

世界工人图书馆

电 工 学

第十分册 整流设备

章炎福 罗光植著



水利电力出版社

目 录

第二十二章 整流器和半导体整流器	2
一、整流器	2
二、半波整流	5
三、全波整流	7
四、三相整流	10
五、氧化銅整流器	11
六、硒整流器	13
七、硫化物整流器	15
第二十三章 汞弧整流器	16
一、汞弧整流器的工作原理	16
二、單相和多相的汞弧整流器	19
三、汞弧整流器的起動和激勵	21
四、回火	22
五、汞弧整流器的种类	26
六、多陽極汞弧整流器的構造	29
七、汞弧整流器的密封設備	33
八、汞弧整流器的冷却系統	41
九、汞弧整流器的抽气系統	44
十、多陽極汞弧整流器的电气系統	45
十一、單陽極汞弧整流器的構造	48
十二、單陽極汞弧整流器的抽气系統	51
十三、單陽極汞弧整流器的电气系統	52
十四、汞弧整流器主变压器的接綫法	57
十五、真空泵	63
十六、測量真空程度的真空表	66
十七、直流电压的調节	69
第二十四章 同步变流机	75
一、概述	75
二、同步变流机交、直流电压的比数	77
三、同步变流机电流的比数	83
四、同步变流机电樞繞組的电流和損耗	86
五、同步变流机电压的調节	92
六、同步变流机的起動	96
七、同步变流机的并联运行	98

第二十二章 整流器和半导体整流器

一、整 流 器

虽然交流电比直流电有很多的优点，例如交流电压可以按照需要很方便地升高或降低，三相交流电动机的構造簡單、坚固耐用等，但在某些工業部門中，例如电鍍、电解、軋鋼、电气機車、蓄電池的充电、某些繼电器电路和控制电路等，有些是必須采用直流电的；有些也以使用直流电比較合算。在这些工業部門中，如果直接采用直流發電机来供电是很不方便的，而且用直流电来作長距离送电时也很不經濟。因此，最有效的方法是把交流电压升高后，經過送电綫路送到用电的地方，然后把交流电变为直流电。这种轉变电流的设备叫做整流器或变流机。

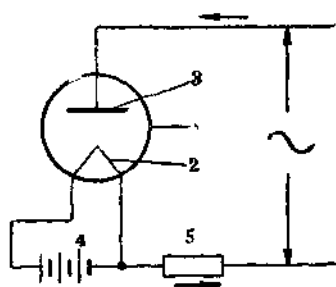


圖 1 熱陰極兩極電子管整流器
1—玻璃泡（或金屬容器）；2—陰極燈絲；3—陽極；4—電池；5—負荷電阻。

常用的整流器有以下几种：

1. 熱陰極電子管整流器

它是电子管中最簡單的一种。圖 1 表示它的工作原理。如果灯絲兩端接通電池 4 时，通过灯絲的电流使它發热。灯絲的温度約为 1500°C ，这时，灯

絲即能向外放射电子。当陽極 3 的电压比陰極 2 高时，陰極 2 所放射的电子被陽極 3 所吸收而使电流通过負荷 5，如圖中箭头所示。当陽極 3 的电压比陰極 2 低时，电子被陽極的負电压所排斥而回到陰極，因此，电流只能在一个方向通过。

这种整流器最适宜用在高电压和低电流的地方，如無線電(收音机)、長途電話、广播、收發报机等電訊設備中。

2. 半导体整流器

所謂半导体就是它的电阻率在导体和絕緣体的电阻率之間的一种物質，也就是說，它的导电能力比金屬的导体能力差，但却比絕緣体好。半导体的物質很多，在元素中有硒、鍺、硅、碲、硼、砷、磷等，化合物中有氧化物、硫化物等，但它們都必須經過加工和純潔等处理。半导体的特性很多，而整流作用是它的重要特性之一，也就是說，当电流在某一方向通过时，它的电阻率很小，使电流很容易通过；但当电流在另一方向通过时，它的电阻率却很大，只允許通过極小的电流。常用的半导体整流器有氧化銅、硒和硫化物整流器等，它們一般也用在高电压和低电流的地方。但最近几年来由于有了鍺和硅整流器的發現，半导体整流器也可用在低电压和高电流甚致高电压和高电流的地方，如电鍍、直流电焊設備等。这些大电流的半导体整流器在目前虽还没有广泛的被采用，但是它們的前途却是很廣闊的。

3. 汞弧整流器

在電力工業中，它是所有整流器中用途最廣的一种。

它最适宜用在直流电压大于 600 伏，功率很大的地方。例如电气火车、街道电车、矿山拖曳设备、轧钢设备、升降机等。由于汞弧整流器的構造簡單、工作可靠、維護費用低，所以它也常用在低电压的设备中，例如电解、化工厂、充电设备等。因为它本身不包括轉动的设备，所以它可以用在無人看管的或自动化的整流站例如在电气火车系統中，为了使直流电压保持在一定的数值以上，常須將整流站設置在离城市很远的地方。在这些整流站中，如果派人值班，將很麻煩而不經濟，采用自动化的汞弧整流器即可解决这困难。虽然有些大功率汞弧整流器的附屬设备很多，但它可比相同功率的同步变流机小而且輕得多，因此整流站的建筑物和基础的費用可較少。关于汞弧整流器的工作原理和構造，我們將在第二十三章中說明。

4. 电动發电机和同步变流机

电动發电机是指由交流电动机所拖动的直流發电机。因此它包括兩台电机。它的总效率是兩台电机效率的乘积，因此电动發电机的效率不高，设备費用大，很不經濟，只适宜用在小功率或在工矿企業中作为临时性的直流电源。

同步变流机是把交流电动机和直流發电机合併为一个机身。它比电动發电机占有較小的面积、較輕的重量和較高的效率，它的缺点是交、直流电压間具有一定的比数，直流电压的調节范围很小。在汞弧整流器沒有推广使用以前，电动發电机和同步变流器仍是兩种主要的整流设备。关于同步变流机的構造和工作原理，我們將在第二十四章

中說明。

二、半波整流

圖 2 表示半波整流的电路。如果略去整流器内部的电阻和电压降不計外，那末在整流器中所画的箭头表示，当电流在順箭头方向通过时，在整流器中沒有任何电阻和不产生任何电压降，但在相反的方向时，整流器的电阻極大，使电流不能通过。因此，如果交流电源的电压波形如圖 3 (甲) 所示的正弦波时，那末通过整流器后的电流波形將如圖 3 (乙) 所示，也就是說，在每一週期內只通过半个交流波的电流。这样的整流叫做半波整流。

因为圖 2 中的負荷是一个电阻，所以通过电阻的电流波形和交流电压的波形相似，也就是說，圖 3 (乙) 所示的电流波形是一个断續的半个正弦波。如果

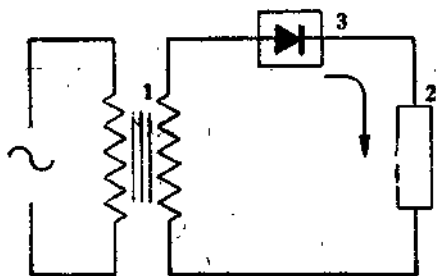


圖 2 半波整流电路圖

1—变压器；2—純电阻；3—整流器。

$U_{\text{最大}}$ = 变压器 1 副繞圈的交流电压的最大值，

$I_{\text{最大}}$ = 通过电阻 R 的电流的最大值，

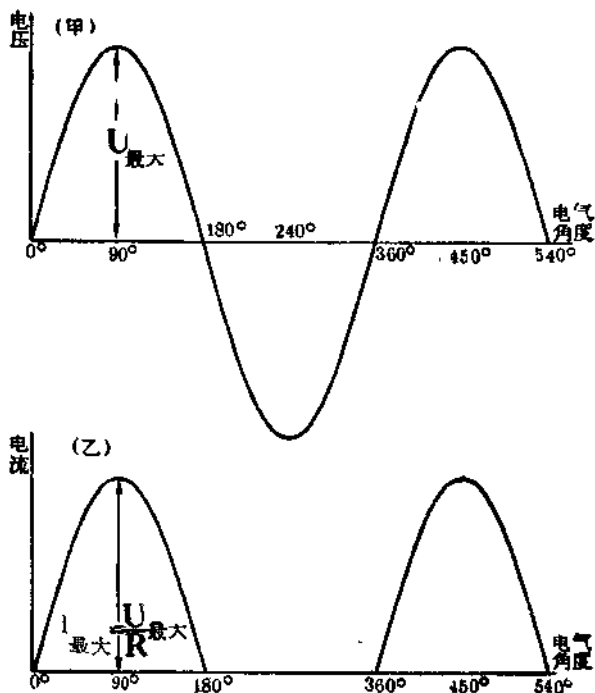


圖 3 半波整流的电流波形

那末，根据欧姆定律，

$$I_{\text{最大}} = \frac{U_{\text{最大}}}{R}. \quad (\text{公式 1})$$

因为在 $0 \sim 180^\circ$ 之间的电流波形是正弦波，所以这一部分电流的平均值为 $\frac{2}{\pi} I_{\text{最大}} = 0.637 I_{\text{最大}}$ （见第四分册第九）。但因在 $180 \sim 360^\circ$ 之间是没有电流的，所以在 $0 \sim 360^\circ$ 之间电流的平均值为原来数值的一半，即

$$I_{\text{平均}} = \frac{1}{\pi} I_{\text{最大}} = 0.319 I_{\text{最大}} \quad (\text{公式 2})$$

在第四分册第九中，我們曾談到正弦波的有效值，即具有同等热效应的直流电，为

I^2 = 在各个時間內电流平方的平均值，

$$\text{即} \quad I^2 = \frac{1}{2} I_{\text{最大}}^2$$

因为在 $0 \sim 180^\circ$ 之間的电流波形是正弦波，如圖3(乙)所示，所以这一部分电流平方的平均值即为 $\frac{1}{2} I_{\text{最大}}^2$ 。但因在 $180 \sim 360^\circ$ 之間是沒有电流的，所以在 $0 \sim 360^\circ$ 之間电流平方的平均值为原来数值的一半，即

$$I^2 = \frac{1}{4} I_{\text{最大}}^2$$

$$\text{故} \quad I = \text{电流的有效值} = \frac{1}{2} I_{\text{最大}} \quad (\text{公式 3})$$

三、全波整流

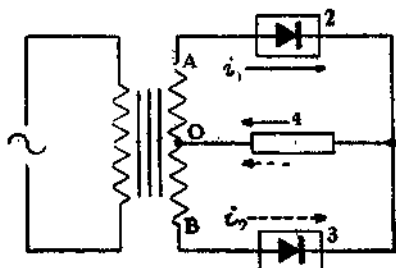


圖 4 全波整流器

1—变压器；2、3—整流器；4—电阻。

圖 4 表示全波整流的电路。整流器中的箭头表示当电流在这方向通过时，在整流器中没有任何电阻和不产生任何电压降。这样，当 A 的电压比 B 高的正半週时，电流 i_1 即从 A 点经过整流器 2、电阻 4，回到变压器副繞圈的中性点 O ，如实綫箭头所示。这时，虽然 O 的电压也比 B 的高，但由于整流器 3 的作用，在副繞圈 OB 中沒有电流。在負半週时， B 的电压比 A 的高，电流 i_2 即从 B 点经过整流器 3、电阻 4，回到变压器副繞圈的中性点 O ，如虛綫箭头所示。这时，由于整流器 2 的作用，在副繞圈 OA 中沒有电流。因此，副繞圈 AO 和整流器 2 組成如圖 2 所示的半波整流电路，同样，副繞圈 BO 和整流器 3 組成另一个半波整流电路。这两个半波整流电路輪流地使电流通过电阻 4。当副繞圈 AO 和 BO 的电压都是正弦波时，电流 i_1 的波形如圖 5(甲)所示。因为当电流 i_1 通过电阻 4 时，电流 i_2 为零，而当电流 i_2 通过电阻 4 时，电流 i_1 为零，所以电流 i_2 的波形如圖 5(乙)所示。但通过电阻 4 的电流为

$$i = i_1 + i_2,$$

故电流 i 的波形如圖 5(丙)所示。因为負荷是純电阻，所以电流 i 在每个半週中的波形都是正弦波在正半週时的波形，即

$$I_{\text{最大}} = \frac{U_{\text{最大}}}{R}. \quad (\text{公式 4})$$

电流 i 的波形表示在两个半週中都有电流通过电阻 4，因此，这样的整流叫做全波整流。

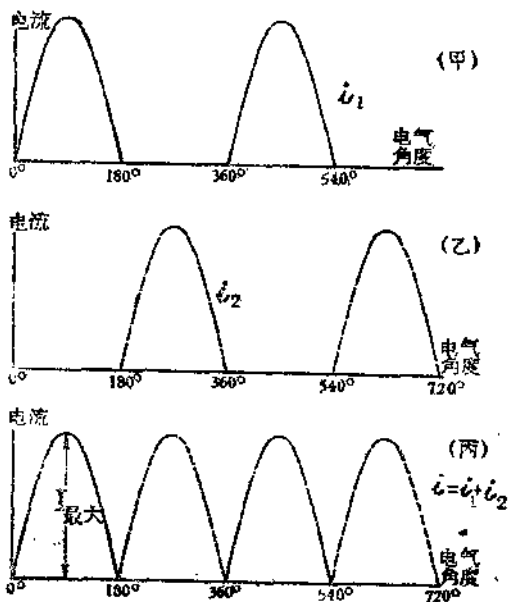


图 5 全波整流的电流波形

因为电流 i 的波形是正弦波在正半週时的波形，所以它的平均值和有效值都和正弦波形的相等，即

$$I_{\text{平均}} = \frac{2}{\pi} I_{\text{最大}} = 0.637 I_{\text{最大}}, \quad (\text{公式 } 5)$$

$$I = \frac{1}{\sqrt{2}} I_{\text{最大}} = 0.707 I_{\text{最大}}, \quad (\text{公式 } 6)$$

除上述的全波整流电路外，另有一种电桥式电路，在实用中用得很多，如图 6 所示。在正半週时，副线圈 A 点的电压比 B 点高，因此电流即从 A 点经过整流器 1、电

阻 6、整流器 3 回到 B 点，如圖中实綫箭头所示。在負半週时，副綫圈 B 点的电压比 A 点高，因此电流即从 B

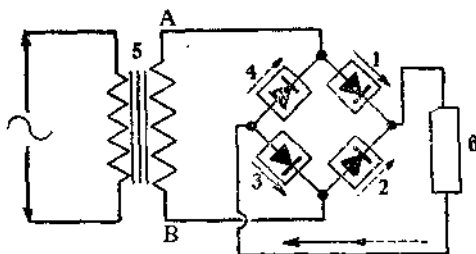


圖 6 电桥式全波整流器

1、2、3和4—整流器；5—变压器；6—电阻。

点经过整流器 2、电阻 6、整流器 4 回到 A 点，如圖中虚綫箭头所示。因此，在正、負两个半週中，都有电流通过电阻 6，而且它們的方向相同。电流的平均值和有效值的計算方法和公式 5、6 的一样。

四、三相整流

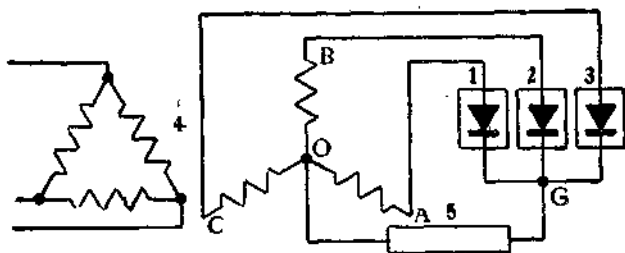


圖 7 三相半波整流电路

1、2、3—整流器；4—变压器；5—負荷电阻。

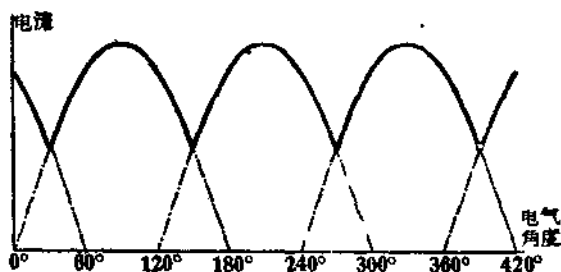


圖 8 三相半波整流的电流波形

圖 2 和圖 4 所示的都是單相整流电路。整流后的电流和电压波形与稳定的直流电相差很多，也就是說，波动很大。如果用多相整流电路，各相可以依次整流，那末整流后的电流和电压波形可平直得多；相数愈多，波动程度愈小。圖 7 表示三相半波整流电路。 A, B, C 是三相变压器的副线圈， O 是它的中性点。因为交流电压的负半週都被整流器所除去，所以圖 8 表示当交流电压 OA, OB, OC 单独存在时的波形。这三相电压通过整流器后互相并联，如圖 7 所示，如果不是由于整流器的作用，副线圈 OA, OB, OC 之間要产生短路电流。如果副线圈 $O-A-G$ 的瞬时电压数值比 $O-B-G$ 的大时，只有副线圈 OA 产生电流通过电阻 S 。当副线圈 $O-A-G$ 的电压降低到和副线圈 $O-B-G$ 相等时，电流即开始移到副线圈 $O-B-G$ 上去，所以通过电阻的电流波形如圖 8 中粗线所示。

五、氧化铜整流器

氧化铜整流器是由若干复盖有氧化亚铜的紫铜片組成

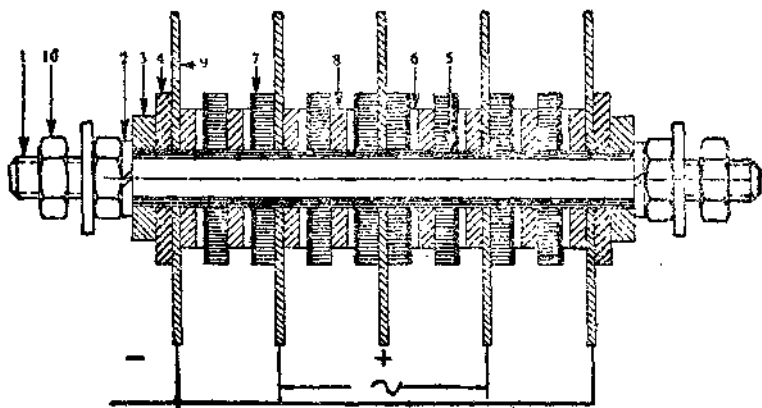


圖 9 氧化銅整流器

1—安裝螺絲；2—彈簧墊圈；3—墊圈；4—絕緣墊圈；5—絕緣套筒；
6—鉛（鋅）墊片；7—氧化亞銅；8—紫銅片；9—墊圈；10—螺絲。

的。它的構造如圖 9 所示。氧化亞銅的表面上塗抹石墨和虫膠、酒精合成的特种石墨漆，以便和鉛片之間有良好的接觸。當電流通過氧化銅整流器時，便產生一定的熱量，為了容易散熱起見，在氧化亞銅片之間裝有易散熱的墊圈（散熱片）9。它可由黃銅、紫銅、鋁或鐵片制成，它的半徑比氧化亞銅大得多。這樣，散熱片和空氣有較大的接觸面積，因而可發散較多的熱量。在功率較大的整流器中，散熱片數很多，圖 9 所示的只有五塊散熱片，它們也同時用作引出綫的接綫片，它的接綫法是電橋式全波整流電路。

當氧化銅整流器接通直流電源，如圖 10（甲）所示時，氧化亞銅的電阻很小，電流很容易通過。這個方向（從氧化亞銅到銅）的電流叫做正向電流，如圖中粗綫箭頭

所示。如果掉換直流電源的極性，如圖 10(乙) 所示時，氧化亞銅即作用為阻擋層。它的電阻很大，約為通過正向電流時電阻的 2000 倍以上，使電流很難通過。這電流叫做反向電流，如圖中虛綫箭頭所示。因此，氧化亞銅有整流的作用。

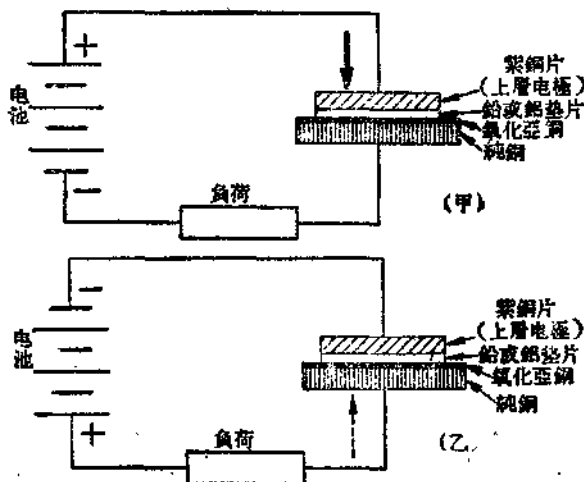


圖 10 正向電流和反向電流

在自然冷卻時，氧化銅整流器最大的容許溫度約為 50°C 左右，所以它的工作電流不能太大。在功率較大的氧化銅整流器中，可採用強力通風冷卻法，這時，電流可增加到 2~2.5 倍。

六、硒整流器

硒整流器是由許多粘附有硒的鍍鎳鋼片組合而成。在

硒層上面裝着一塊由鉍(53%)、錫(23%)、鎢(24%)組成的陰極合金。它的構造見圖 11。在陰極合金和硒層之間有一阻擋層。正向電流是從硒層到陰極合金。

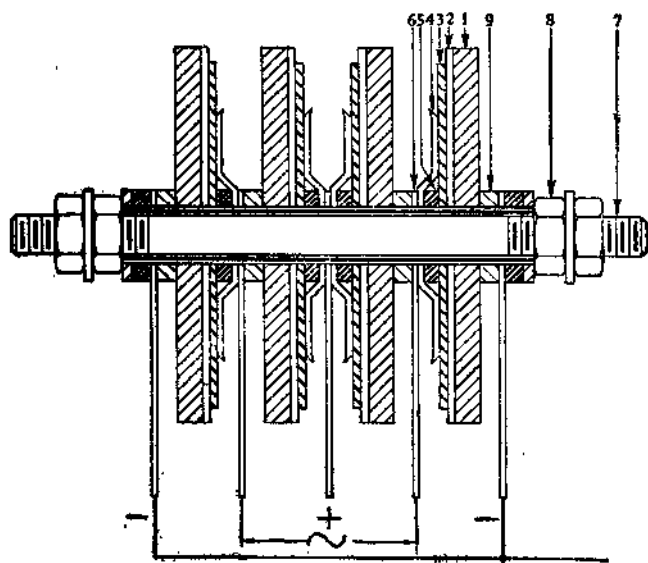


圖 11 硒整流器

- 1—鍍鎳鋼片；2—硒層；3—陰極合金；4—彈性墊圈；5—絕緣墊圈；
6—接縫板；7—安裝螺絲；8—螺帽；9—墊圈。

在自然冷卻時，硒整流器的工作溫度為 70°C 。如溫度太高，會降低它的效率和增進老化（即增加正向的內電阻和電壓降）作用，甚致將硒層熔化而燒毀。用強力通風冷卻法可使它的負荷電流增加到兩倍左右。硒整流器也可浸在絕緣油中，這樣，它的負荷可增加 50%~80%。把硒整流器適當地並聯和串聯，可得到較高的電壓和大的電

流，目前最大的有 23 000 安 67 伏 的油冷式 硒整流器。

七、 硫化物整流器

硫化物整流器是由硫化銅和鎂所組成。它的構造見圖 12。正向電流是從硫化銅到鎂片。在鎂片 3 和混合物 4 之間有一阻擋層 8，它是靠通過電流後將混合物中的硫化銅微粒焊接在鎂片 3 上，也就是說，它是在工作時形成的。因此，在開始時，整流器中沒有阻擋層，反向電流很大，當阻擋層形成後，反向電流減小，直到這個負半週終了為

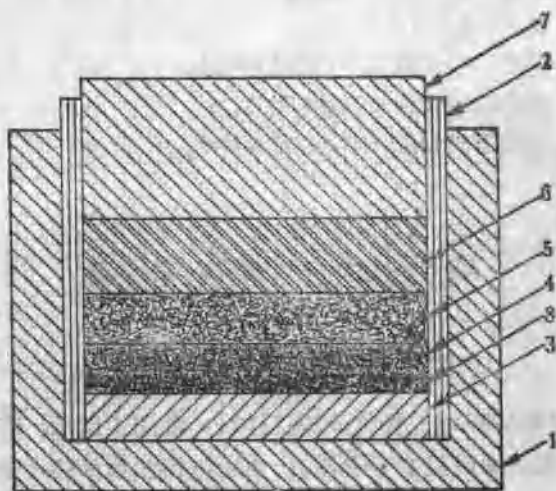


圖 12 硫化物整流器

1—鋁質杯子；2—云母；3—鎂片；4—混合物（硫化銅 60%，硫 25%，
磨細耐火粘土 15%）；5—硫化銅粉末；6—石墨板；7—鋁質電極；
8—阻擋層。

止。在另一个負半週时，反向电流又逐渐从大減到小。如果把两个硫化物整流器接成串联，由于它們阻擋層的形成時間各不相同，形成較快的整流器將受到全部电压而被击穿。所以它有一个最大的缺点，就是不能用串联的方法来提⾼它的整流电压。但是它的構造簡單、便宜，电流密度很大，容許的工作温度很高，可到 100°C ，适宜制造低电压、高电流的整流器。

習 題

1. 怎样叫做半波和全波整流？
2. 多相整流器有什么优点？
3. 試說明氧化銅整流器的構造和特性。
4. 試說明硒整流器的構造和特性。
5. 試說明硫化物整流器的構造和特性。

第二十三章 汞弧整流器

一、汞弧整流器的工作原理

当热陰極电子管整流器工作时，如圖 1 所示。在正半週內(陽極的电压高于陰極)，由陰極所放射的陰电子不断地被正电压所吸引而飞向陽極，因此，在陰極和陽極的空間里充滿了飞奔的电子，叫做空間电子。陽極和陰極之間的电压愈高，电子飞奔的速度愈大，电子的数量也愈多。虽然这些电子都在向前飞奔，但因它們都是陰电子，所以