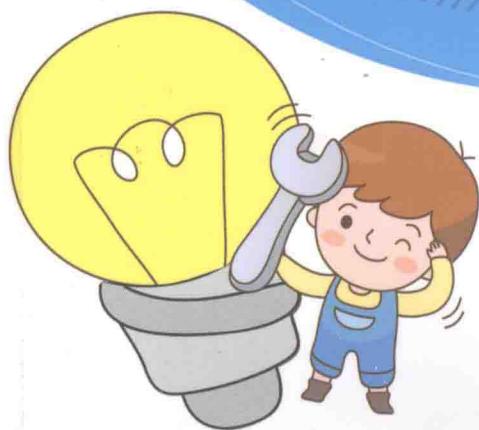


菜鸟学通系列

菜鸟 学通

电工基本技能

◎ 孙余凯 项绮明 吴鸣山 等编著



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

菜鸟学通系列

菜鸟学通电工基本技能

孙余凯 项绮明 吴鸣山 等编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书从“菜鸟”的定位特色出发，采用卡通要诀助学的方式，从必备的基本知识入手，内容简明、通俗易懂，重点介绍了进入电工人员行列中必备的基本实用技能，其目的就是要从初学者的角度出发，引导读者由表及里、由浅入深、循序渐进地学会电工人员必须掌握的基础技能，以使初学者学习以后可以迅速应用到实际工作中，起到立竿见影的效果，或者为初学者进一步深入学习打下坚实的基础。

本书分类明确、结构合理、说明通俗易懂，属于入门级图书，可以作为高、中等职业学校电工及相关专业的教材，也可作为电工技术岗位从业人员的技能培训教材，同时也可供电工企业的生产技术人员及广大电子爱好者、初学电工维修的人员学习参考，还可作为电工技术短期培训班、再就业培训等的教材。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有，侵权必究。

图书在版编目（CIP）数据

菜鸟学通电工基本技能/孙余凯等编著. —北京：电子工业出版社，2014.1
(菜鸟学通系列)

ISBN 978-7-121-22017-3

I. ①菜… II. ①孙… III. ①电工技术—基础知识 IV. ①TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2013）第 283340 号

策划编辑：张 榕

责任编辑：王凌燕

印 刷：三河市鑫金马印装有限公司

装 订：三河市鑫金马印装有限公司

出版发行：电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本：787×1092 1/16 印张：16.75 字数：429 千字

印 次：2014 年 1 月第 1 次印刷

印 数：3 500 册 定价：48.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题，请向购买书店调换。若书店售缺，请与本社发行部联系，联系及邮购电话：（010）88254888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn，盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线：（010）88258888。

前 言



本书在编写过程中，本着从初学电工技术人员的实际学习需要出发，在内容上力求简明实用、对原理的阐述简略、尽量以简捷的方式介绍入门的基础知识，通俗易懂，重点针对一般初学电工技术的人员，重点介绍电工基本技能，使读者学习后可以迅速进入电工人员的行列中，具有立竿见影的效果。

1. 内容安排

本书充分考虑了初级入门读者的需求，将学习实用技能和提高学习效率放在主要位置。书中内容从进入电工人员队伍必备的基本技能讲起，介绍了菜鸟学通电工电路及其基本元件入门，菜鸟学通直流电路的计算与分析技能入门，菜鸟学通正弦交流电路基本技能入门，菜鸟学通三相交流电路基本技能入门，菜鸟学通电工常用测量仪表基本技能入门，菜鸟学通电工常用万用表使用技能入门，菜鸟学通电工常用验电、焊接设备使用技能入门，菜鸟学通电工常用开关类电器基本技能入门，菜鸟学通电工常用保护器件使用技能入门，菜鸟学通电工常用继电器基本技能入门，菜鸟学通变配电系统基本技能入门，菜鸟学通电力变压器基本技能入门，菜鸟学通电气照明基本技能入门，菜鸟学通三相与单相交流电动机基本技能入门，菜鸟学通直流电动机、步进电动机基本技能入门，菜鸟学通安全用电技能入门等。这些最基本的技能，可以引导初学者在实践中培养动手能力，在操作中消化理解相关理论知识。其目的就是要引导读者由表及里、由浅入深、循序渐进地学会电工人员必须具备的基本知识。所述内容配以卡通图加以修饰，使读者想读、爱读、容易读，读者可寓学于乐，便于理解和掌握。

2. 内容新颖、简明实用

本书的最大特点是内容新颖、简明实用、反映现代电工技术，对原理的阐述简略、尽量以简捷的方式介绍电工技术基础方面的知识，以使读者一目了然，便于读者理解和迅速应用到日常工作中。

3. 起点低

本书的另一个特点是起点低，可供具有初中文化程度的电工技术基础入门人员使用，但也兼顾了不同技术水平的读者的需要，故实用面广泛。

4. 叙述简明实用

本书的另外一个特点是所编的内容分类明确、层次分明、内容丰富、重点突出、文字简练、通俗易懂。

5. 突出实用便查

本书在编排上，从基础知识入手，然后逐步深入介绍电工技术应用方面的知识。内容上浅显通俗、图文并茂、取材新颖、资料丰富、实用性强，便于查找，具有手把手教电工技术基础

技能的特点。

6. 具有较长时间的参考使用价值

速训电工技术基础技能，以初学电工技术的学习需要为切入点，以方便读者轻松熟练读懂电工技术基础技能为基点，突出实用，起点低，以解决问题为重点，对电工技术基础技能方面的问题的处理方法做了较全面的阐述。内容虽很少涉及具体电工电气设备或元器件的型号（这主要是由于电工电气设备或电气元器件的型号是不断更新的），但所介绍的具体问题的处理方法思路是通用的，故本书对读者具有较长时间的参考使用价值。

本书主要由孙余凯、项绮明、吴鸣山等编著，参加本书编写的人员还有项宏宇、孙静、吴永平、丁秀梅、孙余正、王国珍、张朝纲、刘跃、孙永章、罗国风、陈芳、周志平等。

本书在编写过程中，除参考了大量的国外、境外的现行期刊外，还参考过国内有关电工技术方面的期刊、书籍、报纸及资料，在这里谨向有关单位和作者一并致谢。同时对给予我们支持和帮助的有关专家和部门深表谢意！

由于电工技术极其广泛，应用技术发展极为迅速，限于作者水平有限，书中存在的不足之处，诚请专家和读者批评指正。

编 著 者

目 录



第1章 菜鸟学通电工电路及其基本元件入门	(1)
1.1 菜鸟学通电路基本知识入门	(1)
1.1.1 电路与电路图的解读	(1)
1.1.2 电路三种状态的解读	(2)
1.2 菜鸟学通电流、电流强度与电流热效应入门	(2)
1.2.1 电流强度的解读	(3)
1.2.2 直流电流与交流电流的解读	(3)
1.2.3 电流热效应的解读	(3)
1.3 菜鸟学通电压、电动势及电位入门	(5)
1.3.1 电压的解读	(5)
1.3.2 电动势的解读	(5)
1.3.3 电位的解读	(5)
1.3.4 电动势、电压及电位三者之间关系的解读	(6)
1.3.5 电源及电源电压的解读	(7)
1.4 菜鸟学通电阻器和电路欧姆定律入门	(7)
1.4.1 电阻率的表达方法解读	(7)
1.4.2 电阻器的种类、电路符号与单位识别方法的解读	(8)
1.4.3 电阻器的单位换算方法的解读	(9)
1.4.4 电阻标称阻值识别方法的解读	(9)
1.4.5 电路欧姆定律的解读	(11)
1.5 菜鸟学通电功和电功率入门	(12)
1.5.1 电功的解读	(12)
1.5.2 电功率的解读	(12)
1.6 菜鸟学通电容器和电容量入门	(13)
1.6.1 电容器的基本结构与电场强度的解读	(13)
1.6.2 电容值(量)的解读	(14)
1.6.3 平板电容器的电容解读	(14)
1.6.4 分布电容的特性解读	(15)
1.6.5 电容器的类型及电路图形符号识别方法解读	(15)
1.6.6 电容器主要参数的解读	(16)
1.6.7 直接标注电容器容量值识别方法的解读	(17)
1.6.8 数码标注电容器容量值识别方法的解读	(18)

1.6.9	色码标注电容器容量值识别方法的解读.....	(18)
1.6.10	标单位电容器容量值识别方法的解读.....	(19)
1.6.11	其他方法标注电容器容量值识别方法的解读.....	(19)
1.6.12	电容器允许误差的识别方法解读	(20)
1.7	菜鸟学通电感器与电磁元件技能入门.....	(20)
1.7.1	电感器与电磁元件电路图形符号识别方法的解读.....	(20)
1.7.2	电感器的主要参数换算与要求的解读	(21)
1.7.3	电感器的电感量识别方法的解读	(22)
第2章 菜鸟学通直流电路的计算与分析技能入门.....		(25)
2.1	菜鸟学通电池的串、并联计算方法入门.....	(25)
2.1.1	电池串联计算公式的解读.....	(25)
2.1.2	电池并联计算公式的解读.....	(25)
2.2	菜鸟学通电阻器的连接及其计算方法入门.....	(26)
2.2.1	电阻器串联计算方法的解读	(26)
2.2.2	电阻器并联计算方法的解读	(27)
2.2.3	电阻器混联计算方法的解读	(28)
2.2.4	电阻器星形连接化为三角形连接计算方法的解读	(28)
2.2.5	电阻器三角形连接化为星形连接计算方法的解读	(28)
2.2.6	导体电阻值与温度的计算方法解读	(28)
2.2.7	电导和电导率计算方法的解读	(29)
2.3	菜鸟学通电容器的连接及其计算方法入门.....	(29)
2.3.1	电容串联计算方法的解读	(29)
2.3.2	电容器并联计算方法的解读	(30)
2.3.3	电容器星形连接化为三角形连接计算方法的解读	(31)
2.3.4	电容器三角形连接化为星形连接计算方法的解读	(31)
2.4	菜鸟学通电感器的连接及其计算方法入门.....	(32)
2.4.1	电感器串联总电感量计算方法的解读	(32)
2.4.2	电感器并联总电感量计算公式的解读	(32)
2.4.3	有互感的电感器串联总电感量计算方法的解读	(32)
2.4.4	有互感的电感器并联总电感量计算方法的解读	(33)
2.5	菜鸟学通电工电路计算常用定律和公式入门.....	(33)
2.5.1	电工直流电路支路电流计算方法的解读	(33)
2.5.2	直流电路回路电流计算方法的解读	(34)
2.5.3	直流电路节点电压计算方法的解读	(35)
2.5.4	直流电路戴维南定理的解读	(36)
2.5.5	直流电路叠加原理的解读	(38)
第3章 菜鸟学通正弦交流电路基本技能入门.....		(40)
3.1	菜鸟学通单相交流电的基本概念入门.....	(40)

3.1.1	交流电概念的解读	(40)
3.1.2	交流电的周期、频率和角频率的解读	(41)
3.1.3	交流电的相位和相位差的解读	(41)
3.1.4	交流电有效值的解读	(43)
3.2	菜鸟学通正弦交流电的矢量表示方法入门	(44)
3.2.1	正弦交流电矢量图的画法解读	(44)
3.2.2	正弦交流电矢量相加的解读	(45)
3.3	菜鸟学通单一参数的正弦交流电路入门	(45)
3.3.1	负载为纯电阻的交流电路的解读	(45)
3.3.2	负载为纯电感的交流电路的解读	(47)
3.3.3	负载为纯电容的交流电路的解读	(48)
3.4	菜鸟学通多参数组合的正弦交流电路入门	(50)
3.4.1	负载为电阻与电感串联的交流电路解读	(50)
3.4.2	负载为电阻、电感、电容串联的交流电路的解读	(51)
3.4.3	交流电路电阻与电感并联阻抗计算方法的解读	(52)
3.4.4	交流电路电阻与电容并联阻抗计算方法的解读	(52)
3.4.5	交流电路电阻与电容串联阻抗计算方法的解读	(52)
3.4.6	交流电路电阻、电感、电容三者并联阻抗计算方法的解读	(52)
3.5	菜鸟学通交流电路中的电功率入门	(53)
3.5.1	纯电阻负载交流电路电功率的解读	(53)
3.5.2	纯电感负载交流电路电功率的解读	(53)
3.5.3	纯电容负载交流电路电功率的解读	(54)
3.5.4	交流电路视在功率的解读	(54)
3.5.5	交流电路对功率因数的要求解读	(54)
第4章	菜鸟学通三相交流电路基本技能入门	(56)
4.1	菜鸟学通三相交流电源入门	(56)
4.1.1	三相四线制交流电源的解读	(56)
4.1.2	三相电源连接方式的解读	(57)
4.1.3	三相电源的连接说明解读	(60)
4.1.4	三相电源参数计算举例解读	(60)
4.2	菜鸟学通对称三相电路的功率入门	(61)
4.2.1	星形接法电路功率计算方法的解读	(61)
4.2.2	三角形接法电路功率计算方法的解读	(61)
4.2.3	对称三相电路的功率计算举例的解读	(61)
4.2.4	交流电路视在功率计算方法的解读	(62)
4.3	菜鸟学通三相供电系统的保护接地和保护接零入门	(62)
4.3.1	三相供电系统保护接地的解读	(62)
4.3.2	三相供电系统保护接零的解读	(64)
4.3.3	三相供电系统重复接地的解读	(64)

4.3.4	三相供电系统中必须接地的电气设备解读.....	(65)
4.3.5	三相供电系统中需要保护接地的电气设备解读.....	(65)
4.4	菜鸟学通低压配电电力系统接地形式入门.....	(65)
4.4.1	低压配电电力的 TN 系统解读.....	(65)
4.4.2	低压配电电力的 TT 系统解读	(66)
4.4.3	低压配电电力的 IT 系统解读	(67)
4.4.4	接地保护系统形式的文字代号解读	(67)
第 5 章	菜鸟学通电工常用测量仪表基本技能入门.....	(68)
5.1	菜鸟系统电工常用测量仪表的类型和准确度入门.....	(68)
5.1.1	电工常用测量仪表类型的解读	(68)
5.1.2	电工仪表准确度等级的解读	(68)
5.1.3	电工仪表精度等级 α 百分数的解读	(69)
5.2	菜鸟学通电工仪表的选择方法入门	(69)
5.2.1	电工测量仪表类型的选择方法解读	(70)
5.2.2	电工常用仪表的准确度选择方法解读	(70)
5.3	菜鸟学通电流表及电流的测量方法入门.....	(71)
5.3.1	电工常用电流表的基本类型的解读	(71)
5.3.2	电工常用电流表使用方法的解读	(71)
5.3.3	电工常用电流表测量电流时的电路解读.....	(71)
5.4	菜鸟学通兆欧表及其测量绝缘电阻的方法入门	(72)
5.4.1	电工常用兆欧表基本结构的解读	(72)
5.4.2	电工常用兆欧表选择方法的解读	(73)
5.4.3	正确使用电工常用兆欧表的方法解读	(73)
5.5	菜鸟学通钳形电流表及电流的测量方法入门.....	(74)
5.5.1	电工常用钳形电流表的基本结构解读	(75)
5.5.2	电工常用互感器式钳形电流表工作原理的解读.....	(75)
5.5.3	电工常用钳形电流表的选择和使用方法解读.....	(76)
5.5.4	用电工常用钳形表检查低压线路漏电方法的解读.....	(77)
5.6	菜鸟学通电压表及电压的测量方法入门.....	(78)
5.6.1	电工常用电压表基本类型的解读	(78)
5.6.2	电工常用电压表电压测量电路的解读	(78)
5.7	菜鸟学通电能表及电能的测量方法入门.....	(80)
5.7.1	交流有功电能表的类型与字母代号的解读.....	(80)
5.7.2	电量测量常用电能表基本结构的解读	(80)
5.7.3	电量测量常用电能表基本工作原理的解读.....	(81)
5.7.4	电量测量常用电能表的选择和使用方法解读.....	(81)
5.7.5	电量测量常用电能表安装位置的选择方法解读.....	(82)
5.7.6	电量测量常用电能表的正确接线方法解读.....	(82)

5.8	菜鸟学通功率表及电功率的测量方法入门.....	(86)
5.8.1	电工常用功率表基本结构和原理的解读.....	(86)
5.8.2	电工常用功率表选择方法的解读	(86)
第6章	菜鸟学通电工常用万用表使用技能入门.....	(89)
6.1	菜鸟学通电工常用指针式万用表的基本使用技能入门	(89)
6.1.1	电工常用指针式万用表上外文字母含义的解读.....	(90)
6.1.2	电工常用指针式万用表的基本功能解读.....	(90)
6.1.3	电工常用指针式万用表的基本性能解读.....	(91)
6.1.4	电工常用指针式万用表刻度盘的识别方法解读.....	(91)
6.2	菜鸟学通电工常用指针式万用表的选择方法入门	(92)
6.2.1	选一块合适的电工常用指针式万用表的方法解读	(92)
6.2.2	正确操作电工常用指针式万用表的方法解读	(92)
6.3	菜鸟学通正确采用指针式万用表测量电阻的方法入门	(93)
6.3.1	正确采用指针式万用表开路检测电阻的方法解读	(93)
6.3.2	正确采用指针式万用表在路检测电阻的方法解读	(94)
6.4	菜鸟学通采用指针式万用表测量电容器的方法入门	(95)
6.4.1	采用指针式万用表测量电容器绝缘电阻的方法解读	(95)
6.4.2	采用指针式万用表对电解电容器正、负极的判断方法解读	(95)
6.4.3	采用指针式万用表对电解电容器电容量的检测方法解读	(95)
6.4.4	采用指针式万用表对电容器漏电电阻的检测方法解读	(96)
6.4.5	采用指针式万用表测量电感类元件的方法解读	(96)
6.4.6	采用指针式万用表测量普通二极管的方法解读	(96)
6.5	菜鸟学通数字式万用表的类型、技术指标与测量量程入门	(97)
6.5.1	数字式万用表常用文字符号的识别方法解读	(98)
6.5.2	电工常用数字式万用表的类型解读	(98)
6.5.3	电工常用数字式万用表主要技术指标的解读	(100)
6.5.4	电工常用数字式万用表常用测量量程的解读	(101)
6.6	菜鸟学通数字式万用表的正确使用方法入门	(102)
6.6.1	电工常用数字式万用表量程的选择与读数方法解读	(102)
6.6.2	使用电工常用数字式万用表测量时必须注意的问题解读	(102)
6.6.3	采用电工常用数字式万用表测量电阻的方法解读	(103)
6.6.4	采用电工常用数字式万用表测量电容的方法解读	(103)
6.6.5	采用电工常用数字式万用表测量二极管的方法解读	(104)
第7章	菜鸟学通电工常用验电、焊接设备使用技能入门	(105)
7.1	菜鸟学通电工常用验电笔的使用技能入门	(105)
7.1.1	电工常用验电笔的基本类型解读	(105)
7.1.2	电工常用普通验电笔结构特点的解读	(105)
7.1.3	电工常用普通验电笔的测量原理解读	(106)

7.1.4	使用普通验电笔时通常应注意的问题解读	(106)
7.2	菜鸟学通电工常用电子感应式试电笔的使用方法入门	(106)
7.3	菜鸟学通电工常用高压验电器的类型与结构特点入门	(107)
7.3.1	电工常用高压验电器类型的解读	(108)
7.3.2	电工常用高压验电器外形特点的解读	(108)
7.3.3	电工常用氖管发光型高压验电器的组成特点解读	(108)
7.4	菜鸟学通电工常用高压验电器正确使用方法入门	(109)
7.4.1	使用电工常用高压验电器之前的检查方法解读	(109)
7.4.2	使用电工常用高压验电器进行验电操作的方法解读	(109)
7.4.3	使用电工常用高压验电器要防止临近有电设备影响的方法解读	(109)
7.4.4	电工常用高压验电器定期试验方法的解读	(110)
7.4.5	电工常用高压验电器保养与保存方法的解读	(110)
7.5	菜鸟学通电工常用电烙铁的类型与结构特点入门	(110)
7.5.1	电工常用电烙铁的基本类型解读	(110)
7.5.2	电工常用外热式电烙铁的基本结构特点解读	(110)
7.5.3	电工常用内热式电烙铁的基本结构特点解读	(111)
7.6	菜鸟学通电工常用电烙铁的使用方法入门	(111)
7.6.1	新电烙铁烙头镀锡方法的解读	(111)
7.6.2	电烙铁烙头磨损修整方法的解读	(112)
7.6.3	电工使用电烙铁时常见的握法解读	(112)
7.6.4	使用电烙铁时的基本安全知识解读	(112)
7.6.5	使用电烙铁时温度的掌握方法解读	(113)
7.6.6	使用电烙铁时经常保持电烙铁清洁的方法解读	(113)
7.6.7	使用电烙铁时通常应注意的问题解读	(113)
7.7	菜鸟学通电工常用气焊设备的使用方法入门	(114)
7.7.1	使用电工常用气焊设备之前的检查方法解读	(114)
7.7.2	电工常用气焊设备的点火顺序解读	(114)
7.7.3	电工常用气焊设备熄火顺序的解读	(114)
7.7.4	使用电工常用气焊设备时必须注意的问题解读	(114)
7.7.5	使用电工常用气焊设备时的焊接方法解读	(115)
第8章	菜鸟学通电工常用开关类电器基本技能入门	(116)
8.1	菜鸟学通电工常用开关的电路图形符号识别方法入门	(116)
8.1.1	电工常用手动、按钮、拉拨、旋钮开关的种类与电路图形符号识别方法解读	(116)
8.1.2	电工常用位置开关、热敏开关、惯性开关的种类与电路图形符号识别方法解读	(117)
8.1.3	电工常用多位开关、负载开关的种类与电路图形符号识别方法解读	(117)
8.2	菜鸟学通电工常用高压隔离开关与高压负荷开关技能入门	(118)
8.2.1	电工常用高压隔离开关的结构特点的解读	(119)
8.2.2	电工常用高压隔离开关的选用方法解读	(119)
8.2.3	电工常用高压负荷开关结构特点的解读	(119)

8.3	菜鸟学通电工常用高压断路器基本结构、类型特点入门	(120)
8.3.1	电工常用高压断路器基本结构的解读	(120)
8.3.2	电工常用高压断路器的类型与特点解读	(120)
8.4	菜鸟学通电工常用开启式刀开关的结构与选用方法入门	(121)
8.4.1	电工常用开启式刀开关的基本结构解读	(121)
8.4.2	电工常用开启式刀开关的选用方法解读	(122)
8.5	菜鸟学通电工常用开启式负荷开关的安装方法入门	(122)
8.5.1	电工常用开启式负荷开关的安装方式解读	(122)
8.5.2	电工常用开启式负荷开关重换熔丝的方法解读	(122)
8.6	菜鸟学通电工常用封闭式负荷开关的结构与选用方法入门	(122)
8.6.1	电工常用封闭式负荷开关的结构特点解读	(122)
8.6.2	电工常用封闭式负荷开关的选择方法解读	(123)
8.7	菜鸟学通电工常用封闭式负荷开关的安装方法入门	(123)
8.7.1	电工常用封闭式负荷开关的安装方式解读	(123)
8.7.2	电工常用封闭式负荷开关接线方式的解读	(124)
8.7.3	电工常用封闭式负荷开关熔丝的选配方法解读	(124)
8.8	菜鸟学通电工常用胶盖瓷底刀开关的结构与选用方法入门	(124)
8.8.1	电工常用胶盖瓷底开关的选择方法解读	(124)
8.8.2	电工常用胶盖瓷底开关的使用方法解读	(124)
8.9	菜鸟学通电工常用刀熔开关的结构与选用方法入门	(125)
8.9.1	电工常用刀熔开关的选择方法解读	(125)
8.9.2	安装电工常用刀开关必须注意的问题解读	(125)
8.10	菜鸟学通电工常用组合开关的结构与选用方法入门	(126)
8.10.1	电工常用组合开关的基本结构解读	(126)
8.10.2	电工常用组合开关的选择方法解读	(126)
8.10.3	电工常用组合开关安装方法的解读	(127)
8.11	菜鸟学通电工常用低压断路器的结构与选用方法入门	(127)
8.11.1	电工常用低压断路器的基本类型解读	(127)
8.11.2	电工常用低压断路器的基本结构解读	(127)
8.11.3	电工常用低压断路器的选用方法解读	(128)
8.11.4	电工常用低压断路器不同应用场合时的选用方法解读	(129)
第9章 菜鸟学通电工常用保护器件使用技能入门		(131)
9.1	菜鸟学通电工常用低压熔断器技能入门	(131)
9.1.1	电工常用瓷插式熔断器的结构特点解读	(131)
9.1.2	电工常用无填料封闭管式熔断器的结构特点解读	(131)
9.1.3	电工常用有填料封闭管式熔断器的结构特点解读	(132)
9.1.4	电工常用玻管熔断器的结构特点解读	(132)
9.1.5	电工常用螺旋式熔断器的结构特点解读	(133)

9.2	菜鸟学通电工常用高压熔断器技能入门	(133)
9.2.1	电工常用高压户内熔断器的结构特点解读	(134)
9.2.2	电工常用高压户外角形熔断器的结构特点解读	(134)
9.2.3	电工常用高压户外跌落式熔断器的结构特点解读	(135)
9.3	菜鸟学通电工常用熔断器的选择方法入门	(136)
9.3.1	电工常用熔断器主要参数的选择方法解读	(136)
9.3.2	电工常用熔断器安装与更换方法解读	(136)
9.4	菜鸟学通电工常用漏电保护器的类型与特点入门	(136)
9.4.1	电工常用住宅漏电保护器的基本类型解读	(137)
9.4.2	电工常用漏电保护器的特点解读	(137)
9.5	菜鸟学通电工常用电流型漏电保护器的工作原理入门	(137)
9.5.1	电工常用漏电保护器保护机理的解读	(137)
9.5.2	电工常用分立元器件式漏电保护器工作原理的解读	(138)
9.5.3	电工常用集成电路式漏电保护器工作原理的解读	(139)
9.6	菜鸟学通电工常用漏电保护器选用方法入门	(140)
9.6.1	电工常用漏电保护器使用场合的解读	(140)
9.6.2	根据使用目的来选择电工常用漏电保护器的方法解读	(141)
9.6.3	根据使用场所来选择电工常用漏电保护器的方法解读	(141)
9.6.4	根据线路和用电设备的正常泄漏电流来选择电工常用漏电保护器的方法解读	(142)
第 10 章 菜鸟学通电工常用继电器基本技能入门		(143)
10.1	菜鸟学通常用继电器的类型、用途与电路图形符号识别方法入门	(143)
10.1.1	电磁继电器的类型与主要用途的解读	(143)
10.1.2	继电器的电路图形符号识别方法的解读	(144)
10.2	菜鸟学通电磁继电器的结构与选用方法入门	(146)
10.2.1	电工常用电磁继电器的工作原理解读	(146)
10.2.2	电工常用电磁继电器的选择方法解读	(147)
10.3	菜鸟学通固态继电器的基本类型与结构原理入门	(147)
10.3.1	电工常用固态继电器的电路图形符号及特点解读	(147)
10.3.2	电工常用固态继电器的基本类型解读	(148)
10.3.3	电工常用固态继电器结构原理的解读	(148)
10.3.4	电工常用交流固态继电器内电路结构的解读	(149)
10.3.5	电工常用直流固态继电器内电路结构的解读	(149)
10.4	菜鸟学通电工常用固态继电器的选择方法入门	(150)
10.4.1	电工常用固态继电器类型的选择方法解读	(150)
10.4.2	电工常用固态继电器带负载能力的选择方法解读	(150)
10.5	菜鸟学通电工常用热继电器的类型与组成原理入门	(150)
10.5.1	电工常用热继电器的基本类型解读	(151)
10.5.2	电工常用热继电器的电路图形符号识别方法解读	(151)
10.5.3	电工常用热继电器的组成及工作原理的解读	(151)

10.6	菜鸟学通电工常用热继电器的选择方法入门	(152)
10.6.1	长期稳定工作的电动机常用热继电器的选择方法解读	(152)
10.6.2	从电动机的绝缘等级及结构考虑选择常用热继电器的方法解读	(152)
10.6.3	从电动机的起动电流和起动时间考虑选择常用热继电器的方法解读	(152)
10.6.4	采用热继电器作电动机缺相保护，应考虑电动机的接法时的解读	(153)
10.6.5	从具体工作情况考虑选择常用热继电器的方法解读	(153)
10.6.6	普通热继电器的应用场合解读	(153)
10.6.7	重负载类电动机热继电器的选用方法解读	(153)
10.6.8	温度补偿类热继电器的选用方法解读	(153)
10.6.9	电工常用热继电器型号规格的选择方法解读	(154)
10.6.10	热继电器元件编号和额定电流的选择方法解读	(154)
10.6.11	电工常用两相式与三相热继电器的选择方法解读	(154)
10.6.12	电工常用热继电器保护特性的选择方法解读	(154)
10.6.13	电工常用热继电器返回时间的确定方法解读	(154)
10.6.14	电工常用热继电器连接线的选择方法解读	(155)
10.7	菜鸟学通电工常用时间继电器的结构与原理入门	(155)
10.7.1	电工常用晶体管式时间继电器的结构特点解读	(155)
10.7.2	电工常用空气阻尼式时间继电器的结构特点解读	(155)
10.7.3	电工常用电动式时间继电器的结构特点解读	(156)
10.8	菜鸟学通电工常用时间继电器的电路图形符号的识别与选择方法入门	(157)
10.8.1	时间继电器的外形及电路图形符号的识别方法解读	(157)
10.8.2	电工常用时间继电器的选择方法解读	(158)
10.9	菜鸟学通电工常用接触器的类型与结构原理入门	(158)
10.9.1	电工常用接触器的基本种类解读	(158)
10.9.2	电工常用接触器的电路图形符号的识别方法解读	(159)
10.9.3	电工常用接触器的典型结构与特点的解读	(160)
10.9.4	电工常用接触器基本工作原理的解读	(161)
10.10	菜鸟学通电工常用交流接触器的选择方法入门	(162)
10.10.1	电工常用接触器类别的选择方法解读	(162)
10.10.2	电工常用接触器容量等级的选择方法解读	(162)
10.10.3	电工常用接触器线圈参数的选择方法解读	(163)
第 11 章 菜鸟学通变配电系统基本技能入门		(164)
11.1	菜鸟学通架空配电线线路的类型与电压等级入门	(164)
11.1.1	工业企业电力线路的基本类型解读	(164)
11.1.2	架空配电线线路电压等级的解读	(164)
11.2	菜鸟学通低压架空线路的构成与选用方法入门	(165)
11.2.1	变配电系统低压架空线路的基本构成解读	(165)
11.2.2	变配电系统低压架空线路路径的选择方法解读	(165)
11.2.3	变配电系统低压架空线路用电杆形式的解读	(166)

11.2.4	变配电系统低压架空线路电杆拉线的结构形式解读	(166)
11.3	菜鸟学通低压接户线和进户线的结构与安装方式入门	(167)
11.3.1	安装低压接户线的基本要求解读	(167)
11.3.2	架空配电线路低压线进户安装方法的解读	(168)
11.4	菜鸟学通低压配电盘和配电箱的结构与安装方法入门	(169)
11.4.1	低压线路电能表装置的基本形式解读	(169)
11.4.2	低压线路常见电能表表板的安装方式解读	(170)
11.4.3	变配电系统低压配电盘的基本形式解读	(171)
11.5	菜鸟学通室内照明进户配电箱连接电路入门	(172)
11.5.1	室内照明进户单只电能表配电箱连接电路解读	(172)
11.5.2	室内照明进户三只电能表配电箱连接电路解读	(172)
11.5.3	室内照明进户家庭配电箱连接电路解读	(173)
11.6	菜鸟学通住宅配电系统连接电路安装方法入门	(175)
11.6.1	住宅6层楼配电系统连接电路及其设计要求解读	(175)
11.6.2	住宅配电系统常用室内、室外设施的安装要求解读	(176)
第12章	菜鸟学通电力变压器基本技能入门	(178)
12.1	菜鸟学通电力变压器的种类与电路图形符号识别方法入门	(178)
12.1.1	单相变压器及变流器的种类符号识别方法解读	(178)
12.1.2	多绕组变压器及变流器的种类符号识别方法解读	(179)
12.2	菜鸟学通单相电力变压器的基本结构与原理入门	(180)
12.2.1	变配电系统常用单相电力变压器的基本结构解读	(180)
12.2.2	变配电系统常用单相电力变压器的基本工作原理解读	(181)
12.3	菜鸟学通三相电力变压器的基本结构与原理入门	(183)
12.3.1	变配电系统常用三相电力变压器的基本结构解读	(183)
12.3.2	变配电系统常用三相变压器的基本工作原理解读	(185)
12.4	菜鸟学通电力变压器铭牌常用参数与术语入门	(186)
12.4.1	电力变压器额定电压 U_N 和 U_{2N} 的解读	(186)
12.4.2	电力变压器额定容量 S_N 的解读	(186)
12.4.3	电力变压器额定电流 I_{1N} 和 I_{2N} 的解读	(186)
12.4.4	电力变压器的短路损耗和阻抗电压的解读	(186)
12.4.5	电力变压器的空载电流和空载损耗的解读	(186)
12.4.6	电力变压器的连接组标号特征的解读	(187)
12.4.7	电力变压器的同极性端(同名端)的解读	(188)
12.5	菜鸟学通电压互感器的结构与基本特点入门	(188)
12.5.1	电工常用电压互感器的基本结构特点解读	(189)
12.5.2	电工常用电压互感器电压误差的解读	(189)
12.5.3	电工常用电压互感器二次绕组基本结构的解读	(190)
12.6	菜鸟学通电压互感器的选择与安装使用方法入门	(190)
12.6.1	电工常用电压互感器额定电压比的选择方法解读	(190)

12.6.2 电压互感器准确度等级与使用仪表的选择方法解读	(190)
12.6.3 电工常用电压互感器的安装与使用方法的解读	(190)
12.7 菜鸟学通电流互感器的基本类型与结构特点入门	(191)
12.7.1 电工常用电流互感器的基本类型解读	(191)
12.7.2 电工常用电流互感器的基本结构与特点解读	(192)
12.8 菜鸟学通电流互感器的选择与使用方法入门	(192)
12.8.1 电工常用电流互感器的选择方法解读	(192)
12.8.2 电工常用电流互感器的正确使用方法解读	(193)
第 13 章 菜鸟学通电气照明基本技能入门	(194)
13.1 菜鸟学通照明线路与电源的选择方法入门	(194)
13.1.1 照明线路供电的选择方法解读	(194)
13.1.2 电气照明线路的设计与计算方法的解读	(194)
13.1.3 企业电气照明电源的选择方法解读	(195)
13.2 菜鸟学通照明电光源的选择和灯具的安装方法入门	(196)
13.2.1 根据环境选择电气照明电光源的方法解读	(196)
13.2.2 电气照明灯具在室内空间位置的确定方法解读	(197)
13.2.3 电气照明灯具安装方式的选择方法解读	(198)
13.2.4 路灯照明安装高度的确定方法解读	(198)
13.3 菜鸟学通电气照明线路的安装方法入门	(198)
13.3.1 电气照明路灯安装位置的选择方法解读	(198)
13.3.2 电气照明常用荧光灯的安装方法解读	(199)
13.3.3 电气照明常用 H 形荧光灯的安装方法解读	(201)
13.4 菜鸟学通照明常用电子节能灯结构与原理入门	(201)
13.4.1 照明常用电子节能灯电路基本组成的解读	(201)
13.4.2 照明常用电子节能灯电路基本工作原理的解读	(202)
13.5 菜鸟学通发光二极管 LED 照明灯具的选择方法入门	(202)
13.5.1 常见发光二极管 LED 照明灯具的组成特点解读	(203)
13.5.2 常见发光二极管 LED 照明灯具的选择方法解读	(203)
13.5.3 常见发光二极管 LED 照明灯具的典型应用电路解读	(204)
第 14 章 菜鸟学通三相与单相交流电动机基本技能入门	(206)
14.1 菜鸟学通交流电动机的电路图形符号与型号识别方法入门	(206)
14.1.1 交流电动机电路图形符号识别方法解读	(206)
14.1.2 电工常用三相交流电动机的型号识别方法解读	(207)
14.1.3 电工常用单相异步电动机的型号识别方法解读	(208)
14.2 菜鸟学通电工常用电动机的主要性能参数入门	(209)
14.2.1 电工常用电动机额定功率 (P) 含义的解读	(209)
14.2.2 电工常用电动机的额定频率、电压与电流含义的解读	(210)
14.2.3 电工常用电动机的额定转速与起动转矩、起动电流含义的解读	(211)

14.2.4	电工常用电动机额定转矩和最大转矩含义的解读	(211)
14.2.5	电工常用电动机堵转电流含义的解读	(212)
14.2.6	电工常用电动机的效率与功率因数含义的解读	(212)
14.2.7	电工常用电动机的工作方式和温升含义的解读	(213)
14.2.8	电工常用电动机定子绕组连接方式和绝缘等级的含义解读	(214)
14.2.9	电工常用交流电动机的其他方面参数的含义解读	(214)
14.3	菜鸟学通三相异步电动机的基本结构及其适用场合入门	(215)
14.3.1	电工常用三相异步电动机的基本结构解读	(215)
14.3.2	电工常用三相异步电动机型号、结构特征及适用场合的解读	(216)
14.4	菜鸟学通电工常用三相异步电动机的选择方法入门	(217)
14.4.1	正确选择电工常用电动机的基本原则解读	(217)
14.4.2	电工常用三相异步电动机种类的选择方法解读	(218)
14.4.3	电工常用异步电动机转速的选择方法解读	(218)
14.4.4	电工常用三相异步交流电动机容量的选择方法解读	(219)
14.5	菜鸟学通单相交流异步电动机基本类型与结构特点入门	(220)
14.5.1	电工常用单相异步电动机的基本类型解读	(220)
14.5.2	电工常用单相异步电动机的基本结构特点解读	(221)
14.6	菜鸟学通单相异步电动机的选用、运行与维护方法入门	(222)
14.6.1	电工常用单相异步交流电动机的选择方法解读	(222)
14.6.2	电工常用单相异步交流电动机的使用方法解读	(223)
第 15 章	菜鸟学通直流电动机、步进电动机基本技能入门	(224)
15.1	菜鸟学通直流电动机种类、基本原理与结构入门	(224)
15.1.1	各种直流电动机的电路图形符号的识别方法解读	(224)
15.1.2	电工常用直流电动机的基本种类与特点解读	(225)
15.1.3	电工常用直流电动机的基本工作原理解读	(225)
15.1.4	电工常用永磁式直流电动机的基本结构与特点解读	(227)
15.1.5	电工常用电磁式直流电动机的基本结构与特点解读	(229)
15.1.6	电工常用无刷直流电动机的基本结构与特点解读	(230)
15.2	菜鸟学通步进电动机类型、基本结构与原理入门	(231)
15.2.1	电工常用步进电动机的基本类型解读	(231)
15.2.2	电工常用步进电动机的基本结构特点解读	(231)
15.2.3	电工常用步进电动机的基本工作原理解读	(232)
15.2.4	电工常用步进电动机主要电参数含义的识别方法解读	(233)
第 16 章	菜鸟学通安全用电技能入门	(235)
16.1	菜鸟学通人体触电的形式及其原因入门	(235)
16.1.1	人体触电的基本形式解读	(235)
16.1.2	人体发生触电故障的主要原因解读	(235)

16.2	菜鸟学通人体触电后的常用急救方法入门.....	(235)
16.2.1	人体触电以后解脱电源的基本方法解读.....	(236)
16.2.2	人体触电脱离电源以后现场对症救护的方法解读.....	(236)
16.3	菜鸟学通引发电气火灾的基本原因与一般防范措施入门	(238)
16.3.1	电气短路造成电气火灾的原因与防范措施解读.....	(238)
16.3.2	接地故障造成电气火灾的原因与防范措施解读.....	(238)
16.3.3	负荷过载造成电气火灾的原因与防范措施解读.....	(239)
16.3.4	电气部件连接不良造成电气火灾的原因与防范措施解读	(239)
16.3.5	电火花和电弧造成电气火灾的原因与防范措施解读	(240)
16.4	菜鸟学通电气火灾正确的扑救方法入门.....	(240)
16.4.1	发生电气火灾以后及时切断电源的方法解读.....	(240)
16.4.2	发生电气火灾以后不能直接用水冲浇电气设备.....	(240)
16.4.3	发生电气火灾以后使用安全合格的灭火器具灭火的方法解读	(240)
16.5	菜鸟学通工业和民用防雷建筑物的类型与防雷措施入门	(241)
16.5.1	根据防雷的要求, 第一类工业和民用防雷建筑物范围解读	(241)
16.5.2	根据防雷的要求, 第二类工业和民用防雷建筑物范围解读	(241)
16.5.3	根据防雷的要求, 第三类工业和民用防雷建筑物范围解读	(242)
16.5.4	各种不同类型建筑物防雷措施的解读.....	(242)
16.6	菜鸟学通避雷保护装置的组成与基本类型入门	(243)
16.6.1	常见防雷保护装置的基本组成解读	(243)
16.6.2	电气设施保护常用避雷器的基本类型解读.....	(243)
16.7	菜鸟学通避雷设备的选用与安装方法入门.....	(244)
16.7.1	防雷保护常用避雷针选用方法的解读.....	(244)
16.7.2	防雷保护常用避雷带与避雷网的安装方法解读.....	(245)
	参考文献	(247)



菜鸟学通电工电路及其基本元件入门

电气工作人员经常与电打交道，电有交流电和直流电，都是通过相应的电路提供给相关负载的。了解电路的基本知识，电流、电压、电阻、电功率和电功的特点，电容器和电容量的特点，了解和熟悉电流、电压、电阻、电容的电量表达式，会进行简单的计算或估算，对于电流、电压、电阻、电容、电功率各种电量之间的换算关系等，这些都是电工初学者必须要首先掌握的，本章介绍的就是菜鸟学通这方面的技能。

1.1 菜鸟学通电路基本知识入门

电工经常和各种各样的电路打交道，故电路是电工人员必须要熟悉的。

菜鸟学
基本知
识入门



1.1.1 电路与电路图的解读

电路分为直流电路与交流电路，但两者的组成基本相同。直流电路中流动的是直流电流，交流电路中流动的是交流电流。

1. 电路

为了便于说明，以直流电路为例，如图 1-1 (a) 所示，用导线把一个小电珠的两端与一节干电池的正、负两极分别连接起来，当闭合电源开关 SA 后，小电珠就会点亮。从图中可以看出，干电池、小电珠、开关及连接元件的导线，就构成了一个最简单的电路。其中，干电池是电能的供出者，故称为电路的电源，而小电珠则是消耗电能的，故称为电路的负载，SA 开关用于控制电源与负载间的通路，故称为控制器（开关），电能通过连接导线，从电源送往负载。

电灯、电炉、继电器、电动机等都是电路的负载，它们分别将电源所传送给它们的电能转变成光、热或机械能，为我们所利用。在电力及一般用电系统中，电路就起着这种传输与转换电能的作用。

在电信系统中，可利用一定的电路来传输电话、网络信号或其他控制信息等。这里，电路主要是起传输信息的作用。当然，在所传输的信息中，也需要包含有一定的能量。



2. 电路图

用统一规定的电气图用规定的图形符号来表示电路连接情况的图叫电路图。图 1-1 (b) 就是图 1-1 (a) 的电路图。有了电路图，我们就可以比较方便地了解电路的结构和组成情况，为掌握电气设备的性能及查找故障提供了便利。

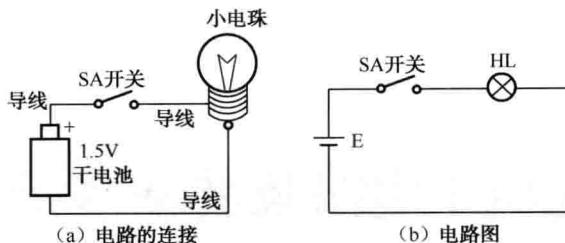


图 1-1 电路的连接图与电路原理图



1.1.2 电路三种状态的解读

实际的电路是由电工设备和器件组成的。但无论是何种电路，通常都有以下三种状态。

1. 通路

通路又称为闭合电路，简称闭路。此时电路有工作电流流动，负载可以正常工作。例如，图 1-1 (a) 中的 SA 接通后，就形成了闭合电路，电流从电池 E 正极输出，通过接通的 SA 开关、小电珠 HL，回到干电池负极，使 HL 点亮发光。

2. 开路

开路指电路中某处断开，不构成通路的电路。开路也称断路，如图 1-1 (a) 中的开关 SA 断开，此时电路中无电流。

当电路处于开路状态时，相当于其负载电阻为无穷大（通常用 ∞ 表示），电路中的电流等于零。

3. 短路

短路指电路（或电路中的一部分）被短接。例如，负载或电源两端被导线连接在一起，就称为短路。此时，电源提供的电流将会比通路时提供的电流大很多倍，以致造成负载或电源的损坏。因此，一般是不允许在短路情况下工作的。



1.2 菜鸟学通电流、电流强度与电流热效应入门

菜鸟学
基本知
识入门



金属导体中含有大量的自由电子。当金属导体和电池连接为闭合回路时，导体中的自由电子（负电荷）就会受到电池负极的排斥与正极的吸引，驱使它们做有规则的运动。这种电荷有规则的运动，称为电流。通常，将正电荷移动的方向确定为电流的方向，其与电子移动的方向相反。



入门解读

1.2.1 电流强度的解读

在一定的时间内通过导体横截面的电荷量，称为电流强度，简称电流。

电流强度的单位是安培，它是这样规定的：

在1s(秒)内通过导体横截面上的电荷量为1库仑(1库仑相当于 6.24×10^{18} 个电子所带的电荷量)，则电流强度即为1A，可用以下公式来表示：

$$1\text{安(A)}=1\text{库/1秒}$$

安培的单位较大，有时还会遇到较小的单位毫安(mA)及微安(μA)，它们之间的换算关系为：

$$1\text{mA}=\frac{1}{1000}\text{A}=10^{-3}\text{A}$$

$$1\mu\text{A}=\frac{1}{1000000}\text{mA}=10^{-6}\text{A}$$

入门解读

1.2.2 直流电流与交流电流的解读

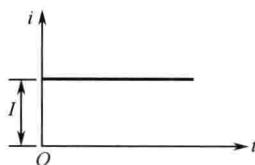
根据电路类型的不同，电流分为直流电流与交流电流两类。

1. 直流电流

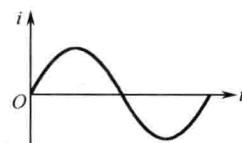
如果电流的大小和方向都不随时间变化，即在任何不同时刻，单位时间内通过导体横截面的电荷量均相同，其方向也始终不改变，则这种电流称为直流电流，通常用大写字母I表示，如图1-2(a)所示。

2. 交流电流

电流的大小和方向如果随时间按一定的规律反复交替地变化，一会儿从小变到大，一会儿又从大变到小；一会儿电流是正的，一会儿却变成负的(电流正负的变化即代表其方向的变化)，则这种电流称为交流电流。如图1-2(b)所示图形就是最常见的正弦交变电流的变化规律。由电力电网供出的交流电，就是这样的电流。



(a) 直流电流



(b) 交流电流

图1-2 电流的波形示意图

入门解读

1.2.3 电流热效应的解读

当电流流过导体时，由于导体具有一定的电阻。因此，电能就随着电流的流动不断地转变为热能，使导体温度升高，这种现象称为电流的热效应。



1. 允许电流

在电路中，负载是通过导线与电源相连接的，电机及变压器的线圈也是用导线绕制而成的，当电流通过时，导线电阻所消耗的电功率也要转变为热量，这是一种无用的损耗。如果热量太大，来不及向四周扩散，将使导线的温度升高，可能使导线之间的绝缘物因过热而损坏。所以导线中允许通过的电流不能超过一定的限度。

2. 过流保护

如果电源通向负载的两根导线不经过负载而相互直接接通，就发生了电源被短路的情况。这时电路中的电流可能增大到远超过上述导线的允许电流限度，以致烧坏设备或导线。因此，通常在电路中装上如表 1-1 中序号 3 所示的熔断器（表 1-1 中也给出了电工设备中常用的各种熔断器的图形符号），使电流通过熔断器中的熔丝。熔丝（一般由铅锑合金制成）的熔点很低，当通过过量的电流时，熔丝首先烧断，自动切断电路，这样就可以避免事故。因此，熔丝又称为保险丝。熔丝的粗细不同，其熔断电流也不同。使用时，必须根据电路中电流的大小，正确选用，确保安全可靠。

表 1-1 电工设备中常用的各种熔断器的图形符号

序号	新 符 号		旧 符 号	
	名 称	图 形 符 号	名 称	图 形 符 号
1	熔断器式负荷开关		—	—
2	具有独立报警电路的熔断器		有信号的熔断器	
3	熔断器一般符号		熔断器	
4	供电端用粗线表示的熔断器		熔断器	
5	带机械连杆的熔断器 (撞击器式熔断器)		—	—
6	熔断器式开关		刀开关—熔断器	
7	熔断器式隔离开关		隔离开关—熔断器	



菜鸟学
基本知
识入门



1.3 菜鸟学通电压、电动势及电位入门

电路中的电流需要靠电源来维持，这好比用水泵来维持连续的水流一样。水泵能维持水流的原理是由于其能保持两处之间的水位差，使一处的水位总是高于另一处的水位。在水泵外部，水总是从高水位处流向低水位处；而在水泵内部，借助于水泵的力量可使水从低水位处流向高水位处，这样，水就能连续不断地流通了。



1.3.1 电压的解读

与水泵泵水相似，在电源两端具有不同的电位。电源正极的电位总是高于负极的电位，也就是电源能维持两点间的电位差，使得在电源外部，电流从高电位的正极流向低电位的负极；而在电源内部，借助于电源本身的特殊本领，可使电流从低电位流向高电位。例如，干电池或蓄电池，在其内部就是通过化学力将正电荷从低电位推至高电位去的。

电位差又称电压，单位为伏特，简称伏，用字母“V”表示。衡量电源维持电位差本领的物理量，称为电源电压。



1.3.2 电动势的解读

电动势是衡量电源自身转换能量本领的物理量，用字母“E”表示，单位为伏特，用字母“V”表示。它表示电源内部非电场力所具有的，使电流从负极流向高电位正极，建立并维持电位差的本领。由于电源存在电动势，就能保持正极的电位高于负极的电位。



1.3.3 电位的解读

1. 电位的概念

在分析电路时，有时需要比较电路中某两点的电性能，需引入电位的概念。电路中某点与参考点间的电压称为该点的电位。通常选大地为参考点，即将大地的电位规定为零电位。在电气仪器和设备中又常将金属机壳或电路的公共接点的电位规定为零电位。电位的单位与电压相同，也是伏特。

2. 零电位的图形符号

零电位点在电路中通常都是用各种接地符号来表示的，各种接地及等电位图形符号如图 1-3 所示。



图号	图形符号	
	GB4026	GB4728
(a)		
(b)		
(c)		
(d)		
(e)		

图 1-3 各种接地线及等电位图形符号



1.3.4 电动势、电压及电位三者之间关系的解读

电工中常用到电动势、电压及电位这三者的定义、方向、功能、表达式、单位及测量仪表的连接方法，对比列于表 1-2 中。需要说明的是：

表 1-2 电动势、电压及电位三者之间的关系表

名称 特性	电动势	电压 (别名电势差)	电位 (别名电势)	备注
定义	在内电路中衡量电动力做功的物理量。它表明在外力作用下电源两端产生的电位差	在外电路中衡量电场力做功的物理量。数值上等于外电路两点之间产生的电位差	描写电场的一个物理量。某一点的电位，就是从无限远处电场强度为零的地方，将单位正电荷逆着电场方向移到这一点所做的功	电动势和电压是两个不同概念，区别在本表中列出
方向	由低电位指向高电位	从高电位指向低电位	电位只有大小，没有方向，是个标量	电压和电流方向是一致的
功能	在电源内部将其他形式的能量转化为电能	在外电路将电能转化为其他形式的能量	只有做功的电势能是个纯量，可加、减	
表达式	$E=I(r+R)$ E —电动势； I —电流 r —内阻； R —外阻	$U=IR$ U —电压； R —外电路电阻； I —电流	$U=\frac{E_g}{q}$ U —电位； q —电荷电量； E_g —电荷具有的电势能	电动势体现全电路欧姆定律，电压体现部分电路欧姆定律
单位	基本单位	伏特 (V)	伏特 (V)	国际单位为伏特，符号为 V，中文为伏
	辅助单位	千伏 $1kV=10^3V$ 毫伏 $1mV=10^{-3}V$ 微伏 $1\mu V=10^{-6}V$	千伏 $1kV=10^3V$ 毫伏 $1mV=10^{-3}V$ 微伏 $1\mu V=10^{-6}V$	国际单位为伏特，符号为 V，中文为伏
测量仪表及接法	伏特计 (电压表) 在内电路两端并联电压表	伏特计 (电压表) 在外电路并联电压表	伏特计 (电压表) 某电位点与参考点 (地球表面) 之间并联电压表	测量时要注意极性、量程、接法



(1) 电动势和电压是绝对值,与零电位选择无关;而电位是相对值,与零电位的选择有关。

(2) 电压比较时的描述应当说高电压和低电压。

(3) 交流电压有瞬时值、最大值、平均值和有效值之分,常说的交流 220V、380V 是有效值。

(4) 电压损失和电压降落的区别:在直流网络中是一致的;在交流网络中,由于电流、电压不同,相角及线路电抗的影响,而引起电压降落。

线路两端电压的几何差称为电压降落。



1.3.5 电源及电源电压的解读

任何一种直流电源都有两个电极,一个是正极,另一个是负极,其电路图形符号如表 1-3 所示。表中的序号 1 为一节电池的电路图形符号,其中的长线段代表正极、短线段代表负极。

表 1-3 电池的种类符号

序号	新 符 号		旧 符 号	
	名 称	图 形 符 号	名 称	图 形 符 号
1	原电池或蓄电池	— —	蓄电池或原电池(允许不注明极性符号)	- +
2	蓄电池组或原电池组(注明电压值时允许的画法)	48V — —	蓄电池组或原电池组(注明电压值时允许的画法)	— -·-+— 48V

电源本身的电阻叫做电源内阻。如果一个电源只具有一定的电源电压而内阻为零,此电源称为理想电压源,表 1-3 中电源的符号表示的就是理想直流电压源。实际的电源只是在一定的条件下与理想电压源相近似,不可能完全等于理想电压源。实际电源两端的电压,由于内阻的影响,总是比电源电压低些。



1.4 菜鸟学通电阻器和电路欧姆定律入门

菜鸟学
基本知
识入
门



由于电流是电荷的有规律的移动,所以当电流通过导体时,由于导体内各种微粒之间的碰撞,形成对电流的阻碍作用,这种阻力作用即为电阻。



1.4.1 电阻率的表达方法解读

导体的电阻是客观存在的,通常不随导体两端电压的大小变化,即使没有电压,导体仍然有电阻。

导体电阻的大小,主要由两个因素来确定:一是导体材料的导电性能的好坏;二是与导



体的尺寸大小有关。实验证明，同一材料的导体，其电阻与导体的长度成正比，与导体的横截面积成反比，用公式表示为：

$$R = \rho \frac{L}{S}$$

式中 R ——导体的电阻，单位为 Ω ；

L ——导体的长度，单位为 m ；

S ——导体的横截面积，单位为 mm^2 ；

ρ ——导体材料的导电率。

ρ 是由导体材料的导电性能所确定的常数，常用导电材料的电阻率所用单位为：

$$\text{欧}\cdot\frac{\text{毫米}^2}{\text{米}} \quad (\frac{\Omega \cdot mm^2}{m})$$

它表示用该材料制成长 $1m$ ，横截面 $1mm^2$ 的导线所具有的电阻。



1.4.2 电阻器的种类、电路符号与单位识别方法的解读

由上分析可见，导线由于其长度、横截面积及导线本身的材料不同，而具有不同的电阻。

电阻小说明电流容易通过，反之，电阻大电流就不易通过。绝缘体之所以能做隔电的材料，就是因为它有很大的电阻，使电流很难在其中通过。利用导体的这种特性可以制成具有一定阻值的电阻器。电阻器是电路的一种基本元件，用它接在电路中可以起到所需要的特殊作用。

1. 电阻器的种类和电路符号

在电路中，各种电阻器的种类和电路符号如表 1-4 所示。各种电阻器都是在电阻器一般符号的基础上扩展出来的。

表 1-4 电阻器的种类和电路符号

序号	新 符 号		旧 符 号	
	名 称	图 形 符 号	名 称	图 形 符 号
1	热敏电阻器		热敏电阻器	
2	滑线式变阻器		可断开电路的电阻器	
3	有固定抽头的电阻器		有抽头的固定电阻器	
4	带固定抽头的可变电阻器		带抽头的可变电阻器	
5	分流器		分流器	
6	滑动触点电位器		电位器的一般符号	
7	微调电位器		微调电位器	



(续表)

序号	新 符 号		旧 符 号	
	名 称	图 形 符 号	名 称	图 形 符 号
8	电阻器的一般符号	—□—	电阻器的一般符号	—□—
9	可变电阻器	—△—	变阻器	—△— 或 □
10	压敏电阻器	—U—	压敏电阻器	□
11	光敏电阻器	—■—	光敏电阻器	○

2. 电阻器的额定功率符号

电路图中固定电阻器的额定功率标注方法，有的是在图中直接标出该电阻的功率数值，如 1/4W、3W 等，也有的用表 1-5 所示的电路图形符号来表示。

表 1-5 不同功率电阻器的电路图形符号

图 形 符 号	—□—	—□—	—□—	—□—	—□—
功 率 (W)	—	1/8	1/4	1/2	1
图 形 符 号	—□—	—□—	—□—	—□—	—□—
功 率 (W)	2	3	4	5	10



1.4.3 电阻器的单位换算方法的解读

电阻器的单位为欧姆，简称欧，用符号 Ω 表示。计量比较大的电阻可用千欧 ($k\Omega$) 或兆欧 ($M\Omega$) 表示。它们之间的换算关系为：

$$1k\Omega=10^3\Omega \quad 1M\Omega=10^6\Omega \quad 1M\Omega=10^3k\Omega=10^6\Omega$$



1.4.4 电阻标称阻值识别方法的解读

电阻的额定功率、电阻值及允许误差一般都标在电阻上。额定功率较大的电阻，一般都将额定功率直接印在电阻的表面上。

电阻值及允许误差有直标法、文字符号法和色标法三种。清楚这些标注方法的含义，在选用时对电阻标称阻值的识别很有帮助。

1. 直标法

所谓直标法就是电阻值用阿拉伯数字，允许误差用百分数，直接在电阻体上标注出来。例如， $3k\Omega\pm5\%$ 、 $5M\Omega\pm10\%$ 等。

2. 文字符号法

所谓文字符号法就是电阻值用数字与符号组合在一起表示，组合规律如下。

(1) 文字符号。文字符号 Ω 、 k 、 M 处于两个数字中间时，前面的数字表示整数电阻值，



文字符号后面的数字表示小数点后面的小数电阻值。

(2) 允许误差。允许误差符号: J 为 $\pm 5\%$; K 为 $\pm 10\%$; M 为 $\pm 20\%$ 。此类符号一般置于标称符号最后。

例如, $3\Omega 3K$ 表示 $3.3\Omega \pm 10\%$, 这种表示法可避免因小数点蹭掉而误识标记。

3. 色环标注法

1) 色环电阻的表示方法

小型化的电阻都采用色环标注法, 简称色标法。色标法就是用电阻体上不同颜色的色环作为标称电阻值和允许误差的标记。

2) 色环电阻各环所代表的意义

普通精度的电阻用 4 条色环表示, 色环电阻的表示方法如图 1-4 所示。左边(与端头距离最近的)为第 1 色环, 顺次向右为第 2、第 3、第 4 色环。各色环所代表的意义为:

(1) 第 1 色环、第 2 色环相应地代表电阻值的第一位、第二位有效数字。

(2) 第 3 色环表示第一位、第二位数之后加“0”的个数。

(3) 第 4 色环代表电阻值的允许误差。

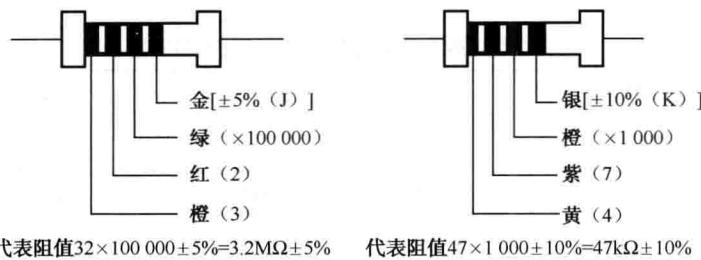


图 1-4 色环电阻的表示方法

各种色环电阻的色环颜色—数值对照关系如表 1-6 所示。

表 1-6 普通精度电阻色环颜色—数值对照表

色环颜色	第 1 色环	第 2 色环	第 3 色环		第 4 色环
	第 1 位数字	第 2 位数字	前面两位数字后面加 0 的个数		误差范围
黑	—	0	$10^0 = 1$	$\times 1\Omega$	—
棕	1	1	$10^1 = 10$	$\times 10\Omega$	—
红	2	2	$10^2 = 100$	$\times 100\Omega$	—
橙	3	3	$10^3 = 1 000$	$\times 1 000\Omega$	—
黄	4	4	$10^4 = 10 000$	$\times 10 000\Omega$	—
绿	5	5	$10^5 = 100 000$	$\times 100 000\Omega$	—
蓝	6	6	$10^6 = 1 000 000$	$\times 1 000 000\Omega$	—
紫	7	7	—	—	—
灰	8	8	—	—	—
白	9	9	—	—	—
金	—	—	$10^{-1} = 0.1$	$\times 0.1\Omega$	$\pm 5\% (J)$
银	—	—	$10^{-2} = 0.01$	$\times 0.01\Omega$	$\pm 10\% (K)$



3) 色环电阻识别方法举例

(1) 有一电阻, 色环为“白、棕、金、银”, 因为第3色环金色为 0.1Ω 级, 前面第1色环“白”为9, 第2色环“棕”为1, 最后“银”为 $\pm 10\%$ 。综合起来可知该电阻器的标称值是 $9.1\Omega \pm 10\%$ 。

(2) 一电阻的色环为“橙、红、绿、金”, 则它的电阻值为 $3.2M\Omega \pm 5\%$ 。

(3) 一电阻的色环为“红、黑、橙、金”, 因为第2色环是“黑”, 第3色环是“橙”, 所以是整数几十 $k\Omega$ 级, 它表示的电阻值为 $20k\Omega \pm 5\%$ 。

(4) 一电阻, 色环为“黄、黄、黄、金”, 其标值电阻值为 $440k\Omega \pm 5\%$, 实际电阻值为 $418 \sim 462k\Omega$ 。



1.4.5 电路欧姆定律的解读

任何导体都有一定的电阻, 在导体两端加上电压, 导体中就有电流流过。电流、电压和电阻三者之间的关系为: 导体中通过电流 I 的大小与加在导体两端的电压 U 成正比, 而与导体的电阻 R 成反比。能确切地表示这三种物理量之间关系的定律称为欧姆定律。欧姆定律是进行电路计算的最基本的定律。

1. 部分(一段)电路欧姆定律

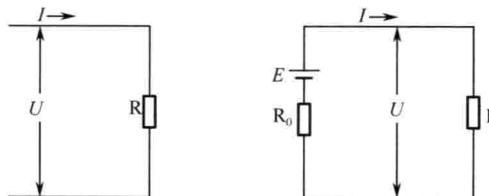
部分(一段)电阻电路示意图如图1-5(a)所示, 即在该电路中不含电源电动势, 仅用端电压 U 表示电路中的电源。该电路的欧姆定律公式为:

$$I=U/R$$

式中 I —导体中的电流, 单位为A;

R —负载电阻或导体的电阻, 单位为 Ω ;

U —电源电压或电阻 R 两端的电压, 单位为V。



(a) 部分(一段)电路示意图 (b) 全电路(闭合回路)示意图

图1-5 部分电路与全电路示意图

根据上面的公式, 只要知道了任意两个数量, 就能求出第三个未知数。

2. 全电路欧姆定律

最简单的全电路(闭合电路)示意图如图1-5(b)所示。这种最简单的闭合回路, 称为全电路。在该电路中, 电流 I 的大小与电动势 E 成正比, 与其全部电阻值成反比。其欧姆定律公式可用下式表示:

$$I=E/(R_0+R)$$

式中 I —电路中的电流, 单位为A;

E —电源电动势, 单位为V;

R_0 —电源的内电阻, 单位为 Ω ;



R ——负载的电阻，单位为 Ω 。

菜鸟入门要诀



上述欧姆定律公式还可以写成如下公式： $U=R\times I$ ，由该公式可以看出，当电流 I 一定时，电阻越大则电压越高；反之，在一定的电流下，电阻值越小则电阻上的电压降也越低。换言之，当两个不同阻值的电阻通过相同的电流时，在小阻值的电阻上的电压降就低，而在大阻值的电阻上的电压降就高，即当电流一定时，电压与电阻成正比例的关系。

菜鸟学
基本知
识入门



1.5 菜鸟学通电功和电功率入门

各种各样的电气设备接通电源后都在做功，将电能转换为其他形式的能量称为电流做功。



1.5.1 电功的解读

电流在一段电路上所做的功，与这段电路两端的电压 U 、流过电路的电流 I 及通电时间 t 成正比，即：

$$W=U\cdot I\cdot t$$

式中 W ——电功，单位为焦耳，用字母 J 表示；

U ——电压，单位为伏，用字母 V 表示；

I ——电流，单位为安，用字母 A 表示；

t ——时间，单位为秒，用字母 s 表示。

把 $U=IR$ 代入上式可得：
$$W=I^2\cdot R\cdot t$$

若把 $I=U/R$ 代入可得：
$$W=\frac{U^2}{R}\cdot t$$

上述三个公式可根据不同的条件灵活选用。



1.5.2 电功率的解读

电流在 1s 内所做的功称为电功率，用字母 P 表示，其表达式为：

$$P=W/t$$

在上式中，若电功单位为焦耳，时间单位为秒，则电功率的单位为瓦特，简称瓦，用字母 W 表示。

在实际工作中，电功率的常用单位还有千瓦 (kW)、毫瓦 (mW) 等，它们之间的换算关系为：

$$1 \text{ 千瓦 (kW)} = 1000 \text{ 瓦 (W)} = 10^3 \text{ W} \quad 1 \text{ 毫瓦 (mW)} = \frac{1}{1000} \text{ 瓦 (W)} = 10^{-3} \text{ W}$$

如果功率的单位用千瓦 (kW)，时间的单位用小时 (h)，则计量用电器（消耗的电能）的



实用单位为千瓦·小时，用 $\text{kW}\cdot\text{h}$ 来表示。1 $\text{kW}\cdot\text{h}$ 就是通常所说的 1 度电。

电功率的计算公式还有以下常用方式：

$$P=IU=I^2R=U^2/R$$

对于热功率，由于 1W 约等于每秒 0.24 卡，所以生热功率可由以下公式计算出：

$$P_t=0.24\times I^2\cdot R$$

式中 P_t ——生热功率，单位为卡/秒。

一般用电设备都标有额定工作电压及功率，如电灯泡上标有“220V/25W”，表明这盏电灯在 220V 电压下工作时，它的功率为 25W。当电源电压低于 220V 时，它的实际功率就小于 25W；当电压很低时，灯泡甚至不会发光；当电压高于 220V 时，灯泡的实际功率就会超过 25W，甚至会烧坏灯泡。

通常将元器件或设备在额定功率下的工作状态称为额定工作状态，也称满载。低于额定功率的工作状态称为轻载，高于额定功率的工作状态称为过载或超载。由于过载很容易烧坏用电器，故一般情况下都不允许出现过载。

菜鸟学
基本知
识入门

1.6 菜鸟学通电容器和电容量入门

电容器是电气、电子设备中另一个基本元件，尤其是电子设备中大量应用了各种类型、各种规格的电容器。



1.6.1 电容器的基本结构与电场强度的解读



当两个导体的中间用绝缘的物质隔开时，就形成了电容器。组成电容器的两个导体称为极板，中间的绝缘物称为电容器的介质，常用的介质有空气、纸、云母、塑料薄膜、陶瓷等。

1. 电容器的结构

最简单的平板电容器结构如图 1-6 所示。它由两块同样大的平行的金属板组成，两板之间充满了介质。两块金属板称为电容器的极板，两极板之间的距离为 d ，极板的长度和宽度比两极板间的距离大很多倍。

2. 电场强度

如果把图 1-6 所示电容器接到直流电源上，它的两个极板就分别带上数量相等、符号相反的电荷，即与电源正极相连的极板带上正电荷，与电源负极相连的极板带上负电荷。这时该电容器两极板间就建立起了一个电场，其值为：

$$E=U/d$$

式中 E ——电场强度，单位为伏/米，用字母 V/m 表示；

U ——加在电容器两极板之间的电压，单位为 V；

d ——两极板之间的距离，单位为 m。

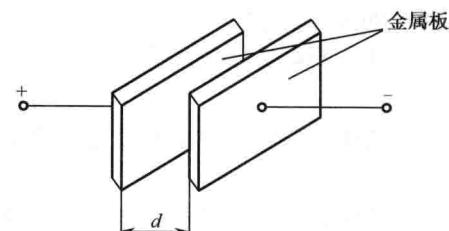


图 1-6 最简单的平板电容器结构



1.6.2 电容值(量)的解读

电容器储存电荷的能力用电容器的容量值来表示。实验证明，一个电容器接在直流电源上，电容器每一极板上的电荷量 q 与两极板间的电压 U 成正比。将两极板在单位电压下，每一极板上所储存的电荷量称为该电容器的电容，用字母 C 表示，即：

$$C=q/U$$

电容的单位是法拉，简称法，用字母 F 表示。

如果电容器两极板间的电压为 1 伏，每一极板上的电荷量是 1 库仑时，该电容器的电容就等于 1 法。法是电容很大的单位，实际使用常采用微法 (μF) 或微微法 ($\mu\mu\text{F}$ 或 pF) 等较小的单位来表示电容器的电容值，它们之间的关系为：

$$1\text{F}=10^6\mu\text{F}=10^{12}\text{pF}$$

在一些进口电容器上还用 mF 及 nF 作单位，欧洲有些国家将电容器的单位用千兆微微法缩写成一个“G”字（注意：这里的 G 与国际单位制中词头 G 代表的因数为 10^9 是不同的）。这些单位之间的关系为：

$$\begin{aligned} 1\text{G} &= 10^{-3}\text{F} = 10^3\mu\text{F} = 10^9\text{pF} = 10^6\text{nF} & 1\text{mF} \text{ (毫法)} &= 10^{-3}\text{F} = 1000\mu\text{F} \\ & 1\text{nF} \text{ (纳法)} = 10^{-9}\text{F} = 10^{-3}\mu\text{F} = 10^3\text{pF} = 10^{-6}\text{G} \end{aligned}$$



1.6.3 平板电容器的电容解读

平板电容器的电容可用以下公式计算，即：

$$C=\epsilon \cdot S/d$$

式中 S ——极板的面积，单位为 mm^2 ；

d ——极板间的距离，单位为 mm；

ϵ ——电容率，又称介电常数，由介质的性质确定，当 ϵ 以 pF/mm 为单位时，算出的电容 C 的单位为 pF 。

真空的电容率以 ϵ_0 表示，实验证明：

$$\epsilon_0=1/36\pi=1/113\approx 0.00886\text{pF/mm}$$

某种介质的电容率与真空电容率的比值，称为该种介质的相对电容率，以 ϵ_r 表示，即：

$$\epsilon_r=\epsilon/\epsilon_0$$

几种常用介质的相对电容率如表 1-7 所示，供参考。

表 1-7 常用介质的相对电容率

介 质 名 称	相 对 电 容 率 (ϵ_r)	介 质 名 称	相 对 电 容 率 (ϵ_r)	介 质 名 称	相 对 电 容 率 (ϵ_r)
石英	4.2	纯水	80	聚苯乙烯	2.2
空气	1	云母	7	三氧化二铝	8.5
硬橡胶	3.5	超高频瓷	7~8.5	无缝电瓷	6~6.5
酒精	35	五氧化二钽	11.6		



1. 电容器的容抗

电容器对交流电流阻碍作用的大小称为容抗，符号为 X_C ，类似于电阻器，容抗的单位也是欧姆（ Ω ）。它与电容量 C 和交流频率 f 之间的关系如下：

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C}$$

2. 容抗的特征

- (1) 容抗 X_C 与 f 和 C 有关。
- (2) 直流电的 $f=0$, X_C 为无穷大 (∞)，即为隔直流作用。
- (3) f 为 ∞ 时, X_C 为 0，可视为短路。
- (4) 对于固定的 C , f 越大, X_C 越小。
- (5) 对于固定的 f , C 越大, X_C 越小。

例如，一只 100pF 的电容器，对于 50Hz 的交流电，其容抗为 $32M\Omega$ ，而对于 500MHz 的交流电，其容抗仅为 3.2Ω 。

以上特性决定了电容器的隔直流、耦合、旁路作用。



1.6.4 分布电容的特性解读

在实际工作中，不只是电容器中才具有电容，任何两导体之间都存在电容。例如，两根传输线之间，每根传输线与大地之间都是被空气介质隔开的，所以也存在电容。一般情况下，这个电容值很小，它的作用常可忽略不计。但如传输线很长或传输的信号频率很高时，就必须计及这一电容的作用。

另外，在电子仪器中，导线和仪器的金属外壳之间也存在电容。

上述这些电容通常称为分布电容，虽然它的数值比较小，但有时却会给传输线路或仪器造成一些干扰，这是我们必须考虑的。



1.6.5 电容器的类型及电路图形符号识别方法解读

由上述分析可知，电容器是由两个相互靠近的金属电极板构成的，中间呈绝缘状，当在两电极加上电压时，电容器就可以储存电能。

1. 电容器的类型

电容器的种类很多，如按是否有极性来分，可分为无极性电容器和有极性电容器两大类，它们在电路中的符号稍有差别。

2. 电容器的电路图形符号

电容器在电路中用字母“C”表示，各种电容器的电路图形符号如表 1-8 所示。

表 1-8 各种电容器的电路图形符号

序号	新 符 号		旧 符 号	
	名 称	图 形 符 号	名 称	图 形 符 号
1	微调电容器	≠	微调电容器	≠ 或 ≠



(续表)

序号	新 符 号		旧 符 号	
	名 称	图 形 符 号	名 称	图 形 符 号
2	电容器的一般符号	⊥	电容器的一般符号	⊥
3	极性电容器	⊕ ⊖	有极性电解电容器	⊕ ⊖
4	可变电容器	≠	可变电容器	≠ 或 ≠



1.6.6 电容器主要参数的解读

电容器的主要参数有标称容量（简称容量）、允许误差、额定电压、漏电流、绝缘电阻、损耗因数、温度系数、频率特性等。知道这些参数对合理选用和正确使用电容很有好处。

1. 标称容量及其换算关系

电容器储存电荷的能力，用电容量表示。电容量与极板面积和介质材料有关。其基本单位是“法拉”，用“F”表示；在实际使用中，经常用“F”的百万分之一作单位，即“微法”，用字母“μF”表示，在电路图上，一般只写一个“μ”；在实际使用中，有时也用μF的百万分之一作单位，即“皮法”，用“pF”表示，在电路图上，一般只写一个“p”字。它们之间的关系为：

$$1F=10^6\mu F=10^{12}pF$$

一只 100pF 的电容，加到 10V 电源上，两极板充的电荷与极板间电压成正比：

$$Q=CU=100\times10^{-12}\times10=10^{-9}C \text{ (库仑)}$$

式中 Q ——极板上所充得的电荷，单位为 C；

C ——电容器的电容量，单位为 F；

U ——极板上所加的电压，单位为 V。

2. 允许偏差

允许偏差是指电容器的标称容量与实际容量之间最大允许的偏差范围。

电容器的容量偏差与电容器介质材料及容量大小有关。电解电容器的容量较大，误差范围大于±10%；而云母电容器、玻璃釉电容器、瓷介电容器及其他无极性高频有机介质薄膜电容器（如涤纶电容器、聚苯乙烯电容器、聚苯烯电容器等）的电容相对较小，误差范围大于±20%。

3. 额定电压

电容器正常工作时，保证绝缘介质不被加在两极板的电压击穿的最大直流工作电压，称为电容器的额定直流工作电压，简称额定电压（又称耐压），它与介质种类和厚度有关。

在选用电容器时，必须根据电容器在电路中的不同部位，确定不同的耐压值。电容器的工作电压应低于电容器上标注的额定电压值，否则会导致电容器因过压而被击穿损坏。



4. 绝缘电阻

电容器的绝缘电阻也称为漏电阻，该电阻值的大小是衡量其绝缘性能好坏的重要指标。漏电流越大，绝缘电阻越小。绝缘电阻越大，表明电容器的漏电流越小，质量也越好。正常的绝缘电阻一般应在 $5G\Omega$ 以上。

5. 频率特性

频率特性是指电容器对不同频率所表现出的性能（即电容器的电参数随着电路工作频率的变化而改变的特性）。不同介质材料的电容器其最高工作频率也不同。通常容量较大的电容器（如电解电容器）只能在低频电路中正常工作，高频电路中只能使用容量较小的高频瓷介电容器或云母电容器等。

6. 温度系数

温度系数是指在一定温度范围内，温度每变化 1°C ，电容器容量的相对变化值。温度系数值越小，电容器的性能越好。

7. 漏电流

电容器的介质材料不是绝对绝缘体，它在一定的工作温度及电压条件下也会有电流流过，该电流就是漏电流。

电解电容器的漏电流一般大一些，而其他类型的电容器漏电流较小。

8. 损耗因数

损耗因数也称电容器的损耗角正切值，用来表示电容器能量损耗的大小。损耗因数值越小，则说明电容器的质量越好。

电容器除了以上这些主要参数外，还有一些其他参数，因使用较少，故这里不再介绍。



1.6.7 直接标注电容器容量值识别方法的解读

1. 常规标注方法

这种表示方法较简单，多用于体积稍大的电容，它是直接在其外表面写上标称容量值，并写上单位，如图 1-7 中的 (a) ~ (e) 所示。还有一些电容上只标出容量的数值而不标注单位，如数值中带有小数点，则容量单位是 μF ，如图 1-7 (d) 与 (e) 所示，如用不带小数点的 4 位数或 2 位数表示容量，则它们的单位为 pF 。

2. 进口电容器小数点表示方法

进口电容器上有时用 n 隔开整数部分与小数部分，或者用 R 代表小数点。例如， $2n9$ 即为 $2.9\text{nF} = 2900\text{pF}$ ； $R56\mu\text{F}$ 即为 $R56\mu\text{F} = 0.56\mu\text{F}$ 。

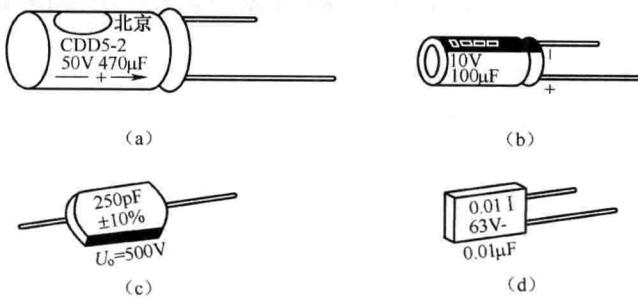
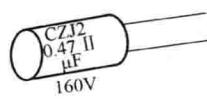
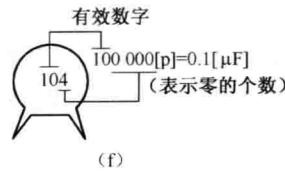


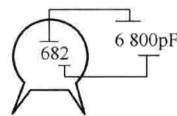
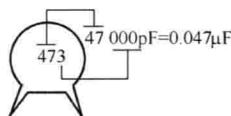
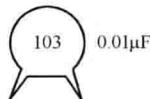
图 1-7 电容参数标注方法示意图



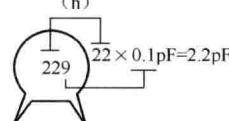
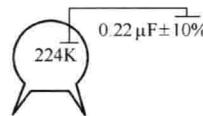
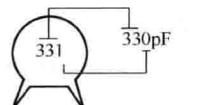
(e)



(f)



(g)



(i)

(j)

(k)

(l)

图 1-7 电容参数标注方法示意图 (续)

入门解读



1.6.8 数码标注电容器容量值识别方法的解读



1. 容量值表示方法

此法较为常见，一般用 3 位数字表示电容器容量大小，如图 1-7 (f) ~ (i) 所示，此时其单位应为皮法 (pF)，前面两位数表示电容器容量的有效数字，第 3 位数表示有效数字后面要加多少个零（即乘以 10^x 次幂， x 为第三位数字）。

2. 容量值表示方法举例

例如，容量标为“223”，则标称容量为： $22 \times 10^3 \text{ pF} = 22 000 \text{ pF} = 0.022 \mu\text{F}$ 。

容量标为“472”，则标称容量为： $47 \times 10^2 \text{ pF} = 4 700 \text{ pF}$ 。

若第 3 位数字是“9”，则表示容量在 $1 \text{ pF} \sim 9.9 \text{ pF}$ 之间，这个“9”是“ 10^{-1} ”的意思。

例如，容量标为“339”，则标称容量为： $33 \times 10^{-1} \text{ pF} = 3.3 \text{ pF}$ 。

入门解读



1.6.9 色码标注电容器容量值识别方法的解读



1. 容量值表示方法

色码或色环表示法与数码表示法相似，但它标的不是数字，而是用不同的颜色代表不同的数值。颜色与数值的对应关系为：

黑	棕	红	橙	黄	绿	蓝	紫	灰	白
↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9



电容器上色码表示方法示意图如图 1-8 所示，沿着引线方向第 1 色环、第 2 色环表示电容的有效数字，第 3 色环表示有效数字后面应补加的零的个数，其单位也是 pF。

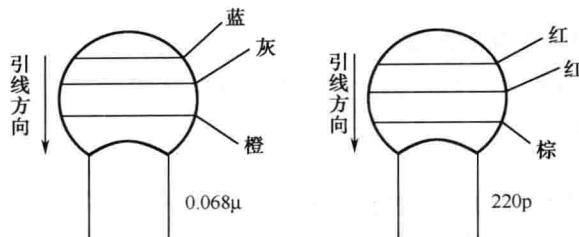


图 1-8 电容器上色码表示方法示意图

2. 容量值表示方法举例

例如，沿着引线方向，第 1 色环是红，第 2 色环仍然是红，第 3 色环是黄，则其数码为 224，按上述方法即可得容量值：

$$22 \times 10^4 \text{pF} = 220 000 \text{pF} = 0.22 \mu\text{F}$$

又如，沿引线方向颜色分别为“棕”、“黑”、“绿”，则其数码为 105，容量值为：

$$10 \times 10^5 \text{pF} = 1 000 000 \text{pF} = 1 \mu\text{F}$$

以上的 $0.22\mu\text{F}$ 实例，是将色环相同的合并加宽而成的，即由宽的红加黄组合而成。如电容上只有一条很宽的色环为红色，则说明三位数字都是 2，即 222，容量值为：

$$22 \times 10^2 \text{pF} = 2 200 \text{pF}$$



1.6.10 标单位电容器容量值识别方法的解读

此法是国际电工委员会推荐的标志方法。通常用字母 m (10^{-3}F)、 μ (10^{-6}F)、n (10^{-9}F) 和 p (10^{-12}F) 来表示容量的数量级，并表示小数点位置。

例如，4n7 表示为 $4.7 \times 10^{-9}\text{F} = 4 700 \text{pF}$ ；6p8 表示为 $6.8 \times 10^{-12}\text{F} = 6.8 \mu\text{F}$ ；3μ3 表示为 $3.3 \times 10^{-6}\text{F} = 3.3 \mu\text{F}$ 。



1.6.11 其他方法标注电容器容量值识别方法的解读

1. 数字前面冠以 R 方式

有些在数字前面冠以 R 来表示容量，这种电容一般只有零点几微法。

例如，R33 表示 $0.33\mu\text{F}$ ，R10 表示 $0.1\mu\text{F}$ ，这里的 R 相当于小数点。

2. 不标单位的表示法

还有不标单位的表示法，可以凭经验看出容量是多少。用 1~4 位数字表示的，则容量单位为 pF。

例如，2 200 表示容量为 $2 200 \text{pF}$ ，39 表示容量为 39pF 。

若用零点几或零点零几来表示，其单位是 μF 。

例如，0.1 表示 $0.1\mu\text{F}$ ，0.047 表示 $0.047\mu\text{F}$ 。

入门
解读

1.6.12 电容器允许误差的识别方法解读

1. 直接表示法

例如,用 $\pm 5\%$ 、 $\pm 10\%$ 、 $\pm 20\%$ 等表示;也有用I级($\pm 5\%$)、II级($\pm 10\%$)、III级($\pm 20\%$)等来表示的。

2. 用字母表示法

用各种字母表示电容误差的含义如表1-9所示。其中,允许误差值为5%、10%、20%的电容使用最多,因而应记住其对应的字母。

表1-9 各种字母表示电容误差的含义

字母	G	J	K	M	N	P	S	Z
表示的误差(%)	± 2	± 5	± 10	± 20	± 30	± 100	± 50	± 80



1.7 菜鸟学通电感器与电磁元件技能入门

菜鸟学
基本知
识入门

电气设备中采用电磁原理制成的元器件较多,这些元器件除了电感器外,还有电磁继电器、电磁阀、离合器、制动器、交流电动机、直流电动机、变压器等。

入门
解读

1.7.1 电感器与电磁元件电路图形符号识别方法的解读

常用的电感器可分为两大类:一类是应用“自感作用”的线圈;另一类是应用“互感作用”的变压器。

电感器(电感线圈)和变压器均是用绝缘导线(如漆包线、纱包线等)绕制成的电磁感应元件,也是电子电路及电气设备中较常用的元器件之一。

电感器(电感线圈)与变压器均属电感类元件,包括高、低频线圈,高、低频阻流圈,高、低频变压器等。当导线中有电流通过时,导线的周围就会有电磁场产生,且处在这个电磁场中的导线产生感应电动势——自感电动势,这一作用称为电磁感应。为了加强电磁感应,人们又将绝缘的导线绕成一定圈数的线圈,该线圈就成为电感线圈或电感器,简称为电感。电感器的电路符号如表1-10所示。

表1-10 电感器的电路图形符号

序号	新 符 号		旧 符 号	
	名 称	图 形 符 号	名 称	图 形 符 号
1	电感器、线圈绕组、扼流圈		电感线圈、绕组	
2	带磁芯(铁芯)的电感器		有铁芯的电感线圈	



(续表)

序号	新 符 号		旧 符 号	
	名 称	图 形 符 号	名 称	图 形 符 号
3	磁芯(铁芯)有间隙的电感器		铁芯有空气隙的电感线圈	
4	带磁芯(铁芯)连续可调的电感器		—	—
5	有两个抽头的电感器	或	带抽头的电感线圈	
6	可变电感器		—	—



1.7.2 电感器的主要参数换算与要求的解读

电感器的特性由其参数表示，它们是电感量、允许误差范围、品质因数、分布电容、稳定性、机械强度、尺寸、重量等。

1. 电感器的电感量及其基本单位与换算关系

电感器的工作能力的大小用“电感量”来表示。电感量表示电感产生感应电动势的能力。电感量的基本单位是亨利(H)，常用单位为毫亨(mH)、微亨(μH)与纳亨(nH)，它们之间的转换关系如下：

$$1H = 10^3 mH = 10^6 \mu H = 10^9 nH$$

电感量只与线圈的圈数、尺寸、形状等有关。一个线圈的电感量为 100mH，其上电流变化率 $\Delta i/\Delta t$ 为 1A/s，产生的自感电动势为：

$$e_L = -L \Delta i / \Delta t = -0.1V$$

式中 e_L ——自感电动势；

L ——电感量；

“-”——负号表示自感电动势对外加电动势的抵抗作用。

2. 电感器的允许偏差

允许偏差是指电感器上标称的电感量与其实际电感量的允许误差值。

(1) 振荡或滤波等电路。通常用于振荡或滤波等电路中的电感器要求精度较高，允许偏差为 $\pm 0.2\% \sim \pm 0.5\%$ 。

(2) 高频阻流、耦合等线圈。用于高频阻流、耦合等线圈的精度要求不太高，故允许偏差为 $\pm 10\% \sim \pm 15\%$ 。

3. 电感器的额定电流

额定电流是指电感器在正常工作时所允许通过的最大电流值。当工作电流超过额定电流时，电感器则会因发热而导致性能参数发生变化，甚至还会因过电流而烧坏。



4. 电感器的分布电容

分布电容是指线圈的匝与匝之间、线圈与磁芯之间及在互感线圈中两线圈之间存在的电容。分布电容对高频信号有很大影响，分布电容越小，电感器在高频工作时性能就越好，工作越稳定。

5. 电感器的品质因数

品质因数也称 Q 值，是衡量电感器质量的主要参数。由于导线本身存在电阻值，由导线绕制的电感器也存在电阻的一些特性，导致电能的消耗。品质因数就是指，电感器在某一频率的交流电压下工作时，所呈现的感抗与其等效损耗电阻之比。电感器的 Q 值越高，其损耗越小，效率越高。

电感器品质因数的高低，与线圈导线的直流电阻、线圈骨架的介质损耗及铁芯、屏蔽罩等引起的损耗有关。



1.7.3 电感器的电感量识别方法的解读

小型固定电感器的外形示意图如图 1-9 所示。电感器的电感量标示方法有直标法、文字符号法、色标法及数码标示法。

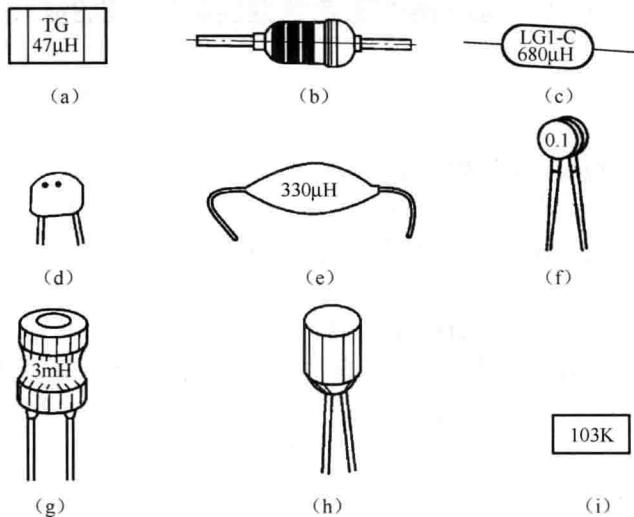


图 1-9 小型固定电感器的外形示意图

1. 直标法

1) 标注规律

所谓直标法，就是将电感器的标称电感量用数字和文字符号直接标在电感器外壁上，如图 1-9 (a)、(c)、(e)、(g) 所示。电感量单位后用一个英文字母表示其允许偏差，各字母所代表的允许偏差如表 1-11 所示。

表 1-11 电感量允许偏差字母所代表的允许偏差

英文字母	允许偏差 (%)	英文字母	允许偏差 (%)	英文字母	允许偏差 (%)
Y	± 0.001	W	± 0.05	G	± 2
X	± 0.002	B	± 0.1	J	± 5



(续表)

英 文 字 母	允 许 偏 差 (%)	英 文 字 母	允 许 偏 差 (%)	英 文 字 母	允 许 偏 差 (%)
E	± 0.005	C	± 0.25	K	± 10
L	± 0.01	D	± 0.5	M	± 20
P	± 0.02	F	± 1	N	± 30

2) 标注举例

例如， $560\mu\text{H}$ 表示标称电感量为 $560\mu\text{H}$ ，允许偏差为 $\pm 10\%$ 。

2. 文字符号

1) 标注规律

所谓文字符号法，就是将电感器的标称值和允许偏差值用数字和文字符号按一定的规律组合标在电感体上。

采用文字符号法标示电感量值的通常是一些小功率电感器，其单位通常是 nH 或 μH ，用 N 或 R 代表小数点。

2) 标注举例

例如，4N7 表示电感量为 4.7nH ；4R7 表示电感量为 $4.7\mu\text{H}$ ；47N 表示电感量为 47nH ；6R8 表示电感量为 $6.8\mu\text{H}$ 。

3) 需要说明的问题

采用这种标示方法的电感器通常后缀一个英文字母表示允许误差，各字母代表的允许偏差与直标法相同，如表 1-11 所示。

3. 色标法

1) 标注规律

所谓色标法，就是在电感器的表面涂上不同的色环来代表电感量（与电阻器类似），通常用四色环表示，如图 1-9 (b) 所示。紧靠电感体一端的色环为第 1 色环，露着电感体本色较多的另一端为末环。其第 1 色环为十位数，第 2 色环为个位数，第 3 色环为应乘的倍数（单位为 μH ），第 4 色环为误差率，各种颜色所代表的数值如表 1-12 所示。

表 1-12 色标颜色所代表的数值及误差值

颜 色	第 1 色 环	第 2 色 环	第 3 色 环	第 4 色 环
黑	0	0	1	$\pm 20\%$
棕	1	1	10	$\pm 1\%$
红	2	2	100	$\pm 2\%$
橙	3	3	1 000	$\pm 3\%$
黄	4	4	10 000	$\pm 4\%$
绿	5	5	100 000	—
蓝	6	6	1 000 000	—
紫	7	7	10 000 000	—
灰	8	8	100 000 000	—
白	9	9	1 000 000 000	—
金	—	—	0.1	$\pm 5\%$
银	—	—	0.01	$\pm 10\%$



2) 标注举例

例如，色环颜色分别为“棕（第1色环）、黑（第2色环）、黑（第3色环）、金（第4色环）”的电感器的电感量为 $10\mu\text{H}$ ，误差为 $\pm 5\%$ 。

4. 数码标示法

1) 标注规律

所谓数码标示法，就是用数字来表示电感器的电感量的标称值，如图1-9(i)所示，该方法常见于贴片电感器上。在3位数字中，从左至右的第1位、第2位为有效数字，第3位数字表示有效数字后面所加“0”的个数（单位为 μH ）。如果电感量中有小数，则用“R”表示，并占1位有效数字。电感量单位后面用一个英文字母表示其允许偏差，各字母代表的允许偏差与直标法相同，如表1-11所示。

2) 标注举例

(1) 标示为“102J”的电感量为 $10 \times 10^2 = 1000\mu\text{H}$ ，允许偏差为 $\pm 5\%$ 。

(2) 标示为“183K”的电感量为 18mH ，允许偏差为 $\pm 10\%$ 。

菜鸟入门要诀

在识别数码标示法标注电感器的电感量时，一定要注意将数码标示的方法与传统的方法区别开，如标示为“470”或“47”的电感量为 $47\mu\text{H}$ ，而不是 $470\mu\text{H}$ 。



菜鸟学通直流电路的计算与分析技能入门

电气工作人员遇到的直流电大多是由交流电经转换后得到的。了解和熟悉直流电路中电流、电压、电阻、电容的电量表达式，会进行简单的计算或估算，也是电工初学者必须要掌握的技能，本章介绍菜鸟学通这方面的技能。



2.1 菜鸟学通电池的串、并联计算方法入门

菜鸟学
基本知
识入
门



直流电路中使用的电池，在日常应用时较常遇到的是串联与并联问题，串联与并联后的电流计算方法如下。



入门
解读



2.1.1 电池串联计算公式的解读

电动势为 E ，内阻为 r 的 n 个电池串联，然后接上负载电阻 R 时的电路如图 2-1 所示，其电流计算公式为：

$$I = n \times E / (R + n \times r)$$

式中 E ——每个电池的电动势，单位为 V；

r ——每个电池的内阻，单位为 Ω ；

R ——负载电阻，单位为 Ω 。

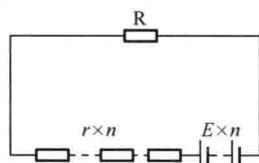


图 2-1 电池的串联计
算公式用图

菜鸟入门要诀



对于干电池一类内阻较大（ 0.5Ω 左右）的电源串联时，必须考虑电源的内阻；蓄电池一类电源的内阻很小，在负载电阻较大时，内阻可以忽略不计。



入门
解读



2.1.2 电池并联计算公式的解读

电动势为 E ，内阻为 r 的 n 个电池并联，然后接上负载电阻 R 时的电路如图 2-2 所示，其电流计算公式为：

$$I = E / [R + (r/n)]$$

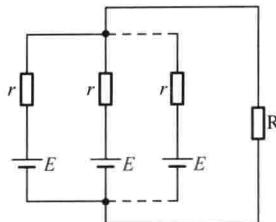


图 2-2 电池的并联计算公式用图

菜鸟入门要诀

n 个 E 和 r 相同的电池并联时的电动势和单一电池的电动势相等，但并联后的总内阻降为 r/n ，所以可以提供较大的电流。也就是说，将多个容量小的电池并联就能提供较大的电流。在电池并联时，不仅每个电池的电动势必须相等，内阻也应该相等。

菜鸟学
基本知
识入
门

2.2 菜鸟学通电阻器的连接及其计算方法 入门



在简单直流电路中，电阻器通常有串联、并联和混联三种方式。
电阻器串联、并联系意图如图 2-3 所示。



2.2.1 电阻器串联计算方法的解读

几个电阻器互相连接起来，中间没有分岔，这时通过每个电阻器的电流都相同，这种连接方式称为串联。图 2-3 (a) 表示 n 只电阻器 R_1, R_2, \dots, R_n 串联之后，接在电压 U 的两端所组成的电阻器串联电路。串联电阻器电路有以下特点。

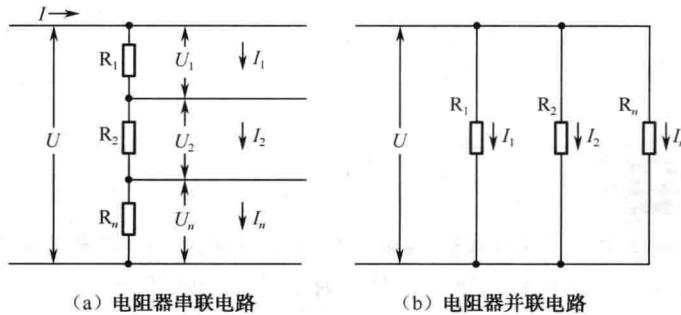


图 2-3 电阻器串联、并联系意图

1. 总电阻等于各电阻值之和

如图 2-3 (a) 所示，当有 n 只电阻器串联以后，串联后的总电阻等于各电阻值之和，即：

$$R_{\text{总}} = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$



2. 总电压等于各段电压之和

如图 2-3 (a) 所示, 当有 n 只电阻器串联以后, 串联后的总电压等于各段电压之和, 即:

$$U_{\text{总}}=U_1+U_2+\cdots+U_n$$

3. 各支路电流等于总电流

如图 2-3 (a) 所示, 当有 n 只电阻器串联以后, 串联后的电路各支路电流相等, 并等于总电流, 即:

$$I_{\text{总}}=I_1=I_2=\cdots=I_n$$



2.2.2 电阻器并联计算方法的解读

n 个电阻器接在相同的两点之间, 其两端的电压相同, 这种连接方式称为并联。电阻器并联电路如图 2-3 (b) 所示, 由 n 只电阻器 R_1, R_2, \dots, R_n 并联之后的电路有以下特点。

1. 总电阻的倒数等于各电阻倒数之和

如图 2-3 (b) 所示, 当有 n 只电阻器并联以后, 表示电流关系的式子为:

$$I_{\text{总}}=I_1+I_2+\cdots+I_n$$

可改写为:

$$\frac{U}{R_{\text{总}}}=\frac{U}{R_1}+\frac{U}{R_2}+\cdots+\frac{U}{R_n}$$

把上式中的电压 U 消去, 即可得到:

$$\frac{1}{R_{\text{总}}}=\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}+\cdots+\frac{1}{R_n}$$

由此可见, 并联电路的总电阻 $R_{\text{总}}$ 比各并联电阻 R_1, R_2, \dots, R_n 中的任何一个都要小。也就是说, 并联一个电阻器的结果总是使等效电阻值减小。这一规律有时在实际工作中是比较有用的, 比如在修理电器时, 发现某一电阻值太大, 要把它减小一些, 这时只要在原电阻器的两端再并接上一个合适的电阻器就可以了。

在特殊情况下, 当 n 个相同的电阻器 (如 R_1) 并联时, 它的等效总电阻值 (即并联后的总电阻值) 为:

$$R_{\text{总}}=R_1/n$$

2. 电阻两端电压等于外加电压

如图 2-3 (b) 所示, 当有 n 只电阻器并联时, 各电阻两端的电压相等, 并等于外加电压, 即:

$$U_{\text{总}}=U_1=U_2=\cdots=U_n=U$$

3. 总电流等于各支路电流之和

如图 2-3 (b) 所示, 当有 n 只电阻器并联以后, 并联后的总电流等于各支路电流之和, 即:

$$I_{\text{总}}=I_1+I_2+\cdots+I_n$$

上述关系式可由基尔霍夫定律第一定律, 即节点电流定律证明。

入门
解读

2.2.3 电阻器混联计算方法的解读

如图 2-4 所示为三只电阻器混联的连接方式，其总电阻计算公式为：

$$R = R_1 + \frac{R_2 \times R_3}{R_2 + R_3}$$

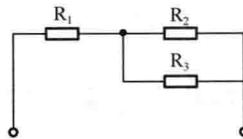


图 2-4 电阻器混联电路示意图

入门
解读

2.2.4 电阻器星形连接化为三角形连接计算方法的解读

如图 2-5 (a) 所示为电阻器星形连接方式，星形连接化为三角形连接时的计算公式为：

$$R_{23} = R_2 + R_3 + R_2 R_3 / R_1 \quad R_{12} = R_1 + R_2 + R_1 R_2 / R_{23} \quad R_{31} = R_3 + R_1 + R_3 R_1 / R_2$$

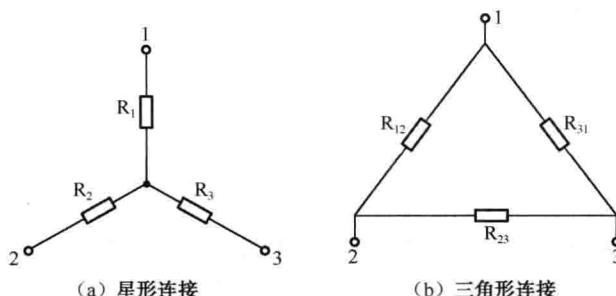


图 2-5 电阻器星形连接和三角形连接方式示意图

入门
解读

2.2.5 电阻器三角形连接化为星形连接计算方法的解读

如图 2-5 (b) 所示为电阻器三角形连接方式，三角形连接化为星形连接时的计算公式为：

$$R_1 = R_{12} R_{31} / (R_{12} + R_{23} + R_{31}) \quad R_2 = R_{23} R_{12} / (R_{12} + R_{23} + R_{31}) \quad R_3 = R_{31} R_{23} / (R_{12} + R_{23} + R_{31})$$

入门
解读

2.2.6 导体电阻值与温度的计算方法解读

$$R_t = R_{20} \times [1 + a(t - 20)]$$

式中 R_t ——导体在温度为 t 时的电阻值，单位为 Ω ；

R_{20} ——导体在 20°C 时的电阻值，单位为 Ω ；

a ——导体的电阻温度系数；



t ——温度，单位为 $^{\circ}\text{C}$ 。

例如，在 20°C 时电阻为 2.6Ω 的铜线，在 60°C 时的电阻值为：

查有关资料中金属材料电阻率与温度系数参考值表知，铜的 $\alpha=0.00393$ ，则代入上述公式可得：

$$R_t=2.6[1+0.00393\times(60-20)]=3.0056\ (\Omega)\approx0.4\Omega$$



2.2.7 电导和电导率计算方法的解读

电导 G 是衡量导体传导电流能力的物理量。在数值上等于电阻 R 的倒数。在绝缘体中有时称其为漏电。两绝缘导体之间的漏电一般用并联电导表示。电导率 σ 是电阻率 ρ 的倒数。

1. 电导的计算公式

$$G=1/R\ (\Omega)$$

2. 电导率的计算公式

$$\sigma=1/\rho\ (\text{I}/\Omega\cdot\text{m})$$

2.3 菜鸟学通电容器的连接及其计算方法 入门

菜鸟学
基本知
识入门



在实际工作中，常常会遇到单独使用一只电容器时不能满足需要，这时就常把几只电容器接成串联或并联的形式，以满足不同的需要。



2.3.1 电容串联计算方法的解读

几只电容器接成一个无分支电路的连接方式叫做电容器的串联。两只电容器的串联电路及等效电路如图 2-6 所示。两只电容器的电容量分别为 C_1 和 C_2 。

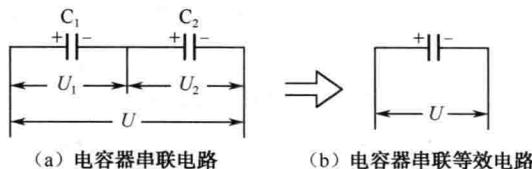


图 2-6 两只电容器的串联电路及等效电路

1. 电容量的计算

如果把图 2-6 所示的这组串联电容器接到电压值为 U 的直流电源上，电容器被充电。充电结束后，这组电容器的第一个极板和最后一个极板分别带上等量的正电荷 $(+q)$ 和负电荷 $(-q)$ ，其余极板由于静电感应也分别产生了与两端极板等量的感生电荷 $(+q)$ 和 $(-q)$ 。所以，当电容器串联时，各电容器上的电荷量相等。串联电路中的总电压等于该电路中各段电压之和，即：

$$U=U_1+U_2$$



电容器串联电路中的总电容为：

$$C_{\text{总}} = \frac{C_1 \times C_2}{C_1 + C_2}$$

电容器串联后，等效电容 $C_{\text{总}}$ 减小了，等效电容 $C_{\text{总}}$ 比原来的 C_1 或 C_2 中的任意一个的值都要小。这一关系相当于电阻并联时的情况。

若两只电容器的容量相等，即 $C_1=C_2$ ，则：

$$C_{\text{总}} = \frac{C_1}{2} = \frac{C_2}{2}$$

同理可推出，当 n 个容量均为 C_0 的电容器串联时的总电容为：

$$C_{\text{总}} = C_0/n$$

2. 电量的计算

当有 n 个电容器串联时，串联后各电容器中的电量相同，即：

$$Q_{\text{总}}=Q_1=Q_2=\cdots=Q_n$$

n 个电容器串联电路如图 2-7 所示。

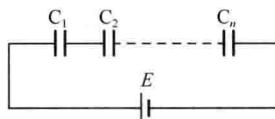


图 2-7 n 个电容器串联电路示意图

3. 电压的计算

如图 2-7 所示，当有 n 个电容器串联时，串联后的总电压为电容器两端电压之和，即：

$$U_{\text{总}}=U_1+U_2+\cdots+U_n$$



2.3.2 电容器并联计算方法的解读

如果单独使用一只电容器的耐压不能满足需要时，就可以把几只电容器并联起来使用，以组成较大的等效电容。

n 只电容器接在同一对节点间的连接方式称为电容器的并联。 n 个电容器并联电路如图 2-8(a) 所示。

以两只电容器的并联电路为例。两只电容器的电容值分别为 C_1 和 C_2 。

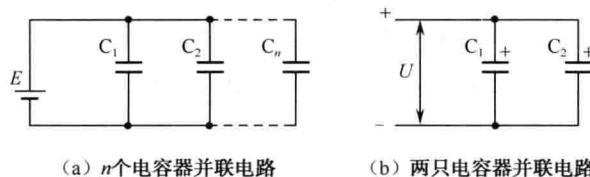


图 2-8 电容器的并联电路示意图

1. 电容量的计算

如果把图 2-8 (b) 所示的这组并联电容器接到电压为 U 的直流电源上，电容器就被充电。充电结束后，各电容器上的电压等于电源电压 U 。



电容器并联时的等效电容等于各并联电容器的电容之和，即：

$$C_{\text{总}} = C_1 + C_2$$

若 n 只电容为 C_0 的电容器并联，其等效电容为：

$$C_{\text{总}} = n \cdot C_0$$

电容器并联时，总电容增大了，电容器并联的数目越多，其等效电容也就越大。但必须注意：当电容器并联时，外加电压是直接加在每只电容器上的，因此，每只电容器的耐压值都必须大于外加电压值。

2. 电量的计算

如图 2-8 (a) 所示，当有 n 个电容器并联时，并联后总电量为各电容器电量之和，即：

$$Q_{\text{总}} = Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n$$

3. 电压的计算

如图 2-8 (a) 所示，当有 n 个电容器并联时，并联后各电容器中电压相同，即：

$$U_{\text{总}} = U_1 = U_2 = \dots = U_n$$

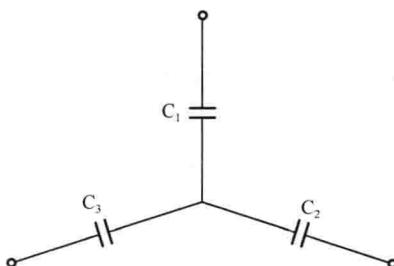
在实际工作中，有时也可以采用电容器串、并联的组合来获得所需要的电容值，可根据具体电路分别用电容器串联、并联公式进行有关计算。



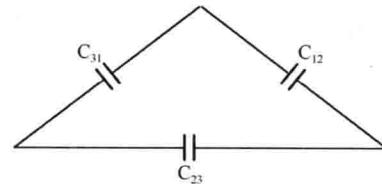
2.3.3 电容器星形连接化为三角形连接计算方法的解读

如图 2-9 (a) 所示为电容器星形连接方式，星形连接化为三角形连接时的计算公式为：

$$C_{12} = C_1 \cdot C_2 / (C_1 + C_2 + C_3) \quad C_{23} = C_2 \cdot C_3 / (C_1 + C_2 + C_3) \quad C_{31} = C_1 \cdot C_3 / (C_1 + C_2 + C_3)$$



(a) 星形连接



(b) 三角形连接

图 2-9 电容器星形连接和三角形连接方式示意图



2.3.4 电容器三角形连接化为星形连接计算方法的解读

如图 2-9 (b) 所示为电容器三角形连接方式，三角形连接化为星形连接时的计算公式为：

$$C_1 = C_{12} + C_{31} + C_{12} \cdot C_{31} / C_{23} \quad C_2 = C_{23} + C_{12} + C_{23} \cdot C_{12} / C_{31} \quad C_3 = C_{31} + C_{23} + C_{31} \cdot C_{23} / C_{12}$$



2.4 菜鸟学通电感器的连接及其计算方法 入门

在日常使用电感类元件时，有时也会遇到连接方面的问题及其参数的计算方法。



2.4.1 电感器串联总电感量计算方法的解读

如图 2-10 (a) 所示为两只电感器串联的连接方式，其总电感量计算公式为：

$$L=L_1+L_2$$

式中 L ——总电感量，单位为 H；

L_1 、 L_2 ——分电感量，单位为 H。

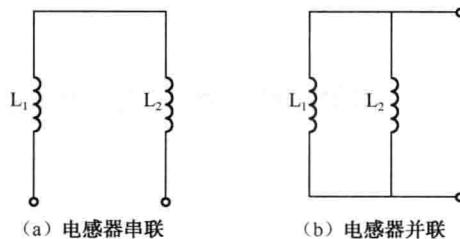


图 2-10 电感器串联、并联电路示意图



2.4.2 电感器并联总电感量计算公式的解读

如图 2-10 (b) 所示为两只电感器并联的连接方式，其总电感量计算公式为：

$$L=L_1 \cdot L_2 / (L_1 + L_2)$$



2.4.3 有互感的电感器串联总电感量计算方法的解读

有互感的电感器串联总电感量计算方法，根据电流流入的位置不同而不一样，如图 2-11 所示。

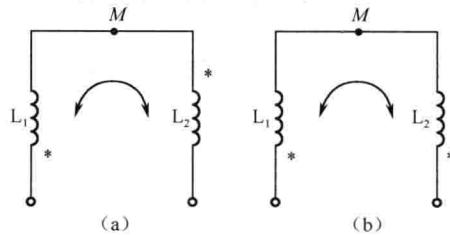


图 2-11 有互感的电感器串联的两种方式



图 2-11 (a) 的计算公式为:

$$L=L_1+L_2+2M$$

式中 M ——互感，单位为 H。

注：图 2-11 中的“*”符号表示电流流入处。

图 2-11 (b) 的计算公式为:

$$L=L_1+L_2-2M$$



2.4.4 有互感的电感器并联总电感量计算方法的解读

有互感的电感器并联总电感量的计算方法，根据电流流入的位置不同而不一样，如图 2-12 所示。

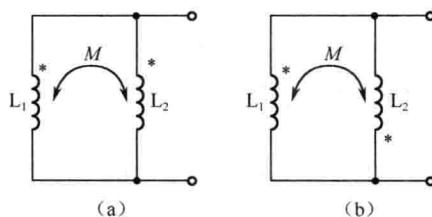


图 2-12 有互感的电感器并联的两种方式

图 2-12 (a) 的计算公式为:

$$L=(L_1L_2-M^2)/(L_1+L_2-2M)$$

图 2-12 (b) 的计算公式为:

$$L=(L_1L_2-M^2)/(L_1+L_2+2M)$$

2.5 菜鸟学通电工电路计算常用定律和公式入门

菜鸟学
基本知
识入门



在实际工作中，电工常用到的定律和计算公式及其计算方法有：支路电流计算方法、回路电流计算方法、节点电压计算方法、戴维南定理、叠加原理等。



2.5.1 电工直流电路支路电流计算方法的解读

支路电流法是直接应用基尔霍夫两个定律以支路电流为求解对象的方法。

1. 解题步骤

采用支路电流法来进行解题，其解题方法与步骤归纳起来可以参考以下几点来进行：

- (1) 先假定各支路电流方向，确定回路绕行方向。
- (2) 运用基尔霍夫第一定律，列节点方程。如果电路有 n 个节点，则只能列 $n-1$ 个方程，不足的方程用基尔霍夫第二定律列出。



- (3) 用基尔霍夫第二定律，列回路电压方程，在列回路方程时，最少要包含一个新支路。
(4) 解方程，并确定支路电流的真实方向。

2. 计算举例

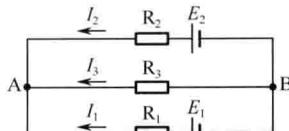


图 2-13 支路电流计算方法实例用图

以如图 2-13 所示电路为例，已知 $E_1=2V$, $E_2=1.5V$, $R_1=50\Omega$, $R_2=75\Omega$, $R_3=100\Omega$, 求各支路中的电流是多少？

(1) 先假定电流方向如图中所示，这样，对节点 A 有：

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

(2) 对于 E_1 ABE₁ 回路有：

$$I_1 R_1 + I_3 R_3 = E_1$$

(3) 对于 E_2 ABE₂ 回路有：

$$I_2 R_2 + I_3 R_3 = E_2$$

(4) 解联立方程得：

$$I_1 = \frac{E_1(R_2 + R_3) - E_2 R_3}{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_3 R_1} = \frac{2 \times (75 + 100) - 1.5 \times 100}{50 \times 75 + 75 \times 100 + 100 \times 50} = 0.0123 \text{ (A)}$$

$$I_2 = \frac{E_2(R_1 + R_3) - E_1 R_3}{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_3 R_1} = \frac{1.5 \times (50 + 100) - 2 \times 100}{50 \times 75 + 75 \times 100 + 100 \times 50} = 0.00154 \text{ (A)}$$

$$I_3 = \frac{E_2 R_1 + E_1 R_2}{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_3 R_1} = \frac{1.5 \times 50 + 2 \times 75}{50 \times 75 + 75 \times 100 + 100 \times 50} = 0.0138 \text{ (A)}$$

在上述计算中，如求得的电流为负值，说明电流的真实方向与假定方向相反。在交流电路中，只要应用复数电流、复位电动势、复数阻抗列方程即可。



2.5.2 直流电路回路电流计算方法的解读

回路电流法是以回路电流为求解对象，根据基尔霍夫第二定律列方程式进行计算的一种方法。

1. 解题步骤

采用回路电流法来进行解题，其解题方法与步骤归纳起来可以参考以下几点来进行：

(1) 先假定回路的电流方向。

(2) 用基尔霍夫第二定律列回路电压方程式。一般有几个网孔，就列几个方程式。在同一回路中，电动势的代数和应等于本回路电流在本回路所有电阻上产生的电压降和相邻回路电流在公共电阻上产生电压降的代数和。

(3) 解联立方程，来求出回路电流。

(4) 根据回路电流的大小和方向，求出支路电流，一般情况下，单独支路的电流应等于回路电流，公共支路的电流，等于相邻回路电流的代数和。

2. 计算举例

以如图 2-14 所示电路为例： $E_1=40V$, $E_2=5V$, $E_3=25V$, $R_1=5\Omega$, $R_2=10\Omega$, $R_3=10\Omega$, 求各支路电流是多少？

首先确定两个网孔中回路电流的方向。如果回路电流的方向就是回路绕行方向，则按基尔霍夫第二定律列出电压方程式：

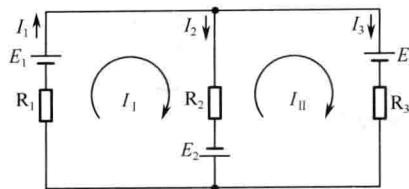


图 2-14 求回路电流计算实例用电路图

(1) 回路 I : $I_1(R_1+R_2)-I_{\text{II}}R_2=E_1+E_2$

(2) 回路 II : $-I_1R_2+I_{\text{II}}(R_2+R_3)=-E_2+E_3$

(3) 代入数据:

$(5+10)I_1-10I_{\text{II}}=40+5 \quad (10+10)I_{\text{II}}-10I_1=-5+25$

(4) 解联立方程得:

$I_1=5.5\text{A} \quad I_{\text{II}}=3.75\text{A}$

(5) 求支路电流得:

$I_1=I_1=5.5\text{A} \quad I_3=I_{\text{II}}=3.75\text{A}$

$I_2=I_1-I_{\text{II}}=(5.5-3.75)\text{A}=1.75\text{A}$

3. 回路电流法的通用方程式

一般情况下直流回路电流法的方程式可表示为如下一组方程，以三个网孔为例：

$I_1R_{11}+I_{\text{II}}R_{12}+I_{\text{III}}R_{13}=E_1 \quad I_1R_{21}+I_{\text{II}}R_{22}+I_{\text{III}}R_{23}=E_{\text{II}} \quad I_1R_{31}+I_{\text{II}}R_{32}+I_{\text{III}}R_{33}=E_{\text{III}}$

式中 R_{11} 、 R_{22} 、 R_{33} ——每个回路的自有电阻；

$R_{12}=R_{21}$ 、 $R_{13}=R_{31}$ 、 $R_{23}=R_{32}$ ——相邻两网孔的公共支路的共有电阻，如果两回路电流在公共支路上流向相同，取正号，否则取负号；

E_1 、 E_{II} 、 E_{III} ——每个网孔的电动势的代数和，凡是电动势的方向与回路电流方向一致时为正，相反时为负。

一般情况下交流回路电流法的方程式可表示为如下一组方程，以三个网孔为例：

$$\begin{aligned} \dot{I}_1Z_{11}+\dot{I}_{\text{II}}Z_{12}+\dot{I}_{\text{III}}Z_{13} &= \dot{E}_1 & \dot{I}_1Z_{21}+\dot{I}_{\text{II}}Z_{22}+\dot{I}_{\text{III}}Z_{23} &= \dot{E}_{\text{II}} \\ \dot{I}_1Z_{31}+\dot{I}_{\text{II}}Z_{32}+\dot{I}_{\text{III}}Z_{33} &= \dot{E}_{\text{III}} \end{aligned}$$



2.5.3 直流电路节点电压计算方法的解读

节点电压法适用于一对节点的电路，它以节点电压为求解对象，然后按含源支路或无源支路的欧姆定律求支路电流。

1. 节点电压公式

在直流电路中，节点电压的公式可由以下公式表示：

$$U = \frac{\sum Eg}{\sum g}$$

式中 $\sum Eg$ （代数和）——连接在两节点之间的所有支路电动势与电导之积的代数和。凡是电动势的方向指向高电位点时为正，相反为负；

$\sum g$ ——连接在两个节点之间所有各支路的电导之和。

在交流电路中，节点电压的公式可由以下公式表示：



$$\dot{U} = \frac{\sum \dot{E}Y}{\sum Y}$$

式中 \dot{E} 、 \dot{U} ——复数电动势和复数电压；

Y ——支路的复数导纳。

$\sum \dot{E}Y$ ——中正、负号的判定方法与直流一样。

2. 计算举例

以图 2-15 所示具有一对节点的电路为例，已知： $E_1=10V$, $E_2=8V$, $E_3=12V$, $R_1=2\Omega$, $R_2=4\Omega$, $R_3=4\Omega$ ，求：支路电流是多少？

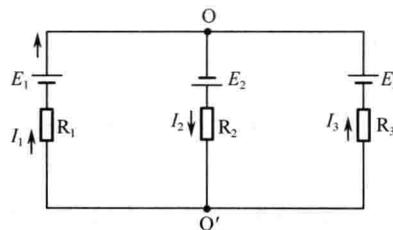


图 2-15 具有一对节点的电路图

- 首先假定节点之间的电压方向 $U_{OO'}$ ，即 O 点为高电位点。

$$U_{OO'} = \frac{E_1 g_1 - E_2 g_2 + E_3 g_3}{g_1 + g_2 + g_3} = \frac{10 \times \frac{1}{2} - 8 \times \frac{1}{4} + 12 \times \frac{1}{4}}{\frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{4}} V = 6V$$

- 假定支路电流方向如图 2-15 所示，则可得到：

$$I_1 = \frac{E_1 - U_{OO'}}{R_1} = \frac{10 - 6}{2} A = 2A \quad I_2 = \frac{E_2 + U_{OO'}}{R_2} = \frac{8 + 6}{4} A = 3.5A$$

$$I_3 = \frac{E_3 - U_{OO'}}{R_3} = \frac{12 - 6}{4} A = 1.5A$$



2.5.4 直流电路戴维南定理的解读

1. 基理

戴维南定理也称等效发电机定理。一个复杂的有源二端网路，对外电路来说，可以简化成一个由电动势 E_0 和内阻 R_0 组成的简单等效电路，如图 2-16 所示。

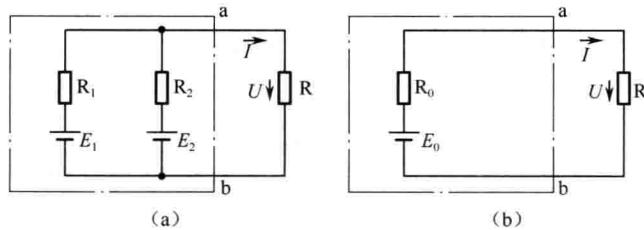


图 2-16 有源二端网络及其等效电路



E_0 等于原来网路的开路电压 U_0 , R_0 等于原来网路中所有电动势为零时的等效电阻。

图 2-16 (a) 是一个有源二端网路, 当外电路中电流为 I 、电压为 U 时, 可用图 2-16 (b) 所示的等效电路来代替它。其中的 R_0 、 E_0 的等效电路如图 2-17 所示。

由图 2-17 (a) 可见, R_0 等于 R_1 和 R_2 并联后的总电阻, 也就是说, 设有源网路中所有电动势为零, 则它就变成无源二端网路了。从 ab 端看过去, 它的总电阻就是 R_0 。

E_0 等于二端有源网络开路时的开路电压 U_0 , 如图 2-17 (b) 所示。

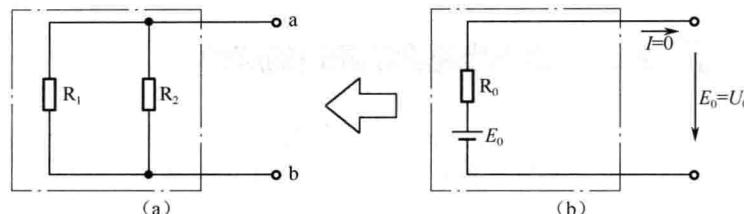


图 2-17 有源二端网络 R_0 、 E_0 及其等效电路

2. 计算举例

以图 2-18 (a) 所示的电路为例, 已知: $R_1=10\Omega$, $R_2=20\Omega$, $R_3=30\Omega$, $R_4=40\Omega$, $R_5=5\Omega$, $E=30V$ 。求: R 中的电流是多少?

- 从 R 两端看, 电路变成了一个有源二端网路, 如图 2-18 (b) 所示。图 2-18 (c) 是图 2-18 (b) 所对应的无源二端网路。它的等效电阻 R_0 就是等效发电机的内阻:

$$R_0 = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} + \frac{R_3 \cdot R_4}{R_3 + R_4} = \left(\frac{10 \times 20}{10 + 20} + \frac{30 \times 40}{30 + 40} \right) \Omega = 23.8\Omega$$

- 从图 2-18 (b) 看, 等效发电机的电动势 E_0 即为图 2-18 (b) 中 A、B 两点的开路电压 U_{AB} :

$$U_{AB} = U_{AD} + U_{DB} = \frac{ER_2}{R_1 + R_2} + \frac{ER_3}{R_3 + R_4} = \left(\frac{30 \times 20}{10 + 20} - \frac{30 \times 30}{30 + 40} \right) V = 7.1V$$

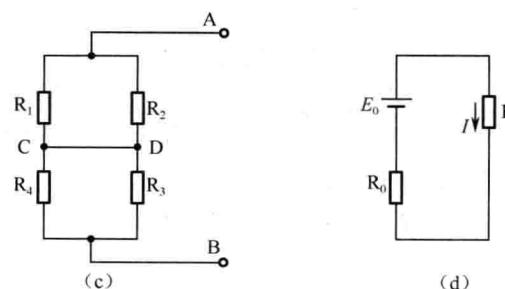
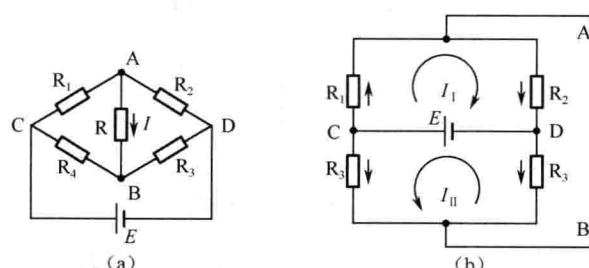


图 2-18 戴维南定理举例电路图



- 根据图 2-18 (d) 所示电路, R 中的电流为:

$$I = \frac{E_0}{R_0 + R} = \frac{7.1}{23.8 + 5} A = 0.247A$$

3. 需要说明的问题

等效发电机定理也适用于交流电路, 只不过电动势用 \dot{E} 表示, 电路参数用 Z 表示, 而开路电压 $\dot{U}_0 = \dot{E}_0$, 等效内阻抗为 Z_0 而已。



2.5.5 直流电路叠加原理的解读

在线性电路中, 如果有多个电动势作用时, 每个支路的电流可以看成各个电动势单独起作用时, 在该支路所产生的电流分量的叠加, 这一性质就称为叠加原理, 即

$$I = I' + I'' + I''' + \dots \quad (\text{代数和})$$

在叠加时要注意电流分量的流向。有了叠加原理, 就可以把复杂电路的问题, 变成简单电路的计算问题, 如图 2-19 所示。

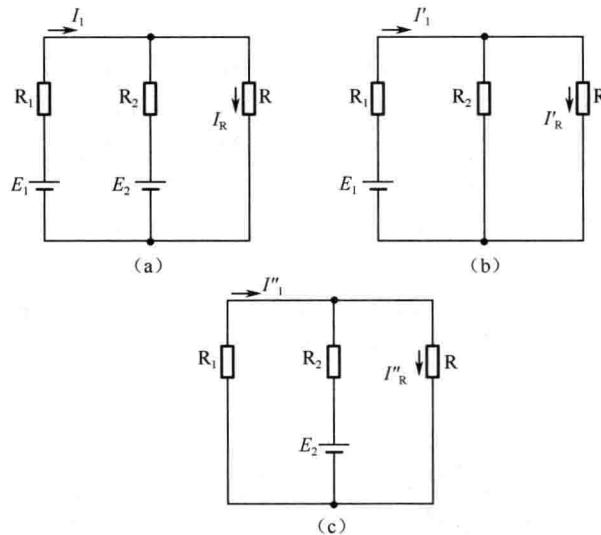


图 2-19 叠加原理电路图

以图 2-20 所示的电路为例, 已知: $E=20V$, $I_S=20A$, $R_1=5\Omega$, $R_2=3\Omega$, $R_{fz}=7\Omega$ 。用叠加原理来计算负载电阻 R_{fz} 中的电流和功率是多少?

根据上述要求, 采用叠加原理来计算负载电阻 R_{fz} 中的电流和功率的具体方法说明如下:

$$I' = \frac{E}{R_{fz} + R_2} = \frac{20}{7 + 3} A = 2A \quad I'' = \frac{I_S \times R_2}{R_{fz} + R_2} = \frac{20 \times 3}{10 + 3} A = 6A$$

若假定 R_{fz} 中的电流 I 与 I'' 流向一致, 则:

$$I = I'' - I' = (6-2) A = 4A$$

负载的功率为:

$$P = I^2 R_{fz} = (4^2 \times 7) W = 112W$$

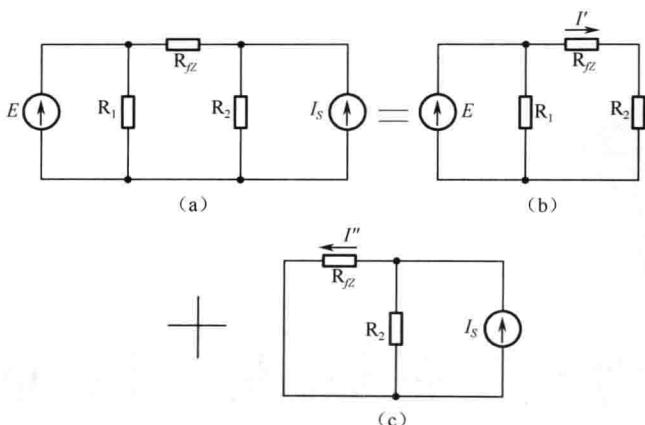


图 2-20 叠加原理应用电路图

菜鸟入门要诀



应用叠加原理时，通常应注意以下几个方面的问题：

- (1) 叠加原理只能用来计算线性电路中的电流和电压，不能用来计算功率；
- (2) 只考虑一个电动势单独起作用时，其余的电动势可看成短路，但它们的内阻应保留；
- (3) 应用叠加原理时，电路中所有的电阻不能变动，遇到电势源时予以短路，遇到电流时，可将其断开；
- (4) 电流或电压分量叠加时，要注意分量的方向，如果电流分量的方向与原支路电流标出的方向相同时取正号，否则取负号。



菜鸟学通正弦交流电路基本技能入门

在日常生活、工作中，我们从电力网获得的是具有正弦电压的电能，都是通过相应的电路提供给相关负载的。电气工作人员遇到的直流电大多是由正弦交流电经转换后得到的。

由此可见，接在电网上的照明电路、加热电路和电动机电路等都是或多或少接近理想的正弦电路。此外，在通信与自动控制系统中也广泛应用正弦电路。所以研究分析正弦电路是客观实践的需要。除了正弦电路之外，在现实中还存在非正弦的周期电路。由于在电工场所常遇到的非正弦电量实际上均可分解为大小不等、频率不同的正弦量，因此正弦电路理论仍是掌握非正弦电路的基础。可以说，正弦电路理论是电路基础理论的一个重要组成部分，也是工程技术人员必须要掌握的重要基础知识之一。只有了解和熟悉正弦交流电路的特性，才能在实际工作中合理使用它们。本章介绍的就是菜鸟学通正弦交流电路基本技能。

3.1 菜鸟学通单相交流电的基本概念入门

菜鸟学
基本知
识入门



交流电路和直流电路的基本特性是一样的，但由于交流电不断随时间变化，故会发生一些与直流电不一样的现象和规律。



3.1.1 交流电概念的解读

交流电是指大小和方向都随时间做周期性变化的电动势（电压或电流）。发电厂提供的交流电都是正弦交流电，也就是按正弦规律变化的交流电。其波形如图 3-1 所示。

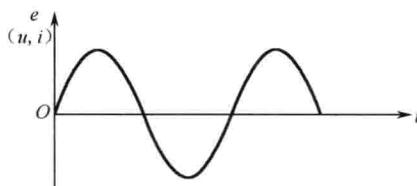


图 3-1 正弦交流电的波形



入门 解读

3.1.2 交流电的周期、频率和角频率的解读

在发电厂，发电机工作是不间断的，故产生的正弦交流电也会源源不断地输出，也就是说，正弦交流电的瞬时值每经过一定的时间段会重复一次。

1. 交流电的周期

交流电的波形为正弦方式，交流电完成一次完整的变 化所经历的时间称为一个周期 T ，单位为秒(s)，如图 3-2 所示。我国电力网供给的交流电周期为 0.02s。

2. 交流电的频率

在 1s 内变化的周期数称为频率，用字母 f 表示，单位为周/秒，用 Hz 表示，称为赫兹。我国电力网供给的交流电频率为 50Hz。周期和频率都是用来表示交流电变化快慢的参数，它们之间互为倒数关系，即

$$f=1/T$$

3. 交流电的角频率

交流电的频率也可以用每秒钟变化的弧度数来表示，称为角频率，用字母 ω 来表示，交流电变化一周可表示为 360° ，也就是 2π 弧度。由此就可得到角频率 ω 与频率 f 、周期 T 之间的关系：

$$\omega=2\pi/T=2\pi f$$

ω 的单位为弧度/秒，常写为 rad/s，50Hz 相当于 314rad/s。

入门 解读

3.1.3 交流电的相位和相位差的解读

1. 交流电的相位

在交流电路的分析和计算中，相位是一个重要的概念。通常讲的三相交流电、单相交流电、移相、倒相等，都与相位的概念密切相关。

上面已经介绍过反映交流电变化规律的三角函数表示式：

$$u=E_m \cdot \sin(\omega t)$$

在该表达式中，当 $t=0$ 时， $\omega t=0$ ，则 $u=0$ ，故该式仅是针对计时开始瞬间、正弦交流电初始值为零时的特定情况。

在实际分析两个或两个以上的正弦量的关系时，经常需要考虑 $t=0$ 瞬间、 u 不等于零的情况，即当 $t=0$ 时， $\alpha=\varphi$ ，如图 3-3(a) 所示。这相当于计时开始时导体已从中性面转过一个 φ 角度。这时，导体中的感应电动势为：

$$u_0=E_m \cdot \sin \varphi$$

经过时间 t 之后，导体转到另一位置，角度增加了 ωt ，相应的电动势为：

$$u=E_m \cdot \sin(\omega t+\varphi)$$

上式即为正弦交流电瞬时值方程式的最基本形式。在该式中， $(\omega t+\varphi)$ 是一个角度，它是随时间 t 变化的，对应于一个确定的时间 t ，就会有一个相应确定的角度 $(\omega t+\varphi)$ ，也就有一个确定的正弦量的瞬时值 u 。

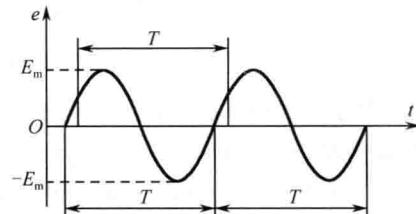


图 3-2 交流电的周期

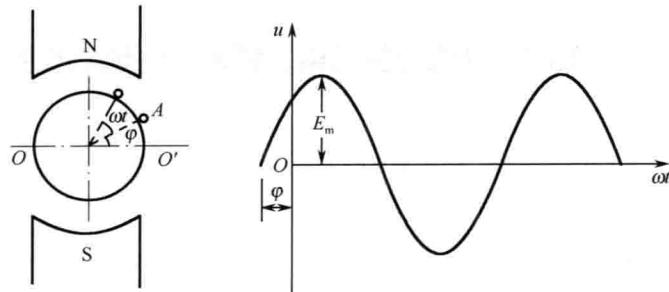


图 3-3 交流电的初相示意图及波形

因此， $(\omega t + \varphi)$ 是表示交流电变化进程的一个量，称为交流电的相位。相位的大小表示正弦量在变化过程中所达到的状态，不同的相位对应着不同的正弦瞬时值。例如：

- (1) 当相位 $\omega t + \varphi = 0$ 时，正弦量变化到取零值的状态；
- (2) 当相位 $\omega t + \varphi = 90^\circ$ 时，正弦量变化到取最大值的状态。

以此类推，由此可看出，相位决定着正弦量的瞬时值大小及其方向。

计时开始 ($t=0$) 时的相位 φ ，称为初相角，简称初相，初相的含义从图 3-3 (b) 所示的波形中可以清楚地了解到。

2. 交流电正弦量的三要素

由 $u = E_m \cdot \sin(\omega t + \varphi)$ 方程式可看出，当一个正弦量的最大值、角频率和初相位确定后，该正弦量也就完全确定了，故称这三个量为正弦量的三要素。

3. 交流电的相位差

对于单一的交流电，相位没有实际意义，但如分析两个或两个以上同频率的正弦量时，初相就有确定的含义了。

1) 相位差的概念

如图 3-4 (a) 所示，如果发电机的转子上有两组相同的线圈 1 与 2，它们相互垂直，也就是在空间位置上相隔 90° 角。当转子以角速度 ω 旋转时，线圈 1 与 2 均同时切割磁力线，并分别感应出电动势 u_1 与 u_2 。显然，这两个电动势最大值相等，频率相同，仅是两组线圈在空间位置上相隔 90° ，所以 u_1 达到最大值瞬间 u_2 达到零值；而当 u_1 达到零值瞬间， u_2 却达到最大值。

如此反复进行，这就是说，两个电动势的相位不同，初相不同，若以 u_1 的初相为 90° ，则 u_2 的初相为 0° ，由此就可得到它们的三角函数表达式为：

$$u_1 = E_m \cdot \sin(\omega t + 90^\circ) \quad u_2 = E_m \cdot \sin(\omega t)$$

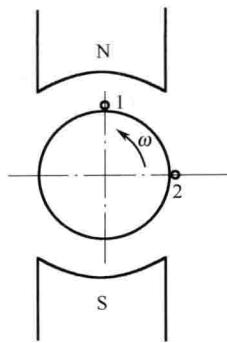
图 3-4 (b) 即为 u_1 与 u_2 的波形图。由该图可知， u_1 与 u_2 不是同时到达零值和最大值，这两个电动势“不同相”，它们之间存在相位差，差值为：

$$\varphi = (\omega t + 90^\circ) - \omega t = 90^\circ$$

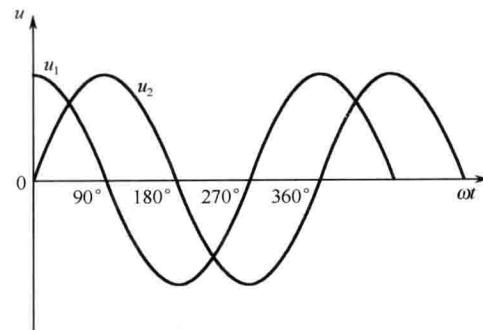
两个同频率的正弦量的相位差，等于它们的初相角之差，即

$$\varphi = \varphi_1 - \varphi_2$$

在图 3-4 (b) 中， u_1 先到达最大值（或零值）， u_2 后达到最大值（或零值），也就是说 u_1 在相位上超前 u_2 ，或者说 u_2 在相位上滞后 u_1 。



(a) 交流发电机相位差90° 工作示意图



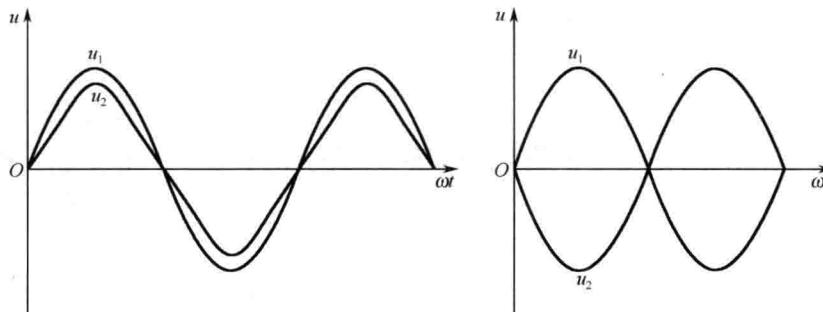
(b) 交流电相位差90° 的波形

图 3-4 两个同频率正弦量相位差示意图与波形

2) 同相和反相

如果两个频率的正弦量的相位差为零，它们在变化过程中就会同时到达最大值或零值，这种相位关系称为同相，其波形如图 3-5 (a) 所示。

如果一个正弦量达到正的最大值瞬间，另一个同频率的正弦量恰好达到负的最大值，它们之间的相位差为 180° ，这种相位关系称为反相，如图 3-5 (b) 所示。



(a) 同相波形示意图

(b) 异相波形示意图

图 3-5 正弦量的同相和反相波形



3.1.4 交流电有效值的解读

正弦交流电的特点就是它的大小每时每刻都在变化，怎样计量交流电的大小呢？人们注意到交流电变化过程中出现正、负最大值，虽然最大值是交流电的一个特征量，却不能代表交流电的大小。大家知道，不管是使用直流电还是使用交流电，都是利用电能做功。

这样，就可以根据做功能力的大小来确定交流电的量值，由此定义了交流电的有效值。

1. 交流电有效值的定义

有效值是这样规定的：在同样的两个电阻上，分别通以交流电流 i 和直流电流 I （如图 3-6 所示），如果在相同的时间内，两个电阻产生的热量相等，我们就说这两个电流是等效的，这时的直流电流 I 就作为交流电的有效值。有效值也用大写字母 U, I 表示。根据理论分析，可以得出交流电的有效值和最大值的关系。



$$U=\frac{U_m}{\sqrt{2}}=0.707U_m \quad I=\frac{I_m}{\sqrt{2}}=0.707I_m$$

各种交流电气设备铭牌上所标的电压和电流，以及交流电压表、电流表的指示值都是有效值。

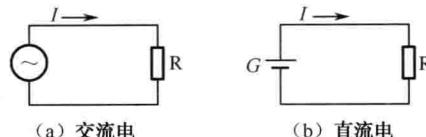


图 3-6 负载通上交流电或直流电示意图

2. 计算举例 1

已知交流电压的有效值为 220V，求其最大值。

解：

$$U_m=\sqrt{2} U=1.41\times 220=311 \text{ (V)}$$

3. 计算举例 2

已知正弦电流的最大值为 5A，求其有效值。

解：

$$I=\frac{I_m}{\sqrt{2}}=0.707I_m=0.707\times 5=3.54 \text{ (A)}$$

菜鸟学
基本知
识入门

3.2 菜鸟学通正弦交流电的矢量表示方法 入门



前文已经介绍了正弦交流电的三角函数表示法和波形图表示法。为了便于对交流电路进行分析与计算，人们总结出了一种用矢量表示正弦量的方法。矢量图不但能确切地反映出两个同频率的正弦量之间的相位关系，而且可以运用矢量进行正弦量的加减，既简单易行，又形象直观。特别是由矢量图推导出来的一套计算公式，可以直接用来进行交流电路的计算。



3.2.1 正弦交流电矢量图的画法解读

矢量图的画法非常简单，在直角坐标上，量取正弦量的有效值大小作为矢量的长度，以矢量与正横轴之间的夹角作为正弦量的初相角，绘出来的图形就是矢量图。举例来说，有两个同频率的正弦量，它们的三角函数表示式分别为：

$$u=25.45\sin(\omega t+45^\circ) \text{ (V)} \quad i=2.82\sin(\omega t-30^\circ) \text{ (A)}$$

画电压 u 的矢量时，在与 X 轴正方向为 45° 处做矢量 \mathbf{U} ，长度为 $U=0.707U_m=18 \text{ (V)}$ ；再画电流 i 的矢量，与 X 轴正方向为 -30° 处做矢量 \mathbf{I} ，长度为 $I=0.707I_m=2 \text{ (A)}$ ，就得到如图 3-7 所示的矢量图。

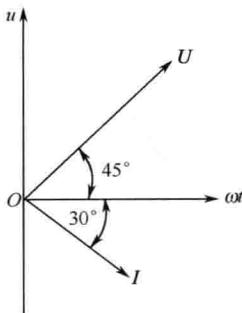


图 3-7 矢量图的画法说明示意图

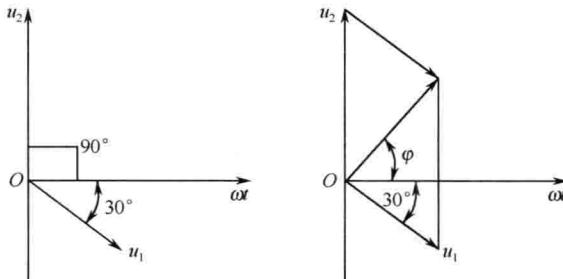


3.2.2 正弦交流电矢量相加的解读

利用矢量图能够方便地进行两个同频率的正弦量的相加。例如，两个同频率的正弦电压的三角函数表示式分别为：

$$u_1=28.3\sin(314t-30^\circ) \text{ (V)} \quad u_2=21.2\sin(314t+90^\circ) \text{ (V)}$$

这两个正弦量相加时，先在同一直角坐标上分别画出它们的有效值矢量（如图 3-8 (a) 所示），再以这两个矢量为两个边，作平行四边形，画出对角线，对角线的长度就等于 $u=(u_1+u_2)$ 的有效值，对角线与正横轴之间的夹角就是 u 的初相角 φ ，如图 3-8 (b) 所示。



(a) 画有效值矢量

(b) 画出两有效值的合成矢量

图 3-8 画矢量图的方法示意图

3.3 菜鸟学通单一参数的正弦交流电路入门

菜鸟学
基本知
识入
门

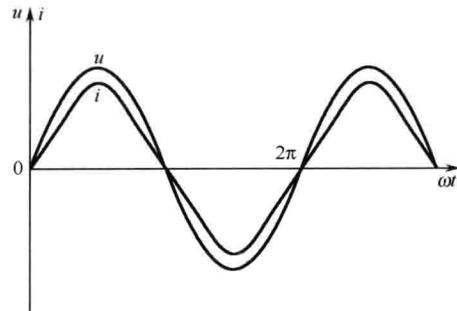
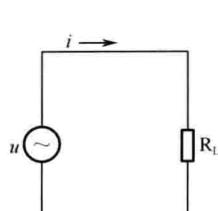
单一参数的正弦交流电路常见的有负载为纯电阻的交流电路、负载为纯电感的交流电路及负载为纯电容的交流电路三种。



3.3.1 负载为纯电阻的交流电路的解读

接在交流电路中的白炽灯、电热水器、电烙铁、电饭锅、电热毯、电炉等都可以看成是纯电阻负载，在电路上用 R_L 表示，如图 3-9 (a) 所示。





(a) 负载为纯电阻的交流电路

(b) 负载为纯电阻的交流电路波形图

图 3-9 负载为纯电阻的交流电路与波形图

1. 交流电路的欧姆定律

如果在纯电阻负载 R_L 两端外加正弦交流电压 u ，电路中将流过电流 i 。由于电阻 R_L 是不随时间变化的，故在每一瞬间电阻上电压和电流的关系是遵循欧姆定律的，即：

$$i=u/R_L$$

如果加在电路两端的电压为： $u=U_m \cdot \sin(\omega t)$

则： $u=u/R=\frac{U_m}{R} \cdot \sin(\omega t)$

由于式中 $U_m/R=I_m$ ，所以：

$$i=I_m \sin(\omega t)$$

电阻上电压与电流的关系可用图 3-9 (b) 所示的波形图来表示。显然，在纯电阻负载上，电压与电流是同相关系。

若把电压和电流的最大值换算为有效值，则：

$$I=U/R_L$$

这就是纯电阻交流电路的欧姆定律。

2. 交流电路纯电阻消耗的平均功率

电阻是耗能元件，在通过电流时，把它消耗的电能转换成了热能。根据计算电功率的公式，负载上的瞬时功率为：

$$P=u \cdot i$$

将各个瞬间的电压 u 与电流 i 相乘，即可得到纯电阻上消耗的平均功率为：

$$P=U \cdot I=I^2 R=U^2 / R$$

3. 计算举例

有一个纯电阻交流电路，其电阻 $R=2\Omega$ ，电源电压 $u=10\sin \omega t$ ，试计算电流的有效值和电阻上消耗的平均功率。

解：交流电压的有效值为：

$$U=\frac{U_m}{\sqrt{2}}=\frac{10}{\sqrt{2}}=7.1V$$

由纯电阻交流电路的欧姆定律可求出电流的有效值为：

$$I=U/R=7.1/2 \approx 3.5 \text{ (A)}$$

电流的最大值为：

$$I_m=\sqrt{2} I=1.41 \times 3.5=5 \text{ (A)}$$



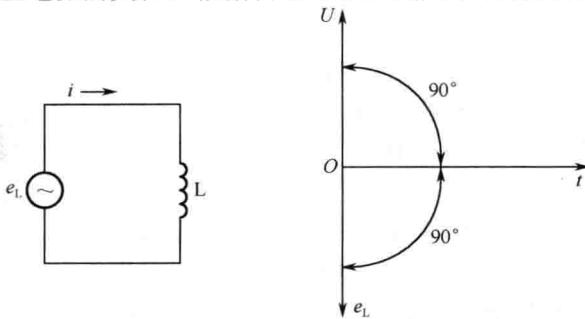
平均功率为：

$$P=UI=7.1 \times 3.5=25 \text{ (W)}$$



3.3.2 负载为纯电感的交流电路的解读

在图 3-10 (a) 所示电路中，当交流电流通过线圈 L 时，在线圈的两端将产生感应电压来阻止电流的变化。根据自感电压和线圈中电流的关系可知：



(a) 负载为纯电感的交流电路 (b) 负载为纯电感的交流电路矢量图

图 3-10 负载为纯电感的交流电路与矢量图

$$u=L \frac{\Delta I}{\Delta t} \quad (3-1)$$

式中 u ——电感上的电压；

$\Delta I/\Delta t$ ——电流变化率。

由上式可看出，电感上的电压 u 在电感 L 等于常数时取决于电流的变化率 $\Delta I/\Delta t$ 。如果设电感中的电流为：

$$i=I \cdot \sqrt{2} \sin(\omega t) \quad (3-2)$$

根据实验和数学分析可以证明其两端的电压为：

$$u=\omega L \cdot I \cdot \sqrt{2} \sin(\omega t+90^\circ)=U \cdot \sqrt{2} \sin(\omega t+90^\circ) \quad (3-3)$$

比较电流 i 和电压 u 两函数，可以根据以下两种情况来做进一步说明。

1. 理想电感电路

在理想的电感电路中，电压和电流的相位关系为：电压 u 比电流 i 超前 90° ($\frac{\pi}{2}$ 弧度)，

或者电流 i 比电压 u 滞后 90° ，如图 3-11 所示。由此可见：

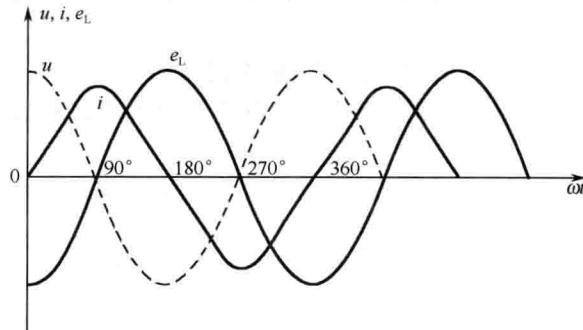


图 3-11 电感上 e_L 、 u 、 i 波形图



(1) 当电流的瞬时值为零时, 电流的增加速度却最快, 即变化率 $\Delta i/\Delta t$ 最大, 所以电压也最大。

(2) 当电流逐渐增加时, 变化率却减小了, 电压也就减小了, 到电流为最大值时, 电流不再增加, 变化率 $\Delta i/\Delta t$ 等于零, 所以电压也为零。当电流增加时, 电流增量 Δi 是正的, 所以电压也是正的。

(3) 当电流减小时, 电流增量 Δi 是负的, 于是电压也是负的。这样就使得电感元件具有电压超前电流 90° 的相位关系。

2. 纯电感电路

在纯电感电路中, 根据电压与电流的有效值之间的关系, 即式(3-2)中可得到:

$$\omega L \cdot I = U = X_L \cdot I \quad \text{其中 } X_L = \omega L = 2\pi f L$$

式中, X_L 为感抗。当 f 的单位为赫兹 (Hz)、 L 的单位为亨利 (H) 时, 感抗 X_L 的单位为欧姆 (Ω)。

感抗是用来表示电感线圈对电流阻碍作用的一个物理量, 它和频率 f 、电感 L 成正比关系, 频率越高, 电流变化越快, 感应电压越高; 电感 L 大, 感应电压也高, 因而对电流的阻碍作用也大, 因此显得线圈的感抗就大。反之, 低频率、小电感所呈现的感抗也就小。而对直流 (即频率 $f=0$) 来说, 感抗为零, 可将其视为短路。

由此可得知, 在纯电感交流电路中, 自感电动势与电流的变化步调是不一致的, 在相位上电流超前自感电动势 90°, 其矢量图如图 3-10 (b) 所示。纯电感交流电路的欧姆定律为:

$$I = U/X_L$$

3. 计算举例

某一日光灯镇流器 (可近似看作纯电感线圈) 上的电压为 185V, 通过镇流器的电流为 0.35A, 求镇流器对电流的感抗和它本身的电感。

解: 根据公式:

$$X_L = \omega L = 2\pi f L = U/I = 185/0.35 = 528.57 \quad (\Omega)$$

由此可得:

$$L = X_L/2\pi f = 528.57/2 \times 3.14 \times 50 = 1.68 \quad (H)$$



3.3.3 负载为纯电容的交流电路的解读

对于直流电路来说, 当电容串接在其回路中时, 由于电容器的两个极板间被绝缘的介质隔开了, 电流不能通过, 故电容对直流电相当于开路。

1. 基本特征

当把电容器串接在正弦交流电路中时 (如图 3-12 (a) 所示), 由于正弦电压的大小和方向随时间做周期性变化, 电容器将被从两个方向往复交替地充电和放电, 在电路中就会出现交变电流。

如图 3-12 (a) 所示, 加在电容器两端的电压 u 随时间变化时, 电容器极板上的电荷量也要相应地变化。

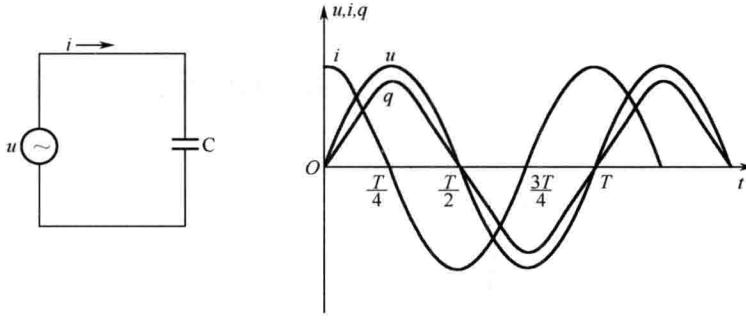
显然, 充电电流和放电电流是由大小和方向交变的正弦电压 u 引起的, 电流的大小可由下式确定:



$$i = \Delta Q / \Delta t = C \frac{\Delta U}{\Delta t}$$

即电流 i 与电容 C 和电压变化速度 $\Delta U / \Delta t$ 成正比。电压变化速率越大，充电和放电电流也越大；电压变化速率趋于零时，电流也趋近于零。

从图 3-12 (b) 所示的波形可以看出：当电压变化到趋近于零值时，其变化速率最大，因而在电压变到零值瞬间，电流变化到最大值；当电压变化到趋近最大值瞬间，其变化速率趋近于零，电流也接近于零。



(a) 负载为纯电容的交流电路

(b) 负载为纯电容的交流电路波形图

图 3-12 负载为纯电容的交流电路与波形图

电流的方向遵循以下规律：电压从零值向正的或负的最大值增长阶段，电容器处于充电状态，电流 i 与电压 u 方向相同；电压从正的或负的最大值向零值减少阶段，电容器处于放电状态，电流 i 和电压 u 方向相反。综上所述，电流在相位上超前电压 90° 。

2. 容抗与欧姆定律

电容器在电路中对交变电流所呈现的阻力称为容抗，用符号 X_C 表示，单位为欧姆。根据理论推导，电容器对正弦电流呈现的容抗可由下式算出：

$$X_C = 1/\omega C = 1/(2\pi f C)$$

纯电容交流电路中，电流 I 与电压 U 成正比，与容抗 X_C 成反比，即：

$$I = U/X_C$$

上式即为纯电容交流电路的欧姆定律。

3. 计算举例

如在电压 $U=220V$ 、频率 $f=50Hz$ 的电路中，接入一只 $38.5\mu F$ 的电容器，求电容器的容抗 X_C 和电流的有效值 I 。假如将该电容器接入 $220V$ 、 $1000Hz$ 的电路中，再求电流 I_1 的值。

解：

(1) 频率 $f=50Hz$ 时的容抗为：

$$X_C = 1/(2\pi f C) = 1/(2\pi \times 50 \times 38.5 \times 10^{-6}) = 82.7 (\Omega)$$

根据纯电容交流电路的欧姆定律公式：

$$I = U/X_C = 220/82.7 = 2.66 (A)$$

(2) 频率 $f=1000Hz$ 时的电流为：

$$I_1 = U/X_C = \frac{220}{\frac{1}{2\pi \times 1000 \times 38.5 \times 10^{-6}}} = 53.2 (A)$$



由此可见，在相同电压的纯电容交流电路中，频率越高，容抗越小，电流越大。

3.4 菜鸟学通多参数组合的正弦交流电路入门

菜鸟学
基本知
识入门



多参数组合的正弦交流电路常见的主要有：负载为电阻与电感串联的交流电路及负载为电阻、电感、电容串联的交流电路等多种。



3.4.1 负载为电阻与电感串联的交流电路解读

如图 3-13 所示为电阻 R 与电感串联的交流电路，电源电压 u 等于电阻电压降 u_R 与电感电压 u_L 之和，即：

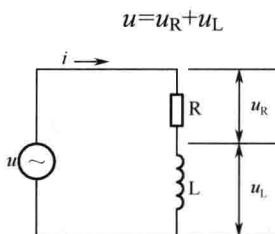
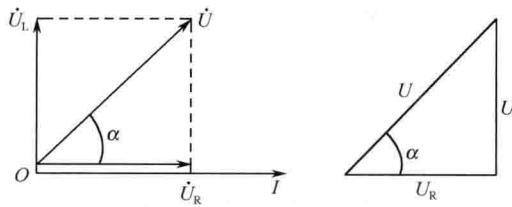


图 3-13 负载为电阻与电感串联的交流电路

1. 电路特点

根据上面得出的相位关系，电阻电压降 u_R 与电流 i 同相，电感电压降 u_L 超前电流 90° ，由此可以画出矢量图如图 3-14 (a) 所示。将 u_R 与 u_L 进行矢量相加后，就得到外加电压 U 的矢量。在矢量图中，用矢量代表的正弦量均表示成 \dot{I} 、 \dot{U} 、 \dot{U}_R 、 \dot{U}_L 。由图 3-14 (a) 可见， \dot{U} 、 \dot{U}_R 、 \dot{U}_L 正好构成一个直角三角形，把这个直角三角形单独画出来，则它的三个边不再是矢量，而是正弦电压的有效值 U 、 U_R 和 U_L ，常称为电压三角形（如图 3-14 (b) 所示）。由图可以得到电阻与电感串联的交流电路中电阻电压降 U_R 、电感电压降 U_L 和电源电压 U 的关系，即：

$$U = \sqrt{U_R^2 + U_L^2}$$



(a) 画出的矢量图

(b) 电压三角形示意图

图 3-14 负载为电阻与电感串联的交流电路矢量图

在电压三角形中，各部分电压又可以写成 $U_R = IR$ ， $U_L = IX_L$ ，于是：



$$U = \sqrt{(IR)^2 + (IX_L)^2} = I\sqrt{R^2 + X_L^2}$$

写成欧姆定律的形式为：

$$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + X_L^2}} = \frac{U}{Z}$$

式中， $Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$ 是电阻 R 与感抗 X_L 串联后对电流的阻抗。

2. 计算举例

有一个 220Ω 的电阻，其额定电流为 $0.5A$ ，如果将其连接到 $220V$ 、 $50Hz$ 的交流电源上，拟用一只电感线圈串联限流，使电流保持在 $0.5A$ ，求串联的线圈电感量 L 取多大？

解：先求出电路的阻抗：

$$Z = U/I = 220/0.5 = 440 (\Omega)$$

再求电感线圈的感抗为：

$$X_L = \sqrt{Z^2 - R^2} = \sqrt{440^2 - 220^2} = 381 (\Omega)$$

最后求线圈的电感为：

$$L = X_L/\omega = 381/2 \times 3.14 \times 50 = 1.21 (H)$$



3.4.2 负载为电阻、电感、电容串联的交流电路的解读

如果将电阻 R 、电感 L 和电容器 C 串联后接在交流电源上，如图 3-15(a) 所示。连接电路则在电压 u 的作用下，将有电流 i 流过。电流通过电阻时，产生的电压降为 u_R ，其与电流 i 同相；电流流过电感时（感抗值为 X_L ），产生电感电压降 u_L ，在相位上超前电流 90° ；电流流过电容时（容抗值为 X_C ），产生电容电压降 u_C ，相位上滞后电流 90° 。根据各电压降与电流的相位关系，可以画出如图 3-15(b) 所示的矢量图。由该图可知，电感电压降 U_L 和电容电压降 U_C 相位相反， U 、 U_R 、 $U_L - U_C$ 构成一电压三角形，如图 3-15(c) 所示。根据数学推导可得：

$$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}} = U/Z$$

式中， $\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$ 是电阻、电感和电容器串联后对正弦电流呈现的总阻抗，可用 Z 表示，即：

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

上述公式即为 R 、 L 、 C 串联交流电路的欧姆定律。

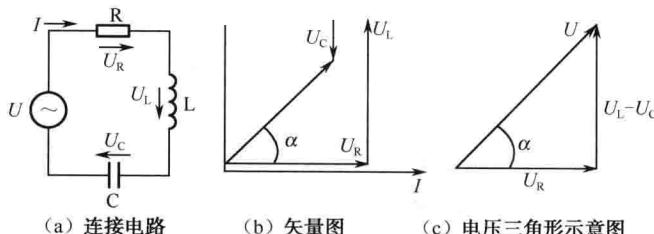


图 3-15 RLC 串联的交流电路及矢量图

入门
解读

3.4.3 交流电路电阻与电感并联阻抗计算方法的解读

电阻与电感的并联电路连接方式如图 3-16 (a) 所示。这种电路的阻抗计算方法可采用以下公式：

$$1/Z = \sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2 + \left(\frac{1}{X_L}\right)^2} \quad Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$$

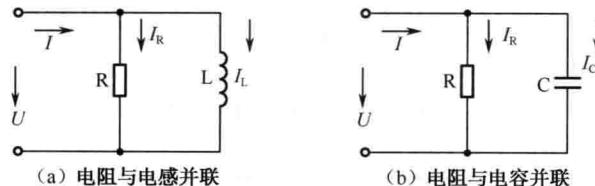


图 3-16 电阻与电感或电容并联电路连接方式

入门
解读

3.4.4 交流电路电阻与电容并联阻抗计算方法的解读

电阻与电容并联电路的连接方式如图 3-16 (b) 所示。这种电路的阻抗可利用以下公式进行计算：

$$1/Z = \sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2 + \left(\frac{1}{X_C}\right)^2}$$

入门
解读

3.4.5 交流电路电阻与电容串联阻抗计算方法的解读

电阻与电容串联电路连接方式如图 3-17 所示。这种电路的阻抗可采用以下公式计算得到：

$$1/Z = \sqrt{R^2 + X_C^2}$$

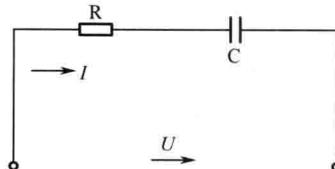


图 3-17 电阻与电容串联电路连接方式

入门
解读

3.4.6 交流电路电阻、电感、电容三者并联阻抗计算方法的解读

电阻与电容、电感三者并联电路的连接方式如图 3-18 所示。这种电路的阻抗可采用以下公式计算得到：



$$1/Z = \sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2 + \left(\frac{1}{X_L - X_C}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2 + \left(\frac{1}{X}\right)^2}$$

式中， X 为电抗，单位为 Ω ，其有以下关系： $X = X_L - X_C$ ，当 $X_L > X_C$ 时，电路呈电感性；当 $X_L < X_C$ 时，电路呈电容性。

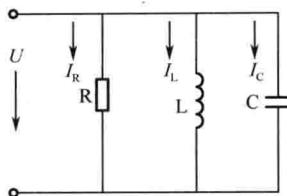


图 3-18 电阻与电感、电容三者并联电路连接方式

3.5 菜鸟学通交流电路中的电功率入门

菜鸟学
基本知
识入门

交流电路中的负载主要是电阻、电感、电容三种，由于这三种负载上的电压、电流的相位关系不同，故平均功率也是不一样的。



3.5.1 纯电阻负载交流电路电功率的解读

连接在交流电路中的电阻属于耗能元件，无论流过其上的电流是直流还是交流，它均会把电能转换成热能。如交流电压和电流都用有效值表示，则电阻元件上消耗的平均功率为：

$$P = U \cdot I = I^2 \cdot R = U^2 / R$$



3.5.2 纯电感负载交流电路电功率的解读

在纯电感负载交流电路中，纯电感元件（忽略线圈的电阻）上，电压 u 在相位上超前电流 (i) 90° ，其波形如图 3-19 上部所示。根据瞬时功率的计算公式 $P = u \cdot i$ ，可以作出功率瞬时曲线如图 3-19 下部所示。

在第一和第三个 $1/4$ 周期内，电压 u 与电流 i 方向相同，所以功率 P 是正值；在第二和第四个 $1/4$ 周期内，电压 u 与电流 i 方向相反，所以功率 P 是负值。瞬时功率 P 的正、负表示什么呢？ P 为正值期间，电感从电源吸收功率，把它储存在线圈的磁场中； P 为负值期间，电感又把储存的功率释放给电源。如此说来，在一个周期内电感上消耗的平均功率 $P=0$ 。虽然它没有消耗功率，却占有着电源的一部分功率，这部分功率在电源和负载之间交替往返，没有做有用的功，所以把这部分功率称为无功功率，用 Q 表示，单位为乏尔，

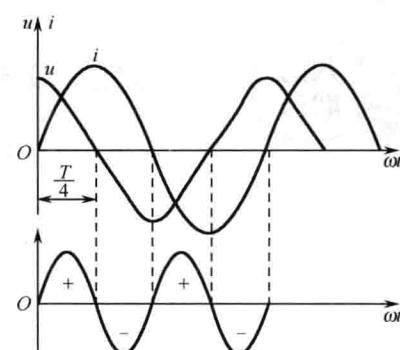


图 3-19 纯电感电路的功率曲线示意图



用字母 var 表示，其计算公式为：

$$Q=U\cdot I=I^2\cdot X_L=U^2/X_L \text{ (var)}$$

电阻上消耗的平均功率 P 称为有功功率。电感电路的能量（一部分）在电源和线圈之间交替往返，占有着电源的一部分功率，未能利用它做功，故这部分功率为无功功率 Q 。较大的无功功率单位为千乏，用 kvar 表示，其与乏尔之间的关系为：

$$1 \text{ 千乏 (kvar)} = 1000 \text{ 乏尔 (var)}$$

电感的这一特点在交流电路中得到了广泛的应用。由于电感既能像电阻一样起限制电流的作用，又不像电阻那样消耗能量，故常用它作为降压和限流元件，如异步电动机的起动电抗器、整流装置中的低频扼流圈、日光灯镇流器等。



入门解读

3.5.3 纯电容负载交流电路电功率的解读

纯电容负载交流电路中的电容元件与纯电感元件一样，也是储能元件，电容两端的电压 u 在相位上滞后于电流 (i) 90° ，所以平均功率（有功功率）也等于零。电能在电源和电容器之间交替往返，它占有的这一部分功率也是无功功率。其值为：

$$Q=U\cdot I=I^2\cdot X_C=U^2/X_C$$



入门解读

3.5.4 交流电路视在功率的解读

在实际的交流电路中，既可能有电阻，也可能有电感、电容等元件，这时，电源既要向电路提供有功功率，又要供给储能元件（电感和电容）一部分无功功率。故电源输出的总功率为有功功率 P 与无功功率 Q 的矢量和，称为视在功率，用字母 S 表示，单位为伏安，用 VA 表示。它们之间的关系为：

$$S=U\cdot I=\sqrt{P^2+Q^2} \quad P=U_R\cdot I=U\cdot I \cos \varphi \quad Q=U_L\cdot I=U\cdot I \sin \varphi$$

以及

$$\cos \varphi=P/S$$

φ 是电阻与电感串联的交流电路中电压与电流之间的相位差角。 φ 的余弦 $\cos \varphi$ 称为功率因数。由此可看出，对于电源所供给的同样的电压 U 和电流 I ， φ 越大，则电流在电路中实际做功的有功功率 P 越小。故功率因数 $\cos \varphi$ 是反映交流电路工作状况的重要参数。



入门解读

3.5.5 交流电路对功率因数的要求解读

在交流电路中，计算平均功率要考虑电压与电流间的相位差 φ ，即：

$$P=U\cdot I \cos \varphi$$

上式中的 $\cos \varphi$ 为电路的功率因数。电压与电流间的相位差或电路的功率因数 $\cos \varphi$ 取决于电路的参数：

$$\cos \varphi=R/Z=\frac{R}{\sqrt{R^2+X_L^2}}$$

只有在纯电阻负载（如电灯、电炉等）时，电压和电流才同相， $\cos \varphi=1$ 。对含有电感的负载（如电动机、日光灯等）其功率因数总是小于 1。



当电压与电流之间有相位差时，即功率因数不等于 1 时，电路中就会发生能量互换，出现无功功率：

$$Q=U \cdot I \cdot \sin \varphi$$

功率因数越低，在同一电流和电压值的情况下，其有功功率 P 就越小，对电源和线路会带来一定的负面影响。

1. 电源容量不能充分利用

功率因数低时，就会使发电机、电力变压器等的容量得不到充分利用。例如，容量为 500kVA 的电力变压器，当其作为白炽灯供电设备时， $\cos \varphi=1$ ，可输出 500kVA 的有功功率，电源利用率最高；如果驱动 20kW 的感应电动机，则其 $\cos \varphi=0.8$ ，此时电源提供的最大有功功率为：

$$P=U \cdot I \cdot \cos \varphi=S \cos \varphi=500 \times 0.8=400 \text{ kW}$$

可以驱动 20kW 的感应电动机 20 台。但如果功率因数再降至 $\cos \varphi=0.5$ ，则有功功率会减少到 250kW，只能驱动 20kW 的感应电动机 12 台。

由此可见，同容量的电源与输电线路，功率因数越低，电源可以提供的有功功率也就越小，无功功率则越大，电源的容量就不能充分利用。

2. 功率损失增加

当功率因数低时，就会加大线路、变压器绕组、发电机的功率损失。如果电源电压 U 及负载需要的有功功率 P 一定时，电源经线路输送给负载的电流 I 为：

$$I=P/U \cdot \cos \varphi$$

菜鸟入门要诀



由以上分析可以看出，功率因数越低，则提供同样功率 P ，发电机和线路中的电流越大，电流在发电机绕组和线路导线中就会产生热功率损失。要使含有电感性负载的电路中不存在无功功率是不可能的，但可以争取一定地减少发电机负担的措施，来使电源容量得到充分利用，由此也可节约大量的电能。根据供用电部门的规定，高压供电的工矿企业的平均功率因数不能小于 0.95，其他用电户不小于 0.9 左右。



菜鸟学通三相交流电路基本技能入门

目前，我国发电厂和电力网生产、输送和分配的交流电能都是三相交流电。这是因为三相交流电具有许多无可比拟的优越性。在发电设备方面，三相交流发电机比同样尺寸的单相交流发电机生产功率大；在输电方面三相供电也比单相供电节省材料；从用电的角度来看，工农业生产中广泛使用的三相感应电动机比直流电动机和其他类型的交流电动机性能优良、结构简单、维护方便、价格低廉。故动力方面应用三相交流电是相当广泛的，三相交流电路的类型相当多。

三相交流电路是应用非常广泛的电路，是电子、电气工程技术人员必须要掌握的重要基础知识之一。只有了解和熟悉三相交流电路的功能和特性，才能在实际工作中正确选择和合理使用它们，才可能设计出实用、可靠、功能完善和经济指标好的三相交流电路。本章介绍的就是菜鸟学通三相交流电路的基本技能。

4.1 菜鸟学通三相交流电源入门

菜鸟学
基本知
识入门



三相电压和三相电流统称为三相交流电。能供出三相交流电的设备称为三相发电设备。



4.1.1 三相四线制交流电源的解读

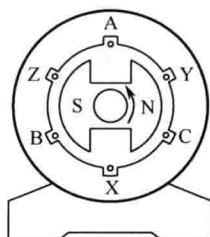
三相交流电是三个单相交流电的组合，这三个单相交流电的最大值相等、频率相同，仅是在相位上彼此差 120° 。

三相交流电的产生过程和单相交流电基本相同，图 4-1 (a) 为三相交流发电机的结构示意图，发电机的定子绕组分为三组，每一线绕组为一相，各相绕组在空间位置上彼此相差 120° ，对称地嵌放在定子铁芯内侧的线槽内。它们的始端（设为 A、B、C）在空间位置上彼此相差 120° ，末端（设定为 X、Y、Z）在空间位置上也彼此相差 120° 。转子上设置有 N、S 两个磁极，当转子以角速度 ω 顺时针方向旋转时，由于三个相的绕组在铁芯中放置的位置彼此相隔 120° ，故一旦磁极转到正对 A-X 绕组时，A 相电动势达到最大值 E_m ，而 B 相绕组需要等到转子磁极转 $1/3$ 周（即 120° ）后，它的电动势才会达到最大值 E_m ，也就是 A 相电动势超前 B 相电动势 120° 。

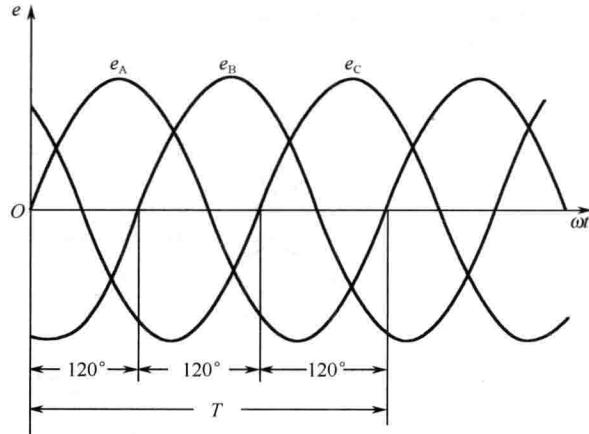


同样道理，也可知 B 相电动势超前 C 相电动势 120° ，C 相电动势又超前于 A 相电动势 120° ，如图 4-1 (b) 所示。由此可知：三相交流电的频率相同，最大值相等，仅是初相角不一样。假设 A 相电动势的初相角为 0° ，则 B 相为 -120° ，C 相为 120° 。则三角函数表达式为：

$$e_A = E_m \cdot \sin(\omega t) \quad e_B = E_m \cdot \sin(\omega t - 120^\circ) \quad e_C = E_m \cdot \sin(\omega t + 120^\circ)$$



(a) 交流发电机结构示意图



(b) 三相交流电相位差的波形

图 4-1 三相交流发电机结构及波形图

三相电压中的每一部分称为一相，分别用 A、B、C 表示，称为 A 相、B 相和 C 相。

能供出对称三相电压的电源称为对称三相电源。例如，三相发电机和三相变压器的副绕组都是对称三相电源。

如果把发电机输出的三相交流电按图 4-2 中虚线左边所示的方式连接起来，就构成了工厂低压配电线路的三相四线制供电方式。它是将发电机 A、B、C 三相绕组的末端 X、Y、Z 连接在一起作为中性点，用字母 O 表示，从该点引出一根公共导线作为从负载流回电源的公共回路线，称为中线零线，该线不能使试电笔的氖泡发亮，其余的始端 A、B、C 为相线，能使试电笔的氖泡点亮。

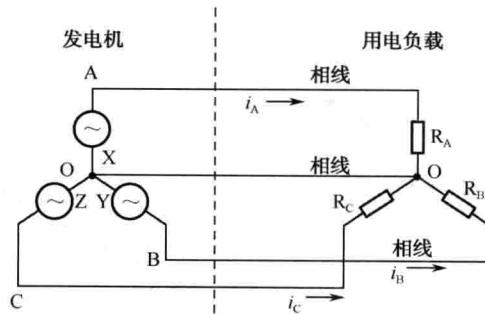


图 4-2 三相四线制供电连接方式



4.1.2 三相电源连接方式的解读

无论是三相发电机还是三相变压器副绕组，都具有三个线圈，故可以



用星形或三角形的方式把它们连接起来组成三相电源。

1. 三相电源的星形连接方式

如图 4-3 所示为三相发电机定子绕组的星形连接方式。通常规定发电机每相绕组两端的电压，也就是相线与中线间的电压称为相电压，用 U_A 、 U_B 、 U_C 来表示。两相始端之间的电压，也就是相线与相线之间的电压称为线电压，采用字母带下标 U_{AB} 、 U_{BC} 、 U_{CA} 来表示。线电压下标字母的顺序表示线电压的正方向是从 A 线到 B 线，标写时不可任意颠倒，否则会使相位上相差 180° 。

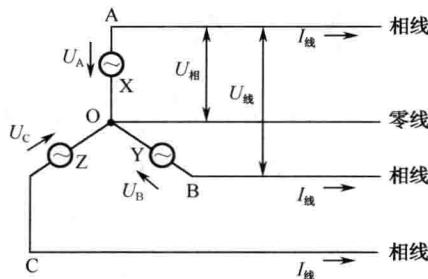


图 4-3 三相发电机定子绕组的星形连接方式

由于任意两相相线之间的线电压，是由两个相关的相电压共同作用后得到的，故线电压与相电压是不同的。

图 4-4 (a) 画出了相电压与线电压的矢量图。从中可以看出，线电压 U_{AB} 包含了 A 相与 B 相两相的电压，但由于 U_A 与 U_B 之间有相位差存在，故 U_{AB} 等于 U_A 与 U_B 的矢量和。又由于 U_A 与 U_B 是反相串联的，故 U_{AB} 就等于 U_A 加上负的 U_B 。利用矢量图 4-4 (b) 可以推出线电压和相电压的关系：

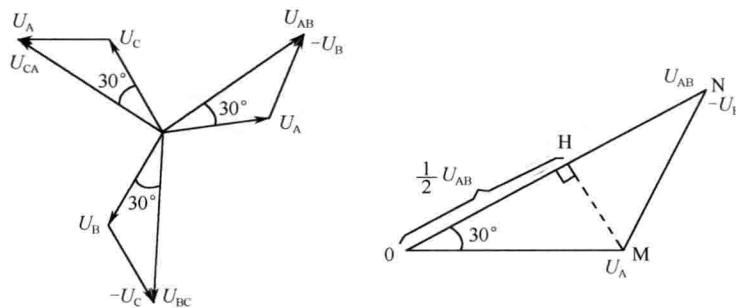
$$\frac{1}{2} U_{AB} = U_A \cdot \cos 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot U_A$$

即

$$U_{AB} = \sqrt{3} \cdot U_A$$

可写成一般的三相通用公式为：

$$U_{\text{线}} = \sqrt{3} \cdot U_{\text{相}}$$



(a) 线电压矢量示意图

(b) 线电压与相电压关系示意图

图 4-4 相电压与线电压矢量图

综上所述可得到：发电机三相绕组采用星形连接时，线电压的有效值等于相电压有效值的 $\sqrt{3}$ 倍，在相位上线电压与其对应的相电压超前 30° 。



民用住宅常用的 220V 交流电源即为相电压，如图 4-5 (a) 所示，而星形连接的线电压则为 380V，如图 4-5 (b) 所示。

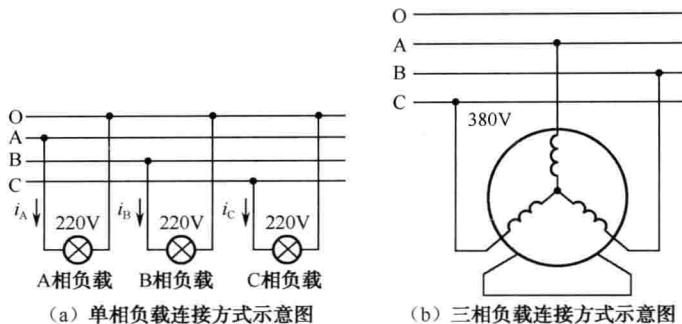


图 4-5 单相与三相负载连接方式

三相电源每相绕组或每相负载（如图 4-3 虚线右边）中的电流称为相电流；而由电源向负载每一相供电的线路上的电流称为线电流。对于星形连接方式的供电系统，其相电流与线电流相等。

2. 三相电源的三角形连接方式

除了星形连接方式外，三相电源也可以采用如图 4-6 (a) 所示的三角形连接方式。这时只能接出三根端线，因此构成的是三相三线制电路。

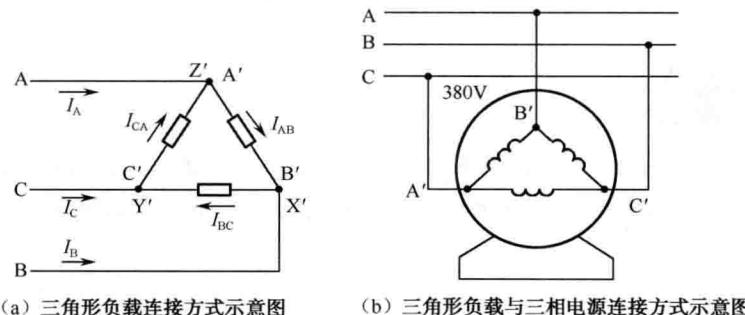


图 4-6 三相电源的三角形连接方式

很多三相平衡负载，如电力变压器、三相异步电动机等，常接成三角形，如图 4-6 所示。它们是将各相负载的首尾端分别连接到三根相线的每两根相线之间。

1) 连接顺序

三角形连接的负载连接的顺序为：A' 相负载的尾端 X' 与 B' 相负载的始端 B' 连接；B' 相负载的尾端 Y' 与 C' 相负载的起始端 C' 连接；C' 相负载的尾端 Z' 与 A' 相负载的起始端 A' 连接，再将三个连接点与电源的三根相线连接即可。

2) 矢量图

图 4-6 (b) 为三角形连接的电动机与电源的连接方法。由此可见，负载采用三角形连接时，其线电压等于相电压，但相电流不等于线电流。由图 4-6 (a) 可知，线电流 I_A 等于相电流 I_{AB} 与 $-I_{CA}$ 的矢量和。

图 4-7 画出了三角形连接负载时线电流与相电流之间的关系矢量图。根据该图不难得到：

$$I_A = \sqrt{3} \cdot I_{AB}$$

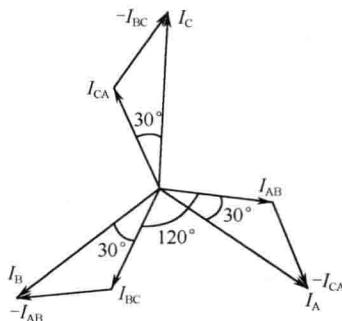


图 4-7 三角形连接负载线电流与相电流矢量图

写成适用三相的通用公式为：

$$I_{\text{线}} = \sqrt{3} I_{\text{相}}$$

由上式可以看出，三相对称负载采用三角形连接时，线电流的有效值等于相电流有效值的 $\sqrt{3}$ 倍，线电流在相位上滞后于与其对应的相电流 30° 。



4.1.3 三相电源的连接说明解读

与星形连接相反，当三相电源接成三角形时，由于每相线圈直接接在两根端线之间，故线电压就是电源相电压。但相电流与线电流不等，在对称情况下用节点电流定律可算出线电流的有效值为相电流的 $\sqrt{3}$ 倍。

菜鸟入门要诀

三角形连接的三相电源自成一个闭合回路，必须注意正确连接。如果连接得正确，该回路中的对称三相正弦电压之和等于零。也就是说，在不接负载的情况下，该回路中无电流流通。

如果连接不正确，如把其中的一个电源线圈接反，则该闭合回路中的三相正弦电压之和就不等于零了，而等于一相电压的两倍。由于三相电源各线圈的阻抗很小，此时该回路中会产生很大的环通电流，致使电源线圈发热而损坏，所以必须防止发生这种事故。为此，三相电源做三角形连接时，在连成闭合回路前，应在两线圈之间接一只交流电压表（如图 4-6（b）所示），测量一下该回路中的三相电压之和是否等于零。若测出该回路电压等于零，说明连接是正确的。这时把电压表拆除，将接电压表的两点连接在一起，就得到了三角形连接的三相电源。如果测出回路电压不等于零，而等于一相电压的两倍，则说明其中有一相电源线圈接反，必须找出接反的一相线圈，重新改接。



4.1.4 三相电源参数计算举例解读

有一个三角形连接的对称负载，接到三相三线制的对称电源。已知电源的线电压为 380V，每相负载的电阻为 6Ω ，感抗为 8Ω ，求相电流与线电流。

解：

采用三角形连接的对称负载，其每相阻抗为：



$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{6^2 + 8^2} = 10 \text{ } (\Omega)$$

每相电流为：

$$I_{\text{相}} = U_{\text{相}} / Z = 380 / 10 = 38 \text{ } (\text{A})$$

线电流为：

$$I_{\text{线}} = \sqrt{3} I_{\text{相}} = \sqrt{3} \times 38 = 66 \text{ } (\text{A})$$



4.2 菜鸟学通对称三相电路的功率入门

菜鸟学
基本知
识入门



在上一章介绍单相交流电路时，已经介绍了单相交流电路的功率计算公式为：

$$P = UI \cos \varphi$$

式中 U 、 I ——分别为电压、电流的有效值；

φ ——电压与电流之间的相位差。

由于三相交流电路是由三个单相交流电路的组合，故负载消耗的平均功率应等于各相平均功率之和。由于三相为平衡负载，故可得：

$$P = 3U_{\text{相}} \cdot I_{\text{相}} \cdot \cos \varphi \quad (4-1)$$

由于测量线电压与线电流比较容易，故在计算三相电功率时，多采用线电压和线电流。



4.2.1 星形接法电路功率计算方法的解读

对于星形接法电路功率，由于其 $I_{\text{线}} = I_{\text{相}}$ ， $U_{\text{线}} = \sqrt{3} U_{\text{相}}$ ，代入式 (4-1) 可得：

$$P = \sqrt{3} U_{\text{线}} \cdot I_{\text{线}} \cdot \cos \varphi_{\text{相}} \quad (4-2)$$



4.2.2 三角形接法电路功率计算方法的解读

对于三角形接法电路功率，由于其 $I_{\text{线}} = \sqrt{3} I_{\text{相}}$ ， $U_{\text{线}} = U_{\text{相}}$ ，代入式 (4-1) 可得：

$$P = \sqrt{3} U_{\text{线}} \cdot I_{\text{线}} \cdot \cos \varphi_{\text{相}} \quad (4-3)$$

由式 (4-2) 与式 (4-3) 可以看出，无论是星形连接还是三角形连接，对称三相负载电路的平均功率均为：

$$P = \sqrt{3} U_{\text{线}} \cdot I_{\text{线}} \cdot \cos \varphi_{\text{相}}$$



4.2.3 对称三相电路的功率计算举例的解读

有一个三相平衡负载，每相的电阻 $R=6\Omega$ ，感抗 $X_L=8\Omega$ ，线电压 $U_{\text{线}}=380V$ ，如采用星形连接，试计算该负载的平均功率。

解：在星形连接的电路中：

$$U_{\text{相}} = U_{\text{线}} / \sqrt{3} = 380 / \sqrt{3} = 220 \text{ } (\text{V})$$



每相的负载阻抗为：

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{6^2 + 8^2} = 10 \text{ } (\Omega)$$

相电流为：

$$I_{\text{相}} = I_{\text{线}} = U_{\text{相}} / Z = 220 / 10 = 22 \text{ } (\text{A})$$

功率因数为：

$$\cos \varphi_{\text{相}} = R/Z = 6/10 = 0.6$$

由此可得：

$$P = \sqrt{3} U_{\text{线}} \cdot I_{\text{线}} \cdot \cos \varphi_{\text{相}} = \sqrt{3} \times 380 \times 22 \times 0.6 = 8.688 \text{ } (\text{kW})$$



4.2.4 交流电路视在功率计算方法的解读

视在功率通常用英文字母 S 表示，分为单相交流电路的视在功率和对称三相交流电路的视在功率。

1. 单相交流电路

单机交流电路的视在功率的计算公式为：

$$S = UI$$

式中 S ——视在功率，单位为 VA；

U ——交流电压有效值，单位为 V；

I ——交流电流有效值，单位为 A。

2. 对称三相交流电路

对称三相交流电路

$$S = 3U_{\Phi} I_{\Phi} = \sqrt{3} U_1 I_1$$

式中 U_{Φ} ——相电压，单位为 V；

U_1 ——线电压，单位为 V；

I_{Φ} ——相电流，单位为 A；

I_1 ——线电流，单位为 A。

4.3 菜鸟学通三相供电系统的保护接地和保护接零入门

菜鸟学
基本知
识入门



用电设备的金属外壳在正常情况下是不带电的，但有时可能由于带电部分绝缘损坏而出现电压，工作人员碰到后会有电流通过人的身体而发生触电事故。设备外壳对地电压越高，流过人体的电流就越大，严重时有致命的危险。为此，在三相供电系统中，常采用保护接地或保护接零来保证电气设备的使用安全。



4.3.1 三相供电系统保护接地的解读

所谓保护接地就是用电设备的不带电的金属部分与大地之间作良好的金属连接，以保证其不带电的金属部分不因人的触及而意外触电，保护人体的安全。



1. 适用场合

保护接地方法适用于三相电源中性点不接地的电网中，电气设备（如电动机、变压器和控制电器的金属外壳，配电盘的金属框架等）的金属外壳直接接地。

2. 不接地的危害

以图 4-8 所示的三相电动机为例，该电动机外壳未接地。如果三相电动机内一相（如 A 相）绝缘损坏而碰壳，电动机外壳便带电，并与 A 相输电线同电位。由于输电线与大地间存在电容（其电容值与输电线的长度成正比），当人体碰到电动机外壳时，人体就与 A 相输电线对地的电容 C_A 并联，这时线电压 U_{AB} 和 U_{CA} 就通过人体及电容 C_B 和 C_C 各形成一条闭合的导电回路，因此有电流通过人体而触电。在低压供电系统中线路不长时，各线对地电容不大，上述的触电事故还不严重，若低压线路很长或在高压电路中，这种触电事故就比较严重了，所以说用电设备没有保护接地是不安全的。

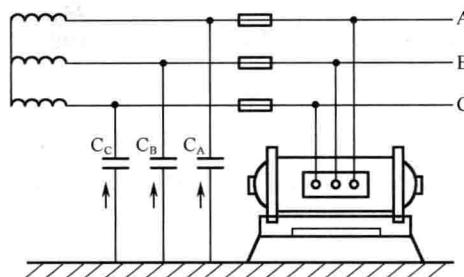


图 4-8 没有保护接地的连接示意图

3. 保护接地

三相电动机有了保护接地（即电动机外壳接地，如图 4-9 所示）情况就不一样了，如果电动机的一相绕组绝缘损坏而碰壳，人体就可以免遭触电危险。因为机壳已经接地，而且它与大地间的电阻很小，所以机壳和大地间的电位差（机壳对地电压）就很小，而人体的电阻一般比接地电阻大数百倍，此时操作人员碰到机壳就相当于人体和接触电阻并联。接地短路电流将同时沿着接地体和人体两条通路流过。流过每一条路径的电流值是与其电阻的大小成反比的。所以接地电阻越小，流过人体的电流也就越小。当接地电阻极为微小时，流经人体的电流几乎等于零，所以人体就不致有触电的危险。

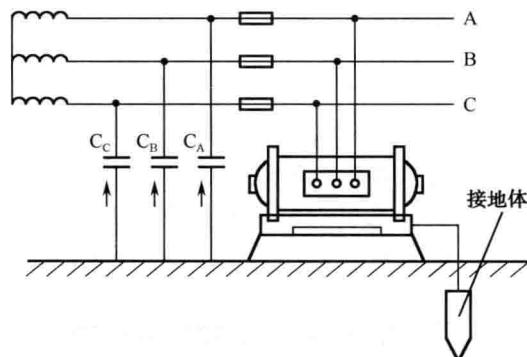


图 4-9 保护接地连接示意图



4.3.2 三相供电系统保护接零的解读

保护接零线就是用电设备的不带电的金属部分与零线作良好的金属连接。所谓零线是这样定义的，即在三相四线制供电系统中，当中点接地时，该点称为零点。由零点引出的导线称为零线，而不接地的中点所引出的导线称为中线，如图 4-10 所示。

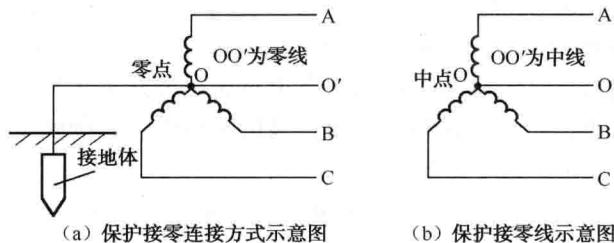


图 4-10 保护接零的连接方式与接零线示意图

一般在电源中点接地的低压三相供电系统中，用电设备都采用保护接零。保护接零的作用是：当用电设备的某一相绝缘损坏而碰壳时，该相可以通过机壳和中线形成单相短路，如图 4-11 所示。由于中线的电阻很小，所以会产生很大的短路电流，因而三相电路中的自动开关或熔断器能迅速动作，及时断电，消除危险，确保人身安全。

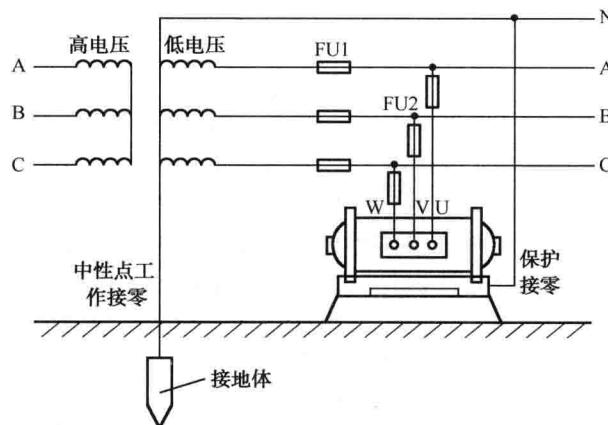


图 4-11 保护接零线示意图

在同一供电系统中，不允许保护接零线和保护接地同时采用。否则当用电设备一相碰壳后，由于大地的电阻比中线的电阻大得多，所以经过机壳、接地体和大地形成的短路电流往往不足以使自动开关或熔断器动作，而电流流过大地又使电源中点的电位升高，这样使所有接零线的用电设备的金属外壳或框架就出现了对地电压，造成了更多的触电机会。



4.3.3 三相供电系统重复接地的解读

在中性点直接接地的低压电网中，为了确保安全，还应在零线的其他地方进行三点以上的接地，这种接地方式称为重复接地。重复接地示意图如图 4-12 所示。

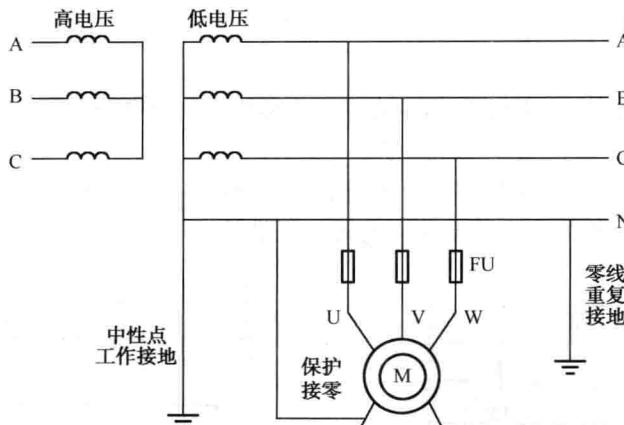


图 4-12 重复接地示意图

进行重复接地的目的，是要消除零线断线时的触电危险。如果不设置重复接地，当零线断线时，若发生了某相碰壳，由此就存在单相触电的危险。此时若设置了重复接地，该相的短路电流就可通过重复接地装置流入大地，巨大的短路电流还可使电路中的保护装置动作，使电源被切断，从而避免了触电的危险。



4.3.4 三相供电系统中必须接地的电气设备解读

- (1) 变压器、发电机、防静电电容器组的中性点。
- (2) 电流互感器、电压互感器的次级线圈。
- (3) 避雷器、保护间隙、避雷针和耦合电容器的底盘。



4.3.5 三相供电系统中需要保护接地的电气设备解读

- (1) 支持绝缘子、穿墙套管、高压熔断器、高压断路器、隔离开关及闸刀开关等的底座。
- (2) 变压器、发电机、电动机、电容器的外壳及电力电缆的金属外壳。
- (3) 配电屏、开关柜、控制屏、配电箱的金属框架。
- (4) 室内外电气设备的金属构架及钢筋混凝土结构架的金属部分。

4.4 菜鸟学通低压配电电力系统接地形式入门

菜鸟学
基本知
识入门

低压配电系统主要有：TN 系统、TT 系统和 IT 系统三种。根据中性导线和保护导线的布置，TN 系统又分为 TN-S、TN-C、TN-C-S 三种形式。



4.4.1 低压配电电力的 TN 系统解读

电源系统有一点直接接地，设备的外露导电部分通过保护导线连接到





此接地点的系统称为 TN 系统。

1. TN-S 系统

TN-S 系统接线方式如图 4-13 所示。在整个 TN-S 系统中有分开的中性导线和保护导线。

2. TN-C 系统

TN-C 系统接线方式如图 4-14 所示。系统中一部分中性导线和保护导线的功能合在一根导线上，而一部分中性线和保护线是由各自的导线提供的。

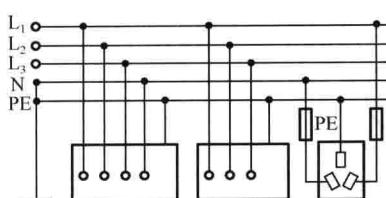


图 4-13 TN-S 系统接线方式示意图

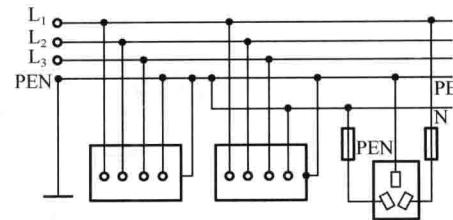


图 4-14 TN-C 系统接线方式示意图

必须指出的是：从装置的任何一点起，中性导线及保护导线的作用是由各自导线所提供的，故不允许将这些导线互相连接。在分开点也必须设置各自的保护导线及中性导线用的端子或母线。PEN 线必须接至供保护导线用的接线端子或母线上。

3. TN-C-S 系统

TN-C-S 系统接线方式如图 4-15 所示。系统中电网的中性导线与保护导线合二为一。PEN 导线严禁开路，不准装设熔断器或隔离开关。有绝缘皮的 PEN 导线通常用黄/绿双色作为标记。

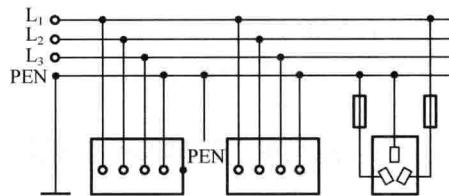


图 4-15 TN-C-S 系统接线方式示意图



4.4.2 低压配电电力的 TT 系统解读

TT 系统的电源有一点直接接地，设备外露导电部分的接地与电源系统的接地在电气上无开关。TT 系统接线方式示意图如图 4-16 所示。

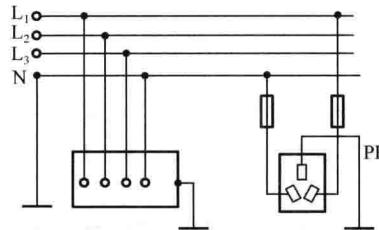


图 4-16 TT 系统接线方式示意图


**入门
解读**


4.4.3 低压配电电力的IT系统解读

IT系统的电源的带电部分不接地，而是通过一个较小的阻抗接地，设备外露导电部分接地。IT系统接线方式示意图如图4-17所示。

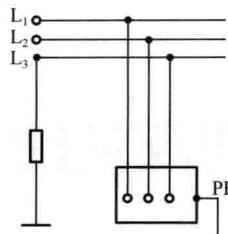


图4-17 IT系统接线方式示意图

**入门
解读**


4.4.4 接地保护系统形式的文字代号解读

1. 首位字母

首位字母一般表示电力系统的对地关系。各种字母含义如下：

T——直接接地；

I——所有带电部分与地绝缘，或者其中一点经阻抗接地。

2. 第二个字母

第二个字母一般表示装置外露的可导电部分的对地关系。各种字母含义如下：

T——外露可导电部分对地直接电气连接，此接地点与电力系统的接地点无直接关联；

N——外露可导电部分通过保护线与电力系统的接地点直接电气连接。

3. 后面字母

如果后面还有字母，这些字母表示中性线与保护线的组合。各种字母含义如下：

S——中性线和保护线分开；

C——中性线和保护线合一。



菜鸟学通电工常用测量仪表基本技能入门

电工测量就是把被测电量与其选用单位的标准同类电量进行比较，以确定被测电量的值。比较的结果一般包括两部分：一是单位名称，二是数字值。本章介绍的就是菜鸟学通正确选用电工常用测量仪器基本技能。

5.1 菜鸟系统电工常用测量仪表的类型和准确度入门



测量电流、电压、功率等电量和电阻、电容、电感等电路参数的仪表，统称电工仪表。

菜鸟学
基本知
识入门

入门
解读



5.1.1 电工常用测量仪表类型的解读

电工常用测量仪表通常可分为 4 种类型。

1. 直读指示仪表

测量时，通过指针偏转，将要测量的电量直接读出，如电压表、电流表、功率表、万用表等。

2. 比较仪表

测量时，需要与相应的标准量进行比较读出两者的比值，如惠斯登电桥用来测量电阻，万用电桥用来测量电容、电感。这种仪表往往用作精确测量一些电学量及检验其他仪器或仪表。

3. 图示仪表

图示仪表专门用来显示两个相关量的变化关系，如示波器。这种仪表直观效果好，但只能作为粗测。

4. 数字仪表

数字仪表将被测的模拟量转换成为数字量直接读出，如常用的数字电压表、数字万用表等。

入门
解读



5.1.2 电工仪表准确度等级的解读

电工仪表在规定条件下工作时，可能出现的最大基本误差与仪表测量上限比值的百分比，叫做仪表的准确度等级。其计算公式如下：



$$\pm K = (\Delta m / A_m) \times 100\%$$

式中 $\pm K$ ——仪表的准确度等级；

Δm ——以绝对误差表示的最大基本误差；

A_m ——仪表的测量上限值。

由此可见，电压仪表的准确度等级，即为该仪表在规定的工作条件下使用时，最大误差的数值。



5.1.3 电工仪表精度等级 α 百分数的解读

电工测量指示仪表在额定条件下使用时，其最大基本误差的百分数，称为仪表精度等级 α 的百分数，即：

$$\pm \alpha \% = (\Delta X_m / X_m) \times 100\%$$

式中 ΔX_m ——最大绝对误差；

X_m ——仪表的最大量程。

国家标准规定的各种电工仪表的精度等级如下。

1. 电压表和电流表的精度等级

电压表和电流表的精度等级分为：0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 5.0 等 11 级。

2. 功率表和无功功率表的精度等级

功率表和无功功率表的精度等级分为：0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.5 等 10 级。

3. 频率表的精度等级

频率表的精度等级分为：0.05, 0.1, 0.15, 0.2, 0.3, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 5.0 等 11 级。

测量时，仪表全量程范围内的指示误差不得超过最大基本误差。

4. 必须说明的问题

仪表的精度并非测量精度，仪表运用在满刻度偏转时相对误差较小。要提高测量精度，应从两方面着手：一是选用精度等级高的仪表；二是使仪表尽可能运用在满偏转状态，也就是要合理地选择仪表的量程。

非线性刻度的仪表其示值相对误差不能用上述方式计算。例如，对于万用表电阻挡，当指示值 R_x =中心值= R_0 时，测量误差最小。因此，为了减小误差，一般以指针在中心电阻值的 0.2~2.5 倍之间为宜。

5.2 菜鸟学通电工仪表的选择方法入门

对于电工仪表的选择，应根据电工测量的目的和要求，合理地选择电工仪表，必须按照仪表的类型、准确度、量程、频率范围、仪表内阻、工作条件及绝缘强度等技术指标，全面又有所侧重地进行选择。

菜鸟应用
技能入门





5.2.1 电工测量仪表类型的选择方法解读

仪表类型的选择应根据测量的是直流电还是交流电来确定。

1. 测量直流电

对于测量直流电可选用磁电式仪表，因为这种表的灵敏度和准确度都较高，更适用于测量直流电量。

2. 测量交流电

对于测量交流电可选用电磁式或电动式仪表，这样便于测量正弦交流电的有效值。电磁式和电动式仪表（电流或电压表）还可以两用，既可以测交流又可以测直流（电压或电流）。

对于正弦波电流或电压，还应考虑测量的是有效值、平均值、最大值还是瞬时值。其中：

(1) 测量有效值，可选用电磁式或电动式电流表或电压表。

(2) 测量平均值，可选用整流式仪表。

(3) 测量瞬时值，可采用示波器观察或用照相方法，然后根据波形或图形进行分析来求出各点的瞬时值，同时也可得到最大值。

对于交流电的测量，还应考虑仪表的应用频率是否满足要求，否则会使测量误差变大。一般电磁式、电动式和感应式仪表的应用频率范围都较窄。

3. 其他方面

(1) 特殊设计的部分电动式测量仪表，可以用于对 5000~8000Hz 中频进行测量。

(2) 整流式万用表应用的频率范围一般在 45~1000Hz，部分万用表（如 MF10 型）应用频率可达到 5000Hz。

(3) 对于测量的频率较高，可采用静电式仪表或电子式仪表。



5.2.2 电工常用仪表的准确度选择方法解读

对于仪表的准确度选择，应从实际需要测量要求出发，既要满足测量精度的要求，又要考虑仪表的经济性。因为仪表准确度等级越高，测量的基本误差指示越小，价格也就越贵，使用条件要求也就越严格。仪表的准确度等级不同时，适用的范围也不一样。

1. 准确度等级为 0.1、0.2 级的仪表

准确度等级为 0.1、0.2 级的仪表，通常作为标准仪表（调校仪表用）或精密测量时使用。

2. 准确度等级为 0.5、1.0 级的仪表

准确度等级为 0.5、1.0 级的仪表，通常作为电气工作实验时使用。

3. 准确度等级为 1.5、2.5 级的仪表

准确度等级为 1.5、2.5 级的仪表，通常作为盘用仪表，其交流仪表的等级应不低于 2.5 级，直流仪表应不低于 1.5 级。

对于与仪表配合使用的附加装置，如附加电阻器、电压互感器、电流互感器、分流器等，它们的准确度等级也不应低于 0.5 级。通常要求这些附加装置的准确度等级要比测量仪表本身的准确度等级高，只有这样才能保证测量的结果准确。但以下两种情况可以除外：

(1) 仅作为电流或电压测量使用的准确度为 1.5 级或 2.5 级的仪表，可以使用准确度为 1.0 级的互感器。



(2) 对于非重要回路、准确度为 2.5 级的电流表，也可以使用准确度为 3.0 级的互感器，但电能表计量用的电流互感器除外，这类互感器的准确度应不低于 0.5 级。

5.3 菜鸟学通电流表及电流的测量方法入门

菜鸟检
测技能
入门



电流表是用来测量电路中的电流值的。电流表测量电流时要串联在电路中。为了使电流表的接入不影响电路的原始状态，电流表的内阻要尽量小，或者说电流表的内阻与负载阻抗相比要小得多。

入门
解读



5.3.1 电工常用电流表的基本类型的解读



电流表是用来测量电路中的电流值的。根据所测电流性质分类，电流表可分为直流电流表、交流电流表和交直流两用电流表。就其测量范围分类，又可分为安培表、毫安表和微安表几种。还有一种电流表，不是用来测量电流的大小，而是用来检测电流的有无，称为检流计。

入门
解读



5.3.2 电工常用电流表使用方法的解读



直流电流的测量一般采用磁电式电流表，测量时应注意仪表的极性，仪表的正、负极（仪表接线端的“+”、“-”极端标记）要分别和被测电流的正、负极相连，不得接错，以免指针反打，损坏仪表。对于有两个量程的电流表，它有三个接线端，使用时要搞清楚接线端量程的标记。根据被测电流的大小，选用合适的量程，将公共接线端和一个量程接线端串接在被测电路中。

入门
解读



5.3.3 电工常用电流表测量电流时的电路解读



如图 5-1 所示是直流电流表常用接线电路图。图 5-1 (a) 为直流电流表的直接接入法；图 5-1 (b) 为带外附分流器的直流电流表接入法。

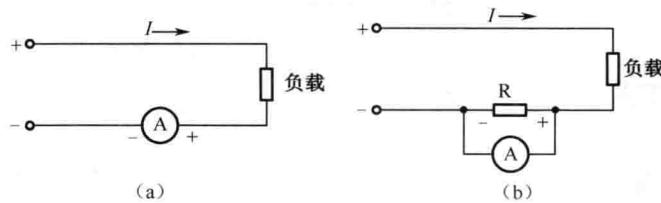


图 5-1 直流电流表常用接线电路图

图 5-1 所示的电路图较简单，用来测量电路中电流的大小，电流表是串接在被测电路中的。但必须注意：直流电流表的正极应与电源的正极接线端相连接。仪表的量程应为被测电流的 1.2~2 倍。

图 5-1 (b) 所示线路中的电流 $I=$ 电流表电流 + 电阻 R 中流过的电流。电阻 R 在这里起分



流作用，分流电阻的阻值可按下式进行计算：

$$R=R_1/(n-1)$$

式中 R ——分流电阻的阻值；

R_1 ——表头的内电阻；

n ——扩大量限的倍数。

当把电流表的磁电系测量机构的量限扩大 n 倍之后，并联的分流电阻其阻值应为该表内阻的 $1/(n-1)$ 。由此可见，在测量机构上并联不同阻值的分流电阻，就可使该表成为多量限的电流表。

例如，图 5-1 (b) 中磁电系电流表的最大量程为 $500\mu\text{A}$ ，内阻为 300Ω ，如要将该表改为 2A 的电流表，则并联的电阻 R 应取多大？对此，可先计算扩大量限的倍数为：

$$n=2\text{A}/500\mu\text{A}=2\times10^6/500=4000 \text{ 倍}$$

由此即可求出分流电阻值为：

$$R=300/(4000-1)\approx0.075\Omega$$

5.4 菜鸟学通兆欧表及其测量绝缘电阻的方法入门

菜鸟应用技能入门



由于兆欧表的刻度标尺以兆欧 ($\text{M}\Omega$) 为单位，所以称为兆欧表，俗称摇表，又称迈格 ($\text{M}\Omega$) 表、高阻计、绝缘电阻表、绝缘电阻测定仪等。它是电工维修人员常用的一种仪表，主要用来测量电气设备或线路的绝缘电阻。例如，测量变压器、电动机的绕组与绕组、绕组与铁芯间的绝缘电阻，测量电缆线路的绝缘电阻等。



5.4.1 电工常用兆欧表基本结构的解读

兆欧表的外形示意图如图 5-2 所示。兆欧表的主要组成部分是一个磁电式比率计和一只作为测量电源的手摇高压直流发电机。与兆欧表针相连的有两个线圈，一个同表内的附加电阻 R_C 串联，另一个和被测的电阻 R_X 串联，然后一起接到手摇发电机上。兆欧表电路原理图如图 5-3 所示。

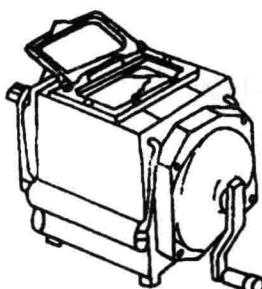


图 5-2 兆欧表的外形示意图

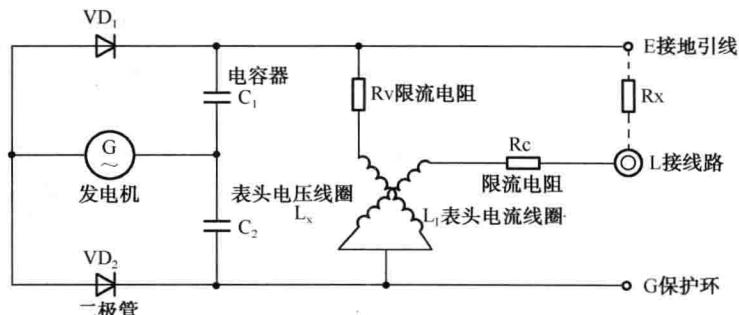


图 5-3 兆欧表电路原理图


**入门
解读**


5.4.2 电工常用兆欧表选择方法的解读

兆欧表的常用规格有：250V、500V、1000V、2500V和5000V等挡级。选用兆欧表主要应考虑它的输出电压及其测量范围。

1. 输出电压

兆欧表的输出电压应与被测电气设备或线路的工作电压相适应，也就是说，兆欧表中的发电机产生的电压，应能够模拟被测绝缘电阻的工作电压。通常有如下的规律：

- (1) 额定电压在50V以下的电气设备和线路，可选用250V的兆欧表。
- (2) 额定电压在50~380V之间的电气设备和线路，可选用500V的兆欧表。
- (3) 额定电压在500V以上的电气设备和线路，应选用1000~2500V之间的兆欧表。

2. 测量范围

兆欧表的测量范围（量限）应适应被测绝缘电阻的数值，否则将发生较大的测量误差。例如，有些兆欧表的读数不是从0MΩ开始的，而是从1MΩ或2MΩ开始的，就不适合于测量潮湿环境中电气设备和线路的绝缘电阻，因为这种被测电气设备和线路的绝缘电阻有可能小于1MΩ或2MΩ，容易误将它的绝缘电阻判读为0MΩ。通常：

- (1) 测量低压电气设备和线路的绝缘电阻，可选用0~200MΩ或0~500MΩ量限的兆欧表。
- (2) 测量高压电气设备和线路的绝缘电阻，可选用0~2000MΩ量限的兆欧表。

常用的兆欧表有ZC7、ZC11-2、ZC11-3、ZC25-4、ZC711-4等型号，0~500MΩ的兆欧表选用举例如表5-1所示。

表5-1 兆欧表选用举例

被测对象	被测电气设备或 线路额定电压(V)	选用的兆欧表 (V)	被测对象	被测电气设备或线 路额定电压(V)	选用的兆 欧表(V)
线圈的绝缘电阻	500以上	500	电气设备和线路绝缘 电阻	500以下	250
	500以上	1000		50~380	500
变压器、发电机、 电动机绕组绝缘电阻	500以上	1000~2500		500以上	1000~2500
发电机绕组绝缘电 阻	380以下	1000	瓷瓶、母线、刀闸的 绝缘电阻	—	2500~5000

**入门
解读**


5.4.3 正确使用电工常用兆欧表的方法解读

使用兆欧表测量绝缘电阻时，应注意方法和技巧，否则测得的数据可能误差很大，甚至有损仪表。

1. 测量用连接线

应该用绝缘良好的单根铜芯软导线做兆欧表与被测试点之间的测量连接线，不能用绞合线。两根测量连接线不可绞合，也不能接触被测设备或线路的表面。

2. 测量前先断电

测量前，切断被测设备或线路的电源，并将导电部分接地放电，防止电容储能放电伤人。



和烧坏仪表。然后擦干净被测试点，以免影响测量的准确性。

3. 摆动速度方面

测量时，转动摇柄的速度应由慢逐渐加快，然后使之保持在额定转速（一般为120r/min），允许转速在±20%范围内变动，但最高不得超过150r/min。摇动不得忽快忽慢，否则指针会摇摆不定。读数应在均匀摇动1min以后待指针稳定下来再读取。若发现指针为零，表明被测绝缘物存在短路故障，应立即停止转动摇柄，以防表内线圈因发热而损坏。

4. 测完应放电

测量完毕，要先对被测设备或线路进行充分放电，再进行拆线收尾工作。若兆欧表尚在转动或虽已停止转动但被测设备或线路还未放电时，不能用手触及被测部分或进行拆线，以防触电。在测量电容性设备或线路的绝缘电阻时，应在取得稳定读数后先小心取下测量连接线，再停止转动摇柄，以免被测设备或线路向兆欧表倒充电而损坏仪表。

5. 测量前应进行校验

测量前对兆欧表进行开路和短路校验，看指针能否停在“∞”或“0”刻度线处，以判断兆欧表是否正常。

6. 保存要妥当

兆欧表在不使用时应放于固定橱柜内，周围温度不宜太冷或太热，切忌放于污秽、潮湿的地面上，并避免置于含侵蚀作用的气体附近，以免兆欧表内部线圈、导流片等零件发生受潮、生锈、腐蚀等现象。其保存处也要尽量避免剧烈的长期震动，以免造成表头轴尖变秃等，影响指示。

7. 禁止在雷电、高压附近测量

禁止在雷电时或在邻近有带高压导体的设备处用兆欧表进行测量，只有在设备不带电又不可能受其他电源感应而带电时才能进行。

8. 测电容要注意耐压

在测量电容器的绝缘电阻时应注意：电容器的耐压必须大于兆欧表发出的电压值。测完电容后，应先取下摇表线再停止转动摇柄，以防已充电的电容向摇表放电损坏仪表。测完的电容要用电阻进行放电。

9. 湿度较大要用“保护环”

若遇天气潮湿或降雨后空气湿度较大时，应使用“保护环”以消除绝缘物表面泄流，使被测物绝缘电阻比实际值偏低。

10. 保持表面清洁

保持兆欧表表面清洁，不要用干布擦拭表面玻璃，以防产生静电而影响指针偏转。

5.5 菜鸟学通钳形电流表及电流的测量方法入门

菜鸟
应用
技能
入门



使用电流表测量电流时，必须停电断开电路后接入电流表才能进行测量。在要求不停电测量电流的场合，通常使用钳形电流表。例如，用钳形电流表可以测量运行中的交流电动机的工作电流，从而很方便地了解负载的工作情况。


**入门
解读**
5.5.1 电工常用钳形电流表的基本结构解读

常用的交流钳形电流表由电流互感器与电流表组成,其外形如图 5-4 所示。

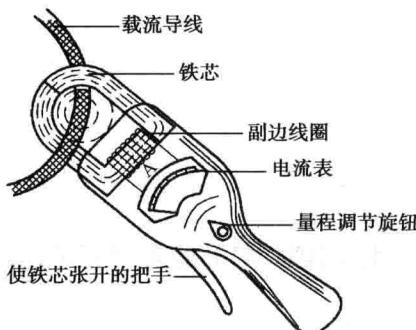


图 5-4 交流钳形电流表的外形示意图

钳形电流表主要有互感器式钳形电流表和电磁系钳形电流表两种。

**入门
解读**
5.5.2 电工常用互感器式钳形电流表工作原理的解读
1. 互感器式钳形电流表的组成

互感器式钳形电流表主要由电流互感器和带整流装置的磁电式表头等组成。互感器式钳形电流表结构示意图如图 5-5 所示。

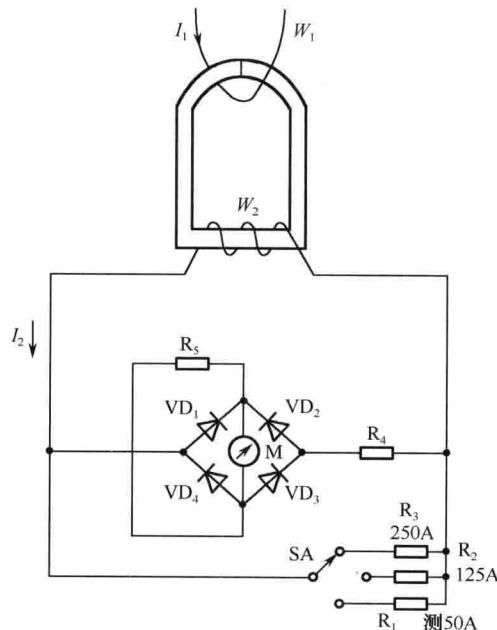


图 5-5 互感器式钳形电流表结构示意图



2. 互感器式钳形电流表的原理

电流互感器铁芯呈钳口形，当捏紧钳形电流表的把手时其铁芯张开，载流导线可以穿过铁芯张开的缺口放入；松开把手后铁芯闭合，通有被测电流的导线就成为电流互感器的一次线圈。被测电流在铁芯中产生工作磁通，使绕在铁芯上的二次绕组中产生感应电动势，测量电路中就有电流 I_2 流过，这个电流按不同的分流比，经整流后通入表头，由指示仪表 M 显示。

M 的刻度盘是按一次电流 I_1 的数值显示的，所以表的读数就是被测导线中的电流。电流互感器电流比与线圈匝数之间的关系式为：

$$I_1/I_2=N_2/N_1$$

量程的改变是由转换开关通过改变分流器的电阻来实现的。



5.5.3 电工常用钳形电流表的选择和使用方法解读

由于钳形电流表准确度较低，通常为 2.5 级或 5 级，故在选用钳形电流表时，通常要注意以下几个方面的问题。

1. 选择合适的量程

测量前应先估计被测电流的大小，选择合适的量程。若无法估计则应先用较大量程测量，然后根据被测电流的大小再逐步换成合适的量程。换挡时要使被测导线置于钳形电流表卡口之外。

2. 校零

检查表针在不测量电流时是否指向零位，若未指零，应用小螺丝刀调整表头上的调零螺栓使表针指向零位，以提高读数的准确度。

3. 导线位置应正确

测量时，被测载流导线应放在钳口内的中心位置，以免增大误差。

4. 杂声的处理

为使读数准确，钳口的结合面应保持良好的接触，如有杂声，应将钳口重新开合一次。若杂声依然存在，应检查钳口处有无污垢存在，如有可用汽油擦干净。

5. 测小电流绕几圈

测量较小的电流时，如果钳形电流表量程较大，可将被测导线在钳形电流表口内绕几圈，然后读数。线路中实际的电流值应为仪表读数除以导线在钳形电流表上绕的匝数。

6. 注意使用场合

在使用钳形电流表时，要尽量远离高强度磁场（如通电的自耦调压器、磁铁等），以减小磁场对钳形电流表的影响。

7. 不能测高压电流

不可用钳形电流表测量高压电路中的电流，以免发生事故。

8. 用完后置最大量程

钳形电流表测量完毕以后，一定要把仪表的量程开关置于最大量程位置上，这样可以防止下次使用时，因疏忽大意未选择适当量程就进行大电流测量，从而造成损坏仪表的意外事故发生。

9. 日常保管

钳形电流表应放在干燥的地方，避免高温，不要放在太阳光直射到的地方。不用时应保养后收藏。



入门解读



5.5.4 用电工常用钳形表检查低压线路漏电方法的解读

钳形表是检查低压线路漏电或查窃电的最好工具。具体检查方法如下。

1. 判断剩余电流动作保护器本身是否正常

具体方法是：在配电变压器处，将控制低压线路的交流接触器出线侧相线上的熔断器断开，如果此时剩余电流动作保护器能正常投入运行，则说明剩余电流动作保护器是好的；否则，应检修更换剩余电流动作保护器。

2. 检查判断是哪一相线漏电

具体方法是：在配电变压器处，将控制低压线路的交流接触器出线侧的中性线断开。然后将已取下的熔断器芯装在其中的一相上后，用钳形电流表测量该相，测量的电流就是该相的漏电电流。按同样的方法依次测量其余漏电相的漏电电流。

为了防止线路上存在相线接地（如有人采用一线一地方法窃电等）而发生大电流损坏仪表，检查时先应将钳形电流表挡位放在大电流挡位上；如果检测值很小，再将钳形电流表挡位转换到毫安挡进行检测。

3. 判断漏电的位置

当确定了存在漏电的相线后，进一步就可判断漏电的位置了，具体方法如下。

1) 在配电变压器处检测

(1) 在配电变压器处，将要检查的相线插上熔断器芯，中性线和其余两相的熔断器均断开，登杆用钳形表检测带电相线判断漏电位置。

(2) 为提高效率，登杆位置可选在线路的中部，通过检测判断漏电部位在线路的前半段还是在后半段，然后再对怀疑漏电的线路段检测，以此类推，缩小检测范围。

(3) 最后，对确定的较小范围内的该相线支柱绝缘子进行检测，并对该范围内接在该相线上的用户接户线相线进行检测（可在地面进行，也可在检测绝缘子时同时进行），以确定漏电的具体部位。

2) 在用户接户线处检测

在低压线路送电的情况下，也可对确定了怀疑范围内的低压用户线接户线用钳形表进行检测。

检测时，单相电用户的相线和中性线要同时放在钳形表的钳口内，三相电用户的三根相线和中性线也要同时放进钳口内。如果没有漏电故障，这时负荷电流磁通的向量和为零，钳形表指示也为零；如有漏电电流时，钳形电流表就可检测出漏电电流。

4. 检查用户内部线路和设备有无漏电

具体方法是：在该用户的电源进户线处用钳形表测量漏电电流，同时将用户的用电设备、灯具逐个投入、退出，通过看钳形表检测漏电电流的变化情况，来查找漏电的设备和灯具。

如果检测所有的设备、灯具都是好的，或者存在漏电的设备都已退出，但钳形电流表显示该用户仍然存在漏电电流，则有可能就是该用户的低压线路存在漏电，应视具体情况处理。对于预埋暗敷的管线漏电故障，只能采取换线或重新布线的处理方法。

5. 检查漏电需注意的问题

(1) 在查找漏电故障时，控制低压线路的交流接触器需要短时间强行送电。

(2) 查找漏电故障时，要注意安全，必须有人监护，并做好安全保护措施。读取钳形表



数据时，一定要保持人体与带电部位的安全距离，这一点非常重要。

(3) 高次谐波对少数剩余电流动作保护器有干扰现象，可能会使其发生误动作。如用电区内有中频炉等大的谐波源用户，在检测时应将这类用户退出运行。

(4) 用上述方法对查找“一线一地”窃电户特别有效，其特点是钳形表显示漏电电流大，达到几百毫安直至数安培。对未知的窃电户可按上述方法查找，对有此类窃电嫌疑的可直接到其接户线处用钳形表检查。

5.6 菜鸟学通电压表及电压的测量方法 入门

菜鸟应用
技能
入门



电压表是用来测量电路中电压值的。电压表测量电压时要并联在电路中。为了使电压表测量时不影响电路的状态，电压表的内阻要尽可能的大，或者说电压表的内阻与负载阻抗相比要大得多。



5.6.1 电工常用电压表基本类型的解读

电压表是用来对电路中的电压进行测量的。根据测量电压的性质可分为直流电压表、交流电压表及交直流两用电压表；根据测量范围又可分为伏特表、毫伏表。

常用的电压表有磁电式、电磁式及电动式三种形式。测量电压时应根据所测电压的高低选择合适的表型和量程。电压表的选型和量程的选择方法与电流表相同。



5.6.2 电工常用电压表电压测量电路的解读

电压表对电压进行测量要并联在电路中。为了保证电压表接入电路时不影响电路的原状态，所选电压表的内阻要尽可能大，也就是说，电压表的内阻要比负载阻抗大很多。

1. 交流/直流两用电压表测量三相交流电压电路

如图 5-6 所示是交流/直流两用电压表测量三相交流电压电路。图 5-6 所示电路图很容易理解，是通过并接电压表来对三相交流电压进行测量的。

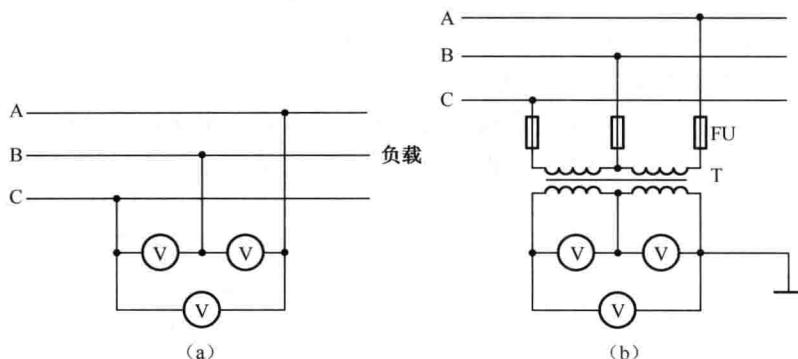


图 5-6 交流/直流两用电压表测量三相交流电压电路



(1) 直接接入测量法。如果所测三相交流电压在电压表的量限范围内，则采用直接接入测量法，如图 5-6 (a) 所示，将三只电压表分别并接在被测三相线路两端。

(2) 接入电压互感器的测量方法。如果所测三相交流电压在电压表的量程范围之外，则采用接入电压互感器的测量方法，如图 5-6 (b) 所示。电压互感器一次侧线圈接三相交流电源，二次侧线圈接电压表，但不允许二次侧线圈短路。

2. 交流/直流两用电压表测量单相交流电压电路

如图 5-7 所示是交流/直流两用电压表测量单相交流电压电路。供使用时参考。

图 5-7 所示电路图很容易理解，也是通过并接电压表来对交流单相电压进行测量的。

(1) 直接接入测量法。如果所测单相交流电压在电压表的量限范围内，则采用直接接入测量法，如图 5-7 (a) 所示，将电压表并接在被测单相线路两端。

(2) 接入电压互感器的测量方法。如果所测单相交流电压在电压表的量限范围之外，则采用接入电压互感器的测量方法，如图 5-7 (b) 所示。电压互感器一次侧线圈接单相交流电源，二次侧线圈接电压表，但不允许二次侧线圈短路。

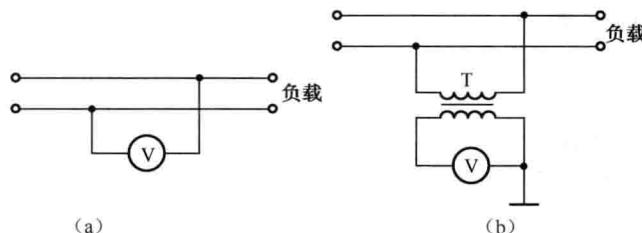


图 5-7 交流/直流两用电压表测量单相交流电压电路

3. 直流电压表测量直流电压电路

如图 5-8 所示是直流电压表测量直流电压电路。图 5-8 (a) 为直流电压表的直接接入法；图 5-8 (b) 为带倍压器的直流电压表接入法。通常，电压表用来测量电气设备电路中的电压。

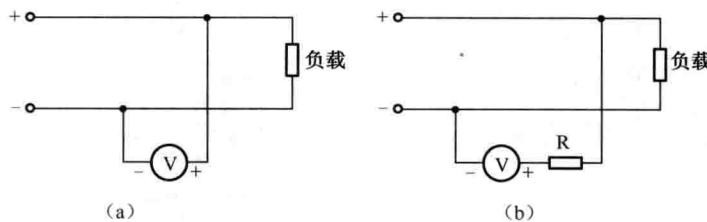


图 5-8 直流电压表测量直流电压电路

图 5-8 所示电路图较简单，测量时是将电压表并接在负载两端的。但应注意：

(1) 电压表上的正、负极应与电路中的电压正、负极相对应。

(2) 如果电压表测量机构的内阻不够大，测量电压又较高，则应增加一个串联电阻 R 来降低仪表机构的电压，所增加的电阻也称为倍压器，如图 5-8 (b) 所示。



5.7 菜鸟学通电能表及电能的测量方法 入门



电能表也称为千瓦时表或电度表，是用来测量电能的，通常所说的电能表主要指交流有功电能表。



5.7.1 交流有功电能表的类型与字母代号的解读

交流有功电能表常见有单相有功电能表、三相三线有功电能表与三相四线有功电能表。这三类电能表的字母代号如下。

1. 单相有功电能表

单相有功电能表一般采用字母 DD 表示，前一个 D 表示电能表，后一个 D 表示单相。

2. 三相三线有功电能表

三相三线有功电能表一般采用字母 DS 表示，前一个 D 表示电能表，后一个 S 表示三相三线制。

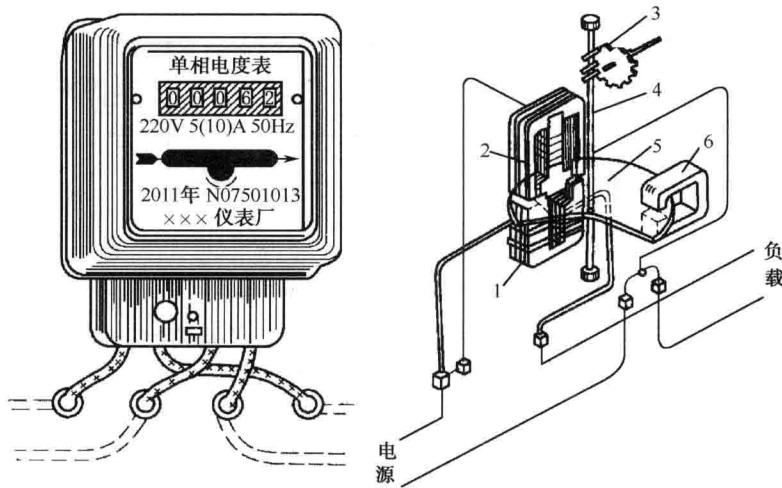
3. 三相四线有功电能表

三相四线有功电能表一般采用字母 DT 表示，前一个 D 表示电能表，后一个 T 表示三相四线制。



5.7.2 电量测量常用电能表基本结构的解读

如图 5-9 所示为单相有功电能表的外形和内部结构，主要由电流线圈、电压线圈及铁芯铝盘、转轴、轴承、数字盘等组成。



(a) 外形

(b) 内部结构

1—电流线圈及其铁芯；2—电压线圈及其铁芯；3—计量机构；4—转轴；5—铝制圆盘；6—永久磁铁

图 5-9 单相有功电能表的外形和内部结构



1. 电流线圈

电流线圈由较粗的导线绕制而成，匝数较少，由于其与负载串联，故又称其为串联线圈。

2. 电压线圈

电压线圈由较细的导线绕制而成，匝数较多，由于其与负载并联，故又称电压线圈为并联线圈。



5.7.3 电量测量常用电能表基本工作原理的解读

当用电设备开始消耗电能时，电压线圈和电流线圈产生主磁通穿过铝盘，在铝盘上感应出涡流并产生转矩，使铝盘转动，带动计数器计算耗电的多少。用电量越大，所产生的转矩就越大，计量出用电量的数字就越大。



5.7.4 电量测量常用电能表的选择和使用方法解读

对电能表的使用，都是利用其能对消耗的电能进行计量实现的。但在实际使用时，选择和使用合适的电能表就显得尤为重要。

1. 电能表的选择方法

(1) 根据供电方式和用电性质来选择单相、三相或复费率电能表、多功能电能表。

(2) 根据用户的用电容量来确定选用表的标定电流。一般按照单相每千瓦 5 安培、三相每千瓦 2.5 安培估算。

(3) 根据用电情况、用户类别来确定电能表的准确等级。

(4) 正确选定额定电压、额定电流和精度。电能表额定电压与负载的额定电压要相符，额定电压要与实际使用电压相符。如标注为：3×380/220V，则表示相数是三相，额定线电压是 380V、相电压是 220V。额定电流应大于或等于负载的最大电流。

2. 电能表的使用方法

(1) 选配了合适的电能表后，首先应送到指定地点进行检定。电能表属国家规定强制检定计量器具，其检定周期为：一般用户单相表 5 年，三相表 3 年。未经检定的电能表供电部门一律不予安装。

(2) 电能表应固定安装在符合规定的工作条件下使用。

(3) 电能表不应受震动和冲击，安装的电能表应与垂直位置的偏差不超过 1°。

(4) 电能表在使用 10(40) A 以上规格时，接入端线盒的引入线规定必须用铜线引入或用铜线头接入，避免端钮盒铜条因接触不良发热而烧毁端钮盒。

(5) 计算电能时，计度器的读数：红框内数字为小数，黑框内数字为整数。

(6) 电能表在使用过程中，电路上不允许经常短路或负载超过额定值 125%。

(7) 当电能表的电流线路中无电流，而加于电压线路的电压为额定值的 80%~110% 时，电能表的转盘转动不应超过一整转，否则说明该电能表不合格。

(8) 直接接入式电能表窗口的示数可直接读出用电数。电能表若配用互感器时，还需将窗口读到的电度数乘以互感器的倍率以后，才是实际的电能（度）数。

(9) 电能表日常多不用维护，但应尽量装在远离高温、高湿、灰尘较多的地方。



5.7.5 电量测量常用电能表安装位置的选择方法解读

电能表是测量累积负载耗电的仪表，长时间接入被测电路，因此需选择合适的场所，将电能表固定在某一位置。

(1) 电能表应安装在干燥、无强磁场、无腐蚀性气体的非易燃与易爆场所，离热力管道的距离应大于 0.5m。

(2) 电能表应安装在定型产品的配电箱内，装在电能表板或配电盘上。配电箱应设置在较明显的位置，室内箱门应装玻璃，室外表箱门应上锁。

(3) 电能表中心至地面距离可在 1.6~1.8m；多只电能表并列安装时，两表间的中心距离应大于 190mm；安装的电能表与垂直位置的偏差不应超过 15°，否则会影响计量的准确度。



5.7.6 电量测量常用电能表的正确接线方法解读

电能表的接线原则是：电流线圈与负载串联、电压线圈与负载并联。各种类型电能表正确接线的方法如下。

1. 单相电能表的接线

单相电能表有 4 个接线端，其排列形式有两种：一种是跳入式接线方式，如图 5-10 (a) 所示；另一种是顺入式接线方式，如图 5-10 (b) 所示。通常，电能表说明书上附有接线图，接线端也有明确标记，只要将进线与出线依次对号接到电能表接线端上即可。一般规律是：采用跳入接线方式，“1、3 进，2、4 出”，且“1”接线端必须与火线相连，如图 5-11 所示。

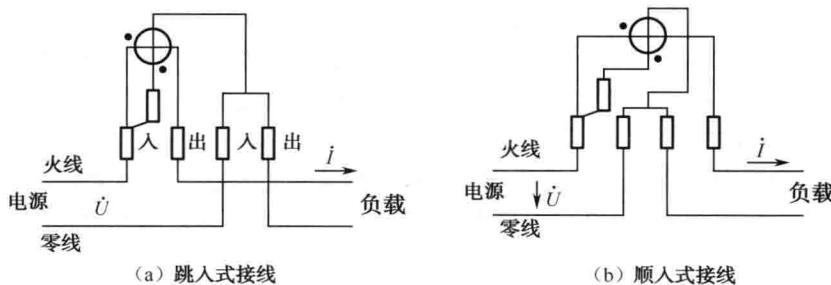


图 5-10 单相电能表的接线方法示意图

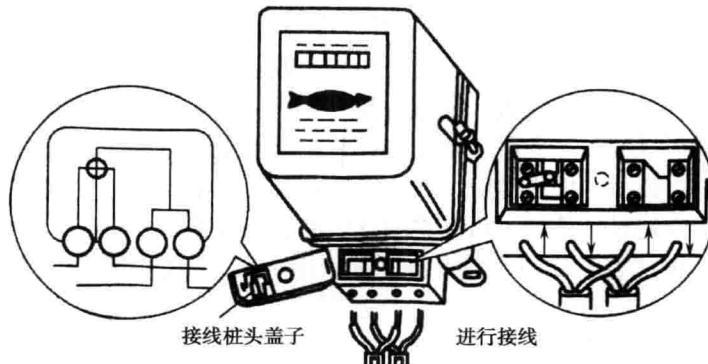


图 5-11 单相电能表的安装方法示意图



2. 三相两元件电能表

三相两元件电能表用于三相三线供电电路中，图 5-12 与图 5-13 所示为其直接接入式接线图与安装图；图 5-14 与图 5-15 所示为其经电流互感器接入的接线图与安装图，电能表的读数直接反映三相消耗的总电能。

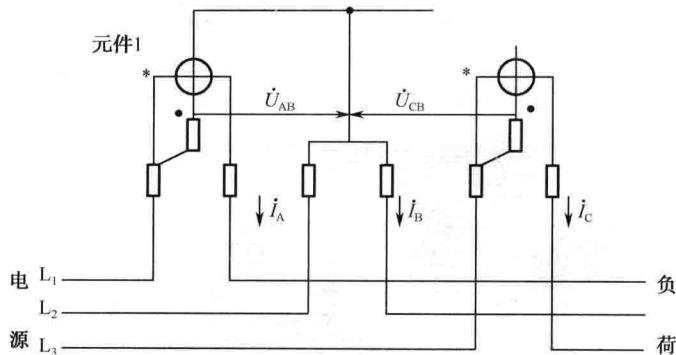


图 5-12 三相两元件有功电能表直接接入接线图

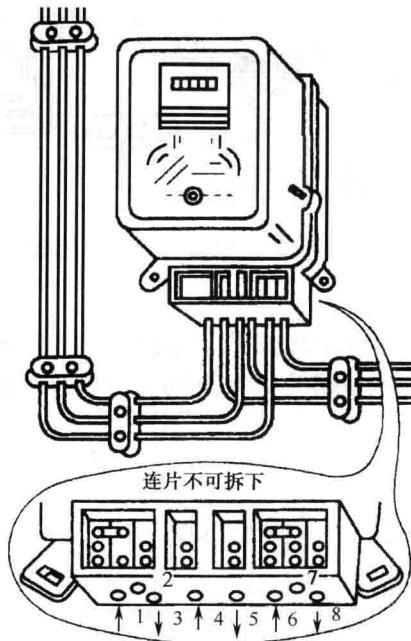


图 5-13 三相两元件有功电能表直接接入安装图

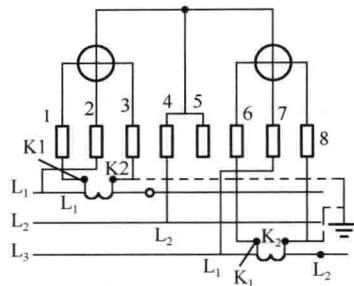


图 5-14 三相两元件有功电能表经电流互感器接入接线图

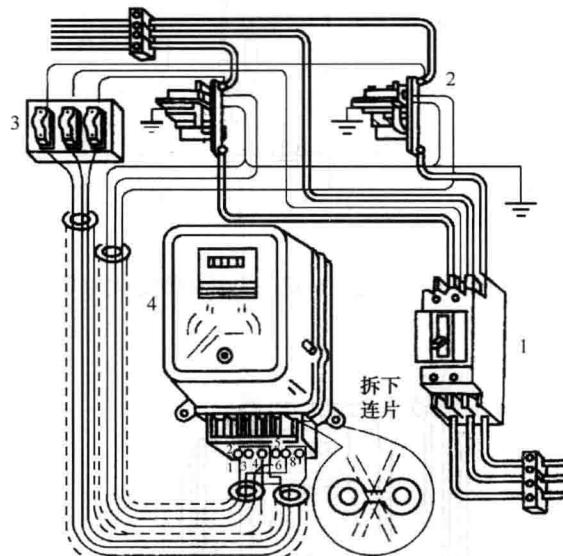


图 5-15 三相两元件有功电能表经电流互感器接入安装图

3. 三相三元件电能表

三相三元件有功电能表用于三相四线制供电电路中，图 5-16 与图 5-17 为其接线图和安装图。当然也可用 3 只单相电能表来测量各相消耗的电能，如图 5-18 与图 5-19 所示，3 只表的读数相加即是消耗的总电能。

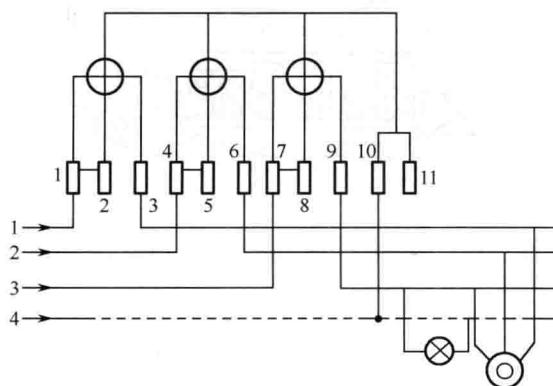


图 5-16 三相三元件有功电能表接线图

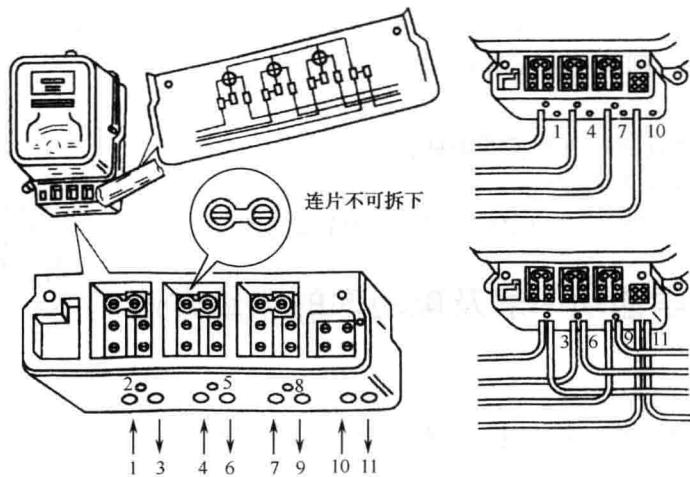


图 5-17 三相三元件有功电能表安装图

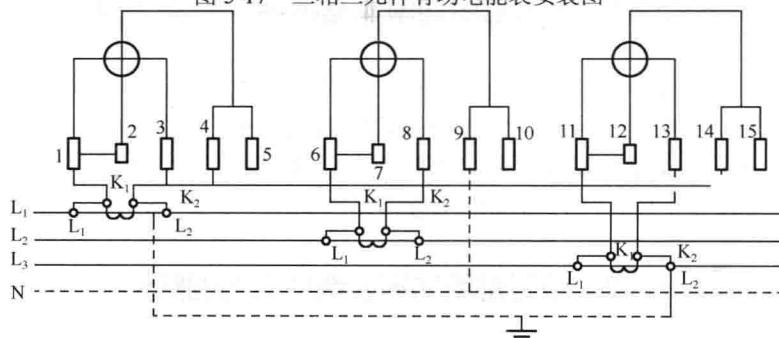


图 5-18 3 只单相电能表在三相四线制线路中的接线图

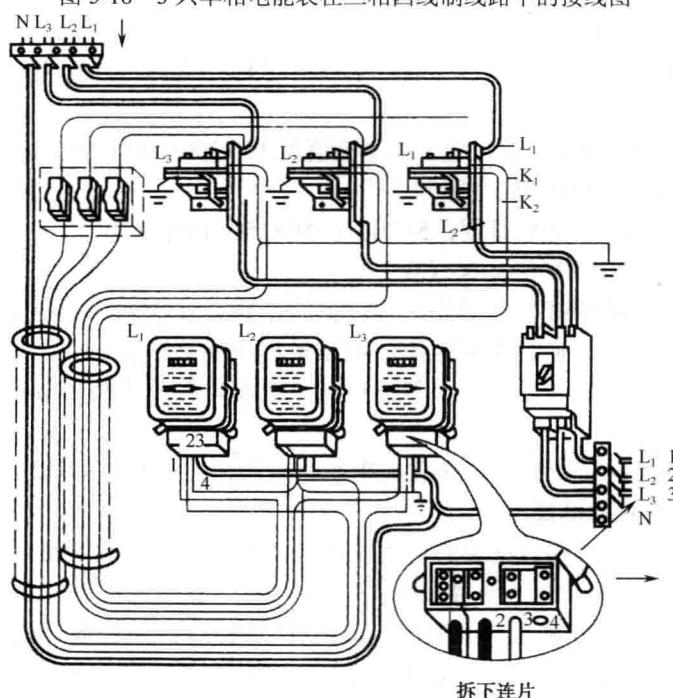


图 5-19 3 只单相电能表在三相四线制线路中的安装图



无论是哪一种接线方式的电能表，如果电能表是经电流互感器接入（低压配电系统中一般不用电压互感器），则两次读数期间所测量的电能为：

$$W=K_1 \cdot W_0$$

式中 W ——两次读数期间所测量的电能；

K_1 ——电流互感器的变比；

W_0 ——电能表的走字（本次读数与上次读数的差值）。

菜鸟应用
技能
入门



5.8 菜鸟学通功率表及电功率的测量方法 入门

功率表是用来测量电功率的电工仪表。功率表可分为单相功率表和三相功率表两大类。



5.8.1 电工常用功率表基本结构和原理的解读

功率表大多采用电动系测量结构。电动系功率表与电动系电流表、电压表的不同之处是：固定线圈与可动线圈不是串联起来构成一条支路的，而是分别将固定线圈与负载串联，将可动线圈与附加电阻串联后再并接至负载，由于仪表指针的偏转角度与负载电流和电压的乘积成正比，所以可测出负载的功率。



5.8.2 电工常用功率表选择方法的解读

对于功率表的选择主要是选择功率表的量程及其接线方式。

1. 功率表量程的选择

功率表通常有两个电流量程，两个或三个电压量程。选择不同的电流、电压量程，可以得到不同的功率量程。

以 D19-W 型功率表为例，其额定电压和电流值为 150/300V 和 5/10A，其功率量程计算如下。

5A 与 150V 量程： $5 \times 150 = 750$ (W)

5A 与 300V 或 10A 与 150V 量程： 5×300 或 $10 \times 150 = 1500$ (W)

10A 与 300V 量程： $10 \times 300 = 3000$ (W)

由上述可见，要正确选择功率表的量程，必须正确选择功率表的电流量程和电压量程。也就是说，电流量程应允许通过负载电流，电压量程应能够承受负载电压。反之，选择时如果只注意测量功率的量程是否足够，而忽视电压、电流量程是否与负载电压、电流相适应，则是错误的。

通常，在测量功率前，应先测出负载的电压和电流，然后再选择适当量程的功率表。

2. 功率表接线方式的选择

功率表的接线方式，根据所使用的功率表类型及测量线路的不同而不一样。

1) 单相功率表测量单相交流电接线方式

图 5-20 是用单相功率表测量单相交流电的两种接线方式。该接线方式很简单也容易理解，但应记住：功率表的接线必须遵守“发电机端”的规则。也就是应将标有“*”号的电流端钮接至电源端，另一电流端钮接至负载端；标有“*”号的电压端钮可接到任一电流端钮，但另



一电压端钮则应该接至负载的另一端。

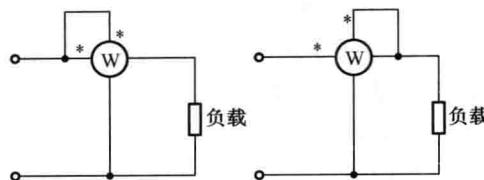


图 5-20 用单相功率表测量单相交流电的两种接线方式

在图 5-20 中, W 即为单相功率表, 测量单相交流电压时, 可根据实际情况选择两种方法中的一种。

2) 单相功率表测量三相四线制电源功率接线方式

图 5-21 是用单相功率表测量三相四线制电源功率的接线方式。该接线方式是用 3 只单相功率表与三相电源相连接进行功率测量的, 电路的总功率为 3 只功率表的读数之和。

在图 5-21 中, M 为电动机负载, 6 只白炽灯泡, 有 3 只灯泡连接在 C 相与 N 线之间, 使用 220V 交流电源, 2 只灯泡连接在 B 相与 N 线之间, 也使用 220V 交流电源, 1 只灯泡连接在 A 相与 N 线之间, 同样也使用 220V 交流电源。图中 “*” 号表示接线应遵守 “发电机端” 规则。

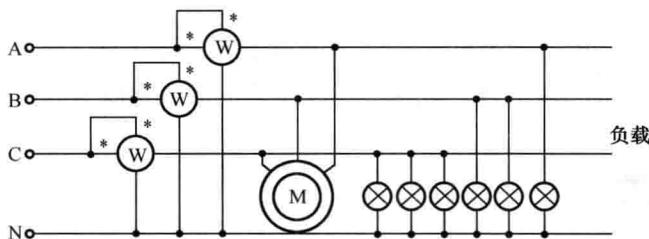


图 5-21 用单相功率表测量三相四线制电源功率的接线方式

3) 单相功率表测量三相三线制电源功率接线方式

图 5-22 是用单相功率表测量三相三线制电源功率的接线方式。该接线方式是用两只单相功率表与三相电源连接进行功率测量的, 电路的总功率为两只功率表的读数之和。如果负载的功率因数低于 0.5, 则会有一只功率表的读数为负值, 即该功率表指针会反转。为了取得读数, 这时需要将该功率表电流线圈的两个端钮对换, 使指针往正方向偏转, 这时所测量的功率应为两只功率表读数之差。

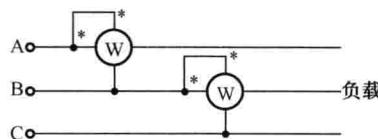


图 5-22 用单相功率表测量三相三线制电源功率的接线方式

菜鸟入门要诀

上述单相功率表的测量方法还可用于测量三相负载完全对称的三相四线制电路的功率。其检测方法与思路与上述单相功率表测量三相三线制电源功率的方法大同小异。



4) 三相功率表测量三相电路功率接线方式

图 5-23 是用三相功率表测量三相电路功率的接线方式。三相功率表实际上相当于两只单相功率表组合在一起，它有两个电流线圈和两个电压线圈，分别接于电路中，其内部接法也相当于三相三线制电路的两功率表法，外部接线图如图 5-23 所示。

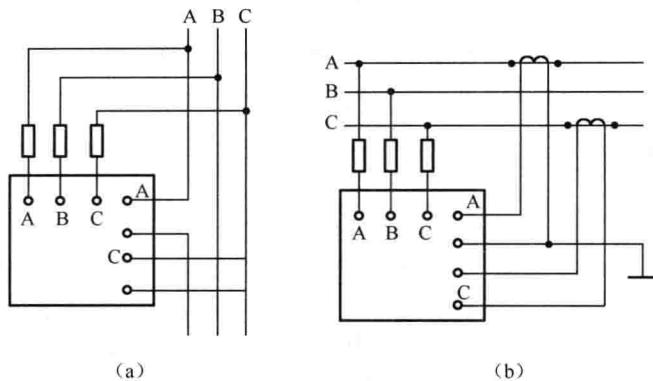


图 5-23 用三相功率表测量三相电路功率的接线方式

图 5-23 (a) 是用三相功率表测量三相电路功率直接接入法。

图 5-23 (b) 是带有电流互感器的测量三相电路功率的接入法。对于这类使用电流互感器或电压互感器测量功率的线路，实际功率应为功率表的读数乘以电流互感器或电压互感器的变比值。

菜鸟入门要诀

图 5-23 所示方法适用于测量三相三线制或负载完全对称的三相四线制电路的功率。



菜鸟学通电工常用万用表使用技能入门

电工属于特殊工种，除必须掌握直流电、交流电及其相应电路的基本特性、计算方法及安全要求以外，在实际工作中，还必须正确地使用电工测量仪器。本章介绍菜鸟学通电工较常用的指针式万用表与数字式万用表的基本使用技能。

6.1 菜鸟学通电工常用指针式万用表的基本使用技能入门

指针式万用表又称为模拟式万用表，是一种由表头上的指针指示读数的电子测量仪器。如图 6-1 所示为指针式万用表的一种典型外形示意图。

菜鸟应用
技能
入门

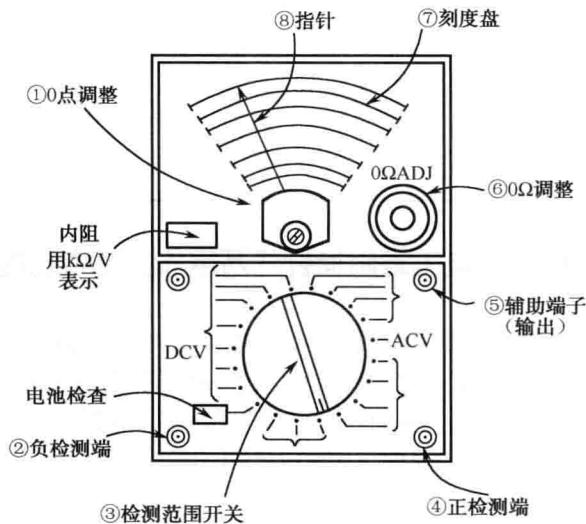


图 6-1 指针式万用表的一种典型外形示意图

入门
解读

6.1.1 电工常用指针式万用表上外文字符含义的解读

指针式万用表是一种多用途、多量程的仪表，使用非常方便，故应用极其广泛，一般的指针式万用表可用来测量直流电流、直流电压、交流电压、电阻等。有的万用表还可用来测量交流电流、电容、电感及对晶体管的检测。指针式万用表上常用的外文字符含义如表 6-1 所示。

表 6-1 指针式万用表上的外文字符含义

外文字符(单词或语句)	中文含义	量程符号	量 程	用 途	备 注			
DC	直流	DCV	直流电压	直流电压测量	用 V 或 V- 表示			
		DCA	直流电流	直流电流测量	用 A 或 A- 表示			
AC	交流	ACV	交流电压	交流电压测量	用 V 或 V~ 表示			
		ACA	交流电流	交流电流测量	用 A 或 A~ 表示			
OHM (OHMS)	欧姆	OHM (OHMS)	欧姆	元器件值测量	用 Ω 或 R 表示			
BATT	电池	BATT	用以检验表内电池电压(容量)		国产 7050、7001、7002、7004、7005、7004、7005、7007、M1015B 等指针式万用表设此量程			
GOOD	好、好的	是 BATT 量程的刻度标示。如指针指示在 GOOD 标示范围之内，表明表内电池容量充足；如指针指示在 BDA 标示范围之内，表明表内电池容量不足，应更换						
BAD	坏、坏的							
BDI	调节、校准	—	—	—	标尺在欧姆零位调节旋钮旁			
OFF	关、关机	OFF	关机	有些指针式表设有此挡，当量程开关拨至此挡时，就将表头动圈短路，增大阻尼，以防震动，损坏表头				
MDOEL	型号	仪表型号			—			
HEF	晶体三极管直流电流放大倍数测量插孔与挡位				—			
DIOOE PROTECTION	测量机构保护				—			
MADE IN CHINA	中国制造				—			

入门
解读

6.1.2 电工常用指针式万用表的基本功能解读

万用表一般可测量从几百毫伏至几百伏甚至几千伏的直流和交流电压，其测量准确度直流为 $\pm 2.5\%$ ，交流为 $\pm 4.0\%$ 。它的频率范围通常为 $40\sim 1000\text{Hz}$ ，如果准确度要求不高，还可用以测试高达 10kHz 的正弦波和非正弦波信号。由于万用表的交流刻度是根据正弦波的有效值来定值的，因此，它对方波电压的指示值偏大些，而对锯齿波、脉冲波的指示值偏小些。

万用表各电压挡级的输入阻抗是不一样的，其阻值等于相应挡级的电压满度值 U_0 （即量程）和万用表灵敏度 $S (\Omega/V)$ 值的乘积，即：

$$R_i = U_0 \cdot S$$

因此，万用表的低量程输入阻抗较小，而高量程输入阻抗较大。因为测电压时仪器的输入端是和被测电路并联的，其输入阻抗会起分流作用，为了尽量减小测量的误差，通常要求



万用表相应电压挡级的输入阻抗应大于被测电路的阻值 10 倍以上，所以必须选用灵敏度值较大的万用表来测量电压。一般要求万用表的灵敏度不应小于 $2k\Omega/V$ 。

入门 解读

6.1.3 电工常用指针式万用表的基本性能解读



通常以万用表的最大刻度值和万用表的误差来表示万用表的性能。万用表的最大刻度值如表 6-2 所示，万用表的误差如表 6-3 所示。

表 6-2 万用表的最大刻度值

测量项目	最大刻度值	测量项目	最大刻度值
直流电压 (V)	0.25、1、2.5、10、50、250、1000 (内阻 $20k\Omega/V$)	直流电流 (mA)	3000、30000、300000
交流电压 (V)	1.5、10、50、250、1000 (内阻 $20k\Omega/V$)	低频电压 (dB)	0~+22 (AC10V 范围)

表 6-3 万用表的误差

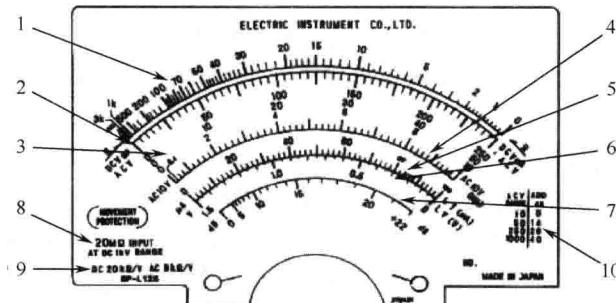
测量项目	允差值	测量项目	允差值	测量项目	允差值
直流的电压、电流	最大刻度值的 $\pm 3\%$	电阻	度盘长度的 $\pm 3\%$	交流电压	最大刻度值的 $\pm 4\%$

入门 解读

6.1.4 电工常用指针式万用表刻度盘的识别方法解读



指针式万用表是一种最普通的万用表，典型指针式万用表的正面及刻度盘如图 6-2 所示。



1—电阻 Ω 刻度；2—一直流电压、电流共用刻度；3—交流电压、电流共用刻度；4—交流 10V 专用刻度；5—电流 (μA) 刻度；6—电压 (V) 刻度；7—dB 刻度；8—表示内阻值 (直流 100V)；9—表示内阻值 (交流电压)；10—加法用 dB 表

图 6-2 指针式万用表的正面刻度盘

指针式万用表用来指示测量值的是一个动圈式直流电流表，各种项目的测量都转换成驱动这个动圈式的直流电流表。此外在万用表中还设有分流器（用以扩大电流的测量范围）、倍率器（用以扩大电压的测量范围）、整流器（将交流变成直流）、电池（为测量电阻时提供电源）及切换开关等部分。除了能进行直流的电流和电压、交流的电压和电阻测量以外，还能测量低频交流信号的电压（以 dB 表示）。



6.2 菜鸟学通电工常用指针式万用表的选择方法入门

在进行电子产品制作时，首先应挑选一只合适的万用表，对于万用表的正确使用方法应该深入了解。



6.2.1 选一块合适的电工常用指针式万用表的方法解读

指针式万用表是一种测量多种电参数的仪表。挑选指针式万用表时应把握以下几方面的问题。

1. 精确度

根据我国标准规定，准确度等级分为7级，即0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5、5.0。仪表的准确度等级越高，测量结果就越准确，但价格也就越高。因此，选用万用表时，应根据测量精度的要求，选用准确度合适的万用表，以保证测量误差限定在允许的范围之内。

2. 受外界因素影响要小

当外界因素，如温度、外磁场的变化，超过万用表规定的条件时，万用表指示值变化越小越好。

3. 灵敏度

灵敏度是指该仪表对被测微小变量的显示程度或对微小变量的测量能力。

万用表的灵敏度通常以指针偏转满度时所需的电流值（满度电流）来表示。满度电流越小，则单位电流所引起指针偏转角就越大，其灵敏度就越高。

具有较高的灵敏度，对于各项精密测量是十分必要的。选用万用表时，尤其应注意到这一点。

4. 具有良好的阻尼性能

当仪表进行测量时，指针在偏转过程中会由于惯性的影响，而不能迅速停止在指示位置上，指针在指示位置左右摆动会给测量带来影响。这就要求仪表可动部分在测量中能迅速停止在稳定偏转位置上，即可动部分停在平衡位置所要求的时间越短越好。

5. 应具有一定的过载能力

外加电压、电流的数值超过仪表的额定数值时，称为仪表的过载。除某些特殊仪表外，一般仪表都应能承受短时间的过载能力。挑选万用表时，也应注意到这一点。



6.2.2 正确操作电工常用指针式万用表的方法解读

万用表测量电阻、电压、电流等电路参数时，除了因万用表准确度等级不高会引起误差外，测量方法、操作环境等原因也会造成测量误差。减小万用表的测量误差，需要掌握正确的操作方法。

1. 测量环境

在日常的实际工作需要测量某些参数时，不要在具有强电磁场辐射的环境下使用万用表。



2. 万用表放置方式

万用表在使用时应根据表头上“**上**”或“**↑**”、“**II**”等符号的指示，将万用表垂直或水平放置。

3. 用前先调零

对于指针式万用表，使用前需检查表针是否指在机械零位上；测量电阻时，每次更换量程均要进行调零。

4. 根据被测参数的大小选择适当量程

例如，用串联法测量直流电流时，万用表内阻会造成被测电路电流减小。被测电路的电压越高，等效内阻越大，所用电流挡量程就越大，测量时电流表压降引起的误差就小，反之则越大。

5. 人体不要碰表笔

使用万用表时，双手不要碰表笔的导体部分，因为人体有一定的电阻，人体微小的感应对万用表的影响较大。

6. 读数方式要正确

使用指针式万用表在读取刻度盘上的测量值时，两眼应正对表盘，不能斜视，以防读取的数值不准确。

6.3 菜鸟学通正确采用指针式万用表测量电阻的方法入门

菜鸟检
测技能
入门



使用指针式万用表对电阻进行检测，通常分为开路检测和在路检测两种方式。

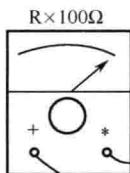


6.3.1 正确采用指针式万用表开路检测电阻的方法解读

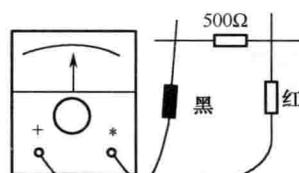
所谓开路检测，就是采用指针式万用表对独立的电阻进行测量，这种测量方法较精确。

1. 测量前的准备

测量固定电阻之前，应先将指针式万用表调零，也就是将红、黑两表笔相接，调整万用表面上的“校零”旋钮，使指针向右转到“ 0Ω ”位置处，如图 6-3 (a) 所示。



(a) 调零



(b) 测量

图 6-3 万用表校零及测电阻方法示意图



2. 指针式万用表挡位的选择方法

万用表的测电阻挡有好几个，测量时，应将万用表置于电阻（R）挡的适当量程。例如， 50Ω 以下的电阻可用“ $R \times 1$ ”挡测量； $50\Omega \sim 1k\Omega$ 的电阻可用“ $R \times 10$ ”挡测量（或“ $R \times 100$ ”挡）； $1 \sim 200k\Omega$ 的电阻可用“ $R \times 1k$ ”挡测量；大于 $200k\Omega$ 的电阻可用“ $R \times 10k$ ”挡测量。

3. 不知阻值电阻的测量

将万用表置于某一挡上，将两表笔与被测电阻的两脚并接，此时表针所指示的数值与量程数的乘积，即是被测电阻的阻值。例如，将万用表置于“ $R \times 100$ ”挡时，表针示值为 5（如图 6-3（b）所示），则该被测电阻的阻值为：

$$5 \times 100 = 500\Omega$$

在测量中，如果指针不摆动，可能是挡位太小，应将万用表置于“ $R \times 1k$ ”挡，并重新调零后再测；如果指针摆动仍太小，还可加大挡位，直到指针指示在表头刻度起始的 $20\% \sim 80\%$ 弧度范围内，因为在此范围内读取数值所得阻值较为准确，读出阻值，检测即结束。

4. 测量结果分析

在测量中，如发现在最高挡位时指针仍不摆动，则表示该固定电阻内部开路，不可再用；反之，在最低挡位时指针仍为零，则表示该固定电阻内部短路，也不能再用。

5. 测量应注意的问题

测量固定电阻时，拿表笔的两手手指不可同时碰触在被测固定电阻的两引脚上，否则会因人体电阻与被测电阻并联而影响测量结果。

数字万用表一般无需调零，可直接进行测量。



6.3.2 正确采用指针式万用表在路检测电阻的方法解读

所谓在路检测，是指元件处在印制电路板上电路之中的不带电测量（注意：电路绝不能带电，而且还应对电容等储能元件放电）。它是在对电路原理经过详细分析，估计某一固定电阻有可能损坏时进行的一种粗略测量。在有一定的经验积累后，这种测量才能对维修有所帮助。

例如，怀疑实际电路中某一只 $10k\Omega$ 固定电阻烧坏时，将万用表置于“ $R \times 1k$ ”挡，将红、黑表笔短接后调零，在确定该电阻上没有并联大电容或电感等元件的情况下，把两表笔并接在 $10k\Omega$ 电阻两引脚上，如果指针指示的阻值接近（一般低于） $10k\Omega$ 时，则可排除该电阻故障的可能性；如果指示的阻值与 $10k\Omega$ 电阻相差太大，则该电阻可能已损坏。此时可将该电阻的任一引脚与电路脱开进行开路测量以确认。

菜鸟入门要诀



测量固定电阻时，应遵循如下原则：

- 开路测量先校零，两手不可并电阻；
- 在路粗测应放电，人员表头两安全。



6.4 菜鸟学通采用指针式万用表测量电容器的方法入门

菜鸟应用技能入门



电容器性能的检测，一般最好使用电感电容表或具有电容测量功能的数字万用表。若无此类仪表，也可用指针式万用表来估测其容量和判断其好坏。



6.4.1 采用指针式万用表测量电容器绝缘电阻的方法解读

选万用表高欧姆挡，用其两表笔测量无极性电容器两引脚之间的介质绝缘电阻，一般应近于 ∞ 。如果测得的电阻值小于 $1M\Omega$ ，则说明所测电容器有明显的漏电或介质已被击穿损坏，不能继续使用。



6.4.2 采用指针式万用表对电解电容器正、负极的判断方法解读

对于一般铝电解电容器，其外壳的塑料封套上通常都标有“+”（正极）或“-”（负极）。对于新电解电容器有引脚长短的，长引脚为正极，短引脚为负极。

如果电解电容器的极性标志不清无法判别时，也可以用万用表检测。可用万用表“R $\times 10k$ ”挡分别测量电容器两端的正向和反向电阻，两次测量中电阻值较大的一次，黑表笔接触的是电容器正极，红表笔所接触的是电容器负极。



6.4.3 采用指针式万用表对电解电容器电容量的检测方法解读

用万用表检测电解电容器时，应根据被测电容器的容量来选择适当的量程。一般有如表 6-4 所示的规律。

表 6-4 根据被测电容器的容量来选择指针式万用表适当量程的方法

测量电解电容器的容量 (μF)	指针式万用表选择的量程
1~2.2	R $\times 10k\Omega$ 挡
4.7~22	R $\times 1k\Omega$ 挡
47~220	R $\times 100\Omega$ 挡
470~4700	R $\times 10\Omega$ 挡
大于 4700 μF 的电解电容	R $\times 1\Omega$ 挡

利用万用表内部电池给电容器进行正、反向充电，通过观察万用表指针向右摆动幅度的大小，即可估测出电容器的容量。电容器的电容量越大，充电电流越大，指针摆幅也越大。



6.4.4 采用指针式万用表对电容器漏电电阻的检测方法解读

将指针式万用表拨至适当的量程，调好零以后，用黑表笔接电容器的正极、红表笔接电容器的负极，电容器开始充电，故万用表指针迅速向右摆动，当摆动到一定角度后（充电结束）又会慢慢退回来，容量越大，向右摆动角度越大，但表针通常不能返回到 ∞ 位置。漏电较小的电解电容器，指针向左返回后所指示的漏电电阻通常大于 $500\text{k}\Omega$ 。若测得的电阻值小于 $100\text{k}\Omega$ ，则说明所测电容器已经漏电，不能继续使用。

再对调表笔，即黑表笔接电解电容器负极、红表笔接电容器正极进行测量，正常时表针应快速向右摆动，且摆动幅度应超过第一次测量时表针的摆动幅度，然后返回。测得的反向漏电电阻应大于正向漏电电阻。

(1) 若上述测量时表针不动或第二次测量时表针的摆动幅度未超过第一次测量时表针的摆动幅度，则说明被测电容器已失效或充放电能力变差。

(2) 若测得电解电容器正、反向电阻均接近 0 或 ∞ ，则说明该电容器已被击穿短路或开路失效。



6.4.5 采用指针式万用表测量电感类元件的方法解读

电感类元件和变压器的绕组通断、绝缘等情况可用万用表电阻挡进行检测。具体方法如下：

(1) 将万用表置“ $R \times 1$ ”挡（无此挡位则置“ $R \times 10$ ”挡），用两表笔接触线圈两端，正常时表针应指示导通，否则表示线圈断路。若线圈的用线较细或匝数较多，通常应能测出其电阻值，若测得值为零，说明线圈短路。不过，由于许多线圈的电阻值均为欧姆级甚至小于 1Ω ，所以测量时要注意分辨，尤其要保证万用表调零可靠准确（必要时需测量一次即检查一次调零情况，若发现不准应及时重调），并保证表笔与线圈端头的良好接触。

(2) 对于具有多个线圈的电感元件和变压器，除了要分别测量各绕组的通断及电阻外，还应测其各绕组之间及绕组与铁芯等之间是否存在短路或漏电现象，即用万用表“ $R \times 10k$ ”挡（无此挡位用“ $R \times 1k$ ”挡）测各独立绕组之间及各绕组与铁芯、屏蔽罩之间的绝缘电阻，各阻值均应为 ∞ ，否则便说明有漏电或短路现象。

(3) 有些电感元件和变压器存在局部短路故障，若其本身内阻较大，则可用万用表测出内阻，若实测值小于标准值，便可确认存在短路。标准值需要在平时注意收集积累。

(4) 对于电源变压器的检测，可将电源变压器初级接上 220V 交流电源，然后用万用表交流电压挡测次级各组线圈的交流电压。如测出的电压值与标注的电压值相符就是好的。如其中有一组线圈上的电压值与标称值相差较多或无电压，说明该组线圈有短路或开路现象。



6.4.6 采用指针式万用表测量普通二极管的方法解读

普通二极管包括检波二极管、整流二极管、阻尼二极管、开关二极管、续流二极管等，这些管子是由一个PN结构成的，具有单向导电特性。故用普通万用表就可以检测出其PN结材料的类型和正、负电极并且判断出其好坏。



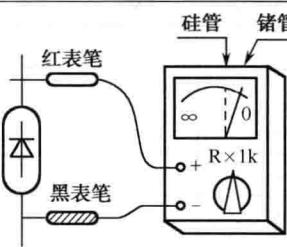
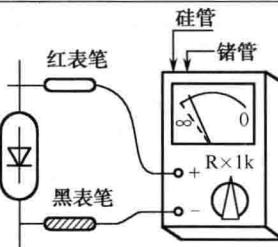
1. 常规测量

常规测量通常用于初步判别二极管的好坏。具体方法是：用万用表黑表笔（实际为内部电池的正极）接二极管正极，红表笔接负极，测出正向电阻；交换表笔测出反向电阻，正、反向电阻值之差越大越好。但对硅管来说，反向电阻应为 ∞ 。

2. 正、负极的判断

判断二极管的正、负极性，可按表 6-5 所示的方法进行。测试时应用“R $\times 100$ ”挡或“R $\times 1k$ ”挡。若用“R $\times 1$ ”挡，则流过管子的电流太大；用“R $\times 10k$ ”挡时，则表内的电池电压太高，都可能会损坏管子。

表 6-5 二极管正、负极性判断方法

项 目	正 向 电 阻	反 向 电 阻
测试方式		
测试情况	硅管：表针指示位置在中间或中间偏右一点；锗管：表针指示在右端靠近满刻度的地方（如上图所示），则表明管子正向特性是好的。 如果表针在左端不动，则管子内部已经开路	硅管：表针左端基本不动，靠近 ∞ 位置；锗管：表针从左端起动一点，但不应超过满刻度的 1/4（如上图所示），则表明反向特性是好的。 如果表针指在 0 位，则管子内部已短路
极性判别	万用表一端（黑表笔）连接二极管的正极，因为这端与万用表内电池正极相连	万用表一端（黑表笔）连接二极管的负极

3. 硅管或锗管的区分

用万用表“R $\times 100$ ”或“R $\times 1k$ ”挡，测二极管正向导通时负载电压 U_L 的数值。无论何种型号的万用表，只要用表针指示的十分度刻度线的反转刻度乘以 1.5V，便是二极管导通电压 U_F 值。然后根据 $U_F=0.7V$ 左右为硅二极管， $U_F=0.2V$ 左右为锗二极管，就可判别出所测管的 PN 结材料的类型。例如，某一被测管的指针指在 0.55 刻度，那么反转刻度则为 0.45，由此可计算出：

$$U_F = 1.5V \times 0.45 = 0.675V$$

说明此二极管是由硅材料制成的。

4. 高频管和低频管的检测

万用表置于“R $\times 100$ ”挡检测：当二极管正向导通时，如果表针指示在表盘中间或中间偏右一点，则为低频管；而表针指示在表盘右端接近 0Ω 时，则为高频管。

6.5 菜鸟学通数字式万用表的类型、技术指标与测量量程入门

菜鸟学
基本知
识入门

随着数字技术的发展，数字式万用表在电工测量中得到了越来越多的使用。





6.5.1 数字式万用表常用文字符号的识别方法解读

为了与国际接轨，近年来生产的电气仪表几乎都采用外文字符标示量程、功能和性能等。这类外文字符在数字式仪表上应用最多，绝大部分是英文语句或单词，甚至是缩写。例如：

- (1) 数字式万用表标示为 DLGITAL MULTIMETER，缩写为“DMM”；
- (2) 在数字式万用表大电流量程的插孔旁边标示的“MAX 10SEC”，表示此插孔做测量用，最长不能超过 10s，而且此插孔未设熔丝保护措施。

数字式万用表上的外文字符含义如表 6-6 所示。

表 6-6 数字式万用表上的外文字符含义

项 目	外文字符（单词或语句）	中 文 含 义	备 注
量程类	RANGE	量程转换	—
	AUTO RANGE	自动量程转换	—
	MANUAL RANGE	手动量程转换	—
	AUTO/MANUAI RANGE	自动/手动量程转换	—
熔丝类	FUSE	熔丝	—
	FUSED	设熔丝保护	—
	UNFUSED	未设熔丝保护	—
按键	ON/OFF	开/关	—
	HOLD	数据保持	按动此键，可使测量数据保持
	PK HOLD	峰值（数据）保持	按动此键，能自动记录测量过程中的最大数据
	DATA	数据储存	—
	COM	模拟地公共插口	—
	MAX	最大、最大值	—
	MIN	最小、最小值	—
	DOWN	由大到小	—
	UP	由小到大	—
	TEMP	温度（测量）	—
	AUTO CAL	自动校准	—
	SEC	秒	—
	EACH	每次、各自	—
	AUTP POWER OFF	自动关机	—
	FUSE PROVIDED	电路熔丝保护	—



6.5.2 电工常用数字式万用表的类型解读

目前，国内外生产的数字式万用表品种、型号繁多，根据分类的方式



不同，主要有以下各类。

1. 根据用途和功能分类

数字式万用表根据用途和功能分类，可以分为如下几种。

1) 低挡数字式万用表

这类表属于普及型数字式万用表，其价格低、功能简单，除具备测量电压、电流、电阻的基本功能外，通常还设置有二极管及蜂鸣器挡，有的还具有三极管 h_{FE} 测试插口。低挡数字式万用表的功能与指针式万用表类似。

2) 多功能型数字式万用表

多功能型数字式万用表一般具备频率挡、电容挡、测温挡，有的还设置了高阻或电导挡，其显示位数主要有 $3\frac{1}{2}$ 位、 $3\frac{2}{3}$ 位、 $3\frac{3}{4}$ 位三种。

3) 中等准确度的多功能数字式万用表

这类数字式万用表准确度较高，功能较全，基本属于 $4\frac{1}{2}$ 位显示方式的手持式数字万用表。

4) 语音数字式万用表

这种仪表内含语音集成电路，在显示时可以用语音播放测量到的结果。

5) $4\frac{1}{2}$ 位台式数字式万用表

这种台式数字式万用表均采用荧光数码管作为显示器件，以便于夜间观察。它们采用 220V 交流电源供电，基本电压值的准确度为 $\pm 0.03\%$ 。

6) 中档智能数字式万用表

这类数字式万用表的内部带有 4~8 位单片微电脑芯片，显示的位数为 $3\frac{3}{4} \sim 4\frac{3}{4}$ 位。由于

带有 RS232 接口，故适用于配合外部计算机对数据进行处理。

中档智能数字式万用表一般都能测量最大值（MAX）、有效值（RMS）、平均值（AVG），且具有读数存储、相对值测量、自动关机、数据存储/读出、数据输出等功能，有的万用表还设置了测量范围的上、下限。

7) 高档智能数字式万用表

高档智能数字式万用表内部一般带有 8~16 位微处理器，大多数为台式结构，具有数据处理、自动校准、故障自检等多种功能，经 RS232 或 IEEE488 接口与外部计算机连接，显示位数一般为 $5\frac{1}{2} \sim 8\frac{1}{2}$ 位。

8) 数字/模拟混合式万用表

这种类型的万用表是在指针式（即模拟式）万用表的基础上增加 $3\frac{1}{2}$ 位数字显示功能。

9) 数字/模拟条图双显示数字式万用表

这种万用表专用于观察被测量连续变化量的模拟量（如电容器充、放电过程中 U_C 的变化情况）。典型的产品有 DT960T ($3\frac{1}{2}$ 位数字/41 段条图)、BY1935 ($3\frac{3}{4}$ 位数字/31 段条图)、台湾 EDM83B 型 ($4\frac{3}{4}$ 位数字/43 段条图) 等。



模拟条图有两层含义：第一，被测量为连续变化模拟量；第二，用条图形式来模拟被测量的变化情况。条图也称条状图形，能起到指针的作用。模拟条图又分为三类。

(1) 液晶(LCD)条图：呈断续的条状，其分辨率高、功耗低、低压驱动，适用于电池供电的小型化仪表。不足之处是不便于夜间观察。

(2) 等离子体(PDP)光柱显示器：它的优点是自身发光、亮度高、显示清晰、观察距离远。不足之处是驱动电压高、耗电量较大。

(3) LED光柱：它是由多只发光二极管排列而成的。其亮度高、成本低，但像素尺寸较大，功耗高。

10) 多重显示数字式万用表

多重显示数字式万用表能同时显示3组或3组以上的数据，有的表还具有模拟条图显示。

11) 专用数字表

专用数字仪表品种较多，如数字电容表、数字电感表、数字式RLC自动测量仪、数字钳形表、数字功率表、数字温度计、数字压力表、数字转速表、数字流量表、数字照度计等，一般是作为相关专业测量用仪表。

2. 根据量程转换方式分类

数字式万用表根据量程转换方式分类，可以分为如下几种。

1) 手动量程转换

手动量程转换式数字式万用表的内部电路比较简单，价格较低，但操作烦琐，且操作不当时这类仪表易过载或损坏。

2) 自动量程转换

自动量程转换式数字式万用表选择从最高量程开始测量，然后根据被测电量的大小逐渐降低量程，直到合适为止。它能简化操作，可避免过载，并且使仪表处于最佳量程，从而提高了测量准确度与分辨率。

顺便说明的是：欧美国家大多采用60Hz交流电，因此进口数字式万用表抗60Hz干扰的能力强，而对50Hz干扰的抑制能力较差。对这类仪表必要时可改变时钟的频率，使 $t=20\text{ms}$ （即50Hz的周期）的整倍数。



6.5.3 电工常用数字式万用表主要技术指标的解读

数字式万用表的主要技术指标是准确度与分辨率。其中，准确度表示的是仪表的相对测量误差，用百分数表示；分辨率是指仪表对被测（输入）微弱电量的显示能力，即显示数据中最末位的一个数，对该被测最小量的显示能力，该指标间接地反映了仪表的灵敏度。

数字式万用表随仪表数位增多，这两项指标也相应提高，常见仪表数位及相关指标如表6-7所示。另外，数字式万用表还有最高工作电压、环境使用温度及湿度等指标，不能超标使用。

表6-7 常见仪表数位及相关指标

仪表数位(位)	准确度(%)	分辨力	最大显示数字	显示位数
3 $\frac{1}{2}$	$\pm 0.5 \sim 0.1$	0.1	1999	4位



(续表)

仪表数位(位)	准确度(%)	分辨力	最大显示数字	显示位数
4 $\frac{1}{2}$	$\pm 0.5 \sim \pm 0.02$	0.01	19999	5位
5 $\frac{1}{2}$	$\pm 0.01 \sim \pm 0.005$	0.001	199999	6位
6 $\frac{1}{2}$	± 0.001	0.0001	1999999	7位
7 $\frac{1}{2}$	± 0.0001		19999999	8位



6.5.4 电工常用数字式万用表常用测量量程的解读

数字式万用表具有体积小、精度高、显示直观、价格适中等优点，已在电工中日益普及。目前用量较大的是 DT-890 系列数字式万用表。DT-890 型数字式万用表面板示意图如图 6-4 所示。它能自动显示被测数值的单位和符号，如 Ω 、 $k\Omega$ 、 $M\Omega$ 、mV、V、mA、A、 μF 等；而且量程多，如电阻量程从 $200\Omega \sim 200M\Omega$ 共有 7 挡。除了直流电压 ($200mV \sim 1000V$)、电流 ($2mA \sim 20A$) 和交流电压 ($2 \sim 700V$) 及 h_{FE} 外，还增加了交流电流 ($200mA \sim 20A$) 和电容 ($2000pF \sim 20\mu F$) 等测试挡。

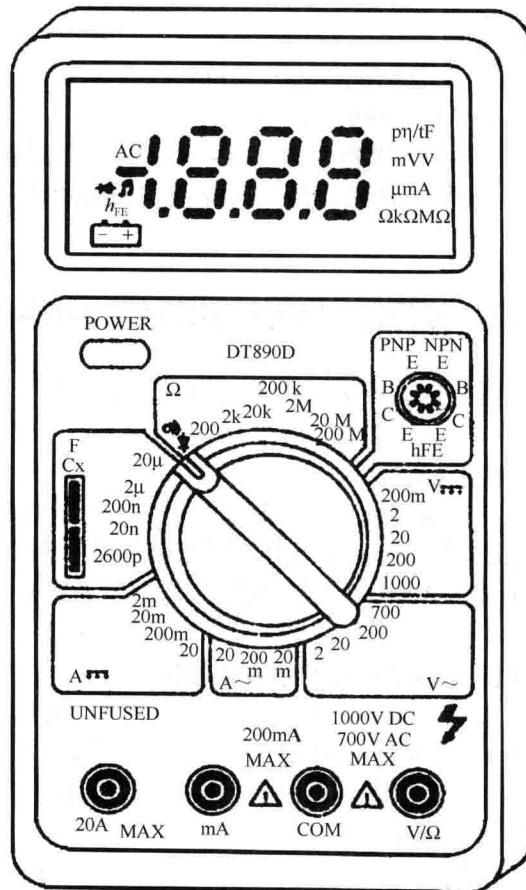


图 6-4 DT-890 型数字式万用表面板外形示意图



6.6 菜鸟学通数字式万用表的正确使用方法入门



数字式万用表与指针式万用表相比，具有体积小、重量轻、测量范围广、测量功能多、读数直观、准确度高、过载能力强等特点。对数字式万用表的应用，通常应注意以下问题。



6.6.1 电工常用数字式万用表量程的选择与读数方法解读

(1) 使用数字式万用表前，应先估计一下被测值的大小范围，尽可能选用接近满刻度的量程，以便提高测量的精度。例如，测一节 1.5V 的干电池，分别置于 2V、20V、200V 和 1 000V 挡上，显示的数分别如下：

量 程	2V	20V	200V	1 000V
显示值	1.492V	1.49V	1.5V	2V

由此可见，用 2V 挡测量的精度最高。

(2) 数字式万用表在测量时，显示屏的数值会有跳动现象，这是正常的，应当待显示数值比较稳定后(1~2s)才能读数。

此外，被测处与表笔接触不良或有氧化物、污物等，也会使显示屏产生长时间的跳数现象。应当先清除污物，使表笔接触良好后再测量。

(3) 数字式万用表的量程转换开关挡位多(DT-890 有 30 个测量挡位)，相邻两挡之间的位距很小，使用中手感不如模拟式万用表明显，很容易造成跳挡和拨错挡位，使用时换挡不可用力过猛、过快。



6.6.2 使用电工常用数字式万用表测量时必须注意的问题解读

使用数字式万用表对电阻、电容、电流进行测量时，必须注意以下几个方面的问题。

1. 测量电阻时不能用手接触表棒

用手握住电阻测量时，将造成测量上的误差。由于人体与大地之间存在较大的分布电容，容易感应出较强的 50Hz 交流干扰信号，屏显会出现几伏乃至十几伏的电压，极易造成量程超限。同理，不能用数字式万用表测量人体等效电阻，即双手不能分别握住红、黑表棒两端金属部分。

2. 测量小于 200Ω 电阻时应将表棒短路检查初始值

数字式万用表两表棒导线也存在一定的电阻值，测量阻值大的电阻时表棒导线的阻值可忽略不计，但测量几欧的电阻时应减去表棒导线的阻值。如使用 200Ω 的挡测量小于 200Ω 电阻时，应先将两表棒短路，屏幕会显示出一定的阻值，一般为 $0.2\sim0.5\Omega$ ，将所测得的电阻值减去导线电阻值，才是实际被测电阻值。

3. 测量电容器时不能反映充、放电过程

在实际应用中，一般不采用数字式万用表来检查电容器，尤其是电解电容器的充、放电



现象，而普遍采用指针式万用表来检测。其主要原因是数字式万用表在测量的过程中是按“采样→模/数转换→计数显示”程序进行的，所以不能直接显示电量连续变化的过程，即使有变化也是很不直观的，难以判断电容器的好坏。

4. 测量电流时应选择合适挡位与插孔

在使用和测量中，要特别注意选择开关的挡位和表棒的4个插孔位置。在4个插孔旁所标的警示号“△”和最大限量“MAX”就在于此意。尤其是测量大电流、大电压时的挡位和插孔要与实际相符合、相对应，否则将导致万用表损坏。

5. 数字式万用表的不足

数字式万用表也有不足之处，如测量连续变化的电流、电压、电位器阻值等，观察变化过程显得不够直观，不如模拟式万用表方便；测量 10Ω 以下小电阻时，必须先将两表笔短路，测出表笔及连线电阻（如 0.2Ω ），然后在测量中减去这一数值，否则误差也很大；内部集成电路容易损坏，尽管表内设置了各种保护电路，使用中仍应避免误操作。

6. 其他方面

严禁在测量的同时拨动量程开关，特别是高电压、大电流的情况，以免产生电弧烧坏量程开关。

当发现数字万用表电池电压过低有告警指示时，应更换电池。

**入门
解读**



6.6.3 采用电工常用数字式万用表测量电阻的方法解读

与模拟式万用表比较，数字式万用表的最大特点是测量前不必进行欧姆“调零”，因为数字式万用表内部具有自动调零功能。例如，测量一个 $10k\Omega$ 的电阻，如图6-5所示，先把红、黑表笔分别插入V/Ω和COM插孔，量程开关拨向 $20k\Omega$ 挡位，电源开关打向ON位置，显示屏显示“1”（开路）。然后将两表笔与被测电阻两端接触，读数稳定后，显示 $10.1k\Omega$ ，这便是测量结果。一般电阻允许有 $\pm 5\%$ 的误差。

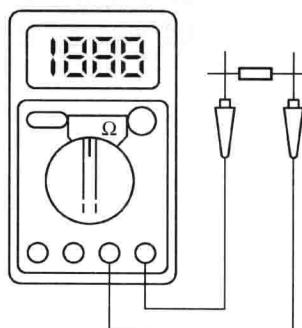


图6-5 数字式万用表测电阻示意图

**入门
解读**



6.6.4 采用电工常用数字式万用表测量电容的方法解读

DT-890D型万用表测量电容的测量范围为 $1pF \sim 20\mu F$ 。测量时无须考虑电容的极性及电容充、放电等情况。

测量时，先选好量程，将电容的两引脚插入标有 C_x 处的两插孔中（不用表笔），就可在显



示屏上读出该电容的容量数值和单位。对于电压和电流及三极管 h_{FE} 的测量，数字式万用表与普通万用表的测量方法类似。



6.6.5 采用电工常用数字式万用表测量二极管的方法解读

如图 6-6 所示，转换开关指向画有圆圈（蜂鸣器）和二极管符号的挡位上，红、黑表笔分别接触二极管的两个引脚。若为反向，万用表显示“1”（开路）；若为正向，万用表显示其正向压降。

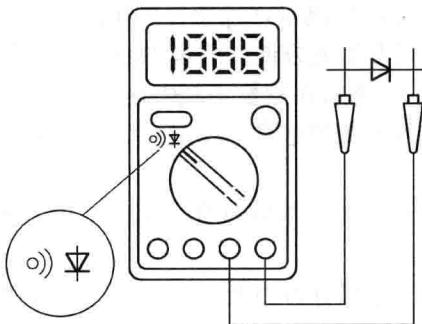


图 6-6 数字式万用表测二极管示意图

例如，常见的 1N4007 硅二极管测量时显示出 627，实际应理解为 0.627V。

- (1) 如正向显示“1”，则表明该二极管已开路。
- (2) 如正、反向都显示“000”或其他小的数值，则说明该二极管已击穿短路。

菜鸟入门要诀



用数字式万用表的这一挡检测发光二极管尤为方便。由于表内电池为 9V，故在显示正向电压降的同时，若发光二极管能点亮发出微光，表明它是好的。



菜鸟学通电工常用验电、焊接设备 使用技能入门

在实际工作过程中，电工所使用的工具既有通用型工具，又有专用型工具，下面介绍菜鸟学通电工日常操作中经常应用到的验电、焊接设备使用技能。

7.1 菜鸟学通电工常用验电笔的使用技能 入门

菜鸟应
用技能
入门



验电笔又称试电笔，简称为电笔，由于其体积小、重量轻、携带方便、使用简单，是电工人员随身携带的最常用的工具，用来检查测量低压导体和电气设备的金属外壳是否带电。



7.1.1 电工常用验电笔的基本类型解读

验电笔有普通的氖泡指示式及电子电路采用发光二极管指示感应式等多种类型。



7.1.2 电工常用普通验电笔结构特点的解读

验电笔常做成钢笔式结构，有的也做成小型螺丝刀结构，前端是金属探头，后部塑料外壳内装配有氖泡、电阻和弹簧，上部有金属端盖或钢笔形挂鼻，使用时作为手触及的金属部分。验电笔的结构与外形如图 7-1 所示。

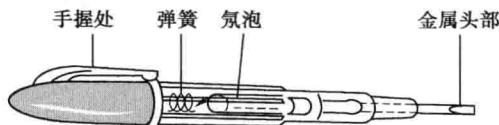


图 7-1 低压验电笔结构及外形示意图

入门
解读

7.1.3 电工常用普通验电笔的测量原理解读

普通低压验电笔的电压测量范围在 60~500V，低于 60V 时电笔的氖泡可能不会发光显示，高于 500V 的电压则不能用普通验电笔来测量，以免造成人身触电，故不能用普通验电笔测试超过 500V 的电压。

当用验电笔测试带电体时，带电体上的电压经笔尖（金属体）→氖泡电阻弹簧→笔尾端的金属体→再经过人体接入大地，形成回路。带电体与大地之间的电压超过 60V 后，氖泡便会发光，指示被测带电体有电。

入门
解读

7.1.4 使用普通验电笔时通常应注意的问题解读

电工人员在使用普通验电笔时，通常应注意以下几个方面的问题：

(1) 使用验电笔之前，首先要检查电笔有无安全电阻在里面，再直观检查验电笔是否损坏，有无受潮或进水，检查合格后方可使用。

(2) 在使用验电笔正式测量电气设备是否带电之前，先要将验电笔在有电源的部位检查一下氖泡是否能正常发光，如果验电笔氖泡能正常发光，则可开始使用。

(3) 如果验电笔需在明亮的光线下或阳光下测试带电体时，应当避光检测电气是否带电，以防光线太强不易观察到氖泡是否发亮，造成误判。

(4) 大多数验电笔前面的金属探头都制成一物两用的小螺丝刀，在使用中特别注意验电笔当作螺丝刀使用时，用力要轻，扭矩不可过大，以防损坏。

(5) 验电笔在使用完毕后要保持清洁，放置干燥处，严防摔碰。

7.2 菜鸟学通电工常用电子感应式试电笔的使用方法入门

菜鸟应用技能入门



电子感应式试电笔由于其使用简单、方便、直观、快捷，故是电工日常工作中使用最频繁的电工工具。这类试电笔的使用方法与一些技巧如表 7-1 所示，供参考。

表 7-1 感应式试电笔的使用方法

序号	检测的对象	操作方法与步骤
1	市电电压的检测方法	用手按试电笔上的“直接检测”触按点，试电笔头部接触市电电压，通过试电笔上的红色发光二极管 LED 的指示与液晶显示情况，就可以检测出电源的“火线”或“零线”或电压的数值
2	判断导线的断路点检测方法	用手按试电笔上的“感应断点测试”触按点，然后采用试电笔尖以感应电场的方式进行检测，根据试电笔上 LED 发光的强、弱情况，来判断导线何处带电、何处有断点
3	电容器好坏的检测方法	手按试电笔上的“感应断点测试”触按点，然后采用试电笔尖以感应电场的方式进行检测，也就是一只手触按试电笔“感应断点测试”触按点，另一只手的手指捏住被测电容器的一端，电容器的另一端与试电笔的头部连接，利用人体电阻形成的回路，对电容器进行充电。在电容器的另一端与试电笔的头部连接的瞬间，观察 LED 指示灯的显示情况，如 LED 瞬间点亮后又逐渐熄灭，说明被测电容器是好的；如果 LED 不会点亮，说明被测电容器内部断路或失效；如果 LED 一直点亮，说明被测电容器内部击穿短路



(续表)

序号	检测的对象	操作方法与步骤					
4	电容器容量的大致判断方法	在上述检测电容器的好坏时,由于容量值的不同,LED二极管点亮后逐渐熄灭的这段时间也是不同的,电容器的容量大,LED点亮后逐渐熄灭的时间慢,反之,如电容器的容量小,LED点亮后逐渐熄灭的时间就快。这种方法尤其适用于1μF以下电容器容量的检测,不同的电容器及其延迟的时间T之间的对应关系如下表中所列,供检测时参考					
		电容器容量(μF)	0.047	0.1	0.33	0.47	1
		延迟时间T(s)	1	2	6	10	18
5	压电陶瓷片好坏的检测方法	<p>采用感应式试电笔检测压电陶瓷片的好坏,通常可以采用“静态”或“动态”两种方法来进行检测。</p> <p>(1) 静态检测:静态检测是根据压电陶瓷片类似电容器的结构原理,可以采用上述的检测电容器的方法,大体就可判断其好坏。</p> <p>(2) 动态检测:这种检测方法是在静态检测不断开连接线路的情况下,轻敲被检测的压电陶瓷片,采用振动的方法使其产生压电感应效应,此时在压电陶瓷片两端就会产生感应电动势,由此就会使试电笔上的LED指示灯进行相应的显示,从而说明被检测的压电陶瓷片是好的;反之,如在上述检测时,LED指示灯没有任何反应,则说明被检测的压电陶瓷片已经损坏</p>					
6	二极管的检测方法	一只手触按试电笔“感应断点测试”触按点,另一只手捏住二极管的正极,二极管的负极接触试电笔的头部,正常的二极管,LED指示灯应点亮;然后将二极管两端对调后,采用上述同样的方法进行测量,试电笔上的LED指示灯应不亮。如果上述测量时,如两次测量试电笔上的LED指示灯均不亮或均全亮,则说明被检测的二极管断路或短路					
7	发光二极管好坏的检测方法	采用感应式试电笔检测发光二极管的方法与上述检测普通二极管的方法基本相同,也是利用发光二极管的单向导通的特性来判断其好坏的					
8	普通NPN晶体三极管好坏的判断方法	<p>一只手触按试电笔“感应断点测试”触按点,另一只手捏住三极管的集电极,将发射极与试电笔的头部连接,然后用捏集电极手上的另外手指碰触被检测管子的基极,利用人体电阻给基极加上偏置,并观察试电笔上LED指示灯的显示情况。如果碰触基极的力度大,给基极所加的人体接触电阻小,正常的晶体管会使试电笔上的LED指示灯发光较强;如果碰触基极的力度小,给基极所加的人体接触电阻大,正常的晶体管会使试电笔上的LED指示灯发光偏暗。</p> <p>在上述检测过程中,如果符合上述规律,则说明被检测的晶体管是好的,如果试电笔上的LED指示灯一直不亮或始终点亮,均说明被检测的晶体管已经开路或短路</p>					
9	普通PNP晶体三极管好坏的判断方法	采用感应式试电笔检测普通PNP晶体三极管好坏时,与检测NPN晶体三极管好坏的方法基本相同,但需要将万用表的红、黑表笔对调以后,进行同样的测量即可					



7.3 菜鸟学通电工常用高压验电器的类型与结构特点入门

菜鸟学
基本知
识入门



高压验电器又称高压测电器,俗称高压试电笔,是发电厂、变电所等电力企业用来检测高压电器设备是否带电的专用工具。



7.3.1 电工常用高压验电器类型的解读

电工常用的高压验电器根据验电电压的不同主要有10kV以下和35kV两种，根据显示信号的不同有氖管发光型、声光型与风车式等几种。但氖管发光型、声光型两种高压验电器用途最广泛，类型与型号也最多。

1. 氖管发光型高压验电器的特点

氖管发光型高压验电器，是采用氖管进行发光来指示高压电气线路或设备是否带电的。

2. 声光型高压验电器的特点

声光型高压验电器，当其检测头接收到电信号后，通过声光元件发出声音与光亮来指示高压电气线路或设备是否带电。这类高压验电器是在发光验电器中装入电子报警器后形成的。

3. 风车式高压验电器的特点

风车式高压验电器是通过电晕放电而产生的电晕风，驱使金属叶片旋转，以此来指示高压电气线路或设备是否带电。



7.3.2 电工常用高压验电器外形特点的解读

电工常用高压验电器的外形如图7-2所示，主要由指示器部分、绝缘部分、握手部分、罩护环等几个部分组成。采用全封闭结构、可伸缩方式。

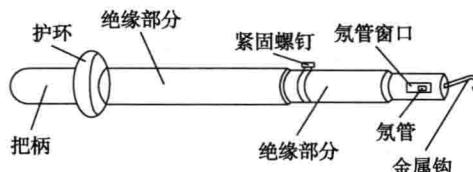


图7-2 电工常用高压验电器的外形示意图



7.3.3 电工常用氖管发光型高压验电器的组成特点解读

电工常用氖管发光型高压验电器，一般由以下几个部分组合而成，其各部分结构特点如下。

1. 指示器部分

指示器部分由金属接触端、压紧弹簧、氖气管、电容纸箔管或电子元件等组成。外部套有电木粉压制或聚氯乙烯制成的硬质绝缘管。

2. 绝缘部分

绝缘部分是自指示器下部的金属衔接螺钉起到罩护环止的这部分。10kV及以下的其绝缘部分长度不得小于0.4m；35kV的其绝缘部分长度不得小于0.6m。

3. 握手部分

握手部分是指罩护环以下的部分，供使用高压验电器时操作人员手应该握的部分。

4. 罩护环

罩护环是绝缘部分和握手部分的分界点，罩护环的直径要比握手部分大20~30mm。



7.4 菜鸟学通电工常用高压验电器正确使用方法入门

菜鸟应用技能入门



正确使用电工常用高压验电器，通常应注意以下几个方面的问题。



7.4.1 使用电工常用高压验电器之前的检查方法解读

(1) 高压验电器在使用之前，应检查其表面有无破损、裂纹和被测电压等级是否与验电器一致，也就是要用合格的高压验电器的额定电压与被校验电气设备的电压等级相适应，确认无问题后才可使用。

(2) 在验电操作之前，先应进行自检试验，以确认验电器的声光报警是否良好。也就是按压验电器上的试验按钮，应有声光报警信号。如果自检试验没有声光报警现象，则这种验电器不能使用。



7.4.2 使用电工常用高压验电器进行验电操作的方法解读

(1) 在进行验电时，应先将验电器在有电的电气设备上测试，确认验电器正常后，再去停电的设备上验电。

(2) 在进行验电时，必须要由两个人一起进行，一人进行验电操作，另一人进行监护。验电操作人员必须戴上耐压符合要求的绝缘手套，人体与带电体之间的安全距离应足够，一般 10kV 及以下线路的安全距离应大于 0.7m。

(3) 在进行验电时，右手握高压验电器的手柄不得越过护环，验电器操作人员应与电气设备保持足够的安全距离，要把绝缘杆全部伸到位，最好站在绝缘垫上进行验电操作。

(4) 验电操作人员的手指不要碰到验电器的金属部分，以防止触电。在被验电气设备的电源侧与该设备的出线侧逐相分别进行验电。

(5) 在进行验电时，应缓慢地向电气设备移近，直到直接触及导电部分，此过程中若一直无声、光报警，则就可以判断被测电气线路或设备无电；反之，如果在移近过程中突然有声、光报警，应立即停止验电，说明被测电气线路或设备有电。

(6) 室外使用验电器时，在雨、雪、浓雾及湿度较高的时候，则禁止采用验电器检测高压线路是否有电，以免发生危险。在遇雷电（听见雷声或看见闪电）时，也禁止验电。



7.4.3 使用电工常用高压验电器要防止临近有电设备影响的方法解读

在进行高压验电时，要防止验电器受到临近有电设备的影响而进行报警。防止受临近有电设备影响时的验电器距离有电设备的距离如表 7-2 所示。



表 7-2 防止受临近有电设备影响时的验电器距离有电设备的距离

电压等级 (kV)	6	10	35
验电器距离有电设备的距离 (mm)	150	250	500



7.4.4 电工常用高压验电器定期试验方法的解读

高压验电器除了在每次使用之前先进行试测外，每 6 个月还应对其进行定期试验。试验的项目及方法和要求如下：

(1) 外观检查。应仔细检查验电器的绝缘部分及氖灯的玻璃罩是否完好。如果发现验电指示器的外壳有缺损、绝缘杆有裂纹等明显缺陷时，不宜进行预防性试验，应及时更换。

(2) 验电部分工频交流耐压试验。可在验电器的接触端与电容器之间加上工频电压 25kV，持续时间约 1min，若未发现闪络放电现象，则验电部分的耐压试验合格。

(3) 手持部分耐压试验。验电器的手持部分（包括绝缘部分、手握部分及这两部分间的一部分）耐压试验应单独进行，可在电容器与隔离环间加电压。在加压过程中，若未发现闪络放电现象，则说明手持部分耐压合格。



7.4.5 电工常用高压验电器保养与保存方法的解读

在保养与维护或使用验电器时，一定要轻拿轻放，不要剧烈摇动、振动，应摆放在固定的橱内，切忌放于潮湿、污物的地方，避免置于含腐蚀性的空气（如酸、碱等气体）环境中。

7.5 菜鸟学通电工常用电烙铁的类型与结构特点入门

菜鸟学
基本知
识入门

电烙铁是电工常用的焊接工具，它可用来焊接电线接头、电气元件接点等。了解电烙铁的构造，掌握其使用的方法是十分必要的。



7.5.1 电工常用电烙铁的基本类型解读

电烙铁有各种类型。按加热方式可分为直热式、感应式等多种；按功能分类有单用式、两用式、调温式等几类；按发热功率不同分类，有 20W、30W、45W、75W、100W、300W、500W 等多种；按烙铁头安装的位置不同可分为外热式电烙铁与内热式电烙铁两大类。



7.5.2 电工常用外热式电烙铁的基本结构特点解读

外热式电烙铁的外形如图 7-3 所示，这类电烙铁的烙铁头安装在发热元器件的内部，采用一只紧固螺钉进行固定。其优点是具有耐受震动，机械强度大，适用于较



大体积的电线接头焊接；缺点是预热时间较长，效率较低。

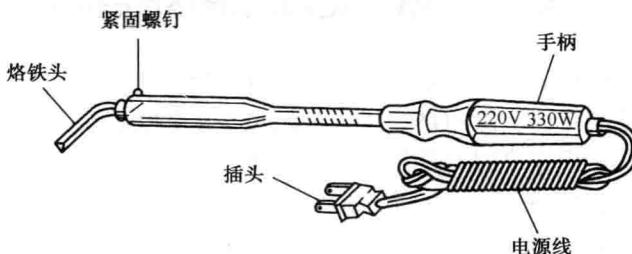


图 7-3 外热式电烙铁的外形示意图



7.5.3 电工常用内热式电烙铁的基本结构特点解读

内热式电烙铁的外形如图 7-4 所示，这类电烙铁的发热元件装在烙铁头的内部，发热元器件中的电热丝绕得很紧凑，使用时动作要轻，否则烙铁芯比较容易损坏。其优点是体积小、重量轻、发热快，适用于在印制电路板上焊接电子元器件；缺点是机械强度差，不耐受震动，不适于大面积焊接。

电工人员在日常工作中最常用的直热式电烙铁，功率一般为 20~45W，如遇到需要焊接温度较高时，还要准备一把 75W 的电烙铁。

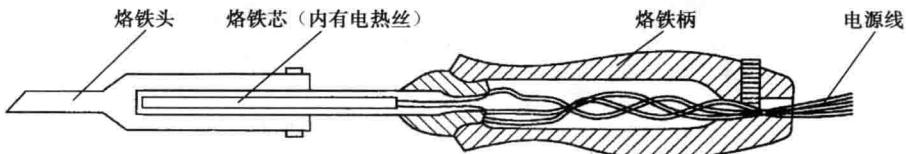


图 7-4 内热式电烙铁的外形示意图

7.6 菜鸟学通电工常用电烙铁的使用方法 入门

菜鸟应用技能入门



电烙铁的使用有一定的技巧，若使用不当，不仅焊接速度慢，而且会形成虚焊或假焊，影响焊接质量。



7.6.1 新电烙铁烙铁头镀锡方法的解读

对于一把新买的电烙铁，不要一买来就用，应先根据实际要求，用锉刀加工烙铁头的形状，将烙铁头镀上锡后再投入使用。镀锡的方法如下：

将电烙铁接上电源，当烙铁头温度逐渐升高时，将松香涂在烙铁头上，待松香冒烟、烙铁头开始能够熔化焊锡时，将烙铁头放在有少量松香和焊锡的砂布上研磨，各个面都要研磨到，使烙铁头的四周都镀上一层焊锡即可。



7.6.2 电烙铁烙铁头磨损修整方法的解读

按照规定，电烙铁头应该经过渗镀铁合金，使其具有较高的耐高温氧化性能。但实际的烙铁头大多仅是在紫铜表面镀了一层锌合金。镀锌层虽然也有一定的保护作用，但在高温及助焊剂的作用下（松香助焊剂在常温下为中性，在高温时则呈弱酸性），烙铁头经长期使用后，往往因出现氧化层而导致其表面凹凸不平，这时就需要对其进行修整。可用锉刀将烙铁头修整成所要求的形状后，再用砂纸将其打磨光。修整以后的烙铁头，再采用上述镀锡的方法，使打磨过的表面镀上锡以后再继续使用。

另外，在焊接密集的小面积的焊点时，如果烙铁头太粗，可以用锤子将烙铁头锻打到合适的粗细后再对其进行修整、磨光、镀锡。但必须要将烙铁头拆下来才可进行锻打加工。

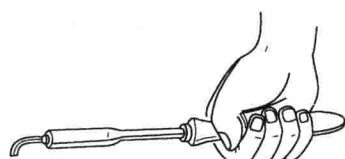


7.6.3 电工使用电烙铁时常见的握法解读

电烙铁的基本握法如图 7-5 (a) 所示，这种姿势与握钢笔的姿势相似，称握笔式。如图 7-5 (b) 所示为“拳握式”，适用于焊接大型电气设备。



(a) 握笔式



(b) 拳握式

图 7-5 电烙铁的基本握法示意图



7.6.4 使用电烙铁时的基本安全知识解读

一般的电烙铁工作电压都为 220V 交流市电，故在使用时一定要注意安全。通常应注意以下问题：

(1) 要经常检查电烙铁的电源线有无损坏，如果有损坏应及时更换或用绝缘胶布包扎好。电源线不能使用塑料绝缘线，应该选用有棉编织物护套的三芯橡胶绝缘线（也称为花线），并配三芯插头，使电烙铁的外壳接地，以确保安全。

(2) 要经常用万用表的电阻挡进行安全检查。除了应测量电源插头两端是否有短路或开路情况外，还要使用 $R \times 1k$ 或 $R \times 10k$ 挡测量电源与电烙铁外壳之间的绝缘电阻。如果指针不动或电阻大于 $5M\Omega$ ，则绝缘良好可以继续使用。否则，应检查漏电原因，待问题处理以后才可投入使用。

(3) 使用电烙铁时，若发现烙铁柄出现松动，应及时将其拧紧，否则容易将电源线与烙铁芯的引出接线柱之间的连接线绞断，出现脱落或短路。发现烙铁头松动要及时紧固。

(4) 不准甩动使用中的电烙铁，以防焊锡溅出伤人。


**入门
解读**


7.6.5 使用电烙铁时温度的掌握方法解读

焊接不同的元器件，电烙铁的使用温度应略有差异，特别是电烙铁表面温度应选择好。例如，在焊接晶体管和集成电路时，电烙铁的温度应该略微低一些；而在将导线焊接到底板上或焊地线时，电烙铁的温度又要高一些。

通常，当电烙铁头碰到松香时，如果能发出“咝啦、咝啦”的声响，便说明该温度比较适宜，而且会比焊锡的熔点稍高一些，如果接触时间再长一点，还会有一股烟向外冒出，此时焊出的焊点浑圆而发亮；当电烙铁触及松香时，只是慢慢地冒烟，而不发出“咝啦”声，说明此时电烙铁温度太低，所焊接的焊点会发脆，不结实；如果两者相触时冒烟太多或“咝啦”声太大，说明电烙铁的温度太高，此时所焊出的焊点没有光泽，而且很容易损坏印制电路板或元器件。

**入门
解读**


7.6.6 使用电烙铁时经常保持电烙铁清洁的方法解读

要注意保持电烙铁的清洁，特别是电烙铁头要经常清除氧化物。当电烙铁松香等积垢过多时，应趁热用破布等使劲将污物擦去；如果电烙铁头表面太脏，也可用小刀刮一下，然后重新沾上一点锡。

**入门
解读**


7.6.7 使用电烙铁时通常应注意的问题解读

暂时不用的电烙铁，应切断电源，以避免电烙铁头烧死和电热丝加速氧化而烧断。空烧会缩短其使用寿命。使用电烙铁时，通常还应注意以下几个问题：

- (1) 使用电烙铁之前，应检查所使用的电源电压与其上的额定电压是否相符，一般为220V。检查电源和接地线接头是否连接正确。
- (2) 电烙铁不能在易爆场所或腐蚀性气体中使用。
- (3) 电烙铁在使用中一般用松香作为焊剂，特别是电线接头、电子元器件的焊接，一定要用松香焊剂，严禁用盐酸等带有腐蚀性的焊锡膏焊接，以免腐蚀印制电路板或短路电气线路。
- (4) 电烙铁在焊接金属铁、锌等物质时，可用焊锡膏焊接。
- (5) 在焊接中，如果发现紫铜制的烙铁头氧化不易沾锡时，可用锉刀锉去氧化层，然后在酒精内浸泡后再用，切勿浸入盐酸内浸泡以免腐蚀烙铁头。
- (6) 焊接电子元器件时，最好选用低温焊丝，头部涂上一层薄锡后再焊接。焊接场效应晶体管时，应将电烙铁电源线插头拔下，利用余热去焊接，以免损坏管子。
- (7) 使用外热式电烙铁还要经常将铜头取下，清除氧化层，以免日久造成铜头烧死。
- (8) 电烙铁通电后不能敲击，以免缩短使用寿命。
- (9) 电烙铁使用完毕，应拔下插头，待冷却后放置干燥处，以免受潮漏电。



7.7 菜鸟学通电工常用气焊设备的使用方法入门



电工经常要进行气焊，气焊所采用的可燃气体多为乙炔，氧气是其助燃气体。气焊设备主要包括：乙炔瓶、氧气瓶、乙炔减压阀、氧气减压阀、乙炔连接管、氧气连接管、焊枪等。使用气焊设备时应注意以下几方面的问题。



7.7.1 使用电工常用气焊设备之前的检查方法解读

1. 检查乙炔瓶压力

先打开乙炔钢瓶，观察压力表指针是否在规定压力范围内。若发现乙炔瓶压力比正常压力高，就不能使用焊枪。

2. 检查氧气瓶压力

打开氧气瓶阀门，观察压力表的指针示值是否在规定压力范围内，否则不能使用。

3. 检漏

检查橡胶管、气瓶口、火嘴等是否有漏气处。火嘴的检漏可使用肥皂水，这样不致误判。



7.7.2 电工常用气焊设备的点火顺序解读

使用气焊设备时，对焊枪的点火顺序有一定的要求，应按以下步骤进行：

- (1) 打开焊枪上的乙炔气开关，点燃焊枪。
- (2) 打开焊枪上的氧气开关。
- (3) 根据焊接的实际要求分别对乙炔、氧气开关的开度进行适当调整。



7.7.3 电工常用气焊设备熄火顺序的解读

当焊接完毕以后，对焊枪的熄火顺序也有一定的要求，应按以下步骤进行：

- (1) 关闭焊枪上的氧气开关。
- (2) 关闭焊枪上的乙炔气开关。



7.7.4 使用电工常用气焊设备时必须注意的问题解读

- (1) 使用焊枪时，不能同时开启乙炔阀和氧气阀，开启阀门时一定要缓慢。
- (2) 氧气与乙炔应各自使用专用的管子，二者不能混用。
- (3) 在使用焊枪进行焊接时，应注意氧气和乙炔气的压力，通常氧气压力表上的示值为0.2MPa，乙炔气压力表上的示值为0.05MPa。
- (4) 在进行焊接时，如发现有黑烟出现时，应开大氧气阀门。



(5) 在进行焊接时，如发现火焰变成了双道，应对火口进行清理。



7.7.5 使用电工常用气焊设备时的焊接方法解读

进行气焊时，先把氧化焰对被焊物件均匀烧烤至微红色，再在焊接部位撒上硼砂，将焊条靠近（如黄铜焊条或4%的银合金焊条等）焊口加热，使焊条熔化流入焊口缝隙中，待焊条熔液充满焊缝后，在空气中自然冷却即可。焊好的焊口要光滑没有气孔。

菜鸟入门要诀



- (1) 不准用扳手转动气瓶上的安全阀。
- (2) 不准用带油的布、棉纱擦拭气瓶及压力调节器，气瓶应放在遮阳的通风干燥处。
- (3) 焊枪及火嘴不准放在有泥沙的地面上，以免被堵塞。
- (4) 压力调节器（减压器）一旦出现故障不准凑合着用，应及时进行更换。
- (5) 不准在未关闭压力调节阀的情况下整理火焰，也不准采用将橡皮管折弯的方法来更换火嘴。
- (6) 不准在未关闭气阀熄火的情况下离开焊接现场，以防事故发生。



菜鸟学通电工常用开关类电器基本技能入门

开关是一种可以接通与断开电路的器件，用量和类型十分繁多，应用场合也十分广泛。

开关按用途可分为电源开关、隔离开关、限位开关、控制开关、旋转开关、行程开关、拨动开关、微动开关等。本章介绍菜鸟学通电工常用开关电器的基本技能。

8.1 菜鸟学通电工常用开关的电路图形符号识别方法入门

菜鸟识
图技能
入门



开关器件在电路中用字母“SA”、“SB”或“S”(旧标准为“K”)表示。它们的种类及其符号说明如下。



8.1.1 电工常用手动、按钮、拉拨、旋钮开关的种类与电路图形符号识别方法解读

在电工电气电路图中，手动、按钮、拉拨、旋钮开关的种类与电路图形符号如表 8-1 所示。

表 8-1 手动、按钮、拉拨、旋钮开关的种类符号

序号	新符号		旧符号	
	名称	图形符号	名称	图形符号
1	手动开关的一般符号	-	—	—
2	动合(常开)按钮开关(不闭锁)	E- -	带动合(常开)触点，能够自动返回的按钮开关	—○—○—
3	动断(常闭)按钮开关(不闭锁)	E- -	带动断(常闭)触点，能够自动返回的按钮开关	—○—○—
4	动断(常闭)和动合(常开)触点的按钮开关(不闭锁)	E- - -	带动断(常闭)和动合(常开)触点，能够自动返回的按钮开关	—○—○—○—○—
5	拉拨开关(不闭锁)	-[—	—



(续表)

序号	新符号		旧符号	
	名称	图形符号	名称	图形符号
6	旋钮开关、旋转开关(闭锁)	图8-1-6	常闭锁装置的按钮	图8-1-7



8.1.2 电工常用位置开关、热敏开关、惯性开关的种类与电路图形符号识别方法解读

在电工电气电路图中,位置开关、热敏开关、惯性开关的种类与电路图形符号如表 8-2 所示。

表 8-2 位置开关、热敏开关、惯性开关的种类符号

序号	新符号		旧符号	
	名称	图形符号	名称	图形符号
1	位置开关,动断触点限制开关,动断触点	图8-1-1	与工作机械联动的开关动断(常闭)触点	图8-1-2
2	对两个独立电路做双向机械操作的位置或限位动合开关	图8-1-3	—	—
3	热敏开关的动合触点(θ 可用温度代替)	图8-1-4	温度继电器动合(常开)触点	图8-1-5 或 图8-1-6
4	具有热元件器的气体放电管荧光灯启动器	图8-1-7	荧光灯触发器	图8-1-8
5	惯性开关(突然减速而动作)	图8-1-9	离心式非电继电器触点 转速式非电继电器触点	图8-1-10 图8-1-11
6	液位开关	图8-1-12	液位继电器触点	图8-1-13
7	位置开关,动合触点限制开关,动合触点	图8-1-14	与工作机械联动的开关动合(常开)触点	图8-1-15 图8-1-16



8.1.3 电工常用多位开关、负载开关的种类与电路图形符号识别方法解读

在电工电气电路图中,多位开关、负载、隔离开关的种类与电路图形符号如表 8-3 所示。



表 8-3 多位开关、负载开关的种类符号

序号	新 符 号		旧 符 号	
	名 称	图形符号	名 称	图形符号
1	负荷开关（负荷隔离开关）		带灭弧罩的单线三极开关	
			单线三极高压负荷开关	
2	隔离开关		单极高压隔离开关	
			单线三极高压隔离开关	
3	具有自动释放的负荷开关		自动开关的动合（常开）触点	
4	断路器		自动开关的动合（常开）触点	
			高压断路器	
5	单级四位开关	形式1 形式2 	单级四位转换开关	
6	三级开关单线表示		三级开关单线表示	
7	三级开关多线表示		三级开关多线表示	
8	开关的一般符号		单极开关	



8.2 菜鸟学通电工常用高压隔离开关与高压负荷开关技能入门

菜鸟应用
技能
入门



电工常用高压隔离开关与高压负荷开关器件在电力网及变配电系统中应用相当广泛，是电力系统的重要设备，在电能生产、传输和分配过程中起着控制保护作用。


**入门
解读**


8.2.1 电工常用高压隔离开关的结构特点的解读

高压隔离开关也称刀闸，用来隔离高压并造成明显的断开点，以保证电气设备在检修或备用时，与母线或其他正在运行的电气设备隔离。由于隔离开关没有特殊的灭弧装置，因此必须在对应的断路器断路后，才允许拉开或合上，为了防止误操作，隔离开关一般都装设有连锁装置（机械连锁或电气连锁）。GN6-10T/400型高压隔离开关外形结构如图8-1所示。

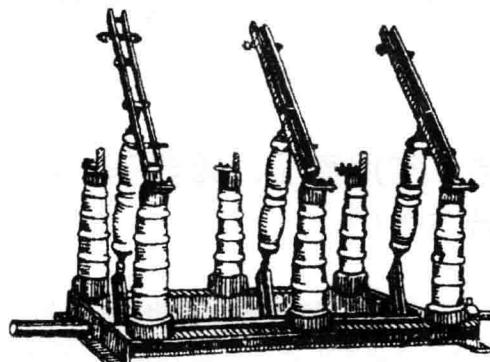


图8-1 GN2-35T/400型高压隔离开关外形结构示意图

**入门
解读**


8.2.2 电工常用高压隔离开关的选用方法解读

在选用高压隔离开关时，应根据安装地点选择相应的形式（户内型还是户外型），并根据电源的额定电压和负荷的大小选择合适的容量，并确认能否适应短路时通过的电流值。

**入门
解读**


8.2.3 电工常用高压负荷开关结构特点的解读

1. 高压负荷开关的特点

高压负荷开关是一种小功率的断路器：它具有简单的灭弧装置。在高压配电装置中，负荷开关是专门用于接通和断开负荷电流的电器设备，在装有脱扣器时，在过负荷的情况下也能自动跳闸，但不能断开短路电流。

2. 高压负荷开关的结构特点

就结构来说，负荷开关与隔离开关相似，在断路状态下有可见的断开点。它又有由固体产气物质形成的灭弧腔，当断开或接通负荷电流时，由于出现电弧的高温而使灭弧腔内的产气物质产生大量气体。此气体能将电弧冷却吹熄，从而起到灭弧作用。但它的灭弧能力不高，不能断开短路电流，因此它必须与高压熔断器串联使用，借助熔断器来切除短路故障。FN2-10(R)型高压负荷开关外形如图8-2所示。

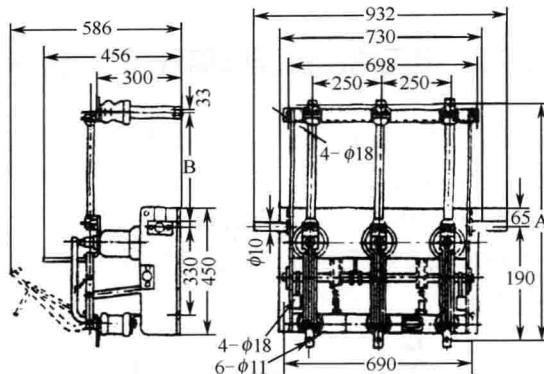


图 8-2 FN2-10 (R) 型高压负荷开关外形



8.3 菜鸟学通电工常用高压断路器基本结构、类型特点入门

菜鸟
应用
技能
入门



高压断路器又称高压开关，是高压电气设备中最重要的电器。

在正常运行时，可用其接通或断开负荷电流；在发生短路故障或严重过负荷时，借助保护继电装置用它自动、迅速跳闸，切断过载电流或短路电流，以防止事故的扩大。

高压断路器工作性能的好坏直接关系到供配电系统的运行安全。为此，高压断路器要具有相当完善的灭弧装置和足够大的灭弧能力。



8.3.1 电工常用高压断路器基本结构的解读

高压断路器的种类较多，但它们的主要结构有些类似，包括灭弧室、导电回路、外壳、绝缘支柱、操作和传动机构等部分。



8.3.2 电工常用高压断路器的类型与特点解读

高压断路器根据其所采用的灭弧介质及作用原理可分为高压油断路器（也称为高压开关）、高压空气断路器（也称为高压空气开关）、高压真空断路器（又叫高压真空开关）等。

高压油断路器又分为多油式断路器和少油式断路器两种。多油式断路器中的油除了能进行灭弧外，还可以使带电体（即断路器开关的触点、拉杆）与开关外壳之间绝缘。因此，多油式高压断路器的外壳是不带电的，厂家通常将其涂以灰色或黑色，以示区别。

少油式高压断路器中的油量很少，这些油仅起灭弧作用，其外壳一般是带电的，工作时千万不能触及，故将其涂以红色，以警示。

高压断路器的品种还有六氟化硫断路器、固体产气断路器、磁吹断路器等。



菜鸟学 基本知 识入 门

8.4 菜鸟学通电工常用开启式刀开关的结构与选用方法入门

开启式刀开关又称杠杆闸刀开关，主要由手柄、动触头、静触头、绝缘板等组成。一般用作额定电压 AC380V、DC400V，额定电流至 1500A 的配电设备中作为电源隔离用；当开关有灭弧罩并由杠杆操作时，可按其分断能力，不频繁地切断负荷电路。



8.4.1 电工常用开启式刀开关的基本结构解读

开启式刀开关的结构主要分为单投（HD 系列）和双投（HS 系列）两大类，均为开启式，其典型结构如图 8-3 与图 8-4 所示。其中，图 8-3（a）为中央手柄式，分单投、双投两种，有板前接线和板后接线之分；图 8-3（b）是侧方正面杠杆操作机构式，也分为单投、双投两种；图 8-4（a）是中央正面杠杆操作机构式，也分为单投与双投两种。

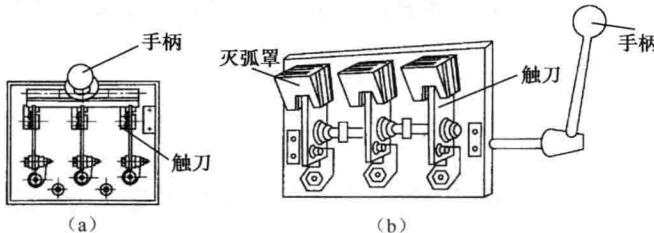


图 8-3 中央手柄式与侧方正面杠杆操作机构式开启式刀开关的典型结构示意图

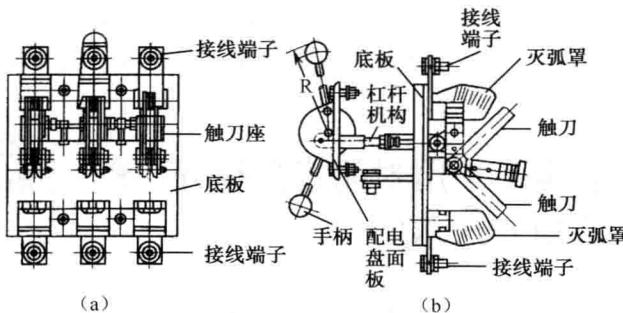


图 8-4 中央正面杠杆操作机构式典型结构与开启式刀开关的原理示意图

开启式刀开关的原理可由图 8-4（b）来说明，夹座作为静触点固定在底板上，闸刀（静触点）上带有速断刀刃以提高分合速度，利用杠杆、手柄和传动机构操作闸刀，将电路接通或分断。多数开关配有灭弧罩，用来熄灭电弧。通常将带电部分装在配电板的背面，操作比较安全。



8.4.2 电工常用开启式刀开关的选用方法解读

中央手柄式单投和双投刀开关，仅作隔离开关之用，主要用于磁力站；

侧面操作手柄式刀开关，主要用于动力箱中；中央正面杠杆操作机构刀开关主要用于正面操作、后面维修的开关柜中，操作机构装在正前方；侧方正面杠杆操作机构刀开关主要用于正面两侧操作、前面维修的开关柜中，操作机构可以在柜的两侧安装。



8.5 菜鸟学通电工常用开启式负荷开关的安装方法入门

菜鸟应用
技能
入门

开启式负荷开关应安装在干燥、防雨、无导电粉尘的场所，其下方不应堆放易燃、易爆物品。室外安装时，应装在木箱或铁箱内，做好防雨措施，并加门锁，防止小动物爬入引起短路或小孩玩弄导致触电。



8.5.1 电工常用开启式负荷开关的安装方式解读

安装开启式负荷开关时，应垂直安装。装好后应检查刀片和夹座是否成直线接触，若刀片和夹座歪扭或夹压力不足，应用电工钳夹住，扳直进行校正。



8.5.2 电工常用开启式负荷开关重换熔丝的方法解读

重换熔丝必须在闸刀拉下的情况下进行，并根据负载容量计算选配熔丝。使用负荷开关时必须装接熔断器，但操作要仔细，尤其是对质地较软的铅锡合金小电流熔体，装接时最容易造成损伤，甚至使截面变细。安装熔体时一定要加平垫圈压紧，旋紧时要不使平垫圈转动，压紧程度要适中。



8.6 菜鸟学通电工常用封闭式负荷开关的结构与选用方法入门

菜鸟应用
技能
入门

封闭式负荷开关又称铁壳开关，适用于在额定交流电 380V、直流 400V，额定电流到 60A 的电路，作为不频繁地接通与分断负荷电路及短路保护用，通常用于控制小容量（28kW 以下）交流异步电动机。在配电电路中作电源开关、隔离开关和应急开关等。



8.6.1 电工常用封闭式负荷开关的结构特点解读

封闭式负荷开关的典型结构如图 8-5 所示，主要由刀开关、瓷插式或封闭管式熔断器、操作机构和钢板（或铸铁）外壳等组成，并设置了灭弧装置。

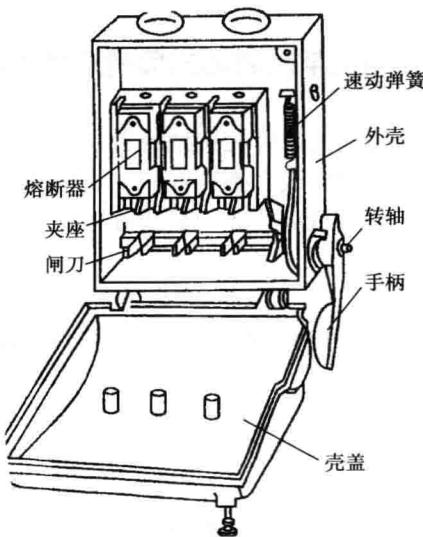


图 8-5 封闭式负荷开关的典型结构示意图



8.6.2 电工常用封闭式负荷开关的选择方法解读

封闭式负荷开关的选择适用于工矿企业、电力排灌和照明、电热等各种配电设备中，供手动不频繁接通和分断电路，以及作为线路末端短路保护之用。对于频率为 50Hz、交流工作电压为 380V、额定电流为 60A 及其相应等级的封闭式负荷开关，还可用来对小型交流异步电动机进行不频繁地直接起动和分断控制。由于铁壳开关具有全封闭的可开合外壳，故也可用于有粉尘的场所。

用于控制电热设备、照明电路和分支电路时，其额定电流应大于电路负荷计算的电流。控制 15kW 以下的电动机时，其额定电流应大于电动机额定电流的 2 倍。

8.7 菜鸟学通电工常用封闭式负荷开关的安装方法入门

菜鸟
应用技能
入门



安装封闭式负荷开关时，应先将木制配电板用预埋螺栓固定在墙上，再将负荷开关的底板固定在木板上；或者用两根角钢制成“Π”型，将燕尾用水泥砂浆埋在墙内，再将负荷开关固定在角钢支架上。如用钢管配线（或塑料管配线），在管子头部用两个螺母面向拧紧在铁壳壁上。



8.7.1 电工常用封闭式负荷开关的安装方式解读

封闭式负荷开关必须垂直安装，可安装在墙上、钢支架上，安装的高度以操作方便和安全为原则，一般安装在离地面 1.3~1.5m 处。

入门
解读**8.7.2 电工常用封闭式负荷开关接线方式的解读**

封闭式负荷开关的外壳接地螺钉和钢架，必须可靠地接地或接零。电源进线和开关的输出线，都要经过铁壳的进出线孔。安装接线时应在进出线孔处加装橡皮垫圈，以防尘土落入铁壳内。电源进线接在刀开关静插座的接线端，用电设备应接到熔断器的输出端。

入门
解读**8.7.3 电工常用封闭式负荷开关熔丝的选配方法解读**

安装选配熔丝时，必须以开关容量和负载容量两个因素为根据，更换熔丝也应根据上述方法进行。

**8.8 菜鸟学通电工常用胶盖瓷底刀开关的结构与选用方法入门**菜鸟
应用
技能
入门

胶盖瓷底刀开关的外形如图 8-6 所示。它由操作手柄、上胶盖、下胶盖、熔断丝、触刀（动触点）、触头座（静触点）和底座等组成。胶盖的作用是防止操作时电弧飞出灼伤操作人员。

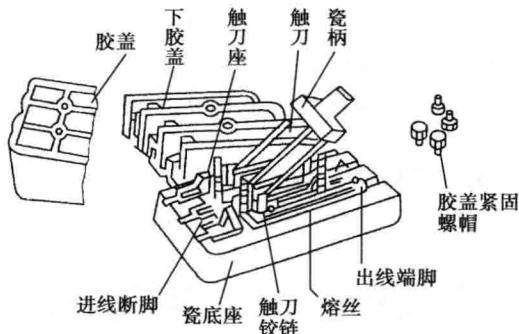


图 8-6 胶盖瓷底开关结构示意图

入门
解读**8.8.1 电工常用胶盖瓷底开关的选择方法解读**

胶盖瓷底开关的选择用于照明电路时，可选用额定电压为 250V，额定电流等于或大于电路最大工作电流的二极开关；用于小容量电动机的直接起动，可选用额定电压为 380V 或 500V，额定电流等于或大于电动机 3 倍额定电流的三极开关。

入门
解读**8.8.2 电工常用胶盖瓷底开关的使用方法解读**

由于胶盖瓷底开关的使用未设置灭弧装置，故在拉闸、合闸时操作人员应站在开关的一侧，动作必须迅速，以免电弧烧坏触头及灼伤操作人员。



8.9 菜鸟学通电工常用刀熔开关的结构与选用方法入门

菜鸟应用技能入门



刀熔开关又称为熔断器式刀开关，简称刀开关，其典型结构如图 8-7 所示。它主要由刀开关和熔断器组合而成，具有刀开关和熔断器的基本特性，也就是有一定的接通分断能力和短路分断能力，可用于电气设备和线路的过负荷和短路保护。

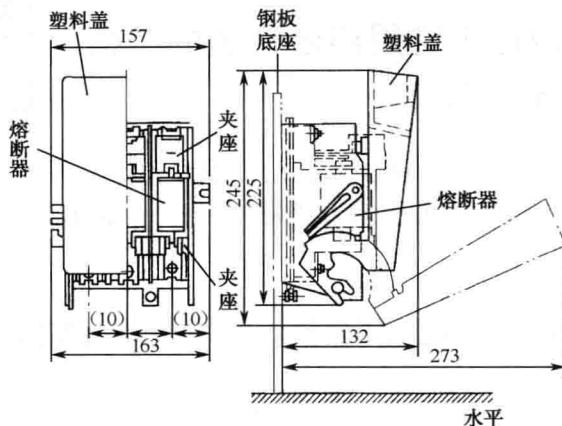


图 8-7 刀熔开关典型结构示意图



8.9.1 电工常用刀熔开关的选择方法解读

刀熔开关的选择主要用于交流 50Hz、电压 600V 及以下、约定发热电流至 630A，有较大短路电流的配电电路和电动机电路中，用作电源开关、隔离开关和应急开关，并作为电路保护用，一般不用于直接开关单台电动机。刀熔开关额定电流应大于线路的负荷计算电流。



8.9.2 安装电工常用刀开关必须注意的问题解读

刀开关应垂直安装在开关板上，且应使动触点在静触点下方。不准横装或倒装，以防刀开关断开时支座松动，闸刀在自重的作用下掉落发生误合闸动作。

1. 接线方式

接线时，要将电源进线接在开关上方的进线座端头上，用电设备（如电动机）的引线接到下方的出线座端头上，使开关断开时，在闸刀或熔体上不带电。接线时还应将螺钉拧紧，如果接线端孔眼较大，而导线又较细，可将线头的塞入部分弯成双根，用钳子夹拔后塞入孔内再拧紧螺钉。如果连接处松动，会在该处产生高温，使闸刀过热。

2. 合闸顺序

刀开关用作隔离开关使用时，合闸顺序是先合上开关，再合上其他用以控制负载的开关；分闸顺序则与合闸正好相反。



3. 不允许无灭弧罩的刀开关分断负载

一般不允许无灭弧罩的刀开关分断负载，否则，有可能导致稳定持续燃弧，使刀开关寿命缩短，严重的还会造成电源短路、开关烧坏、弧光引起触电等事故。

4. 应保持刀开关三相同时合闸

刀片和插座接触的地方应成直线，不应扭曲。应保持刀开关三相同时合闸，而且接触良好，如接触不良，常会造成单相断路；对于三相异步电动机负载，还会发生因电动机缺相运行而烧坏绕组故障。

8.10 菜鸟学通电工常用组合开关的结构与选用方法入门

菜鸟应用技能入门



组合开关又称为转换开关，是一种多功能开关，其结构特点是用刀触片代替闸刀，以左右旋转操作代替刀开关上、下分合操作，它分为单极、双极和多极等多种。



8.10.1 电工常用组合开关的基本结构解读

组合开关的典型结构如图 8-8 所示。当手柄每转过一定角度，就带动与转轴固定的动触点分别与对应的静触点接通和断开。转换开关转轴上装有扭簧储能机构，可使开关快速接通与断开，其通断速度与手柄旋转速度无关。

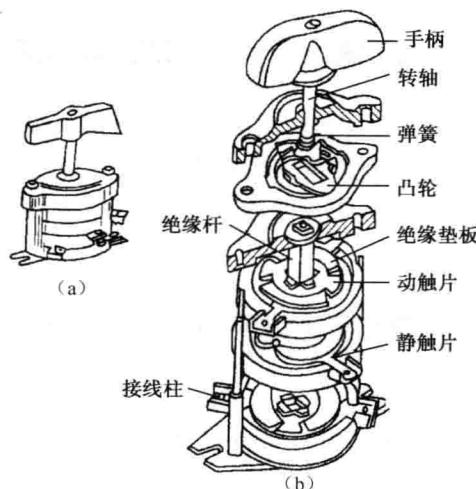


图 8-8 组合开关的典型结构示意图



8.10.2 电工常用组合开关的选择方法解读

组合开关的选择应根据用电设备的电压等级、容量和所需触点数进行选择。开关的额定电流一般取电动机额定电流的 1.5~2.5 倍，可直接起动 5kW 以下的小功率



电动机，也常用于机床控制电路中。

入门解读



8.10.3 电工常用组合开关安装方法的解读

组合开关应安装在控制箱（或壳体）内，其操作手柄最好伸出在控制箱的前面或侧面，应使手柄在水平位置时为断开状态。若需在箱内操作，开关最好装在箱内右上方，它的正上方最好不要安装其他电器，否则应设置隔离或绝缘措施。

1. 使用场合

由于组合开关的通断能力较低，故不能用来分断故障电流；用作电动机正、反转控制时，必须在电动机完全停止转动后，才允许反向接通。

2. 使用容量

当负载的功率因数较低时，应降低组合开关的容量使用，否则会影响开关的寿命。

8.11 菜鸟学通电工常用低压断路器的结构与选用方法入门

菜鸟应用技能入门



低压断路器又称为自动空气开关，简称自动开关。低压断路器是一种可以自动切断线路故障的保护开关。当电路发生严重的过载、短路及失压等故障时，能自动切断故障电路，有效保护与其相串联的电子电气设备。在正常情况下也可以用来不频繁地接通和断开电路及控制电动机的起动和停止。

入门解读



8.11.1 电工常用低压断路器的基本类型解读

低压断路器按结构可分为框架式和塑料外壳式两种。前者主要用作配电网络的开关；后者既可作为配电网络保护开关，又可作为电子电气设备、照明、电热器具等的控制开关。两类产品都有可限流式品种。

在低压断路器中还有一种快速直流断路器，其全分断动作时间在 30ms 以内，能为整流元件和整流装置提供短路、过载和逆流保护。

入门解读



8.11.2 电工常用低压断路器的基本结构解读

断路器的形式各种各样，但它的基本结构和动作原理大体相同。它主要由触头系统、操作机械、各种脱扣器和灭弧装置等组成。4 种不同型号的断路器外形示意图如图 8-9 所示。其结构示意图如图 8-10 所示。

1. 主触头

低压断路器的主触头靠操作机构（手动或电动）合闸。正常情况下，触头能接通和分断工作电流；故障情况下，又能有效并及时地切断 10 倍于正常电流的故障电流，从而可以有效保护电路中的电子电气设备。

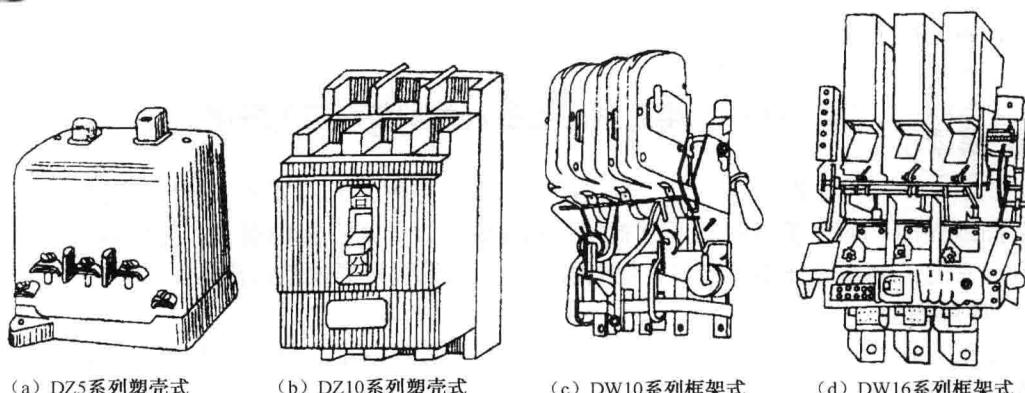


图 8-9 4 种不同型号的断路器外形示意图

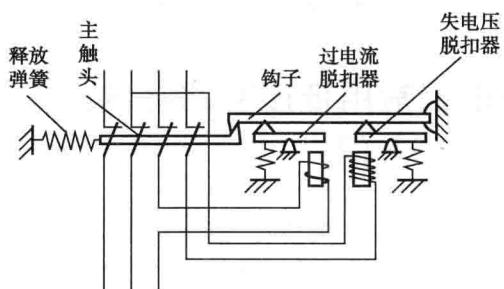


图 8-10 断路器结构示意图

2. 脱扣机构

脱扣机构是一套连杆机构，主触头闭合以后，主触头锁在合闸位置，如果电路发生故障，脱扣机构就在过电流脱扣器或失电压脱扣器的控制下动作，从而使钩子脱开，于是主触头在释放弹簧的作用下迅速分断。



8.11.3 电工常用低压断路器的选用方法解读

选用电工常用的低压断路器时，通常应从以下几个方面来进行考虑。

1. 根据额定工作电压和工作电流

低压断路器的额定工作电压 (U_e) 不能低于线路中额定电压，额定工作电流不能低于线路计算的电流。断路器的额定工作电压与通断能力及使用类别有关，一台断路器可能有几个额定工作电压和相应的通断能力及使用类别。

2. 根据用途选择断路器的形式和级数

- (1) 万能断路器的短路通断能力较高，又有短延时脱扣能力，所以常作为主开关使用。
- (2) 塑料壳式断路器其短路通断能力较低，大都无短延时脱扣能力，通常作为支路开关使用。

3. 长延时脱扣器整定电流

低压断路器的长延时脱扣器整定电流要大于或等于线路的计算负载电流，通常按线路负载电流的 $1.05\sim1.15$ 倍确定，同时应不大于线路导体长期允许电流的 $0.8\sim1.0$ 倍。



4. 根据电动机的电流选择

采用断路器作为电动机的短路保护时，对于鼠笼型异步电动机，瞬时整定电流为8~10倍电动机的额定电流；对于绕线转子电动机，瞬时整定电流为3~6倍电动机额定电流。

5. 分离和欠压脱扣参数的确定

选用的低压断路器的额定电压等于线路额定电压，电流类别应根据电路实际情况确定。

6. 根据配电变压器低压侧短路电流选择

采用断路器作为配电变压器低压侧总开关时，其分断能力应大于变压器低压侧的短路电流值。脱扣器的额定电流不应小于变压器的额定电流。短路保护的整定电流一般为变压器额定电流的6~10倍，过载保护的整个额定电流等于变压器额定电流。

7. 根据短路通断能力和短时耐受能力选择

额定短路接通能力、额定短路分断能力应不低于安装处的预期短路电流。若动作时间不大于0.02s，可不考虑短路电流的非周期分量，即把短路电流周期分量的有效值作为最大短路电流。

当动作时间大于0.02s时，应考虑非周期分量，即把短路电流一周期内的全电流作为最大短路电流。如果经检验结果发现断路器通断能力不够，则应采取如下的措施：

- (1) 增加熔断器等其他保护电路，作为后备保护。
- (2) 采用限流断路器。
- (3) 必要时改用较大容量的断路器。

8. 灵敏系数的检验

灵敏系数是指线路中最小短路电流（一般取线路末端的两相或单相短路电流）与断路器瞬时和短延时脱扣器整定电流之比。

选用低压断路器，应按短路电流进行灵敏系数校验，两相短路时灵敏系数应不小于2，单相短路的灵敏系数可取1.5。

9. 匹配问题

初步选定断路器的类型和等级之后，还要和上、下级开关的保护特性进行配合，以便进行综合考虑，以免导致线路或设备出现问题时越级跳闸，使事故范围扩大。



8.11.4 电工常用低压断路器不同应用场合时的选用方法解读

在选择断路器时，首先应根据应用场合选择合适的类型，然后再确定具体的参数。

1. 配电用断路器的选用

配电用断路器作为电源总开关和负载支路开关，在配电线路中分配电能，并对线路中的电线电缆与变压器等提供保护。因此，配电用断路器的额定电流较大，短路分断能力要求较高，通常可选用万能式断路器。

2. 电动机保护用断路器的选用

采用闸刀开关、负荷开关、组合开关、接触器、磁力起动器来控制的电动机，其短路保护若采用熔断器，则当其某一相熔断后会导致电动机缺相运行，易导致电动机损坏。如果选择断路器来控制和保护电动机，由于断路器本身具有短路保护能力，故不需要再借助熔断器作短路保护，由此可消除电动机缺相运行的隐患，同时也能提高线路运行的安全性与可靠性。



电动机保护用断路器多选择塑壳式断路器，但应注意以下几方面：

- (1) 长延时动作电流整定值应等于电动机的额定电流。
- (2) 6倍长延时动作电流整定值的可返回时间应大于或等于电动机的实际起动时间。
- (3) 瞬时动作电流整定值，对于笼型异步电动机为8~15倍脱扣器额定电流；对于绕线式异步电动机为3~6倍脱扣器额定电流。

3. 家用断路器的选用

家用断路器是指民用照明或用来保护配电系统的断路器。照明线路的容量一般都不大，通常选择塑壳式断路器作为保护装置，主要用来控制照明线路在正常条件下的接通与分断，并提供过载与短路保护。目前较流行的家用断路器为小型塑壳断路器，如DZ47系列、C45系列，住宅建筑、办公楼均采用这一类熔断器。

菜鸟入门要诀



对于家用断路器参数的选择原则如下：

- (1) 照明线路保护用断路器应具有长延时过电流脱扣器，脱扣器的电流整定值应等于或略小于线路的计算负载电流。
- (2) 断路器瞬时过电流脱扣器的整定值应等于6倍线路计算负载电流。



菜鸟学通电工常用保护器件使用技能入门

为了保证设备与人员的安全，电气线路与电气设备中使用了许多保护类电器，较常用的保护类电器有熔断器、漏电保护器等，本章介绍菜鸟学通电工常用保护器件的使用技能。

9.1 菜鸟学通电工常用低压熔断器技能入门

菜鸟学
基本知
识入门



熔断器一般串接在电路中，其在电路中出现过电流、过电压或过热等异常现象时会立即熔断而起到保护作用，可防止故障的进一步扩大。各种熔断器的电路图形符号在第1章中已做过介绍，其在电路中用字母“F”或“FU”表示。



9.1.1 电工常用瓷插式熔断器的结构特点解读

瓷插式熔断器主要由瓷盖、瓷座、触头（动触头和静触头）和熔丝等组成。其外形和结构示意图如图9-1所示。

瓷插式熔断器也称插入式熔断器，具有结构简单、价格低廉、更换熔丝方便等特点。广泛应用于照明和小容量电动机的短路保护。具体来说，瓷插式熔断器一般用于交流50Hz、额定电压380V及以下、额定电流在200A及以下的低压线路末端或支路电路中，作为电子电气设备的短路保护及一定程度的过载保护之用。由于瓷插式熔断器只有在瓷盖拔出后才能更换熔丝，所以比较安全。

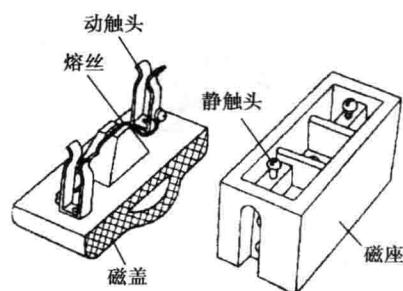


图9-1 瓷插式熔断器外形和结构示意图



9.1.2 电工常用无填料封闭管式熔断器的结构特点解读

无填料封闭管式熔断器的外形及结构如图9-2所示，主要由熔管、熔体和夹座等组成。无填料封闭管式熔断器适用于交流50Hz、额定电压为380~500V及直流额定



电压 440V 的电网。

无填料封闭管式熔断器是一种可拆卸的低压熔断器。当熔断器起保护作用，使熔体熔断后，用户可自行拆开，重新装入新熔体，所以检修方便，恢复供电快。因此，它最适宜经常发生故障的场合采用。

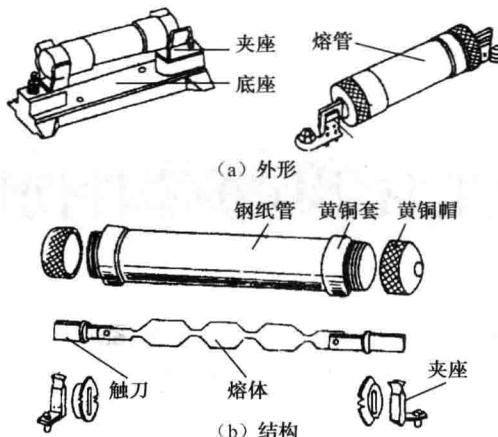


图 9-2 无填料封闭管式熔断器外形及结构示意图



9.1.3 电工常用有填料封闭管式熔断器的结构特点解读

有填料封闭管式熔断器的外形及结构如图 9-3 所示，主要由熔管与底座两个部分组成。它主要用于具有高短路电流的电力网或配电装置中，作为电缆、导线、电动机、变压器及其他电气设备的短路保护和电缆、导线的过载保护。

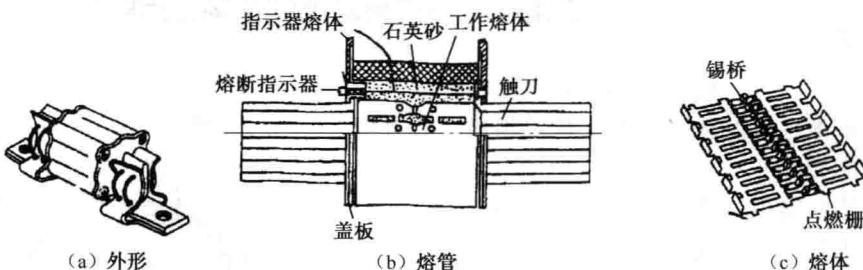


图 9-3 有填料封闭管式熔断器的外形及结构



9.1.4 电工常用玻管熔断器的结构特点解读

玻（璃）管熔断器广泛应用于家用电器及电子仪器仪表中。

1. 玻管熔断器的结构

玻管熔断器是将低熔点铅锡合金丝焊封在两端为金属帽的玻璃管中制作而成的。玻管熔断器外形结构示意图如图 9-4 所示。因玻管直径、长度及额定熔断电流不同，有多种规格参数。



图 9-4 玻管熔断器外形结构示意图

2. 玻管熔断器的类型

玻管熔断器按熔断响应的时间可分为：特快型、快速型、中等延时型、延时型和长延时型 5 类，其用字母代号标注的方式如表 9-1 所示。

表 9-1 玻管熔断器各种类型字母标注方式

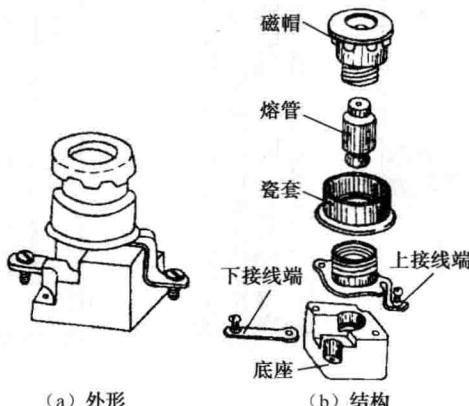
字母代号	FF	F	M	T	TT
类 型	特快	快	中等延时	延时	长延时



9.1.5 电工常用螺旋式熔断器的结构特点解读

螺旋式熔断器具有断流能力大、体积小、更换熔丝方便、安全可靠和熔丝熔断后能显示等特点。

螺旋式熔断器的外形结构示意图如图 9-5 所示，主要由瓷帽、熔管、瓷套、上接线端、下接线端和底座等组成。



(a) 外形

(b) 结构

图 9-5 螺旋式熔断器的外形结构示意图

螺旋式熔断器的主要特点是在其熔管内，除装有熔丝外，还填满了石英砂，以增强熔断器的灭弧能力。且在熔管上盖中还有一熔断指示器，当熔体熔断时，指示器会弹出，通过瓷帽上的玻璃窗口就可以看见。

9.2 菜鸟学通电工常用高压熔断器技能入门

菜鸟学
基本知
识入门



电工常用的高压熔断器通常分为高压户内熔断器与高压户外熔断器两大类。高压户外熔断器通常多为角形与跌落式。



9.2.1 电工常用高压户内熔断器的结构特点解读

高压户内熔断器有 RN1、RN2、RN3 系列。RN 系列高压熔断器外形结构如图 9-6 所示。户内熔断器的灭弧过程如下：

当短路电流或过负荷电流通过熔体时，熔体被加热，由于锡熔点低，故其先熔化，并包围铜丝，铜锡互相渗透形成熔点较低的铜锡合金，使铜丝能在较低的温度下熔断，这就是所谓的“冶金效应”。

如果熔丝是由几根并联的金属丝构成时，熔体熔断，电弧发生在几个平行的小直径的沟中，各沟中产生的金属蒸气喷向四周，渗入石英砂，同时电弧与石英砂紧密接触，加强了去游离，电弧迅速熄灭。

当高压熔断器的熔体熔断以后，装在熔体管一端的指示器向外脱出，以示熔体已熔断。

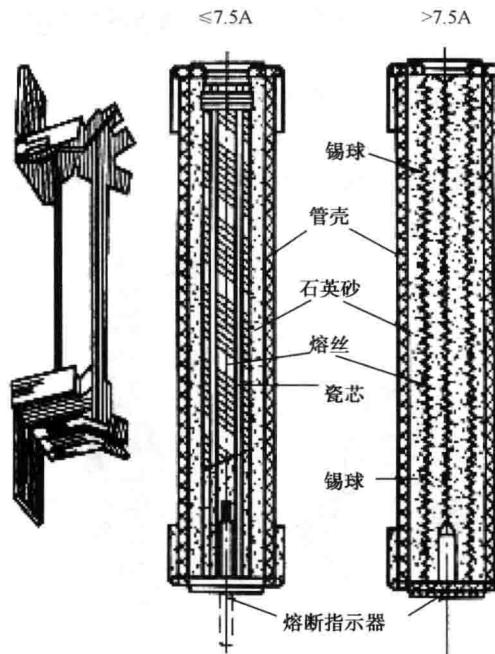


图 9-6 RN 系列高压熔断器外形结构示意图



9.2.2 电工常用高压户外角形熔断器的结构特点解读

RW 系列户外角形高压熔断器的结构十分简单，图 9-7 是 RW2-35 型角形高压熔断器外形示意图。熔件固定在两个向上成一定角度的金属杆之间，外面罩上玻璃管，熔件一旦熔断，玻璃管即炸毁，电弧由于电动力和空气向上流动的作用拉长而熄灭。

RW 系列高压熔断器的额定电流有 2A、3A、5A、7.5A 共 4 种规格，额定电压为 35kV。

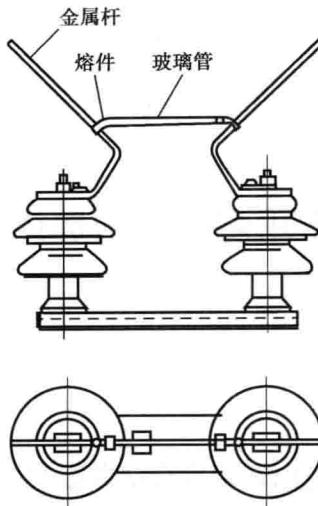


图 9-7 RW2-35 型角形高压熔断器外形示意图



9.2.3 电工常用高压户外跌落式熔断器的结构特点解读

常用的户外 RW3 系列高压跌落式熔断器外形结构示意图如图 9-8 (a) 所示, 主要由固定的支持部件和活动的熔管及熔体等组成。熔管外壁由环氧玻璃钢构成; 内壁衬红钢纸或桑皮纸用以消弧, 称为消弧管。

1. 高压户外跌落式熔断器的工作原理

高压户外跌落式熔断器串接在线路中。正常运行时, 其熔管下端动触头借熔断丝张力拉紧以后, 利用绝缘棒将熔管上端动触头推入上静触头内锁紧, 同时下动触头与静触头也相互压紧, 从而使电路接通。

当线路出现短路现象时, 短路电流会使熔丝迅速熔断, 形成电弧。纤维质消弧管由于电弧燃烧而分解出大量气体, 使管内压力剧增, 并沿管道形成强烈的纵向吹弧。如短路电流较小, 则电弧燃烧管内壁产生的气体也较小, 熔管仅向下方排气。如果短路电流较大, 则其电弧燃烧管内壁产生的气体较多, 气压较大, 将熔管上端薄膜冲开, 从而向两端排气, 由此可防止熔断器在分断较大的短路电流时造成熔管爆炸。

当高压熔断器的熔丝熔断以后, 熔管的上动触点就会因失去张力而向下翻, 锁紧机构释放熔管, 在触头弹力及熔管自重的共同作用下, 熔管回转跌开, 形成明显的隔离间隙。

跌落式熔断器还可以做成重合式, 即在每一相装两只熔丝管, 一只为常用, 另一只为备用, 当常用熔丝管跌落时, 可借助重合机构使备用熔丝管立即投入运行, 恢复供电。

2. 高压跌落式熔断器上配用的熔丝

如图 9-8 (b) 所示是高压跌落式熔断器上配用的 6~10kV 熔丝。熔件压接在铜绞线的中间, 装于熔管内。安装时务必拉紧熔丝, 否则会减少触头间的接触压力。目前, 我国生产的 6~

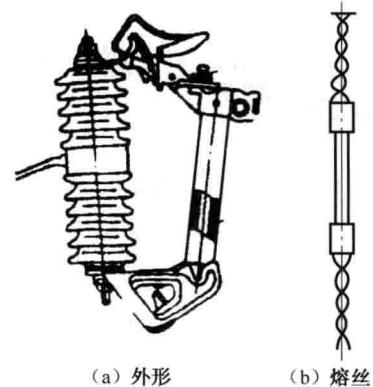


图 9-8 RW3 系列高压跌落式熔断器外形示意图



35kV 熔丝额定电流等级规定为：3A，5A，7.5A，10A，15A，20A，30A，40A，50A，75A，100A，150A，200A 等。

RW4 系列高压跌落式熔断器主要用于 10kV 电压以下的配电网中，作为配电变压器和配电线路的保护。

9.3 菜鸟学通电工常用熔断器的选择方法入门

菜鸟应用
技能入门



在选择熔断器时，首先应根据应用场合选择合适的类型，然后再确定具体的参数。



9.3.1 电工常用熔断器主要参数的选择方法解读

选择熔断器时，其额定电流要大于或等于被选熔丝的额定电流。额定电压要大于或等于供电线路的额定电压。

干线和分支线路中的熔断器、熔丝，要考虑其动作的选择性，防止发生保护拒动或越级动作。一般上一级熔断器、熔丝的额定电流要大于下一级熔断器、熔丝的额定电流。

选择熔断器时，其最大分断电流值应大于线路中可能出现的峰值短路电流有效值。



9.3.2 电工常用熔断器安装与更换方法解读

(1) 选择好合适的熔断器、熔丝后，要认真按施工工艺安装或更换熔丝和触刀。触刀和触刀插头要接触紧密牢固，有弹性。安装过程中要注意不能损伤熔丝。与其连接的所有连线要连接牢固、无松动、截面应符合规定。

(2) 要在停电后安装、更换熔断器、熔丝，严禁带电进行操作。

(3) 所有管式熔断器必须垂直安装。熔断器管损坏以后，不能用其他绝缘管代替，更不能在熔断器管上打孔，以免发生伤人事故。

(4) 熔断器应避免安装在高温场所，应定期清除熔断器上及其他部位的灰尘污垢。

(5) 更换熔断器熔丝时，首先应清除已熔断的熔渣，然后方可进行熔丝的更换。

(6) 定时对运行中的熔断器进行检查，发现问题时应及时处理、更换，以避免发生人身机损的事故。

9.4 菜鸟学通电工常用漏电保护器的类型与特点入门

菜鸟学
基本知
识入门



由于电气化的不断发展及安全用电的需要，低压电网中安装了大量的漏电保护器（又叫触电保安器），这一技术措施的应用和推广大大降低了触电事故的发生，保证了人们的生命安全。

漏电保护器可以在规定的工作条件下，当电路中的漏电电流达到或超过允许值时自动切断电源或发出声光警示。由此可以提供间接接触保护，达到防止人身触电和由于漏电引起的



火灾、电气设备烧损等事故的发生。

入门 解读



9.4.1 电工常用住宅漏电保护器的基本类型解读

住宅常用的漏电保护器主要有以下几类，它们各自的特点简述如下。

1. 漏电断路器

漏电断路器同时具有断开相线和中性线、过载保护和漏电保护等功能，还可增加过压保护，但无短路保护功能。

2. 漏电脱扣器

漏电脱扣器不能单独使用，必须与断路器配合才能组成漏电断路器。

3. 漏电保护式断路器

带有漏电保护功能的断路器，俗称漏电开关。为了保证人身安全，使用该开关可以对插座回路（柜机、挂壁式空调因起动电流较大除外）和潮湿环境（如卫生间）、具有金属外壳的电气设施（如照明灯具）的电源回路加以保护。该开关可装在住户的配电箱内。

入门 解读



9.4.2 电工常用漏电保护器的特点解读

漏电保护器是自动开关的一种，用液压式双金属式脱扣器作过载保护，具有电动机保护和配电线路保护两种特性，可在规定范围内瞬时跳闸，与所控制的配电线路工作电流相匹配。其触头采用新型银氧化磷材料，接触电阻小、耐磨并抗熔焊，能达到快速分断的要求。对漏电保护器，要求额定漏电动作电流、动作时间及额定不动作漏电电流严格符合标准，以确保人身和设备安全。同时避免因轻微漏电而造成开关的经常性误动作。

漏电保护器具有过载、短路、漏电和触电等多种保护性能，可用作电路末端机床、潜水泵、电热设备、电动气锤等用电设备的电源开关。还可在带有照明灯、插座、电钻和其他电动工具的分支回路中，用作分路配电开关。

9.5 菜鸟学通电工常用电流型漏电保护器的工作原理入门

菜鸟学 基本知 识入门



电流型漏电保护器通常可分为剩余电流型和泄漏电流型两类。目前使用较多的是剩余电流型保护器。

入门 解读



9.5.1 电工常用漏电保护器保护机理的解读

电流型漏电保护器的保护机理可用图 9-9 所示的原理简图来说明。

1. 未保护状态

在正常情况下，穿过零序电流互感器的进线电流 I_1 和经过负载回到电源的电流 I_2 ，大小相等，相位相反，即向量和为零，此时零序电流互感器的二次绕组无信号输出。

2. 保护状态

当有漏电故障时， I_1 和 I_2 不相等，即向量和不为零，零序电流互感器的二次绕组就有感应



电流产生。这一电流经电子电路，其值若大于漏电动作电流时，漏电脱扣器线圈动作，在0.1s内即能切断电源，从而起到了漏电保护的作用。

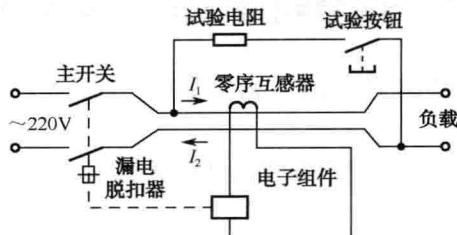


图 9-9 电流型漏电保护器工作原理图



9.5.2 电工常用分立元器件式漏电保护器工作原理的解读

LBK32-30型漏电保护器电路如图9-10所示，主要由单向晶闸管VS₁、脱扣继电器线圈KA、电流互感器T、VD₁~VD₄等组成。

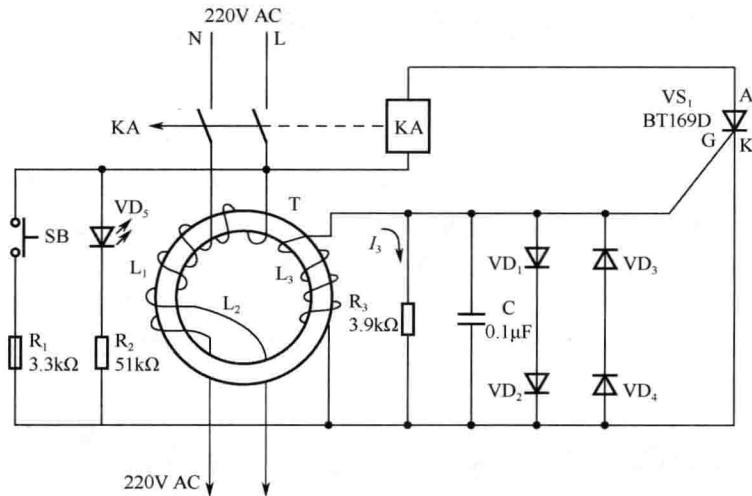


图 9-10 LBK32-30 型漏电保护器电路原理图

脱扣继电器KA线圈经单向晶闸管接上220V交流电压，由晶闸管VS₁控制脱扣线圈的导通。

相线L和工作零线N同时穿过零序电流互感器，作为零序电流互感器的一次线圈。零序电流互感器的二次线圈接到电阻R₃的两端，其二次输出电流I₃经R₃转换成电压去触发单向晶闸管VS₁。改变R₃的阻值可以改变漏电动作电流。电容C用于抗干扰，可以防止瞬变电流引起漏电保护器动作。VD₁~VD₄起限幅作用，保护晶闸管VS₁的控制级。

零序电流互感器T是漏电电流检测元件，晶闸管VS₁是触发器，发光二极管VD₅及电阻R₂是通电指示电路。按钮SB与R₁组成了试验电路。按下按钮SB，零序电流互感器一次线圈中即人为产生66.7mA的漏电流，此电流大于漏电保护器的动作电流30mA。因此，按钮SB专门用于试验漏电保护器的可靠性。按规定漏电保护器每月都要试验一次，以确保用电安全。

零序电流互感器T的二次输出电压不经放大直接触发晶闸管VS₁。晶闸管的触发电压须数



百毫伏，这就要求零序电流互感器需要有较大的二次输出电压，为此要增大零序电流互感器的铁芯体积及一次线圈的匝数。



9.5.3 电工常用集成电路式漏电保护器工作原理的解读

GB-2 型漏电保护器电路如图 9-11 所示，主要由 C1583-44G 集成块为核心构成。该漏电保护器体积小、容量大，额定工作电流分为 10A、20A、30A、40A 4 个系列，并可在极其苛刻的条件下仍能可靠、准确地动作，具有过载保护、漏电保护及过压保护功能。

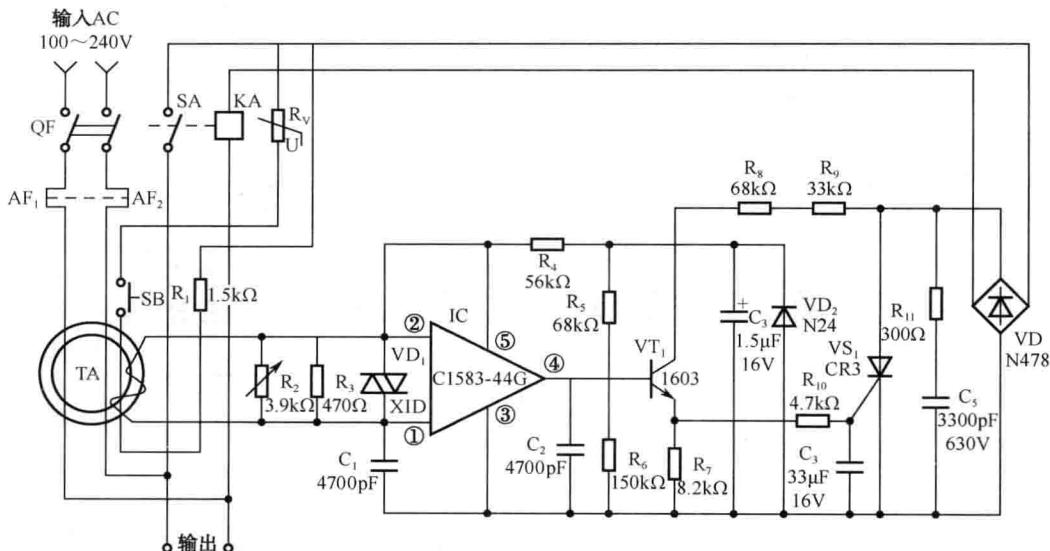


图 9-11 GB-2 型漏电保护器电路

图 9-11 所示电路的工作原理可从过载保护、漏电保护、试验电路、过压保护等几个部分来进行分析说明。

1. 过载保护

GB-2 型漏电保护器的过载保护装置 AF_1 、 AF_2 是由双金属片构成的热元件来实现的。当电流超过额定值时，因热元件两侧的金属膨胀系数不同，使发热元件偏向脱扣顶杆，于是开关跳闸断电。

2. 漏电保护

在图 9-11 中，TA 是零序互感器，其作用是将主回路的漏电（触电）信号变换成回路的电压信号。

(1) 在正常工作时，供电线路的主回路火线和零线的电流绝对值相等，其电流矢量和为零，因此无感应电压信号进入专用集成电路 C1583-44G 内，这时集成块④脚输出电平为零， VS_1 单向晶闸管因无触发信号而关断。

(2) 当发生漏电（触电）故障时，因主回路的电流不平衡，零序互感器感应的电压信号经集成电路 C1583-44G 的前级电路放大后，起动内部闭锁电路翻转使其输出端④脚为高电平，再经射极跟随器 VT_1 触发晶闸管 VS_1 ，进而使晶闸管与整流桥 VD 组成的交流开关接通，使脱



扣继电器线圈 KA 得电工作，将圆形铁柱吸入并带动脱扣机构将主回路开关断开。这时黄色的复位按钮 SA 自动弹起，以区别是否发生了漏电（触电）故障（当 SA 未弹起而脱扣联动开关出现跳闸时，则为过载保护故障）。

3. 试验电路

试验电路由试验按钮开关 SB 和电阻 R_1 构成，用于试验漏电保护器功能是否失效。按规定应每月进行一次试验。

4. 过压保护

压敏电阻 RV 用来吸收供电系统的过电压。压敏电阻具有瞬时通电容量大、电压范围宽、漏电流小及响应速度快等优点。

VD₁ 双向限幅二极管连接在集成电路 C1583-44G 的信号输入端①脚与②脚两端，用以限制过高的感应电压，保护集成电路不致损坏。

5. 漏电电流的调整方法

可调电阻 R₂ 用于调整漏电动作电流，其整定值为 22.5mA，误差为 $\pm 10\%$ 。

GB-2 型漏电保护器在电源电压降至 50V、漏电电流达到额定值时，均能可靠地断电。当电源电压在 50V 以下时，漏电保护器拒动，但这时已达到不致危及人身安全的电压了。

9.6 菜鸟学通电工常用漏电保护器选用方法入门

菜鸟应用
技能
入门



电工常用的漏电保护器属于主动型保护元件，对其的选择与使用有一定的要求，选用不当就起不到保护作用。



9.6.1 电工常用漏电保护器使用场合的解读

漏电保护器通常应设置在以下容易引起触电的用电设备及场所。

1. 手持式及移动式用电设备

对于经常接电吹风、电熨斗等家用电器的住宅墙壁插座处，应设有漏电保护器。其动作电流为 30mA，动作时间小于 0.04s。

2. 环境潮湿的场所

住宅卫生间、厨房等处，常用的电器有电热水器、换气扇等，由于环境潮湿，极易发生漏电。一旦漏电，可能危及人身安全，因此卫生间的开关应单独分设，并且应设漏电保护。其动作电流为 10mA，动作时间小于 0.04s。

3. 住宅进线电源总开关处

住宅配电线路上的故障中大部分是接地故障。当配电线线路因绝缘电阻降低造成漏电时，由于漏电电流较小，过电流保护器不足以使总开关动作，致使漏电故障长时间存在。漏电流会产生漏电损耗，造成设备过热，引起火灾。为防止电气火灾，住宅的总电源进线开关应加设漏电保护器。其动作电流为 300mA，动作时间小于 0.3s。

在住宅电气线路中正确选用漏电保护器，对预防电气火灾和触电，保证住宅和人身安全及用电的可靠性有重要的作用。设置时，应从预防触电和电气火灾的角度选择漏电保护器的



动作电流，同时要考虑多级漏电保护器之间的动作协调配合问题。通过调定各级漏电保护器的不同动作时间，实现漏电保护器的互相配合，保证漏电保护有效，同时又不会频繁地越级跳闸，影响其他相邻住户的用电。



9.6.2 根据使用目的来选择电工常用漏电保护器的方法解读

用于防止人身触电事故的漏电保护装置，一般根据直接接触保护和间接接触保护两种不同要求选用，在选择动作响应时也应有所区别。

1. 直接接触保护

直接接触保护是防止人体直接触及电气设备的带电导体而造成的触电事故。当人体和带电导体直接接触时，在漏电保护装置动作（切断电源）之前，通过人体的触电电流和漏电保护装置的动作电流选择无关，它完全由人体触电的电压和人体电阻所决定，所以用于直接接触保护的漏电保护装置，必须具有小于0.1s的快速动作性能。

2. 间接接触保护

间接接触保护是为了防止用电设备在发生绝缘损坏时，在外露金属部件上呈现危险电压造成触电。

漏电保护装置动作电流的选择应和用电设备的接地电阻及允许的接触电压联系起来考虑。

例如，对于额定电压为220V或380V的磨粉机、机床等容易与人体接触的电气设备。

(1) 当用电设备金属外壳的接地电阻在 500Ω 以下时，可选用30~50mA，0.1s以内动作的漏电保护装置。

(2) 当用电设备金属外壳的接地电阻在 100Ω 以下时，可选用200~500mA的漏电保护装置。

(3) 对于较重要的用电设备，为了减少瞬间的停电事故，也可选用动作时间为0.2s的延时型保护装置。

(4) 对于家庭使用的用电设备，由于带有经常频繁插进拔出的插头，同时没有接地保护设施。当用电设备发生漏电故障时，设备外壳可能呈现和工作电压相同的危险电压，极易发生触电事故。因此，必须在家庭进户线的电能表后面安装动作电流为30mA，0.1s以内动作的高灵敏型漏电保护装置。



9.6.3 根据使用场所来选择电工常用漏电保护器的方法解读

一般在380V/220V的低压线路中，如果用电设备的金属外壳容易被人触及，同时这些用电设备又不能使其接地电阻小于 4Ω 或 10Ω 时，则宜按照间接接触保护要求，在用电设备的供电回路中安装漏电保护装置，同时还应根据不同的使用场所，合理地选取不同的动作电流。

例如，在潮湿的工作场所，由于人体比较容易出汗或沾湿，使皮肤的绝缘电阻降低，人体电阻明显减小，当发生触电事故时，通过人体的电流必然会比干燥的场所大，危险性增高。因此，适宜安装15~30mA并能在0.1s内动作的漏电保护装置。



9.6.4 根据线路和用电设备的正常泄漏电流来选择电工常用漏电保护器的方法解读

1. 动作电流的选择

动作电流选择较低时，可以提高动作的灵敏度。然而，任何供电回路和用电设备的绝缘电阻不可能为 ∞ ，总是有一定的泄漏电流存在。所以从保证线路的稳定运行和提供不间断供电来讲，漏电保护装置的动作电流选择要受到线路正常泄漏电流的制约。

2. 照明和居民用电动动作电流的选择

由于线路的泄漏电流必须采用复杂的测试方法或使用专用测试设备测量。对于照明电路和居民生活用电的单相电路，为选用方便，通常可参照：漏电保护装置动作电流可按照 $1/2000$ 电路实际最大供电电流进行选择。

菜鸟入门要诀



一般来说，绝缘性能低的低压电网，泄漏电流较大。实测结果表明，泄漏电流的数值和配电变压器容量的大小关系不显著，但和低压电网中生活用电的居民户数有明显的关系，也就是不管电力变压器的容量是多少，其中供给生活用户的户数越多，泄漏电流也就越大。

为了保证电网的可靠运行，对于绝缘性能低的低压电网，通常采用设置多级保护装置的方法，但下一级漏电保护动作电流应小于上一级漏电保护的动作电流，其安装位置及动作电流的要求如下：

(1) 第一级漏电保护装置，安装在配电变压器低压侧主干线出线端，该级保护的线路较低，泄漏电流较大。其漏电动作电流在未完善多级保护时，最大不得超过 $100mA$ ；在完善多级保护时，其漏电动作电流最大不得超过 $300mA$ 。

(2) 第二级漏电保护装置，安装在各分支线出线端，由于被保护线路较短，泄漏电流较小，其漏电动作电流介于上、下级保护的漏电动作电流之间，一般为 $30\sim75mA$ 。

(3) 第三级漏电保护装置，用于保护用电设备及人身安全，被保护线路短，泄漏电流小，一般不超过 $10mA$ ，漏电动作电流应按人体触电摆脱电流值($10\sim20mA$)选择，一般选取 $15mA$ 。



菜鸟学通电工常用继电器基本技能入门

继电器是一种自动动作的控制电器。当给继电器输入电压、电流和频率等电量或温度、压力和转速等非电量并达到规定值时，继电器就会动作，接通和分断所控制或保护的电路。继电器被广泛应用于电力拖动控制、电力系统保护及各类遥控和通信系统中。本章介绍菜鸟学通电工常用继电器的基本技能。

10.1 菜鸟学通常用继电器的类型、用途与电路图形符号识别方法入门

菜鸟学
基本知
识入门



电工使用的控制继电器的规格型号很多，这里介绍的仅是电气人员在日常工作中经常遇到的。



10.1.1 电磁继电器的类型与主要用途的解读

电工人员常用的几种类型的继电器的动作特点及主要用途如表 10-1 所示。

表 10-1 控制继电器的分类及用途

序号	类型	动作特点	主要用途
1	电压继电器	当与电源回路并联的励磁线圈电压达到规定值时动作	电动机失（欠）压保护和制动及反转控制等，有时也作过压保护
2	电流继电器	当与电源回路串联的励磁线圈中通过的电流达到规定值时动作	电动机的过载及短路保护，直流电动机磁场控制及失磁保护
3	中间继电器	实质上是电压继电器，但触头数量较多，容量较大	通过它的中间转换，增加控制回路数或放大控制讯号
4	时间继电器	得到动作信号后，其触头动作有一定延时	用于交直流电动机以时间原则起动或制动时的控制及各种生产工艺程序的控制等
5	热继电器	由过电流通过热元件热弯曲推动机构动作	用于交流电动机的过载、断相运转及电流不平衡的保护等
6	温度继电器	当温度达到规定值时动作	用于电动机的过热保护或温度控制装置等



(续表)

序号	类型	动作特点	主要用途
7	速度继电器和制动继电器	速度达到一定值时动作	用于感应电动机的反接制动及能耗制动
8	舌簧继电器	当舌簧片被磁化到规定值时动作	用于生产过程的自动控制和自动检测等
	极化继电器	当励磁线圈中通过的电流值和方向符合规定时动作	用于自动控制与调节系统中，作高灵敏的继电控制、放大和变流控制等
	脉冲继电器	当励磁线圈通过规定大小和方向的电流脉冲时动作	用于要求功耗特别小的自动控制及检测通讯系统中



10.1.2 继电器的电路图形符号识别方法的解读

电磁继电器属于簧片触点式继电器，简称 MER。它在电路中用字母 K 或 KA（旧标准用 J）来表示。电磁继电器开关触点的电路图形符号如表 10-2 所示，电磁继电器的电路图形符号如表 10-3 所示，电磁继电器延时开关触点的电路图形符号如表 10-4 所示。

表 10-2 电磁继电器开关触点的电路图形符号

序号	新符号		旧符号		
	名称	图形符号			
1	动断（常闭）触头		开关和转换开关的动断（常闭）触头		
			继电器的动断（常闭）触头		
2	先断后合的转换触点		接触器（辅助触头）起动器、控制器的动断（常闭）触头		
			开关和转换开关的切换触点		
3	中间断开的双向触点		接触器和控制器的切换触点		
			单极转换的两个位置		
4	先合后断的转换触点（桥接）		单极转换开关的 3 个位置		
			不切断转换开关的触点		
			继电器先合后断的触点		
			接触器、起动器、控制器的不切断转换触点		



(续表)

序号	新符号		旧符号	
	名称	图形符号	名称	图形符号
5	动合常开触点	\ 或 \	开关和转换开关的动合(常开)触头	—○— 或 —○—
			继电器的动合(常开)触点	—○— 或 —○—
			接触器(辅助触头)控制器的动合(常开)触头	——— ———

表 10-3 电磁继电器的电路图形符号

序号	新符号		旧符号	
	名称	图形符号	名称	图形符号
1	欠电压继电器线圈	U<	欠电压继电器线圈	U<
2	缓慢释放(缓放)继电器线圈	■	时间继电器缓放线圈	■
3	缓慢吸合(缓吸)继电器线圈	☒	时间继电器缓吸线圈	☒
4	缓吸和缓放继电器线圈	☒	—	—
5	快吸和快放继电器线圈	■	—	—
6	剩磁继电器线圈	□ 或 □	—	—
7	过电流继电器线圈	D>	过电流继电器线圈	D>

表 10-4 电磁继电器延时开关触点的电路图形符号

序号	新符号		旧符号	
	名称	图形符号	名称	图形符号
1	延时闭合的动合触点	←\	时间继电器延时闭合的动合(常开)触点	—○—
			接触器延时闭合的动合(常开)触点	— →
2	延时断开的动合触点	→\	时间继电器延时开启的动合(常开)触点	—○—
			接触器延时开启的动合(常开)触点	— —C



(续表)

序号	新 符 号		旧 符 号	
	名 称	图 形 符 号	名 称	图 形 符 号
3	延时断开的动合触点		时间继电器延时闭合的动断(常闭)触点	
			接触器延时闭合的动断(常闭)触点	
4	延时断开的动断 (常闭)触点		时间继电器延时开启的动断(常闭)触点	
			接触器延时开启的动断(常闭)触点	
5	吸合时延时闭合和释放 时延时断开的动合(常 开)触点		时间继电器延时闭合和延时开启的动合(常闭)触点	
			接触器延时闭合和延时开启的动合(常开)触点	

10.2 菜鸟学通电磁继电器的结构与选用方法入门

菜鸟应用技能入门



电磁继电器一般由线圈、铁芯、衔铁、触点、簧片等组成，如图 10-1 所示。

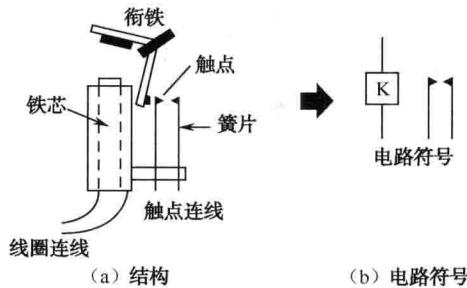


图 10-1 电磁继电器的结构及电路符号



10.2.1 电工常用电磁继电器的工作原理解读

电磁继电器的线圈是用漆包线在一个圆铁芯上绕几百圈至几千圈。当在电磁继电器线圈两端加上工作电压时，线圈中将有电流通过，电磁效应将会使铁芯被磁化，产生的磁场力（电磁力）吸动衔铁带动簧片，使簧片上的触点接通（常开触点）或断开（常闭触点）。

当断开电磁继电器线圈两端的电压时，铁芯失去磁性，电磁的吸力也随之消失，衔铁就会离开铁芯，由于簧片的弹性作用，衔铁压迫而接通的簧片触点就会断开。

以上是以常开触点为例来介绍工作原理的。常开触点是指继电器线圈未通电时处于断开状态的静触点；线圈未通电时处于接通状态的静触点则为常闭触点。

电磁继电器通电后，线圈内必须有一定的维持电流才能使触点保持吸合状态。



入门解读

10.2.2 电工常用电磁继电器的选择方法解读

对于电磁继电器的选择，通常可从以下几个方面来进行考虑。

1. 选择线圈合适的电压类型及电压

选用电磁式继电器时，先应选择继电器线圈电源电压是交流还是直流。继电器线圈的额定工作电压一般应小于或等于其控制电路的工作电压。

2. 选择线圈合适的额定工作电流

对于采用晶体管或集成电路驱动的直流电磁继电器，其线圈额定工作电流（一般为吸合电流的2倍）应在驱动电路的输出电流范围之内。

3. 选择触点合适的类型

由于同一种型号的电磁继电器有多种触点形式可供选用，如单组触点、双组触点、多组触点、常开式触点、常闭式触点等，应选择适合应用电路的触点类型。

4. 选择触点合适的额定负载电流

使用继电器时，触点的额定负载电流大小是必须考虑的重要参数之一。继电器触点额定的负载电流是指，在规定的寿命内，在额定电压和频率下，触点所能切换的电阻性电流的大小。

许多电工尽管也注意使负载的正常工作电流不超过继电器触点的额定负载电流，但在使用中继电器的触点还是被频繁发生的电弧烧蚀而导致接触不良等，这就是因为没有搞清楚这一参数的具体含义。

因此，应根据负载的性质来选取相应的继电器。为了降低对继电器带载能力的要求，也可以采取一些措施来减少负载中可能出现的最大电流，防止产生电弧，如在触点两端加电容器R-C网络、二极管、压敏元件等，必要时还可使用专门的灭弧装置。

5. 选择合适的体积

电磁继电器体积的大小通常与继电器触点负荷的大小有关，采用多大体积的继电器，通常应根据使用电路的要求来确定。

10.3 菜鸟学通固态继电器的基本类型与结构原理入门

菜鸟学
基本知
识入门



固态继电器又称为固体继电器，其类型又名为 Solid State Relag，简称 SSR。它是用半导体器件代替传统机械接点作为切换装置，具有继电器特性的无触点开关器件。

入门解读

10.3.1 电工常用固态继电器的电路图形符号及特点解读

固态继电器的电路图形符号如图 10-2 所示。单相 SSR 为四端有源器件，其中两端为输入控制端，另两端为输出端，输入端与输出端之间由光耦合器通过耦合来传送信号，当在输入端加上直流或脉冲信号并达到一定电流后，输出端就能从断态转换成通态。

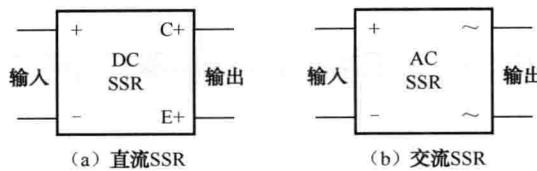


图 10-2 固态继电器的电路图形符号



10.3.2 电工常用固态继电器的基本类型解读

入门

解读

电工常用固态继电器的类型较多，按不同的方式分类可分为多种类型。

按负载性质分类：直流型和交流型。

按隔离方式分类：光电隔离和干簧管隔离。

按过零方式和控制功能分类：非过零型交流、电压过零开/电流过零关型、电流过零关/随机导通型交流固态继电器。

按输出开关元件分类：双向晶闸管输出型（普通型）和单向晶闸管反并联型（增强型）。

按安装方式分类：印制电路板用针插式（自然冷却，不必带散热器）和固定在金属底板的装置式（靠散热器冷却）。

按输入特性分类：有宽范围输入的恒流源和串电阻限流型等。



10.3.3 电工常用固态继电器结构原理的解读

入门

解读

固态继电器通常由输入电路、光电耦合器、驱动电路、开关输出电路及瞬态抑制电路等构成。其内电路结构方框图如图 10-3 所示。

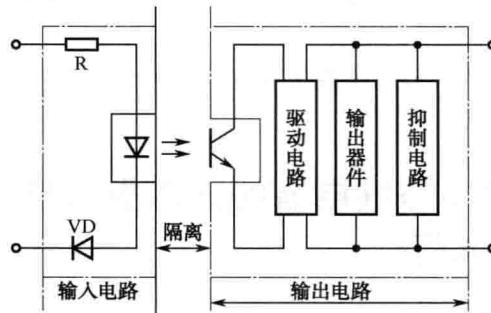


图 10-3 固态继电器内电路结构方框图

1. 输入电路

输入电路一般由限流电阻 R 和保护二极管 VD 组成。限流电阻串联在光电耦合器中的发光二极管的正极回路中，保护二极管同相串联在发光二极管的负极回路或反向并联在发光二极管的两端。

2. 光电耦合器

光电耦合器的内部由发光二极管和光敏晶体管构成，在固态继电器中起隔离和控制作用。

在发光二极管未通电时，光敏晶体管处于截止状态；当发光二极管通电发光时，光敏晶体管因受光而导通，并输出电信号到驱动电路。



3. 驱动电路

驱动电路一般采用晶体管或集成电路，用来放大光电耦合器中光电晶体管输出的电信号。

4. 开关输出电路

开关输出电路由大功率开关管或场效应管、双向晶闸管等构成。在光电耦合器的发光二极管未通电时，开关输出电路处于关断状态；当发光二极管通电发光时，光电耦合器将输出电信号，此信号经驱动电路激励放大后，使开关输出电路进入饱和导通状态。

5. 瞬态抑制电路

瞬态抑制电路用来抑制开关电路在转换过程中产生的瞬间峰值干扰信号。

(1) 若开关输出电路采用晶闸管，则瞬态抑制电路可采用电阻与电容组成的RC串联吸收回路。

(2) 若开关输出电路采用大功率开关管或场效应晶体管，则瞬态抑制电路可采用二极管或稳压二极管。



10.3.4 电工常用交流固态继电器内电路结构的解读

固态继电器有交流固态继电器和直流固态继电器，交流固态继电器的内电路如图 10-4 所示。

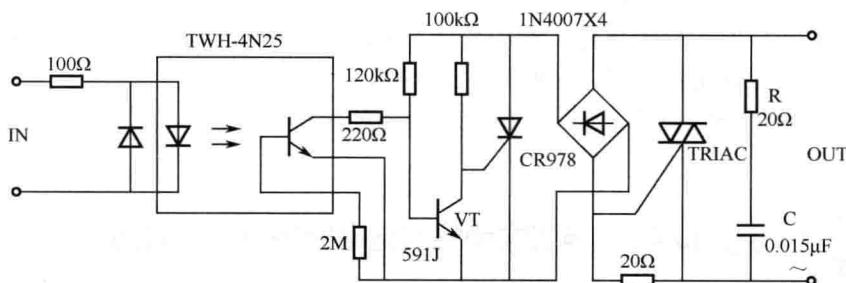


图 10-4 交流固态继电器的内电路示意图

交流固态继电器用来控制交流负载电源的接通与断开，其开关输出电路采用双向晶闸管或普通晶闸管，输出的控制电压有 220V 或 380V 两种。交流固态继电器通常有无源和有源两种结构。

1. 无源式交流固态继电器

无源式交流固态继电器的输入端不需外加电源，而是利用无源敏感元件（如光敏电阻、温度开关、水温开关等）的变化来控制整个固态继电器的工作状态。

2. 有源式交流固态继电器

有源式交流固态继电器的输入端需要加入 3~30V 电压才可工作。



10.3.5 电工常用直流固态继电器内电路结构的解读

直流固态继电器用来控制直流负载电源的接通与断开，其开关输出电路采用大功率开关管或场效应晶体管。直流固态继电器的内电路如图 10-5 所示。

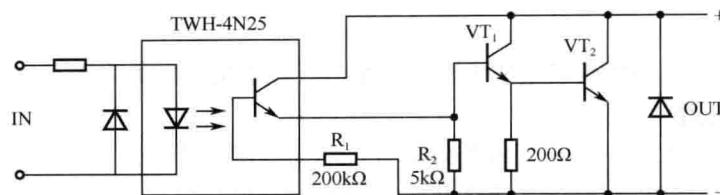


图 10-5 直流固态继电器的内电路示意图



10.4 菜鸟学通电工常用固态继电器的选择方法入门

菜鸟应用
技能
入门



电工人员在使用固态继电器时，对固态继电器的选择，通常应考虑以下两个方面的问题。



入门
解读



10.4.1 电工常用固态继电器类型的选择方法解读

首先应根据受控电路电源类型来正确选择固态继电器的电源类型，以保证应用电路及固态继电器的正常工作。

若受控电路的电源为交流电压，则应选用交流固态继电器（AC-SSR）；若受控电路的电源为直流电压，则应选用直流固态继电器（DC-SSR）。

若选用了交流固态继电器，还应根据应用电路的结构选择有源式交流固态继电器或无源式交流固态继电器。



入门
解读



10.4.2 电工常用固态继电器带负载能力的选择方法解读

应根据受控电路的电源电压和电流来选择固态继电器的输出电压和输出电流。一般交流固态继电器的输出电压为 AC 20~380V，电流为 1~10A；直流固态继电器的输出电压为 4~55V，电流为 0.5~10A。若受控电路的电流较小，则可选用小功率固态继电器；反之，则应选用大功率固态继电器。

选用的固态继电器应有一定的功率余量，其输出电压与输出电流应高于受控电路电源电压与电流的 1 倍。若受控电路为电感性负载，则固态继电器输出电压与输出电流应高于受控电路电源电压与电流的 2 倍以上。



10.5 菜鸟学通电工常用热继电器的类型与组成原理入门

菜鸟学
基本知
识入
门



热继电器是对负载（通常为三相交流异步电动机）进行过载保护常用的一种装置。


**入门
解读**

10.5.1 电工常用热继电器的基本类型解读

在热继电器中，用得最多、最普遍的是双金属式热继电器。双金属式热继电器有各种不同的系列产品，主要区别在于：极数、控制触头型号、复位方式、有无温度补偿、有无电流调节装置、有无断相保护功能、有无专用配套电流互感器等。热继电器根据分类方式的不同有以下类型。

1. 根据极数分类

热继电器根据极数分类，可分为单极、两极和三极共三种类型。热继电器电流调整范围一般为1:1.6左右，调节范围越大，热元件的规格就越少，选择使用也就越方便。

2. 根据复位方式分类

从复位方式上看，热继电器又可分为自动和手动复位两种。自动复位只需一对常闭触头，使用比较方便；手动复位需要一对常开触头和一对常闭触头，结构比较复杂，但安全可靠性较高。

由于三相交流异步电动机断相保护的需要，有些热继电器还设置了断相保护功能。少数热继电器（如JR9系列产品）还设置了短路保护功能，以实现短路保护用。

**入门
解读**

10.5.2 电工常用热继电器的电路图形符号识别方法解读

常用的热继电器有JRO系列、JRS系列、T系列、JR16系列、JR20系列等，用得最多的是JR16系列，该系列热继电器适用于交流电压50Hz、500V以下的电气装置中，作为长期或间断长期工作的交流电动机作过载保护。分为20A、60A、150A三个等级，共有1~20号热元件，全部采用三相式结构，有带断相保护装置和不带断相保护装置两种规格。带有断相保护装置的热继电器能在三相电动机一相断线或三相电流严重不平衡时起保护作用。

热继电器在电路中，其热金属片两端串接于负载（通常为三相异步电动机，以下均同）的供电回路中，受金属片控制的触点串接于控制电路的供电通路中，单极、双极与三极热继电器的电路图形符号如图10-6所示，在电路中通常用字母“FT”或“FR”表示。

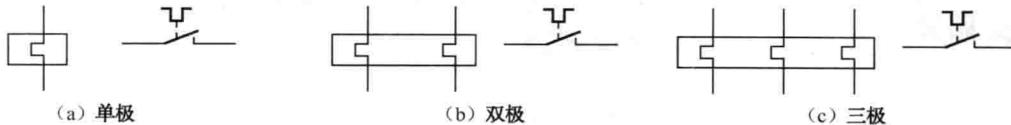


图10-6 热继电器电路图形符号

**入门
解读**

10.5.3 电工常用热继电器的组成及工作原理的解读

热继电器主要由热元件、双金属片和触头三部分组成。

1. 热元件

热元件直接串接或间接串接在电动机定子绕组电路中，反映了电动机定子绕组电流的大小。



2. 双金属片

双金属片是感温元件，当电动机在额定负载或以下运行时，由热元件给予的热量不足以使金属片产生断开控制电路的形变。在电动机发生过载时，定子电路电流增大，热元件产生的热量大得足以使双金属片弯曲位移，其端部的动触头离开静触头，而此时触头在控制电路中是与接触器线圈串联的，动、静触头分离后，接触器断电释放，断开了电动机供电的电路，从而达到了过载保护的目的。

热继电器双金属片的加热方式主要有：直接加热、间接加热和复合式加热三种。

(1) 直接加热。直接加热是电流直接通过双金属片，双金属片既作加热元件又作感温元件，故具有结构简单、体积小、材料省和发热时间常数小、反映温度变化比较迅速等优点。

(2) 间接加热。间接加热是加热元件缠绕在双金属片上，当加热元件通过电流时，产生的热量通过传导和辐射方式给双金属片加热，因是非直接加热，故发热时间常数大，反映温度的变化比较慢。

(3) 复合式加热。复合式加热综合了以上两种方式，有串联复合式加热和并联复合式加热，其阻值可作一定的调整，发热时间常数介于直接加热和间接加热之间。

10.6 菜鸟学通电工常用热继电器的选择方法入门

菜鸟应用技能入门



热继电器的保护对象是电动机，故选用时应了解电动机的技术性能、起动情况、负载性能及电动机允许过载能力等。

入门解读



10.6.1 长期稳定工作的电动机常用热继电器的选择方法解读

对于长期稳定工作的电动机，可按电动机的额定电流选用热继电器。取热继电器整定电流的 0.95~1.05 倍或中间值等于电动机额定电流。使用时，要将热继电器的整定电流调至电动机的额定电流值。

入门解读



10.6.2 从电动机的绝缘等级及结构考虑选择常用热继电器的方法解读

由于电动机绝缘等级不同，其容许温升和承受过载的能力也不同。同样条件下，绝缘等级越高，过载能力就越强。即使所用绝缘材料相同，但电动机结构不同，在选用热继电器时也应有所差异。例如，封闭式电动机散热比开启式电动机差，其过载能力比开启式电动机低，热继电器的整定电流应选为电动机额定电流的 69%~80%。

入门解读



10.6.3 从电动机的起动电流和起动时间考虑选择常用热继电器的方法解读

电动机的起动电流一般为额定电流的 5~7 倍。对于不频繁起动、连续运行的电动机，在



起动时间不超过 6s 的情况下，可按电动机的额定电流选用热继电器。



10.6.4 采用热继电器作电动机缺相保护，应考虑电动机的接法时的解读

(1) 对于 Y 形接法的电动机，当某相断线时，其余未断相绕组的电流与流过热继电器电流的增加比例相同。一般的三相式热继电器，只要整定电流调节合理，是可以对 Y 形接法的电动机实现断相保护的。

(2) 对于△形接法的电动机，当某相断线时，流过未断相绕组的电流与流过热继电器的电流增加比例则不同。也就是说，流过热继电器的电流不能反映断相后绕组的过载电流。

因此，一般的热继电器，即使是三相式，也不能为△形接法的三相异步电动机的断相运行提供充分保护。此时，应选用 JR20 型或 T 系列这类带有差动断相保护机构的热继电器。



10.6.5 从具体工作情况考虑选择常用热继电器的方法解读

若要求电动机不允许随便停机，以免遭受经济损失，只有发生过载事故时，方可考虑让继电器脱扣。此时，选取热继电器的整定电流应比电动机额定电流偏大一些。

热继电器只适用于不频繁起动、轻载起动的电动机进行过载保护。对于正、反转频繁转换及频繁通断的电动机，如起重用的电动机就不宜采用热继电器作过载保护。



10.6.6 普通热继电器的应用场合解读

普通热继电器适用于负荷比较稳定、连续运行电动机的过载保护。使用时可选择热继电器的额定电流等于电动机额定电流或与额定电流相近，再用电流调节装置调整到与电动机额定电流相等。



10.6.7 重负载类电动机热继电器的选用方法解读

对于驱动惯性巨大的重负载类（如空压机、卷扬机、鼓风机等）电动机，起动时间常数在 5s 以上。为使热继电器在起动过程中不动作，应使用带饱和电流互感器的热继电器。用此类互感器接入后，可使 6 倍整定电流时的动作时间达到 10s 以上。

另外，为了使普通热继电器适用于起动时间长的要求，可以采用增加附属装置的方法，在起动过程中将热继电器短接，待起动完成后才将热继电器接入到主电路中。



10.6.8 温度补偿类热继电器的选用方法解读

热继电器可分为有温度补偿和无温度补偿两类。没有温度补偿的热继电器保护性能较好，通常适用于与电动机环境温度变化不大的地方。有温度补偿的热继电器，通常适用于温度变化较大的地方。应根据生产现场的具体情况加以选择。



10.6.9 电工常用热继电器型号规格的选择方法解读



按额定电流选择热继电器的型号规格时，可按以下公式确定：

$$I_{Re} = (0.95 \sim 1.05) I_{de}$$

式中 I_{Re} ——热继电器的额定电流，单位为 A；

I_{de} ——电动机的额定电流，单位为 A。



10.6.10 热继电器元件编号和额定电流的选择方法解读



按所需要的整定电流选择热元件的编号和额定电流时，对于电动机保护，可按电动机额定电流值在所选的热元件的电流调节范围内来确定其编号，即整定电流要留有一定的上、下调整范围。

对于无温度补偿的热继电器，如环境温度不是生产厂家规定的+35℃时，应按以下公式校正电流值：

$$I_t = I_{35} [(95-t)/60]$$

式中 I_t ——环境温度为 t ℃时的电流，单位为 A；

I_{35} ——热继电器在 35℃时的额定电流，单位为 A；

t ——环境温度，单位为℃。



10.6.11 电工常用两相式与三相热继电器的选择方法解读



一般情况下，两相热继电器与三相热继电器具有相同的效果，但两相热继电器接线和调试简单，价格便宜，宜优先选用。但对于定子绕组经常一相断线，多台电动机的功率差别比较显著，电源电压显著不平衡的场合，不宜选用两相热继电器。

当采用热继电器作断相保护时，对于星形连接的电动机，可采用一般的三相热继电器；对于三角形连接的电动机，应采用带断相保护装置的热继电器。



10.6.12 电工常用热继电器保护特性的选择方法解读



选择热继电器时，原则上一定要使热继电器的保护特性位于电动机过载特性的下方，尽可能接近，甚至重合，但需注意这两种特性曲线都有误差。在热继电器与控制电路串联使用时，不可按接触器等的容量来选热继电器，它们之间并无任何内在的联系。



10.6.13 电工常用热继电器返回时间的确定方法解读



热继电器返回时间的确定，可根据电动机的起动时间按大于或等于 3s、5s、8s 返回时间，选取 6 倍额定电流下的具有相应可返回时间的热继电器。

一般热继电器在 6 倍额定电流下的可返回时间与动作时间有如下的关系：

$$t_1 = (0.5 \sim 0.7) t_a$$

式中 t_1 ——热继电器在 6 倍额定电流下的可返回时间，单位为 s；

t_a ——热继电器在 6 倍额定电流下的动作时间，单位为 s。



10.6.14 电工常用热继电器连接线的选择方法解读



热继电器的连接线除导电外，还起导热作用。如果连接线太细，则连接线产生的热量会传到双金属片上，加上发热元件沿导线向外散热少，从而缩短了热继电器的脱扣动作时间。反之，如果采用的连接线过粗，则会延长热继电器的脱扣动作时间。一般热继电器连接导线可按表 10-5 所示的要求进行选择。

表 10-5 热继电器连接导线的选择方法

热继电器额定电流 (A)	10A 以下	20A 以下	60A	150A
选择的连接导线 (mm ²)	2.5mm ² 单芯塑料铜线	4mm ² 单芯塑料铜线	16mm ² 多股橡皮铜芯软线	35mm ² 多股橡皮铜芯软线

菜鸟学
基本知
识入门

10.7 菜鸟学通电工常用时间继电器的结构与原理入门



时间继电器是一种输入信号后，经过一定延时执行部分才会动作的自动控制电器。

时间继电器的类型较多，较常用的时间继电器主要有晶体管式时间继电器、空气阻尼式时间继电器、电动式时间继电器。



10.7.1 电工常用晶体管式时间继电器的结构特点解读

晶体管式时间继电器具有体积小、精度高、延时范围大、寿命长、调节方便等优点，在电气电子自动控制电路中应用相当广泛。

以 JS20 系列时间继电器为例，这类时间继电器采用插座式连接方式，其所有元器件均安装在一小块印制电路板上，用螺钉将插座固定为一体，再用塑料罩壳盖住构成一个整体，罩壳的顶部设置有铭牌及整定调整旋钮，以及工作指示灯。

JS20 系列时间继电器内的延时电路有两种类型，一种为场效应管延时电路，另一种为单结晶体管延时电路。这种时间继电器在交流 50Hz、电压在 380V 交流或 180V 直流的自动控制电路中，可根据预定时间接通或分断电路，主要用于电力拖动、自动顺序控制和各种生产过程的自动控制系统中起时间控制作用。



10.7.2 电工常用空气阻尼式时间继电器的结构特点解读

空气阻尼式时间继电器又称气囊式时间继电器，它具有结构简单、价格低廉、延时范围大等优点，应用范围最广泛。常用的有 JS7、JS23 系列。以 JS7-A 系列产品为例，这种继电器有通电延时和断电延时两种类型。

1. 空气阻尼式时间继电器的结构

如图 10-7 与图 10-8 所示是空气阻尼式时间继电器的外形与其结构示意图，主要由电磁机构、触头系统及空气阻尼器三个部分构成。

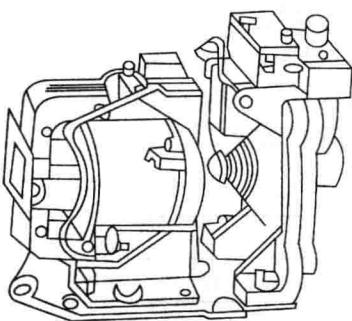


图 10-7 空气阻尼式时间继电器外形示意图

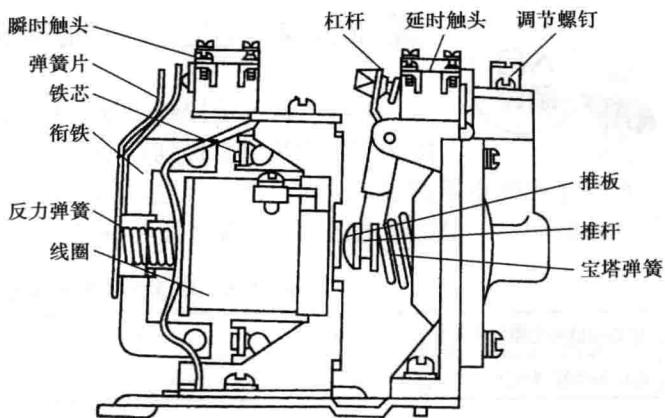


图 10-8 空气阻尼式时间继电器的结构示意图

2. 空气阻尼式时间继电器的工作原理

图 10-7 与图 10-8 所示的是一种典型的通电延时型时间继电器结构，该空气阻尼式时间继电器的工作原理可用图 10-9 所示的结构示意图来说明。

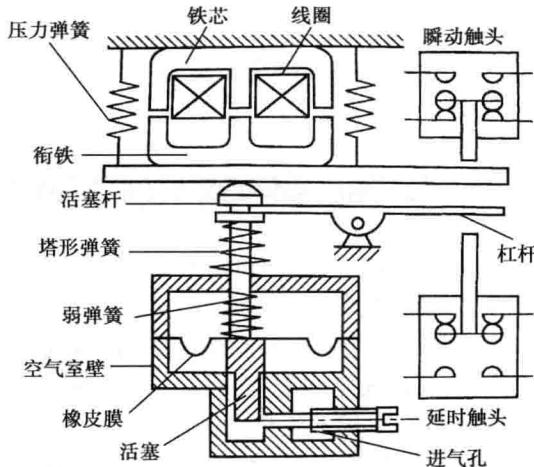


图 10-9 空气阻尼式时间继电器的工作原理示意图

通电延时继电器的工作原理为：当线圈通电后，衔铁及固定在它上面的托板被铁芯线圈吸引而下落，这时固定在活塞杆上的撞块因失去托板的支撑也向下运动，但由于与活塞相连的橡皮膜向下运动时受到空气的阻尼作用，所以活塞杆下落缓慢，经过一定时间后，才能触动微动开关的推杆使其常开触点闭合、常闭触点断开。橡皮膜运动的快慢与空气的阻力有关。进气量多，延时时间短；进气量少，延时时间长，所以调节进气量就可以调节延时时间。



10.7.3 电工常用电动式时间继电器的结构特点解读

较典型的电动式时间继电器有 JS17 系列，这种时间继电器具有通电延时功能，且延时范围很宽，广泛应用于控制电路中，用来向需要延时的被控电路发送信号。



1. 电动式时间继电器的结构

如图 10-10 所示为电动式时间继电器的外形示意图，主要由同步电动机、传动机构、离合器调节旋钮及触点等几部分组成。

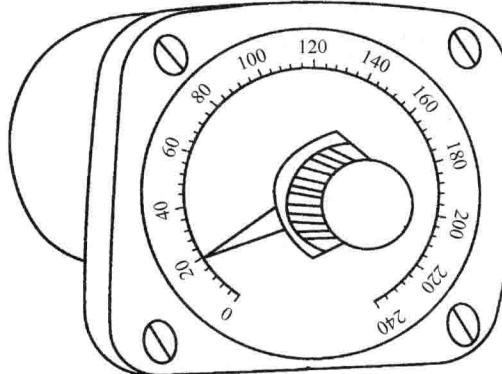


图 10-10 电动式时间继电器的外形示意图

2. 电动式时间继电器的特点

电动式时间继电器的延时时间不受电源电压波动及环境温度变化的影响、调整方便、重复精度高、延时范围大（可长达数十小时）；但结构复杂，受电源频率影响较大，不适合频繁工作的场合。

10.8 菜鸟学通电工常用时间继电器的电路图形符号的识别与选择方法入门

菜鸟应用
技能
入门



现在的新型时间继电器，其内部通常是由电磁继电器与电子电路组合在一起而构成的。



10.8.1 时间继电器的外形及电路图形符号的识别方法解读

电工常用时间继电器的结构及电路图形符号如图 10-11 所示。图 10-11 (a) 为时间继电器的结构，图 10-11 (b) 分别为缓放继电器和缓吸继电器的电路图形符号，它们都有延迟时间的作用。

时间继电器的顶端设置有时间调整钮，使用时，可以根据实际需要设定继电器延迟动作的时间。

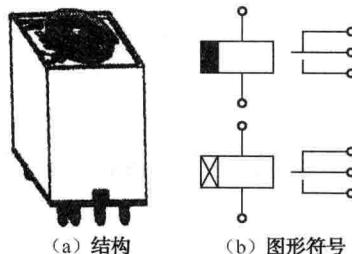


图 10-11 时间继电器的结构及电路图形符号



10.8.2 电工常用时间继电器的选择方法解读

对于时间继电器的选择，通常应着重考虑以下几个方面的问题。

1. 选择合适的延时方式

时间继电器有通电延时型与断电延时型两种延时方式，应选用符合应用电路的延时方式来控制电路。

2. 选择合适的复位时间

时间继电器动作后需要一定复位时间，复位时间应比固有动作稍长一些。否则，可能增大延时误差甚至不能产生延时，在要求组成重复延时电路和操作频繁的场合，更应考虑这一点。

3. 选择合适的延时精度

如果对延时精度要求不高，可采用价格较低的电磁阻尼式或气囊式时间继电器；反之，则应采用电动机式或晶体管式继电器。

4. 选择合适的电源参数

选择时间继电器时，还要注意电源参数变化的影响。例如，电源电压波动较大的场所，采用气囊式或电动机式时间继电器比采用晶体管式继电器好，而电源频率波动较大的场所，则不宜采用电动机式继电器。

5. 环境温度方面

要考虑环境温度变化的影响。通常，环境温度变化较大的场所，不宜采用气囊式和晶体管式继电器。

6. 操作频率方面

要考虑操作频率的高低。如果操作频率很高，不仅会影响继电器的电寿命，而且还可能导致延时动作失调。



10.9 菜鸟学通电工常用接触器的类型与结构原理入门

菜鸟学
基本知
识入
门



接触器是用来远距离、频繁地接通和断开交、直流主电路和大容量控制电路的电器。

接触器具有动作迅速、控制容量大、使用安全方便，能频繁操作和远距离操作等优点，主要用作电动机的主控开关，也可用作小型发电机、电热设备、电焊机和电容器组等各种设备的主控开关。

接触器能接通和断开负载电流，但不能切断短路电流，因此常与熔断器、热继电器配合使用。



10.9.1 电工常用接触器的基本种类解读

接触器的种类较多，常用的有交流接触器、直流接触器、中频接触器、交流真空接触器等多种，使用最多的是交流接触器。接触器主要用于电力系统中频繁接通和



分断主电路。接触器根据分类方式的不同可分为以下各种类型。

1. 按主触头控制电流分类

按接触器的主触头控制的电路电流分类，可分为直流接触器和交流接触器两种。其中，交流接触器又可按电源频率再分为工频（50Hz 或 60Hz）和中频（如 400Hz）两种。

2. 按励磁电流分类

按接触器电磁系统的励磁电源不同进行分类，可分为直流励磁方式和交流励磁方式两种。

3. 按主触头极数分类

按接触器主触头的极数数量不同进行分类，可分为单极、二极、三极、四极和五极。

(1) 直流接触器通常为单极和二极的。

(2) 交流接触器大多是三极的，双回路控制时要用四极的。

(3) 多速电动机控制或自动式自耦减压起动器中大多采用五极的。

4. 按触头驱动方式分类

按接触器触头系统驱动方式不同进行分类，可分为电磁接触器、气动接触器和液压接触器。但电磁式接触器应用最广。

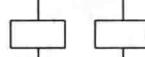
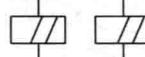
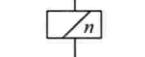
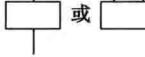
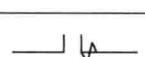
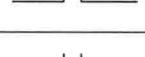
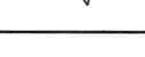
另外，还有一种交流真空接触器，这种接触器采用了新型真空技术，触头间隙真空电弧不会外喷，介质恢复速度快，体积小，维修方便，适用于防爆、防腐、分断电容负载及电压在 1000V 以上的场合使用。



10.9.2 电工常用接触器的电路图形符号的识别方法解读

常用的交流接触器有 CJ10 系列、CJ20 系列、3TB 与 3TH 系列。接触器在电路中的字母代号为 KM（旧标准为 C），各种接触器的电路图形符号如表 10-6 所示。

表 10-6 接触器与操作器件的电路图形符号

序 号	新 符 号		旧 符 号	
	名 称	图 形 符 号	名 称	图 形 符 号
1	具有两个绕组的操作器件 分离表示法	 	双线圈	 
			有 n 个线圈时，相应画出 n 个线圈	
2	操作器件的一般符号	 	接触器、继电器和磁力起动器的线圈	 
3	具有两个绕组的操作器件 组合表示法	 	双线圈接触器和继电器的线圈	 
4	接触器（在非动作位置触点断开）		接触器的动合（常开）触点	
			带灭弧装置接触器的动合（常开）触点	



(续表)

序号	新符号		旧符号	
	名称	图形符号	名称	图形符号
4	接触器（在非动作位置触点断开）		带电磁吸弧线圈接触器的动合（常开）触点	
5	接触器（在非动作位置触点闭合）		接触器的动断（常闭）触点	
			带灭弧装置接触器的动断（常闭）触点	
			带电磁吸弧线圈接触器的动断（常闭）触点	



10.9.3 电工常用接触器的典型结构与特点的解读

接触器主要由 4 个部分构成。如图 10-12 所示是一种较典型的交流接触器外形示意图。

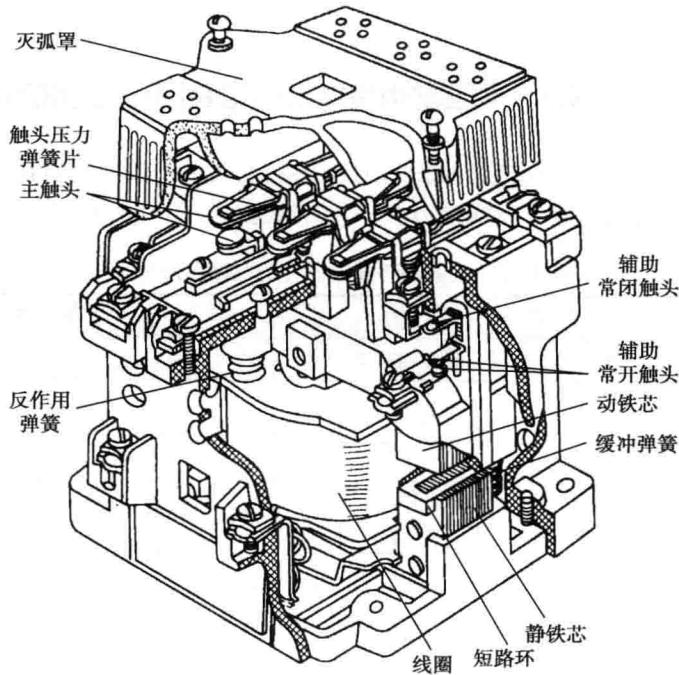


图 10-12 交流接触器结构示意图

1. 电磁系统

电磁系统包括电磁线圈、“山”字形铁芯和衔铁（静铁芯、动铁芯）等。线圈通电或断电时产生吸力或释放，使动铁芯作相应的动作，控制触头的开闭，以接通或切断主电路和控制电路。



2. 触点系统

接触器的触点系统根据不同的用途，可分为主触点和辅助触点。主触点起控制主电路的作用，允许通过较大的工作电流。辅助触点只是在控制电路中起一定的控制作用，如自锁、互锁等，允许通过的电流较小。

另外，按初始工作状态的不同，接触器的触点又可分为动合触点和动分触点。动合触点是指在线圈断电时处于分断状态，线圈通电衔铁吸合时处于闭合状态的触点。动分触点与动合触点正好相反，衔铁释放时触点闭合，衔铁吸合时触点分断。

3. 灭弧罩

在额定电流超过 20A 以上的接触器中，通常都设置了灭弧罩。其作用是迅速切断触点分断时产生的电弧，以防止烧损触点。

4. 其他部分

接触器的其他部分包括释放弹簧、触点压力弹簧、短路环等。释放弹簧的作用是当线圈断电时使衔铁和触点复位。触点压力弹簧的作用是增大触点闭合时的压力，增大触点的接触面积，减小接触电阻。短路环的作用是交变电流过零时维持动、静铁芯之间的吸力，消除动、静铁芯之间的震动，从而防止触头的跳动，减小噪声。



10.9.4 电工常用接触器基本工作原理的解读

接触器的工作原理示意图如图 10-13 所示，当按下按钮 SA_1 时，线圈通电产生磁吸力将衔铁吸合，带动触点闭合，主触点的闭合使被控电动机通电工作；而辅助触点的闭合则实现了控制电路的自锁。当按下按钮 SA_2 时，线圈断电，电磁吸力消失，在释放弹簧的作用下衔铁和触点复位，自动切断工作电源。

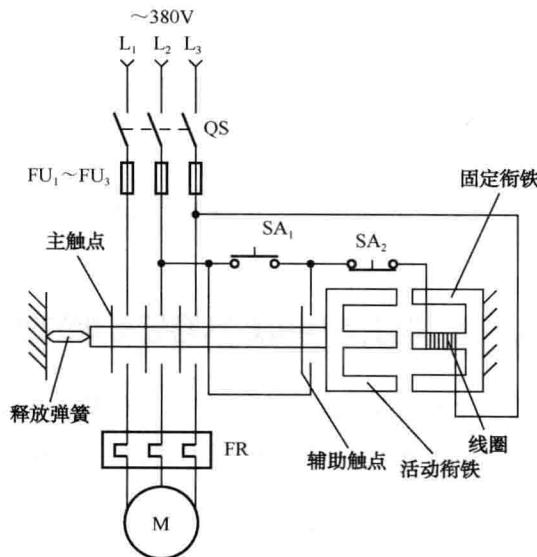


图 10-13 接触器的工作原理示意图



10.10 菜鸟学通电工常用交流接触器的选择方法入门

菜鸟应用
技能
入门



由于使用场合及控制对象的不一样，加之接触器的工作条件与繁重程度的不同，为了尽可能经济、正确地使用接触器，必须对控制对象的工作情况及接触器性能有一全面了解。接触器铭牌上所规定的电压、电流及控制功率等数据是在某一使用条件下的额定数据，而电气设备实际使用时的工作条件是千差万别的，故在选择接触器时必须根据实际使用条件正确选用。



10.10.1 电工常用接触器类别的选择方法解读

应根据接触器控制负载的实际工作任务的繁重程度选用相应类别的接触器。接触器产品系列是根据使用类别设计的，交流接触器的使用类别有 5 类，它们的适用范围分别如下。

1. AC-0 类

AC-0 类交流接触器用于微电感性或电阻性负载，接通和分断额定电压和额定电流。

2. AC-1 类

AC-1 类交流接触器用于起动和断开运转中的线绕转子电动机。在额定电压下，接通和分断 2.5 倍额定电流。

3. AC-2 类

AC-2 类交流接触器用于起动、反接制动、反向接通与断开绕线转子电动机。在额定电压下接通和分断 2.5 倍额定电流。

4. AC-3 类

AC-3 类交流接触器用于起动和断开运转中的笼型异步电动机。在额定电压下接通 6 倍额定电流，在 0.17 倍额定电压下断开额定电压。

5. AC-4 类

AC-4 类交流接触器用于起动、反接制动、反向接通与断开笼型异步电动机。在额定电压下接通和分断 6 倍额定电流。



10.10.2 电工常用接触器容量等级的选择方法解读

根据电动机或其他负载的功率和操作情况来确定接触器的容量等级。接触器的容量等级应与被控制的负载容量相当或稍大一些，应留有一定的余量。

1. 额定电压

交流接触器的额定电压是指主触点的额定电压，应大于或等于电动机或其他负载的额定电压。

2. 额定电流

交流接触器的额定电流是指主触点的额定电流，应大于或等于电动机或其他负载的额定电流。当接触器作为电动机的频繁起动或反接制动时，其接通电流很大，故应将接触器的额



定电流降一级使用。

主触点额定电流，一般根据电动机容量 P_N ，计算触点电流 I_N ，即：

$$I_N \geq P_N \times 10^3 / K \cdot U_N \quad (\text{A})$$

式中 K ——经验常数，通常在 1~1.4 间选择；

P_N ——电动机的功率，单位为 kW；

U_N ——电动机额定线电压，单位为 V。

根据接触器的工作制、安装及散热条件的不同，其额定电流使用值也不一样。接触器触点的通电持续率为：

$$\text{通电持续率} = \frac{\text{通电时间}}{\text{通电时间} + \text{不通电时间}} \times 100\%$$

- (1) 当接触器触点通电持续率大于或等于 40%时，额定电流值可降低 10%~20% 使用。
- (2) 当接触器安装在控制柜内，其冷却条件较差，额定电流值应降低 10%~20% 使用。
- (3) 当接触器在重复短时工作制、且通电持续率不超过 40% 时，其允许的负载额定电流可提高 10%~25%。
- (4) 若接触器安装在控制柜内，允许的负载额定电流仅提高 5%~10%。



10.10.3 电工常用接触器线圈参数的选择方法解读

对于同一系列、同一容量等级的接触器，其线圈的额定电压有多种规格，故应指明线圈的额定电压。线圈的额定电压应和控制回路的电压相同。

在通常情况下，如线路简单、使用电器较少时，为了省掉控制变压器可选用 220V 或 380V 电源。如线路复杂，使用电器较多或不太安全的场所，可选用 36V、110V 或 127V 的额定电压。另外，还要注意线圈的电压是直流还是交流并与电路匹配。

菜鸟入门要诀



接触器触点的数量应能满足控制线路的要求。各类接触器触点数量不同，交流接触器的主触点有三组（动合触点），一般有 4 组辅助触点（两组动合、两组动断），最多可达到 6 组（三组动合、三组动断）。当辅助触点数量不能满足要求时，可用增加中间继电器的方法来解决。



菜鸟学通变配电系统基本技能入门

变配电是变电和配电的简称，在电力系统中，对于大容量的电网，当高压电输送至用户处时，先要经过一次变电（降压），即将电压降至 380V 以后再分配给各个用户。常见的配电电压有 6~12kV 高压和 220V 与 380V 两种低压，以满足不同的需要。后者是由配电变压器进行第一次降压（即将 6~12kV 高压进一步降压）后得到的。本章介绍菜鸟学通变配电系统基本技能。

11.1 菜鸟学通架空配电线线路的类型与电压等级入门

菜鸟学
基本知
识入门



电力线路是电力系统的重要组成部分，担负输送和分配电能的重要任务。



11.1.1 工业企业电力线路的基本类型解读

电力线路根据其电压的高低可分为高压线路（1kV 以上）和低压线路（1kV 以下）。按结构形式又可分为架空线路、电缆线路及户内配电线线路。

架空线路又分为输电线、高压配电线和低压配电线 3 种。



11.1.2 架空配电线线路电压等级的解读

1. 输电线

电力中从发电厂将电能输送到变电所的高压架空电力线为输电线。电压等级一般为 35kV 及其以上。

2. 高压配电线

从变电站将电能送至配电用变压器的架空（或电缆）电力线称为高压配电线，电压等级一般为 10kV、6kV。

3. 低压配电线

从配电变压器将电能送到各个用电点的低压电力线称为低压配电线，电压等级一般为



0.38kV, 0.22kV。

11.2 菜鸟学通低压架空线路的构成与选用方法入门

菜鸟应用技能入门



低压配电线路一般是指线电压为380V、相电压为220V的线路。这种电路适用于输送电能到比较近的地方，作为动力和照明电源。



11.2.1 变配电系统低压架空线路的基本构成解读

广大居民的低压配电线路多采用架空线路形式。常见低压架空线路的结构示意图如图11-1所示，主要由导线、电杆、横担、绝缘子、金属性件和拉线等组成。

由于居民（尤其是农村）用电分散，供电面广，季节性强，故配电线路多以电力变压器为中心，采用向四周引出线路的方式，即采用放射型供电的方式。供排灌等动力专用线路多采用380V三相三线制供电方式；供动力与照明合用的线路，通常采用380/220V三相四线制供电方式。

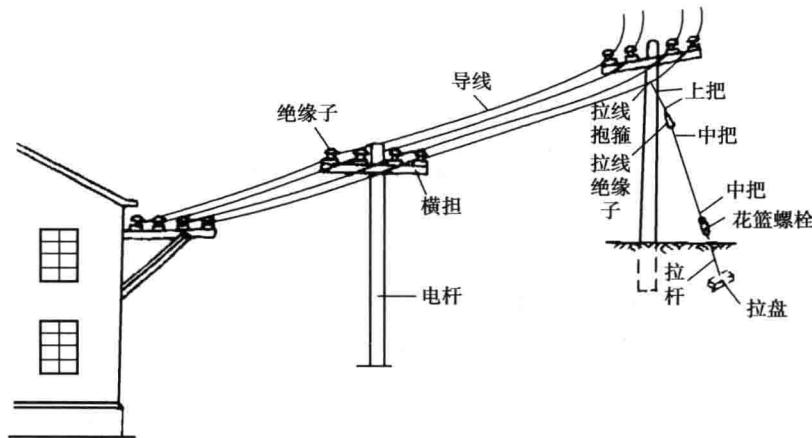


图11-1 常见低压架空线路的结构示意图



11.2.2 变配电系统低压架空线路路径的选择方法解读

选择低压架空线路路径时，一般应综合考虑以下几方面：

- (1) 线路起点至终点的距离应尽可能短，转角要尽量少。
- (2) 尽量架设在交通比较便利的地方，以便于施工和日常维护。
- (3) 尽可能不穿越高山、河流、沼泽地、果树林和防护林地带。
- (4) 不要架设在易燃、易爆等危险品场所及已经另有用途的地段。
- (5) 电线杆的位置应尽可能避开下述地方：有可能被车辆碰撞之处；积水或水淹到的地方；容易被山洪冲刷的山坡上；容易受水流冲刷的河床及河岸之处。



**入门
解读**

11.2.3 变配电系统低压架空线路用电杆形式的解读

低压架空线路用电杆的形式主要有：直线杆、耐张杆、转角杆、终端杆、分支杆5种。低压架空线路用电杆的5种形式如图11-2所示。

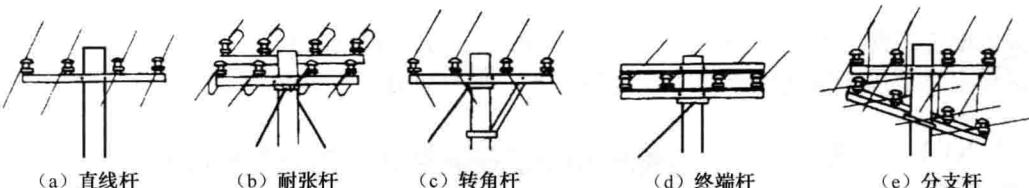


图11-2 低压架空线路用电杆的5种形式

1. 直线杆

如图11-2(a)所示，直线杆是架空线路直线部分的支撑点。直线杆要承受前后导线的重力和凝结在导线上的冰雪的重力，同时还要承受线路的侧向风力。

2. 耐张杆

如图11-2(b)所示，耐张杆是架空线路分段结构的支撑点，其作用是在线路出现倒杆事故时，防止导线拖倒更多的电杆，限制事故的范围。耐张杆除承受导线重力和侧向风力外，还要承受邻档导线的拉力差所引起的顺线路方向的拉力。通常在耐张杆的前后方各装一根拉线，用来平衡这种拉力。

3. 转角杆

如图11-2(c)所示，转角杆是架空线路改变方向的支撑点。为了保持电杆承受拉力的平衡，当转角为 30° 时，应装两根拉线，各平衡一组导线的拉力。

4. 终端杆

如图11-2(d)所示，终端杆是架空线路始端和终端的支撑点。因为电杆单方向承受导线的重力，所以必须在相反方向安装拉线，防止电杆向导线的一侧倾斜。

5. 分支杆

如图11-2(e)所示，分支杆是架空线路分接支线的支撑点。在分支线拉力的相反方向应安装拉线，以保持电杆的平衡。


**入门
解读**

11.2.4 变配电系统低压架空线路电杆拉线的结构形式解读

1. 拉线的形式

低压架空线路电杆拉线的形式，根据用途和作用不同，可分为：普通拉线、人字形侧面拉线、高桩拉线、自身拉线4种。4种电杆拉线的形式示意图如图11-3所示。

(1) 普通拉线。如图11-3(a)所示，普通拉线用于终端杆、转角杆、分支杆等处。拉线与电杆的夹角一般为 45° ，如受地形限制，可适当减小，但不应小于 45° ，也可适当增大，但不应大于 60° 。

(2) 人字形侧面拉线。如图11-3(b)所示，人字形侧面拉线由两根普通拉线组成，装在线路直线部分的左右两侧，多用于中间直线杆，以防电杆被侧向风刮倒。

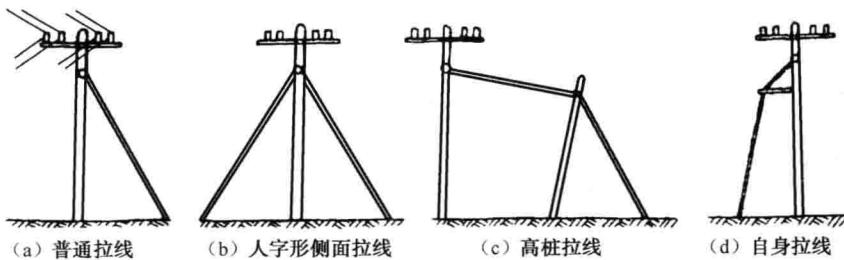


图 11-3 4 种电杆拉线的形式示意图

(3) 高桩拉线。如图 11-3 (c) 所示, 电杆拉线的高桩拉线又称水平拉线, 适用于跨越道路等场合, 以利于车辆的通过。

(4) 自身拉线。如图 11-3 (d) 所示, 电杆拉线的自身拉线又称弓形拉线, 适用于环境狭窄, 不能安装普通拉线的场合。

2. 拉线的结构

普通拉线结构示意图如图 11-4 所示, 分为上把、中把、下把(也称底把)3部分。

(1) 上把。普通拉线中的上把与电杆上的拉线抱箍相连或直接固定在电杆上。

(2) 中把。普通拉线的中把起连接上把和底把的作用, 并通过拉线绝缘子与上把绝缘, 通过花篮螺栓可以调整拉线的拉紧力。拉线绝缘子离地面的高度不应小于 2.5m, 以免在地面活动的人触及上把。

(3) 底把。普通拉线的底把下端固定在拉线盘(又称地锚)上, 上端露出地面 0.5m 左右。拉线盘一般用混凝土或石块制成, 尺寸不宜小于 100mm×300mm×800mm, 埋深为 1.5m 左右。

3. 拉线的选择方法

拉线一般由直径为 4mm 的镀锌丝绞合而成。在地面以上部分的拉线, 其最小截面积不应小于 25mm^2 ; 在地下部分的拉线, 其最小截面积不应小于 35mm^2 。如用镀锌圆钢做地锚柄时, 圆钢直径不应小于 12mm。

11.3 菜鸟学通低压接户线和进户线的结构与安装方式入门

菜鸟应用技能入门



低压接户线是将输送和分配到用户的最后一段线路, 也是用户线路的开端部分, 是从室外支持铁件到室内第一支持点(电能表或配电盘)的一段线路。



11.3.1 安装低压接户线的基本要求解读

低压接户线是指从架空配电线路的电杆至用户第一个支持点之间的这



一段导线。其安装通常有以下要求。

1. 档距

低压接户线的档距不宜超过 25m。超过 25m 时，应在档距中间加装辅助电杆。

2. 对地距离

低压接户线的对地距离一般不应小于 2.7m，以保证用电的安全。

3. 引接方式

接户线应从接户杆上引线，不得从档距中间悬空连接。接户杆杆顶安装形式示意图如图 11-5 所示。

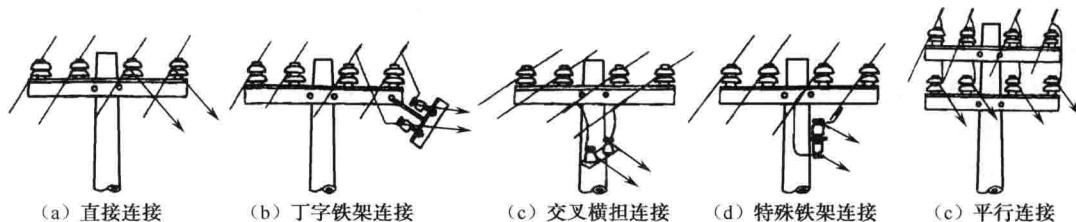


图 11-5 接户杆杆顶安装形式示意图

4. 导线选择

接户线的截面积应根据导线的允许载流量和机械强度进行选择。绝缘导线的允许载流量见电工材料的有关资料。低压接户线的最小允许截面积见其他书刊资料。

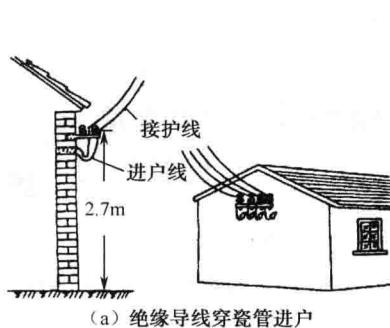
5. 绝缘子与进线支架选择

接户线绝缘子与进线支架的选择见有关资料。在雷电活动较多的地区，应将接户线绝缘子的铁脚接地，接地电阻应不大于 30Ω 。

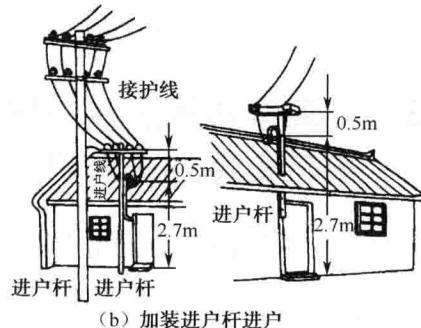


11.3.2 架空配电线路低压线进户安装方法的解读

从架空配电线路的电杆至用户户外第一个支持点之间的一段导线称为接户线。从用户户外第一个支持点至用户户内第一个支持点之间的导线称为进户线。常用低压进户线方式如图 11-6 所示。



(a) 绝缘导线穿瓷管进户



(b) 加装进户杆进户

图 11-6 常用低压进户线方式示意图

进户线（也包括接户线）均应采用绝缘良好的铜芯或铝芯导线，不应用软线，并且不应有接头。由于进户线一部分在室外，一部分在室内，因此不允许使用裸铜线。



低压进户线的长度超过1m时，应用绝缘子在导线中间加以固定。其他安装要求如下。

1. 穿墙加保护套管

当进户线穿墙时，应套上瓷管、钢管、硬塑料管或竹管等保护套管。套管露出墙壁部分应不小于10mm，且在户外的一端应稍低，并做成方向朝下的防水弯头。

2. 要设置防水弯

为防止雨水沿进户线流进室内，在穿墙前将进户线向下弯一个弯（称为防水弯），雨水沿导线流到防水弯处滴到地上，就不会流到户内去了。当防水弯对地距离超过2m时，还应加装绝缘套管。

3. 加套软管

为了防止进户线在套管内绝缘破坏而造成相间短路，每根进户线外部应套上软塑料管，并在进户线防水弯处最低点剪一圆孔，以防存水。

4. 线径选择

进户线的选择原则与接户线相同。铜芯绝缘线的最小截面积不宜小于 1.5mm^2 ；铝芯绝缘线的最小截面积不宜小于 2.5mm^2 。

11.4 菜鸟学通低压配电盘和配电箱的结构与安装方法入门

菜鸟应用技能入门



低压配电盘和配电箱通常设置在进户线到室内电源导线之间，用于对用电量进行计量和对用户线路进行保护。



11.4.1 低压线路电能表装置的基本形式解读

配电后的导线进入用户以后，通常都应安装计量装置和控制保护装置。具体安装什么样的计量装置和控制保护装置，则应根据用电量的大小来确定。

1. 用电量大

对于用电量较大的用户，采用成品计量箱、控制保护屏、配电屏、配电箱。

2. 用电量小

对于用电量小的用户，安装电能表时，通常将电能表装在一块安装底板上，这就是表板。木制电能表表板参考尺寸如表11-1所示。

表11-1 木制电能表表板参考尺寸

安装的电表	板宽 (mm)	板高 (mm)	板厚 (mm)	安装的电表	板宽 (mm)	板高 (mm)	板厚 (mm)
单相表	200	300	20	有功、无功表并排安装	500	680	20
三相四线表	250	420		带接线盒的三相表安装	455	610	
三只单相表品字排列安装	500	560		单相表与开关并排安装	400	300	
三只单相表一字排列安装	600	300		单相表与开关竖排安装	200	520	



11.4.2 低压线路常见电能表表板的安装方式解读

几种常见电能表表板安装方式示意图如图 11-7 与图 11-8 所示。几只电能表并排安装时，中心距不得小于 200mm。

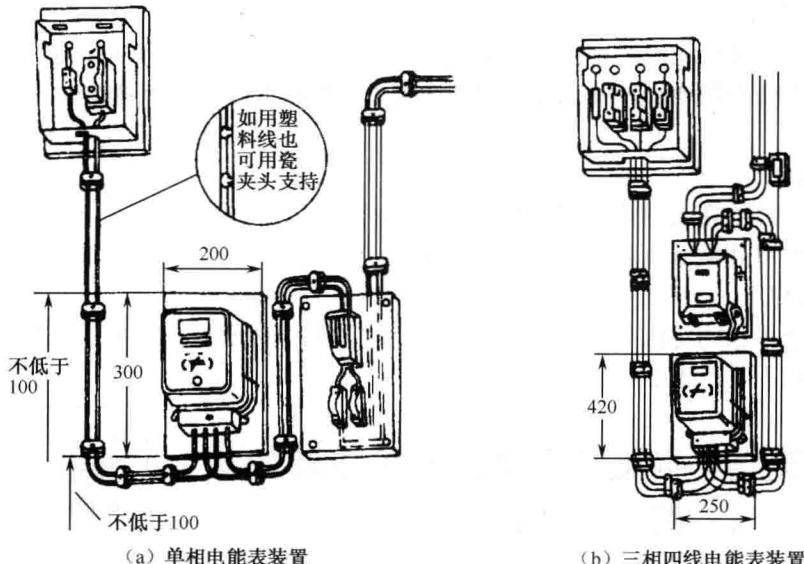


图 11-7 单相与三相四线电能表表板安装方式示意图

1. 单相与三相四线电能表表板安装方式

图 11-7 (a) 为单相电能表表板安装方式示意图，图 11-7 (b) 为三相四线电能表表板安装方式示意图。

2. 单相电能表表板安装形式

图 11-8 (a) 为三只单相电能表“品”字形安装方式示意图，图 11-8 (b) 为三只单相电能表“一”字形安装方式示意图。

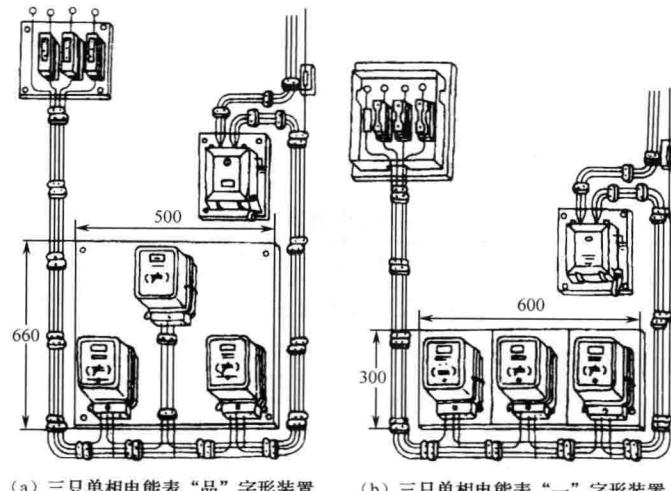


图 11-8 单相电能表“品”字与“一”字安装方式示意图



入门 解读

11.4.3 变配电系统低压配电盘的基本形式解读

低压配电盘是为了控制、监视电动机和照明而设置的电气装置。

1. 小容量配电盘

常见的小容量配电盘结构示意图如图 11-9 所示，适用于电路额定电流小于 100A 的场合。

在小容量配电盘上，通常装有一只三相电能表（或三只单相电能表）和一只附有保护装置的总开关。

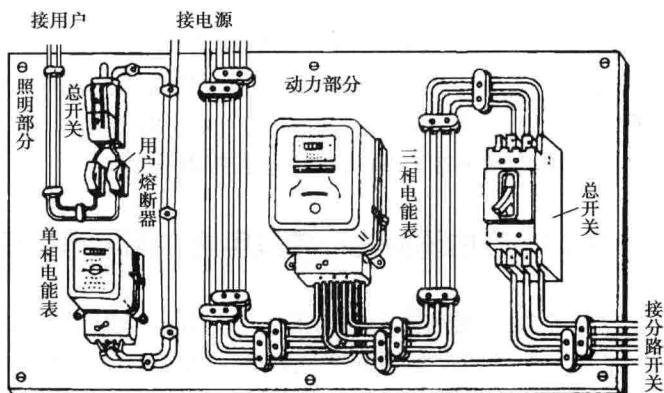


图 11-9 常见的小容量配电盘结构示意图

2. 大容量配电盘

常见的大容量配电盘结构示意图如图 11-10 所示，适用于电路额定电流大于 100A 的场合。

在大容量配电盘上，除装有一只三相电能表（或三只单相电能表）外，还要附装同型号、同规格的电流互感器两只或三只（根据电能表的种类而定）。三相电能表的额定电流为 5A。

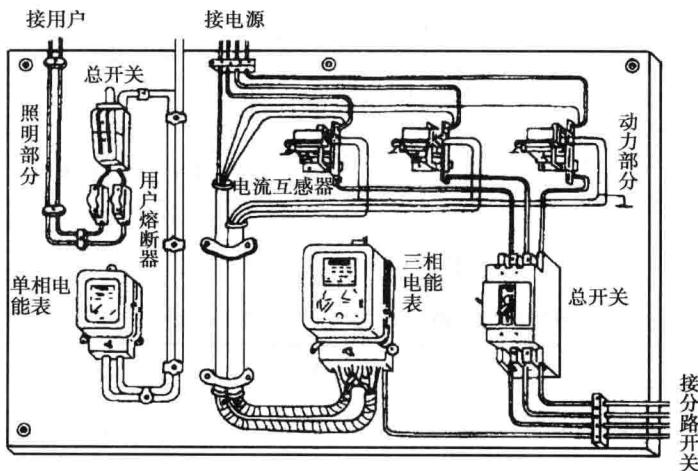


图 11-10 常见的大容量配电盘结构示意图

3. 对配电盘盘板的要求

配电盘的盘板应选用厚度在 25mm 以上、质地良好的干燥木板，并要涂上防潮漆，可用



木螺钉或用螺栓固定在干燥、无震动的墙壁上。

对配电盘的安装，除了应考虑操作和今后的管理要方便以外，配电盘的盘板上沿离地面不应超过3m，下沿离地面应不低于1.2m。还要考虑配电盘的安装位置不应设置在易受到雨淋和阳光照射到的地方。

11.5 菜鸟学通室内照明进户配电箱连接 电路入门

菜鸟应
用技
能入
门



用户照明住宅进户配电箱大都安装在楼房一层楼梯走廊处高1.5m的墙内。电源进线与出线多采用预埋管道敷设暗线（也可采用明线），配电箱上留有供观察电能表读数的玻璃瞭望孔。进线电源经过电能表后，又经由控制开关（多为空气开关）后送用户。该控制开关安装在电能表下端，供用户直接去控制操作。



11.5.1 室内照明进户单只电能表配电箱连接电路解读

单只电能表配电箱电路如图11-11所示。该电路中的电能表线圈1端接进线电源火线，2端经控制开关（15A闸刀或空气开关）接用户负载的火线，3端接进线的零线，4端经控制开关接用户负载的零线。但负载的电流大小应与电能表相匹配，两者的对应关系如表11-2所示，供参考。

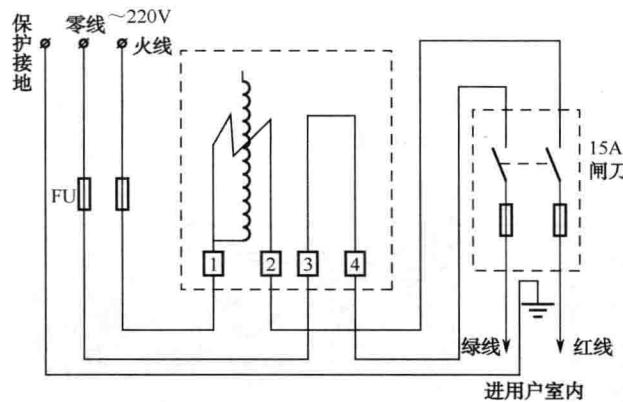


图11-11 单只电能表配电箱电路

表11-2 电能表规格与负载功率之间的对应关系（额定电压为220V）

负载最小功率(W)	11	27.5~1100	55~2200	330~13200
电能表电流规格(A)	1(2)	2.5(5)	5(10)	30(60)



11.5.2 室内照明进户三只电能表配电箱连接电路解读

三只电能表配电箱电路如图11-12所示。该电路中电能表的连接方式与单只电能表的基本相同，也是1与3端进线，2与4端出线后经开关进入用户。

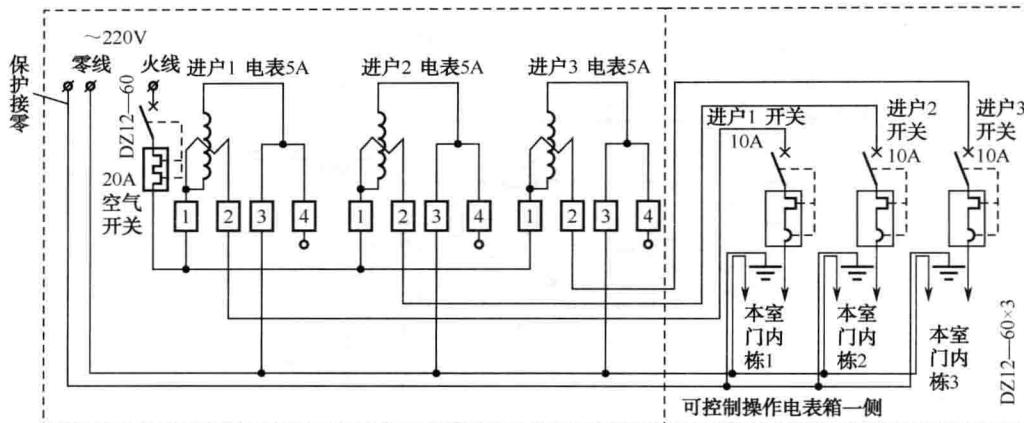


图 11-12 三只电能表配电箱电路



11.5.3 室内照明进户家庭配电箱连接电路解读

现代住宅中，每户都设置了一只配电箱，用于控制住宅内部的供电与配电，且具有过流保护和漏电保护功能。当住宅内的电路或其一电器出现问题时，家庭内的配电箱就会自动切断供电电路，以防发生事故。

1. 电路组成

家庭配电箱电路如图 11-13 所示，主要由电源总闸开关、漏电保护器、熔断器为核心构成。这种配电箱一般嵌装在墙体内，外面仅见其面板，其连接顺序是：220V 交流电压加到电源总闸开关→漏电保护器，最后通过熔断器分两路输出。

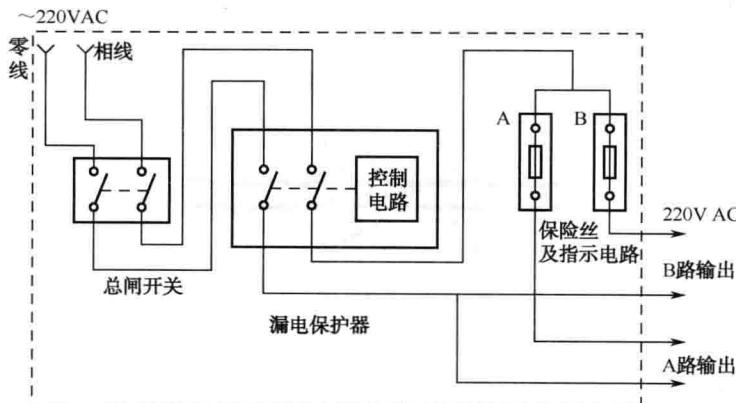


图 11-13 家庭配电箱电路

2. 总闸开关

最左边的总闸开关用于控制入户的交流 220V 电源，合上该开关后，室内即可通电，拉下该开关后，即可同时切断入户的交流 220V 相线与零线。

3. 漏电保护器

漏电保护器的电路如图 11-14 所示，主要由漏电电流检测、控制处理与执行机构等组成。

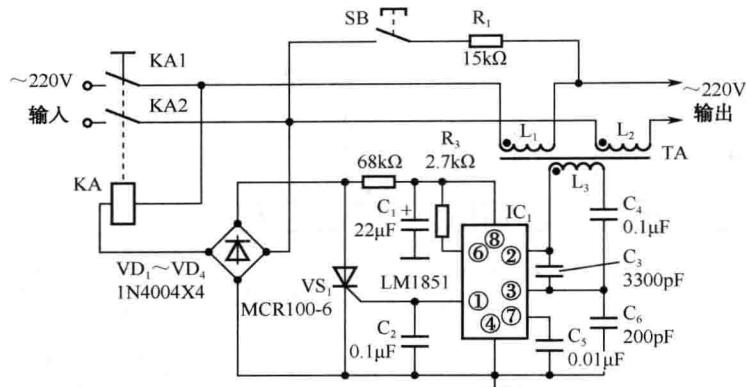


图 11-14 家庭配电箱内漏电保护器电路

1) 工作过程

正常情况下，220V 交流电压经继电器的闭合触点 KA₁与 KA₂、电流互感器 TA 的 L₁、L₂ 线圈后输出到负载。此时，由于电源的相线与零线的瞬时电流大小相等、方向相反，故在电流互感器 TA 铁芯中所产生的磁通互相抵消，TA 的感应线圈 L₃上没有感应电压。当漏电或触电发生时，相线和零线的瞬时电流大小不再相等，它们在电流互感器 TA 铁芯中所产生的磁通不能完全抵消，L₃上便产生一感应电压，输入到集成电路 IC₁进行放大处理后，IC₁的①脚输出触发信号使晶闸管 VS 导通，保护开关 KA 得电动作而切断交流 220V 市电。保护开关 KA 的结构为手动接通、电磁驱动切断的脱扣开关，一旦动作便处于“断”状态，故障排除后需要手动合上。

2) 电流互感器

电流互感器 TA 的结构如图 11-15 所示，交流 220V 市电的相线和零线穿过高磁导率的环形铁芯形成初级线圈 L₁、L₂，次级感应线圈 L₃有 1500~2000 匝，因此可以检测出毫安级的漏电电流。

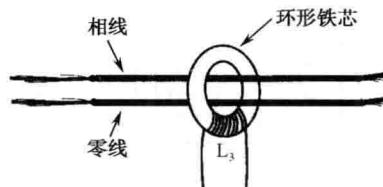


图 11-15 电流互感器 TA 的结构示意图

3) 试验开关 SB

图 11-14 中的 SB 为试验按钮。当按下该开关后，相线与零线之间通过限流电阻 R₁形成一电流，该电流回路的相线穿过了环形铁芯，而零线没有穿过环形铁芯，这就人为地造成了环形铁芯中相线与零线电流的不平衡，模拟了漏电或触电的情况，使得保护开关 KA 动作。

4) 必须说明的问题

漏电保护器是基于漏电或触电时相线与零线电流不平衡的原理工作的，所以，对相线与零线之间漏电或触电发生在相线与零线之间，此类漏电保护器不起保护作用。



4. 熔断器及指示电路

熔断器熔断指示电路如图 11-16 所示，氖泡串接一降压电阻 R 后，并联在熔断器两端。熔断器完好时，其两端无电压降，氖泡不亮。熔断器熔断后，220V 电压加在氖泡与 R 两端，使氖泡发亮。氖泡与降压电阻 R 位于熔断器安装卡上。

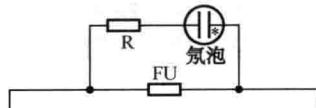


图 11-16 家庭配电箱熔断器及指示电路

11.6 菜鸟学通住宅配电系统连接电路安装方法入门

菜鸟应用技能入门



在对住宅照明的配电系统进行设计时，应先对每个房间的作用和用途有一定的了解，并应根据用户的生活活动的要求再对照明配电系统的总体结构及安装方式、安装位置进行细致的考虑。



11.6.1 住宅 6 层楼配电系统连接电路及其设计要求解读

不同的住宅楼层有不同的配电系统，但它们的结构形式却基本相同或大同小异，以较常见的 6 层楼配电系统电路为例，其配电系统电路如图 11-17 所示。对于多层楼配电系统的设计方法通常应考虑以下几个方面的问题。

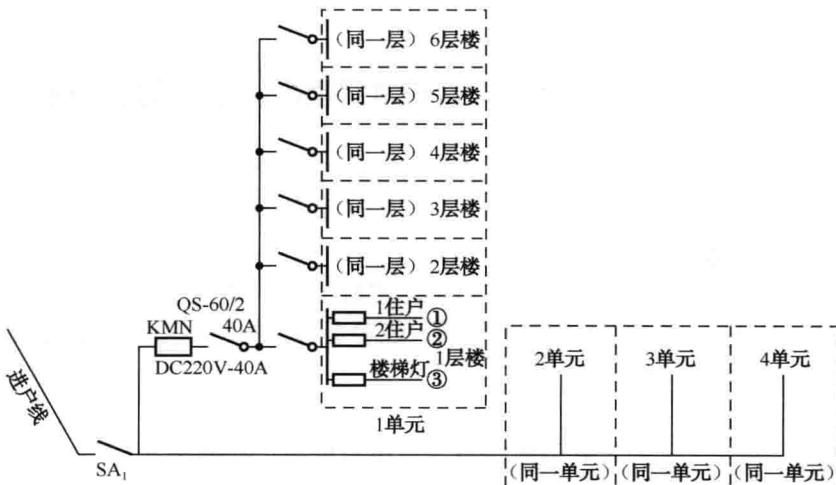


图 11-17 6 层楼配电系统电路

1. 进户线高度

在架空线或地下电缆进入住宅楼房配电箱时，进户线在墙外进户高度最好选择 2.5m 左右。

2. 进户线的截面积

进户线的截面积大小，应保证整个楼房的总用电电流小于所需导线的安全电流，并留有



一定的余量。进户线可选用 BLX 型铝芯橡皮绝缘导线，并沿墙敷设明线或暗线。进户线及干线的穿管所用管子的直径应根据穿线点的截面放大一级进行选择。

3. 进户线的接地

当进户电源的总电流超过 30A 时，应采用三相五线制进户。也就是说，进户时采用三相四线制电源进入住宅楼的配电箱，再设置一根零线重复接地，也就是单独引入一根接地线，以使住宅楼房内的配电箱、导线钢管、插座接地孔均与专门进入的这根接地线进行连接。该接地线不得装设熔断器或刀开关。

安装时，这根单独引入的接地线必须直通用户用电设备的外壳，导线的颜色应与零线不同，如采用铜导线，其最小截面积应大于 1.5mm^2 ；如采用铝导线，则其最小截面积应大于 2.5mm^2 。这根接地线在进户时的接地电阻应小于 4Ω ，最好在进入各用户处加装漏电保护开关。

4. 进户的总配电箱

住宅楼房的供电进入楼内以后，应单独设置一个总配电箱，用来控制整个住宅楼房的供电。进户线进入总配电箱内，先经一只总电源开关 SA₁，该开关后应装设总电能表。

电能表的选择应根据用电量的大小来确定，当楼房住户较多、用电量较大时，可采用三相 5A 的电能表并加装电流互感器来计量。对于图 11-17 所示的 6 层楼，其有 4 个单元，每个单元有 12 户，根据一般用户要求，每户安装一个 5A 的电能表，则总表就可选择三相四线制 80A 的电能表即可满足要求，进入每户时所设置的单相电能表可选择 5A 以上的单相电能表，且配电箱及电能表均应装在墙壁内。

5. 避雷设施的设置

当建筑住宅楼房与地面的高度大于 20m 时，要按《防雷设计规范》设置避雷设备。对整个住宅楼建筑物，应设置避雷线、防雷引下线、接地极等。接地装置应采用镀锌钢管、扁铁。接地电阻也应按要求进行施工安装。



11.6.2 住宅配电系统常用室内、室外设施的安装要求解读

对于多层楼配电系统室内设施的设计与安装方法通常应考虑以下几个方面的问题。

1. 室内导线的敷设

对于室内导线的敷设，可以选择 BLV 型铝芯塑料绝缘导线沿房顶、楼面、墙壁敷设暗线。穿线管可选择薄壁钢管，当采用金属管穿线时，应对金属管的两端采取接地措施，也可用 VG 型硬塑料管敷设电源照明暗线。

2. 室内插座的安装

住宅楼房内，每个房间应设置两组插座，一组为单相三孔插座，三孔插座最好选用方圆孔两用插座，插座接地线要与进入该房间的专用保护接地线连接，不可与照明零线混接。厨房、卫生间均应安装三孔插座，具体数量可根据实际需要确定，每一个插座均应按 800W 的功率要求进行布线和安装。

3. 室内灯具的安装

室内照明灯具安装的位置、灯头的个数及灯具安装方式均应根据房间的用途进行选择。灯具安装最好采用移动吊线式，以适应室内家具陈设的变化。



菜鸟入门要诀



在对住宅配电系统常用室内、室外设施的安装时，还要考虑到住宅所应用的各种电气设备对电源的要求，以满足家庭电气化的要求。同时还应采取安全措施，以满足安全供电的要求。尽可能使住宅照明供电设施满足规范、统一、安全、节约的原则，有条件时应采用节能型的电器设施。



菜鸟学通电力变压器基本技能入门

变压器是一种静止的电器，是根据电磁感应的原理，把某一电压等级的交流电能转换为同频率的另一电压等级的交流电能，以便于电能的经济输送、灵活分配和安全使用。本章介绍菜鸟学通变压器基本技能。

12.1 菜鸟学通电力变压器的种类与电路图形符号识别方法入门

菜鸟学
基本知
识入门



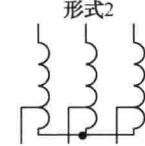
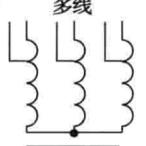
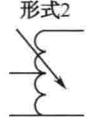
电力变压器有单相变压器及变流器与多绕组电力变压器及变流器，各种电力变压器在电路中都采用特定的符号来表示。



12.1.1 单相变压器及变流器的种类符号识别方法解读

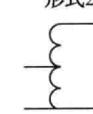
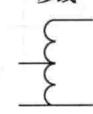
在电工电气电路图中，常用的单相变压器及变流器的种类及其电路图形符号如表 12-1 所示，供识图时参考。

表 12-1 自耦变压器及变流器的种类符号

序号	新符号		旧符号	
	名称	图形符号	名称	图形符号
1	三相自耦变压器星形连接	形式1  形式2 	有铁芯的三相自耦变压器，绕组连接为星形	单线  多线 
2	可调压的单相自耦变压器	形式1  形式2 	连续调压有铁芯的单相自耦变压器	单线  多线 



(续表)

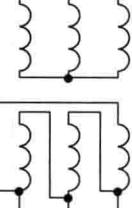
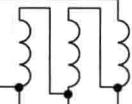
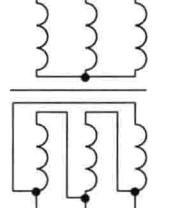
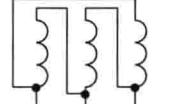
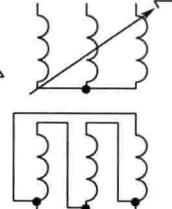
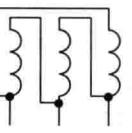
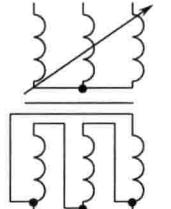
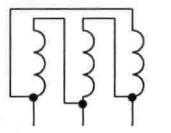
序号	新符号		旧符号	
	名称	图形符号	名称	图形符号
3	单相自耦变压器	形式1  形式2 	单相自耦变压器	单线  多线 
4	电抗器、扼流圈		电抗器	
5	电流互感器	形式1  形式2 	单次级绕组 电流互感器	单线  多线 



12.1.2 多绕组变压器及变流器的种类符号识别方法解读

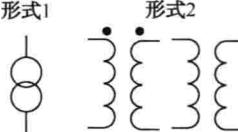
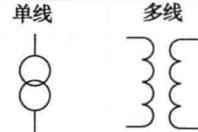
在电工电气电路图中，常用的多绕组电力变压器及变流器的基本种类及其电路图形符号如表 12-2 所示，供读识电气图纸时参考。

表 12-2 多绕组电力变压器的种类符号

序号	新符号		旧符号	
	名称	图形符号	名称	图形符号
1	三绕组变压器	形式1  形式2 	三绕组变压器	单线  多线 
2	三绕组变压器星形-三角形连接	形式1  形式2  	有铁芯的三相双绕组变压器绕组连接； 星形-三角形	单线  多线  
3	具有有载分接开关的三相变压器 星形-三角形连接	形式1  形式2  	可带负荷调整有铁芯的三相双绕组变压器绕组连接； 星形-三角形	单线  多线  



(续表)

序号	新符号		旧符号	
	名称	图形符号	名称	图形符号
4	变压器的铁芯	——	变压器的铁芯	——
5	双绕组变压器(黑点表示瞬时电压极性)	形式1 形式2 	双绕组变压器	单线 多线 



12.2 菜鸟学通单相电力变压器的基本结构与原理入门

菜鸟学
基本知
识入门

单相变压器是采用单相交流电源,用来改变单相交流电压的变压器,其容量一般都较小,通常用于控制和照明。

入门
解读

12.2.1 变配电系统常用单相电力变压器的基本结构解读

单相变压器根据铁芯的结构不同可分为芯式与壳式两大类,如图 12-1 所示。它们均由铁芯与线圈绕组两部分构成。

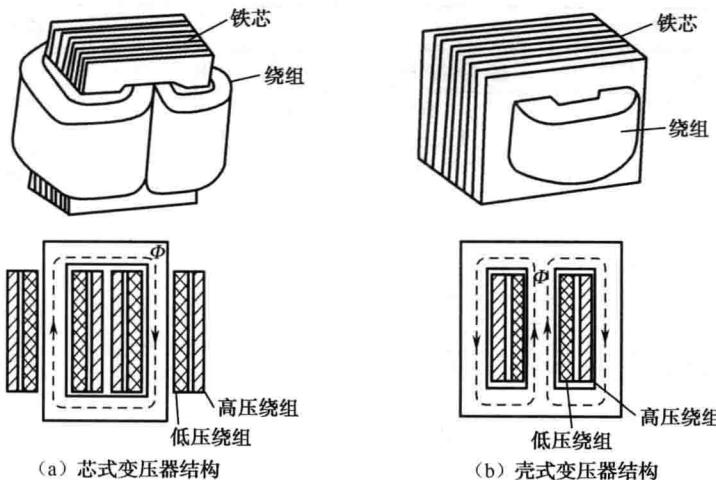


图 12-1 单相变压器结构示意图

1. 变压器的铁芯

铁芯用于构成变压器的磁路系统,且作为变压器的机械骨架。铁芯主要由铁轭与铁芯柱两部分组成,铁芯柱上套装着变压器线圈绕组,铁轭用于连接铁芯柱使磁路闭合。铁芯多采用不同厚度的硅钢片制成。芯式变压器是在两侧的铁芯柱上放置绕组,形成绕组包围铁芯的形式,如图 12-1 (a) 所示;壳式变压器则是将线圈放置在中间的铁芯柱上,也形成铁芯包围绕组的形式,如图 12-1 (b) 所示。



2. 变压器的线圈绕组

变压器的线圈绕组简称为绕组，是变压器的电路部分，小型变压器通常采用具有绝缘漆的漆包线绕制而成。容量稍大的变压器多采用扁铜线或扁铝线绕制而成。在变压器中，连接到高压电网的绕组称为高压绕组，与低压电网连接的绕组称为低压绕组。根据高压绕组与低压绕组的相互位置和形状不同，可分为同心式绕组与交叠式绕组两种。

1) 同心式绕组

同心式绕组是把高、低压绕组同心地套装在铁芯柱上，如图 12-2 (a) 所示。为了保证绝缘，通常将低压绕组套装在里层，高压绕组套装在外层。对于低压大电流、大容量的变压器，由于低压绕组引出线很粗，也可以将其放在外层。高、低压绕组之间留有间隙，可作为油浸式变压器的油道，既利于绕组散热，又可作为两绕组之间的绝缘。

同心式绕组根据其绕制方法的不同又可分为圆筒式、连续式及螺旋式等多种。同心式绕组结构简单、制作容易，在芯式变压器中应用较多，国产电力变压器大都采用该结构。

2) 交叠式绕组

交叠式绕组又称饼式绕组，它是把高压绕组与低压绕组分成若干个绕饼，沿着铁芯柱的高度交替排列着。为了加强绝缘，一般最上层与最下层设置低压绕组，如图 12-2 (b) 所示。

交叠式绕组具有漏抗小、机械强度高、引线方便等特点。适用于低电压、大电流的变压器上，如较大的电炉变压器、电阻电焊机（如点焊、滚焊、对焊电焊机等）变压器等。

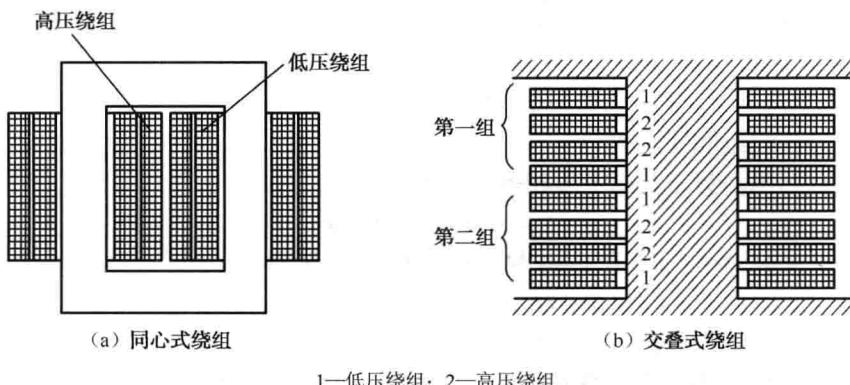


图 12-2 同心式与交叠式变压器绕组结构



12.2.2 变配电系统常用单相电力变压器的基本工作原理解读

单相变压器是根据电磁感应原理制成的。变压器有单相式和三相式，图 12-3 是单相变压器的工作原理示意图。

1. 变压器的空载运行

当变压器的一次绕组（原绕组或初级绕组）接上交流电压 U_1 时，二次绕组（副绕组或次级绕组）处于开路（即不接负载）状态时，称为空载运行，如图 12-3 中 SA 开关处于断开位置时的状态。

此时，一次绕组中有电流 I_1 通过。由于变压器没有接负载， I_1 称为空载电流或励磁电流。空载电流很小，约为额定电流的 2%~10%。根据电磁感应定律，空载电流 I_1 在铁芯中产生主磁通 Φ ，主磁通在原边绕组中产生自感电动势，其有效值为：

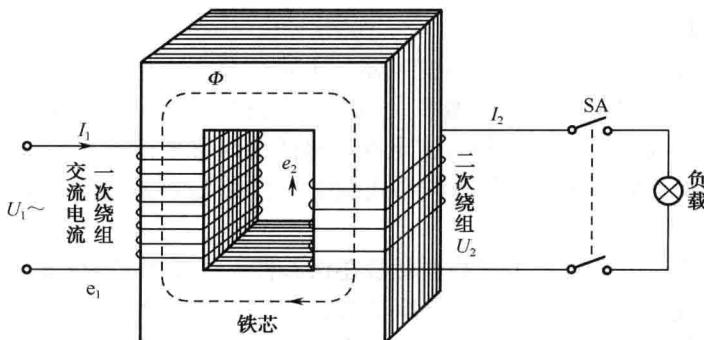


图 12-3 单相变压器工作原理示意图

$$e_1 = 4.44 \times f \times N_1 \times \Phi_m$$

式中 f —交流电源的频率；

N_1 —一次绕组线圈匝数；

Φ_m —主磁通的最大值。

如果忽略漏感电动势和绕组电阻不计，则可认为主磁通在一次绕组产生的自感电动势与电源电压相等，则有：

$$U_1 = e_1 = 4.44 \times f \times N_1 \times \Phi_m$$

同样，主磁通在一次绕组中产生自感电动势的同时，在二次绕组也产生自感电动势，其有效值为：

$$e_2 = 4.44 \times f \times N_2 \times \Phi_m$$

式中 N_2 —二次绕组线圈匝数。

二次绕组自感电动势与其端电压相等，则为：

$$U_2 = e_2 = 4.44 \times f \times N_2 \times \Phi_m$$

比较 $U_1 = e_1 = 4.44 \times f \times N_1 \times \Phi_m$ 和 $e_2 = 4.44 \times f \times N_2 \times \Phi_m$ 即可得到：

$$U_1/U_2 = e_1/e_2 = N_1/N_2 = K$$

式中 K —变压器的变压比， $K = N_1/N_2$ 。

由此可见，当变压器处于空载状态时，一次与二次绕组端电压与一次、二次绕组的匝数成正比。

(1) 当 $K > 1$ 时， $N_1 > N_2$ ， $U_1 > U_2$ ，这种变压器用于降压，通常称其为降压变压器。

(2) 当 $K < 1$ 时， $N_1 < N_2$ ， $U_1 < U_2$ ，这种变压器用于升高电压，通常称其为升压变压器。

由上分析可见，当变压器一次与二次绕组采用不同的匝数比时，就可以实现升压或降压的目的。

2. 变压器的负载运行

如果将图 12-3 中的开关 SA 置于接通位置，变压器处于带负载工作状态。当忽略漏感电动势和绕组电阻，可以认为变压器一次、二次绕组的感应电动势等于一次、二次绕组的端电压，通过推导同样可得到：

$$U_1/U_2 = e_1/e_2 = N_1/N_2 = K$$

上式表明，在有负载工作情况下，变压器一次、二次侧绕组的端电压与一次、二次绕组的匝数成正比，这与空载工作时得到的结论相同。

变压器在带负载工作时，一次绕组中有电流 I_1 通过，二次绕组和负载中有电流 I_2 通过，在



忽略绕组电阻和漏磁通等产生损耗的情况下，可认为变压器的输入功率等于输出功率，则有：

$$U_1 \times I_1 = U_2 \times I_2 \text{ 或 } I_1/I_2 = U_2/U_1 = N_2/N_1 = \frac{1}{K}$$

由此可见，变压器一次、二次绕组的电流大小与绕组的匝数成反比，即绕组匝数多的一侧电压高，匝数少的一侧电压低；同时也可知道，变压器还可以改变线路的电流，即匝数多的绕组电流小，匝数少的绕组电流大。

为了节省材料和提高变压器的效率，三相变压器通常是直接制成的，而不是用三只单相变压器来实现三相电源的电压。

菜鸟学
基本知
识入门

12.3 菜鸟学通三相电力变压器的基本结构与原理入门

三相变压器是三只单相变压器的组合，但共用一副铁芯，故其每一相的工作情况与单相变压器相同。



12.3.1 变配电系统常用三相电力变压器的基本结构解读

电力变压器一般由器身（铁芯、绕组、绝缘、引线及分接开关等）、油箱（油箱及放油阀门、小车、接地螺栓、铭牌等附件）、冷却装置（散热器或冷却器）、保护装置（储油柜、油位计、安全气道、吸湿器、测温元件、净油器、气体继电器等）和出线装置（高压套管、低压套管）等组成。如图 12-4 所示是油浸式电力变压器的结构示意图。

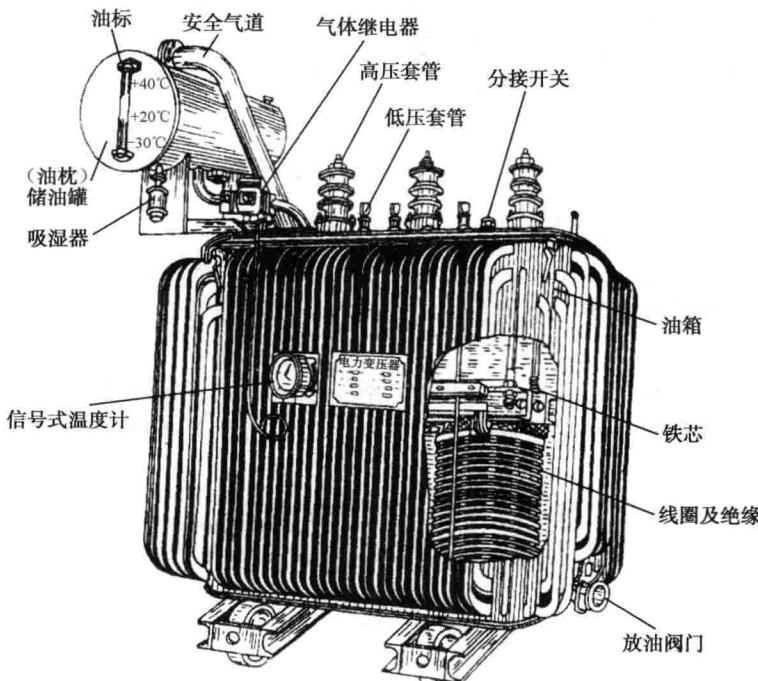


图 12-4 油浸式电力变压器的结构示意图



1. 变压器的铁芯

铁芯是变压器的磁路部分。为了减小铁芯中的磁滞与涡流损耗，铁芯由 0.35~0.5mm 厚的硅钢片叠成，硅钢片表面涂有绝缘漆或利用表面氧化膜使片间彼此绝缘。三相变压器的铁芯形状如图 12-5 (a) 所示，直立部分为铁芯柱，在柱上套着变压器的低压绕组和高压绕组；水平部分叫铁轭，用来构成闭合磁路。

2. 变压器的线圈绕组

变压器的绕组又叫线圈，是变压器的电路部分（如图 12-5 (b) 所示），分为原、副两种绕组。其中与电源连接的绕组称为原绕组，与负载连接的绕组称为副绕组。原、副绕组均是采用高强度绝缘物的铜线或铝线绕制而成的。三相变压器的每相原、副绕组都制成圆筒形套在同一铁芯柱上，匝数少的低压绕组套在里面，靠近铁芯；匝数多的高压绕组套在低压绕组的外面。这样放置是因为低压绕组对铁芯绝缘比较容易。低压绕组和铁芯柱之间及高压绕组和低压绕组之间都是用绝缘材料做成的套筒隔离，把它们可靠地绝缘起来。

为了便于散热，在高、低压绕组之间留有一定的间隙作为油道，使变压器油能够顺利流通。

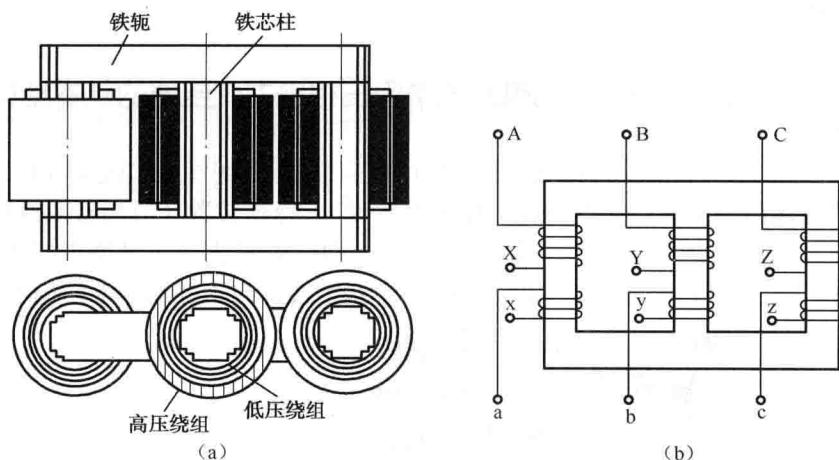


图 12-5 三相变压器的铁芯和绕组示意图

3. 变压器的无激磁分接开关

无激磁分接开关简称分接开关，是用于对变压比进行调整的装置，其接线图如图 12-6 所示。从变压器高压绕组尾端不同匝数的位置处抽出三个接线端，分别接到分接开关的不同触头上。

当电源电压发生变化时，转动分接开关，就可以改变高压绕组的匝数，从而改变变压器的变压比，使变压器的输出端尽量获得额定电压。利用分接开关能调整的电压范围是额定电压的 5%。

- (1) 电源电压为额定电压时，开关应置于“2”的位置。
- (2) 电源电压经常高于额定电压时，为保持输出电压为额定值，应将开关置于“1”的位置。
- (3) 当电源电压经常低于额定电压时，应把开关置于“3”的位置上。
由此就可使变压器输出的电压尽量保持在规定的范围内波动。
必须注意的是：对变压器电压的调整，应在断开变压器电源的情况下进行。

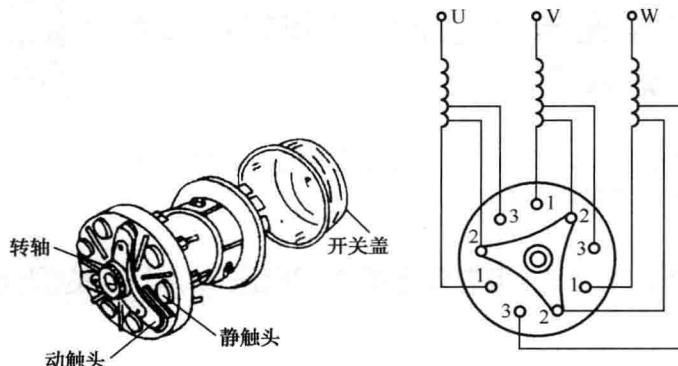


图 12-6 无激磁分接开关接线示意图

4. 变压器的套管

变压器绕组引出线是通过导杆与外电路相连，套管是导杆与箱盖之间的绝缘体，它起着绝缘和固定导杆的作用。套管有高压套管和低压套管两种。

5. 变压器的油箱

油箱是变压器的外壳、铁芯、绕组都装在里面，并充满变压器油。对于容量比较大的变压器，在油箱外面装有散热片或散热管。

变压器油是一种绝缘性能良好的矿物油，其作用有以下几方面：

(1) 起绝缘作用。变压器油的绝缘性能比空气好，绕组浸在油里可以提高各处的绝缘性能，并且避免和空气接触，预防绕组受潮。

(2) 起散热作用。利用油的对流，把铁芯和绕组产生的热量通过箱壁和散热管散发到外面。

变压器油以其凝固点不同而分为 10 号、25 号和 45 号三种规格，其凝固点分别为 -10°C 、 -25°C 、 -45°C ，一般应根据当地气候条件进行选用。

6. 变压器的油枕

油箱的顶上装有油枕。油枕的体积一般为油箱体积的 10% 左右，在油枕和油箱之间有管道连通。油枕的作用有以下几方面：

(1) 起储油和补油的作用，保证铁芯和绕组浸在油内。

(2) 可以减小油面与空气的接触面积，防止变压器油受潮和变质。

油枕的侧面有油标。在玻璃管的旁边，刻有油温在 -30°C 、 20°C 和 40°C 时的油面高度标准线，作为装油的标准。油枕上装有透气孔，以便油枕上部空间和大气相通。变压器油热胀冷缩时，油枕上部的空气通过透气孔出入，油面可以上升或下降，防止油箱变形或损坏。



12.3.2 变配电系统常用三相变压器的基本工作原理解读

三相变压器是三只单相变压器的组合，其工作原理是三相变压器中每一相的工作情况与单相变压器相同。



12.4 菜鸟学通电力变压器铭牌常用参数与术语入门



在电力变压器的铭牌上，都给出了该变压器的各种性能参数，常用参数与术语及其含义说明如下。



12.4.1 电力变压器额定电压 U_N 和 U_{2N} 的解读

二次侧额定电压 U_{2N} 是指，变压器一次侧外加额定电压 U_{1N} 时的二次侧空载电压值，单位为伏（V）或千伏（kV）。对于三相变压器来说，额定电压指的是线电压。



12.4.2 电力变压器额定容量 S_N 的解读

额定容量是电力变压器的额定视在功率，单位为伏安（VA）、千伏安（kVA）或兆伏安（MVA）。由于变压器效率高，通常将一、二次侧的额定容量设计得相等。



12.4.3 电力变压器额定电流 I_N 和 I_{2N} 的解读

根据额定容量和额定电压计算得到的线电流称为额定电流，单位为 A。

1. 对于单相变压器

单相变压器一、二次绕组的额定电流为：

$$I_{1N}=S_N/U_{1N} \quad I_{2N}=S_N/U_{2N}$$

2. 对于三相变压器

三相变压器一、二次绕组的额定电流为：

$$I_{1N}=S_N/\sqrt{3}\cdot U_{1N} \quad I_{2N}=S_N/\sqrt{3}\cdot U_{2N}$$



12.4.4 电力变压器的短路损耗和阻抗电压的解读

在额定频率下，用额定电流加到变压器的一侧绕组，将另一侧绕组连接成短路状。此时，变压器吸取的功率称为短路损耗，以 W 或 kW 表示，所加的电压即为阻抗电压，通常将其与额定电压之比的百分数来表示。



12.4.5 电力变压器的空载电流和空载损耗的解读

用额定交流电压加到变压器的一侧绕组两端，将其他绕组开路，此时，变压器吸取的功率就称为空载损耗，单位为 W 或 kW，所加电压的绕组吸取的电流即为空载电流。


**入门
解读**

12.4.6 电力变压器的连接组标号特征的解读

连接组标号是表示变压器各相绕组的连接方法和相量关系的符号。三相变压器共有 6 个绕组，如图 12-7 (a) 所示。三相变压器绕组有两种基本连接方式，即星形或三角形连接方式。

1. 三角形连接

三角形连接一次侧用 D、二次侧用 d 表示（老式的一、二次侧均用 Y 表示）。

2. 星形连接

星形连接一次侧用 Y、二次侧用 y 表示（老式的一、二次侧均用 Y 表示）。由中点引出一次侧用 Y_N 、二次侧用 Y_n 表示（老式一、二次侧均用 Y_0 表示）。

当一次绕组接成星形或三角形并接到三相交流电源时，三相绕组中的感应电动势的相序就互差 120° ，如图 12-7 (b) 所示。

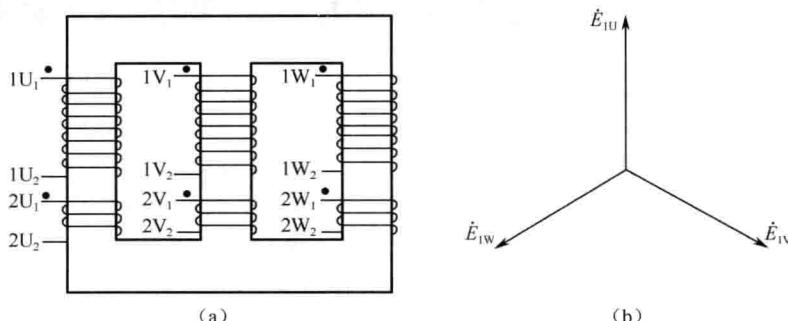


图 12-7 三相变压器的极性示意图

变压器的连接组别一般采用时钟表示法。由于一次侧与二次侧对应的线电压之间的相位差总是 30° 的整倍数，故正好和钟面上小时数之间的角度一样。如果把一次侧线电压的相量作为分针，将分针固定在 12 上，把二次侧相应的线电压的相量作为时针，看时针指在几点钟的位置上，就以这钟点作为该连接组的组号。例如，若将一次绕组作星形连接，二次绕组也作星形连接，绕组的绕线方向和线端标记均相同（如表 12-3 第一栏中所示），则绕组相对应的线电压相位差为零。在钟表盘上两侧线电压的相量均指在 12 上，故这种连接标号为 12，以 Y、 Y_0 表示（老式以 Y、 Y_{12} 表示）。双绕组三相变压器常用连接组如表 12-3 所示。

表 12-3 双绕组三相变压器常用连接组

绕组连接		相量图		连接组标号
高压	低压	高压	低压	
$1U_1$ $1V_1$ $1W_1$ $1U_2$ $1V_2$ $1W_2$	$2U_1$ $2V_1$ $2W_1$ $2U_2$ $2V_2$ $2W_2$	\dot{U}_{1U} \dot{U}_{1W} \dot{U}_{1V}	\dot{U}_{2U} \dot{U}_{2W} \dot{U}_{2V}	Y_{y00} (Y/Y_0-12)



(续表)

组组连接		相量图		连接组标号
高压	低压	高压	低压	
				Y_{d11} (Y/ Δ -12)
				Y_{Nd11} (Y/ Δ -11)



12.4.7 电力变压器的同极性端（同名端）的解读

在确定变压器的连接组标号之前，先要搞清绕组的极性。如图 12-8 (a) 所示的单相变压器，一、二次绕组绕向相同，如果把上端定义为绕组的首端，分别用 $1U_1$ 和 $2U_1$ (老式用 A 和 a 表示) 表示，将下端作为末端，分别用 $1U_2$ 和 $2U_2$ (老式用 X 和 x 表示) 表示。当一次绕组接上交流电源时，变压器一、二次绕组中都产生感应电动势，通常将电动势方向相同的端称为同极性端（又称为同名端），用“●”符号表示。图 12-8 (a) 中的 $1U_1$ 与 $2U_1$ 端即为同名端， $1U_2$ 与 $2U_2$ 端也为同名端。假如两绕组的绕向相反，如图 12-8 (b) 所示，若绕组的首末端标记不变，此时的 $1U_1$ 与 $2U_2$ 端为同名端， $1U_2$ 与 $2U_1$ 端也为同名端。

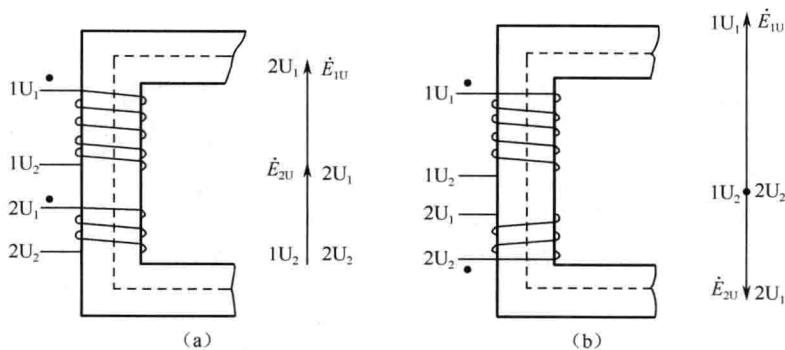


图 12-8 单相变压器的极性示意图

由上分析可以看出，同极性端（即同名端）的极性（同为正或同为负）与变压器的绕组的绕向有关。因此，对变压器的接线进行连接时，一定要先弄清变压器的引出脚极性。

12.5 菜鸟学通电压互感器的结构与基本特点入门

常见的电压互感器外形示意图如图 12-9 所示。电压互感器又

菜鸟学
基本知
识入
门





称为仪用变压器，是一种电压变换装置。在高电压的交流电路中，用于将高电压转变为低电压（通常为100V），作为测量仪表、继电保护装置及指示电路的电源。

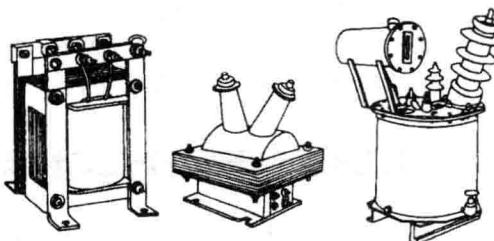


图 12-9 常见电压互感器外形示意图

入门解读



12.5.1 电工常用电压互感器的基本结构特点解读

电压互感器的工作原理、构造和接线方式与变压器均相同（电压互感器连接方法示意图如图12-10所示），主要区别是电压互感器的容量很小，通常只有几十伏安或几百伏安，并且在大多数情况下，其负载是恒定的高阻抗，相当于变压器在低负载下运行，二次侧电压基本等于二次侧感应电动势。因此，用电压互感器间接测量电压时能准确反映高压侧的状态，保证测量精度。

无论电压互感器一次侧电压多高，其二次侧额定电压一般都是100V。因此，与电压互感器次级线圈相连的各种仪表和继电器，都可以统一制造而实现标准化。

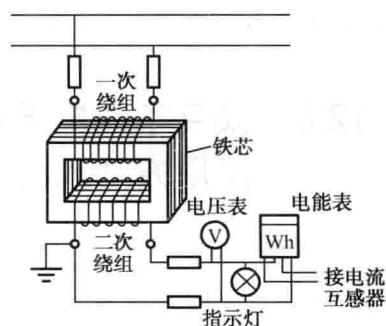


图 12-10 电压互感器连接方法示意图

入门解读



12.5.2 电工常用电压互感器电压误差的解读

理想的电压互感器励磁电流为零，线圈的阻抗可忽略不计，一、二侧电压比等于其匝数比，相位也没有偏移。

但是，实际的电压互感器中总是存在一定的励磁电流及线圈阻抗，因此，必然会产生电压误差和相位误差。根据允许误差范围，电压互感器可分为4个精度等级。电压互感器的精度等级与最大允许误差如表12-4所示。

表 12-4 电压互感器的精度等级与最大允许误差

精 度 等 级	最 大 允 许 误 差		备 注
	电 压 误 差 (%)	相 位 误 差 (分)	
0.2	±0.2	±10	
0.5	±0.5	±20	
1	±1	±40	
3	±3	未规定	当负载从额定值的25%变至100%、初级电压从额定值的90%变至110%且 $\cos\varphi=0.8$ 时，电压互感器的误差不应超过表内对应值



电压互感器的每种精度等级都对应额定的容量，因此，同一电压互感器按其次级负载的大小可以在不同的精度等级下工作。

例如，JDZJ-10型电压互感器，在负载功率因数 $\cos\varphi=0.8$ 的情况下，精度等级为0.5级，其使用容量为50VA；若精度等级为1级，则使用容量为80VA；精度等级为3级时对应使用容量为200VA；如果不考虑精度等级，仅需满足允许发热条件，则它的最大容量为400VA。



12.5.3 电工常用电压互感器二次绕组基本结构的解读

电压互感器在正常运行时，由于二次侧负载是一些仪表和继电器的电压线圈，这些负载的阻抗一般很大，基本上相当于变压器的空载状态。

而电压互感器本身通过的电流很小，它的大小取决于二次侧负载阻抗的大小。由于电压互感器本身的阻抗很小，容量不大，当电压互感器二次侧发生短路时，二次测电流很大，由此就会使二次侧所串的熔断器熔断，从而会影响到仪表的正确指示和保护电路的正常工作。

如果当二次侧所用的熔断器容量选择不当，一旦电压互感器二次侧发生短路，而熔断器又不能及时熔断时，就极容易导致电压互感器损坏。



12.6 菜鸟学通电压互感器的选择与安装 使用方法入门

菜鸟应
用技
能入
门



选择电压互感器，一般主要应从额定电压比、准确度等级与所用仪表这几个方面进行考虑。



12.6.1 电工常用电压互感器额定电压比的选择方法解读

应根据被测电压的高低选择电压互感器的额定电压比，也就是所选用的电压互感器的一次侧额定电压应与被测电压相适应，且应高于后者。与电压互感器配套使用的测量仪表一般应为100V的交流电压表。通常使用的板式电压表是按电压互感器一次侧额定电压刻度的，这类仪表上大多注明了所需配用的电压互感器的规格，故可以依据此选择相应的电压互感器。



12.6.2 电压互感器准确度等级与使用仪表的选择方法解读

所选择的电压互感器的准确度等级应满足实际要求或规定。电压互感器二次侧所选择的仪表，其消耗的总功率不得超过电压互感器的额定容量。否则，会增大误差。



12.6.3 电工常用电压互感器的安装与使用方法的解读

电压互感器的安装与使用时通常应注意以下几方面的问题。



1. 二次侧一端要接地

电压互感器的二次侧有一端必须接地，这主要是为了防止其一、二次绕组间绝缘击穿时，一次侧的高电压窜入二次侧，危及人身和设备的安全。

2. 要有短路保护措施

电压互感器的一、二次侧一般都应装设熔断器作为短路保护，同时其一次侧应装设隔离开关作为检修用。但作为移相电容器放电用的电压互感器一次侧，不得装熔断器，这是由于移相电容器的安全放电要求所致。

3. 二次侧不许短路

电压互感器的一次绕组并联在高压电路中，二次绕组与测量仪表、继电器保护装置、指示电路等并联。在运行中的电压互感器二次侧不允许短路，否则会烧毁二次绕组。为了防止短路，避免短路电流的破坏作用，在电压互感器的一次侧和二次侧都要装有熔断器。

4. 二次回路的电压降

电压互感器二次回路的电压降一般不应超过 0.5%，接用 0.5 级电能表时则不得超过 0.25%。

另外，电压互感器的铁芯和外壳也必须可靠接地，以免电压互感器的绝缘被击穿时，造成仪表的破坏或危及人体安全。

12.7 菜鸟学通电流互感器的基本类型与结构特点入门

菜鸟学
基本知
识入门



常用的电流互感器外形示意图如图 12-11 所示。电流互感器又称仪用变流器，是一种电流变换装置，它将高压大电流或低压大电流转换成低压小电流，以供测量仪表、继电保护装置及指示电路使用。

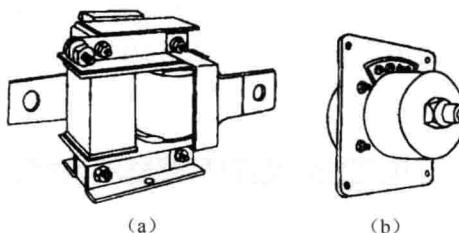


图 12-11 电流互感器外形示意图

入门
解读



12.7.1 电工常用电流互感器的基本类型解读

电工常用电流互感器根据其分类方式的不同可分为各种类型。

1. 根据线圈的匝数分类

根据线圈的匝数分类，电流互感器可分为：单匝式（母线式、心柱式、套管式）和多匝式（线圈式、线环式、串级式）两种。

2. 按一次侧电压分类

根据加到一次侧电压的不同进行分类，电流互感器可分为：高压和低压两大类。



3. 按准确度分类

按准确度分类，电流互感器可分为：0.2、0.5、1、3、10共5个等级。

单匝式电流互感器通常只用在电流较大的一次电路中。



12.7.2 电工常用电流互感器的基本结构与特点解读

电流互感器的初级线圈匝数很少（通常称为一次绕组），串联在主电路（被测电路）中，而次级线圈匝数很多（通常称为二次绕组）与仪表或继电保护装置、指示电路等连接。电流互感器具体连接方法示意图如图12-12所示。电流互感器的工作原理与变压器基本相同。

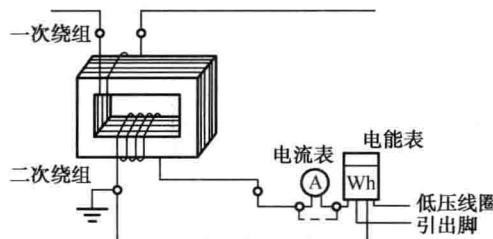


图12-12 电流互感器连接方法示意图

12.8 菜鸟学通电流互感器的选择与使用方法入门

菜鸟应用技能入门



电流互感器一次绕组的电流取决于原电路的负载电流，与二次绕组所接负载无关。二次绕组的电流随原电路负载电流的变化而改变，因此可通过连接的仪表测出被测电路的电流。



12.8.1 电工常用电流互感器的选择方法解读

选择电流互感器时，应考虑电动机与配电柜之间的距离，安装时应采取必要的安全措施，电流互感器的安装选用还应遵循以下原则。

1. 电流互感器的一次侧额定电流

所选电流互感器的一次侧额定电流，应为线路正常运行时负载电流的1.0~1.3倍。

2. 电流互感器的额定电压

所选电流互感器的额定电压应为0.5kV或0.66kV。

3. 电流互感器的精度等级

电流互感器若用于仪表测量，应选用精度等级为0.5级或0.2级；若负载电流变化较大，或者正常运行时负载电流低于电流互感器一次侧额定电流30%，应选用0.5级。

4. 电流互感器的匝数和变比

可根据实际需要来确定电流互感器的变比和线圈的匝数。



5. 电流互感器的型号规格

当根据供电线路一次侧负荷电流确定变比后，再根据实际安装情况确定电流互感器的型号。

6. 电流互感器的额定容量

电流互感器二次侧额定容量要大于实际二次侧负载，实际二次侧负载应为 25%~100% 二次侧额定容量。容量决定二次侧负载阻抗，负载阻抗又影响到测量或控制的精度。负载阻抗主要受测量仪表和继电器线圈电阻、电抗及接线接触电阻、二次侧连接导线电阻的影响。

在实际应用中，若电动机的过载保护装置需接至电流互感器，应将计量（控制）装置与保护装置分开，以免影响保护的可靠性。

**入门
解读**



12.8.2 电工常用电流互感器的正确使用方法解读

正确使用电流互感器通常应注意以下几个方面的问题。

1. 电流互感器二次回路不能开路

电流互感器二次回路在工作时绝对不能开路，因为二次侧开路时其电流为零，故不能产生磁通去抵消一次侧磁通的作用，而二次侧能感应 1000V 左右的电压，这一高压危及人身和设备的安全，并且电流互感器本身的铁芯也会严重发热。因此，在拆卸仪表时，必须要先将电流互感器的二次线圈短接。

2. 二次侧一端要接地

电流互感器二次侧的一端必须接地，以防止其一、二次线圈之间的绝缘击穿时，一次侧上的高电压窜到二次侧，危及人身和设备的安全。

菜鸟入门要诀



电流互感器在连接时，要注意其一、二次线圈接线端子上的极性。电流互感器一、二次线圈的接线端子上，都用“±”或字母标明了极性。我国一般用 L_1 和 L_2 标明一次线圈端脚，用 K_1 和 K_2 标明二次线圈端脚。 L_1 与 K_1 为同一个极性， L_2 与 K_2 为同一个极性。所谓“同极性”，就是在同一瞬间这两端同为高电位或同为低电位。如某一瞬间， L_1 比 L_2 电位高，则同一瞬间， K_1 也比 K_2 电位高。作为电流互感器，从电流方向来看，如果某一瞬间一次侧电流 I_1 是从 L_1 流向 L_2 ，则二次侧电流 I_2 则由 K_2 流向 K_1 。这种极性的标号法，也叫“减极性”标号法。接线时，一定要注意其极性的标号。否则，二次侧所接仪表、继电器所通过的电流，不是正常的电流，严重时会造成事故。



菜鸟学通电气照明基本技能入门

照明是人们工作、生活中不可缺少的物质条件之一。各种场合对照明的不同要求是由各类照明器来实现的。照明器由光源与灯具两部分构成。目前，广泛应用的光源是电光源，灯具包括灯座、灯罩及其相关附件。选择照明器时，应遵循节约、高效、合理、安全的原则。本章介绍菜鸟学通电气照明基本技能。

13.1 菜鸟学通照明线路与电源的选择方法入门

菜鸟应用技能入门



照明线路的供电，既可以是单相供电（线路上的电气设备工作电流 $\leq 30A$ 时），又可以是三相四线制供电（线路上的电气设备工作电流 $>30A$ 时）。如果采用三相四线制供电，则应力求每相的负荷均衡。



13.1.1 照明线路供电的选择方法解读

对于照明线路供电的选择，通常可从以下几个方面来考虑。

1. 灯数较多

对于灯数较多的荧光灯照明装置，可采用两相或三相供电方式，如采用三相供电，可将荧光灯分别接于各相，以减小频闪效应。必须指出，除医院手术室和某些有特殊需要的场所外，同一室的灯具与单相插座均要由同一电源供电，以免发生事故。

2. 动力设备的插座

室内动力设备和仪器等专用的插座，应用单独的线路供电，且线路上应设置有控制开关。应急照明（附带蓄电池的应急照明除外）、值班照明、太平灯和路灯等应装在与工作照明分开的线路上。



13.1.2 电气照明线路的设计与计算方法的解读

设计一般照明线路通常应考虑以下几个方面的问题。



1. 支线、干线的计算方法

支线、干线可以分为放射式或树干式。支线、干线的功率和电流可按下述方法进行计算。

1) 白炽灯电流的计算

$$I=P/U$$

式中 I ——电流，单位为 A;

P ——白炽灯的功率，单位为 W;

U ——电源电压，单位为 V。

2) 荧光灯电流的计算

对荧光灯电流的计算，可按上式计算后，再乘以 1.2 即可。

3) 照明干线的功率和电流

计算照明干线的功率和电流时，应考虑利用系数，其值可由电工手册或一般电工参考书中查取。

4) 三相电源

当采用三相电源时，应使三相负荷分配均匀；如果分配不均，则应根据最大一相的负荷来计算干线的功率和电流。

2. 分支线方面

1) 最大负荷电流

分支线的最大负荷电流最好不要超过 15A，分支线的供电半径不应超过 30m，每一分支线的灯头数（一个插座也算作一个灯头）一般在 20 个以内；最大负荷电流在 10A 以下时可增至 25 个。

2) 路径

分支线的路径应尽量短，尽量避免沿凸出的梁和柱子敷设，并减少穿墙次数，同时与生产机械及冷、热水管和暖气管道等要保持一定的距离。

3) 供电负载

配电盘由三相电源供电时，各分支线的负载应保持三相平衡；电热设备应由独立的分支线供电，以便电热设备一旦发生故障，可缩小事故范围；如果电热设备的负荷电流在 15A 以上时，插座应加装熔断器。

4) 分支线

重要房间和次要房间可分别由独立的分支线供电；如果插座电路装有漏电保护器或插座较多，可专门敷设一条分支线对其供电。



13.1.3 企业电气照明电源的选择方法解读

企业照明的电源，一般可根据照明种类或照明方式来进行选择，通常可以根据以下几种情况来考虑。

1. 正常照明

对于正常照明，通常与电力负荷合用变压器，但不宜与较大冲击性电力负荷合用。如一定要合用，则应校核电压波动值。照明容量较大而又集中的场所，如果电压波动或电压偏移过多，会严重影响照明质量和灯泡的使用寿命。对此，在技术、经济合理的前提下，可设置照明专用变压器或调压装置。



2. 备用照明

对于备用照明，可按一级负荷供电。疏散照明，最好由单独的专用变压器供电。如果只装有一台变压器，可在母线处或建筑物进线处与正常照明的供电线路分开，另设专用供电线。一旦正常照明因故障熄灭后，应急照明电源应自动投入，但是，如果有专人值班，也可采用手动切换。

3. 厂区道路照明

对于厂区道路照明，可以集中由一个车间变电所供电，也可分别由几个车间变电所供电，但尽可能在一处集中控制（手动或自动控制），控制地点应设置在有人值班的地方。

4. 其他场所照明

(1) 露天工作场所、露天堆物场所的照明，可由道路照明线路供电，也可从附近有关建筑物的进线处接电。

(2) 移动式或非固定式照明，可由电力或照明线路供电。

(3) 机床或固定式工作台等的固定局部照明，可由电力线路供电。

13.2 菜鸟学通照明电光源的选择和灯具的安装方法入门

菜鸟应用技能入门



常用的照明光源有荧光灯、白炽灯、高压气体放电灯（荧光高压汞灯、高压钠灯、金属卤化物灯）等。当悬挂高度在4m以下时，可采用荧光灯；当悬挂高度在4m及其以上时，可采用高强气体放电灯或白炽灯。



13.2.1 根据环境选择电气照明电光源的方法解读

各种电光源的适用场所如表13-1所示，可以根据实际场所需要照明情况进行选用时参考。

表13-1 各种电光源的适用场所及举例

光源名称	适用场所	举例	光源名称	适用场所	举例
白炽灯	<ul style="list-style-type: none">① 照明开关频繁，要求瞬时起动或避免频闪效应的场所② 识别颜色要求较高或艺术需要的场所③ 局部照明、事故照明④ 需要调光的场所⑤ 需要防止电磁波干扰的场所	<ul style="list-style-type: none">住宅、旅馆、饭馆、剧场、办公室、层高较低及照度要求也较低的厂房、仓库、矿山、巷道及小型建筑等	荧光高压汞灯	<ul style="list-style-type: none">① 照度要求较高，但对于光色无特殊要求的场所② 有振动的场所（自镇流式高压汞灯不适用）	<ul style="list-style-type: none">大中型厂房、仓库、露天堆场及作业场所、厂区道路或城镇一般道路等



(续表)

光源名称	适用场所	举例	光源名称	适用场所	举例
卤钨灯	① 照度要求较高，显色性要求较好，且无振动的场所 ② 要求频闪角小 ③ 需要调光	剧场、大礼堂、装配车间、精密机械加工车间	金属卤化物灯	高大厂房，要求照度较高，且光色较好场所（指较大功率的卤化物灯，小功率卤化物灯不受此限）	大型精密产品组装车间、体育场等
荧光灯	① 悬挂高度较低（约6m以下）要求照度又较高者（约100m以上） ② 识别颜色要求较高的场所 ③ 在无自然采光和自然采光不足而人们需要长期停留的场所	住宅、旅馆、饭馆、商店、办公室、学校、医院，层高较低但照度要求较高的厂房、理化计量室、精密产品装配和控制室等	高压钠灯	① 高大厂房，照度要求较高，但对光色无特别要求的场所 ② 有振动的场所 ③ 多烟尘场所	铸钢车间、铸铁车间、冶金车间、机加工车间、露天工作场地、厂区或乡镇主要道路、广场或港口等



13.2.2 电气照明灯具在室内空间位置的确定方法解读

灯具的布置方式和安装高度，应从满足工作场所照度的均匀性、亮度的合理分布，以及眩光的限制等方面考虑。

灯具的布置是确定灯具在室内的空间位置。它对光的投射方向、工作面的照度、照度的均匀性、眩光阴影限制及美观大方等方面均有直接的影响。

1. 灯具的布置方法

灯具的布置应根据工作的分布情况、建筑物的结构形式和视觉的工作特点进行。有的偏重于建筑空间的照明均匀度（如办公场所、计算机房等）；有的偏重于照明的装饰美化效果（如厅堂、宾馆等照明只要求亮度，不考虑其均匀性）；有的则只注重照明的局部场所（如工作台等）；有的需要进行统筹考虑，对亮度、均匀性、装饰性等都要兼顾到。

2. 灯具的悬挂高度确定方法

一般敞开式的灯具、灯头对地面距离不应小于表13-2中所示要求（采用安全电压除外）。

表 13-2 灯具、灯头对地距离参考数值

灯具位置	室外	厂房	室内	软吊线带升降器
距离(m)	2.5	2.5	2	0.8（指吊线展开后的尺寸）

如遇到特殊情况难以满足上述要求时，可采取一定的保护措施或改用36V的安全电压供电。保护措施通常有以下几方面：

- (1) 不允许使用开关的灯口。
- (2) 不得将导线直接焊在灯泡的接点上。
- (3) 当使用螺口灯头时，铜口不得外露。为了安全可靠，在螺口灯头上应另加防护环或使用带保护环（也称喇叭口）的螺口灯头。



13.2.3 电气照明灯具安装方式的选择方法解读

照明灯具的安装分为室内和室外两种情况。室内灯具的安装方式，应根据设计施工的要求确定，常见的有悬吊式（也称为悬挂式）、嵌顶式（也称为吸顶式）及壁式等几种。



13.2.4 路灯照明安装高度的确定方法解读

路灯安装高度应考虑限制眩光、保持路面照度均匀和便于维修。一般情况下，可参照以下数据安装路灯。

1. 主干路和交叉路口

在主干路和交叉路口，采用 125~250W 高压水银荧光灯时，悬挂高度不宜低于 5m；采用 400W 高压水银荧光灯或 250~400W 高压钠灯时，不宜低于 6m。

2. 次要道路

对于次要道路，采用 60~100W 白炽灯或 50~80W 高压水银荧光灯时，悬挂高度可在 4~6m。

3. 厂区道路

对于厂区道路照明的灯杆间距，一般为 30~40m；当路灯与电力线路共杆时，应取较大的挡距。

4. 其他方面

当路灯以支架或悬臂吊挂在道路上空时，支架或悬臂长度，应根据提高照明质量、避免树木遮挡灯光这一原则来确定，一般为 1.5~3.5m。



13.3 菜鸟学通电气照明线路的安装方法 入门

菜鸟应用
技能
入门



照明线路的安装，主要是将照明线路敷设到需要设置照明灯（或插座）的位置，下面对敷设线路时各种零件安装方法及线路导线的布线方法说明如下。



13.3.1 电气照明路灯安装位置的选择方法解读

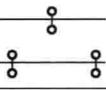
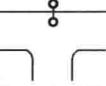
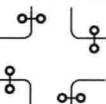
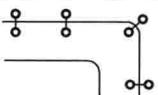
室外照明多采用单侧布灯。当路面宽度大于 9m 或照度要求较高时，可在道路两侧对称布灯或交叉布灯。当道路狭窄又位于建筑物外侧时，也可在建筑物外墙面上布灯。几种常用布灯方式及其适用条件如表 13-3 所示。

表 13-3 常用布灯方式及适用条件

路灯布置式	图例	适用条件
单侧布灯	○ ○ ○ _____	路面宽度不大于 9m 或照度要求不高的电路



(续表)

路灯布置式	图例	适用条件
两侧交叉布灯		路面宽度大于9m或照度要求较高的道路
丁字路口布灯		运输频繁的丁字路口
十字路口布灯		运输频繁的十字路口
弯道布灯		道路弯曲处(一般在弯道外侧布灯,在曲率半径小的弯道上,布灯的纵向间距适当缩小)



13.3.2 电气照明常用荧光灯的安装方法解读

电气照明常用荧光灯分为直管形、环形和U形等多种形式，其接线和安装方法如下。

1. 由两线镇流器构成的荧光灯电路

如图13-1所示是由两线镇流器构成的荧光灯电路。这是一种最基本的荧光灯电路，应用范围相当广泛，大部分荧光灯均采用该电路。

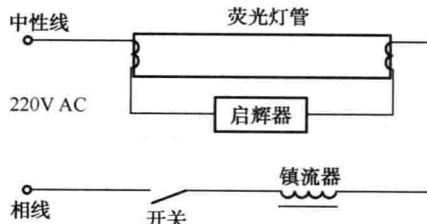


图13-1 由两线镇流器构成的荧光灯电路

2. 由四线镇流器构成的荧光灯电路

如图13-2所示是一种由4个引出线镇流器组成的荧光灯电路。该电路应用也十分广泛。四线镇流器有4根引出线，分主、副线圈两组。

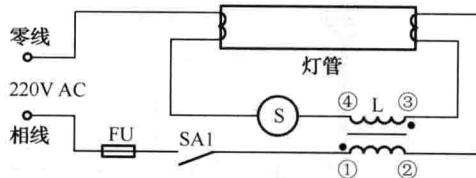


图13-2 四线镇流器组成的荧光灯电路图

(1) 主线圈。四线镇流器的①、②脚间绕组为主线圈，主线圈两根引出线的连接方法与两引线镇流器的连接方法是一样的，串联在右端灯管灯丝的一端与电源之间。



(2) 副线圈。四线镇流器的③、④脚间绕组为副线圈，副线圈的两根引线串联在启辉器与右端灯管灯丝的另一端，以帮助荧光灯的起动用。

3. 环形荧光灯与U形荧光灯电路

环形荧光灯的接线原理图如图13-3所示。U形荧光灯的接线原理图如图13-4所示。

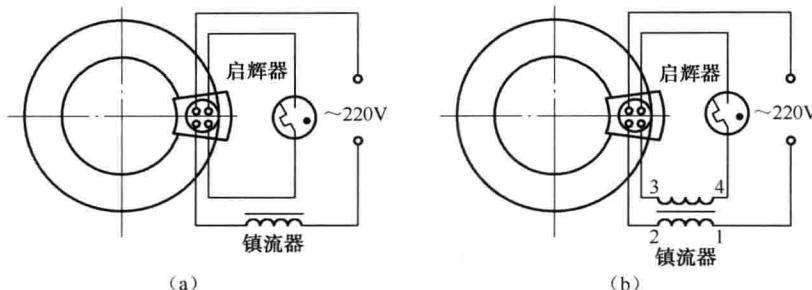


图 13-3 环形荧光灯的接线原理图

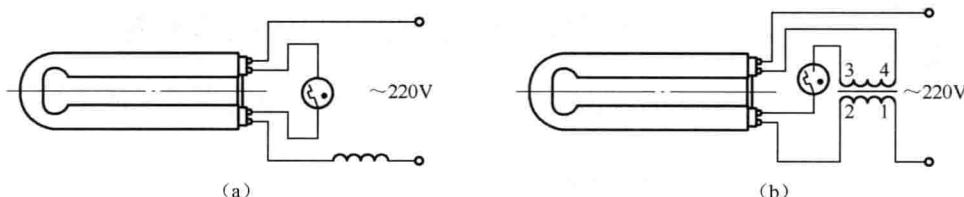


图 13-4 U 形荧光灯的接线原理图

4. 荧光灯安装方法

荧光灯通常采用吸顶式和吊链式安装方式。吸顶式和吊链式荧光灯的安装示意图如图13-5所示。但应注意：

- (1) 镇流器。镇流器必须和电源电压、荧光灯功率相匹配，不可混用。
- (2) 启辉器。启辉器的规格应根据荧光灯的功率大小来决定。启辉器应安装在灯架上便于检修的位置。

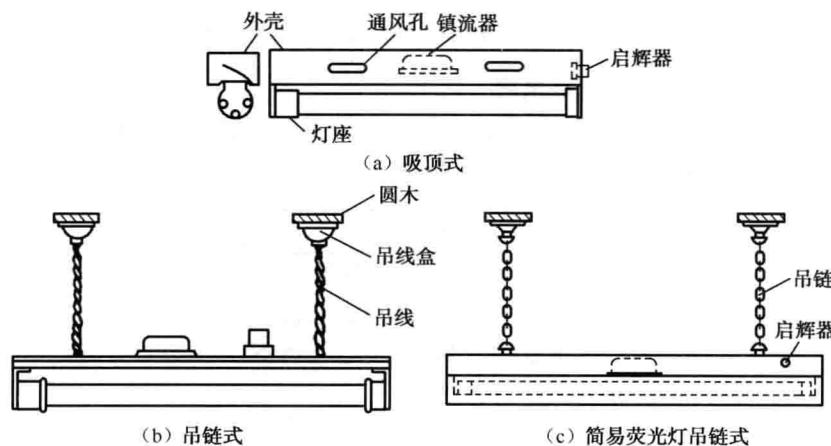


图 13-5 吸顶式和吊链式荧光灯安装示意图



(3) 灯座。应注意防止灯座松动而使荧光灯跌落。此时，可采用弹簧灯座，或者将荧光灯与灯架扎牢。

入门 解读

13.3.3 电气照明常用H形荧光灯的安装方法解读

H形荧光灯与普通荧光灯一样，也是一种预热式阴极气体放电灯。H形荧光灯主要是由两根平行玻璃管、三螺旋状阴极（即灯丝）和灯头等构成的，如图13-6(a)所示。H形荧光灯的灯头内装有启辉器，因而用户不需另装启辉器，从而简化了外部的线路。H形荧光灯的安装电路如图13-6(b)所示。

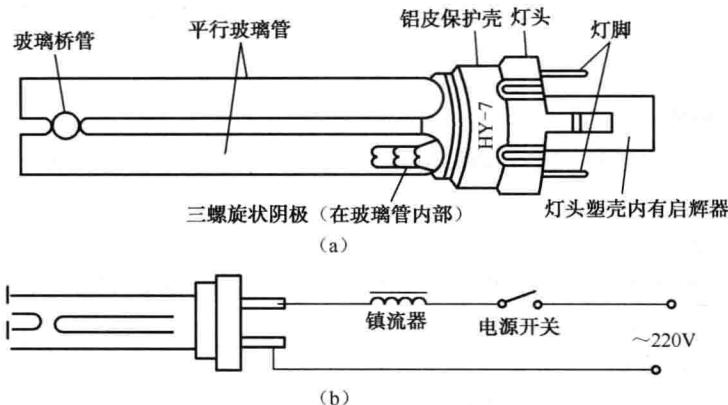


图13-6 H形荧光灯的构造示意图及电路

H形荧光灯所使用的镇流器一般是通用的，即无论是7W、9W还是11W灯管都用同一种镇流器，没有规格区别。这种镇流器体积较小，通过电流较大，故在较长时间工作后温升较高，尤其在夏天更为严重。当环境温度为32℃时，镇流器温度可升至70℃左右，用手摸感到较烫，但仍属允许范围。



13.4 菜鸟学通照明常用电子节能灯结构与原理入门

菜鸟学 基本知 识入门

电子节能灯主要由电子镇流器为核心组成，已广泛应用于各种荧光灯电路中，它具有低电压起动（辉）、无频闪、无噪声、高效节能、开灯瞬间即亮等特点。



入门 解读

13.4.1 照明常用电子节能灯电路基本组成的解读

电子镇流器型号繁多，但电路模式简单，大同小异，如图13-7所示是一种典型的电子镇流器电路原理图。该电子镇流器电路主要由以下三部分组成。

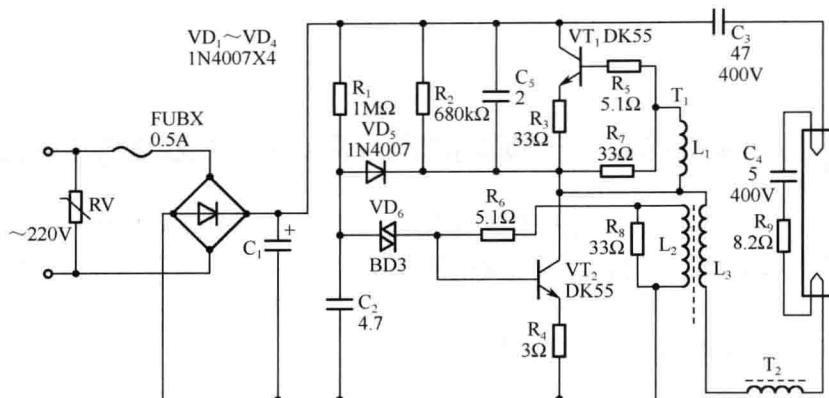


图 13-7 典型的电子镇流器电路原理图

1. 整流滤波电路

图 13-7 所示电路中的桥式整流滤波电路主要由 4 只整流二极管 $VD_1 \sim VD_4$ 和滤波电解电容 C_1 组成。

2. 高频开关振荡电路

高频开关振荡电路主要由电阻 R_1 、电容 C_2 、双向触发二极管 VD_6 、三极管 VT_1 和 VT_2 及环形磁芯的脉冲变压器 T_1 等构成。

3. 输出负载谐振电路

输出负载谐振电路主要由扼流线圈 T_2 、谐振电容 C_4 及隔离电容 C_3 等共同构成。



13.4.2 照明常用电子节能灯电路基本工作原理的解读

220V 交流电压，经 $VD_1 \sim VD_4$ 桥式整流电路整流、 C_1 电容滤波后，得到约 300V 左右的直流电压，分成多路提供给后级电路作为工作电源。其中有一路经电阻 R_1 给电容 C_2 进行充电，随着充电电荷的增加，当 C_2 两端电压超过双向二极管 VD_6 的触发电压（31V 左右）时， VD_6 管导通，触发振荡电路开始高频振荡。

在高频振荡电路中，振荡变压器 T_1 的三个线圈（ $L_1 \sim L_3$ ）穿绕在同一磁芯上，以满足振荡需要的正反馈条件。

一旦振荡电路启振工作以后， VT_1 、 VT_2 两只振荡管会轮流导通，从而产生 25kHz 频率的振荡信号。振荡电压通过 T_2 及 C_4 、 R_9 等组成的串联谐振电路，得到高频脉冲高压，使荧光灯被驱动发光。

13.5 菜鸟学通发光二极管 LED 照明灯具的选择方法入门

菜鸟
应用
技能
入门



LED 照明灯具是 LED 灯具的统称，是一种绿色环保节能型照明器具，由于其为固体照明器件，不含汞，封装材料为环氧树脂，即使损坏丢弃，也不会给环境造成污染，故其应用范围将会越来越广泛。


**入门
解读**
13.5.1 常见发光二极管 LED 照明灯具的组成特点解读
1. 发光二极管 LED 照明灯具的组成

LED 照明灯主要有大功率与小功率应用两大类，但无论是采用哪一种功率应用方式，其一般多由电源、发光二极管 LED 驱动器、发光二极管 LED、透镜与基板等部分构成。

2. 发光二极管 LED 照明灯具的特点

由于提供给发光二极管 LED 驱动器的电流恒定，故可以保证发光二极管 LED 照明灯发出的光不会忽明忽暗，不会出现发光二极管 LED 照明灯色偏现象。

市场上发光二极管 LED 照明灯的综合光效在 60~100lm/W 之间，显色指数在 60~90 之间，色温在 2700~6500K 之间，寿命在 2 万~5 万小时之间。

**入门
解读**
13.5.2 常见发光二极管 LED 照明灯具的选择方法解读

各个厂家生产的发光二极管 LED 照明灯指标不太一样，质量也参差不齐，对发光二极管 LED 照明灯具的选择，通常可以参考表 13-4 所示的要求进行选择。

表 13-4 发光二极管 LED 照明灯具的选择要求

序号	项目	选择方法	原因说明
1	发光二极管 LED 照明灯具的综合光效	应选择流明/瓦高的发光二极管 LED 照明灯具	综合光效是指，一个成品发光二极管 LED 照明灯的发光效率。在额定电压的情况下，该发光二极管 LED 照明灯发出总的光通量除以该发光二极管 LED 照明灯总的消耗功率得到的数值，就是该发光二极管 LED 照明灯的综合发光效率，采用流明/瓦表示。该数值越高，表示该灯节能的效果越好，越省电
2	光源色温	发光二极管 LED 照明灯光源色温的选择，可以按照不同人的喜好进行选择。 <ul style="list-style-type: none"> ● 喜欢暖色调的人：选择 3000K 左右色温的 LED 照明灯。 ● 喜欢日光色调的人：选择 5000~6500K 色温的 LED 照明灯。 ● 喜欢冷色调的人：选择 8000~12000K 色温的 LED 照明灯。 	光源色温的单位为开尔文(K)，红色光源的色温在 800~900K；黄白色光源的色温在 3000K 左右；白色光源的色温约在 5000K 左右；淡蓝色光源的色温约在 8000~1200K。 按照 Kelvin 的色温定义：2800~10000K 都属于太阳光的色温范围，这为广义的太阳光的定义范围。但是，只有色温 6500K 光线(也称 D65)被定为白光的标准色温，它也就是 CIE 的标准照明体 D65。色温 6500K 的光线所含的光谱最齐全，最接近自然光。偏离自然白光色温越远，其显色指数就越低
3	光源显色指数	应选择显色指数高的发光二极管 LED 照明灯具	一般认为：80~100 显色性能优良；50~79 显色性能一般；小于 50 时显色性能较差



(续表)

序号	项目	选择方法	原因说明
4	发光二极管 LED 灯珠本身的寿命	应选择发光二极管 LED 灯珠本身寿命小时越长越好	发光二极管 LED 灯珠本身的寿命,是指新灯发出的光通量为 100%, 经过一段时间的使用后, 灯的发光效率会下降, 当下降到初始光通量的 70% 时所使用的时间, 就为该发光二极管 LED 灯珠本身使用的寿命小时数
5	发光二极管 LED 照明的温升	温度对发光二极管 LED 照明灯使用寿命影响很大, 一般发热越小越好。发热越小, 说明发光二极管 LED 照明灯的发光效率越高。在选择发光二极管 LED 照明的温升时, 可以采用相同功率的灯具同时点亮进行比较, 发热小的灯具较好, 应选择这类灯具	发光二极管 LED 照明的温升, 一般允许在 25°C~30°C 之间。而发光二极管 LED 照明灯散热器上的温度为: 环境温度加上允许的温度。例如, 环境温度为 36°C 时, 发光二极管 LED 照明灯散热器上的温度为: 36°C+30°C=66°C。如果超过该温度, 就说明该灯具的许可温升不符合要求
6	照度的选择	采用照度表测量发光二极管 LED 照明灯的照度, 选择照度不变或变化小的灯具	采用照度表测量发光二极管 LED 照明灯的照度时, 选择一个亮度, 所有的 LED 灯均在该亮度进行测试, 在 LED 灯刚点亮时测出一个照度, 然后再在灯具工作 30min 或 60min 后, 再测量该灯具的照度, 并与灯刚亮时测得的照度进行比较, 照度不变或变化小的灯具较好, 变化大的说明该灯的散热不好、热阻大、芯片温度升高、发光效率下降, 导致照度变小, 这种灯具不能使用
7	眩光的选择	选择发光二极管 LED 照明灯应对照眼睛无眩光的, 眩光是影响照明质量的重要因素, 灯光柔和一些的, 眼睛看灯光不会感到不舒服。 发光二极管 LED 照明灯的灯罩最好选用乳白色的, 这样发光二极管 LED 照明灯具发出的光线更柔和	眩光是一种不良的照明现象。当光源的亮度极高或背景与视野中心的亮度差较大时, 就会产生眩光。眩光一般有直接眩光与反射眩光。 <ul style="list-style-type: none">● 直接眩光: 是指高亮度光源直接进入眼球, 使人感到不适。例如, 在夜间睡觉时, 在灯打开的瞬间, 眼前就会白茫茫的一片, 这就是直接眩光的典型特征。● 反射眩光: 是指由光源照射到观看对象物体时产生的耀眼光线
8	LED 数量的选择	应根据照明灯具的应用场合, 选择照明灯具内发光二极管 LED 的数量	一般白色的照明灯并不是适合任何场合的, 因为 LED 灯的整体亮度是没法与荧光灯相比的, LED 灯属于极小的点发光, 通常还有聚光透镜, 而荧光灯管是类似面发光, 所以 LED 灯只能照亮前方一个特定的区域。如果要获得像荧光灯一样的大区域照明效果, 就需要选择多 LED 的照明灯



13.5.3 常见发光二极管 LED 照明灯具的典型应用电路解读

市场上使用的发光二极管照明灯类型较多, 这些照明灯的亮度根据采用的发光二极管的数量的不同而不一样。

一种使用在走廊、厨房、台灯、卫生间等场合、较常见的发光二极管照明灯连接电路如图 13-8 所示。电路中的 RP₁ 电位器用于调整流过发光二极管中的电流, 该电流一般控制在 15~17mA 之间。但在调整时, 应注意安全。

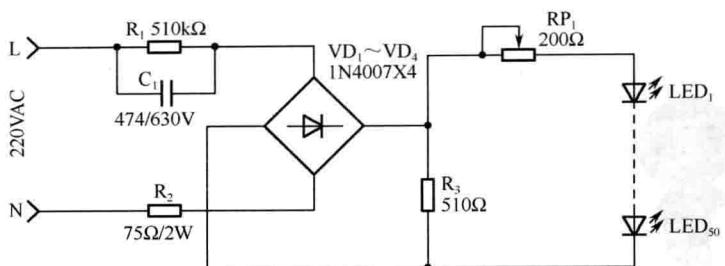


图 13-8 常见的发光二极管照明灯电路



菜鸟学通三相与单相交流电动机基本技能入门

三相与单相交流电动机是一种能量转换机器，它能将电能转换为机械能。电动机在科研、生产乃至日用电气等各个领域得到了广泛的应用。本章介绍菜鸟学通三相与单相交流电动机基本技能。

14.1 菜鸟学通交流电动机的电路图形符号与型号识别方法入门

菜鸟学
基本知
识入门



电动机简称电机，俗称马达，在电路中用字母 M（旧标准用 D）表示。其主要作用是产生驱动力矩，作为用电器或机械的动力源。



14.1.1 交流电动机电路图形符号识别方法解读

各种单相、三相交流电动机的电路图形符号如表 14-1 所示，供读识电路图时参考。

表 14-1 交流电动机的电路图形符号

序号	新符号		旧符号	
	名称	图形符号	名称	图形符号
1	三相鼠笼异步电动机		三相鼠笼型异步电动机	
2	单相鼠笼异步电动机		单相鼠笼型异步电动机	
3	三相线绕转子异步电动机		三相滑环异步电动机	



(续表)

序号	新符号		旧符号	
	名称	图形符号	名称	图形符号
4	单相交流串励电动机		单相交流串励换向器电动机	
5	三相交流串励电动机		三相交流串励换向器电动机	
6	单相永磁同步电动机		永磁单相同步电动机	
7	三相永磁同步电动机		永磁三相同步电动机	



14.1.2 电工常用三相交流电动机的型号识别方法解读

型号是表示电动机的类型、规格、结构形式和特点的代号。三相交流异步电动机的型号由三部分组成，各部分的含义如图 14-1 所示，常用三相交流异步电动机的特点及代号如表 14-2 所示，特殊环境的代号如表 14-3 所示。

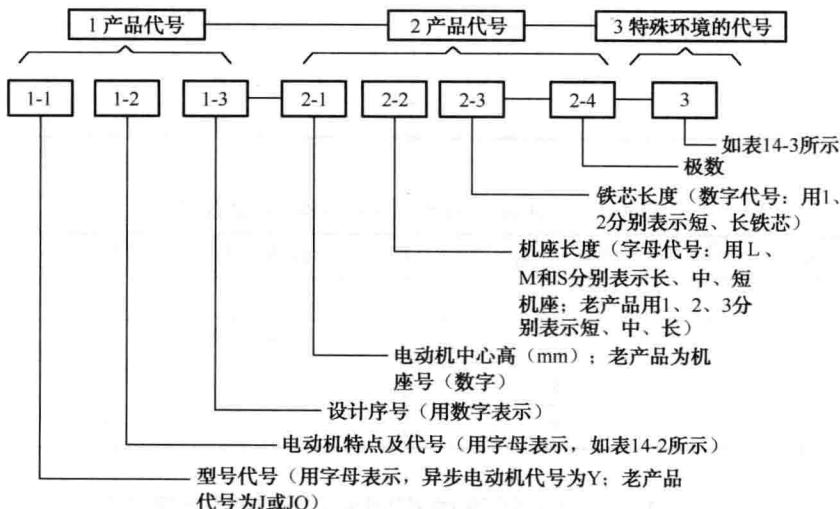


图 14-1 三相交流异步电动机的型号组成含义



表 14-2 常用三相交流异步电动机的特点及代号

特点代号	汉字意义	产品名称	新产品代号	老产品代号	特点代号	汉字意义	产品名称	新产品代号	老产品代号
—	—	鼠笼型异步电动机	Y	JJO.JS	RL	绕立	立式绕线转子异步电动机	YRL	—
R	绕	绕线转子异步电动机	YR	JR、JRZ	J	精	精密机床用异步电动机	YJ	JJO
K	快	高速异步电动机	YK	JK	Z	重	起重冶金用笼型异步电动机	YZ	JZ
RK	绕快	绕线转子高速异步电动机	YRK	JRK	ZR	重绕	起重冶金用绕线转子异步电动机	YZR	JZR
Q	起	高起动转矩异步电动机	YQ	JQ					
H	滑	高转差率(滑差)异步电动机	YH	JH、JHO	M	木	木工用异步电动机	YM	JMO
D	多	多速异步电动机	YD	JD、JDO	QS	潜水	井用潜水异步电动机	YQS	JQS
L	立	立式鼠笼型异步电动机	YL	JLL	DY	单容	单相电容起动异步电动机	YDY	JDY

表 14-3 三相交流异步电动机特殊环境的代号

特殊环境条件	代号	特殊环境条件	代号
高源用	G	热带用	T
海船用	H	湿热带用	TH
户外用	W	干热带用	TA
化工防腐用	F		



14.1.3 电工常用单相异步电动机的型号识别方法解读

单相异步电动机的型号由系列代号、设计序号、机座代号、特征代号及特殊环境代号组成。单相异步电动机的型号组成及其各部分的含义如图 14-2 所示，常见系列代号如表 14-4 所示，特殊环境的代号如表 14-5 所示。

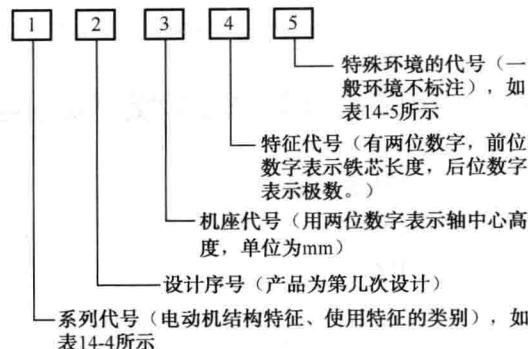


图 14-2 单相交流异步电动机的型号组成含义

表 14-4 单相交流异步电动机基本系列代号及含义

基本系列代号	YU (JZ、BO、BO2)	YC (JY、CO、CO2)	YY (JX、DO、DO2)	YL (E)	F
电动机类型	电阻起动	电容起动	电容运转	电容起动与运转	罩极式

表 14-5 单相异步电动机特殊环境的代号

适用环境	汉语拼音代号	适用环境	汉语拼音代号
代工用(防腐蚀)	F	船用	H
高原用	G	湿热带用	TH

14.2 菜鸟学通电工常用电动机的主要性能参数入门

菜鸟学
基本知
识入门



电动机的性能主要有额定功率，额定频率、电压与电流，额定转速与起动转矩、起动电流、额定转矩和最大转矩，堵转电流，效率与功率因数，工作方式和温升，定子绕组连接方式和绝缘等级等。



14.2.1 电工常用电动机额定功率 (P) 含义的解读

电动机铭牌上注明的功率为电动机的额定功率。它表示电动机在频率、电压和电流都为额定值时，电动机转轴每秒钟输出的机械能。

额定功率表征了电动机长期使用时的负载能力。当电动机的输出功率增加时，定子和转子电流都会增加。电流的增加，会导致定子绕组和转子绕组的发热增加，使电动机温升增高，严重时会烧毁电动机。所以，在设计时规定了一个输出功率的最大限度，这个限度就是电动机的额定功率。

额定功率不等于电动机使用时的实际输出功率，实际输出功率与负载轻重有关。负载重，输出功率就大，反之就小。

额定功率的单位通常用 kW (千瓦) 表示，但也有用 HP (马力) 表示的。它们之间换算关系是：



1kW=1.36HP 1HP=0.736kW



14.2.2 电工常用电动机的额定频率、电压与电流含义的解读

1. 电动机的额定频率

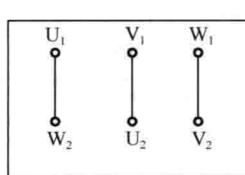
频率是指电动机所接交流电源的频率。电动机在额定运行的情况下，定子绕组所接交流电源的频率称为额定频率，单位为 Hz。我国规定标准交流电源频率为 50Hz。

2. 电动机的额定电压 (U)

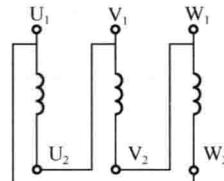
电动机的额定电压是指电动机所用的电源电压标准等级，一般国内低压三相交流电源都采用 380V，也有极少数地区采用 220V 的三相交流电压。

电动机在额定情况下运行时，定子绕组线端的电压值称为额定电压，单位为 V。电动机铭牌上常标有“220V/380V”，这表示该电动机有 220V 和 380V 两种额定电压。

(1) 三角形连接。如果电源电压为 220V，应把电动机的出线端接成三角形 (Δ)，如图 14-3 所示。



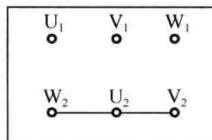
(a) 连接方法



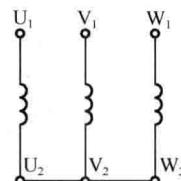
(b) 电路

图 14-3 电动机的三角形 (Δ) 连接方法

(2) 星形连接。如果电源电压为 380V，应把电动机的出线端接成星形 (Y)，如图 14-4 所示。



(a) 连接方法



(b) 电路

图 14-4 电动机的星形 (Y) 连接方法

3. 电动机的额定电流 (I)

电动机的额定电流是指，电动机在额定电压、额定频率和额定负载下运行时定子绕组线端的电流值。

通常，电动机定子绕组为 Δ 接法时，线电流是相电流的 $\sqrt{3}$ 倍；如为 Y 接法时，线电流等于相电流。一般电动机电流受外加电压、负载等因素影响较大，所以了解电动机所允许通过的最大电流对正确选择导线、开关及电动机上所加的熔断器和热继电器提供了依据。


**入门
解读**


14.2.3 电工常用电动机的额定转速与起动转矩、起动电流含义的解读

1. 电动机的额定转速

额定转速是指，电动机在电压、电流、频率、功率都为额定值时，每分钟的转速，单位为 r/min（转/分钟）。一般电动机 2 极为 2930r/min 左右，4 极为 1440r/min。电动机的额定转速与定子三相绕组的接法无关。

2. 电动机的起动转矩

电动机接上电源，转子还未转动，即转速为零时的瞬间，电动机所产生的电磁转矩，也就是电动机在起动时所输出的力矩，称为起动转矩，常用起动转矩与额定转矩的倍数来表示。起动转矩的大小关系到电动机性能的好坏。起动转矩越大，起动性能越好。一般起动转矩为额定转矩的 1.8~2.2 倍。

起动转矩的大小与加在电动机上的电压、电动机的漏电抗、转子电阻有关，加在电动机上的电压增大，起动转矩按平方比例增加，反之按平方比例减小。电动机漏电抗增大，起动转矩减小。因此，在修理起动困难的电动机时，适量减少定子绕组每相匝数和适量增大气隙，均可减小漏电抗而改善起动性能。

3. 电动机的起动电流

电动机刚接通电源时，定子绕组中通过的瞬间电流称为起动电流。当电源刚接通时，定子电流立即产生旋转磁场，此时电动机转子尚未转动，这时定子磁场与转子之间相对运动速度最大，即转子绕组以最大速度切割定子旋转磁场，于是，转子中产生最大感应电流。感应电流又通过气隙磁场的感应用，使定子绕组的电流增大。电动机的起动电流可达到额定电流的 5.5~7 倍。较大的起动电流，会引起电源电压降，使起动时间延长，从而引起电动机过热。

**入门
解读**


14.2.4 电工常用电动机额定转矩和最大转矩含义的解读

1. 电动机的额定转矩

电动机在额定负载时产生的电磁转矩称为额定转矩。或者说，当电动机输出功率等于额定功率时，转子受到的转矩称为额定转矩。与额定转矩所对应的转速称为额定转速。一般来说，负载的阻力矩应该等于或小于额定转矩。如果负载的阻力矩大于额定转矩，则电动机的输出功率大于额定功率，定子绕组和转子中的电流将大于额定值，这时，电动机便产生过热现象，称为电动机过载。

2. 电动机的最大转矩

在起动过程中，电动机的转速由零逐渐增加到稳定转速。在速度增加的过程中，电动机的电磁转矩是变化的，其中电磁转矩有一个最大值，如图 14-5 所示中的 M_m ，称其为最大转矩。

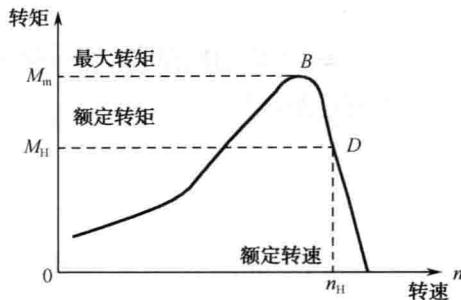


图 14-5 电动机的最大转矩和额定转矩曲线

如果电动机在稳定运行时，将负载阻力矩增加到大于最大转矩时，无论转速取什么值，电动机的转矩总是要小于负载转力矩，于是电动机转速下降，直至停转。因此，为了使电动机在带负载运行时，不至于因偶然或短时的过载而导致停转，总是把最大转矩设计得比额定转矩大一些，以保证电动机的过载能力。

电动机的最大转矩常用额定转矩的倍数来表示，倍数越大，电动机的过载能力就越大。异步电动机的最大转矩，一般是额定转矩的 1.8~2.2 倍。



14.2.5 电工常用电动机堵转电流含义的解读

电动机转矩（严格来说应是电磁转矩）来自电动机定子和转子磁场的相互作用。对异步电动机而言，当电压及频率不变时，电动机转矩 T 只随转速 n 或转差率 S 变化。

所谓堵转转矩 T_0 ，是指 $S=1$ ，即转子转速 $n=0$ 时的电动机转矩，又称起动转矩。堵转电流是指电动机在堵转（转子不动）时的定子电流。电动机的起动转矩应与被驱动机械的机械特性匹配才能顺利起动。在起动过程中，起动电流很大，全压起动时可达额定电流的 5~7 倍。因此，电动机必须有足够的起动转矩，以尽量缩短起动时间，避免电动机过热。在电动机起动转矩满足需要的条件下，采用减压起动的方法降低起动电流，对减小起动造成的电源电压下降非常有利。



14.2.6 电工常用电动机的效率与功率因数含义的解读

1. 电动机的效率

额定功率是向负载输出的功率，而不是电动机从电源吸取的功率（即输入功率）。由于电动机内部的损耗，输出功率总是要比输入功率小。电动机输出功率与输入功率之比，称为电动机的效率，其表达式为：

$$\eta = \frac{P_{\text{出}}}{P_{\text{入}}} \times 100\%$$

式中 η ——电动机的效率；

$P_{\text{出}}$ ——电动机的输出功率；

$P_{\text{入}}$ ——电动机的输入功率。

异步电动机的效率如表 14-6 所示。



表 14-6 三相交流异步电动机效率和功率因数

功 率	2 极		4 极	
	效率 $\eta/\%$	功率因数 $\cos\varphi$	效率 $\eta/\%$	功率因数 $\cos\varphi$
10kW 以下	76~86	0.85~0.88	74~86	0.76~0.78
10~30kW	87~89	0.88~0.90	86~89	0.87~0.88
30~100kW	90~92	0.91~0.92	90~92	0.88~0.90
功 率	6 极		8 极	
	效率 $\eta/\%$	功率因数 $\cos\varphi$	效率 $\eta/\%$	功率因数 $\cos\varphi$
10kW 以下	70~85	0.68~0.80	68~85	0.65~0.77
10~30kW	86~89	0.81~0.85	86~88	0.78~0.81
30~100kW	90~92	0.86~0.89	89~91	0.82~0.84

注：功率小于 10kW 的数值按功率为 7.5kW、5.5kW、4kW、3kW、2.2kW、1.5kW、1.1kW、0.8kW、0.6kW 而递减。

2. 电动机的功率因数 ($\cos\varphi$)

在直流电路中，有功功率=电压×电流；在交流电路中，电压×电流=视在功率，而能起到做功的这部分功率为有功功率。有功功率总是小于视在功率。有功功率越大，电动机的利用率就越高。这种利用率称为电动机的功率因数。换句话说，电动机有功功率与视在功率之比称为功率因数，用 $\cos\varphi$ 来表示。

功率因数的大小，与所带负载的大小有关，空载时功率因数很小，异步电动机空载运行时的功率因数约 0.2；随着负载的增加，功率因数相应提高，达到满载时，功率因数最大。异步电动机在额定功率下运行的功率因数如表 14-6 所示。



14.2.7 电工常用电动机的工作方式和温升含义的解读

1. 电动机的工作方式

电动机的工作方式有连续运行、短时运行和断续运行三种。

(1) 连续运行：电动机允许在额定负载下做连续长期的运行。

(2) 短时运行：电动机在额定负载下只能在限定的短时间内运行，其短时持续时间为 10min、30min、60min、90min 4 种类型。

(3) 断续运行：电动机在额定负载下做周期性的断续运行，用暂载率来表示（即在 10min 的一个周期内，电动机持续负载运行的时间与周期之比的百分数）。

同一台电动机在不同的运行情况下，会得到不同的温升。如水泵、通风机、搅拌机等属于连续运行；快速移动闸门属于短时运行；起重机械等属于断续运行。

2. 电动机的温升

所谓温升是指，在规定的环境温度下（国家标准规定环境温度为 40℃），电动机绕组温度高出环境温度的数值。电动机运行中，部分电能转换成热能，使电动机温度升高，经过一定时间，电能转换的热能与机身散发的热能平衡，机身温度达到稳定。在稳定状态下，电动机温度与环境温度之差称为电动机温升。例如，铭牌上标出的温升为 60℃，表明电动机的允许温度为：60+40=100（℃）。可见，电动机的温升等于绕组允许温度减去规定的环境温度。

电动机温升是检查电动机运行是否正常的重要标志。一般情况下，电动机运转 6h 后，电



动机温升才能达到稳定值。继续运转，温升也不会再上升。如果发现温升超过允许值，就说明电动机有过载或有故障存在，应停机检查原因。



14.2.8 电工常用电动机定子绕组连接方式和绝缘等级的含义解读

1. 电动机的连接方式

电动机的定子绕组连接方式是指电动机三相绕组 6 个线端的连接方法。通常将三相绕组首端 U_1 、 V_1 、 W_1 接电源，尾端 U_2 、 V_2 、 W_2 连接在一起，称为星形连接，用符号“Y”表示，如图 14-4 (b) 所示。若将 U_1 接 W_2 、 V_1 接 U_2 、 W_1 接 V_2 ，再将这三个交点接在三相电源上，称为三角形连接，用符号“△”表示，如图 14-3 (b) 所示。目前，Y 系列电动机 3kW 及以下为 Y 接法，3kW 以上均为△接法，电动机额定线电压为 380V。

2. 电动机的绝缘等级

电动机的温升是由制造厂根据电动机采用的绝缘材料等级来决定的。每种绝缘材料耐热的极限温度是一定的。如果电动机的温升超过绝缘材料允许的温度，会使绝缘材料加速老化，绝缘性能变差，最后绝缘被击穿而使电动机烧毁。

绝缘材料一般根据其耐热极限温度不同，分为不同的等级。电动机绕组的绝缘材料和导线所能耐受温度极限的等级分为 7 级，电动机允许温升与绝缘等级的关系如表 14-7 所示。有的铭牌只标允许温升不标绝缘等级，环境温度一般不超过 40℃。而有的电动机铭牌上没有标出允许温度值，仅标绝缘等级。如标出 E 级绝缘，说明电动机允许温升为 80℃ ($120-40=80$ (℃))。

表 14-7 绝缘材料的等级及耐受温度

绝缘等级	Y	A	E	B	F	H	C
耐受温度 (℃)	90	105	120	130	155	180	180 以上
材料举例	未经处理的有机材料	浸渍处理过的有机材料，如纸、棉纱和木类材料	聚乙烯类材料	云母带、云母纸、甘油树脂、虫胶	聚酯绝缘类	有机硅树脂类	天然云母、玻璃、瓷等



14.2.9 电工常用交流电动机的其他方面参数的含义解读

1. 电动机的防护等级

Y 系列电动机有防护等级的规定。一般防护等级为 IP44，IP 表示外壳防护符号，后面第一个数字“4”表示防护大于 1mm 固体的电动机，第二个数字“4”表示为防溅电动机。

2. 电动机的出厂日期

电动机铭牌上的日期为生产电动机为成品后的出厂时间。

3. 电动机的出厂编号

电动机所标的出厂编号是为便于质量跟踪与查寻。

4. 电动机的标准编号

标准编号表示电动机执行的技术标准。例如，JB 为第一机械工业部标准，JO₂ 系列电动机执行 JB742-66 标准。



菜鸟学
基本知
识入门

14.3 菜鸟学通三相异步电动机的基本结构及其适用场合入门



电动机是将电能转换为机械能的旋转机械。异步电动机是工业生产及日用电器中应用最广泛的一种电动机。由于其结构简单、坚固耐用、价格便宜及维修方便等优点，故其应用相当广泛。



14.3.1 电工常用三相异步电动机的基本结构解读

三相异步电动机又称三相感应电动机，尤其是鼠笼型（又称笼型）异步电动机应用最广泛。

三相异步电动机由两个基本部分组成：固定的部分称为定子；旋转的部分称为转子。转子装在定子腔内，为了保证转子能在定子腔内自由转动，定、转子之间必须有一定间隙，称为气隙。此外，在定子两端还装有端盖。鼠笼型三相异步电动机的结构示意图如图 14-6 所示。绕线转子三相异步电动机的结构示意图如图 14-7 所示。

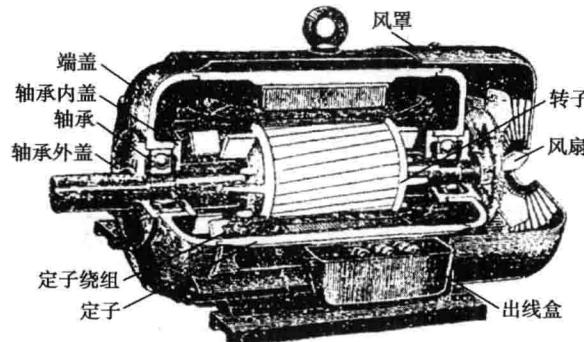


图 14-6 鼠笼型三相异步电动机的结构示意图

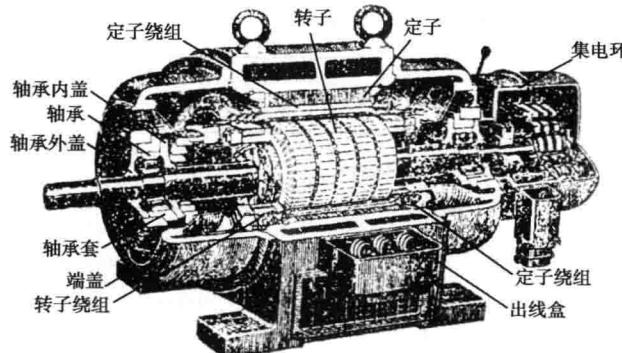


图 14-7 绕线转子三相异步电动机的结构示意图

入门
解读

14.3.2 电工常用三相异步电动机型号、结构特征及适用场合的解读

三相异步交流电动机的常见型号、结构特征及适用场合如表 14-8 所示，供选用时参考。

表 14-8 三相异步交流电动机型号、结构特征及适用场合

名称	型号		型号的汉字意义	结构特点	适用场合
	新型号	旧型号			
异步电动机	Y	J2、JO2、J3、 JO3、JK、JS、 JL、JQ、JQ0、 JQ2	异	铸铁外壳，小机座有散热筋， 大机座采用管道通风，铸铝笼型转子，大机座用双笼型转子， 有防护式和封闭式	用于一般机器与设备上，如 拖动水泵、鼓风机、机床等
绕线转子异步电动机	YR	JR、JR0	异绕	有防护式和封闭式，铸铁外壳，绕线转子	用于电源容量不足以起动鼠笼型电动机及要求起动电流小，起动转矩高等场合
高起动转矩异步电动机	YQ	JQ、JQ0、 JGO	异起	同 Y 型，转子采用双笼或深槽，起动转矩大	用于起动静止负载或惯性较大的负载机械，如压缩机、粉碎机等
高转差率(滑差)异步电动机	YH	JH、JHO	异滑	结构同 Y 型，转子一般采用铝合金浇铸	用于传动较大飞轮力矩和不均匀冲击负载的金属加工机械，如锤击机、剪切机、冲压机、压缩机、绞车等
多速异步电动机	YD	JD、JDO	异多	结构同 Y 型，以改变极对数得到多种转速，引出线为 6~12 根	同 Y 型，使用于要求有 2~4 种转速的机械
精密机床用异步电动机	YJ	JJO	异精	结构同 Y 型，转子精密平衡，采用低噪声轴承及槽配合	同 Y 型，使用于要求振动小、噪声低的精密机床
制动异步电动机 (旁磁式)	YEP	JZD	异(制)旁	定子同 Y 型，转子有旁磁路结构	用于要求快速制动的机械，如电动葫芦、卷扬机、起重机、电动阀等机械
制动异步电动机 (杠杆式)	YEG	JZD	异(制)杠	定子同 Y 型，转子上带杠杆式制动机构	
制动异步电动机 (附加制动器)	YEJ	JZD	异(制)加	定子同 Y 型，转子非出轴端带有制动器	
锥型转子制动异步电动机	YEZ	JZZ	异(制)锥	定、转子均采用锥型结构， 防护式或封闭式，铸铁外壳上有散热，自扇吹冷	
电磁调速异步电动机	YCT	JZT	异磁调	封闭式异步电动机与电磁转差离合器组成	用于纺织、印染、化工、造纸、船舶及要求变速的机械上
换向器式(整流子)调速异步电动机	YHT	JZS	异换调	防护式，铸铁外壳，手动及电动遥控调速两种，有换向器转子	同上，但效率与功率因数比 YCT 高



(续表)

名称	型号		型号的汉字意义	结构特点	适用场合
	新型号	旧型号			
齿轮减速异步电动机	YCJ	JTC	异齿减	由封闭式异步电动机与两级圆柱齿轮减速箱合成一整体	用于要求低速、大转矩的机械，如运输机械、矿山机械、炼钢机械、造纸机械及其他要求低转速的机械
摆线针轮减速异步电动机	YXJ	JXJ	异线减	由封闭式异步电动机与摆线针轮减速器组成	同 YCJ 型
力矩异步电动机	YLJ	JLJ	异力矩	强迫通风式铸铁外壳，笼型转子异条采用高电阻材料	用于纺织、印染、造纸、电线电缆、橡胶、冶金等具有软特性及恒转矩的机械上
起重冶金用异步电动机	YZ	JZ	异重	封闭式，铸铁外壳上有散热，自扇吹冷，笼型钢条转子	用于起重机机械及冶金辅助机械
起重冶金用绕线转子异步电动机	YZR	JZR	异重绕	同上，转子为绕线转子	同 YZ 型
隔爆型异步电动机	YB	JB JBS	异爆	防爆式，钢板外壳，铸铝转子，小机座上有散热筋	用于有爆炸性气体的场合
电动机阀门用异步电动机	YDF	—	异电阀	同 Y 型	用于起动转矩与最大转矩大的场合，如电动阀门
化工防腐用异步电动机	Y-F	JO-F JO2-F	异一腐	结构同 Y 型，采取密封及防腐措施	用于化肥、氯碱系统等化工厂的腐蚀环境中

14.4 菜鸟学通电工常用三相异步电动机的选择方法入门

菜鸟应用技能入门



要使应用的电动机既满足拖动机械的要求，又可以长期安全、可靠地使用，这就要合理地选用电动机。



14.4.1 正确选择电工常用电动机的基本原则解读

选择电动机时应根据生产机械的技术要求和使用环境的特点进行合理选用，即要保证运行安全可靠，又要注意维护方便，节省投资和运行费用。

1. 防护等级

所选择的电动机外壳的防护等级，一定要满足电动机安装位置环境的实际要求。

2. 额定电压和频率

所选择的电动机的额定工作电压和频率，应与所使用的电源电压和频率保持一致。

3. 额定功率

所选择的电动机的额定功率，尽量要和被驱动的机械功率相匹配。

(1) 对于负载稳定的机械，应按机械的功率来选择。

入门
解读

14.4.2 电工常用三相异步电动机种类的选择方法解读

选择电动机的种类通常应从交流或直流、调速性能、起动性能、维护及价格等方面来综合考虑。

1. 无调整要求

对于无特殊调速要求的一般生产机械，如功率不是很大的通风机、小型机床等，可考虑选用鼠笼型三相异步电动机。

2. 有起动性能要求

对于某些要求起动性能好，在不大的范围内平滑调速的设备，如起重机、卷扬机等，可选用绕线型三相异步电动机。

短时运行的电动机，可以容许过载，且工作时间越短，允许过载的量也越大。但过载量也不能无限加大，必须小于电动机的最大转矩。对这类电动机容量的选择，可根据以下公式来考虑：

$$\lambda = \text{最大转矩}/\text{额定转矩}$$

式中， λ 是过载系数。所需电动机的容量 \geq 生产机械所需的功率/ λ 。

3. 重复短时运行电动机容量的选择

目前，专门用于重复短时运行的交流异步电动机有 YZ (JZ) 系列及 YZR (JZR) 系列等。选择这类电动机的容量，也可以采用等效负载的方法来确定。

选择电动机的容量还必须兼顾供电变压器容量的大小。一般来说，直接起动的最大一台电动机的容量，不能超过供电变压器容量的 1/3。

入门
解读

14.4.3 电工常用异步电动机转速的选择方法解读

异步电动机的转速接近同步转速，而磁场的转速是以磁极对数 P 来分挡的，在两挡之间的转速是没有的。电动机转速选择原则是使其尽可能接近生产机械的转速，以简化传动装置。

1. 转速配套原则

电动机和被它拖动的生产机械，都有各自的额定转速。转速配套的原则是：配用驱动电动机后，电动机和配套机械都需在各自的额定转速下运行。

2. 根据传动方式选择转速

选择电动机时，应先了解生产机械的额定转速和传动方式，以便确定电动机的额定转速。

(1) 联轴器传动方式：如果采用联轴器（即靠背轮）直接传动，电动机的额定转速和生产机械的额定转速应相等。

(2) 皮带轮传动方式：如果采用皮带轮传动，电动机的额定转速和生产机械的额定转速不应相差很多，其变速比不宜大于 3。若相差过多，皮带容易打滑。

3. 转速很低或很高机械电动机转速的选择

如果配套机械的转速很低，选用低速电动机直接传动是很不经济的，这是因为当功率一定时，电动机的额定转速越低，极数越多，体积越大（直径越大），价格也越高，而且效率越低。



如果生产机械的转速很高，选用高速电动机直接传动也不太合适，因为高速电动机的起动转矩比较小，起动电流比较大，轴承容易磨损，传动也不方便，传动装置过于复杂。

4. 功率较大且无调速要求电动机的选择

为了提高电网的功率因数，对于功率较大而又不需要调速的生产机械，如空气压缩机等，可选用同步电动机。



14.4.4 电工常用三相异步交流电动机容量的选择方法解读

电动机的容量（额定功率）大小必须根据被驱动的负载（即生产机械）所需的功率来决定。如果电动机的容量选得过小，就会导致电动机起动困难，如果勉强起动工作，也会由于电流超过额定值而导致电动机过热甚至烧毁。如果电动机的容量选得过大，形成“大马拉小车”，虽然能保证生产机械正常运行，但由于电动机长期处于轻载状态，不仅会造成资金和材料的浪费，而且电动机的效率和功率因数都较低（如表 14-9 所示），从而白白浪费了电力。

表 14-9 三相异步电动机功率因数和效率随负荷变化情况

负荷	空载	1/4 负载	1/2 负载	3/4 负载	满负载
功率因数	0.2	0.5	0.77	0.85	0.89
效率	0	0.78	0.85	0.88	0.875

由表 14-9 可知，电动机带 3/4 负载时的效率和功率因数都较高。因此，电动机容量选得比负载功率稍大（大约 10% 左右）较好。目前生产的大部分生产机械都注明了需要配用多大功率的电动机，可以直接按其要求选用。

电动机的容量是根据它的发热情况来选择的。在容许的温度范围以内，电动机的绝缘材料的使用寿命一般为 15~25 年。如果温度超过了容许值范围，就会使电动机的使用寿命缩短。由于电动机的发热情况与负载的大小及运行时间的长短（运行方式）有关。因此，应按不同的运行方式去选择电动机的容量。

1. 长期运行的电动机容量的选择

(1) 在负载恒定的情况下，长期运行的电动机的容量应等于或略大于生产机械所需的功率/传动效率。

(2) 传动效率与传动方式有关，直接传动时取 1，平带传动时取 0.9，“V”型带传动时取 0.95。

(3) 对于负载变动情况下，长期运行的电动机容量的选择，可采用等效负载法来确定，也就是假设一个恒定负载来代替实际的变动负载，但应使两者的发热情况基本相同，再根据恒定负载长期运行的原则选择电动机的容量，也就是选择的容量应等于或略大于等效负载的功率。

2. 短时运行的电动机容量的选择

所谓短时运行是指，电动机的温升在工作期间尚未达到稳定值就停止运转的工作方式，当停止运转时，电动机可完全冷却到周围环境的温度。



14.5 菜鸟学通单相交流异步电动机基本类型与结构特点入门

单相异步电动机是利用单相交流电源供电的一种交流电动机。由于其结构简单，可直接与单相220V交流电源连接使用，故被广泛应用于工农业生产、日用电器、办公电器等各个领域中，如小型机床、小型鼓风机、医疗器械、台扇、吊扇、洗衣机、电冰箱、吸尘器、电钻、小功率农副产品加工机械等。



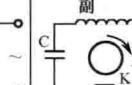
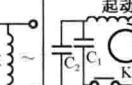
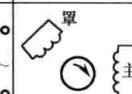
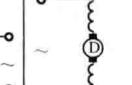
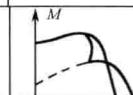
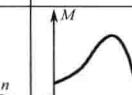
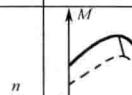
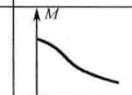
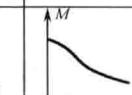
14.5.1 电工常用单相异步电动机的基本类型解读

单相异步电动机与同容量的三相异步电动机相比较，其体积较大、运行性能较差且效率较低，因此一般只制成小型和微型系列，容量在几十瓦到几百瓦之间（容量在千瓦级的较少见到）。

单相异步电动机可分为两类：一类是由单相交流电源供电，即称为单相异步电动机，这是目前使用最广的单相电动机；另一类是串励电动机，它可在相同电压的单相交流电源或直流电源上使用，因此又称为交直流两用电动机，它的结构与直流电动机相似，其最大特点是转速高，可高达 $20\ 000\sim25\ 000\text{r}/\text{min}$ ，机械特性软，随着负载转矩增加，其转速下降显著，因此特别适用于手电钻、电动吸尘器、小型机床等方面。

单相异步电动机根据分相方式、起动与运转方式的不同又可以分为：分相电动机、电容起动式电动机、电容运转式电动机等，它们的结构特点和典型应用如表14-10所示。

表 14-10 单相异步电动机的结构特点和典型应用

电动机 比较项目		分相电动机	电容起动式 电动机	电容运转式 电动机	电容起动-运转 式电动机	罩极式电动机	单相串激式 电动机
电动机 结构	定子绕组 的组成	主绕组、起 动绕组	主绕组、起动绕组	主绕组、副绕组	主绕组、副绕组	主绕组、罩 极绕组	激磁绕组
	转子	鼠笼型	鼠笼型	鼠笼型	鼠笼型	鼠笼型	线绕型
	起动装置	起动继电器 或离心开关	起动继电器 或离心开关	—	起动继电器 或离心开关	—	—
	辅助装置	—	起动用电容器	起动用电容器	起动和运转 用电容器	—	—
	等效电路						
	起动电路 (L_a/L_H)	6~7	4~5	3~5	4~5	2~4	6以上
	转矩特 性曲线						



(续表)

电动机 比较项目		分相电动机	电容起动式 电动机	电容运转式 电动机	电容起动-运转 式电动机	罩极式电动机	单相串激式 电动机
电动机 特性	起动转矩 (M_a/M_H)	1.2~2	2.5~3.5	0.3~1	2.5~3.5	0.3~0.8	3~6
	功率因数	0.4~0.75	0.4~0.75	0.7~1	0.8~1	0.4~0.75	0.7~0.8
主要优点	① 价格低，应用广泛； ② 起动电流大，起动转矩小	① 造价稍高； ② 起动电流较大，起动转矩较大	① 无起动装置，构造较简单，工作可靠； ② 功率因数较高； ③ 起动转矩小	① 附件多，结构复杂，价格较高； ② 起动电流较大； ③ 起动转矩较大； ④ 功率因数高	① 结构最简单，价格低，工作可靠； ② 起动转矩最小； ③ 效率低	① 起动转矩很大，起动电流大； ② 转速高，体积小； ③ 转子结构复杂； ④ 价格贵	
应用范围	① 单相鼓风机； ② 用作起动转矩较小的一般动力，如钻床、研磨机、搅拌机等	① 起动转矩要求大的场合； ② 用于水泵、冷冻机、压缩机等	① 起动转矩小的场合，如电风扇； ② 起动与停止频繁的场合，如洗衣机； ③ 需要正、反转的机械	① 要求起动转矩大的机械； ② 要求功率因数高的场合	① 功率小，要求起动转矩小的场合； ② 多用于电风扇、电唱机、仪器仪表等	① 要求起动转矩大或转速高的机械； ② 多用于吸尘器，手提电动工具等	



14.5.2 电工常用单相异步电动机的基本结构特点解读

无论是哪一种类型的单相异步电动机，都是由机壳、定子、转子、端盖、转轴、风扇等组成的。有的单相异步电动机还具有起动元件。单相异步电动机的典型结构如图 14-8 所示。

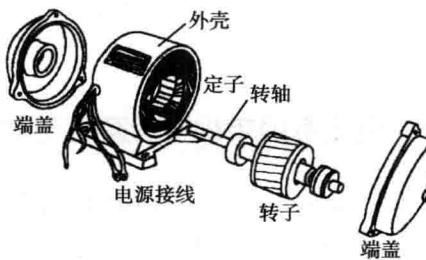


图 14-8 单相异步电动机的典型结构示意图

1. 单相异步电动机的定子

定子由定子铁芯和定子绕组组成。单相异步电动机定子结构有以下两种形式：

(1) 容量较大的单相异步电动机。容量较大的单相异步电动机采用与三相异步电动机相似的结构，定子铁芯也是采用硅钢片叠压而成。但在定子铁芯槽内嵌放有两套绕组：一套是



主绕组，又称工作绕组或运行绕组；另一套是副绕组，又称起动绕组或辅助绕组。两套绕组的轴线在空间错开了一定的电角度，其表达式为：

$$\text{电角度} = \text{电动机极对数} \times \text{空间机械角度}$$

(2) 容量较小的单相异步电动机。对于容量较小的单相异步电动机，有的则制成凸极形状的铁芯，如图 14-9 所示。磁极的一部分被短路环罩住。凸极上放置主绕组，短路环为副绕组。

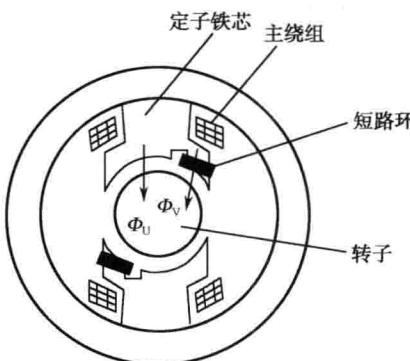


图 14-9 容量较小的单相异步电动机凸极形状的铁芯

2. 单相异步电动机的转子

单相异步电动机的转子与鼠笼型三相异步电动机的转子相同，转子铁芯也是用硅钢片叠压而成，转子铁芯槽内嵌有鼠笼型绕组。

单相异步电动机的端盖、机壳、转轴的作用与三相异步电动机相同。



14.6 菜鸟学通单相异步电动机的选用、运行与维护方法入门

菜鸟应用
技能
入门



单相异步电动机的选用、运行与维护和三相异步电动机基本相似，可参阅上述的相关内容。但单相异步电动机在结构上有它的特殊性：有起动装置，包括起动继电器或离心开关；有起动绕组及电容器；电动机功率小，转子间气隙也小，这些部分发生了故障，应及时对其进行检修。



14.6.1 电工常用单相异步交流电动机的选择方法解读

选用单相异步电动机时，也应根据应用设备的具体要求来选择电动机的外形、体积、类型、功率、起动运行方式、转矩及转速等。不同用途的单相异步电动机，一般是不能直接互换使用的，只有专机专用。对于通用单相异步电动机只要安装位置允许，则不受此限制。



14.6.2 电工常用单相异步交流电动机的使用方法解读

1. 改变旋转方向

改变分相起动单相异步电动机的旋转方向，应在电动机静止时或转速降低到离心开关的触点闭合后，再改变电动机的接线。

2. 工作频率

额定频率为 60Hz 的电动机，不能用在频率为 50Hz 的电源上，否则将会导致电动机电流变大、电动机过热，甚至会烧毁电动机线圈。

3. 注意电容器的参数

单相电容式异步电动机中使用的电容器损坏率较高，重换新电容器时，应注意电容器的型号、电容量与工作电压满足实际要求。

4. 接线

单相异步电动机接线时，应正确区分主、副绕组，并注意它们的首尾端。若绕组出线端的标记脱落，电阻大的绕组通常为副绕组。

菜鸟入门要诀



大多数单相异步电动机的结构与小功率的三相异步电动机的结构基本相同，因此它们拆装方法与步骤也基本相同。

对于装有离心开关的单相异步电动机，拆装时还应注意以下问题：

- (1) 拆装离心开关时，用力不可过猛，以免导致离心开关失灵或损坏。
- (2) 离心开关的开关板与后端盖必须紧固。
- (3) 定子绕组接离心开关的引线与开关板的焊接必须可靠，不得有虚焊现象。
- (4) 紧固后端盖时，应注意避免后端盖止口将离心开关的开关板与定子绕组连接的引线切断。



菜鸟学通直流电动机、步进电动机基本技能入门

电工日常工作中经常遇到的电动机除了交流三相、单相以外，还有直流电动机、步进电动机。本章介绍菜鸟学通直流电动机与步进电动机基本技能。



15.1 菜鸟学通直流电动机种类、基本原理与结构入门

菜鸟学
基本知
识入门



直流电动机的供电采用直流电源，故在以干电池或蓄电池及电子电气设备的低压电池为电源的场合应用十分广泛。



15.1.1 各种直流电动机的电路图形符号的识别方法解读

各种直流电动机的电路图形符号如表 15-1 所示，供读识电路图时参考。

表 15-1 各种直流电动机的电路图形符号

序号	新符号		旧符号	
	名称	图形符号	名称	图形符号
1	并励式直流电动机		并励式直流电动机	
2	他励式直流电动机		他励式直流电动机	
3	永磁直流电动机		永磁直流电动机	
4	直流力矩电动机		—	—



(续表)

序号	新符号		旧符号	
	名称	图形符号	名称	图形符号
5	串励式直流电动机		串励式直流电动机	
6	复励式直流电动机		复励式直流电动机	



15.1.2 电工常用直流电动机的基本种类与特点解读

直流电动机根据其励磁方式的不同，可分为电磁式和永磁式两种。

所谓电磁式电动机，就是在电动机的定子槽内放有励磁绕组，定子磁场是由励磁绕组通上电源电流而产生的。

所谓永磁式电动机，就是定子为一永久磁铁，不嵌放励磁绕组，定子磁场是由永久磁铁产生的。



15.1.3 电工常用直流电动机的基本工作原理解读

如图 15-1 所示为最简单的永磁式直流电动机的工作原理示意图。电枢放入磁场中（磁场由永久磁铁产生），abcd 表示电枢上的一匝线圈绕组，线圈的首尾分别接在换向片 K_1 、 K_2 上，转向片固定在轴端，通过电刷 A、B 与换向片接触，使电枢和外电路相通。当在 A 与 B 两端接上直流电压时，线圈内便产生电流，其电流方向如箭头所示，即由 $a \rightarrow b \rightarrow c \rightarrow d$ ，如图 15-1 (a) 所示。

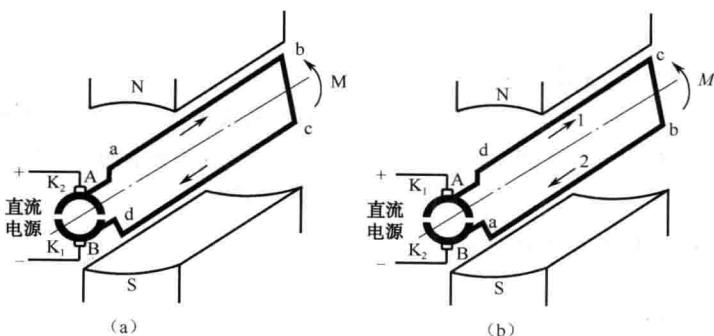


图 15-1 永磁式直流电动机的工作原理示意图

1. 工作过程

根据电磁原理，上述的电流与定子磁场相互作用产生一个电磁力，使线圈在磁场内产生运动。运动的方向可用左手定则判断：

线圈 ab 边受到向左方向的电磁力，cd 边受到向右方向的电磁力，于是线圈受到一个力偶



的作用，产生一个电磁转矩 M ，迫使线圈逆时针方向旋转。当旋转到线圈所在平面与磁力线垂直的位置时（该位置通常称为中性位置），作用在线圈两边的电磁力与线圈在同一平面内，而且大小相等，方向相反，这一对力阻碍着线圈的转动，最终会使线圈停止在中性位置上。如果在线圈冲过中性面的瞬间，立即改变线圈内电流的方向，则线圈将会原方向旋转下去。这一任务由设在直流电动机中的电刷和换向片实现。

2. 电刷与换向片

电刷固定在机壳或端盖上，是一种导电零件。换向器固定在转轴上，转子线圈绕组与换向器相连。当线圈冲过中性面后，换向片 K_2 与电刷 B 接触、 K_1 与 A 接触，这时线圈中的电流方向为 $d \rightarrow c \rightarrow b \rightarrow a$ ，如图 15-1 (b) 所示。用左手定则可判断出线圈仍可按逆时针方向旋转。线圈每转过半圈，换向一次，周而复始。线圈便获得了连续旋转运动。

由上述分析可看出，直流电动机的旋转方向是由转子电流方向与定子磁场方向之间的相互关系来决定的，如果要改变电动机的旋转方向，只要改变电枢电流或定子磁场极性方向之中的一个，便可实现电动机的反转。但要注意：如果同时改变磁场方向和电枢电流的方向，则电动机旋转方向不变。

3. 几个关系式

由电磁理论的推导及实验证明，直流电动机产生电磁转矩的大小，与电枢电流和磁极磁通的乘积成正比，即：

$$M = C_m \cdot I_s \cdot \Phi$$

式中 M ——直流电动机产生的电磁转矩；

C_m ——电动机转矩常数；

I_s ——电动机电枢电流；

Φ ——磁极的磁通。

由上式可知，要使直流电动机产生较大的转矩，只需将电枢电流和励磁电流相应增大即可。

但是，在电枢旋转时，绕组导体又要切割磁力线，按电磁感应理论，电枢绕组中将产生感应电动势，由右手定则判断正好与外加直流电压反向，故称为反电动势，其大小为：

$$E_f = C_m \cdot \Phi \cdot n$$

式中 E_f ——反电动势；

n ——电动机的电枢转速。

上式说明，反电动势的大小与磁极磁通和电枢转速成正比。这样，直流电动机外加电源的电压，一部分用来平衡反电动势，另一部分消耗于两个绕组内阻的压降上，即：

$$U = E_f + I_s(R_s + R_j)$$

式中 U ——电动机外加的电源电压；

E_f ——反电动势；

I_s ——电枢电流；

R_s ——电枢绕组的内电阻；

R_j ——励磁绕组的内电阻。

该式表征了直流电动机运转的基本条件，称为电压平衡方程式。再将 E_f 值代入上式，即可得到电枢电流为：

$$I_s = \frac{U - C_m \cdot \Phi \cdot n}{R_s + R_j}$$



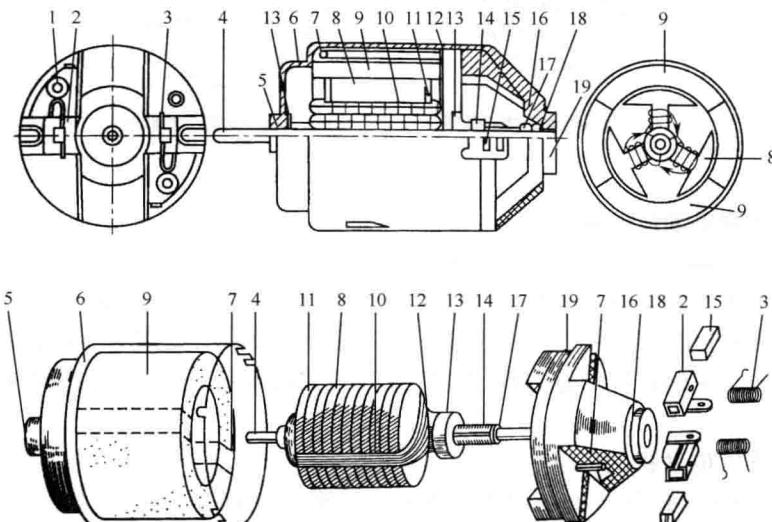
由电枢电流 I_s 的表达式可以看出，当直流电动机负载增加，即电枢轴上的阻力矩增大时，电动机转速降低，产生的反电动势减小，在外加电压恒定的情况下，从而使电磁转矩也增大，并且直至电磁转矩增大到与阻力矩相对平衡时，电动机就在较大负载下以相适应的低转速做平稳运转；反之，电动机又能在较轻负载下，以相应的高转速而平稳运转。

由此可知，直流电动机在负载发生变化时，电枢电流、转速、转矩都会自动做相应的调节，以满足驱动不同负载的需要，这就是直流电动机转矩自动平衡原理。由于直流电动机的种类不同，其自动平衡的特征也有差异，并以固有特性表现出来。



15.1.4 电工常用永磁式直流电动机的基本结构与特点解读

永磁式直流电动机主要由定子、转子、换向器、电刷和外壳等组成，如图 15-2 所示。



1—弹簧柱；2—电刷架；3—弹簧；4—轴；5—机壳轴衬；6—机壳；7—撑簧；8—转子铁芯；9—磁钢；10—漆包线；11—转子绝缘片；12—套管；13—定位圈；14—换向器；15—电刷；16—端盖轴衬压簧片；17—垫片；18—端盖球形轴衬；19—端盖

图 15-2 永磁式直流电动机典型结构及分解示意图

1. 永磁式直流电动机的定子

定子磁极采用永磁体（永久磁钢），如图 15-3 (a) 所示。永磁体有铁氧体、铝镍钴、钕铁硼等材料。按其结构形式可分为圆筒形和瓦块形等几种。图 15-4 是两种永磁体的磁路示意图。

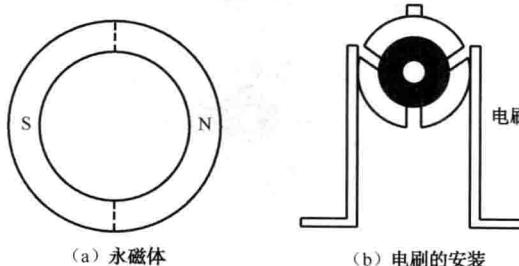


图 15-3 直流永磁式电动机组件示意图

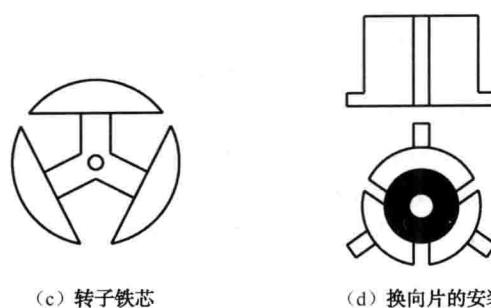


图 15-3 直流永磁式电动机组件示意图（续）

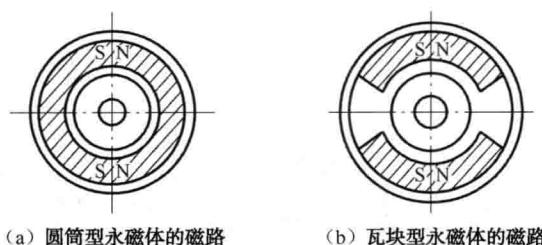


图 15-4 两种永磁体的磁路示意图

2. 永磁式直流电动机的电刷

电刷常用石墨和磷铜制成，有两片，平行地安装在换向片两侧（如图 15-3（b）所示），依靠电刷的弹性和换向片保持良好的接触。直流电源通过电刷和换向片把直流电流送入转子线圈。

电刷可以采用导电金属簧片，也可以在弹性支架上装置石墨块。金属簧片和弹性支架一般用厚 $0.1\sim0.16\text{mm}$ 的弹性良好的磷铜片制成。石墨电刷具有导电和耐磨两种性能，要求电阻小而且柔软。

3. 永磁式直流电动机的转子

转子铁芯一般采用硅钢片叠压而成并固定在转轴上（如图 15-3（c）所示）。其多数为 3 槽，也有 5 槽或 7 槽的。漆包线绕在转子铁芯的两槽之间（三槽即有三个绕组），其各接头分别焊在换向器的金属片上。

4. 永磁式直流电动机的换向片

换向片由三个互不相通的弧形金属片（一般用紫铜）镶嵌在塑料或玻璃纤维套筒上制成（如图 15-3（d）所示）。每个片和对应一翼的线圈相连，三个线圈的另外一端连接在一起，如图 15-5 所示。

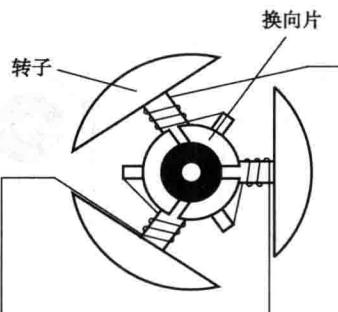


图 15-5 永磁式电动机电枢绕组连接示意图


**入门
解读**

15.1.5 电工常用电磁式直流电动机的基本结构与特点解读

电磁式直流电动机由定子磁极、转子（电枢）、换向器（俗称整流器）、电刷、机壳、轴承等构成，如图 15-6 所示。

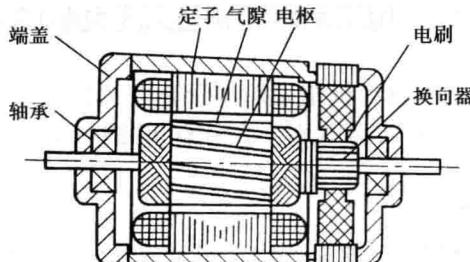


图 15-6 电磁式直流电动机典型结构示意图

1. 电磁式直流电动机的定子磁极

电磁式直流电动机的定子磁极（主磁极）由铁芯和励磁绕组构成。根据其励磁（也称为激磁）方式的不同又可分为串励式直流电动机、并励式直流电动机、他励式直流电动机和复励式直流电动机。因励磁方式不同，定子磁极磁通（由定子磁极的励磁线圈通电后产生）的变化规律也不同。

(1) 串励式直流电动机。串励式直流电动机的励磁绕组与转子绕组之间通过电刷和换向器相串联，励磁电流与电枢电流成正比，定子的磁通量随着励磁电流的增大而增大，转矩近似与电枢电流的平方成正比，转速随转矩或电流的增加而迅速下降。其起动转矩可达额定转矩的 5 倍以上，短时间内过载转矩可达额定转矩的 4 倍以上，转速变化率较大，空载转速甚高（一般不允许其在空载下运行）。可通过用外接电阻器与串励绕组串联（或并联），或者将串励绕组并联连接来实现调速。

(2) 并励式直流电动机。由于并励式直流电动机的励磁绕组与转子绕组并联，故励磁电流较恒定，起动转矩与电枢电流成正比，起动电流约为额定电流的 2.5 倍。转速则随电流及转矩的增大而略有下降，短时间内过载转矩为额定转矩的 1.5 倍。转速变化率较小，为 5%~15%。可通过削弱磁场的恒功率来调速。

(3) 他励式直流电动机。由于他励式直流电动机的励磁绕组接到独立的励磁电源供电，故励磁电流也较恒定，起动转矩与电枢电流成正比。转速变化也为 5%~15%。可以通过削弱磁场恒功率来提高转速或通过降低转子绕组的电压来使转速降低。

(4) 复励式直流电动机。复励式直流电动机的定子磁极上除具有并励绕组外，还装有与转子绕组串联的串励绕组（其匝数较少）。串励绕组产生磁通的方向与主绕组的磁通方向相同，起动转矩约为额定转矩的 4 倍，短时间内过载转矩为额定转矩的 3.5 倍左右。转速变化率为 25%~30%（与串内绕组有关）。转速可通过削弱磁场强度来调整。

2. 电磁式直流电动机的换向片

电磁式直流电动机的换向器的换向片采用银铜、镉铜等合金材料，用高强度塑料模压而成。

3. 电磁式直流电动机的电刷

电磁式直流电动机的电刷与换向器滑动接触，为转子绕组提供电枢电流。电磁式直流电动机的



电刷一般采用金属石墨电刷或电化石墨电刷。

4. 电磁式直流电动机的转子

电磁式直流电动机的转子的铁芯采用硅钢片叠压而成，一般为 12 槽，内嵌 12 组电枢绕组，各绕组间串联连接后，再分别与 12 片换向片连接。



15.1.6 电工常用无刷直流电动机的基本结构与特点解读

无刷直流电动机是采用半导体开关器件来实现电子换向的，即用电子开关器件代替传统的接触式换向器和电刷。它具有可靠性高，无换向火花、机械噪声低等优点。

1. 无刷直流电动机的结构

无刷直流电动机由永磁体转子、多极绕组定子、位置传感器组成，如图 15-7 所示。位置传感器按转子位置的变化，沿着一定次序对定子绕组的电流进行换流（即检测转子磁极相对定子绕组的位置，并在确定的位置处产生位置传感信号，经信号转换电路处理后去控制功率开关电路，按一定的逻辑关系进行绕组电流的切换）。定子绕组的工作电压由位置传感器输出控制的电子开关电路提供。

位置传感器有磁敏式、光电式和电磁式三种类型。

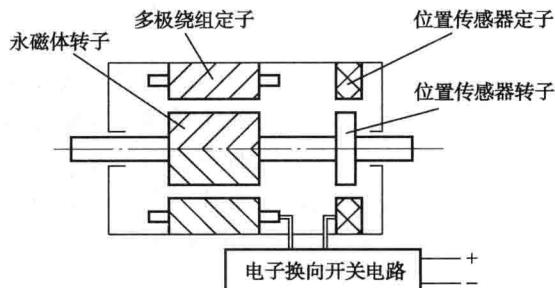


图 15-7 无刷直流电动机结构示意图

2. 无刷直流电动机的磁敏式位置传感器

采用磁敏式位置传感器的无刷直流电动机，其磁敏传感器件（如霍尔元件、磁敏二极管、磁敏三极管、磁敏电阻或专用集成电路等）装在定子组件上，用来检测永磁体、转子旋转时产生的磁场变化。

3. 无刷直流电动机的光电式位置传感器

采用光电式位置传感器的无刷直流电动机，在定子组件上按一定位置配置了光电传感器件，转子上装有遮光板，光源为发光二极管或小灯泡。转子旋转时，由于遮光板的作用，定子上的光敏元器件将会按一定频率间歇产生脉冲信号。

4. 无刷直流电动机的电磁式位置传感器

采用电磁式位置传感器的无刷直流电动机，其定子组件上安装有电磁传感器部件（如耦合变压器、接近开关、LC 谐振电路），当永磁体转子位置发生变化时，电磁效应将使电磁式位置传感器产生高频调制信号（其幅值随转子位置而发生变化）。



15.2 菜鸟学通步进电动机类型、基本结构与原理入门

菜鸟学
基本知
识入门



步进电动机又叫脉冲电动机，是电气控制系统中（如数控机床等）的一种执行部件，用于把脉冲电信号转换为相应的直线位移或角位移。



15.2.1 电工常用步进电动机的基本类型解读

步进电动机类型较多，根据分类方式的不同而有多种。

1. 根据励磁方式不同分类

根据励磁方式的不同，步进电动机可以分为反应式、永磁式和感应式三大类。

2. 根据输出转矩大小不同分类

根据输出转矩大小的不同，步进电动机可以分为功率式与伺服式两大类。

3. 根据气隙方向不同分类

根据气隙方向的不同，步进电动机可以分为径向式与轴向式两大类。

4. 根据定子、转子数目不同分类

根据定子、转子数目的不同，步进电动机可以分为单定子式、双定子式及多定子式等多种。

5. 根据相数不同分类

根据相数的不同，步进电动机可以分为单相式、两相式、三相式及多相式等多种。



15.2.2 电工常用步进电动机的基本结构特点解读

根据转子的结构形式不同，目前应用较多的步进电动机主要为永磁式与反应式两大类。

1. 永磁式步进电动机

永磁式步进电动机的转子上具有磁极，是依靠电磁转矩来进行工作的。

2. 反应式步进电动机

(1) 工作特点：反应式步进电动机的转子由软磁材料制成，定子上有许多相励磁绕组，利用磁导的变化产生转矩。

(2) 结构特点：反应式步进电动机的应用最为广泛，其有两相、三相、多相之分。下面以三相反应式步进电动机为例来进行原理分析，如图 15-8 所示。

反应式步进电动机主要由定子和转子两大部分组成。定子有 6 个磁极，每个磁极有线圈绕组，对称的磁极构成一相控制绕组，转子上有均匀分布的 4 个齿。

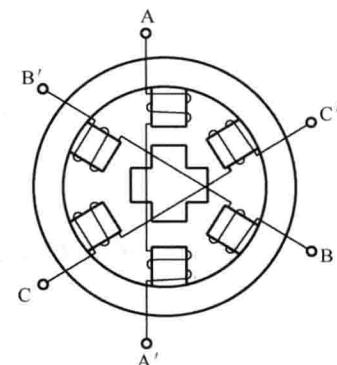


图 15-8 反应式步进电动机的基本结构



15.2.3 电工常用步进电动机的基本工作原理解读

1. 步进电动机能够实现旋转的根本原因

反应式步进电动机是由相控绕组通电使对应的磁极产生磁场，并与转子形成磁路，由于转子齿槽磁导的差异，当定子齿轴线与转子齿轴线不一致时，磁极将对转子齿产生吸力，进而形成电磁转矩。换句话说，由于磁力线具有力求缩短的特性，使转子齿轴线转至与定子齿轴线一致，转至磁导最大的位置。

如果按照一定的顺序给各相控制绕组轮流通电，将在定子内部空间形成步进式磁极轴旋转，转子在反应式电磁转矩的作用下，随之做步进式转动。由此可见，错齿是步进电动机能够实现旋转的根本原因。

如图 15-9 所示，对于三相步进电动机来说，定子的每相磁极在空间相差 120° ，而相邻磁极相差 60° 。

2. 步进电动机 A 相绕组通电

假如步进电动机 A 相绕组通电，B 与 C 相不通电，如图 15-9 (a) 所示，在磁场的作用下，齿 1 与 A 对齐，以此作为初始状态。

3. 步进电动机 B 相绕组通电

假如步进电动机 B 相绕组通电，A 与 C 相不通电，如图 15-9 (b) 所示，在磁场的作用下，齿 2 与 B 对齐，转子旋转 30° 。

4. 步进电动机 C 相绕组通电

假如步进电动机 C 相绕组通电，A 与 B 相不通电，如图 15-9 (c) 所示，在磁场的作用下，齿 3 与 C 对齐，转子又旋转 30° 。

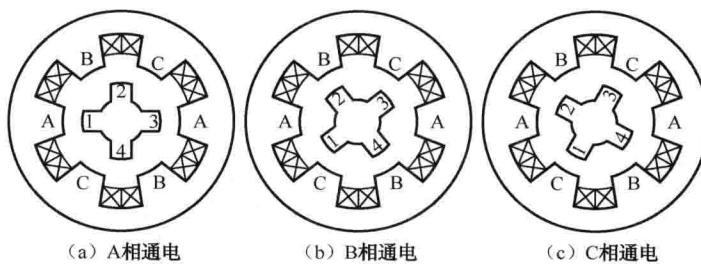


图 15-9 反应式步进电动机工作原理示意图

5. 步进电动机 A 相绕组通电

假如步进电动机 A 相绕组通电，B 与 C 相不通电，在磁场的作用下，齿 4 与 A 对齐，转子又旋转 30° 。

这样，经过 A、B、C、A 分别通电的方法使转子一步步地旋转：

(1) 当通电顺序为 $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow A$ 时，定子磁场旋转一周，转子旋转一个齿距角 90° ，每一步（即每一拍）移动 30° ，这种转动一个齿距角所需的换相次数为三次，称为三拍工作方式。



(2) 当通电顺序为 AB→BC→CA→AB 时, 称为双三拍工作方式。

(3) 当通电顺序为 A→AB→B→BC→C→CA→A 时, 称为六三拍工作方式。这种方式可以提高步进精度, 每一步移动 15°, 这就是步进电动机细分驱动的基本理论依据。

由此可见, 步进电动机转子的旋转位置和速度由导电次数(脉冲数)和频率所决定, 而旋转方向由导电顺序决定。



15.2.4 电工常用步进电动机主要电参数含义的识别方法解读

步进电动机电参数较多, 下面提供的是与日常应用有关的几个主要电参数的含义, 供参考。

1. 步进电动机的相数

步进电动机的相数是指, 用于产生不同对极 N、S 磁场的线圈绕组的对数, 通常采用小写字母 m 来表示。

2. 步进电动机的拍数

步进电动机的拍数是指, 每一次通电状态的换接为拍, 每一拍转子相应旋转一个步距角; 通常把完成一个通电状态循环所需要换接的控制线圈绕组相数或通电状态次数称为拍数, 是完成一个磁场周期性变化所需要的脉冲数, 或者指步进电动机转过一个齿距角所需要的脉冲数, 通常采用大写字母 N 来表示。

3. 步进电动机的齿距角

步进电动机的齿距角通常是指, 相邻两个齿中心线(或称为齿轴线)之间的夹角。通常采用大写字母 Q 来表示。其计算公式为:

$$Q=360^\circ / Z_r$$

式中 Q ——齿距角;

Z_r ——步进电动机转子的齿数。

4. 步进电动机的步距角

步进电动机的步距角通常是指, 对应一个脉冲信号时, 步进电动机转子转过的角位移, 通常采用字母 θ 来表示。其计算公式为:

$$\theta = Z_r \times N$$

式中 Z_r ——步进电动机转子的齿数;

N ——运行拍数。

5. 步进电动机的保持转矩

步进电动机的保持转矩通常是指, 步进电动机通电但还没有转动时, 定子锁住转子的力矩。通常步进电动机在低速时的力矩接近保持转矩。

6. 步进电动机的转速

步进电动机既可以做单步运行(按控制指令转过一定的角度), 又可以连续不断地旋转。当外加一个控制脉冲时, 即每一拍转子将转过一个步距角, 这相当于整个圆周角的 $1/Z_r \times N$, 也就是 $1/Z_r \times N$ 转, 如果控制脉冲的频率为 f , 转子的转速计算公式为:

$$n=(60 \times f)/(Z_r \times N) \text{ (r/min)}$$



式中 n —步进电动机的转速。

7. 步进电动机的起动频率

步进电动机的起动频率通常是指，步进电动机在给定转动惯性 (J_L) 条件下能够正常起动的脉冲频率，如果脉冲频率高于该值，步进电动机就不能正常起动，可能发生失步或堵转。



菜鸟学通安全用电技能入门

电工属于特殊工种，除必须熟练地掌握正规的电工操作技术外，还应掌握电气安全技术，并经考核合格后才能进行独立操作。电气安全技术内容较多，既涉及人体触电后怎样急救，怎样防护人体触电、防雷保护、防火和防爆措施，又包括各种电气安全设备，以及为了电气安全而采取的一些必要防护措施等，这些都是电工人员必须要熟练掌握的。本章介绍菜鸟学通安全用电技能。

16.1 菜鸟学通人体触电的形式及其原因入门

菜鸟学
基本知
识入门



“电”通常具有“看不见、听不到、闻不着”的特点，因此稍有不慎，人体就可能触及带电体，造成触电事故。



16.1.1 人体触电的基本形式解读

人体触电可分为单相触电、双相触电、跨步电压触电和接触电压触电4种形式。无论哪一种形式的触电，对人体都会造成极大的危害。



16.1.2 人体发生触电故障的主要原因解读

人体发生触电事故的原因归纳起来主要是：电气设备安装不合格，维修不及时；电气设备受潮或绝缘受到损坏；电气设备或线路布线不合理；工作中操作不规范，不够注意安全用电。

16.2 菜鸟学通人体触电后的常用急救方法入门

菜鸟应
用技
能入
门



发现有人触电，切不可惊慌失措，束手无策，应迅速使触电者



解脱电源，然后根据触电者的具体情况，采取相应的救治措施。

对表现“死亡”的触电者，不应草率地认为已死亡，应该看作是假死，应尽力持久地进行抢救，有触电者经4小时或更长时间的人工呼吸而得救的事例。据有关资料介绍，触电1min即开始救治者，90%有良好效果；触电后6min开始救治者，10%有良好效果；触电后12min开始救治者，救活的可能性就甚小。可见抓紧抢救时间是多么重要。



16.2.1 人体触电以后解脱电源的基本方法解读

当触电事故发生时，触电者已成为一帶电体，这是救护者不可忽视的严重问题，否则救护者自己也会触电，所以必须首先设法使触电者摆脱电源。摆脱电源的方法可根据现场情况，灵活运用，以求快速切断电源，方法有：

(1) 立即将家用火表（电能表）板上的闸刀开关拉开，即将总电源切断。火表板上无闸刀开关而有瓷插式熔断器时，则应立即将该熔断器全部拔下。

(2) 把引起触电的电器的电源插头立即从插座上拔下。

(3) 用有绝缘柄的电工钳，将电线切断，断开电源。

(4) 迅速利用就近的绝缘物，如干燥的橡胶、塑料、玻璃等制品，或者干燥的竹竿、木棍及干燥的棉、麻、毛、皮制品挑开电线或分离电器或拉开触电者。但切不可直接用手触及带电者的皮肤及潮湿的衣服、鞋袜等，以防抢救者自己触电。

必须注意的是，一般拉线开关及平开关均是单极开关，只能控制一根线，有可能只能断开零线（地线）而不能断开相线（火线）。



16.2.2 人体触电脱离电源以后现场对症救护的方法解读

当触电者脱离电源以后，应根据触电者的具体情况，迅速对症救护。

(1) 如果触电者神志清醒，但感觉全身乏力、心悸、头昏甚至有恶心或呕吐，应使其安静休息，并注意观察，必要时送往医院进行治疗。

(2) 如果触电者神志昏迷，但心跳、呼吸尚存在，此时应将触电者仰卧，解开衣服以利呼吸；如天气寒冷，要注意保暖；周围的空气要流通，要严密观察，并迅速请医生前来诊治或送往医院。

(3) 如果触电者呼吸停止，则立即用口对口人工呼吸法以维持气体交换；如果心脏停止跳动，则立即进行体外心脏按压来维持血液循环；如果呼吸及心脏都已停止，则同时进行人工呼吸和体外心脏按压，并迅速请医生前来或送往医院。在紧要关头，必须做到立即进行抢救，不能等候医生的到来，即使在送往医院的途中，也一定要边救边送，直到心跳、呼吸均得到恢复才能停止。

1. 口对口人工呼吸法

人工呼吸的方法很多，其中以口对口人工呼吸法最简单易学，效果也很好。口对口人工呼吸示意图如图16-1所示，具体方法如下：

(1) 将触电者仰卧，解开衣领，松开紧身上衣，放松裤带，并迅速取出口腔内的呕吐物、黏液及脱落的义齿等，使呼吸道畅通。

(2) 用一只手托在触电者的颈后，将颈部上抬，使其头部充分后仰；用另一只手紧捏鼻



子，救护人深吸一口气后以口紧贴触电者的口，向内吹气约 2s，如图 16-1（a）所示。

（3）吹气停止后，立即脱离触电者的口，并松开触电者鼻孔，使其自行呼气，历时约 3s，如图 16-1（b）所示。

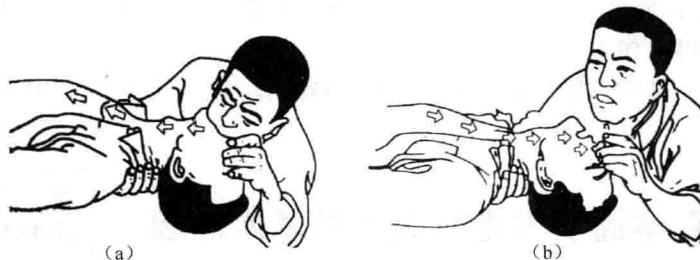


图 16-1 口对口人工呼吸示意图

如此反复进行，每分钟吹气约 12 次。

如果无法把触电者的口张开，则改用口对鼻孔呼吸法，此时吹气压力应稍大，时间也应稍长，以利气体进入肺内。

如果触电者是儿童，则只可小口吹气，以免肺部受损。

2. 体外心脏按压法

体外心脏按压是指有节律地在体外对心脏按压，用人工方法迫使心肌收缩与舒张，以求达到恢复血液循环的目的。其操作方法如下：

（1）使触电者仰卧在硬板上或地上，救护人跪在其腰部一侧或骑跪在其腰部两侧，以一手掌根部按于胸骨下 1/2 处，此时中指指尖对准其颈部凹陷的下缘，如图 16-2（a）所示；另一手压在该手手背上，如图 16-2（b）所示。

（2）救护人掌根用力垂直向下（朝脊背方向）挤压，压出心脏里面的血液，如图 16-2（c）所示。对成人应压陷 3~4cm。每秒钟按压 1 次，每分钟按压约 60 次。

（3）挤压后掌根迅速放松，依靠胸廓的弹性自然复位，使心脏舒张，让大静脉内的血液流入心脏。要注意：掌根放松时不必完全脱离胸壁，如图 16-2（d）所示。

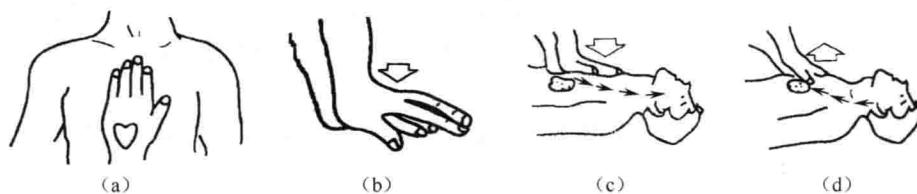


图 16-2 体外心脏按压法示意图

如果触电者是儿童，可只用一只手挤压，用力要轻一些，以免损伤胸骨，而且每分钟宜按压 100 次左右。

如果触电者呼吸、心跳都已停止，应同时进行口对口人工呼吸和体外心脏按压。如果现场只有一个人抢救，则两种方法应交替进行，此时可先吹气 2~3 次，立即按压 10~15 次，然后再吹气 2~3 次，再按压，反复交替进行。

进行人工呼吸和体外心脏按压，抢救工作要坚持不断，切不可草率终止。在送医院的途中，也不能终止抢救。抢救过程中，如果触电者皮肤由紫变红、瞳孔由大变小，则表示抢救



已取得效果。

如果发现触电者嘴唇稍有开合，或眼皮活动，或喉咙有咽东西的动作，则应注意其是否有自动心跳和自主呼吸。

当触电者能自主呼吸时，即可停止人工呼吸。如果人工呼吸停止后，触电者仍不能自己维持呼吸，则应立即再做人工呼吸。

在抢救过程中，如发现触电者身上出现尸斑或身体僵冷，经医生作出无法救活的诊断后，方可停止抢救。

16.3 菜鸟学通引发电气火灾的基本原因与一般防范措施入门

菜鸟应用
技能
入门



从大量的电气火灾发生的情况来看，引发电气火灾的原因常见的主要有以下几个方面，对它们的防范措施具体说明如下。



16.3.1 电气短路造成电气火灾的原因与防范措施解读

1. 起火原因

短路就是正常情况应当彼此绝缘的电气部分发生了直接接触，此时会产生很大的短路电流，可使线路绝缘遭到破坏并引起燃烧，最终酿成火花。有时，在短路即将形成处，会产生电弧或电火花，此时尽管不会产生大的短路电流，但局部环境温度可能高达上千摄氏度，也极易引起火灾。

2. 防范措施

防范短路火花引起的电气火灾，可以参考以下方法设置三道防线来预防发生电气火灾。

(1) 避免短路事故的发生。先采取措施避免短路事故的发生，可以用穿保护管、线槽和封闭桥架等方式敷设线缆，以减少其受机械损伤的机会，还要注意线缆的放置环境，避免线缆受到水浸、高温和酸碱等的影响，再有要保持线缆足够的弯曲半径，防止机械损坏。

(2) 合理配置开关电器。合理配置开关电器，使之能在短路故障发生时迅速切断电路，防止火灾的发生。

目前，起到此类保护功能的电器元件常选用熔断器和断路器，使其具有较完备的短路保护功能。

(3) 采用阻燃材质进行封堵。一旦起火，应限制火势沿线路蔓延。为此在线路过墙、楼板等处要用阻燃材质进行封堵，线缆本身可采用阻燃型材质。



16.3.2 接地故障造成电气火灾的原因与防范措施解读

1. 起火原因

电气线路的非正常接地即为接地故障。接地故障如果没有可靠的感知元件，一般不易察觉，具有一定的隐蔽性，接地故障有时会产生电弧或火花，若不及时排除，则就可能引起火灾。

接地故障可通过以下三种渠道引发火灾。



(1) 故障电流。接地故障回路的阻抗一般较大，所以故障电流通常较小，但容易产生电弧。

(2) 故障电压。户内或户外的接地故障引起的故障电压，会沿着 PE 或 PEN 线传导至设备外壳的敷线槽的外壳，与其他金属物体间相碰就可能产生电火花。

(3) PE 线或 PEN 线连接不良。可能在连接不良处产生电火花而引发火灾。

2. 防范措施

为防止接地故障引发的火灾，应采取以下技术措施：

(1) 装设漏电保护器。在电源进线处装设漏电保护器。其额定动作电流不宜大于 0.5A，而且要带延时功能，但延迟时间不宜大于 0.15s。

(2) 设置等电位连接。如果整个建筑物做了等电位连接，就不会产生火花和电弧。

(3) PE 或 PEN 线连接牢固。应绝对保证 PE 或 PEN 线连接的牢固性。而且还应按有关规程进行严格的质量检查。

入门
解读



16.3.3 负荷过载造成电气火灾的原因与防范措施解读



1. 起火原因

电气系统的负荷超过其额定承受能力，就出现了过载情况，一般来讲，电气设备和线路都有一定限度的过载能力，但这是以缩短其使用寿命为代价的。当过载不重时，电气绝缘材质会加速老化；当出现严重过载时，则可能击穿绝缘层，导致短路事故的发生，从而引起火灾。

2. 防范措施

防范过载电气火灾的关键在于提高线路的过载保护功能。当采用断路器或熔断器作为线路的过负荷保护时，熔断器熔体的额定电流或断路器延时过电流、脱扣器的整定电流，应不大于线路导体长期允许电流的 80%，还应考虑环境温度、敷设方式对线缆载流量的影响，合理选取校正系数，以使所选取的过载保护更加有效。

入门
解读



16.3.4 电气部件连接不良造成电气火灾的原因与防范措施解读

1. 起火原因

电气连接有固定连接和活动连接两种形式。固定连接多用于线芯与线芯，线芯与设备接线端子间的连接。这种连接的起火原因大致有以下几个方面：

- (1) 接触表面氧化生成氧化层，增大了接触电阻，使电流通过时产生了热能。
- (2) 接触面松动、有间隙，电流通过时产生火花。
- (3) 线芯与设备端子接触面过小，或者接触压力不足，导致接触电阻增大。
- (4) 铜、铝接头如渗入了水分、盐分，局部会产生电池效应，生成盐类化合物，增大接触电阻。

活动连接指的是插头插座、开关触头间的连接等。其起火原因基本等同于固定连接时的表面氧化，接触面有杂质附着及接触压力不足等。

2. 防范措施

针对上述起火原因，应注意从以下几方面进行防护：



- (1) 经常清洁接触面，以保证良好的接触。
- (2) 采取有关工艺和附件来保证足够的接触压力。
- (3) 尽可能地减少不必要的开关电器接头。
- (4) 适当增加插座的设置，使用户不用或少用临时线给用电设备供电。



16.3.5 电火花和电弧造成电气火灾的原因与防范措施解读

电火花包括工作电火花、事故电火花和机械碰撞电火花。电火花是由电极间击穿放电形成的。对于工作时易产生火花、电弧的设备，应加强防火灾的措施。



16.4 菜鸟学通电气火灾正确的扑救方法 入门

菜鸟应用
技能
入门



发生电气火灾以后，正确的扑救方法很重要，对及时扑灭大火起到十分关键的作用。



16.4.1 发生电气火灾以后及时切断电源的方法解读

1. 个别电器设备短路起火

若仅是个别电器设备短路起火，可立即关闭设备的电源开关，切断电源。

2. 整个线路燃烧

若是整个线路燃烧，则必须及时断开总开关，切断总电源。如果离总开关太远，来不及拉断，则应采取果断措施将远离燃烧处的电线用正确方法切断，但应注意切勿用手或金属工具直接拉扯或剪切，应站在木凳上用有绝缘柄的钢线钳、斜口钳等工具切断电线。切断电源以后，方可用水常规的灭火方法灭火，没有灭火器时可用水浇灭。



16.4.2 发生电气火灾以后不能直接用水冲浇电气设备

电气设备着火以后，不能直接用水冲浇。因为水有导电性，进入用电设备内易引起触电，并且还会降低电气设备的绝缘性能，有的设备还会发生爆炸，从而会危及人身安全或造成更大的损坏。

变压器、油断路器等充油设备发生火灾以后，可把水喷成雾状来灭火。因水雾面积大，水珠细小，很容易吸热汽化而迅速降低火焰的温度。



16.4.3 发生电气火灾以后使用安全合格的灭火器具灭火的方法解读

如果电气设备是在运行中着火，则必须先切断电源（方法同上），然后再来扑救火。如果一时不能迅速断电，可使用二氧化碳、四氯化碳、1211 灭火机和干粉灭火机等器材进行灭火。



在使用上述这些器材来进行灭火时，必须保持足够的安全距离（指离发生火灾的电气设备与救火时所处位置之间的距离）。通常，对于 10kV 及其以下的电气设备，该距离不应小于 40cm；35kV 时不小于 60cm。

必须注意的是：绝对不能用常用的酸碱或泡沫灭火机来扑灭电气火灾，因为它们的灭火药液具有导电性，手持灭火机的灭火人员会因此而发生触电现象。同时，这类灭火药液还会对电气设备产生强烈的腐蚀作用，而且事后这种腐蚀作用很难消除。

厂房、楼道或邻近房屋起火时，也一定要先关闭总电源开关（如一时无法关总电源开关，也要按上面介绍的切断总电源的供电线路），否则极容易引起线路短路，从而助长了火灾的蔓延。

16.5 菜鸟学通工业和民用防雷建筑物的类型与防雷措施入门

菜鸟应用技能入门



建筑物的分类，通常是根据建筑物的重要性、使用性能，发生雷电事故的可能性与后果来进行分类的。工业和民用建筑通常可以分为以下几类。



16.5.1 根据防雷的要求，第一类工业和民用防雷建筑物范围解读

根据防雷的要求，第一类工业和民用防雷建筑物是指：由于电火花引起爆炸，会导致巨大破坏或人身伤亡事故的建筑物。这类建筑物通常包括以下几类。

1. 使用、制造、储存爆炸物质的建筑物

- (1) 对于需要储存大量爆炸物质（如炸药、起爆药、火工品、火药等）的建筑物。
- (2) 需要在室内使用或制造的爆炸物质（如炸药、起爆药、火工品、火药等）的建筑物。

2. 爆炸危险环境建筑物

对于具有 0 区、1 区或 10 区爆炸危险环境的建筑物。

需要说明的是：对于属于 1 区爆炸危险环境的建筑物，其既可以划归为第一类工业和民用防雷建筑物，也可以划归为第二类工业和民用防雷建筑物。其主要是依据是否会造成巨大破坏和人员伤亡的原则来分类的。对于制造或使用爆炸物质的过程中为间断性作业的情况，虽然雷电火花也会引起爆炸造成经济损失和人员伤亡，但相对来说可能性要小得多，故这种情况就可以划归为第二类工业和民用防雷建筑物。



16.5.2 根据防雷的要求，第二类工业和民用防雷建筑物范围解读

根据防雷的要求，第二类工业和民用防雷建筑物通常可以分为以下几类。

1. 重要用途的建筑物

- (1) 具有特别重要用途的建筑物，如国家级别的办公建筑物与会馆建筑物、国宾馆建筑物，国家级档案馆、博物馆和大型展览馆，大型火车站建筑物，大城市的供水水泵房等。



(2) 对国民经济影响较大且安装了大量电子设备的建筑物，如国际通信枢纽、国家级计算中心等。

(3) 对于被列为国家级重点文物保护的建筑物。

2. 人员密集的建筑物

(1) 建筑物年预计雷击次数 $N > 0.06$ 的重要公共建筑物或人员密集的公共建筑物，如学校、医院、体育馆、展览馆、博物馆、影剧院、经常集会的场所、商业大厦，以及省、部级人员集中的办公建筑物等。

(2) 建筑物年预计雷击次数 $N > 0.3$ 的普通民用建筑物，如工矿企业的办公楼、职工食堂、职工活动场所建筑物等。

3. 制造或使用爆炸物质的建筑物

对于制造或使用爆炸物质的建筑物或储存爆炸物质的建筑物，具有 1 区、2 区或 11 区爆炸危险环境的建筑物，产生的电火花不易引起爆炸或不会造成巨大破坏和人员伤亡的建筑物。

4. 露天钢质封闭的气罐

在工矿企业中，具有爆炸危险的露天钢质封闭的气罐。



16.5.3 根据防雷的要求，第三类工业和民用防雷建筑物范围解读

根据防雷的要求，第三类工业和民用防雷建筑物通常可以分为以下几类。

1. 根据雷击次数不同的几种建筑物

(1) 建筑物年预计雷击次数 $N \geq 0.06$ 的普通型工业建筑物，如储存普通生产物品或用品的建筑物等。

(2) 建筑物年预计雷击次数 $0.3 \geq N \geq 0.06$ 的普通民用建筑物，如普通住宅建筑物等。

(3) 建筑物年预计雷击次数 $0.06 \geq N \geq 0.012$ 的重要建筑物或人员密集的建筑物。

2. 几种重点建筑物

(1) 在工矿企业中，高度 $\geq 15m$ (在年平均雷暴日没有超过 15 天的地区，高度可以 $\geq 20m$) 的水塔或烟筒等孤立高耸的建筑物。

(2) 省级或地区级的档案馆和被列为省级重点文物保护的古迹或建筑物。

3. 其他方面

依据遭到雷击以后，雷击对工矿企业生产的影响程度和产生的后果，以及结合当地气象、地质、地形与周围环境等因素，来确定需要防雷的 21 区、22 区、23 区火灾危险环境。



16.5.4 各种不同类型建筑物防雷措施的解读

不同类型的防雷建筑物，采用的防雷措施也不一样，具体说明如下。

1. 第一类防雷建筑物的防雷措施

对于第一类防雷建筑物，要有防直击雷、防感应雷（也就是雷电感应）与防雷电波侵入的保护措施。

2. 第二类防雷建筑物的防雷措施

对于第二类防雷建筑物中的以下两种情况：



(1) 制造或使用爆炸物质的建筑物或储存爆炸物质的建筑物;

(2) 具有1区、2区或11区爆炸危险环境的建筑物。

虽然上述两种情况产生的电火花不易引起爆炸或不容易造成巨大破坏和人员伤亡，但也要有防直击雷、防感应雷（也就是雷电感应）与防雷电波侵入的保护措施。

对于除了上述情况外的其他第二类防雷建筑物，要具有防直击雷与防雷电波侵入的保护措施。

3. 第三类防雷建筑物的防雷措施

对于第三类防雷建筑物，无论是哪一种情况，均要具有防直击雷与防雷电波侵入的保护措施。

需要说明的是：上述三大类防雷建筑物，无论是哪一类建筑物，如果其中各种金属构件和设施无法隔离，为了避免出现危险雷电，要将它们采用等电位的方式进行连接。



16.6 菜鸟学通避雷保护装置的组成与基本类型入门

菜鸟学
基本知
识入门



雷击电压很高，是一种自然灾害，它不但会造成设备或设施的损坏，造成大规模停电，而且能引起火灾或爆炸，甚至能危及人身安全。防止直击雷比较有效的措施是采用避雷针、避雷线、避雷带和避雷器。



入门
解读



16.6.1 常见防雷保护装置的基本组成解读

常用防雷保护装置主要由接闪器、引下线和接地装置等组成，用于将雷电引入大地。

1. 接闪器

接闪器可以是避雷针、避雷线、避雷网或避雷带。其中，避雷针主要用来保护露天配电设备、建筑物和构筑物等；避雷线主要用来保护电力线路；避雷网和避雷带主要用于保护建筑物。

2. 引下线

引下线也称接地线，用于将雷电接收装置与接地装置连接起来，是一种导电良好的金属导体。

3. 接地装置

接地装置是接地线与接地体的总称。用于把雷电引入大地中，故应与大地良好地接触。



入门
解读



16.6.2 电气设施保护常用避雷器的基本类型解读

避雷器有羊角间隙避雷器、阀型避雷器和管型避雷器之分。它主要用来保护电力设备，也用作防止高压侵入室内的安全措施。

1. 磁吹阀型避雷器的功能特点

磁吹阀型避雷器通常主要是用来保护绝缘较为薄弱的电气设备（如旋转电动机），还可以



用来保护要求严格限制操作过电压的变电所使用的高压电器。

2. 磁吹阀型避雷器与普通阀型避雷器的区别

磁吹阀型避雷器主要由火花间隙与高压阀片组成，与普通阀型避雷器相比，两者的主要区别是间隙结构不同。

1) 磁吹阀型避雷器的通流能力大

磁吹阀型避雷器的火花间隙采用永久磁铁或串联线圈产生的磁场驱动电弧运动，加强去游离，用于提高灭弧能力。由于磁吹阀型避雷器的阀片电阻采用高温烧结而成，故可以通过较大的电流。

而普通阀型避雷器的通流能力则要比磁吹阀型避雷器要小得多。

2) 过电压保护方面

(1) 磁吹阀型避雷器有较高的切断续流的能力，但防冲击放电电压与残压都较低，是一种改善了保护性能的阀型避雷器。

(2) 磁吹阀型避雷器不仅可以对大气的过电压进行保护，而且还能够对内部过电压进行保护。

而普通阀型避雷器仅能够对大气的过电压进行保护，不能够对内部的过电压进行限制保护。

16.7 菜鸟学通避雷设备的选用与安装方法入门

菜鸟应用技能入门



不同的设备或设施防止直击雷比较有效的措施是采用避雷针、避雷线、避雷带和避雷器。



16.7.1 防雷保护常用避雷针选用方法的解读

避雷针主要用于保护露天配电装置、易燃建筑物等。避雷针可作为接闪器。接闪器是利用其高出被保护物的突出部位把雷电引向自身，然后通过引下线和接地装置把雷电流泄入大地，以此来保护被保护物免遭雷击。

1. 避雷针的保护范围

避雷针的保护范围是有限的，保护半径与其高度有关，单支避雷针的保护范围示意图如图 16-3 所示。

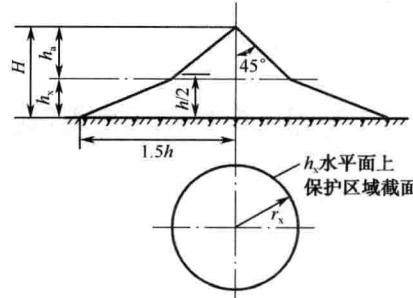


图 16-3 单支避雷针的保护范围示意图



2. 避雷针高度的计算方法

通常是根据实际需要的避雷针保护高度 h_x 和半径 r_x 来计算避雷针的高度 H , 再按这个高度来安装避雷针。一般要进行几次计算才能求得比较精确的避雷针高度 H 的值。

避雷针的高度计算方法如下: 对单支避雷针, 其保护范围可看作一折线圆锥形, 如图 16-3 所示。图中 H 为避雷针高度 (m); h_x 为被保护物的高度 (m); h_a 为避雷针的有效高度 (m)。

避雷针在地面上的保护半径: $r=1.5H$ 。

在 h_x 的平面上的保护半径 r_x 由下式计算:

(1) 当 $h_x \geq H/2$ 时的计算公式: $r_x = (H-h_x) \cdot P$

(2) 当 $h_x < H/2$ 时的计算公式: $r_x = (1.5H-2h_x) \cdot P$

在上式中, P 为高度影响系数, 其值的选取方法为: 当 $H < 30\text{m}$ 时, $P=1$; 当 $H > 30\text{m}$ 时, $P=5.5/\sqrt{H}$ 。

由于雷击放电途径受很多因素的影响, 要想保证被保护物绝对不遭受雷击是很困难的, 一般只要求避雷针在保护范围内被击中的概率在 0.1% 以下即可。



16.7.2 防雷保护常用避雷带与避雷网的安装方法解读

1. 避雷带和避雷网的选择方法

避雷带和避雷网通常可以采用圆钢或扁钢制作而成。如果采用圆钢, 其直径要大于 8mm; 如果采用扁钢, 其厚度要大于 4mm, 截面积要大于 48mm^2 。

避雷带和避雷网使用的金属材料均要镀锌或涂漆, 在腐蚀性较强的场所, 还应适当加大尺寸或采取其他防腐措施。

2. 避雷带和避雷网的安装

避雷带主要用来重点保护建筑物最受雷击的部位, 如屋檐、屋脊、屋角等处, 一般可用 $\varnothing 8\text{mm}$ 圆钢或 $12\text{mm} \times 4\text{mm}$ 扁钢敷设在这些部位构成避雷带。通常, 屋面上任何一点离避雷带不应大于 10m; 当有三条以上避雷带平行敷设时, 每隔 $30\sim 40\text{m}$ 应将平行的避雷带相互连接起来。

菜鸟入门要诀



防雷电除了加装避雷器以外, 还应在其他方面采取以下措施。

1. 保护物金属部分应可靠接地

为了避免由雷电所引起的静电感应作用而形成的火花放电, 必须将被保护物的金属部分进行可靠接地。

2. 闭合回路伸张物体应具有良好接触

为了避免由雷电所引起电磁感应作用而使闭合回路中某一部分发生过热和发生火花放电的危害, 必须使处在雷电流的电磁场中的伸张的金属物件, 具有良好的接触(不能有气隙)而形成闭合回路。

3. 注意电缆和避雷针接地极间接地距离

当雷电放电时所形成的高电位, 由其附近的电缆的金属外壳引到距离避雷针相当远的建筑物内时, 由此也会造成触电或发生火灾、爆炸的危险, 为了避免发生这种现象, 电缆和避雷针的接地极之间至少应相距 10m 以上。



同样，电气设备保护接地装置和避雷针的接地极之间，最少也应该相距 10m。电缆金属外壳也应接地。

4. 接户线最后支持物绝缘子铁脚应接地

为了避免雷击所引起的高电压经架空线引进房屋的危险，应将接户线最后一块支持物上的绝缘子铁脚接地。

5. 露天易燃物应防雷击

易燃物大量集中的露天堆场，应采取适当的放雷措施，以免造成不必要的损失，尤其是夏季雷电多发区更应注意这一点。

参 考 文 献

- [1] 沙振舜. 电工实用技术手册. 南京: 江苏科学技术出版社, 2002
- [2] 杨振宽. 电工最新基础标准应用手册. 北京: 机械工业出版社, 2003.2
- [3] 孙克军. 农村电工手册. 北京: 机械工业出版社, 2002.9
- [4] 孙余凯, 等. 巧学巧用电工实用技术. 北京: 电子工业出版社, 2009
- [5] 王兰君. 电工实用技术入. 北京: 人民邮电出版社, 2004.3
- [6] 门宏. 解析家庭配电箱[J]. 无线电 2005 合订本
- [7] 王常余. 家庭装潢中的电气设计和安装. 电子文摘报 2000 合订本

反侵权盗版声明

电子工业出版社依法对本作品享有专有出版权。任何未经权利人书面许可，复制、销售或通过信息网络传播本作品的行为，歪曲、篡改、剽窃本作品的行为，均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人应承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。

为了维护市场秩序，保护权利人的合法权益，我社将依法查处和打击侵权盗版的单位和个人。欢迎社会各界人士积极举报侵权盗版行为，本社将奖励举报有功人员，并保证举报人的信息不被泄露。

举报电话：(010) 88254396; (010) 88258888

传 真：(010) 88254397

E-mail： dbqq@phei.com.cn

通信地址：北京市万寿路 173 信箱

电子工业出版社总编办公室

邮 编：100036



菜鸟学通系列

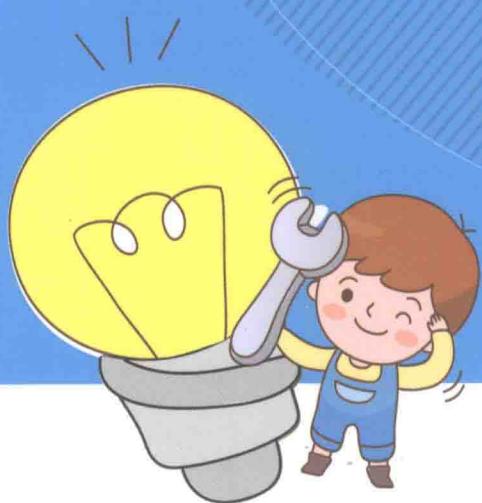
菜鸟学通电子小制作

菜鸟学通电动机技术

→ 菜鸟学通电工基本技能

菜鸟学通电子元器件

菜鸟学通电子电路



官方微信平台



电子信息出版分社微博
<http://weibo.com/etpublish>

ISBN 978-7-121-22017-3



9 787121 220173 >



策划编辑：张榕
责任编辑：王凌燕
封面设计：徐海燕

定价：48.00元