

# 压缩机与泵

( 讲座稿 )

浙大低温工程教研组

1976 5

## ——毛主席语录——

教育必须为无产阶级政治服务，必须同生产劳动相结合。

读书是学习，使用也是学习，而且是更重要的学习。

认识从实践始，经过实践得到了理论的认识，还要再回到实践去。

人的正确思想，只能从社会实践中来，只能从社会的生产斗争、阶级斗争和科学实验这三项实践中来。

路线是了纲，纲举目张。

学制要缩短，教育要革命，资产阶级知识分子统治我们学校的现象，再也不能继续下去了。



## 说 明

这本讲稿是在收集有关资料，在领导和有关同志的关怀和帮助下编写而成的。编它的目的是想供学员同志们了解压缩机和泵时作为一个参攷，因此这里编的仅是一般概述性的资料。

由于编者政治水平和业务水平较低，加上所收集的资料不多，因而缺点和错误一定不少，恳望阅读本讲稿的同志批评、指正。

编者

1976.5.13

# 目 录

## 第一章 压缩机

|                     |    |
|---------------------|----|
| § 1—1 概述            | 4  |
| § 1—2 活塞式压缩机示功图简介   | 8  |
| § 1—3 几种典型压缩机的特点与应用 | 11 |
| § 1—4 活塞式压缩机的运行与维修  | 20 |
| § 1—5 离心式压缩机的特性曲线简介 | 24 |
| § 1—6 离心式压缩机的运行与维修  | 28 |

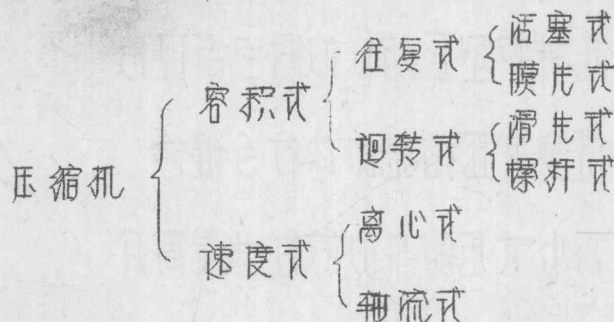
## 第二章 低温液化气体泵

|                        |    |
|------------------------|----|
| § 2—1 低温液化气体泵的分类及其工作原理 | 35 |
| § 2—2 离心泵的性能曲线和基本参数    | 39 |
| § 2—3 泵的运行与维修          | 41 |
| 附录                     | 46 |

# 第一章 压缩机

## §1—1 概述

压缩机是一种压缩气体，提高气体压力或输送气体的机械。因其用途广泛而被称为“通用机械”。气体分离和液化过程所消耗的电量，是由压缩机来提供的。按压缩气体的方式的不同，将压缩机分为容积式和速度式两大类，如下表所示



现将低温工程中常用的活塞式和离心式压缩机简介如下。

### 1、活塞式压缩机

活塞式压缩机适用于压力高，流量不大的场合。其结构示意图如图1—1。

当电动机带动压缩机曲轴作旋转运动时，通过连杆、拖动活塞在气缸内作往复移动。

活塞向下移动时，缸的体积增大，压力下降。当压力降到小于进气管中的压力时，进气阀被打开，气体进入气缸内，直至活塞移动到下边的末端，即移动到下止点为止。

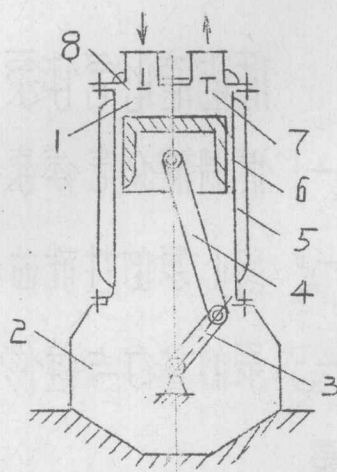


图1—1 活塞式压缩机结构示意图

1. 气缸、2. 曲轴箱、3. 曲轴  
4. 连杆、5. 冷却水套、6. 活塞  
7. 排气阀、8. 进气阀



当活塞向上移动时，进气阀关闭，容积缩小，气体被压缩，压力升高。

随着活塞向上移动，气体压力越来越高。当压力稍高于排气阀压力时，排气阀被顶开。缸内压缩气体不断排出，直至活塞移至上止点末端，即移至上止点为止。

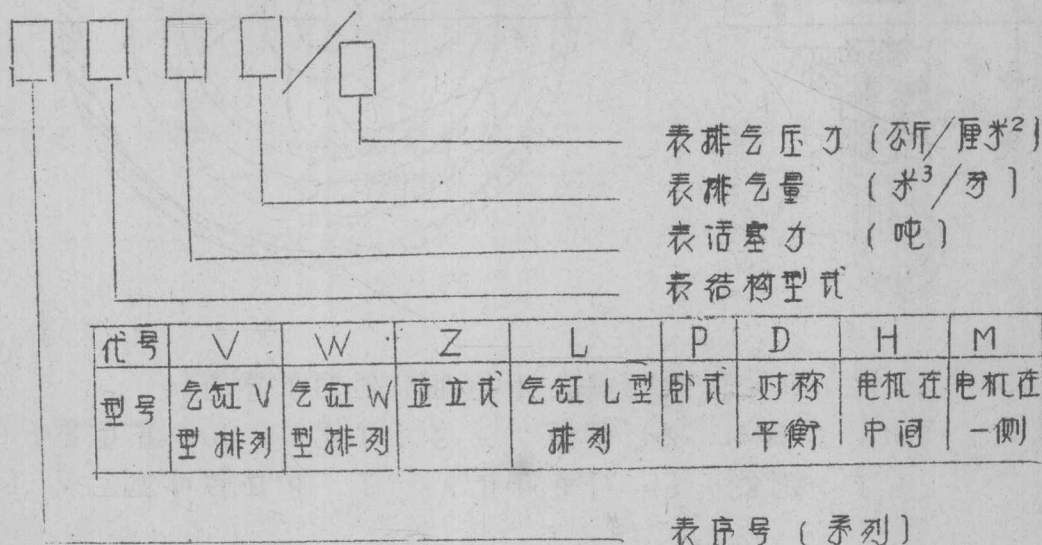
然后活塞又向下移动，重复上述动作。这样，压缩机不断地吸入气体，并把它压缩到一定的压力后送出。

活塞式压缩机由于受设计与结构上等一系列因素的影响，靠一次压缩很难达到很高的压力，为此，必须采用多级压缩才能得到所需的高压。通常采用的压力级数情况可参看下表。

终压与级数的关系表

| 压力 (大气压) | $\leq 6$ | $\leq 20$ | $\leq 80$ | $\leq 120 \sim 200$ |
|----------|----------|-----------|-----------|---------------------|
| 级数       | 1        | 2         | 3         | 4                   |

## 活塞式压缩机型号说明



例如 4L-20/8

4 — 表示一般用固定的活塞式压缩机 L 系列中第四种基本产品

L — 气缸排列为角型

## 2. 透平式压缩机

透平式压缩机适用于流量大、压力不高的场合。它分为轴流式和离心式两种。轴流式压缩机目前在國內空分与液化装置上还未采用，它只适用于流量特别大的情况下。离心式空气压缩机已普遍应用于大型空分装置上。

离心式压缩机的优点是：流量大、尺寸小、重量轻、结构简单、运转可靠、送气均匀、气体不受润滑油蒸气污染等。

离心式压缩机的结构如图 1—2 所示，主要由进气管、叶轮、扩压器、蜗壳等组成。图 1—3 为多级离心式压缩机示意图。

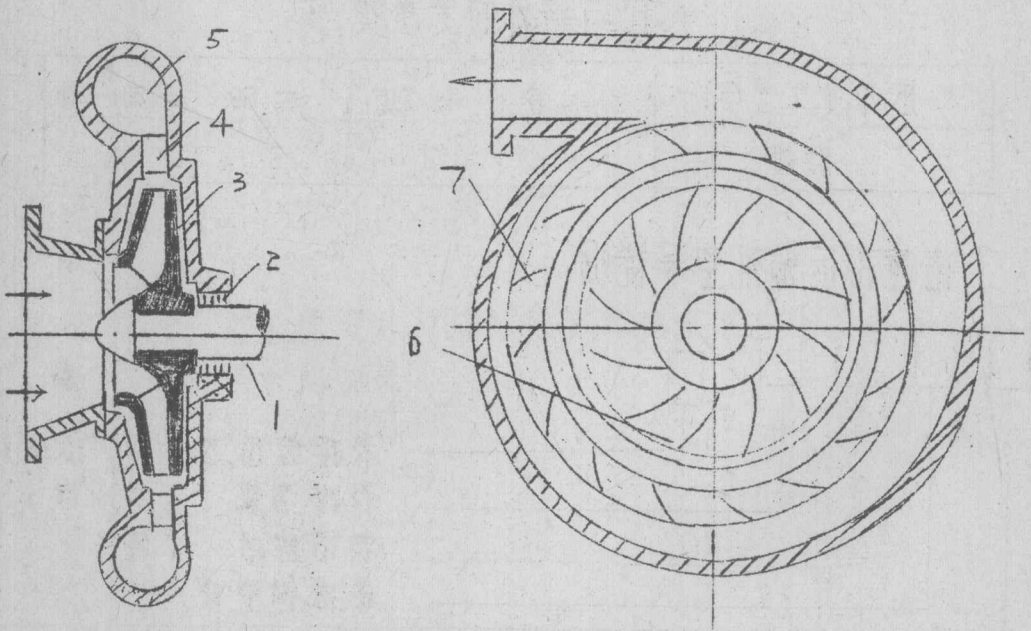


图 1—2 单级离心式压缩机结构示意图

1. 轴； 2. 轴封； 3. 叶轮； 4. 扩压器  
5. 蜗壳； 6. 叶轮叶片； 7. 扩压器叶片；

气体自进气管引入，均匀地进入叶轮，进气管直径做成逐渐缩小的形状，目的是使气体略有加速。

叶轮是离心式压缩机最主要的部件，用红套法紧固在压缩机主轴上。

当电动机带动压缩机主轴转动时，就带动叶轮旋转，进入

## 拍照

图 1-3 多级离心式压缩机 (DA 350—61 型)

叶轮的气体被叶轮上的叶尖带着旋转，提高了速度和压力。

气体在叶轮中能提高压力的原因有两个：

1) 离心力的作用：气体被叶尖带着旋转，提高了速度，产生了离心力，由于离心力的作用，把气体从里向外抛，达到压缩的目的。

2) 叶轮的形状是从里向外扩大的，因而气体自叶轮进口到出口，其相对速度降低了，速度降低转为压力的升高。

气体从叶轮出来，绝对速度还很大。气流进入扩压器后，速度减慢，压力进一步提高。

为了得到某一定的压力，往往采用多级压缩（一个叶轮及其相配合的固定元件称为一个级）。

透平压缩机产品型号说明：如 DA 350—61 是离心式压缩机产品的代号，其中

D — 表示单级进气



350 — 表吸入流量  $\text{米}^3/\text{分}$ 

6 — 表 6 報

— 表第一次设计

此外还规定

S — 表夏吸

設有“A”為鼓風機等

这些规定是根据已经生产的机器来制订的，目前国家还没有作统一规定。

图 1—4 表示了各类压缩机应用范围，供选择时参考。

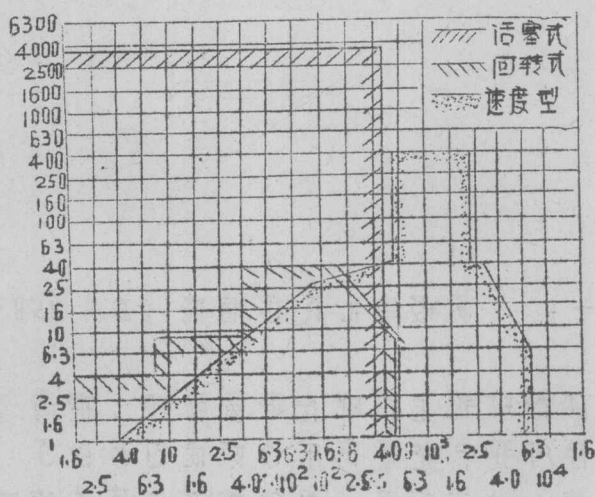


图 1-4 各类压缩机的应用范围

## § 1-2 活塞式压缩机的示功图简介

在订补压缩机的切子、生产能力时都要接触到示功图，另外，在示功图上还可以看出气体压缩、膨胀等情况、阀门的压力损失及其工作情况等等。下面对示功图作一简单介绍：

理论示意图

假定：

- 1) 排气结束后气缸内没有残留气体, 即没有余隙容积;
- 2) 气体在流经吸入阀和排出阀时无阻力;

- 3) 在吸入和排气过程中, 气体温度不变;
- 4) 气体在压缩过程中, 按不变的热力指数进行,

符合上述4)假定的循环称为理论循环, 它是由吸入、压缩、排气三个过程构成的, 并且可以用  $P-V$  图表示出来, 如图 1—5。

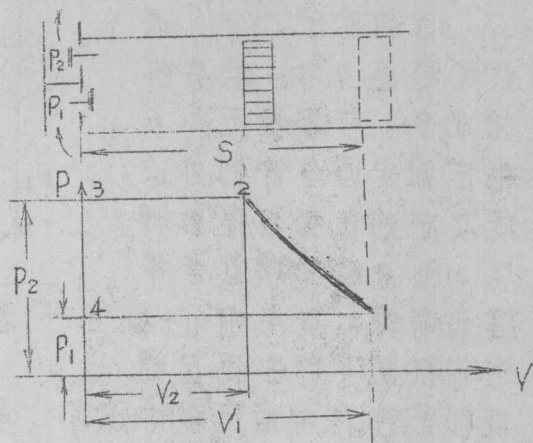


图 1—5 压缩机的理论循环图

4—1 线表示吸气过程。这时活塞由外止点 4 移至内止点 1, 气缸容积为  $V_1$ , 气体以  $P_1$  压力进入缸内。

1—2 线表示压缩过程。当活塞将气体压缩至  $V_2$  时, 压力升高至  $P_2$ ;

2—3 线表示排气过程。这时排气阀打开进行排气;

3—4 线表示排气结束和吸气开始的瞬间, 压力由  $P_2$  下降到  $P_1$ 。

点 1、2、3、4 组成一个工作循环, 这四点所连接起来的图形的面积的大小表示在一个压缩循环中活塞所消耗的功的大小。这种表示气缸内气体压力  $P$  和容积  $V$  变化关系的图称为理论示功图。

现在我们来重点讨论气体在压缩过程 (即 1—2 线) 时循环功的影响。我们将气体的压缩过程分为三种情况:

1) 等温压缩——压缩过程气体温度不变, 此时  $P$  与  $V$  的关系为  $PV = C$  (常数);

2) 绝热压缩——压缩过程气体对外界无热量传递, 此时由于温度影响使  $PV^K = C$  ( $K$  为绝热指数);

3) 多变压缩——介于上述两种情况之间, 此时  $PV^m = C$  ( $m$  为多变指数, 通常  $1 < m < K$ )。

图 1—6 表示了三种不同压缩过程所得到的 1—2 线, 从图上可以看出, 等温压缩时所消耗的功为最小, 而绝热压缩所消耗的功为最大。压缩机在实际压缩过程中不可能处在等温压

缩或绝热压缩的状态，而接近于多变压缩。

在初始压力  $P_1$  很低而终压力  $P_2$  很高的情况下，可采取分成多级压缩中间冷却的办法，使其总的压缩过程曲线（1—2线）接近于等温压缩线。如本组 11—80 制氧机配套的立式压缩机就是通过四级压缩和冷却，最后将空气压缩到 200 大气压。

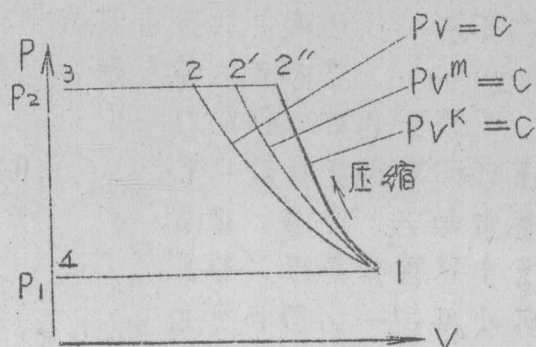
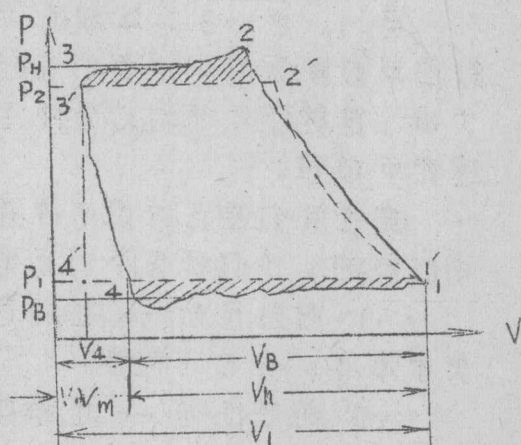


图 1-6 三种压缩过程

2. 实际示功图

压缩机在实际压缩循环中，由于有余隙容积（设  $V_m$ ）存在，当排气结束吸气开始时，被压缩在余隙容积内的气体就要膨胀，直至其压力  $P_2$  下降到吸入压力  $P_1$  时，才能吸入新鲜气体；其次由于进排气阀门有一定阻力，因此气缸内实际吸入压力稍低于  $P_1$ （为  $P_B$ ），而排气压力稍高于  $P_2$ （为  $P_H$ ），如图

1—7。其膨胀过程（即 3—4 线）亦近似于指数曲线  $PV^m=C$ 。压缩机在实际工作过程中热交换的影响是比较复杂的，反映在示功图上，可看到曲线指数  $m$  不是常数。实际示功图是由专门的压力指示器（示功仪）描迹的。



3. 吸气量的订正

从图 1—7 可以看出，由于余隙容积  $V_m$  内气体膨胀的影响，实际吸入容积  $V_B$  总是小于活塞行程容积  $V_h$ 。当点 4 与点 1

图 1-7 实际示功图

（虚线部分表示在相同条件下理论绝热循环图）

求此后压缩机的吸气量就可订正，气缸为单吸时：



$$V = V_h \cdot \lambda \cdot n \quad (\text{米}^3/\text{分})$$

式中  $\lambda = \frac{V_B}{V_h}$  称为容积系数， $n$  为每分钟转数

#### 4. 循环功的计算

虽然实际的压缩曲线与膨胀曲线都是复杂的曲线，但与绝热曲线相近，所以用绝热曲线来计算循环功，误差不大。

活塞在气缸内往复一次所作的循环功为：

$$L = P_B V_B \frac{K}{K-1} \left[ \left( \frac{P_H}{P_B} \right)^{\frac{K-1}{K}} - 1 \right] \quad (\text{公斤·米})$$

若将  $L$  乘以转速  $n$ ，便可得出该气缸内活塞所消耗的功（功/分），即

$$N = L n \quad (\text{瓦或马力})$$

### § 1-3 几种典型压缩机的特点与应用

由于所压缩的气体的性质的不同，如氧气、氢气的易燃、易爆性等，或工艺上的特殊要求，如要求气体不被污染等，因此就要求压缩机有一定的特点，以满足用户要求。下面我们介绍工程中常遇到的几种典型压缩机，如无油润滑压缩机，氧、氢、氮等专用压缩机的特点作一简单介绍。

#### 一、无油润滑压缩机

无油润滑压缩机的基本特点是要求达到润滑油和被压缩气体完全没有接触。目前有三种主要型式：① 有活塞环的压缩机；② 有迷宫密封和迷宫活塞的压缩机；③ 有膜片的压缩机。就广义来说，离心式压缩机和螺杆式压缩机已属此类。现在我们着重介绍一下无油润滑的活塞式压缩机与膜片式压缩机。

##### 1. 无油润滑的活塞式压缩机

从外貌看一台无油润滑的活塞式压缩机和有油润滑的压缩机差不多，所不同的只有前者取消了用来润滑气缸和顶料面的注油器及其管路。至于曲柄连杆机构和十字头导轨的润滑，则前后两种压缩机完全一样，它们仍旧以油泵来不断地供给润滑油。

无油润滑的活塞式压缩机是采用自润滑材料来制造导向环、活塞环和顶料环。

目前国内应用在压缩机上的自润滑材料较多的是含硬充剂的聚四氟乙烯、尼龙制品。有的单位已在研制和试用新型自润滑材料，如多孔金属浸渍材料（即 DU 材料）、固体润滑剂二硫化钼、聚酰亚胺、氯化聚醚、聚苯撑氧化物（PPO）等。国外采用浸二硫化钼酚醛产品——米卡塔（MICARTA）作自润滑材料。

### 1) 材料

聚四氟乙烯的特性

- ① 摩擦系数低，只有  $0.02 \sim 0.10$ 。
- ② 耐化学腐蚀，耐各种酸碱，被称为“塑料王”。
- ③ 耐热耐温，一般可在  $-180^{\circ}\text{C} \sim +200^{\circ}\text{C}$  下工作，（特殊情况可用于  $-200^{\circ}\text{C} \sim +250^{\circ}\text{C}$ ），常压下  $300^{\circ}\text{C}$  软化， $320^{\circ}\text{C}$  成透明胶状物， $400^{\circ}\text{C}$  分解并有毒气， $450^{\circ}\text{C}$  升华。
- ④ 吸湿系数小，吸水率为  $0.01\%$ 。

### 缺点

- ① 膨胀系数大，约为铸铁的  $10 \sim 20$  倍；
- ② 导热能力差；
- ③ 易固态变形；
- ④ 机械强度差、硬度低，弹性小。

为克服其缺点，加填充材料。

耐磨剂：玻璃纤维或二氧化硅粉。

导热剂：纯铜粉或青铜粉。

润滑剂：石墨粉或二硫化钼粉。

配方举例（按重量百分比）

| 开封厂           | 玻纤     | 纯铜或青铜粉 | 二硫化钼 | 聚四氟乙烯  |
|---------------|--------|--------|------|--------|
| ZY-33/30 氧压机  | 10-15% | 10~15% | 5%   | 65~75% |
| 日本 4B 46F 氧压机 | 15~25% | ——     | ——   | 75~85% |

### 2) 结构

由于氟塑料密封件在某些压缩介质（如氧气）的要求，氟塑料润滑压缩机在结构上有下列特点：

- ① 膨胀间隙：氟塑料活塞环与氟塑料密封圈的端面间隙

保证在工作温度下不致卡住。因此，相应零件的间隙要大得多（间隙具体大小应按试验测定）。

② 活塞及活塞环结构：由于氟塑料强度低，活塞环断面尺寸要比金属环大，断面一般是方形的。活塞环的主要形式有整环开口和分瓣型两种（其结构形式图见附录）。为了保证活塞环密封性所需比压，一般在环内衬有金属张力环，张力环形式有：弹簧钢条圈、开口弹簧片和波形弹簧片。实践证明，整环开口活塞环不用张力环完全可以有良好的密封，特别是直径较大的活塞环更趋向不用张力环。但分瓣活塞环则必须使用张力环。为了避免活塞在干摩擦情况下与气缸接触，活塞上要增设支承环或导向环，以托起活塞不使它与缸壁摩擦。同时，活塞与气缸的间隙也较一般有油润滑的压缩机为大（一般间隙为缸径的  $1/100$  左右）。压缩易燃易爆介质时，活塞的材料最好用有色金属，这样万一发生摩擦时不致产生火花。

③ 加强冷却：由于氟塑料导热能力差，摩擦面上的热量不易传导，使表面温度升高。在高温下还的磨损加速，並有塑性变形的危险。因此，气缸及换料函部分要加强冷却，尽可能降低工作温度。

④ 气阀：通常在有油润滑的压缩机中，气阀从气流中悬挂着的油雾接触而得到润滑，但在无油润滑压缩机中，这种润滑是无法获得的。由于气阀在干摩擦下工作，阀片弹簧使用寿命下降，泄漏量增大。

⑤ 刮油设备：为了确保气缸的无油操作，须在活塞杆上加装刮油杯，以防止曲轴箱里的润滑油爬杆。

## 2、膜式压缩机

图1—8为膜式压缩机结构示意图，当曲柄连杆带动活塞作往复运动时，油缸里的油压周期性地变化着，膜片在油压的作用下，产生上下弯曲，改变了气缸的容积，达到压缩气体的目的。活塞往复运动一次，膜片就上下振动一次，气缸里的气体也就完成了吸入、压缩、排气和膨胀这样一个循环过程。

由于膜式压缩机的气缸无须润滑，所以具有纯洁、安全、密封性好、压缩比大、温度低等特点，适宜压缩易燃、易爆、有毒、稀有或高纯度等气体。但这种压缩机的排气量较小，容积



效率一般只有 20% , 且膜片容易损坏。

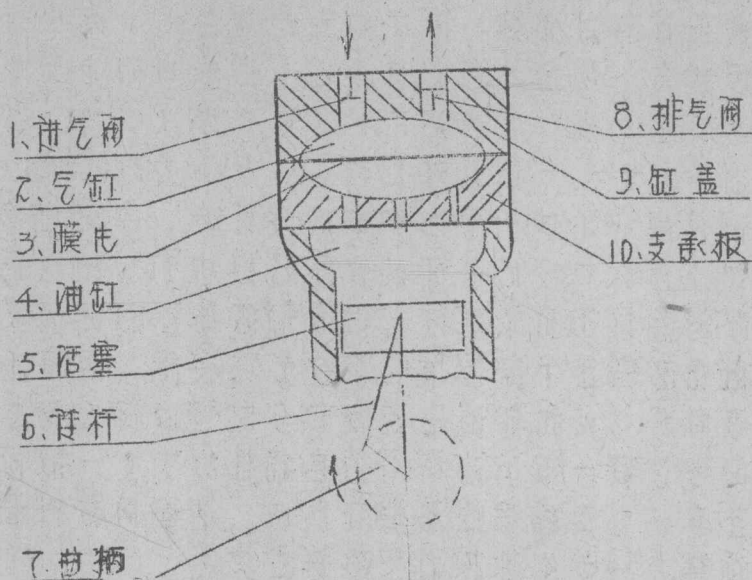


图 1 —— 8 膜片式压缩机示意图

北京第一通用机械厂生产的 G2V-5/200 型膜式压缩机  
其技术规格为:

排气量 5 米<sup>3</sup>/时 (进气条件下)

进气压力 大气压

排气压力  $\left\{ \begin{array}{l} \text{一级 } 12 \sim 16 \text{ 公斤/厘米}^2 \text{ (绝对大气压)} \\ \text{二级 } 200 \text{ 公斤/厘米}^2 \text{ (绝对大气压)} \end{array} \right.$

转速 400 转/分

油缸直径: 一级 74 毫米

二级 23 毫米

轴功率 2.08 瓩

用电机功率 3 瓩

膜式压缩机的技术关键是膜片寿命和膜腔曲面形状。  
G2V-5/200 即 V 型二级单列膜式压缩机的膜片系用不锈钢制造, 其厚度为 0.5 毫米, 一般寿命为 2000 小时以上。一般高压级用 3 片膜片, 低压级用 2 片膜片。

膜片厚度的选择, 据有关资料介绍如下表:

| 压力 (大气压)   | 膜片数和厚度                              |
|------------|-------------------------------------|
| 15 ~ 600   | 三片 各厚 0.5 毫米                        |
| 600 ~ 2000 | 二片 各厚 1.5 毫米 (用于顶气侧)<br>另一片厚 0.5 毫米 |

用于高压级的膜片厚一点是为了防止变形，因膜片上开有排气槽。

膜式压缩机结构型式低压的有立式和卧式两种；高压的一般用 V 型结构。一般低压级无十字头，高压级在十字头顶部带有顶塞。

膜片材料的选择视被压缩介质的腐蚀性而定，一般无腐蚀性的用碳钢；有腐蚀性的用不锈钢或钛合金等。

氧气膜式压缩机与一般膜式压缩机的主要差别在于驱动膜片的介质不同，它用肥皂泡驱动的。为了避免曲轴箱里的润滑油窜到油缸中去，在油缸和机身滑道之间增加距离，并设置刮油及挡油装置。由于肥皂泡润滑性能不好，所以油缸内镶有聚四氟乙烯缸套。氢气膜式压缩机也可以用这种结构，国外有用人造油作为氧气、氢气膜式压缩机的驱动介质的。这种人造

油的分子结构式为

$$\begin{array}{c} \text{F} \quad \quad \text{Cl} \\ \quad \quad \diagdown \quad \diagup \\ \quad \quad \text{C} = \text{C} \\ \quad \quad \diagup \quad \diagdown \\ \text{F} \quad \quad \text{F} \end{array}$$

在压缩有放射性、易爆、有毒、强腐蚀性等危险性气体时，可用膜头与膜式泵联合的装置。即用油缸中油的压力压缩膜式泵里的液体，泵里的液体经过长钢管再压缩膜头里的气体。这样，危险性气体可远离传动部分，並可在传动部分与膜头之间设置隔墙，以防止发生事故。

为弥补膜式压缩机流量小的缺点，可用无油润滑与膜式联合压缩机，即低压级无油润滑的活塞式压缩机，高压级用膜式压缩机。

为了保证良好的密封，可采用的方法有：①很好地把膜片研磨膜片；②所有唇接头处加密封环。

如果需要绝对密封时，可把膜片与上膜腔焊起来，不过要

求二者都是不锈钢材料制造的。由于检修困难，此法较少应用。  
 1. 膜式压缩机 1960年我国开始试制生产，现已着手搞系列化工作。

## 二、氧气压缩机

氧气压缩机的结构与空压机基本一样，只是由于氧气的化学性质产生了一些特点。

第一、氧与油等起氧化作用，特别在一定压力、高温下容易与油等起作用产生爆炸。因此气缸内不能用油来润滑，以往是用垫水润滑，现在普遍采用自润滑材料实现无油润滑。自润滑材料应用于活塞环、填料环上。

第二、氧压机工作时不允许泄出氧气，也不允许空气在吸入时进入第一级气缸。吸入管道中压力要略高于大气压（1.005~1.04 表压），活塞和填料函的密封应长期可靠。

第三、由于氧气对金属有一定的腐蚀性，因此，气缸内接触氧气的部件应用防锈材料或作防锈处理。如活塞杆用不锈钢，氧阀阀片弹簧用不锈钢；气缸阀杆最好用抗腐蚀性的合金铸铁铸造。

第四、要有完善的刮油器，保证运动机构的润滑油不沿活塞杆进入气缸与氧气接触。为此，刮油环必须与填料分开，中间相隔一定距离（为行程的1.5倍左右）。因此，采用无油润滑时氧压机的活塞杆要长些。

另外，无油润滑的氧压机在膨胀间隙、活塞及活塞环结构、冷却等方面都具有与无油润滑压缩机相同的特点，这里不再重述。

在结构形式上分有立式和对动式（对称平衡式）两种。立式一般为三列三级压缩，如杭氧厂生产的Z-167/150型氧压机和开封空分设备厂生产的ZY-33/30型氧压机均属此类。卧式对动氧压机一般分二、四、六列。如1000米<sup>3</sup>/时制氧机配套的ZDY-61.7/30型对称平衡氧压机（上海第三压缩机厂生产）是对动、四列、三级压缩机。

现将ZY-33/30和ZDY-67.1/30型氧压机性能、结构参数列表对比如下。