

石油化工中等专业学校统编教材

石油化工工厂装备

雷良钊 韩唤民 编



中國石化出版社

石油化工中等专业学校统编教材

石油化工工厂装备

雷良钊 韩唤民 编

中国石化出版社

内 容 提 要

本书系中国石化总公司普通中专有机化工(石油化工)专业指导组组织编写的专业教材。全书由反应和分离两篇组成。反应篇系统阐述了釜式反应器、管式反应器、管式裂解炉、鼓泡床反应器、固定床反应器和流化床反应器的基本知识、基本特性和基本工艺计算,还介绍了滴流床反应器、移动床反应器和各类聚合反应器的结构、应用及基本特性;分离篇系在《化工原理》的基础上进一步阐述多组分精馏、特殊精馏、多组分吸收和冷冻(包括深冷)等过程和设备的基本知识、基本原理及基本工艺计算,并介绍了模拟移动床吸附分离、膜分离和超临界流体萃取等分离技术的基本原理及应用。

本书具有较强的中专特色和石化特色,图文并茂、深入浅出。其例题与习题的针对性和实用性较强。

本书可作为化工类全日制中专、职工中专有机化工(石油化工)专业和高级化工操作工培训班的教材,也可供化工工程技术人员和操作人员阅读。

图书在版编目(CIP)数据

石油化工工厂装备/雷良钊,韩唤民编. —北京:中国石化出版社,2000.12
石油化工中等专业学校统编教材
ISBN 7-80043-529-6

I. 石… II. ①雷… ②韩… III. 石油加工厂—化工设备—专业学校—教材 IV. TE96

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 79963 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)84271859

<http://press.sinopec.com.cn>

海丰印刷厂排版

北京迪鑫印刷厂印刷

新华书店北京发行所经销

*

787×109 毫米 32 开本 16 印张 3 插页 356 千字 印 2001—4000

1994 年 11 月第 1 版 2000 年 12 月第 1 版 第 2 次印刷

定价:20.00 元

前 言

本书系根据中国石化总公司人事部教育处的安排，在总公司普通中专有机化工（石油化工）专业指导组的组织下，按照1990年9月在济南审定的《石油化工工厂装备》教材编写大纲编写而成。主要作为石化系统普通中专有机化工（石油化工）专业的专业课教材，也可作为化工类全日制中专、职工中专以及高级化工操作工培训班的教材。

按照石油化工生产的普遍规律，本书分为反应和分离两大部分，共十二章。分别阐述石油化工生产中常见反应器以及典型分离过程和设备的基本知识、基本特性（原理）、基本工艺计算。本书在内容安排上注意与《化工原理》和《物理化学》等基础技术课程相衔接，并与《石油化工工艺学》和《聚合物原理及工艺学》等专业课程的内容互补。为此，在反应篇中编入了聚合反应器的内容，在分离篇中增加了冷冻一章。

本书在编写过程中力图反映教材的中专特色和石化特色。编者在选材时遵循以中专生够用为度的原则，注意既不随意拔高，又防止无原则地降低质量。按教学大纲的规定，尽可能避开深奥且不成熟的理论及繁复难懂的计算，旨在突出课程的“三基”内容。例如，设备的工艺计算着重阐明一线技术人员仍经常采用的经验法和简捷法，但是，对于数学模型法和逐板法的知识在某些章节中也作了扼要的介绍。本书还考虑到中专生的年龄特征和认识规律，反应篇采用按反

应器的外形和固体催化剂在床层中的状态来划分章节，较为形象直观。本书文字叙述力求深入浅出，并辅以大量的插图，用以增强教材的可读性，有助于学生智力的发展。鉴于中专毕业生大多从事石化装置第一线的生产、技术或管理工作，为此，对于那些在操作过程中或在技术工作中可能遇到的工艺计算项目本书均作重点处理。计算公式一般不作推导，着重讨论它的应用范围和注意事项。除第七、十二章之外，各章都编入适量的例题，并附有紧扣大纲的习题、其目的在于提高学生的心智技能，同时又能巩固和深化所学的理论知识。全书采用国际单位制。

本书与其它专业教材一样，内容有其稳定的一面，它体现在反应器基本特性和分离过程基本原理的严密性、系统性上。另一方面，随着我国石油化工事业的突飞猛进，石油化工装备在不断更新，这就要求本书能反映出我国石油化工装备的实际水平及其发展趋势，借以拓宽学生的知识面，提高中专毕业生的适应能力，同时也能增强教材的活力。为此，编者尽力收集近期石化装备资料，加工提炼后融入教材的铺叙、插图、例题和习题之中。例如，管式裂解炉一章摒弃了对濒临淘汰的箱式炉型的介绍，着力剖析从国外引进并具有代表性的几种新炉型。又如，本书增设了其它反应器和其它分离技术两章。前者介绍滴流床反应器、移动床反应器和聚合反应器的基本知识和基本特性；后者阐述模拟移动床吸附分离、膜分离和超临界流体萃取等分离技术的基本知识和基本原理，使本书与现代石油化工更贴近。此外，为了提高学生的节能意识，本书在有关章节还适当介绍了节能型设备和设备的节能途径。

鉴于各石化企业的产品种类、工艺路线和工厂装备不尽

相同，各校的学制和教学对象也不完全一样，因此，在使用本书时可根据当地的生产实际情况进行必要的调整。

本书由上海石化总厂中等专科学校雷良钊（主编）、兰州化工学校韩唤民共同编写。其中绪论、反应篇由雷良钊执笔，分离篇由韩唤民执笔。全书由北京石油化工学院郁浩然、佟泽民主审。

在编写过程中，我们自始至终得到了中国石化总公司人事部教育处、总公司普通中专有机化工（石油化工）专业指导组、中国石化出版社、北京石油化工学院和各自所在学校的领导和同志们热情指导、积极支持及真诚帮助、并承北京燕山石化公司、兰州化学工业公司、上海石化总厂、清华大学和上海石油化工专科学校等单位提供了许多资料，仅此一并表示深切的谢意。由于我们的学识和编写水平有限，书中定有疏漏和错误，恳切希望读者们批评指正。

作者

绪 论

石油化工是关系到国计民生的重要原材料工业。当前，世界科学技术日新月异，随着石油化工新品种、新工艺的不断开发，石油化工工厂装备也在不断更新。然而只要透过现象看本质，就不难发现，石油化工生产不外乎由原料预处理、化学反应和产品精制等三个过程串联而成。原料预处理和产品精制属于分离过程，通常发生物理变化，它由一些化工单元操作（如精馏、吸收、萃取等等）来完成。化学反应则是由参加反应的物质分子的原子重新组合成新分子的过程。它需要一定的反应条件并在化学反应器内实施。譬如，工业上采用苯和乙烯为原料进行烷基化反应生产乙苯时，原料苯必须先脱除水分和甲苯等杂质，这是因为水分会导致烷基化反应的催化剂（ AlCl_3 ）分解失效，而甲苯的存在将增加烷基化反应的副产物（甲基乙基苯），致使产物的精制任务加重。原料苯的上述预处理是采用精馏塔来实现的。烷基化反应的产物还必须经过沉降、精馏等分离过程除去催化剂、副产物和未反应的原料，最后才能获得纯度较高的乙苯产品。烷基化反应通常是在一个塔式反应器内进行，它要求一定的原料配比、催化剂用量等比较严格的工艺条件，并需要一定的温度条件才能实现由原料到产物的转化，得到乙苯含量约为50%的烃化液。由上例可知，化学反应过程和反应器是石油化工生产的核心，反应器的运转情况直接关系到产物的收率和质量。而分离过程通常为原料和产物分别在反应

前后所经历的步骤，其作用十分明显。一般来说，石油化工生产装置中分离设备的数量远远超过反应器的数量，其投资和操作费用也在反应器之上。因此，在石油化工生产中反应过程及反应器和分离过程及设备两者缺一不可，它们各自在不同的生产阶段中起不同的作用，并相辅相成，组合成石油化工生产装置的整体。

化学工程学是一门研究化工生产过程规律的工程学科。它的理论被广泛用于石油化工中，揭示了石油化工生产过程中流体流动、传热、传质及化学反应之间的相互关系及影响。这些规律正日益被人们所掌握，从而指导石油化工工厂装备的设计或改造，减少盲目性，缩短开发周期，提高放大倍数，使装备在技术上更趋于先进，在经济上更趋于合理，达到优质、高产、低耗和安全生产的水平。在化学反应工程方面，借助电子计算技术，反应器的设计已由单纯经验放大逐步走向数学模拟高倍放大。例如，国外丙烯氨氧化合成丙烯腈反应器的放大倍数已达1万以上，最大的乙烯装置的生产能力为73万吨/年。反应器还有一个发展趋势是结构趋向简化。例如，大型丙烯腈流化床反应器采用竖直排列的冷却管兼具挡板的作用，鼓泡塔反应器趋向于空塔操作，这种简化无论对于设计、制造，还是对于操作、控制都是比较有利的。我国从七十年代起，陆续自国外引进一批大型石油化工成套装置。通过剖析、借鉴国外先进经验，已取得不少成果，具有我国特色的万吨级南、北管式裂解炉的相继投产便是一例。在分离工程方面，仅以板式塔为例。人们对它的研究已逐渐深入到塔板上汽液两相流动的动量传递及质量传递的本质研究。随着国外发展潮流，国内塔板研究十分活跃，各种新型塔板应运而生，如导向筛板、多降液管筛板、浮阀-筛孔复合塔

板、波纹塔板、浮舌塔板、大孔筛板、网孔塔板以及角钢塔板等等。国内有关单位结合实际需要，先后自行开发了浮动喷射塔板、旋流塔板、斜孔塔板和T形排列条形浮阀塔板等新型塔板，并得到较广泛的应用。近年来，又涌现出一批新型高效塔板，如新垂直筛板、液体并流塔板等。可以预言，随着原油深度化学加工的需要，化学工程学理论必将愈来愈显示其巨大的作用。

按照中石化普通中专有机化工（石油化工）专业的现行教学计划，《石油化工工厂装备》是继《化工原理》和《物理化学》等基础技术课程之后开设的一门专业课程，在内容上它与这两门课程相衔接，并向石油化工方向延伸。本课程还与《石油化工工艺学》和《聚合物原理及工艺学》等专业课程的内容互补，分别从不同的侧面向学生传授石油化工的系统知识。根据石油化工生产普遍存在反应过程和分离过程的实际情况，本教材分别阐述了石油化工生产中常见反应器和分离设备的基本知识、基本特性及基本工艺计算方法，以便培养学生对石油化工工厂装备进行工艺核算和技术改造的初步能力。

目 录

绪 论

第一篇 反 应

第一章 釜式反应器	10
第一节 概述.....	10
一、釜式反应器的特点及工业应用.....	10
二、釜式反应器的结构.....	11
第二节 釜式反应器内的流体流动和传热.....	15
一、釜式反应器内的流体流动.....	15
二、釜式反应器的传热.....	18
第三节 理想釜式反应器的计算.....	24
一、理想间歇操作釜式反应器的计算.....	24
二、理想连续操作釜式反应器的计算.....	30
习题.....	39
第二章 管式反应器	43
第一节 概述.....	43
一、管式反应器的特点及工业应用.....	43
二、管式反应器的结构.....	44
第二节 管式反应器内的流体流动及传热.....	46
一、管式反应器内的流体流动.....	46
二、管式反应器的传热.....	50
第三节 理想管式反应器的计算.....	55

一、反应体积和反应时间的计算	55
二、反应管直径和长度的确定	57
第四节 反应器型式和操作方式的选择	62
一、生产能力的比较	63
二、反应选择性的比较	67
习题	69
第三章 管式裂解炉	72
第一节 概述	72
一、管式裂解炉的炉型及命名	73
二、管式裂解炉的结构和特点	74
第二节 燃料及燃烧计算	87
一、燃料的种类及燃料的发热值	87
二、燃烧所需空气量	90
三、烟气量及烟气焓	94
第三节 管式裂解炉的热平衡	98
一、管式裂解的热负荷	99
二、管式裂解炉的热平衡	107
第四节 反应管的简化经验计算	113
一、反应管表面热强度的分布及强化途径	113
二、反应管的排布方式和管径的选择	117
三、物料在反应管内停留时间的计算	120
习题	123
第四章 鼓泡塔反应器	128
第一节 概述	128
一、鼓泡塔反应器的特点及工业应用	129
二、鼓泡塔反应器的结构	130
第二节 鼓泡塔反应器内的流体流动	133

一、鼓泡区的工作情况	134
二、气泡的当量比表面直径和气含率	135
三、比相界面和气体压降	140
第三节 鼓泡塔反应器的传质和传热	143
一、鼓泡塔反应器的传质	143
二、鼓泡塔反应器的传热	146
第四节 鼓泡塔反应器的计算	150
一、鼓泡床层体积的计算	150
二、鼓泡塔直径和高度的确定	152
习题	155
第五章 固定床反应器	158
第一节 概述	158
一、固定床反应器的特点及工业应用	158
二、固定床反应器的结构	159
第二节 固定床反应器内的流体流动	169
一、催化剂的颗粒直径和固定床层的空隙率	169
二、气体在固定床层中的流动特性及压降	175
第三节 固定床反应器的传质	180
一、气固相催化反应的全过程	180
二、气固相催化反应过程的控制步骤	183
第四节 固定床反应器的传热	187
一、固定床层传热过程的分析与简化	187
二、固定床层对换热器壁的总给热系数	189
三、固定床反应器的轴向温度分布和参 数敏感性	190
第五节 固定床反应器的计算	194
一、物料衡算	195

二、催化剂用量的计算	198
三、反应器直径及床层高度的确定	200
四、列管式固定床反应器的校核	204
习题	208
第六章 流化床反应器	212
第一节 概述	212
一、流化床反应器的特点和工业应用	212
二、流化床反应器的结构和床型分类	215
第二节 流化床反应器内的流体流动	221
一、聚式流化床的基本现象	221
二、流化速度	227
三、流化床层的膨胀比、空隙率和床层压降	233
第三节 流化床的内部构件	236
一、气体分布板	236
二、挡板、挡网和垂直管束	244
三、气固分离装置	248
第四节 流化床反应器的传热	252
一、流化床层传热过程的分析	252
二、流化床层对内换热器壁的给热系数	253
三、流化床层的内换热器型式	259
第五节 流化床反应器的计算	260
一、反应器直径的计算	260
二、反应器高度的确定	262
习题	266
第七章 其它反应器	270
一、滴流床反应器	270
二、移动床反应器	275

三、聚合反应器	280
符 号	292
参考文献	297

第二篇 分 离

第八章 多组分精馏	303
第一节 概述	303
一、多组分精馏的特点和精馏流程方案	303
二、精馏塔的结构	308
第二节 理想多组分溶液的汽液平衡	316
一、相平衡常数	316
二、相平衡常数的应用	320
三、相对挥发度	323
第三节 多组分精馏的计算	325
一、清晰分割的物料衡算	325
二、理论塔板数的简捷法计算	331
三、实际塔板数的确定	347
四、非清晰分割的物料衡算	349
五、理论塔板数的逐板法计算	352
六、单套多组分精馏塔装置的热量衡算	355
七、精馏过程的节能	363
习题	366
第九章 特殊精馏	369
第一节 多组分非理想溶液的汽液相平衡	369
一、二组分溶液活度系数的计算	370
二、三组分溶液活度系数的计算	371

三、三组分溶液相对挥发度的计算	373
第二节 萃取精馏	376
一、萃取精馏的基本原理	377
二、萃取精馏的典型流程	379
三、萃取剂选择的条件	381
四、萃取精馏的计算	383
第三节 恒沸精馏	395
一、恒沸精馏的基本原理及恒沸剂的选择	395
二、恒沸精馏的工艺流程	397
三、萃取精馏和恒沸精馏的比较	400
习题	401
第十章 多组分吸收	403
第一节 概述	403
一、吸收的特点及工业应用	403
二、吸收塔的结构	406
第二节 多组分吸收的计算	415
一、多组分吸收的气液相平衡	416
二、多组分吸收的物料平衡	420
三、吸收因子法计算理论塔板数	421
第三节 解吸	436
一、解吸过程的必要条件	436
二、解吸方法及其应用	437
三、解吸过程的计算	438
习题	442
第十一章 冷冻	444
第一节 概述	444
一、冷冻及其工业应用	444

二、冷冻设备的结构	445
第二节 冷冻的制冷原理	452
一、等焓膨胀	452
二、等焓膨胀温度降与冷冻量的图解法计算	457
第三节 冷冻的制冷方法	462
一、基本的冷冻循环	462
二、简单的林德循环制冷	464
三、氨预冷的林德循环制冷	465
四、多级压缩制冷	466
五、复迭制冷	468
习题	470
第十二章 其它分离技术	472
第一节 模拟移动床吸附分离	472
第二节 膜分离	478
第三节 超临界流体萃取	483
符 号	488
参考文献	491

第一篇 反 应

进行化学反应的设备称为反应器，反应器是石油化工生产装置中的关键设备，没有它就不能进行工业生产。若原油作燃料用于发电的经济收益以100计，则炼制成油品的收益为140~220，加工为基本化工原料的收益为380~430，进而制成三大合成材料，其收益可高达1030~1560。由此可见，实施化学加工过程反应器的开发，具有重大的意义。

一般说来，反应器内的化学过程总是与流体流动、传热和传质等传递过程（物理因素）有着密切的联系。前者为物质转化的内因，而后者为物质转化的条件。例如，轻柴油的热裂解反应需要高温、短停留时间和低的烃分压，以提高乙烯的收率。但是，对于反应器（裂解炉）的选型、合理设计、有效放大和最佳控制必须综合考虑流体流动、传热和传质等诸多因素的影响。如果忽视这些影响因素，裂解炉就达不到工艺要求。

（一）工业生产对反应器的要求

众所周知，有机化学反应大多是可逆的，而且还伴有副反应，故必须控制反应条件，促使反应朝生成目的产物的方向进行，有利于提高反应器的生产能力并减轻分离设备的负荷，从而节省基建投资和操作费用。通常，一个设计合理的反应器应满足反应转化率高、选择性好、最终提高目的产物收率的基本要求。

参加反应的原料A的量与原料A的进料量之比称为A的转