

半 导 体 器 件 制 造 技 术

电 三 选 编

内 部 资 料

北 京 科 学 教 育 出 版 社

1 9 6 1 . 7 .

目 录

序言

第一章 基本制造技术

- §1. 真空技术..... (1)
- §2. 硅酸盐玻璃和石英玻璃..... (34)
- §3. 气体的制造和纯化..... (39)
- §4. 清潔处理..... (47)

第二章 晶体二、三极管制造原理

- §1. 概述..... (51)
- §2. 制造上的流水綫..... (53)

第三章 材料的准备和处理

- §1. 材料的成形..... (59)
- §2. 化学腐蝕原理..... (61)
- §3. 电解腐蝕及电解成形..... (64)
- §4. 硅表面的特殊处理..... (68)
- §5. 电镀技术..... (69)

第四章 接触和电极

- §1. 欧姆接触的要求和方法..... (71)
- §2. 非欧姆点接触和电冶金技术..... (73)
- §3. 大面积整流接触..... (77)

第五章 P—N结的制备

- §1. 生长法..... (83)
- §2. 扩散法..... (90)
- §3. 合金法..... (104)
- §4. 键接合法..... (115)

第六章 晶体二极管的制造

- §1. 高反向电压两极管..... (118)
- §2. 大功率整流器..... (122)

§3. 微波兩極管.....	(125)
§4. 特种兩極管.....	(127)

第七章 晶体三极管的制造

§1. 合金結三極管.....	(136)
§2. 生长結三極管.....	(141)
§3. 扩散結三極管.....	(144)
§4. 微合金晶体管.....	(149)
§5. 功率三極管.....	(152)
§6. 台面式三極管.....	(156)
§7. 点接触三極管.....	(151)

第八章 晶体二、三极管的成品檢驗

§1. 伏安特性的示波器显示法.....	(169)
§2. 二極管电参数的測試.....	(174)
§3. 三極管的电参数測量.....	(179)
§4. 可靠性和使用寿命.....	(183)

第九章 其它半导体器件的制造

§1. 氧化亚銅整流器.....	(191)
§2. 硒整流器.....	(206)
§3. 非线性电阻.....	(221)
§4. 光敏电阻.....	(237)
§5. 硒光电池.....	(255)
§6. 热敏电阻.....	(259)
§7. 半导体輻射热計.....	(283)
§8. 温差發电机.....	(302)

第一章 基本制造技术

§1 真空技术

1-1 真空的基本概念 真空乃是压力小于一个大气压的任何气态空间。如果把真空理解成没有东西的空间是错误的。完全没有任何东西的绝对真空始终是达不到的。就是在极高的“超高真空”的条件下，每立方厘米的气体分子数仍然不得少于300万个。而且这些气体分子不断的运动着，随时发生碰撞。在压力为 10^{-8} mmHg，20°C时，气体分子每秒钟单位面积（1平方厘米）发生碰撞的次数为 3.84×10^{12} 。所以说在真空内还是存在着大量的气体分子，而且在不断的运动着，作用着，这与没有东西的概念相差是极远的。

为了讨论和实际运用的方便，常把不同程度的低气压空间划分为几个区域，这里只是提出一种划分的方法：

气压为760~10mmHg称为粗真空；

10~ 10^{-3} mmHg称为低真空；

10^{-3} ~ 10^{-8} mmHg称为高真空；

10^{-8} mmHg以下称为超高真空。

这些区域划分的理由是：当压力在10mmHg以上的空气，性质和常压下差不多。在10mmHg左右，气体导电的现象开始显示出来， 10^{-3} mmHg是一般转动式机械抽气机所能达到的极限， 10^{-8} mmHg是扩散抽气机所能达到的极限。在 10^{-8} mmHg以下就称为超高真空。目前所能达到的真空度据文献所知只有 10^{-12} mmHg左右。

应该注意的是我们所说的真空度越高，气压就越低，反之，真空度越低，气压就越高。

在实际工作中并不都是真空度愈高愈好。当然过低的真空度对工作不利，但过高的真空度，不但对实际没有好处，反而在技术上增加了很多的困难，这完全不符合总路线的精神，这就要求我们从实际出发。

在真空的条件下工作，到底有些甚么好处呢？在半导体制造技术中又有何重要意义呢？为了回答这问题就分以下几方面来讲。

第一、不受空气条件的影响。真空保存器（有时称为真空干燥器）是因为在真空的条件下（ 10^{-1} ~ 10^{-1} mmHg）可以使存贮物品不致因为空气中的水汽，酸性气体，氨以及其它悬浮在空气中的污物所污染。我们经常用的许多光谱纯的石墨加热器，石墨坩埚，石墨模具，石墨舟以及处理好的石英管，工具等，为了防止它们被空气，水蒸气，酸性气体，油脂以及其它污物的污染，就要求把这些东西保存在真空干燥器中。特别是石墨，因为它多孔和易于吸附空气中的水蒸气等污物，污染后的清洁处理是很复杂和麻

煩的。

第二、在真空条件下工作很清潔。这里所說的清潔的意思是和空間剩余气体的分子間的化学作用可以忽略。半导体元素Ge和Si都必須是超純度的，为了制备晶体管要求获得純度为8个9至10个9的超純材料，即在一亿个至百亿个原子的基本物質中含有一个杂质原子。为了要获得这样超純度材料，就必須在真空(10^{-4} mmHg以上)或保护气氛下进行区域提純和拉单晶。如用保护气体，对气体要求經過周密的淨化。其純度达到光譜純。这一方面可以防止空气、水蒸汽的沾污，另一方面可以防止Ge和Si在高温时的氧化。就以Ge来說，在温度达到600~700°C时則迅速的氧化生成二氧化錳。氮在700~800°C下与錳或二氧化錳作用可生成氮化錳(Ge_3N_2)。又如象半导体工業中所用的杂质如鎳，鋼也用区域熔炼来提純。

在器件制造中，扩散結晶体管必須在高真空条件下工作才能完成，合金結晶体管也得在真空中燒成(也有在高純度的保护气体中燒的)。在硒光电池和硒整流器的制造中要用真空蒸發和真空濺射的技术設備。

第三、在低气压下，液体或固体的沸点降低。这就能方便的采用真空分餾的方法来提純液体或固体。

在用鋅还原四氯化硅制取純硅时，首先要使鋅的純度达到5个9或更高。而目前世界各国的半导体工業中高純鋅的提純要用到真空蒸餾分餾的方法。其它如低气压的真空油脂之类的东西就是用真空蒸餾分餾的方法制造出来的。

应当指出的是在半导体工業中应用真空技术还不仅是这些。随着半导体技术的发展，真空技术在半导体工業領域中的运用也是愈来愈广泛。高真空的技术还可用到其它許多科学和技术的領域。

从前面所述可知，真空的压强范围很广，不可能用一种获得真空的方法来实现。获得真空的方法有二种。一种是用真空抽气机，这当中有机械抽气机和蒸汽流抽气机。机械抽气机是运用它的运动部件来机械地压出充滿在它工作体积中的气体，从而达到抽气的目的。一般机械抽气机所能达到的極限真空度在 10^{-2} ~ 10^{-3} mmHg。蒸汽流抽气机是应用工作液体的蒸汽流的抽气作用排出气体。气体由真空系統进入蒸汽流抽气机內以后，扩散到蒸汽流中被此蒸汽流捕集帶到体外，以此来达到抽气的目的。蒸汽流抽气机所能达到的極限真空度一般在 10^{-6} ~ 10^{-7} mmHg。另一种是不用抽气机获得真空，这有冷凝捕集器和吸气器。它的真空度可高达 10^{-11} mmHg左右。由于各种技术的要求不同，所采用的方法也不同。在半导体制造技术中采用真空度的范围大概在 10^{-3} ~ 10^{-7} mmHg，所以采用机械抽气机和蒸汽流抽气机就行了。

为了正确的选用真空抽气机和对它的正确运用，就必須对真空抽气机的参数有所了解，真空抽气机的主要参数如下：

1. 極限真空度：在真空系統中，在沒有漏气和內壁放气的情况下，經過相当长时间的抽气以后，給定抽气机所能达到的最小压强为極限压强，也称为極限真空度。

一般說来，極限压强是剩余气体和工作液蒸汽分压强的总和。但由于工作液的性質与抽气机本身質量有直接关系，故抽气机的極限真空度一般仅按剩余气体的分压强来估計，而工作液蒸汽的分压强用冷凝捕集器可降低到最小值。

大多数旋轉式机械抽气机的極限压强通常能达到 10^{-3} mmHg。这極限真空度取决于下面的因素：

①抽气机內油的性質，粘度及溶解于油內的雜質；②被抽气体在油內的溶解度；③有害空間的大小，即在抽气机工作时不能靠机械作用排出气体的空間部分；④油密封的質量；⑤外壳与軸承的密封度。

油蒸汽流抽气机的極限压强主要不是取决于它的結構，而是取决于工作液的性質，首先取决于在蒸汽流抽气机內冷凝捕集器所造成的溫度下工作液的蒸汽压强。其蒸汽压强在 20°C 时一般在 10^{-8} mmHg的数量級。經驗証明油蒸汽流抽气机的極限压强值取决于工作液体的純度及溶解于油中的雜質与气体的数量。当油在过热或灼热状态与空气接触，結果产生油的氧化和分解，而油的总的饱和蒸汽压将会大大增加。

由于近代油蒸汽流抽气机所能达到的極限压强值很低(数量級在 $10^{-6}\sim 10^{-7}$ mmHg)故泵壁与整个真空系統的密封度和加工的精密度对于其工作來說具有重大的意义。

2.最大反压强：系指真空抽气机的排气管最大的極限压强值，如果超过此值，会造成进气管逆流。最大反压强对于大多数蒸汽流抽气机的特性有着重要的实际意义。

机械抽气机的最大反压强略高于大气压，所以机械抽气机能单独使用。而蒸汽流抽气机的最大反压强(这压强实际上是蒸汽流抽气机的开始工作时的压强，这称为起始压强)，比机械抽气机的最大反压强低很多，很少超过 $1\sim 2\times 10^{-1}$ mmHg，因此，为了保证蒸汽流抽气机的正常工作，必須使蒸汽流抽气机的出气口与机械抽气机的进气口串联起来，以便造成蒸汽流抽气机出气口所需要的預备真空度。

3.抽气速率：在真空抽气机的进口处，在一定的压力下单位時間內流入真空抽气机的气体体积，真空抽气机的抽气速率用下式来确定：

$$S_H = \frac{Q}{P}$$

式中 Q 为单位時間內抽气机自容器中抽出的气体量；

P 为抽气机的进口連接管的压力。

抽气机的抽气速率，一般用在某一压强下被抽气体的体积对時間的导数来表示：

$$S_H = \left(\frac{dv}{dt} \right)_p$$

由于真空抽气机的进气口压强不同，則抽气速率也各不相同，在真空抽气机开始工作时为最大，随着压强的降低而减小，当其抽气机达到極限压强时的抽气速率为0。

机械抽气机的抽气速率取决于轉子每轉一次由抽气机內排出的气体体积和轉子旋轉的速度。这种抽气机的抽气速率与压强十分有关。而大多数蒸汽流抽气机的抽气速率主要取决于进气管截面积。因此，实际上在很寬的範圍內并不取决于被抽气体的压力。

1—2 获得真空的技术 获得真空的方法很多。这里不能一一加以叙述，只就最常用的，而且又适用于半导体技术所要求达到的真空度範圍 $10^{-3}\sim 10^{-7}$ mmHg的机械抽气机和蒸汽流抽气机来講述，根据此門課程的要求，着重講述一般原理、使用和維護方法。至于詳細的研究真空抽气机的設計、制造等方面的問題不在此討論。

一、机械抽气机

从大气压抽到 10^{-2} mmHg左右的真空，或用来产生蒸汽流抽气机的预备真空度的抽气机通常是一种转动的机械抽气机，因此，称为机械抽气机或转动抽气机。机械抽气机中最为广泛应用的有动片式机械抽气机和静片式机械抽气机两种型式，

① 动片式机械抽气机的结构如图1-1所示。这种机械抽气机主要是一个用青铜或钢制的圆筒形定子，里面有一个偏心地装置着的钢制实心圆筒作为转子。转子以自己的中心轴旋转。两个小翼横嵌在转子圆柱体的直径上，被夹在它们中间的一根弹簧所压紧，因此小翼将转子和定子之间的空间机械抽气机的空腔1装置在长方形盛满油的生铁槽中，进气口3通过机械抽气机的顶盖，进而通过机械抽气机的空腔，到达所谓抽气空间中，转子从那里转过（按箭头方向）将气体赶出活门7。

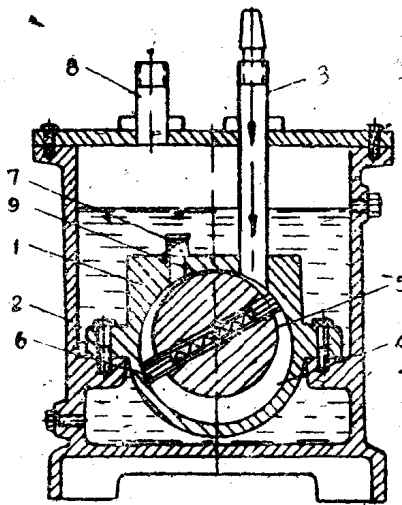


图1-1 动片式抽气机

动片式机械抽气机的简单作用原理如图1-2所示。在(a)的位置时，空气由被抽容器经过管子C进入空间A，当S随转子转动而离开的时候(b)，区域A增大，气体经过C而被吸入，当转子继续运动时(c)，S'将空间A与管C隔断，此后S'又开始将空

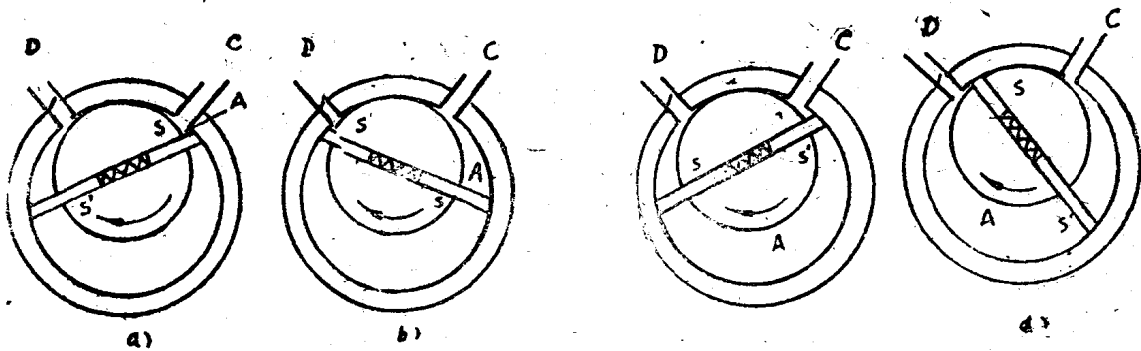


图1-2 动片式抽气机工作简图

間A內的气体經過活門D而向外排出。轉子的不斷轉動使這些過程不斷重復，因而達到抽氣的目的。

在這裡要提到機械抽氣機中最重要的地區，這些地方決定着機械抽氣機中所建立的極限真空。這地區是機械抽氣機所有活動零件發生摩擦的地方。為了達到應有的極限真空度，首要條件是這些地方應有足夠豐富的油，並在機械抽氣機工作的過程中經常保持。

現在研究圓輪與抽氣機壁接觸之處（圖1-1）在出氣口一边的壓強為气体被翼片壓縮到超過大气活門與彈簧的重量所形成壓力的總和。在進氣口一边建立和保持小於1mmHg的壓強。由此可見，為了使空气不從气体的空腔通過圓輪與空腔的接觸點突破到進口的一边，遵守所有要求的重要性就很顯然了。由於機械抽氣機存在着有害空間（圖1-1），要想完全消除這種突破是不可能的，只能使它減少到最小，而油愈可靠，有害空間愈小，充塞在其中的油愈丰满，則機械泵就能達到較高的極限真空度。

為了減小气体的突破數量，某些機械抽氣機內壁做成注槽，使凹下部分曲率半徑與圓輪的曲率半徑相同。這樣圓輪與腔壁的接觸就不再是一條綫而是一個凹的面了。摩擦是增加了，但是機械抽氣的極限真空度得到了改進。

減小气体突破數量的有效方法是採用二級機械抽氣機，即兩個一級機械抽氣機相串聯。如圖1-3就表示兩級動片式機械抽氣機的原理圖。第一級用作第二級的前置抽氣機，而第二級則是高真空級。被抽气体經過管道I進入第二級II，再經管道5被排到第一級I中去，然後經過活門2送到大气中去。第一級和第二級不同，它有一個排氣活門。油從空腔4經過管道3不斷的進入第一級I的工作室。在第二級II中僅僅有一些在工作過程開始之前留在其中的油。在第二級II中沒有排氣活門，並且不斷的排油量非常必要的事情，否則就不可能用兩級動片式機械抽氣得到較高的極限真空度。不斷的把油送到工作室中去，固然對於很好的密封，高的壓強差是很必須的，但同時又給工作室帶來了一些空气。由於第一級I預先實行抽空，所以第二級II只需克服絕對值不大的壓強差就可以了。此外，窄的狹縫漏過的气体非常少，因此在第二級II真空度很高的時候小縫對於气流有很大的阻力。這就使得第二級II可以和主要密封油分開，因而也就避免了油把空气帶到工作室中來。因為沒有把油送到第二級II的工作室中來，所以就不可能在第二級II中裝排氣活門，因為剩餘气体的壓力不足以打開活門。

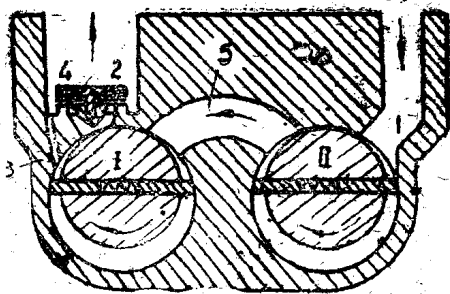


圖1-3 兩級動片式機械抽氣機

动片式机械抽气机的常用型式是将定子和转子全部浸在油槽内，槽内的油一方面密封了微小的漏气，另一方面使定子和转子之间润滑。因此机械抽气机内的油必须具有两种特点：第一，本身的蒸汽压必须小于抽气机所能产生的极限真空。第二，要具有一定的润滑性和粘度。中国石油公司的30号锭子的油可以适用于极限真空在 10^{-3} mmHg以下的机械抽气机。

机械抽气机活动零件的摩擦以及排除气体所必需的压缩都使机械抽气机在工作过程中发热，机械抽气机发热最大是发生在10mmHg到100mmHg压强范围之内。因此机械抽气机在这较高的压强下长期工作可能过热。这样过热主要的危害是使油迅速的蒸发，并且真空系统不仅剧烈的被油本身的蒸气所沾污，同时也被混在油中的其它物质的蒸气沾污，在这方面最有害的是水蒸气。从这些理由得出，无论如何不能使油过热。经验指出，足够清洁，干燥以及蒸汽压低油，允许加热到不超过 50°C 的温度。

二、静片式机械抽气机

这种机械抽气机的简图表示于图1-4，它与定片机械抽气机有下列基本区别。因圆轮的位置对于空腔是偏心的，而其旋转轴是重合于空腔1的几何轴（为了将重心移到旋转轴上，在圆轮中钻有适当的孔），这种形式的圆轮在旋转时，整个时间都沿着圆柱形的空腔滑动。并且它本身在抽气空间扫过。进气方面3与出气方面4是一块隔板隔开，它在整个时间内都被弹簧6所压紧，直穿过空腔壁而滑动，机械抽气吸气与排气的原理用活塞器四个连续的典型位置来说明，图1-5所示

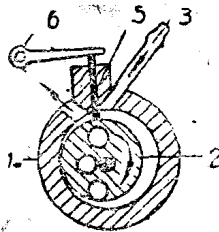


图1-4 静片式抽气机

我们讨论的机械抽气机的优点是：在抽气中有的地方发生气体突破到高真空一边去的危险性减小了。在定片机械抽气机中，有害的地方只是圆轮与平板相接触的地方。在圆轮中没有切口，消除了空气渗入到进气口边的可能。静片式机械抽气机比转片式机

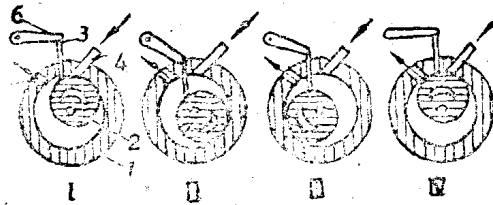


图1-5 静片式机械抽气的工作简图

械抽气机有害空间为小。

一般形式的静片机械抽气机制成两级的。两级机械抽气机结构如图 1-6 所示，二圆轮在同一轴上旋转，并且预先放置在使得靠近进气口的一个圆轮吸气的时候，第二个圆轮排气。

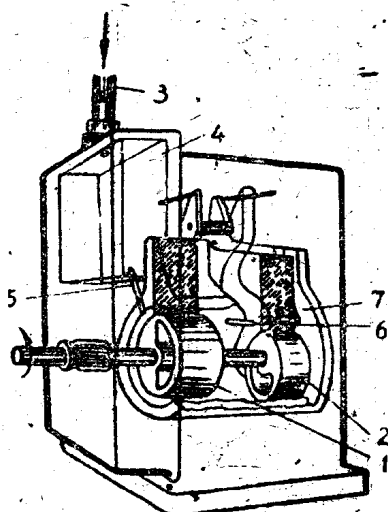


图 1-6 两级静片式机械抽气机的装置

二、蒸汽流抽气机

在机械抽气机的极限真空不能满足工作的要求时，我们通常使用蒸汽流抽气机以获得高真空。蒸汽流抽气机的工作原理是利用工作液体的蒸汽排除气体的作用，从真空系统进入蒸汽抽气机的气体落入蒸汽流的作用范围，然后被蒸汽流推向出气口一边。而工作液体的蒸汽经冷凝器冷却成液体而进入蒸发器。

蒸汽流抽气机的使用不同于机械抽气机，它不能单独使用，为了正常工作就必须与机械抽气机组合成一个联合的系统而使用，在机械抽气达到蒸汽流抽气机所要求的预备真空时，蒸汽流抽气机才能开始工作，其机械抽气机的进气压强应等于或小于蒸汽流抽气机的出气压强。在蒸汽流抽气机的作用速率为 S_H' ，进气口的压强为 P_2' 的情况下，并且它的最大反压强为 P_k ；而预备真空机械抽气机必须能够建立压强 P_2'' ，这个压强不得超过 P_k ，而且这时机械抽气机的作用速率 S_H'' 必须达到下面的平衡关系式：

$$P_2'' S_H'' = P_2' S_H'$$

其中 $P_2'' < P_k'$ 。

最初蒸汽流抽气机是用玻璃制造的。由于这种扩散抽气机经常出事故，安装及修理工作也复杂，更重要的一点是它的外形尺寸过小，故不能达到高的作用速率。现在制成的一种金属蒸汽扩散抽气机就可消除玻璃制件的许多缺陷。金属蒸汽流抽气机可以制成任意大小，实际上不受参数上限—抽气速率的限制。另外，金属蒸汽流抽气机使加热器的功率大大增加，因而工作液体的蒸汽从喷嘴喷射出时，可达到较大的动压强。这样就消除了被抽气体的扩散原理工作而外，还可应用 2 种借于工作液蒸汽的喷射作用的

噴嘴，而使其出气口的压强大大增加，并能保証高真空抽气机在相对極低的預备真空条件下工作。高真空抽气机的極限真空，作用速率及其它参数取决于抽气机的結構及工作液体的性質。

下面各种蒸汽流扩散抽气机的討論大致以抽气机結構的發展过程为序。

玻璃水銀蒸汽流抽气机：这是最典型的蒸汽流抽气机之一，它是应用了最常采用的真空材料—玻璃制成，以保証蒸汽流抽气机的完全密封。从它的討論就便利于了解其它的蒸汽流抽气机。

利用水銀作工作液体，它易于建立有效的蒸汽流，同时又具备必要的热与化学稳定性，气体分子以扩散的方式落于蒸汽流的作用范围，所以这种真空抽气机称为扩散真空抽气机。玻璃水銀蒸汽流抽气机可以做成不同的大小与形状，現就表示于圖 1—7 中作为例子来加以討論。在蒸發器 1 中的水銀被加热器 2 加热到維持沸点的温度（在真空抽气机已經預先建立了預备真空，因此，沸点温度不得超过 120°C ）

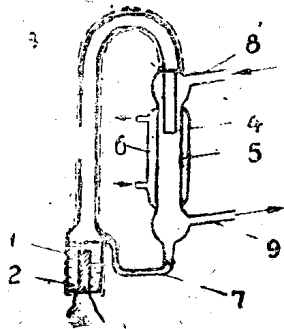


圖 1—7 玻璃水銀扩散抽气机

水銀蒸汽进入到所謂蒸汽导管 3，此后由于导管变热了，以致蒸汽不能凝結在其表面上而不断地通过噴嘴 4 中噴出。这噴嘴就是抽气机蒸汽导管 3 末端。蒸汽从噴嘴落入冷凝器 5，后者的器壁不断用流水冷却，水套 6 中的水是由下面导管流入并从上面导管流出（箭头所示），水从下面导管流入是保証整个冷凝器浸入在水中。水銀蒸汽落到冷凝器壁以后，凝結了，水銀流下，来通过弯曲管 7 回到蒸發器中。这样的方法实现了工作液体的縮循环以及不断的供应噴嘴中的蒸汽流。导管 7 成为水銀的閘門，因为这样，水銀蒸汽只能从蒸發器沿着导管 3 向上运动，而不能直接落到出气管 9。同时蒸汽流攫取的气体只能流出气管，不能落入蒸發器中。在任何結構的泵中各种不同結構的閘門都是同样的用途。由于管 7 做成弯曲的形状，可以有很好的彈性，以防真空抽气机因蒸發器冷却造成温度差而变形。

作为工作液体的水銀必須是清潔的，不应含有水蒸汽，空气与其它杂质气体。在这条件下，才能保証从噴嘴出来的水銀蒸汽中杂质气体的分压强低于真空系統的压强。

由于热运动，气体便沿着导管从被抽容器流入蒸汽流抽气机。气体到达噴嘴的末端以后，在分压强差（密度）之下扩散到从噴嘴中噴出的蒸汽流与蒸汽微粒中，沿着汽流的方向被带走。

相反方向的蒸汽微粒愈少，气体扩散就易于发生，行进到喷嘴的气体分子能够被蒸汽粒子碰回到真空系统一边。

相反方向的蒸汽微粒使气体难于扩散到蒸汽流中。由于从喷嘴出来的蒸汽很快的凝結到冷凝器壁上，这反方向的微粒的数量可以减至最小。为了同一目的，从喷嘴出来的蒸汽微粒的方向必须是以向下运动的方向占优势，同时它的速度应该是如此之大，以致落入蒸汽流中的气体分子很快的带着以向下的速度开始运动，这速度超过落入蒸汽流时热运动的速度。此时必须维持靠近喷嘴处蒸汽流气体分压强或密度最小。

关于从直圆柱形喷嘴出来的水银蒸汽流方向的图形以及蒸汽密度分布特性的图形表示在图1—8中。工作液体的蒸汽，尽管微粒原在向下的方向，都形成一分散的汽流，因此，离开喷嘴越远，蒸汽密度越小，所以减小了蒸汽流的携引作用，而这也引起气体密度的逐渐增大，在冷凝器壁处的气体密度比喷嘴处大，最大数值是在冷凝器的下部。但是如果预备真空抽气机有合适的条件，则扩散抽气机的正常工作将不断进行，因为喷嘴附近不断维持着气体分压强小于真空系统中气体的压强。

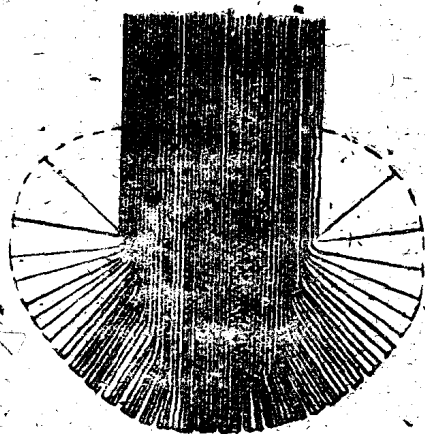
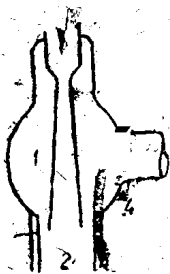


图1—8 从扩散抽气机直圆柱形出来的水银蒸汽流（相邻两线的距离反比于蒸汽的密度）

在专门研究了喷嘴的形状对水银蒸汽流的速度与方向的影响后指出，形状狭长并成一个圆锥形的喷嘴在这方面有良好的效果（图1—9）。



1. 圆锥形扩口的喷嘴。
2. 冷却器。
3. 水套。
4. 连接到真空系统的导管。箭头表示蒸汽流的方向。

图1—9 水银扩散抽气机喷嘴的形状

这样蒸汽流抽气机的正常工作是依靠下面的条件来维持的：

- 1) 工作液体的清潔，保証从噴嘴出来的蒸汽流中杂质气体的分压强最小；
- 2) 主要依靠蒸汽微粒速度所形成的蒸汽流的动压力应足够大，以使所建立起来的蒸汽流的方向朝下，并且無論是在噴嘴附近或是在冷凝器壁处以及在冷凝器下部都有足够的蒸汽密度；
- 3) 足够低的出气口压强（低于最大反压强）；
- 4) 有足够冷却能力的冷却壁。

在任何一种结构的蒸汽流抽气机工作时，發生着所期望的現象——气体从真空系統中渗入工作液体的蒸汽流中，同时也發生着不希望的現象——蒸汽扩散到真空系統中去（主要是从冷凝器）。由于抽气机的工作，真空系統中空气以及其它气体与蒸汽的压强能达到低于 10^{-6} mmHg，同时工作液体蒸汽，带着相应于冷凝器温度的饱和蒸汽压，散布在整个真空系統中。冷凝器一般接近于室温（20°C），因此，在水銀蒸汽流抽气机的条件下，真空系統建立水銀饱和蒸汽压（約为 10^{-3} mmHg）。

必須指出，水銀蒸汽压强可以用捕集器补充冷却的方法来降低，捕集器是接在蒸汽流抽气机与被抽容器之間。

玻璃制水銀蒸汽流抽气机的特性在于以下两点。优点是制作相当简单（玻璃的吹制工作）以及真空抽气机本身及其它与玻璃的真空系統连接地方（封接），都有可靠的密封性，容易檢漏，能观察内部的作用情况，而且成本低。因此，到现在为止还是相当广泛的应用。缺点是汞蒸汽有毒，在空气中密度应该在0.15毫克/立方米以下，水銀的饱和蒸汽压相当高，故必須采用特殊的冷凝捕集器（冷凝剂最常用的有液态氮，液态空气和固体二氧化碳），連續添加冷凝剂会造成使用真空装置时的額外不便。再加之玻璃机械强度差，易于破碎和温度影响的稳定性。正因为这个原因，对它們必須小心移动，以致难于应用在生产的条件下，而主要应用在实验室的条件下。若使用必須注意必要的劳动保护。

玻璃水銀扩散抽气机的参数，根据结构的不同。在下列的范围内变动：極限压强（蒸汽已冷凝）为 10^{-6} mmHg，最大反压强从几百到几十毫米汞柱高，作用速率从每秒0.5升到几升（在进气口压强为 1×10^{-5} mmHg时）。

因为玻璃水銀扩散抽气机不便应用于生产条件，这就使我們設法用金属制扩散抽气机。金属制扩散抽气机比較牢固，它特別适用于生产条件，此外，这种抽气机能够有相当大的尺寸，因而有較大的抽气速率，并且这种金属汞蒸汽抽气机允許应用較大功率的加热器，并且工作液蒸汽从噴嘴出来时能建立較大的动压力，由于强大的加热器，这种抽气机就能在相当差的預备真空情况下工作。由于水銀蒸汽与有色金属接触会产生汞齐，所以在制作水銀蒸汽扩散抽气机时不允許应用有色金属。

圖 1—10 中繪出了金属水銀蒸汽抽气机的工作簡圖，其原理与前面所講的玻璃水銀蒸汽抽气机沒有差別，气体的入口与出口以及流水通过水套的运动。这与圖 1—7 的差別只是在于噴嘴的构造，这里做成的是伞形的，以使水銀蒸汽方向朝下。

金属制水銀蒸汽扩散抽气机有一級水銀蒸汽抽气机，二級水銀蒸汽抽气机和三級水銀蒸汽抽气机。多級蒸汽扩散抽气机能提高極限真空度。

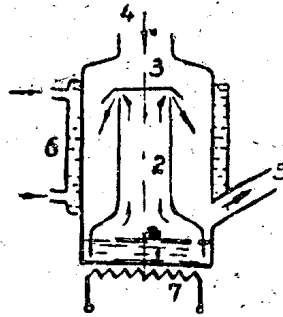


圖 1—10 金屬制水銀擴散抽氣機簡圖

近年來，水銀蒸汽抽氣機的应用範圍大大縮小了，目前油蒸汽抽氣機獲得了廣泛的应用，這種抽氣機采用了從很不容易清潔的石油與醚類中得到工作液體，如象從医用凡士林油中獲得的油來作工作液體。凡士林油不是一種物質而是許多成分組成的高分子碳氫化合物，這些成分有不同的沸點，溫度與飽和蒸汽壓，但它們在其性質上沒有差別。因此，在用油作工作液體之前必須先在真空中用逐漸加熱的方法進行分餾。在加熱的過程中，在 80°C 時，最輕的餾分如有顯著的蒸發，從液體中分離出溶于其中的空氣和水氣，當溫度達到 150°C 時，收集這種分餾的容器應當另換一個。在剩余的油進一步加熱的過程中，隨着較重的餾分依次蒸發，油的溫度升高了，並達到 $220\sim 230^{\circ}\text{C}$ 。這一分餾可以注入油蒸汽抽氣機作工作液體。經過分餾后剩余的油是較重餾分的混合物，它不能用作工作液體，因為它的沸點超過了允許的範圍，高于這一極限油開始分解成輕的混合物。優良油的工作餾分的最大飽和蒸汽壓強應為 $10^{-8}\sim 10^{-9}\text{mmHg}$ 數量級。這樣從石油中，特別是從医用凡士林中所獲得的工作液體。它沒有水銀所具體的缺點，油有相當低的飽和蒸汽壓，因而就不需要用冷凝捕集器來冷凝蒸汽，同樣，油代替了水銀以后，工作液體的蒸汽對工作者身體健康的影響也不存在了，但是油沒有水銀所具有的優點，由于成分上的不均勻，油沒有一確定的沸點；油的飽和蒸汽壓不能保持恒定，因為在工作過程中抽氣機逐漸形成了具有較大的飽和蒸汽壓強的較輕餾分。另一点是當油在過熱或灼熱狀態與空氣相接觸時，結果產生油的總飽和蒸汽壓將要升高到不允許的數值。油有強烈的溶解氣體與蒸汽的性質，灌入抽氣機中的油，經過空氣接觸以后，再加熱時，放出大量溶于油中的氣體物質，正因為如此，油擴散抽氣機在開始工作后不久，真空系統中的壓強顯著的升高，隨着灼熱油中所放出的氣體物質抽走，壓強又下降，然后油蒸汽擴散抽氣機才開始正常工作。

尽管溶解在油中的氣體相當迅速的從油中抽走，油的大量溶解氣體的能力無疑的是工作液體的一個缺點，因為每次重新加熱時，由于存在着從油中析出來的空氣，形成若干較輕的餾分，即使在數量是很少的。作為擴散抽氣機工作液體這樣多的缺點就使我們繼續尋找更為完善的工作液體以及更适用于擴散抽氣機的加工方法。近年來在這方面取得了卓越的成就，創造了新的硅油或多分子硅油；它具有很大的穩定性，在灼熱狀態下能長期經受與空氣的接觸，有一點過熱也是允許的。硅油是一種碳氫化合物，在其分子

組成中含有硅的氧化物；因而也有稱它為有機硅液體。

下面就來分別講述油蒸汽抽氣機，若用玻璃作成則為玻璃油蒸汽抽氣機，若用金屬作成則為金屬油蒸汽抽氣機。

玻璃制油蒸汽抽氣機如圖 1—11，這種抽氣機結構最明顯的特點是噴嘴朝上，由此進氣口在下面而出氣口 2 朝上，這樣的噴嘴通常稱為直噴嘴或《不轉向》噴嘴，它不同於蒸汽流方向朝下的《轉向》噴嘴。可以看出，不轉向噴嘴可以適用於任何工作液體的蒸汽流抽氣機。

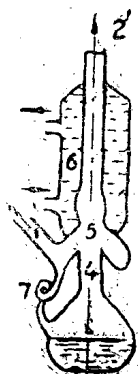


圖 1—11. 玻璃油蒸汽抽氣機

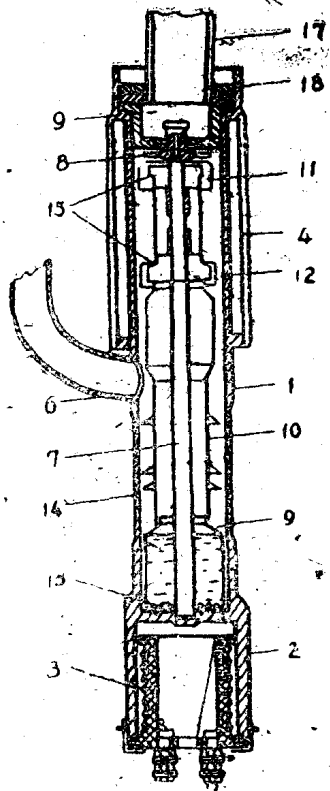


圖 1—12 金屬制二級油蒸汽抽氣機

上述結構的玻璃制油蒸汽抽氣機可以有不同的作用速率。它取決於噴嘴杯形縫的寬度，但不超過每秒幾升的數值。最大反壓強為 $5 \times 10^{-2} \text{mmHg}$ 。極限真空取決於油的質量。

金屬制二級油蒸汽流抽氣機。這種抽氣機的實例繪於圖 1—12。在鋼制的機殼上焊接著一個倒置的杯形圓筒 2，其中放入電加熱器 3。機殼外面圍著水套 4。孔 5 是進氣口，管 6 用於連接預備機械抽氣機，蒸汽管的零件是用一心軸 7 和帶有定位稍 8 的專用螺絲固定在機殼的正中心；在心軸的上端用一螺帽旋緊。油蒸汽從蒸發器 9 出來進入鋼制的蒸汽管 10，並進一步的穿過噴嘴 11 與 12 後，落入冷凝器。凝結在冷凝器壁上的油沿壁流下並落入蒸發器抽氣機壁之狹縫；油從這狹縫中通過在蒸發器中的孔 13 回到蒸發

器。由于在蒸汽管外面的狭缝中经常有油，除蒸汽管中蒸汽流，因此，为了阻止这气流，在蒸汽管上装置了三块反射片14。

抽气机的参量：极限真空为 10^{-6} mmHg，最大反压强不高于 0.05 mmHg，在 10^{-4} mmHg 时，抽气速率为每秒 8 升。

由于油分子直径要比汞大很多倍，因此喷口的形状与水银抽气机应该完全不同。现在油泵常用的喷口有圆柱型，发散型，伞型以及在大抽气机中最常见的改良伞型如图 1—13，在这几种喷口中哪一种算是最好，目前还有很多争论。

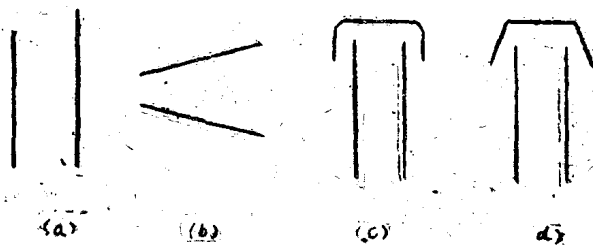


图 1—13 各种油喷口

油蒸汽抽气机的冷却要求和汞蒸汽抽气机也不同，并不是冷却条件越好而极限真空就越高，实验指出，抽气机壁的过度冷却会使极限真空度变坏，抽气速率也会降落。原因可能是：抽气机壁的过分冷却会使从喷口出来的靠近抽气机壁的油蒸汽迅速凝结，减少了它们运动的途径，在没有充分发挥它们的作用之前就变成了液体；因此，扩散到油蒸汽内的气体分子，常常会粘附在油分子表面，然后再回到抽气机的上端去，这样抽气作用就被称为不完全。

在油蒸汽抽气机中为了使冷凝的油回到加热槽而加热槽内的油蒸汽不致直接被前级抽气机抽走，大部分油蒸汽抽气机都不象水银蒸汽抽气机那样使用缓冲管，只要抽气机壁的无缝钢管和抽气机芯的底部留一条宽约 0.5~1.0 mm 的缝就可以。在正常工作时这缝上会布上一层油膜，使下面的油蒸汽不致在这里上升，上面再凝结的油液体则可自由的落入加热槽内。

油蒸汽抽气机因为用金属管制而成，在合理的范围内可以做得尽可能的巨大，以增加抽气速率。最大的抽气机抽气速率达 36000 立升/秒，有两个人那样高。当然这种抽气机只有在特殊的场合下才适用，对于一般抽真空来说，油和电功率的消耗都嫌过分巨大。现在苏联的最大油蒸汽抽气机速率为 20000 立升/秒，更大的抽速可以用二支或二支以上这样的抽气机并联来获得，我们认为这是比较经济的办法。总之，再提高油扩散抽气机的抽气速率是缺乏实际应用的。

在蒸汽流抽气机的极限真空度方面，按其工作原理可以得到它的极限压强理论上应该是 0，因为在原则上没有任何因素妨碍所有的气体分子都扩散到工作液体的蒸汽中去。但是，实际上我们知道，任何结构的蒸汽流抽气机的极限压强不为 0。很显然，气体从真空系统扩散到蒸汽流抽气机中完善的程度取决于工作液清除气体混合物的程度，并且还取决于抽气机工作时在喷嘴附近的蒸汽流中保持气体混杂物的多少。虽然用了许

多方法来聚集工作液体的蒸汽，以阻止从抽气机中扩散到真空系统中去，然而在真空系统中总有这些蒸汽的最小压强，若不应用蒸汽冷凝的方法，则极限压强相当于冷却壁温度的工作液体的蒸汽压强。还有一点，就是抽气机的极限压强还取决于抽气机的壁的清潔，也就是抽气机壁放出气体的量，同时也取决于抽气机的密封性。很多人希望它能达到 10^{-9} 或 10^{-10} mmHg，但实际上现在最好的油蒸汽抽气机的极限压强多为 10^{-7} mmHg，大抽气机一般在 10^{-6} mmHg的数量级，只有极少数达到 5×10^{-8} mmHg，由此可以看出，为了提高它的极限真空度，对油就提出更严格的要求，尽管油本身的蒸汽压强较低，但在较长时间的工作后，它将逐渐分解、裂变以及和真空系统本身的一些杂质蒸汽发生变化而使其质量变坏。为了降低对油的要求，以及避免在使用过程中变坏的抽气机油参加抽气作用，就出现了自动分馏式扩散抽气机如图1-14，1-15所示。

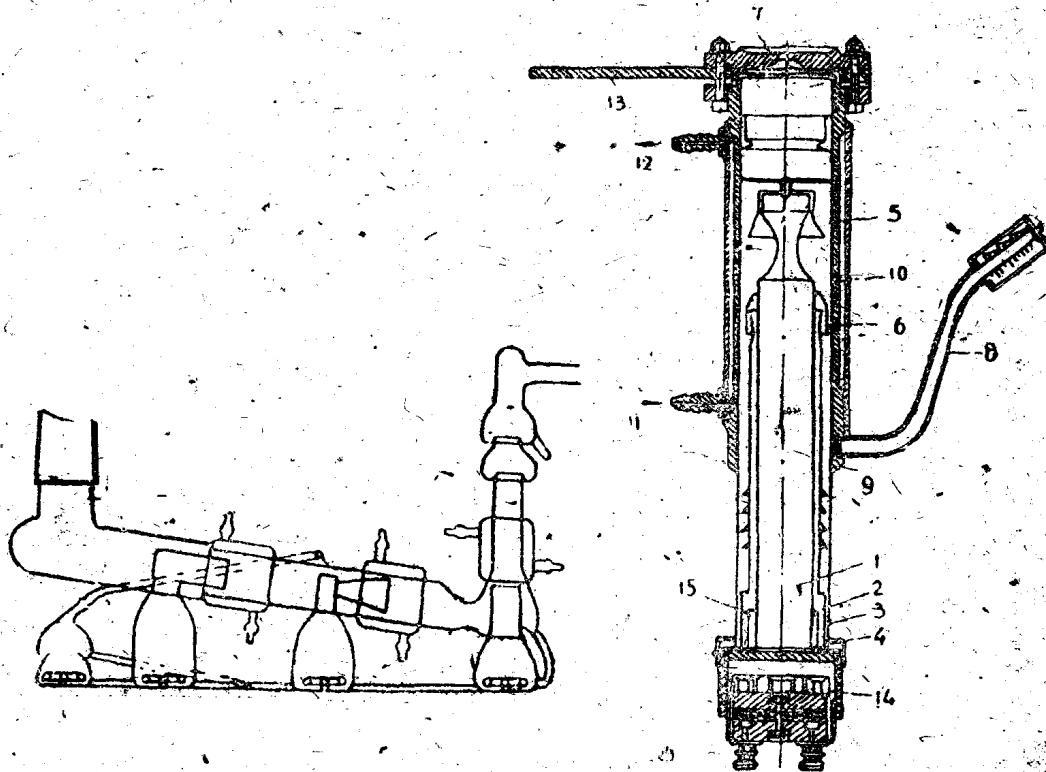


圖1-14 橫式三級油分餾擴散抽氣機

圖1-15 金屬制二級分餾抽氣機

1. 中心蒸發室；2. 內造汽管與隔離圓筒的小室；3. 隔離圓筒與外蒸汽管間的小室；
4. 外蒸汽管與機殼之間的小室；5. 上噴嘴；6. 下噴嘴；7. 進氣口；8. 預備真空導管；9. 抽氣機外殼；10. 水套；11. 12. 流水進出口；13. 固定抽氣機之平板；14. 加熱器；15. 隔離圓筒。