

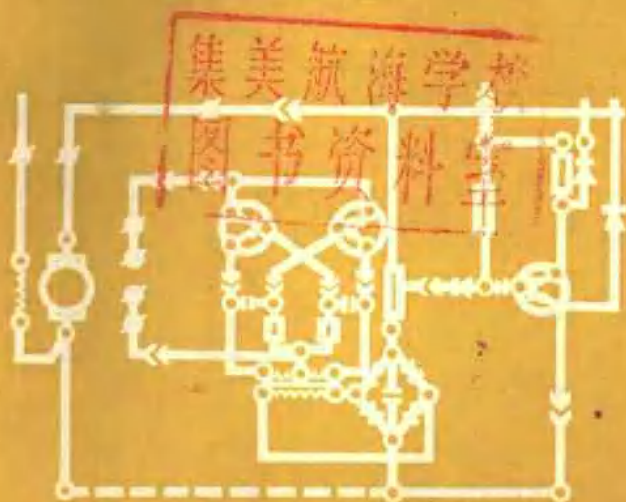
东风4型内燃机车丛书



电气线路

(修订版)

大连机车车辆工厂编



人民铁道出版社

集美航海学校
图书资料室

U2620/0022

内 容 提 要

本书为东风₄型内燃机车电气线路说明,主要叙述机车的主电路、励磁电路、控制电路及辅助电路等。在这一版中补充了水阻试验时的电气调整及常见故障的分析与处理。

本书可供机车检修和运用人员学习与参考。

东风₄型内燃机车丛书

电 气 线 路

(修 订 版)

大连机车车辆厂编

人民铁道出版社出版

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

人民铁道出版社印刷厂印

开本: 787×1092 $\frac{1}{16}$ 印张: 2.75 插页: 2 字数: 61 千

1978年11月第1版 1978年11月第1次印刷

印数: 0001—10,000册

统一书号: 15043·5104 定价: 0.27 元

目 录

第一章 内燃机车电传动概述.....	1
第一节 电传动内燃机车的工作特点.....	1
第二节 对机车励磁调节系统的要求.....	3
第三节 东风 ₄ 型内燃机车的电传动系统	3
第二章 半导体器件及其在机车电路中的应用.....	5
第一节 半导体的导电性能和类型.....	5
第二节 PN 结和半导体二极管.....	6
一、 PN 结的特点、导通与截止.....	6
二、二极管的结构、特性和主要参数.....	8
第三节 稳压管.....	10
一、稳压管的工作原理.....	10
二、稳压管的特性.....	11
三、稳压管的主要参数.....	11
四、稳压管组成的稳压电源.....	12
第四节 晶体管.....	13
一、晶体管的结构.....	13
二、晶体管的特性.....	14
三、晶体管的主要参数.....	16
四、温度对晶体管主要参数的影响.....	18
第五节 可控硅元件.....	19
一、可控硅的结构和工作原理.....	19
二、可控硅的伏安特性和主要参数.....	21
三、可控硅的触发电路.....	22
第三章 东风 ₄ 型内燃机车的电路	26

第一节	电路图的一般知识	26
第二节	主电路与励磁电路	31
一、	主电路的组成	31
二、	牵引工况	32
三、	电阻制动工况	39
四、	主电路的保护	42
第三节	辅助电路	45
一、	启动发电机的发电工况	45
二、	空压机的电动机电路	48
三、	预热锅炉电路	49
第四节	控制电路	50
一、	柴油机的启动	51
二、	柴油机的调速	54
三、	机车的操纵	56
四、	保护电路	60
五、	指示灯电路	62
第五节	照明电路及其他	63
一、	照明电路	64
二、	通风机电路	64
三、	电测温度表及压力表电路	65
第四章	东风 ₄ 型内燃机车水阻试验的电气调整	67
第一节	测速发电机励磁电阻 R_{lcf1} 的整定	69
一、	R_{lcf1} 的作用	69
二、	R_{lcf1} 在水阻试验时的调整	70
第二节	测速发电机励磁电阻 R_{lcf2} 的整定	70
一、	R_{lcf2} 的作用	70
二、	R_{lcf2} 在水阻试验时的调整	71
第三节	R_{lcf1} 、 R_{lcf2} 整定不当引起的弊病	72

第五章 东风 ₄ 型内燃机车常见电气故障的分析与处理	73
第一节 常见电气故障的分析与处理	73
一、柴油机启动时的故障	73
二、启动发电机发电工况的故障	74
三、空气压缩机运转中的故障	76
四、机车牵引时的故障	77
五、机车功率过载与不足的故障	82
六、其他电气故障	83
第二节 常见的几种不当操作与应注意之点	84

第一章 内燃机车电传动概述

第一节 电传动内燃机车的工作特点

内燃机车的原动机是柴油机。柴油机不但驱动牵引发电机，而且还直接或间接地驱动许多辅助装置。牵引发电机供电给牵引电动机，牵引电动机把电能转换为机械能来牵引列车。辅助装置则用来保证机车能正常地工作。

东风₄型内燃机车采用三相交流同步牵引发电机和直流串励牵引电动机，所以它是交-直流电传动机车。交流电由硅整流柜整成直流供给电动机。牵引发电机的功率可用下式表达：

$$P_F = \frac{U_Z I_Z}{\eta_Z} \cdot 10^{-3}$$

式中 P_F ——牵引发电机功率，千瓦；

U_Z ——硅整流柜输出电压，伏；

I_Z ——硅整流柜输出电流，安；

η_Z ——硅整流柜效率。

电流 I_Z 取决于列车的运行阻力，当列车在一定坡道和以稳定的速度运行时，在电动机中由该电流所产生的牵引力与列车阻力平衡，列车匀速运行。

辅助装置所消耗的功率取决于它们自己的工况，一般与列车运行情况无关。

电传动内燃机车正常工作时，柴油机发出的额定功率 N_e ，除去辅助功率 N_F 外，应完全输入牵引发电机用于牵引，其间的关系为：

$$N_e = 1.36 \frac{P_F}{\eta_F} + N_F$$

式中 N_e ——柴油机输出功率，马力；
 N_F ——辅助装置所消耗的总功率，马力；
 P_F ——牵引发电机的功率，千瓦；
 η_F ——牵引发电机效率。

在 N_e 和 N_F 都不变的情况下， $\frac{P_F}{\eta_F}$ 也应保持不变，即

$$\frac{P_F}{\eta_F} = \frac{U_z I_z}{\eta_z \eta_F} = \text{常数}$$

式中 η_z 、 η_F 变化极小，可以认为不变，所以 U_z 应随 I_z 成反比例变化，形成所谓“双曲线”，如图 1—1 所示。

由于励磁绕组发热、磁路饱和、绝缘强度和换向片间电压的限制，随着 I_z 的减小，电压 U_z 不能无限地增长上去，因而要求限压，在牵引发电机外特性上有所谓限压区段 AB 。

BC 为恒功率双曲线区段，受柴油机发出功率的限制。 CD 段为电流限制区段，这是由于受

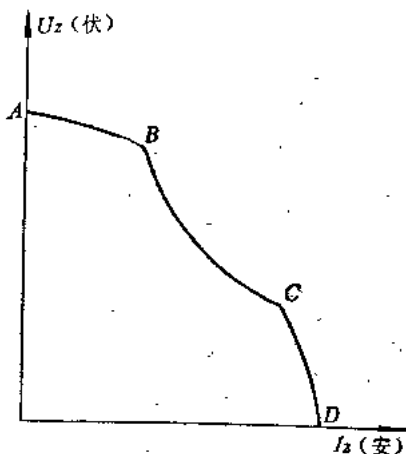


图 1—1 牵引发电机外特性

牵引发电机定子绕组及硅整流柜中整流元件发热条件和机车粘着条件的限制，所以电流 I_z 也不能无限增大。限压线 AB 与限流曲线 CD 均为牵引发电机自然外特性。

当柴油机发出额定功率 N_e ，而机车消耗之辅助功率为

零时，上述 $ABCD$ 特性就是牵引发发电机的极限外特性。

第二节 对机车励磁调节系统的要求

电传动内燃机车在其运行过程中，运行阻力、辅助功率、电机绕组的温度都在改变，这些变化有的是缓慢进行，有的则很突然。

电传动内燃机车对励磁调节系统提出以下的要求：

1. 应能保证柴油机在各挡规定转速之下发出规定的功率，并且维持不变，使柴油机工作在既不过载、也不欠载的经济的工况之下。

2. 在运行阻力、辅助功率、电机绕组温度等各种扰动因素作用之下，励磁调节系统应能自动控制励磁，调节牵引发发电机经整流的输出电压 U_z ，保证有以下的关系：

$$N_e = 1.36 \frac{U_z I_z}{\eta_z \eta_F} + N_F$$

这样，就能充分利用柴油机的功率。

3. 机车励磁系统除能较精确地保持恒功率和限压、限流外，还应有良好的动态品质和稳定性。当 I_z 或 N_F 突变时，调节系统应能快速地起调节作用，从而使被调量（柴油发电机组的转速和功率）改变的幅度小、振荡次数少，系统尽快地稳定下来。

第三节 东风₄型内燃机车的电传动系统

东风₄型内燃机车电传动系统如图 1—2 所示。牵引发发电机 F 、励磁机 L 和启动发电机 QD 均由柴油机所驱动。

牵引发发电机 F 发出三相交流电，经硅整流柜 $1ZL$ 整流后供给六台牵引电动机。主电路的通断由电空接触器 $1C \sim 6C$ 控制。牵引发发电机的励磁绕组由同步励磁机 L 经励磁整流柜

2ZL供电。励磁电路的通断由励磁接触器LC控制。

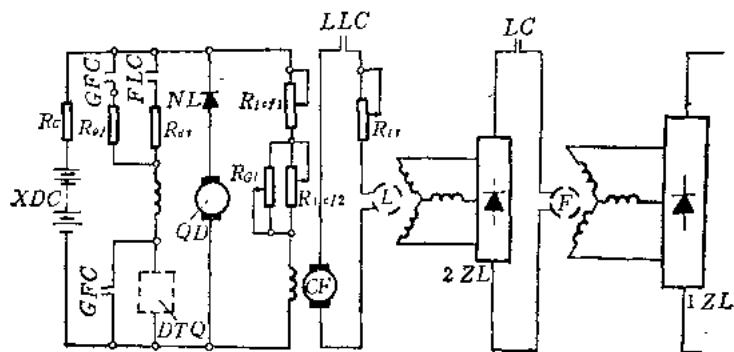


图 1—2 东风₄型内燃机车励磁调节系统示意图

同步励磁机 L 的励磁绕组由测速发电机 CF 供电，其励磁电路的接通与开断由励磁机励磁接触器 LLC 进行控制。

测速发电机也由柴油机驱动，它的励磁由110伏直流电源供电，通过柴油机联合调节器上功率伺服器的作用，带动可变电阻器 R_{G1} 来自动调节测速发电机的励磁电流，使牵引发电机具有“双曲线”的外特性，从而保持柴油机的恒功率。当可变电阻器 R_{G1} 减小为零值时，牵引发电机运行在限压限流区段。

启动发电机 QD 发出110伏直流电，供给蓄电池组充电与其他辅助装置用电。可控硅电压调整器测取启动发电机电压信号，并调节其励磁电流大小，使启动发电机在不同的转速和负载电流下都能保持输出电压在 110 ± 2.5 伏。在固定发电工况下，启动发电机励磁绕组由蓄电池96伏电源供电，固定发电接触器 GFC 的主触头闭合，把可控硅电压调整器 DTQ 短路；另一方面接触器 FLC 触头断开，而 GFC 的另一主触头闭合，使 QD 励磁电路中接入一段电阻 R_{G1} ，此时，启动发电机的电压随柴油机转速而变。

第二章 半导体器件及其在 机车电路中的应用

第一节 半导体的导电性能和类型

在日常生活和生产实践中，大家都知道，银、铜、铝、铁等金属材料很容易导电，我们把它叫做导体；而陶瓷、塑料、橡胶等却很不容易导电，我们把它叫做绝缘体。

半导体的导电性能则介于导体和绝缘体之间。

材料导电性能不同的根本原因在于事物内部的特性，在于物质内部原子间相结合的方式及原子本身的结构。导体材料中有大量的自由电子，它们受原子核的束缚力很小，在外电场的作用下很容易作定向运动而形成电流；绝缘材料中，原子外层的电子受原子核的束缚力很强因而不易形成自由电子，所以导电能力很差。

半导体的导电性能由它的内部原子排列的特殊性所决定。在硅、锗等纯单晶半导体中，原子排列非常规则、紧密，每个原子最外层的四个电子不仅受自身原子核的束缚，而且还与周围相邻的四个原子发生联系，这样就使每两个相邻的原子之间都共有一对电子。外层共有电子所受到的束缚力不象在绝缘体里那样紧，有时由于物质的运动它能够挣脱束缚而形成自由电子，同时形成一个“空穴”，让附近的电子来进行填补，因此，电子和空穴总是相伴而生，成对出现，从而在晶体中维持一定的数目。

为了改善晶体的导电性能，就要在纯单晶半导体中掺入有用的杂质。如图 2—1 (a) 所示，在硅单晶中掺入少量

的硼，整个晶体的结构不变，但由于硼原子最外层只有三个电子，当它与硅原子组成共价键时会形成空穴，硼杂质的每一个原子都可能提供一个空穴，这就使硅单晶中“空穴载流子”大大增加。这种半导体内几乎没有自由电子，主要靠空穴导电，所以叫做空穴半导体，简称P型半导体。

如图2—1(b)所示，若在硅单晶中掺入磷杂质，磷原子最外层的五个电子在和硅原子最外层的四个电子组成共价键之后，就多出一个电子，它受原子核束缚力很小，因而形成自由电子。这种半导体主要靠电子导电，叫做电子半导体，简称N型半导体。

P型半导体和N型半导体是各种半导体器件的基本组成部分。

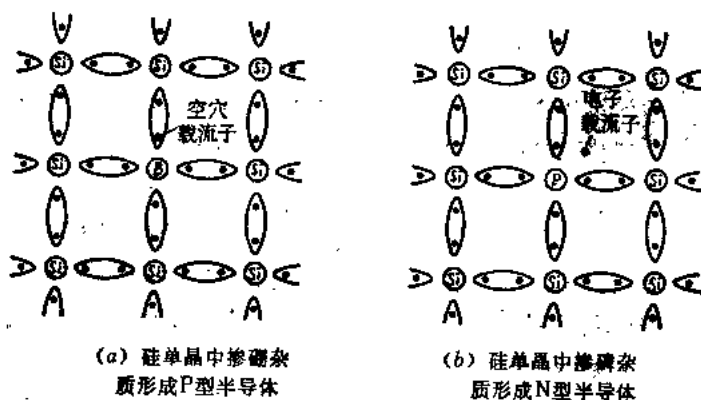


图2—1 半导体的形成

第二节 PN结和半导体二极管

一、PN结的特点、导通与截止

如果采取措施，使一块半导体分成P型半导体和N型半导体两部分，那么在两者交界处就会形成PN结。PN结基

构成二极管、三极管、可控硅等多种半导体器件的基础。

当P型半导体和N型半导体联结在一起而共处一体时，在它们交界的地方要发生电子和空穴的扩散运动。如图2—2所示，由于P区有大量可以移动的空穴，N区几乎没有空穴，空穴就要由P区向N区扩散，同样，N区有大量自由电子，P区几乎没有电子，所以电子就由N区向P区扩散。随着扩散的进行，P区空穴减少，出现了带负电的粒子区；N区电子减少，出现了带正电的粒子区，结果在PN结的边界附近形成了“阻挡层电场”，它的左边带负电，右边带正电。这个内电场的方向阻止载流子（电子和空穴）扩散运动的继续进行。当建立一定宽度的阻挡层之后，达到了相对的平衡。

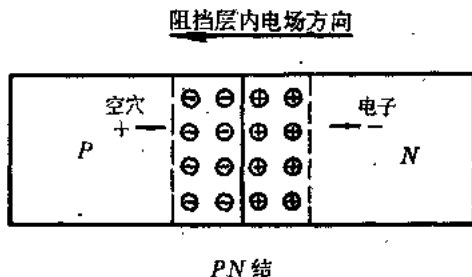


图 2—2 载流子的扩散运动

如果在PN结两端加上正向电压（外加电压正极接P区，负极接N区），如图2—3所示，则此电压所产生的外加电场方向与内电场方向相反，从而使P区的空穴向阻挡层移动，抵销一部分负电荷，而N区的电子向阻挡层移动，抵销一部分正电荷，所以使阻挡层变窄。这样，载流子就能通畅地越过PN结形成较大的电流，PN结导通，电阻很小。

如果在PN结两端施加反向电压（外电压正极接N区，

负极接 P 区），如图2—4所示。这时外加电场与内电场方

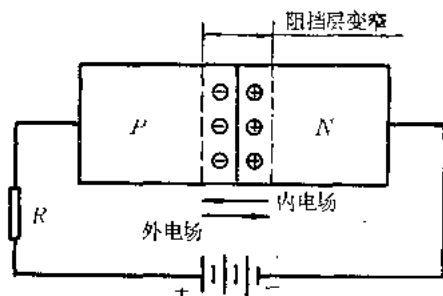


图2—3 加正向电压， PN 结导通

向相同，从而使 P 区中的空穴向左移动，使 N 区中的电子向右移动，阻挡层中正负电荷数量增加，使阻挡层变宽。这样，载流子的扩散将比不加反向电压时更难于进行， PN 结不导通（只流过很小的反向电流），电阻很大。

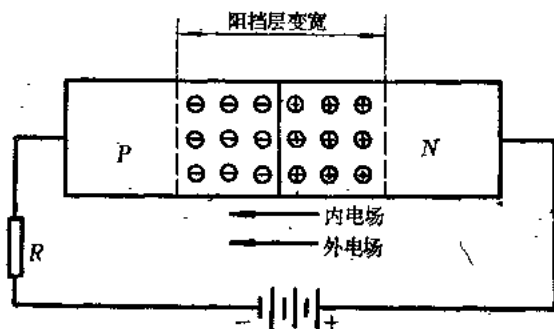


图2—4 加反向电压， PN 结截止

二、二极管的结构、特性和主要参数

二极管由一个 PN 结加上相应的电极引线和管壳制成。

它具有单向导电的性能，通常用符号 $\rightarrow|$ 表示。

二极管中的 PN 结面积愈大, 允许通过的电流也愈大, 适于做大功率整流器, 如 **东风** 型内燃机硅整流器中所采用的元件 2CZ500/1200P 允许电流是 500 安。 PIN 结面积愈小, 动态性能愈好, 适合做高频检波和开关元件, 但允许通过的电流也愈小。

研究二极管的电压与电流的关系——即伏安特性, 可以进一步认识二极管的单向导电特性。

图 2—5 是二极管 2CP10~2CP20 的伏安特性曲线。由图可以看出, 外加正向电压时, 很小的电压即能产生较大的电流, 二极管阻抗很小; 外加反向电压时, 很大的电压却只能产生极小的电流, 二极管阻抗很大。

在二极管的实际应用中, 必须注意以下几个主要参数:

1. 最大整流电流, 即二极管长期使用时所能通过的最大正向电流, 超过这个最大值将导致二极管的损坏。最大电流值的大小主要受二极管本身发热的限制。对于大功率整流

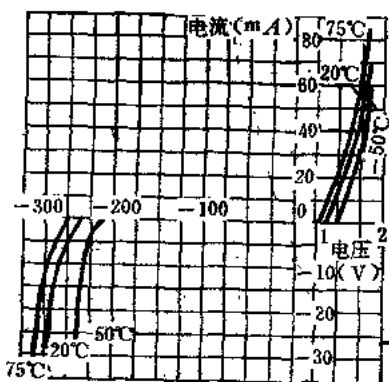


图 2—5 二极管的伏安特性

管, 为了降低它的温升和提高最大整流电流值, 可在二极管上加装散热器, 还可采用强迫通风, 以加强散热。

2. 反向电流 在二极管上施加反向电压时, 二极管不是绝对截止, 而是有少量的反向电流流过。当二极管未反向击穿, 反向电压在一定范围内改变时, 反向电流基本上保持不变, 在这种情况下的电流就称为反向饱和电流。反向电流

大，说明管子单向导电性能差。

3. 最高反向工作电压 当加在二极管上的反向电压渐渐增加而超过一定数值时，反向电流会突然增大，出现反向击穿现象，这个电压叫做反向击穿电压。为了防止二极管反向击穿而造成损坏，半导体器件手册上给出的最高反向工作电压只取反向击穿电压的一半，选用二极管时，必须注意到这个极限数值。

由图 2—5 2CP10~2CP20 的伏安特性，我们还可以看出温度对二极管参数是有影响的。

第三节 稳压管

一、稳压管的工作原理

稳压管实质上也是一个半导体二极管，因为它有稳定电压的作用，在稳压设备和一些电子电路中经常用到，所以给了它一个专用名称——稳压管，在电路图中用符号  表示。

稳压管能起稳压作用主要是利用了二极管的击穿现象。当施加在二极管上的反向电压大到一定数值之后，反向电流突然上升，此后，电压只要有一个少量增加，反向电流就会增加很多，这种现象称为击穿。击穿现象将造成元件的损坏，这是我们所不希望有的，但是击穿后通过管子的电流在很大范围内变化时，管子两端的电压却很少变化，这就起了稳压的作用。只要我们在外界电路中采取适当的限制电流的措施，并使击穿后的电流所产生的热量很快逸散掉，那么就不致于使稳压管由于击穿而损坏，从而把“击穿”这件坏事转化为“稳压”的好事。我们可以认为：稳压管就是在反向击穿状态下工作的二极管。

二、稳压管的特性

图 2—6 画出了稳压管 2CW3 的反向（稳压）特性，由图可以看出温度变化对稳压值的影响。

当稳压管上施加的反向电压低于其稳压值时，则稳压管 and 二极管反向工作一样，不导通。当反向电压到达稳压值后，反向电流增大极快，但只要该电流不超过“最大稳定电流”，功率不超过稳压管的“耗散功率”，稳压管就可以在这种状态下长期工作，起稳定电压的作用。

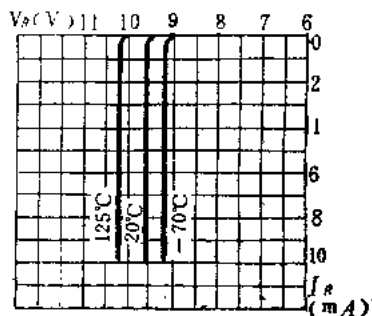


图 2—6 稳压管的反向特性曲线

三、稳压管的主要参数

1. 稳压管的稳压值 它是稳压管的主要参数，随工作电流和温度的不同，其数值也有所改变。

2. 电压稳定系数 即温度每升高 1°C ，稳压值升高的比率。例如，稳压管 2CW20 在 20°C 时的稳压值为 17 伏，电压稳定系数为 $9.5 \times 10^{-4}/^{\circ}\text{C}$ ，那么 2CW20 在 50°C 时的稳压值将为：

$$17 \text{ 伏} + 17 \text{ 伏} \times (50^{\circ}\text{C} - 20^{\circ}\text{C}) \times 9.5 \times 10^{-4}/^{\circ}\text{C} = 17.48 \text{ 伏}$$

可见，温度由 20°C 改变为 50°C 时，稳压值升高了 0.48 伏。

3. 稳压管的动态电阻 动态电阻是指稳压管两端电压变化与电流变化的比值。这个数值随工作电流的不同而改变，

图2—7给出了2CW3动态电阻 R_z 与工作电流 I_z 的关系曲线。

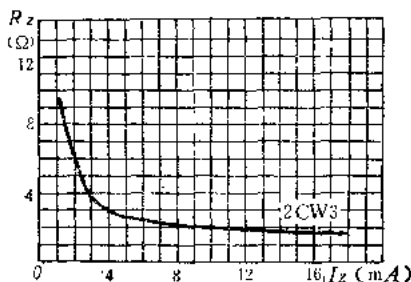


图2—7 动态电阻与工作电流的关系曲线

四、稳压管组成的稳压电源

用稳压管接成的稳压电路如图2—8所示。由图可以看出，

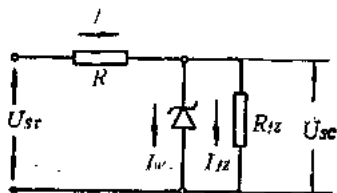


图2—8 稳压管稳压电路

$$\begin{aligned} U_{sc} &= U_{sr} - IR \\ &= U_{sr} - (I_w + I_{Lx})R \end{aligned}$$

式中 U_{sc} ——稳压电路输出电压，伏；
 U_{sr} ——稳压电路输入电压，伏；
 R, I ——限流电阻(欧)及其中流过的电流(安)；
 I_w ——稳压管工作电流，安；
 R_{Lx} ——负载电阻，欧；
 I_{Lx} ——负载电流，安。

稳压电路的工作原理如下：

当 U_{sr} 增大而使 U_{sc} 增大时，由稳压管稳压特性可知 I_w