

303

760A6-43

面向 21 世纪课程教材

化工安全工程概论

许 文 编

化学工业出版社

教材出版中心

· 北 京 ·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

化工安全工程概论/许文编. —北京: 化学工业出版社, 2002.7

面向 21 世纪课程教材

ISBN 7-5025-3643-4

I. 化… II. 许… III. 化学工业-安全工程-高等学校-教材 IV. TQ086

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 039967 号

面向 21 世纪课程教材

化工安全工程概论

许文编

责任编辑: 骆文敏

责任校对: 陶燕华

封面设计: 蒋艳君

*

化学工业出版社
出版发行
教材出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京市燕山印刷厂印刷

三河市东柳装订厂装订

开本 787×960 毫米 1/16 印张 20½ 字数 377 千字

2002 年 7 月第 1 版 2002 年 7 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-3643-4/G · 984

定 价: 30.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

序

《化工类专业人才培养方案及教学内容体系改革的研究与实践》为教育部(原国家教委)《高等教育面向 21 世纪教学内容和课程体系改革计划》的 03-31 项目,于 1996 年 6 月立项进行。本项目牵头单位为天津大学,主持单位为华东理工大学、浙江大学、北京化工大学,参加单位为大连理工大学、四川大学、华南理工大学。

项目组以邓小平同志提出的“教育要面向现代化,面向世界,面向未来”为指针,认真学习国家关于教育工作的各项方针、政策,在广泛调查研究的基础上,分析了国内外化工高等教育的现状、存在问题和未来发展。四年多来项目组共召开了由 7 校化工学院、系领导亲自参加的 10 次全体会议进行交流,形成了一个化工专业教育改革的总体方案,主要包括:

——制定《高等教育面向 21 世纪“化学工程与工艺”专业人才培养方案》;

——组织编写高等教育面向 21 世纪化工专业课与选修课系列教材;

——建设化工专业实验、设计、实习样板基地;

——开发与使用现代化教学手段。

《高等教育面向 21 世纪“化学工程与工艺”专业人才培养方案》从转变传统教育思想出发,拓宽专业范围,包括了过去的各类化工专业,以培养学生的素质、知识与能力为目标,重组课程体系,在加强基础理论与实践环节的同时,增加人文社科课和选修课的比例,适当削减专业课份量,并强调采取启发性教学与使用现代化教学手段,因而可以较大幅度地减少授课时数,以增加学生自学与自由探讨的时间,这就有利于逐步树立学生勇于思考与走向创新的精神。项目组所在各校对培养方案进行了初步试行与教学试点,结果表明是可行的,并收到了良好效果。

化学工程与工艺专业教育改革总体方案的另一主要内容是组织编写高等教育面向 21 世纪课程教材。高质量的教材是培养高素质人才的重要基础。项目组要求教材作者以教改精神为指导,力求新教材从认识规律出发,阐述本课程的基本理论与应用及其现代进展,并采用现代化教学手段,做到新体系、厚基础、重实践、易自学、引思考。每门教材采取自由申请及择优选定的原则。项目组拟定了比较严格的项目申请书,包括对本门课程目前国内外教材的评述、拟编写教材的特点、配套的现代化教学手段(例如提供教师在

课堂上使用的多媒体教学软件,附于教材的辅助学生自学用的光盘等)、教材编写大纲以及交稿日期。申请书在项目组各校评审,经项目组会议择优选取立项,并适时对样章在各校同行中进行评议。全书编写完成后,经专家审定是否符合高等教育面向 21 世纪课程教材的要求。项目组、教学指导委员会、出版社签署意见后,报教育部审批批准方可正式出版。

项目组按此程序组织编写了一套化学工程与工艺专业高等教育面向 21 世纪课程教材,共计 25 种,将陆续推荐出版,其中包括专业课教材、选修课教材、实验课教材、设计课教材以及计算机仿真实验与仿真学习教材等。本教材是其中的一种。

按教育部要求,本套教材在内容和体系上体现创新精神、注重拓宽基础、强调能力培养,力求适应高等教育面向 21 世纪人才培养的需要,但由于受到我们目前对教学改革的研究深度和认识水平所限,仍然会有不妥之处,尚请广大读者予以指正。

化学工程与工艺专业的教学改革是一项长期的任务,本项目的全部工作仅仅是一个开端。作为项目组的总负责人,我衷心地对多年来给予本项目大力支持的各校和为本项目贡献力量的人们表示最诚挚的敬意!

中国科学院院士、天津大学教授

余国琮

2000 年 4 月于天津

前 言

20 世纪 60 年代以来，随着石油化工的发展和化工装置大型化的进程，化工安全逐渐成为全球性的课题而引起广泛注意，安全与生产之间的密切关系越来越被人们所认识。世界许多大学都设置了安全课程，如美国就有一百多所大学开设了安全课程。而我国仅几所院校开设安全课，我国化工高等教育在这方面大大滞后于发达国家。因而有必要加紧教材建设，迎头赶上世界水平。同时，我国化学工业事故频繁发生，提高学生的安全意识，增长学生的安全知识，为其在校实习及今后的工作中能重视安全生产，改变我国安全生产的被动局面打下良好的基础。

化工安全属工业安全卫生学范畴，其地位和作用是由化工本身的特点决定的。在化工产品的开发和生产中，从原料、中间体到成品，大都具有易燃、易爆、有毒、有害等危险性；化工工艺过程复杂多样化，高温、高压、深冷等不安全因素很多。近年来，随着世界高新技术的发展，开发专用产品、高增值产品和具有先进功能的产品，用高新技术改造传统化工，不断提出化工安全的一些新问题。化工事故案例史表明，对加工的化学物质性质及有关的物理化学原理不甚了解，忽视过程和操作的安全，违章操作，是酿成化工事故的主要原因。据有关资料介绍，在各类工业爆炸事故中，化工爆炸占 32.4%，所占比例最大；事故造成的损失也是以化学工业为最，约为其他工业部门的五倍。因此，对化学工程与工艺类专业本科生开设化工安全课程，进行安全技术基础训练，是很有必要的。

参照面向 21 世纪化工类专业人才培养方案，化工安全和环保是化工类各专业的应用技术公共课程。教材编写应注意教材的通用性，教材内容则应侧重于知识介绍。本教材就是根据以上宗旨编写的。本教材着眼于面向 21 世纪化工类专业人才培养，广泛参阅中外有关资料，编入近期发展起来的化工安全新理论、新方法和新技术，使本教材立足于现代化工的实际和发展趋势。

本教材结合化学工业物质种类繁多、加工过程多样化、损害和伤亡事故多发性的特点，从化工厂设计和操作、压力容器和机电设备运行和维护到化工系统分析和评价，全面地介绍了防火、防爆、防毒、防腐蚀、防职业损害的安全理论和安全技术。本教材可以作为化工类专业本科生化工安全课程的必修或选修课教材，也可以作为化工企业干部安全培训的参考教材。化工

安全教材涉及的知识面和学科范围较广，限于编者水平，书中错误或不妥之处在所难免，敬请读者不吝指正。

本教材初审时，中国化工安全卫生技术协会会长石流教授、原上海天原化工集团的蒋永明教授、吴高兴教授提出了许多有益的建议或意见，并提供了珍贵的技术资料，在初稿修改时充分考虑了这些建议或意见，希望能够弥补初稿的一些缺憾。在此，对这些前辈学者表示诚挚的谢意。在本教材的整个写作和出版过程中，得到化学工业出版社的有力支持，在此一并致谢。

编 者

2001年11月于天津大学

目 录

第一章 绪论	1
第一节 化学工业发展与对安全的新要求	1
一、化学工业发展概况.....	1
二、化学工业发展伴生的新危险.....	3
三、化学工业发展对安全的新要求.....	4
第二节 化学工业的危险与安全	5
一、化学工业危险因素.....	5
二、化工装置紧急状态.....	8
三、化学工业安全措施.....	8
第三节 化工安全理论和技术的发展动向	10
一、化工危险性评价和安全工程.....	10
二、安全系统工程的开发和应用.....	12
三、人机工程学、劳动心理学和人体测量学的应用.....	13
四、化工安全技术的新进展.....	14
第二章 物质性质、物化原理与安全	16
第一节 化学物质及其危险概述	16
一、危险化学品分类.....	16
二、化学物质的危险性.....	18
第二节 易燃物质的性质和特征	20
一、易燃物质的性质.....	20
二、易燃物质的类别和火险等级.....	21
三、物质易燃性评估.....	22
第三节 毒性物质的性质和特征	22
一、毒性物质的类别.....	22
二、毒性物质的临界限度和致死剂量.....	23
三、毒性物质的毒性等级和危险等级.....	24
第四节 反应物质的性质和特征	26
一、化学物质的反应性能.....	26
二、反应物质不稳定性结构因素和热力学表征.....	27
三、反应物质的氧差额.....	28

第五节 压力系统热力学行为与危险性	29
一、温度对蒸气压的影响	29
二、相变引起的体积变化	31
三、不同物质蒸气和液体的密度	33
第六节 化学反应系统物化原理与安全	34
一、化学反应动力学	34
二、反应物质的非互容性质	35
三、化学反应类型及其危险性	37
第七节 化工操作原理与安全	40
一、化学反应与热量传递	40
二、相平衡与组元分离	41
三、相混合和相分离	43
四、物料的输送和机械加工	45
第三章 化工厂设计和操作安全	48
第一节 工厂的定位、选址和布局	48
一、危险和防护的一般考虑	48
二、工厂的定位问题	49
三、工厂选址的安全问题	50
四、工厂布局的安全问题	51
第二节 化工工艺设计	54
一、工艺流程图	54
二、管线配置图	55
三、过程物料的安全评价	55
四、过程路线的选择	56
五、工艺设计安全校核	58
第三节 化工单元区域规划	59
一、加工单元区域的规划	60
二、单元区域的管线配置	63
三、单元装置和设施的安全设计	65
第四节 压力容器的设计、制造和检验	66
一、压力容器概述	66
二、压力容器设计	69
三、压力容器的制造和安装	73
四、压力容器定期检验	74
五、压力容器安全附件	75

第五节 化工装置维护	77
一、化工维护的必要性	77
二、预防维护	77
三、非常规运行和有关作业的维护	79
四、设备的维护	81
第六节 公用工程设施安全	83
一、电气设施	83
二、水和蒸汽设施	85
三、供氧空气和辅助气体设施	86
四、废料处理设施	86
第四章 燃烧和爆炸与防火防爆安全技术	88
第一节 燃烧要素和燃烧类别	88
一、燃烧概述	88
二、燃烧要素	89
三、燃烧形式	92
四、燃烧类别、类型及其特征参数	93
第二节 燃烧过程和燃烧原理	96
一、燃烧过程	96
二、燃烧的活化能理论	97
三、燃烧的过氧化物理论	98
四、燃烧的连锁反应理论	98
第三节 燃烧的特征参数	99
一、燃烧温度	99
二、燃烧速率	99
三、燃烧热	101
第四节 爆炸及其类型	102
一、爆炸概述	102
二、爆炸分类	103
三、常见爆炸类型	104
第五节 爆炸极限理论与计算	107
一、爆炸极限理论	107
二、影响爆炸极限的因素	110
三、爆炸极限的计算	112
第六节 燃烧性物质的贮存和运输	114
一、燃烧性物质概述	114

二、燃烧性物质的危险性	115
三、燃烧性物质的贮存安全	117
四、燃烧性物质的装卸和运输	119
第七节 爆炸性物质的贮存和销毁	121
一、爆炸性物质概述	121
二、爆炸性物质的贮存	122
三、爆炸性物质的销毁	124
第八节 燃烧和爆炸事故的调查和分析	124
一、概述	124
二、事故的调查程序和步骤	125
三、燃烧和爆炸分析	127
第九节 火灾爆炸危险与防火防爆措施	130
一、物料的火灾爆炸危险	130
二、化学反应的火灾爆炸危险	132
三、工艺装置的火灾爆炸危险	132
四、防火防爆措施	133
第十节 有火灾爆炸危险物质的加工处理	135
一、用难燃溶剂代替可燃溶剂	135
二、根据燃烧性物质的特性分别处理	136
三、密闭和通风措施	136
四、惰性介质的惰化和稀释作用	137
五、减压操作	138
六、燃烧爆炸性物料的处理	139
第十一节 燃烧爆炸敏感性工艺参数的控制	139
一、反应温度的控制	139
二、物料配比和投料速度控制	141
三、物料成分和过反应的控制	142
四、自动控制系统和安全保险装置	143
第十二节 火灾和爆炸的局限化措施	144
一、火灾爆炸局限化概述	144
二、安全装置和局限化设施	144
三、火灾爆炸局限化布局 and 措施	145
四、可燃物泄漏的预防措施	146
第十三节 灭火剂与灭火设施	147
一、灭火的原理及措施	147

二、灭火剂及其应用	148
三、灭火器及其应用	149
四、灭火设施	150
第五章 职业毒害与防毒措施	152
第一节 毒性物质类别与有效剂量	152
一、毒性物质概述	152
二、毒性物质分类	152
三、毒性物质有效剂量	153
第二节 毒性物质在化工行业中的分布	154
一、无机化工	155
二、有机化工	155
三、化肥和农药	155
四、材料工业	156
五、涂料、染料和其他专用产品	156
六、化学试剂、催化剂和助剂	156
第三节 化工常见物质的毒性作用	156
一、刺激性气体	156
二、窒息性气体	157
三、金属及其化合物	158
四、有机化合物	159
第四节 化学物质毒性的影响因素	160
一、化学结构对毒性的影响	160
二、物理性质对毒性的影响	161
三、环境条件对毒性的影响	161
四、个体因素对毒性的影响	162
第五节 毒性物质侵入人体途径与毒理作用	163
一、毒性物质侵入人体途径	163
二、毒性物质毒理作用	164
第六节 物质毒性资料的应用	166
一、毒性物质化学结构与相对分子质量	166
二、毒性物质的物性	166
三、动物试验和毒性等级	167
第七节 职业中毒及其诊断过程	168
一、职业中毒定义	168
二、职业中毒特点	169

三、职业中毒诊断依据·····	169
四、职业中毒诊断过程·····	170
第八节 职业中毒的临床表现·····	170
一、呼吸系统·····	170
二、神经系统·····	171
三、血液系统·····	171
四、消化系统和泌尿系统·····	172
第九节 急性职业中毒的现场抢救·····	172
一、现场急救设施·····	173
二、急救现场准备·····	173
三、现场抢救·····	174
第十节 防止职业毒害的技术措施·····	175
一、替代或排除有毒或高毒物料·····	175
二、采用危害性小的工艺·····	176
三、密闭化、机械化、连续化措施·····	176
四、隔离操作和自动控制·····	177
第十一节 工业毒物的通风排毒与净化吸收·····	178
一、通风排毒措施·····	178
二、燃烧净化方法·····	179
三、冷凝净化方法·····	180
四、吸收和吸附净化方法·····	181
第十二节 车间空气中毒物的测定与评价·····	181
一、尘、毒空气样品的采集·····	182
二、空气样品测定方法·····	183
三、劳动环境评价·····	184
第六章 压力容器和机电设备安全·····	187
第一节 蒸汽锅炉的安全运行和管理·····	187
一、锅炉分类及其参数系列·····	187
二、锅炉运行安全·····	189
三、锅炉常见事故及处理·····	191
四、锅炉给水安全·····	194
第二节 压力容器的操作、维护和安全状况评定·····	196
一、压力容器安全概述·····	196
二、压力容器的操作与维护·····	198
三、压力容器破坏形式和缺陷修复·····	200

四、压力容器安全状况等级评定·····	202
第三节 高压工艺管道的安全技术管理·····	204
一、概述·····	204
二、高压管道的设计、制造和安装·····	205
三、高压管道操作与维护·····	206
四、高压管道技术检验·····	206
第四节 动机械安全技术·····	209
一、人的不安全行为·····	209
二、动机械的不安全状态·····	211
三、动机械安全防护·····	212
第五节 电气设备危险与防护·····	213
一、电气危险概述·····	213
二、电流对人体的作用·····	214
三、触电防护技术和措施·····	215
四、触电急救·····	217
第六节 压缩机操作与维护·····	218
一、压缩机操作中的危险因素·····	219
二、压缩机操作安全·····	219
三、压缩机故障处理·····	220
第七节 泵操作安全·····	223
一、往复泵操作安全·····	223
二、离心泵操作安全·····	224
第七章 工业腐蚀与预防措施·····	226
第一节 工业腐蚀及其危害·····	226
一、工业腐蚀概述·····	226
二、腐蚀机理·····	227
三、腐蚀的危害与损失·····	228
第二节 工业腐蚀的典型类型·····	228
一、全面腐蚀·····	228
二、缝隙腐蚀·····	229
三、孔腐蚀·····	229
四、氢损伤·····	230
第三节 应力腐蚀裂纹·····	230
一、应力腐蚀概述·····	230
二、应力腐蚀的机理与特征·····	232

三、应力腐蚀的影响因素·····	232
第四节 腐蚀监测技术·····	234
一、电参数监测法·····	234
二、物理监测技术·····	235
三、腐蚀环境监测法·····	235
第五节 设计和选材的防腐考虑·····	236
一、防腐设计·····	236
二、选材防腐考虑·····	236
第六节 材料的防腐措施·····	239
一、电化学保护·····	239
二、缓蚀剂的应用·····	240
三、金属保护层·····	240
四、非金属保护层·····	241
第八章 普通工业安全卫生·····	243
第一节 普通职业危险与安全·····	243
一、跌落、碰砸伤害危险与防护·····	243
二、人力、机械搬运安全·····	244
三、机械危险与防护·····	245
第二节 噪声的污染与治理·····	246
一、声音的物理量度·····	246
二、噪声的分类与频谱分析·····	248
三、噪声的危害与评价·····	249
四、噪声的预防与治理·····	251
第三节 静电的危害与消除·····	252
一、静电产生的物质特性和条件·····	252
二、物质和人体静电的带电过程·····	255
三、静电的危险与危害·····	257
四、静电的预防与消除·····	262
第四节 辐射的危害与防护·····	265
一、辐射线的种类与特性·····	266
二、非电离辐射的危害与防护·····	268
三、电离辐射的危害与防护·····	269
第五节 工业卫生管理·····	272
一、生产中的有害因素·····	272
二、有害因素对人体的作用·····	272

三、职业病的诊断标准和预防措施·····	273
四、职业健康监护·····	275
第六节 工业卫生设施和防护器具·····	277
一、通风与采暖·····	277
二、采光与照明·····	278
三、辅助设施·····	278
四、防护器具·····	279
第九章 系统安全分析与评价 ·····	281
第一节 安全系统工程简述·····	281
一、系统与安全·····	281
二、基本程序和方法·····	282
三、应用特点·····	283
第二节 系统危险性分析·····	284
一、危险性及其表示方法·····	284
二、危险性分析的基本要素·····	285
三、危险性分析的步骤和方法·····	286
第三节 故障类型、影响及致命度分析·····	286
一、故障类型及影响分析·····	287
二、致命度分析·····	289
三、应用实例·····	289
第四节 道化学公司火灾爆炸危险指数评价方法·····	292
一、物质系数·····	292
二、单元工艺危险系数·····	295
三、安全设施补偿系数·····	296
四、单元危险与损失评价·····	297
第五节 事故树分析及其应用·····	300
一、事故树分析概述·····	300
二、事故树编制·····	301
三、事故树实例·····	303
四、事故树分析与计算·····	306
主要参考书 ·····	308

第一章 绪 论

第一节 化学工业发展与对安全的新要求

一、化学工业发展概况

现代化学工业始于 18 世纪的法国，随后传入英国。19 世纪，以煤为基础原料的有机化学工业在德国迅速发展起来。但那时的煤化学工业按其规模并不十分巨大，主要着眼于各种化学产品的开发。所以当时化工过程开发主要是由工业化学家率领，机械工程师参加进行的。技术人员的专业也是按其从事的产品生产分类的，如染料、化肥、炸药等。直到 19 世纪末，化学工业萌芽阶段的工程问题，都是采用化学（家）加机械（工程师）的方式解决的。

现代化学工业的发展时期是在美国开始的。19 世纪末 20 世纪初，石油的开采和大规模石油炼厂的兴建为石油化学工业的发展和化学工程技术的产生奠定了基础。同以煤为基础原料的煤化学工业相比，炼油业的化学背景不那么复杂多样化，因此有可能也有必要进行工业过程本身的研究，以适应大规模生产的需要。这就是在美国产生以“单元操作”为主要标志的现代化学工业的背景。

1888 年，美国麻省理工学院开设了世界上最早的化学工程专业，接着，宾夕法尼亚大学、土伦大学和密执安大学也先后设置了化学工程专业。这个时期化学工程教育的基本内容是工业化学和机械工程。1915 年 12 月麻省理工学院一个委员会的委员 A. D. Little 首次正式提出了单元操作的概念。20 世纪 20 年代石油化学工业的崛起推动了各种单元操作的研究。

由于单元操作的发展，30 年代以后，化学机械从纯机械时代进入以单元操作为基础的化工机械时期。40 年代，因战争需要，三项重大开发同时在美国出现。这三项重大开发是，流化床催化裂化制取高级航空燃料油、丁苯橡胶的乳液聚合以及制造首批原子弹的曼哈顿工程。前两者是用 30 年代逐级放大的方法完成的，放大比例一般不超过 50 : 1。但是曼哈顿工程由于时间紧迫和放射性的危害，必须采用较高的放大比例，达 1000 : 1 或更高一些。这就要求依靠更加坚实的理论基础，以更加严谨的数学形式表达单元操作的理论。

曼哈顿工程的成功大大促进了单元操作在化学工业中的应用。50 年代

中期提出了传递过程原理，把化学工业中的单元操作进一步解析为三种基本操作过程，即动量传递、热量传递和质量传递以及三者之间的联系。同时在反应过程中把化学反应与上述三种传递过程一并研究，用数学模型描述过程。连同电子计算机的应用以及化工系统工程学的兴起，使得化学工业发展进入更加理性、更加科学化的时期。

20世纪60年代初，新型高效催化剂的发明，新型高级装置材料的出现，以及大型离心压缩机的研究成功，开始了化工装置大型化的进程，把化学工业推向一个新的高度。此后，化学工业过程开发周期已能缩短至4~5年，放大倍数达500~20000倍。

化学工业过程开发是指把化学实验室的研究结果转变为工业化生产的全过程。它包括实验室研究、模试、中试、设计、技术经济评价和试生产等许多内容。过程开发的核心内容是放大。由于化学工程基础研究的进展和放大经验的积累，特别是化学反应工程理论的迅速发展，使得过程开发能够按照科学的方法进行。中间试验不再是盲目地、逐级地，而是有目的地进行。化学工业过程开发的一个重要进展是，可以用电子计算机进行数学模拟放大。中间试验不再像过去那样只是收集或产生关联数据的场所，而是检验数学模型和设计计算结果的场所。现代化学工业过程开发可以概括为：

1. 利用现有的情报资料、技术数据、同类过程的成熟经验、小试或模试的实验结果和化学化工知识，把化学工业过程抽象为理论模型；
2. 进行工业装置的概念设计，并根据概念设计相似缩小为中试装置；
3. 比较电子计算机的数学模拟和中试结果，反复比较，不断修正数学模型，使其达到一定精度，用于放大设计。

目前化学工业开发的趋势是，不一定进行全流程的中间试验，对一些非关键设备和很有把握的过程不必试验，有些则可以用计算机在线模拟和控制来代替。

现代的技术进步一日千里。20世纪最后几十年的发明和发现，比过去两千年的总和还要多。化学工业也是如此。在这几十年中，化学工业在世界范围取得了长足进展。化学工业在很大程度上满足了农业对化肥和农药的需要。随着化学工业的发展，天然纤维已丧失了传统的主宰地位，人类对纤维的需要有近三分之二是由合成纤维提供的。塑料和合成橡胶渗透到国民经济的所有部门，在材料工业中已占据主导地位。医药合成不仅在数量上而且在品种和质量上都有了较大发展。化学工业的发展速度已显著超过国民经济的平均发展速度，化工产值在国民生产总值中所占的比例不断增加，化学工业已发展成为国民经济的支柱产业。

20世纪70年代后，现代化学工程技术渗入到了各个加工领域，生产技