

建筑机械基础知识丛书

建筑机械常用电气设备

赵 连 玺



中国建筑工业出版社

建筑机械基础知识丛书

建筑机械常用电气设备

赵 连 玺

中国建筑工业出版社

本书是建筑机械基础知识丛书之一，书中全面、系统、通俗地讲述了交、直流系统建筑机械的电工基础知识、电气设备、电气设计、典型电路及其自动控制。其内容理论联系实际，既有构造、原理，又有使用维修；既有电路的分析，又有电路设计；既有常用的电气设备，又介绍了今后建筑机械电气传动的发展。

本书可作为建筑机械行业中从事电气工作的人员以及其它技术人员的自学读物，亦可作为建筑机械工人培训教材。

本书全部插图均由北京市第三住宅建筑工程公司工程师张亚倩同志绘制。

建筑机械基础知识丛书
建筑机械常用电气设备
赵连玺

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
中国建筑工业出版社印刷厂印刷(北京阜外南礼士路)

开本：787×1092毫米 1/32 印张：13 $\frac{3}{4}$ 插页：3 字数：300千字
1986年9月第一版 1986年9月第一次印刷
印数：1—11,800册 定价：2.20元
统一书号：15040·4971

出版说明

现代化建筑工程的施工，要求广泛采用各种类型建筑机械（包括机械化手工具）。施工机械化水平直接影响到工程质量和施工速度，对克服公害、扩大施工范围、降低工程成本和减轻劳动强度也有重要作用。为此，国内外建筑部门都在不断提高机械装备率，加强建筑机械的使用与管理工作。

为了适应建筑部门广大职工学习建筑机械基础知识的需要，我们组织编写这套《建筑机械基础知识丛书》。主要读者对象是具有初中以上文化水平的建筑机械工人、工程技术人员及有关管理干部。

这套丛书以建筑机械中使用最广泛、结构较复杂的挖掘机械、建筑用起重机械、铲土运输机械等为重点，介绍其工作原理、结构特征和简要的设计计算方法。

丛书计划先出以下九册：

1. 建筑机械概论
2. 建筑机械设计
3. 建筑机械底盘
4. 建筑机械工作装置
5. 建筑机械液压传动
6. 建筑机械液力传动
7. 建筑机械动力装置
8. 建筑机械常用电气设备
9. 建筑机械的现代化

目 录

第一章 建筑机械电气传动基本知识	1
第一节 建筑机械直流电路	1
第二节 建筑机械交流电路	6
第三节 交流电路的计算	11
第四节 建筑机械的磁路	15
第五节 变压器	22
第六节 建筑机械常用的电气测量仪表	27
第七节 电气传动系统的转矩与转速	39
第八节 电气传动系统稳定运行条件	47
第九节 电气传动系统的调速及指标	49
第二章 建筑机械常用的电动机	54
建筑机械用直流电机部分	54
第一节 直流电机概述	54
第二节 他励直流电动机的机械特性及其调速	63
第三节 他励直流电动机的起动与制动	69
第四节 其他直流电动机	76
建筑机械用交流电动机部分	79
第五节 交流电动机概述	79
第六节 三相异步电动机的绕组	88
第七节 三相异步电动机的机械特性	95
第八节 三相异步电动机的起动	100
第九节 三相异步电动机的调速与制动	110
第十节 其他电动机	118
第十一节 电动机的使用与维修	129

第十二节 电动机的选择	136
第三章 直流系统的建筑机械电气设备及其电路	154
第一节 直流系统建筑机械的电源	154
第二节 直流发电机的调节器	160
第三节 内燃机的起动机	163
第四节 照明、仪表及信号系统	169
第五节 直流系统建筑机械电路图	178
第四章 交流系统的建筑机械电气设备及其电路	189
第一节 开关设备	189
第二节 熔断器	197
第三节 接触器及其基本控制电路	202
第四节 继电器	219
第五节 控制器	226
第六节 主令电器	233
第七节 制动用电器设备	235
第五章 建筑机械的电气设计	242
第一节 建筑机械电气装置的设计原则和内容	242
第二节 电气传动方案及拖动电动机类型的确定	244
第三节 常用电气传动方案	248
第四节 电气控制系统的设计	261
第五节 电气设计的有关计算	268
第六节 电气设备的安装设计	280
第七节 建筑机械的电气安全保护	284
第六章 建筑机械的典型电路	290
第一节 红旗120拖拉机电路图	290
第二节 轮胎推土机电路图	290
第三节 WY160型挖掘机电路图	292
第四节 ZL50型装载机电路图	296
第五节 W100 $\frac{1}{2}$ 型挖掘机电路图	297

第六节	混凝土搅拌机的电气设备	300
第七节	QT1-6型塔式起重机电气系统	305
第八节	QL3-16型轮式起重机电气系统	314
第九节	W-4型挖掘机电路图	327
第十节	国外建筑机械电路	339
第七章	建筑机械的自动控制	343
第一节	晶体管无触点开关	343
第二节	可控硅及其应用	350
第三节	门电路及数字集成电路	365
第四节	集成运算放大器及应用	381
第五节	自动控制系统	390
第六节	传感器	398
附录		407

第一章 建筑机械电气传动基本知识

电气传动是指电动机通过传动系统，把动力传送给工作机构的全部系统，其中包括电动机电源及其控制系统以及传动机构中的制动系统等。电气传动系统中电动机是动力源，只要能有效控制住电动机就可达到控制工作机构的目的。为此本书将电动机及其控制系统作为论述的重点，而电气传动中传动机构等机械部分均不作介绍。

建筑机械电气传动系统多数采用交流电源，如塔式起重机等，本书称为建筑机械交流电气传动系统；有些建筑机械如推土机、铲运机及挖掘机等，用柴油发动机或汽油发动机作动力，只在机械的照明、信号及仪表等系统使用电源。由于这部分使用的电源多为直流电源，故称为建筑机械的直流供电系统。

第一节 建筑机械直流电路

一、直流电路的组成

建筑机械中的直流电路组成有各式各样，有的简单，有些较复杂，但不论多么复杂的电路，都是由电源、中间环节及负载三大部分组成，如图1-1所示。

图中电源是供应电能的装置， E 表示直流电源的电动势，建筑机械上的蓄电池、直流发电机、硅整流发电机等都是电源。电源的两端具有电位差，即电压 U ，当图中开关 K

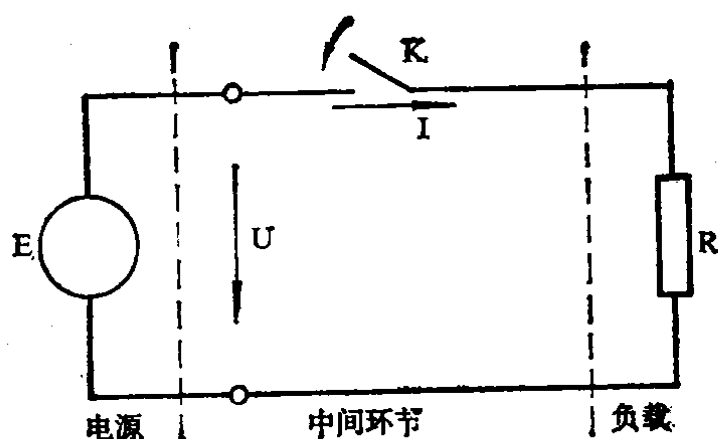


图 1-1 直流电路的组成

闭合时，电源向负载 R 供应电流 I ，电流 I 在负载 R 上做工。负载就是用电设备，如建筑机械上的电灯、电动机（俗称马达）、仪表及电喇叭等，它们把电能变为其他形式的能。中间环节部分是起传送、分配和控制电能作用的，如建筑机械上的开关、熔断器及导线等。

电源与负载之间通常需要两条导线连接，才能构成闭合回路，而建筑机械主体结构是钢铁材料，加上钢铁截面积大，电阻很小，是较好的导电材料，当以建筑机械的车体做为电源与负载之间的一条导线时，电源与负载之间只要再连接一条导线就可以构成闭合回路。由于直流电压低，很安全，所以目前建筑机械直流系统都采用这种供电方式，称为单线制直流供电系统，如图1-2所示。

这种供电系统中，电源的正、负两极中的一极要直接连在车身的钢结构上，俗称“搭铁”。图1-2属于负极搭铁，美国及西欧一些国家出产的建筑机械其直流供电系统多采用负极搭铁，而苏联及东欧一些国家则习惯上采用正极搭铁。同一台建筑机械上如果有两个以上直流电源时，如蓄电池和直

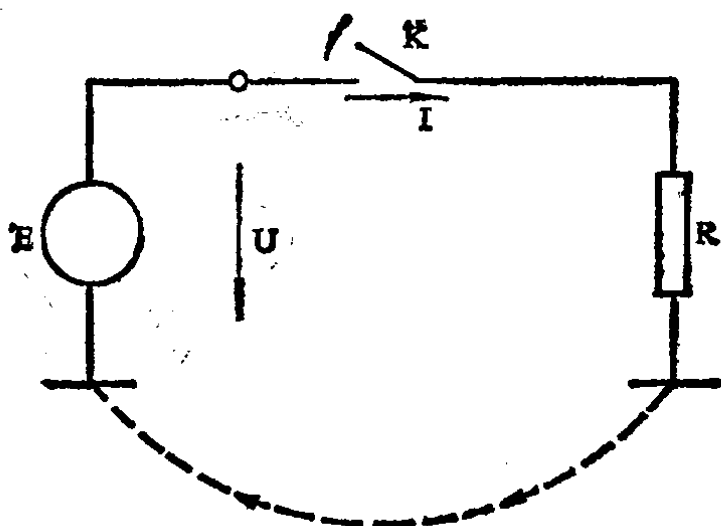


图 1-2 单线制直流供电系统

流发电机同时作为直流系统的电源，则搭铁的极性要一致。这种供电系统中负载的两端也要有一端搭铁，凡有极性的负载如直流电动机，其搭铁极性应与电源一致；没有极性的负载如电灯，其任意一端均可搭铁。

二、直流电路的计算

建筑机械上为选择合适的导线和保护设备等，常常要计算电流。在已知电源电压 U 和负载电阻 R 的情况下，其电流 I 可根据欧姆定律计算，即

$$I = \frac{U}{R} \quad (1-1)$$

如图 1-3 (a)、(b) 所示电路中，三个量中只要已知任意两个量，则另一个量均可按欧姆定律的规律计算出来。

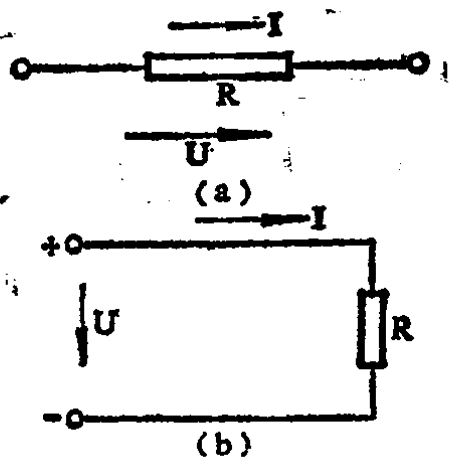


图 1-3 电压、电流及电阻关系
(a)画成一段电路的形式；(b)画成与电源相联接的形式

电压 U 和电流 I 的乘积在直流电路中称为功率，以 P 表示，即

$$P=UI=I^2R \quad (1-2)$$

当电压单位为伏特，电流单位为安培，或电阻单位为欧姆时，功率的单位为瓦特，以“W”表示。大的功率单位为千瓦(kW)或马力(HP)，其中 $1\text{kW}=1.36\text{HP}$ 。

功率与时间的乘积就是功，当功率单位为瓦特，时间单位为秒时，功的单位为焦耳；当功率单位为千瓦，时间单位为小时时，功的单位为千瓦·时(kW·h)，即“度”。一度电就是一千瓦·时。

三、电路的状态

电路通常有空载、负载及故障三种状态。

1. 电路的空载(开路)状态

也就是电源不接负载的状态，这时电路中无电流，因此电源内部没有电压降，电源端电压等于电源的电动势。利用这个道理可判断电源是否有故障。

2. 电路的负载状态

当电源与负载接通时，电源向负载输出电流，则称电路为负载状态。为了保证电源和负载都能正常工作，必须对有关电量进行限制，这些限制的数值统称为额定值。

电源的额定值，主要指额定电流 I_e 或 I_N 、额定电压 U_e 或 U_N 及额定功率 P_e 或 P_N (这些额定值都标注在电源设备上或电源的说明书中)。电源的额定电流是指电源在一定寿命的情况下，所能输出的最大电流值。当电路中的实际电流比额定电流小时，电源为欠载状态；当实际电流等于额定电流时，电源为满载状态；当实际电流超过额定电流时，电源为超载或过载状态，这时电源设备会出现过热现象，时间长则影响电

源的寿命。电源的额定电压表示能提供给负载的电压值。电源的额定功率表示电源的工作能力。

负载的额定值一般也包括上述各额定值，由于各额定值及负载参数都具有一定的关系，所以负载的额定值并不一定都标注出来，例如灯泡上只标注额定电压 U_e 和额定功率 P_e ；电阻器上只标注其阻值和额定功率。当需要其它额定值时，可根据公式1-1和公式1-2求出来。使用负载时，必须使负载两端的实际电压或电源端电压等于负载的额定电压，负载才能正常工作。当实际电压超过负载的额定电压时，不但会造成实际电流超过负载的额定电流，形成负载过分发热，还使负载的绝缘材料有击穿的可能。当实际电压低于负载额定电压时，则负载功率达不到负载的额定功率，例如灯变暗。

通常根据负载的额定电压和额定功率选用适当的电源；或者根据电源的额定电压和额定功率接入适当的负载。总之，必须保证负载与电源的额定电压要相等；电源的额定功率必须大于或等于负载的总功率。

3. 电路的故障状态

电路的故障包括断路、短路和过载、失压等，其中以短路故障危害较大。当电源两端或负载两端因某种原因相碰时，相当于负载电阻 R 等于零，这时整个电路中电阻很小，所以电流很大，称此电流为短路电流。短路电流能烧坏电源设备，也会烧坏接在电路中的一切仪表、电线。为了保护电源设备，通常在电路中串入熔断器，一旦发生短路，熔断器中熔丝被烧断，从而自动切断了电源，达到短路保护的目。

电路中选择合适的熔断器，不但能起短路保护作用，而且能起过载保护作用。

第二节 建筑机械交流电路

一、交流电源

建筑机械使用的交流电源为三相交流电源。它是由建筑机械上的三相交流发电机中发出的或直接从电网上提供的。

三相交流发电机具有三组完全相同的绕组，每个绕组都能发电，发出随时间按正弦规律变化的电动势，以 e 表示，如图1-4所示。

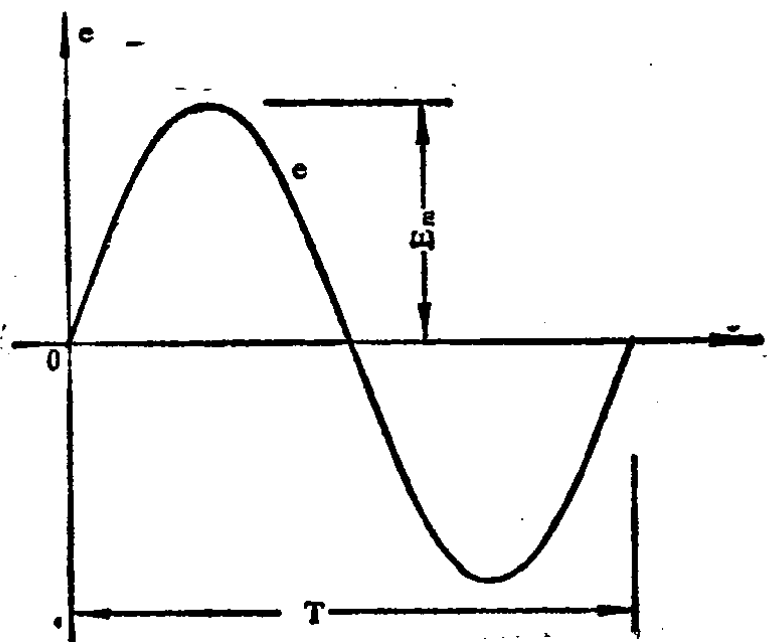


图 1-4 正弦交流电动势

因三个绕组完全一样，转速相同，所以每个绕组产生电动势的极大值相同，以 E_m 表示；三个电动势的变化周期相同，以 T 表示；只是因为三个绕组在空间位置互差 120° ，所以三个电动势在相位上互差 120° ，画在同一个座标轴上如图1-5 (a) 所示。为区别三个电动势，下标分别标以 A、B、

C。建筑机械上引出的三相有时用黄、绿、红三种颜色以示区别。

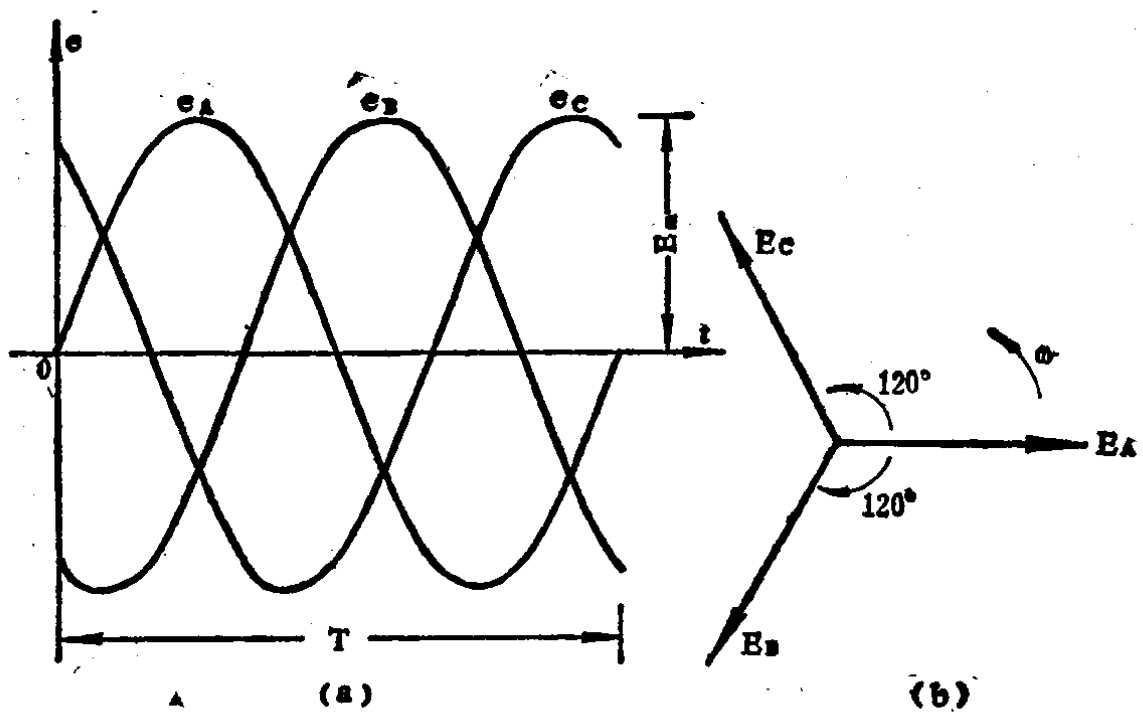


图 1-5 交流电的表示法

(a)按正弦规律变化的三相交流电动势；(b)三相交流电动势的旋转
矢量表示法

这种极大值相等，变化周期 T 或频率 f 相同，相位互差 120° 的三个正弦交流电动势总称三相对称交流电动势。有如此特点的三相电压或电流则称为三相对称交流电压或电流。统称为三相交流电。

三相交流电可以用正弦曲线表示，如图1-5（a）所示；可以用旋转矢量表示，如图1-5（b）所示；还可以用方程式表示，即

$$\left. \begin{aligned} e_A &= E_m \sin \omega t \\ e_B &= E_m \sin (\omega t - 120^\circ) \\ e_C &= E_m \sin (\omega t + 120^\circ) \end{aligned} \right\} \quad (1-3)$$

其中 ω 称为角速度, $\omega=2\pi/T=2\pi f$, f 是交流电的频率, 我国的频率为50周/秒(赫兹)。

交流电的三种表示方法中不论哪一种, 都可把交流电的三个基本要素极大值、频率和相位表示出来。

交流电的大小, 通常使用有效值这个物理量描述。所谓“有效”, 是指交流电与直流相比在同一时间内同一电阻上发热一样。例如某交流电流 $i=I_m\sin\omega t$ 和一个直流电流 I , 分别流过同一个电阻, 在相同时间内, 如果发热完全一样, 则 I 与 i 就称为等效, 就说 I 是 i 的有效值。交流电动势、交流电压和电流的有效值分别以 E 、 U 和 I 表示。经推导发现正弦交流电的有效值正好是其极大值的 $1/\sqrt{2}$, 即 $E_m=\sqrt{2}E$; $U_m=\sqrt{2}U$; $I_m=\sqrt{2}I$ 。我们平时所说交流电的数值都是指的有效值, 用交流电压表和交流电流表测得的电压和电流数值也是有效值。建筑机械的铭牌及其说明书中的交流电压、交流电流都是指有效值。

三相交流发电机的三个绕组通常连接为星形, 如图1-6所示。

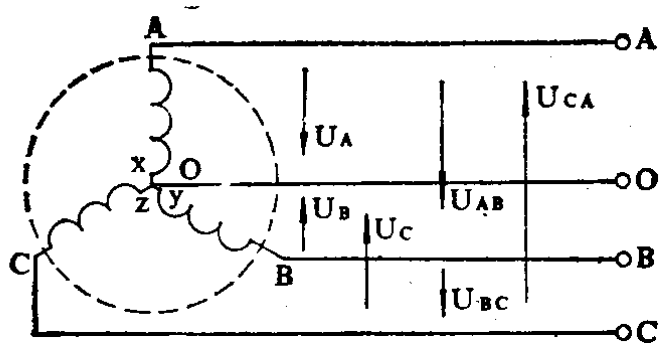


图 1-6 三相交流发电机的星形连接

图中 A 、 B 、 C 表示三相绕组的首端, 从首端引出的三条线都叫相线(俗称火线); 图中 x 、 y 、 z 表示三相绕组的尾端, 三个尾端的连接点叫中点, 以“ O ”表示, 从中点引出的

线叫中线或零线，有时也叫地线。

三相交流发电机连接成星形后，能输出两种电压，一种是相线（火线）之间的电压叫线电压，有 U_{AB} 、 U_{BC} 、 U_{CA} 三个；另一种是相线（火线）与中线之间的电压叫相电压，有 U_A 、 U_B 、 U_C 三个。不论线电压还是相电压，都是三相对称电压，以 U_L 表示线电压， U_ϕ 表示相电压。经推证 $U_L = \sqrt{3}U_\phi$ 。我们日常生活用电电源的线电压为380伏，相电压为220伏，用三条相线（火线）和一条中线供电，即三相四线制供电。

二、负载与交流电源的连接

负载分为单相负载和三相负载两种，不论是哪一种，都要使外加电压等于负载的额定电压，负载才能正常工作，这就是连接的基本原则。

1. 单相负载的连接

单相负载只要两条电源线供电，如电灯。它连接时较为简单。当负载的额定电压与电源相电压相等时，则把负载接在电源的任意一条相线（火线）与中线之间，如图1-7（a）所示；如果负载的额定电压与电源的线电压相等，则把负载接在任意两条相线（火线）之间，如图1-7（b）所示。

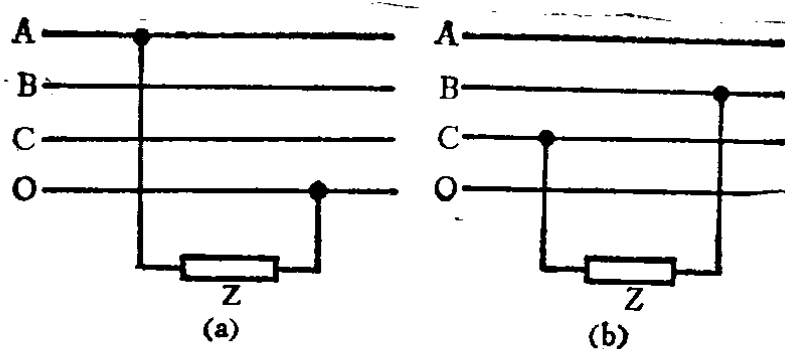


图 1-7 单相负载的连接

（a）负载接在相线（火线）与中线之间；（b）负载接在相线（火线）之间

如果单相负载多，则要把这些负载较平均的分为三组，把每组看成是一个单相负载，按上述原则分别接到不同的电源线之间。这样能使三条相线（火线）负担基本相同，较为合理。

2. 三相负载的连接

三相负载可以由三个单相负载组合而成，也有的负载是由三部分完全相同的结构组成，例如三相交流电动机。使用时必须接入三相电源，这类负载就称为三相负载。

三相负载接入三相电源时有两种方法，即星形接法和三角形接法。

（1）负载的星形接法 当三相负载的每相额定电压与三相电源的相电压相等时，则把三相负载的每一相分接到各相线（火线）与中线之间，如图1-8（a）所示。这种连接方法就称为星形接法，以“Y”表示。星形连接还有其他多种画法，如图1-8（b）所示。

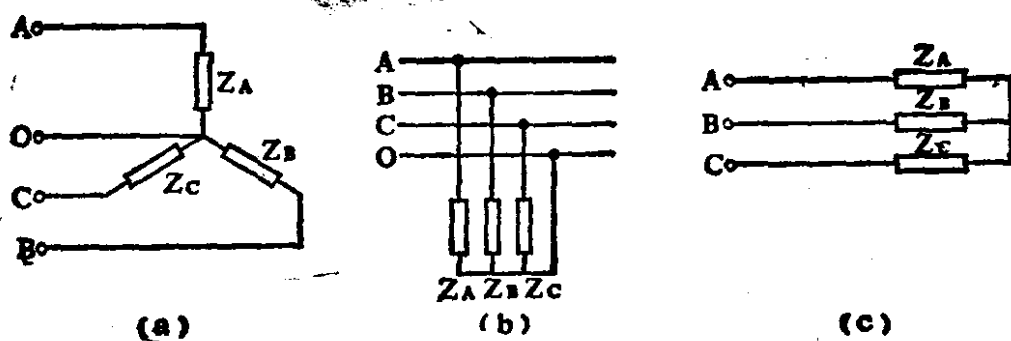


图 1-8 负载的星形连接

（a）三相负载的星形连接；（b）三相负载星形连接的简便画法；（c）三相对称负载不带中线的星形连接

当负载的三相对称时，可去掉中线，成为没有中线的星形接法，如图1-8（c）所示。