

# 电工学 (电工技术)

教学课件



## 第12章 工业企业供电与安全用电

中国矿业大学 研制



高等教育出版社  
高等教育音像出版社

出版

# 第12章 工业企业供电及安全用电

12.1 电力系统

12.2 工业企业配电

12.3 安全用电



# 第12章 工业企业供电及安全用电

本章要求:

1. 了解工业企业供配电的基本知识;
2. 了解安全用电的基本常识。

# 12.1 电力系统

## 12.1.1 电力系统概述

电力是现代工业的主要动力，在各行各业中都得到了广泛的应用。电力系统是发电厂、输电线、变电所及用电设备的总称。

**电力系统由发电、输电和配电系统组成。**

### 1. 发电

发电是将水力、火力、风力、核能和沼气等非电能转换成电能的过程。我国以水利和火力发电为主，近几年也在发展核能发电。

**发电机组发出的电压一般为 6 ~ 10 KV。**

## 2. 输电

输电就是将电能输送到用电地区或直接输送到大型用电户。输电网是由35KV及以上的输电线路与其相连接的变电所组成，它是电力系统的主要网络。输电是联系发电厂和用户的中间环节。

输电过程中，一般将发电机组发出的6~10KV电压经升压变压器变为35~500KV高压，通过输电线可远距离将电能传送到各用户，再利用降压变压器将35KV高压变为6~10KV高压。

### 3. 配电

配电是由 **10KV** 级以下的配电线路和配电(降压)变压器所组成。它的作用是将电能降为 **380/220V** 低压再分配到各个用户的用电设备。

#### 电力网的电压等级

高压：**1KV**及以上电压称为高压。

有**1, 3, 6, 10, 35, 110, 330, 550KV**等。

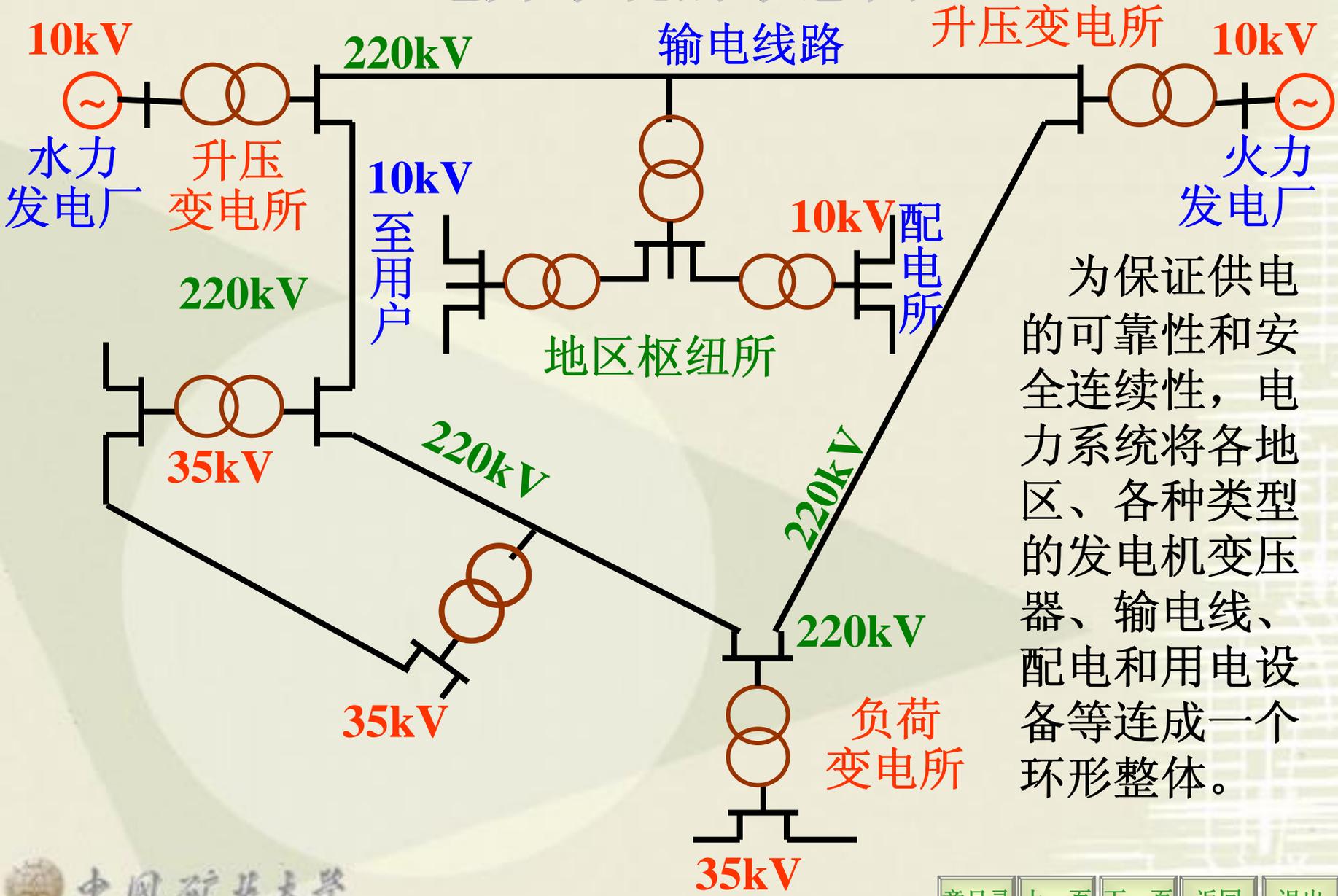
低压：**1KV**及以下的电压称为低压。

有**220, 380V**。

安全电压：**36V**以下的电压称为低压。

我国规定的安全电压等级有：**12V、24V、36V**等。

# 电力系统的示意图



为保证供电的可靠性和安全连续性，电力系统将各地区、各种类型的发电机变压器、输电线、配电和用电设备连成一个环形整体。

我国国家标准规定的电力网额定电压有 **35 kV**、**110 kV**、**220 kV**、**330 kV**、**500 kV**。

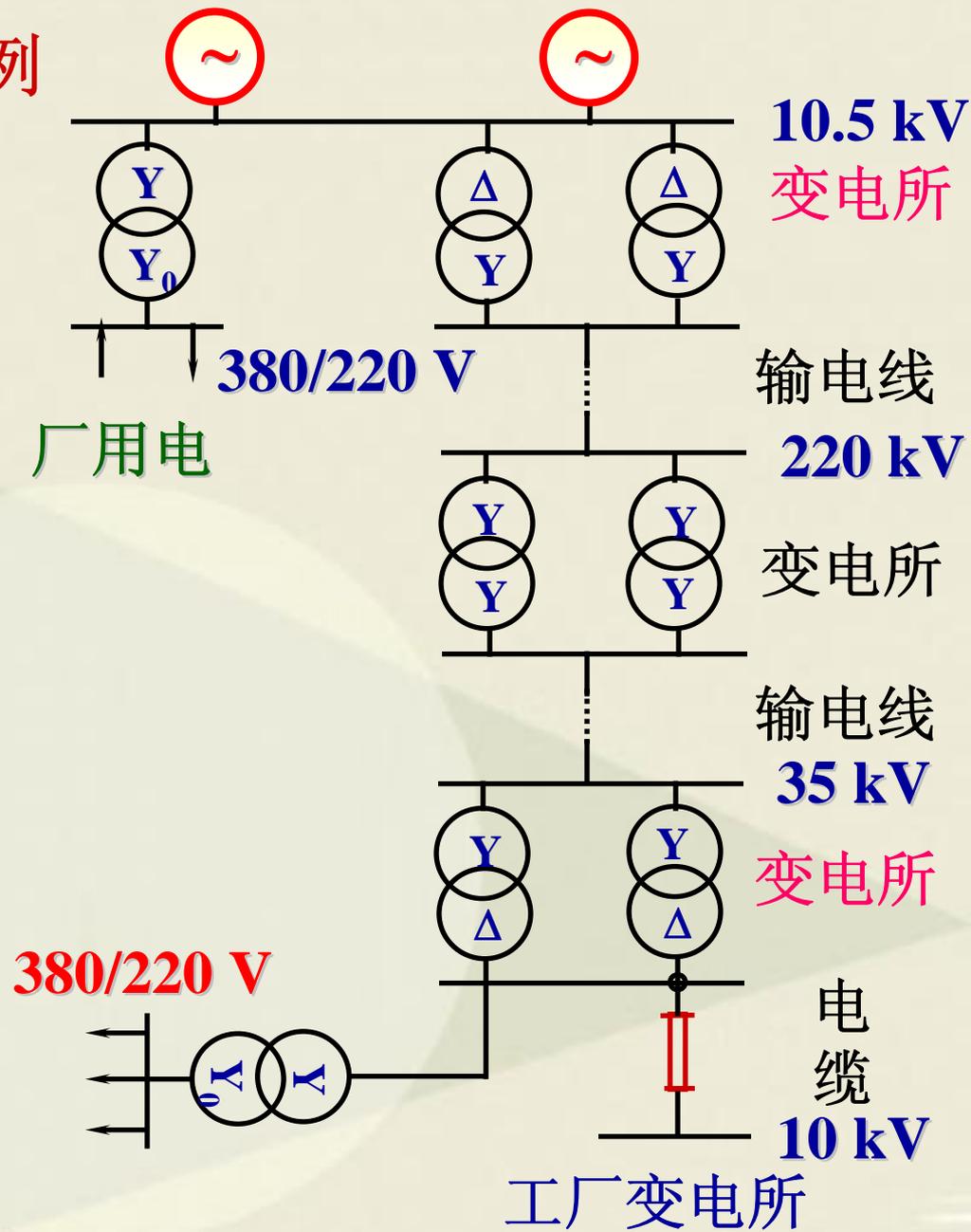
市区一般输电电压为 **10 kV** 左右，通常需要设置降压变电所，经配电变压器将电压降为 **380/ 220 V**，再引出若干条供电线到各用电点的配电箱上，配电箱将电能分配给各用电设备。**输电线路一例**

直流输电能耗小，无线电干扰小，输电线路造价较低，但逆变和整流部分较复杂。



直流输电结构原理图

# 输电线路一例



## 12.2 工业企业配电

### 12.2.1 低压配电线路的结构

低压配电线路是由配电室(配电箱)、低压线路、用电线路组成。

通常一个低压配电线路的容量在几十千伏安到几百千伏安的范围，负责几十个用户的供电。为了合理地分配电能，有效的管理线路，提高线路的可靠性，一般都采用分级供电的方式。即按照用户地域或空间的分布，将用户划分成供电区和片，通过干线、支线向片、区供电。整个供电线路形成一个分级的网状结构。

## 12.2 工业企业配电

### 12.2.1 低压配电线路的结构

从车间变电所或配电箱到用电设备线路属于低压配电线路。其联接方式主要是**放射式**和**树干式**两种。

#### 低压供电系统的两种接线方式

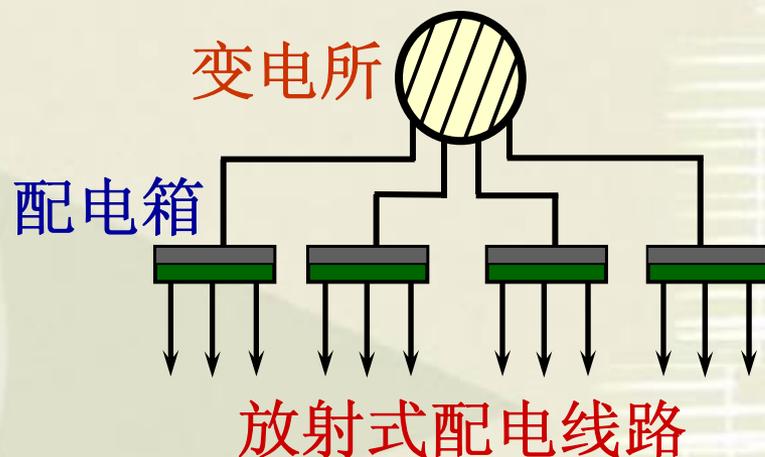
##### (1) 放射式供电线路

###### 特点:

供电可靠性高，便于操作和维护。但配电导线用量大，投资高。

###### 适用场合:

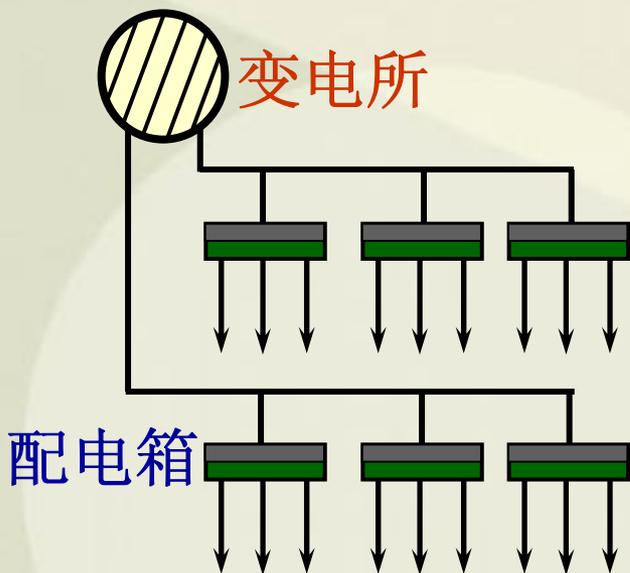
负载点比较分散，而每个点的用电量又较大，变电所又居于各负载点的中央。



## 12.2 工业企业配电

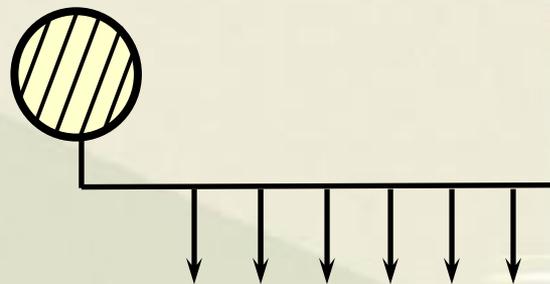
### (2) 树干式供电线路

**适用场合:** 负载比较集中，各负载点位于变电所或配电箱的同一侧时，如图(a)所示。



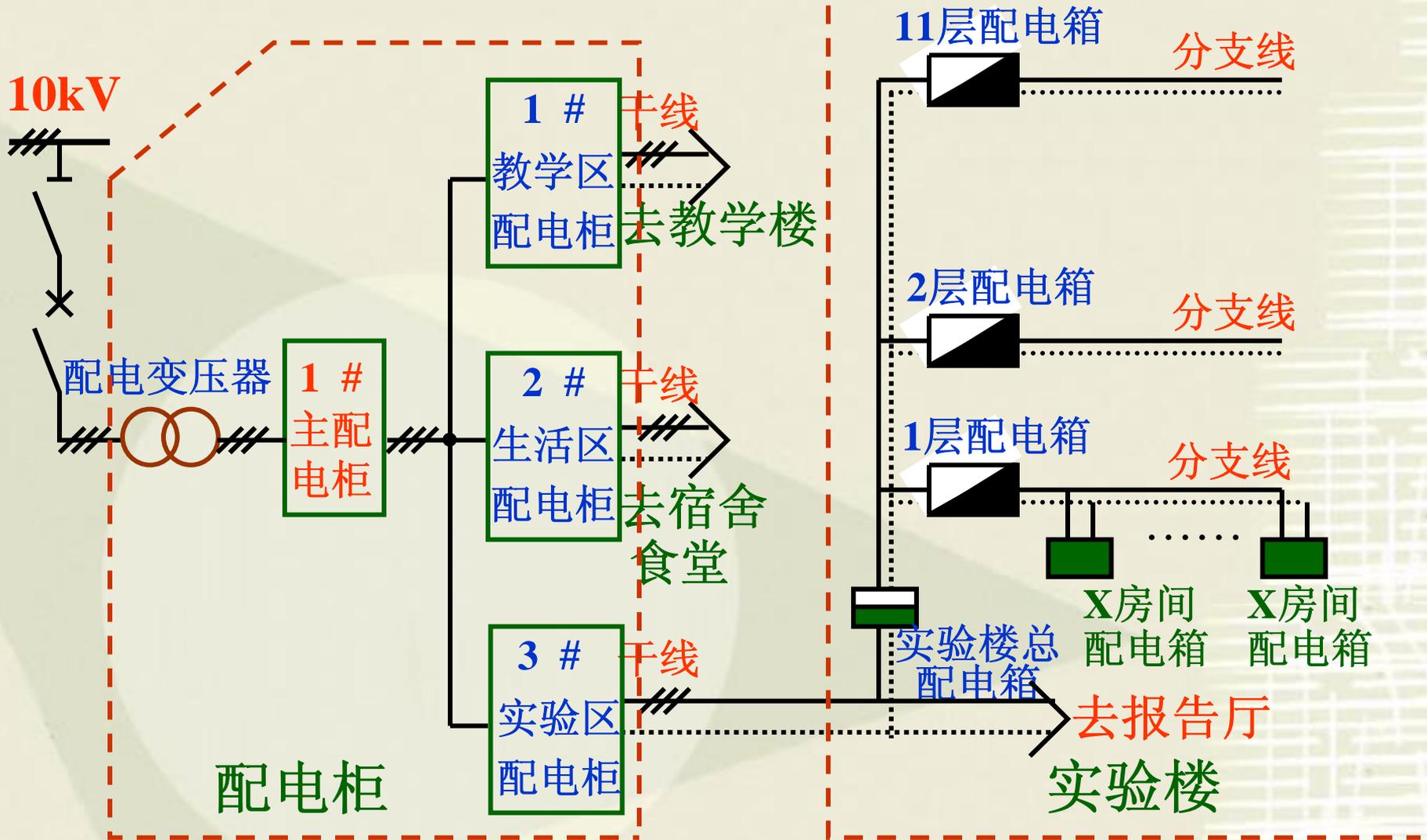
树干式配电线路

负载比较均匀地分布在一条线上，如图(b)所示。



**特点:** 供电可靠性差。但配电导线用量小，投资费用低，接线灵活性大。

# 某校实验楼树形供电线路示意图



## 12.3 安全用电

### 12.3.1 触电事故

#### 1. 电气事故的原因

##### 1) 违章操作

- (1) 违反“停电检修安全工作制度”，因误合闸造成维修人员触电。
- (2) 违反“带电检修安全操作规程”，使操作人员触及电器的带电部分。
- (3) 带电移动电器设备。
- (4) 用水冲洗或用湿布擦拭电气设备。
- (5) 违章救护他人触电，造成救护者一起触电。
- (6) 对有高压电容的线路检修时未进行放电处理导致触电。

## 2) 施工不规范

- (1) 误将电源保护接地与零线相接，且插座火线、零线位置接反使机壳带电。
- (2) 插头接线不合理，造成电源线外露，导致触电。
- (3) 照明电路的中线接触不良或安装保险，造成中线断开，导致家电损坏。
- (4) 照明线路敷设不合规范造成搭接物带电。
- (5) 随意加大保险丝的规格，失去短路保护作用，导致电器损坏。
- (6) 施工中未对电气设备进行接地保护处理。

### 3) 产品质量不合格

- (1) 电气设备缺少保护设施造成电器在正常情况下损坏和触电。
- (2) 带电作业时，使用不合理的工具或绝缘设施造成维修人员触电。
- (3) 产品使用劣质材料，使绝缘等级、抗老化能力很低，容易造成触电。
- (4) 生产工艺粗制滥造。
- (5) 电热器具使用塑料电源线。

### 4) 偶然条件

电力线突然断裂使行人触电；狂风吹断树枝将电线砸断；雨水进入家用电器使机壳漏电等偶然事件均会造成触电事故。

## 12.3.2 电流对人体的作用

人体触电时，电流对人体会造成两种伤害：电击和电伤。

**电击**是指电流通过人体，影响呼吸系统、心脏和神经系统，造成人体内部组织的破坏乃至死亡。

**电伤**是指在电弧作用下或熔断丝熔断时，对人体外部的伤害，如烧伤、金属溅伤等。

电击所引起的伤害程度与下列因素有关：

- (1) 人体电阻的大小
- (2) 电流通过时间长短
- (3) 电流的大小

## 1. 人体电阻

人体电阻因人而异，通常为  $10^4 \sim 10^5 \Omega$ ，当角质外层破坏时，则降到  $800 \sim 1000 \Omega$ 。

## 2. 电流强度对人的伤害

人体允许的**安全工频电流**：**30mA**

**工频危险电流**：**50mA**

## 3. 电流频率对人体的伤害

**电流频率在  $40\text{Hz} \sim 60\text{Hz}$  对人体的伤害最大。**

实践证明，直流电对血液有分解作用，而高频电流不仅没有危害还可以用于医疗保健等。

## 4. 电流持续时间与路径对人体的伤害

电流通过人体的时间愈长，则伤害愈大。

电流的路径通过心脏会导致神经失常、心跳停止、血液循环中断，危险性最大。其中电流的流经从右手到左脚的路径是最危险的。

## 5. 电压对人体的伤害

触电电压越高，通过人体的电流越大就越危险。

因此，把 **36 V** 以下的电压定为安全电压。工厂进行设备检修使用的手灯及机床照明都采用安全电压。



## 12.3.3 触电方式

### 1. 接触正常带电体

#### (1) 电源中性点接地的单相触电

这时人体处于相电压下，危险较大。

通过人体电流：

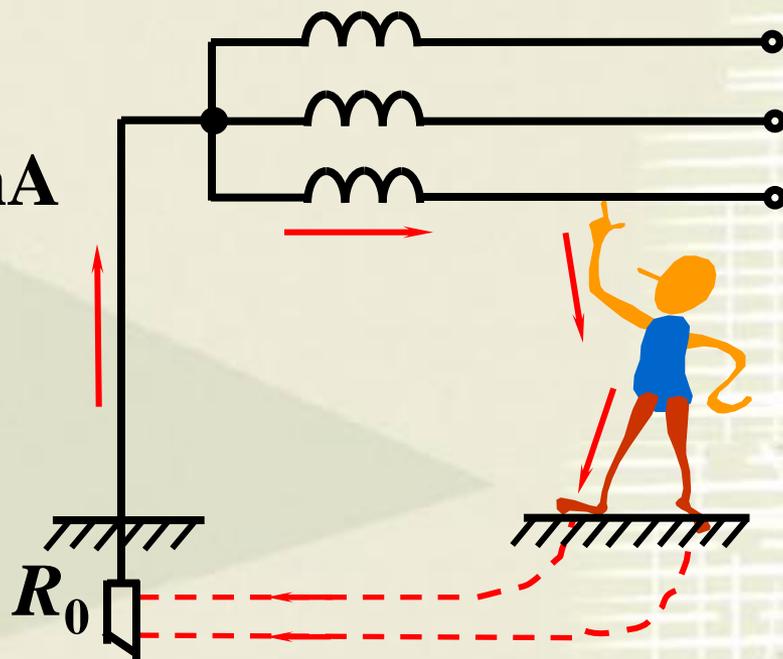
$$I_b = \frac{U_P}{R_0 + R_P} = 219\text{mA} \gg 50\text{mA}$$

式中：

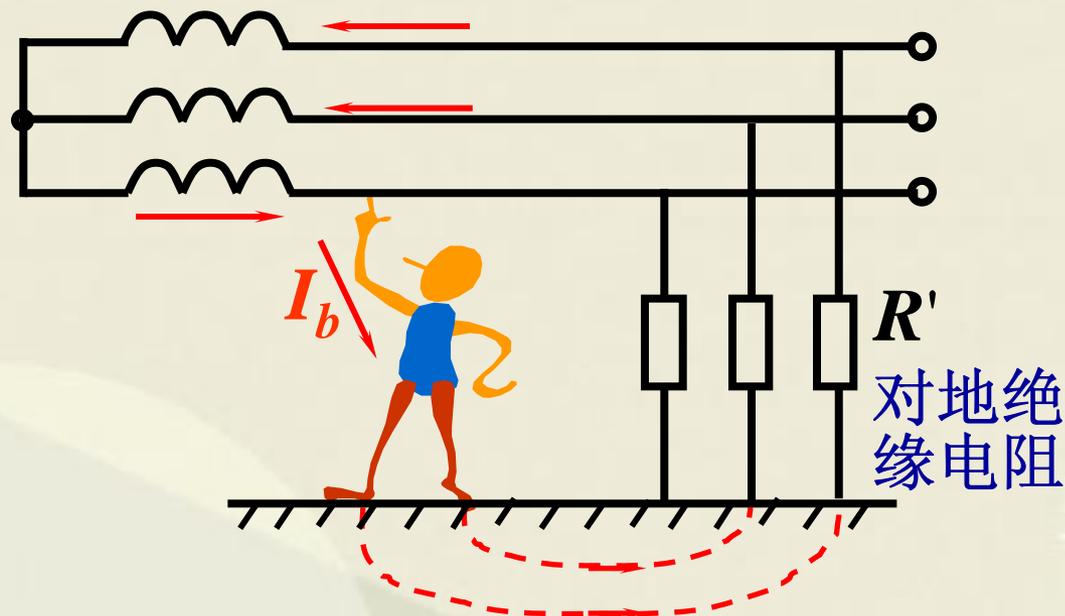
$U_P$ ：电源相电压 (220V)

$R_0$ ：接地电阻  $\leq 4\Omega$

$R_b$ ：人体电阻  $1000\Omega$



## (2) 电源中性点不接地系统的单相触电



人体接触某一相时，通过人体的电流取决于人体电阻 $R_b$ 与输电线对地绝缘电阻 $R'$ 的大小。

若输电线绝缘良好，绝缘电阻 $R'$ 较大，对人体的危害性就减小。

但导线与地面间的绝缘可能不良( $R'$ 较小)，甚至有一相接地，这时人体中就有电流通过。

### (3) 双相触电

这时人体处于线电压下

通过人体的电流:

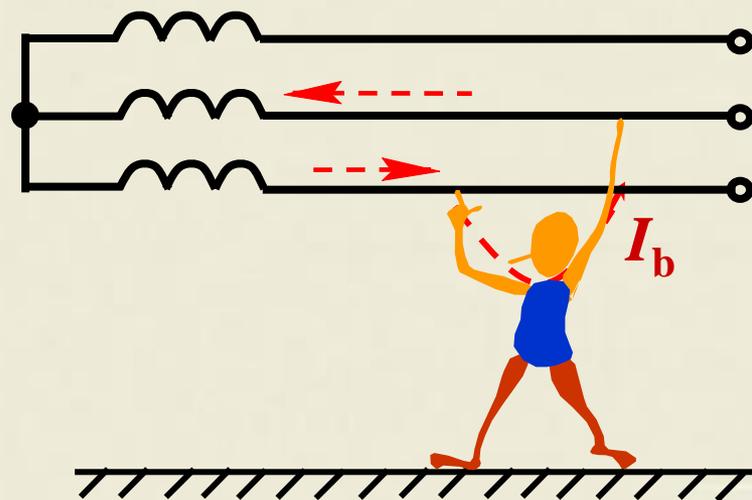
$$I_b = \frac{U_l}{R_b} = \frac{380}{1000} = 0.38A$$

$$= 380mA \gg 50mA$$

触电后果更为严重

### 2. 接触正常不带电的金属体

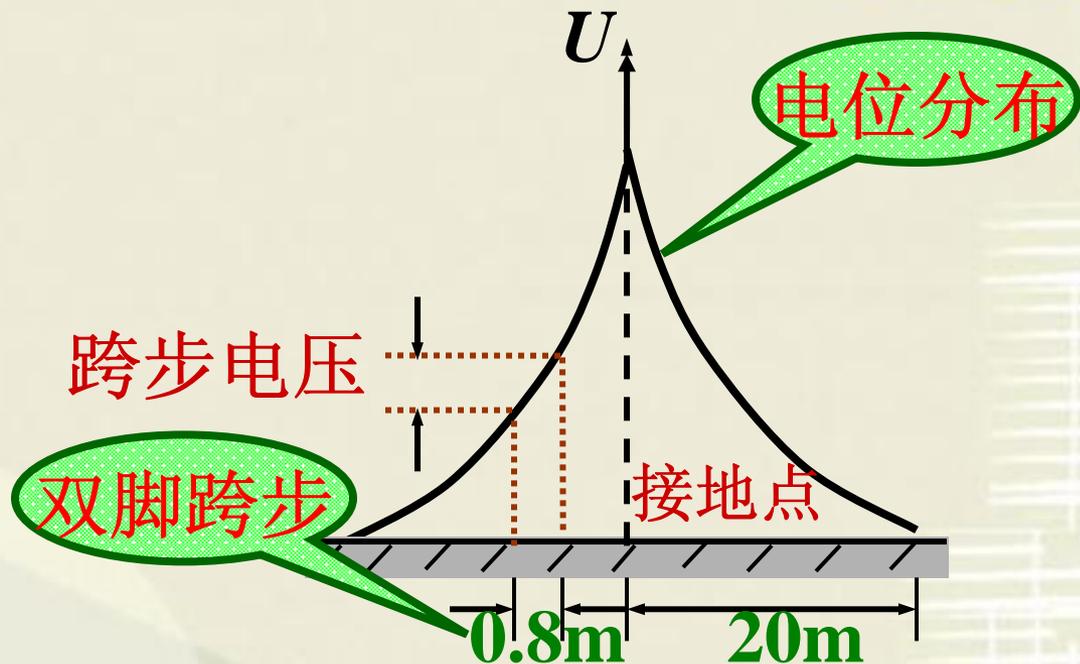
当电气设备内部绝缘损坏而与外壳接触，将使其外壳带电。当人触及带电设备的外壳时，相当于单相触电。大多数触电事故属于这一种。



双相触电

### 3. 跨步电压触电

在高压输电线断线落地时，有强大的电流流入大地，在接地点周围产生电压降。如图所示。



当人体接近接地点时，两脚之间承受跨步电压而触电。跨步电压的大小与人和接地点距离，两脚之间的跨距，接地电流大小等因素有关。

一般在20m之外，跨步电压就降为零。如果误入接地点附近，应双脚并拢或单脚跳出危险区。

## 12.3.4 接地和接零

为了人身安全和电力系统工作的需要，要求电气设备采取接地措施。按接地目的的不同，主要分为工作接地、保护接地和保护接零。

### 1. 工作接地

即将中性点接地。

目的：

- (1) 降低触电电压
- (2) 迅速切断故障

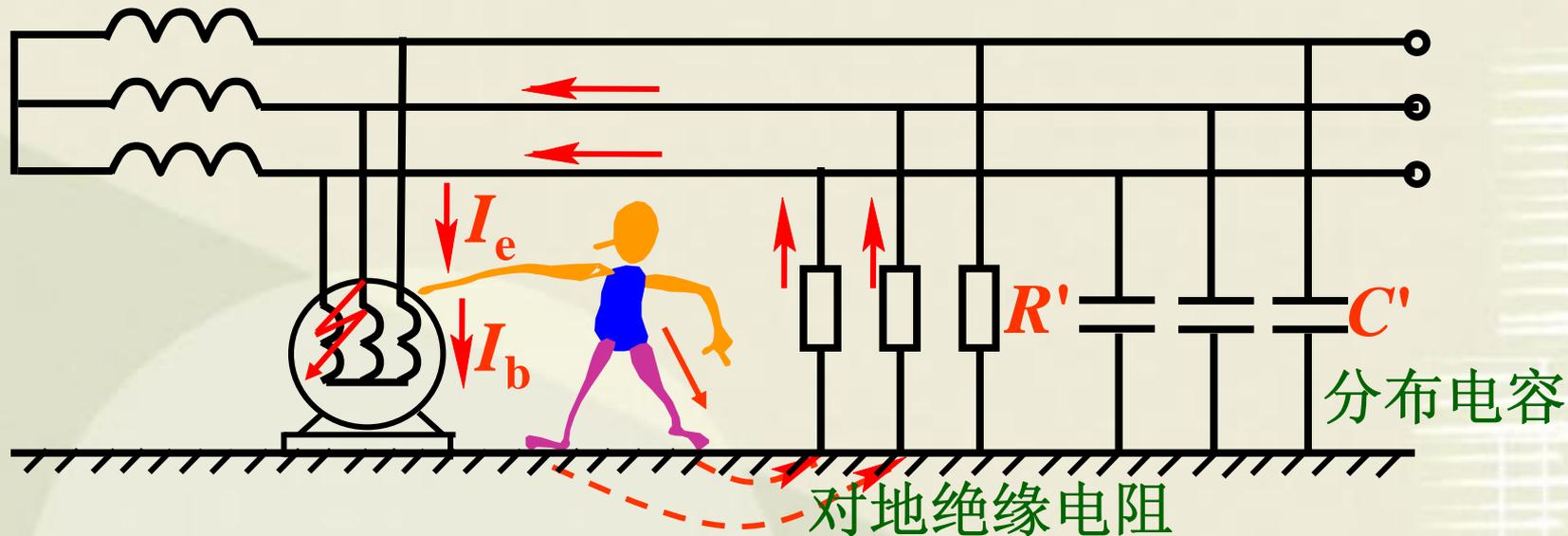
在中性点接地的系统中，一相接地后的电流较大，保护装置迅速动作，断开故障点。

- (3) 降低电气设备对地的绝缘水平



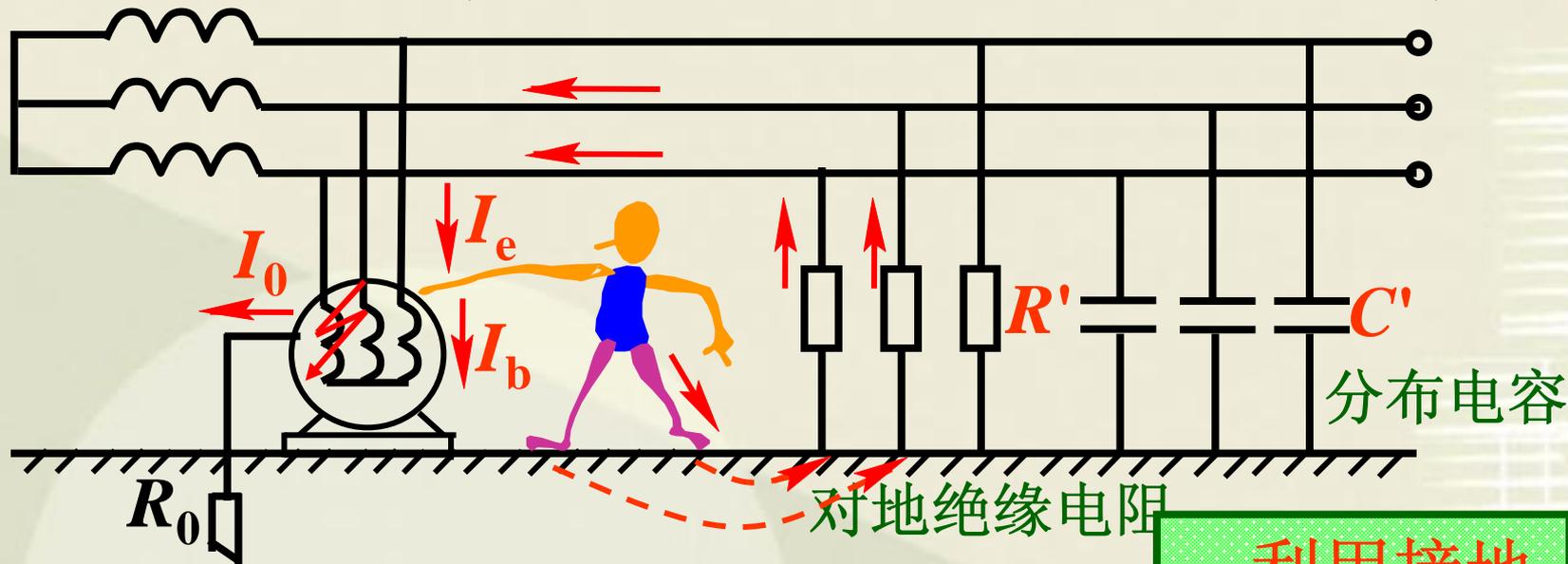
## 2. 保护接地

### 电气设备外壳未装保护接地时



当电气设备内部绝缘损坏发生一相碰壳时：由于外壳带电，当人触及外壳，接地电流  $I_e$  将经过人体入地后，再经其它两相对地绝缘电阻  $R'$  及分布电容  $C'$  回到电源。当  $R'$  值较低、 $C'$  较大时， $I_b$  将达到或超过危险值。

**保护接地：**将电气设备的金属外壳(正常情况下是不带电的)接地。(用于中性点不接地的低压系统)



电气设备外壳有保护接地时

通过人体的电流：
$$I_b = I_e \frac{R_0}{R_0 + R_b}$$

$R_b$ 与 $R_0$ 并联，且 $R_b \gg R_0$

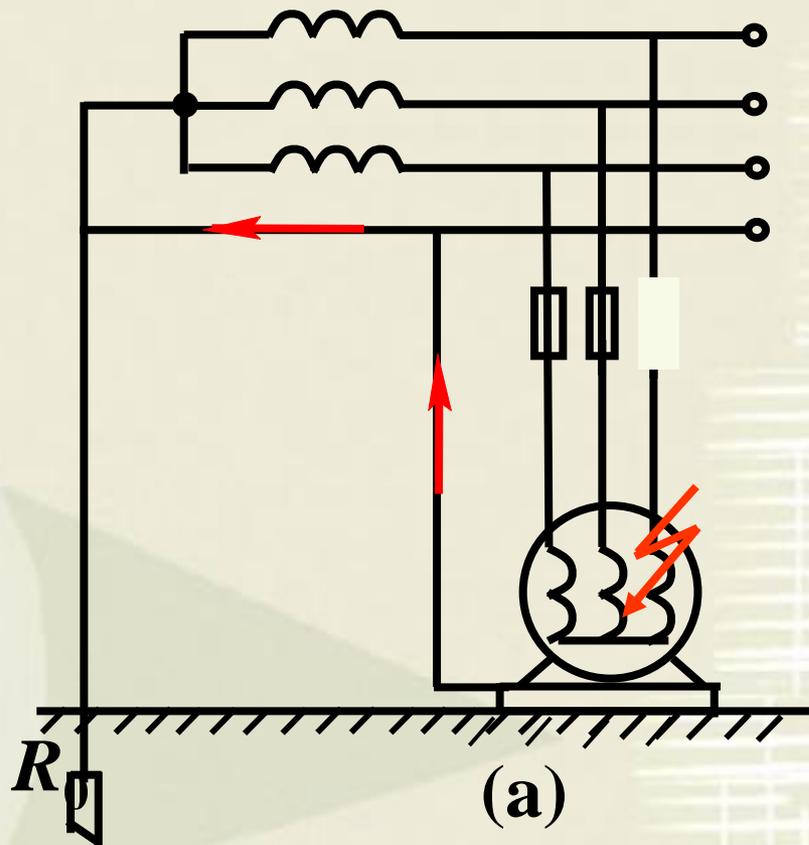
∴通过人体的电流可减小到安全值以内。

利用接地装置的分流作用来减少通过人体的电流。

## 保护接零（用于 380V / 220V 三相四线制系统）

将电气设备的外壳可靠地接到零线上。

当电气设备绝缘损坏造成一相碰壳，该相电源短路，其短路电流使保护设备动作，将故障设备从电源切除，防止人身触电。



把电源碰壳，变成单相短路，使保护设备能迅速可靠地动作，切断电源。

## 注：中性点接地系统

- (1) 不允许采用保护接地，只能采用保护接零；
- (2) 不准保护接地和保护接零同时使用。

保护接地和保护接零同时使用时

当A相绝缘损坏碰壳时，

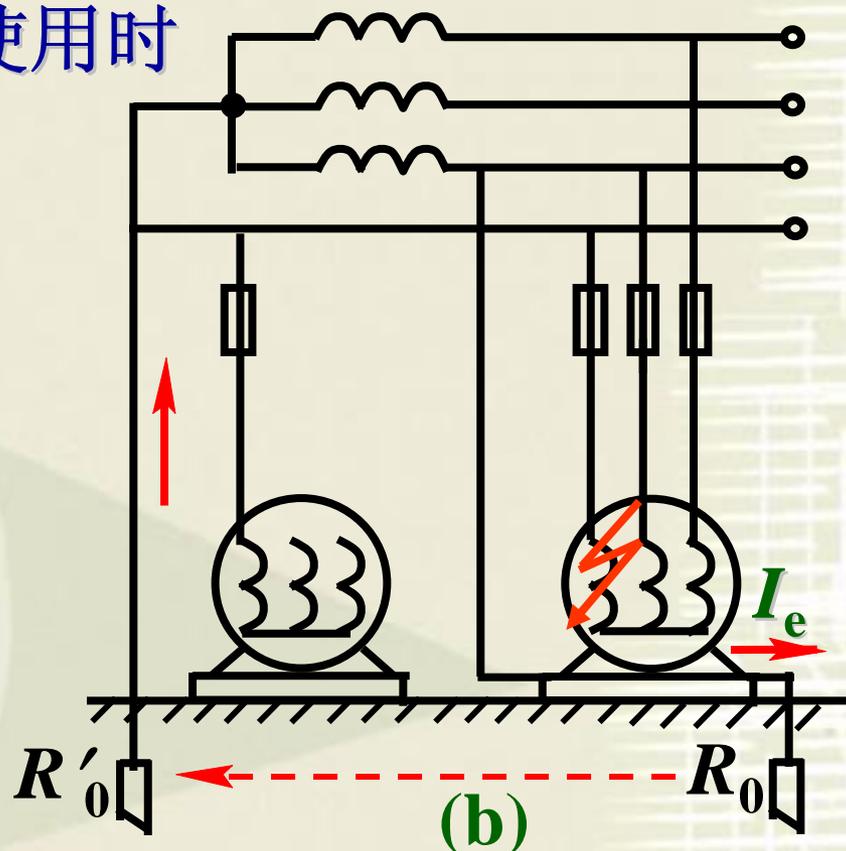
接地电流

$$I_e = \frac{U_P}{R_0 + R'_0}$$

式中： $R_0$ ：保护接地电阻 $4\Omega$

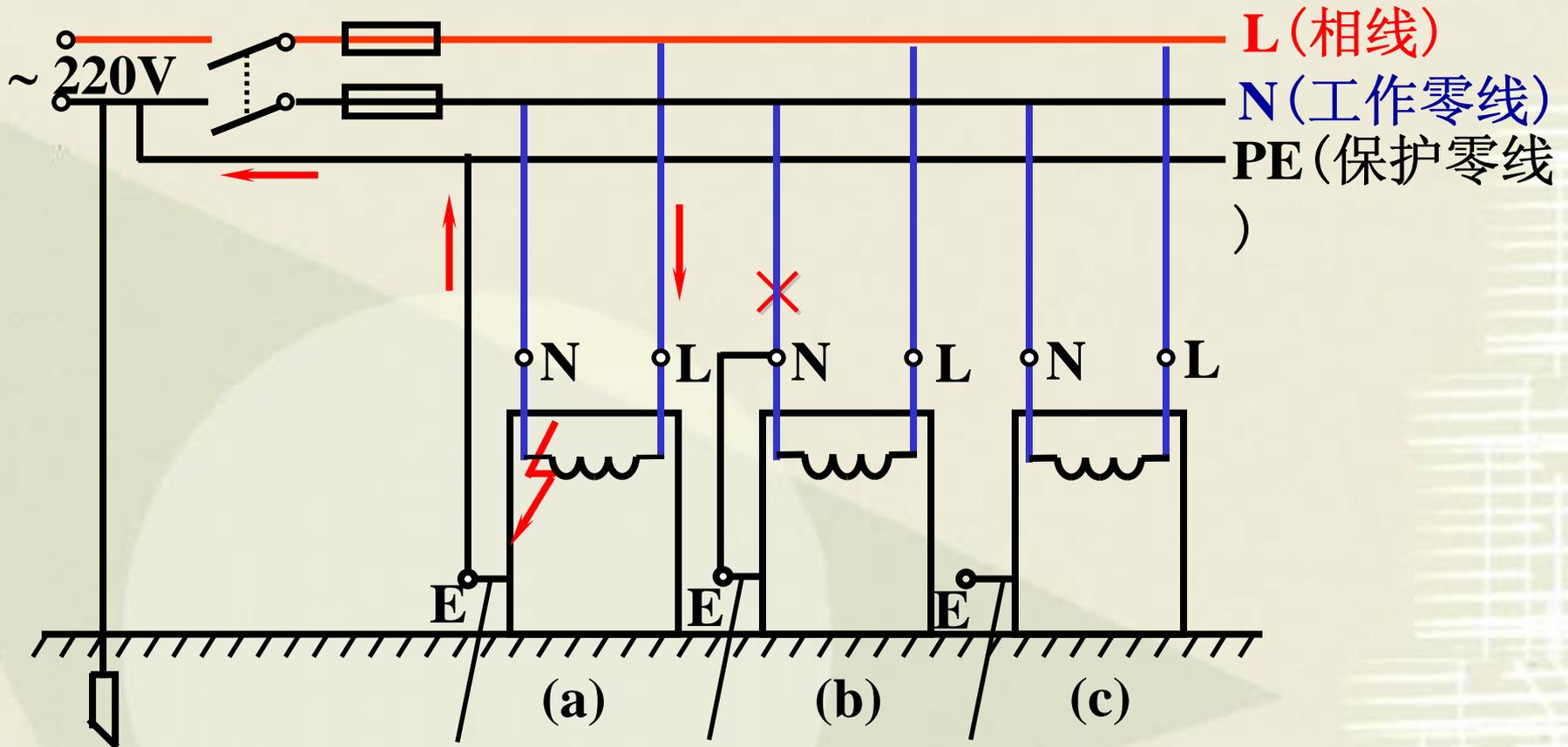
$R'_0$ ：工作接地电阻 $4\Omega$

$$I_e = \frac{220}{4 + 4} = 27.5A$$



此电流不足以使大容量的保护装置动作，而使设备外壳长期带电，其对地电压为110V。

## 工作零线与保护零线



接零正确 接零不正确 忽视接零

为了确保设备外壳对地电压为零, 专设**保护零线 PE**。