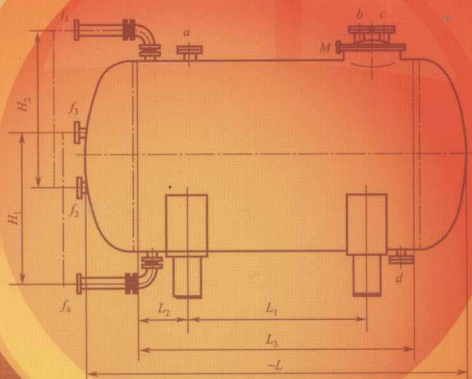


高等学校教材

化工安全工程

毕明树 周一卉 孙洪玉 编著

HUAGONG ANQUAN
GONGCHENG



化学工业出版社

本书可作为化工类研究生教材或安全工程本科专业教材,也可供从事化工、冶金、制药、生物、过程机械方面工作的研究学者、工程技术人员、管理人员参考。



I. ①化… II. ①毕…②周…③孙… III. ①化学工业-安全工程-高等学校-教材 IV. ①TQ086

责任编辑：程树珍
责任校对：蒋宇

文字编辑：向 东
装帧设计：刘丽华

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：三河市万龙印装有限公司
787mm×1092mm 1/16 印张22 字数569千字 2014年7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：49.00 元

版权所有 违者必究

前言

近年来,我国化工产业迅猛发展,已成为世界化工品生产第一大国,总产值占世界总产值的25%,为国民经济的发展、工业现代化建设、社会繁荣和人民生活水平的提高做出了巨大贡献。与此同时,化工、石油化工、石油炼制、天然气化工、制药、冶金、煤矿等行业各类事故屡有发生。虽然近几年危险化学事故总量呈现持续下降趋势,但与发达国家相比,安全生产形势依然严峻。分析其主要原因:一是我国化工产业起步晚、起点低、基础薄,化工行业人才、技术、装备和管理不能满足行业安全生产的要求;二是本质安全水平低,企业选址布局不合理,安全设计水平、工艺和装备自动化控制水平较低;三是化工安全生产复合型人才、具有与生产操作相关专业知识和安全知识的操作人员缺乏,掌握先进工艺安全管理的人员更是短缺。为改变这种状况,在人才培养方面,必须强化化工安全复合型人才培养,加强化工安全技术的课程建设与教学,加强教材建设,加强教学内容和方法改革。

化工安全工程是根据化学工业物质种类多,过程复杂多样,操作条件苛刻(高温、高压、深冷、腐蚀)等特点,研究物质性质与安全、化工厂设计与安全、装置操作与安全规律的科学。通过学习这门课程,了解化工厂设计、过程操作、设备运行和维护中涉及的安全技术与工程,熟悉火灾、爆炸、中毒、腐蚀、职业损害等方面的防护理论、方法与技术。

本书以最新研究进展为基础,充分反映新标准、新规范、新法规的要求,做到深入浅出、理论联系实际、实用性强。主要介绍化工厂设计、过程操作、设备运行和维护等方面的安全基本知识与最新研究成果,本书具有以下特色。

(1) 知识新。本书特别注重理论联系实际,引用了大量科学技术研究最新成果,包括新理论、新知识、新技术、新方法、新材料、新装备,把当前研究的前沿问题融于相关章节之中,介绍了目前先进的研究方法和手段。既有编著者的最新研究成果,也有近几年重要期刊上发表的新成果。

(2) 内容精。本书精选内容,贯彻少而精、博而通的原则。

① 本书的主线是研究化工生产过程的危险源向事故隐患转化进而向事故转化的规律,从而提出灾害防治方法,提高预防与控制的有效性。各种概念、理论、计算方法都是为这条主线服务的。

② 注重基本概念和基本理论的理解与应用,只依靠公式是不能解决实际问题的。强调掌握应用基本概念和理论分析处理实际问题的基本方法,强化对实际问题进行“抽象”、“简化”、“建模”、“求解”,并提出解决方案的基本方法,引导学生举一反三。

③ 引导学生提高工程意识。处理工程实际问题的方法是多种多样的,各种方案之间也只有更好,没有最佳。在基本概念和所用理论正确的基础上,要敢于从不同的角度思考,提出创新性解决方案。

④ 考虑到化工安全生产的要素,强化了对相关标准的解读,让学生知其然,也知其所以然。

(3) 反映学科前沿内容。课堂内容紧跟学科前沿,让学生在掌握书本知识的同时,对相

关领域的研究动态有个基本了解。以笔者的研究工作或事先准备好的最新发表的成果为例,介绍相关理论的发展态势和应用中应该注意的问题。把学生从书本带到了科学研究和技术开发的前沿,激发他们的创新思维。

(4) 实用性强。随着国家对安全生产的日益重视和安全工程技术的快速发展,近年来出台了一系列安全生产法律、法规和规范。本书将以最新研究进展为基础,充分反映新标准、新规范、新法规的要求,做到深入浅出、理论联系实际、实用性强。

(5) 图文并茂。本书提供了很多实际设备图片,包括实体照片和剖面结构图,做到了图文并茂,有助于学生理解基本概念和基本原理。

(6) 强化总结。每章开头有内容提要与学习要求,结尾有小结。每章均配有思考题和习题。结合教材内容,给出一些研讨题目,引导学生课外讨论。希望在教学过程中教师参与讨论,鼓励学生大胆提出质疑,加深对知识的理解,提高运用所学知识分析解决实际问题的能力。

本书的主要内容包括介绍化工厂设计、过程操作、设备运行和维护等方面的安全基本知识与最新研究成果。其中绪论主要介绍化工生产的特点、化工生产中的安全事故、化工生产中的安全策略和本课程的性质与内容;第1章介绍燃烧和爆炸基本理论,包括燃烧与爆炸的基本概念、燃烧与爆炸参数的测试、爆炸极限及其估算、密闭空间内的可燃介质爆炸特性、开敞空间可燃介质的爆炸特性;第2章介绍防火防爆原理与技术,包括防火措施、爆炸灾害防护原理、抑爆原理及技术、隔爆原理及技术、泄爆原理与技术;第3章介绍职业毒害与防毒措施,包括职业卫生与职业病、毒性物质分类及作用、毒性危害程度分级、职业毒害防治技术、中毒症状与急救;第4章介绍泄漏源与扩散模式,包括化工装置泄漏模式、气体扩散模式及影响因素、气体扩散模型、气体扩散的数值模拟;第5章介绍重大危险源辨识与安全评价,包括重大危险源分类与分级、安全评价分类、危险度分析与评价、事故后果评价;第6章介绍化工操作原理与安全,包括生产岗位安全操作、开车安全操作及管理、停车安全操作及管理、化工装置维护与管理;第7章介绍化工装置设计与安全,包括化工装置选址、化工装置布局、化工单元区域规划、化工装置防火结构、公用工程设施安全;第8章介绍化工产品储运和使用安全技术,包括危险化学品基础知识、危险化学品储存安全技术、危险化学品使用安全技术、危险化学品运输安全技术、危险化学品事故应急救援预案。

本书参考和借鉴了一些文献资料中介绍的研究成果,已尽力在参考文献中列出,在此对各位作者表示诚挚的谢意。本书在编写过程中,博士生任婧杰、黄呈杰,硕士生张鹏鹏、刘鹏、朱德凤、姜风银、牡丹在材料收集、图表整理、文字校对等方面给予了大力帮助,在此表示衷心感谢。

本书可作为化工类研究生教材或安全工程本科专业教材,也可供从事化工、冶金、制药、生物、过程机械方面工作的研究学者、工程技术人员、管理人员参考。

本书由大连理工大学毕明树、周一卉、孙洪玉编著。绪论、第1、第2章由毕明树执笔编写,第3~第5章由周一卉执笔编写,第6~第8章由孙洪玉执笔编写。

鉴于编著者水平有限,因此本书在材料的选取与把握、内容的安排、语言的叙述等方面,均会存在这样那样的问题,衷心希望读者批评指正。

本书的编写得到了大连理工大学研究生院的大力支持和资助。

编著者

2014. 1.

◆ 目 录

0 绪论	1
0.1 化工生产的特点	1
0.2 化工生产中的安全事故	3
0.3 化工生产中的安全策略	6
0.4 本课程的性质与内容	9
思考题	10
1 燃烧和爆炸基本理论	11
1.1 燃烧的基本概念	11
1.1.1 燃烧	11
1.1.2 化学计量浓度	12
1.1.3 完全燃烧与不完全燃烧	13
1.1.4 最危险浓度	14
1.1.5 燃烧速度和火焰速度	14
1.1.6 理论燃烧火焰温度	15
1.2 爆炸的基本概念	16
1.2.1 爆炸	16
1.2.2 爆炸的分类	16
1.3 燃烧与爆炸的必要条件	18
1.3.1 气体燃烧与爆炸的基本条件	18
1.3.2 粉尘爆炸的必要条件	19
1.4 闪点与燃点	20
1.4.1 闪点与燃点的概念	20
1.4.2 闪点与燃点的用途	20
1.4.3 闪点的测量	21
1.4.4 沸点与初馏点	21
1.5 自燃点	22
1.6 爆炸极限	22
1.6.1 可燃气体在空气中的爆炸极限	22
1.6.2 影响爆炸极限的因素	22
1.6.3 爆炸极限的估算方法	25
1.6.4 可燃气体在氧气中的爆炸极限	27
1.6.5 可燃气体在其他氧化剂中的爆炸极限	29
1.6.6 含氧量安全限值	29

1.7 最大试验安全间隙	30
1.8 密闭空间气体爆炸强度	30
1.9 开敞空间气体爆炸强度	34
1.9.1 凝聚相炸药爆炸	35
1.9.2 开敞空间气云爆炸的特点	35
1.10 粉尘爆炸特性	40
1.10.1 粉尘的爆炸极限	40
1.10.2 粉尘的爆炸特点	41
1.10.3 粉尘的爆炸强度	42
1.11 物理蒸气爆炸	42
1.11.1 高温物体与低温液体迅速混合引发的蒸气爆炸	42
1.11.2 沸腾液体蒸气爆炸 (BLEVE)	43
1.12 化学反应失控	43
1.13 压力容器爆炸威力	44
1.14 爆炸事故的划分	45
1.14.1 按危险程度划分	45
1.14.2 按损失程度划分	46
1.15 爆炸波破坏准则	46
1.15.1 爆炸波的结构和破坏机理	46
1.15.2 爆炸波破坏准则	48
小结	49
思考题	52
习题	53
2 防火防爆原理与技术	54
2.1 火灾爆炸危险物质	55
2.1.1 危险化学品相关法规和标准	55
2.1.2 危险化学品火灾爆炸危险性分类分级	56
2.1.3 忌水性物质	58
2.1.4 混合危险性物质	60
2.1.5 自燃性物质	61
2.2 火灾分类	62
2.3 防火灭火原理	63
2.4 灭火剂选用	63
2.4.1 水	64
2.4.2 泡沫灭火剂	64
2.4.3 干粉灭火剂	65
2.4.4 水型灭火剂	65
2.4.5 哈龙灭火剂	66
2.4.6 哈龙替代品	66
2.4.7 四氯化碳灭火剂	69
2.4.8 7501 灭火剂	69

2.4.9 烟雾灭火剂	69
2.4.10 灭火器选用	70
2.5 混合物浓度控制	71
2.5.1 可燃物质浓度控制	72
2.5.2 助燃物质浓度控制	73
2.6 惰化技术	73
2.7 点火源控制	74
2.7.1 控制明火	75
2.7.2 防止静电	75
2.7.3 防雷	77
2.8 爆炸抑制技术	77
2.8.1 爆炸探测器的工作原理	78
2.8.2 爆炸信号控制器的工作原理	78
2.8.3 爆炸抑制器的工作原理	79
2.9 爆炸阻隔技术	81
2.9.1 阻火器	81
2.9.2 隔爆装置	84
2.10 密闭空间安全泄放技术	87
2.10.1 泄放装置的设置原则	88
2.10.2 泄放装置的选型	88
小结	94
思考题	96
3 职业毒害与防毒措施	98
3.1 职业卫生与职业病	98
3.1.1 职业卫生	98
3.1.2 职业病	99
3.2 职业中毒	100
3.2.1 工业毒物的基本概念	100
3.2.2 工业毒物的毒性	101
3.2.3 工作场所有害因素职业接触限值	102
3.3 化工常见物质的毒性作用	104
3.4 生产性粉尘及其对人体的危害	106
3.4.1 生产性粉尘及分类	106
3.4.2 生产性粉尘对人体的危害	106
3.5 防毒防尘的对策措施	108
3.5.1 完善法律、法规、标准体系	108
3.5.2 采取有效技术措施	108
思考题	110
习题	111
4 泄漏源与扩散模式	112
4.1 化工生产常见泄漏源	112

4.2 泄漏模式与泄漏量计算	113
4.2.1 液体经小孔泄漏的源模式	113
4.2.2 储罐中液体流经小孔泄漏的源模式	114
4.2.3 液体经管道泄漏的源模式	117
4.2.4 气体或蒸气经小孔泄漏的源模式	121
4.2.5 闪蒸液体的泄漏源模式	123
4.2.6 易挥发液体蒸发的源模式	126
4.3 液体扩散	128
4.3.1 液体扩散和液池计算	128
4.3.2 液体的蒸发量计算	130
4.3.3 泄漏物质在水中的扩散	131
4.4 气体的扩散	132
4.4.1 气体喷射扩散浓度分布的计算	132
4.4.2 气体或液体闪蒸形成的蒸气绝热扩散半径与浓度的计算	132
4.4.3 气团在大气中的扩散	133
4.4.4 Pasquill-Gifford 模型	143
4.5 化工泄漏的控制	151
思考题	153
习题	153
5 重大危险源辨识与安全评价	155
5.1 危险化学品重大危险源辨识	155
5.1.1 危险源、重大危险源及其分类	156
5.1.2 重大危险源辨识标准	159
5.1.3 重大危险源危险物质临界量的计算	159
5.2 重大危险源的安全评价技术	165
5.2.1 安全检查表	165
5.2.2 预先危险性分析	168
5.2.3 危险和操作性研究	175
5.2.4 事件树分析	178
5.2.5 事故树分析	181
5.2.6 概率风险评价法	190
5.2.7 道化学公司火灾爆炸危险指数评价法	194
5.2.8 英国 ICI 公司蒙德法	202
5.2.9 单元危险性快速排序法	208
5.2.10 作业条件危险性评价法	212
小结	213
思考题	215
习题	216
6 化工操作原理与安全	217
6.1 生产岗位安全操作	217

6.1.1	典型化工单元操作过程安全技术	217
6.1.2	化工生产岗位安全操作规程	223
6.2	开车安全操作及管理	230
6.2.1	装置开车前安全检查	230
6.2.2	装置开车	230
6.3	停车安全操作及管理	231
6.3.1	停工条件检查确认	231
6.3.2	装置停车安全措施	231
6.3.3	吹扫与置换	232
6.3.4	抽加盲板	233
6.4	化工装置维护与管理	233
6.4.1	化工维护的必要性	233
6.4.2	预防维护	233
6.4.3	非常规运行和有关作业的维护	234
6.4.4	设备的维护	236
	思考题	238
	填空题	238
7	化工装置设计与安全	239
7.1	化工装置选址	239
7.1.1	化工厂的定位	239
7.1.2	工厂选址的安全问题	240
7.2	化工装置布局	241
7.2.1	工艺装置区	241
7.2.2	罐区	241
7.2.3	公用设施区	241
7.2.4	运输装卸区	242
7.2.5	辅助生产区	242
7.2.6	管理区	242
7.3	化工单元区域规划	243
7.3.1	加工单元区域的规划	243
7.3.2	单元区域的管线配置	245
7.3.3	单元装置和设施的安全设计	246
7.4	化工装置防火防爆	247
7.4.1	火源控制	247
7.4.2	火灾爆炸危险物的安全处理	248
7.4.3	工艺参数的安全控制	250
7.4.4	自动控制与安全保险装置	252
7.4.5	安全设计	253
7.5	公用工程设施安全	253
7.5.1	电气设施	253
7.5.2	水和蒸汽设施	254

7.5.3 供氧空气和辅助气体设施	255
7.5.4 废料处理设施	255
思考题	256
填空题	256
习题	256
8 化工产品储运和使用安全技术	258
8.1 危险化学品基础知识	258
8.1.1 概念和分类原则	258
8.1.2 爆炸品	259
8.1.3 压缩气体和液化气体	263
8.1.4 易燃液体	266
8.1.5 易燃固体、自燃物品和遇湿易燃物品	269
8.1.6 氧化剂和有机过氧化物	272
8.1.7 有毒品	275
8.1.8 放射性物品	278
8.1.9 腐蚀性物品	279
8.1.10 危险化学品标志	282
8.2 危险化学品储存安全技术	282
8.2.1 储存危险化学品的基本要求	282
8.2.2 储存易燃易爆品的要求	285
8.2.3 储存毒害品的要求	286
8.2.4 储存腐蚀性物品的要求	286
8.2.5 压缩气体和液化气体储存	287
8.2.6 易燃液体储存	287
8.2.7 易燃固体、自燃物品和遇湿易燃物品的储存	287
8.2.8 氧化剂和有机过氧化物储存	288
8.2.9 放射性物品储存	288
8.2.10 废弃物处置	288
8.2.11 危险化学品储存发生火灾的主要原因分析	289
8.3 危险化学品使用安全技术	289
8.3.1 危险化学品使用登记制度	289
8.3.2 危险化学品安全使用许可适用行业目录	290
8.3.3 危险化学品使用量的数量标准 (2013 年版)	292
8.3.4 危险化学品使用安全管理制度	293
8.3.5 危险化学品使用安全措施	294
8.4 危险化学品运输安全技术	295
8.4.1 危险化学品包装安全技术	295
8.4.2 危险化学品装卸作业基本要求	296
8.4.3 各类危险化学品运输安全技术	297
8.4.4 危险化学品运输安全监控系统技术	299
8.4.5 危险化学品运输安全管理概述	300

8.4.6	危险化学品公路运输安全细则	303
8.4.7	危险化学品铁路运输安全要求	305
8.4.8	危险化学品水路运输安全规则	307
8.5	危险化学品事故应急救援预案	308
8.5.1	事故应急管理的内涵	308
8.5.2	应急预案的基本概念	308
8.5.3	应急预案编制的法律法规要求	308
8.5.4	应急预案编制过程中普遍存在的问题	309
8.5.5	应急救援预案的分级	309
8.5.6	应急救援预案的类型	310
8.5.7	应急预案的编制过程	310
8.5.8	重大事故应急预案核心要素	310
8.5.9	应急救援预案的主要内容	314
	思考题	315
	填空题	316

参考文献	317
------------	-----

附录	318
----------	-----

附录 1	常见碳氢燃料和空气混合物的基本燃烧速度	318
附录 2	常见的碳氢化合物和空气混合气体的最小点火能量	318
附录 3	常见粉尘的最小点火能量	319
附录 4	常见液体的闪点	319
附录 5	常见物质的自燃点	321
附录 6	常见气体的燃烧热和在空气中的爆炸极限	322
附录 7	可燃气体或蒸气极限氧含量 (以 N_2 或 CO_2 稀释)	324
附录 8	悬浮可燃粉尘极限氧含量 (以 N_2 或 CO_2 稀释)	325
附录 9	悬浮可燃粉尘极限氧含量 (以 N_2 稀释)	328
附录 10	部分可燃性气体或蒸气的最大试验安全间隙值	329
附录 11	一些混合气的爆炸特征值 K_G	329
附录 12	生产的火灾危险性类具体物质举例	330
附录 13	储存物质的火灾危险性类具体物质举例	331
附录 14	部分与水等发生爆炸反应物质的性质	331
附录 15	部分遇到空气即自燃的物质的性质	333
附录 16	常用物质的电阻率	334
附录 17	常见物质介电常数	335
附录 18	依据 GB Z230—2010《职业性接触毒物危害程度分级》确定的职业性接触 毒物分级	336
附录 19	危险化学品标志图案	337



绪论

0.1 化工生产的特点

化工生产具有易燃、易爆、易中毒，高温、高压，有腐蚀等特点。因而，较其他工业部门有更大的危险性。

(1) 化工生产涉及的原料、半成品和成品种类繁多

据统计，化学品有 15000 多种，其中危险化学品近 4000 种，剧毒品近 400 种。易燃、易爆、毒性大、腐蚀性强的危险化学品给生产、储存和运输都提出了很高的要求。在生产过程中如果防范措施不到位，就容易发生爆炸、火灾、急性中毒（窒息）、慢性中毒（职业病）、化学灼伤等事故。因此，掌握各种物料的物理化学性质，对于按照工艺规程进行安全操作是必要的。

(2) 化工生产工艺条件苛刻

有些化学反应在高温、高压下进行，有的要在低温、高真空度下进行。如氨合成的压力有的达到 32MPa，高压聚乙烯生产压力为 300MPa，乙烯生产工艺中裂解炉温度高达 1200℃，乙烯深冷分离温度需降到 -167℃。乙烯在 30~300MPa、150~300℃ 的条件下很不稳定，一旦分解，产生的巨大热量使反应加剧，可能引起爆聚，严重者可导致反应器和分离器的爆炸。高压对设备强度和密封都提出了很高要求，高温容易引起设备材料强度降低、发生蠕变、氧化，低温引起材料脆化，压力和温度波动引起材料机械疲劳和热疲劳。这些苛刻条件下工作的装置一旦发生事故，后果都极其严重。

绝大多数的氧化反应是放热反应，而且氧化的原料、产物多是易燃、易爆物质；严格控制氧化的原料与空气（氧气）的配比和进料速率十分重要。

聚合过程中，单体在压缩过程中或高压系统泄漏、配料比控制不当时会引起爆聚；搅拌故障、停电、停水等使反应热不能及时移出而使反应器温度过高，造成局部过热或“飞温”，甚至爆炸。

化工生产中，不可避免地要接触有毒有害的化学物质，化工行业职业病发生率明显高于其他行业。

(3) 生产装置大型化

采用大型装置可以明显降低单位产品的建设投资和生产成本，提高劳动生产能力，降低能耗。因此，化工生产装置越来越趋向于大型化。以化肥生产装置为例：20 世纪 50 年代合成氨的最大规模为 6 万吨/年；60 年代初达到 12 万吨/年；60 年代末，发展到 30 万吨/年；

70年代发展为54万吨/年。乙烯装置的生产能力也从50年代的10万吨/年,发展到70年代的60万吨/年。裂解炉单台炉的生产能力从4.5万吨/年达到10万吨/年。70年代初,我国陆续从日本、美国、法国等国家引进了一批大型现代化的石油化工装置。如30万吨级乙烯、合成氨、化纤等装置,使我国的化工生产水平和技术水平有了很大的提高。特别是使我国的化工原料基础由粮食和煤转为石油和天然气,使我国的化学工业结构、生产规模和技术水平都发生了根本性的变化。化工生产装置日趋大型化,涉及物料多,介质泄漏、控制失灵、设备失效等可能性增大,而且一旦发生危险,其影响、损失和危害是巨大的。这就需要对过程物料和装置结构材料以及制造水平等进行更为详尽的分析,对潜在的危险做出精确的评价并采取恰当的对策。化工安全设计在化工设计中变得更加重要。

(4) 生产过程的高度自动化与连续化

化工生产已经从过去落后的手工操作、间断生产转变为高度自动化、连续化生产;生产设备由敞开式变为密闭式;生产装置从室内走向露天;生产操作由分散控制变为集中控制;由人工手动操作变为仪表自动操作,进而又发展为计算机控制。连续化与自动化生产是大型化的必然结果,但控制设备也有一定的故障率。据美国石油保险协会统计,控制系统发生故障而造成的事故占炼油厂火灾爆炸事故的6.1%。生产过程的高度自动化与连续化对工艺设备的处理能力和工艺过程的参数,要求更加严格,对控制系统和人员配置的可靠性也提出了更高的要求。

(5) 工艺过程复杂

化工生产涉及的化学反应复杂,如氧化、还原、氢化、硝化、水解、磺化、胺化等;涉及的工艺复杂,包括反应、输送、过滤、蒸发、冷凝、精馏、提纯、吸附、干燥、粉碎等多个化工单元操作;涉及的自动化控制复杂,例如DCS、ESD/FSC、SIS、PLC等;涉及的维护作业复杂,易发生灼伤、窒息、火灾、爆炸、触电、辐射、高空坠落、机械伤害等事故。

(6) 化工生产的系统性和综合性强

将原料转化为产品的化工生产活动,其综合性不仅体现在生产系统内部的原料、中间体、成品纵向上的联系;而且体现在与水、电、蒸汽等能源的供给,机械设备、电器、仪表的维护与保障,副产物的综合利用,废物处理和环境保护,产品应用等横向上的联系。任何系统或部门的运行状况,都将影响甚至是制约化学工艺系统内的正常运行与操作。化工生产各系统间相互联系密切,系统性和协作性很强。这也对安全生产提出了更高要求。

(7) 新材料和新工艺不断涌现

新材料的合成、新工艺和新技术的采用,可能会带来新的危险性。针对这些没有经验可循的新工艺过程和新操作,更加需要强化危险性辨识,对危险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。

(8) 生产技术不断提高

对于现代化的化工生产来说,由于加入了世界上的先进技术和工艺,并且我国还引进了国外的高科技设备,因此,就需要员工素质的提高,要能够熟练地对机械设备进行掌握和操作,并且还要有先进的检测方法。如果员工的技术水平与机械的科技含量相脱节,就会发生因为操作失误而引起的重大事故。现代大型化工生产装置的科学、安全和熟练的操作控制,需要操作人员具有现代化学工艺理论知识与技能、高度的安全生产意识和责任感,保证装置的安全运行。

化工生产的这些特点使得安全生产在化工行业中显得更为重要。

0.2 化工生产中的安全事故

在工业生产以及原材料、产品的储存或运输过程中，各种因素均可引发工业介质爆炸事故，造成严重的财产损失或人员伤亡。根据一些发达国家的统计资料，在工业企业发生的爆炸事故中，化工企业占了 1/3。统计资料表明：化工厂火灾爆炸事故的死亡人数占工亡总人数的 13.8%，居第一位；中毒窒息事故死亡人数占工亡总人数的 12%，居第二位；高空坠落和触电，分别占第三和第四位。

化工生产中的安全事故主要有以下几个特点。

(1) 发生火灾、爆炸事故的概率大且后果严重

化工生产使用的反应器、压力容器的爆炸，会产生破坏力极强的冲击波，致使建筑物损坏甚至倒塌。如果密闭空间发生可燃气体爆炸，则最大爆炸压力可达到初始压力的 7~12 倍，杀伤力极大。化工管道破裂或设备损坏，大量易燃气体或液体瞬间泄放，便会迅速蒸发形成蒸气云团，随风飘移。如果与空气混合形成爆炸性混合物，遇到火源就发生开敞空间爆炸，会造成重大人员伤亡和财产损失，甚至将整个工厂夷为平地。1984 年 11 月，墨西哥城液化石油气站发生爆炸事故，造成 540 人死亡、7000 多人受伤、35 万人无家可归。1989 年，美国一座聚乙烯厂 40t 异丁烷泄漏引起的爆炸将工厂全部摧毁，造成 24 人死亡、124 人受伤、经济损失 7.5 亿美元。1987 年，哈尔滨亚麻厂发生特大麻纤维尘爆炸事故，死亡 58 人，伤 177 人，损坏厂房 $1.3 \times 10^4 \text{ m}^2$ 、设备 158 台套。英国弗里克斯布劳的一座石油化工厂，因环己烷氧化装置旁的一根直径为 50cm 的配管发生严重破裂，环己烷大量泄漏，可燃性气体几乎遍及全厂，引起大面积火灾爆炸事故。事故导致该厂的大部分设施受到破坏，厂外约 13km 范围内的 2488 座住宅、商店、工厂也受到损坏，事故损失额约 3.6 亿美元。在设备检修过程中发生火灾爆炸的事故也屡见不鲜。据国家安全生产监督管理局网报道，我国 2001~2006 年化工生产、经营企业发生的火灾爆炸事故约 109 起，死亡 440 人。按发生事故的设备对其进行统计如表 0-1 所示。在上述 109 起事故中，对事故起因较明确的 64 起事故介质统计分析，结果见表 0-2。我国 2006~2008 年全国危险化学品各类事故死亡人数情况见表 0-3。

表 0-1 化工企业火灾爆炸事故统计

设备	反应容器	储罐	管道	干燥设备	锅炉	气瓶	冷却装置	净化装置	其他	总计
事故数	45	25	7	5	4	3	1	1	18	109
死亡人数	176	115	27	20	24	10	4	4	60	440
火灾事故数	2	2	0	1	0	0	0	0	5	10

表 0-2 化工企业火灾爆炸介质统计

介质类别	事故数	死亡人数	主要介质
碳氢类化合物	19	78	石油(5)、汽油(3)、液化石油气(2)、煤气(5)、柴油(2)、天然气(1)、沥青(1)
苯类化合物	11	51	苯(3)、甲苯(2)、二甲苯(1)、叔丁基苯(1)、硝基苯(1)、2,4-二硝基氟苯(1)、间硝基苯甲醚(1)、丙硝基氯化苯(1)
醇类化合物	8	44	乙醇(7)、甲醇(1)
卤化物	5	24	液氯(1)、四溴双酚(1)、氢氟酸(1)、二氯异氰尿酸钠(1)、六氯环戊二烯(1)
胺类化合物	3	10	甲胺(1)、二甲基甲酰胺(1)、甲氧基胺(1)
烯烃类化合物	2	7	聚乙烯(1)、四氟乙烯单体(1)
过氧化物	2	6	过氧化钾乙酮(1)、过氧乙酸(1)
酮类	1	3	丙酮(1)
无机类物质	13	45	蒸气(6)、氧气(4)、氨(1)、二氨(1)、锌粉(1)
总计	64	268	

注：() 中的数据代表该类介质发生的事故数。

表 0-3 我国 2006~2008 年全国危险化学品各类事故死亡人数情况

事故类型	2006 年	2007 年	2008 年
爆炸	174	83	85
中毒	41	50	49
火灾	7	17	12
烧伤、灼烫	5	9	9
其他	14	2	2

(2) 发生中毒事故的概率大且后果严重

据统计,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、砷化物共 16 种物质造成中毒、窒息的死亡人数占中毒死亡总人数的 87.9%。一些比空气重的液化气体如氨、氯等,在设备或管道破口处以 $15^{\circ}\sim 30^{\circ}$ 呈锥形扩散,在扩散宽度 100m 左右时,人还容易察觉并迅速逃离,但当毒气影响宽度达到 1km 或更多时,在距离较远而毒气浓度尚未稀释到安全值时,人很难逃离,会导致大范围人群中毒。美国联合碳化物公司在印度博帕尔市的一座农药厂,发生了一起液态甲基异氰酸酯大量泄漏的事故,使附近空气中的这种毒气浓度超过了安全标准的 1000 倍以上。在事故后的 7d 内,死亡人数达 2500 人,该市 70 万人口中,约 20 万人受到影响,其中约 5 万人可能双目失明,其他幸存者的健康也受到严重危害。博帕尔地区的大批食物和水源被污染,大批牲畜和其他动物死亡,生态环境受到严重破坏。事故后果之惨、损失之大,世人震惊。2006 年,河北省辛集市化工集团化肥有限公司储罐区存有 6t 液氨的罐顶阀体突然破裂,发生泄漏,造成 1 人死亡、20 人中毒。2011 年,广州市先后发生多例劣质胶水中毒事故造成 39 人中毒,4 人死亡。2012 年,甘肃省白银乐富化工有限公司发生硫化氢中毒事故,造成 3 人死亡。2011 年,山西安泰集团 25MW 电厂锅炉检修过程中发生一氧化碳中毒事故,现场 17 人全部中毒,10 人遇难。2001 年,兰州某废旧金属回收公司发生氯气中毒事件,60 余人中毒严重。在设备检修过程中发生设备内中毒且连续多人施救遇难的故事屡见不鲜。

(3) 设备材质和加工缺陷以及腐蚀等原因引发事故概率大且后果严重

例如:化工工艺设备一般都是在严酷的生产条件下运行,由于压力或温度波动以及腐蚀介质的作用等造成材料疲劳引发事故;设备材质受到制造时的残余应力和运转时拉伸应力的作用,在腐蚀的环境中就会产生裂纹并不断扩展造成巨大的灾难性事故;设备制造时除了选择正确的材料外,还要求正确的加工方法,如焊缝不良或未经过适当的热处理会使焊区附近材料性能劣化,易产生裂纹使设备破损等。2009 年,云天化股份有限公司合成氨装置合成塔出口管道发生断裂,导致高温、高压气体外泄。由于高温、高压气体外泄形成了强冲击波,并发出爆炸似的响声,附近门窗玻璃被振裂飞溅,导致工厂附近部分建筑物门窗受到损坏,17 人受伤。2005 年,北京首钢一水封失效引发煤气泄漏,造成 9 人中毒身亡。

(4) 事故多发、频发且触发事故的因素多

化工物料的易燃易爆特性、反应性和毒性、腐蚀性本身决定了化学工业事故的多发性和严重性,如火灾、爆炸、中毒、环境污染、反应器爆炸、压力容器的爆炸及有毒化工物料的泄漏等。触发因素主要有以下几点。

i. 工厂选址问题、工厂布局问题、结构问题、对加工物质的危险性认识不足、化工工艺问题、物料输送问题、误操作问题、设备缺陷问题、防灾计划不充分等都是触发事故的主要因素。

ii. 化工生产中有许多副反应生成,有些机理尚不完全清楚,一旦操作条件变化就可能

引发安全事故。

iii. 有些生产过程是在危险临界点（如爆炸极限）附近进行的，工艺条件稍有波动就会发生严重事故。

iv. 化工生产工艺中影响各种参数的干扰因素多，设定的工艺参数很容易发生偏移。在自动控制过程中也会产生失调或失控现象，人工调节更易发生事故。

v. 化工生产涉及的重大危险源多，储罐区、库房区、生产装置、各式压力容器、管道等处理各种易燃易爆和有毒以及腐蚀性介质等，潜在危险性大。

vi. 由于人的素质或人机工程设计欠佳，往往会造成误操作。现代化的生产中，人是通过控制台进行操作的，发生误操作的机会更多。

vii. 化工装置中的许多关键设备，特别是高负荷的塔槽、压力容器、反应釜、经常开闭的阀门等，运转一定时间后，常会出现多发故障或集中发生故障的情况，这是因为设备进入到寿命周期的故障频发阶段。日本在20世纪70年代初期，石油化工、合成氨等工厂事故频繁发生，火灾爆炸恶性事故连续不断，经过多年努力采取安全措施才稳定下来。

viii. 化工装备设计缺陷、材质缺陷或加工制造缺陷等都易引发安全事故。

ix. 雷电、台风、地震等自然灾害也是引发化工生产安全事故的重要因素。

对待事故多发、频发期，必须采取预防措施，加强设备检测和监护措施，及时更换到期设备。化工生产常遇到事故多发的情况，给生产带来被动，对待多发事故必须采取预防对策，加强设备检验、充实备品备件，及时更换使用到期的设备。

(5) 化工生产事故都伴有环境污染

由于涉及危险化学品，现在的安全事故的影响和危害已经超出了传统上对安全事故的理解和定义，对这类事故如何进行处置、对现有的安全管理制度如何革新已是一个非常紧迫的、具有挑战性的课题。在传统意义上，生产、交通安全事故大多只涉及人财物损失，影响局限于一时一地；而现在不但会造成生命财产损失，而且会对环境造成污染，其危害性不因为事故的结束而结束，经过辐射、扩散后，最终转变成了严重的生态问题和重大公共安全事件，影响可能波及整个区域、流域，且短期内难以消除。由于常规处理方式方法难以奏效，涉及危险化学品安全事故一旦发生，就像打开了“潘多拉盒子”，其危害性往往难以预料。化工安全事故常伴有大气污染的发生，可能威胁周边群众生命安全。乐安化工有限公司一只内有1000余升氨水和300余千克对硝基氯化苯的反应釜发生爆炸，导致2000余升的氨水泄漏至空气中，致使厂区周边居民被迫疏散。2010年7月16日晚间18时左右，大连新港附近中石油一条输油管道起火爆炸。事故造成附近海域至少50km²的海面被原油污染。此事故原因有下列几点。

i. 事故单位对所加入原油脱硫剂的安全可靠性没有进行科学论证。

ii. 原油脱硫剂的加入方法没有正规设计，没有对加注作业进行风险辨识，没有制定安全作业规程。

iii. 原油接卸过程中安全管理存在漏洞。指挥协调不力，管理混乱，信息不畅，有关部门接到暂停卸油作业的信息后，没有及时通知停止加剂作业，事故单位对承包商现场作业疏于管理，现场监护不力。

iv. 事故造成电力系统损坏，应急和消防设施失效，罐区阀门无法关闭。

另外，港区内原油等危险化学品大型储罐集中布置，也是造成事故险象环生的重要因素。不但爆炸本身产生的浓烟以及有害物质会污染环境，在应急救援中，如果对消防水处置不当，还可能加重和扩大水体污染。2005年，吉林石化公司双苯厂发生爆炸事故。为扑灭爆炸引起的大火，消防部门调集大批消防车，对爆炸点进行喷水灭火冷却，致使消防用水中