

炼油厂设计与工程丛书

炼油厂机械设备的設計

丛书主编 李国清

本书主编 郑学鹏 白 岩 王自球

本书主审 张迎恺



中國石化出版社

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

炼油厂设计与工程丛书

炼油厂机械设备设计

丛书主编 李国清

本书主编 郑学鹏 白 岩 王自球

本书主审 张迎恺

中国石化出版社

内 容 提 要

本书着重介绍了炼油厂常见的机械设备,如压缩机、泵、硫黄成型机、除焦机械、滑阀、烟气轮机等。

本书可供炼油厂工程设计技术人员、科研人员、生产操作和管理人员、建设施工和管理人员,以及高等院校机械、材料和炼油相关专业的师生阅读与参考。

图书在版编目(CIP)数据

炼油厂机械设备设计/李国清主编;郑学鹏,白岩,王自球分册主编. —北京:中国石化出版社,2017.2
(炼油厂设计与工程丛书)
ISBN 978-7-5114-3542-2

I.①炼… II.①李…②郑…③白…④王…
III.①炼油厂-机械设计 IV.①TE682

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 037701 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:北京市朝阳区吉市口路9号

邮编:100020 电话:(010)59964500

发行部电话:(010)59964526

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

E-mail:press@sinopec.com

北京科信印刷有限公司印刷

全国各地新华书店经销

*

850×1168 毫米 32 开本 7.375 印张 188 千字

2017 年 3 月第 1 版 2017 年 3 月第 1 次印刷

定价:35.00 元

前 言

经过 60 余年的发展，我国已经成为世界第二炼油大国，国产化技术名列世界前茅，积累了丰富的工程设计建设经验。为了更好地指导生产实验，努力提高炼油水平，更好地为建设世界一流能源化工公司服务，出版该套介绍炼油厂各专业工程设计内容及程序的《炼油厂设计与工程丛书》十分迫切、十分必要。

炼油工业是国民经济的支柱产业之一，我国炼油工业依靠独立自主、自力更生，不断创新和发展，目前总体技术处于世界先进水平，并仍在蓬勃发展中。据统计，2011 年我国的原油一次加工能力已达到 5.5 亿吨，居世界第二。我国炼油企业和炼油厂的发展步伐明显加快，炼油厂的规模不断扩大，炼化一体化程度不断提高，炼油基地化发展迅速，在国际炼油业中的地位不断提升。截至 2011 年底，我国加工规模在 1000 万吨/年以上的炼油厂有 17 家，新建和改扩建至千万吨级原油加工基地 20 座。炼油行业正坚定地走在装置大型化、炼化一体化、发展集约化的道路上。

本丛书共 20 个分册，系统介绍了有关炼油厂各专业范围的工程设计内容及程度，包括：炼油厂厂址选择及总图、总工艺流程、非工艺类专业领域详细设计技术、管道设计、安全与环保、经济评价等。

本丛书编著工作由一批长期工作在炼油厂设计一线

的技术骨干和专家共同完成，他们具有较高的理论水平和丰富的实践经验，因而本丛书内容贴近设计和生产实际，不仅具有新颖性和创新性，而且具有实用价值。

由于参与编写的专业面广，编写人员较多，会在编制内容上出现重复或遗漏，不妥之处请各位读者批评指正。

A stylized handwritten signature in black ink, likely belonging to the author or editor, Li Tong. The characters are fluid and connected, with a prominent vertical stroke on the left.

目 录

第一章 压缩机	(1)
第一节 往复压缩机	(1)
一、往复压缩机的基本结构	(1)
二、基本原理	(3)
三、往复压缩机的热力计算和选型	(7)
四、往复压缩机的声学脉动和机械振动控制	(16)
五、往复压缩机的反向角	(19)
六、往复压缩机的负荷调节	(21)
七、往复压缩机的检验与试验	(23)
八、国内往复式压缩机产品	(24)
九、特殊类型的往复压缩机	(25)
第二节 离心压缩机	(29)
一、离心压缩机的基本结构	(29)
二、离心压缩机的基本原理和热力计算	(32)
三、离心压缩机的性能	(36)
四、压缩机的轴封	(40)
五、离心压缩机的选型示例	(45)
六、离心压缩机的检验与试验	(48)
七、国内离心式压缩机产品	(51)
八、轴流压缩机	(51)
第三节 螺杆压缩机	(52)
一、螺杆压缩机的基本原理	(53)
二、热力学分析	(56)

三、螺杆压缩机的热力计算	(60)
四、螺杆压缩机的结构	(62)
五、喷液流程	(64)
六、螺杆压缩机的气量调节	(65)
七、选型示例	(67)
八、国内螺杆压缩机产品	(69)
第四节 工业汽轮机	(69)
一、基本结构	(69)
二、汽轮机的工作原理	(69)
三、汽轮机的效率	(72)
四、汽轮机的调节	(73)
五、凝汽器	(77)
六、国内汽轮机产品	(78)
第五节 压缩机在各炼油装置中的应用	(80)
一、常减压装置	(80)
二、加氢装置	(81)
三、连续重整装置	(87)
四、芳烃联合装置	(90)
五、催化裂化装置、延迟焦化装置	(90)
六、制氢装置	(92)
七、变压吸附装置	(93)
八、催化汽油吸附脱硫装置 S-Zorb	(93)
第六节 机组控制系统	(94)
一、PLC 的选择	(94)
二、操作系统软件、驱动软件、控制软件的选择 ...	(96)
三、上位计算机及 CRT 的选择	(96)
四、通讯网络的选择	(96)

五、CRT 画面的选择	(96)
六、机组状态监测	(97)
第二章 泵	(99)
第一节 离心泵	(99)
一、基本类型	(99)
二、离心泵的性能参数	(100)
三、离心泵的工作原理和基本理论	(106)
四、离心泵的汽蚀	(107)
五、离心泵的性能曲线	(109)
六、离心泵的结构	(111)
七、离心泵的调节	(114)
八、离心泵的选型	(116)
九、特殊泵型	(126)
十、离心泵的检验与试验	(135)
第二节 往复泵	(138)
一、柱塞泵	(139)
二、计量泵	(141)
三、往复泵的材料选择	(143)
第三节 螺杆泵	(143)
第四节 真空泵	(145)
一、液环式真空泵和液环式压缩机	(145)
二、干式真空泵	(147)
第五节 主要炼油装置中的关键机泵	(150)
一、常减压装置	(150)
二、加氢装置	(151)
三、芳烃联合装置	(152)
四、催化裂化装置	(153)

五、延迟焦化装置	(154)
第三章 硫黄成型机	(156)
第一节 硫黄成型机工作原理	(156)
一、滚筒造粒	(156)
二、钢带成型	(157)
三、湿法成型	(158)
第二节 工程应用	(160)
一、总体方案	(160)
二、钢带成型机	(161)
三、湿法成型机	(164)
四、钢带成型与湿法造粒的共性与特点	(165)
第四章 除焦机械	(168)
第一节 工程设计	(169)
一、高压水泵	(171)
二、井架	(171)
三、钻杆	(172)
四、井架高度	(174)
五、高压胶管	(174)
六、高压水管与高压胶管相接处法兰	(176)
七、塔顶平台	(176)
第二节 主要设备	(177)
一、钻机绞车	(177)
二、固定、游动滑轮组	(178)
三、风动水龙头	(178)
四、井架导轨	(179)
五、高压胶管	(180)
六、钻杆	(180)

七、水力马达	(181)
八、切焦器	(181)
九、自动顶盖机	(182)
十、底盖机	(182)
第三节 水力除焦程序控制系统	(187)
一、组成	(187)
二、除焦程序	(189)
第四节 发展趋势	(196)
一、除焦设备的更新	(196)
二、除焦过程实现自动化	(197)
第五章 滑 阀	(198)
第一节 滑阀的分类	(198)
一、按用途可分为单动滑阀和双动滑阀	(198)
二、按阀体的隔热形式可分为冷壁滑阀和热壁滑阀	(198)
第二节 单动滑阀	(198)
一、结构	(199)
二、主要参数	(204)
三、材料选择	(206)
第三节 双动滑阀	(206)
第四节 执行机构	(207)
第六章 烟气轮机	(210)
第一节 烟气轮机的配置及分类	(210)
一、烟气轮机机组的配置	(210)
二、烟气轮机的分类	(211)
第二节 烟气轮机的基本结构及材料	(211)
一、烟气轮机的基本结构	(211)

二、保护与监测	(214)
三、主要部件的材料选择	(214)
第三节 烟气轮机的型号	(215)
第四节 烟气轮机的规格	(216)
一、烟气轮机的规格	(216)
二、烟气轮机的典型外形尺寸	(216)
第五节 烟气轮机出厂的检验与试验	(217)
一、试验和测试内容	(217)
二、工程验收	(218)
第六节 对配套系统的要求	(219)
一、入口管道的设计及选材	(219)
二、入口管道布置的要求	(219)
三、检修空间的要求	(219)
四、入口管道的施工要求	(219)
五、入口阀门的要求	(220)
六、公用工程	(220)
参考文献	(221)

第一章 压缩机

随着炼油工业的发展，压缩机得到了更加广泛的使用。这些压缩机多是工厂的关键设备、装置的核心部位。压缩机的功能是提升气体的压力。根据其热力学过程，可以分为容积式和动力式两大类，如图 1-1 所示。炼油工程中常用的压缩机有下面三种类型：

- (1) 往复式，如加氢装置中的新氢压缩机；
- (2) 离心式，如加氢装置中的循环氢压缩机；
- (3) 螺杆式，如常减压装置中的塔顶气压缩机。

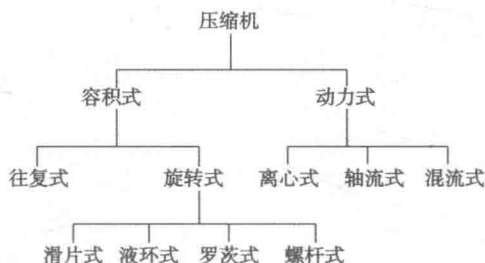


图 1-1 压缩机的分类

第一节 往复压缩机

一、往复压缩机的基本结构

往复压缩机主要由机身(曲轴箱)、曲轴、连杆、十字头、中间连接体、气缸、活塞、活塞杆、填料、气阀等部件组成，如图 1-2 所示。

二、基本原理

(一) 往复压缩机热力过程分析^[1,2]

往复压缩机的基本原理是通过曲柄连杆机构驱动活塞在气缸内做往复运动，造成气体在气缸内的封闭容积变小，从而压力得到提升。如图 1-3 所示，当活塞自左向右移动，气体以压力 P_1 进入气缸，4-1 称为进气过程。然后活塞自右向左运动，气缸容积变小，气体被压缩，1-2 称为压缩过程。当气体压力达到排气压力 P_2 后，气体开始被活塞推出气缸，2-3 称为排气过程。如此循环，形成周期性的吸气、压缩、排气和膨胀等过程。

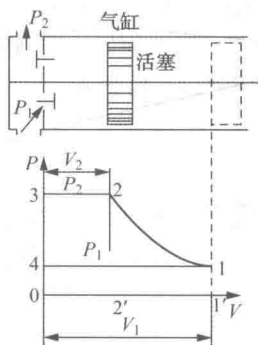


图 1-3 气缸的理想循环过程

然而在实际压缩机中，为避免活塞与缸盖相撞，以及气阀结构和气阀安装的需要，在气缸端部留有一定的空隙，称为余隙容积 V_c ，如图 1-4 所示。余隙容积内的气体在吸气过程开始时就要先行膨胀，占去了活塞运动的一部分行程，造成实际进气量减少了 ΔV_1 ；气体流经气阀都有压力损失，吸气过程结束时，气缸内的压力低于名义的进气压力，实际的吸气容积减少了 ΔV_2 ；由于吸气过程中与气缸

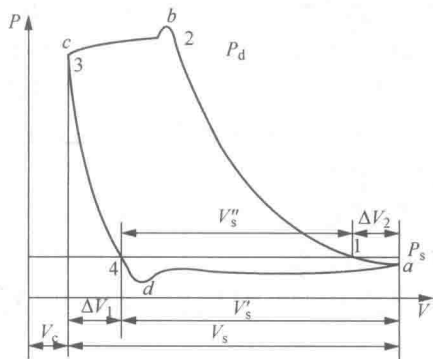


图 1-4 气缸的实际循环过程

的热交换, 进气温度对容积的影响计为 ΔV_3 ; 由于填料、活塞环以及气阀的泄漏, 引起实际气量的减少计为 ΔV_4 。因此实际的排气量 V_s''' 用式(1-1)表示。

$$V_s''' = V_s - \Delta V_1 - \Delta V_2 - \Delta V_3 - \Delta V_4 \quad (1-1)$$

式中 V_s ——实际的活塞行程容积。

把上面四个影响因素用四个系数来考虑, 吸气系数 η_v 可以用式(1-2)表示。

$$\eta_v = \frac{V_s'''}{V_s} = \lambda_v \lambda_p \lambda_T \lambda_l \quad (1-2)$$

式中 λ_v ——容积系数;

λ_p ——压力系数;

λ_T ——温度系数;

λ_l ——泄漏系数。

容积系数 λ_v 可以按式(1-3)计算:

$$\lambda_v = 1 - \alpha \left(\frac{z_3}{z_1} \varepsilon^{1/m} - 1 \right) \quad (1-3)$$

式中 α ——相对余隙容积, 即余隙腔容积与活塞行程容积之比。 $\alpha = V_c/V_s$, 取值范围为 0.08~0.2。小气缸取大值, 大气缸取小值;

ε ——压比, $\varepsilon = P_2/P_1$;

z_3 、 z_1 ——相应于排气终了与进气开始状态的气体压缩因子。压缩机初步计算过程中可以按表 1-1 近似选取;

m ——膨胀过程指数。由于过程中的热量传递与泄漏难以定量考虑, 低压压缩机可以按式(1-4)计算膨胀过程指数;

$$m = 1 + 0.5(k - 1) \quad (1-4)$$

k ——气体等熵指数。

压力系数 λ_p 与气阀的匹配及进气系统设计有关, 一般取值 0.95~0.99。

温度系数 λ_T 受气缸周壁温度的影响, 与气缸大小和冷却条

件相关，一般取值为 0.9~0.99。

泄漏系数 λ_l 用来表征填料、活塞环、气阀的严密性。压缩机的泄漏分内泄漏和外泄漏两种，内泄漏不影响排气量但影响级间压缩比的分配，外泄漏则直接影响气量。泄漏系数一般取值 0.9~0.99。

表 1-1 进、出口状态下的压缩因子

压力(绝)/MPa	压缩因子 z	压力(绝)/MPa	压缩因子 z
≤ 1.0	1.0	≤ 12.0	1.06
≤ 3.0	1.01	≤ 14.0	1.07
≤ 4.0	1.02	≤ 16.0	1.09
≤ 6.0	1.03	≤ 18.0	1.10
≤ 8.0	1.04	≤ 20.0	1.12
≤ 10.0	1.05		

有一点需要说明，压缩机行业定义的排气量与炼油厂应用中涉及的供气量有一定的区别。排气量是指单位时间内压缩机末级排出的气体，换算成一级入口状态的气体容积。工艺装置中工人常说的气量(供气量)是指实际进入压缩机的气体折算到标准状态(760mmHg, 0℃)下的气体容积。

(二) 往复压缩机的指示功率

如图 1-3 所示，循环过程 1-2-3-4 中外界对气体所做的功，相当于点 1-2-3-4 所围成的面积，通过积分求得绝热指示功 W_{ad} ：

$$W_{ad(i)} = - \int_{P_1}^{P_2} V dP = P_1 V_1 \frac{1}{n-1} \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right] \quad (1-5)$$

当 $n=k$ 时，压缩过程中与外界无热交换；

当 $n>k$ 时，压缩过程中外界有热量传给气体；

当 $n<k$ 时，压缩过程中气体有热量传给外界；

当 $n=1$ 时，等温压缩，外界对气体所做的功全部转化为热量传回外界。

如果考虑实际气体的压缩因子，则绝热指示功 W_{ad} 的计算公

式为：

$$W_{ad(i)} = P_1 V_1 \frac{k_T}{k_T - 1} \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k_T - 1}{k_T}} - 1 \right] \frac{z_1 + z_2}{2z_1} \quad (1-6)$$

在实际的循环过程中，气体压缩之初，属于吸热压缩，当温度升上来之后，属于放热压缩，排气过程则一直向外界放热，在余隙容积膨胀之初是放热膨胀，膨胀过程末期则是吸热膨胀。炼油厂往复机尺寸都比较大，气缸夹套冷却水所带走的热量十分有限，实际的压缩过程基本上都趋于绝热。

按图 1-4，将实际过程进行简化：

- (1) 进、排气过程的压力曲线用平均值代替；
- (2) 压缩、膨胀的过程指数为常数并且相等；
- (3) 容积系数按简化后的平均压力确定；
- (4) 进、排气过程的压力损失按经验公式确定。

如果考虑实际压缩为多变过程，实际气体实际过程的指示功 W_{ad} 为：

$$W_{ad(i)} = P_1 V_1 \frac{n}{n-1} \left\{ \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \cdot (1 + \delta_0) \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right] \frac{z_1 + z_2}{2z_1} \right\} \quad (1-7)$$

式中 $1 + \delta_0 = \frac{1 + \delta_d}{1 - \delta_s}$ ， δ_s 、 δ_d 分别是进气和排气的相对损失，按图 1-5 选取，虚线反映的是损失较小的压缩机，实线则表示损失相对较大。

对于多级压缩机，总的指示功率 W_{ad} 由每级求和得出。

$$W_{ad} = \sum W_{ad(i)} \quad (1-8)$$

往复压缩机一般由电动机刚性连接直接驱动，不需考虑传动损失。机组所消耗的实际功率由式(1-9)计算。

$$N = \frac{W_{ad}}{\eta_m} \quad (1-9)$$