数可取 0.7。

表 F. 0. 4 接地极的冲击利用系数 η_i

接地极型式	接地导体(线)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	
以水平接地极连接的垂直接地极	2	0.80~0.85	D (垂直接地极间距) ————— $=2\sim3$ l (垂直接地极长度) 较小值用于 $D/l=2$
	3	0.70~0.80	
	4	0.70~0.75	
	6	0.65~0.70	
自然接地极	拉线棒与拉线盘间	0.6	—
	铁塔的各基础间	0.4~0.5	
	门型、各种拉线杆塔的各基础间	0.7	

F.0.5 各种型式接地装置工频接地电阻的计算，可采用表 F.0.5 的简易计算式。

表 F. 0. 5 各种型式接地装置的工频接地电阻简易计算式

接地装置型式	杆塔型式	接地电阻简易计算式
n 根水平射线 (n≤12，每根长约 60m)	各型杆塔	$R \approx \frac{0.062 \rho}{n+1.2}$
沿装配式基础周围敷设的深埋式接地极	铁塔	$R \approx 0.07 \rho$
	门型杆塔	$R \approx 0.04 \rho$
	V 形拉线的门型杆塔	$R \approx 0.045 \rho$
装配式基础的自然接地极	铁塔	$R \approx 0.01 \rho$
	门型杆塔	$R \approx 0.06 \rho$
	V 形拉线的门型杆塔	$R \approx 0.09 \rho$
钢筋混凝土杆的自然接地极	单杆	$R \approx 0.3 \rho$
	双杆	$R \approx 0.2 \rho$
	拉线单、双杆	$R \approx 0.1 \rho$
	一个拉线盘	$R \approx 0.28 \rho$
深埋式接地与装配式基础自然接地的综合	铁塔	$R \approx 0.05 \rho$
	门型杆塔	$R \approx 0.03 \rho$
	V 形拉线的门型杆塔	$R \approx 0.04 \rho$

注：表中 R 为接地电阻(Ω)；ρ为土壤电阻率(Ω•m)。

▼ 点击展开条文说明

附录 G 系数 k 的求取方法

附录 G 系数 k 的求取方法

G.0.1 本规范第 8.2.1 条第 2 款式(8.2.1)中 k 值可由下式计算：

$$k = \sqrt{\frac{Q_c(\beta + 20^{\circ}\text{C})}{\rho_{20}} \ln\left(1 + \frac{\theta_t - \theta_i}{\beta + \theta_i}\right)}$$

(G. 0. 1)

式中 Qc——导线材料在 20℃的体积热容量[J/(℃•mm3)]；

β——导线在 0℃时的电阻率温度系数的倒数，可按表 G.0.1 取值(℃)；

ρ20——导线材料在 20℃时的电阻率，可按表 G.0.1 取值(Ω•mm)；

θ_i ——导线的初始温度(°C)；

θ_f ——导线的最终温度(°C)。

表 G. 0. 1 式 (G. 0. 1) 中的参数取值

材料	β (°C)	Q_c [J / (°C · mm ³)]	ρ_{20} (Ω · mm)	$\sqrt{\frac{Q_c(B+20)}{\rho_{20}}}$ (A √ 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

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

选取。

表 G. 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 (°C)		k		
			导体材料		
	初始	最终	铜	铝	钢
70°C PVC	30	160/140	143/133	95/88	52/49
90°C PVC	30	160/140	143/133	95/88	52/49
90°C 热固性材料	30	250	176	116	64
60°C 橡胶	30	200	159	105	58
85°C 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 G. 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 (°C)		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 G.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

表 G. 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 (°C)		k		
			导体材料		
	初始	最终	铜	铝	钢
70°C PVC	70	160/140	115/103	76/68	42/37
90°C PVC	90	160/140	100/86	66/57	36/31
90°C 热固性材料	90	250	143	94	52
60°C 橡胶	60	200	141	93	51
85°C 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 G. 0. 2—4 用电缆的金属护层，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			
	初始	最终	导体材料			
			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。

表 G. 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					
		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

▼ 点击展开条文说明

附录 H 低压接地配置、保护导体和保护联结导体

附录 H 低压接地配置、保护导体和保护联结导体

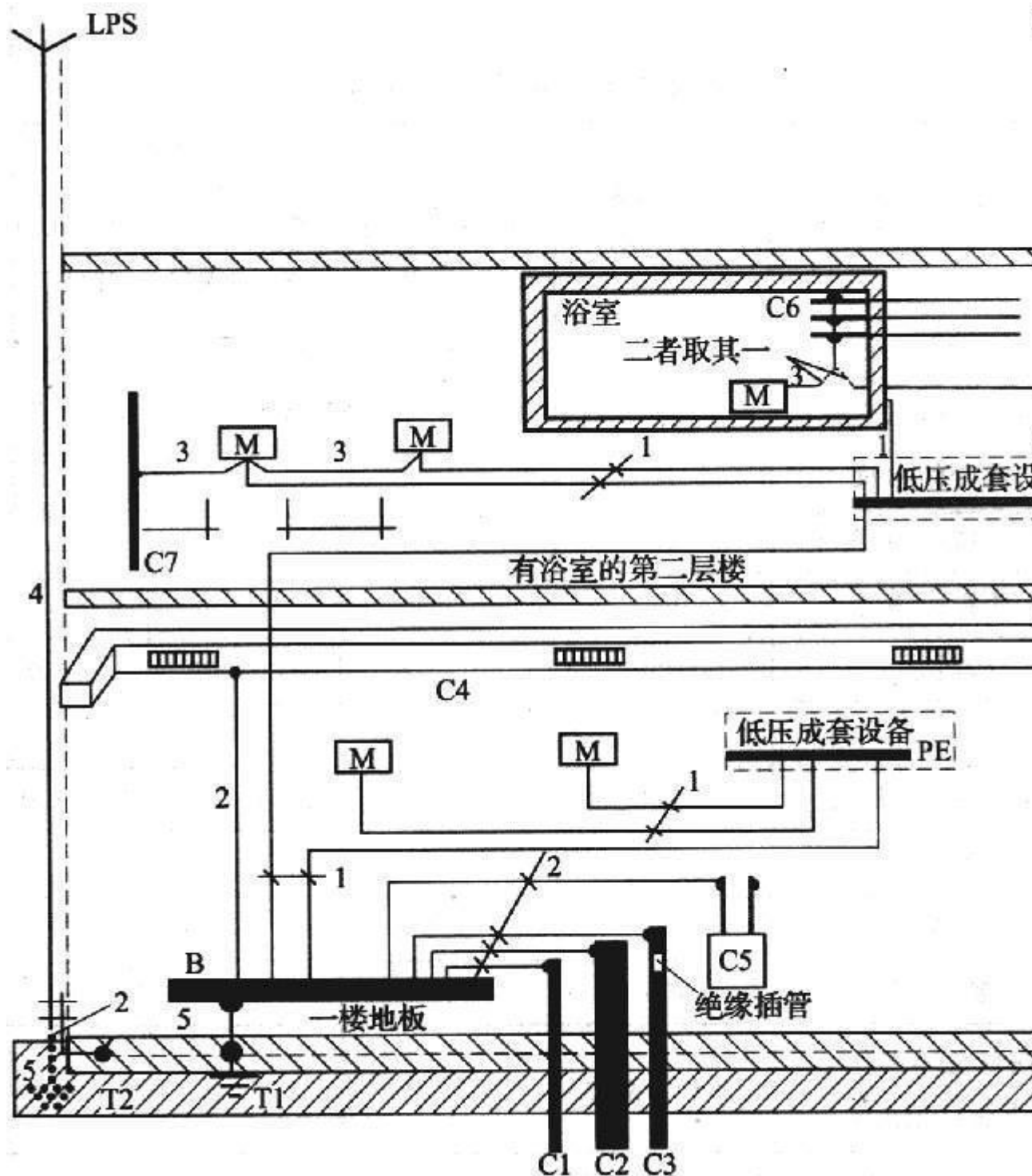


图 H 接地配置、保护导体和保护联结导体

M—外露可导电部分；C—外界可导电部分；C1—外部进来的金属水管；C2—外部进来的金属排弃废物、排水管道；C3—外部进来的带绝缘插管的金属可燃气体管道；C4—空调；C5—供热系统；C6—金属水管，比如浴池里的金属水管；C7—在外露可导电

部分的伸臂范围内的外界可导电部分；B—总接地端子(总接地母线)；T—接地极；T1—基础接地；T2—LPS(防雷装置)的接地极(若需要的话)；1—保护导体；2—保护联结导体；3—用作辅助联结用的保护联结导体；4—LPS(防雷装置)的引下线；5—接地导体。

▼ [点击展开条文说明](#)

附录 J 土壤和水的电阻率参考值

附录 J 土壤和水的电阻率参考值

表 J 土壤和水的电阻率参考值

类别	名称	电阻率近似值 ($\Omega \cdot m$)	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)	地下含盐碱
土	陶黏土	10	5~20	10~100	3~
	泥炭、泥灰岩、沼泽地	20	10~30	50~300	3~
	捣碎的木炭	40	—	—	—
	黑土、园田土、陶土	50	30~100	50~300	10~
	白垩土、黏土	60			
	砂质黏土	100	30~100	50~300	10~
	黄土	200	100~200	250	30
	含砂黏土、砂土	300	100~1000	1000 以上	30~
	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	500 (30%湿度)	—	—	—
	表层土夹石、下层砾石	600 (15%湿度)	—	—	—
砂	砂、砂砾	1000	25~1000	1000~2500	—
	砂层深度大于 10m	1000	—	—	—
	地下水较深的草原				
	地面黏土深度不大于				
	1. 5m、底层多岩石				

岩石	砾石、碎石	5000	—	—	—
	多岩山地	5000	—	—	—
	花岗岩	200000	—	—	—
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	—	—	—

▼ 点击展开条文说明

本规范用词说明

本规范用词说明

1 为便于在执行本规范条文时区别对待，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”。