

祝 平 編

接 地 裝 置

科 学 技 術 出 版 社

BT1353

基本電學

接地裝置

科學出版社

接 地 裝 置

祝 平 編

科 学 技 術 出 版 社

內 容 提 要

本書根據有關接地裝置方面的資料及電業規程編寫而成，主要介紹了接地的要求；各種接地體的電阻計算；土壤的性能；及接地裝置的設計、安裝、試驗等，內容比較具體，能夠幫助讀者對接地裝置有較全面的認識及解決實際問題。

本書可供工廠電氣工作人員設計、安裝、使用接地裝置之用，亦可供有關中等技術學校師生參考。

接 地 裝 置

編 者 祝 平

*

科學技術出版社出版

(上海南京西路2004號)

上海市書刊出版業營業許可証出 079 號

大眾文化印刷廠印刷 新華書店上海發行所總經售

*

統一書號：15119·662

開本 787×1092 耗 1/32·印張 3 3/16·字數 66,000

1958 年 5 月第 1 版

1958 年 5 月第 1 次印刷·印數 1-2,600

定價：(10) 0.46 元

序

接地是現在电气工程中——不管在安裝、运行、檢修、試驗等工作均須履行的必要工作項目之一。只有進行接地，才能保證以上各項工作的安全，而良好合格的接地裝置又是保證安全可靠接地的主要設備。

接地裝置虽然是这样重要，在很多的規程制度中也都明确地規定了各种条件下的接地电阻值，但怎样去設計、安裝接地裝置，在各种不同的土壤条件及使用的要求下做到又經濟又合理的書籍却不多見。而且有关接地裝置的运行、試驗等資料，也只是散見于各种規程制度中，沒有加以歸納。为便利电气工作人員在設計、安裝、使用接地裝置上的方便，將有关接地裝置的資料收集整編，并作了一些补充而成此册。內容包括了接地的基本要求，土壤的性能，各种接地体的电阻值和比較，各种不同接地情况下所需要的最大允許接地电阻值，接地裝置的設計、安裝、試驗等。

由于材料的不足，所收集到的資料有限，恐尚遺漏不少問題；加上工作水平不够，錯誤不少，請讀者能予以指正。

祝 平

1957年11月17日

目 錄

序

第一章 接地裝置的目的和要求	1
----------------	---

第二章 接地體	6
---------	---

1. 半球形接地體	7	6. 深埋于地面下水平平放的環形接地體	11
2. 圓柱形(棒形或管形)垂直接地體	8	7. 深埋于地面下的圓柱形(管形)垂直接地體	12
3. 半圓柱形平放在地面的接地體	10	8. 深埋于地面下水平平放的板形接地體	13
4. 平放在地面的帶狀接地體	10	9. 复合接地體	15
5. 深埋于地面下水平平放的帶狀(或圓柱形)接地體	11	10. 自然接地體	21

第三章 土壤對接地裝置的影響	25
----------------	----

1. 水分對土壤的影響	28	5. 沖擊波對土壤電阻率及接地裝置的接地電阻值的影響(沖擊系數)	33
2. 溫度對土壤的影響	29		
3. 壓力對土壤的影響	30		
4. 土壤的人工處理	31		

第四章 接地裝置的設計	36
-------------	----

1. 接地裝置設計時的基本要求	36	6. 利用大地作為回路時的接地裝置	50
2. 避雷針接地裝置的要求	38	7. 接地裝置的一般要求	51
3. 輸電線路杆塔及避雷線的接地裝置	40	8. 通訊設備的接地	52
4. 電氣設備電壓在1000伏以上的接地裝置	42	9. 怎樣合理經濟地選擇接地裝置的元件	55
5. 電氣設備電壓在1000伏以下的接地裝置	46	10. 設計示例	60

第五章 接地裝置的安裝與施工	65
----------------	----

1. 安裝施工前的準備	65	2. 安裝與施工	69
-------------	----	----------	----

第六章 接地裝置的試驗	72
-------------	----

1. 試驗工作的基本要求	72	4. 土壤電阻率的測量和計算	87
2. 測量接地電阻的儀器(接地搖表)	73	5. 接觸電壓和跨步電壓的測量	89
3. 接地電阻的測量	83	6. 測量誤差和校正方法	92

第一章 接地裝置的目的和要求

現在电气設備的裝設日益增多。為了保證电气設備(包括變壓器、互感器、送配電裝置、電動機等)在運行、維護及檢修時,特別在發生故障時對人身及設備的安全,所有這些电气設備不帶電的部分如外殼、金屬部分、操作機構等都應該妥善的接地。使它們在接地以後,不致因感應、漏電等而出現過高的危險電壓。如圖 1-1,因為接地的條件不好,或者是根本沒有接地,一旦高壓設備的絕緣發生故障,高壓電就會漏到外殼而不能很好地放泄到大地;或者是由於接地電流引起保險絲的熔斷或開關的跳閘,對地就產生了高電壓。工作人員不慎觸及就會發生觸電事故,或者又流向其他的低壓設備而將其絕緣击穿。又如圖 1-2;雖然設備的絕緣很好,高壓電不會漏到外殼;但也因為接地情況不好,在運行中因感應而產生的電荷不能放泄到地中,人員不慎觸及仍然會發生觸電的事故。為了保護人身及設備的安全,就一定要有的接地裝置,并把設備根據需要而接地。

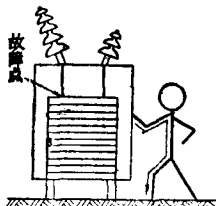


圖 1-1 由於接地不良故障時對地產生高電位,使人觸電

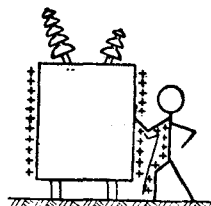


圖 1-2 由於接地不良外殼受感應而有電荷人觸及而被擊

另外在电气設備运行时,会受到大气中雷电的襲击(即大气过电压)。这时强大的雷电流被引到电气設備上,如果没有良好的保护装置,通过这些保护装置(如避雷器、角隙等)把强大的雷电流放泄到大地,就会产生極高的电压,而將电气設備的絕緣及設備本身予以击坏。由于这些保护装置需要把强大的雷电流放泄到大地,就必须要有良好的接地。在防止电气設備遭受雷电流襲击的保护装置如避雷針、避雷綫等,也由于需要引出雷电流而必須有良好的接地。

根据电力工業技术管理暫行法規中的規定,以下的电气設備及保护装置都應該安装接地裝置:

1. 电机、变压器、油开关及其他設備的底座和外壳;
2. 电气器械的傳动裝置;
3. 电压互感器与电流互感器的二次綫卷(繼电保护装置導則中另有規定者除外);
4. 配电盤与控制盤的框架;
5. 室内与室外配电裝置內金屬架及帶电部分的金屬遮欄;
6. 电力電纜、操作電纜的接头盒外壳及電纜的金屬外皮(兩端接地);
7. 避雷綫、避雷針、避雷器、角隙(避雷綫在每一电杆处接地);
8. 輸电綫路的金屬电杆。

接地裝置随接地的性質及所接地的設備要求而有所不同。有的要求很嚴格,有的要求可以低一些。这里先把各种不同的接地情况和簡單的要求說明一下。

1. 防雷保护(即大气过电压保护)設備的接地

如避雷器的引下綫、避雷針的地綫、架空地綫的引下綫等。這種接地裝置的目的，是防止設備因雷擊而損壞。因為要允許承受落雷時數值達幾百萬安培的放泄電流，所以接地電阻不允許太大。如果太大就會在地面及引下綫上產生很高的反擊電壓（反擊電壓就是雷電流流過該接地裝置時，由於接地裝置的電阻而引起的電壓，它的數值等於雷電流乘接地電阻值），對人身及設備都有可能造成損害。所以這種接近設備的接地裝置的接地電阻，應該在 0.5 歐以下；在有些特殊的情況下，還應該更低一些。為了使反擊電壓不致於影響到別的設備，只許單獨接地，不能和別的裝置接地綫連結在一起（在特殊的情況下經過計算不會影響到別的設備安全時可以例外）。但有時為了保護設備不受到過高的反擊電壓襲擊，反而要和被保護設備的接地裝置一起接地，例如在綫路上用避雷器保護柱上油開關或配電變壓器時，避雷器的接地綫應和設備的接地綫聯在一起；這樣在雷擊時，雷電流在接地裝置上引起的反擊電壓不致傷及設備，具體的要求應根據“過電壓保護導則”的規定來進行。這一種的接地裝置稱為“過電壓保護接地”。

2. 人身安全保護的接地

如輸電的鐵架、鐵塔、高壓變壓器、電動機、發電機、房屋等的不帶電金屬部分及外殼；儀用互感器的外殼及二次側回路、高壓設備綫路的保護網等。這種設備的接地，主要是防止因高壓設備絕緣損壞，高壓電漏到外部或鐵構上造成高壓；或者雖然有了接地裝置，但發生接地短路時因接地電阻過大，在一個人可能同時接觸到的兩點間（垂直方面的兩點距離為 1.8 公尺，水平方面兩點的距離為 0.8 公尺），產生足夠威脅人身安全的電壓（垂

直方面称为接触电压,水平方面称为跨步电压)。另外因感应而產生的电荷也可以經接地裝置而放泄到大地。因此要求有比較良好的接地裝置,接地电阻一般应在 10 欧以下,使高压設備万一絕緣發生故障而接地短路时,在它的电流回路上,不致因接地短路电流的影响,在大地表面上所造成的不同电位分布情况,超过允許的跨步电压数值。这一类的接地裝置,沒有可能發生过高的反击电压而影响到别的接地設備,而且为了降低接地电阻,减小跨步电压的数值,所以可以共用一組接地綫,或把接地裝置并联起來应用,也可以一起接在一个接地網上。另外还有一些設備,如低压电动机、發电机等的外壳、地下電纜的外皮、配电櫃的外壳及接綫管、接近高压的烟囪及金屬鉄架等,这些設備接地的性質和上面所說的基本上是一样,只是在故障时所引起的高电压不如上述設備的嚴重,接地电阻也可以允許大一些。这一种的接地裝置称为“安全保护接地”。

3. 为了工作性質的需要而要求接地

如大型發电机、高压輸电变压器及配电变压器的中性点接地等。这些接地主要是滿足設備在运行上的需要;或当發生事故时使繼电保护裝置动作而必須將电气回路某点接地;而不是为了保护人身及設備的安全。所以接地电阻的大小完全根据該設備工作上的要求來决定。如配电变压器的中性点接地电阻数值可按 $\frac{250}{I}$ 的公式計算,其中 I 是高压油开关或保險絲的动作电流。但 $\frac{250}{I}$ 的数值不得大于 10 欧。有的更可以通过击穿保險、避雷器,或一定阻抗值的設備如电压互感器等而接地。这一种接地裝置称为“工作接地”。

4. 弱电流电气設備的接地

这种接地用于通訊工作上,如電話裝置、消防通訊等。有的是作为工作需要而接地,如利用大地作为通訊上的一根回路等;有的仍然是作为安全保护接地,防止通訊設備遭受高压的危害,减少高压电对通訊回路上所引起的干擾。这类接地也是分为:“工作接地”和“保护接地”。只是由于情况与以上有些不同,所以在此单独說明一下。

根据以上的情况和要求看来,接地的意义是电气設備的任何部分,根据人們的需要和接地体或者是和直接与大地接触的金屬体(或組)進行了电气上的連接。这些接地的金屬体及其附屬的設備和土壤等所組成的裝置,称为接地裝置。

接地裝置的应用是越来越廣了,但由于有些接地裝置事先沒有很好的計算与設計,調查研究当地的土壤情况。所以在進行安裝接地裝置时,不是达不到要求的数值,便是花費过多的材料而造成浪費。因此在本書中將介紹一些有关接地裝置的計算、設計、安裝和試驗方法。

第二章 接地体

接地体是接地装置中的重要组成部分之一，依靠了它，设备才能够和大地发生电气上的连接；才能够把电流引入大地。

接地体也可以称为接地极，由于需要有良好的导电率，所以一般都是用金属做成。从导电的程度上来看，常用的以铜、铁为最好；但铜的价格较贵，所以多半采用铁构件，在必要时才采用铜。这种人为的接地体称为人工接地体。

人工接地体有很多种：有的是根据已经成型的材料而进行装置的，如铁管、角钢、各种型钢等；有的为了满足接地装置的要求，把接地体加工成所需要的形状再进行装置。接地体上面当有电流流过时所产生的电压，并不是由于电流流过接地体本身而产生（接地体本身的电阻和土壤比较因太小可以略去不计），而是由于电流流往有比较高的电阻率的土壤所产生的。因此接地体的接地电阻大体上是与土壤的电阻率大小成正比。由于不同形状的接地体流入地中的电流分布情况以及所引起的电位变化不同，所以其接地电阻也会有不同。

为了使接地装置的效果最好、接地体的体积和装置最小，就有必要来研究接地体的形状和接地电阻^①的关系。下面先说明

^① 接地电阻的定义是接地体本身、接地体和土壤的接触面和土壤等的共同电阻数值；而单独地计算接地体和土壤的接触面、土壤的电阻，称为扩散电阻。由于接地体的电阻值很小，可以略去，为方便起见，在以下的叙述中接地电阻就采用扩散电阻。

几个基本形状接地体和接地电阻的关系：

1. 半球形接地体

半球形接地体的形状如图 2-1 所示。接地体的平面和地面相平，球的半径为 r 。根据圆球电位分布的情况，可以得到以下的公式：

$$U = \frac{I \cdot \rho}{4\pi r}$$

但这是半圆形的球面，所以应该是

$$U_3 = \frac{I_3 \cdot \rho}{2\pi r}$$

接地电阻为

$$R_3 = \frac{U_3}{I_3} = \frac{\rho}{2\pi r} \quad (2-1)$$

当有电流 I_3 流经这个接地体，球的半径为 r 、土壤电阻率为 ρ 时，将在接地体上产生 U_3 的电压。这时，离开接地体距离为 P 的电位为

$$U_P = I_3 \frac{\rho}{2\pi P}$$

这种接地体在实际应用上不能满足接地装置的要求，所以是不采用的。最主要的原因从图 2-1 上就可以看出。这种接地体与土壤的接触面积不多，上面与土壤没有接触，而半球体本身又占用了不少的金属，所以是投资多、花费的金属多而接地电阻值大；与土壤接触的面积只有一个半球面，有效面积不多。但这种接地体，对接地电流的分布、

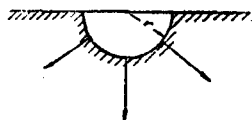


图 2-1 半球形接地体

接地体上的电位、接地体附近土壤的电位等，却有典型的研究和参考价值，故只作为理論上分析研究之用。

2. 圓柱形（棒形或管形）垂直接地体

这种接地体在实际应用时絕大多数是由管子做成的；因此可以称为管状接地体。在某些条件下，由于費用或材料的关系，也可能采用圓鉄、型鋼等來作为接地体。这种接地体一般將它打入地面 3~4 公尺，由于埋入地中深度較大，不易受到外界环境（如温度、湿度等）的影响，使它的接地电阻值比較穩定，而成为比較理想經常应用的一种接地体型式，如图 2-2。

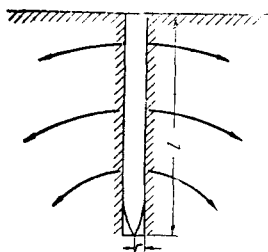


圖 2-2 圓柱形接地体

現在有一圓柱形的管形接地体，它的長度为 l ，管的外半徑为 r （均用公分計算），且 $r \ll l$ （一般是 $r \leq \frac{l}{100}$ ）。这样在均匀的土壤电阻率情况下，这种接地体的接地电阻可用下式來計算：

$$R_3 = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{2l}{r} = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{4l}{d}$$

d 为管子的直徑。換算为常用对数后：

$$R_3 = \frac{2.3\rho}{2\pi l} \lg \frac{4l}{d} = 0.366 \frac{\rho}{l} \lg \frac{4l}{d} \quad (2-2)$$

当接地电流 I_3 流經該接地体时所產生的对地电位是

$$U_3 = I_3 R_3$$

則距离該接地体为 P 点的地面电位可用下式來計算：

$$\begin{aligned}
 U_P &= \frac{I_3 \rho}{4 \pi l} \ln \frac{\sqrt{P^2 + l^2} + l}{\sqrt{P^2 + l^2} - l} \\
 &= \frac{I_3 \rho}{4 \pi l} \ln \frac{(\sqrt{P^2 + l^2} + l)^2}{(\sqrt{P^2 + l^2} + l)(\sqrt{P^2 + l^2} - l)} \\
 &= \frac{I_3 \rho}{4 \pi l} \ln \frac{(\sqrt{P^2 + l^2} + l)^2}{P^2 + l^2 - l^2} = \frac{I_3 \rho}{4 \pi l} \ln \left(\frac{\sqrt{P^2 + l^2} + l}{P} \right)^2 \\
 &= \frac{2 I_3 \rho}{4 \pi l} \ln \frac{\sqrt{P^2 + l^2} + l}{P} = \frac{1}{2} \frac{I_3 \rho}{\pi l} \ln \frac{\sqrt{P^2 + l^2} + l}{P}
 \end{aligned}$$

換算為常用對數：

$$U_P = 0.366 \frac{\rho}{l} \lg \frac{\sqrt{P^2 + l^2} + l}{P}$$

從圓柱形接地體接地電阻的公式看來，接地體的長度對接地電阻的影響比接地體的直徑來得大；而且是大得多。例如：管形接地體的長度增加一倍而直徑不變時，接地電阻 R_s 降低了 44%，即從 100% 降到 56%；但當直徑增加一倍，而長度不變時，接地電阻 R_s 只降低了 13%，即從 100% 降到 87%。這可以用上面的公式來計算證明。

其他形狀的接地體材料如角鐵、槽鐵等雖然不是管形接地體，但也可以照下式把它們的長和寬換算為半徑的關係，然後用圓柱體的公式來計算不同型體的接地電阻。換算的關係如下：

(1) 等邊角鐵

$$r = 0.422 b$$

式中： r ——等價半徑； b ——角鐵的寬度。如規範不統一時，也可以用 $r = 0.5 b$ 來約略估計。

(2) 不等邊角鐵

$$r = 0.354 \sqrt[3]{b \cdot B (b^2 + B^2)}$$

式中： r —等价半径； b, B —角铁的两侧宽度。由于角铁的不等边尺寸有一定规格上的关系，加以分析后，可用下式来求 r ：

$$r = 0.515 b$$

(3) 槽铁

$$r = 0.46 \sqrt[3]{b^2 h^3 (b^2 + h^2)^2}$$

式中： r —等价半径； h —槽铁的高度； b —槽铁的宽度。

(4) 扁铁可不必换算到等价半径，用下式算出接地电阻：

$$R_3 = \frac{0.732 \rho}{l} \lg \frac{2l}{b}$$

式中： b —扁铁的宽度（一般因为厚度与宽度相差太大，故不考虑厚度关系）。

3. 半圆柱形平放在地面的接地体

一根半圆柱形的接地体长度为 l ，半径为 r ，平放于地面上，如图2-3所示。这种接地体的接地电阻

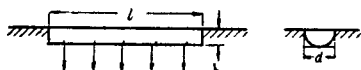


图 2-3 半圆柱形平放在地面的接地体

$$R_3 = \frac{0.732 \rho}{l} \lg \frac{l}{r} \quad (2-3)$$

由于这种接地体在实际应用上没有很大的价值，所以在这里不多加考虑和讨论。

4. 平放在地面的带状接地体

长度为 l ，宽度为 b 的一根带状接地体。这种接地体的接地电阻可用下式来计算：

$$R_3 = \frac{0.732}{l} \rho \lg \frac{4l}{b} \quad (2-4)$$

由于这种接地体在实用上的价值不大,所以不多加考虑和讨论。

5. 深埋于地面下水平平放的带状(或圆柱形)接地体

长度为 l , 宽度为 b 的一根带状接地体, 水平平放埋于地面下的深度为 t , 如图 2-4 所示。

直线圆柱形的水平平放深埋于地面下的接地体, 它的接地电阻可用下式来表示:

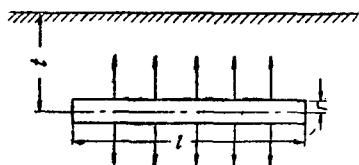


图 2-4 平放在地面下深埋的带状接地体

$$\begin{aligned} R_3 &= \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{l^2}{2tr} = \frac{2.3}{2\pi l} \rho \lg \frac{l^2}{2tr} \\ &= 0.366 \frac{\rho}{l} \lg \frac{l^2}{2tr} = 0.366 \frac{\rho}{l} \lg \frac{l^2}{td} \end{aligned} \quad (2-5)$$

式中: d ——圆柱形的直径; t ——埋入的深度。

直线带状的水平平放深埋于地面下的接地体, 它的接地电阻可用下式来表示 (以 $\frac{b}{4} = r$):

$$R_3 = 0.366 \frac{\rho}{l} \lg \frac{l^2}{2t \cdot \frac{b}{4}} = 0.366 \frac{\rho}{l} \lg \frac{2l^2}{tb}$$

式中: b ——扁铁横截面宽度。

6. 深埋于地面下水平平放的环形接地体

环状接地体如图 2-5, 由于相互之间受到一定的影响 (它们