

迴轉式壓縮機

上 冊

石 華 鑫 編

西安交通大學

1963. 7

迴轉式壓縮機

上 冊

編輯者：西安交通大學壓縮機教研室
石 華 鑫

發行者：西安交通大學教材供應科

印刷者：西安交通大學印刷廠

一九六三年七月第一版

印數：360冊

上册目录

第一章 概 述

第一节	迴轉式压缩机的一般工作原理	1
第二节	迴轉式压缩机的分类	6
第三节	迴轉式压缩机的特点	10

第二章 一般工作过程与参数

第一节	理論工作过程	15
第二节	实际工作过程	50

第三章 单轉子式压缩机——滑片式压缩机——

第一节	結構型式与尺寸关系	73
第二节	輸气量关系	82
第三节	結構关系	91
第四节	孔口配置	100
第五节	洩漏与压力損失	107
第六节	滑片接触关系	115
第七节	运动关系与机械損失	131
第八节	輸气量調节	155

第四章 无內压缩的两轉子式压缩机——罗茨鼓风机——

第一节	結構型式与工作原理	163
第二节	轉子理論型綫的設計	171
第三节	型綫形状的运动分析	182
第四节	轉子实际型綫的設計	200

第五节	型綫通論.....	214
第六节	理論輸气量.....	222
第七节	热力計算.....	231
第八节	气流的均匀性.....	250
第九节	动力关系.....	269

第一章 概 述

第一节 迴轉式壓縮机的一般工作原理

迴轉式壓縮机系一种使气体通过容积变化借以提高压力的机械。它与习見的往复式或旋轉式壓縮机具有基本的相異点。它是借助于作旋轉运动的一个或多于一个的轉子，达到所需要的容积变化，借之完成壓縮机所必要的几个基本工作过程——吸入过程，壓縮过程，压出过程，以及可能发生的膨脹过程——。

按此，迴轉式壓縮机在主要机件的运动上，具有旋轉式壓縮机的特征。在提高气体压力的过程上，則具有往复式壓縮机的特征，亦即是属于容积式壓縮机的范疇。

但是，迴轉式壓縮机却与典型的容积式壓縮机——往复式壓縮机——不同，后者的工作容积，一般說来是固定不动的，仅活塞作相对的运动，因之，为了获得必要的基本工作过程，必須配备气閥——基本上采用自动閥——，故随之带来一系列的缺点，成为往复式壓縮机产生故障的源泉。迴轉式壓縮机中进行工作过程的容积，除按一定的規律作周期性的扩大与縮小外，多半尚伴随着空間位置的改变。通过合理的配置，可以很方便地使工作容积按照需要有規律地在吸入孔口与压出孔口之間往复移动，借此达到控制气体流动的要求，完成容积式壓縮机所必需的基本工作过程。

从上述特征看来，迴轉式壓縮机基本上具有强制配气的往复式壓縮机的工作特征。

迴轉式壓縮机的一切上述特征，通常通过一个轉子相对于机体的偏置，并加上某些輔助机件达到，或者利用两个或两个以上的轉子，通过轉子相互間的运动关系达到。詳細的工作方式，将在以后的章节中分别涉及。

迴轉式壓縮机的轉子在一个运动周期——例如旋轉一周——之

中，分別有若干个工作容积依次地进行相同的工作过程。因此，当研究迴轉式壓縮机的工作过程时，只需討論其中某一工作容积的全部过程，即可完全了解整个机器的工作。此一工作容积，我人即称之为基元容积。

与容积式机器的工作过程相适应，我人采用下列符号来表征基元容积在某些特殊条件时的容积，以便于以后对工作过程的研討。

V_1 ——基元容积与吸入孔口相連通的瞬时所具有的容积，亦即是在吸入过程开始时的容积；

V_2 ——基元容积与吸入孔口相脱离的瞬时所具有的容积，亦即是在吸入过程終了时的容积；

V_3 ——基元容积与压出孔口相連通的瞬时所具有的容积，亦即是在压出过程开始时的容积；

V_4 ——基元容积与压出孔口相脱离的瞬时所具有的容积，亦即是在压出过程終了时的容积；

V_m ——基元容积所可能达到的最大容积；

V_0 ——基元容积所可能达到的最小容积。

由上列符号可以看出，所用的足註，也就表示吸入与压出的开始与終了，且

1 ——表示吸入开始时基元容积中的状态；

2 ——表示吸入終了时基元容积中的状态；

3 ——表示压出开始时基元容积中的状态；

4 ——表示压出終了时基元容积中的状态。

此外，基元容积所可能达到的最大值 V_m ，往往可与往复式壓縮机的行程容积 V_h 相比拟——当不存在有穿通容积时——，故有时即用后者的符号替代之。

基元容积所可能达到的最小值 V_0 ，由于它将充滿压力已升高的气体从压出孔口移到吸入孔口，故有时亦称为穿通容积。

設轉子在旋轉一周之中，基元容积中恰完成一个壓縮机循环，則不論基元容积的变化函数如何，恆能用图 1-1 所示的曲綫表示基元容积在不同轉角 φ 时的变化，以及上述的一些容积值——容积变化图——。

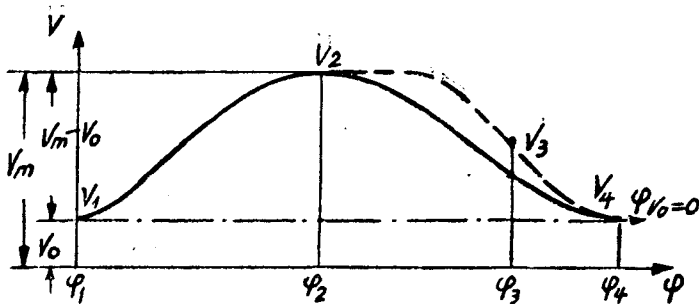


图 1-1

图 1-1 中，横座标表示轉子的相应轉角 φ ，从某一特定的轉子位置算起。例如图 1-1 中即以基元容积在最小容积时的位置，作为开始时的轉角相位， $\varphi=0$ 。

纵座标即表示各个轉角 φ 时所相应的基元容积的容积值。

最理想的情况时，基元容积中的气体将全部被压出，亦即是不存在有穿通容积

$$V_0=0$$

此时，图 1-1 中的横座标，即上升到点划綫所示的位置上。

最理想的情况时，基元容积开始吸入气体的瞬时，当在基元容积开始扩大的瞬时。并在基元容积达到最大容积值 V_m 时，停止吸入，如图 1-1 中的曲线段 V_1-V_2 所示。

同样，压出过程的終了，亦必在基元容积达到最小值 $V_0=0$ 时发生，如图中的 V_4 点。

满足上述条件的压缩机，它的工作容积可以得到最大限度的利用，故从气孔几何位置的配置上說，是最理想的。

基元容积与压出孔口連通的瞬时，它在曲线上的位置，对迴轉式压缩机的工作过程，有根本性的意义。

首先討論图 1-1 中的实綫曲线。

当基元容积中气体开始压出的瞬时——用轉角 φ_3 表示——处于轉角 φ_3 与 φ_4 之間的任何任意位置时，即表示气体在开始压出之前，基元容积已經部分的縮小——从 V_2 縮小到 V_3 ——，故气体将在压缩机內获得压缩，提高它的压力。此后，虽然由于轉子的繼續旋轉，

基元容积再度地縮小，但已不能使气体提高压力，仅为压出过程。因此，曲线段 $V_2 - V_0$ 表征压缩过程，曲线段表 $V_3 - V_4$ 表征压出过程。

当轉角 φ_3 与 φ_2 重合，亦即是基元容积在与吸入孔口脱离的同时，即与压出孔口相連通时，其中的气体当不再因容积的减小而提高压力，而由压出管道中的气体倒流入基元容积，借之提高压力。此项工作过程，其特征是气体在压缩机内不发生压缩——压缩过程并不在隔绝的基元容积中发生——，故称为无内压缩的压缩机。

无内压缩的压缩机中，气体压力的提高，近似地在瞬间内由压出管道中气体的倒流所产生。因之，压缩机的作用与泵相似，仅供输送一定容积的气体之用。

有时，基元容积中容积的变化，在最大容积值时往往保持若干轉角的时间不发生变化，如图 1--1 中的虚线曲线所示。此时，倘若基元容积中气体的压出，即使轉角 φ_3 大于 φ_2 ，但仍在容积持续不变的期间开始时，仍属在无内压缩的条件下进行。

从经济性的角度来看，压缩机中有无内压缩过程是有极大区别的。它们各有自己的用途范围，将于以后再予说明。

倘若基元容积中气体的吸入开始与压出終了，并不恰在最小的基元容积 V_0 时发生，则将产生封闭容积。

当 $V_1 - V_0 \neq 0$ 时，即得吸入封闭容积，其值为

$$V_{m,n} = V_1 - V_0 \quad (1-1)$$

当 $V_4 - V_0 \neq 0$ 时，即得压出封闭容积，其值为

$$V_{m,n} = V_4 - V_0 \quad (1-2)$$

迴轉式压缩机中，基元容积值随轉角 φ 的变化，往往不单独决定于一个变化的参数，而由若干各自独立变化的参数所决定——各个变化的参数間当然仍有一定的相互关系——。

为了研究方便計，常将上述的基元容积认为由若干个独立基元容积所組成。每个独立基元容积，其容积值的变化仅决定于一个变化的参数。

因之，組成基元容积的独立基元容积数，当与该基元容积所具有的变化参数值相当。

基元容积为空間的容积，不易由平面图形中直接看出它的变化。但在很多的迴轉式压縮机中，如取轉子軸向垂直平面——端平面——上的基元面积代替基元容积加以研究，即能全部或絕大部分滿足所設的課題，且研究的过程得以簡單醒目。

以后的章节中，当尽可能用平面的图形供研究之用。

第二节 迴轉式壓縮机的分类

可以按照各种的分类方式来区别多种多样的迴轉式壓縮机。

当按照主要的工作机件——轉子——数目区分时，可以区分为单轉子式与多轉子式两大类。

单轉子式壓縮机中，仅有一个轉子相对于机体作旋轉运动，并借助于轉子相对于机体的偏置以及其他的机件达到壓縮气体的目的。

作为最典型的单轉子式壓縮机，可以取滑片式壓縮机作为代表。滑片式壓縮机的横剖面图如图 1-2 所示。

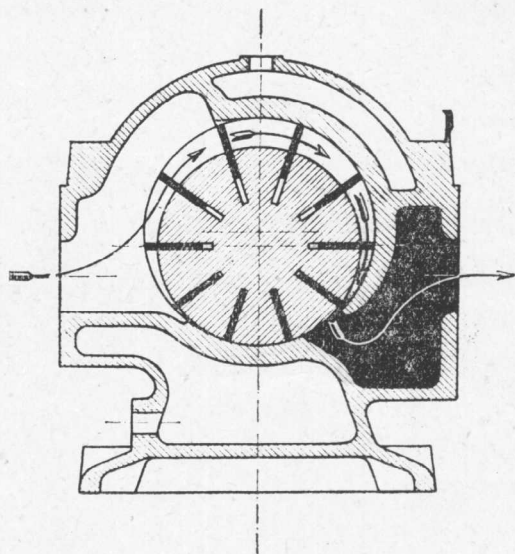


图 1-2

偏心式壓縮机——图 1-3 ——可以作为只具有一个滑片的滑片式壓縮机，且滑片不随轉子作旋轉运动。

水环式壓縮机——图 1-4 ——也可以作为滑片式壓縮机的一种特殊型式。

多轉子式壓縮机中，有两个或两个以上的轉子在机体内作旋轉运动，并借之达到壓縮气体的目的。

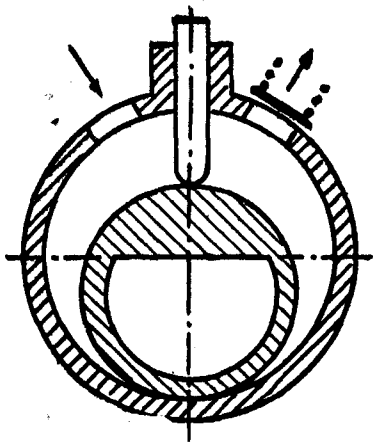


图 1-3

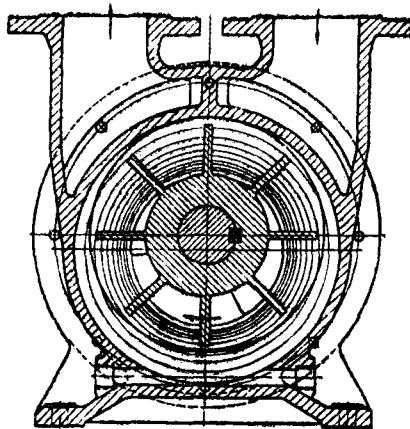


图 1-4

实际生产的多转子式压缩机，很少采用两个以上的转子，故本书所述，亦仅限于两转子的。

图 1-5 示叶氏鼓风机的工作原理。

如图所示，处于下方的转子，以它的三个菱形体作为活塞在机体的环形容积——气缸——中进行所需的工作过程。处于上方的转子，系供隔绝吸入室与压出室，并使菱形体得以越过分界面之用。

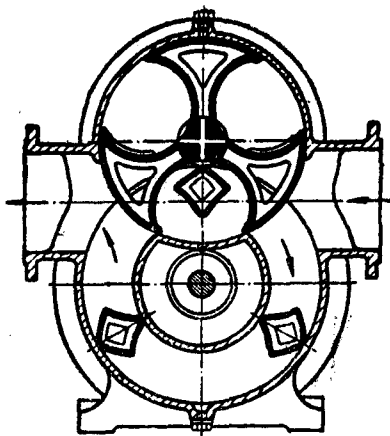


图 1-5

叶氏鼓风机的特点是一个转子专供压缩气体，传递所需的功率之用。而另一个转子则纯粹作为隔板之用。与一般转子式压缩机的两个转子都具有压缩作用的情况不同。而且两转子的形状完全可以用最简单的车削方法制出，且不需要很高的精确度。

著称的罗茨鼓风机——图 1-6——，亦属广泛获得应用的典型的两转子式压缩机。

必須指出，叶片鼓风机与罗茨鼓风机中，工作容积内并不发生真正的压缩过程，只在螺桿式压缩机——图 1-7——問世之后，始行获得真正的多轉子式压缩机。

当按照压缩机内的工作性质来区分时，迴轉式压缩机可以区分为无内压缩的与有内压缩的两类。

当机器的运转过程中，基元容积的缩小，并不在隔绝——与吸入孔口或压出孔口不相连通——的状态下进行，便成为无内压缩的压缩机。

无内压缩的压缩机，由于工作

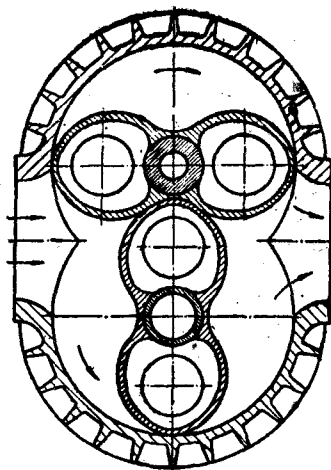


图 1-6

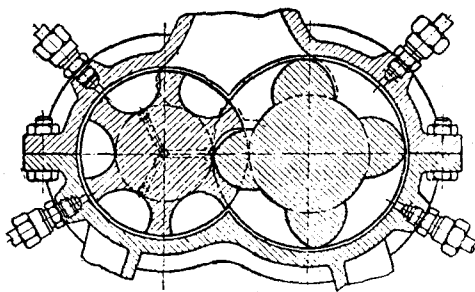


图 1-7

循环的经济性不高，通常只供甚小的压力比之用。因此，即称为鼓风机。前述的叶氏鼓风机与罗茨鼓风机，即属此类。习用的压力比通常不超过 $\tau_a = 2$ 。

有内压缩的压缩机，可以达到较高的压力比，这是由于基元容积在运转中于隔绝状态时缩小其容积，因而使工作循环的经济性得以提高之故。

只因迴轉式压缩机可以有内压缩，使它得以大大地扩展其用途范围，并在很多方面駕临旋轉式压缩机之上，并愈来愈多地保持此项优

勢，成为低压压缩机的重要类型。

应该注意，有时，所需要的全部压力比，可能无法或有意的不从内压缩而获得，因之形成具有部分内压缩的压缩机。

第三节 迴轉式壓縮机的特点

迴轉式壓縮机系基于因容积縮小而导致气体压力提高的容积式壓縮机，在工作的基本方式上具有很大的优点：如达到的压力高，不論大小輸气量均可达到所要求的压力，輸气強制性等等。

此外，由于主要的工作机件摒棄了具有往复运动质量的曲柄連桿机构，采用了作旋轉运动的轉子——仅在单轉子式壓縮机时，往往輔以极小的摆动质量或往复质量——，因之将往复式壓縮机所特有的最大缺点，根本予以消除，从而获得旋轉式壓縮机在这方面所特有的优点。

可以說，迴轉式壓縮机除拥有往复式壓縮机的上述重要优点之外，尚具有下列优点：

由于取消了笨重的往复运动机件，迴轉式壓縮机的轉数，可以大大地予以提高。故就相同的輸气量言，迴轉式壓縮机的外形尺寸，显然拥有极佳的緊湊性。

机器轉数提高后，不但可以采用习見的高轉数驱动机器——电动机或內燃机——，而且兩者間之联結，可以用直接驱动的形式，因之有可能取消变速或傳动的机件，使整个机組的外形尺寸与重量亦均更为緊湊与輕便，特別适合于移动式的用途。

由于整个机組不具有或只有极小的对外作用的慣性力，故迴轉式壓縮机有高度的动力平衡性。它对于机器基础的要求很低，一般可以应用于車輛之中，且并不使人有振动的感觉。

迴轉式壓縮机主軸每旋轉一周之中，发生多次的輸气过程，且各个輸气过程均属互相銜接，甚至有部分重叠，故与高轉数相配合之后，可以得到平穩的輸气过程。因之，可以获得优良的輸气均匀性。

迴轉式壓縮机中，基元容积系在吸入方面与压出方面間来回移行，因之有可能不采用气閥来控制气流的吸入与压出。除可完全避免因气閥而俱来的許多故障，且可消除气流通过气閥的压力損失，不但提高了机器的經濟性，也使高速運轉成为可能。

迴轉式壓縮机的始动，与正常的運轉几属完全相同，不需專門的

始动装置。这使经常需要始动的机器具有极简单的操作条件，且对于压缩机装置的自动化言，有相当优越的基础。

某些类型——主要是多转子式——的迴轉式压缩机中，运动机件相互之間，以及运动机件与固定机件之間，并不发生直接的接触，故工作容积的周壁上，毋需加以潤滑，可以做到绝对无油的輸气。

上述优点，在各种类型的迴轉式压缩机中，均有不同程度的体现，視各該机器的结构与工作原理而異。

但是，一方面由于迴轉式压缩机仍属于容积式压缩机的范畴，另一方面由于迴轉式压缩机的制造与应用，迄目前为止，仍有一定的局限性，故在设计与制造的实践中，仍存在有或多或少程度的困难，未获完全介决。这些困难，有的系根本性的，有的系限于所累积的经验不足，致使迴轉式压缩机的优点，未获充分的发挥。

此外，迴轉式压缩机往往伴随着下列缺点：

迴轉式压缩机的工作容积，其周壁形状多半不呈园筒形，致使活动机件与固定机件之間，或活动机件相互之間密封問題，久久未获同往复式压缩机那样程度的介决，这就限制了迴轉式压缩机达到较高的終了压力。一般說来，迴轉式压缩机的終了压力，約处于8~10或小于20公斤/厘米²左右。亦即是說，迴轉式压缩机通常均作为低压压缩机或鼓风机之用。个别的结构型式，或在个别的用途中，可以达到较高的終了压力。

为了达到基元容积的变化，也为了达到应有的气密性，迴轉式压缩机工作容积的表面，或者具有复杂的曲面形状，或者要求兩相对工作表面之間，具有更精密的間隙。这使迴轉式压缩机的制造趋于困难化与复杂化，往往要求由专业的工厂从事生产，始能保証机器的性能与质量。

总的說来，迴轉式压缩机处于兩大类型——往复式与旋轉式——压缩机之間，它具有前者的优良工作方法，也具有后者运动机件的优良特性，同时也存在有兩者的一些缺点。但由于工程上对于气体压缩的不同要求，以及压缩气体的不同用途，几十年来，对于迴轉式压缩机的设计与制造，不論在新的工作方法的探討方面，已有结构的改进方面，以及实际生产的方法与方式方面均有很大的进步。这些发展，

使迴轉式壓縮機不但能够生存于兩大類型的壓縮機之間，且在鼓風的用途與部分低壓壓縮的用途方面，與往復式壓縮機相抗衡，並在中大量輸氣量的方面，侵入旋轉式壓縮機的用途範圍之中，成為低壓壓縮機的一項重要機種。

歷來的發展，包括近年來的長足進展在內，迴轉式壓縮機的發展趨勢，即是努力於發揚前述的一些優點，改良一些——主要是製造方面——主要缺點。為此，發展了新型的結構，如螺桿式壓縮機等。也正因近年來在新型機器方面的深入研討，使迴轉式壓縮機獲得更大與更多的用途範圍，成為最有希望的低壓壓縮機。

目前，迴轉式壓縮機的主要用途，與它現有的水平相適應，約在下述的範圍中：

小容量的制冷裝置，要求機組緊湊輕便、振動小、噪音少、高度自動化等，常採用迴轉式壓縮機，如滑片式壓縮機等。近年來由於螺桿式壓縮機的發展，較大容量的制冷機組，特別是在可移動的用途中，亦有採用迴轉式壓縮機的趨勢。

化學工業中，對於各種氣體的壓縮，有時由於輸氣量不大，有時由於不能與潤滑油相接觸等原因，也喜採用迴轉式壓縮機。特別是在工藝流程之中，需要有多台的不同氣體的壓縮機時，為操作簡便計，也喜引用自動化程度較高的迴轉式壓縮機。

此外，化學工業中，隨着企業容量的急劇擴大，為了降低往復式壓縮機的重量，可採用迴轉式壓縮機與往復式壓縮機聯合運轉的方式，成為迴轉式壓縮機近年來新辟的用途範圍之一。

中小功率內燃機的增壓，與二沖程內燃機的祛氣，常採用迴轉式壓縮機。採用迴轉式壓縮機後，輸氣量與轉數間的直接比例性，以及輸氣強制性，使迴轉式壓縮機較之廢氣渦輪壓縮機組更適合於可變轉數的內燃機。特別是在車用和船用內燃機中，儘管前者的經濟性略低於後者，但由於內燃機的轉數有更廣大的調節範圍，在中小功率的內燃機中，前者顯得更為合用。

一般低壓的用途，如中小輸氣量的壓縮空氣站，亦有採用迴轉式壓縮機。它以緊湊輕便，運轉勻靜著稱。

中小容量的高爐鼓風中，迴轉式壓縮機以它的輸氣強制性獲得一

定广泛的用途。在某些国家中，它較之旋轉式压缩机更受人欢迎。相仿的情况，我国的制造厂，鉴于迴轉式压缩机在制造上較之旋轉式压缩机更为简单而便宜，在各方面的用途中，亦有采用迴轉式压缩机代替旋轉式压缩机的看法。

此外，作为各种容量的真空泵，迴轉式压缩机有它的广大用途范围。