

水銀整流所

工人教材

国营鋁厂編

冶金工业出版社



水銀整流所工人教材

国营鋁厂 編

冶金工业出版社

水銀整流所工人教材

国营鋁厂 編

編輯：歐陽惠霖 設計：韓晶石 校對：李慧英

— * —

冶金工業出版社出版(北京市灯市口甲 45 号)

北京市書刊出版業營業許可證出字第 093 号

中央民族印刷厂印 新华書店發行

— * —

1959 年 7 月北京第一版

1959 年 7 月北京第一次印刷

印数 5,020 册

开本 850×1168·1/32·130,000 字·印张 5 1/4·

— * —

統一書号 15062·1754 定价 0,55 元

前 言

在当前“以鋼为綱，全面躍进”的高潮中，煉鋁工業也蓬勃飞躍地發展，在祖国各处遍地开花。現代化的电解生产要求整流所不間断安全供电，并保証直流电的質量。同时整流所的电气設備也比較复杂，这就要求运行与維護人員具有必要的理論知識和熟練的操作技术。

这本小冊子原先是作为整流所运行人員的培訓教材而編写的，原名“整流訓練班講义”，現在为普遍發行，滿足更多企業的需要，改名为“整流所的运行”。

在本書中，从原子的电离和激励开始，闡述了整流器的結構和整流作用的基本原理，并对整流所其它主要設備、繼电保护、控制回路以及整流器的解体、化成和定相作了較詳細的叙述，因此不仅适合于初学人員，也可以作为运行檢修人員在工作中的参考資料。

由于編写時間倉促，能力有限，本書在內容和文字上都免不了缺点和錯誤，請讀者指正。

編 者

一九五九年三月

057106
本書用淺近的敘述方法介紹水銀整流器的理論、構造及使用。可供培養冶金、化學等部門的電解車間以及運輸部門的電機車、電車變流所的技术工人和初級技術人員用。

目 录

第一章 整流器基本原理	1
第一节 物質的構造、原子的电离和激励	1
第二节 离子整流管和半导体整流器	5
第三节 半波整流和全波整流	9
第四节 水銀整流器內电弧的物理現象	16
第五节 柵極控制的物理現象	20
第六节 六相整流	21
第二章 水銀整流器及其附屬設備的構造	31
第一节 水銀整流器圓筒的構造	31
第二节 真空系統	37
第三节 冷却系統	47
第三章 整流器用变压器	53
第一节 主变压器	53
第二节 調整变压器	61
第四章 整流机組主回路及其他設備的構造	72
第一节 整流机組主回路系統	72
第二节 快速自动开关	76
第五章 整流器自用箱、WPB 控制箱及整流电流的調整和測量	86
第一节 整流器用自用箱及控制箱	86
第二节 整流电流的自动調整和測量	105
第六章 整流器的解体、定相和化成	116
第七章 整流所繼电保护和二次控制回路	132
第一节 整流机組的繼电保护和二次控制回路	132
第二节 整流机組的控制电路	148
第八章 整流所自用电	162

第一章 整流器基本原理

第一节 物質的構造、原子的电离和激励

分 子

每一种物質，都是由肉眼看不見的無數的分子組成的，分子是一顆顆不失物質原有性質的最小的微粒，分子組合在一起形成多种状态的物質。

分子在物質中不停地運動着，分子運動的速度有快有慢，它隨着物質的溫度在變化。在固体中分子互相之間有一種吸引的力量，叫作分子的凝聚力，它使分子不至於彼此離開，所以分子只能在他自己的位置上不停地振動，就像是用彈簧連起來似的。當我們將固体加熱（例如將水加熱），這時分子振動的速度就逐漸增大，當它大到一定的程度時，分子間的凝聚力就不可能再將他們固定在自己的位置上，分子就離開自己的位置，一個挨一個滑過去，形成液体。這就是平時所見的冰化成水，水就到處流動。但是他們還只能一個挨着一個，不能彼此完全離開，而保持一定的體積。

如果我們將液体繼續加熱（例如將水加熱），分子運動的速度會更大。到一定時候，分子就能克服保持他們一個挨一個的力量，彼此完全離開，於是分子就開始離開液体從表面向外飛出去，液体開始變成氣體，氣體中分子能自由運動，彼此之間的距離沒有一定，所以氣體就不能保持一定的形狀，也不能保持一定的體積，當溫度再增加時，氣體中分子就運動得更快。

原 子

分子由原子所組成，一亿个氢原子排成一行才等于1公分，各种化学元素的原子按一定的規律組成各种分子。物質除了因溫度改变而引起状态的变化外，还有一种更复杂的变化，例如鉄会生鏽。如果鉄上塗了油，就不生鏽，这是因为鉄和空气中的氧气接触会变成鉄鏽。鉄鏽也是由分子組成的。鉄鏽分子都是由鉄的原子和氧气的原子結合而成。这种变化称为化学变化。化学变化是將旧分子中原子改組，組合成新的分子，形成新的物質。物質另外有一种变化叫做物理变化，在物理变化中，物質的分子不破坏，原子不改組，物質本身的化学性質不改变，像冰、水、蒸汽的变化便是如此。

从实验中証明，物質無論起什么化学变化，总是分子中一个个原子的改組。起先科学家們曾認為原子不能再分了，后来人們發現每一个原子都是由一个原子核和在它周圍繞行的一个或許多个电子組成的。

原子的構造

現代物理学家从实验結果推出了原子的構造。原子有一个極小的核，叫作原子核，它是帶陽电的，原子的質量主要是原子核的質量，核外面有着許多很輕的帶陰电的电子繞着它轉。原子核上的陽电荷和他外面电子的陰电电荷相等。原子核靠电荷的吸力把电子吸在原子核附近，所以这些电子不会飞到原子外面去，而把电子吸引在一定的軌道上运动。

电 子

电子是組成原子的一种微粒，和原子不同，目前还不能把

电子打破，凡是电子，不管它原来是属于那一个原子的，或者现在是属于那一个原子的，都是完全相同的，电子质量是氢原子量的一千八百分之一。

这种微粒是带电的，所以叫做电子，一个电子是一个带有最小单位负电荷的微粒，它的质量是 9×10^{-28} 克（指电子在静止或在低速运动时），电子的直径是 1.9×10^{-13} 厘米，电荷是 1.592×10^{-19} 库伦。

电离和游合

在原子的最外层轨道上旋转的电子比较容易受外界影响而离开轨道。一个电子离开后即带走一个负电荷，结果整个原子的电荷即不平衡。这时原子核上的正电荷比绕它旋转的电子的负电荷多一个电荷，使得整个原子多了一个正电荷。过了或长或短的时间以后那些失掉电子的原子会吸引住另外一些自由运动着的电子，再变成普通中性的原子。因为一切电子都是完全相同的，用别的电子来代替原来的电子，就原子而论，是无所所谓的。

原子最外一层电子受外界影响而离开原子的过程叫做电离。带电的原子叫离子，离开原子的电子成为自由电子在空间运动着。离子和电子重新结合的过程称为游合。

自由电子的发射

要使电子从原子上离开的办法有四种。当电子在原子的最外层旋转时，它完全靠电荷的吸力维持着它的运动不离开轨道，如果这时另外闯来了一个电子和它碰撞。而闯来的电子运动速度非常高时，它就有可能将原来的电子撞出它的轨道。

如果我们将物体加热，不但物体中的分子会加速运动，物

体原子上的电子也会加速运动，將固体金屬加热后，所产生的自由电子因为有离子的引力还不会一下飞出金屬表面，但是当温度太高时，电子运动速度大大增加，在速度达到一定程度时，电子即会飞出物体的表面。

当我们把 X 射线或紫外线射向某些金屬时，这些金屬上的电子就像被射线打出来一样，結果产生自由电子。这在有声电影中我們已經应用了，光通过声带有时亮有时暗，光电管中电子有时被打出多，有时被打出少，电流即起变化，通过扩音机变成种种不同的声音。

將物体放在电场中，电子在电场中即受到吸力，在电场还不够强时，电子还受原子上陽电荷吸力吸引着，不会离开原子。但是当电场非常强时，原子中的引力即受到破坏，結果即发射出自由电子。所有这些方法都能使电子离开原子，因为这些作用都能使电子的能量增加，使它运动的速度增加，一直到原子核陽电荷对它吸不住时，就飞出原子去了。

原子的激励

原子的構造說明，圍繞着原子核旋轉着很多电子，这些电子所以会在不同層的軌道上是因为这些电子所具有的能量不一样。靠近原子核的电子能量較小，离开原子核較远的电子能量較大，靠近原子核的受引力較大，离开原子核的受力較小。

当原子受到外界作用的影响时，原子上的电子有时得到的能量还不足使他离开原子，但是当这个原子上的电子已經得到外層軌道的电子所应具有的能量时，它就会离开原来的軌道而轉到外層軌道上去，这种情况叫做原子的激励。

激励的原子經過很短時間即会恢复原狀，这时那个更改軌道的电子又会回到原来或其他內層軌道上去。但是这个軌道上

不需要这么多能量,这时它会将多余的能量变成光发射出去,我们看到气体燃烧时会发不同颜色的光,就是这个道理,水银蒸汽分子激励后还会发出紫外线。

导体中的自由电子

在固体金属中,原子按照一定的秩序排列着,金属原子的最外层电子是很容易脱离的。这时它既受到本身原子上阳电荷的吸力,也同时受到四周原子核上阳电荷的吸力,实际上就分不出它到底是那一个原子的电子,这批电子的运动不受原子的约束,而成为金属中的自由电子。而原子成为带阳电荷的离子,离子是固定的排列着而自由电子就在这批离子中间自由地迅速地运动着。

把金属整个看来,其中阳电荷和阴电荷的数目完全相同,所以整个金属还是不带电的。

当在金属二端加上电压以后,在金属中即产生电场,电场对于金属中的自由电子就像吸铁石把铁屑吸引一样,把它们的运动都吸往同一方向。在固体中大批的自由电子往同一方向流动即形成电子流,即我们所称的电流。当同一电压加在各种不同的固体物质上,自由电子流动得极多的称为良导体,如铜、银、铝等;自由电子流动得较少的即称为不良导体,绝少有自由电子流动的即称为绝缘体。

第二节 离子整流管和半导体整流器

充气管的工作原理

热阴极充气电子管是一个玻璃或金属管,其中有二个电极:阴极和阳极。充气管和无线电上用的真空管不同,在抽掉

气以后再放进水銀蒸气或其他气体。管内气压很低，在充水銀蒸气的充气管中，在 20°C 时气压約为 0,001 毫米水銀柱。

在充气管的陰極加热后，由于陰極本身温度增加，自由电子的运动速度加快，到一定限度时，它即飞出陰極灯絲。在陰極灯絲外面就形成很多自由电子，这些自由电子以不同的速度向各方向到处乱跑。

如果这时在陽極上加一正电位。陰極陽極之間即产生一电场，在电场中帶有負电荷的电子即受到向着陽方向的吸力，向帶有正电位的陽極飞去。在电子向陽極放射的路上有着气体（水銀蒸汽）的原子存在，当电子一路前进时就不断地和水銀蒸气原子相碰，將分子外層的电子撞出来，使原子电离产生电子和离子。我們称这样得到的电子为二次放射电子。这些放射出来的电子立即受电场作用，向陽極飞去，中途撞在水銀蒸气原子身上又会产生二次放射电子，結果就能得到大量电子。都向陽極射去。而原来的原子，由于失去了电子就成为正离子，正离子受到电场的吸力即往陰極跑去，但是由于它的质量大，虽然他和电子受到同样大小的力，它向陰極进行的速度比电子向陽極进行的速度小很多。

总之在二極管中当陰極加热后，向空間放出电子，电子受电场作用，向陽極射去，在途中撞在水銀蒸气原子上，原子电离即能产生二次放射电子，如此反复产生二次放射电子即能得到大量电子流向陽極，原子电离后成为离子，流向陰極，所以在管内同时有电子流和离子流。这时充气管即通电了。

如果充气管内气压太高了，即通常我們所說真空度不好时，电子还没有达到足够的速度即与气体分子相碰，結果不会产生二次放射电子。充气管即不会得到大量电子流。

如果在陽極上不加正电位而加負电位时，充气管中电场方

向相反，在陰極附近到处乱飞的电子立即被斥回陰極不向陽極發射，由于陽極不放射电子，結果充气管也就不通电了。

向陰極进行的离子也有很大的动能，当他們碰上陰極时，有时也会把电子从陰極物質分子中撞出来成为二次放射电子，此外还可使陰極溫度升高，这是因为动能变成热能了。故离子流撞在陰極發熱，放射二次电子。

当二極管上陰極加热，陽極上加上正电位时，二極管即通电，但是当陽極上加上負电位时，二極管即不通电了。將二極管接在电路中，它只允許电子从陰極走到陽極，就是說只允許电流在一个方向流通，相反方向即不通电。所以把管接在交流电路中时，电流仅在陽極电压为正的半个周波內通电，在陽極电压为負的半个周波中，即不通电。

管子的这种性質称为單向导电性，而这管子則称为电路中的整流元件或整流管。因为其中有离子参与工作，所以叫离子整流管。不單是充气管能作为整流管，在無線电中，我們經常用不充气的真空管作为整流管，它們的整流作用也有类似之点。

半导体整流器

半导体在現代科学中有非常大的發展，半导体整流元件主要是氧化亞銅整流元件（簡称氧化銅整流元件）及硒整流元件，氧化銅整流原件是 1920 年發明的，硒整流之件是 1930 年發明的。

氧化銅整流元件是在圓形的或長形的紫銅片上塗一層氧化亞銅的薄膜，这層膜是在約 1000 度高热下燒成的。氧化亞銅是陽極，銅是陰極，电子自銅往氧化亞銅方向流去。每个氧化銅整流元件适用于 5~8 伏的交流电將它們一个挨一个串联后

即可成为一整个氧化銅整流器，其主要構造如圖 1。

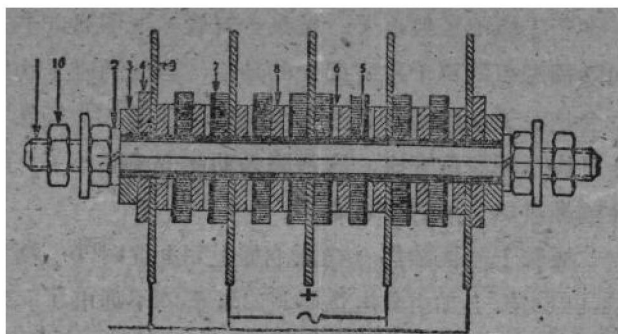


圖 1 氧化銅整流器

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（鋁）墊片；7—氧化亞銅；8—紫銅片；9—墊圈；10—螺絲

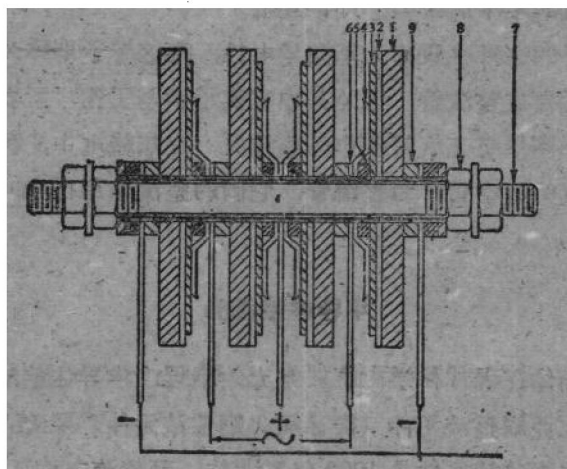


圖 2 硒整流器

1—鍍鋅鋼片；2—硒層；3—陰極合金；4—彈性墊圈；5—絕緣墊圈；6—接線板；7—安裝螺絲；8—螺帽；9—墊圈

硒整流元件是在一片鐵、鎳或鋁圓板上塗一薄層硒，使硒成为結晶狀態，然后在硒表面上加一層鎢的合金，硒是陽極，鐵是陰極，电流自硒流向鐵，每个硒整流元件适用于15~20伏

的交流电，將它們一个挨一个串联后即可成一整个硒整流器，其主要構造如圖2。

氧化銅整流器和硒整流器的整流作用，是在氧化亞銅和銅之間或硒和鉄之間产生了一种阻挡層，当电压在陽極上是正时，阻挡層电阻小即能导电，但是当电压在陽極上是負时，阻挡層电阻变为非常大，只能导进極小的电流。

半导体整流元件与离子整流管的电压降不同，半导体整流元件的电压降是由电流所通过的內电阻所决定，而这一电阻又随着發热而增加，所以氧化銅整流器和矽整流器在运转时必须要有很好的通風。通風良好时它的容量即可增加，通風不好时，容量会减少。

氧化銅和硒整流器的比較数据如下：

整流器型式	效率 %	电压最大值 伏	允許电流密度 毫安/厘米 ²	允許溫度 °C	抗湿稳定性 %
氧化銅	50~75	5~8	40~50	40~50	当湿度不大时已不稳定
硒	70~90	15~20	40~70	75~80	75

从表上可見氧化銅整流器的效率是很低的，而硒整流器效率較高，可容許發热溫度較高，同时抗湿稳定性亦較大。

第三节 半波整流和全波整流

整流，整流电路中的元件

在50周波的交流电中，电压是以每秒鐘50次变化的速度在变换着。每一个周波中每相上的电压是从零升至正最大值再降至零，再降至負最大值再升至零。如果画出圖形来，即成为

一正弦形曲綫，亦可称为正弦波。在直流电中，电流是往同一方向流过的，虽然电流大小可能改变，但决不倒流，因之电压的極性始終不变。

把交流电变成直流电即称为整流。整流电路基本上是由三个部分組成的：1. 整流用变压器，2. 整流管或整流器，3. 負荷。

半波整流

半波整流电路中的元件有变压器、整流元件和負荷。联接方式如图3。现在我们来具体地研究一下整流电路中的电压电流关系和它們的波形。

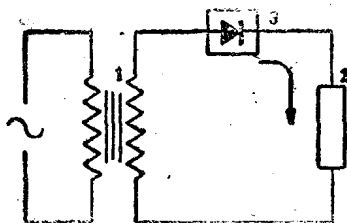


圖 3 半波整流电路圖
1—变压器；2—純电阻；3—整流器

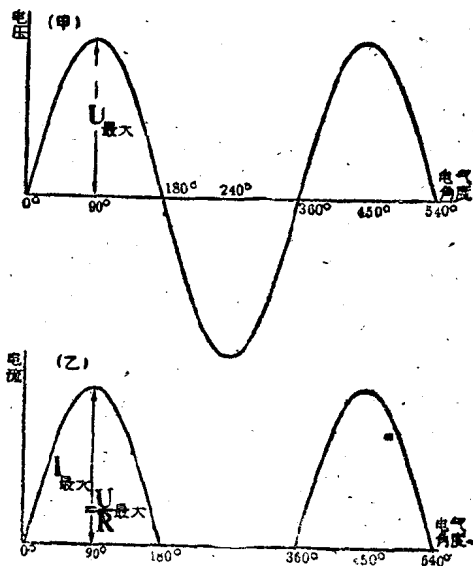


圖 4 半波整流的电流波形

U 是整流用变压器 1 兩端的电压，按正弦波形变化。这和电源的交流电完全一样。当在正半周时，每一瞬間負荷 2 上的电压等于变压器 1 兩端的电压减去整流管 3 的电压降。如果整流管是一充气管，則通电时电压降下有一固定数值，所以負荷 2 上电压的变化和变压器 1 兩端間电压相似。負荷上的电流等于負荷上的电压被負荷电阻除（在純电阻負荷电路中，电压电流关系即是这样），电流电压波形如圖 4 所示。

从圖 5 上可看出电压最大值和平均值的关系。

但是我們在实际应用上，是用电压电流的有效值和平均值。我們知道在实际电力用电上，往往不是利用一瞬間的电压电流作用，而是將电压較長期地加在負荷上，电流也長時間地流着。所以我們实际上应用的是一段較長時間內的电压或电流的作用。

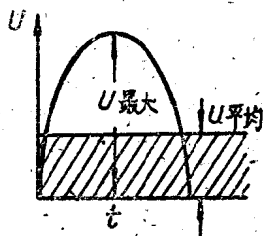


圖 5 最高电压和平均电压波形

因为电流的加热作用是和电流的平方成正比，所以我們研究电流的实际热效用时，都是用均方根值来計算的，也就是真正的有效值的数值。

如果我們將上述整流后的电流通过导体，在一定时期內將导体加热，同时將另一个与上述电流有效值相等的直流电流通过导体，在同样長時間內，他們加热的結果完全一样。所以可以用电流的有效值来代替这个电流来計算电流的效果。电压的情况也是一样，有效电流电压在計算热量和电动引力时常用。

整流电压的平均值，亦可称为平均电压，是將电压的各个瞬时值在一个周期內加以平均所得的平均值，与电压的有效值不同。

在半波整流回路中，平均电压、經純电阻負荷的平均电流