

化工装置的工艺设计

第四册

〔美〕E.E.路德维希 编著

化学工业出版社

化工装置的工艺设计

第四册

[美] E. E. 路德维希 编著

化学工业部化工设计院组织翻译

化学工业出版社

F57.12

内 容 提 要

全书原文共分三卷，主要介绍化工和石油化工装置的化学工程设计计算方法。译文分为四册出版，第一册为流体流动、液体输送、机械分离、液体混合、喷射器及真空装置、泄压装置等方面内容。第二册为蒸馏、填料塔等方面内容。第三册为传热、制冷装置。第四册为压缩设备、压缩缓冲罐和驱动装置等方面内容。书中每章都插入了许多图表和例题，以帮助读者正确地理解和应用书中所述的设计方法。

本书可供石油、化学工业和其他有关部门的工艺设计人员、研究人员和生产技术人员阅读，也可供石油、化工高等院校师生参考。

Ernest E. Ludwig
**APPLIED PROCESS DESIGN FOR CHEMICAL
AND PETROCHEMICAL PLANTS**

Vol 3

Gulf Publishing Company
Houston, Texas (1965)

化工装置的工艺设计

第 四 册

化学工业部化工设计院组织翻译

化学工业出版社出版

(北京和平里七区十六号楼)

化学工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

开本 787 × 1092 ¹/₁₆ 印张 13 ³/₄ 字数 323 千字印数 1—13,950

1980年4月北京第1版 1980年4月北京第1次印刷

书号 15063·3082 定价 1.40 元

目 录

第十一章 压缩设备	1
应用上一般的介绍 (1); 订货须知 (1); 各种类型压缩机的考虑总则 (2)	
往复式压缩机	3
机械要点 (3); 规格明细表 (13); 操作注意事项 (13); 压缩机的操作性能 (25); 用莫利尔图表计算压缩功 (47); 气缸的卸荷 (50)	
空气压缩机的选择	59
离心式压缩机	61
机械上的考虑要点 (61); 规格说明 (71); 操作性能 (77); 压缩过程 (79); 压头 (82); 操作特性 (100)	
轴流式压缩机	108
操作特性曲线 (110)	
液环式压缩机	112
操作特性 (112); 用途 (113)	
罗茨鼓风机和真空泵	114
制造材料 (114); 性能 (115)	
螺杆式鼓风机和真空泵	116
性能 (116)	
滑片式压缩机	120
性能 (121)	
风扇	121
风扇的类型 (123); 结构 (126); 规格明细表 (128); 风扇的驱动 (129); 风扇的性能 (129); 叶轮的周边速度或顶端速度 (138); 功率 (138); 效率 (139); 温度升高 (139); 风扇的噪声 (139); 风扇的操作系统 (140); 系统阻力的组成 (141); 风扇操作系统计算方法小结 (145); 风扇的选择 (147)	
符号	153
参考文献	155
第十二章 压缩缓冲罐	157
脉动阻尼器或缓冲罐	157
应用 (158); 内部结构 (159)	
设计方法	161
单缸压缩机 (161); 多缸并列共用一个缓冲罐 (162); 脉动的频率 (167); 管道的共振 (168)	
符号.....	168
参考文献	169

第十三章 驱动器	170
电动机	170
负荷的特性 (170); 电动机的基本型式 (170); 特性曲线 (172); 美国电机制造商协会 (NEMA) 电机设计的分类 (175); 危险性的分类 (179); 电动机的外壳 (180); 电动机的转矩 (180); 功率因数 (181); 电动机的选择 (182); 转速的改变 (186)	
用于机械驱动的汽轮机	189
标准容量的汽轮机 (189); 动力蒸汽 (192); 应用的情况 (192); 操作和调节 (193); 规格明细表 (194); 性能 (194); 耗汽率 (194); 单级汽轮机 (201); 多级汽轮机 (204)	
燃料气发动机和汽油 柴油发动机	204
应用情况 (204); 发动机气缸的指示图 (204); 转速 (206); 过量充气 (206); 订货说明 (206)	
燃气轮机	207
符号	209
参考文献	209
作者索引	211

第十一章 压 缩 设 备

在化工厂和石油化工厂中，气体与蒸气的压缩是一项重要的操作，需要根据它们的操作特性去选用适当型式的设备。工艺设计人员根据压缩设备的主要操作原理，把压缩设备划分为：

1. 往复式；
2. 离心式；
3. 回转式；
4. 轴流式。

压缩可以象真空泵那样从低于大气压开始，也可以象生产过程的多数应用情况那样，从高于大气压开始。

应用上一般的介绍

图 11-1 列出了上列四种压缩设备的常用气量和转速范围，表 11-1 给出了这些压缩设备的压缩范围。根据操作要求，可按图和表找到适用的压缩设备。但是还有许多特殊的生产情况所需的设备设计尚未能在介绍中述及。通常为某一用途选择最合适的压缩设备时，进气量、排气量、温度、压力以及流体的性质等都是重要的参数。

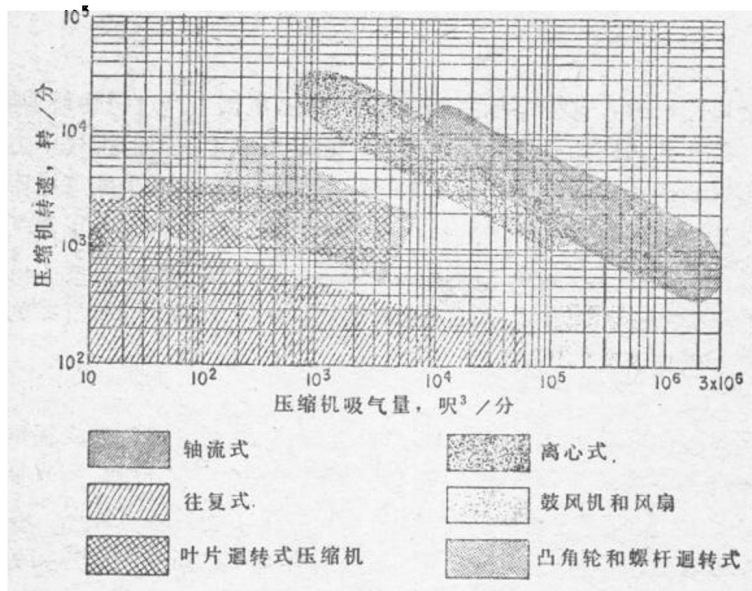


图 11-1 压缩设备的应用范围

订 货 须 知

化工公司需用的压缩机气缸或其他机械升压装置，从不自行设计，只有在涉及专门技术或生产机密的极少情况下，才自行设计。在此情况下，公司会按照特殊设计的要求制造出气缸或压缩部件，并外购标准机座，然后在工厂现场将驱动器、气缸和填料函等组装起来。

表 11-1 压缩和真空设备的一般范围^(16,17)

压缩机类型	通常应用的最高排气压力(近似值) 磅/英寸 ² (绝)	每级的最高压缩比(近似值)	每机或每缸的最高压缩比(近似值)	真空泵类型	能达到的吸入压力 毫米汞柱(绝)(近似值)
往复式	35,000~50,000	10	按需要	离心式	6
离心式	3,000~5,000	3~4.5	8~10	往复式	0.3
回转式	100~130	4	4	蒸汽喷射式	0.05
轴流式	80~130	1.2~1.5	5~6.5	回转式	10 ⁻⁵
				油扩散式	10 ⁻⁷ (或10 ⁻⁸ 微米)
				汞或油扩散加回转式	小于10 ⁻⁷

通常在向制造厂询价之前,就可以选定压缩设备的基本型式,但是如有疑问或对几种型式需要同时加以斟酌的时候,就须谘询能提供设备的各个制造厂。

为使订购的设备性能合用、价格适宜起见,填写一份内容完整,要求恰当的订货说明书是非常重要的事。为了事先有所估计,日后又便于核对,通常总是先编制初步设计的计算书,而由专用设备的制造厂提出最后确定的性能资料。各制造厂之间并没有统一的设计标准。因此使用性能会由于具体结构的差异而有所不同。所有的使用性能将能接近设计要求,但不可能完全一致。因此,有关的工程技术人员,必须熟悉压缩机的类型和结构。报价单应附有详细的性能分析、驱动机规格和结构材料。

各种类型压缩机的考虑总则

气量条件

在拟定订货说明书时,首先要标注的重要项目是,根据生产过程物料平衡得出的正常、最大和最小进气量及其相应的温度和压力状态;还必须确定需要的排气压力。如果需要在低于或超过额定气量的条件下操作,则应把这些条件连同在这类条件下操作时间的长短向制造厂注明。例如,全部时间为一半气量,或每小时有二十分钟超过正常气量的10%,等等。根据这些操作要求,可以选择压缩设备的型式。因为选择的设备能力过大,未为系统充分使用,是很不经济的,因此,最好要求制造厂说明压缩机驱动机机组的马力得到完全使用的最高负荷和条件。

流体性质

流体的性质对确定压缩设备的性能是很重要的。只要有可能,就应提供流体的分析数据。如果由于资料不全或者由于保密原因,也需要有近似的分析材料。如情况是属于后者,由于绝热指数(定压比热与定容比热之比)以及平均分子量的数值有偏差,在现场的实际操作性能就可能与设计数据不符。必须标明气流内所含液体或固体的成分和数量,虽然某些机器能输送“脏”的气体,但制造厂一般不设计气流中夹带有液体或固体的压缩设备,而总是在压缩设备的前面,先用合适的湿式或干式洗涤设备除去固体;如气流中有任何可能带入液体时,则宜加进液体分离器。

压缩性

气体的压缩性对压缩机的排气量具有重大的影响。因此,最好说明在所考虑的压缩范围内几个温度和压力点上的压缩系数值。如有可能,应该在询价单中附上压缩系数的曲线图或其参考资料。如果没有确切的数据,而预计压缩性又是一个需要考虑的因素时,则应

确定压缩系数的近似值，并提交给制造厂作进一步的研究。

压缩系数 Z 是理想气体定律中的一个系数，它用来表示实际气体偏离理想气体的程度。在给定的温度和压力下：

$$PV = ZRNT \quad (11-1)$$

在第一级以及依次各级的压缩中，气体的容积各按其吸气状态来校正，同时压缩系数也按所在级的吸气状态分别算出。某些制造厂按吸气和排气状态的平均值计算。

腐蚀性质

流体的腐蚀性或含有的杂质，必须向制造厂注明。在一定的情况下，主气流不一定就有腐蚀作用，但在设计气缸时却应充分注意杂质的问题。例如，对于输送干燥的纯氯气和输送含有百万分之五水分的氯气，情况就大不相同。在选择制造压缩部件和密封结构的材料和润滑剂等时，必须考虑气体的腐蚀性。

水分

气流中的水份可能来自空气或水洗塔中的水蒸气，也可能来自气流中带进的其他可凝蒸气。计算压缩机容积时，必须知道气体中的水分或可凝蒸气的含量。

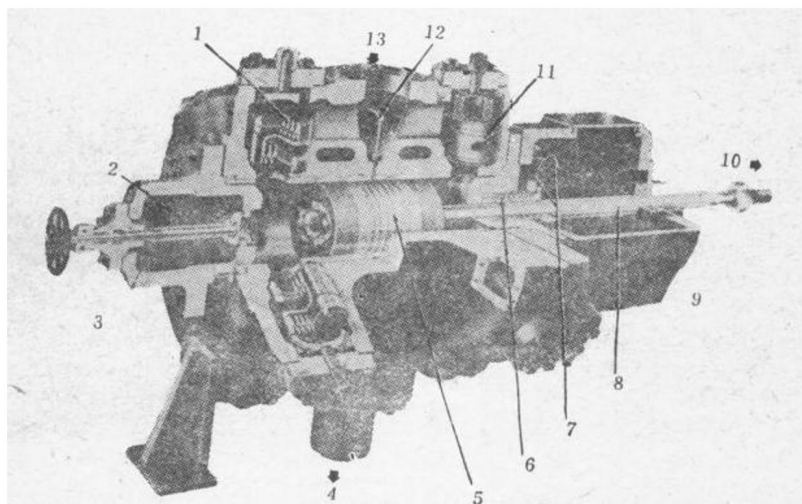
特殊情况

生产过程中常出现某些特殊的情况，例如：限制温度以免形成聚合、化学反应、润滑剂的过热、超过规定温度所形成的爆炸条件等。这些情况限制了选用压缩设备的灵活性。

应该规定级间压力降的限度。大多数情况下，级间的压力降容许在 3~5 磅/英寸² 这个合理范围内。压力降愈大，需要的马力就愈大。某些特殊情况下，此值可限制到 0.5~1 磅/英寸² (表)。

往复式压缩机 机械要点

对往复式压缩机的原理有一个基本的了解是很重要的，这样才能很好地根据装置的情



1. 双层式排气阀；2. 气缸盖端余隙腔；3. 气缸盖端；4. 气体出口；5. 活塞和活塞环；
6. 填料函；7. 填料函放空孔或排气孔；8. 活塞杆；9. 气缸的曲拐端（靠近传动机构）；
10. 接至曲拐；11. 吸气阀；12. 活塞注油口；13. 气体进口

图 11-2 A 装有双层自弹条状阀的高压气缸剖视图

况来应用压缩机。往复式压缩机是一种正压排气机，它靠气缸内活塞的往复运动来提高气体的压力。图 11-2 表示出各种不同压力范围、不同用途的气缸典型装配和布置情况。图 11-3 是气缸和曲轴的剖视图。

兹将压缩机的类型、部件和其布置情况分述如下。

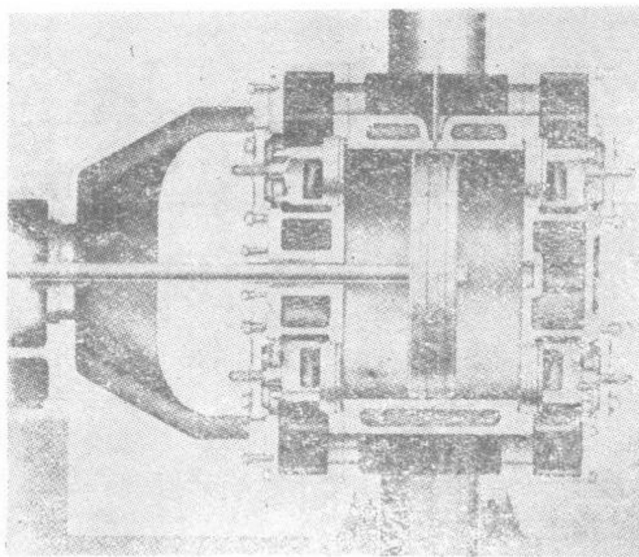


图 11-2 B 绝对吸气压力很低的干式真空泵气缸
为使余隙小、容积系数高，所有的阀都装在气缸盖上

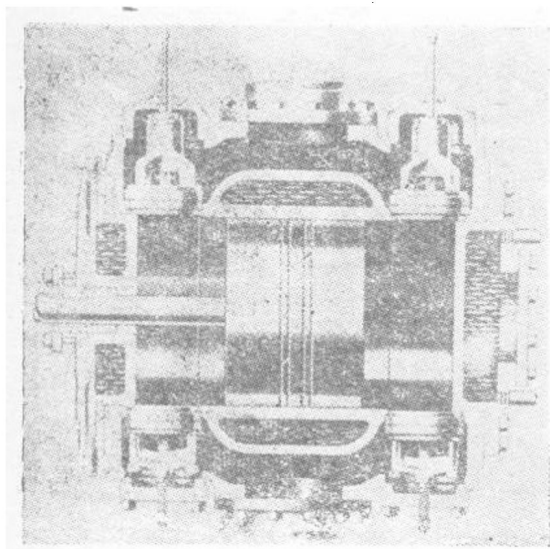


图 11-2 C 标准型空气压缩机气缸
排气压力 125 磅/英寸²(表)。吸气阀卸荷
器供自动调节排气量用

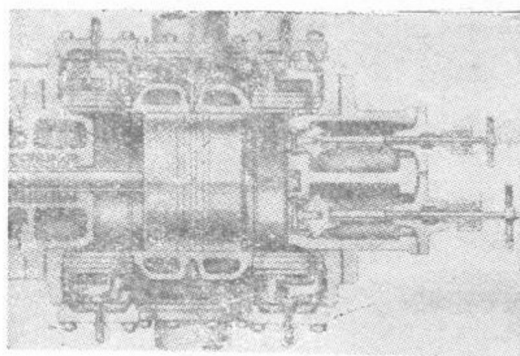


图 11-2 D 冷冻机的气缸
工作压力 250 磅/英寸²(表)。辅助填料函
为停车时加强密封用、手动定容余隙腔供
排气量调节用

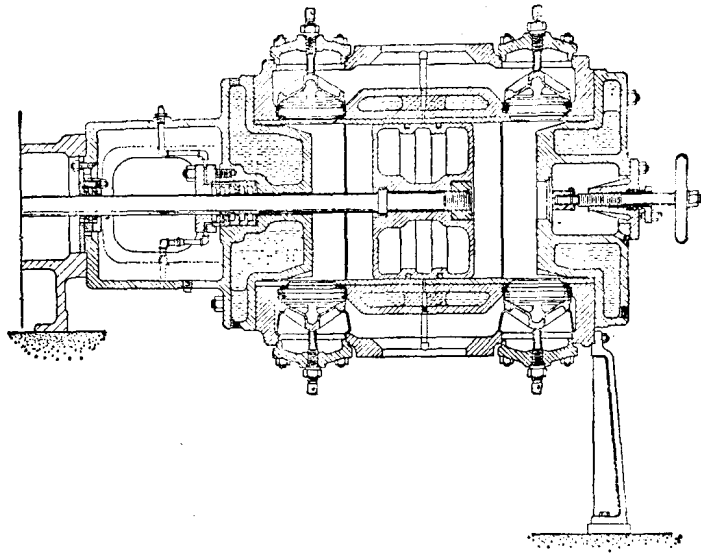


图 11-2 E 典型的衬套型铸铁气缸

典型的衬套型铸铁气缸

气缸的缸体和气缸盖均为结实的铸件，系按气缸的特定用途专门选定铸铁的成分。缸体和气缸盖完全配上水套，并且用水管连接进水阀和出水的视水器。

干式气缸套系用铸铁制成，紧固地套入缸体内。缸套与缸体同长，盖住缸体内壁，然后用气缸盖压住，以防止端向移动，并用定位销钉卡住，以免套产生自由转动。

活塞由铸铁制成，中空以减轻重量，加筋以增加强度。连接活塞的活塞杆，其一端或为锥形，或带有凸肩，套上活塞后再用螺母夹紧。

活塞环通常由完整的铸铁环开口而成。必要时也可采用其他材料制造。

活塞杆由碳钢制成，通过填料的滑动部分用火焰淬火。活塞杆的填料用的是压流润滑、全浮式金属填料，当气体的成分需要放空时，可如图示设置放空口。

中体开孔为便于维修填料函用。

所有气缸盖双头螺栓和螺母都露在外面，不必拆卸阀门即可装卸内部螺栓。这种结构可便于看到内部的漏泄。

支座立在气缸的外端(见图)，将气缸的重量直接支承在基础上。设计时不得将管道作为气缸的支承。

余隙腔位于气缸盖上，为手动固定容积式。

在生产过程的循环操作中和其他用途上，经常要求气体不为任何润滑油所污染。为此，必须用无油操作的气缸。

典型的无润滑气缸(气体循环操作)

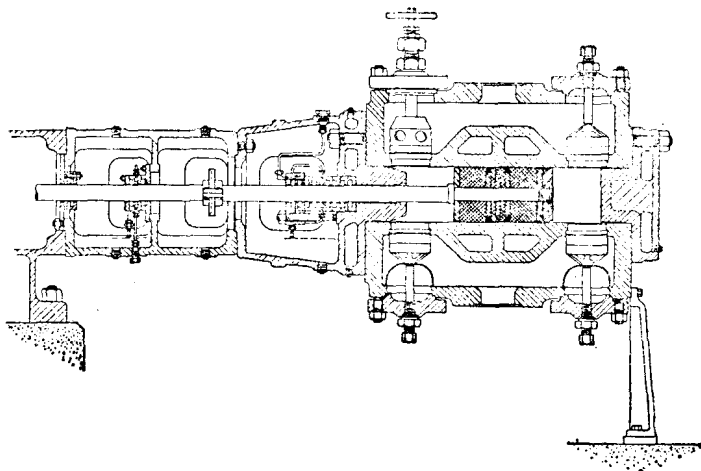


图 11-2 F 典型的无润滑气缸(气体循环操作)

气缸的缸体和缸盖均为结实的铸件，按压力和使用要求的不同，可用普通铸铁、球墨铸铁或铸钢制成。无论哪种情况都备有水套，并在进水阀和出水示水器上配有水管。

干式铸铁气缸套装配在所有球墨铸铁或铸钢制的气缸上，具有最好的耐磨性能。与缸体全长相同的缸套，采用热套法装进缸内，然后牢固地卡住，以防移动。

活塞包括若干石墨环，环的两端用钢板夹住，用活塞杆上的凸肩与螺母固定在活塞杆上。当活塞的底部接触面受到磨损时，可方便地将活塞转动一个适当的角度，形成新的接触面。但不需经常改换接触面，因为质量轻的实心活塞可以保证寿命很长。

活塞环由特殊的扇形石墨片制成，用不锈钢撑涨器将石墨环贴紧在缸壁上。

活塞杆除非另有规定，一般用碳钢制成，通过填料的滑动面部分用火焰淬火。

双间隔的中体如上图所示，是一种对两个方向进行严密防护的典型设计。它一方面防止曲轴箱内的油沫进入气缸，另一方面防止气体污染曲轴箱内的油。靠近气缸的间隔具有足够的长度，以免活塞杆有任何部分进入一个填料函后又进入到另一填料函。另外，活塞杆上还装有挡油圈以阻止曲轴箱内的油沿杆渗流。

通常在这种设计中，靠气缸端的中体，在其维修孔上是用盖板封住的，并在间隔上留有放空口和排净口。靠曲轴箱端的那一段则是敞开的。

全浮式填料环用于气缸和中间间隔上，由特殊的石墨材料制成。一般只在气缸填料函上有放空口。但若气缸端的间隔内需要保持正压时，则间隔填料函也有放空口。上面设计图中都设有放空口。

气缸填料函在摩擦中，尤其在启动期间会产生大量的热量。有必要把这种热量排除掉，以免活塞杆因过热而挠曲。除热用的冷却水是通过一个专用的填料杯进行循环的。

支座立在气缸的外端(见图)，用来将气缸的重量直接支承在基础上。设计时，不得用管道作为气缸的支承。

槽状阀是专为无润滑操作的压缩机设计的。

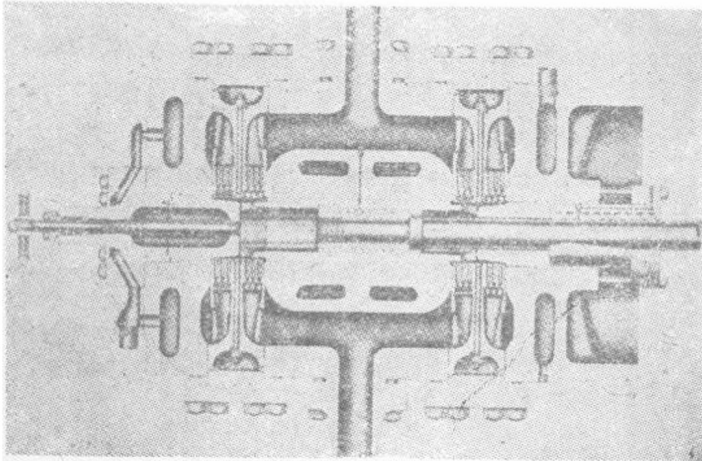


图 11-2 G 铸钢制双作用
气缸，压力 3500 磅/英寸²

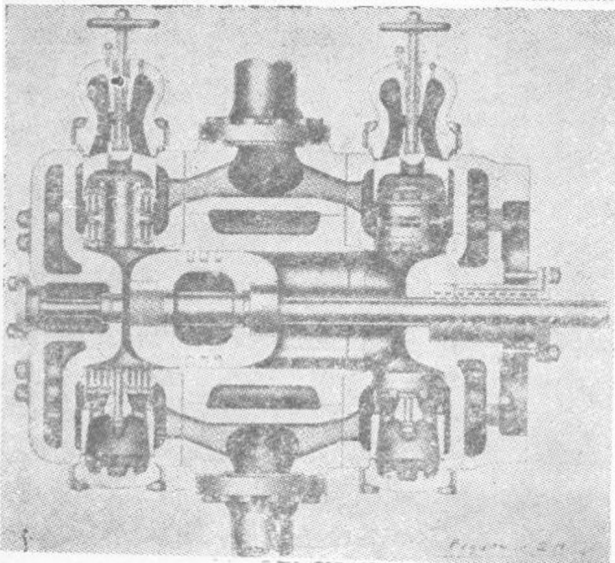


图 11-2 H 孕育铸铁或可锻铸铁制
双作用气缸，压力 1250 磅/英寸²

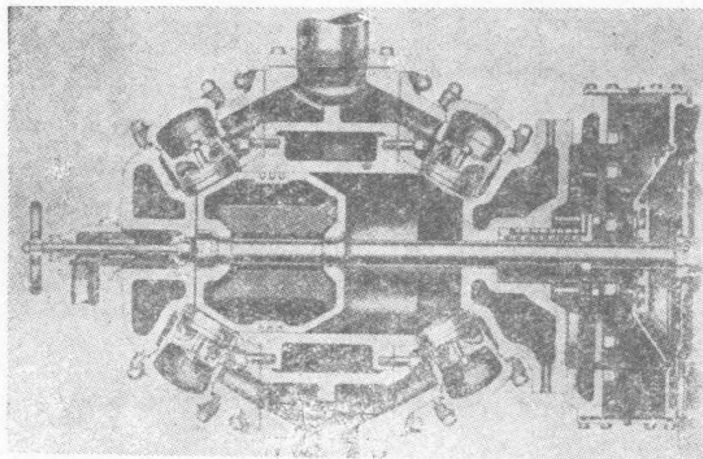


图 11-2I 孕育铸铁或可锻铸铁制双作用气缸，压力 1000 磅/英寸²

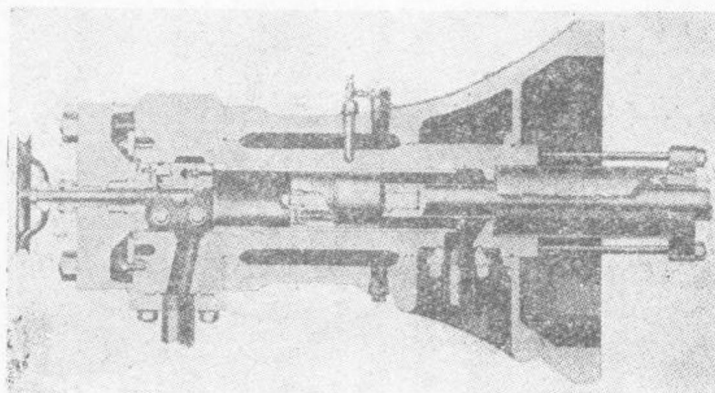
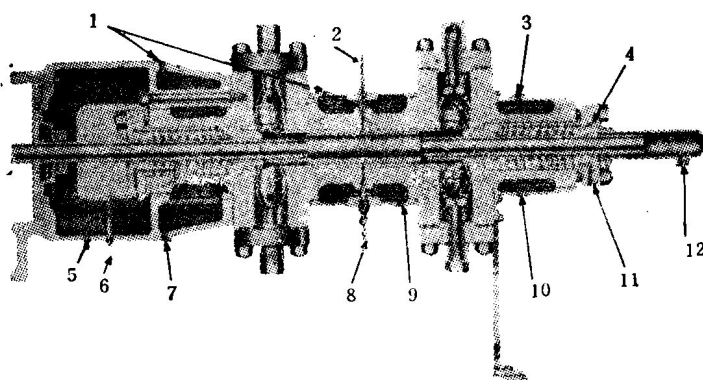


图 11-2J 锻钢制气缸，压力 6000 磅/英寸²



1. 出水口；2. 注油器接头；3. 出水口；4. 注油器接头；5. 排液口；6. 放空口；7. 进水口；8. 注油器接头；9. 进水口；10. 进水口；11. 放空口；12. 放空口

图 11-2K 带有尾杆的锻钢制气缸

带有尾杆的锻钢气缸

带有尾杆的锻钢气缸，构造如上图所示(循环机除外)。

气缸缸体和填料函为一整体锻件，其材质系根据每台机器的设计、压力和使用的要求而专门选择的。这种气缸没有气缸盖，活塞尾杆的锻钢护套和尾杆的填料部分，起到封盖的作用。缸体和填料函都备有水套。水管接至进水阀和出水的视水器上。

两个填料函孔和一个气缸孔系一次加工镗出，这样加工对确保三者的同心度和填料的使用寿命，是个很重要的因素。

干式缸套由特殊铸铁制成，与气缸同长，采用热套法装入缸内，牢固地卡住，以防移动。

活塞通常由铸铁制成，由活塞杆上的凸肩和螺母来夹紧。如果气缸的直径受到限制，使活塞不能具有足够的壁厚，则活塞和活塞杆可如图所示锻成一体，然后再套上特制的套环以增进耐磨性能。

活塞环是一个整体的开口环。

活塞杆与尾杆为一整体碳钢件，通过填料函的滑动部分，用火焰淬火，杆上装有压力润滑的完全浮动式金属填料函。如因气体成分要求放空时，可如上图所示在填料处设放空口。

中体上的开孔为便于维修机座端的填料用。

填料函全部装入并支撑在气缸的孔内。即使法兰螺栓拧得不均匀，也不会影响填料的中心对准。

支座立于气缸外端(见图)使气缸的重量直接支承在基础上。

阀是缓冲式阀。

此设计适用于压力为 3,600~15,000 磅/英寸²的氨、甲醇和加氢用压缩机。

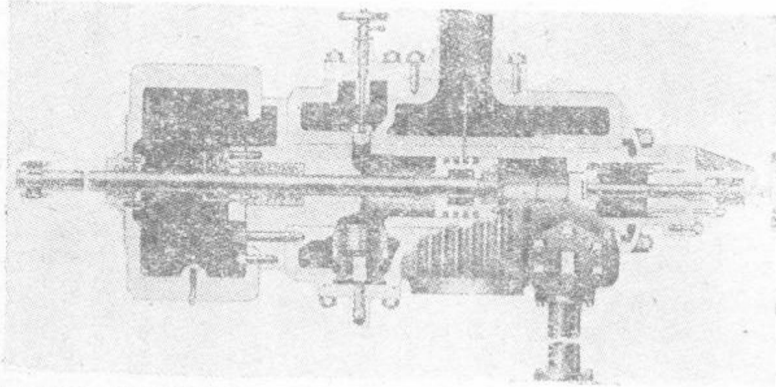


图 11-2 L 用于低压缩比，排气压力 1000 磅/英寸²的设计，在曲拐端和气缸盖端均有手动调节气量的定容式余隙腔。空气冷却、半钢铸造、双作用

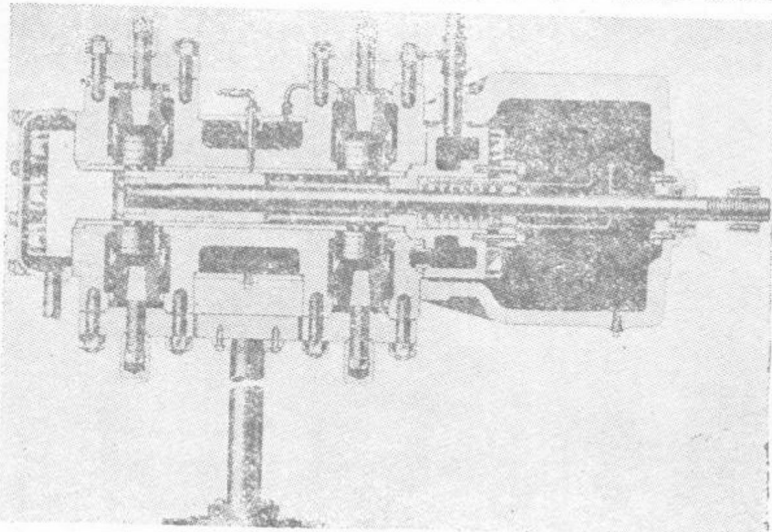


图 11-2 M 用于工作压力至 6500 磅/英寸²的设计。类似的设计可用于压力超过 6500 磅/英寸²。水冷、锻钢制、双作用

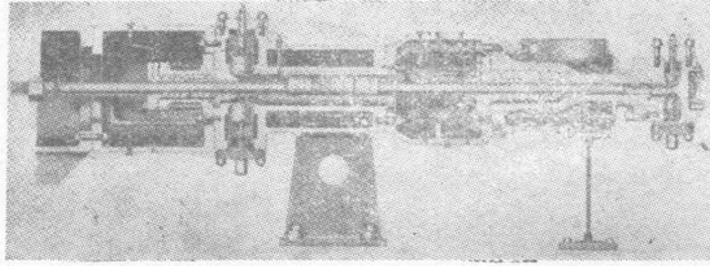


图 11-2 N 3500 磅/英寸² (表) 氢气压缩机的第四和第五级气缸。两个对称的单作用气缸平衡着机座上轴承的负荷, 并减小了转矩的波动

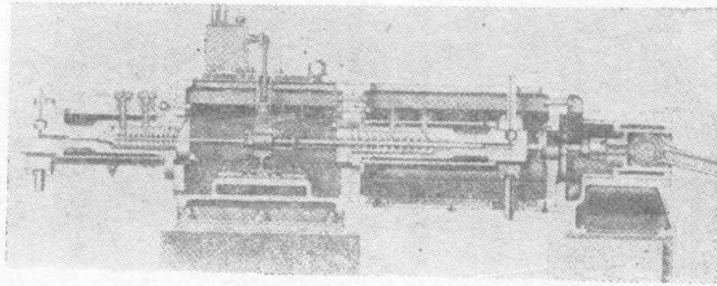


图 11-2 O 压力为 15,000 磅/英寸² 的气体压缩机的第五和第六级气缸。十字头居中的“盆”型设计, 能保证两个对称的短柱塞操作在一直线上。此种设计压力可高达 35,000 磅/英寸²

A. 气缸

1. 单作用气缸: 只在气缸的一端压缩气体, 通常是在气缸盖端, 但也可在曲拐端, 见图 11-2 A, 11-3 和 11-4 A。
2. 双作用气缸: 在气缸盖端和曲拐端两端都压缩气体, 见图 11-4 B。注意活塞杆总是穿过曲拐端 (图 11-2 E) 而不穿过气缸盖端, 但在使用尾杆的压缩机上则是例外 (图 11-2 K)。

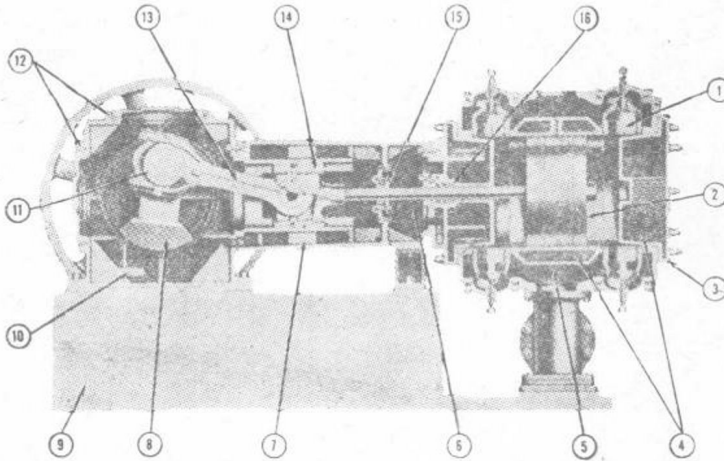
B. 机座

在压缩机的主机座上, 气缸的排列要尽可能地使曲轴的动力负荷趋于平衡, 并要便于维修和配管; 占有的空间要利于车间布置。按气缸位置的不同, 常用的型式有:

1. 卧式; 2. 立式; 3. L型角度式, 立缸和卧缸都连接到同一根曲轴上 (图 11-5 A); 4. V型或Y型角度式 (图 11-5 A); 5. 星式; 6. 两列式, 气缸安装在两个单独的平行机座上, 共用一根曲轴 (图 11-5 B); 7. 对称平衡式, 气缸对称排列在同一曲轴的两侧, 相隔 180° (图 11-5 G); 8. 四角对称式, 在曲轴的每端有两个气缸对称排列着, 相隔 180°; 9. 串联式, 两个或更多的气缸置于同一活塞杆上, 或在串联排列的气缸中有一个气缸是用蒸汽驱动的主动缸, 另一缸则是压缩气缸。有时也可做成两列或多列的串联型式 (图 11-5 D)。

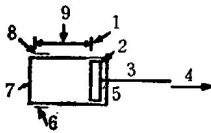
C. 吸气和排气阀

压缩机用的几种阀型如图 11-6 所示。效能好的阀, 其阀片必须均匀和紧密地贴紧在阀座上, 但在阀片开启和关闭时, 不应有“抖动现象”。缸内压力在到达排气压力以前, 排气阀的阀片仍须保持关闭, 俟压力到达排气压力后方打开; 当缸内压力下降至排气压力以

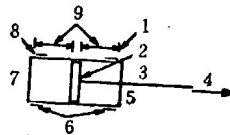


1. 气阀；2. 活塞，由两个整体开口环来密封气体、活塞杆带有螺纹，用来连接活塞；3. 气缸盖；4. 气缸缸体、气缸盖和空气通道均由水套冷却；5. 空气通道；6. 中体，通过它来维修填料和油杯；7. 十字头滑道；8. 平衡重，用螺栓牢靠地固定住；9. 基础；10. 过滤油吸入处；11. 曲柄销及主轴承；12. 机座；13. 钻有油道的模锻钢连杆；14. 十字头，借钻在十字头体上的油道进行压力润滑，活塞杆借其丝扣固定在十字头上；15. 刮油圈，防止曲柄箱内的油进入气缸；16. 完全浮动式金属填料，能自动调整

图 11-3 电动机驱动的典型单级压缩机的剖视图

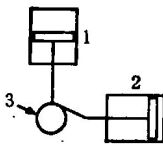


1. 行程末端；2. 活塞；3. 活塞杆；4. 驱动器；5. 曲拐端；6. 排气阀；7. 缸盖端；8. 吸气阀；9. 行程
(A) 单作用气缸

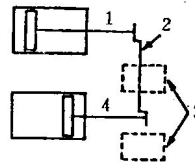


1. 行程末端；2. 活塞；3. 活塞杆；4. 驱动器；5. 曲拐端；6. 排气阀；7. 缸盖端；8. 吸气阀；9. 行程
(B) 双作用气缸

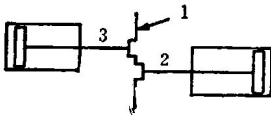
图 11-4 气缸作用



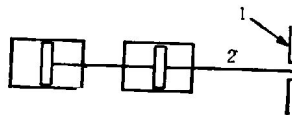
1. 立缸；2. 卧缸；3. 曲轴
(A) L型角度式压缩机Y型或V型，活塞杆间的夹角仍为90°，但气缸要从垂直线转动45°



1. 活塞杆；2. 曲轴；3. 驱动可放在任一位置上；4. 活塞杆
(B) 两列式压缩机气缸



1. 曲轴；2,3. 活塞杆
(C) 对称平衡式压缩机气缸可在同一曲轴上连接几组成双并对称排列的气缸



1. 曲轴；2. 活塞杆
(D) 串联式压缩机气缸有时内侧缸是用蒸汽驱动的主动缸

图 11-5 气缸的排列形式

下时，阀片又重新关闭。对吸气阀的动作也有同样的要求。

阀按其不同用途应该采用抗疲劳的碳钢、合金钢或 18-8 不锈钢制成。在有腐蚀或高温，或两者兼有的地方，常采用 18-8 不锈钢和 12-14 铬钢。所有的弹簧，例如网状阀用的，都可用碳钢或镍钢制成。阀的通道必须平滑呈流线型，并且尽可能做得宽大些。气缸效率在一定程度上需视阀的型式和尺寸而定。阀必须进行适当的冷却，特别是排气阀，故靠近阀处常设有水套。

大直径气缸内所用的双层阀可以降低阀内的速度。采用这种阀可采用大的余隙容积和余隙腔，以增加气缸的卸荷能力，使驱动机能保持适当的负载。典型双层阀的理论指示马力，在压缩比 $R_c=3.0$ 时，将损失 6%；当 $R_c=1.5$ 时，将损失 17%。

阀片和弹簧均装在阀座上然后将组装后的阀放进气缸内。由于金属疲劳或操作不当引起阀件断裂时，必须更换并考虑阀的类型及其制造材料是否合适。制造厂是配合设备进行气阀设计的。特定用途的气阀只有根据经验才能确定哪一类型式最为合用。

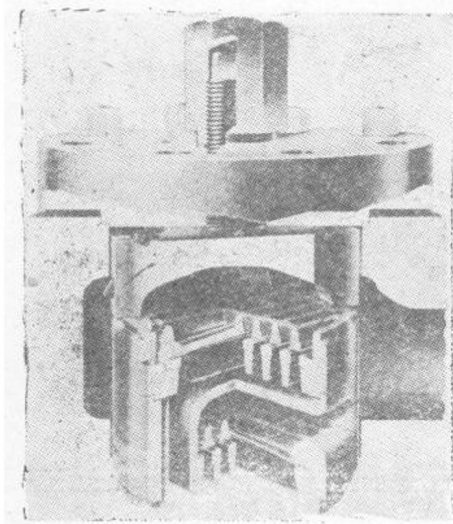


图 11-6 A 双层自弹条状阀

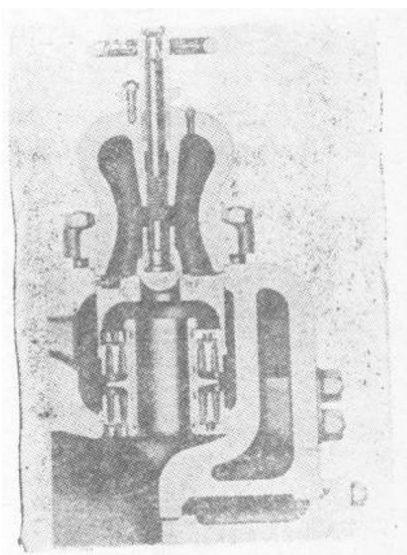
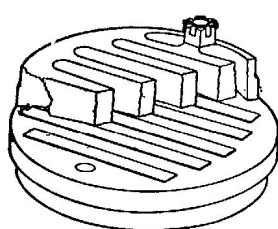
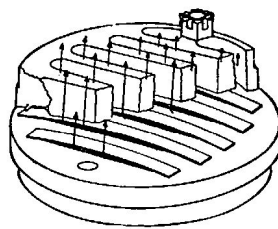


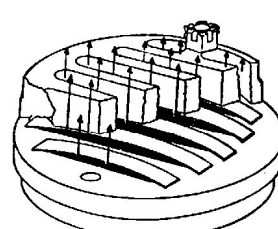
图 11-6 B 附有阀卸荷器的双层阀



阀片关闭



阀片开始开启



阀片完全开启

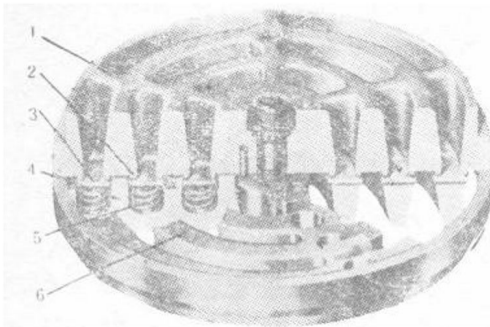
图 11-6 C 气流通过自弹条状阀时的作用

D. 活塞

活塞可用铝、成型的碳或石墨、铸铁、铸钢、经加工或镀有金属的钢、不锈钢、碳钢锻件或不锈钢锻件制成。选用时应考虑气体的腐蚀性和压缩机的重量平衡。

E. 活塞环

装在活塞上的活塞环，紧贴在气缸壁上，使活塞能产生所需的压力。活塞环有许多类型，并且常用铸铁、青铜、马卡他胶木、铝、碳或石墨等材料制造。一般每个低压缸至少配两个活塞环，高压缸则配六个或更多的环。



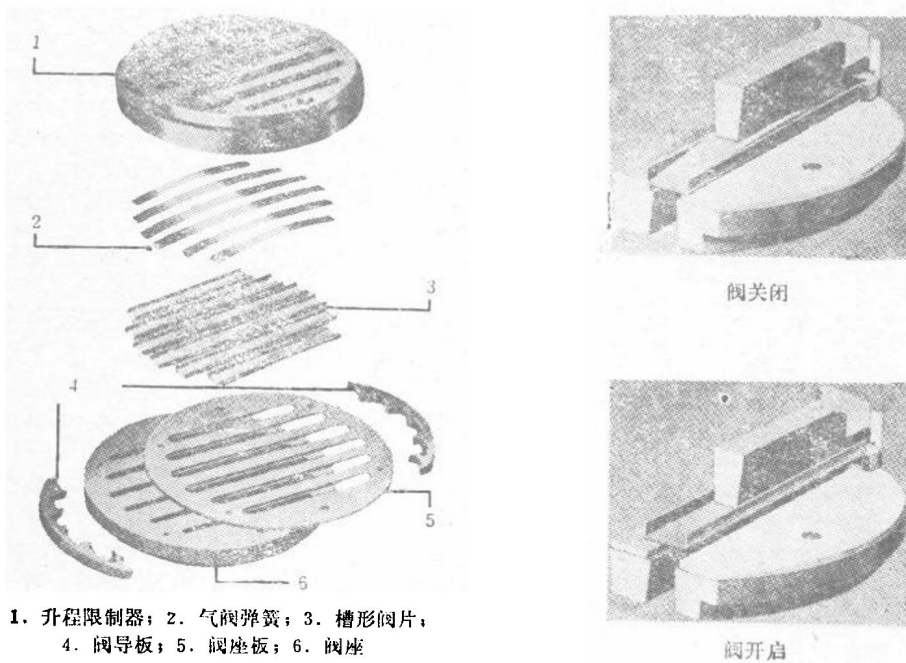
1. 肋状的阀体结构；2. 经过淬火的阀座；3. 抗疲劳的复式环；4. 当阀片接近停止位置时，由于弹簧张力的增加，起到确实的缓冲作用；5. 复式弹簧使阀片的动作均匀；6. 阀体由高强度半钢制成

图 11-6 D 网状阀

F. 气缸材料

气缸材料要根据气体性质和压力范围决定。有时为了考虑磨损(或腐蚀)以及日后变更气量的可能，则可采用气缸套。气缸套可用石墨、铝、铸铁、钢、碳化钨或其他合适的材料制成(见图 11-2 E)。大多数气缸都备有水套以除去压缩产生的热量，以保持合适的气缸和缸套温度。除去一些热量，相应地就减少一些压缩功率。较冷的气缸壁将使缸的润滑更为有效。如操作上不容许油和气体接触，可用石墨

(或成型碳)的气缸套和活塞环构成无润滑气缸。



1. 升程限制器；2. 气阀弹簧；3. 槽形阀片，
4. 阀导板；5. 阀座板；6. 阀座

图 11-6 E 槽状阀

G. 活塞杆

材料通常用经过淬火的锻钢或合金锻钢。

H. 活塞杆的填料

气缸与曲柄箱或大气之间的压差，可用填料压盖封住。和离心式压缩机或泵的转动轴对照，活塞杆是穿过填料而往复运动的。因此在很多应用中，须防止轴的任何部分在气缸