

第4章 供电与用电

4.1 三相电源

4.2 三相负载

4.3 三相功率

* 4.4 电力系统

4.5 触电事故

4.6 触电防护

4.7 静电防护

4.8 电器防火和防爆

4.9 应用实例

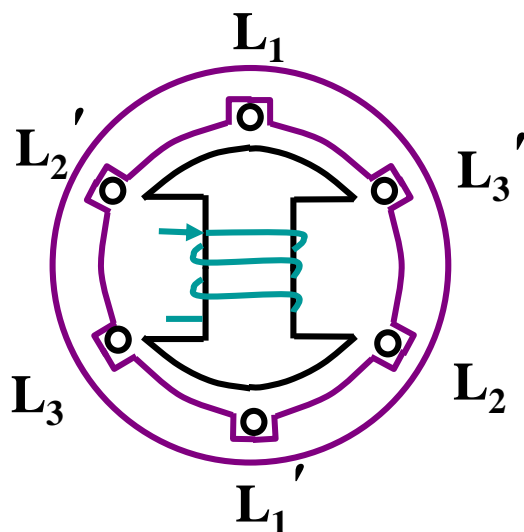
- **三相交流电路**
 - ◆ 由三相交流电源供电的电路。
 - ◆ 电力系统目前普遍采用三相交流电源供电。
- **三相交流电的优点**
 - ◆ 三相交流发电机体积小、重量轻、成本低。
 - ◆ 节省输电线金属的消耗量，输电成本较低。
 - ◆ 应用广泛的三相异步电动机结构简单、价格低廉、性能良好和使用维护方便。



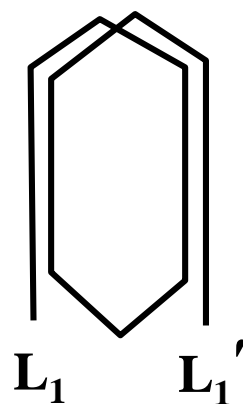
4.1 三相电源

一、三相交流电的产生

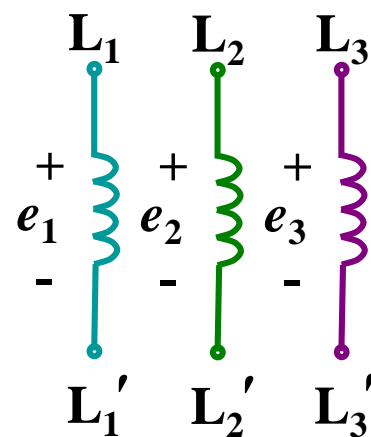
三相交流发电机由三个对称的绕组组成，在空间上彼此相差 120° ，它们的始端记为 L_1 、 L_2 、 L_3 ，末端记为 L_1' 、 L_2' 、 L_3' 。



(a) 结构



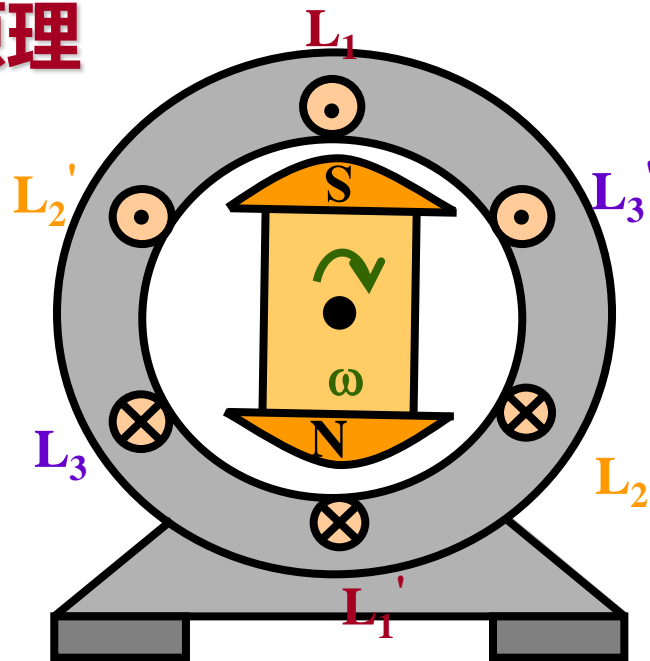
(b) 绕组



(c) 三相电动势

1. 三相交流电动势产生原理

- 分类磁极放在转子上，转子由原动机拖动作匀速转动。
- 定子三相绕组切割转子磁场而感应出三相交流电动势。

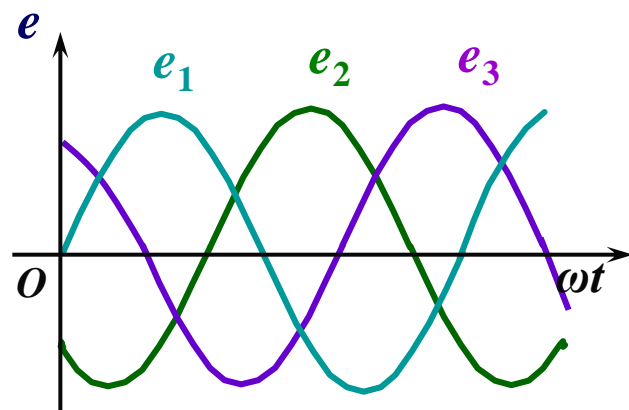


2. 三相交流电动势的特点

- 幅值相等
- 频率相同
- 相位差 = 120°



3. 三相交流电动势的表达式

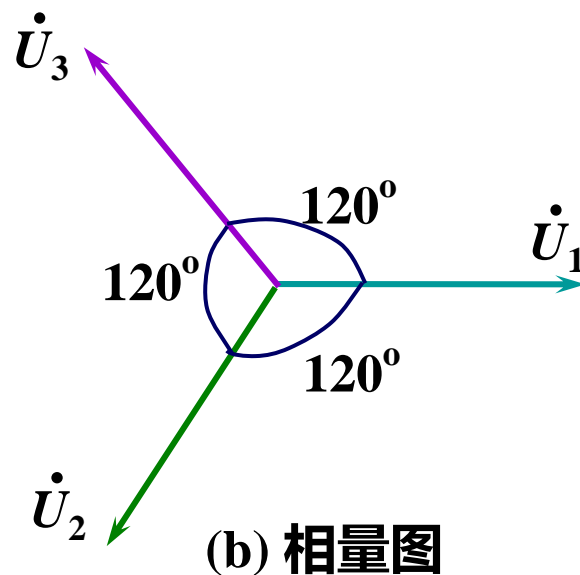


(a) 波形图

$$e_1 = E_m \sin \omega t$$

$$e_2 = E_m \sin (\omega t - 120^\circ)$$

$$\begin{aligned} e_3 &= E_m \sin (\omega t - 240^\circ) \\ &= E_m \sin (\omega t + 120^\circ) \end{aligned}$$



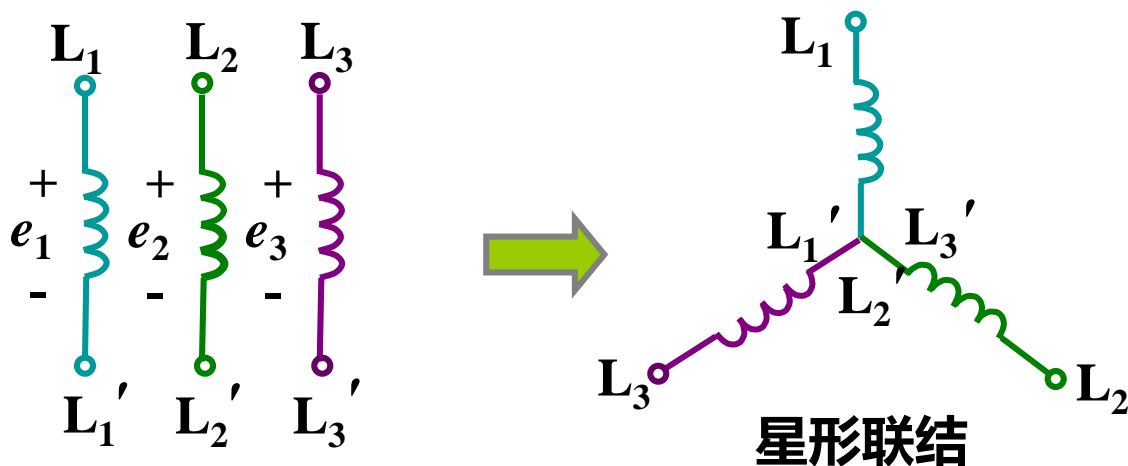
(b) 相量图

$$\dot{E}_1 = E \angle 0^\circ$$

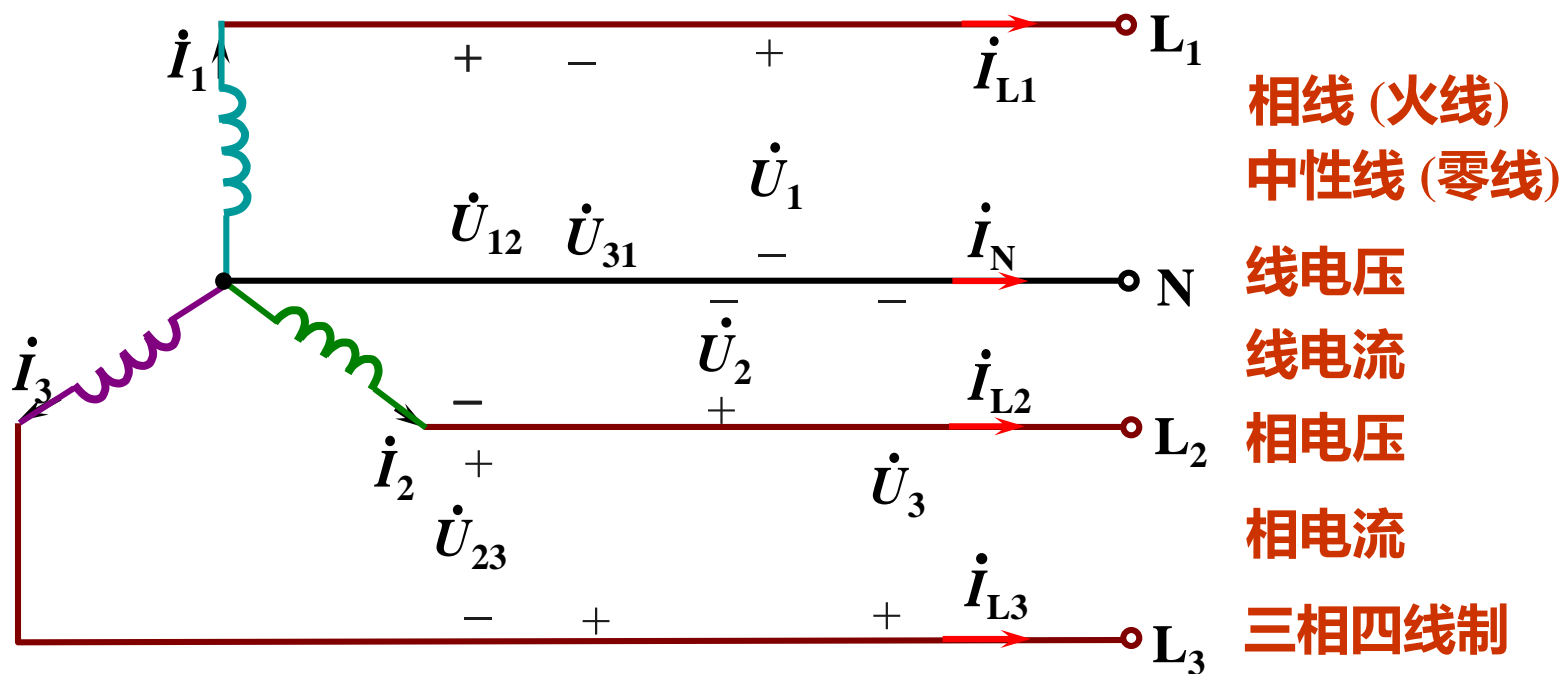
$$\dot{E}_2 = E \angle -120^\circ$$

$$\dot{E}_2 = E \angle 120^\circ$$

二、三相电源的星形联结



- 发电机三相绕组通常将三个末端接在一起。
- 三个绕组末端的连接点称为**中性点** (N)。
- 三个首端 L_1 、 L_2 、 L_3 称为**端点**。
- 由中性点N引出的供电线称为**中性线**或**零线**。
- 由三个首端引出的供电线称为**相线**或**火线**。

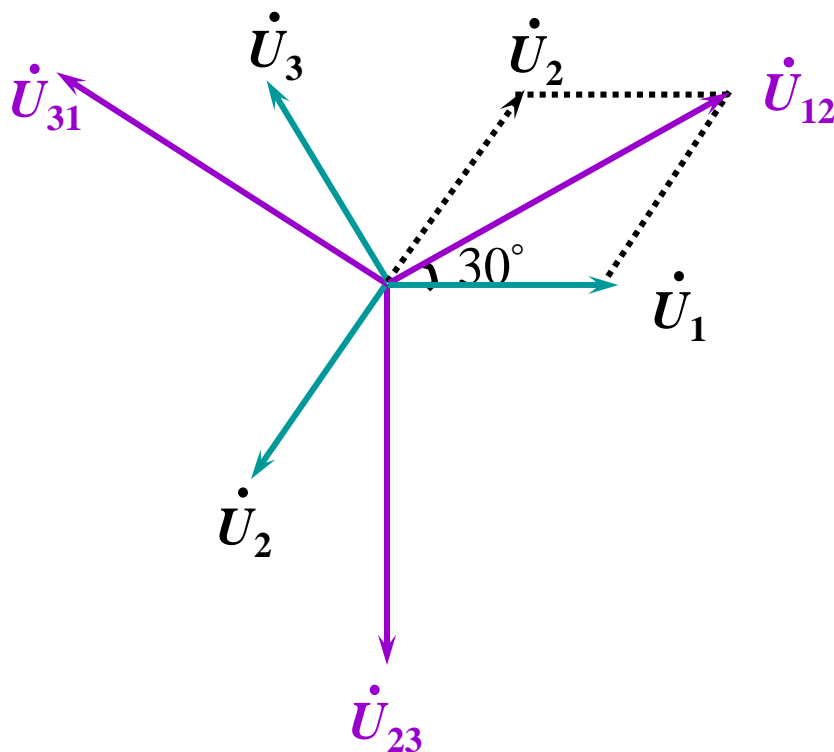


1. 线电流与相电流的有效值关系

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_{L1} \quad \dot{I}_2 = \dot{I}_{L2} \quad \dot{I}_3 = \dot{I}_{L3} \quad I_L = I_P$$

2. 线电压与相电压的有效值关系

$$\dot{U}_{12} \neq \dot{U}_1 \quad \dot{U}_{23} \neq \dot{U}_2 \quad \dot{U}_{31} \neq \dot{U}_3$$



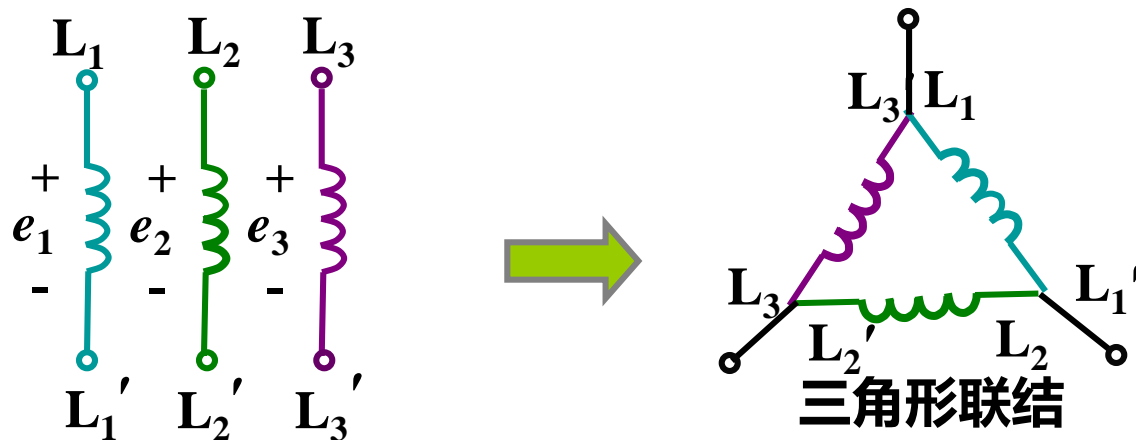
$$\dot{U}_{12} = \sqrt{3} \dot{U}_1 \angle 30^\circ$$

$$\dot{U}_{23} = \sqrt{3} \dot{U}_2 \angle 30^\circ$$

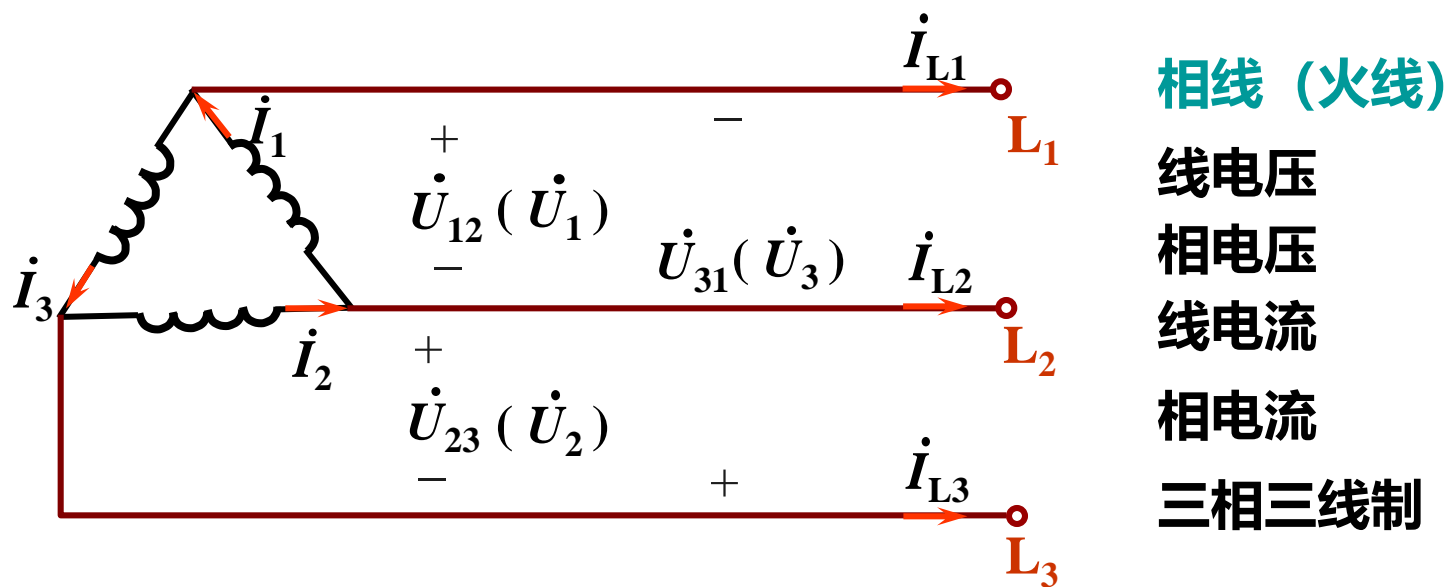
$$\dot{U}_{31} = \sqrt{3} \dot{U}_3 \angle 30^\circ$$



三、三相电源的三角形联结



- 将三相电源中每相绕组的首端依次与另一相绕组的末端连接在一起，形成闭合回路。



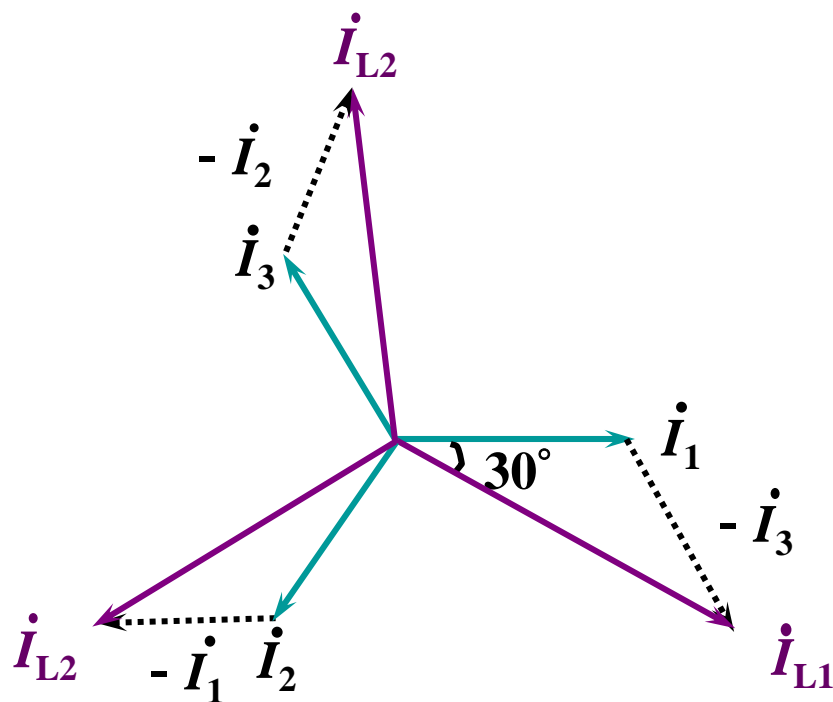
1. 线电压与相电压的有效值关系

$$\dot{U}_{12} = \dot{U}_1 \quad \dot{U}_{23} = \dot{U}_2 \quad \dot{U}_{31} = \dot{U}_3$$

$$U_L = U_P$$

2. 线电流与相电流的有效值关系

$$\dot{I}_{L1} = \dot{I}_1 - \dot{I}_3 \quad \dot{I}_{L2} = \dot{I}_2 - \dot{I}_1 \quad \dot{I}_{L3} = \dot{I}_3 - \dot{I}_2$$



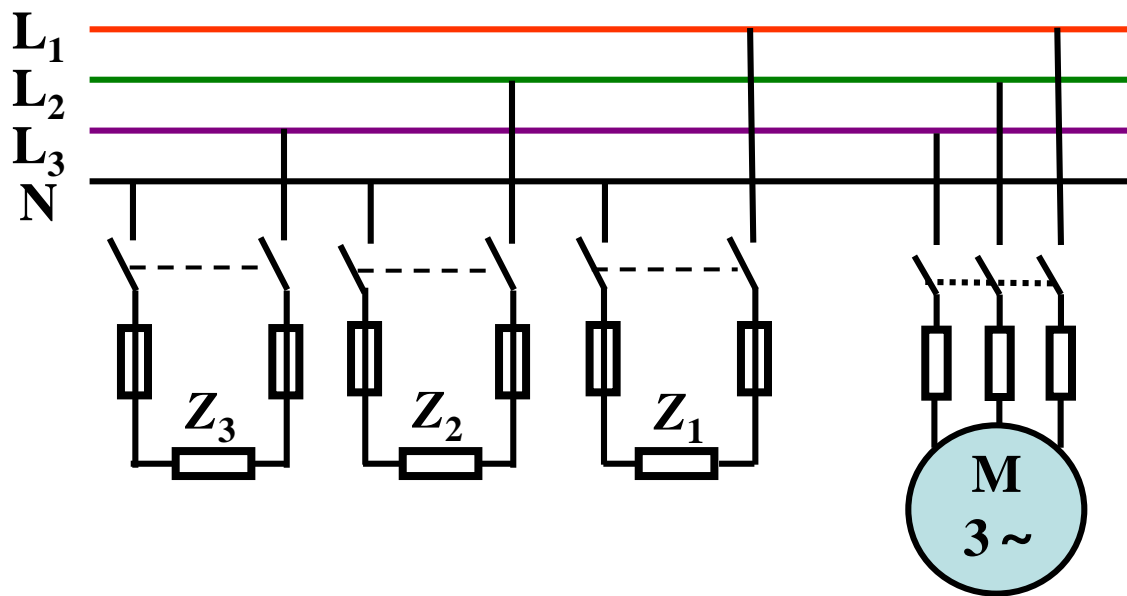
$$\dot{i}_{L1} = \sqrt{3} \dot{i}_1 \angle -30^\circ$$

$$\dot{i}_{L2} = \sqrt{3} \dot{i}_2 \angle -30^\circ$$

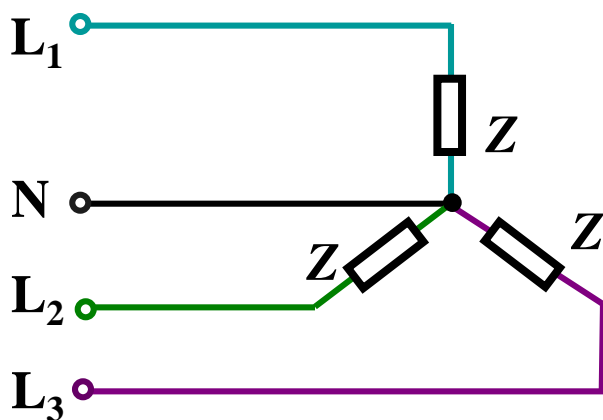
$$\dot{i}_{L3} = \sqrt{3} \dot{i}_3 \angle -30^\circ$$

4.2 三相负载

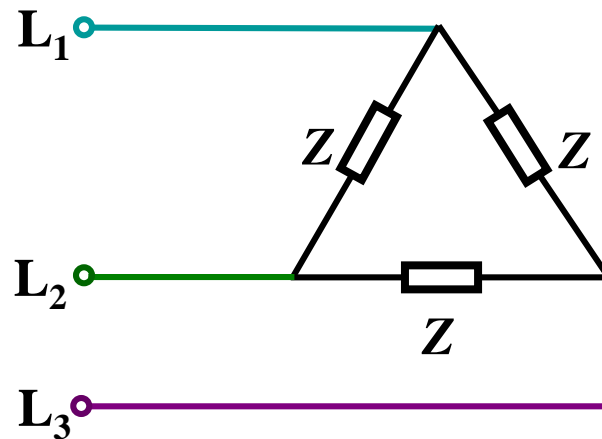
- **三相负载:** 由三相电源供电的负载。
- **三相对称负载:** 三相阻抗相等的三相负载。
- **三相不对称负载:** 使用时平均分配到三个相上。



● 三相负载也有两种接法:



星形联结

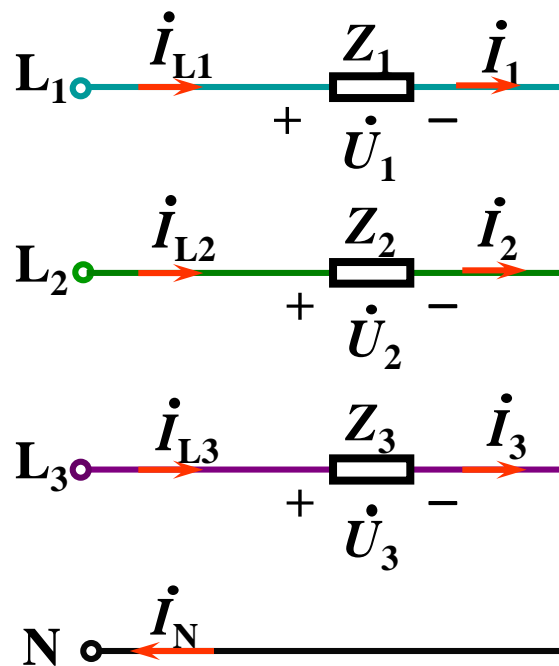
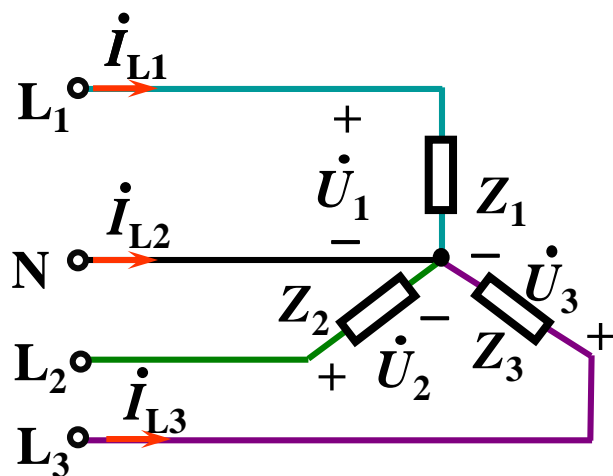


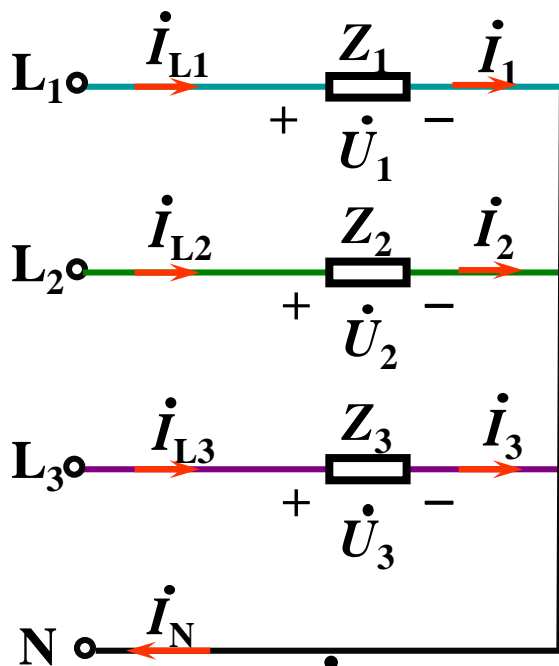
三角形联结

- 具体采用何种接法，应根据电源电压和负载额定电压的大小来决定。
- 原则上应使负载的实际电压等于其额定相电压。

一、三相负载的星形联结

- 三相负载的三个末端连接在一起，接到电源的中性线上。
- 三相负载的三个首端分别接到电源的三根相线上。

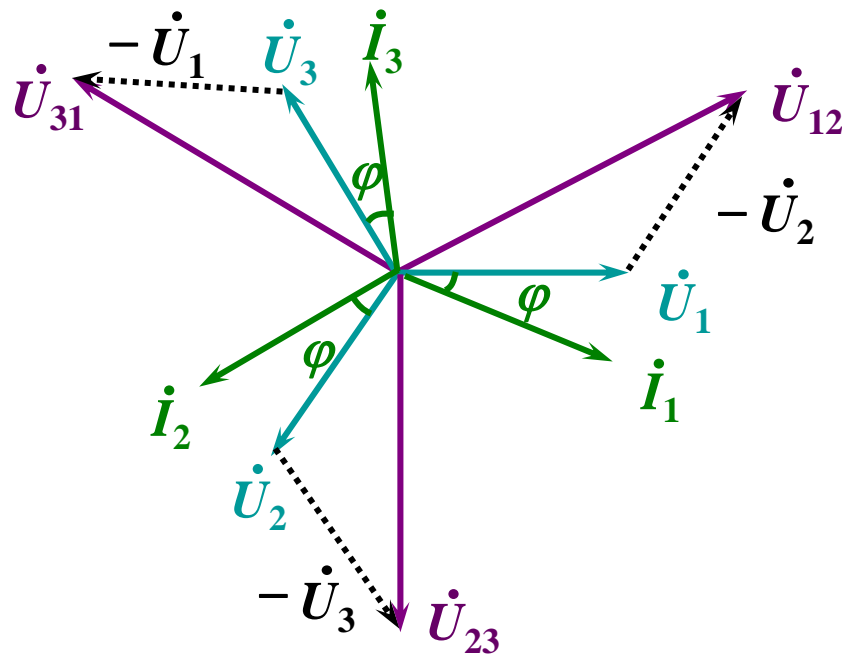




$$i_1 = \frac{\dot{U}_1}{Z_1}$$

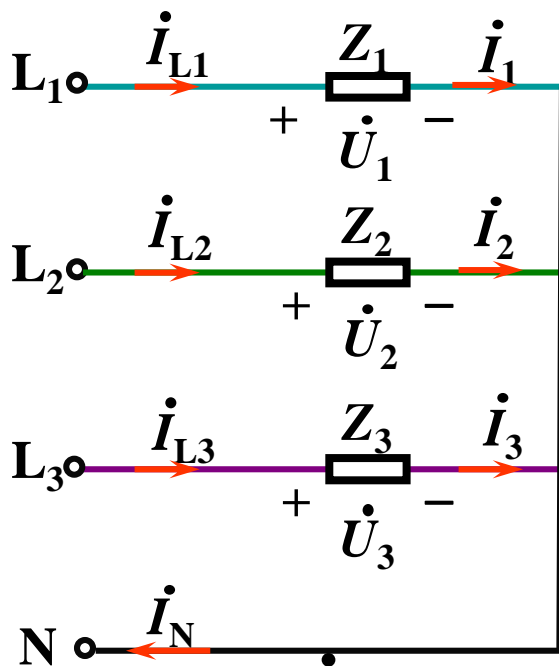
$$i_1 = \frac{\dot{U}_1}{Z_1}$$

$$i_1 = \frac{\dot{U}_1}{Z_1}$$



$$i_N = i_1 + i_2 + i_3 = i_{L1} + i_{L2} + i_{L3}$$

如果负载对称, 阻抗 $Z_1 = Z_2 = Z_3$ 。则为**对称三相电路**。



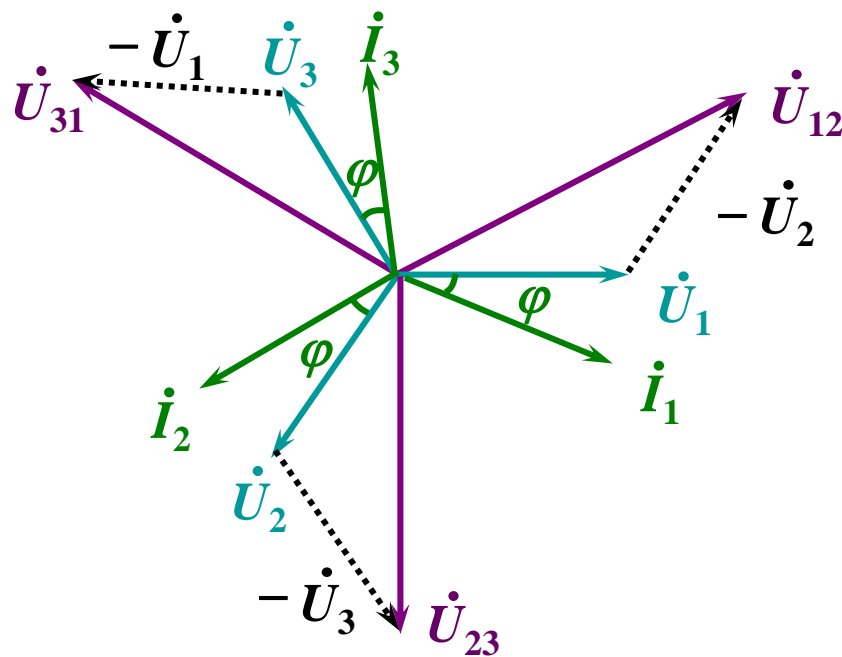
$$\dot{i}_1 = \frac{\dot{U}_1}{Z_1}$$

$$\dot{i}_1 = \frac{\dot{U}_1}{Z_1}$$

$$\dot{i}_1 = \frac{\dot{U}_1}{Z_1}$$

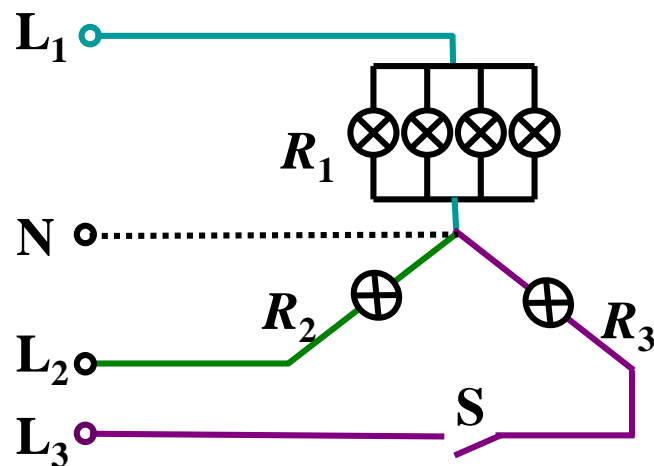
$$\begin{aligned}\dot{i}_N &= \dot{i}_1 + \dot{i}_2 + \dot{i}_3 \\ &= \dot{i}_{L1} + \dot{i}_{L2} + \dot{i}_{L3}\end{aligned}$$

如果负载对称，阻抗
 $Z_1 = Z_2 = Z_3$ 。则为**对称三相电路**。



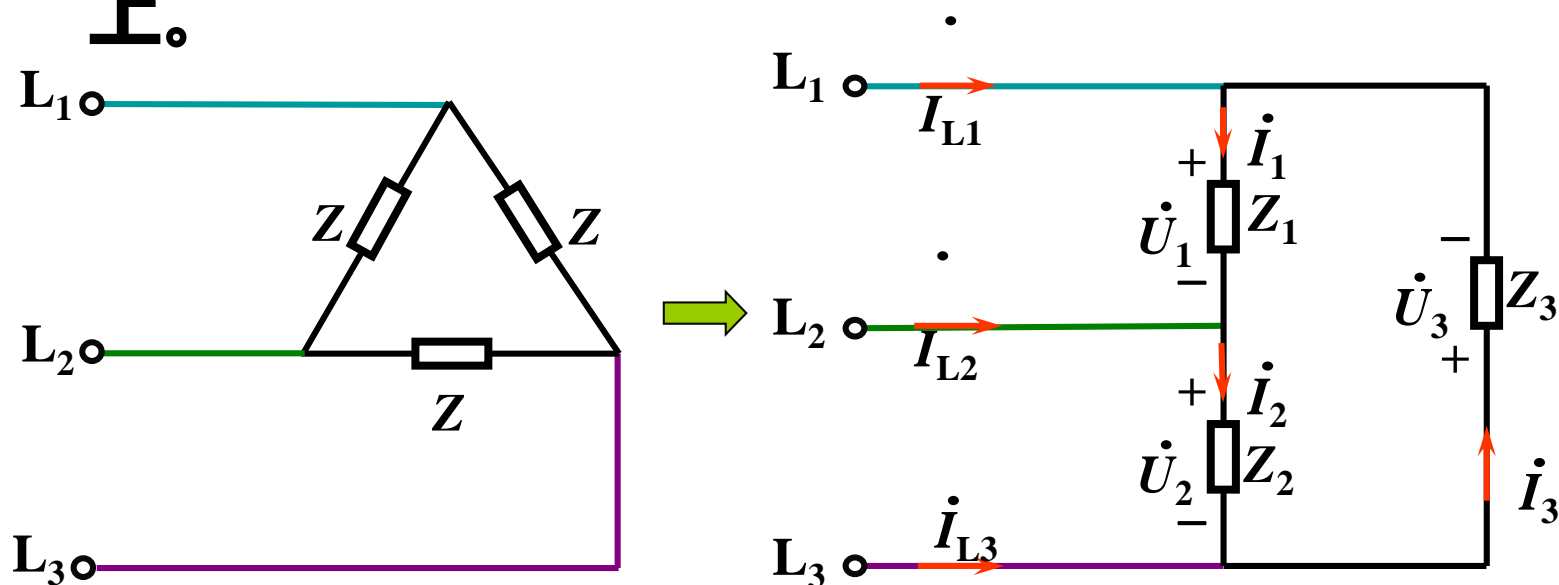
三相负载不对称而又没有中性线时，三相负载的相电压不会对称，导致有的相电压超过负载的额定相电压，有的低于额定相电压，致使负载不能正常工作，甚至损坏。

因此，在三相四相制电路中，中性线不允许断开，也不允许安装熔断器等短路或过电流保护装置。



二、三相负载的三角形联结

- 每相负载的首端都依次与另一相负载的末端连在一起，形成闭合回路。
- 将三个连接点分别接到三个电源的三根相线上。



- 三相负载的三角形联结只能是三相三线制。

● 对于三相对称负载:

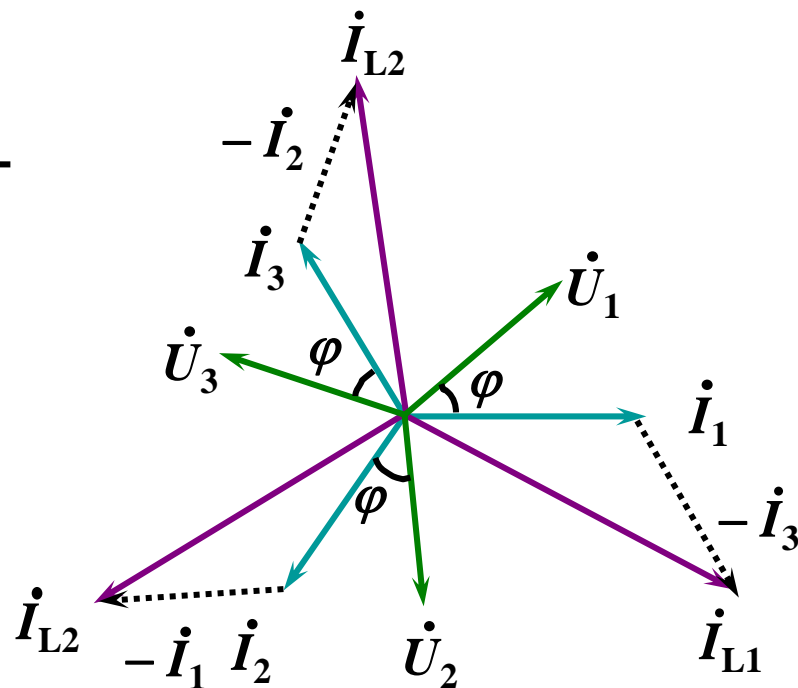
$$Z_1 = Z_2 = Z_3 = |Z| \angle \varphi$$

$$\dot{I}_{L1} = \sqrt{3} \dot{I}_1 \angle -30^\circ$$

$$\dot{I}_{L2} = \sqrt{3} \dot{I}_2 \angle -30^\circ$$

$$\dot{I}_{L3} = \sqrt{3} \dot{I}_3 \angle -30^\circ$$

$$I_L = \sqrt{3} I_P$$



[例4.2.1] 有一电源为星形联结，而负载为三角形联结的对称三相电路，已知电源相电压 $U_{\text{PS}} = 220 \text{ V}$ ，负载每相阻抗 $|Z| = 10 \Omega$ 。试求负载的相电流和线电流以及电源的线电流和相电流的有效值。

[解] 由于电源为星形联结，故电源线电压

$$U_{\text{LS}} = \sqrt{3}U_{\text{PS}} = 1.73 \times 220 \text{ V} = 380 \text{ V}$$

忽略供电线路的阻抗，则负载线电压

$$U_{\text{LL}} = U_{\text{LS}} = 380 \text{ V}$$

负载为三角形联结，则负载相电压

$$U_{\text{PL}} = U_{\text{LL}} = 380 \text{ V}$$

负载相电流 $I_{\text{PL}} = \frac{U_{\text{PL}}}{|Z|} = \frac{380}{10} \text{ A} = 38 \text{ A}$

负载为三角形联结，故负载线电流

$$I_{\text{LL}} = \sqrt{3}I_{\text{PL}} = 1.73 \times 38 \text{ A} = 66 \text{ A}$$

电源只向一组三相负载供电，故电源线电流

$$I_{LS} = I_{LL} = 66 \text{ A}$$

电源为星形联结，故电源相电流

$$I_{PS} = I_{LS} = 66 \text{ A}$$



4.3 三相功率

一、三相功率的计算

三相总有功功率

$$P = P_1 + P_2 + P_3$$

三相总无功功率

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

三相总视在功率

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

● 三相对称负载功率表达式

* 相电压、相电流：

$$P = 3 U_P I_P \cos \varphi$$

$$Q = 3 U_P I_P \sin \varphi$$

$$S = 3 U_P I_P$$

* 线电压、线电流：

$$P = \sqrt{3} U_L I_L \cos \varphi$$

$$Q = \sqrt{3} U_L I_L \sin \varphi$$

$$S = \sqrt{3} U_L I_L$$



[例4.3.1] 电路中有两个负载，其中负载 2 为感性，
 负载 1: $U_N = 380 \text{ V}$, $P_1 = 75 \text{ kW}$, $\cos \varphi_1 = 1$, Y 形联结。
 负载 2: $U_N = 380 \text{ V}$, $P_2 = 36 \text{ kW}$, $\cos \varphi_2 = 0.8$, Δ 形联结。
 求: 电源提供的电流?

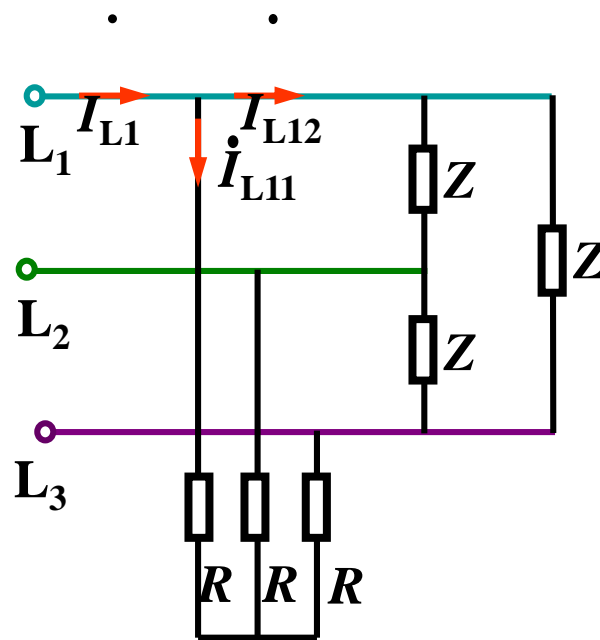
[解]

$$P = P_1 + P_2 = 111 \text{ kW}$$

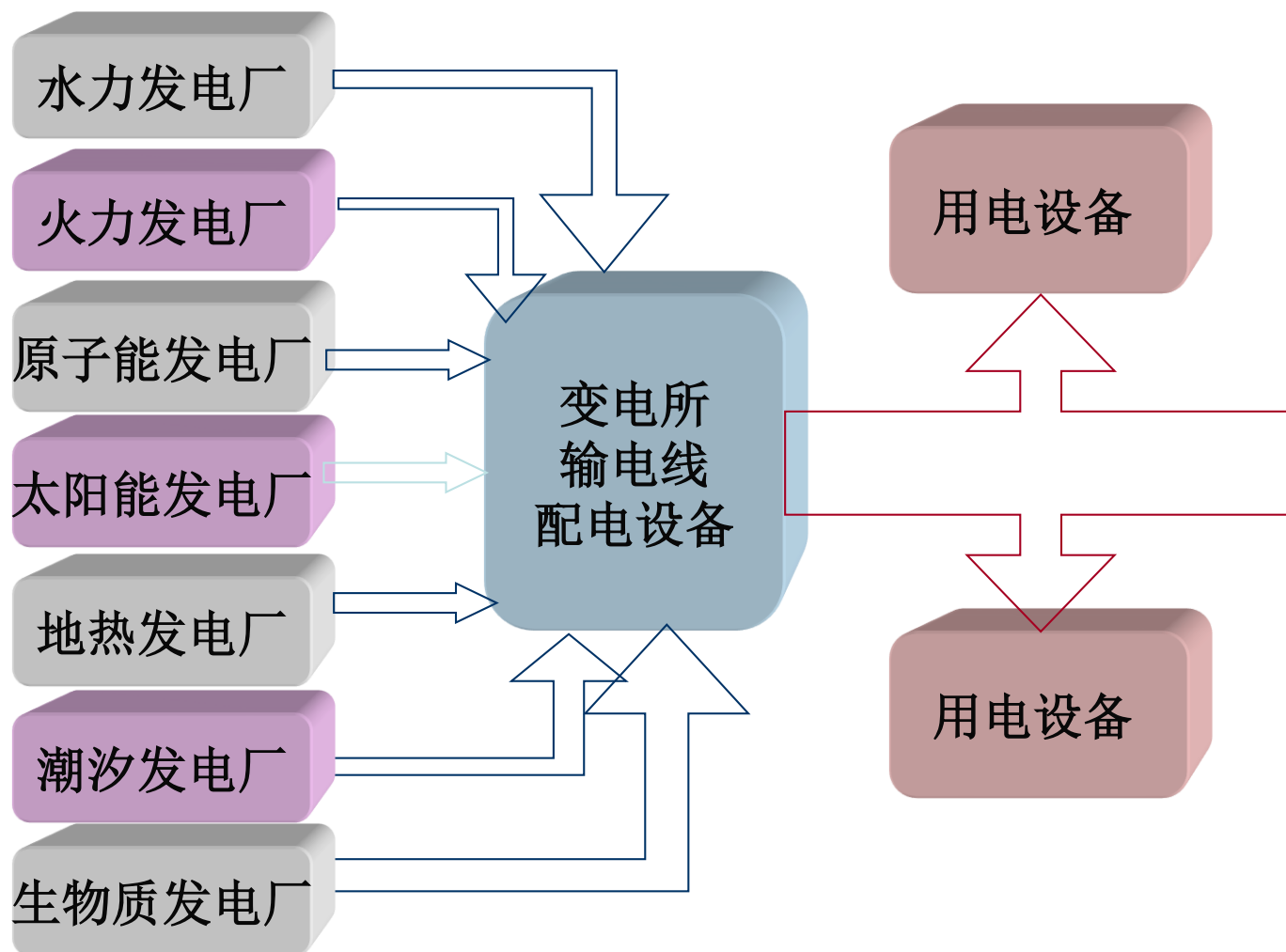
$$\begin{aligned} Q &= Q_1 + Q_2 \\ &= P_1 \tan \varphi_1 + P_2 \tan \varphi_2 \\ &= 27 \text{ kvar} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S &= \sqrt{P^2 + Q^2} \\ &= 114 \text{ kV} \cdot \text{A} \end{aligned}$$

$$I_1 = \frac{S}{\sqrt{3} U_1} = 173 \text{ A}$$



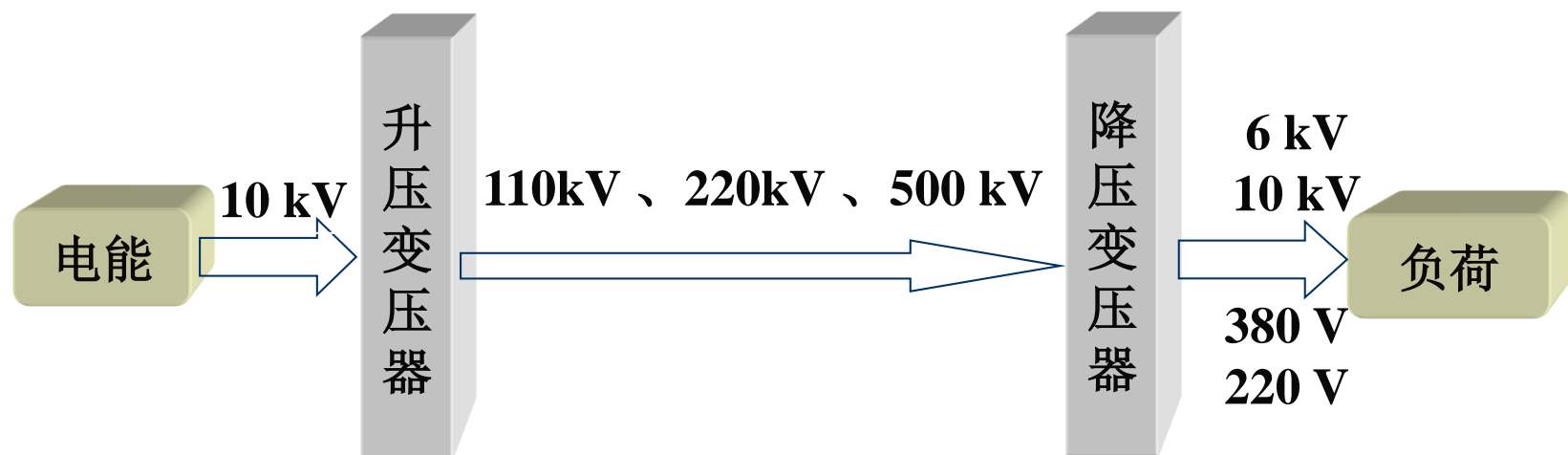
*4.4 电力系统



● 输电方式

交流输电：输电距离越远，输送功率越大，要求的输电电压就越高。

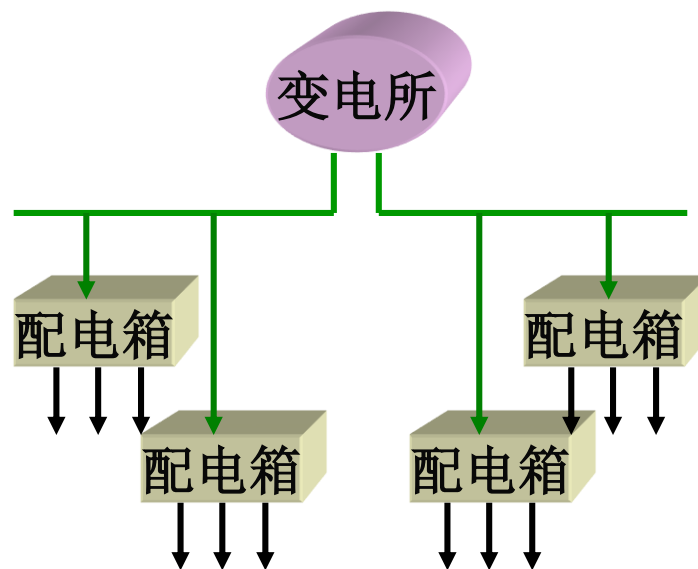
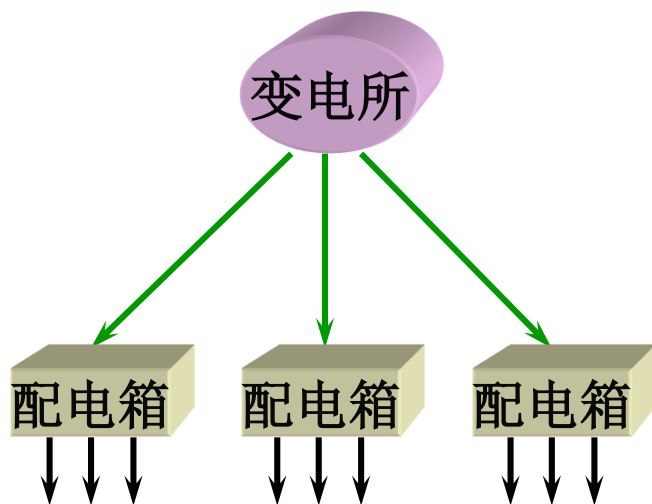
直流输电：输电线路的功率损耗小，电压降小，适用于大功率、长距离输电。



● 低压供电系统的接线方式

放射式：供电可靠性高，导线用量大，费用高。

树干式：适用于用电比较分散，每个节电的用电量较大，变电所又居于各用电点的中央时。



4.5 触电事故

一、电流对人体的危害

电流对人体组织的危害作用主要有以下几方面：

1. 生物性质的作用

——引起神经功能和肌肉功能紊乱

2. 化学性质的作用

——电解而破坏人体细胞

3. 热性质的作用

——灼伤、产生电烙印及皮肤金属化等

4. 机械性质的作用

——骨折、组织受伤等



按人体所受伤害方式的不同可分为

1. 电伤——人体**外表**的局部损伤
2. 电击——对人体**内部器官**的伤害

二、电击对人体的伤害程度与以下因素有关：

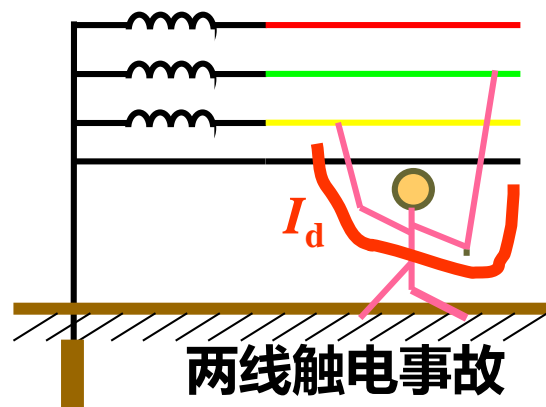
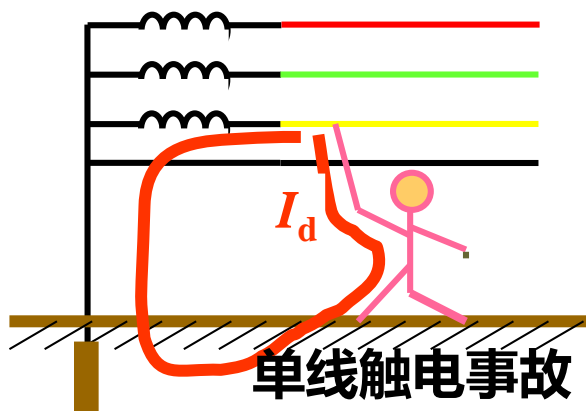
1. 通过人体电流的大小
2. 电流通过人体的途径
手—手、手—脚最为危险
3. 触电时间的长短
通过心脏的电流达到50 mA/s 即致人死地
4. 电流的频率
工频电流对人体的危害最大



三、触电事故

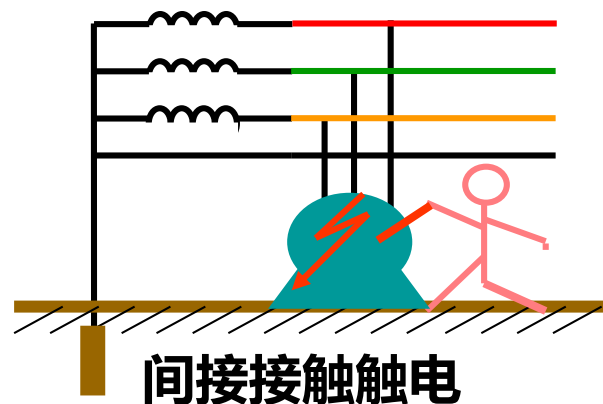
1. 直接接触电

单线触电事故
两线触电事故



2. 间接接触触电

人体接触到正常情况下不带电、仅在事故情况下才会带电的部分而发生的触电事故。



4.6 触电防护

一、安全电压

1. 通用接触电压极限：

- 常规环境：交流 50 V、直流 120 V
- 潮湿环境：交流 25 V、直流 60 V

2. GB规定的安全电压额定值为：

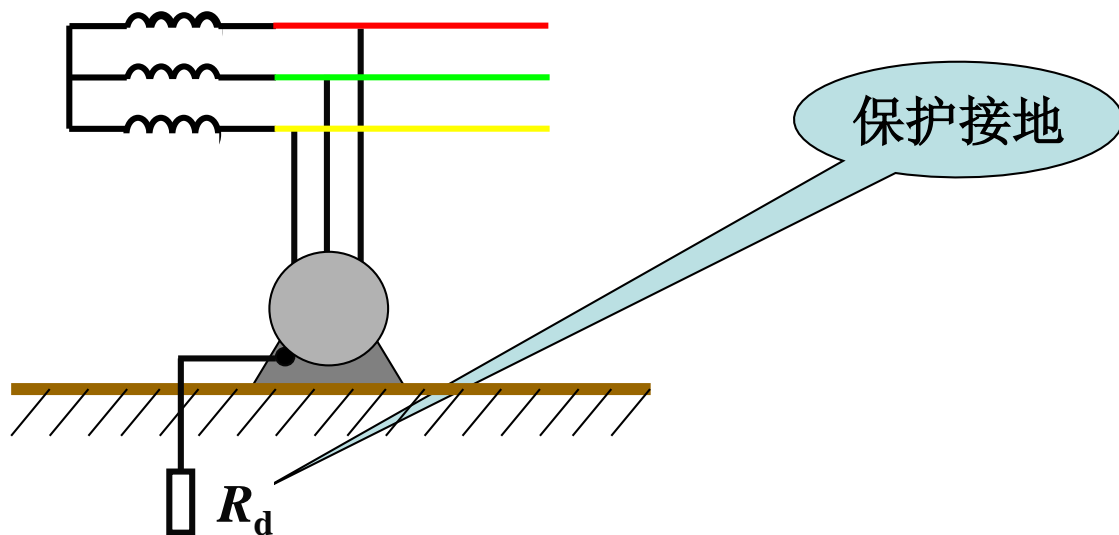
- 42 V、36 V、24 V、12 V、6 V
- 要求：独立的电源供电。



二、保护接地和保护接零

1. IT 系统

- 适用于**中性点不接地的三相三线制**供电系统。
- 将用电设备的金属外壳通过接地装置接地。
- IT 系统也称为保护接地。
- 接地装置的接地电阻一般不超过 $4\ \Omega$ 。



2. 保护接零 (TN系统)

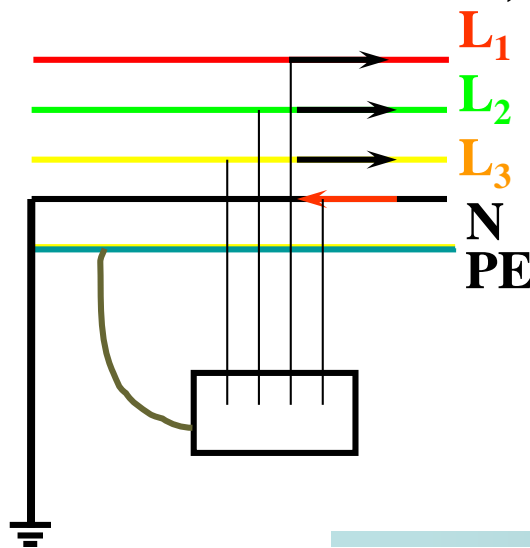
- 适用于**中性点接地的三相四线制**供电系统中的电气设备。

- **三相五线制**系统分为:

TN-C (PE 和 N 共用)

TN-S (PE 和 N 完全分开共用)

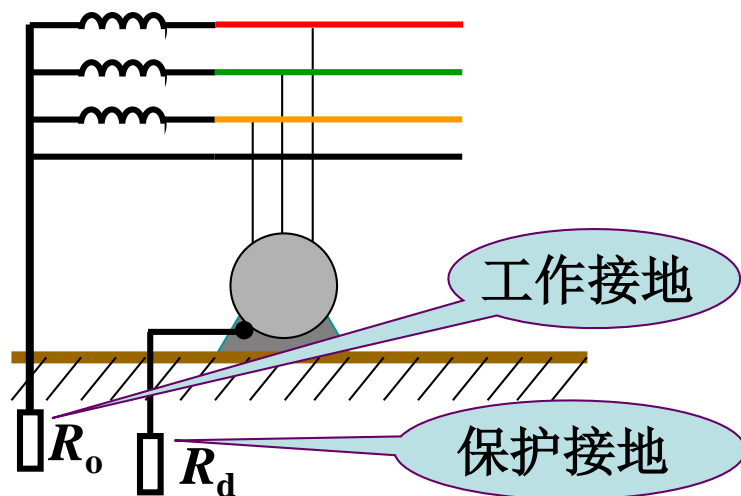
TN-C-S (PE 和 N 部分共用)



TN - S 系统

3. TT 系统

- 电源的中性点接地，而用电设备采用保护接地的系统。
- 采用TT系统供电的用电设备应采用漏电流动作保护装置（漏电开关）
- 同一供电系统中，TN 和 TT 两种系统不宜同时采用。



三、漏电开关

1. 作用:

主要用于**低压**供电系统, 当被保护的设备出现故障时, 故障电流作用于保护开关, 若该电流超过预定值, 则使开关自动断开, 以切断供电电路。

2. 漏电开关的选择

若用于保护人: 动作电流 30 mA 以下。漏电动作时间 0.1 s 以下。

若用于保护线路: 动作电流 30 ~ 100 mA 以下。漏电动作时间 0.2 ~ 0.4 s 以下。



4.7 静电防护

一、什么是静电

在宏观范围内暂时失去平衡的相对静止的正、负电荷。

二、静电的形成

摩擦起电、破断起电、感应起电。

三、静电的应用

静电除尘、静电复印、静电喷漆、静电选矿、静电植绒等。

四、静电的危害

影响生产、危及人身安全、引起火灾和爆炸。



五、静电的防护

1. 限制静电的产生
2. 防止静电的积累
3. 控制危险的环境



防静电手套



防静电鞋



防静电工具箱



防静电服装

4.8 电气防火和防爆

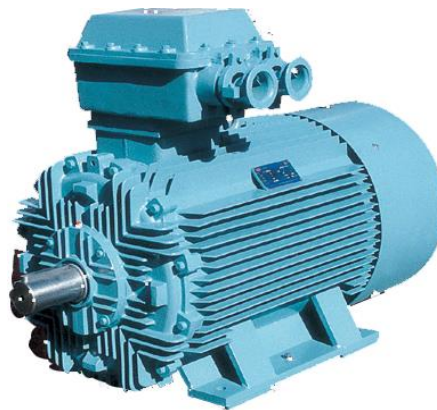
- **主要原因：**
 1. 电气设备使用不当
 2. 电气设备发生故障
- **预防措施：**
 1. 合理选用电气设备—防爆电器
 2. 保持电气设备正常运行
 3. 保持必要的安全距离
 4. 保持良好的通风
 5. 装备可靠的接地装置
 6. 采取完美的组织措施



● 防爆电器



防爆开关



防爆电机



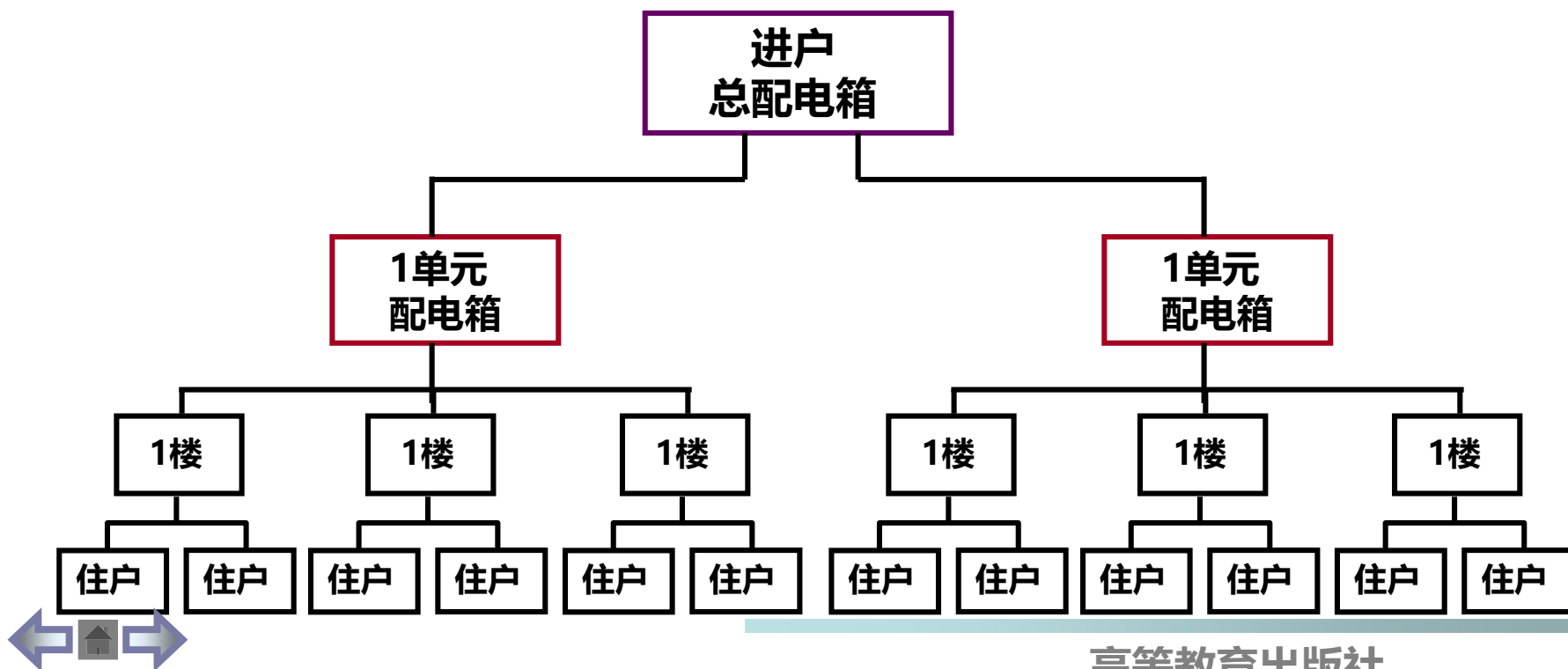
防爆灯



4.9 应用实例

一、住宅供电

住宅区通常是由变电站通过架空线供电。



- 从进户总配电箱至单元配电总箱采用放射式或树干式接线方式。
- 从单元配电总箱至各层电表箱采用树干式接线方式。
- 从楼层配电箱至用户配电箱，当线路电流 $\leq 60\text{A}$ 时，采用220V单相配电，当线路电流 $\geq 60\text{A}$ 时，采用220/380V三相四线制。
- 新建居民住宅则采用三相五线制配电。



二、电源插座和插头的使用

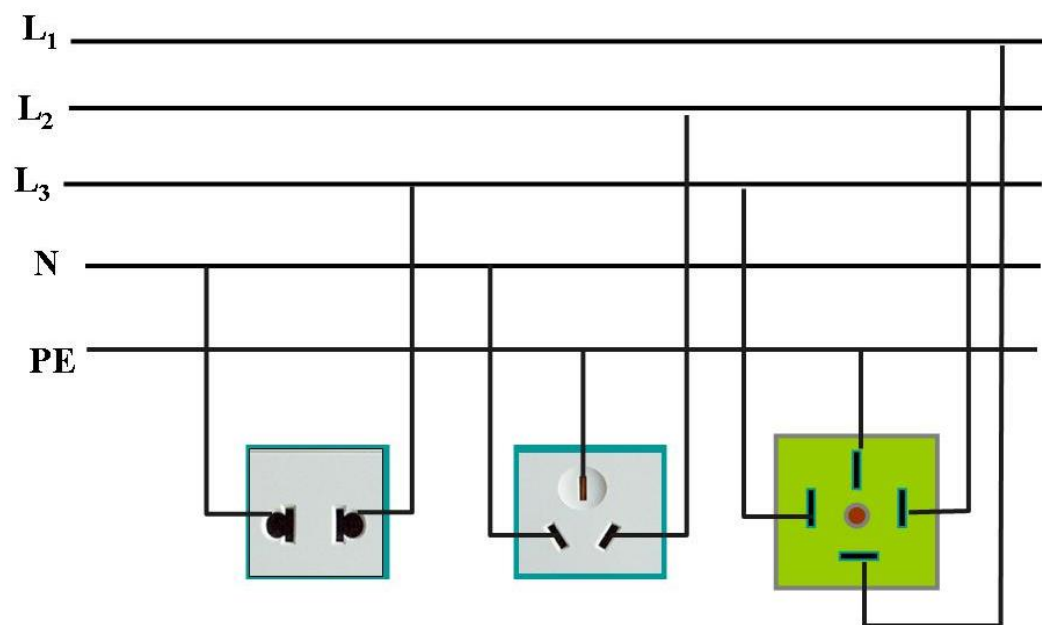
● 三芯电源插头

➤ 下面两个扁插较短，用来接交流电源用。

➤ 上面中间的扁插比较长，通常与家用电器的金属外壳相连，用来接保护零线PE用。



● 几种插座的接线图



第 4 章

结 束

[返回主页](#)

[上一章](#)

[下一章](#)