



教育部高等学校
化工类专业教学指导委员会推荐教材

化工安全概论

陈卫航 钟 委 梁天水 主编



化学工业出版社

ABET
MOE-CHINA

教育部高等学校化工类专业教学指导委员会推荐教材

化工安全概论

陈卫航 钟 委 梁天水 主编



化学工业出版社

· 北京 ·

《化工安全概论》概括介绍了化工企业现代安全管理的基本原则和基本内容；系统论述了典型化工单元操作、典型化工工艺和化工设备的危险性分析、相关安全技术和控制技术 etc 知识；详细阐述了化工事故应急救援的基本原则、应急救援方法与化工事故处置技术。《化工安全概论》共 8 章，分别为：绪论、化工企业现代安全管理、化工单元操作安全技术、化工工艺过程安全技术、化工设备安全技术、化工事故应急救援与处置、安全学基本原理、化工安全事故模拟。

《化工安全概论》还加入了安全学的部分内容，如安全观、安全认识论和安全方法论等，对于非安全工程类学生了解安全学的基本原理非常重要。此外，书中还结合生产实践和各章节内容，给出了几十个化工生产中的事故案例，并有针对性地进行分析和评述。

《化工安全概论》可作为化工与制药类专业（非安全工程方向）的本科教材，也可供化工企业的安全和技术管理人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

化工安全概论/陈卫航, 钟委, 梁天水主编. —北京:
化学工业出版社, 2016. 6

教育部高等学校化工类专业教学指导委员会推荐教材

ISBN 978-7-122-26857-0

I. ①化… II. ①陈… ②钟… ③梁… III. ①化工
安全-高等学校-教材 IV. ①TQ086

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 082339 号

责任编辑: 徐雅妮 杜进祥

文字编辑: 陈 雨

责任校对: 吴 静

装帧设计: 关 飞

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: 三河市延风印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张 15 字数 343 千字 2016 年 8 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: 35.00 元

版权所有 违者必究

教育部高等学校化工类专业教学指导委员会 推荐教材编审委员会

主任委员 王静康 冯亚青

副主任委员 张凤宝 高占先 张泽廷 于建国 曲景平 陈建峰
李伯耿 山红红 梁斌 高维平 郝长江

委员 (按姓氏笔画排序)

马晓迅	王存文	王光辉	王延吉	王承学	王海彦
王源升	韦一良	乐清华	刘有智	汤吉彦	李小年
李文秀	李文翠	李清彪	李瑞丰	杨亚江	杨运泉
杨祖荣	杨朝合	吴元欣	余立新	沈一丁	宋永吉
张玉苍	张正国	张志炳	张青山	陈 砾	陈大胜
陈卫航	陈丰秋	陈明清	陈波水	武文良	武玉民
赵志平	赵劲松	胡永琪	胡迁林	胡仰栋	钟 宏
钟 秦	姜兆华	费德君	姚克俭	夏淑倩	徐春明
高金森	崔 鹏	梁 红	梁志武	程 原	傅忠君
童张法	谢在库	管国锋			

序

化学工业是国民经济的基础和支柱性产业，主要包括无机化工、有机化工、精细化工、生物化工、能源化工、化工新材料等，遍及国民经济建设与发展的重点领域。化学工业在世界各国国民经济中占据重要位置，自 2010 年起，我国化学工业经济总量居全球第一。

高等教育是推动社会发展的重要力量。当前我国正处在加快转变经济发展方式、推动产业转型升级的关键时期。化学工业要以加快转变发展方式为主线，加快产业转型升级，增强科技创新能力，进一步加大对节能减排、联合重组、技术改造、安全生产、两化融合力度，提高资源能源综合利用效率，大力发展循环经济，实现化学工业集约发展、清洁发展、低碳发展、安全发展和可持续发展。化学工业转型迫切需要大批高素质创新人才，培养适应经济社会发展需要的高层次人才正是大学最重要的历史使命和战略任务。

教育部高等学校化工类专业教学指导委员会（简称“化工教指委”）是教育部聘请并领导的专家组织，其主要职责是以人才培养为本，开展高等学校本科化工类专业教学的研究、咨询、指导、评估、服务等工作。高等学校本科化工类专业包括化学工程与工艺、资源循环科学与工程、能源化学工程、化学工程与工业生物工程等，培养化工、能源、信息、材料、环保、生物工程、轻工、制药、食品、冶金和军工等领域从事工程设计、技术开发、生产技术管理和科学研究等方面工作的工程技术人才，对国民经济的发展具有重要的支撑作用。

为了适应新形势下教育观念和教育模式的变革，2008 年“化工教指委”与化学工业出版社组织编写和出版了 10 种适合应用型本科教育、突出工程特色的“教育部高等学校化学工程与工艺专业教学指导分委员会推荐教材”（简称“教指委推荐教材”），部分品种为国家级精品课程、省级精品课程的配套教材。本套“教指委推荐教材”出版后被 100 多所高校选用，并获得中国石油和化学工业优秀教材等奖项，其中《化工工艺学》还被评选为“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材。

党的十八大报告明确提出要着力提高教育质量，培养学生社会责任感、创新精神和实践能力。高等教育的改革要以更加适应经济社会发展需要为着力点，以培养多规格、多样化的应用型、复合型人才为重点，积极稳步推进卓越工程师教育培养计划实施。为提高化工类专业本科生的创新能力和工程实践能力，满足化工学科知识与技术不断更新以及人才培养多样化的需求，2014年6月“化工教指委”和化学工业出版社共同在太原召开了“教育部高等学校化工类专业教学指导委员会推荐教材编审会”，在组织修订第一批10种推荐教材的同时，增补专业必修课、专业选修课与实验实践课配套教材品种，以期为我国化工类专业人才培养提供更丰富的教学支持。

本套“教指委推荐教材”反映了化工类学科的新理论、新技术、新应用，强化安全环保意识；以“实例—原理—模型—应用”的方式进行教材内容的组织，便于学生学以致用；加强教育界与产业界的联系，联合行业专家参与教材内容的设计，增加培养学生实践能力的内容；讲述方式更多地采用实景式、案例式、讨论式，激发学生的学习兴趣，培养学生的创新能力；强调现代信息技术在化工中的应用，增加计算机辅助化工计算、模拟、设计与优化等内容；提供配套的数字化教学资源，如电子课件、课程知识要点、习题解答等，方便师生使用。

希望“教育部高等学校化工类专业教学指导委员会推荐教材”的出版能够为培养理论基础扎实、工程意识完备、综合素质高、创新能力强的化工类人才提供系统的、优质的、新颖的教学内容。

教育部高等学校化工类专业教学指导委员会

2015年6月

前 言

2014年教育部和国家安全监管总局联合发布的《教育部、国家安全监管总局关于加强化工安全人才培养工作的指导意见》中指出“鼓励高校根据需求在现有本科专业和研究生学科内设置化工安全方向。面向化工安全生产需要，培养安全意识强、具备一定安全生产知识和能力的高素质劳动者和各级专业技术后备人才。化工安全相关专业要落实化工安全人才标准，将安全知识教育细化到具体的课程和教学环节，将安全意识培养融入教学全过程，使学生了解化工安全技术进展，强化化工是高危行业的认识，树立安全是化工生产前提的理念。”为此，2015年发布的《工程教育认证标准——化工与制药类专业补充标准》和《化工与制药类专业教学质量国家标准》中已经明确将“过程安全”列入工程基础类课程的教学内容。所以“化工安全”应作为必修课向化工与制药类专业及相关专业开出。2014年，教育部高等学校化工类专业教学指导委员会开会讨论确定《化工安全概论》列入教育部高等学校化工类专业教学指导委员会推荐教材。

本书定位于化工类专业（非安全工程方向）学生，因此在教材内容选择上强调基础性和实用性，注重理论联系实际。教材共8章，内容包括：绪论、化工企业现代安全管理、化工单元操作安全技术、化工工艺过程安全技术、化工设备安全技术、化工事故应急救援与处置、安全学基本原理、化工安全事故模拟。本书概括介绍了化工企业现代安全管理的基本原则和基本内容；系统论述了典型化工单元操作、典型化工工艺和化工设备的危险性分析、相关安全技术和控制技术知识；详细阐述了化工事故应急救援的基本原则、应急救援方法与化工事故处置技术；加入了安全学的部分内容，如安全观、安全认识论和安全方法论等，对于非安全工程类学生了解安全学的基本原理非常重要；结合生产实践和各章节内容，给出了几十个化工生产中的事故案例，并有针对性地进行分析和评述，以便读

者加深对相关知识的理解，并能灵活应用危险识别技术及控制技术。

通过本书的学习，不仅可掌握化工安全基础知识、做到理论联系实际、强化安全意识，还可培养学生实践能力、提高化工安全技术与安全生产管理的综合素质。本书可以作为高等院校化工与制药类专业及相关专业的教学用书，也可供化工企业的安全和技术管理人员参考。

参加本书编写的人员有：郑州大学陈卫航（第1章），蒋苏毓（第2章2.1~2.4、第4章），王训道（第3章），赵科（第5章），梁天水（第6、8章），钟委（第2章2.5、第7章）。全书由陈卫航修改定稿。在本书编写过程中，河南省安委会专家宋建池教授提出了许多宝贵意见，郑州大学范桂侠博士对全书进行了文字校正，在此特表谢意。

由于编者水平有限，疏漏与不当之处在所难免，敬请指正。

编者

2016年1月

目 录

第 1 章 绪论 / 1

1.1 化学工业的特点及危险性..... 2	1.2 化工安全技术..... 6
1.1.1 原料、工艺、设备和产品的 多样性..... 2	1.3 化工安全相关法律法规..... 8
1.1.2 生产过程中的物料具有化学 危险性..... 3	1.3.1 国内外安全法律、法规的发展..... 8
1.1.3 生产系统庞杂,过程具有高度 连续性..... 3	1.3.2 我国安全生产法律、法规体系的 概念和特征..... 9
1.1.4 工艺参数的操作和控制技术要求 精准..... 4	1.3.3 相关法律..... 9
1.1.5 安全生产和环境保护要求严格..... 4	1.3.4 行政法规..... 9
1.1.6 化学工业中的危险因素..... 5	1.3.5 部门、地方和行业规章..... 10
	1.3.6 安全标准..... 11
	思考题..... 12
	参考文献..... 12

第 2 章 化工企业现代安全管理 / 14

2.1 化工安全管理的基本原则..... 14	2.3.3 企业建立 OHSMS 的步骤..... 29
2.2 危险化学品管理..... 14	2.4 职业健康危害分析与控制..... 31
2.2.1 危险化学品的分类..... 15	2.4.1 工业毒物及其对人体的危害..... 31
2.2.2 危险化学品的生产和储存审批..... 19	[事故案例]..... 33
2.2.3 危险化学品登记注册..... 19	2.4.2 生产性粉尘及其对人体的危害..... 33
2.2.4 危险化学品经营销售许可..... 19	2.4.3 主要防护措施及防治要点..... 34
2.2.5 危险化学品运输资质认定..... 19	[事故案例]..... 36
2.2.6 危险化学品包装物、容器专业生 产企业的审查和定点管理..... 20	2.5 危险性与可操作性分析..... 36
2.2.7 重点监管的危险化学品..... 20	2.5.1 基本概念和术语..... 36
[事故案例]..... 21	2.5.2 研究步骤..... 38
2.3 职业安全健康管理体系 (OHSMS)..... 22	2.5.3 应用实例..... 38
2.3.1 OHSMS 管理的理论基础..... 22	思考题..... 40
2.3.2 OHSMS 管理的基本要素..... 22	参考文献..... 40

第 3 章 化工单元操作安全技术 / 41

3.1 流体及固体输送..... 41	3.2 传热..... 48
3.1.1 概述..... 41	3.2.1 概述..... 48
3.1.2 危险性分析..... 42	3.2.2 危险性分析..... 49
3.1.3 安全技术..... 43	3.2.3 安全技术..... 50
[事故案例]..... 47	[事故案例]..... 52

3.3 非均相混合物分离	52	3.5.1 概述	60
3.3.1 概述	52	3.5.2 危险性分析	61
3.3.2 危险性分析	54	3.5.3 安全技术	61
3.3.3 安全技术	54	[事故案例]	62
[事故案例]	55	3.6 蒸发	62
3.4 均相混合物分离	55	3.6.1 概述	62
3.4.1 概述	55	3.6.2 危险性分析	63
3.4.2 危险性分析	57	3.6.3 安全技术	63
3.4.3 安全技术	57	[事故案例]	63
[事故案例]	59	思考题	64
3.5 干燥	60	参考文献	64

第4章 化工工艺过程安全技术 / 65

4.1 光气及光气化工工艺过程	65	4.5.1 概述	79
4.1.1 概述	65	4.5.2 典型工艺危险性分析	79
4.1.2 典型工艺危险性分析	66	4.5.3 安全措施	81
4.1.3 安全措施	67	[事故案例]	83
[事故案例]	68	4.6 裂解工艺过程安全技术	83
4.2 合成氨工艺过程安全技术	69	4.6.1 概述	83
4.2.1 概述	69	4.6.2 典型工艺危险性分析	83
4.2.2 典型工艺危险性分析	70	4.6.3 安全措施	84
4.2.3 安全措施	71	[事故案例]	85
[事故案例]	72	4.7 硝化工艺过程安全技术	86
4.3 聚合工艺过程安全技术	72	4.7.1 概述	86
4.3.1 概述	72	4.7.2 典型工业危险性分析	86
4.3.2 典型工艺危险性分析	72	4.7.3 安全措施	87
4.3.3 安全措施	74	[事故案例]	87
[事故案例]	74	4.8 氯化工艺过程安全技术	88
4.4 氧化工艺过程安全技术	75	4.8.1 概述	88
4.4.1 概述	75	4.8.2 危险性分析	88
4.4.2 典型工艺危险性分析	75	4.8.3 安全措施	89
4.4.3 安全措施	77	[事故案例]	91
[事故案例]	79	思考题	91
4.5 加氢工艺过程安全技术	79	参考文献	91

第5章 化工设备安全技术 / 93

5.1 化工设备安全技术概述	93	5.2.1 压力容器分类及安全技术	101
5.1.1 化学工业对化工设备安全的要求	93	5.2.2 压力容器的基本结构及安全附件	103
5.1.2 化工设备安全管理技术及发展趋势	94	5.2.3 压力容器的安全使用	109
5.1.3 动力设备安全简介	98	5.2.4 锅炉的安全技术	111
5.2 压力容器安全技术	101	5.2.5 气瓶的安全技术	113
		[事故案例]	116

5.3 压力管道安全技术	117	分析	128
5.3.1 化工压力管道	117	5.4.2 设备腐蚀与防腐概述	128
5.3.2 压力管道安全技术	120	5.4.3 金属腐蚀的主要类型	130
5.3.3 高压工艺管道的安全技术 管理	123	5.4.4 金属的电化学腐蚀	131
[事故案例]	127	5.4.5 电化学保护及应用	132
5.4 设备腐蚀与防护	128	[事故案例]	133
5.4.1 压力容器和压力管道失效		思考题	135
		参考文献	136

第6章 化工事故应急救援与处置 / 137

6.1 事故现场危险区域的判定	137	6.4.4 泄漏物处置技术	153
6.1.1 事故现场危险区域的确定	137	[事故案例]	153
6.1.2 事故现场隔离控制区的确定	138	6.5 火灾爆炸事故应急处置技术	155
6.2 现场侦检的方法	139	6.5.1 火灾爆炸事故处置原则	156
6.2.1 事故应急监测及注意事项	139	6.5.2 火灾爆炸事故处置注意事项	157
6.2.2 非器材检判法	140	6.5.3 灭火方法与灭火剂的选择	157
6.2.3 便携式检测仪器侦检法	142	6.5.4 不同类别危险化学品的火灾 控制技术	163
6.2.4 化学侦检法	143	[事故案例]	169
6.3 现场人员的安全防护技术	144	6.6 危险化学品事故现场急救技术	171
6.3.1 现场安全防护标准	145	6.6.1 危险化学品对人员的伤害 方式	171
6.3.2 呼吸防护器材	145	6.6.2 危险化学品事故现场急救的 基本原则及要点	172
6.3.3 皮肤防护器材	146	6.6.3 危险化学品事故的现场急救 方法	173
6.3.4 头部防护	147	[事故案例]	174
[事故案例]	148	思考题	176
6.4 危险化学品泄漏事故应急处置 技术	148	参考文献	177
6.4.1 泄漏事故后果分析	149		
6.4.2 泄漏事故处置原则	150		
6.4.3 泄漏物控制技术	152		

第7章 安全学基本原理 / 178

7.1 安全观	178	7.3 安全方法论	189
7.1.1 安全观的发展	178	7.3.1 本质安全化方法	190
7.1.2 安全观的确立依据	179	7.3.2 人机匹配法	191
7.1.3 安全观的核心	180	7.3.3 生产安全管理一体化方法	193
7.1.4 大安全观	182	7.3.4 系统方法	195
7.2 安全认识论	183	7.3.5 安全教育方法	196
7.2.1 事故的基本特征	183	7.3.6 安全经济方法	198
7.2.2 事故的预防	184	思考题	199
7.2.3 事故模式理论	186	参考文献	199

第8章 化工安全事故模拟 / 200

8.1 数值模拟基础	200	8.1.1 守恒方程	200
------------------	-----	------------------	-----

8.1.2	湍流模型	201	8.2.3	PHAST 简介	212
8.1.3	燃烧模型	202	8.3	泄漏事故模拟	213
8.1.4	颗粒相的质量、动量、能量 输运方程	202	8.3.1	气体泄漏事故模拟	213
8.1.5	计算区域离散化与网格划分	202	8.3.2	液化气体泄漏事故模拟	216
8.1.6	控制方程的离散化	203	8.4	火灾事故模拟	218
8.1.7	初始条件与边界条件	205	8.4.1	水雾抑制气体射流火焰	218
8.2	常用软件介绍	206	8.4.2	油池火灾事故模拟	221
8.2.1	FLUENT 简介	206	8.4.3	液雾射流火灾事故模拟	222
8.2.2	FDS 简介	208	思考题		224
			参考文献		224

附录 / 225

附录 1	危险物料特性一览表	225
附录 2	重点监管的危险化学品安全措施和事故应急处置原则 (部分)	226

第1章

绪论

化学工业作为重要的基础工业和支柱产业，在国民经济中占有极其重要的地位。当今世界，化工产品涉及国民经济、国防建设、资源开发和人类衣食住行的各个方面，对解决人类社会所面临的人口、资源、能源和环境可持续发展等重大问题，起到十分重要的作用。化工是工业革命的助手、农业发展的支柱、国防建设的利器、战胜疾病的工具、改善生活的手段。现代社会中如果没有化学工业，就不会存在现代交通、通信、医药、能源、农业、食品加工和各种各样的消费品。

与其他任何工业相比，化学工业更加多样化，化工产品无处不在。例如，每天早晨，我们在聚氨酯泡沫床垫上舒舒服服睡上一觉后，打开酚醛树脂制造的电灯开关，电流安全地流过包裹绝缘材料（聚氯乙烯、聚乙烯、乙丙橡胶等）的电缆、电线点亮电灯；穿上合成纤维（涤纶、锦纶、腈纶、氯纶、维纶、氨纶等）做成的衣服和合成橡胶材料（丁苯橡胶、丁腈橡胶、氯丁橡胶、顺丁橡胶）制作的鞋子；来到盥洗室，挤出牙膏（由摩擦剂、保湿剂、表面活性剂、增稠剂、甜味剂、防腐剂、色素、香精等化学产品混合而成）、打开洗面奶或香皂（采用化学方法制作）、使用经过化学消毒的清水进行洗漱；吃过可口的早餐（粮食、蔬菜、水果都来自化学肥料滋养的农田），来到教室或实验室，坐在桌旁的椅子上（桌椅上的涂料均是化学油漆：硝基漆、醇酸漆、聚酯漆、水性漆等），拿起书本（纸张和油墨均是化工产品）开始学习和工作；经过一天的学习和工作，傍晚来到运动场放松身心，跑步、打球、器械锻炼（运动场的塑胶跑道、人工草坪、各种球类和器械的材料等均是化工产品）；晚上开启电脑、拿出手机、打开电视，查找资料、联系亲朋、看视频、玩游戏，所有电子产品中的很多元器件也都是化工产品。总之，我们也许没有意识到，化学工业的产品渗透到社会、经济、国防等各个领域，使我们的生活变得丰富多彩。

但化学工业本身却面临着不可忽视的安全与环境污染等重要问题。自20世纪开始，化学工业迅速发展，所涉及的化学物质的种类和数量急剧增加，化工厂开始趋向大型化，化工过程变得越来越复杂；原料、中间体和产品出现了更多的有毒有害、易燃易爆、有腐蚀性的物质；生产工艺所需的温度、压力也越来越高（或低），操作条件的控制和调节要求更高、更精密，安全措施和安全管理的要求也更高、更严格。如上所述，化工生产过程存在着诸多潜在的不安全因素，稍有不慎，就会发生各种事故。这些问题的出现，直接影响到人民的生命安全与生存环境，影响到国家和个人财产安全，因此必须加以高度重视。

作为未来化工及相关行业的从业者和与化学工业生产直接相关的人员，了解化工安全

基本问题，掌握化工安全基础知识，树立化工安全生产意识，落实“安全第一，预防为主”的安全生产方针，显得尤为重要。

1.1 化学工业的特点及危险性

现代化学工业是一个多行业的生产部门，生产规模庞大、能量密集、原材料和中间体性质复杂、产物种类繁多。它既是原材料工业，又是加工工业，既包括生产资料的生产，又包括生活资料的生产。按生产原料分类，可分为石油化工、天然气化工、煤化工、盐化工和生物化工；按产品大类分类，可分为无机化工、基本有机化工、高分子化工、精细化工和生物化工等。因此，化学工业与其他工业相比，有其显著的特点。所有安全问题的出现、安全生产事故的发生都与化学工业的特点密不可分。

1.1.1 原料、工艺、设备和产品的多样性

化学工业的一个重要特点就是多样性和复杂性。没有任何一个工业涉及这么多的原料、生产工艺和产品。

(1) 由原料引起的多样性

化学工业可从不同的原料出发制造同一产品，例如煤、石油、天然气都可作为合成氨的原料。也可用同一原料制造许多不同产品，例如以苯为原料，通过磺化可制成苯磺酸；通过硝化可制成硝基苯；通过氯化可制成氯苯。以苯磺酸、硝基苯、氯苯作为中间体，又可制造出大量的化学品。一个产品可有不同的用途，而不同产品有时却可有同一用途；一种产品往往又是生产别种产品的原料、辅料或中间体。

(2) 由工艺引起的多样性

不同的原料生产同一产品，采用的工艺一定不同。同一种原料生产同一产品也可采用多种不同的生产工艺。例如，以石英砂为原料制备硅酸钠，有干法和湿法两种流程。以硅酸钠和烧碱为原料可以制备出偏硅酸钠、正硅酸钠、倍半硅酸钠等。就五水偏硅酸钠的制备来说，有溶液结晶法、结晶粉碎法、一次造粒法等几种方法。

同一化学反应可以采用不同催化剂。例如，同是苯酚与甲醛反应合成酚醛树脂，可以使用氢氧化钠、氢氧化钡、盐酸、氨水、草酸、乙酸、甲酸、硫酸、磷酸、氧化镁、氧化锌等催化剂，但其产品性质有所不同。使用不同催化剂，其工艺也会有差别。

(3) 由设备引起的多样性

完成同一反应可使用的反应器形式有多种。例如，乙苯脱氢反应，德国 BASF 公司开发出的连续加热管式反应器，能有效抑制副反应，选择性高达 94%，但压降高、生产能力受限；美国 UOP 公司开发的径向反应器，虽转化率只有 92%，但床层压降却大大降低；还有 Mosanto 公司开发的两段绝热式反应器，简单可靠；Badger 公司开发的圆筒辐射流动式反应器，选择性高、生产能力大。

杂质脱除、分离纯化都有许多种方法和设备可供选择。例如，均相液体混合物的分离，可以采用蒸发、精馏方法，也可以采用萃取方法。在杂质脱除、分离纯化时，各种单元操作组合时的位置也灵活多变。反应器的不同和分离设备的不同，也将造成工艺的

不同。

综上所述，因原料来源、工艺技术、设备选择和市场等方面的变化，使得这些因素之间关系错综复杂，既要互相适应，又可以有很大的选择余地。如果工艺和设备的设计或选择不当，将会带来安全隐患。

1.1.2 生产过程中的物料具有化学危险性

化工生产中，所使用的原料、半成品、中间体和产品大多数属于易燃、易爆、有毒、有害和有腐蚀性的危险化学物质。目前世界上已有化学物品 600 多万种，经常生产使用的约六、七万种。这些化学物品中约有 70% 以上具有易燃、易爆、有毒、有害和腐蚀性强的特点。据有关部门统计，因一氧化碳、硫化氢、氮气、氮氧化物、氨、苯、二氧化碳、二氧化硫、光气、氯化钡、氯气、甲烷、氯乙烯、磷、苯酚、砷化物 16 种化学物质造成中毒、窒息的死亡人数占中毒死亡总人数的 87.6%，而这些物质在化工企业中是很常见的。在生产、使用、储运过程中操作或管理不当，这些危险化学物质就会发生火灾、爆炸、中毒和灼伤等安全生产事故。

例如，2015 年 8 月 12 日，位于天津滨海新区塘沽开发区的天津东疆保税港区瑞海国际物流有限公司所属危险品仓库发生爆炸，两次爆炸分别相当于 3t TNT 和 21t TNT 所释放的能量。经证实，爆炸事故核心区存有危险化学品 7 大类、40 余种，主要是氧化物、易燃物体和剧毒物三大类。其中有包括硝酸铵、硝酸钾在内的氧化物共计 1300t 左右，金属钠、金属镁等易燃的物体有 500t 左右，以氰化钠为主的剧毒物 700t 左右。现场累计存放危险化学品 3000t 左右。“8·12”特别重大火灾爆炸事故现场危险化学品种类多、数量大，造成 170 余人死亡，上千人受伤；数千辆进口新车因爆炸事故焚毁；17000 多户周边居民房屋损毁，另外还有 779 家商户受损，直接经济损失数十亿元，国家及群众财产、生命损失极其严重。

1.1.3 生产系统庞杂，过程具有高度连续性

化工产品的种类越来越多，生产方法越来越多样化，化工装置日益向规模大型化、工艺参数高标准、过程连续化、自动化的方向发展。例如，以石油炼制和加工为代表的现代化工生产具有规模超大、能量密集、速度快、产物多的特点，历来是安全生产的重中之重。而我国经济的飞速发展导致对各类基本化学品的需求不断增长，企业的装置规模不断扩大，其中相当一部分是在高温、高压条件下处理大流量的易燃易爆物料。

化工装置大型化和集中化降低了建设投资/单位产品，减少了中间储存环节，提高了经济效益，其优势无可争辩。但装置的大型化使生产的弹性大大减弱，大量的危险、有害化学物质都处于工艺过程中，生产线上每一环节故障都会对全局产生严重影响，甚至引发灾难性事故。因此对工艺设备和工艺过程的技术参数要求更加严细，对控制系统和人员配置的可靠性也更加严格。大型装置一旦发生事故，后果很难局限在厂区范围之内，极易演变成危害长远的生态灾难。

化学品事故的后果也越来越呈现出瞬间性、大规模和灾难性的特点。化工装置的危险性往往是隐藏在生产工艺过程和设备中。如果离开了对装置内物料的物理化学性质决定的危险性以及反应机理的充分认识，离开对装置工艺过程、生产设备固有危险性的全面辨

识，离开对其控制系统可操作性和可靠性的分析，对装置现有的安全技术和事故防范措施的确定，以及生产过程管理的各类制度的建立等一系列定性的、定量的安全评价与安全管理工作，化工生产过程的安全性就会存在隐患。

例如，2008年8月2日，贵州兴化化工有限责任公司甲醇储罐区一个精甲醇储罐发生爆炸燃烧，引发该罐区内其他5个储罐相继发生爆炸燃烧。

事故原因为，公司进行甲醇罐惰性气体保护设施建设时，安装公司在处于生产状况下的甲醇罐区违规将精甲醇储罐顶部备用短接打开，与二氧化碳管道进行连接配管，管道另一端则延伸至罐外下部，造成罐体内部通过管道与大气直接连通，致使空气进入罐内，与甲醇蒸气形成爆炸性混合气体。同时精甲醇罐旁边又在违规进行电焊等动火作业，引起管口区域爆炸性混合气体燃烧，并通过连通管道引发罐内爆炸性混合气体爆炸，罐底部被冲开，大量甲醇外泄、燃烧，使附近地势较低处储罐先后被烈火加热，罐内甲醇剧烈汽化，又使相邻5个储罐相继发生爆炸燃烧，造成重大人员伤亡和财产损失。

1.1.4 工艺参数的操作和控制技术要求精准

一种化工产品的生产往往由几个工序组成，在每个工序又由多个化工单元操作和若干台特殊要求的设备和仪表联合组成生产系统，形成工艺流程长、技术复杂、工艺参数多、控制要求高的生产线。因此，化工生产过程的工艺操作要求极其严格，操作人员稍有不慎就会发生误操作，导致安全隐患或生产事故。这就要求任何人不得擅自改动操作参数，要严格遵守操作规程，操作时要注意巡回检查、认真记录、纠正偏差、严格交接班、注意上下工序的联系、及时消除隐患，才能预防各类事故的发生。

例如，1986年3月吉林某石油化工总厂对换热器进行气密性试验。当气压达到3.5MPa时突然发生爆炸，试压环紧固螺栓被拉断，螺母脱落，换热器管束与壳体分离，重量达4t的管束从原地冲出8m，重量达2t的壳体向相反方向飞出38.5m。

事故原因为，操作人员违反操作规程。爆炸的换热器共有40个紧固螺栓，但操作人员只装13只螺栓就进行气密性试验，且因试压环厚度比原连接法兰厚4.7cm，原螺栓长度不够，但操作工仍凑合用原螺栓，在承载螺栓数量减少一大半的情况下，每只螺栓所能承受的载荷又有明显下降，由于实际每只螺栓承载量大大超过设计规定的承载能力，致使螺栓被拉断后，换热器发生爆炸。此外直接参加现场工作的主要人员在试验前请假，将工作委托他人；试验前也没有人对安全防护措施和准备工作进行全面检查。

1.1.5 安全生产和环境保护要求严格

化工生产中的过程安全和环境保护是必须重视的问题。安全生产是化工生产的前提。前述事实已经告诉我们，如果管理不当或生产中出現失误，就可能发生火灾、爆炸、中毒或灼伤等安全事故。轻则影响到产品的质量、产量和成本，造成生产环境的恶化；重则造成人员伤亡和巨大的经济损失，甚至毁灭整个工厂；同时造成环境污染，影响人民健康，危害生态平衡。

例如，1984年12月3日凌晨，印度中央邦的博帕尔市的美国联合碳化物属下的联合碳化物（印度）有限公司设于贫民区附近一所农药厂发生氰化物泄漏，引发了严重的后果。造成了2.5万人直接致死，55万人间接致死，另外有20多万人永久残废的人间惨

剧，导致了世界工业史上绝无仅有之大惨案。由此造成的环境污染一直延续到今天，现在当地居民的患癌率及儿童夭折率仍然因这场灾难远比其他印度城市为高。

各国为了防止污染，相继制定了环境保护法，对化学工厂的原料储运，生产过程中产生的废气、废液、废渣，以及对跑、冒、滴、漏现象的处理，产品的包装和储运，都相继制定了严格的技术规程和标准。现代化工生产，要求把副产品甚至废弃物都进行利用。近几年绿色化学与化工提出原子经济反应概念就是为了解决这个问题。

化工生产中无数惨痛的事实和教训告诉我们，没有一个安全的生产基础，现代化工就不可能健康、正常的发展。安全生产是化学工业的生命线。

1.1.6 化学工业中的危险因素

美国保险协会（AIA）把化学工业中存在的危险因素大致分为九个方面。

(1) 工厂选址

- ① 易遭受地震、洪水、暴风雨等自然灾害；
- ② 水源不充足；
- ③ 缺少公共消防设施的支援；
- ④ 有高湿度、温度变化显著等气候问题；
- ⑤ 受临近危险性大的工业装置影响；
- ⑥ 临近公路、铁路、机场等运输设施；
- ⑦ 在紧急状态下难以把人和车辆疏散至安全地。

(2) 工厂布局

- ① 工艺设备和储存设备过于密集；
- ② 有显著危险性和无危险性的工艺装置间的安全距离不够；
- ③ 昂贵设备过于集中；
- ④ 对不能替换的装置不能有效的防护；
- ⑤ 锅炉加热器等火源与可燃物工艺装置之间距离太小；
- ⑥ 有地形障碍。

(3) 结构

- ① 支撑物、门、墙等不是防火结构；
- ② 电气设备无防护设施；
- ③ 防爆通风换气能力不足；
- ④ 控制和管理的指示装置无防护措施；
- ⑤ 装置基础薄弱，控制不良而使工艺过程处于不正常状态。

(4) 对加工物质的危险性认识不足

- ① 在装置中原料混合，在催化剂作用下自然分解；
- ② 对处理的气体、粉尘等在其工艺条件下的爆炸范围不明确；
- ③ 没有充分掌握因误操作、控制不良而使工艺过程处于不正常状态时的物料和产品的详细情况。

(5) 化工工艺

- ① 没有足够的有关化学反应的动力学数据；