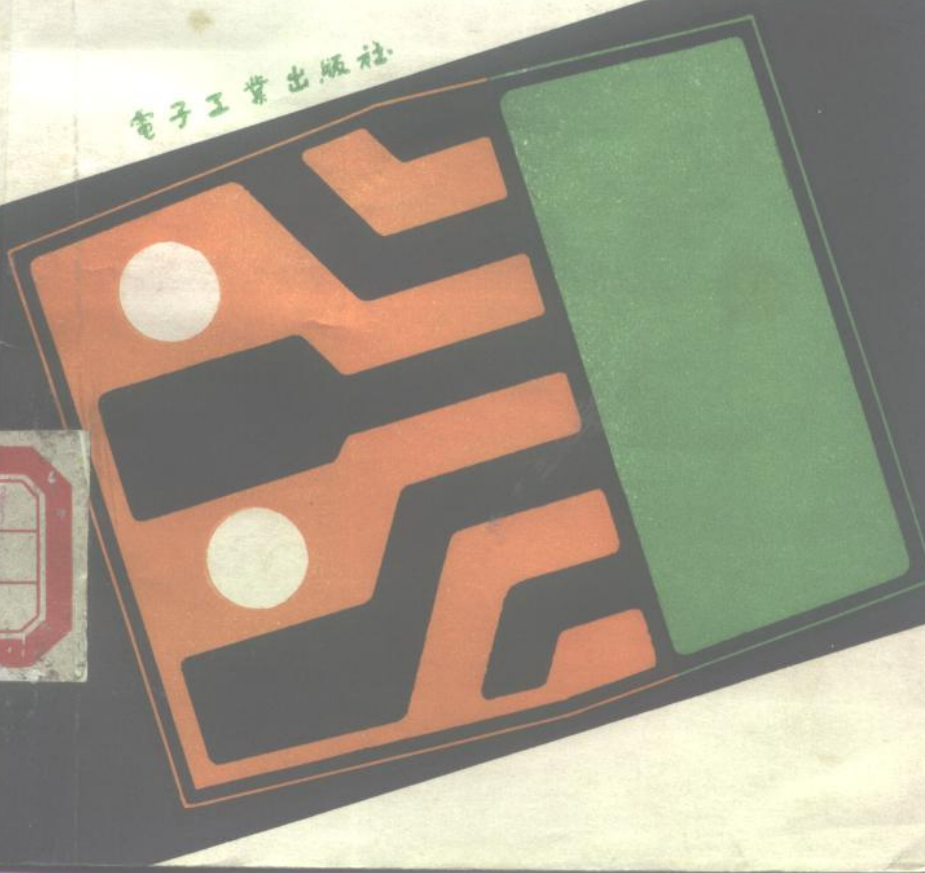




# 工农业及家用电器 触电保护技术

渠 平

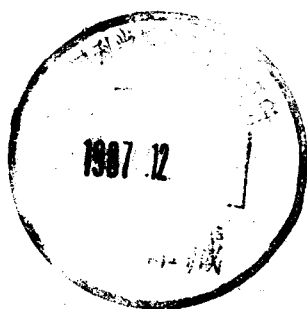
電子工業出版社



73.27  
528

# 工农业及家用电器 触电保护技术

渠 平



電子工業出版社

8710647

254.51  
**内 容 简 介**

本书系统地讲解有关电力低压安全用电的基本知识。全书共七章，前两章介绍触电和触电保护的各种知识。第三到第六章介绍各种低压触电保护装置的功能、用途、工作原理、性能以及安装和维护等方面的基本知识。第七章对低压触电事故，作了较深入的分析，同时也介绍了对低压电网保护的各种方案。

本书可供具有初中文化水平的家用电器使用者以及工农业战线上各行各业的电工、工人和农民阅读，也可供各类中专学校教学参考以及有关的科技人员参考。

**工农业及家用电器触电保护技术**

渠 平

责任编辑：邓又强

电子工业出版社出版（北京市万寿路）

中国科学技术情报研究所印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

开本：787×1092 1/32 印张：7.5 字数：165千字

1987年5月第1版 1987年5月第1次印刷

印数：00,001—11,000册 定价：1.55元

统一书号：15290·513

# 前 言

为了适应工农业生产对低压电网稳定运行、保护人身和电气设备安全的需要，开创我国城乡触电保护技术工作的新局面，特编写此书。

本书内容反映了我国电力方面触电保护科学技术的概貌，重点介绍低压触电保护装置的结构型式、工作原理、性能、安装使用和维护等方面的基本理论知识。对经常发生的触电事故，作了较深入的分析，并提出了相应措施。对触电保护电器的保护方式、类型选择及有关低压电网稳定运行等方面，作了介绍。

本书所涉及的内容比较广泛，对初学者来说，有些章节有一定的难度。因此，除力求文字叙述通俗易懂外，书中还列有一定数量的图、表和实例，以帮助读者理解和掌握。

限于本人水平，书中难免存在缺点错误或不当之处，恳求读者给予指正。

作 者

一九八四年十二月

# 目 录

|                           |           |
|---------------------------|-----------|
| <b>第一章 触电</b>             | <b>1</b>  |
| 1.1 概论                    | 1         |
| 1.2 触电                    | 3         |
| 1.2.1 常见的触电种类             | 3         |
| 1.2.2 触电实例                | 10        |
| 1.2.3 触电伤害、人体电阻、安全电流和安全电压 | 14        |
| 1.2.4 触电原因                | 20        |
| <b>第二章 触电保护</b>           | <b>25</b> |
| 2.1 低压电气设备的接地和接零保护        | 25        |
| 2.1.1 接地和接零               | 25        |
| 2.1.2 保护接零的特点和注意事项        | 33        |
| 2.1.3 家用电器的电力安全与接地        | 38        |
| 2.2 零序电流互感器 (ZCT)         | 47        |
| 2.2.1 零序电流互感器的原理          | 47        |
| 2.2.2 零序电流互感器的基本特性        | 50        |
| 2.2.3 零序电流互感器的结构          | 57        |
| 2.3 低压触电保护                | 59        |
| 2.3.1 单相线路的触电保护原理         | 59        |
| 2.3.2 三相线路的触电保护原理         | 60        |
| 2.3.3 低压触(漏)电保护器的分类       | 62        |
| <b>第三章 电磁式触电保护电器</b>      | <b>64</b> |
| 3.1 电磁式电压型触电保护器           | 64        |
| 3.1.1 电磁式电压型保护器的结构和原理     | 64        |
| 3.1.2 电磁式电压型保护器的保护特性      | 71        |

|       |                         |     |
|-------|-------------------------|-----|
| 3.2   | 漏电自动开关 .....            | 77  |
| 3.2.1 | 漏电自动开关的结构和原理 .....      | 77  |
| 3.2.2 | 漏电自动开关的主要功能 .....       | 82  |
| 3.2.3 | 漏电自动开关的性能 .....         | 86  |
| 3.2.4 | 漏电自动开关的命名和主要参数 .....    | 90  |
| 3.2.5 | 安装和使用中应注意的事项 .....      | 92  |
| 3.3   | 电磁式电流型漏电继电器 .....       | 99  |
| 3.3.1 | 电磁式电流型漏电继电器的结构和原理 ..... | 99  |
| 3.3.2 | 电磁式电流型漏电继电器的性能特点 .....  | 101 |
| 3.3.3 | 电磁式电流型漏电继电器的选择 .....    | 102 |
| 3.3.4 | 电磁式电流型漏电继电器的使用 .....    | 105 |
| 第四章   | 电子式电压型触电保护器 .....       | 117 |
| 4.1   | 晶体二极管式电压型保护器 .....      | 117 |
| 4.1.1 | 二极管式电压型保护器的工作原理 .....   | 117 |
| 4.1.2 | 二极管式电压型保护器的主要性能 .....   | 122 |
| 4.1.3 | 二极管式电压型保护器的特点及应用 .....  | 123 |
| 4.1.4 | 二极管式电压型保护器的安装与使用 .....  | 125 |
| 4.1.5 | 二极管式电压型保护器的故障及原因 .....  | 126 |
| 4.2   | 桥式电压型保护器 .....          | 127 |
| 4.2.1 | 桥式电压型保护器的电路结构原理 .....   | 128 |
| 4.2.2 | 桥式电压型保护器的工作原理 .....     | 131 |
| 4.2.3 | 桥式电压型保护器的动作性能试验 .....   | 132 |
| 第五章   | 电子式电流型触电保护器 .....       | 134 |
| 5.1   | 电子式电流型单相保护器 .....       | 134 |
| 5.1.1 | 电子式电流型单相保护器的工作原理 .....  | 134 |
| 5.1.2 | 电子式电流型单相保护器的主要性能 .....  | 137 |
| 5.2   | 电子式多功能电流型保护器 .....      | 137 |
| 5.2.1 | 电子式多功能电流型保护器的工作原理 ..... | 137 |
| 5.2.2 | 电子式多功能电流型保护器的结构特点 ..... | 140 |

|       |                       |     |
|-------|-----------------------|-----|
| 5.2.3 | 多功能电流型保护器的主要技术性能      | 142 |
| 5.2.4 | 多功能电流型保护器使用中的注意事项     | 143 |
| 5.3   | 自动重合闸式电流型保护器          | 143 |
| 5.3.1 | 自动重合闸的基本概念            | 143 |
| 5.3.2 | 自动重合闸式电流型保护器的工作原理     | 147 |
| 5.3.3 | 重合闸电流型保护器灵敏度的分布       | 152 |
| 5.3.4 | 重合闸式电流型保护器的整机调试       | 153 |
| 5.3.5 | 重合闸式电流型保护器的安装         | 154 |
| 5.3.6 | 重合闸式电流型保护器的使用         | 164 |
| 5.4   | 可控硅式电流型保护器            | 169 |
| 5.5   | 电流型保护器的保护特性           | 172 |
| 第六章   | 脉冲型触电保护器              | 176 |
| 6.1   | 脉冲型触电保护器的基本原理         | 176 |
| 6.1.1 | 脉冲型保护器的出现             | 176 |
| 6.1.2 | 摘取触电信号的理论根据           | 176 |
| 6.2   | 脉冲型保护器的工作原理           | 178 |
| 6.2.1 | 脉冲型保护器的特点             | 178 |
| 6.2.2 | 脉冲型保护器的原理方框图          | 179 |
| 6.2.3 | 脉冲型保护器的电路原理           | 182 |
| 6.2.4 | 脉冲型保护器的动作过程           | 189 |
| 6.3   | 脉冲型保护器的使用             | 190 |
| 6.3.1 | 脉冲型保护器的安装             | 190 |
| 6.3.2 | 脉冲型保护器的使用             | 193 |
| 第七章   | 低压触电事故的分析 and 低压电网的保护 | 196 |
| 7.1   | 几个触电事故特例的分析           | 196 |
| 7.1.1 | 负载脱开低压电网后又出现触电死亡事故    | 196 |
| 7.1.2 | 电动脱粒机触电群伤事故           | 197 |
| 7.1.3 | 浴池触电事故                | 199 |
| 7.1.4 | 工业循环水池的触电事故           | 200 |

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| 7.1.5 交流电焊机触电事故 .....        | 201 |
| 7.2 触电事故规律分析 .....           | 203 |
| 7.3 安全措施 .....               | 204 |
| 7.3.1 组织措施 .....             | 204 |
| 7.3.2 技术措施 .....             | 205 |
| 7.4 低压电网的保护 .....            | 206 |
| 7.4.1 低压电网的总体保护 .....        | 206 |
| 7.4.2 主干线路保护 .....           | 208 |
| 7.4.3 低压电网的分级保护 .....        | 208 |
| 7.4.4 低压电网的末级触电保护 .....      | 211 |
| 7.5 低压电网保护器的选择 .....         | 215 |
| 7.5.1 选择的原则 .....            | 215 |
| 7.5.2 触电保护器动作电流整定值的选择 .....  | 215 |
| 7.5.3 触电保护器型式的选择 .....       | 218 |
| 7.6 触电保护器的测试和运行管理 .....      | 219 |
| 7.6.1 动作电流和动作时间的测试 .....     | 219 |
| 7.6.2 触电保护器的运行管理 .....       | 221 |
| 附录 1 低压触电保护器 .....           | 223 |
| 附录 2 漏电开关和漏电继电器的主要技术数据 ..... | 226 |

# 第一章 触 电

## 1.1 概 论

随着工农业生产的发展和人民生活水平的不断提高，用电日益普及，供电和用电中的安全问题愈来愈突出。安全用电是一项涉及到各个方面的复杂问题。在电能的传输和使用过程中，如果不采取有效的安全措施，就可能发生触电死亡事故或引起火灾，使人民的生命财产遭受损失。因此，安全用电的问题越来越受到各个国家的重视。

我们知道，安全用电是衡量一个国家用电水平的重要标志之一。许多国家通常以用电度数和发生触电死亡事故数的相对值，作为衡量安全用电水平的标准。目前安全用电水平高的国家，约每耗电20亿度触电死亡1人；安全用电水平低的国家每耗电1亿度触电死亡1人。另外，世界上近来还有一种报道，工业发达，触电保护技术先进的国家大约为每百万用电人口触电死亡0.5~1人（工农业合在一起）。我国七十年代初，仅在农业战线触电死亡事故率最高时曾经达到每百万用电人口触电死亡20人，但目前已降到10人以下。即使如此，我国的安全用电水平也是很低的，每年发生的触电死亡总人数相当惊人。据统计，我国85%的触电死亡事故发生在农村（包括县级以下的工业），15%发生在城市。近几年来随着家用电器的普及应用，城市居民的触电死亡事故也有所增加。因此，如何保证城乡人民的安全用电，防止触电死

亡事故，建立和完善低压电网的安全保护系统，发展适用于我国实际情况的触电保护先进技术，这是摆在我们面前的一项重要任务。

触电保护装置的主要功能，就是防止人身触电死亡事故的发生，用以提高安全用电的水平。同时，还要求能够监视电网和电气设备的漏电，以减少漏电的电能损失及因设备漏电而造成的电气设备损坏，并防止电气火灾事故的发生。因此，触电保护装置的作用和重要性是很明显的，可以说它是现代工业国家低压电网中不可缺少的一种电气装置。我国近十年来触电保护装置得到了迅速发展，品种繁多，质量逐步有所提高，在保护人民的生命财产方面起到了一定的作用，深受广大人民群众的热烈的欢迎。

在党和政府的关怀下，我国对触电保护技术特别重视，在水电部的大力支持下，触电保护技术得到了迅速发展。

据统计，从六十年代开始，水电部多次拨款用于这方面的研制工作。1975年在河北省召开会议，确定在农村试运行简易电压型触电保护器，以减少触电死亡事故，保护广大农民的生命安全。于是在河北、辽宁、山东、湖南、广东等省的有关县进行了触电保护器的试点工作。并于1977年10月确定广东省三水县为推广触电保护器的重点县，先普及电压型保护器，后转向电流型保护器，并在普及的基础上提高。

1977年水电部在推广使用触电保护器的同时，又设立了电压型、电流型保护器和人体安全电流三个技术攻关科研小组，及时解决了一些推广中的技术问题，并制定了触电保护器试验样机的暂行技术标准。现在我国已经制订了《漏电流流动作保护电器》的国家技术标准和《农村漏电保护器安装运行规程》，这对进一步扩大触电保护装置的使用范围，推

动我国触电保护技术的迅速发展将起到重要作用。

## 1.2 触 电

### 1.2.1 常见的触电种类

类似麻雀这样的小鸟经常站在架空输电线上自由地游玩，为什么没有触电伤亡的现象？这是因为麻雀站在一条输电线上，不管电网的电压有多高，两脚之间以及其全身都是同电位，因此也就没有电流通过鸟体，所以没有触电的任何感觉。

什么是触电呢？当人体接触带电体或人体与带电体之间闪击放电时，带电体电流通过人体、大地和其它导体而形成闭合回路，这种情况就叫做触电。常见的触电有：单相触电、两相触电、跨步电压触电及接触电压触电。关于人在旷野受到雷电直击的触电现象以及某些情况下由静电引起的触电现象，均不属于本书的讨论范围。

#### 1. 单相触电

当人体触及一条电线（或漏电设备）时就叫做单相触电。

目前，我国低压电网多采用配电变压器中性点接地的三相四线制供电方式。图 1-1 表示在中性点直接接地的低压电网中单相触电现象。当人体接触火线  $C$  时，显然人体被加上了 220 伏的相电压 ( $U_{\text{相}}$ )，电流从火线  $C$  通过人体、大地和中性点的接地体，构成了闭合回路。流过人体的电流  $I$ ，为（设人体电阻为  $R$ ）

$$I = \frac{U_{\text{相}}}{R_0 + R}, \quad (1-1)$$

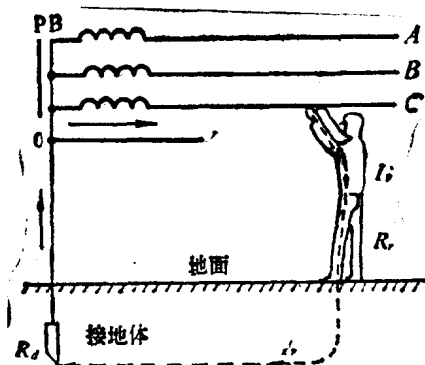


图1-1 配电变压器低压侧 (PB) 中性点直接接地时的单相触电示意图

式中,  $U_{\text{相}}$  为相电压, 可代表  $U_A$ 、 $U_B$  或  $U_C$ , 即相线 (A、B、C) 与零线 (或地) 之间的电压。  $R_d$  为配电变压器低压侧中性点直接接地的接地电阻, 其大小应包括: 接地体本身的电阻、接地体与土壤之间的接触电阻、接地线 (即接地体与中性点之间的连接导线) 本身的电阻、接地线与接地体之间连接 (焊接) 的接触电阻、接地线与中性点连接的接触电阻等。由于  $U_{\text{相}} = U_{\text{线}} / \sqrt{3}$ ,  $R \gg R_d$ , 若略去  $R_d$ , 上式则变为

$$I_r = \frac{U_{\text{相}}}{\sqrt{3} R} \quad (1-2)$$

由于我国的低压电网绝大多数是中性点直接接地的, 所以在触电事故中大部分属于单相触电, 而且其触电后果常常是很严重的。

对于低压电网中性点不接地的三相三线制供电方式, 图

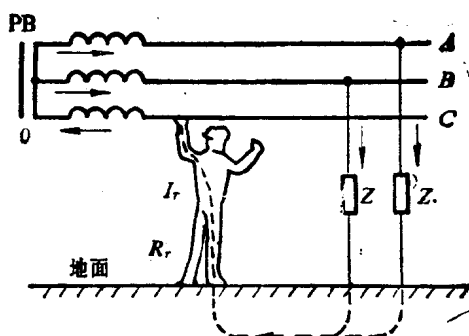


图1-2 配电变压器低压侧 (PB) 中性点不接地的单相触电

1-2表示了该电网中发生单相触电的现象。其触电流如图箭头所示的方向，即从电源通过线路对地绝缘阻抗 $Z$ 、大地和人体构成闭合回路。假设低压电网的绝缘水平较低， $Z$ 值很小，通过触电者的电流就大。这种触电事故对人的生命当然存在着很大的威胁，不过其危险性小于中性点接地供电方式。

## 2. 两相触电

人体同时接触两相火线，就叫做两相触电。图 1-3 所示触电者的右手抓住了 $B$ 相火线，其左手又同时抓住了 $C$ 相火线，人体承受 380 伏的线电压 ( $U_{\text{线}}$ )，在两相之间就有很大的电流 ( $I_r$ ) 流过人体，

$$I_r = \frac{U_{\text{线}}}{R_r} \quad (1-3)$$

因此，不管低压电网的中性点是否接地，也不管人站在

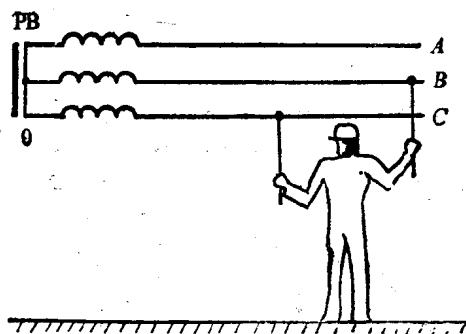


图1-3 两相触电

任何绝缘物上，两相触电的后果都是严重的。

### 3. 跨步电压触电

图 1-4 表示架空输电线路一条带电导线断落在地平面 0

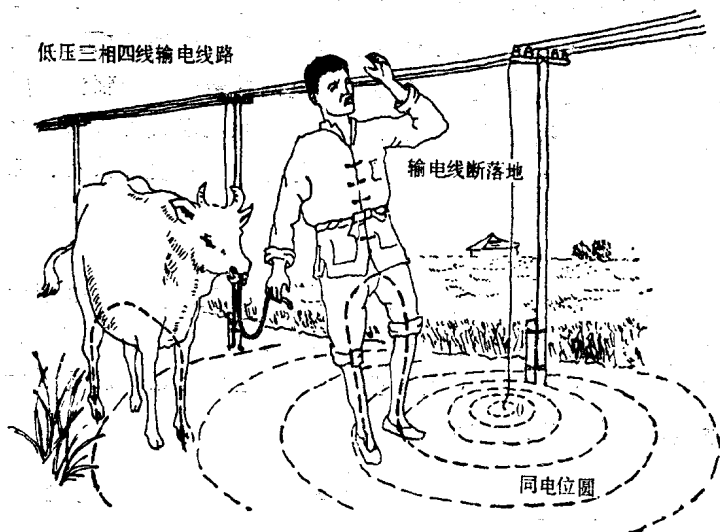


图1-4 跨步电压触电

点上的情形。这个 0 点的电位就是这条断落导线的电位，而且又是该地面上电位最高的一点。紧紧靠近 0 点的人和大牲畜能有什么感觉呢？下边进行详细分析。

断落导线的电流从 0 点流入地中，其流入地中的电流方向如图 1-5(a) 中箭头所示；在地表面上以 0 点为圆心，画

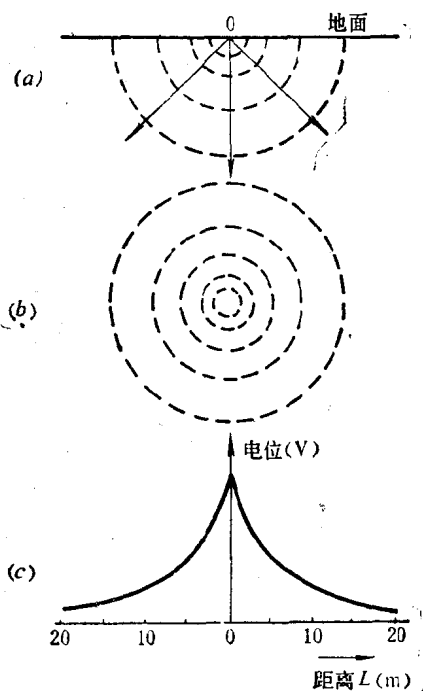


图 1-5 地面电位分布示意图

(a) 断落导线流入地中的电流方向；(b) 导线断落点附近地面电位分布；(c) 曲线表示地面电位分布规律

出若干个同心圆，如图 1-5(b) 所示，表示带电导线断落点

0 的周围电位分布，每个圆上的各点都是同电位。图1-5(c)是用曲线表示地面电位分布规律，坐标原点 0 表示导线断落地点，横坐标  $L$  表示离开 0 点的距离(米)，纵坐标表示导线落地点及其周围各点电位的大小。从图中看出：距离 0 点越远的地面各点，断落电线流入地中的电流越分散，其地面电位也越低。在 0 点周围的10米之内，地面的电位和电位差都比较高。但离 0 点10米之外，地面上的电位和电位差明显下降。至于20米之外的地面电位也就接近于零值了。

由此可见，当人处在上述电位分布区域内跨开一步时，由于两个脚所站的位置至 0 点的距离不同，所以两脚之间必然有一个电位差存在，这个电位差就叫做跨步电压。大牲畜前后蹄之间的距离比人大，所以它比人的跨步电压大。电力线路的电压越高以及人畜距离 0 点越近，其跨步电压也就越高。由跨步电压引起的触电，叫做跨步电压触电。

这种触电现象多发生在 6 千伏以上的架空输电线路断落在地面的情况下，也有时发生在220、380、和 660 伏架空输电线断落在潮湿地面上的情况。根据国内外报道的科学试验数据，大牲畜在很潮湿的田野里作业或放牧时，其跨步电压达到10伏左右就倒在地上；触电时间稍长一点就死亡。当人身处于跨步电压触电时，触电电流只是通过两条腿，危险性较小；但当两腿抽筋倒在地上时易使触电的危险性大大增加。若人、牲畜在同一地点同时发生这种触电现象，由于触电电流通过牲畜的心脏，所以对其生命的危险远远超过人。

麻雀可以在这种有电位分布的地面上自由地游玩，因为它那两腿距离更小，所以不会发生跨步电压触电。因此当人发觉存在跨步电压时，应立即学习麻雀走路的姿势，两腿合并起来，或用一个脚蹦着走到20米以外的安全地带。

#### 4. 接触电压触电

输电线路的导线接地后，在产生跨步电压的同时还会产生接触电压触电。如图 1-6 所示，三台线电压为 380 伏交流电动机（D）的接地线连在一起，并接到共用的一组接地体 0 上；若其任意一台电动机的一相绕组（如 A 相）与金属外壳之间的绝缘被破坏而接地时，三台电动机的外壳都同样带

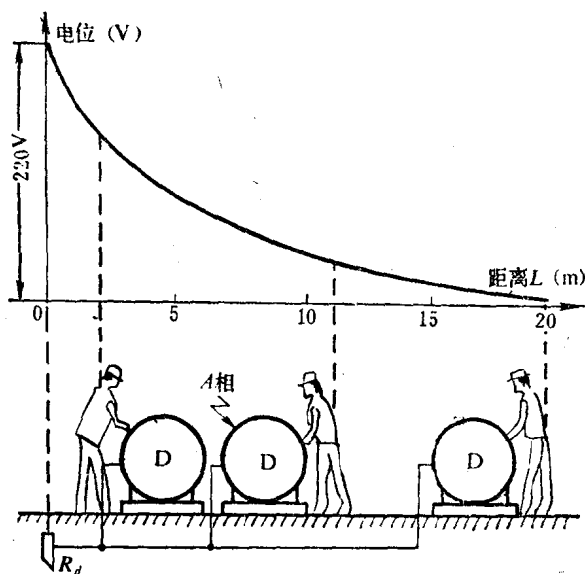


图1-6 接触电压触电

电，接地线使得它们三者有相同的电位。在此电位分布区域内，地面上各点的电位是不相同的，图 1-6 的电位分布曲线和图 1-5(c) 的曲线相同。接地体 0 处的地面电位就是 A 相电压 (220 伏)，距离 0 点越远的地面各点电位越低。当人接触电气设备金属外壳时，人手与脚之间的电位差就叫做接触