

## 晶体三极管的结构和类型

晶体三极管，是半导体基本元器件之一，具有电流放大作用，是电子电路的核心元件。三极管是在一块半导体基片上制作两个相距很近的 PN 结，两个 PN 结把正块半导体分成三部分，中间部分是基区，两侧部分是发射区和集电区，排列方式有 PNP 和 NPN 两种，如图从三个区引出相应的电极，分别为基极 b 发射极 e 和集电极 c。

发射区和基区之间的 PN 结叫发射结，集电区和基区之间的 PN 结叫集电极。基区很薄，而发射区较厚，杂质浓度大，PNP 型三极管发射区"发射"的是空穴，其移动方向与电流方向一致，故发射极箭头向里；NPN 型三极管发射区"发射"的是自由电子，其移动方向与电流方向相反，故发射极箭头向外。发射极箭头指向也是 PN 结在正向电压下的导通方向。硅晶体三极管和锗晶体三极管都有 PNP 型和 NPN 型两种类型。

## 三极管的封装形式和管脚识别

常用三极管的封装形式有金属封装和塑料封装两大类，引脚的排列方式具有一定的规律，如图对于小功率金属封装三极管，按图所示底视图位置放置，使三个引脚构成等腰三角形的顶点上，从左向右依次为 e b c；对于中小功率塑料三极管按图使其平面朝向自己，三个引脚朝下放置，则从左到右依次为 e b c。

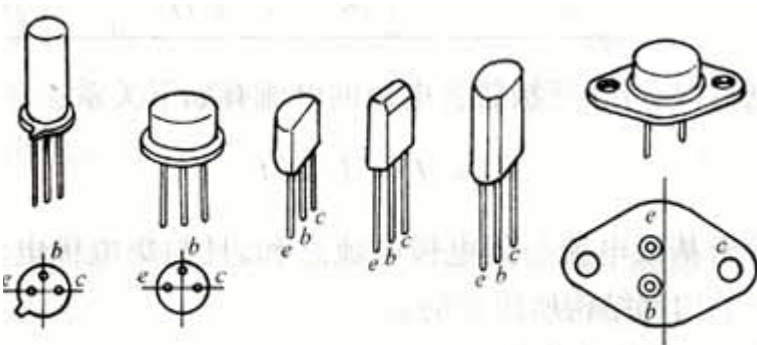


图 2-29 常用晶体三极管的外形及引脚排列

目前，国内各种类型的晶体三极管有许多种，管脚的排列不尽相同，在使用中不确定管脚排列的三极管，必须进行测量确定各管脚正确的位置，或查找晶体管使用手册，明确三极管的特性及相应的技术参数和资料。

## 晶体三极管的电流放大作用

晶体三极管具有电流放大作用，其实质是三极管能以基极电流微小的变化量来控

制集电极电流较大的变化量。这是三极管最基本的和最重要的特性。我们将  $\Delta I_c / \Delta I_b$  的比值称为晶体三极管的电流放大倍数，用符号 “ $\beta$ ” 表示。电流放大倍数对于某一只三极管来说是一个定值，但随着三极管工作时基极电流的变化也会有一定的改变。

### 晶体三极管的三种工作状态

**截止状态：**当加在三极管发射结的电压小于 PN 结的导通电压，基极电流为零，集电极电流和发射极电流都为零，三极管这时失去了电流放大作用，集电极和发射极之间相当于开关的断开状态，我们称三极管处于截止状态。

**放大状态：**当加在三极管发射结的电压大于 PN 结的导通电压，并处于某一恰当的值时，三极管的发射结正向偏置，集电结反向偏置，这时基极电流对集电极电流起着控制作用，使三极管具有电流放大作用，其电流放大倍数  $\beta = \Delta I_c / \Delta I_b$ ，这时三极管处放大状态。

**饱和导通状态：**当加在三极管发射结的电压大于 PN 结的导通电压，并当基极电流增大到一定程度时，集电极电流不再随着基极电流的增大而增大，而是处于某一定值附近不怎么变化，这时三极管失去电流放大作用，集电极与发射极之间的电压很小，集电极和发射极之间相当于开关的导通状态。三极管的这种状态我们称之为饱和导通状态。

根据三极管工作时各个电极的电位高低，就能判别三极管的工作状态，因此，电子维修人员在维修过程中，经常要拿多用电表测量三极管各脚的电压，从而判别三极管的工作情况和工作状态。

### 使用多用电表检测三极管

**三极管基极的判别：**根据三极管的结构示意图，我们知道三极管的基极是三极管中两个 PN 结的公共极，因此，在判别三极管的基极时，只要找出两个 PN 结的公共极，即为三极管的基极。具体方法是将多用电表调至电阻挡的  $R \times 1k$  挡，先用红表笔放在三极管的一只脚上，用黑表笔去碰三极管的另两只脚，如果两次全通，则红表笔所放的脚就是三极管的基极。如果一次没找到，则红表笔换到三极管的另一个脚，再测两次；如还没找到，则红表笔再换一下，再测两次。如果还没找到，则改用黑表笔放在三极管的一个脚上，用红表笔去测两次看是否全通，若一次没成功再换。这样最多没量 12 次，总可以找到基极。

**三极管类型的判别：**三极管只有两种类型，即 P N P 型和 N P N 型。判别时只要知道基极是 P 型材料还 N 型材料即可。当用多用电表  $R \times 1k$  挡时，黑表笔代表电源正极，如果黑表笔接基极时导通，则说明三极管的基极为 P 型材料，三极管即为 N P N 型。如果红表笔接基极导通，则说明三极管基极为 N 型材料，三极管即为 P N P 型。

### 电子三极管

在弗莱明为改进无线电检波器而发明二极管的同时，美国物理学博士弗雷斯特也在潜心研究检波器。正当他的研究步步深入时，传来了英国的弗莱明发明成功真空二极管的消息，使他大受震动。是改弦易辙还是继续下去呢？他想到弗莱明的二极管可用于整流和检波，但还不能放大电信号。于是，德弗雷斯特又经过两年的研制，终于改进了弗莱明的二极管，作出了新的发明。在二极管的阴极和阳极中间插入第三个具

有控制电子运动功能的电极（栅极）。栅极上电压的微弱信号变化，可以调制从阴极流向阳极的电流，因此可以得到与输入信号变化相同，但强度大大增加的电流。这就是德弗雷斯特发明的三极管的“放大”作用。

1912 年，德弗雷斯特又成功地做了几个三极管的连接实验，得到了比单个三极管大得多的放大能力。很快，德弗雷斯特研制出第一个电子放大器用于电话中继器，放大微弱的电话信号，他是在电话中使用电子产品的第一人。此外，三极管还可振荡产生电磁波，也就是说，所以，国外许多人都将三极管的发明看作是电子工业真正的诞生。

## MOS 场效应管

即金属-氧化物-半导体型场效应管，英文缩写为 MOSFET（Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect-Transistor），属于绝缘栅型。其主要特点是在金属栅极与沟道之间有一层二氧化硅绝缘层，因此具有很高的输入电阻（最高可达  $10^{15} \Omega$ ）。它也分 N 沟道管和 P 沟道管，符号如图 1 所示。通常是将衬底（基板）与源极 S 接在一起。根据导电方式的不同，MOSFET 又分增强型、耗尽型。所谓增强型是指：当  $V_{GS}=0$  时管子是呈截止状态，加上正确的  $V_{GS}$  后，多数载流子被吸引到栅极，从而“增强”了该区域的载流子，形成导电沟道。耗尽型则是指，当  $V_{GS}=0$  时即形成沟道，加上正确的  $V_{GS}$  时，能使多数载流子流出沟道，因而“耗尽”了载流子，使管子转向截止。

以 N 沟道为例，它是在 P 型硅衬底上制成两个高掺杂浓度的源扩散区  $N^+$  和漏扩散区  $N^+$ ，再分别引出源极 S 和漏极 D。源极与衬底在内部连通，二者总保持等电位。图 1（a）符号中的前头方向是从外向电，表示从 P 型材料（衬底）指身 N 型沟道。当漏接电源正极，源极接电源负极并使  $V_{GS}=0$  时，沟道电流（即漏极电流） $I_D=0$ 。随着  $V_{GS}$  逐渐升高，受栅极正电压的吸引，在两个扩散区之间就感应出带负电的少数载流子，形成从漏极到源极的 N 型沟道，当  $V_{GS}$  大于管子的开启电压  $V_{TN}$ （一般约为 +2V）时，N 沟道管开始导通，形成漏极电流  $I_D$ 。

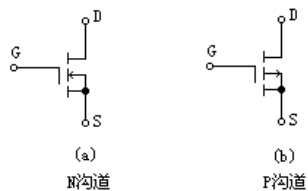


图 1

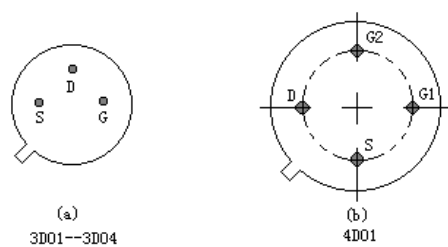


图 2

国产 N 沟道 MOSFET 的典型产品有 3D01、3D02、3D04（以上均为单栅管），4D01（双栅管）。它们的管脚排列（底视图）见图 2。

MOS 场效应管比较“娇气”。这是由于它的输入电阻很高，而栅-源极间电容又非常小，极易受外界电磁场或静电的感应而带电，而少量电荷就可在极间电容上形成相当高的电压（ $U=Q/C$ ），将管子损坏。因此了厂时各管脚都绞合在一起，或装在金属箔内，使 G 极与 S 极呈等电位，防止积累静电荷。管子不用时，全部引线也应短接。在测量时应格外小心，并采取相应的防静电感措施。下面介绍检测方法。

### 1·准备工作

测量之前，先把人体对地短路后，才能摸触 MOSFET 的管脚。最好在手腕上接一条导线与大地连通，使人体与大地保持等电位。再把管脚分开，然后拆掉导线。

### 2·判定电极

将万用表拨于  $R \times 100$  档，首先确定栅极。若某脚与其它脚的电阻都是无穷大，证明此脚就是栅极 G。交换表笔重测量，S-D 之间的电阻值应为几百欧至几千欧，其中阻值较小的那一次，黑表笔接的为 D 极，红表笔接的是 S 极。日本生产的 3SK 系列产品，S 极与管壳接通，据此很容易确定 S 极。

### 3·检查放大能力（跨导）

将 G 极悬空，黑表笔接 D 极，红表笔接 S 极，然后用手指触摸 G 极，表针应有较大的偏转。双栅 MOS 场效应管有两个栅极 G1、G2。为区分之，可用手分别触摸 G1、G2 极，其中表针向左侧偏转幅度较大的为 G2 极。

目前有的 MOSFET 管在 G-S 极间增加了保护二极管，平时就不需要把各管脚短路了。

## VMOS 场效应管

VMOS 场效应管（VMOSFET）简称 VMOS 管或功率场效应管，其全称为 V 型槽 MOS 场效应管。它是继 MOSFET 之后新发展起来的高效、功率开关器件。它不仅继承了 MOS 场效应管输入阻抗高（ $\geq 10^8 \Omega$ ）、驱动电流小（左右  $0.1 \mu A$  左右），还具有耐压高（最高可耐压 1200V）、工作电流大（1.5A~100A）、输出功率高（1~250W）、跨导的线性好、开关速度快等优良特性。正是由于它将电子管与功率晶体管之优点集于一身，因此在电压放大器（电压放大倍数可达数千倍）、功率放大器、开关电源和逆变器中正获得广泛应用。

众所周知，传统的 MOS 场效应管的栅极、源极和漏极大大致处于同一水平面的芯

片上，其工作电流基本上是沿水平方向流动。VMOS 管则不同，从图 1 上可以看出其两大结构特点:第一，金属栅极采用 V 型槽结构；第二，具有垂直导电性。由于漏极是从芯片的背面引出，所以 ID 不是沿芯片水平流动，而是自重掺杂 N+区（源极 S）出发，经过 P 沟道流入轻掺杂 N-漂移区，最后垂直向下到达漏极 D。电流方向如图中箭头所示，因为流通截面积增大，所以能通过大电流。由于在栅极与芯片之间有二氧化硅绝缘层，因此它仍属于绝缘栅型 MOS 场效应管。

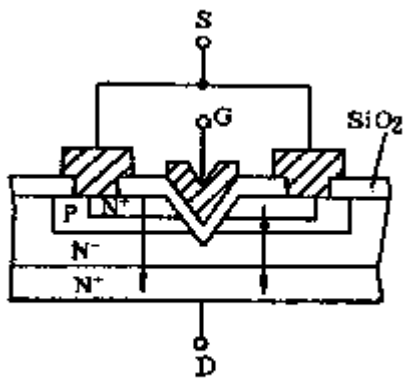
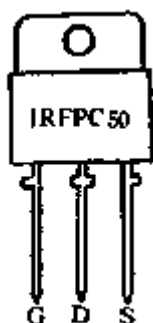


图 1

国内生产 VMOS 场效应管的主要厂家有 877 厂、天津半导体器件四厂、杭州电子管厂等，典型产品有 VN401、VN672、VMPT2 等。表 1 列出六种 VMOS 管的主要参



数。其中，IRFPC50 的外型如图 3 所示。

下面介绍检测 VMOS 管的方法。

### 1·判定栅极 G

将万用表拨至  $R \times 1k$  档分别测量三个管脚之间的电阻。若发现某脚与其字两脚的电阻均呈无穷大，并且交换表笔后仍为无穷大，则证明此脚为 G 极，因为它和另外两个管脚是绝缘的。

### 2·判定源极 S、漏极 D

由图 1 可见，在源-漏之间有一个 PN 结，因此根据 PN 结正、反向电阻存在差异，

可识别 S 极与 D 极。用交换表笔法测两次电阻，其中电阻值较低（一般为几千欧至十几千欧）的一次为正向电阻，此时黑表笔的是 S 极，红表笔接 D 极。

### 3· 测量漏-源通态电阻 $R_{DS(on)}$

将 G-S 极短路，选择万用表的  $R \times 1$  档，黑表笔接 S 极，红表笔接 D 极，阻值应为几欧至十几欧。

由于测试条件不同，测出的  $R_{DS(on)}$  值比手册中给出的典型值要高一些。例如用 500 型万用表  $R \times 1$  档实测一只 IRFPC50 型 VMOS 管， $R_{DS(on)} = 3.2\Omega$ ，大于  $0.58\Omega$ （典型值）。

### 4· 检查跨导

将万用表置于  $R \times 1k$ （或  $R \times 100$ ）档，红表笔接 S 极，黑表笔接 D 极，手持螺丝刀去碰触栅极，表针应有明显偏转，偏转愈大，管子的跨导愈高。

注意事项：

（1）VMOS 管亦分 N 沟道管与 P 沟道管，但绝大多数产品属于 N 沟道管。对于 P 沟道管，测量时应交换表笔的位置。

（2）有少数 VMOS 管在 G-S 之间并有保护二极管，本检测方法中的 1、2 项不再适用。

（3）目前市场上还有一种 VMOS 管功率模块，专供交流电机调速器、逆变器使用。例如美国 IR 公司生产的 IRFT001 型模块，内部有 N 沟道、P 沟道管各三只，构成三相桥式结构。

（4）现在市售 VNF 系列（N 沟道）产品，是美国 Supertex 公司生产的超高频功率场效应管，其最高工作频率  $f_p = 120\text{MHz}$ ， $I_{DSM} = 1\text{A}$ ， $P_{DM} = 30\text{W}$ ，共源小信号低频跨导  $g_m = 2000\mu\text{S}$ 。适用于高速开关电路和广播、通信设备中。

（5）使用 VMOS 管时必须加合适的散热器后。以 VNF306 为例，该管子加装  $140 \times 140 \times 4$ （mm）的散热器后，最大功率才能达到  $30\text{W}$ 。

## 场效应晶体管

场效应晶体管(FET)简称场效应管，它属于电压控制型半导体器件，具有输入电阻高（ $10^8 \sim 10^9\Omega$ ）、噪声小、功耗低、没有二次击穿现象、安全工作区域宽等优点，现已成为双极型晶体管和功率晶体管的强大竞争者。

场效应管分结型、绝缘栅型两大类。结型场效应管（JFET）因有两个 PN 结而得名，绝缘栅型场效应管（JGFET）则因栅极与其它电极完全绝缘而得名。目前在绝缘栅型场效应管中，应用最为广泛的是 MOS 场效应管，简称 MOS 管（即金属-氧化物-半导体场效应管 MOSFET）；此外还有 PMOS、NMOS 和 VMOS 功率场效应管，以及最近刚问世的  $\pi$  MOS 场效应管、VMOS 功率模块等。

按沟道半导体材料的不同，结型和绝缘栅型各分沟道和 P 沟道两种。若按导电方式来划分，场效应管又可分成耗尽型与增强型。结型场效应管均为耗尽型，绝缘栅型场效应管既有耗尽型的，也有增强型的。

场效应晶体管可分为结场效应晶体管和 MOS 场效应晶体管。而 MOS 场效应晶体管又分为 N 沟耗尽型和增强型；P 沟耗尽型和增强型四大类。见附图 1。

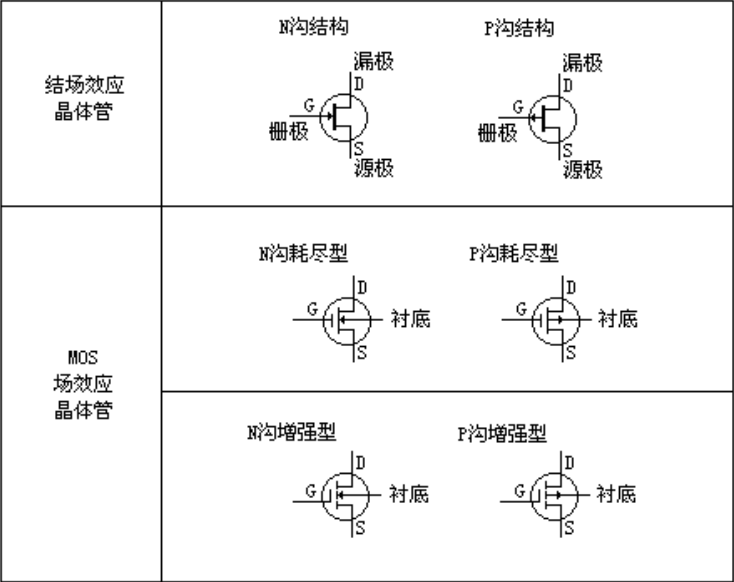


图1 场效应晶体管的分类

MOS 场效应晶体管使用注意事项。

MOS 场效应晶体管在使用时应注意分类，不能随意互换。MOS 场效应晶体管由于输入阻抗高（包括 MOS 集成电路）极易被静电击穿，使用时应注意以下规则：

- 1.MOS 器件出厂时通常装在黑色的导电泡沫塑料袋中，切勿自行随便拿个塑料袋装。也可用细铜线把各个引脚连接在一起，或用锡纸包装
- 2.取出的 MOS 器件不能在塑料板上滑动，应用金属盘来盛放待用器件。

3. 焊接用的电烙铁必须良好接地。
4. 在焊接前应把电路板的电源线与地线短接，再 MOS 器件焊接完成后在分开。
5. MOS 器件各引脚的焊接顺序是漏极、源极、栅极。拆机时顺序相反。
6. 电路板在装机之前，要用接地的线夹子去碰一下机器的各接线端子，再把电路板接上去。
7. MOS 场效应晶体管的栅极在允许条件下，最好接入保护二极管。在检修电路时应注意查证原有的保护二极管是否损坏。

场效应管的测试。

下面以常用的 3DJ 型 N 沟道结型场效应管为例解释其测试方法：

3DJ 型结型场效应管可看作一只 NPN 型的晶体三极管，栅极 G 对应基极 b，漏极 D 对应集电极 c，源极 S 对应发射极 e。所以只要像测量晶体三极管那样测 PN 结的正、反向电阻既可。把万用表拨在 R\*100 挡用黑表笔接场效应管其中一个电极，红表笔分别接另外两极，当出现两次低电阻时，黑表笔接的就是场效应管的栅极。红表笔接的就是漏极或源极。对结型场效应管而言，漏极和源极可以互换。对于有 4 个管脚的结型场效应管，另外一极是屏蔽极（使用中接地）。

目前常用的结型场效应管和 MOS 型绝缘栅场效应管的管脚顺序如图 2 所示。

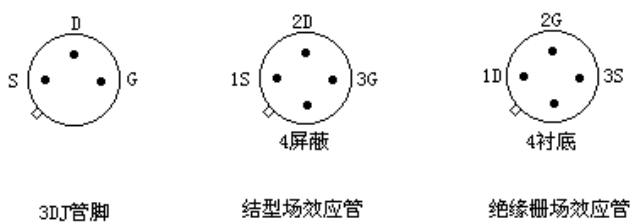


图 2

场效应晶体管的好坏的判断。

先用 MF10 型万用表 R\*100K  $\Omega$  挡（内置有 15V 电池），把负表笔（黑）接栅极（G）

正表笔（红）接源极（S）。给栅、源极之间充电，此时万用表指针有轻微偏转。再将该万用表 R\*1Ω 挡，将负表笔接漏极（D），正表笔接源极（S），万用表指示值若为几欧姆，则说明场效应管是好的。

12下一页

## 硅管、锗管的判别

硅管和锗管在特性上有很大的不同，使用时应加以区别。我们知道，硅管和锗管的 PN 结正向电阻是不一样的，即硅管的正向电阻大，锗管的小。利用这一特性就可以用万用表来判别一只晶体管是硅管还是锗管。

判别方法如下：

将万用表拨到 R\*100 挡或 R\*1K 挡。测量二极管时，万用表的正端接二极管的负极，负端接二极管的正极；测量 NPN 型的三极管时，万用表的负端接基极，正端接集电极或发射极；测量 PNP 型的三极管时，万用表的正端接基极，负端接集电极或发射极。

按上述方法接好后，如果万用表的表针指示在表盘的右端或靠近满刻度的位置上（即阻值较小），那么所测的管子是锗管；如果万用表的表针在表盘的中间或偏右一点的位置上（即阻值较大），那么所测的管子是硅管。

## 测判三极管的口诀

三极管的管型及管脚的判别是电子技术初学者的一项基本功，为了帮助读者迅速掌握测判方法，笔者总结出四句口诀：“三颠倒，找基极；PN 结，定管型；顺箭头，偏转大；测不准，动嘴巴。”下面让我们逐句进行解释吧。

### 一、 三颠倒，找基极

大家知道，三极管是含有两个 PN 结的半导体器件。根据两个 PN 结连接方式不同，可以分为 NPN 型和 PNP 型两种不同导电类型的三极管，图 1 是它们的电路符号和等效电路。

测试三极管要使用万用电表的欧姆挡，并选择 R×100 或 R×1k 挡位。图 2 绘出了万用电表欧姆挡的等效电路。由图可见，红表笔所连接的是表内电池的负极，黑表笔则连接着表内电池的正极。

假定我们并不知道被测三极管是 NPN 型还是 PNP 型，也分不清各管脚是什么电极。测试的第一步是判断哪个管脚是基极。这时，我们任取两个电极(如这两个电极为 1、2)，用万用电表两支表笔颠倒测量它的正、反向电阻，观察表针的偏转角度；接着，再取 1、3 两个电极和 2、3 两个电极，分别颠倒测量它们的正、反向电阻，观察表针的偏转角度。在这三次颠倒测量中，必然有两次测量结果相近：即颠倒测量中表针一次偏转大，一次偏转小；剩下一次必然是颠倒测量前后指针偏转角度都很小，这一次未测的那只管脚就是我们要寻找的基极(参看图 1、图 2 不难理解它的道理)。

### 二、 PN 结，定管型

找出三极管的基极后，我们就可以根据基极与另外两个电极之间 PN 结的方向来确定管子的导电类型(图 1)。将万用表的黑表笔接触基极，红表笔接触另外两个电极中的任一电极，若表头指针偏转角度很大，则说明被测三极管为 NPN 型管；若表头指针偏转角度很小，则被测管即为 PNP 型。

### 三、 顺箭头，偏转大

找出了基极 b，另外两个电极哪个是集电极 c，哪个是发射极 e 呢?这时我们可以用测穿透电流  $I_{CEO}$  的方法确定集电极 c 和发射极 e。

(1) 对于 NPN 型三极管，穿透电流的测量电路如图 3 所示。根据这个原理，用万用电表的黑、红表笔颠倒测量两极间的正、反向电阻  $R_{ce}$  和  $R_{ec}$ ，虽然两次测量中万用表指针偏转角度都很小，但仔细观察，总会有一次偏转角度稍大，此时电流的流向一定是：黑表笔→c 极→b 极→e 极→红表笔，电流流向正好与三极管符号中的箭头方向一致(“顺箭头”)，所以此时黑表笔所接的一定是集电极 c，红表笔所接的一定是发射极 e。

(2) 对于 PNP 型的三极管，道理也类似于 NPN 型，其电流流向一定是：黑表笔→e 极→b 极→c 极→红表笔，其电流流向也与三极管符号中的箭头方向一致，所以此时黑表笔所接的一定是发射极 e，红表笔所接的一定是集电极 c。

### 四、 测不出，动嘴巴

若在“顺箭头，偏转大”的测量过程中，若由于颠倒前后的两次测量指针偏转均太小难以区分时，就要“动嘴巴”了。具体方法是：在“顺箭头，偏转大”的两次测量中，用两只手分别捏住两表笔与管脚的结合部，用嘴巴含住(或用舌头抵住)基电极 b，仍用“顺箭头，偏转大”的判别方法即可区分开集电极 c 与发射极 e。其中人体起到直流偏置电阻的作用，目的是使效果更加明显。

### 高频管和低频管的判别

高频管和低频管因其特性和用途不同而一般不能互相代用。

这里介绍如何用万用表来快速判别它高频管与低频管。判别方法为：

首先用万用表测量三极管发射极的反向电阻，如果是测量 PNP 型管，万用表的负端接基极，正端接发射极；如果是测量 NPN 型管，万用表的正端接基极，负端接发射极。然后用万用表的  $R \times 1K \Omega$  挡测量，此时万用表的表针指示的阻值应当很大，一般不超过满刻度值的  $1/10$ 。再将万用表转换到  $R \times 10K \Omega$  挡，如果表针指示的阻值变化很大，超过满刻度值的  $1/3$ ，则此管为高频管；反之，如果万用表转换到  $R \times 10K \Omega$  挡后，表针指示的阻值变化不大，不超过满刻度值的  $1/3$ ，则所测的管子为低频管。