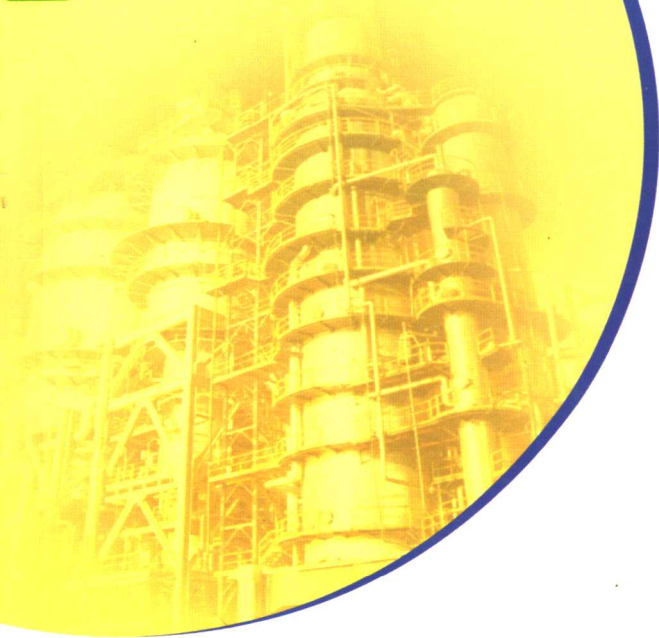


烃  
加工

炼油工业技术知识丛书



◇ 宋天民 主编

◇ 任建民 谢禹钧 副主编

# 炼油厂静设备

中国石化出版社

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

炼油工业技术知识丛书

# 炼油厂静设备

宋天民 主编

任建民 谢禹钧 副主编

中国石化出版社

## 内 容 提 要

全书介绍了石油化工静设备常用材料；压力容器设计的基本原理和方法；塔设备、换热设备、反应设备的结构和对主要结构的强度计算；空冷器的结构和选型方法；管式加热炉的结构和全炉的热平衡计算。同时对上述设备在运行中常见的问题及预防对策进行了阐述。

本书可供从事石油化工容器及设备设计、运行维修、科研工作的工程技术人员阅读，也可作为相关高校过程装备与控制工程专业教学参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

炼油厂静设备/宋天民主编.

—北京:中国石化出版社,2005(2007.6重印)

(炼油工业技术知识丛书)

ISBN 978-7-80164-876-1

I. 静… II. 宋… III. 石油加工厂—化工设备  
IV. TE96

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 090601 号

### 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](mailto:press@sinopec.com.cn)

中国石化出版社图文中心排版

河北天普润印刷厂印刷

全国各地新华书店经销

\*

850×1168 毫米 32 开本 14 印张 368 千字  
2006 年 1 月第 1 版 2007 年 6 月第 2 次印刷

定价:35.00 元

# 《炼油工业技术知识丛书》

## 编委会

主任：凌逸群

副主任：王子康

技术顾问：龙军 方向晨 李平

王强 王治卿

编委：(按姓氏笔画排序)

仇性启 华炜 吕亮功 吕家欢

孙兆林 宋天民 陈保东 郑世桂

赵培录 高步良 梁凤印 梁文杰

梁朝林 赖光愚 廖士刚

## 序

随着我国石油化学工业的不断发展，炼油技术也在不断进步，炼油企业管理水平不断提高。与之相应，炼油行业十分迫切需要既掌握炼油理论知识、又拥有丰富生产经验和较高技术管理水平技术人员与管理队伍。近些年来，在石化企业中，由于很多老职工和老技术人员相继退休，离开了工作岗位，取而代之的是一大批年轻职工和许多参加工作不久的技术和管理人员。他们走上炼油行业关键技术和管理岗位后，迫切需要补充炼油技术知识。

为了确保装置安稳长满优运转，提高炼油企业的国际竞争能力，提高职工队伍的整体素质，造就一大批懂管理、懂技术的人才，非常有必要在广大炼化企业职工中大力传播专业技术知识，推广科学技术，营造比学赶帮超的良好学习氛围。为了适应这一需要，中国石化股份公司炼油事业部和中国石化出版社及时组织编写了《炼油工业技术知识丛书》。

参加该丛书编写的作者来自于各炼化企业、科研院所和大专院校，他们都是石油化工领域的专家和长期工作在生产一线的技术骨干。在编写过程中，他们将自己的丰富学识与多年的生产实践经验相结合，并查阅大量文献资料，精心编写。可以说，这套丛书的每一分册都

是作者的智慧结晶。丛书按装置和专业设分册编写、出版，既考虑炼油厂装置的实际情况，也考虑炼油企业岗位不同工种的学习需要。在介绍基本理论、基本知识的基础上，紧密结合炼油企业生产和技术管理的实际，注重理论与实践相结合。在文字表述方面，力求通俗易懂，深入浅出。

纵观丛书，最大的特色是理论与实际相结合，且系统性强，基本上涵盖了炼油工业技术的基础知识。该丛书的出版发行，有利于普及炼油工业技术知识，有利于提高炼油企业职工素质，有利于总结生产经验，能更好地为炼油装置的安稳长满优运行服务。我相信，《炼油工业技术知识丛书》的出版，将为行业内人员提供一套比较完整的炼油技术知识参考书，在加强技术传播、促进技术交流、推广技术应用、指导生产实践等方面会起到积极的作用，得到广大炼油行业从业人员的热烈欢迎。



中国工程院院士

# 前 言

石油化工工业是现代国民经济的支柱产业之一，它通过成套装置把以流体为主的各种流程性材料加工制造成人们所需要的新的流程性材料产品。成套装置是组成石油化工工业的工作母机群，它通常是由一系列机器和设备，按一定的流程方式，用管道、阀门等连接起来的一个独立的密闭连续系统。保证该系统安全高效连续工作是石油化工工业致力追求的目标，实现这一目标必须不断进行过程原理与技术的创新、成套装置流程技术的创新、过程机器和设备技术的创新以及过程控制技术的创新，这样才能把石油化工工业要实现的最佳技术经济指标——高效、节能、清洁和安全不断推向新的技术水平，确保该产业在国际上的竞争力。

《炼油厂静设备》就是本着设备技术创新的原则，从简便实用的思路出发，介绍了石油化工静设备常用材料，压力容器设计的基本原理和方法，塔设备、换热设备、反应设备的结构和对主要结构的强度计算，空冷器的结构和选型方法，管式加热炉的结构和全炉的热平衡计算。同时对上述设备在运行中常见的问题及预防对策进行了阐述。旨在使相关人员掌握典型设备设计的基本原则与方法，并进一步运用它来了解、分析与设计其他

类型的设备和结构，进行创造性地工作。

本书由辽宁石油化工大学宋天民教授主编，任建民、谢禹钧教授副主编，张丽、陈雪两位同志对本书内容的录入、图形的绘制及校对做了大量的工作。

科学技术在不断发展，新型、高效设备不断出现，由于编者水平有限，书中难免有偏颇、错误之处，敬请专家学者和读者指正。

编 者



# 目 录

<b>第一章 石油化工设备常用材料</b> .....	( 1 )
<b>第一节 石油化工设备用材的基本要求和特点</b> .....	( 1 )
一、石油化工设备用材的基本要求 .....	( 1 )
二、石油化工设备用材的特点 .....	( 2 )
<b>第二节 石油化工设备常用钢材</b> .....	( 8 )
一、碳钢 .....	( 9 )
二、合金钢 .....	( 13 )
三、复合钢板 .....	( 18 )
<b>第三节 石油化工设备常用其他材料</b> .....	( 18 )
一、铸铁 .....	( 18 )
二、有色金属及其合金 .....	( 20 )
三、非金属材料 .....	( 22 )
<b>第四节 石油化工设备材料的选择</b> .....	( 24 )
<b>第二章 压力容器设计基础</b> .....	( 27 )
<b>第一节 容器概述</b> .....	( 27 )
一、容器结构 .....	( 27 )
二、容器分类 .....	( 27 )
三、压力容器标准 .....	( 31 )
<b>第二节 内压薄壁容器设计</b> .....	( 33 )
一、回转薄壳应力分析 .....	( 33 )
二、圆筒和球壳的设计计算 .....	( 49 )
三、设计参数的规定 .....	( 51 )
四、压力试验 .....	( 55 )

五、封头设计计算	( 59 )
第三节 外压薄壁容器设计	( 69 )
一、外压容器的稳定性与临界压力	( 69 )
二、外压圆筒的设计计算	( 72 )
三、外压封头的设计计算	( 80 )
四、加强圈设计	( 82 )
第四节 厚壁容器设计	( 86 )
一、单层厚壁圆筒的应力分析	( 86 )
二、单层厚壁圆筒的强度计算	( 96 )
三、高压平盖的设计计算	( 98 )
第五节 压力容器的高温蠕变	( 101 )
一、金属材料的高温蠕变	( 101 )
二、压力容器的高温设计	( 107 )
三、高温压力容器的残余寿命	( 109 )
四、高温密封螺栓的应力松弛	( 112 )
<b>第三章 塔设备</b>	( 116 )
第一节 概述	( 116 )
一、塔设备的作用和地位	( 116 )
二、对塔设备的基本要求	( 116 )
三、塔设备的分类和总体结构	( 117 )
四、塔设备的选型	( 119 )
第二节 板式塔	( 121 )
一、常用板式塔的类型	( 121 )
二、塔盘结构	( 129 )
第三节 填料塔	( 144 )
一、填料	( 144 )
二、填料的支承装置	( 150 )
三、填料塔的液体分布器	( 152 )
四、液体收集再分布器	( 159 )

五、填料的压紧和限位装置·····	(162)
第四节 塔设备的附件·····	(163)
一、裙座·····	(163)
二、除沫器·····	(166)
三、吊柱·····	(168)
第五节 塔设备的强度计算·····	(169)
一、固有周期·····	(169)
二、载荷分析·····	(171)
三、筒体轴向强度及稳定性校核·····	(182)
四、裙座的强度及稳定性校核·····	(184)
第六节 塔设备的振动·····	(193)
一、风诱导振动的流体力学原理·····	(193)
二、升力·····	(196)
三、诱导振动的激振频率·····	(196)
四、临界风速·····	(197)
五、防振措施·····	(198)
<b>第四章 换热设备</b> ·····	<b>(199)</b>
第一节 概述·····	(199)
一、换热设备的应用·····	(199)
二、换热设备的分类·····	(199)
三、间壁式换热器·····	(201)
第二节 管壳式换热器·····	(210)
一、管壳式换热器的基本类型·····	(210)
二、管壳式换热器的结构·····	(213)
三、管壳式换热器的振动与防止·····	(230)
第三节 板式换热器·····	(233)
一、总体结构及特点·····	(233)
二、板片·····	(235)
三、板片组装·····	(239)

四、流程组合	(242)
五、辅助装置	(242)
第四节 换热器的腐蚀与防护	(244)
一、金属腐蚀机理	(244)
二、换热器常见的腐蚀类型	(250)
三、换热器的防腐蚀方法	(253)
<b>第五章 反应设备</b>	<b>(256)</b>
第一节 概述	(256)
一、反应设备在石油化工工业中的作用	(256)
二、反应设备的种类及特点	(256)
第二节 搅拌反应器的总体结构及类型	(260)
一、搅拌反应器的总体结构	(260)
二、搅拌反应器的类型	(262)
第三节 搅拌反应器的罐体	(265)
一、罐体的尺寸	(266)
二、传热元件	(268)
第四节 搅拌反应器的搅拌装置	(274)
一、搅拌器	(274)
二、传动装置及搅拌轴	(286)
第五节 搅拌反应器的轴封	(292)
一、填料密封	(293)
二、机械密封	(297)
<b>第六章 空冷器</b>	<b>(301)</b>
第一节 概述	(301)
一、空冷器的应用	(301)
二、空冷器的总体结构与分类	(301)
第二节 空冷器的构架	(307)
一、构架型式与基本尺寸	(307)

二、构架型号	309
第三节 空冷器的翅片管	310
一、对翅片管的基本要求	310
二、翅片管的型式与性能比较	310
三、翅片管的基本尺寸	317
四、翅片管的材料	320
第四节 空冷器的管束	321
一、管束组成	321
二、管束基本参数及型号	321
三、管箱	327
第五节 空冷器的风机	331
一、风机的分类	331
二、风机基本几何尺寸和参数	332
三、降低风机噪声的措施	333
第六节 空冷器的调节与布置	334
一、空冷器的调节	334
二、布置上的考虑	335
第七节 空冷器的工艺计算	336
一、工艺计算要点	336
二、空冷器的选用步骤	340
<b>第七章 管式加热炉</b>	<b>347</b>
第一节 概述	347
一、管式加热炉的地位与作用	347
二、管式加热炉的一般构成	348
三、管式加热炉的主要技术指标	350
第二节 管式加热炉分类与特征	352
一、按外形分类	352
二、按用途分类	359

第三节	炉管系统	(360)
一、	炉管	(361)
二、	炉管连接件	(365)
三、	炉管支承件	(367)
四、	炉管结焦及防止措施	(376)
第四节	管式加热炉的燃烧器	(379)
一、	燃气燃烧器	(379)
二、	燃油燃烧器	(383)
三、	油-气联合燃烧器	(385)
四、	燃烧器的噪声及控制方法	(388)
第五节	炉墙	(389)
一、	砖结构炉墙	(389)
二、	耐热混凝土结构(衬里结构)炉墙	(396)
三、	耐火纤维衬里结构炉墙	(399)
第六节	管式炉的钢结构	(402)
一、	辐射室钢结构	(402)
二、	对流室钢结构	(403)
三、	平台梯子	(404)
第七节	管式加热炉的热平衡	(405)
一、	燃烧过程与理论空气用量	(405)
二、	过剩空气系数	(407)
三、	燃料发热值	(409)
四、	烟气流量	(411)
五、	加热炉的热平衡	(411)
附录		(420)
一、	钢制压力容器设计常用中国标准	(420)
二、	钢制压力容器材料的许用应力	(425)
三、	常用单位的换算	(430)
参考文献		(433)

# 第一章 石油化工设备常用材料

为了适应石油化工工业生产的多种需要，石油化工设备的种类很多，设备的操作条件也比较复杂。就操作压力而言，有真空、常压、低压、中压以及高压和超高压；而操作温度又有低温、常温、中温和高温；所处理的介质大多数具有腐蚀性，且为易燃、易爆、有毒等。有时对于某种具体设备来说，既有温度、压力要求，又有耐腐蚀要求，而且这些要求有时还是互相矛盾的。

这种多样性的操作特点，给石油化工设备材料的选用造成了一定的复杂性。除一般机械制造业中常用的金属及其合金外，在石油化工设备的制造过程中，还广泛地应用着非金属材料、复合材料等。为了适应石油化工生产的高温、高压、强腐蚀等特点，保证设备的安全正常运转，石油化工设备设计工程师必须正确地选择设备材料。要做到这一点，就必须了解石油化工工艺和设备制造上对材料的基本要求，熟悉掌握材料的基本性质，特别是常用钢材的基本性能。

## 第一节 石油化工设备用材的基本要求和特点

### 一、石油化工设备用材的基本要求

石油化工设备操作的多样性，使得其用材的种类繁多，因此合理选用石油化工设备材料是设计石油化工设备的重要环节，在选择材料时，必须根据材料的各种性能及其应用范围综合考虑具体的操作条件，抓住主要矛盾，遵循适用、安全和经济的原则。

选用材料的一般要求是：

- ① 材质可靠，能保证使用寿命；

② 要有足够的强度，一定的塑性和韧性，对腐蚀性介质能耐腐蚀；

③ 良好的制造加工性能，焊接性能良好；

④ 经济上合理；

⑤ 材料品种应优选国产材料；

⑥ 供货状态良好。

对于中、低压和高压容器，由于经常处于有腐蚀性介质的条件下工作，工作过程中，设备除了承受较高的介质内压力(或外压)以外，有时还会受到冲击和疲劳载荷的作用；在制造过程中，材料通常还要经过各种冷、热加工(如下料、卷板、焊接、热处理等)使之成型。因此，对压力容器用钢除了随介质的不同要有耐腐蚀的要求以外，材料还应该有较强的强度、良好的塑性、韧性和冷弯性能，缺口敏感性要低，加工和焊接性能要良好。对于普通低合金钢板材要测定是否有成分的偏析、分层、夹渣、白点和裂纹等缺陷。对于中、高温容器，由于钢材在中、高温的长期作用下，金相组织和机械性能等将发生明显的变化，同时还都要承受一定的介质压力，因此，选择中、高温设备用钢时，还必须考虑到材料的组织稳定性和中、高温机械性能。对于低温设备用钢，还要着重考虑设备在低温下的脆性断裂问题。

## 二、石油化工设备用材的特点

由于石油化工设备的制造与操作的特殊性，导致在设计和制造石油化工设备时，合理选择和正确使用材料是一项十分重要的工作。石油化工设备用材料，除了要具有一般材料所具有的性能外，还必须具有以下特点。

### (一) 材料的机械性能

(1) 强度 石油化工设备用钢材的强度包括屈服强度(屈服限  $\sigma_s$  或  $\sigma_{0.2}$ )、抗拉强度(强度限  $\sigma_b$ )及屈强比( $\sigma_s/\sigma_b$ )。对于常温设备用钢板的强度，主要是考虑材料的常温强度。如果设备的操作温度超过  $400^\circ\text{C}$ ，对于一般碳钢或普通低合金钢，还必须考虑材料的蠕变强度(蠕变极限  $\sigma_n$ )和持久强度(持久极限  $\sigma_D$ )，以及



材料性能随温度变化的规律。

在机械设计中，屈服极限和强度极限是确定钢板许用应力的基本依据。显然，板材的强度越高，设备的截面尺寸(如壁厚)可以减小，从而可以节省金属用量。但是强度较高的材料，一般塑性和韧性较低，制造困难。因此，应根据容器的具体使用条件和技术经济的综合指标来选用适当强度级别的钢种。对压力容器而言，一般中、低压容器可选用屈服极限为 245MPa、294MPa、343MPa 级的钢种；直径较大、压力较高的中压容器可选用 392MPa 级的钢种；高压容器宜采用屈服极限为 392 ~ 490MPa 级的钢种。

屈强比是一个表示钢材机械性能特征的参数。其值虽未用于强度计算，但是屈强比高的钢材，承载能力也高，同时设备材料的塑性储备将降低，缺口敏感性增加，抗疲劳能力下降。因此，目前一般用作压力容器的材料，其屈强比  $\gamma > 0.7$  时，在设计与制造中应慎重，若  $\gamma > 0.80 \sim 0.85$ ，则应有特殊考虑。

由于许多石油化工设备是在高温下工作的，材料除了要承受一定的压力负荷以外，还要承受温度的作用。因此，该类设备设计时，材料的强度除了要考虑其常温机械性能以外，还要考虑其在高温下的蠕变极限( $\sigma_n$ )和持久强度( $\sigma_D$ )以及材料性能在高温下的变化。

(2) 塑性 延伸率  $\delta_5$  是石油化工设备用材料塑性的一个主要指标。对于厚度低于 6mm 以下的板材也可用  $\delta_{10}$ ，一般  $\delta_5 = 1.2\delta_{10}$ 。虽然延伸率的大小并不反映在石油化工设备的强度计算上，但与其制造过程中的冷加工及焊接等加工过程的质量有着密切关系，而且也关系到过程设备使用上的安全性。板材的延伸率过低，在冷作(锤击、剪切、冷卷等)和焊接过程中材料可能会发生裂纹，甚至会导致脆性断裂；在使用过程中，将使石油化工设备的塑性储备降低，减少了石油化工设备的安全性。为此，压力容器用钢板，一般  $\delta_5$  不得低于 14%。当钢材的  $\delta_5 < 18\%$  时，在加工制造中应加注意。