

★ 中等职业教育化学工艺专业规划教材 ★

全国化工中等职业教育教学指导委员会审定

化学反应器

杨雷库 主编 李文原 主审



化学工业出版社

中等职业教育化学工艺专业规划教材
全国化工中等职业教育教学指导委员会审定

化学反应器

杨雷库 主编
李文原 主审

杨雷库 主编
李文原 主审

化学工业出版社
北京

化学工业出版社
北京

化学工业出版社
北京



化学工业出版社

北京

本书是根据《全国中等职业教育化学工艺专业教学标准》中的专业课程设置及教学要求而编写的。书中对化工生产中常用反应器的基本结构、工作原理、质量和能量的传递特点、简单的工艺计算、安全设施、开停车操作步骤、运行中常见的异常现象的判断和处理等做了较系统的介绍，内容包括：绪论、反应器基础知识、釜式反应器、塔式反应器、固定床反应器、流化床反应器和管式加热炉等模块，每一部分内容的编排都以任务为引导，层层递进，并设有学习目标、学习建议、仿真实操或实训练习、联系实际、自测题、单元小结等。

本书可作为中等职业学校化学工艺专业教材，也可作为中级化工总控工的实训指导书，还可作为相关专业技术人员的参考用书。

化学工艺专业 反应器

主编 杨雷库

审主 李文烈

图书在版编目 (CIP) 数据

化学反应器/杨雷库主编. —北京: 化学工业出版社, 2009. 2

中等职业教育化学工艺专业规划教材

ISBN 978-7-122-04570-6

I. 化… II. 杨… III. 反应器-专业学校-教材 IV. TQ052.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 213685 号

责任编辑: 旷英姿 窦 臻

文字编辑: 管景岩

责任校对: 洪雅妹

装帧设计: 周 遥

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装: 大厂聚鑫印刷有限责任公司

787mm×1092mm 1/16 印张 6 字数 137 千字 2009 年 3 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 12.00 元

版权所有 违者必究

中等职业教育化学工艺专业规划教材编审委员会

主 任 邬宪伟
委 员 (按姓名笔画排列)

丁志平	王小宝	王建梅	王绍良	王新庄
王黎明	开俊	毛民海	乔子荣	邬宪伟
庄铭星	刘同卷	苏勇	苏华龙	李文原
李庆宝	杨永红	杨永杰	何迎建	初玉霞
张荣	张毅	张维嘉	陈炳和	陈晓峰
陈瑞珍	金长义	周健	周玉敏	周立雪
赵少贞	侯丽新	律国辉	姚成秀	贺召平
秦建华	袁红兰	贾云甫	栾学钢	唐锡龄
曹克广	程桂花	詹镜青	潘茂椿	薛叙明

序

“十五”期间我国化学工业快速发展，化工产品和产量大幅度增长，随着生产技术的不断进步，劳动效率不断提高，产品结构不断调整，劳动密集型生产已向资本密集型和技术密集型转变。化工行业对操作工的需求发生了较大的变化。随着近年来高等教育的规模发展，中等职业教育生源情况也发生了较大的变化。因此，2006年中国化工教育协会组织开发了化学工艺专业新的教学标准。新标准借鉴了国内外职业教育课程开发成功经验，充分依靠全国化工中职教学指导委员会和行业协会所属企业确定教学标准的内容，注重国情、行情与地情和中职学生的认知规律。在全国各职业院校的努力下，经反复研究论证，于2007年8月正式出版化学工艺专业教学标准——《全国中等职业教育化学工艺专业教学标准》。

在此基础上，为进一步推进全国化工中等职业教育化学工艺专业的教学改革，于2007年8月正式启动教材建设工作。根据化学工艺专业的教学标准以核心加模块的形式，将煤化工、石油炼制、精细化工、基本有机化工、无机化工、化学肥料等作为选用模块的特点，确定选择其中的十九门核心和关键课程进行教材编写招标，有关职业院校对此表示了热情关注。

本次教材编写按照化学工艺专业教学标准，内容体现行业发展特征，结构体现任务引领特点，组织体现做学一体特色。从学生的兴趣和行业的需求出发安排知识和技能点，体现出先感性认识后理性归纳、先简单后复杂，循序渐进、螺旋上升的特点，任务（项目）选题案例化、实战化和模块化，校企结合，充分利用实习、实训基地，通过唤起学生已有的经验，并发展新的经验，善于让教学最大限度地接近实际职业的经验情境或行动情境，追求最佳的教学效果。

新一轮化学工艺专业的教材编写工作得到许多行业专家、高等职业院校的领导和教育专家的指导，特别是一些教材的主审和审定专家均来自职业技术学院，在此对专业改革给予热情帮助的所有人士表示衷心的感谢！我们所做的仅仅是一些探索和创新，但还存在诸多不妥之处，有待商榷，我们期待各界专家提出宝贵意见！

邬宪伟
2008年5月

前言

本书是根据中国化工教育协会审定并通过的《全国中等职业教育化学工艺专业教学标准》，由全国化工中职教育教学指导委员会组织编写的。

该教材努力贯彻化工中职教育教学改革的精神，遵照中职学校的培养目标，体现模块化教学的要求，突出化学反应器实操技能的培养，淡化抽象理论的讲解；内容编排采取归纳法：从实践到理论、从感性到理性，内容结构以任务为中心，任务引领知识。该教材共讲述了常见的五类反应器，每类反应器自成一单元，每单元包括“学习目标”、“学习建议”、“任务”、“理论提升”、“能力拓展”、“联系实际”、“自测题”、“单元小结”等部分。“学习目标”分为“熟悉”、“掌握”和“了解”三个层次，提出每个单元的学习具体要求；“学习建议”提供了每个单元学习的方式方法和教学硬件、软件设施的配备清单；“任务”分为认识反应器和操作反应器两方面，是中职学习的最终目的；“理论提升”以感性认识为基础，讲述每类反应器的有关传递理论；“能力拓展”主要介绍每类反应器的工艺计算，作为未来职业生涯发展的铺垫；“联系实际”启发学以致用，理论与实践相结合；“自测题”检测每个单元学习的结果，寻找差距与不足，以便改进；“单元小结”是对每个单元内容的总结与梳理，以便记忆。

本书共分六个单元。单元1：反应器基础知识；单元2：釜式反应器；单元3：塔式反应器；单元4：固定床反应器；单元5：流化床反应器；单元6：管式加热炉。

本书由陕西省石油化工学校杨雷库主编，上海信息技术学校李文原主审，参加审稿会的还有西北工业学校赵建军、北京东方仿真公司赵婧萍和韩国，另外，陕西省石油化工学校的闵鹏、杜昕芳和梁红莉老师对书稿修改也提出了宝贵意见。本教材在编写过程中得到中国化工教育协会、全国中职教育教学指导委员会、化学工业出版社、北京东方仿真公司及陕西省石油化工学校领导和同行们的大力支持和帮助，在此一并表示感谢。

由于编者水平所限，不妥之处在所难免，敬请读者和同行们批评指正，不吝赐教。

编者

2008年10月

目 录

绪论	1
单元 1 反应器基础知识	2
任务 1 认识反应器	2
知识点 1: 什么是反应器	2
知识点 2: 反应器在化工生产中的重要性	3
知识点 3: 化工生产对反应器的要求	3
知识点 4: 反应器的类型与结构	3
知识点 5: 反应器系统的公用工程	6
知识点 6: 反应器系统的安全设施	7
知识点 7: 反应器系统的操作内容	9
知识点 8: 理想反应器和非理想反应器	11
能力拓展: 反应器的计算	12
自测题	14
单元小结	14
单元 2 釜式反应器	15
任务 1 认识釜式反应器	15
知识点 1: 什么是釜式反应器	15
知识点 2: 釜式反应器由哪些部分构成	15
知识点 3: 釜式反应器有哪些优缺点	19
知识点 4: 釜式反应器的安全保护装置	19
知识点 5: 釜式反应器的日常维护要点	19
知识点 6: 釜式反应器的操作要点	20
任务 2 间歇釜式反应器仿真操作	21
理论提升 1: 釜式反应器的工作原理	21
理论提升 2: 釜式反应器内的传递特点	22
能力拓展: 怎样计算釜式反应器	23
自测题	26
单元小结	27
单元 3 塔式反应器	28
任务 1 认识塔式反应器	28
知识点 1: 什么是塔式反应器	28
知识点 2: 塔式反应器由哪些部分构成	29
知识点 3: 鼓泡塔式反应器有哪些优缺点	33

知识点 4: 塔式反应器的安全保护装置	33
知识点 5: 鼓泡塔式反应器的日常维护要点	33
知识点 6: 鼓泡塔式反应器的操作要点	33
任务 2 鼓泡塔式反应器仿真操作	34
理论提升 1: 鼓泡塔式反应器的工作原理	36
理论提升 2: 鼓泡塔式反应器内的传递特点	36
能力拓展: 怎样计算鼓泡塔式反应器	39
自测题	42
单元小结	42
单元 4 固定床反应器	43
任务 1 认识固定床反应器	43
知识点 1: 什么是固定床反应器	43
知识点 2: 固定床催化反应器由哪些部分构成	44
知识点 3: 固定床催化反应器有哪些优缺点	46
知识点 4: 固定床催化反应器的安全保护装置	47
知识点 5: 固定床催化反应器的日常维护要点	47
知识点 6: 固定床催化反应器的操作要点	47
任务 2 固定床催化反应器的仿真操作	48
理论提升 1: 固定床催化反应器的工作原理	49
理论提升 2: 固定床催化反应器内的传递特点	51
能力拓展: 怎样计算固定床催化反应器	54
自测题	57
单元小结	57
单元 5 流化床反应器	58
任务 1 认识流化床反应器	58
知识点 1: 什么是流化床反应器	58
知识点 2: 气固流化床反应器由哪些部分构成	59
知识点 3: 气固流化床反应器有哪些优缺点	61
知识点 4: 气固流化床反应器的安全保护装置	63
知识点 5: 气固流化床反应器的日常维护要点	63
知识点 6: 气固流化床反应器的操作要点	63
任务 2 气固流化床反应器仿真操作	64
理论提升 1: 流化床反应器的工作原理	64
理论提升 2: 气固流化床反应器内的传递特点	69
能力拓展: 怎样计算流化床反应器	72
自测题	76
单元小结	77
单元 6 管式加热炉	78

任务1 认识管式加热炉	78
知识点1: 什么是管式加热炉	78
知识点2: 管式加热炉由哪些部分构成	78
知识点3: 管式加热炉的安全保护装置	83
知识点4: 管式加热炉的日常维护要点	83
知识点5: 管式加热炉的操作要点	83
任务2 管式加热炉的仿真操作	83
理论提升: 管式加热炉的工作原理	84
自测题	84
单元小结	85
参考文献	86

在教师指导下, 学生通过自主学习和小组合作的方式进行。为了支持这学习本课程, 又考虑到学生的操作经验, 除实验室设施外, 还应借助于下列设施, 反应器的设备图、反应器操作流程图、反应器仿真素材图片、反应器操作仿真软件等, 这样才能使学习本课程时不致感到枯燥, 做到学中做, 先培养感性认识, 再上升到理性认识, 理论最终回到实践, 提高学习效果。

教材的方法和要求

本课程的内容既抽象又具体, 因此建议对于每类反应器单元的学习, 应采取“从实践到理论”螺旋式上升的方法。“从实践到理论”指学习者首先通过观察实物、工业装置或仿真软件等培养感性认识, 并对实际现象进行思考, 从而上升到理性认识, 并作出推理; “再到实践”指在教师指导下, 通过观察实物、工业装置或仿真软件等的操作验证理论, 从而加深对理论的理解。

本课程在每章中给出自测题, 以巩固与检测学习效果。本课程的学习, 应使学生掌握基本原理, 包括物料的流程、反应器操作、安全生产, 了解反应器异常现象及处理等方面; 了解反应器操作的方法, 包括操作流程图等。

绪论

1. 本教材的内容

化工生产过程是对原料进行物理和化学加工,以获得化工产品的过程,包括传热、传质、动量传递和反应四种基本过程,其中反应过程是核心,其他过程根据反应过程的需要而设置。化学反应器,简称反应器,是用于进行化学反应的设备,是化工装置的重要设备之一,其设计制造是否合理、运行是否可靠、操作是否规范等直接影响化工生产过程,最终影响化工产品的质量和生产的经济性。

不同的化工生产过程,对于原料进行加工时所发生的化学反应类型不同,因而所采用的反应器类型也应不同。化学反应器种类繁多,分类方法多样,常见的是按照外形及内部反应混合物的接触方式分为釜式、塔式、固定床和流化床反应器等,本教材内容即按此编排。对于每一类反应器,本教材从其结构、工作原理、反应过程特点、安全设置、操作维护要点和基本计算等方面做了阐述,宗旨是淡化抽象的理论讲解,突出实用的操作技能培养,其中操作维护要点又包括开车、正常运转、停车、异常现象及处理等方面,并配有相关反应器操作的仿真练习,使学习者达到知结构、懂原理、保安全、会操作。

本教材在内容编排上突破以往同类教材的体例,采用单元式结构,内容以任务为引领,次序紧扣认识规律,从感性到理性,再从理论回到实际,指导实践。每一单元自成一体,便于教学和学习。

2. 学习本教材应具备的设施

反应器是用来进行化学反应的设备,是有形而又具体的,为了更好地学习本课程,又考虑到初学者缺少实际工作经验,除常规设施外,还应借助于下列设施:反应器的设备图、反应器实训装置、反应器仿真素材图片、反应器操作仿真软件等,这样才能使学习本课程时不会感到抽象,在做中学、学中做,先培养感性认识,再上升到理性认识,理论最终回到实践,取得事半功倍的学习效果。

3. 学习本教材的方法和要求

该教材所涉及的内容既抽象又具体,因此建议对于每类反应器单元的学习,应采取“从实践到理论,再到实践”螺旋式上升的方法。“从实践到理论”指学习者首先通过观察和教师演示相关实训装置、工业装置或仿真软件等培养感性认识,并对实际现象总结归纳,然后带着问题到课堂听课,以达到理性认识,并作出推理;“再到实践”指带着课堂的理性认识和推理回到实践,通过实训装置、工业装置或仿真软件等的操作验证理性认识和推理,并指导实践,更好地操作。

每类反应器模块后,都给出自测题,以巩固与检测学习效果。对每一种反应器的学习,力求达到:熟悉结构类型;看懂基本原理,包括物料的流动、传质、传热等;会保安全;掌握操作要点,包括开车、停车、异常现象及处理等方面;了解该反应器计算方法,包括体积、直径、高度和附件的选择等。

单元 1 反应器基础知识

【学习目标】

熟悉反应器的基础知识；掌握理想反应器的特点；熟悉反应系统的公用工程和安全保护设施；了解反应器计算的一般方法。

【学习建议】

通过阅读设备图、参观实训装置、观看仿真素材图片，培养对工业生产常用反应器的感性认识；以感性认识为基础，掌握有关反应器的基础知识；作为拓展能力，了解反应器的计算方法。

任务 认识反应器

资料：典型反应器的设备图、实训装置和仿真操作软件。

要求：熟悉反应器的外形和制作材料；

熟悉反应器的分类；

熟悉反应器的安全保护装置；

了解反应器在化工生产中的重要性；

了解釜式反应系统的公用工程；

了解反应器的操作内容。

知识点 1：什么是反应器

什么是反应器？实验室用高锰酸钾制备氧气的装置如图 1-1 所示。

在实验室，用高锰酸钾制备氧气时，首先固定并连接好装置，经检验气密性合格后，将高锰酸钾加到试管内，塞好带有导管的塞子，然后用酒精灯加热到达一定温度，试管内开始有氧气产生，化学反应为： $2\text{KMnO}_4 \xrightarrow{\quad} \text{K}_2\text{MnO}_4 + \text{MnO}_2 + \text{O}_2 \uparrow$ 。该过程中，试管为化

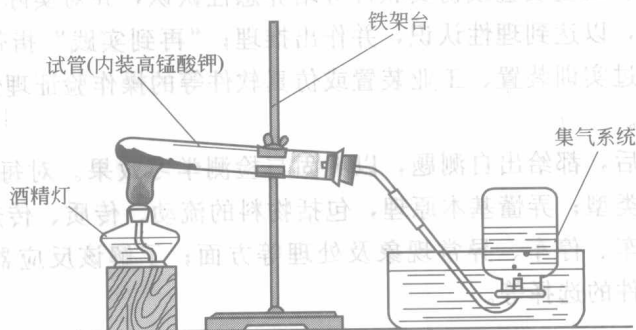


图 1-1 高锰酸钾制备氧气装置示意图

学反应提供场所，化学反应在试管内进行，该试管即为化学反应器。除试管外，实验室还用烧杯、烧瓶等进行化学反应，这些烧杯和烧瓶都是化学反应器。化工生产中，化学反应在什么地方进行呢？

在化工生产中，由于反应一般在高温高压条件下进行，而且反应物料体积大等，化学反应一般在钢制容器中进行，如图 1-2 所示，这些钢制容器也称为化学反应器。

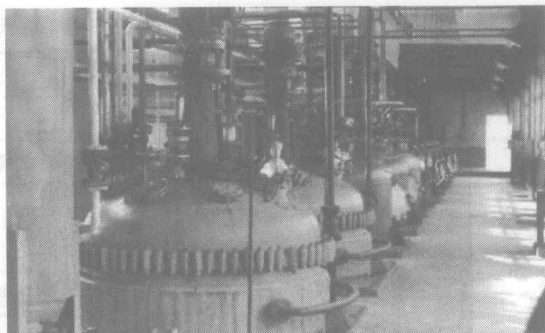


图 1-2 某化工生产反应器实物图

什么叫反应器？

用于进行化学反应的设备称为化学反应器，简称反应器。通常，实验室所用的反应器结构简单，体积小，内部反应过程单一，且一般用玻璃制成，而化工生产所用的反应器结构复杂，体积大，内部反应过程伴有传质、传热和物质流动过程，且一般用不同种类的钢材制成。以后在没有特别指明的情况下，一般所说的反应器特指化工生产中所用的反应器，有时为了区别，也称其为工业反应器。

知识点 2：反应器在化工生产中的重要性

反应器在化工生产中有哪些重要性？

氨的合成反应式： $\text{N}_2 + 3\text{H}_2 \rightleftharpoons 2\text{NH}_3$ ，条件为高温、高压、一定的反应物配比，而且有催化剂存在，当化工厂用 N_2 和 H_2 为原料生产 NH_3 时，首先按反应条件的要求配比原料气，再加热、加压，然后才能在催化剂作用下反应，最后还要把产物与未反应物和杂质产物分离开，才得到 NH_3 。

可见，化工生产过程由一系列基本过程组成：传质、传热、动量传递和反应，其中反应是化工生产过程的核心，其他过程则为反应过程服务，围绕反应过程的需要而设置；对于反应过程，反应器性能的优劣直接影响整个化工生产过程原材料的消耗、产品的产量和能耗等，最终影响化工生产过程的经济性和环保性。

知识点 3：化工生产对反应器的要求

是否任意一个容器都可以作为反应器？

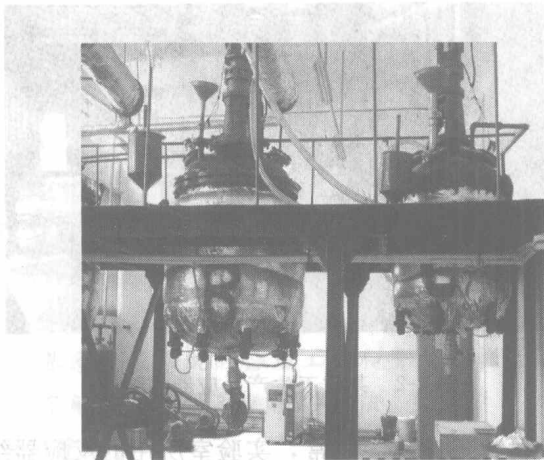
为了使化工生产过程尽可能达到“优质、高产、低耗、安全、环保”的目标，要求反应器：具有足够的体积，以满足生产能力要求；具有良好的传质条件，便于控制反应物料的浓度，以利于生成更多的目的产物；具有良好的传热条件，利于移出或供给反应热，以便于控制反应温度；具有良好的机械强度和耐腐蚀性，以满足和适应反应介质的要求；具有可靠的操作方式，以适应生产要求；合理的结构，便于操作、制造、安装、维修。

知识点 4：反应器的类型与结构

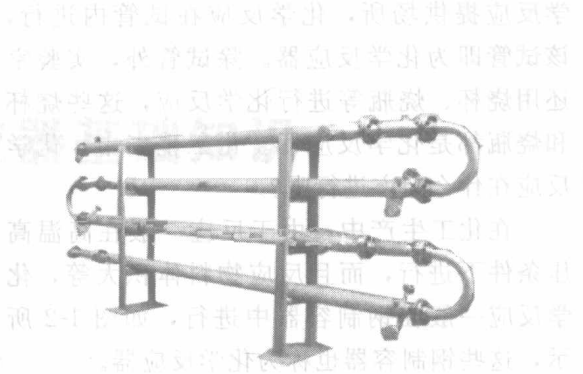
图 1-3 列举了化工厂中常见的反应器形式：釜式、管式、塔式、固定床和流化床式，为什么反应器有不同的形式？

化工生产过程用到的化学反应很多，而且条件差异大、物质聚集状态差别大，要达反应器的要求，不同的反应类型应采用不同的反应器。反应器如何分类？

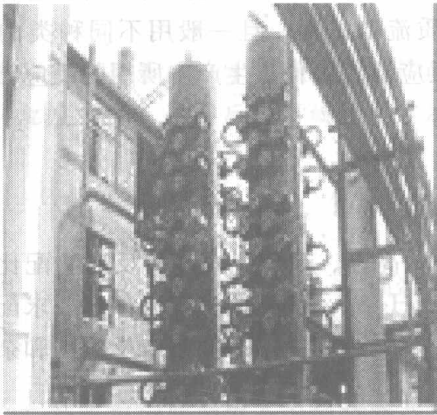
反应器的分类方法多种，依据不同，分类结果不同。



(a) 釜式反应器(乙酸乙酯合成)



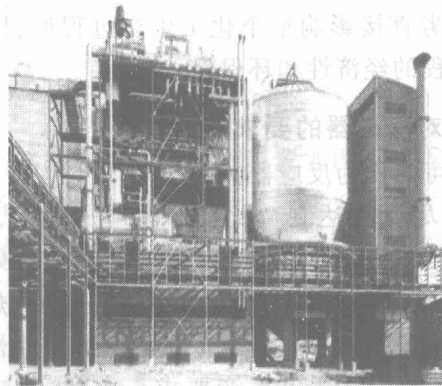
(b) 管式反应器(乙烯高压聚合)



(c) 塔式反应器(氨水碳化)



(d) 固定床反应器(一氧化碳变换炉)



(e) 流化床反应器(硫铁矿焙烧)

图 1-3 常见反应器实物图片

1. 按结构外形

如图 1-3 所示,反应器的结构外形可分为釜式、管式、塔式、固定床和流化床反应器等,结构特点见表 1-1。

釜式反应器也称槽式反应器,外形呈圆柱状,高(高度 H) 径(直径 D) 比一般较小, $H/D < 3$,其内部一般装有搅拌器,以使物料混合均匀,可用于有液相参加的反应,例如乙

表 1-1 反应器按外形结构特点分类表

反应器种类	形 状 特 点	应 用 举 例
釜式	圆柱状、高径比较小($H/D < 3$)、内有搅拌器	乙醇和乙酸合成乙酸乙酯反应
管式	圆形空管、高(长)径比很大($H/D > 30$)、带有管件	乙烷的热裂解反应
塔式	圆柱状、高径比 $3 < H/D < 30$ 、内有塔件	氨水碳化反应
固定床	圆柱状、内有流体分布装置和固体支撑装置	氨的合成反应
流化床	圆柱状或圆锥状、内有流体分布装置和固体回收装置	硫铁矿的焙烧反应

酸乙酯的合成反应；管式反应器，由圆形空管构成，并带有管件，高径比（或长径比）一般很大， $H/D > 30$ ，大多用于气均相反应，例如乙烷的热裂解反应；塔式反应器，外形呈圆柱状，高径比介于釜式和管式反应器之间，内部有各种塔件，常用于气液相反应，例如氨水碳化反应；固定床和流化床反应器，外形呈圆柱体（流化床反应器也可是圆锥状），高径比变化范围大，内部一般设有流体分布装置和固体支撑装置或固体回收装置，主要用于气固相反应，尤其是气固相催化反应，例如氨的合成反应、硫铁矿的焙烧等。

2. 按反应混合物聚集状态

按反应物质的聚集状态，反应器分为均相和非均相反应器两类，见表 1-2。

表 1-2 反应器按物料聚集状态分类表

反应器种类		应用举例	特点	外形
均相	气相	燃烧反应	无相界面，反应速率只与浓度、温度有关	管式
	液相	酯化反应		釜式、管式
非均相	气液相	化学吸收	有相界面，反应速率除与浓度、温度有关外，还与相界面大小及相间传质速率有关	釜式、塔式
	液液相	磺化、硝化、烷基化等		釜式、塔式
	气固相	氨的合成反应		固定床、流化床
	液固相	还原、离子交换等		釜式、塔式
	气液固相	加氢裂解、加氢脱硫等		釜式、固定床、流化床

在均相反应器内，反应混合物均匀地混合为单一的气相或液相，不存在相界面和相际间的传质，反应速率只与浓度、温度有关。根据反应混合物的相态不同，均相反应器又分为气相反应器和液相反应器。例如氯碱工业中，氢气在氯气中燃烧生成氯化氢的反应采用气相反应器；精细化工中，乙酸和乙醇在液态催化剂作用下合成乙酸乙酯的反应采用液相反应器。非均相反应器内，反应混合物处于不同的相态之中，存在相界面和相际间的传质，反应速率除与浓度、温度有关外，还与相界面大小及相间传质速率有关。根据反应混合物所包含的相态的类别不同，非均相反应器又分为气液反应器、气固反应器、液液反应器、液固反应器和气液固反应器等，其中气液反应器和气固反应器较常用。例如硫酸工业中，采用气液反应器进行水吸收三氧化硫生产硫酸的反应；采用气固反应器进行煤的气化、氨的合成等。

3. 按操作方式

按操作方式，反应器可分为间歇式、连续式和半间歇式三类，见表 1-3。

间歇式操作反应器一次加料，反应达到要求后，一次卸料，其特点为反应过程中，反应物的浓度逐渐减小和产物的浓度逐渐增大，由于存在加料、卸料和清洗等非生产时间，反应器生产效率不高，适合于反应时间长、小批量和多品种的生产场合，例如精细化学品的生

表 1-3 反应器按操作方式分类表

种类	操作方式特点	适用场合	举 例
间歇式	一次加入反应物、一次卸出产物	反应时间长、少批量、多产品品种	精细合成
连续式	反应物连续加入、产物连续卸出	工艺成熟、大批量、反应时间短	基本化学品合成
半间歇式	反应物和产物的一部分连续加入或卸出 连续	反应时间长、产物浓度要求较高	氨水吸收二氧化碳生产碳酸 氢铵

产；连续式操作反应器连续加入反应物，连续采出产物，其特点为反应过程中，反应物和产物的浓度不随时间变化，反应器生产效率高，产品质量稳定，适于大规模生产，例如基础化学品的生产；半间歇式操作（也称半连续操作）反应器介于间歇式、连续式操作反应器之间，反应物、产物的一部分一次加入或卸出，而剩余部分连续加入或连续卸出，适应于反应时间较长、产物浓度要求高的场合，例如氨水吸收二氧化碳生产碳酸氢铵过程。

4. 按温度条件和传热方式

按温度条件，反应器可分为等温和非等温两种，等温反应器内各处温度均匀相等，而非等温反应器则相反。

按是否换热及换热方式，反应器可分为绝热式、外热式和自热式三种，见表 1-4。

表 1-4 反应器按操作方式分类表

种 类	特 点	适 用 场 合
绝热式	反应过程不换热	热效应小、反应允许一定的温度变化
换热式	外热式 反应过程同时换热, 换热介质来自反应体系外	热效应大、反应要求温度变化小
	自热式 反应过程同时换热, 换热介质来自反应体系	热效应适中、反应要求温度变化小

绝热式反应器在反应过程中不进行换热，反应放出的热被反应体系自身吸收而温度升高，或反应吸收的热来自于反应体系而温度降低；外热式反应器在反应过程中反应物料进行换热，换热介质来自于反应体系之外；自热式反应器在反应过程中也进行换热，换热介质为反应前的低温反应原料。

知识点 5：反应器系统的公用工程

化工生产过程除需要原料外，还需要辅助材料：水、电、气等，反应体系亦不例外。公用工程是指化工厂的供电、供水、供热、供冷和供气等设施以及其他辅助设施，其设计和配置是否合理直接关系到化工运行和操作的安全，也关系到化工操作人员的健康和

1. 供电

化工生产用电最高为 6kV，安全电压 12V 或 36 V，而输电网送入的为高压电，经变压降压后才能使用。电为化工过程提供热能、机械能和光能，电气设施在化工生产中起着重要的作用。为保证安全生产，对特殊的不能停电的生产过程应配有备用电源，由于化工生产本身所固有的易燃、易爆、易腐蚀等危险性以及高温或深冷、高压或真空等苛刻的操作条件，因此要求所有电气设施都应该配有最低安全限度的防爆和防静电设施，所有建筑物、高大设备应配有避雷设施。

2. 供水

化工生产过程的用水包括工艺水和非工艺水两类。工艺水又包括原料用水和产品处理用

水, 由于与产品直接接触, 对其质量要求较高, 有明确的浑浊度、总硬度、铁离子和氯离子含量等水质指标规定, 一般需将原水经过滤、软化、离子交换和脱盐等处理工序才能满足要求; 非工艺水一般用作冷却剂, 为了节约用水, 尽可能使用循环冷却水, 即换热温度升高, 再经凉水塔冷却后重新使用, 为防止结垢、沉渣、腐蚀管道等, 对非工艺水的硬度、酸碱度与铁离子、氯离子、硫酸根离子和悬浮物含量等有一定要求。

3. 供热

化工生产中的某些反应过程, 蒸发、蒸馏、干燥和物料预热等一般都需要消耗热能, 热能的供给一般是先用一次能源加热载热体, 然后通过载热体传递。载热体的选择应视加热温度要求和加热方法不同而定, 化工生产最常用的载热体是饱和水蒸气, 具有使用方便、加热均匀、快速和易控制等优点。其中, 中压蒸汽 (4MPa) 用于 200~250℃ 范围内物料的加热, 低压蒸汽 (1MPa) 用于 200℃ 以下物料的加热。其他载热体, 如联苯 (26.5%) 和联苯醚 (73.5%) 的混合物用于 160~370℃ 范围内物料的加热, 熔盐混合物 (NaNO₂ 40%、KNO₃ 53%、NaNO₃ 7%) 用于 350~500℃ 范围内物料的加热, 烟道气用于 500~700℃ 范围内物料的加热等。

4. 供冷

为了将物料的温度降到低于大自然环境温度, 需要消耗冷量, 一般首先制冷, 然后通过载冷体传递冷量。载冷体的选择应视温度要求不同而定, 化工生产常用的载冷体有四种: 低温水用于常温以下 5℃ 以上物料的冷冻; NaCl 水溶液用于 0~-15℃ 范围内物料的冷冻; CaCl₂ 水溶液用于 0~-45℃ 范围内物料的冷冻; 乙醇、乙二醇、丙醇和氟里昂等用于更低温度物料的冷冻。

5. 供气

化工生产中需要空气和氮气。空气分为工艺空气和非工艺空气。工艺空气一般用作氧化剂, 用前先通过除尘和精制等除去其中杂质, 指标达到要求后才能使用; 非工艺空气一般用作管道和设备的吹扫介质、冷却剂及仪表动力源, 用途不同, 要求不同, 当用作管道和设备的吹扫介质、冷却剂时, 要求机械杂质含量低; 当用作仪表动力源时, 要求机械杂质和酸性组分含量低, 压力恒定。氮气通过空分得到, 一般用作设备和管道的置换、保压和保护气等, 要求纯度高。

知识点 6: 反应器系统的安全设施

化工生产的特点为高温、高压、易燃、易爆、腐蚀性强等, 为保证安全生产, 除精心操作外, 反应系统还配置了安全设施, 以减少或排除事故隐患, 常见的安全设施如下。

1. 事故槽

如图 1-4 所示, 事故槽是为了避免更大事故发生而设置在反应器下方的带有冷却和稀释功能的反应物料贮槽。

当反应器温度急剧上升而失控时, 或正当反应物料升温, 却突遇停电、停水时, 可迅速打开反应器底阀, 将物料排放至事故槽, 并进行冷却或稀释, 以终止或减弱反应进行, 防止更大事故发生。

2. 安全阀和爆破片

安全阀是一种特殊的阀门, 能通过自动开启排放气体, 以降低反应器或其他容器压力的安全装置, 分为杠杆式、弹簧式和脉冲式三种。图 1-5 所示是最常用的弹簧式安全阀。

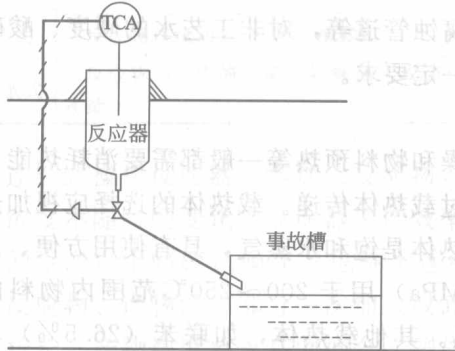


图 1-4 事故槽示意图

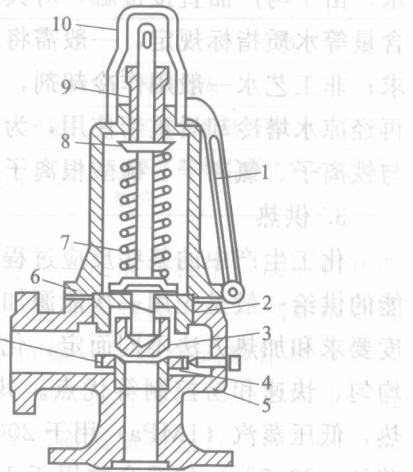


图 1-5 弹簧式安全阀结构示意图

- 1—手柄；2—阀盖；3—阀瓣；4—阀座；5—阀体；
- 6—阀杆；7—弹簧；8—弹簧压盖；9—调节螺母；
- 10—阀帽；11—调节环

安全阀的入口通过接管与反应器连接，出口一般连到放空管线，当反应器超过设定压力时，自动开启，使气体卸出放空，当压力达到正常值后，自动关闭，以防超压爆炸等更大事故发生。

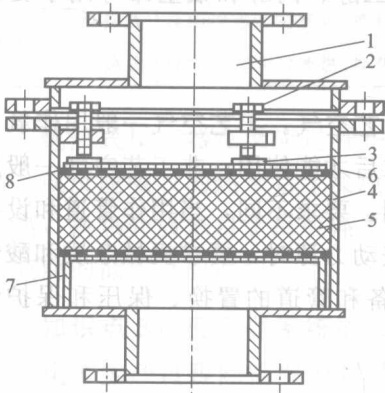


图 1-6 填料式阻火器结构示意图

- 1—接口管；2—压紧螺钉；3—垫板；
- 4—筒体；5—填料；6—隔板；
- 7—支撑环；8—金属网

爆破片是一种断裂性的安全卸压装置，密封性好，卸压快。除反应器外，日常生活中的高压锅也常常使用爆破片。爆破片通过接管与反应器连接，当反应器超过设定达到爆破压力时，爆破片立即破裂，使反应物料泄出，直至达到常压，事故排除后，需重新更换爆破片，重新安装。

3. 阻火器和安全水封

阻火器是设置在与反应器相连的可燃性物料的管路上，阻止火种进入反应器，防止火灾爆炸的一种安全设施。主要类型有填料式、缝隙式、筛网式和金属陶瓷式四种，最常见的填料式阻火器，结构如图 1-6 所示，填料多为砾石和刚玉、玻璃及陶瓷小球、小环等。

安全水封，也称安全液封或水封，是一种利用液体的静压来封闭气体的装置。安全水封在生产中应用很广，如在贮气柜或气体洗涤塔下面设置安全水封，防止气体泄

漏、倒流，在压力设备上设置安全水封以防超压，或防止气体倒流，起止逆作用。对于反应器系统，安全水封用于阻止火焰蔓延而进入到反应器，分为敞口式和密闭式两种，如图 1-7、图 1-8 所示。

4. 报警-连锁装置

报警-连锁装置是一种避免危险事故发生的自动安全设施，当某些工艺参数超过设定时，例如，当反应温度过高或原料配比失当时，报警-连锁装置则随即发出声光电信号报警，提示操作人员采取相应操作措施，并同时发出控制信息，使一些有关装置自动停车，而使另一