



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材



普通高等教育“十一五”国家级规划教材



面向21世纪课程教材

化工安全概论

第三版

李振花 王虹 许文 编



化学工业出版社

张外倍



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材



普通高等教育“十一五”国家级规划教材



面向21世纪课程教材

化工安全概论

第三版

李振花 王虹 许文 编



化学工业出版社

·北京·

《化工安全概论》主要包括绪论, 国际化学品安全管理体系, 中国化学品安全管理体系, 化学品的性质特征及其危险性, 燃烧、爆炸与防火防爆安全技术, 职业毒害与防毒措施, 化学品泄漏与扩散模型, 化工厂设计与装置安全, 压力容器的设计与使用安全, 化工厂安全操作与维护, 化工事故调查与案例分析。全书内容丰富、针对性强, 具有专业突出、与时俱进的特点。

《化工安全概论》可作为高等学校化工、制药、安全工程等相关专业的本科教材, 也可作为化工、制药、生物、冶金、过程机械等领域相关研究人员、工程技术人员和管理人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

化工安全概论/李振花, 王虹, 许文编. —3 版.

北京: 化学工业出版社, 2017. 8

“十二五”普通高等教育国家级规划教材

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

面向 21 世纪课程教材

ISBN 978-7-122-30177-2

I. ①化… II. ①李…②王…③许… 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 (2017) 第 164142 号

责任编辑: 徐雅妮 杜进祥

责任校对: 王素芹

文字编辑: 丁建华 任睿婷

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 刷: 大厂聚鑫印刷有限责任公司

装 订: 三河市宇新装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张 17 $\frac{3}{4}$ 字数 438 千字 2018 年 1 月北京第 3 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: 39.00 元

版权所有 违者必究

前言

在很多国家，化工以及相关的加工制造业一直是国民经济的支柱产业，包括石油、化工、材料、冶金、过程机械、制药、生物、轻工、食品等，其中大多数都会涉及危险品或危险过程。一旦发生事故，不仅造成巨额经济损失，还可能对人身造成严重伤害。安全与生产之间的密切关系越来越被人们所重视，化工安全逐渐成为全球性的课题而引起广泛注意。随着化学工业的发展，化工过程日益呈现出大型化、工艺复杂化以及化工产品种类复杂多样化等趋势，化工安全也呈现出新的特点。高新技术的发展促进了专用产品、高增值产品和具有先进功能的产品开发，使得化工事故的不可预测性、严重性和危害性更大。因此，有必要对化工类专业的大专院校学生开设化工安全课程并进行安全技术基础训练，以提高学生的安全意识，增长学生的安全知识与技能，为他们在将来的工作中实现安全生产打下良好的基础。

世界上许多大学都设置了安全课程，而我国在 20 世纪仅有几所院校开设安全课，加之缺乏有针对性的教材，使我国化工高等教育在这方面滞后于发达国家。2002 年天津大学许文教授编著的面向 21 世纪课程教材《化工安全工程概论》弥补了这一空缺，为化工类学校学生学习化工安全知识提供了第一本教材。该教材介绍了化工安全新理论、新方法和新技术，注重教材的通用性，侧重于知识介绍，对学生了解安全基础知识并从一些事故案例中获得实际安全经验很有帮助。2011 年《化工安全工程概论》（第二版）由张毅民副教授修订再版，并被评选为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。

为了使将来从事化工领域的管理者和从业者掌握全面的化工安全知识，以便了解化工安全工程的基础理论及具体实践，本次教材修订过程中，作者们综合研究化工过程的发展所带来的安全问题，查阅了国内外相关书籍，并结合多年的授课经验，在原版教材基础上做了较大改动。《化工安全概论》（第三版）第 1~6 章主要讲述了化学品危险性及安全管理体系，包括绪论，国际化学品安全管理体系，中国化学品安全管理体系，化学品的性质特征及其危险性，燃烧、爆炸与防火防爆安全技术，职业毒害与防毒措施等；第 7~11 章主要讲述了化学品生产过程安全，包括化学品泄漏与扩散模型、化工厂设计与装置安全、压力容器的设计与使用安全、化工厂安全操作与维护、化工事故调查与案例分析等。

本书作为高等学校化工学科安全方面的教材，重点面向化工与制药类专业、安全工程专业学生，注重理论知识与实践的结合，使学生能系统掌握化工安全的基本概念、知识和技能，在将来的工作中无论从事化工过程的设计、研究、生产或者管理，都能够肩负起化工安全生产重任。本书也可供化工、制药、生物、冶金、过程机械等领域的研究人员、工程技术人员及管理人员参考使用。

本书第 1~6 章由天津大学王虹副教授编写，第 7~11 章由天津大学李振花教授编写。

由于编者水平有限，书中难免存在疏漏和不当之处，恳请广大读者批评指正。

编者

2017 年 6 月

目 录

第 1 章 绪论 / 1

1.1 现代化学工业中的安全问题	1	的应用	6
1.2 化学工业安全问题的特点	2	1.3.3 化工安全技术的新进展	7
1.3 化工安全理论与技术	5	1.3.4 化工安全工程及其基本内容	8
1.3.1 化工危险性的分析与识别技术	5	思考题	9
1.3.2 人机工程学、劳动心理学和人体测量学			

第 2 章 国际化学品安全管理体系 / 10

2.1 管理组织与机构	10	2.2.6 《斯德哥尔摩公约》	15
2.2 管理体系与制度框架	12	2.2.7 《关于汞的水俣公约》	16
2.2.1 《21 世纪议程》	12	2.2.8 《作业场所安全使用化学品公约》	16
2.2.2 《可持续发展问题世界首脑会议实施 计划》	13	2.2.9 《国际化学品管理战略方针》	17
2.2.3 《维也纳公约》和《蒙特利尔议 定书》	14	2.2.10 《全球化学品统一分类和标签 制度》	17
2.2.4 《巴塞尔公约》	14	2.2.11 《国际危规》	20
2.2.5 《鹿特丹公约》	15	思考题	22

第 3 章 中国化学品安全管理体系 / 23

3.1 管理组织与机构	23	3.2.1 国家发展规划	25
3.1.1 政府管理部门	23	3.2.2 法律法规与部门规章	25
3.1.2 行业协会	24	3.2.3 标准体系	26
3.1.3 其他相关组织与服务机构	24	3.2.4 国际公约与协定	30
3.1.4 化学品安全相关网站	24	思考题	31
3.2 管理体系与制度框架	25		

第 4 章 化学品的性质特征及其危险性 / 32

4.1 化学品的分类和危险性	32	4.1.2 健康危险	34
4.1.1 理化危险	33	4.1.3 环境危险	36

4.2 易燃物质的性质和特征	36	4.4.3 具水敏性质的化学品	41
4.2.1 易燃物质的性质	36	4.4.4 具不稳定结构基团的化学品	42
4.2.2 物质易燃性分类和火险等级	37	4.5 压力系统危险性及其影响因素	43
4.2.3 物质易燃性评估	38	4.5.1 温度对蒸气压的影响	43
4.3 毒性物质的性质和特征	39	4.5.2 相变引起的体积变化	45
4.3.1 毒性物质的临界限度和致死剂量	39	4.5.3 不同物质蒸气和液体的密度	47
4.3.2 毒性物质的判别和危险等级划分	40	4.6 化学反应危险性的动力学分析	48
4.4 反应性物质的性质和特征	40	4.7 化学物质的非互容性	49
4.4.1 具自燃性质的化学品	40	4.8 化学反应类型及其危险性	51
4.4.2 具过氧化性质的化学品	41	思考题	53

第5章 燃烧、爆炸与防火防爆安全技术 / 54

5.1 燃烧概述	54	5.7 爆炸性物质的储存和销毁	81
5.1.1 燃烧三要素	54	5.7.1 爆炸性物质概述	81
5.1.2 燃烧形式	57	5.7.2 爆炸性物质的储存	82
5.1.3 燃烧类别	58	5.7.3 爆炸性物质的销毁	83
5.1.4 燃烧类型及其特征参数	58	5.8 火灾爆炸危险与防火防爆措施	84
5.2 燃烧过程与燃烧原理	60	5.8.1 物料的火灾爆炸危险	84
5.2.1 燃烧过程	60	5.8.2 化学反应的火灾爆炸危险	85
5.2.2 燃烧的活化能理论	61	5.8.3 工艺装置的火灾爆炸危险	86
5.2.3 燃烧的过氧化物理理论	62	5.8.4 防火防爆措施	87
5.2.4 燃烧的链反应理论	62	5.9 有火灾爆炸危险性物质的加工处理	88
5.3 燃烧的特征参数	62	5.9.1 用难燃溶剂代替可燃溶剂	89
5.3.1 燃烧温度	62	5.9.2 根据燃烧性物质的特性分别处理	89
5.3.2 燃烧速率	63	5.9.3 密闭和通风措施	90
5.3.3 燃烧热	64	5.9.4 惰性介质的惰化和稀释作用	90
5.4 爆炸及其类型	65	5.9.5 减压操作	91
5.4.1 爆炸概述	65	5.9.6 燃烧爆炸性物料的处理	92
5.4.2 爆炸分类	65	5.10 燃烧爆炸敏感性工艺参数的控制	92
5.4.3 常见爆炸类型	66	5.10.1 反应温度的控制	92
5.5 爆炸极限理论与计算	69	5.10.2 物料配比和投料速率控制	93
5.5.1 爆炸极限理论	69	5.10.3 物料成分和过反应的控制	94
5.5.2 影响爆炸极限的因素	71	5.10.4 自动控制系统和安全保险装置	95
5.5.3 爆炸极限的计算	74	5.11 灭火剂与灭火措施	96
5.6 燃烧性物质的储存和运输	76	5.11.1 灭火的原理及措施	96
5.6.1 燃烧性物质概述	76	5.11.2 灭火剂及其应用	97
5.6.2 燃烧性物质的危险性	77	5.11.3 灭火器及其应用	98
5.6.3 燃烧性物质的储存安全	78	5.11.4 灭火设施	98
5.6.4 燃烧性物质的装卸和运输	80	思考题	100

第6章 职业毒害与防毒措施 / 101

6.1 毒性物质及其有效剂量	101	6.1.2 毒性物质的分类	102
6.1.1 毒性物质的来源及其毒害作用	101	6.1.3 毒性物质有效剂量	102

6.2 化工常见物质的毒性作用	103	6.6.2 职业中毒特点	114
6.2.1 刺激性气体	104	6.6.3 职业中毒诊断依据	114
6.2.2 窒息性气体	104	6.6.4 职业中毒诊断过程	115
6.2.3 金属及其化合物	105	6.7 职业中毒的临床表现	115
6.2.4 有机化合物	105	6.7.1 呼吸系统	115
6.3 化学物质毒性的影响因素	106	6.7.2 神经系统	116
6.3.1 化学结构对毒性的影响	106	6.7.3 血液系统	116
6.3.2 物理性质对毒性的影响	107	6.7.4 消化系统和泌尿系统	117
6.3.3 环境条件对毒性的影响	108	6.8 防止职业毒害的技术措施	117
6.3.4 个体因素对毒性的影响	108	6.8.1 替代或排除有毒或高毒物料	117
6.4 毒性物质侵入人体途径与毒理作用	109	6.8.2 采用危害性小的工艺	118
6.4.1 毒性物质侵入人体途径	109	6.8.3 密闭化、机械化、连续化措施	118
6.4.2 毒性物质毒理作用	110	6.8.4 隔离操作和自动控制	119
6.5 物质毒性资料的应用	111	6.9 工业毒物的通风排毒与净化吸收	119
6.5.1 毒性物质化学结构与分子量	112	6.9.1 通风排毒措施	119
6.5.2 毒性物质的物性	112	6.9.2 燃烧净化方法	120
6.5.3 动物试验和毒性等级	113	6.9.3 冷凝净化方法	121
6.6 职业中毒及其诊断过程	113	6.9.4 吸收和吸附净化方法	121
6.6.1 职业中毒分类	113	思考题	122

第7章 化学品泄漏与扩散模型 / 123

7.1 化工中常见的泄漏源	124	7.3 扩散方式及扩散模型	147
7.2 化学品泄漏模型	125	7.3.1 扩散方式及其影响因素	147
7.2.1 液体泄漏	125	7.3.2 中性浮力扩散模型	149
7.2.2 气体或蒸气泄漏	134	7.3.3 重气扩散模型	152
7.2.3 液体闪蒸	143	7.3.4 释放动量和浮力的影响	157
7.2.4 液池蒸发或沸腾	145	思考题	157

第8章 化工厂设计与装置安全 / 159

8.1 化工厂设计安全	159	8.4 储存设备安全设计	181
8.1.1 危险和防护的一般考虑	160	8.4.1 储存液化气体、危险液体的装备 技术安全	181
8.1.2 化工厂的定位	161	8.4.2 呼吸阀的安全设计	184
8.1.3 化工厂选址	162	8.5 化工厂其他安全附属装置设计	186
8.1.4 化工厂布局	162	8.5.1 阻火器安全设计	186
8.1.5 化工单元区域规划	164	8.5.2 火炬系统安全设计	189
8.2 化工工艺设计安全	165	8.6 化工设计安全校核、安全评价及 环境评价	196
8.2.1 什么是化工工艺设计	165	8.6.1 评价的目的	196
8.2.2 从实验室到工业化的实验过程	165	8.6.2 安全评价的依据和原则	197
8.2.3 装置工艺设计安全分析	168	8.6.3 环境评价依据	198
8.3 化工过程装置与设备设计安全	174	8.7 危险与可操作性(HAZOP)分析	200
8.3.1 过程装置设计安全	174		
8.3.2 典型设备设计安全	176		

8.7.1 HAZOP 分析原理及技术进展	200	8.7.4 HAZOP 分析步骤及分析举例	201
8.7.2 什么是 HAZOP 分析?	200	思考题	203
8.7.3 HAZOP 分析小组成员及职责	200		

第 9 章 压力容器的设计与使用安全 / 204

9.1 压力容器概述和分类	204	9.3.2 高压工艺管道的设计、制造和 安装	213
9.1.1 压力容器安全概述	205	9.3.3 高压工艺管道操作与维护	214
9.1.2 压力容器的操作与维护	207	9.3.4 高压工艺管道技术检验	214
9.2 压力容器的设计、制造和检验	208	9.4 压力容器安全附属装置设计	216
9.2.1 压力容器设计	208	9.4.1 压力容器常用安全附件	217
9.2.2 压力容器的制造和安装	210	9.4.2 安全阀的安全设计	218
9.2.3 压力容器检验	212	9.4.3 爆破片的安全设计	221
9.3 高压工艺管道的安全技术管理	212	思考题	224
9.3.1 高压工艺管道概述	212		

第 10 章 化工厂安全操作与维护 / 225

10.1 化工厂安全管理制度	225	10.2.5 筛分和过滤	243
10.1.1 制定并遵守安全生产管理制度 ..	225	10.2.6 粉碎和混合	244
10.1.2 开、停车安全操作及管理	226	10.3 化学反应工艺操作安全	245
10.1.3 装置的安全停车与处理	227	10.3.1 国家首批重点监管的 18 种 化工工艺	245
10.1.4 开、停车过程中的置换过程 安全考虑	231	10.3.2 化学反应过程风险分析	245
10.1.5 化工装置检修	235	10.4 工艺变更管理	258
10.2 化工厂单元操作安全	237	10.4.1 工艺和设备变更管理	258
10.2.1 物料输送	237	10.4.2 变更申请、审批	259
10.2.2 熔融和干燥	238	10.4.3 变更实施	260
10.2.3 蒸发和蒸馏	239	10.4.4 变更结束	260
10.2.4 冷却、冷凝和冷冻	241	思考题	261

第 11 章 化工事故调查与案例分析 / 262

11.1 化工事故调查的目的和意义	262	11.4.1 火灾事故案例	267
11.2 化工事故调查程序	263	11.4.2 爆炸事故案例	268
11.3 化工事故调查报告内容	266	11.4.3 中毒事故案例	271
11.4 化工事故案例分析	267		

参考文献 / 274

第1章

绪论

作为一个基础工业门类，化学工业在国民经济中占有极为重要的地位。在当今的激烈国际竞争中，化学工业的规模与质量，既是一个国家发达程度的标志，综合国力的具体体现，也是构成其现代文明生活方式的物质基础。世界上几乎所有的工业发达国家，如美国、英国、德国、法国、日本、瑞士等，同时也是化学工业大国和强国。随着国民经济的快速发展，我国在化学品的生产、销售和使用上，已超越美国跃居世界第一，且持续快速增长。国民经济中的石油、医药、农业、能源、电子、生物、通信、材料、航空航天乃至军工等产业和领域的发展，没有强大的化学工业作为支撑，是完全无法实现的。

同时在另一方面也应看到，高度发达的化学工业以及数目众多的化学产品，在为提高人类生活水平和促进文明进步做出重要贡献的同时，也给人类自身以及周边环境带来了日益严重的危害。化学工业各个环节不时出现的火灾、爆炸、毒副作用以及环境伤害，经互联网时代新兴媒体的不断报道和快速传播，持续强化了化学工业在大众心目中的负面形象，为化学工业的健康和可持续发展蒙上了巨大阴影。

1.1 现代化学工业中的安全问题

伴随着现代化学工业的迅速发展及生产规模的不断扩大，各种不同类型的环境污染和恶性重大工业事故时有发生。1930年12月比利时发生了“马斯河谷事件”。在马斯河谷地区由于铁工厂、玻璃厂和锌冶炼厂等排出的污染物被封闭在逆温层下，浓度急剧增加，使人感到胸痛、呼吸困难，一周之内造成60人死亡，许多家畜也相继死去。1948年10月美国宾夕法尼亚州的多诺拉、1952年底英国的伦敦都相继发生类似事件，其中“伦敦烟雾事件”使当地在1952年11月1日至12月12日期间的死亡人数比历史同期多了3500~4000人。1961年9月14日，日本富山市一家化工厂因管道破裂，氯气外泄，使9000余人受害，532人中毒，大片农田被毁。1974年英国Flixborough地区化工厂环己烷泄漏导致的蒸气云爆炸

和1984年印度博帕尔发生的异氰酸甲酯泄漏所造成的中毒事故，都是震惊世界的灾难。1960~1977年的18年中，美国和西欧发生重大火灾和爆炸事故360余起，死伤1979人，损失数十亿美元。

在我国，化学工业事故也是频繁发生。据统计，1950~1999年的50年中，发生各类伤亡事故23425起，死伤25714人，其中因火灾和爆炸事故死伤4043人。仅以2015年8月12日，位于天津市滨海新区天津港的瑞海国际物流有限公司危险品仓库发生的特别重大火灾爆炸事故为例，就可看出我国化工安全面临的严峻形势。根据官方最终公布的事故调查报告，事故共造成165人遇难，8人失踪，798人受伤住院治疗；304幢建筑物、12428辆商品汽车、7533个集装箱受损。截至2015年12月10日，事故调查组依据《企业职工伤亡事故经济损失统计标准》(GB 6721—1986)等标准和规定统计，已核定直接经济损失68.66亿元(人民币)。

事故还造成了严重的环境污染。通过分析事发时肇事公司储存的111种危险货物的化学组分，确定至少有129种化学物质发生爆炸燃烧或泄漏扩散；其中，氢氧化钠、硝酸钾、硝酸铵、氰化钠、金属镁和硫化钠这6种物质的重量占到总重量的50%。同时，爆炸还引燃了周边建筑物以及大量汽车、焦炭等普通货物。本次事故残留的化学品与产生的二次污染物逾百种，对局部区域的大气环境、水环境和土壤环境造成了不同程度的污染。

1.2 化学工业安全问题的特点

随着技术的进步和市场的迅速扩大，化学工业目前已在整个制造业中占有了相当的比例。在化工生产中，从原料、中间体到成品，大都具有易燃、易爆、毒性等化学危险性；化工工艺过程复杂多样化，高温、高压、深冷等不安全的因素很多。事故的多发性和严重性是化学工业独有的特点。

大多数化工危险都具有潜在的性质，即存在着“危险源”，危险源在一定的条件下可以发展成为“事故隐患”，而事故隐患继续失去控制，则转化为“事故”的可能性会大大增加。因此，可以得出以下结论，即危险失控，可导致事故；危险受控，能获得安全。所以辨识危险源成为重要问题。目前国内流行的安全评价技术，就是在危险源辨识的基础上，对存在的事故危险源进行定性和定量评价，并根据评价结果采取优化的安全措施。提高化工生产的安全性，需要增加设备的可靠性，同样也需要加强现代化的安全管理。

美国保险协会(American Insurance Association, AIA)对化学工业的317起火灾、爆炸事故进行调查，分析了主要和次要原因，把化学工业危险因素归纳为以下九种类型。

(1) 工厂选址问题

- 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 受邻近危险性大的工业装置影响；
- ⑥ 邻近公路、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带。

(2) 工厂布局问题

- 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 对不能替换的装置没有有效的防护；
- 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) 结构问题

- ① 支撑物、门、墙等不是防火结构；
- ② 电气设备无防险措施；
- 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。

(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) 化工工艺问题

- ① 没有足够的有关化学反应的动力学数据；
- ② 对有危险的副反应认识不足；
- ③ 没有根据热力学研究确定爆炸能量；
- ④ 对工艺异常情况检测不够。

(6) 物料输送问题

- ① 各种单元操作时不能对物料流动进行良好控制；
- ② 产品的标示不充分；
- ③ 风送装置内的粉尘爆炸；
- ④ 废气、废水和废渣的处理；
- ⑤ 装置内的装卸设施。

(7) 误操作问题

- ① 忽略关于运转和维修的操作教育；
- ② 没有充分发挥管理人员的监督作用；
- ③ 开车、停车计划不适当；
- ④ 缺乏紧急停车的操作训练；
- ⑤ 没有建立操作人员和安全人员之间的协作体制。

(8) 设备缺陷问题

- ① 因选材不当而引起装置腐蚀、损坏；
- ② 设备不完善，如缺少可靠的控制仪表等；
- ③ 材料的疲劳；
- ④ 对金属材料没有进行充分的无损探伤检查或没有经过专家验收；
- ⑤ 结构上有缺陷，如不能停车而无法定期检查或进行预防维修；
- ⑥ 设备在超过设计极限的工艺条件下运行；
- ⑦ 对运转中存在的问题或不完善的防灾措施没有及时改进；
- ⑧ 没有连续记录温度、压力、开停车情况及中间罐和受压罐内的压力变动。

(9) 防灾计划不充分

- ① 没有得到管理部门的大力支持；
- ② 责任分工不明确；
- ③ 装置运行异常或故障仅从属于安全部门，只是单线起作用；
- ④ 没有预防事故的计划，或即使有也很差；
- ⑤ 遇有紧急情况未采取得力措施；
- ⑥ 没有实行由管理部门和生产部门共同进行的定期安全检查；
- ⑦ 没有对生产负责人和技术人员进行安全生产的继续教育和必要的防灾培训。

瑞士再保险公司统计了化学工业和石油工业的 102 起事故案例，分析了上述九类危险因素所起的作用，表 1-1 为统计结果。

表 1-1 化学工业和石油工业的危险因素

类别	危险因素	危险因素的比例/%	
		化学工业	石油工业
1	工厂选址问题	3.5	7.0
2	工厂布局问题	2.0	12.0
3	结构问题	3.0	14.0
4	对加工物质的危险性认识不足	20.2	2.0
5	化工工艺问题	10.6	3.0
6	物料输送问题	4.4	4.0
7	误操作问题	17.2	10.0
8	设备缺陷问题	31.1	46.0
9	防灾计划不充分	8.0	2.0

由表 1-1 可以看出，设备缺陷问题是第一位的危险，若能消除此项危险因素，则化学工业和石油工业的安全就会获得有效改善。在化学工业中，“4 对加工物质的危险性认识不足”和“5 化工工艺问题”两类危险因素占较大比例，这是由以化学反应为主的化学工业的特征所决定的。在石油工业中，“2 工厂布局问题”和“3 结构问题”两类危险因素占较大比例。石油工业的特点是需要处理大量可燃物质，由于火灾、爆炸的能量很大，所以装置的安全间距和建筑物的防火层不适当时就会形成较大的危险。另外，误操作问题在两种工业危险中都占较大比例。操作人员的疏忽常常是两种工业事故的共同原因，而在化学工业中所占比重更大一些。在以化学反应为主体的装置中，误操作常常是事故的重要原因。

1.3 化工安全理论与技术

化工安全理论与技术包括的内容极为丰富、涉及范围很广。它既涉及数学、物理、化学、生物、天文、地理等基础科学的知识，也有电工学、材料力学、劳动卫生学等应用科学方面的内容，又与化工、机械、电力、冶金、建筑、交通运输等工程技术科学密切相关。在过去几十年中，化工安全的理论和技术随着化学工业的发展和各学科知识的不断深化，取得了较大进展。除了对火灾、爆炸、静电、辐射、噪声、职业病和职业中毒等方面的研究不断深入外，还把系统工程学的理论和方法应用于安全领域，派生出了一个新的分支——安全系统工程学。化工装置和控制技术的可靠性研究发展很快，化工设备故障诊断技术、化工安全评价技术，以及防火、防爆和防毒的技术和手段都有了很大发展。

1.3.1 化工危险性的分析与识别技术

目前常用的化工危险性分析与识别技术主要有以下几种。

(1) 安全检查表法 (Safety Checklist Analysis, SCA)

为了查找工程、系统中各种设备设施、物料、工件的操作、管理和组织措施中的危险和有害因素，事先把检查对象加以分解，将大系统分割成若干小的子系统，以疑问或打分的形式，将检查项目列表逐项检查，避免遗漏。这样通过问题表格进行分析的方式，称为安全检查表法。

安全检查表法广泛用于安全检查、潜在风险发现、安全规章及制度的实施检查等，是一个常用的、易于理解与掌握，且行之有效的安全风险分析方法。

(2) 故障假设分析法 (What-If Analysis, WIA)

故障假设分析是一种对系统工艺过程或操作过程的创造性分析方法。它要求参与分析的专业人员采用“*What...if*”（如果……怎样）作为开头的方式进行思考，任何与工艺安全相关的问题、任何与装置有关的不正常生产条件等都可提出并加以讨论，而不仅仅是设备故障或工艺参数变化。所有提出的问题和讨论的结果均需以表格的形式记录下来，旨在识别可能存在的危险情况，提出降低风险的建议，消除已有安全措施漏洞，提高工艺过程的安全水平。

(3) 故障类型和影响分析法 (Failure Mode and Effects Analysis, FMEA)

故障类型和影响分析起源于可靠性分析技术，故而有时也被称为失效模式与影响分析，其早期的应用领域主要是航空航天，其后逐渐扩大其应用范围，现已成为一种通用的安全分析手段。在运用故障类型和影响分析方法时，需根据分析对象的特点，将其划分为系统、子系统、设备及元件等不同的分析层级，然后再分析这些层级上可能发生的故障模式及其产生的影响，以便采取相应的对策，提高系统的安全可靠性。

早期的故障类型和影响分析只能做定性分析，后来加入了故障发生难易程度的评价或概率的内容，进一步发展成为更加全面的故障类型和影响、危害度分析 (Failure Mode, Effects and Criticality Analysis, FMECA) 方法。这样的话，从基层开始，如果确定了个别

元件的故障发生概率，就可逐层往上确定设备、子系统、系统的故障发生率，定量分析故障影响。

(4) 危险与可操作性分析法 (Hazard and Operability Analysis, HAZOP)

危险与可操作性分析是英国帝国化学工业有限公司 (Imperial Chemical Industries Ltd, ICI) 蒙德分部于 20 世纪 70 年代发展起来的以引导词为核心的一种系统危险分析方法，广泛用于识别化工装置在设计和操作阶段的工艺危害，具有科学、系统的突出特点，近年来在风险分析领域备受推崇。危险与可操作性分析的基本模式是，由一组具有不同专业背景人员组成的专家团队，采用会议的形式，通过引导词的带领，找出过程中工艺状态的变化以及其与设计工艺条件的偏差，分析偏差出现的原因、后果，寻求与制定可采取的对策。

危险与可操作性分析方法尤其适用于化工、石油化工等生产装置，可以对处于设计、运行、报废等各阶段的全过程进行危险分析，既适合连续过程也适合间歇过程。自其提出以来，历经 40 多年的不断发展和完善，现已成为世界上各大化工生产企业用于确保其设计和运行安全的标准风险分析方法。

(5) 事故树分析法 (Fault Tree Analysis, FTA)

事故树分析也被称作故障树分析，是一种常用的系统安全分析方法。它使用带有逻辑关系的图形符号，把系统可能发生的事故与导致事故发生的各种因素联系起来，形成树状的、带有逻辑关联的事故图，并对事故图进行分析，以找出导致事故发生的原因，通过采取安全措施来降低事故发生概率。

事故树分析方法在化工安全领域有着广泛的应用，既可用作定性分析，也可用作定量分析，尤其适用于复杂系统。

(6) 事件树分析法 (Event Tree Analysis, ETA)

事件树分析是一种利用图形进行演绎的逻辑分析方法，常用于分析设备故障、工艺异常等事件导致事故发生的可能性。它按照事故发展的时间顺序，由初始事件开始推论可能的后果，进行安全风险辨识。事件树分析法在具体应用时，将系统可能发生的事故与导致事故发生的原因以一种被称为事件树的图形关联起来，通过对事件树的定性与定量分析，寻找事故发生的主要原因，为确定安全对策提供依据，预防事故发生。

事件树分析方法适用于多环节事件或多重保护系统的安全风险分析，用于建立导致事故的事件与初始事件之间的逻辑关联，以消除事故隐患，降低系统风险。

上述各种方法在不同的领域、情形下应用时，各有其优势和特点。具体的企业或部门可根据自身的需要和满足条件，选择采用。

1.3.2 人机工程学、劳动心理学和人体测量学的应用

统计表明，多数工业事故都是由于人员失误造成的。在工业生产中，人的作用日益受到重视。围绕人展开的研究，如人机工程学、劳动心理学、人体测量学等方面都取得了较大进展。

(1) 人机工程学

人机工程学是现代管理科学的重要组成部分。它应用生物学、人类学、心理学、人体测量学和工程技术科学的成就，研究人与机器的关系，使工作效率达到最佳状态。主要研究内容如下。

① 人机协作。人的优点是对工作状况有认知能力和适应能力，但容易受精神状态和情绪变化的支配。而且人易于疲劳，缺乏耐久性。机械则能持久运转，输出能量较大，但对故障和外界干扰没有自适应能力。人和机械都取其长、弃其短，密切配合，组成一个有机体，从根本上提高人机系统的安全性和可靠性，获得最佳工作效率。

② 改善工作条件。人在高温、辐射、噪声、粉尘、烟雾、昏暗、潮湿等恶劣条件下容易失误，引发事故，改善工作条件则可以保证人身安全，提高工作效率。

③ 改进机具设施。机具设施的设计应该适合人体的生理特点，这样可以减少失误行为。比如按照以上人机工程学原理设计控制室和操作程序，可以强化安全，提高工作效率。

④ 提高工作技能。对操作者进行必要的操作训练，提高其操作技能，并根据操作技能水平选评其所承担的工作。

⑤ 因人制宜。研究特殊工种对劳动者体能和心智的要求，选派适宜的人员从事特殊工作。

(2) 劳动心理学

劳动心理学是从心理学的角度研究照明、色调、音响、温度、湿度、家庭生活与劳动者劳动效率的关系。主要内容如下。

① 根据操作者在不同工作条件下的心理和生理变化情况，制订适宜的工作和作息制度，促进安全生产，提高劳动效率。

② 发生事故时除分析设备、工艺、原材料、防护装置等方面存在的问题外，同时考虑事故发生前后操作者的心理状态。从而可以从技术上和管理上采取防范措施。

(3) 人体测量学

人体测量学是通过人体的测量指导工作场所安全设计、劳动负荷和作息制度的确定以及有关的安全标准的制定。它需要测定人体各部分的相关尺寸，执行器官活动所涉及的范围。除了生理方面的测定外，还要进行心理方面的测试。人体测量学的成果为人机工程学、安全系统工程等现代安全技术科学所采用。

1.3.3 化工安全技术的新进展

近几十年来，安全技术领域广泛吸收了各个学科的最新科学技术成果，在防火、防爆、防中毒，防止机械装置破损，预防工伤事故和环境污染等方面，都取得了较大发展，安全技术已发展成为一个独立的科学技术体系。特别是进入新世纪后，以计算机、自动控制、现场实时监控、移动互联网技术等为代表的新兴技术手段的飞速发展，加上对安全问题的认识的不断深化，在制定严格制度的基础上，通过技术方式实现安全生产、避免化工安全事故的发生，已日趋成为今后发展的主流。

(1) 设备故障诊断技术和安全评价技术迅速发展

随着化学工业的发展、高压技术的应用，对压力容器的安全监测变得极为重要。无损探伤技术得到迅速发展，声发射技术和红外热像技术在探测容器的裂纹方面，断裂力学在评价压力容器寿命方面都得到了重要应用。

危险性具有潜在的性质，在一定条件下可以发展成事故，也可以采取措施抑制其发展。所以危险性辨识成为重要问题。目前国内外积极推行的安全评价技术，就是在危险性辨识的基础上，对危险性进行定性和定量评价，并根据评价结果采取优化的安全措施。

(2) 监测危险状况、消除危险因素的高新技术不断出现

危险状况测试、监视和报警的新仪器不断投入应用。不少国家广泛采用了烟雾报警器、火焰监视器。感光报警器、可燃性气体检测报警仪、有毒气体浓度测定仪、噪声测定仪、电荷密度测定仪、嗅敏仪等仪器也相继投入使用。

消除危险因素的高新技术、新材料和新装置的研究不断深入。橡胶和纺织工业部门已有效地采用了放射性同位素静电中和剂，在烃类燃料和聚合物溶液中，抗静电添加剂已投入使用。压力、温度、流速、液位等工艺参数自动控制与超限保护装置被许多化工企业所采用。

(3) 救人灭火技术有了很大进展

许多国家在研制高效能灭火剂、灭火机和自动灭火系统等方面取得了很大进展。如美国研制成功的新灭火抢救设备空中飞行悬挂机动系统，具有救人救火等多种功能。法国研制的含有玻璃纤维的弹性软管，能耐 800℃ 的高温，当人在软管中迅速滑落时，不会灼伤，手和脸部的皮肤也不会擦伤。

(4) 预防职业危害的安全技术有了很大进步

在防尘、防毒、通风采暖、照明采光、噪声治理、振动消除、高频和射频辐射防护、放射性防护、现场急救等方面都取得了很大进展。

(5) 严格技术规范与先进管理技术的发展

化工生产和化学品储运工艺安全技术、设施和器具等的操作规程及岗位操作规定，化工设备设计、制造和安装的安全技术规范不断趋于完善，管理水平也有了很大提高。

1.3.4 化工安全工程及其基本内容

如同许多的其他学科一样，对于化工安全工程这门学科，要想简洁地给出一个准确的定义，或者对其所涵盖的范围、包含的内容做出较为严格且广为接受的界定，并不是一件容易的事情。原则上讲，化工安全工程至少应包含两大部分内容，即有关化学品危害的基础知识及其在制备等环节所牵涉的安全问题。前者是化工安全工程区别于其他学科领域的安全工程问题的前提与基础，也是讨论所有化学工业领域安全问题的出发点，而后者则是所谓的化学工艺及过程安全所需考虑的相关问题的核心。

任何工业过程的最终目的都是制造某种特定的产品。化学工业也不例外，它的产品就是当下已无处不在的化学品。化学工业的安全问题既来自其制造过程本身，也来自其所制造的产品。从现今广为接受的对化学品实施全生命周期的管理以防范其对人类健康和环境造成危害的角度看，化工过程安全可以视作是化学品整个生命周期安全管理中的一个环节，或曰一个“时段”。在内容特征上，为了尽量减少化学品在储存、运输、终端使用或消费乃至最终弃置等生命阶段的安全风险，制定严格的管理规范及健全的制度措施是关键，有效实施是保障，法律法规及制度建设层面的内容较多。而在涉及化学品制备环节的安全问题，即考虑过程安全时，除了保障安全的具体措施及规章制度外，系统的科学理论分析与一系列工程技术手段的采纳与运用，则是这部分内容的主体与核心。

本书的叙述基本遵循了上述原则，首先分国际和国内两个部分，介绍有关化学品安全管理的一些基本制度框架、与化学品安全相关的理论知识及防范措施，然后在此基础上，将化学品制备过程涉及的一些基本安全问题分为若干章节，逐一展开进行讨论，以便对化工安全工程所包含的内容能有一个较为全面的理解与掌握。

思考题

1. 为什么说化工安全问题是伴随着化学工业的发展而来的？
2. 化工安全风险可以通过理论分析事先加以辨识并预防吗？
3. 化工安全工程这门学科都包含哪些基本内容？它与人类在其他领域所遇到的安全问题的根本区别在哪里？
4. 高度发达的化学工业以及数目众多的化学产品，在为提高人类生活水平和促进文明进步做出重要贡献的同时，也给人类自身以及周边环境带来了日益严重的危害。人类该如何取舍呢？“利”、“弊”两者间是否能找到一个平衡？