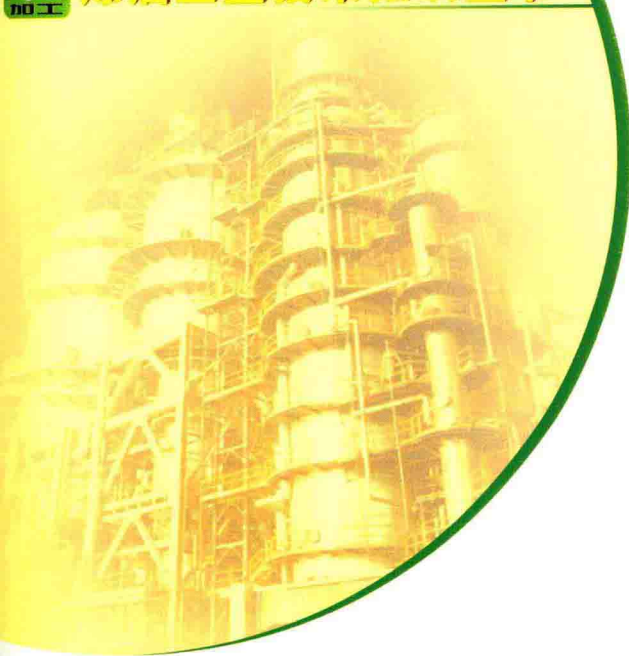


烃
加工

炼油工业技术知识丛书



◇ 宋天民 韩建荒 主 编

◇ 谢禹钧 任建民 管建军 副主编

炼油厂静设备

(第二版)

中国石化出版社

炼油工业技术知识丛书

炼油厂静设备

(第二版)

宋天民 韩建荒 主编

谢禹钧 任建民 管建军 副主编

中国石化出版社

内 容 提 要

本书全面、系统地介绍了石油化工反应设备、塔设备、换热设备、加热设备、储罐、套管结晶器和特种阀门等各种静设备的工作原理、结构和主要附件，并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静设备设计、运行、维修和管理工作的工程技术人员阅读，也可作为炼油企业职工培训教材，还可作为高等学校过程装备与控制工程专业的主干课程教材和其他相关专业的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

炼油厂静设备/宋天民主编. —2版. —北京:
中国石化出版社, 2015. 7
(炼油工业技术知识丛书)
ISBN 978-7-5114-3329-9

I. ①炼… II. ①宋… III. ①石油加工厂-化工设备
IV. ①TE96

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 092713 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

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 14.75 印张 386 千字

2015 年 7 月第 2 版 2015 年 7 月第 1 次印刷

定价:52.00 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

孙肇林 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，成套装置是组成石油化工工业的工作母机群，它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技术创新、成套装置流程技术创新、过程机器和设备技术创新以及过程控制技术创新，这样才能提升石油化工工业高效、节能、清洁和安全的技术水平，确保在国际上的竞争力。

《炼油厂静设备》出版后，受到了广大读者的热烈欢迎，并在使用过程中提出了很多宝贵意见。随着科学技术的不断发展，新型、高效设备不断出现，应广大读者要求，我们在本书第一版的基础上进行了修订。删掉了原书中炼油设备常用材料、压力容器设计基础等内容，增加了储罐、套管结晶器和专用阀门等章节。在反应设备中，增加了加氢、重整、催化裂化等反应器；在换热设备中，增加了板壳、板翅、螺旋板和热管换热器等内容；在加热炉中，增加了管式炼油炉和废热锅炉等内容，使本书对炼油厂静设备的覆盖更全面、更准确。

本书第二版有以下3个特点：

(1) 全面性 本书所介绍的设备覆盖炼油厂全部静设备；

(2) 实用性 从现场实际出发，重点介绍各种设备的工作原理和结构；

(3) 新颖性 采纳各种设备最新科研成果，特别在换热设备一章更为突出。

本书由辽宁石油化工大学编写。参加编写的人员有宋天民、韩建荒、谢禹钧、任建民、管建军、宋尔明、刘丽喆、赵艳、张莹莹、高磊、尹成江、王国庆、闫萍等。全书由宋天民和韩建荒主编。

由于编者水平有限，书中肯定会有不妥之处，敬请读者批评指正。

目 录

第 1 章 反应器	(1)
1.1 加氢反应器	(1)
1.1.1 加氢反应器的分类	(1)
1.1.2 加氢反应器的结构	(5)
1.1.3 加氢反应器的内件	(10)
1.1.4 加氢反应器的损伤	(11)
1.1.5 加氢反应器的在役检验	(27)
1.2 重整反应器	(33)
1.2.1 重整反应器的分类	(33)
1.2.2 重整反应器的结构	(34)
1.3 催化裂化反应-再生系统	(40)
1.3.1 反应器与再生器的相对位置	(40)
1.3.2 反应器的结构	(45)
1.3.3 再生器的结构	(51)
1.4 搅拌反应器	(54)
1.4.1 搅拌反应器的类型	(54)
1.4.2 搅拌反应器的结构	(58)
1.4.3 搅拌反应器的罐体	(58)
1.4.4 搅拌反应器的搅拌装置	(64)
1.4.5 搅拌反应器的轴封	(75)

第2章 塔	(81)
2.1 塔的结构	(82)
2.2 板式塔	(86)
2.2.1 板式塔的类型	(86)
2.2.2 塔盘	(95)
2.3 填料塔	(107)
2.3.1 填料	(107)
2.3.2 填料的支承装置	(114)
2.3.3 液体分布器	(116)
2.3.4 液体收集再分布器	(122)
2.3.5 填料的压紧和限位	(126)
2.4 塔附件	(127)
2.4.1 裙座	(127)
2.4.2 除沫器	(129)
2.4.3 吊柱	(130)
2.5 塔的强度计算	(132)
2.5.1 载荷分析	(133)
2.5.2 筒体轴向强度及稳定性	(144)
2.5.3 裙座的强度及稳定性	(146)
第3章 换热器	(155)
3.1 管壳式换热器	(155)
3.1.1 管壳式换热器的分类	(155)
3.1.2 管壳式换热器的工艺性结构	(166)
3.1.3 新型管壳式换热器	(182)
3.1.4 高压螺纹锁紧环换热器	(188)

3.2	板状换热器	(191)
3.2.1	板式换热器	(191)
3.2.2	板壳式换热器	(198)
3.2.3	螺旋板换热器	(208)
3.2.4	板翅式换热器	(214)
3.3	热管换热器	(218)
3.3.1	热管的工作原理	(219)
3.3.2	热管换热器的结构	(224)
3.3.3	热管换热器的应用	(227)
第4章	空冷器	(237)
4.1	普通型空冷器	(239)
4.1.1	空冷器的分类	(239)
4.1.2	空冷器的结构	(247)
4.1.3	空冷器的型号	(250)
4.1.4	空冷器的应用	(254)
4.2	表面蒸发型空冷器	(256)
4.2.1	空冷器的工作原理	(257)
4.2.2	空冷器的结构	(260)
4.3	自然对流式空冷器	(263)
4.3.1	空冷器的结构	(264)
4.3.2	空冷器的应用	(267)
第5章	加热炉	(269)
5.1	管式加热炉的工作原理	(269)
5.1.1	管式加热炉的分类	(269)
5.1.2	管式加热炉的构成	(276)

5.1.3	管式加热炉的工作原理	(278)
5.1.4	管式加热炉的结构	(280)
5.2	管式炼油炉	(285)
5.2.1	常压炉	(285)
5.2.2	减压炉	(287)
5.2.3	延迟焦化炉	(287)
5.2.4	催化重整炉	(290)
5.2.5	润滑油装置加热炉	(291)
5.3	管式加热炉的热平衡	(294)
5.3.1	理论空气用量	(294)
5.3.2	过剩空气系数	(296)
5.3.3	燃料发热值	(298)
5.3.4	烟气流量	(300)
5.3.5	加热炉的热平衡	(300)
5.4	管式加热炉附属设备	(306)
5.4.1	空气预热器	(306)
5.4.2	燃烧器	(318)
5.4.3	吹灰器	(329)
5.5	废热锅炉	(332)
5.5.1	列管式	(332)
5.5.2	盘管式	(339)
5.5.3	插入式	(341)
5.5.4	双套管式	(345)
5.5.5	U形管式	(351)
第6章	储罐	(356)
6.1	立式储罐	(359)

6.1.1	立式储罐的结构	(359)
6.1.2	立式储罐的主要附件	(368)
6.1.3	立式储罐的检修与维护	(380)
6.2	其他类型储罐	(388)
6.2.1	卧式储罐	(388)
6.2.2	球形储罐	(391)
6.3	低压湿式气柜	(395)
6.3.1	低压湿式气柜的工作原理	(395)
6.3.2	低压湿式气柜的主要参数	(400)
6.3.3	低压湿式气柜的结构	(402)
第7章 其他设备		(410)
7.1	套管结晶器	(410)
7.1.1	套管结晶器的分类	(410)
7.1.2	套管结晶器的工艺流程	(411)
7.1.3	套管结晶器的结构	(412)
7.1.4	套管结晶器传动机构	(413)
7.1.5	传动头	(414)
7.1.6	刮刀轴	(417)
7.1.7	套管组	(420)
7.2	专用阀门	(425)
7.2.1	专用阀门的分类	(425)
7.2.2	专用阀门的结构	(428)
参考文献		(455)

第1章 反 应 器

石油化工过程分为传递过程(能量传递、热量传递、质量传递)的物理过程和化学反应过程。完成化学反应的设备统称为反应设备。

在许多石油化工工业过程中,都是在对原料进行若干物理过程处理后,再按一定的要求进行化学反应以得到最终的产品。石油化工中三大合成材料的生产,诸如聚合、加氢、裂解、重整等化学反应过程则更为普遍。因此,反应设备在石油化工设备中是非常重要的设备。

常用的反应设备按结构划分有管式反应器、固定床反应器、流化床反应器和搅拌反应器;按反应器的功能划分有加氢反应器、重整反应器、催化裂化反应-再生系统等。

1.1 加氢反应器

加氢反应器是各种加氢工艺过程的关键设备,为便于比较、评价和统计,将加氢过程划分为加氢处理、加氢精制和加氢裂化三大类。

(1) 加氢处理 系指进料分子基本在反应中无变化,目的在于使烯烃饱和及去除硫的过程。

(2) 加氢精制 系指在反应过程中,有 $<10\%$ 原料油分子降低相对分子质量的过程。

(3) 加氢裂化 系指在反应过程中,有 $\geq 10\%$ 原料油分子转化为小分子的过程。

1.1.1 加氢反应器的分类

1. 按工艺过程分类

依据催化加氢过程进料原料油性质的不同,相应地所采用的

工艺流程和催化剂是不相同的，其反应器形式也不同，一般有表 1.1-1 所列的三种类型。

表 1.1-1 加氢反应器类型

序号	反应器类型	示意图例	反应器特点	适用场合
1	固定床反应器	见图 1.1-1	此反应器床层内的固体催化剂处于静止状态。它的最大优点是催化剂不易磨损，而且在催化剂不失去活性的情况下，可以长周期使用	主要用于加工固体杂质、油溶性金属有机化合物含量较少的馏分油
2	移动床反应器	见图 1.1-2	此反应器在生产过程中催化剂可以连续或间断地移动加入或卸出	主要用于加工含有较高金属有机化合物和沥青质的渣油原料，以避免在催化加工过程中引起床层堵塞和使催化剂失活
3	流化床反应器	见图 1.1-3 (膨胀床反应器)	它是一种以一定流速的流体(原料油和氢气)从反应器下部进入，通过装填微粒催化剂的床层时，使催化剂粒间空隙率随流速渐增而逐渐拉开，催化剂床层体积开始膨胀，直至催化剂床层被流体托起的反应设备。流化床反应器还可以划分为悬浮床反应器和膨胀床反应器(或称沸腾床反应器)	主要用于加工处理含有较多金属有机化合物、沥青质和固体杂质的渣油

当今，在各种加氢反应设备中，仍以固定床反应器使用最多。进入反应器的液体停留时间应尽可能短，以避免碳析出和当

采用较大的液体流速时，引起催化剂的流化或磨损；另外，为了使反应器的压降更小，几乎都采用气液并流下流式的流动形式。

2. 按反应器状态分类

在使用状态下，按反应器内部的高温介质是否直接与器壁接触，分为冷壁结构和热壁结构两种。此两种反应器的结构特点见表 1.1-2。

表 1.1-2 加氢反应器的结构特征

	冷壁结构	热壁结构
隔热形式	器壁内表面设非金属隔热衬里 ^①	器壁外设保温
设计温度(或壁温)	国外：设计壁温一般为 150~200℃ 国内：设计壁温一般为 300℃	设计温度一般为最高操作温度加 10~20℃
器壁局部过热现象	易	不易
反应器有效容积利用率 ^②	小，一般为 50%~70%	大，一般可达 80%~90%
材料选用	因壁温低，可选用耐高温氢腐蚀档次较低的材料。由于有隔热衬里层，一般实际壁温在 200℃ 以下，即使反应物料中含有 H ₂ S，对器壁的腐蚀也不大	需选用能抗高温氢腐蚀的材料，若存在 >0.02mol% 的 H ₂ S，且设计温度 >260℃ 时，一般还要考虑设置不锈钢覆盖层(采用堆焊层或复合钢板的方法)以抵抗 H ₂ S 的腐蚀
施工与维护	施工周期长，生产维护不方便	施工周期短，生产维护方便
设备制造费用	相对较低	相对较高

	冷壁结构	热壁结构
应用情况	国内：目前仍有 20 世纪 80 年代以前建造的反应器在使用 国外：现在极少使用	国内：从 20 世纪 80 年代起陆续开始使用，新设计和建造的反应器全为热壁结构。国内自行开发研制的锻焊结构热壁加氢反应器已投入使用

① 在冷壁结构中还有一种称为“瓶衬”式的冷壁结构(见图 1.1-4)。它是在反应器内壁与内衬筒之间的环形空间通入经过换热后的温度不高的氢气，以隔绝含高温氢气的介质直接与反应器器壁接触，从而达到避免使器壁遭受高温氢腐蚀的目的。

② 反应器有效容积利用率系指反应器中催化剂装入体积与反应器容积之比。

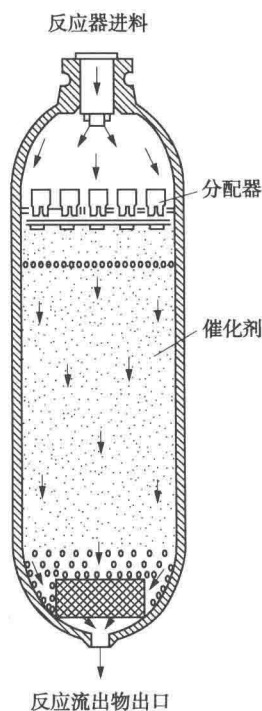


图 1.1-1 固定床
反应器结构图

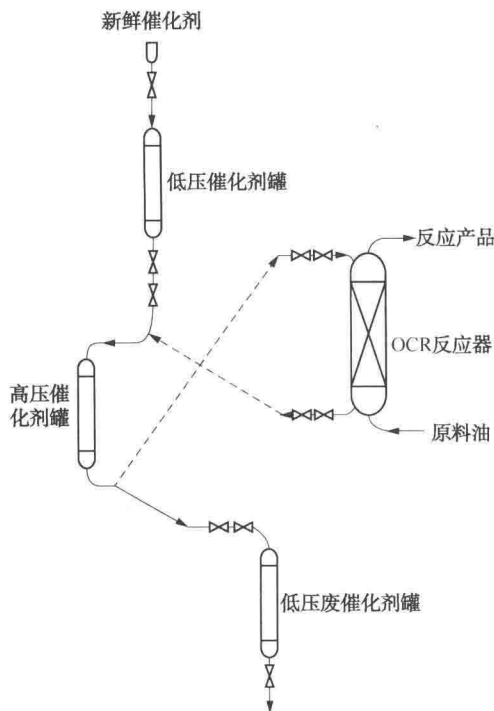


图 1.1-2 移动床反应器工艺流程图