



供配电专业考试精讲班

第十二章 接地

一手资源请认准网校教育·成功者教育·
其他地方买的后期不更新更·抓紧退款
一手资源，次日更新·微信：cgz368368



供配电接地涉及的主要规范和手册：

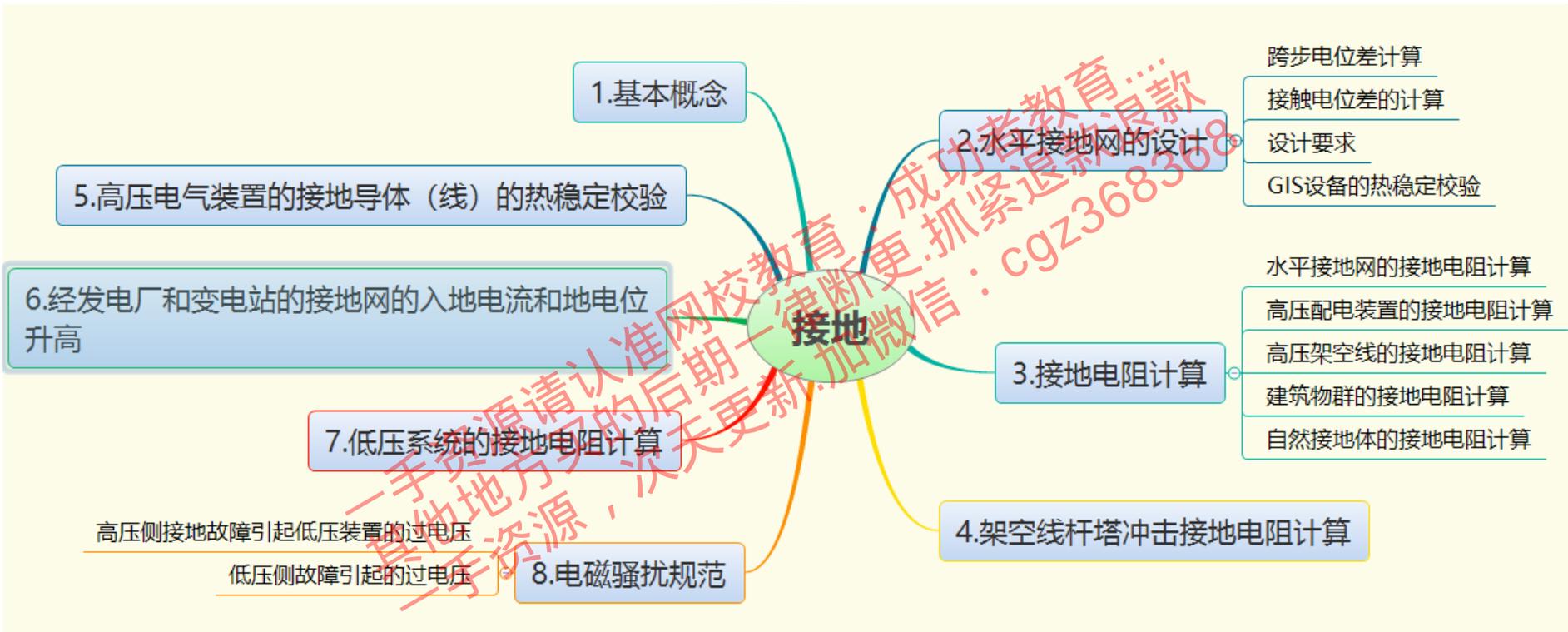
1. 《工业与民用供配电设计手册》第四版 下册第14章
2. 《交流电气装置的接地设计规范》GB50065-2011
3. 《低压电气装置 第4-44部分：安全防护 电压骚扰和电磁骚扰防护》16895.10

发输变接地涉及的主要规范和手册：

1. 《交流电气装置的接地设计规范》GB50065-2011
2. 《水力发电厂接地设计技术导则》NB / T 35050—2015 重点规范
3. 《电力一次手册》15章

案例题特点：

难度适中，接地电阻详细计算、接触电压差计算量大，冲击接地电阻新考点。考题10分。





第一讲主要内容

01

接地概述

02

高压电气装置接地

03

发电厂和变电站的接地网

一手资源请认准网校教育：成功者教育...
其他地方买的后一律断更，抓紧退款退款
一手资源，次日更新，加微信：cgz368368

1.重要术语：GB/T50065-2011

(1) 地

能提供或接收大量电荷可用来作稳定良好的基准电位或参考电位的物体，一般指大地，理论上约定为零电位。而工程上通过接地极与大地作电接触的（局部）地，其电位不一定等于零。电子设备中的电位参考点（基准点）也称为“地”，但不一定与大地相连。

(2) 接地 2.0.1

在系统、装置或设备的给定点与局部地之间作电连接。

(3) 接地极 2.0.6

为电气装置或电力系统提供至大地的低阻抗通路而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。

兼作接地极用的直接与大地接触的各种金属构件、金属管道、建构筑物和设备基础的钢筋等称为自然接地体



(4) 接地导体（接地线） 2.0.7

为系统、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。

(5) 接地装置（接地极系统） 2.0.9

接地导体（线）和接地极的总和。一般包含接地极、接地导体、总接地端子或接地母线。通常取总接地端子或接地母线为电位参考点。

(6) 接地系统 2.0.8

系统、装置或设备的接地所包含的所有电气连接和器件。

一手资源，请认准网校教育，成功者教育...
其他地方头的后期一律断更，抓紧退款退款
一手资源，次大更新，加微信：cgz308368



一手资源，请认准网校教育，
其他地方的后期一律更新，
一手资源，次日更新，加微信：cgz368368





2.接地的分类-据GB/T50065 3.1.1

➤ 系统接地

根据系统运行的需要进行的接地，如交流电力系统的中性点接地、直流系统中的电源正极或中性点接地等

➤ 保护接地

电气装置的外露可导电部分的接地，防止其由于绝缘损坏或爬电有可能带电时危及人身和设备的安全

➤ 雷电保护接地

为雷电防护装置向大地泄放雷电流而设的接地，用以消除或减轻雷电危及人身和损坏设备

➤ 防静电接地

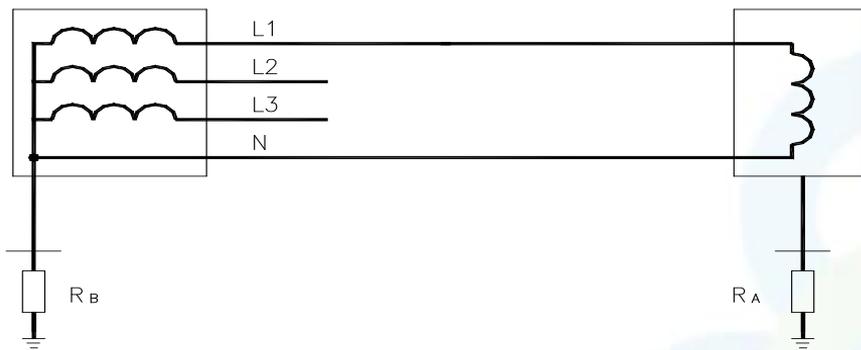
将静电荷导入大地的接地。如对易燃易爆管道、贮罐以及电子器件、设备为防止静电的危害而设的接地

➤ 据配四 P1372

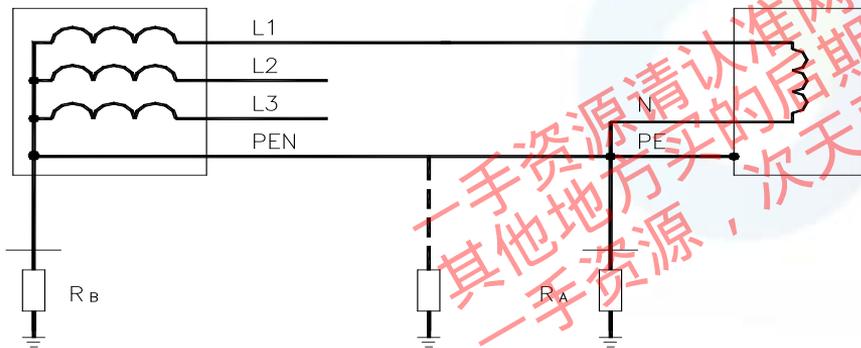
➤ 系统接地包括：电力系统接地、信号电路接地。

➤ 保护接地包括：电气装置保护接地、作业接地、雷电保护接地、防静电接地，阴极保护接地。

➤ 功能和保护兼有的：电磁兼容接地、屏蔽接地



图中，保护接地是那个？系统接地是那个？



各种接地应采用共用接地系统：

- 1) 每幢建筑物本身应采用一个接地系统。
- 2) 各个建、构筑物可分别设置本身的共用接地系统。每个独立接闪杆或每组接闪线是用于防雷的单独的构筑物，应有各自的接地极。
- 3) 数座建筑物间相互通信和有数据交换时，各接地极宜相互连接。当接地极相互连接不可能或不可行时，通信网络推荐采用电气分隔，例如采用光纤连接。
- 4) 在一定情况下变压器的保护接地可和低压系统的系统接地共用一个接地装置。

二、高压电气装置接地

高压电气装置的接地范围

需要接地的3.2.1条 15款

不需要接地的 3.2.2条5款

特殊的见爆规 GB50058 27页：5.5.1-5.5.5

一手资源请认准网校教育·成功者教育...
其他地方买的后期一律断更·抓紧退款退款
一手资源，次天更新·加微信：cg2368368

1高压电气装置接地的一般规定—GB/T50065-2011 3.1

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**。

共同接地的
要求

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。

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GB/T50065附录A 计算。

季节系
数



2.高压电气装置的接地范围—GB/T50065-2011 3.2

1) 应接地部分

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、谐振-低电阻接地、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、谐振-低电阻接地和高电阻接地系统中无地线架空线路的金属杆塔和钢筋混凝土杆塔；
- 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。

**GB/T50065-2011 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。

5.5.3 爆炸性环境内设备的保护接地应符合下列规定：

1 按照现行国家标准《交流电气装置的接地设计规范》GB/T 50065的有关规定，下列不需要接地的部分，在爆炸性环境内仍应进行接地：

- 1) 在不良导电地面处，交流额定电压为1000V以下和直流额定电压为1500V及以下的设备正常不带电的金属外壳；
- 2) 在干燥环境，交流额定电压为127V及以下直流电压为110V及以下的设备正常不带电的金属外壳；
- 3) 安装在已接地的金属结构上的设备。

2 在爆炸危险环境内，设备的外露可导电部分应可靠接地。爆炸性环境1区、20区、21区内的所有设备以及爆炸性环境2区、22区内除照明灯具以外的其他设备应采用专用的接地线。该接地线若与相线敷设在同一保护管内时，应具有与相线相等的绝缘。爆炸性环境2区、22区内的照明灯具，可利用有可靠电气连接的金属管线系统作为接地线，但不得利用输送可燃物质的管道。

3 在爆炸危险区域不同方向，接地干线应不少于两处与接地体连接。

5.5.4 设备的接地装置与防止直接雷击的独立避雷针的接地装置应分开设置，与装设在建筑物上防止直接雷击的避雷针的接地装置可合并设置，与防雷电感应的接地装置亦可合并设置。接地电阻值应取其中最低值。



真题练习

【07-1-A-33】按规范要求，判断下列哪项室内电气设备的外露可导电部分可不接地？

- (A) 变压器金属外壳 (B) 配电柜的金属框架
(C) 配电柜表面的电流、电压表 (D) 电缆金属桥架

答案：[C]

解析：《交流电气装置的接地设计规范》GB/T50065-2011 第3.2.2条2款安装在配电屏、控制屏和配电装置上的电测量仪表、继电器和其他低压电气等外壳，可不接地。

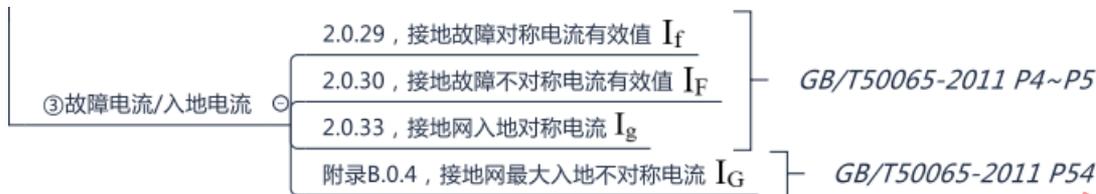
GB/T50065—2011 3.2.1条，3款，变压器金属外壳需要接地，所以A要接地；3.2.1条6款规定配电、控制和保护用的屏（柜、箱）等的金属框架要接地，B接地；3.2.1条10款规定电力电缆接线盒、终端盒的外壳，电力电缆的金属护套或屏蔽层，穿线的钢管和电缆桥架等要接地，所以D接地。

需要接地和不要接地的部分要熟悉，见GB/T50065-2011 3.2.1和3.2.2条。特殊环境中如爆炸环境中，不接地的部分规定要严格，见爆规。

三、发电厂和变电站的接地网



➤ 1.基本概念



2.0.30 接地故障不对称电流有效值：计及直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 — I_F

2.0.29 接地故障对称电流有效值 接地故障时交流电流有效值。 I_f

衰减系数

$$D_f = \frac{I_F}{I_f}$$

2.0.31 衰减系数

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：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。 I_G

故障电流分流系数

$$S_f = \frac{I_g}{I_f}$$

2.0.34 故障电流分流系数

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

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**。 I_F

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**。

I_G ----附录B.0.1

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

接地电阻限值
由4.2.1计算

实际值：
附录A

附录B.0.4

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。

4.2.2

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。

附录E，注意接地线和接地极
0.75的关系

1. I_G 的计算

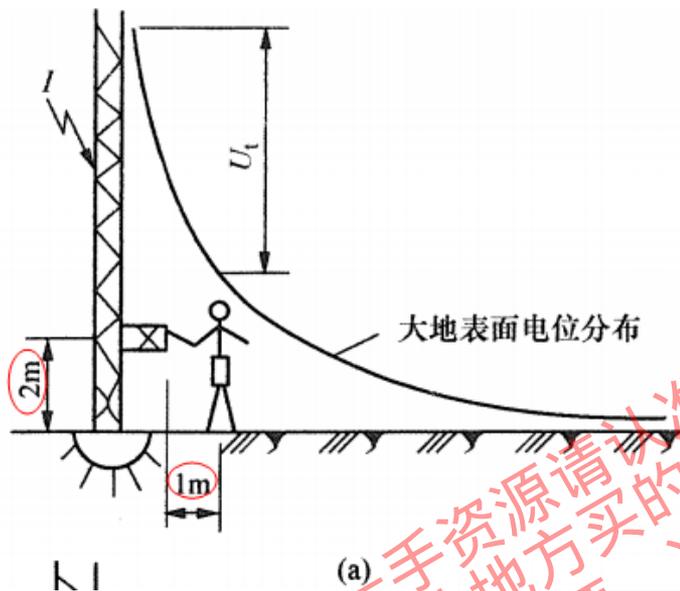
2. 接地电阻的计算

3. 地电位升高

4. 接触电位差和跨步电位差的计算

5. 接地线和接地极热稳定校验

➤ 2.发电厂和变电站的接地网接触电位差和跨步电位差的计算



(一) 接触电压和跨步电压的概念

如图 15-13 (a) 所示, 当接地故障(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 1m 处与设备外壳、架构或墙壁离地面的垂直距离 2m 处两点间的电位差, 称为接触电压。接地网孔中心对接地网接地极的最大电位差, 称为最大接触电压。

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。

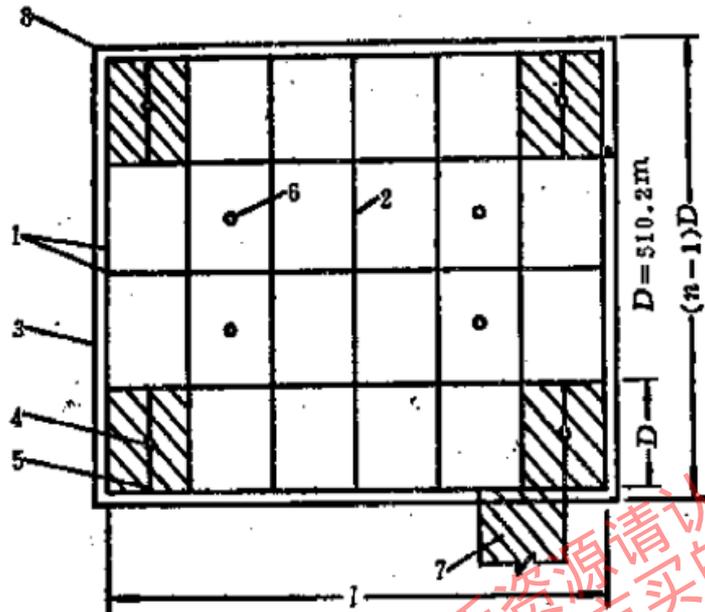


图 16-18 均压网设计示例图

1—均压带，由 $\phi 14$ 圆钢或 40×4 扁钢制成；2—加强均压网电路连接的接地带；3—砖石围墙；4—最大（边角孔）接触电势计算点；5—降低最大（边角孔）接触电势的附加均压带，或在此区内（斜线）采用高电阻率地面结构层；6—次边角网孔接触电势计算点；7—出入口交通道路；8—围墙外缘

实际上，人体受电击时，常常是在离设备较远处接触到被接地的与接地网同电位的设备外壳、支架、操动机构、金属遮拦等物件。因此，计算接触电压时，采用所谓网孔电压，即指接地网方格网孔中心地面上与接地网的电位差。对于长条网孔而言，是指相当于方格网孔中心地面上的地方与接地网的电位差。接地网内的最大接触电压，发生在边角网孔上，对长条网孔接地网而言，发生在相当于方格网孔边角孔的地方。最大跨步电压发生在接地网外直角处，且距接地网边缘距离为 $(h-0.5)$ 和 $(h+0.5)$ 的两点间（ h 为埋深，m）。

对方格网孔而言，次边角网孔电压比边角网孔电压小 30%左右；对长条网孔而言，小于 20%左右。

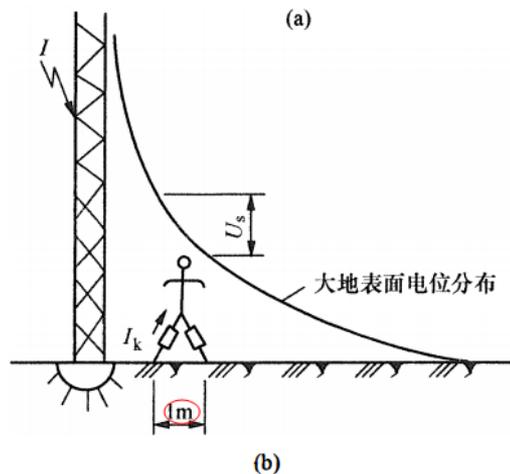


图 15-13 接地网的接触电压和跨步电压

(a) 接触电压；(b) 跨步电压

如图 15-13 (b) 所示，当接地故障（短路）电流流过接地装置时，地面上水平距离为 1m 的两点间的电位差，称为跨步电压。接地网外的地面上水平距离 1m 处对接地网边缘接地板的最大电位差，称为最大跨步电压。

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板的最大电位差。



➤ 3.发电厂和变电站的接地网接触电位差和跨步电位差的计算

- 允许值—4.2.2
- 实际值—附录D

a) 接触电位差和跨步电位差的允许值—GB50065—2011 4.2.2

确定变电站接地装置的型式和布置时，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：

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

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

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 ——地表的电阻率（m）；

C_s ——表层衰减系数，按地规附录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

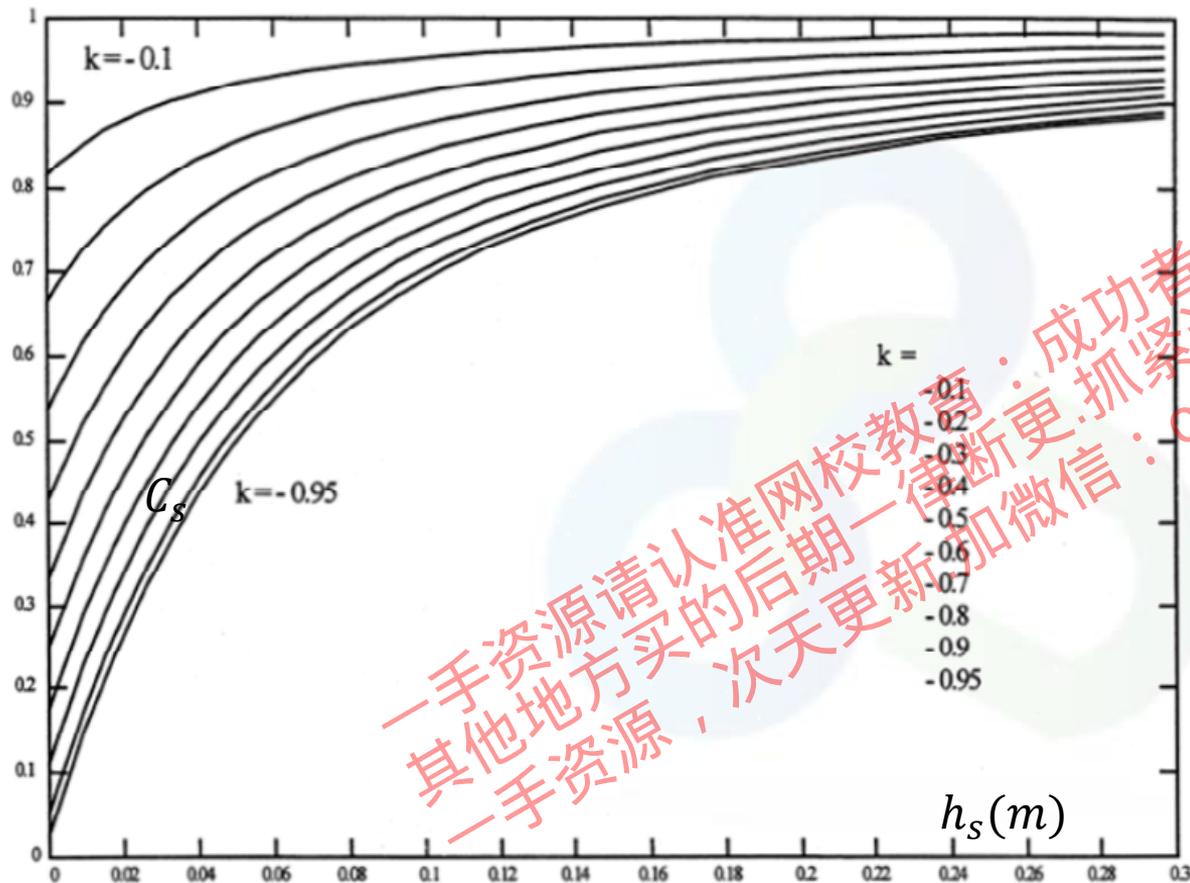
2) 6kv~66kv不接地、谐振接地和高电阻接地的系统,发生单相接地故障后,当不迅速切除故障时,发电厂和变电站接地装置的接触电位差和跨步电位差不应超过下列公式计算所得数值:

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

$$U_s = 50 + 0.2\rho_s C_s \quad 4.2.2-4$$

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:

$$C_s = 1 - \frac{0.09(1-\rho/\rho_s)}{2h_s+0.09} \quad \text{C.0.2}$$



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

ρ_s : 表层土壤电阻率

ρ : 下层土壤电阻率;

一手资源请认准网校教育·成功者教育...
其他地方买的后期一律断更·抓紧退款退款
一手资源，次日更新·加微信：cgz368368

b) 接触电位差和跨步电位差的实际值—GB50065—附录D

附录D接地故障时接地装置的电位、接触电位差和跨步电位差的计算

1) 接地网的形状分为长孔形和方孔形，接地网的布置方式又分为等间距布置和不等间距布置。

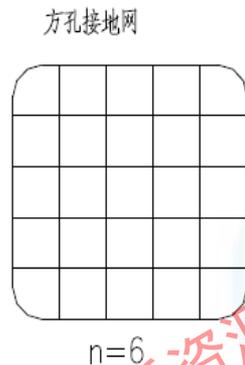
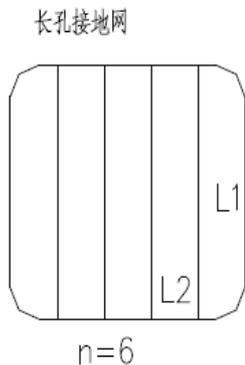


图 12.2-3 等间距接地网的形状

n ——地网均压带根数； L_1 、 L_2 ——接地网的长度、宽度。



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，应符合下列要求

1) 接地网初始设计时的网孔电压可按下列各式计算：

$$U_m = \frac{\rho I_G K_m K_i}{L_M} \quad \text{D.0.3-1}$$

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \left[\ln \left(\frac{D^2}{16hd} + \frac{(D+2h)^2}{8Dd} - \frac{h}{4d} \right) + \frac{K_{ii}}{K_h} \ln \frac{8}{\pi(2n-1)} \right] \quad \text{D.0.3-2}$$

$$k_h = \sqrt{1 + h/h_0} \quad \text{D.0.3-3}$$

需要计算的参数：

- ① L_M - - 有效埋设长度
- ② I_G - - 接地网的最大入地电流
- ③ k_h --- 接地网埋深系数
- ④ k_{ii} —— 因内部导体对角网孔电压影响的校正加权系数。
- ⑤ d —— 接地网导体直径
- ⑥ k_i —— 接地网不规则校正系数，用来计及推导 K_m 时的架设条件引入误差



Kii:

a) 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, $K_{ii}=1$

b) 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,

Kii按下式计算:

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

n—矩形或等效矩形接地网一个方向的平行导体数的计算:

a) 对于矩形和不规则形状的接地网的计算, $n = n_a n_b n_c n_d$

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, 可按下列式计算:

$$n_a = \frac{2L_c}{L_p}, \quad n_b = \sqrt{\frac{L_p}{4\sqrt{A}}}, \quad n_c = \left(\frac{L_x L_y}{A} \right)^{0.7A}, \quad n_d = \frac{D_m}{\sqrt{L_x^2 + L_y^2}} \quad (\text{D.0.3-6})$$

b) 如果进行简单的估计, 在计算Km和Ki以确定网孔电压时可采用 $n = \sqrt{n_1 n_2}$



K_i 的计算 $k_i = 0.644 + 0.148n$

L_M 有效埋设长度的计算

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 L_M 按下式计算:

$$L_M = L_c + L_R \quad (\text{D.0.3-11})$$

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 L_M 可按下式计算:

$$L_M = L_c + \left[1.55 + 1.22 \left(\frac{L_r}{\sqrt{L_x^2 + L_y^2}} \right) \right] L_R$$

计算会比较复杂

(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 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，可按下列各式计算：

$$U_s = \frac{\rho I_G K_s K_i}{L_s}; \quad L_s = 0.75L_c + 0.85L_R$$

式中： I_G ——流入接地网的最大接地故障电流；

L_s ——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， K_s 可按下列式计算：

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

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

3 最大接触电位差 U_T 可按下列公式计算:

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

可以给一个综合修正系数

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

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

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

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

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

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

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

式中: $V = I_G R$ —— 接地网的最大接地电位升高;

I_{GM} —— 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。

$$U_T = k_{TL}k_{Th}k_{Td}k_{TS}k_{TN}k_{Tm}V$$

4)最大跨步电位差 U_s 可按下列公式计算:

$$U_s = k_{SL}k_{Sh}k_{Sd}k_{SS}k_{SN}k_{Sm}U_0 \quad \text{D.0.4-27}$$

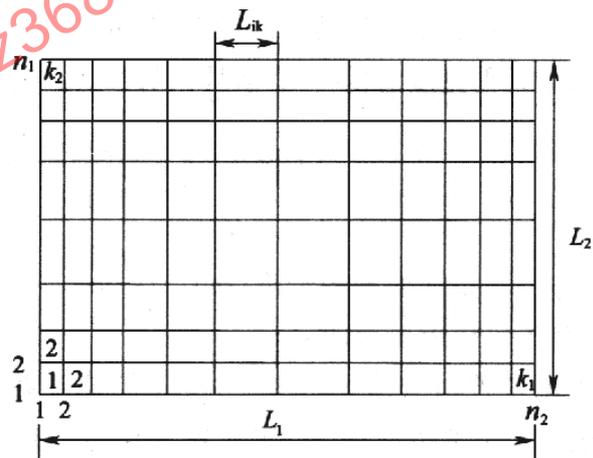
4 最大跨步电位差 U_s 可按下列公式计算:

可以给一个综合修正系数 $U_s = k_{SL}k_{Sh}k_{Sd}k_{SS}k_{SN}k_{Sm}U_0$ (勘误V) (D.0.4-27)

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

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

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



图D.0.4 不等间距布置的长方形接地网



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

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

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

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

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

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。



题16-20：在某市远离发电厂的工业区拟建设一座110/10kV变电所。装有容量为20MVA的主变压器两台，110kV配电装置室外布置、10kV配电装置室内布置；主变压器110kV中性点直接接地，10kV系统经消弧线圈接地；变电所所在场地土壤为均匀土壤，土壤电阻率为 $100\Omega\text{m}$ ，请解答下列问题：

【14-2-P-18】已知接地短路故障电流的持续时间为 0.5s ，地表面的土壤电阻率 $120\Omega\text{m}$ ，表层衰减系数为 0.85 ，经计算，该变电所当110kV系统发生单相接地故障时，其最大接触电位差 $U_{\text{tmax}}=180\text{V}$ ，最大跨步电位差 $U_{\text{Smax}}=340\text{V}$ 。试分析确定该变电所接地网接触电位差和跨步电位差是否符合规范要求，下列哪种说法是正确的？

- (A) 接触电位差和跨步电位差均符合要求
- (B) 仅最大接触电位差符合要求
- (C) 仅最大跨步电位差符合要求
- (D) 接触电位差和跨步电位差均不符合要求



- 答：据GB/T50065—2011 4.2.2
- 允许值：

$$U_t = \frac{174 + 0.17\rho_s C_s}{\sqrt{t_s}} = \frac{174 + 0.17 \times 120 \times 0.85}{\sqrt{0.5}} = 270.6V$$

$$U_s = \frac{174 + 0.7\rho_s C_s}{\sqrt{t_s}} = \frac{174 + 0.7 \times 120 \times 0.85}{\sqrt{0.5}} = 347.05V$$

- 比较

$$U_{t\max} = 180V < U_t = 270.6V$$

$$U_{s\max} = 340V < U_s = 347.05V$$

- 所以都符合要求。
- 注：土壤表面电阻率，小题干给了120，大题干给的是100.以小题干为主。

题23-26：某220kV半户内电站，220kV、110kV采用有效接也系统，10KV采用不接地系统。接地故障持续时间0.4秒。均匀土壤，土壤电阻率 $500\Omega\text{m}$ 。按等间距布置接地网，接地网长、宽均为100m，网孔间隔10米。如下图所示，站内设有4根等独立避雷针对全站进行直击雷过电压保护。请分析计算并解答下列各题：

【2022-2-P-24】.假设本站初始设计时，网孔电压几何校正正系数 $K_m=1.2$.接地体有效埋设长度3000m。经接地网入地电流见下表，请估计接地网不规则校正系数 K_i ，计算接地网初始设计时的网孔电压为下列哪项数值？

A.5448V B.4994V C.4540V D.4086V

	系统最大运行方式下经接地网入地电流	
	对称电流	不对称电流
单相接地短路	10kA	12 kA
单相短路	9 kA	11 kA

80教育答案【A】QQ：310284228

解题过程：依据GB/T50065-2010 附录D 式D.0.3-1、式D.0.3-10



接地网不规则校正系数： $K_i = 0.644 + 0.148 \times \sqrt{11 \times 11} = 2.27$

网孔电压 $U_m = \frac{500 \times 12000 \times 1.2 \times 2.27}{3000} = 5448V$ 选A

【2022-2-P-25】.假设本站初始设计时，2.5m长垂直接地极共200根。跨步电位差几何校正系数 $k_s=0.22$ ，接地网不规则校正系数 $k_i=3.2$ 。计算用经接地网入地最大接地电流10kA。请计算初始设计时的接地网有效埋设长度和最大跨步电位差分别为下列哪项数值？

A.1500m 2346.7V B.1650m 2133.3V

C.1925m 1828.6V D.2075m 1696.4V

80教育答案【D】QQ: 310284228

解题过程：依据GB/T50065-2019 附录D 式D.0.3-13、式D.0.3-14

地中导体有效长度： $L_s = 0.75 \times 100 \times 11 \times 2 + 0.85 \times 200 \times 2.5 = 2075$

跨步电压： $U_s = \frac{500 \times 10000 \times 0.22 \times 3.2}{2075} = 169.4V$ 选D



【18-2-A-17】110/35kV变电站接地网如图所示，图中标注的尺寸单位均为m。水平接地网采用等间距布置，接地导体规格为直径10mm的镀锌圆钢，水平接地网埋深为1.0m，表层土壤衰减系数取0.8。假设变电站110kV和35kV系统发生接地故障时，接地网的最大入地对称电流分别为1.2kA和0.01kA。计算该变电站接地网的最大跨步电位差为下列哪项数值？

- A. 389.58V B. 108.33V C. 90V D. 0.9V

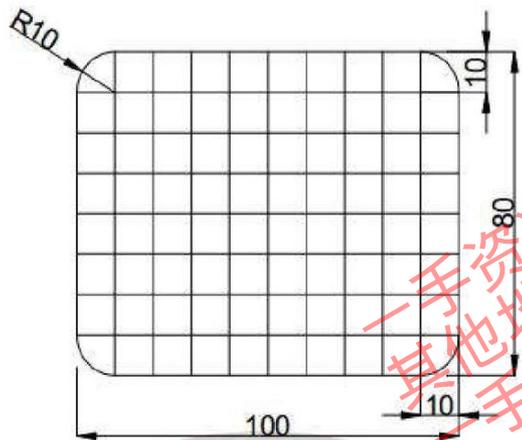
80教育答案：【B】QQ群：726445291

第二种解法：按照接地网实际图形计算

$$\begin{aligned} L_s &= 0.75L_C + 0.85L_R \\ &= 0.75[9 \times 80 + 7 \times 100 + 2 \times 80 + 2 \times 60 + 2\pi \times 10] + 0.85 \times 0 \\ &= 1322.124m \end{aligned}$$

4个角按照弧形计算，详细计算 $n_a = 10.284$, $n_b = 0.9815$, $n_c = 1.0075$, $n_d = 0.937$ ，然后代入公式，计算 $n=9.5288$ ，最后计算出 $U_s = 108V$ 。

解析：考试时不建议按照第二种方法详细计算，太费时间。接地网本来就不是正规正矩的方形或者矩形，四个角都必须是圆形，因此可以认为本题是矩形接地网，那么 n 的计算就会省力很多。



解答过程：GB/T50065-2011 附录D

第一种解法：把接地网看成矩形接地网，粗略计算

$$L_C = \left[\left(\frac{100}{10} + 1 \right) \times 80 + \left(\frac{80}{10} + 1 \right) \times 100 \right] = 1780m$$

$$L_S = 0.75L_C + 0.85L_R = 0.75 \times 1780 = 1335m$$

$$n_a = \frac{2L_C}{L_p} = \frac{2 \times 1780}{2(100 + 80)} = 9.89$$

$$n_b = \sqrt{\frac{L_p}{4\sqrt{A}}} = \sqrt{\frac{2 \times (100 + 80)}{4\sqrt{100 \times 80}}} = 1.003, n_c = 1, n_d = 1$$

$$n = 9.89 \times 1.003 \times 1 \times 1 = 9.89$$

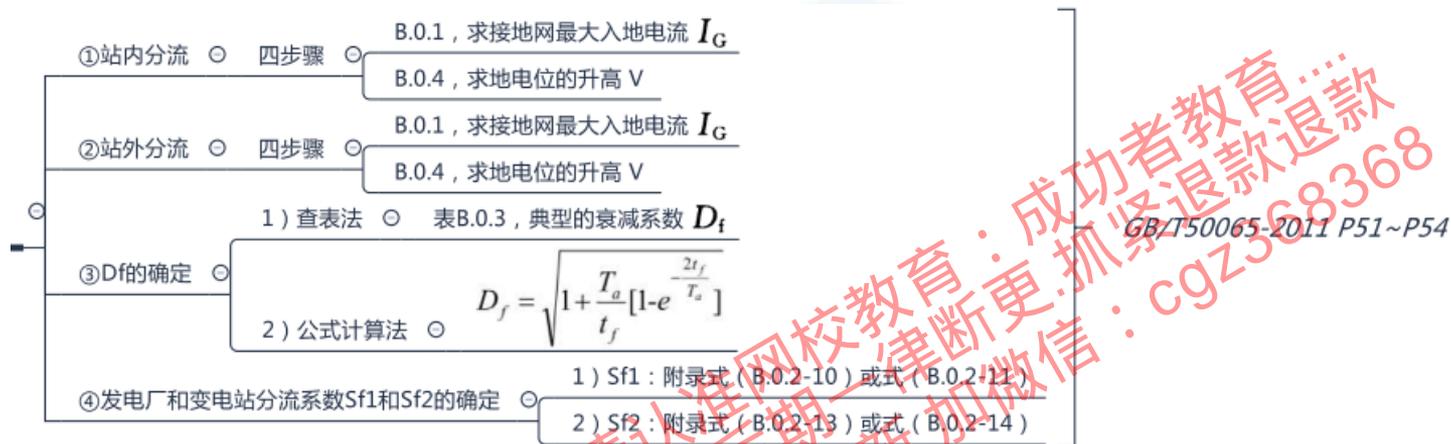
$$K_S = \frac{1}{\pi} \left(\frac{1}{2h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1-0.5^{n-2}}{D} \right) = \frac{1}{\pi} \left(\frac{1}{2 \times 1} + \frac{1}{10+1} + \frac{1-0.5^{9.89-2}}{10} \right)$$

$$= 0.22$$

$$K_i = 0.644 + 0.148n = 0.644 + 0.148 \times 9.89 = 2.108$$

$$U_s = \frac{\rho l_G K_S K_i}{L_S} = \frac{250 \times 1.2 \times 1000 \times 1.05 \times 0.22 \times 2.108}{1335} = 109.42V$$

➤ 4.附录B 经发电厂和变电站接地网的入地故障电流



一手资源请认准网校教育：成功者教育...
其他地方买的后期一律断更，抓紧退款退款
一手资源，次日更新，加微信：cgz368368



附录B 经发电厂和变电站接地网的入地故障电流

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 可按下列步骤确定计算：

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

变电站接地网最大入地电流： $I_G = D_f I_g$

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：

$$\text{变电站内发生接地短路时： } I_g = (I_{max} - I_n) S_{f1}$$

$$\text{变电站外发生接地短路时： } I_g = I_n S_{f2}$$

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} ——分别为厂站内、外发生接地故障时的分流系数。见地规附录B。

计算用入地接地故障电流取变电站内、外发生接地短路时两式中较大的 I_g 值。

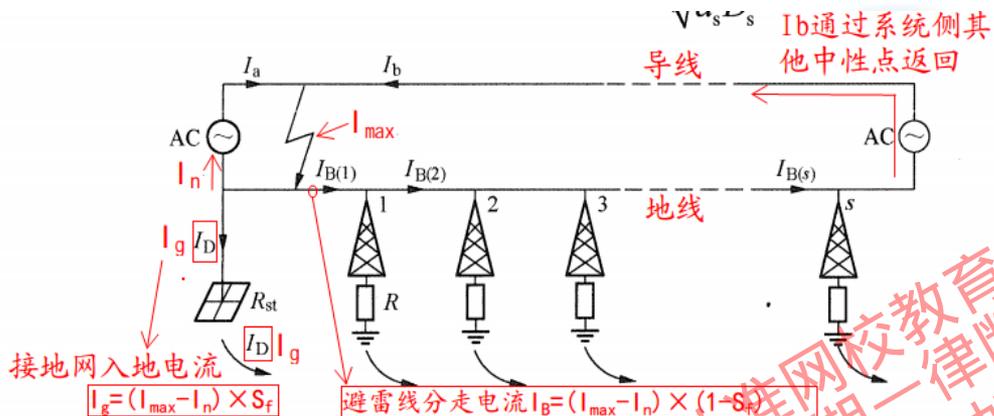


图 15-14 厂内接地故障示意图

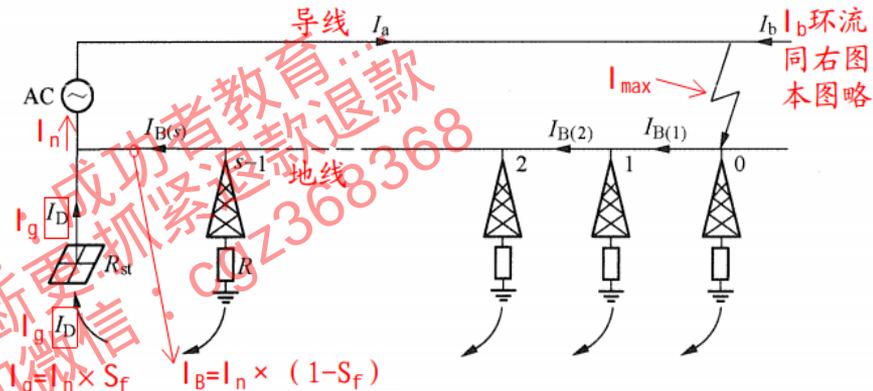
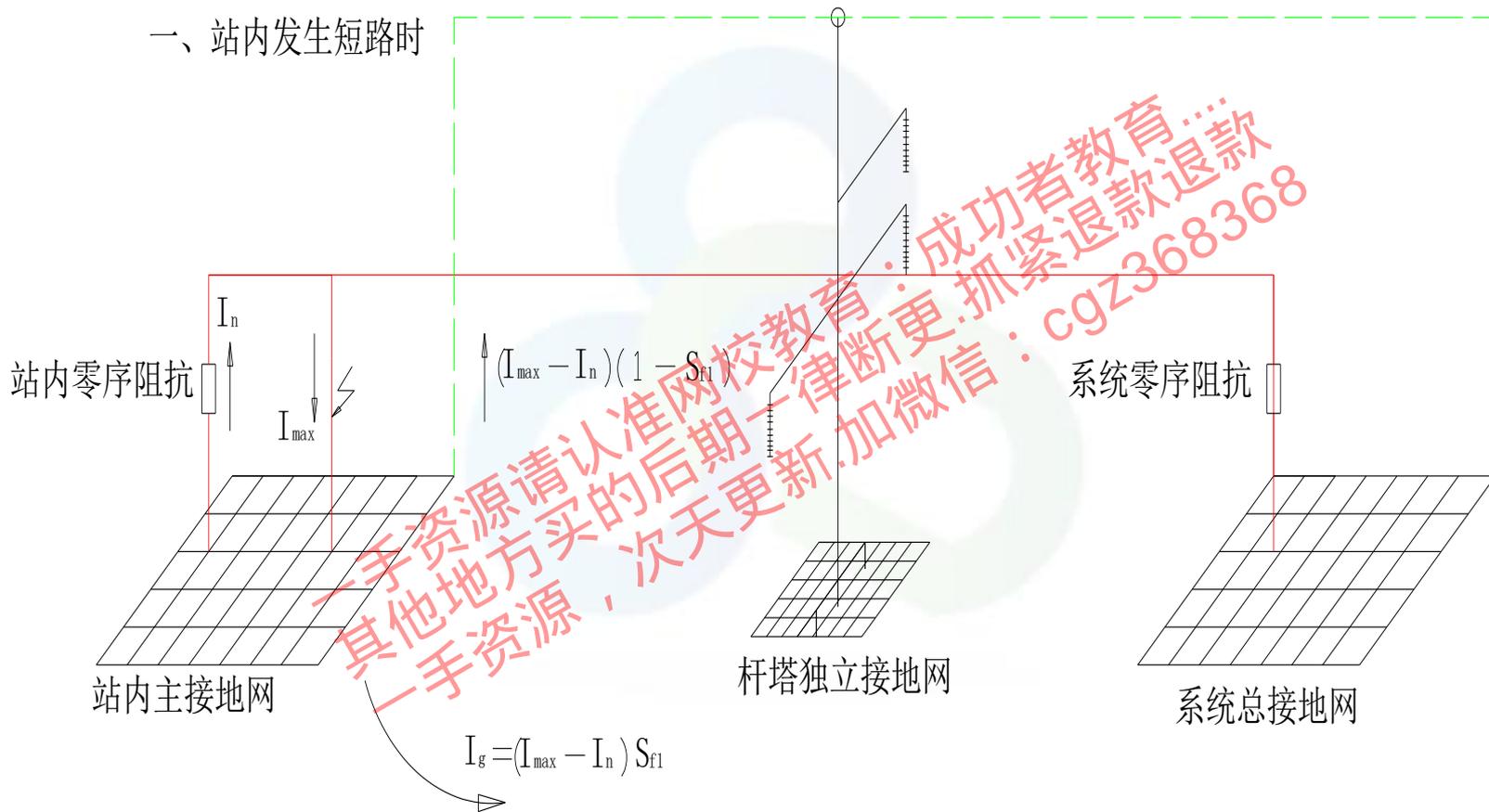


图 15-15 厂外短路故障示意图

• 816 •

一、站内发生短路时



二、站外发生短路时

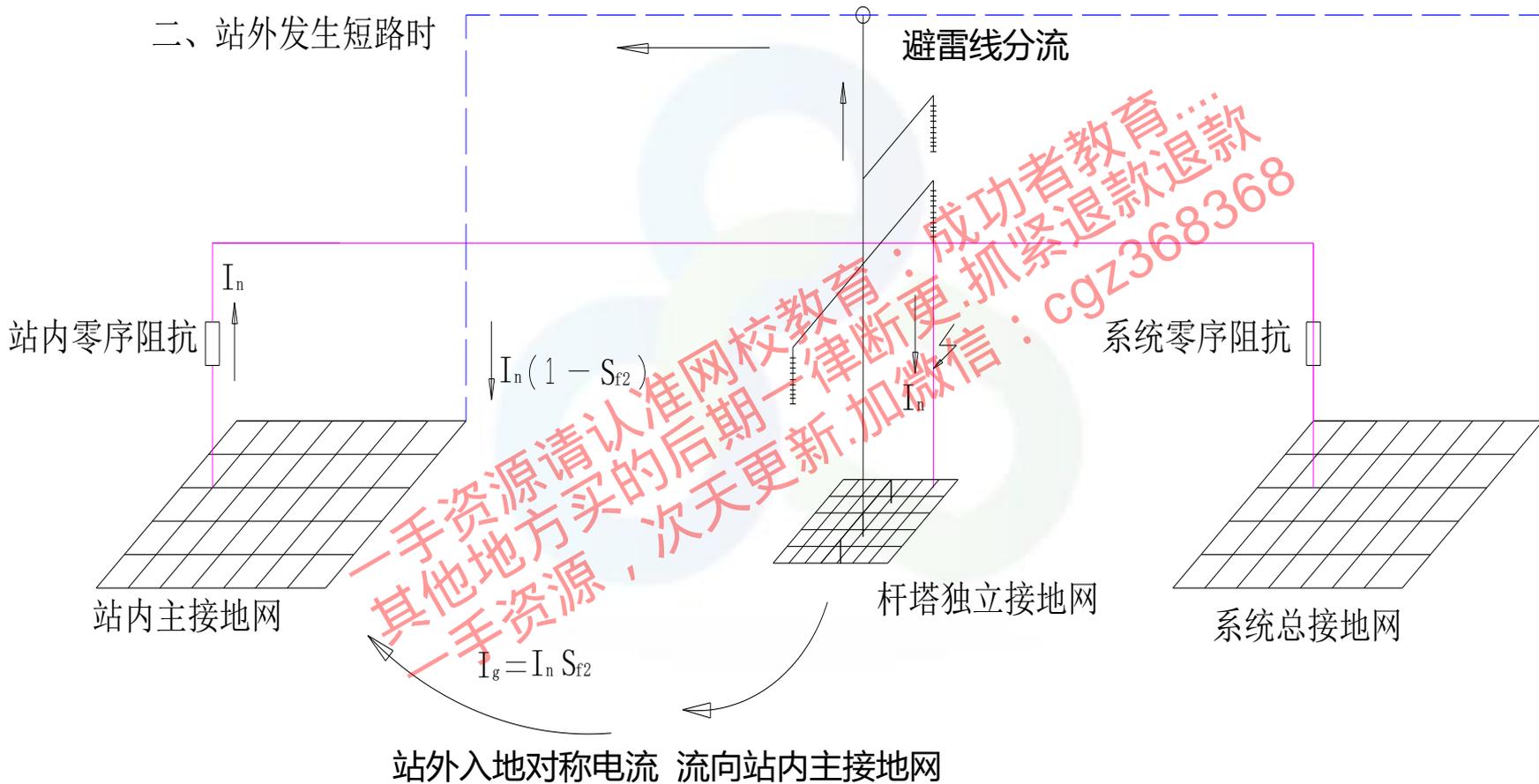


表 B.0.3 典型的衰减系数 D_f 值

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



➤ 地电位升高

3) 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：

$$V = I_G R$$

式中：V——接地网地电位升高（V）；

I_G ——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 ）。

一手资源请认准网校教育·成功者教育...
其他地方买的后期一律断更·抓紧退款退款
一手资源，次日更新·加微信：cgz368368

【14-2-P-19】当变电所 110kV 系统发生接地故障时，最大接地故障对称电流有效值为 9950A，流经变压器中性点的短路电流为 4500A。已知衰减系数为 1.06，变电所接地网的工频接地电阻为 0.6Ω，冲击接地电阻为 0.4Ω，变电所内、外发生接地故障时的分流系数分别为 0.6 和 0.7。问发生接地故障时，接地网地电位的升高为下列哪一项？

- (A) 2080V (B) 2003V (C) 1962V (D) 1386V

答案：[A]

解答过程：《交流电气装置的接地设计规范》GB/T50065-2011 附录 B 式 B.0.1-1 及式 B.0.1-2

$$\text{变电站内发生接地故障时 } I_g = (I_{\max} - I_n) S_{f1} = (9950 - 4500) \times 0.6 = 3270 A$$

$$\text{变电站外发生接地故障时 } I_g = I_n S_{f2} = 4500 \times 0.7 = 3150 A$$

$$\text{据 B.0.4 的式 B.0.4 接地网电压升高 } V = I_G R = I_g D_f R = 3270 \times 1.06 \times 0.6 = 2079.72 V$$

解析：GB/T50065-2011 自 2013 年加入考纲，连续 2 年考到，要引起重视，附录里面的内容要掌握。本题考了对附录 B 的理解，难点一是 I_g 、 I_G 的求法，两者之间有个 D_f 的关系，本题给出了 D_f 的数值，要求学会 D_f 的查表；难点二是接地网电压升高是工频接地电阻非冲击接地电阻，易错。



➤ 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。

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。

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的接触电位差应符合下式的要求：



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:

$$\sqrt{U_{\text{tmax}}^2 + (U'_{\text{tmax}})^2} < U_{\text{t}} \quad \text{4.2.2允许值} \quad (4.4.3)$$

式中: U_{tmax}^2 ——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'_{tmax} ——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。

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检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。

附录E,注意电流的选取



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GIS—变压器/电抗器之间套管的**变压器/电抗器侧**应通过接地线以最短路径接到接地母线气体绝缘金属封闭开关设备区域的专用接地网。

气体绝缘金属封闭开关设备外壳和电缆护套之间以及GIS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。

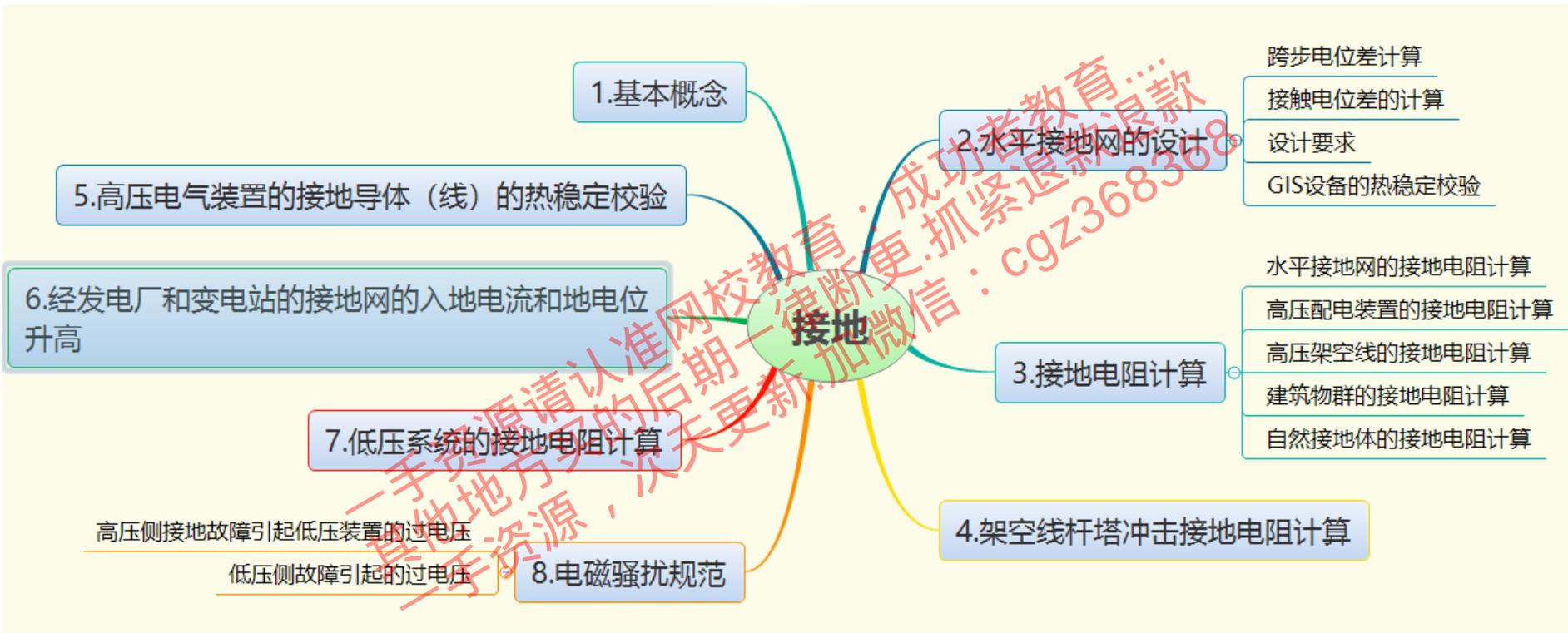
4.4.9 气体绝缘金属封闭开关设备置于建筑内时，设备区域专用接地网可采用**钢导体**。置于户外时，设备区域专用接地网宜采用**铜导体**。主接地网也宜采用**铜或铜覆钢材**。



第一讲小结：见思维导图

作业：

1. 变电站接地网的最大跨步电压计算（DL/T621-1997 附录B）【05-2-P-10】
2. 变电站接地网的跨步电压、接触电压计算（配四P1377；GB/T50065-2011第4.2.2）【08-2-P-36,08-2-P-37, 09-2-A-25,12-2-A-10, 13-2-A-5, 14-2-P-18, 16-2-A-23, 18-2-A-17】





一 接地电阻概述

➤ 接地电阻的概念？

1. 流散电阻： 电流自接地极的周围向大地流散所遇到的全部电阻。理论上为自接地表面至无穷远处的电阻，工程上一般取为20~40m范围内。
2. 接地电阻： 接地极的流散电阻和接地极及其至总接线端子连接线电阻的总和。

因为后者远小于流散电阻，可忽略不计。通常将流散电阻作为接地电阻。

➤ 接地电阻的种类？

1. 工频接地电阻： 安通过接地极流入地中工频交流电流求得的接地电阻。简称接地电阻。
2. 冲击接地电阻： 安通过接地极流入地中冲击电流（雷电流）求得的接地电阻。

工频接地电阻 > 冲击接地电阻 两者之间的转换



GB50057-2010 附录C（求引下线的冲击接地电阻）

GB/T50065-2013 附录F（求杆塔的冲击接地电阻）

土壤电阻率在一年中是变化不定的，确定土壤电阻率值时，应考虑到测量时的具体条件，比如季节、天气等因素，设计中采用的计算值为：

$$\rho = \rho_0 \varphi$$

式中 ρ ——土壤电阻率， $\Omega \cdot m$ ； ρ_0 ——实测土壤电阻率， $\Omega \cdot m$ ； φ ——季节系数，见一次手册表15-4，配四表14.6-14

土壤电阻率的测量方法主要有土壤试样分析法、三极法和四极法。一次手册 806或者GB50065 4.1.1的条文说说明

土壤试样分析的原理是通过钻探得到地下不同深度的土壤试样，在实验室中进行试样分析，得到随深度变化的电阻率分布情况。一般是用已知尺寸的土壤试样相对两面间所测得的电阻值来推算试样的电阻率，这种测试方法会带来一定的误差，因为该值包含了电极与土壤试样的接触电阻和电极电阻，这些都是未知的。

三极法的原理是测量埋入地中的标准垂直接地极的接地电阻，然后利用接地电阻的计算公式反推出土壤电阻率。改变垂直接地极的深度，得到视在土壤电阻率随深度变化的曲线，这种方法的缺点是测量的深度有限，最多在10m以内

我国接地电阻测量国家标准推荐采用的**土壤电阻率测量方法是四极法**，一般采用等测量间距的温纳(Wenner)四极法。



GB50065 4.1.1的条文说说明

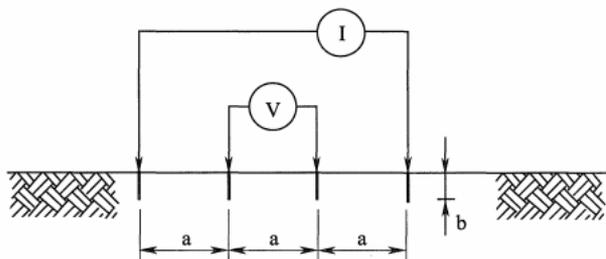


图1 测量土壤电阻率的等间距四极法(Wenner 四极法)

视在土壤电阻率可以由测量得到的电阻值和极间距换算得到:

$$\rho_a = \frac{4\pi a R}{1 + \frac{2a}{\sqrt{a^2 + 4b^2}} - \frac{a}{\sqrt{a^2 + b^2}}} \quad (1)$$

式中: ρ_a ——土壤的视在电阻率;

R ——测量到的电阻;

a ——相邻测试电极之间的距离;

b ——测量电极打入地中的深度。

如果 b 远小于 a , 即在探头仅仅穿透地面一小段距离时, 式

(1)可简化为:

$$\rho_a = 2\pi a R \quad (2)$$

附录J 土壤和水的电阻率参考值

没有给土壤电阻率的时候可来查表

一次手册P807

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	50	30~100	50~300	10~30
	白垩土、黏土	60			
	砂质黏土	100	30~100	50~300	10~30
	黄土	200	100~200	250	30
	含砂黏土、砂土	300	100~1000	1000以上	30~100
	河滩中的砂	—	300	—	—
	煤	—	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)	—	—	—

表 15-4 根据土壤性质决定的季节系数

土壤性质	深度 (m)	φ_1	φ_2	φ_3
黏土	0.5~0.8	3	2	1.5
黏土	0.8~3	2	1.5	1.4
陶土	0~2	2.4	1.36	1.2
砂砾盖于陶土	0~2	1.8	1.2	1.1
园地	0~3	—	1.32	1.2
黄沙	0~2	2.4	1.56	1.2
杂以黄沙的砂砾	0~2	1.5	1.3	1.2
泥炭	0~2	1.4	1.1	1.0
石灰石	0~2	2.5	1.51	1.2

注 φ_1 ——测量前数天下过较长时间的雨时用之；
 φ_2 ——测量时土壤具有中等含水量时用之；
 φ_3 ——测量时土壤干燥或测量前降雨不大时用之。



(8) 季节系数：计算接地电阻时，还应考虑大地受干燥、冻结等季节变化的影响，从而使接地电阻在各季节均能保证达到所要求的值。

但计算雷电防护接地装置的冲击接地电阻时，可只考虑在雷季中大地处于干燥状态时的影响。

1) 非雷电保护接地实测的接地电阻值或土壤电阻率，要乘以表 14.6-14 中的季节系数 φ_1 或 φ_2 或 φ_3 进行修正。

表 14.6-14

季 节 系 数

土壤类别	深度 (m)	φ_1	φ_2	φ_3
粘土	0.5~0.8	3	2	1.5
	0.8~3	2	15	1.4
陶土	0~2	2.4	1.4	1.2
砂砾盖于陶土	0~2	1.8	1.2	1.1
园地	0~3	—	1.3	1.2



续表

土壤类别	深度 (m)	φ_1	φ_2	φ_3
黄沙	0~2	2.4	1.6	1.2
杂以黄沙的砂砾	0~2	1.5	1.3	1.2
泥炭	0~2	1.4	1.1	1.0
石灰石	0~2	2.5	1.5	1.2

注 φ_1 ——用于测量前数天下过较长时间的雨、土壤很潮湿时。

φ_2 ——用于测量时土壤较潮湿，具有中等含水量时。

φ_3 ——用于测量时土壤干燥或测量前降雨量不大时。

一手资源请认准网校教育：成功者教育...
 其他地方买的后期一律断更，抓紧退款退款...
 一手资源，次日更新，加微信：cgz368368

GB/T50065-2011 5.1.5 计算雷电保护接地装置所采用的土壤电阻率，应取雷季中最大可能的数值，并按下式计算

$$\rho = \rho_0 \varphi \quad (5.1.5)$$

式中： ρ ——土壤电阻率， $\Omega \cdot m$ ；

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

φ ——考虑土壤干燥所取的季节系数。 φ 采用表5.1.6所列数值。土壤和水的电阻率参考值见附录K。

配四P1323

表 14.6-15

土壤干燥时的季节系数 <GB50065 5.1.6>

埋深 (m)	φ 值	
	水平接地极	2~3m 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

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。

2.水平接地网的接地电阻

允许值 ○ 4.2.1条

均匀土壤中实际值计算 ○

单根垂直接地体

水平接地体

复合接地网的接地电阻

双层土壤中接地电阻计算 ○

上下分层

水平分层

附录A, 1.5



▶ 允许值：GB50065 4.2.1

(1) 有效接地系统和低电阻接地系统

正常情况

1) 接地网的接地电阻宜符合下式的要求，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。

$$R \leq 2000/I_G \quad \text{式 4.2.1-1}$$

式中：R——考虑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。 $=I_g \times D_f$

特殊情况

2) 当接地网的接地电阻不符合式 $R \leq 2000/I_G$ 的要求时，可通过**技术经济比较**适当增大接地电阻。在符合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

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：

$$R \leq 120/I_g \quad \text{式 4.2.1-2}$$

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。

$$\text{消弧线圈: } I_g = 1.25 \sum I_L \quad I_L = \frac{W}{U_n / \sqrt{3}}$$



题 16-20: 某矿山企业主工业场地设 110/35kV 变电站一座, 110kV 侧采用桥型接线, 站内设主变压器两台, 采用 YNd11 接线, 35kV 侧采用单母线分段接线, 分列运行, 每段母线设置接地变压器加自动跟踪补偿消弧接地装置一套 (单套额定电流为 60A), 35kV 侧发生单相接地故障时系统可继续运行。35kV 配电设备和 35/0.4kV 站用变布置在建筑物内, 站用变低压侧采用 TN-S 系统, 低压电气装置采用保护总等电位联结系统 (包括建筑物钢筋)。110kV 线路全部采用架空敷设, 并全程架设避雷线, 35kV 配电采用电缆和架空 (全程架设避雷线) 混合敷设。110kV 侧选用一套速动主保护和远后备保护作为单相接地继电保护设备, 主保护动作时间为 0s, 后备保护动作时间为 0.5s, 断路器开断时间为 0.15s。110kV 和 35kV 配电装置共用同一接地网。变电站采取一系列措施, 使得接地网电位短时升高至 5kV 时, 站内设备和人身安全仍能得到保障, 假设 110kV 侧发生接地故障时的电流衰减系数取 1.05, 35kV 系统发生接地故障时的电流衰减系数为 1.05, 变电站及 35kV 线路所在地区的土壤电阻率为 $250\Omega\text{m}$, 请回答下列问题, 并列解答过程。

【18-2-A-16】.假设在工程设计水平年最大运行方式下 110kV 系统发生接地故障时, 接地网最大入地对称电流有效值为 1.1kA。计算该变电站接地网接地电阻最大值为下列哪项数值?

A.4.33 Ω B.1.7 Ω C.1.6 Ω D.0.8 Ω



【18-2-A-16】.假设在工程设计水平年最大运行方式下 110kV 系统发生接地故障时，接地网最大入地对称电流有效值为 1.1kA。计算该变电站接地网接地电阻最大值为下列哪项数值？

A.4.33Ω B.1.7Ω C.1.6Ω D.0.8Ω

80 教育答案：【 D 】 QQ 群：195343600

解答过程：GB/T50065-2011 附录 B 4.2.1 条

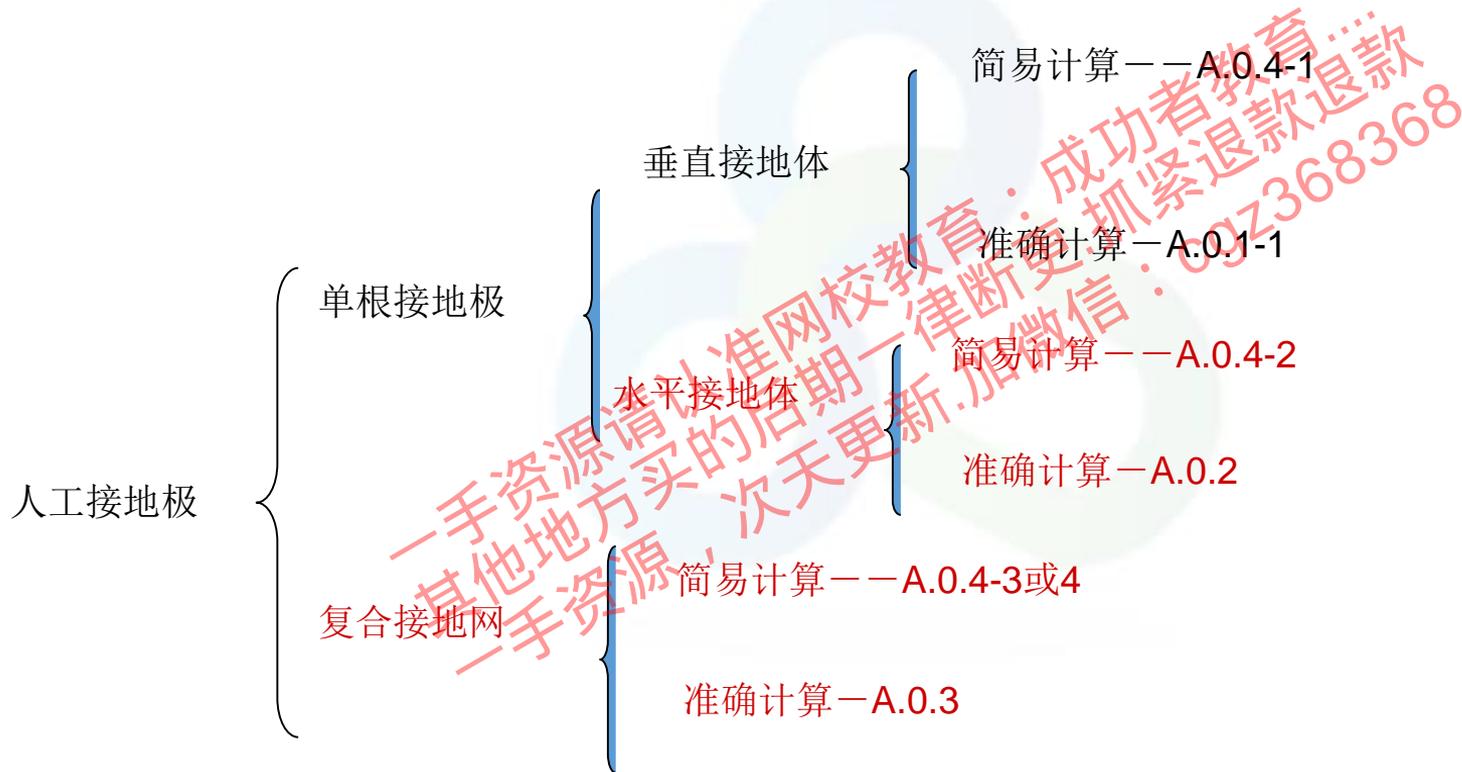
$$R \leq \frac{5000}{I_G} = \frac{5000}{1.1 \times 1000 \times 1.05} = 4.33\Omega$$

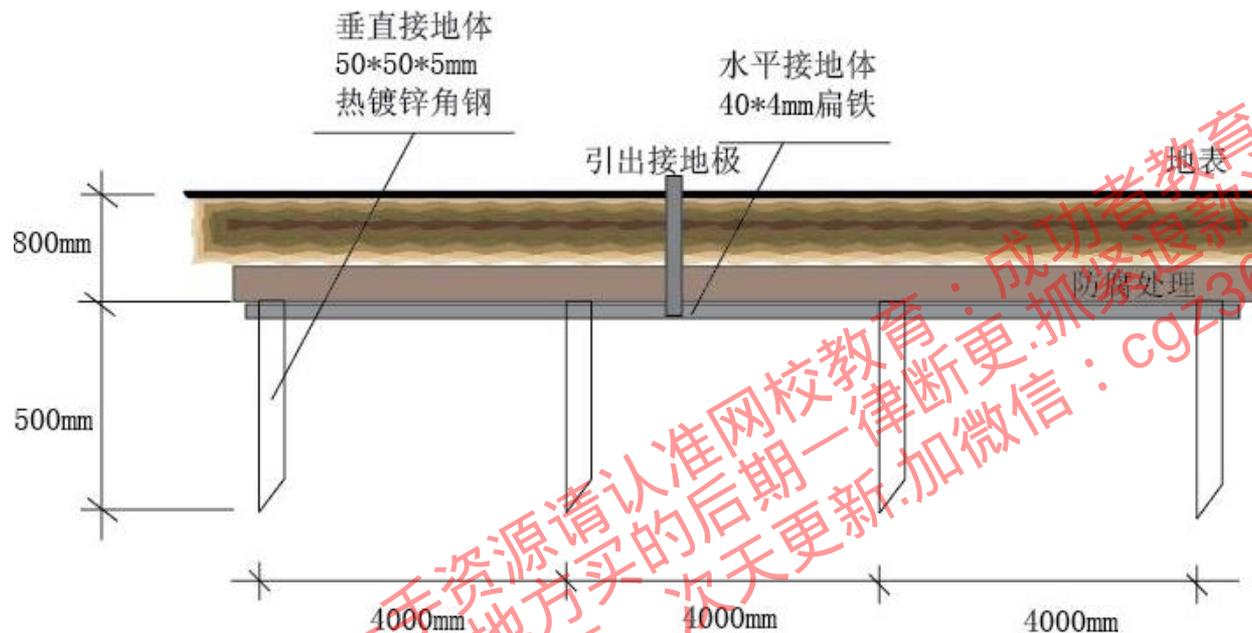
考虑到 35kV 装置自动跟踪补偿装置： $R \leq \frac{120}{1.25 \times 60 \times 2} = 0.8\Omega$

解析：本题 2 个考点，1 是 110kV 系统直接接地，接地电阻的计算，注意题目说的升高到 5000V，该考点 80 教育上课时反复强调，练习题有练习到。

2 是 35kv 和 110kv 共用接地系统，那么接地电阻要满足这个 2 个接地网的最小接地电阻，考到共用接地电阻的计算，而自动跟踪补偿装置的接地电阻的计算【18-1 模-P-36】有类似考点，难度高于真题。

GB/T 50065-2011





一手资源，请认准网校教育，成功者教育...
其他地方买的后期一律断更，抓紧退款退款
一手资源，次日更新，加微信：cgz368368



附录 A 土壤中人工接地极工频接地电阻的计算

〈本节公式中的土壤电阻率 ρ ，如必要考虑季节系数〉

A.0.1 均匀土壤中垂直接地极的接地电阻可按下式计算：

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

垂直接地极

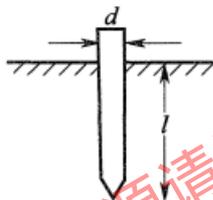


图 A.0.1-1 垂直接地极的示意

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

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，其等效直径可按下式计算(图 A.0.1-2)：

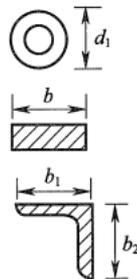


图 A.0.1-2 几种型式导体的计算用尺寸

$$\text{管状导体, } d = d_1 \quad (\text{A.0.1-2})$$

$$\text{扁导体, } d = \frac{b}{2} \quad (\text{A.0.1-3})$$

$$\text{等边角钢, } d = 0.84b \quad (\text{A.0.1-4})$$

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



水平接地极

A.0.2 均匀土壤中不同形状水平接地极的接地电阻,可按下式计算:

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

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。

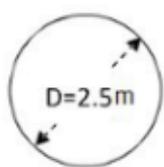
表 A.0.2 水平接地极的形状系数

水平接地极形状	—	L	人	○	+	□	火	✳	✳	✳
形状系数 A	-0.6	-0.18	0	0.48	0.89	1	2.19	3.03	4.71	5.65

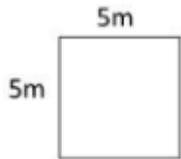
注: 配四P1418表14.6-7和表14.6-8给出了常用人工接地极的工频接地电阻



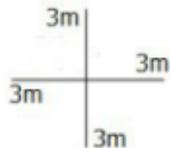
1. 假设站内避雷针的独立接地装置采用水平接地极，水平接地极采用直径为10mm的圆钢，埋深0.8m，土壤电阻率 $100\Omega \cdot \text{m}$ ，要求接地电阻不大于 10Ω 。请计算当接地装置采用下列哪种形式时，能满足接地电阻的接地要



(A)



(B)



(C)



(D)

解答过程：依据 GB/T 50065 附录 A 式 (A.0.2) 表 A.0.2。

圆形水平接地极： $L = \pi d = 7.85\text{m}$ ， $A = 0.48$

$$R_b = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{L^2}{hd} + A \right) = \frac{100}{2 \times 3.14 \times 7.85} \left(\ln \frac{7.85^2}{0.8 \times 0.01} + 0.48 \right) = 19\Omega$$

正方形水平接地极： $L = 4d = 20\text{m}$ ， $A = 1$

$$R_b = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{L^2}{hd} + A \right) = \frac{100}{2 \times 3.14 \times 20} \left(\ln \frac{20^2}{0.8 \times 0.01} + 1 \right) = 9.4\Omega$$



十字形水平接地：L=4d=12m，A=0.89

$$R_h = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{L^2}{hd} + A \right) = \frac{100}{2 \times 3.14 \times 12} \left(\ln \frac{12^2}{0.8 \times 0.01} + 0.89 \right) = 14.1 \Omega$$

星形水平接地极：L=3d=9m，A=0

$$R_h = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{L^2}{hd} + A \right) = \frac{100}{2 \times 3.14 \times 9} \left(\ln \frac{9^2}{0.8 \times 0.01} + 0 \right) = 16.3 \Omega$$

一手资源请认准网校教育·成功者教育...
其他地方买的后期一律断更·抓紧退款退款
一手资源，次日更新·加微信：cgz368368



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:

<忽略垂直接地极,详细计算> $R_n = \alpha_1 R_e$ (A.0.3-1)

$$\alpha_1 = \left(3 \ln \frac{L_0}{\sqrt{S}} - 0.2 \right) \frac{\sqrt{S}}{L_0} \quad (\text{A.0.3-2})$$

$$R_e = 0.213 \frac{\rho}{\sqrt{S}} (1 + B) + \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{S}{9hd} - 5B \right) \quad (\text{A.0.3-3})$$

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

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(m^2);

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);

L_0 ——接地网的外缘边线总长度(m);

L ——水平接地极的总长度(m)。



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：<掌握>

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)：

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

或

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

如给定L，可以用-4式，2个公式计算结果相近。

式中：S——大于 100m² 的闭合接地网的面积；

勘误为r R——与接地网面积 S 等值的圆的半径，即等效半径(m)。



题 35-37: 某 110kV 变电站接地网范围为 $120 \times 150\text{m}$ 。由 $15 \times 15\text{m}$ 正方形网络构成, 接地体 $60 \times 8\text{mm}^2$

截面的镀锌扁铁, 埋深 0.8m 。已知土壤电阻率均为 $\rho = 300\Omega \cdot \text{m}$, 请回答下列问题:

【08-2-P-35】计算该接地网工频接地电阻最接近下列哪项数值?

- (A) 1.044 Ω (B) 1.057 Ω (C) 1.515 Ω (D) 0.367 Ω

《交流电气装置的接地设计规范》GB/T50065-2011 附录 A A.0.3

$$L_0 = (120+150) \times 2 = 540 \quad L = \left(\frac{120}{15} + 1\right) \times 150 + \left(\frac{150}{15} + 1\right) \times 120 = 2670$$

$$\alpha_1 = \left(3 \ln \frac{L_0}{\sqrt{S}} - 0.2\right) \frac{\sqrt{S}}{L_0} = \left(3 \ln \frac{540}{\sqrt{120 \times 150}} - 0.2\right) \frac{\sqrt{120 \times 150}}{540} = 0.98822$$

$$B = \frac{1}{1 + 4.6 \frac{h}{\sqrt{S}}} = \frac{1}{1 + 4.6 \frac{0.8}{\sqrt{120 \times 150}}} = 0.9733$$

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

$$= 0.213 \frac{300}{\sqrt{120 \times 150}} (1+0.9733) + \frac{300}{2\pi \times 2670} \left(\ln \frac{120 \times 150}{9 \times 0.8 \times 0.03} - 5 \times 0.9733 \right)$$

$$= 1.0555$$

$$R_n = \alpha_1 R_s = 0.98222 \times 1.0555 = 1.043$$

解析: 本题注意 L, d 的求法。而且本题不可用 A.0.4 简化计算, 否则会得出 B 选项正确。计算

量太大, 建议后选。



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):

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

埋在地中接地极的长度

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

$$l > H \text{ 时:} \quad \rho_a = \frac{\rho_1 \rho_2}{\frac{H}{l}(\rho_2 - \rho_1) + \rho_1} \quad \text{〈掌握〉} \quad (\text{A.0.5-3})$$

$$C = \sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1} \right)^n \ln \frac{2nH + l}{2(n-1)H + l} \quad (\text{A.0.5-4})$$

H: 接地极在上层土壤的深度

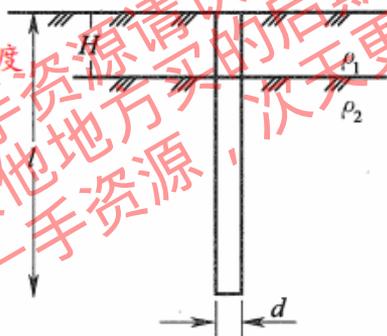


图 A.0.5-1 深埋接地体示意



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 :

$$R = \frac{0.5\rho_1\rho_2\sqrt{S}}{\rho_1S_2 + \rho_2S_1} \quad (\text{A. 0. 5-5})$$

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(m^2);

S ——接地网总面积(m^2)。

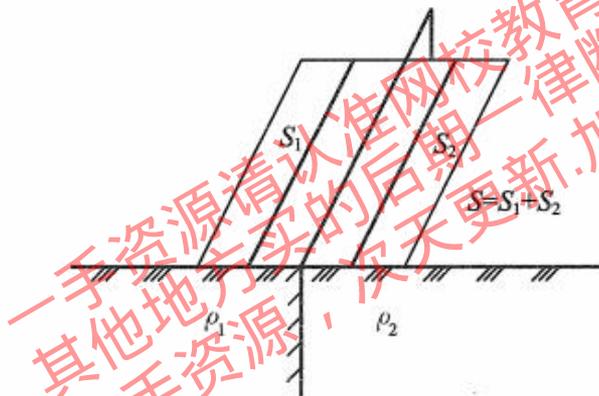


图 A. 0. 5-2 两种土壤电阻率的接地网



【16-1-P-24】假定某垂直接地极所处的场地为双层土壤，上层土壤电阻率为 $\rho_1=70\Omega\cdot\text{m}$ ，

土壤深度为 $0\sim-3\text{m}$ ，下层土壤电阻率为 $\rho_2=100\Omega\cdot\text{m}$ ，土壤深度为 $-3\sim-5\text{m}$ ；垂直接地极长

3m ，顶端埋设深度为 -1m ，等效土壤电阻率最接近下列哪项数值？

- (A) $70\Omega\cdot\text{m}$ (B) $80\Omega\cdot\text{m}$ (C) $85\Omega\cdot\text{m}$ (D) $100\Omega\cdot\text{m}$

答案：【 B 】

依据：《交流电气装置的接地设计规范》（GB/T 50065-2011）P46 式（A.0.5-3）计算

$$\rho_a = \frac{\rho_1 \rho_2}{\frac{H}{l}(\rho_2 - \rho_1) + \rho_1} = \frac{70 \times 100}{\frac{2}{3}(100 - 70) + 70} \approx 80\Omega\cdot\text{m}$$



考点总结

- 接地极等效直径 - 附录A.0.1-2
- 不同形状的水平接地极的形状系数 - 表A.0.2
- 接地网的外缘边线总长度
- 水平接地极的总长度
- 双层土壤接地电阻计算

一手资源请认准网校教育·成功者教育...
其他地方买的后期一律断更.抓紧退款退款
一手资源, 次天更新.加微信: cgz368368

三.高压配电装置的接地电阻

4.高压配电电气装置的接地电阻计算

不接地、谐振接地、高电阻接地系统 ○ $R \leq 50/I \leq 4$

低电阻接地系统 ○ 4.2.1, 且 ≤ 4

避雷器的接地装置的接地电阻不应大于10

6.1.1工作于不接地、谐振接地、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要求，且不应大于**4Ω**：

$$R \leq 50/I$$

(6.1.1)

式中 **R**——变电站考虑季节变化系数的变电站最大接地电阻 (Ω)；

I——计算用单相接地故障电流；谐振接地系统为故障点残余电流 (**A**)。

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式**4.2.1-1**要求（即 $R \leq 2000/I_G$ ），且不应大于**4Ω**。



一次手册P804

表 15-1 工频接地电阻允许值

应用范围	电气系统特点	接地电阻 (Ω)
发电厂	有效接地、低电阻接地系统。保护接地接至接地网的厂用变压器的低压侧采用 TN 系统, 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	$R \leq 2000/I_G^{①}$
		$R \leq 5000/I_G^{②}$
	不接地、谐振接地和高电阻接地系统。保护接地接至接地网的厂用变压器的低压侧电气装置, 采用(含建筑物钢筋的)保护总等电位联结系统	$R \leq 120/I_g^{③} \leq 4$
高压配电电气装置	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	$R \leq 50/I^{④} \leq 4$
	工作于低电阻接地系统的高压配电电气装置	$R \leq 2000/I_G \leq 4$

① 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。

② 当接地网的接地电阻不满足 $R \leq 2000/I_G$ 时, 可通过技术经济比较适当增大接地电阻, 接地网的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。但应符合下列要求:

③ I_g —计算用的接地网入地对称电流, A。

④ 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, A。

⑤ 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。

⑥ 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。



四.架空线路杆塔接地电阻的计算

3.架空线路杆塔的接地电阻计算

附录F

- 允许值
 - 无地线 5.1.1
 - 有地线 5.1.3

杆塔水平接地装置的接地电阻计算

附录F F.0.1

各种型式接地装置工频接地电阻

附录F, F.0.5

雷电保护接地装置 电阻率修正

接地电阻 > 30时, 反射形接地极敷设

单独接地极或杆塔接地装置

5.线路杆塔的冲击接地电阻计算

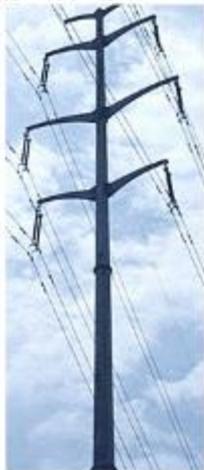
附录F

n根等长水平放射形接地极组成的接地装置

水平接地极连接的n根垂直接地极



铁塔： 纯钢杆、薄壁离心混凝土钢杆、
四管塔、钢管塔及抢修塔



大角度转角塔

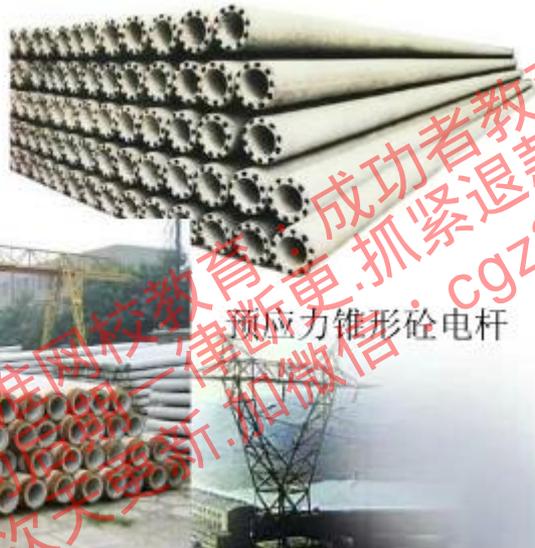
成功者教育退款
抓紧退款退款
cgz368368
请加微信
一手资源，次日更新
其他地方的后期一律断更
一手资源，请认准网校教育

钢筋混凝土电杆：包括普通离心制作和预应力



钢筋混凝土电杆

等径电杆



预应力锥形砼电杆

成功者教育...
一手资源, 次大更新, 抓紧退款退款
其他地方...
一手资源, 次大更新, 抓紧退款退款
cgz368368
加微信



➤ 架空线路杆塔接地电阻的计算

允许值



GB/T 50065-2011 5.1

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

多雷区
要设

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。

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。

GB50061-2010
6.0.16

允许值，案例题考
表 5.1.3 有地线的线路杆塔的工频接地电阻

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



F.0.1 杆塔水平接地装置的工频接地电阻可按式计算：

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

等效直径

式中： A_t ——按表 F.0.1 取值；

L ——按表 F.0.1 取值。水平接地极总长度

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)

实际值计算

GB/T 50065-2011 附录F

配四P1420 表 14.6-9



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。

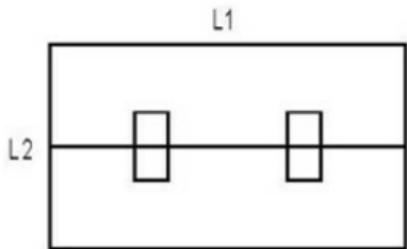
表 F.0.5 各种型式接地装置的工频接地电阻简易计算式

接地装置型式	杆塔型式	接地电阻简易计算式
<u>n 根水平射线 ($n \leq 12$, 每根长约 60m)</u>	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	$R \approx 0.1\rho$
	门型杆塔	$R \approx 0.06\rho$
	V形拉线的门型杆塔	$R \approx 0.09\rho$
<u>钢筋混凝土杆的自然接地极</u>	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($\Omega \cdot m$)。



【11-2-P-37】下图为架空线路某钢筋混凝土电杆环形水平接地装置的示意图，已知水平接地极采用 50X5 的扁钢，埋深 $h=0.8\text{m}$ ，土壤电阻率 $\rho=500\Omega\cdot\text{m}$ $L_1=4\text{m}$ ， $L_2=2\text{m}$ ，计算该装置工频接地电阻最接近下列哪项数值？



- A. 48Ω B. 52Ω C. 57Ω D. 90Ω

80 教育答案：【 B 】 QQ 群：726445291

解答过程：依据《交流电气装置接地设计规范》GB/T 50065-2011 附录 F F.0.1

计算参数： $L=4L_1=16\text{m}$ （当 $L_1 \neq 0$ ） $d=b/2=0.025\text{m}$ $At=1.0$

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{l^2}{hd} + At \right) = \frac{500}{2 \times 3.14 \times 16} \left(\ln \frac{16^2}{0.8 \times 0.025} + 1 \right) = 52\Omega$$

解析：此题与【09-2-P-37】一样的。接地电阻的题目经常出，本题是涉及到架空线路杆塔接地电阻，计算量不大，争取拿分。此类题目注意根据表中的型式选择正确的计算公式以及 d 的计算。

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: 雷电保护时的季节系数

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

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

<土壤干燥,用较小值;土壤潮湿,用较大值>

发电:线路P138; 供配电:配四手册P1423 表14.6-15>

• 23 •

非雷电保护的季節系数:具体土壤类别

<发电:一次手册P909;供配电:配四P1422 表14.6-14>



2. 单独接地极或杆塔的冲击接地电阻计算

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—可用附录A的公式计算;也可查配四P1421表14.6-12和14.6-13

$$\langle \text{掌握} \rangle R_i = \alpha R \quad (5.1.7)$$

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。 $\langle \text{附录F.0.2} \rangle$

间距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。 $\langle \text{考虑屏蔽效应} \rangle$

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:

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

指单根 R_{hi} ,式5.1.7

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。



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式计算

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

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式计算：

$$R_i = \frac{\frac{R_{vi}}{n} \times R'_{hi}}{\frac{R_{vi}}{n} + R'_{hi}} \times \frac{1}{\eta_i} \quad (5.1.9)$$

单根垂直接地极 R_{vi} ，式 5.1.7
 单根或多根水平接地极，单根时用 5.1.7，多根时用 5.1.8
 其他来源，次天更新，加微信：cgz368368

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)。



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：

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

3 钢筋混凝土杆环型接地装置：

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

4 单独接地极接地电阻的冲击系数的计算：

1) 垂直接地极：

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

2) 单端流入冲击电流的水平接地极：

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

3) 中部流入冲击电流的水平接地极：

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

α :冲击系数——附录F.0.2 及F.0.3



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:

$$a = \frac{1}{1.35 + \alpha_1 I_i^{1.5}} \quad (\text{F.0.3})$$

式中: a_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。利用系数的意思是理想状态是并联,但是达不到,所以要除以利用系数。

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	$\frac{D(\text{垂直接地极间距})}{l(\text{垂直接地极长度})} = 2 \sim 3$ 较小值用于 $\frac{D}{l} = 2$ 时
	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 门型、各种拉线杆	0.4~0.5	
	塔的各基础间	0.7	

n是水平
接地极
根数

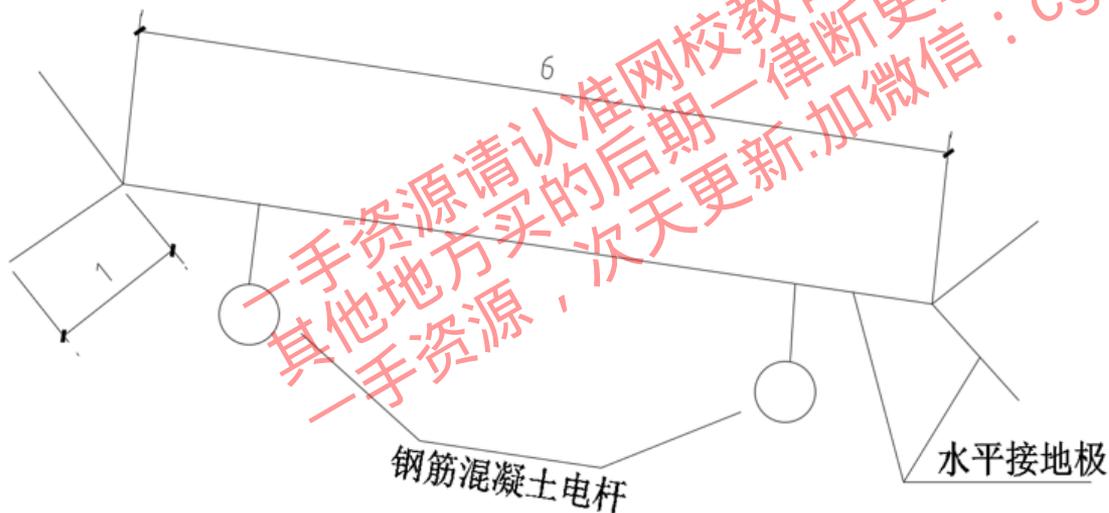
垂直接地极根数



题 16-20: 某矿山企业工业场地设 110/35kV 变电站一座, 110kV 侧采用桥型接线, 站内设主变压器两台, 采用 YNd11 接线, 35kV 侧采用单母线分段接线, 分列运行, 每段母线设置接地变压器加自动跟踪补偿消弧接地装置一套 (单套额定电流为 60A), 35kV 侧发生单相接地故障时系统可继续运行。35kV 配电设备和 35/0.4kV 站用变布置在建筑物内, 站用变低压侧采用 TN-S 系统, 低压电气装置采用保护总等电位联结系统 (包括建筑物钢筋)。110kV 线路全部采用架空敷设, 并全程架设避雷线, 35kV 配电采用电缆和架空 (全程架设避雷线) 混合敷设。110kV 侧选用一套速动主保护和远后备保护作为单相接地继电保护设备, 主保护动作时间为 0s, 后备保护动作时间为 0.5s, 断路器开断时间为 0.15s。110kV 和 35kV 配电装置共用同一接地网。变电站采取一系列措施, 使得接地网电位短时升高至 5kV 时, 站内设备和人身安全仍能得到保障, 假设 110kV 侧发生接地故障时的电流衰减系数取 1.05, 35kV 系统发生接地故障时的电流衰减系数为 1.05, 变电站及 35kV 线路所在地区的土壤电阻率为 $250\Omega\cdot\text{m}$, 请回答下列问题, 并列解答过程。



【18-2-A-19】.该企业某车间 35kV 电源用架空线路引自工业场地 110/35kV 变压器，该线路全程假架设避雷线，直线杆塔采用无拉线的钢筋混凝土电杆，经计算直线杆塔的自然接地极工频接地电阻不满足规范的要求，因此拟采用增加水平接地装置的设计方案降低接地电阻，接地极采用直径为 10mm 的镀锌圆钢，水平接地装置埋深为 1.0m，如下图所示，图中标注的尺寸单位均为 m。请计算该方案实施后电杆的工频接地电阻并判断是否满足规范要求？（忽略人工接地体和自然接地体之间的相互屏蔽影响，不计电杆至水平接地极之间的导体影响。）





- A. 50Ω , 不满足要求
B. 44.6Ω , 不满足要求
C. 23.57Ω , 不满足要求
D. 7.5Ω , 满足要求

80 教育答案: 【 B 】 QQ 群: 195343600

解答过程: GB/T50065-2011 附录 F

工频接地电阻:

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{L^2}{hd} + A_t \right) = \frac{250}{2\pi \times (4 \times 1 + 6)} \left(\ln \frac{(4+6)^2}{1 \times 0.01} + 2 \right) = 44.6\Omega$$

附录 F, 表 F.0.5 自然接地体的接地电阻, 对钢筋混凝土双电杆, $R=0.2\rho = 0.2 \times 250 = 50\Omega$

人工接地极的接地电阻和钢筋混凝土电杆的接地电阻是并联关系: $R = \frac{44.6 \times 50}{44.6 + 50} = 23.57\Omega$

表 5.1.3, $250\Omega\text{m}$, 有地线, 工频接地电阻不宜超过 15Ω , 所以不满足要求。

解析: 该题难度高, 1, 要掌握自然接地极常用的几个电阻表, 2, 要掌握人工接地极的形状系数, 3. 还要理解人工接地极和自然接地极是并联关系。考场上不易做对。



【18-2-P-24】某 110/10kV 变电站采用架空进线，该架空进线杆塔的接地装置由水平接地极连接的 3 根垂直接地极组成；垂直接地极为 $\phi 50\text{mm}$ 的钢管，每根长 2.5m，间距 5m；水平接地极为 40mm \times 4mm 的扁钢，埋设深度 0.8m，计算长度 10m；土壤电阻率为 100 Ωm ，若单根垂直接地极的冲击系数取 0.65、水平接地极的冲击系数取 0.7，计算该架空进线杆塔接地装置的冲击接地电阻接近下列哪项数值？

A.3.91 Ω B.5.59 Ω C.7.07 Ω D.9.29 Ω

80 教育答案：【 B 】 QQ 群：726445291

解答过程：GB/T50065-2013 5.1.9 附录 F

配四 P1421

每根垂直接地极的工频电阻为 30.2 欧，水平接地极的电阻为 13.9 欧。

查 GB50065 附录 F 该接地装置的冲击利用系数为 0.7

$$R_p = \frac{\frac{0.65 \times 30.2}{3} \times (13.9 \times 0.7)}{\frac{0.65 \times 30.2}{3} + 13.9 \times 0.7} \times \frac{1}{0.7} = 5.59\Omega$$

据 GB/T50065-2011 5.1.1 条，接地电阻不宜超过 30 欧，所以符合规范要求。

此部分内容，发电同学可参考
一次手册P911

自然接地极
或接地基础

自然接地极——配四P1415表14.6-2

单个基础接地极——配四P1415表14.6-3

建筑物或建筑群的基础接地极——配四P1417表14.6-4

常用直埋铠装电力电缆和金属水管——配四表14.6-5

自然接地极的接地电阻的计算

表 14.6-2

自然接地体的工频接地电阻简易计算式

Ω

接地极	计算公式	备注
金属管道（直埋金属水管见表 14.6-6）	$R = \frac{2\rho}{L}$	L 在 60m 左右
钢筋混凝土基础	$R = \frac{0.2\rho}{\sqrt[3]{V}}$	V 在 1000m ³ 左右

注 表中，L 为接地体长度，单位为 m；V 为基础所包围的体积，单位为 m³； ρ 为土壤电阻率，单位为 $\Omega \cdot m$ 。



(2) 单个基础接地极的接地电阻

(2) 单个基础接地极的接地电阻可按表 14.6-3 计算。

表 14.6-3

单个基础接地极的接地电阻计算式

<注意查图>

 Ω

基础接地极的几何形状	计算式	形状系数的数值
矩形基础板、矩形条状基础 ^① 、开敞基础槽的钢筋体或整体加筋的块状基础的钢筋体	$R = 1.1k_2 \frac{\rho}{L_1}$	k_2 值从图 14.6-1 中查出
圆形条状基础 ^① 的钢筋体	$R = 1.1k_3 \frac{\rho}{D_a}$	k_3 值从图 14.6-2 中查出
外墙不加筋的圆形基础板内的钢筋体	$R = 1.1k_4 \frac{\rho}{D}$	k_4 值从图 14.6-3 中查出
外墙加筋的圆形基础板内的钢筋体	$R = 1.1k_5 \frac{\rho}{D}$	k_5 值从图 14.6-3 中查出
杯口形基础的底板钢筋体	$R = 1.1k_6 \frac{\rho}{L_1}$	k_6 值从图 14.6-4 中查出
桩基的钢筋体	$R = 1.1k_7 \frac{\rho}{L_p}$	k_7 值从图 14.6-5 中查出

注 ρ 为基础接地极所在地的土壤电阻率, $\Omega \cdot m$ 。

L_1 、 D 、 D_a 、 L_p 的单位均为 m, 见图 14.6-1~图 14.6-6。

① 敷设成闭合矩形或闭合圆形的水平条状基础。



建筑物或建筑群的基础接地极的接地电阻的计算

(3) 当一幢建筑物或一综合建筑群中有许多独立基础，而这些基础的钢筋体互相连通在一起时，其工频接地电阻的计算按表 14.6-4 的计算式进行。

表 14.6-4 建筑物或建筑群的基础接地极的接地电阻计算式 <重点掌握> Ω

基础接地极的布置和形式	接地电阻计算式	形状系数的数值
I类 由 n 根桩基构成的基础接地极，由 n 根钢柱或 n 根放在杯口形基础中的钢筋混凝土构成的基础接地极，由 n 根放在钻孔中的钢筋混凝土杆构成的基础接地极；建筑物的基底面积为 A ，用 C_1 表示其特征，其值为 $C_1 = n/A$		当 $C_1 = (2.5 \sim 6) \times 10^{-2} \left(\frac{1}{m^2} \right)$ 时， $K_1 = 1.4$ ， K_2 从图 14.6-1 中查出 该图中 L_1 为基底面积 A 的长边， L_2 为短边
II类 由 n 个加钢筋的块状基础或 n 个有底板钢筋的杯口基础组成；第 n 个基础的平面面积为 A_n ，整个建筑物的基底平面面积为 A ，用 C_2 表示其特征，其值为 $C_2 = \frac{\sum_1^n A_n}{A}$	$R = K_1 K_2 \frac{\rho}{L_1}$	当 $C_2 = 0.15 \sim 0.4$ 时， $K_1 = 1.5$ ， K_2 从图 14.6-1 中查出，该图中 L_1 为基底面积 A 的长边， L_2 为短边
III类 由 m 个任意几何形状的钢筋混凝土基础组成的基础接地极；这些基础（第 m 个基础的平面面积为 A_m ）任意布置在综合建筑群所占的基底平面面积 A_K 之内，用 C_3 表示其特征，其值为 $C_3 = \frac{\sum_1^m A_m}{A_K}$		K_1 从图 14.6-6 中查出， K_2 从图 14.6-1 中查出。这时 t 为各基础深度的平均值， L_1 为基底面积 A_K 的长边， L_2 为短边

注 表中面积单位为 m^2 ，长度单位为 m 。

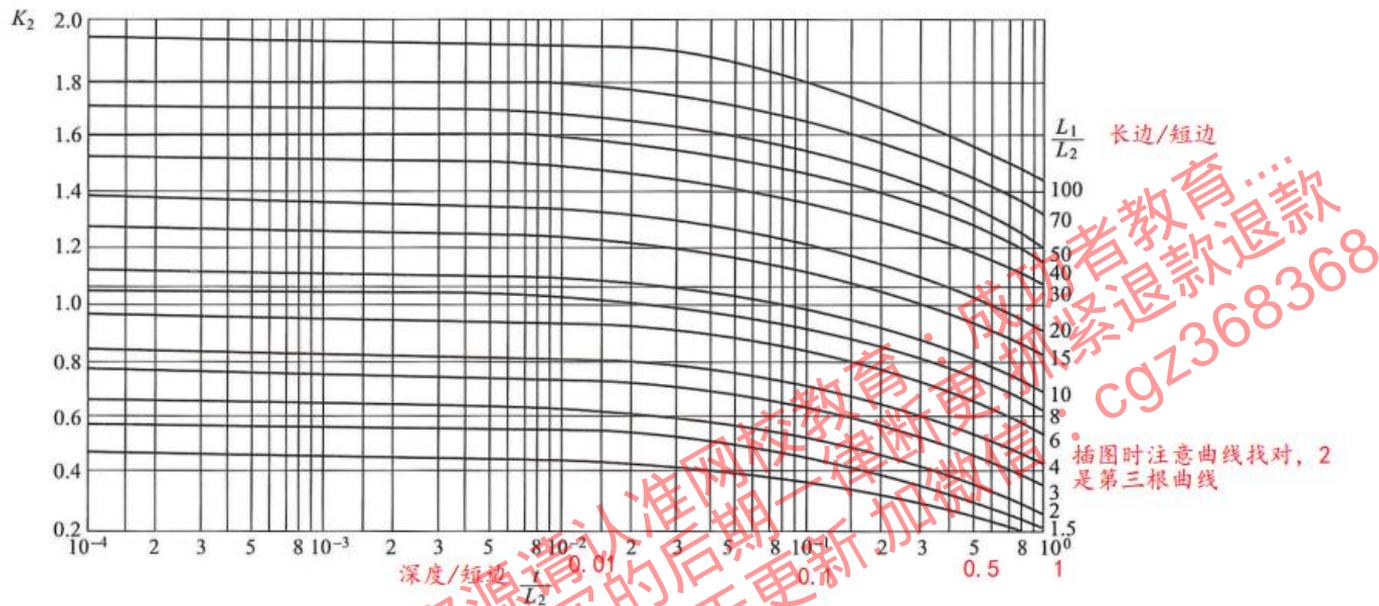


图 14.6-1 形状系数 K_2 <重点图, 掌握>

L_1 、 L_2 —钢筋体长边、短边的边长, m; t —基础深度, m

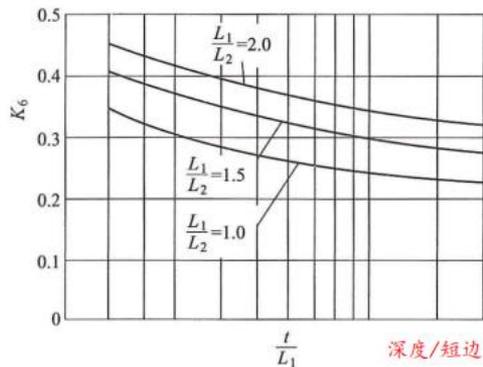


图 14.6-4 形状系数 K_6

L_1 、 L_2 —底板钢筋体长边、短边的边长，m；

t —基础深度，m

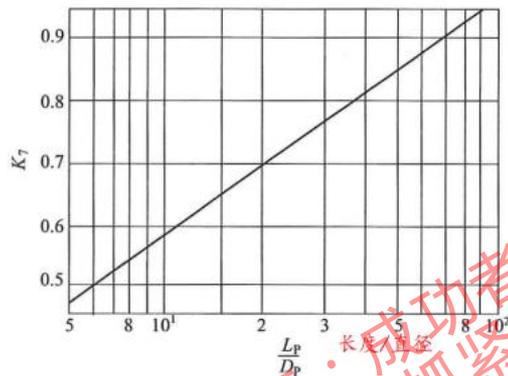


图 14.6-5 形状系数 K_7

L_p —桩基在土壤中的长度，m；

D_p —钢筋体的直径，m

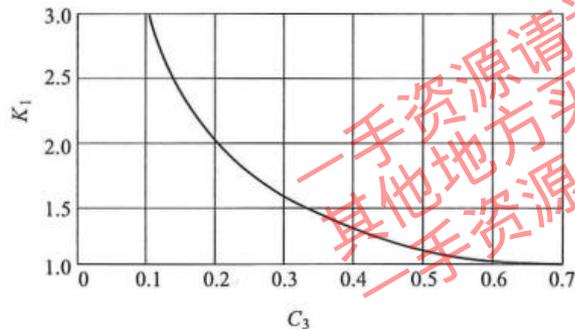


图 14.6-6 形状系数 K_1



(4) 常用直埋铠装电力电缆和金属水管的接地电阻分别见表 14.6-5 和表 14.6-6。

表 14.6-5 直埋铠装电力电缆金属外皮的接地电阻

电缆长度 (m)	20	50	100	150
接地电阻 (Ω)	22	9	4.5	3

注 (1) 本表编制条件为: 土壤电阻率 $\rho=100\Omega \cdot \text{m}$, $3\sim 10\text{kV}$ 、 $3\times (70\sim 185\text{mm}^2)$ 铠装电力电缆, 埋深 0.7m 。

(2) 当 $\rho \neq 100\Omega \cdot \text{m}$ 时, 表中电阻值应乘以换算系数: $50\Omega \cdot \text{m}$ 时为 0.7、 $250\Omega \cdot \text{m}$ 时为 1.65、 $500\Omega \cdot \text{m}$ 时为 2.35。

(3) 当 n 根截面相近的电缆埋设同一沟中时, 若单根电缆的接地电阻值为 R_0 , 则总接地电阻值为 R_0/\sqrt{n} 。

表 14.6-6

直埋金属水管的接地电阻

Ω

长度 (m)		20	50	100	150
公称口径	25~50mm	2.5	3.6	2	1.4
	70~100mm	7.6	3.4	1.9	1.4

注 本表编制条件为: $\rho=100\Omega \cdot \text{m}$, 埋深 0.7m 。



题 21-25：一座 35/10kV 变电站附属某公共建筑物内并为该建筑物供电。建筑物内下级 10/0.4kV 变压器兼站用变。35kV 系统采用高电阻接地方式，10kV 侧单相接地电容电流为 15A，采用经消弧线圈接地，0.4kV 侧采用 TN-S 系统，各变电站及建筑物共用接地系统，利用建筑物桩基础钢筋作自然接地体，并围绕建筑物设置以水平接地体为主边缘闭合的人工接地体，建筑物底板平面为 30m×21m，放在钻孔中分钢筋混凝土杆形桩基按 6m×4m 的矩形布置，闭环接地体包围的面积为 36m×24m。水平接地体埋深 1.0m。请回答下列有关问题。

【16-2-A-21】建筑物场地为陶土，假定在测量土壤电阻率时，土壤具有中等含水量，测得的土壤电阻率为 $35\Omega\cdot\text{m}$ ，请计算该自然接地装置的工频接地电阻最接近下列哪项数值（基础接地极的形状系数 $K_2=0.5$ ）

- (A) $0.52\ \Omega$ (B) $1.03\ \Omega$ (C) $1.14\ \Omega$ (D) $1.63\ \Omega$

80 教育答案：【 C 】 QQ 群：195343600



解答过程：《工业与民用供配电设计手册》第四版 P1417 表 14.6-4

计算桩基数量

$$n = \frac{30 \times 21}{6 \times 4} \approx 26 \text{ 根}, C_1 = \frac{n}{A} = \frac{26}{30 \times 21} = 4.1 \times 10^{-2} \in (2.5 \sim 6) \times 10^{-2}$$

查图 14.6-1 $K_1 = 1.4, k_2 = 0.5$

$$R = K_1 K_2 \frac{\rho}{L_1} = 1.4 \times 0.5 \times \frac{35}{30} = 0.817 \Omega$$

查表 14.6-14，依据建筑物场地为陶土，土壤具有中等含水量，考虑季节系数 1.4。

$$R = \varphi_2 R = 1.4 \times 0.817 = 1.14 \Omega$$

解析：本题与【14-2-P-17】类似，但难点在于 n 没有给出，同时考虑季节系数也是首次出现，此类题目近年基本属于必出题目，表 14.6-4 必须掌握。

(一) 架空避雷线

架空避雷线作为自然接地极时, 接地电阻 R_m 为:

$$n < 20 \text{ 时 } R_m = \sqrt{Rr} \operatorname{cth} \left(\sqrt{\frac{r}{R}} n \right) \quad (15-6)$$

$$n \geq 20 \text{ 时 } R_m = \sqrt{Rr} \quad (15-7)$$

$$r = \frac{\rho_{bl} L}{S} \quad (15-8)$$

式中 R ——有避雷线的每基杆塔工频接地电阻, Ω ;

n ——带避雷线的杆塔数;

r ——一档避雷线的电阻, Ω ;

ρ_{bl} ——避雷线电阻率, 钢线的 $\rho_{bl} = 0.15 \times 10^{-6} \Omega \cdot \text{m}$;

L ——档距长度, m;

S ——避雷线截面积, mm^2 。

$\operatorname{cth} \left(\sqrt{\frac{r}{R}} n \right)$ 为双曲线函数, 即 $\operatorname{cth}(x) = \frac{e^x + e^{-x}}{e^x - e^{-x}}$ 。

(二) 埋地管道 (管道系统长度小于 2km 时)

埋地管道 (管道系统长度小于 2km 时) 作自然接地极时, 接地电阻 R 为:

$$R = \frac{\rho}{2\pi l} \left(\ln \frac{l^2}{2rh} \right) \quad (15-9)$$

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

h ——接地极几何中心埋深, m;

l ——接地极长度, m;

r ——管道的外半径, m。



(三) 电缆外皮 (及管道系统长度大于 2km 时)

电缆外皮 (及管道系统长度大于 2km 时) 作为自然接地极时, 接地电阻 R 为:

$$R = \sqrt{rr_1} \operatorname{cth} \left(\sqrt{\frac{r_1}{r}} \cdot l \right) K \quad (15-10)$$

式中 r ——沿接地极直线方向每纵长 1m 的土壤扩散电阻, $\Omega \cdot \text{m}$, 一般 $r = 1.69\rho$ (ρ 为埋设电缆线路的土壤电阻率);

l ——埋于土中电缆的有效长度, m;

K ——考虑麻护层的影响而增大扩散电阻的系数, 见表 15-5, 对水管 $K=1$;

r_1 ——电缆外皮的交流电阻, $\Omega \cdot \text{m}$; 三芯动力电缆的 r_1 值见表 15-6。

表 15-5 系数 K 值

土壤电阻率 ($\Omega \cdot \text{m}$)	50	100	200	500	1000	2000
K	6.0	2.6	2.0	1.4	1.2	1.05

表 15-6 电力电缆外皮的电阻 r_1 (埋深 70cm)

1m 长铠装电缆皮的电阻 ($\times 10^{-6} \Omega/\text{m}$)

电缆规格	电压 (kV)				
	3	6	10	20	35
铠装					
3×70	14.7	11.3	10.1	4.4	2.6
3×95	12.8	10.9	9.4	4.1	2.4
3×120	11.7	9.7	8.5	3.8	2.3
3×150	9.8	8.5	7.1	3.5	2.2
3×185	9.4	7.7	6.6	3.0	2.1

注 对于中性点接地的电力网的 r_1 按本表增大 10%~20% 计算。



当有多根电缆敷设在一处时，其总扩散电阻按式(15-11)计算，即

$$R' = \frac{R}{\sqrt{n}} \quad (15-11)$$

式中 R ——每根电缆外皮的扩散电阻， Ω ；
 n ——敷设在一处的电缆根数。

(四) 基础接地

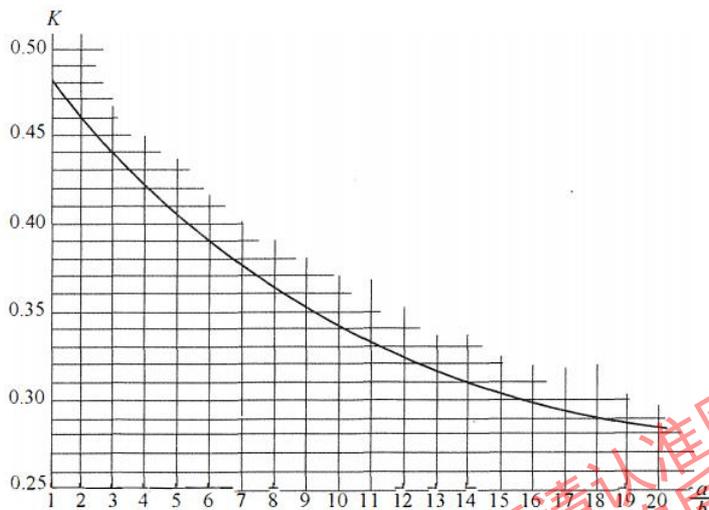
对整个厂房的钢筋混凝土基础的工频接地电阻(基础钢筋连续焊接成网，并与厂区地网多点连接)，可用等效平板法计算。当土壤是均匀时，基础的工频接地电阻 R 为：

$$R = \frac{K\rho_1}{\sqrt{ab}} \quad (15-12)$$

式中 a 、 b ——矩形平板的长、宽，即建筑物的长和宽，m；

ρ_1 ——顶层土壤的电阻率， $\Omega \cdot \text{m}$ ；

K ——系数，从图 15-2 查出。

图 15-2 确定基础接地计算中 K 值的曲线

式 (15-12) 适用于装配式整体式基础; 对于桩基式基础, 其 R 按上式算出后增加 10%。

整个厂区基础接地体的工频接地电阻 R_{zh} 由下式确定:

$$R_{zh} = \beta R \quad (15-13)$$

式中 R ——电厂总平面范围内的等效平板的工频接地电阻, 根据式 (15-12) 求出, 但这时 a 和 b 分别为电厂总平面的长和宽, Ω ;

β ——系数, 由图 15-3 查出。

图 15-3 中 λ 为建筑密度的建筑系数, 由式 (15-14)

得:

$$\lambda = \frac{\sum_{i=1}^n S_i}{S} \quad (15-14)$$

式中 $\sum_{i=1}^n S_i$ —— 电厂内具有钢筋混凝土基础并采取

钢筋接地措施的生产性建筑物占地面积的总和, m^2 ;

S —— 电厂总平面的面积, m^2 。

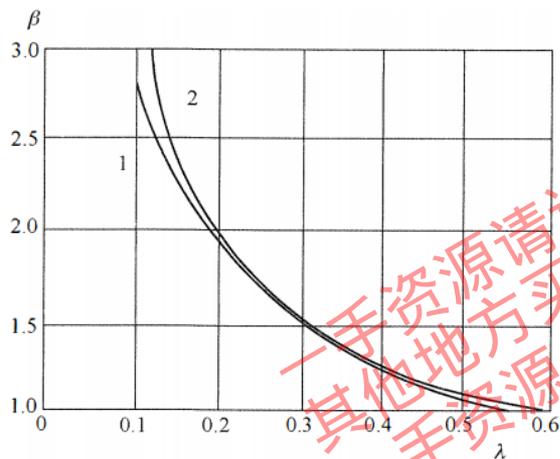


图 15-3 β 和 λ 值的关系曲线

1—土壤为均匀构造; 2—土壤为不均匀构造

【例 1】

(1) $3 \times 200MW$ 主厂房 $a \times b = 230 \times 90(m^2)$, 假定 $\rho_1 = 80\Omega \cdot m$ (砂质黏土), $a/b = 2.561$, 由图 15-2 曲线查取 $K=0.45$, 得

$$R = \frac{K\rho_1}{\sqrt{ab}} = \frac{0.45 \times 80}{\sqrt{230 \times 90}} = \frac{36}{143.9} = 0.25(\Omega)$$

(2) 电厂总平面 $a \times b = 900 \times 600(m^2)$, $a/b = 1.33$, 由图 15-2 曲线查取 $K=0.475$, 得

$$R = \frac{K\rho_1}{\sqrt{ab}} = \frac{0.475 \times 80}{\sqrt{900 \times 600}} = 0.0517(\Omega)$$

假定 $\lambda = 0.15$, 由图 15-3 查 $\beta = 2.5$, 得

$$R_{zh} = \beta R = 2.5 \times 0.0517 = 0.129(\Omega)$$



接地电阻总结

简易计算——A.0.4-1

准确计算—A.0.1-1

人工接地极

单根接地极

垂直接地体

水平接地体

简易计算——A.0.4-2

准确计算—A.0.2

复合接地网

简易计算——A.0.4-3或4

准确计算—A.0.3

均匀土壤中的
接地电阻

自然接地极
或接地基础

自然接地极——配四P1415表14.6-2

单个基础接地极——配四P1415表14.6-3

建筑物或建筑群的基础接地极——配四P1417表14.6-4

常用直埋铠装电力电缆和金属水管 ——配四表14.6-5

架空线杆塔

水平接地装置———F.0.1

冲击接地电阻——F.0.4

各种型式接地装置———F.0.5

5.1.7~5.1.9



六.低压架空线的接地电阻计算

低压系统

7.1, 接地型式分TN,TT,IT系统

向低压电气装置供电的配电变压器

7.2 低压架空线路的接地

7.2.5 条高压侧工作于不接地、高电阻接地、谐振接地, $R \leq 50/I \leq 4$

7.2.6条高压侧工作于低电阻接地, $2000/IG$

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

线路 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。

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 。

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 。

7.2.4 架空低压线路入户处的绝缘子铁脚宜接地,接地电阻不宜超过 30Ω 。土壤电阻率在 $200\Omega \cdot m$ 及以下地区的铁横担钢筋混凝土杆线路,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。



- 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。
- 1) $R \leq 50/1$
且 ≤ 4
- 2) 采用总等电位联结系统
- 可共用接地

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。

$R \leq 2000/16$ 低压系统变压器中性点与外壳的接地共用。 37 .

- 1) TN 系统，低压侧采用保护总等电位链接系统
- 2) 电阻 $R \leq 2000/16$

低压系统变压器中性点与外壳的接地，严禁共用。

1) TN 系统，低压侧未采用保护总等电位链接系统

2) TT, IT 系统

严禁共用 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。



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: **GB50054 5.2.15**

$$\text{TT: 接地电阻+外壳电阻 } R_A \leq 50 / I_a \quad (7.2.7)$$

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); **$R_A = R_E + R(PE)$**

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)。

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。

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:

$$\text{GB50054 5.2.19 } R \leq 50 / I_d \quad (7.2.9)$$

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)。



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。

附录H仔细
学习

共用接地 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。

一手资源请认准网校教育·成功者教育...
其他地方买的后期一律断更.抓紧退款退款
一手资源, 次日更新.加微信: cgz368368

七.水平接地网设计的其他要求

- 设计要求—4.3.1
- 人工接地网的设计要求 4.3.2
- 地电位升高超过2kv时，需要符合的要求 4.3.3
- 人工接地极的材料和尺寸 ——4.3.4条
- 接地导体和接地极的热稳定校验——4.3.5 —计算见附录E
- 接地网防腐蚀——4.3.6
- 接地导体的要求-4.3.7

5.具有GIS的变电站的接地

6.发电厂和变电站的雷电保护和防静电的接地



4.3.1 发电厂和变电站水平接地网应符合下列要求：

自然
人工

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。 <可不另设见P12, 4.3.2-4 >

2根 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。

110kV及以上
架空线直连

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架空线路的地线在土壤电阻率大于 $500\Omega\cdot\text{m}$ 的地区不得直接和发电厂和变电站配电装置架构相连。

4 在高土壤电阻率地区，可采取下列降低接地电阻的措施：

降阻措施，
知识题常考

- 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。

<知识题>

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:

季节冻土
干旱的
降阻措施

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。

<人工接地>

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。 <杆塔接地, 见P22/23>

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。

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:

<2000V是低压导线、仪表的耐用水平>

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

• 12 •

指站用变的低压侧采用TN系统,保护总等电位联结

位联结接地系统。

<即回流线>

扁铜回流线 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。

<站用变的
低压侧
1min交流
耐压
=1.4*V

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。



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: **重点条文**

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

直接接地,低电阻接地系统短路时,短路电流大,按照附录E选择截面积

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°C ,敷设在地下的接地导体(线)长时间温度不应高于 100°C 。<此时的故障电流小,只要校核温度不超过即可>

<重点> 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%。



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 <重点掌握>

1. 接地极的截面, E.0.1结果乘以75% 4.3.5条
2. GIS 两个地网的连线, 取35%IG
3. 该公式需要满足腐蚀要求 4.3.6条文说明

E.0.1 接地导体(线)的最小截面应符合下式的要求:

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

该电流必须是流过接地线的全部电流, 计及直流分量衰减

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。 钢70, 铝120. 铜复杂, 见表E.0.2-2



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℃。

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℃、800℃或 700℃。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	本规范第 E.0.3 条
	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	
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 校验铜和铜镀锌材接地导体(线)热稳定用的 C 值

最大允许温度℃	铜	导电率 40% 铜镀锌绞线	导电率 30% 铜镀锌绞线	导电率 20% 铜镀锌棒
700	249	167	144	119
800	259	173	150	124
900	268	179	155	128

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 应按下列式取值:

$$t_e \geq t_m + t_f + t_o \quad (\text{E.0.3-1})$$

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 应按下列式取值:

$$t_e \geq t_o + t_r \quad (\text{E.0.3-2})$$

式中 t_r ——第一级后备保护的動作时间(s)。



发变

【2021-2-P-18】.假定开关站内发生接地故障时的最大接地故障电流为 45kA，双套速动保护动作时间为 90ms，后备保护动作时间为 800ms，断路器失灵保护动作时间为 500ms 断路器开断时间为 50ms。接地导体采用镀锌钢材，则开关站主接地网接地导体的最小截面计算值最接近下列哪项（不考虑腐蚀余量）？

- (A) 225mm² (B) 386mm² (C) 468mm² (D) 514mm²

80 教育答案【B】QQ 群：310284228

解答过程：依据 GB/T50065-2011 附录 E.0.3|

时间： $t = 0.09 + 0.5 + 0.05 = 0.64s$

接地网接地导体的截面： $S \geq \frac{0.75 \times 45 \times 10^3 \times \sqrt{0.64}}{70} = 385.7mm^2$ 选 B

解析：本题无争议。出题者想考察地网中导体的截面。所以乘以分流系数 0.75 后作为入地电流。

【10-2-P-10】假定该变电站 110kV 单相接地短路电流 15kA，主保护动作时间 30ms，断路器开断时间 60ms，第一级后备保护的動作时间 0.5s。问根据热稳定条件，不考虑腐蚀时，变电站接地线的最小截面应不小于下列哪项？（变电站按配有 1 套速动主保护、近后备等保护）

A. 160.4mm² B. 93.5 mm² C. 64.3 mm² D. 37.5 mm²

80 教育答案：【 A 】QQ 群：726445291

解答过程：依据《交流电气装置的接地设计规范》GB/T50065-2011 附录 E

由 E.0.3 式 E.0.3-2 短路等效持续时间： $t_e \geq t_0 + t_r = 0.06 + 0.5 = 0.56s$

由 E.0.1 式 E.0.1S_g $\geq \frac{I_g}{c} \sqrt{t_e} = \frac{15 \times 10^3}{70} \sqrt{0.56} = 160.4 \text{mm}^2$

解析：本题有争议。题目未给出接地线的材质，据 8.1.3 条可以选择钢和铜，本题选择常用的钢。若选择铜 C 值选取 210，答案是 C。因无法确定其准确性，此题若在下午建议放弃。

【14-2-P-20】已知该变电所 110kV 系统发生接地故障时，经过接地线的短路电流稳定值为 4000A，变电所配有一套速动主保护，第一级后备保护的动作时间为 1.1s，断路器开断时间为 0.11s，接地线采用扁钢。试对变电所电气设备的接地线进行热稳定校验，当未考虑腐蚀时，其接地线的最小截面和接地极的截面应采取下列哪一项？

A. 80mm², 40mm² B. 80mm², 60mm² C. 40mm², 60mm² D. 20mm², 60mm²

80 教育答案：【 B 】 QQ 群：726445291

解答过程：《交流电气装置的接地设计规范》GB/T 50065-2011 附录 E 式 E.0.1 及式 E.0.3-2

接地故障的等效持续时间 $t_e \geq t_0 + t_r = 0.11 + 1.1 = 1.21s$

接地线的最小截面 $S_g \geq \frac{I_g}{c} \sqrt{t_e} = \frac{4000}{70} \sqrt{1.21} = 62.85mm^2$ 取 80mm²

据 GB/T 50065-2011 第 4.35 条接地极的截面不宜小于连接至该接地装置的接地线的截面的 75%。因此接地极的截面取 $S \geq S_g \times 0.75 = 62.85 \times 0.75 = 47.14mm^2$ 取 60mm²。

解析：又是《交流电气装置的接地设计规范》GB/T 50065-2011 的考点，综合性较强。出题者的用意是新规在第 1, 2 年着重考到。因此我们对新规要格外引起重视。



第二讲小结：见思维导图

作业

1. 变电站的接地电阻的计算（GB /T50065-2011 附录A A.0.4）【05-2-A-21， 06-2-P-13， 10-2-P-8 ， 06-2-P-15， 11-2-P-10， 14-2-P-16】
2. 复合接地网的接地电阻详细计算（GB /T50065-2011 附录A A.0.3）【08-2-P-35， 09-2-A-24， 10-2-P-9】
3. 架空线铁搭接地电阻的选择（GB 50061-2010 6.0.16）【11-2-P-36】
4. 架空线路杆塔接地电阻的计算（GB /T50065-2011 附录F）【09-2-P-37， 11-2-P-37】
5. 自然接地极接地电阻的计算（配四P1415）【12-2-A-9， 14-2-P-17， 16-2-A-21， 17-2-P-29】
6. 接地装置冲击接地电阻与工频接地电阻的换算（GB 50057-2010 附录C）【16-2-A-22， 16-2-P-12】
7. 单独接地极或杆塔、复合接地装置的冲击接地电阻的计算（GB /T 50065 5.1.7 /5.1.8/5.1.9）【18-2-A-8】
8. 电气装置的保护线选择及截面计算（GB /T50065-2011 8.2.2/8.2.1）【07-2-A-22， 07-2-A-23， 07-2-A-24， 16-2-A-24】
9. 接地线及接地极的截面计算及选择（GB /T50065-2011附录E）【10-2-P-10， 14-2-P-20】

第三讲主要内容

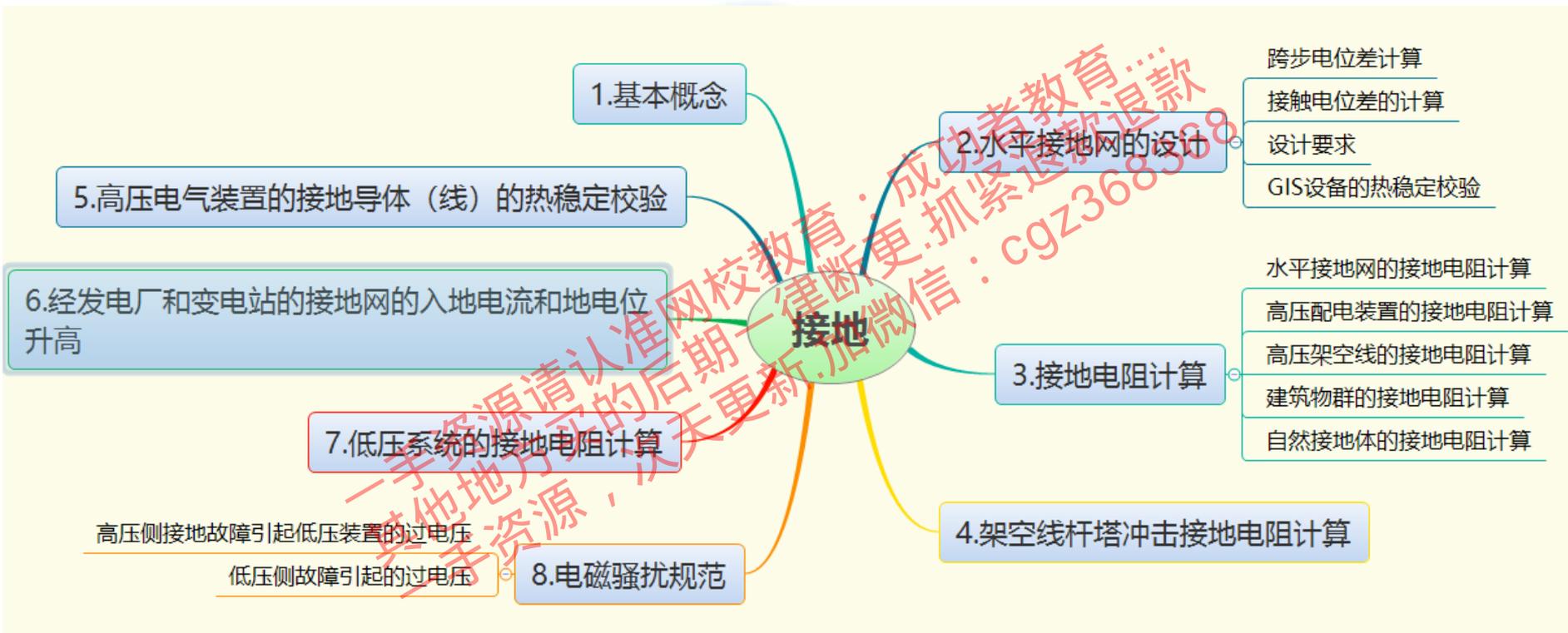
01

低压电气装置的接地装置和保护导体

02

电磁骚扰规范16895.10

一手资源请认准网校教育·成功者教育...
其他地方买的后期一律断更·抓紧退款退款
一手资源，次天更新·加微信：cgz368368





一.低压电气装置的接地装置和保护导体

8 低压电气装置的接地装置和保护导体

<发电不考, 供配电结合GB50054 3.2, 16895.3>

16895.3 针对接地装置, 接地极, 保护导体材料, 截面等, 很详细, 在做知识题时可参照

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。

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

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	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	—	



3 接地极可采用下列设施： 16895.3 542.2条

知识题

- 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。



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。

接地导体
入地部分

表 8.1.3 埋入土壤中的接地导体(线)的最小截面积 <16895.3 543.1>

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 钢:10mm ²	铜:16mm 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:

(知识题) 1 在采用保护联结的每个装置中都应配置总接地端子,并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 <GB50054 3.2.14条>

8.2.1 PE的最小截面应符合下列要求:

1 每根 PE 的截面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 的最小截面可按式(8.2.1)计算,也可按表 8.2.1 确定:

<重点>

表 8.2.1 PE 的最小截面

相线截面积 S_a (mm^2)	相应 PE 的最小截面(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	$\frac{k_1}{k_2} \times S_a$
$16 < S_a \leq 35$	16	$\frac{k_1}{k_2} \times 16$
$S_a > 16$	$\frac{S_a}{2}$	$\frac{k_1}{k_2} \times \frac{S_a}{2}$

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;

取决于 PE 导体采用什么材料,查对应的表

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 的截面不应小于下式的要求:

重点掌握

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

k 取决于 PE 导体采用什么材料,查对应的表

式中: S ——截面(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时,其截面应按下列要求确定:

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,其截面按本规范表 8.2.1 选定。



8.2.2 PE 类型应符合下列要求： <知识题>

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。



依据： 16895.10 配四P1243 13.6一节。

16895.10 低压电气装置——安全防护电压骚扰和电磁骚扰防护

442 因高压系统接地故障和低压系统故障引起的低压装置暂时过电压的防护

因高压系统接地故障和低压系统故障引起的低压装置暂时过电压的防护

高压系统与地之间的故障 442.2

低压系统故障

低压系统与中性导体中断——442.3

低压IT系统非正常接地—442.4

低压装置短路442.5



U_f ——低压系统在故障持续期内外露可导电部分与地之间出现的工频故障电压

U_1 ——故障持续期内线导体与变电所低压设备外露可导电部分之间的工频应力电压

U_2 ——故障持续期内线导体与低压装置的低压设备外露可导电部分之间的工频应力电压。

注1：工频应力电压（ U_1 和 U_2 ）是连接在低压设备的绝缘和低压系统的电涌保护器上两端呈现的电压。

低压装置的设备外露可导电部分的接地配置与变电所的接地配置在电气上相互独立的 IT 系统，使用以下的附加符号：

I_h ——高压故障和低压装置第一次故障（见表 44. A1）时，流过低压装置的设备外露可导电部分接地配置的故障电流；

I_d ——依据 411. 6. 2，低压系统第一次故障（见表 44. A1）时，流过低压装置外露可导电部分接地配置的故障电流；

Z ——低压系统与接地配置之间的阻抗（例如，IMD 内阻抗，人工中性点阻抗）。

注2：若接地配置对地的电位升高不引起其他接地配置对地的电位不可接受升高，接地配置可认为是与其他接地配置在电气上独立。见 IEC 61936-1。

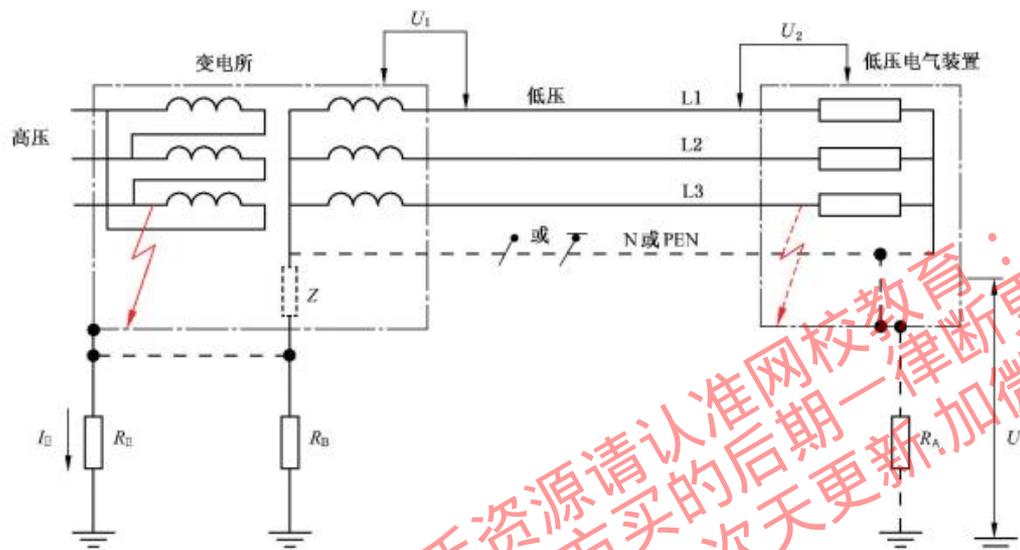


图 44.A1 变电所和低压装置可能对地的连接及故障时出现过电压的典型示意图

I_E - 变电站 高压系统接地故障电流,
 R_E - 变电站保护接地装置的接地电阻。(当 R_E 与 R_B 相连时,是指其共用接地装置的接地电阻)
 R_B -变电站低压系统中性点接地装置的接地电阻;
 R_A -低压电气设备外露可导电部分单独接地时的接地装置接地电阻。
 Z -低压系统中性点人工接地阻抗(如IT系统的高接地阻抗)

图44.A1变电所和低压装置可能对地的连接及故障时出现过电压的典型示意图

表44.A1 低压系统内的工频应力电压和工频故障电压

表 44.A1 低压系统内的工频应力电压和工频故障电压 <实际值>

系统接地类型	对地连接类型	U_1	U_2	U_f
TT	R_E 与 R_B 连接	U_0^*	$R_E \times I_E + U_0$	0^{**}
	R_E 与 R_B 分隔	$R_E \times I_E + U_0$	U_0^*	0^{**}
TN	R_E 与 R_B 连接	U_0^*	U_0^*	$R_E \times I_E^{**}$ <small>PE 多点接地, 该值为 $0.5R_E \times I_E$</small>
	R_E 与 R_B 分隔	$R_E \times I_E + U_0$	U_0^*	0^{**}
IT	R_E 与 Z 连接	U_0^*	$R_E \times I_E + U_0$	0^*
	R_E 与 R_A 分隔	$U_0 \times \sqrt{3}$	$R_E \times I_E + U_0 \times \sqrt{3}$	$R_A \times I_d$
	R_E 与 Z 连接	U_0^*	U_0^*	$R_E \times I_E$
	R_E 与 R_A 互连	$U_0 \times \sqrt{3}$	$U_0 \times \sqrt{3}$	$R_E \times I_E$
	R_E 与 Z 分隔	$R_E \times I_E + U_0$	U_0^*	0^*
	R_E 与 R_A 分隔	$R_E \times I_E + U_0 \times \sqrt{3}$	$U_0 \times \sqrt{3}$	$R_A \times I_d$

* 不需考虑。
 ** 见 442.2.1 第 2 段。
 ■ 装置内有接地故障。

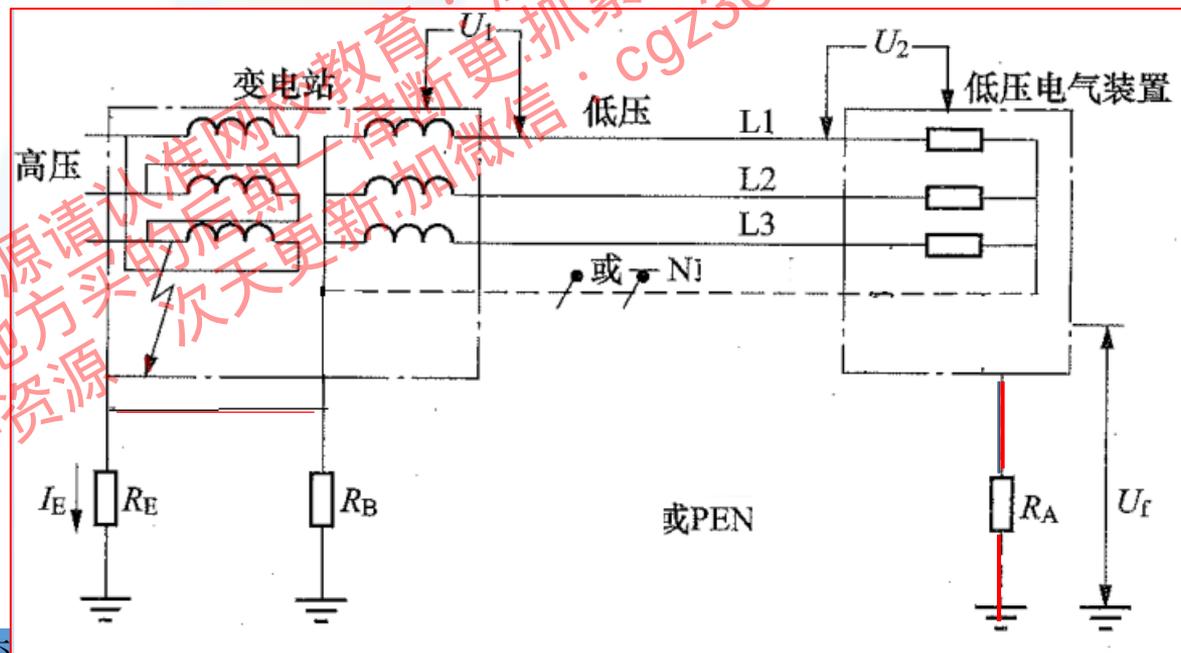
一手资源请认准网校教育·成功者教育·抓紧退款退款
 其他地方头的后期一律断更·抓紧退款退款
 微信号: cgz368368

低压有故障

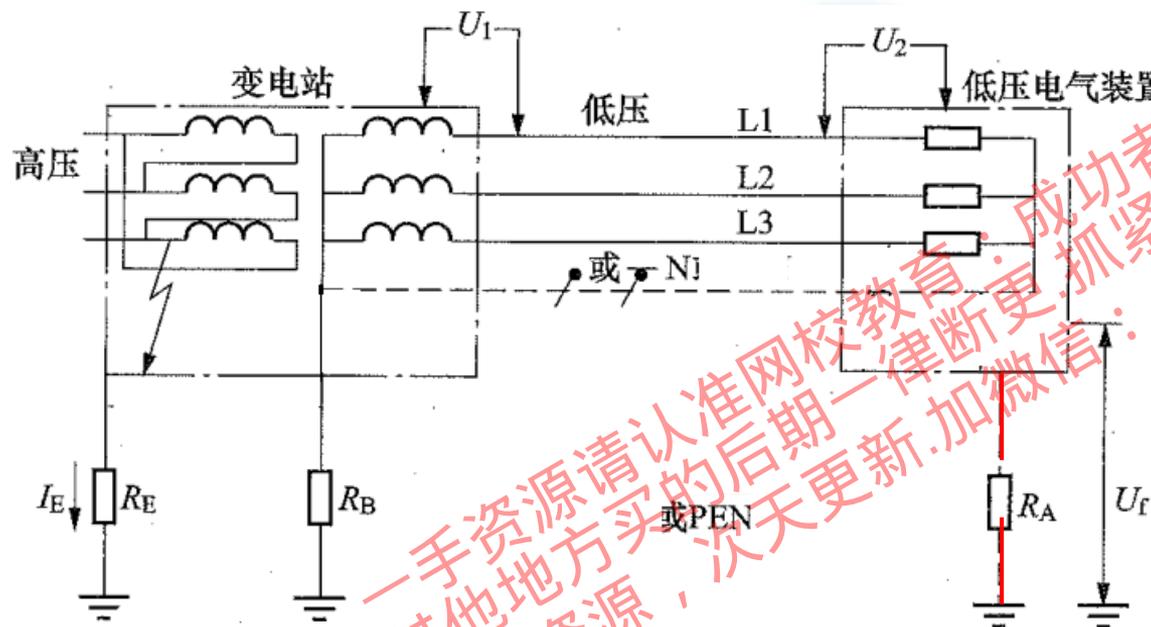


系统接地类型	对地连接类型	U_1	U_2	U_f
TT	R_E 与 R_B 连接	U_0^*	$R_E \times I_E + U_0$	0^*
	R_E 与 R_B 分隔	$R_E \times I_E + U_0$	U_0^*	0^*

R_E 与 R_B 连接



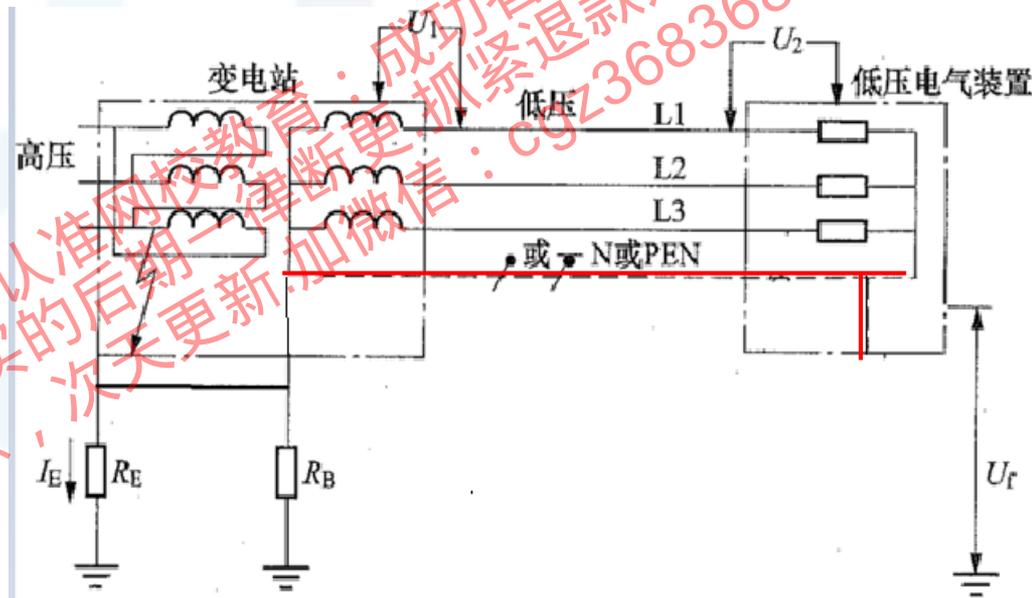
R_E 与 R_B 分隔



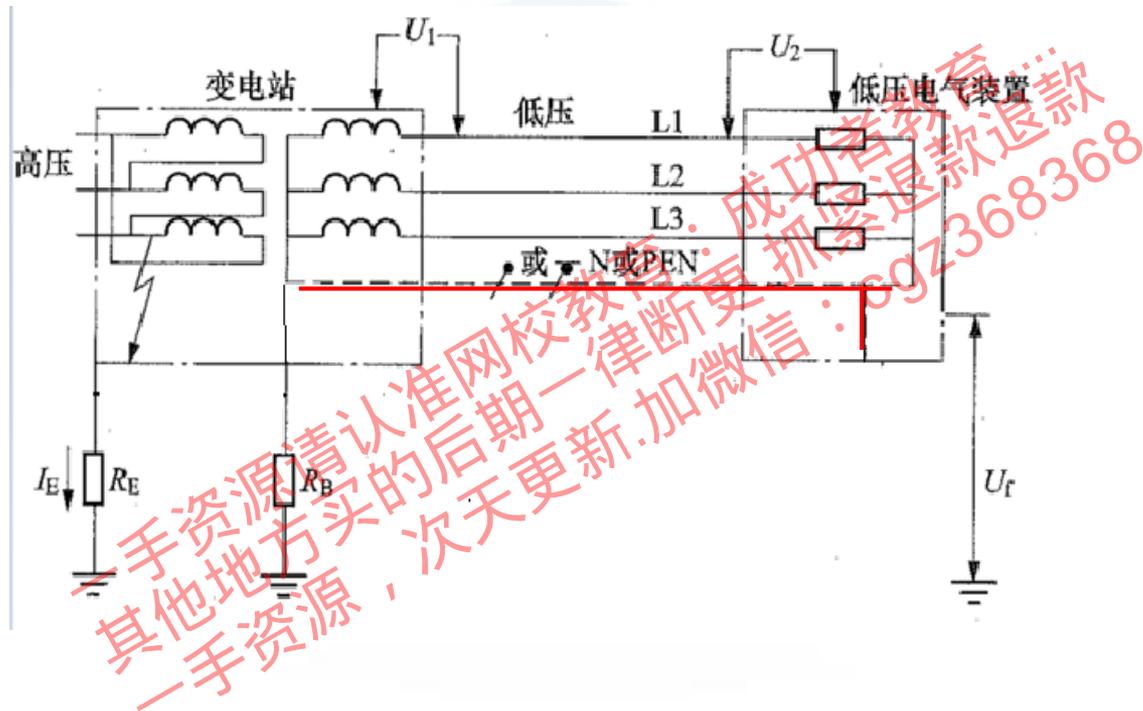
一手资源请认准网校教育·成功者教育...
其他地方买的后期一律断更·抓紧退款退款
一手资源，天天更新·加微信：cgz368368

TN	R_E 与 R_B 连接	U_0^*	U_0^*	$R_E \times I_E^{**}$
	R_E 与 R_B 分隔	$R_E \times I_E + U_0$	U_0^*	0^*

R_E 与 R_B 连接



R_E 与 R_B 分隔





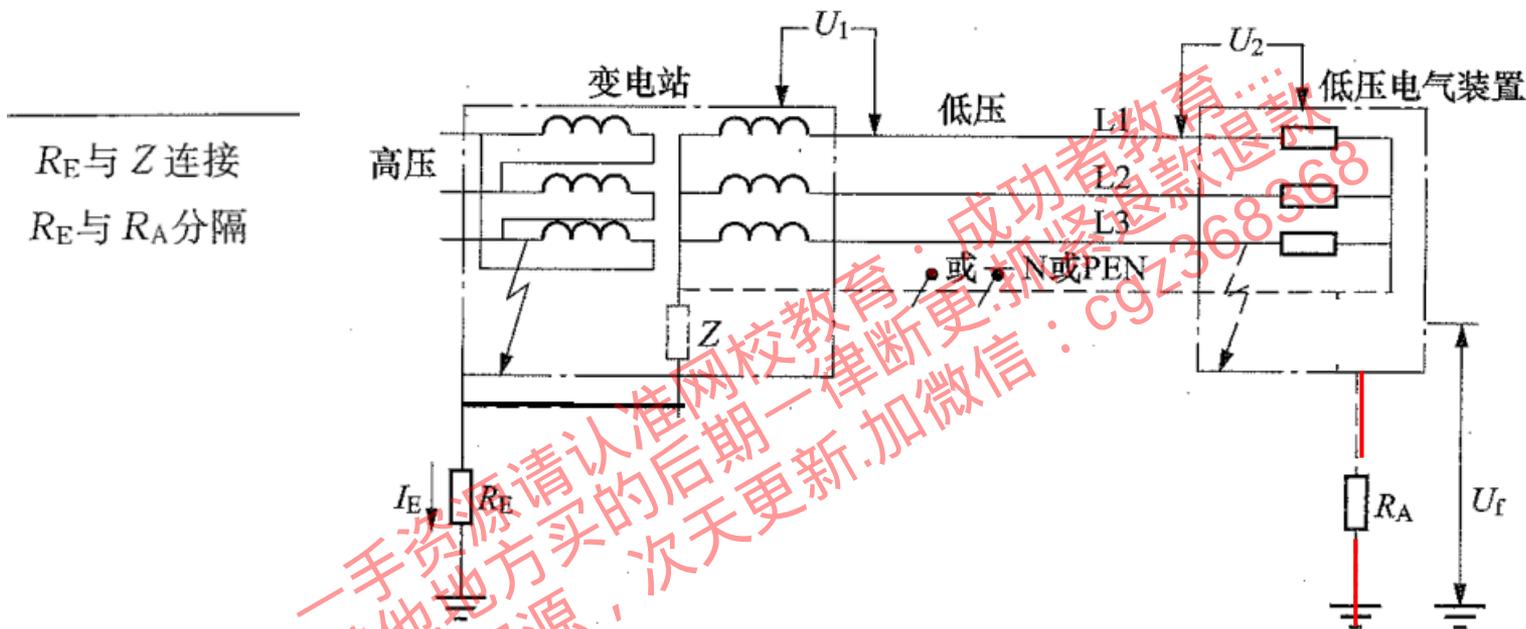
系统接地类型	对地连接类型	U_1	U_2	U_f
IT	R_E 与 Z 连接	U_0^*	$R_E \times I_E + U_0$	0^*
	R_E 与 R_A 分隔	$U_0 \times \sqrt{3}$	$R_E \times I_E + U_0 \times \sqrt{3}$	$R_A \times I_d$
	R_E 与 Z 连接	U_0^*	U_0^*	$R_E \times I_E$
	R_E 与 R_A 互连	$U_0 \times \sqrt{3}$	$U_0 \times \sqrt{3}$	$R_E \times I_E$
	R_E 与 Z 分隔	$R_E \times I_E + U_0$	U_0^*	0^*
	R_E 与 R_A 分隔	$R_E \times I_E + U_0 \times \sqrt{3}$	$U_0 \times \sqrt{3}$	$R_A \times I_d$

- 注 1. I_d —IT 系统内低压用电设备外露可导电部分单独接地时, 流过其接地装置的第一次接地故障电流。
2. 表中 IT 系统仅列出了常用的几种形式, 其他 (如 R_E 与 Z 分隔, R_A 与 Z 或 R_E 互连) 及无中性点 Z 且不引出的情况, 表中公式应相应修正。
3. 低压系统接地的类型 (TN、TT、IT) 参见 14.3。

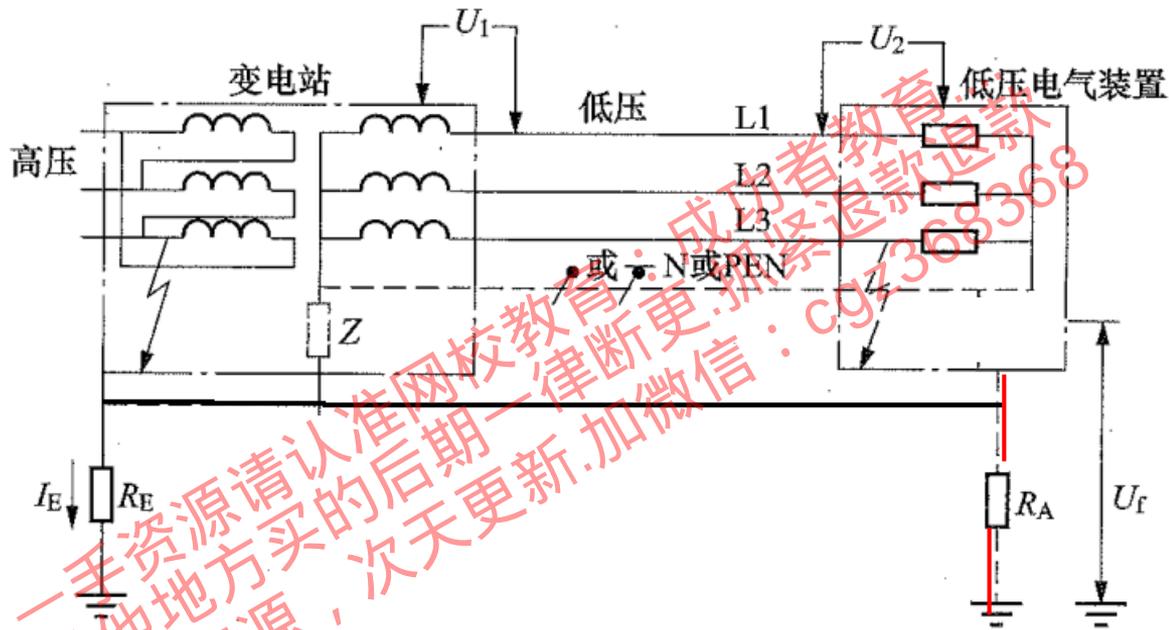
* 不需考虑此故障电压及应力电压的影响。

* * 低压系统的 PEN 导体为多点接地时, 考虑总并联接地电阻的降低, 故障电压可为 $U_f = 0.5 R_E \times I_E$ 。

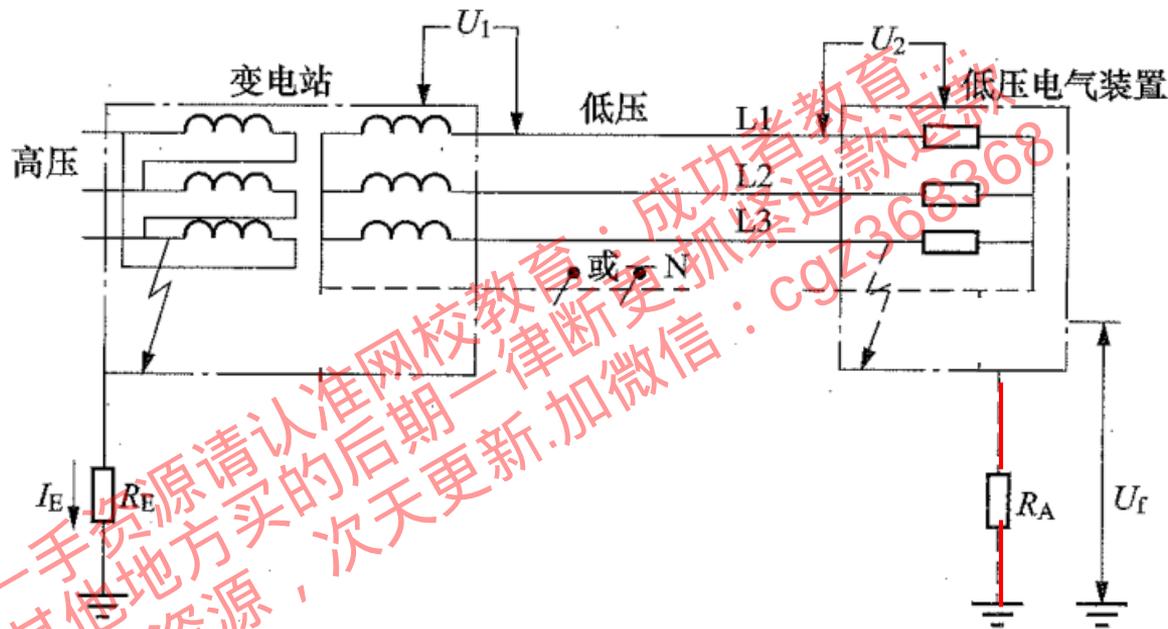
阴影栏表示 IT 系统在变电站高压侧接地故障期间又发生低压用电设备第一次故障的情况。



R_E 与Z连接
 R_E 与 R_A 互连



R_E 与 Z 分隔
 R_E 与 R_A 分隔



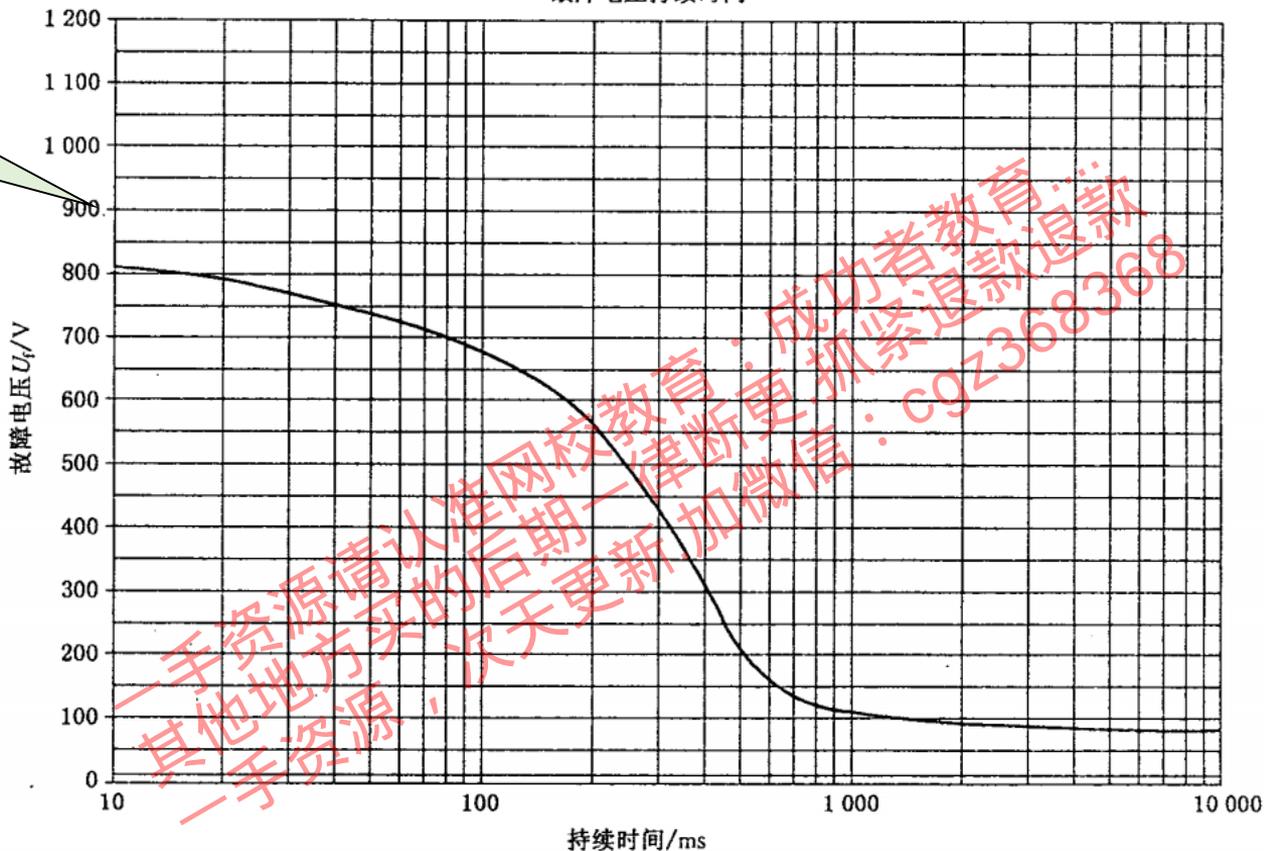
442.2.1 工频故障电压幅值及持续时间

低压装置的外露可导电部分与地之间出现故障电压 U_f 的幅值及持续时间（按表44.A1计算得出的值）不应超过故障电压持续时间对应图44.A2曲线上 U_f 的值。

通常，低压系统的PEN导体为多点接地。在这种情况下，总并联接地电阻降低。对于多点接地的PEN导体， U_f 按下式计算：
$$U_f = 0.5R_E \times I_E$$

一手资源请认准网校教育·成功者教育·
其他地方买的后期一律断更·抓紧退款退款
一手资源，次日更新·加微信：cgz368368

故障电压持续时间



故障电压允许值，实际值不能超过该表查出来的数据

图 44. A2 变电所内高压侧发生接地故障时允许的故障电压值

允许值

442. 2.2工频应力电压幅值及持续时间

由于高压系统接地故障，根据表44.A1计算得出值的低压装置中的低压设备工频应力电压（ U_1 和 U_2 ）的幅值与持续时间，应不超过表44.A2提出的要求。

表 44. A2 允许的工频应力电压

应力电压允许值，实际值不能超过该表查出来的数据

高压系统接地故障持续时间 t	低压装置中的设备允许的工频应力电压 U
$>5\text{ s}$	$U_0 + 250\text{ V}$
$\leq 5\text{ s}$	$U_0 + 1\ 200\text{ V}$
注：对于无中性导体的系统， U_0 应是相对相的电压。	
注 1：表中第 1 行数值适用于接地故障切断时间较长的高压系统，例如中性点绝缘和谐振接地的高压系统；表中第 2 行数值适用于接地故障切断时间较短的高压系统，例如中性点低阻抗接地的高压系统。两行数值是低压设备对于暂时工频过电压绝缘的相关设计准则（见 GB/T 16935.1）。	
注 2：对于中性点与变电所接地配置连接的系统，此暂时工频过电压也出现在处于建筑物外的设备外壳不接地的绝缘上。	

允许值



442.2.3 电压限值计算的要求

表 44. A1 要求的场所,允许的工频应力电压不应超过表 44. A2 规定值。

表 44. A1 要求的场所,允许的工频故障电压不应超过图 44. A2 所示值。

由公共配电系统低压供电的装置应满足 442.2.1 和 442.2.2 的要求。

为满足上述要求,高压系统运行者与低压系统建设者之间的协调是必要的。符合上述要求主要是变电所建设者/业主/运行者的责任,这些人员也需满足 IEC 61936-1 规定的要求。因此, U_1 、 U_2 和 U_f 的计算,对低压系统建设者在正常情况下不必要的。

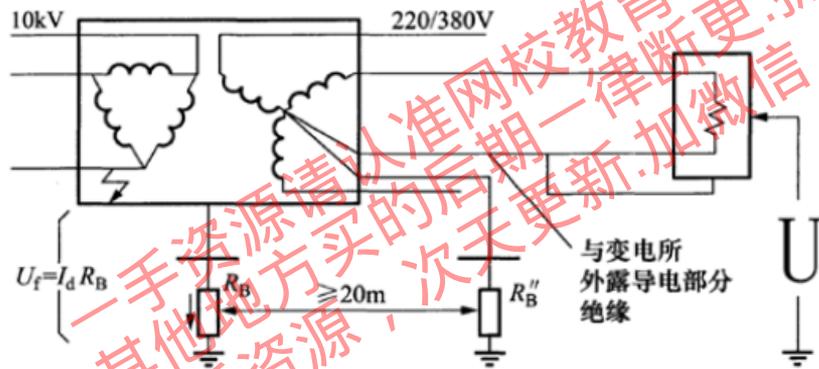
满足上述要求的可能措施是,例如:

多选题

- 将高压接地配置和低压接地配置之间分开;
- 改变低压系统的系统接地;
- 降低接地电阻 R_E 。

题 8-10 如图所示供配电系统，已知系统中 R'_B 、 R_B 均为 4 欧姆，10KV 系统单相接地总电容电流为 10A。

9. 如果低压侧中性点接地与高压侧接地分开设置， $R''_B=4$ 欧姆，高压侧接地短路电流为 800A，则用电设备处接触电压最接近下列哪项数值，为什么？

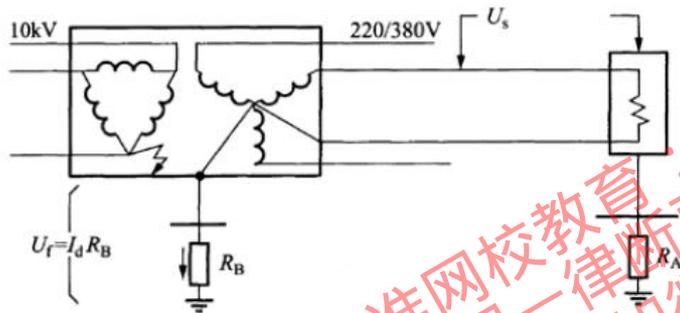


- (A) 40V (B) 0V (C) 3200V (D) 无法确定

16895.10 表44.A1 $u_f=0$.



10. 如果低压系统为TT，高压侧为小电阻接地系统，短路电流 800A。用电设备外壳与A相点之间的电压 U_s 为下列哪项数值，为什么？

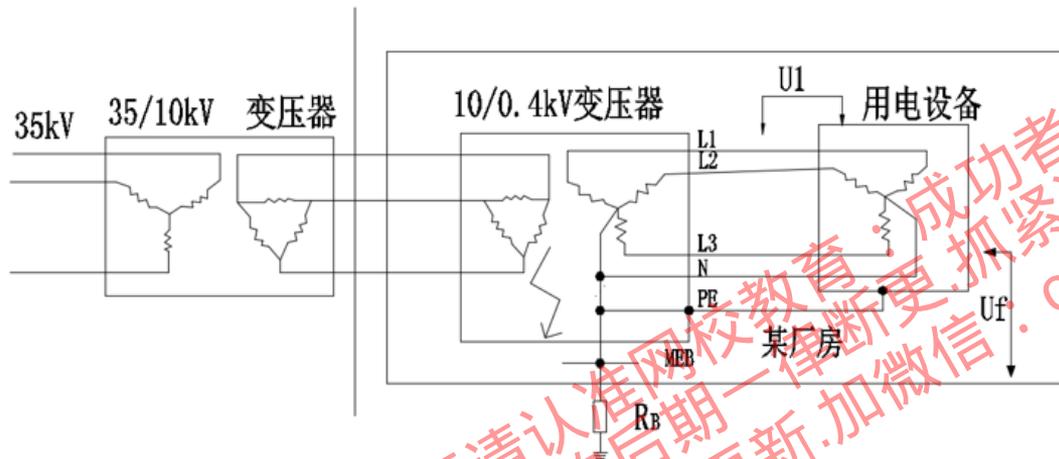


- (A) 0 (B) U_f (C) $U_f + 220$ (D) $U_f + 380$

16895.10 表44.A1 $U_s = u_f + 220$



【19-2-P-13】如果厂房内 10kV 侧出现单相接地故障，接地故障电流为 15A，下图中用电设备的相导体与设备外壳之间的电压 U_1 ，设备外壳与所在地面之间的电压 U_f 为下列哪组数值？



A. $U_1=235V$, $U_f=15V$

B. $U_1=220V$, $U_f=15V$

C. $U_1=235V$, $U_f=0V$

D. $U_1=220V$, $U_f=0V$

解答过程:根据 16895.10 表 44 A1

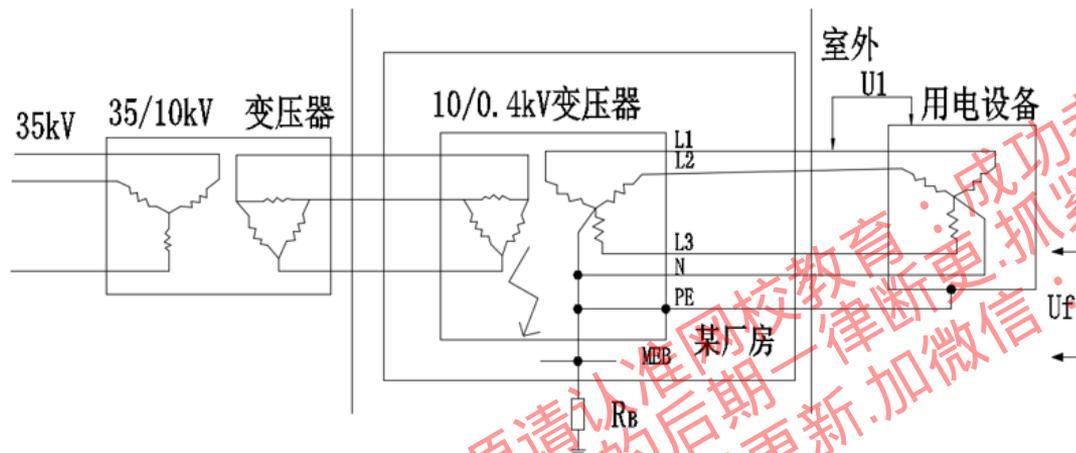
等电位分析法, R_b 上端相对地电势为 15V, 但是厂房内做了总等电位, U_f 对整个厂房来说为 0. $U_f = 0$

中性点升高, 设备外壳同时升高, 故 U_1 为相电压不变 220V

解析: 简单题, 精讲课中已花了大量篇幅深入分析, 80 学员应该全部拿分。



【19-2-P-14】室外用电设备采用 TN-S 系统供电，若厂房内 10kV 侧出现单相接地故障，接地故障电流为 15A，下图中用电设备的相导体与设备外壳之间的电压 U_1 ，设备外壳与地面之间的电压 U_f 为下列哪组数值？



A. $U_1=220\text{V}$, $U_f=0\text{V}$

C. $U_1=235\text{V}$, $U_f=0\text{V}$

B. $U_1=220\text{V}$, $U_f=15\text{V}$

D. $U_1=235\text{V}$, $U_f=15\text{V}$

80 教育答案:【 B 】QQ 群: 195343600

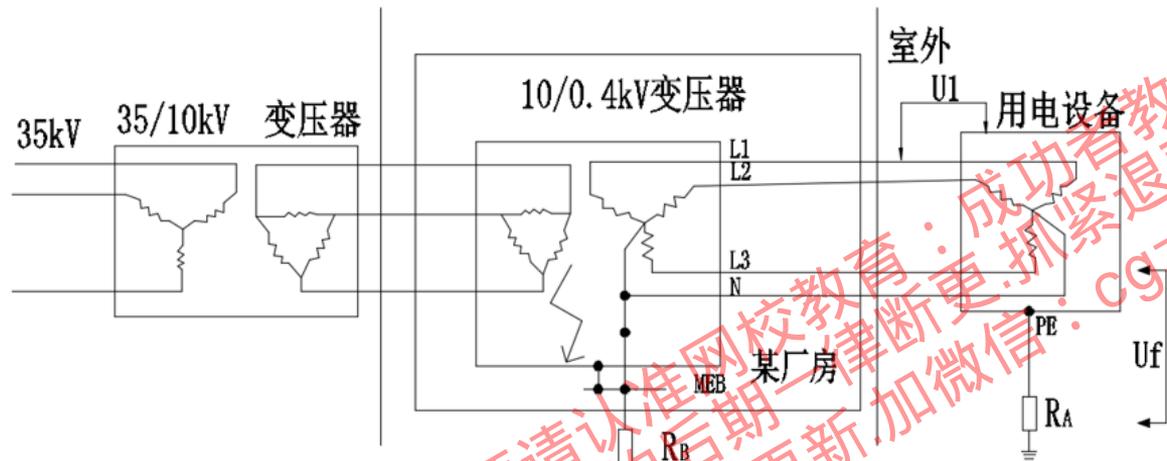
解答过程:根据 16895.10 表 44.A1

等电位分析法, R_b 上端相对地电势为 15V, 故 $U_f = 15\text{V}$

中性点升高, 设备外壳同时升高, 故 U_1 为相电压不变 220V



【19-2-P-15】 室外用电设备采用 TT 系统供电，用电设备就地设置接地极，接地电阻 R_A 为 2Ω ，若厂房内 10kV 侧出现单相接地故障，接地故障电流为 15A ，下图中用电设备的相导体与设备外壳之间的电压 U_1 、设备外壳与地面之间的电压 U_f 为下列哪组数值？



- (A) $U_1=220\text{V}$, $U_f=0\text{V}$ (B) $U_1=235\text{V}$, $U_f=0\text{V}$
 (C) $U_1=380\text{V}$, $U_f=0\text{V}$ (D) $U_1=380\text{V}$, $U_f=15\text{V}$

80 教育答案:【 B 】QQ 群: 195343600

解答过程:根据 16895.10 表 44.A1

等电位分析法, R_A 上无电流流过, 上端相对地电势为 0V , 故 $U_f = 0\text{V}$

中性点升高, R_B 上 15A 流过, 上端相对地电势为 15V , 故 U_1 为相电压 $220+15=235\text{V}$

解析: 学会等电位分析法, 离开规范表格也能轻松拿分, 精讲课中已花了大量篇幅深入分析, 让大家掌握本质的等电位分析法, 非常简单 80 学员应该全部拿分。



442.3 TN和TT系统中性导体中断时的工频应力电压

应注意，当多相系统中的中性导体中断时，额定电压为线导体对中性导体之间电压的基本绝缘，双重绝缘、加强绝缘以及器件可能暂时承受线电压。此应力电压能高达 $U = \sqrt{3}U_0$ 。

442.4 配出中性导体的IT系统发生接地故障时的工频应力电压

应注意，IT系统中某一线导体非正常接地，额定电压为线导体对中性导体之间电压的绝缘或器件可能暂时承受线电压。此应力电压能高达 $U = \sqrt{3}U_0$ 。

442.5 线导体与中性导体之间发生短路时的工频应力电压

应注意，低压装置中发生某一线导体与中性导体之间短路时，其他线导体与中性导体之间电压在5s能高达 $1.45U_0$ 。



444 防止电磁影响的措施

<知识题>

444.1 一般规则

第 444 章提出降低电磁骚扰的基本建议。电磁干扰(EMI)可能骚扰或损坏信息技术系统、信息技术设备及有电子器件或电路的设备。由于雷击、开关操作、短路和其他电磁现象产生的电流可引起过电压和电磁干扰。

以下的效应是最严重的:

——存在较大的金属闭环的;和

——不同的布线系统沿同路由敷设,例如,同一建筑物内的电源的和信息技术的设备布线系统。

感应电压值取决于干扰电流的变化率(di/dt)和闭环大小。

承载大电流且有较高电流的变化率(di/dt)的电力电缆(例如,电梯起动电流或可控整流电流),使信息技术系统电缆感应过电压,该过电压可影响或危及信息技术设备或类似的电气设备。

医疗房间内或邻近的电气装置产生的电场和磁场能干扰医疗电气设备。

本条款为建筑物建筑师、建筑物电气装置的设计者与安装者提供一些限制电磁影响概念性信息。此处主要考虑的是降低可能造成骚扰的这些影响。



444.4.1 电磁干扰(EMI)源

对电磁影响敏感的电气设备不宜设置在潜在电磁辐射源附近,诸如:

- 电感负荷的开关电器;
- 电动机;
- 荧光灯;
- 电焊机;
- 电子计算机;
- 整流器;
- 斩波器;
- 变频器/调节器;
- 电梯;
- 变压器;
- 成套开关设备;
- 配电母线。

444.4.2 降低电磁干扰(EMI)措施 <多选题>

以下措施降低电磁干扰:

- a) 对电磁干扰敏感的电气设备,宜设置电涌保护器和(或)滤波器利用电磁传导现象提高电磁兼容性。
- b) 电缆的金属护套与共用联结网(CBN)连接。
- c) 将电力、信号和数据电缆布置在同一路由内时,宜避免形成感应环。
- d) 电力和信号电缆宜保持分隔,且在实际上有可能时相互直角交叉(见 444.6.3)。
- e) 为降低在保护导体中的感应电流采用同心电缆。
- f) 调频驱动的变频器与电动机之间电气连接采用对称布置的多芯电缆(例如包括包含单独的保护导体的屏蔽电缆)。
- g) 根据制造商规定的电磁兼容(EMC)要求采用信号和数据电缆。
- h) 在设有防雷装置的场所:
 - 电力和信号电缆应与防雷装置(LPS)引下线隔开适当距离或使用屏蔽电缆。其最小间距应由防雷装置(LPS)设计者依据 IEC 62305-3 确定。
 - 电力和信号电缆的金属护套或铠装可依据 IEC 62305-3 和 IEC 62305-4 雷电防护要求做联结。

- i) 在使用信号和数据屏蔽电缆时,应注意到限制电源系统的故障电流通过信号电缆或数据电缆接地的屏蔽层或芯线。需要附加额外的导体,例如一根加强屏蔽作用的旁路等电位联结导体,见图 44.R1。

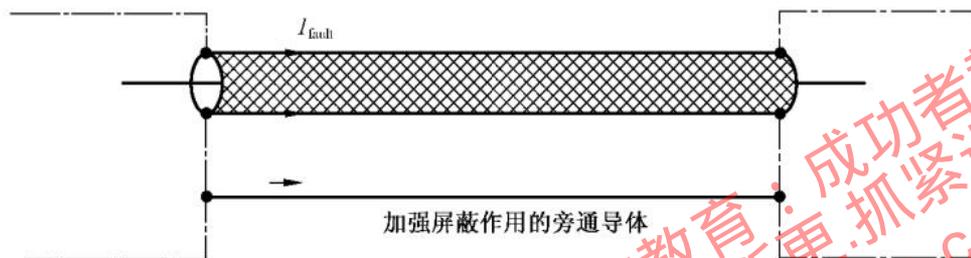


图 44.R1 加强屏蔽作用的旁路导体提供共用等电位联结系统

- 注 1: 信号或数据电缆护套附近旁路导体的措施,也降低与仅由一根保护导体接地的设备的环路面积。此作法极大地降低雷电电磁脉冲(LEMP)的电磁兼容(EMC)效应。
- j) 信号和数据屏蔽电缆为几座 TT 系统供电的建筑物共用时,宜采用旁路等电位联结导体,见图 44.R2。旁路等电位联结导体的最小截面应为 16 mm^2 铜或等值。等值截面应根据
- k) 等电位联结宜尽可能低阻抗:
- 尽可能短;
 - 导体截面的形状为单位长度低电抗和阻抗,例如,等电位联结编织导体宽度与厚度之比为 $5:1$ 。
- l) 接地母线提供建筑物内重要信息技术装置的等电位联结系统时,可设置闭环接地母线。



444.4.3 TN 系统

为降低电磁影响,以下各款适用:

444.4.3.1 装有或可能装有大量信息技术设备的现有的建筑物内,不宜采用 TN-C 系统。

装有或可能装有大量信息技术设备的新建的建筑物内,不应采用 TN-C 系统。

注:任何 TN-C 系统会将负载和故障电流通过等电位联结转移到建筑物内金属公共设施和构件。

444.4.3.2 由公共低压电网供电且装有或可能装有大量信息技术设备的现有建筑物内,在装置的电源进线点之后宜采用 TN-S 系统,见图 44.R3A。

在新建的建筑物内,在装置的电源进线点之后应采用 TN-S 系统,见图 44.R3A。