



高等院校“十一·五”规划教材

化工机械与设备概论

李超 主编

陈叔平 副主编

中国石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

高等院校“十一五”规划教材

化工机械与设备概论

李 超 主 编

陈叔平 副主编

中国石化出版社

内 容 提 要

本书主要介绍了化工过程装备中常用的机械(往复式压缩机、离心式压缩机、透平膨胀机)和设备(换热器、塔器、低温液体储运设备、阀门)的工作原理、典型结构、主要零部件加工工艺、装配工艺和产品性能试验,并对过程设备通用制造技术进行了详细介绍。

本书可作为高等学校过程装备与控制工程专业学生实习教材和教学参考书,也可作为石油化工、热能动力相关专业的教学参考书以及从事相关专业技术人员和设备管理人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

化工机械与设备概论 / 李超主编. —北京: 中国石化出版社, 2010. 10
高等院校“十一五”规划教材
ISBN 978-7-5114-0565-4

I. ①化… II. ①李… III. ①化工机械-高等学校-教材②化工设备-高等学校-教材 IV. ①TQ05

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 179089 号

未经本社书面授权, 本书任何部分不得被复制、抄袭, 或者以任何形式或任何方式传播。版权所有, 侵权必究。

中国石化出版社出版发行

地址: 北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编: 100011 电话: (010) 84271850

读者服务部电话: (010) 84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail: press@sinopec.com.cn

北京宏伟双华印刷有限公司印刷

全国各地新华书店经销

*

787 × 1092 毫米 16 开本 16.75 印张 416 千字

2010 年 10 月第 1 版 2010 年 10 月第 1 次印刷

定价: 32.00 元

前 言

生产实习是本科生培养计划中重要的实践教学环节，它是对专业基础课和专业课理论教学的补充和完善，使学生对理论研究对象有一个明确的感官认识，进一步促进课堂理论教学，提高教与学的质量和效果。目前随着企业体制的改革，生产实习的内容、场合及时间受到很大的限制，严重影响了生产实习的效果和质量。为了较好地解决这一问题，结合教学实践环节的改革和校内、校外实习基地相结合的实习模式，针对过程装备与控制工程专业的实习特点，编写本书可以帮助学生更好理解和掌握实习内容和方法。

教材突出工程实际应用背景，针对学生工程实际、加工制造等方面知识的不足，给出了大量过程装备典型结构实例，典型零部件结构及其加工工艺和产品的装配、试验工艺，促使理论教学与实践教学的良好结合。

本书第1章由刘兴旺、赵嫚编写；第2章由赵嫚编写；第3章由李超、赵嫚编写；第4章由何世权、刘兴旺编写；第5章由吴健编写；第6、7章由姜峰编写；第8章由陈叔平编写；全书由李超最后统稿。

本书在编写过程中得到中国石化出版社的大力支持，在此表示衷心的感谢！由于编者的水平有限，书中难免存有不足之处，敬请读者批评指正。

目 录

第1章 往复式压缩机	(1)
1.1 往复式压缩机的分类、特点及应用	(1)
1.1.1 往复式压缩机的分类	(1)
1.1.2 各型式往复式压缩机的特点及应用	(4)
1.2 往复式压缩机的典型结构	(8)
1.2.1 汽缸	(8)
1.2.2 气阀	(12)
1.2.3 活塞	(16)
1.2.4 活塞环	(18)
1.2.5 活塞杆	(20)
1.2.6 曲轴	(21)
1.2.7 连杆	(22)
1.2.8 十字头	(23)
1.2.9 机身、中体	(26)
1.2.10 填料	(30)
1.3 往复式压缩机的典型零件加工	(33)
1.3.1 汽缸	(33)
1.3.2 气阀	(34)
1.3.3 活塞	(35)
1.3.4 活塞环	(36)
1.3.5 活塞杆	(38)
1.3.6 曲轴	(39)
1.3.7 连杆	(42)
1.3.8 十字头	(43)
1.3.9 机体	(44)
1.3.10 填料	(44)
1.4 往复式压缩机的安装	(44)
1.4.1 安装一般要求	(44)
1.4.2 基础准备	(45)
1.4.3 机身安装	(45)
1.4.4 其他零部件的安装	(45)
1.4.5 附属设备与管路安装	(48)
1.5 往复式压缩机性能测试	(49)
1.5.1 基本要求	(49)
1.5.2 压力测试	(50)
1.5.3 温度测试	(50)

1.5.4 湿度和冷凝水量测量	(50)
1.5.5 排气量测量	(50)
1.5.6 转速测量	(52)
1.5.7 功率测量	(52)
1.5.8 冷却水流量测量	(53)
1.5.9 其他项目测量	(53)
参考文献	(53)
第2章 离心式压缩机	(54)
2.1 离心式压缩机的结构	(54)
2.1.1 离心式压缩机的总体结构	(54)
2.1.2 离心式压缩机的主要零部件	(55)
2.1.3 离心式压缩机的结构类型及型号编制	(63)
2.2 离心式压缩机转子的制造	(67)
2.2.1 叶轮的加工	(67)
2.2.2 主轴的加工	(73)
2.3 离心式压缩机的密封	(76)
2.3.1 迷宫密封	(76)
2.3.2 浮环密封	(77)
2.3.3 干气密封	(78)
2.4 离心式压缩机的安装	(79)
2.4.1 压缩机安装的准备工作的	(79)
2.4.2 压缩机的安装	(79)
参考文献	(83)
第3章 透平膨胀机	(85)
3.1 概述	(85)
3.2 透平膨胀机典型结构	(87)
3.2.1 透平膨胀机的结构特点	(87)
3.2.2 透平膨胀机的组成	(88)
3.2.3 透平膨胀机的典型结构	(91)
3.3 透平膨胀机叶轮的加工	(105)
3.3.1 透平膨胀机叶轮的材料	(105)
3.3.2 透平膨胀机叶轮的加工	(108)
3.3.3 透平膨胀机叶轮的焊接	(115)
3.3.4 透平膨胀机叶轮的检验	(120)
3.4 透平膨胀机主轴的加工	(126)
3.4.1 透平膨胀机主轴的材料	(126)
3.4.2 透平膨胀机主轴的加工	(127)
3.5 透平膨胀机的试验	(131)
3.5.1 试验方法	(131)
3.5.2 试验要求及装置	(132)

3.5.3 试验步骤及结果	(134)
参考文献	(136)
第4章 阀门	(137)
4.1 概述	(137)
4.1.1 序言	(137)
4.1.2 阀门的分类	(137)
4.1.3 阀门的基本参数	(138)
4.1.4 阀门的型号编制方法、标志和识别涂漆	(141)
4.1.5 我国现行阀门相关标准	(144)
4.2 阀门的结构类型和用途	(148)
4.2.1 截止阀	(148)
4.2.2 闸阀	(151)
4.2.3 蝶阀	(154)
4.2.4 球阀	(155)
4.2.5 旋塞阀	(157)
4.2.6 柱塞阀	(159)
4.2.7 止回阀	(159)
4.2.8 调节阀	(160)
4.2.9 安全阀	(161)
4.2.10 减压阀	(164)
4.2.11 疏水阀	(166)
4.3 阀门主要零部件常用材料和典型零件机加工工艺	(169)
4.3.1 阀门主要零部件常用材料	(169)
4.3.2 铸钢楔式闸阀阀体加工典型工艺路线	(171)
4.3.3 铸钢楔式闸阀阀盖加工典型工艺路线	(172)
4.3.4 铸钢楔式闸阀闸板加工典型工艺路线	(174)
4.3.5 铸钢楔式闸阀马蹄形阀座加工典型工艺路线	(175)
4.3.6 铸钢楔式闸阀支架加工典型工艺路线	(176)
4.3.7 球阀球体加工典型工艺路线	(177)
4.3.8 旋启式止回阀摇杆加工典型工艺路线	(178)
4.4 阀门的试验与检验	(179)
参考文献	(184)
第5章 过程设备通用制造技术	(185)
5.1 概述	(185)
5.1.1 压力容器的分类	(185)
5.1.2 压力容器制造的基本要求	(187)
5.2 过程设备通用零件的制造工艺	(188)
5.2.1 原材料的准备	(188)
5.2.2 通用零件的成型工艺	(193)
5.3 过程设备的焊接	(199)

5.3.1	焊接接头与坡口	(199)
5.3.2	常用焊接方法及设备简介	(201)
5.3.3	常用钢材的焊接	(207)
5.3.4	焊后热处理	(211)
5.4	过程设备的检验	(212)
5.4.1	无损探伤	(212)
5.4.2	耐压试验及致密性试验	(213)
参考文献		(213)
第6章 换热器		(214)
6.1	管壳式换热器的结构	(214)
6.2	管壳式换热器典型零件的制造和安装	(214)
6.2.1	管板与折流板	(214)
6.2.2	壳体与管箱	(215)
6.2.3	换热管及管束	(216)
6.2.4	列管换热器的制造、总装流程	(222)
6.3	板翅式换热器的制造介绍	(224)
6.3.1	板翅式换热器结构	(224)
6.3.2	基本元件	(225)
6.3.3	在空分设备中的应用	(226)
6.3.4	板翅换热器的制造和生产工艺流程介绍	(226)
参考文献		(227)
第7章 塔设备		(228)
7.1	塔设备的结构	(228)
7.1.1	常见塔设备的总体结构	(228)
7.1.2	制造、组装、检验要求	(230)
7.2	塔设备的制造、安装及运输	(230)
7.2.1	板式塔内件制造	(230)
7.2.2	填料塔内件	(236)
7.2.3	塔设备组装	(241)
7.2.4	塔设备制造中的主要施工程序	(243)
7.2.5	典型实例	(243)
7.3	空分精馏塔的结构和制造	(245)
7.3.1	空分装置生产过程及工艺简介	(245)
7.3.2	空分精馏塔的特点	(246)
7.3.3	空分精馏塔结构和制造简介	(246)
7.3.4	冷箱安装介绍	(247)
参考文献		(248)
第8章 低温液体储运设备		(249)
8.1	概述	(249)
8.1.1	低温液体的特点、性能	(249)

8.1.2 低温储运设备的应用	(251)
8.2 低温储运设备的分类	(251)
8.3 结构	(253)
8.4 设备工作原理	(254)
8.5 适用的规范标准	(255)
8.6 制造技术	(255)
8.7 使用及安全要求	(258)
参考文献	(258)

第1章 往复式压缩机

用来压缩气体借以提高气体压力的机械称为压缩机。在类型众多的压缩机中，往复式压缩机是发展较早、应用广泛的一种容积式压缩机。早在 3000 多年前，我国古代人民在鼓风冶炼中使用的鼓风设备就是一种容积式压缩机的雏形，后来发明的木质风箱已具备往复压缩机的几大重要部件——汽缸、活塞、活塞环和气阀。后来在德国、英国、瑞士、美国等国家相继发明制造出真空泵、单级空气压缩机、具有中间冷却器的两级往复式活塞式压缩机、移动往复式活塞式压缩机、对置式空气压缩机、往复式汽缸无润滑空气压缩机、迷宫式汽缸无润滑空气压缩机等。1952 年，我国第一台容积式压缩机在沈阳空气压缩机厂试制成功。1959 ~ 1960 年进行了我国第一个动力用 L 形空气压缩机系列的研制，如图 1-1 所示。1960 年瑞典生产的 DT4 型短行程空气压缩机和 ER8 型低电耗空气压缩机，具有一些开创性结构，至今对国际上主要的空气压缩机制造厂的往复式空气压缩机仍有深刻的影响。

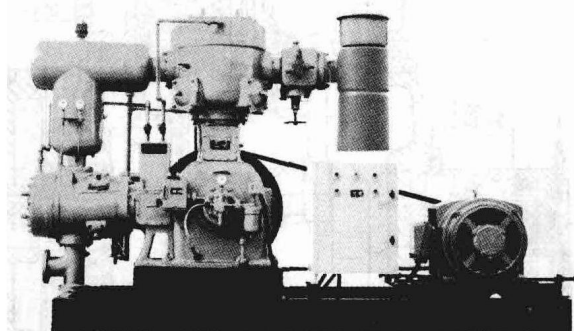


图 1-1 L 形往复活塞式压缩机

往复压缩机广泛应用于采矿业、冶金业、机械制造业、土木工程、石油化工、食品、微生物等行业，因此，往复压缩机被称为通用机械。

1.1 往复式压缩机的分类、特点及应用

1.1.1 往复式压缩机的分类

1. 按照排气压力分类

- | | |
|------------|---------------|
| (1) 低压压缩机 | 0.3 ~ 1.0 MPa |
| (2) 中压压缩机 | 1.0 ~ 10 MPa |
| (3) 高压压缩机 | 10 ~ 100 MPa |
| (4) 超高压压缩机 | > 100 MPa |

2. 按照排气量分类

- | | |
|-----------|------------------------------|
| (1) 微型压缩机 | < 1 m ³ /min |
| (2) 小型压缩机 | 1 ~ 10 m ³ /min |
| (3) 中型压缩机 | 10 ~ 100 m ³ /min |
| (4) 大型压缩机 | ≥ 100 m ³ /min |

3. 按往复式压缩机的结构分类

按往复压缩机结构分，其种类较多，下面对往复式活塞式压缩机的结构分类进行重点介绍。

1) 按汽缸排列方式分类

(1) 立式压缩机 汽缸中心线均与水平面垂直的压缩机(见图 1-2)

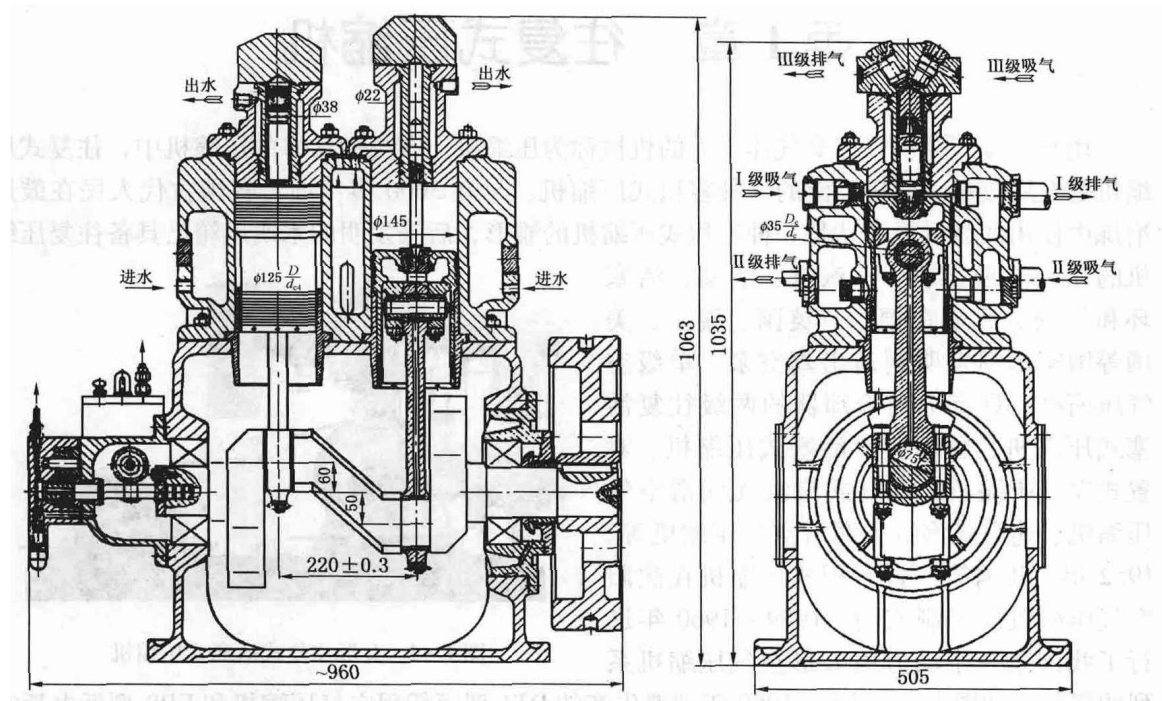


图 1-2 立式压缩机

(2) 卧式压缩机 汽缸中心线均与水平面平行的压缩机, 卧式压缩机又可分为:

① 一般卧式压缩机 传动部件均在曲轴中心线同一侧的卧式压缩机。

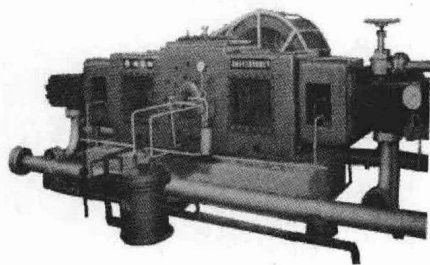


图 1-3 对置式、两列、无油润滑、水冷式往复活塞压缩机

② 对置型压缩机 汽缸中心线均与水平面平行, 曲轴中心线两侧皆分布有汽缸和传动部件, 两侧活塞作同向、同速运动或不对称运动的卧式压缩机(见图 1-3)。

③ 对称平衡式压缩机 汽缸中心线均与水平面平行, 列数为偶数, 曲轴中心线两侧皆分布有汽缸和传动部件, 且相对两列的曲柄错角为 180° , 活塞作等速率方向运动的卧式压缩机(见图 1-4、图 1-5)。其中, 列数 ≥ 4 , 且原动机位于各列同侧的对称平衡型压缩机称 M 形压缩机(见图 1-6); 列数为 4, 且原

动机位于两个机身之间的对称平衡形压缩机称为 H 形压缩机(见图 1-7、图 1-8)。

④ 角度式压缩机 汽缸中心线间的夹角不等于 0° 或者 180° 的压缩机。具体有:

a. V 形压缩机 汽缸中心线均倾斜于水平面, 并呈 V 形排列(见图 1-9、图 1-10)。

b. L 形压缩机 汽缸中心线分别与水平面垂直、平行, 且呈 L 形排列(见图 1-11、图 1-12)。

c. W 形压缩机 汽缸中心线分别与水平面倾斜、垂直, 且呈 W 形排列(见图 1-13, 图 1-14)。

d. 扇形压缩机 汽缸中心线间最大夹角 $\leq 180^\circ$, 而列数为 4(见图 1-15、图 1-16)。

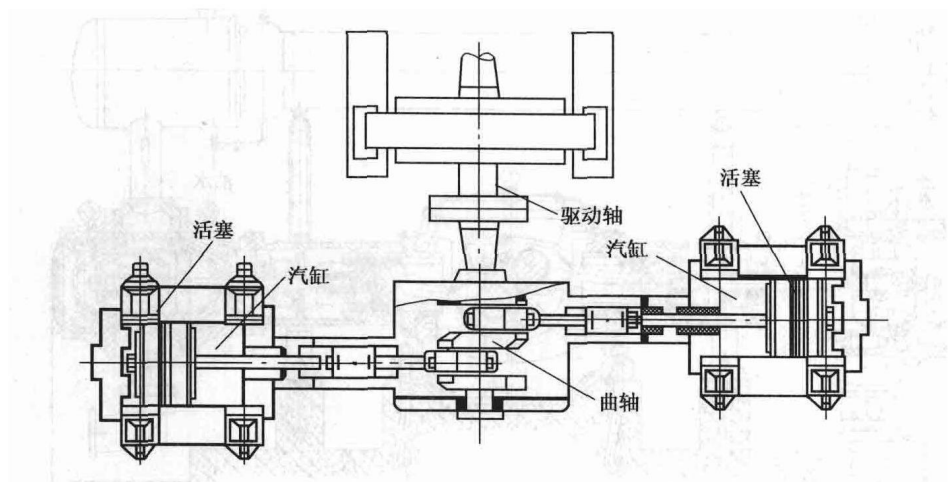


图 1-4 对动式压缩机

e. 星形压缩机 汽缸中心线在圆周方向均布呈放射形, 且汽缸中心线间最大夹角 $>180^\circ$ 。

2) 按有无十字头分类

(1) 无十字头压缩机 活塞直接与连杆相连接(见图 1-17);

(2) 有十字头压缩机 活塞通过活塞杆与十字头连接, 十字头再与连杆相连接。

3) 按压缩级数分类

这是根据压缩介质达到额定排气压力时所受的压缩次数进行分类。

(1) 单级压缩 压缩级数为 1;

(2) 两级压缩 压缩级数为 2;

(3) 多级压缩 压缩级数 ≥ 3 。

4) 按列数分类

(1) 单列压缩机 列数为 1 的压缩机;

(2) 两列压缩机 列数为 2 的压缩机;

(3) 多列压缩机 列数 ≥ 3 的压缩机。

其中, 列数是指压缩机汽缸中心线数。

5) 按汽缸容积的作用方式分类

(1) 单作用压缩机 每支活塞仅在一侧形成工作容积的压缩机;

(2) 双作用压缩机 每支活塞两侧均形成相同级次工作容积的压缩机;

(3) 级差式压缩机 不同直径的活塞组合在一起, 并构成不同级次的工作容积的压缩机(见图 1-5)。

6) 按汽缸润滑状况分类

(1) 有油润滑压缩机;

(2) 无油润滑压缩机(见图 1-18);

(3) 少油润滑压缩机;

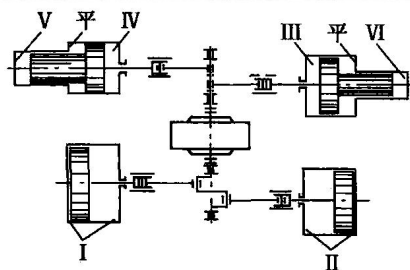
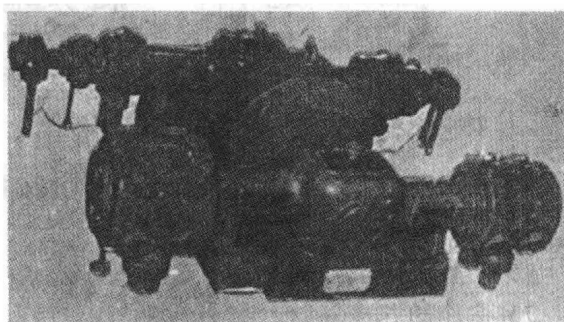


图 1-5 对动式氮氢压缩机

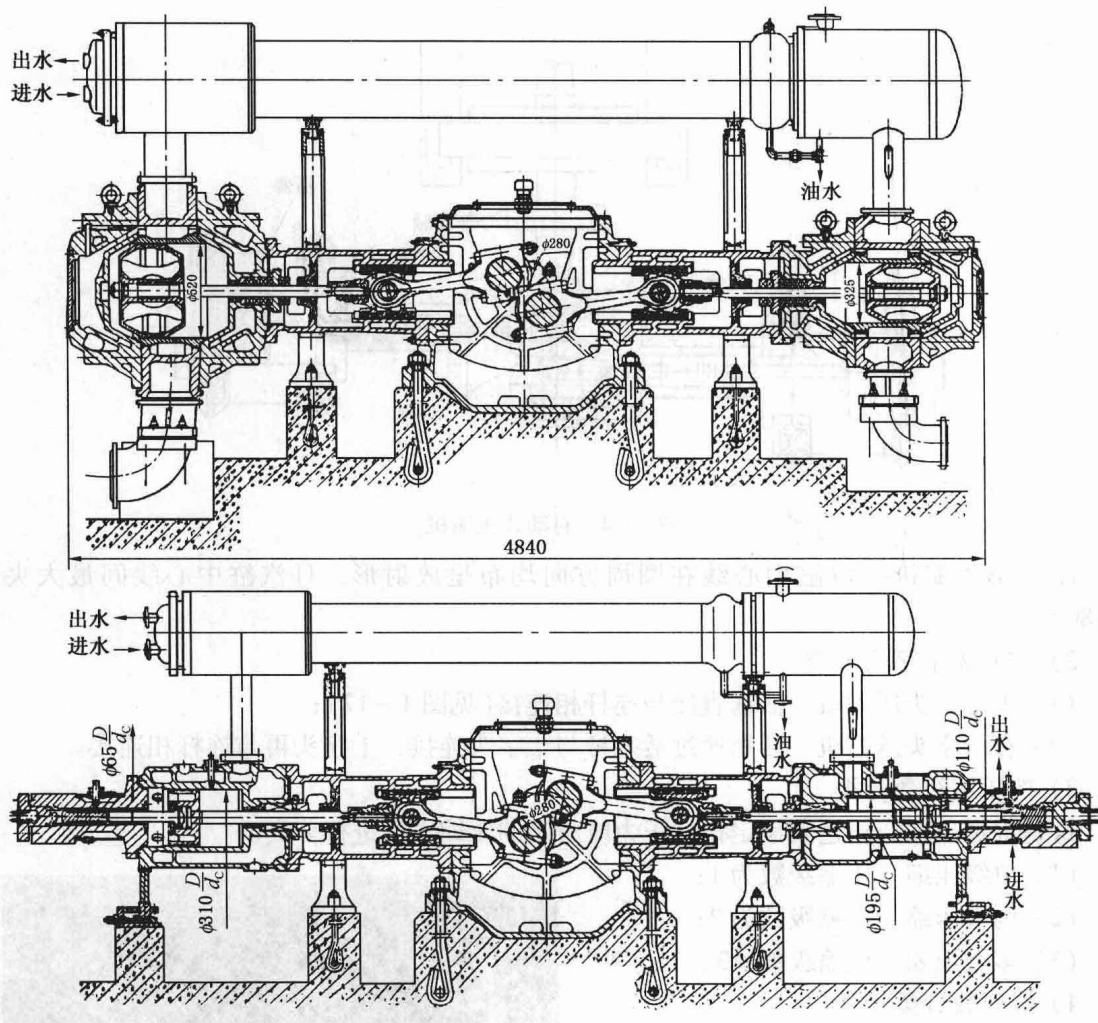


图 1-6 四列对称平衡 M 形压机

(4) 极少油润滑压缩机;

(5) 全无油润滑压缩机。

7) 按冷却方式分类

(1) 水冷式压缩机 汽缸及各冷却器均由水进行冷却;

(2) 风冷式压缩机 汽缸及各冷却器均强制通风进行冷却;

(3) 混合冷却式压缩机 汽缸及各冷却器分别以不同方式冷却, 如汽缸冷却为循环水冷式, 各冷却器为风冷式。

1.1.2 各型式往复式压缩机的特点及应用

1. 立式压缩机

立式压缩机基本不被大型压缩机所采纳, 多为中小型和微型压缩机所采用。

1) 立式压缩机的优点

(1) 汽缸中心线垂直于地面, 故汽缸镜面不承受活塞组件的重力, 十字头滑道也不承受十字

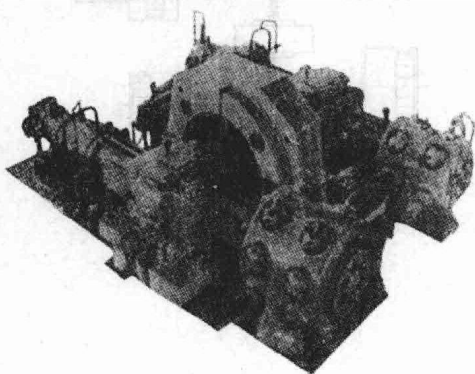


图 1-7 对称平衡 H 形氮氢混合气压缩机

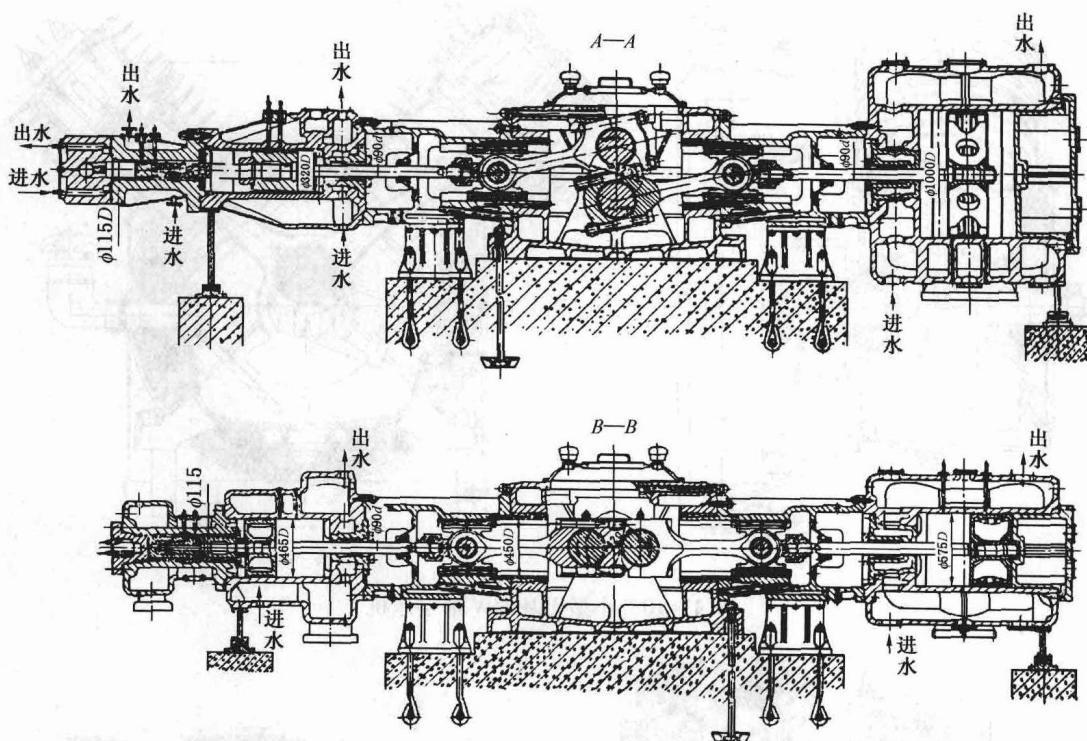


图 1-8 对称平衡 H 形压缩机

头组件的重力, 润滑油滴(雾)不会因重力而偏聚一侧, 却能沿汽缸壁轴向均布, 可能吸入的粉尘或磨屑微粒也均布于活塞顶面或活塞与汽缸的间隙内。因此, 立式压缩机的汽缸、活塞环及填料磨损相对较小且均匀, 气体密封条件最佳, 汽缸和气密元件工作寿命长。

(2) 汽缸、中间接筒和机身的截面中心, 多与汽缸中心线重合, 故作用在机身或中间接筒上的气体力, 都不会使其壁面产生弯曲应力, 所以壁厚可较薄, 既减轻质量又节省原材料。

(3) 多列立式压缩机可采用恰当的曲柄错角, 并控制各列的往复运动质量, 使一阶和二阶往复惯性力及旋转惯性力实现机内平衡, 从而可选取较高的转速。

(4) 立式压缩机的未平衡往复惯性力, 垂直作用于基础, 比水平方向作用于基础时, 更易被基础承受, 因为基础的抗压能力远大于抗拉剪力。

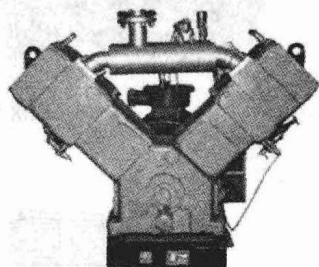


图 1-9 V 形空气压缩机

2) 立式压缩机的缺点

(1) 因其曲轴较长, 不适应大型高压场合, 且高压大型立式压缩机不便于巡察、检修。

(2) 气阀和级间管路布置欠方便, 不易变型。

2. 卧式压缩机

1) 卧式压缩机的型式

(1) 一般卧式 汽缸位于曲轴同侧的单列或两列卧式压缩机, 其结构决定了惯性力不可能获得良好的平衡, 故转速很低, 导致汽缸直径、运动件的尺寸都很大, 使得气体力和惯性力都很大, 甚至往复惯性力超过气体力的 50%。此种卧式压缩机现已极少制造。

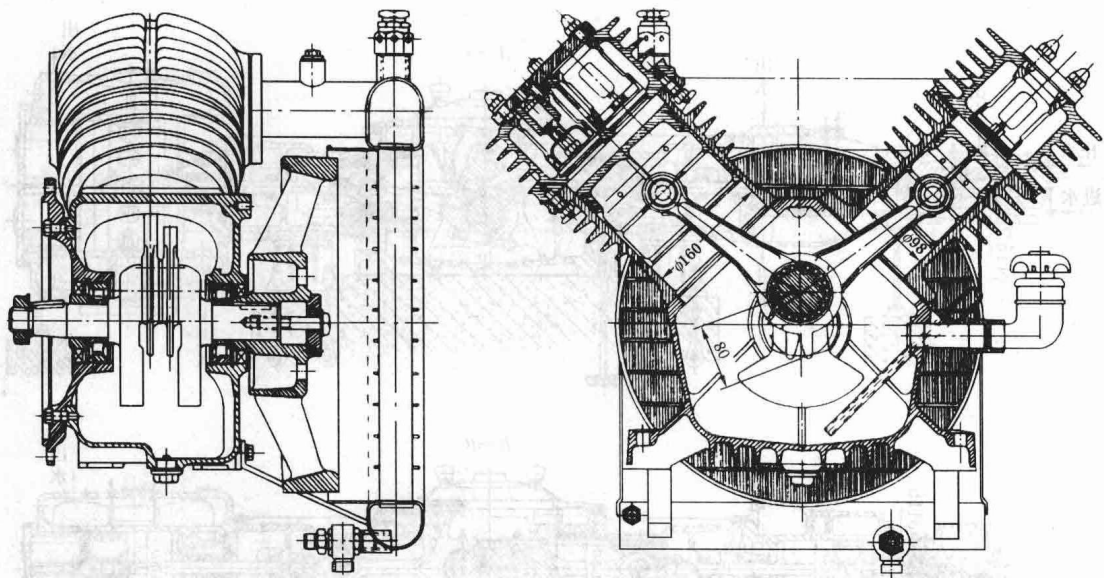


图 1-10 小型无基础 V 形空压机

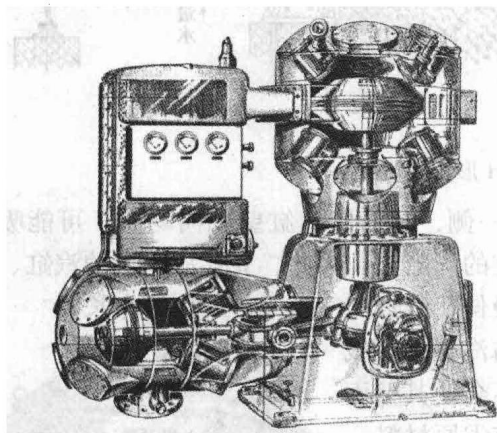


图 1-11 L 形、ER8 空压机剖视图

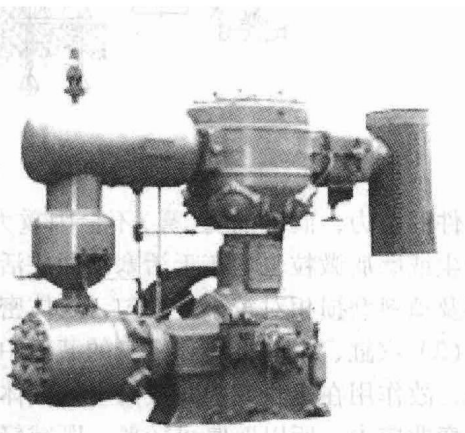


图 1-12 L 形空气压缩机

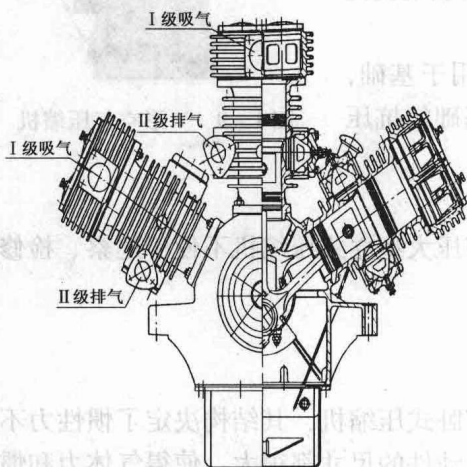


图 1-13 W 形空气压缩机

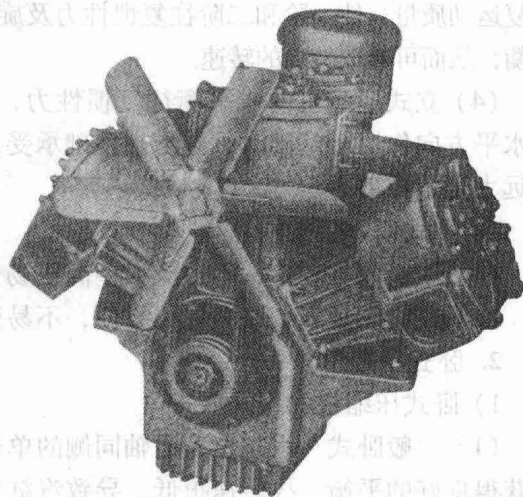


图 1-14 W-6/7 形移动式空气压缩机

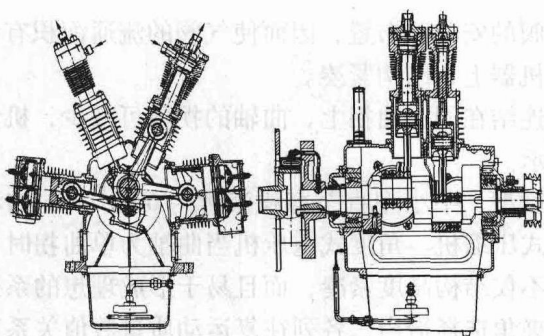


图 1-15 扇形空气压缩机

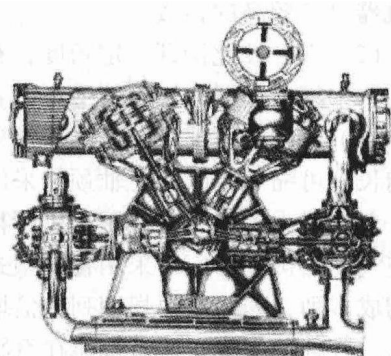


图 1-16 扇形、WN114 空压机剖视图

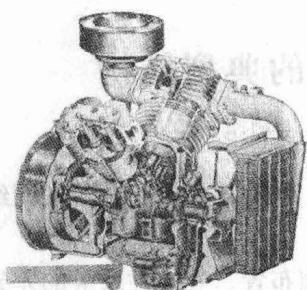


图 1-17 无十字头压缩机

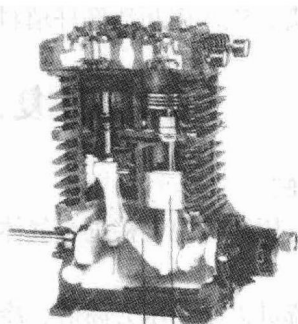


图 1-18 无油润滑压缩机

(2) 对称平衡型 也称对动式压缩机。每一对相邻曲拐的曲柄错角皆为 180° ，使得相对两列的运动件相向或反向运动，零件设计恰当时，具备可使旋转惯性力、一阶及二阶往复惯性力都自相平衡的条件。两曲拐的曲柄处若配以平衡重，还能消减旋转惯性力矩。其零部件尺寸、质量都小，占地面积不大。多列对称平衡型压缩机的惯性力平衡水准更高、振动更小。对称平衡型压缩机汽缸中心线方向长度短，机身、中体中间接筒、汽缸等固定件和运动件的刚性较强，相关零件的对中性好，不易发生变形、偏磨。因此，对称平衡型已成为现时工艺用压缩机和大型动力用空气压缩机的主导结构型式。

(3) 对置式 汽缸分置于曲轴两侧，相对两列曲拐的曲柄错角非 180° 。这类压缩机以寻求总的转矩平衡、惯性力平衡为目标。压缩机运行时连杆小头衬套不存在单侧负荷现象，油润滑状态得到保证，连杆大头瓦的负荷及润滑条件也获得改善，对置列汽缸中心线重合，气体力不对传动部件产生大的力矩。

2) 卧式压缩机的优点

- (1) 整个机器都在操作者的视线范围内，便于操作、维修。
- (2) 卧式压缩机最多只有两列，所以运动部件和填料数量较少，机身、曲轴结构也比较简单。
- (3) 卧式压缩机的厂房可以比立式压缩机的低。

3. 角度式压缩机

角度式压缩机具有以下优点：

- (1) 各列的一阶惯性力的合力，可通过装在曲轴上的平衡重达到大部分或完全平衡，因

此机器可取较高的转数。

(2) 汽缸彼此错开一定角度, 有利于气阀的安装和布置, 因而使气阀的流通面积有可能增加, 中间冷却器和级间管道可以直接装在机器上, 结构紧凑。

(3) 角度式压缩机可以将若干列的连杆连结在同一曲拐上, 曲轴的拐数可减少, 机器的轴向长度可缩短, 因此主轴颈能采用滚动轴承。

角度式为动力用空气压缩机所喜用, 在微型、中小型直至容积流量为 $60\text{m}^3/\text{min}$ 的动力用空气压缩机上, 广泛采用各种型式之角度式压缩机。角度式空压机当曲轴为单曲拐时, 也可构成多列, 若为双曲拐则列数倍增。故其不仅结构高度紧凑, 而且易于形成理想的系列化产品。各种角度式空压机都能在汽缸中心线夹角选择恰当、各列往复运动质量数值关系正确及平衡重设计无误的前提下, 实现一阶往复惯性力平衡而和旋转惯性力平衡。

工艺用压缩机以 V 形、L 形、W 形居多。各列之间的空间一般都能得到充分利用。通常采取有十字头、双作用和活塞杆填料密封。

1.2 往复式压缩机的典型结构

1.2.1 汽缸

汽缸是往复压缩机中直接进行气体压缩的部分, 它与活塞、气阀等共同组成压缩气体的工作腔。

基于容积流量大小、压力高低、冷却方式、气阀布置、气体性质等的差异, 汽缸的结构形式很多。

1. 汽缸分类

1) 按工作职能分类

- (1) 低压汽缸 工作压力在 1MPa 以下;
- (2) 中压汽缸 工作压力为 $1 \sim 10\text{MPa}$;
- (3) 高压汽缸 工作压力为 $10 \sim 100\text{MPa}$;
- (4) 超高压汽缸 压力大于 100MPa 。

2) 按工作特性分类

- (1) 单作用汽缸 汽缸中只有一端为一个级的工作腔(见图 1-19);
- (2) 双作用汽缸 汽缸中两端为同级的两个工作腔(见图 1-20);
- (3) 级差式汽缸 汽缸中一端或两端为不同级次两个或两个以上的工作腔(见图 1-21)。

3) 按冷却方式分类

- (1) 气冷式 汽缸工作腔外壁由气体冷却(见图 1-22);
- (2) 水冷式 汽缸工作腔外壁由水进行冷却(见图 1-23);
- (3) 绝热或加热式 汽缸工作腔外壁需采用绝热措施, 有时甚至要加热。

2. 气阀在汽缸上的布置

气阀在汽缸上的布置方式, 对汽缸的结构有很大影响, 是设计汽缸所需要考虑的主要问题之一。布置气阀的主要要求是: 通道截面要大; 余隙容积要小; 安装和修理要方便。

小型无十字头压缩机, 为了简化汽缸结构, 气阀可以安装在汽缸盖上(见图 1-24)。

中大直径汽缸上的气阀, 布置在汽缸侧面或汽缸盖上, 使气阀的中心线相对于汽缸工作