

# 第一章 电工电子基础知识

---

## 第一节 电工作业安全

### 一、电流对人体的伤害

电流对人体的伤害有三种：电击、电伤和电磁场伤害。

电击是指电流通过人体，破坏人体心脏、肺及神经系统的正常功能。

电伤是指电流的热效应、化学效用和机械效应对人体的伤害，主要是指电弧烧伤、熔化金属溅出烫伤等。

电磁场生理伤害是指在高频磁场的作用下，人会出现头晕、乏力、记忆力减退、失眠、多梦等神经系统的症状。

电流通过人体的心脏、肺部和中枢神经系统的危险性比较大，特别是电流通过心脏时，危险性最大。所以触电时从手到脚的电流途径最为危险。

触电还容易因剧烈痉挛而摔倒，导致电流通过全身并造成摔伤、坠落等二次事故。

### 二、防止触电的技术措施

#### 1. 常见的安全措施

##### (1) 绝缘。

它是防止人体触及绝缘物把带电体封闭起来的一种防触电技术。瓷、玻璃、云母、橡胶、木材、胶木、塑料、布、纸和矿物油等都是常用的绝缘材料。

应当注意：很多绝缘材料受潮后或在强电场作用下会遭到破坏丧失绝缘性能。

##### (2) 屏护。

即采用遮拦、护照、护盖箱闸等把带电体同外界隔绝开来的一种防触电技术。

电器开关的可动部分一般不能使用绝缘,而需要屏护。高压设备不论是否有绝缘,均应采取屏护。

(3) 间距。

间距就是保证必要的安全距离。间距除用防止触及或过分接近带电体外,还能起到防止火灾、防止混线、方便操作的作用。在低压工作中,最小检修距离不应小于 0.1 m。

## 2. 接地和接零

(1) 接地。

电气装置或电气线路带电部分的某点与大地连接,电气装置或其他装置正常工作时不带电部分某点与大地的人为连接都叫接地。

(2) 保护接地。

为了防止电气设备外露的不带电导体意外带电造成危险,将该电气设备经保护接地线与深埋在地下的接地体紧密连接起来的作法叫保护接地。

由于绝缘破坏或其他原因而可能呈现危险电压的金属部分,都应采取保护接地措施。如电机、变压器、开关设备、照明器具及其他电气设备的金属外壳都应予以接地。一般低压系统中,保护接电电阻值应小于  $4\ \Omega$ 。

(3) 保护接零。

就是把电气设备在正常情况下不带电的金属部分与电网的零线紧密地连接起来。应当注意的是,在三相四线制的电力系统中,通常是把电气设备的金属外壳同时接地、接零,这就是所谓的重复接地保护措施。保护接零的零线回路不允许装设熔断器和开关。

## 3. 装设漏电保护装置

为了保证在故障情况下人身和设备的安全,应尽量装设漏电流动作保护器。它可以在设备及线路漏电时通过保护装置的检测机构转换取得异常信号,经中间机构转换和传递,然后促使执行机构动作,自动切断电源,起到保护作用。

## 4. 采用安全电压

这是用于小型电气设备或小容量电气线路的安全措施。根据欧姆定律,电压越大,电流也就越大。因此,可以把可能加在人身上的电压限制在某一范围内,使得在这种电压下,通过人体的电流不超过允许范围,这一电压就叫作安全电压。安全电压的工频有效值不超过 50 V,直流不超过 120 V。我国规定工频有效值的等级为 42 V, 36 V, 24 V, 12 V 和 6 V。

手提照明灯、高度不足 2.5 m 的一般照明灯,如果没有特殊安全结构或安全措施,应采用 42 V 或 36 V 安全电压。

凡在金属容器内、隧道内、矿井内等工作地点狭窄、行动不便以及周围有大面积接地导体的环境中,使用手提照明灯时应采用 12 V 安全电压。

## 5. 加强绝缘

加强绝缘就是采用双重绝缘或另加总体绝缘,即保护绝缘体以防止通常绝缘损坏后的触电。

## 6. 注意事项

(1) 不得随便乱动或私自修理车间内的电气设备。

(2) 经常接触和使用的配电箱、配电板、闸刀开关、按钮开头、插座、插销以及导线等,必须

保持完好，不得有破损或将带电部分裸露。

(3) 不得用铜丝等代替保险丝，并保持闸刀开关、磁力开关等盖面完整，以防短路时发生电弧或保险丝熔断飞溅伤人。

(4) 经常检查电气设备的保护接地、接零装置，保证其连接牢固。

(5) 在移动电风扇、照明灯、电焊机等电气设备时，必须先切断电源，并保护好导线，以免其被磨损或拉断。

(6) 在使用手电钻、电砂轮等手持电动工具时，必须安装漏电保护器，工具外壳要进行防护性接地或接零，操作时应戴好绝缘手套并站在绝缘板上。

(7) 在雷雨天，不要走进高压电杆、铁塔、避雷针的接地导线周围 20 m 内。当遇到高压线断落时，周围 10 m 之内，禁止人员进入；若已经在 10 m 范围之内，应单足或并足跳出危险区。

(8) 对设备进行维修时，一定要切断电源，并在明显处放置“禁止合闸，有人工作”的警示牌。

### 三、电气火灾的防止

电器、照明设备、手持电动工具以及通常采用单相电源供电的小型电器，有时会引起火灾。这些火灾发生的原因通常是电气设备选用不当或由于线路年久失修，绝缘老化造成短路；用电量增加、线路超负荷运行；维修不善导致接头松动；电器积尘、受潮、热源接近电器、电器接近易燃物和通风散热失效等。

预防电器火灾发生的措施主要是合理选用电气装置。在干燥少尘的环境中，可采用开启式和封闭式电气装置；在潮湿和多尘的环境中，应采用封闭式电气装置；在易燃易爆的危险环境中，必须采用防爆式电气装置。

防止电气火灾，还要注意线路电器负荷不能过高，注意电气设备安装位置距易燃可燃物不能太近，注意电气设备工作是否异常，注意防潮等。

### 四、静电、雷电、电磁危害的防护措施

#### 1. 静电的防护

生产工艺过程中的静电可能造成多种危害。在挤压、切割、搅拌、喷溅、流体流动、感应、摩擦等作业时都会产生危险的静电。由于静电电压很高，又易发生静电火花，所以特别容易在易燃易爆场所中引发火灾和爆炸。

一般采用静电接地，增加空气的湿度，在物料内加入抗静电剂，使用静电中和器和工艺上采用导电性能较好的材料，降低摩擦、流速、惰性气体保护等方法来消除或减少静电产生。

#### 2. 雷电的防护

一般采用避雷针、避雷器、避雷网、避雷线等装置将雷电直接导入大地来防护雷电。

避雷针主要用来保护露天变配电设备、建筑物和构筑物；避雷线主要用来保护电力线路；避雷网和避雷带主要用来保护建筑物；避雷器主要用来保护电力设备。

#### 3. 电磁危害的防护

一般采用电磁屏蔽装置来防护电磁危害。金属或金属网可有效地消除电磁场的能量，因此可以

用来制作屏蔽室、屏蔽服。高频电磁屏蔽装置可由铜、铝或钢制成。屏蔽装置应有良好的接地装置，以提高屏蔽效果。

## 五、如何使触电者脱离电源及急救

### 1. 触电者脱离电源

如果触电地点附近有电源开关，可立即关闭开关，断开电源。但应注意到拉线开关和平开关只能控制一根线，有可能只切断了零线而没有断开电源。

如果触电地点附近没有电源开关，可用有绝缘柄的电工钳或有干燥木柄的斧头切断电线，断开电源，或用干木板等绝缘物插到触电者身下，以隔断电流。

### 2. 急救

急救的基本原则是动作迅速。从触电 1 min 开始救治者，90%有良好效果。从触电 6 min 开始救治者，10%有良好效果。而从触电后 12 min 开始救治者，救活的可能性很小。

触电现场急救方法：人工呼吸，胸外心脏挤压法。

#### 触电事故案例

##### 案例 1

某年 7 月 31 日上午，在某厂工程室外地沟里进行对接管道作业的管工，往焊管上搭接焊机二次回路线时触电，倒地后将回路线压在身下触电身亡。该管工在雨后有积水的管沟内摆放对接管时，所穿戴的布鞋、帆布手套均已湿透。当右手拉电焊机回路线往钢管上搭接时，裸露的线头触到戴手套的左手掌上，使电流在回路线—人体—手把线（已放在地上）之间形成回路，电流通过心脏。尤其是他触电倒下后，在积水的沟内，人体成了良好的导体（此时人体电阻在 1 000  $\Omega$ 左右），电焊机空载二次电压在 70 V 左右，则通过人体的电流为 70 mA。而成人通常的致颤电流即致命电流为 50 mA。70 mA 电流使其心脏不能再起压送血液的作用，所以血液循环停止造成死亡。

##### 案例 2

某年 12 月 21 日，在 A 市某集团公司承建的大厦工地，杂工陈某发现潜水泵开动后漏电开关动作，便要求电工把潜水泵电源线不经漏电开关接上电源，起初电工不肯，但在陈某的多次要求下照办。潜水泵再次启动后，陈某拿一条钢筋欲挑起潜水泵检查是否沉入泥里，当陈某挑起潜水泵时，即触电倒地，经抢救无效死亡。

## 第二节 电工基础知识

## 一、直流电路

为了某种需要而由电源、导线、开关、负载等电气设备或器件按一定方式连接起来的电流的通路被称为电路。电路能实现能量的转换、分配和传输，并能实现信号的传递与处理，还可以对信息进行测量和存储。

### 1. 电 源

电路中的电源是提供电能的设备，电源的作用是将非电能转换成电能，如发电机、电池等。直流电路如图 1.1 所示。

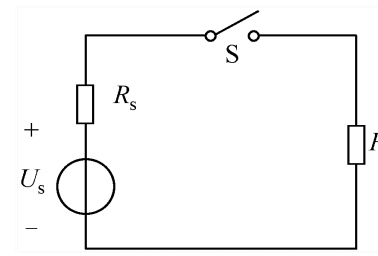


图 1.1 直流电路

### 2. 导 线

导线是电路中将各种设备和元件连接起来的材料，是传递电能的通路。常用的导线有铜线和铝线。

### 3. 开 关

开关在电路中负责控制电路的通断，通常在电路中适当位置安装开关。导线和开关都属于中间环节。

### 4. 负 载

负载是用电设备，是电路中的主要耗能器件，负载的作用是将电能转换成非电能，如电视机、电灯。

## 二、欧姆定律

### 1. 欧姆定律

导体中的电流  $I$  的大小与加在导体两端的电压  $U$  成正比，与导体的电阻  $R$  成反比，这就是电路的欧姆定律，用公示表达为

$$U = IR$$

欧姆定律需要注意以下几点：

- (1) 电压、电流、电阻为同一段电路中，并在同时刻取值。
- (2) 这段电路中不含电源，无任何电动势。
- (3) 遵循欧姆定律的电路叫作线性电路，不遵循欧姆定律的电路叫作非线性电路。

### 2. 串联和并联

如果电路中有两个或多个二端元件依次顺序相连，并且中间没有其他分支，这样的连接方法称为串联；如果电路中有两个或多个二端元件连接在两个公共的结点之间，这样的连接方法称为并联。如图 1.2 中，元件  $A_1$  和  $B_1$  是串联连接，元件  $A_2$  和  $B_2$  则是并联连接。



### 三、电磁感应

#### 1. 电磁感应

电磁感应是指闭合电路的一部分导体在磁场中作切割磁感线运动,导体中就会产生电流的现象。产生的电流叫作感应电流。

感应电动势的计算公式为

$$E = BLv\sin A$$

式中  $E$ ——感应电动势 (V);  
 $B$ ——磁感应强度 (T);  
 $L$ ——导线有效长度 (m);  
 $v$ ——导线运动速度 (m/s);  
 $A$ —— $v$  或  $L$  与磁感线的夹角 ( $^{\circ}$ )。

#### 2. 右手定则

右手定则简单展示了载流导线如何产生一个磁场。伸开右手,使大拇指跟其余四个手指垂直,并且都跟手掌在一个平面内,把右手放入磁场中,让磁感线垂直穿过手心(即手心正对磁场 N 极方向),大拇指指向导体运动的方向,那么其余四个手指所指的方向就是感应电流的方向。

#### 3. 左手定则

左手定则反映了带电粒子(载流导线)在磁场中的受力情况。伸开左手,使大拇指跟其余四个手指垂直,并且都跟手掌在一个平面内,把左手放入磁场中,让磁感线垂直穿过手心,四指指向带电粒子运动(电流所指)方向,则大拇指的方向就是导体受力的方向。

### 四、交流电基础知识

#### 1. 交流电

交流电(AC),也称“交变电流”。它的电流方向随时间做周期性变化。最基本的交流电形式是正弦电流。当法拉第发现电磁感应的同时发现了产生交流电流的方法,因此他被誉为“交流电之父”。我国通常使用的交流电频率是 50 Hz。常见的电灯、电动机等电器都使用交流电。在实用中,交流电用符号“~”表示。

#### 2. 主要物理量

##### (1) 正弦交流电三要素。

正弦交流电三要素:最大值(峰值)、周期(频率或角频率)和相位(初相位)。交流电所要讨论的基本问题是电路中的电流、电压关系以及功率(或能量)的分配问题。由于交流电具有随时间变化的特点,因此产生了一系列区别于直流电路的特性。

正弦交流电的表达式:

$$i = I \sin(\omega t + \varphi)$$

式中  $I$ ——正弦电流  $i$  的振幅；

$\omega$ ——角频率

$\varphi$ ——初相位。

### (2) 瞬时值、最大值和有效值。

**瞬时值：**交流电流、电压、电动势在某一时刻所对应的值称为它们的瞬时值。瞬时值随时间的变化而变化。不同时刻，瞬时值的大小和方向均不同。交流电的瞬时值取决于它的周期、幅值和初相位。以正弦交流电为例，其瞬时值为  $i = I_m \sin \omega t$ 。

**最大值：**交变电流的最大值是指交变电流在一个周期内所能达到的最大值，它可以用来表示交变电流的强弱或电压的高低。以正弦交流电为例。

$$E_m = nB\omega S$$

此时电路中的电流强度及用电器两端的电压都具有最大值，即

$$I_m = E_m / (R + r)$$

**有效值：**交变电流的有效值是根据电流的热效应来定义的，让交变电流和恒定电流通过相同阻值的电阻，如果在相同的时间内产生的热量相等，我们就把这一恒定电流的数值叫作这一交变电流的有效值。

$$I = 0.707I_m$$

## 3. 三相交流电路

由三相交流电源供电的电路，简称三相电路。三相交流电源是指由三个频率相同，幅值相等，相位互差  $120^\circ$  的电压源（或电动势）组成的供电系统。

三相交流电路的连接方式通常有两种：一种是星形连接（Y形），另一种称为三角形连接（ $\Delta$ 形），如图 1.3 所示。从 3 个电源的始端 A、B、C 引出的 3 条导线称为端线（俗称火线）。任意两根端线之间的电压  $U_{AB}$ 、 $U_{BC}$ 、 $U_{CA}$  称为线电压。

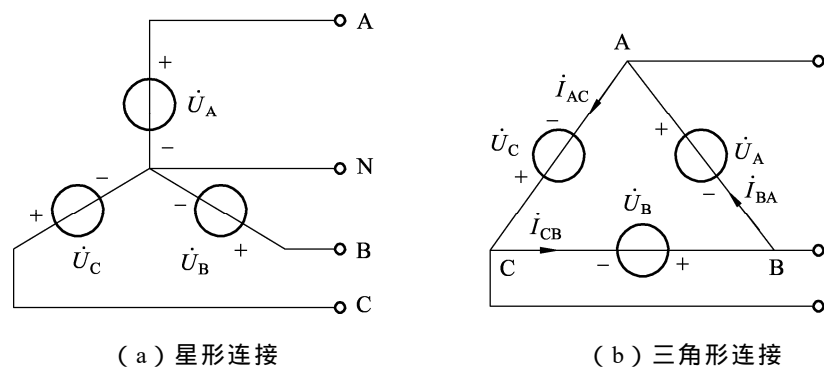


图 1.3 三相交流电路的连接方式

星形连接时线电压为相电压的  $\sqrt{3}$  倍，3 个线电压之间的相位差仍为  $120^\circ$ ，它们比 3 个相电压各超前  $30^\circ$ ；星形连接有一个公共点（接线图中的点 N），称为中性点。三角形连接时线电压等于相电压，而且 3 个电源形成一个回路，只有当三相电源对称并连接正确时（此时  $I_a + I_b + I_c = 0$ ）才能保证电源内部没有环流。

三相五线制中，一般电线绝缘层用颜色黄、绿、红、淡蓝色分别表示 U、V、W、N，保护接地线（PE）用双色线。

## 五、电工材料及常用低压电气设备

### 1. 铜导线的特点及使用

导线分为两大类，电磁线和电力线。电磁线用于制作电感线圈，如变压器、电动机等绕组。电力线则用于各种电路的连接。

电力线又分为绝缘导线和裸导线两类。平时常用绝缘导线，它的特点是损耗小，容许电流大，节能、价格适宜、易于施工、使用寿命长等。

### 2. 常用低压电气元件

#### (1) 低压断路器。

低压断路器（见图 1.4）相当于刀开关，在控制电路中主要起隔离和短路保护作用。

#### (2) 熔断器。

熔断器（见图 1.5）内部有熔体，当电流过大时，熔体熔化，起到短路保护的作用。熔断器内部装有石英砂或细铜丝，能迅速降温、散热、灭弧。熔断器电流值一般为电路上限电流的两倍左右。熔断器应装在各相线上。在二相三线或三相四线回路的中性线上严禁装熔断器。

#### (3) 接触器。

接触器（见图 1.6）是用于频繁接通或断开交流、直流主电路及大容量控制电路的一种自动切换电器。注意，中间继电器与接触器原理类似，但容量小，不能混用。



图 1.4 低压断路器



图 1.5 熔断器



图 1.6 接触器

#### (4) 热继电器。

热继电器（见图 1.7）主要用于负载的过载保护、断相保护、电流不平衡的保护及其他电气设备发热状态的控制，其常闭触点串联接在负载的回路中。

#### (5) 时间继电器。

时间继电器（见图 1.8）用于需要时间顺序控制的电气控制系统中，它接受控制信号后，能按要求延时动作。

#### (6) 按钮。

按钮（见图 1.9）用于在控制电路中，手动按下控制其他电器。



图 1.7 热继电器



图 1.8 时间继电器



图 1.9 按钮



### 第三节 常见电子元件

常见的电子元件有电阻器、电容器、电感器、二极管、三极管、场效应管、晶闸管、集成电路等。

#### 一、电阻器

电阻器是具有一定电阻性能的元件，它是电路中不可缺少的元器件，在电路中起到限流和分压的作用。

##### 1. 电阻器的种类

按结构形式可分为固定电阻器、可变电阻器（电位器）和敏感电阻器，如图 1.10 所示。

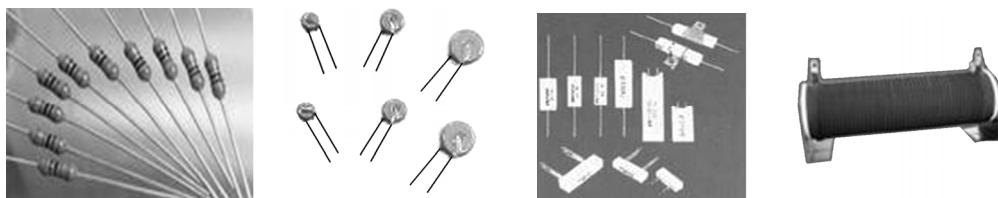


图 1.10 各种类型电阻器

##### 2. 电阻器的主要参数

(1) 标称阻值和允许误差：标称阻值是指电阻器上所标出的电阻值，允许误差是指电阻器实际电阻与标称电阻之间的误差允许范围。

(2) 额定功率：是指在一定的环境温度和湿度下，长期连续工作所能允许消耗的最大功率。

##### 3. 电阻器的标识方法

(1) 直标法：是指在电阻器上用数字或字母直接标出主要参数和性能指标。电阻器的单位符号用  $\Omega$ 、 $k\Omega$ 、 $M\Omega$ 、 $G\Omega$  等表示，允许误差用百分数表示，也可用精度等级表示，级不标明。

(2) 文字符号法：是指在电阻上用文字和数字符号有规律地标出主要参数和技术指标。例如， $0.47\Omega$  标注为  $\Omega 47$ ； $4.7\Omega$  标注为  $4\Omega 7$ ； $4.7k\Omega$  误差为  $\pm 5\%$  的电阻可标注为  $4k7$ ； $10M\Omega$  可标注为  $10M$  等。

(3) 色环法：是指在电阻上用不同颜色的色环标出电阻值和允许误差。色环法有四环法和五环法两种。普通电阻器用四条色环表示，第 1 条、第 2 条色环表示电阻的第一、二位有效数字，第 3 条色环表示 10 的倍乘数，第 4 条色环表示允许误差。精密电阻器用五条色环表示，第 1、2、3 条色环表示第一、二、三位有效数字，第 4 条色环表示 10 的倍乘数，第 5 条表示允许误差。色环的颜色规定见表 1.1。

表 1.1 色环颜色表示的有效数字和允许误差

色环颜色	银	金	黑	棕	红	橙	黄	绿	蓝	紫	灰	白	无色
有效数字	—	—	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	—
倍乘数	$10^{-2}$	$10^{-1}$	$10^0$	$10^1$	$10^2$	$10^3$	$10^4$	$10^5$	$10^6$	$10^7$	$10^8$	$10^9$	—
允许误差	$\pm 10\%$	$\pm 5\%$	—	$\pm 1\%$	$\pm 2\%$	—	—	$\pm 0.5\%$	$\pm 0.2\%$	$\pm 0.1\%$	—	—	$\pm 20\%$

##### 4. 电阻器的测试

(1) 固定电阻器的测试：固定电阻器的阻值可用数字式或指针式万用表进行测试，测试时将万

用表量程开关置于合适的挡位，注意测试时不要将手触及电阻的引脚，以免增加误差。测量电阻时，每换一次挡位都要重新调零。

(2) 可变电阻器的测试：可变电阻器也可用万用表进行测量。测量时，应先用万用表测量可变电阻器的任一固定端与滑动端的电阻，慢慢旋动转轴，观察万用表的读数是否平稳变化，如有跳动的现象，说明可变电阻器接触不良。

## 二、电容器

电容器是由两个平行金属极板中间夹一层绝缘电介质构成的，是一种能储存电能的元件，主要用于耦合、交流旁路、滤波、谐振等电路中。

### 1. 电容器的种类

电容器按结构可分为固定电容器、半可变电容器、可变电容器，如图 1.11 所示。电容的符号如图 1.12 所示。

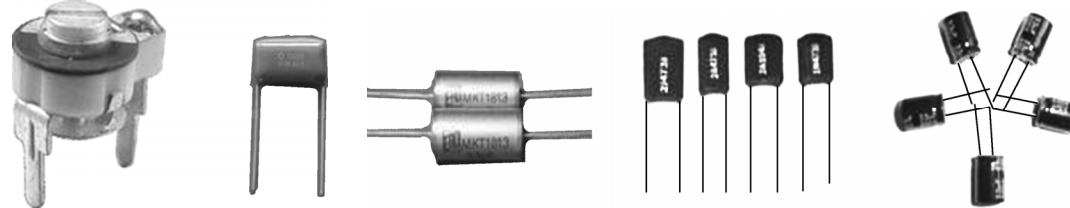


图 1.11 各种类型电容器

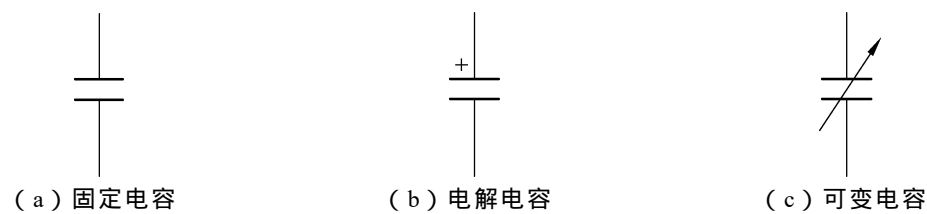


图 1.12 电容的符号

### 2. 电容器的主要参数

(1) 标称容量与允许误差：标称容量是指在电容器上标出的电容量值，允许误差是指电容器实际容量与标称容量之间的误差允许范围。

(2) 额定工作电压：是指电容器在规定的工作温度范围下，长期工作时所能承受的最大工作电压。常用固定电容器的额定工作电压有 1.6 V、4 V、6.3 V、10 V、25 V、40 V、63 V、100 V、125 V、160 V、250 V、400 V、500 V、630 V、1 000 V 等。

### 3. 电容器的标识方法

(1) 直标法：在电容器表面直接标出主要参数和技术指标。

(2) 文字符号法：在电容器上用字母和数字有规律地标出主要参数和技术指标，如 47  $\mu\text{F}$  用 47  $\mu$  表示；0.47  $\mu\text{F}$  用 0.47  $\mu$  表示；4.7 pF 用 4P7 表示。

(3) 色环法：电容器的色环法与电阻器的色环法类似，电容器的标注单位为 pF。

### 4. 电容器的测试