



石油高等院校特色规划教材

石油化工安全技术

胡瑾秋 张来斌 ◎ 主编

石油工业出版社
Petroleum Industry Press

要 参 考 文 献

石油高等院校特色规划教材

石油化工安全技术

主 任：张来斌 中国石油大学（北京）校长

张凤山 胡瑾秋 张来斌 主编

副主任：吴世勤 中国石油天然气集团公司安全环保与节能部副

孙万付 中国石油大学（北京）安全工程研究所副所长

委 员：吴世勤 中国石油股份公司天然气与管道分公司副总经理

邱少林 中国石油安全环保与节能部副总工程师

邱少林 中国石油大学（北京）安全工程研究所副所长

社 址：北京 100029 石油工业出版社

社 址：北京 100029 石油工业出版社

社 址：北京 100029 石油工业出版社

社 址：北京 100029 石油工业出版社

社 址：北京 100029 石油工业出版社

社 址：北京 100029 石油工业出版社

社 址：北京 100029 石油工业出版社

社 址：北京 100029 石油工业出版社

社 址：北京 100029 石油工业出版社

石油工业出版社

内 容 提 要

本书主要讲述了石油化工安全的发展历程、石油化工物料的危险性、石油化工工艺过程安全风险管理与控制、石油化工静电危害与防护、石油化工过程智能故障诊断技术、石油化工安全泄放技术、石油化工典型事故案例分析等内容,比较全面地展示了这一领域的知识要点与相关技术。

本书可作为石油安全、化工安全、矿山安全、工业安全及公共安全等技术领域的本科及研究生教材,也可供生产安全与保障等相关行业的从业人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

石油化工安全技术 / 胡瑾秋,张来斌主编. —北京:石油工业出版社, 2018.10

石油高等院校特色规划教材

ISBN 978-7-5183-2907-6

I. ①石… II. ①胡… ②张… III. ①石油化工—安全技术—高等学校—教材 IV. ①TE687

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 219433 号

出版发行:石油工业出版社

(北京市朝阳区安华里 2 区 1 号楼 100011)

网 址:www.petropub.com

编辑部:(010)64523693

图书营销中心:(010)64523633 (010)64523731

经 销:全国新华书店

排 版:北京密东文创科技有限公司

印 刷:北京中石油彩色印刷有限责任公司

2018 年 10 月第 1 版 2018 年 10 月第 1 次印刷

787 毫米×1092 毫米 开本:1/16 印张:13.25

字数:336 千字

定价:26.00 元

(如出现印装质量问题,我社图书营销中心负责调换)

版权所有,翻印必究

油气安全工程系列教材

编 委 会

- 主 任:** 张来斌 中国石油大学(北京)校长
张凤山 中国石油天然气集团公司安全副总监、安全环保与节能部总经理
- 副主任:** 吴苏江 中国石油天然气集团公司安全环保与节能部副
总经理
闫伦江 中国石油集团安全环保技术研究院院长
孙万付 中国石化青岛安全工程研究院院长
- 委 员:** 吴世勤 中石油股份公司天然气与管道分公司副总经理
邱少林 中石油安全环保与节能部副总工程师
帅 健 中国石油大学(北京)教授
杜卫东 中国石油安全环保技术研究院副总工程师
张 宏 中国石油大学(北京)教授
董绍华 中国石油大学(北京)管道技术与安全中心主任、教授
相桂生 中海油能源发展集团安全环保公司
胡瑾秋 中国石油大学(北京)教授
陈国明 中国石油大学(华东)机电工程学院教授
杨东棹 中国海洋石油集团有限公司安全环保部处长

总序

石油天然气工业安全是油气工业可持续发展的重要领域,给石油工业带来重大影响。如1988年7月,英国北海油田阿尔法平台爆炸,造成167人死亡,引起海洋石油开采安全管理的重大变革;2010年4月,英国石油公司在美国墨西哥湾租用的钻井平台“深水地平线”发生爆炸,导致大量石油泄漏,酿成一场经济和环境惨剧,是美国历史上“最严重的一次”漏油事故,引起了全球石油工业安全工作者的高度重视。石油安全管理成为21世纪石油工业领域的重要内容。

随着石油工业生产难度的加大,石油安全面临的问题越来越复杂,人才的培养逐渐成为行业内所有工程专家学者的共识。要杜绝或减少石油工业安全事故,提高安全专业学生的培养质量和专业素质成为行业发展的基础。鉴于石油安全学科设立的时间较短,针对当前石油安全的教材体系仍然没有建立起来,致使人才培养系统性不强,如何将最新的安全技术与管理知识传授给学生,需要建立安全专业教材体系,编制覆盖石油勘探、开发、钻井、储运、炼制等全生产业务链条的安全工程教材非常必要。

油气安全工程系列教材由中国石油大学(北京)油气安全工程系列教材编委会组织编写,包括《石油工程安全技术》、《石油化工安全技术》、《油气工业HSE管理》、《油气生产安全评价》、《油气管道完整性检测评价技术》、《海洋油气生产安全技术》、《油气火灾工程技术》和《油气装备安全技术》等8本教材。系列教材全面地概括总结了石油工业安全技术的发展,既体现安全基础知识和安全理论,又重视安全技术和方法的应用,同时教材中的案例分析来源于实践和科研成果,力求与生产实践紧密结合。

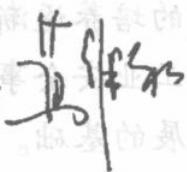
油气安全工程系列教材全面落实教育部关于教材建设的精神,编委会深刻认识到教材建设是高等学校一项重要的教学基本建设,高质量的教材既是一个学校、一个专业教学质量、科研水平和师资水平高低

的重要标志，又是提高教学质量和师资水平的重要途径。

油气安全工程系列教材编委会组织编写的这套教材，较好地反映了安全工程专业教学目标要求，总结了石油安全行业发展以及在实践中的新理论、新技术和新方法，分析了石油工业面临的新技术、新情况、新问题，在此基础上进行了完善提升，具有很强的实践性、实用性和较高的理论性、思想性。这套教材的开发和出版，对推动石油安全工程专业的教学科研以及专业发展意义重大。

这套教材的编制和出版，一定会提高安全工程专业教师的教学水平，提高学生掌握专业知识的广度和深度，必将对推进安全工程人才培养和安全学科建设发挥重要作用。

中国工程院院士



2017年12月

前言

石油天然气的易燃、易爆、有毒、腐蚀等性质决定了其固有危险性,同时石油天然气的生产、加工、储存、运输等工艺的特殊性也决定了石油工业是一个高风险的产业体系。近年来,全球发生多起油气行业重特大事故,造成重大人员伤亡、财产损失和环境破坏,社会影响巨大,公共安全受到严重威胁,石油天然气行业的安全管理成为社会发展的重要指标。

本套教材主要面向油气工业安全,以油气安全工程风险、事故致因、检测评价等技术为主要研究对象,综合运用工程技术和科学管理等知识,辨识和预测存在的风险因素,防止油气生产事故发生或最大限度减轻事故损失。本套教材共计8本,以满足石油类院校的教学需求为目标,兼顾油气生产现场技术人员学习的需求,由中国石油大学(北京)油气安全工程系列教材编委会组织编写,力求覆盖石油工业勘探、开发、炼化、储运等各个环节。

随着石油化工设备规模的不断扩大、生产技术的不断革新以及产品质量的稳步提升,石油化工行业对于我国国民经济的支柱作用愈发明显,其产品已经渗透到人民生产生活的各个领域。与此同时,伴随着化工生产装置大型化、过程连续化、控制自动化的发展过程,石油化工行业事故后果严重程度、造成人身伤亡及财产损失、环境污染及破坏程度相比以往有了显著的增长,石油化工生产安全技术日益受到人们的重视。针对这一趋势,未来要求从事石油化工行业的工作人员既要熟练掌握专业相关的知识技术,也要学习、运用安全学科的理论方法;安全领域的专业人员不仅要会从事理论、制度、管理层面开展安全工作,也要结合生产实际,了解生产工艺、流程、设备,有内容、有落脚点地行使安全职能。为了适应化学工程与工艺、石油化学工程、安全工程等专业的人才培养需求,提高石油化工安全技术人员与管理者的综合素质,编者在广泛调研、细致甄选、认真编排的基础上编写了本教材。

本教材在编写中结合了石油化工行业的生产特点,工艺、原料、产物的理化性质,行业相关的规范、标准,以及安全学科现有的理论、方法。第一章概述了石油化工安全技术的发展历程,第二章和第三章分别介绍了石油化工物质的危险性和过程安全风险管理与控制,第四章和第五章分别介绍了静电防护技术和石油化工过程智能故障诊断技术,第六章介绍了防超压安全泄放技术,第七章则针对石油化工行业10个典型的事故案例展开分析,可使读者直观感受到石油化工工业事

故的严重性,并从中学习事故调查与分析的思想和方法。

本教材由中国石油大学(北京)机械与储运工程学院胡瑾秋教授、张来斌教授主编。具体分工为:第2章至第4章、第6章、第7章由胡瑾秋编写,第1章、第5章由张来斌编写。张来斌教授对全书进行了审校。在本书的编写过程中,参考了大量文献资料和专著,在此向作者表示真诚的感谢。本校研究生李思洋、唐静静、张立强、王融涵、闫雨曦、胡静桦、张增晓、郝笑笑、张彪、陈怡玥、曹扬等在素材搜集、图文录入与编排等方面做了大量工作,并参与了部分章节的编写,在此一并表示感谢。此外,本教材在编写过程中得到了许多同事的大力帮助和悉心指导,在此表示衷心的感谢。

本书在编写过程中参阅了大量的相关资料,在此,谨对原作者表示最诚挚的谢意。

由于编者水平有限,书中难免出现疏漏和错误之处,敬请各位读者不吝赐教。

编者

2018年5月

目 录

1 概述	1
1.1 化学工业发展概况与地位	1
1.2 化工发展对安全的新要求	3
1.3 化工生产的特点及危险性	3
1.4 化学工业生产安全事故	8
1.5 化工安全理论和技术发展进展	12
复习思考题	13
2 石油化工物质危险性	14
2.1 化学物质及其危险性概述	14
2.2 易燃易爆物质的性质和特征	17
2.3 毒性物质的性质和特征	20
2.4 反应性物质的性质和特征	23
2.5 压力系统热力学行为与危险性	26
复习思考题	31
3 过程安全风险管理与控制	33
3.1 过程安全风险管理及体系	33
3.2 工艺安全信息	34
3.3 工艺危险分析	40
3.4 操作规程	42
3.5 培训	46
3.6 承包商管理	51
3.7 试生产前安全检查	55
3.8 设备完整性	60
3.9 安全作业许可	64
3.10 变更管理	68
3.11 应急管理	72
3.12 工艺事故/事件管理	75
3.13 符合性审核	83
复习思考题	87

4 静电防护技术	91
4.1 静电的产生与危害	91
4.2 静电放电	95
4.3 静电放电能与最小点火能	96
4.4 流动电流	97
4.5 静电电压差	98
4.6 带电电容器的能量	99
4.7 身体的电容	102
4.8 电荷平衡	103
4.9 静电的安全与防护	106
4.10 静电事故案例	112
复习思考题	114
5 石油化工过程智能故障诊断技术	115
5.1 石油化工过程故障诊断概述	115
5.2 过程故障诊断的多元统计方法	120
5.3 基于解析模型的诊断方法	126
5.4 过程故障诊断的特征提取方法	131
5.5 基于信号处理的诊断方法	134
复习思考题	136
6 防超压安全泄放技术	138
6.1 泄压系统的作用	138
6.2 泄压的相关概念	138
6.3 泄压系统的设计	140
6.4 泄压设备的设置	141
6.5 泄压设备的类型	143
6.6 泄放情形	145
6.7 泄放尺寸计算	146
6.8 泄压系统	152
复习思考题	156
7 典型事故案例解析	159
7.1 法国费赞埃尔夫炼油厂沸腾液体扩展蒸气云爆炸事故	159
7.2 意大利赛维索毒气云泄漏事故	161
7.3 印度博帕尔异氰酸甲酯泄漏事故	163
7.4 格兰奇茅斯炼油厂火炬系统事故	166

1 概述

随着科学技术的发展,人们的物质生活和文化生活水平不断提高。特别是化工、石油化工的迅速崛起,有力地促进了国民经济的发展。如今,化学工业已成为国民经济的支柱产业,与农业、轻工、纺织、食品、国防等部门有着密切的联系,其产品已经渗透到国民经济的各个领域,人们的衣食住行样样都离不开化工产品。因此,化学工业对提高人们的生活水平,促进其他工业的迅速发展,起着十分重要的作用。

化工企业的原料及产品多是易燃、易爆、有毒、有腐蚀性的物质,而现代化工生产过程又多具有高温、高压、连续化、自动化、大型化等特点,与其他行业相比,化工生产的各个环节不安全因素较多,具有事故后果严重、危险性和危害性更大的特点。因此,在化工生产中要特别重视安全,要从保护人身安全和健康出发,深入研究事故发生的客观规律,寻求预防和控制危险的有效措施,有效控制事故的发生率和危害性。

1.1 化学工业发展概况与地位

化学工业又称化学加工工业,是指在生产过程中化学方法占主要地位的制造业,是通过化学工艺(即化工生产技术)将原料转化为化学产品的工业。其范围比较宽泛,包括无机酸碱盐、稀有元素、冶金、硅酸盐、石油化工、天然气、橡胶、塑料、农药、医药、化肥、合成纤维、染料、日用化学品工业等。

1.1.1 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规模不大,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,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加机械的方式解决的。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。与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,因此在美国产生了以“单元操作”为主要标志的现代化学工业,以适应大规模生产的需要。

1915年12月,麻省理工学院的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。30年代以后,由于单元操作的发展,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,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和制造首批原子弹的曼哈顿工程这三项重大开发同时在美国出现。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,而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(高达1000:1或更高),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来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。20世纪50年代中期,提出的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,并用数学模型描述在反应过程中化学反应的上述三种传递过程。

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,开启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。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,其核心内容是放大。化学工程基础研究的进展和放大经验的积累,尤其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。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,而是用于检验数学模型和设计计算结果。现代化学工业过程开发可以概括为: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;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;反复比较电子计算机的数学模拟和中试结果,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。

20 世纪 70 年代后,随着化学工业的大发展,现代化学工程技术渗入到了各个加工领域,生产技术面貌发生了显著变化。同时,化学工业也面临来自能源、原料和环保三大方面的挑战,进入一个挑战与机遇并存的发展阶段。在原料、能源供应日趋紧张的条件下,化学工业正在通过技术进步尽量提高其对原料的利用和减少其对能源的消耗;为了满足日益增长的能源需求,化学工业正在努力提供新的技术手段,用化学的方法为人类提供多种途径的新能源;为了自身的发展,化学工业正在开辟新的原料来源,为以后的发展奠定丰富的原料基础。随着电子计算机技术的发展,化学工业正在进入高度自动化的阶段,一些高新技术(如激光、模拟酶)的应用,使化学工业生产的效率得到显著提高,并且通过更新技术手段来进一步控制化学工业对环境的污染,而且也与其他行业的环境保护发挥作用。

1.1.2 化学工业的地位

目前,我国的化学工业已经发展成为有化学矿山、化学肥料、基本化学原料、无机盐、有机原料、合成材料、农药、感光材料、国防化工、橡胶制品、助剂、试剂、催化剂、化工机械和化工建筑等 15 个行业的工业生产部门,是国民经济中的重要工业部门,在促进工农业生产、巩固国防和改善人民生活等方面发挥着重要的作用。

(1) 为现代农业发展提供物质条件。化学工业生产了大量的化肥、农药、塑料薄膜、排灌胶管和植物生长调节剂等,在农业增产中发挥了重要的作用。

(2) 为其他行业提供大量的材料。随着化学工业的发展,天然纤维已丧失了传统的主宰地位,人类所用纤维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。半导体材料、磁记录材料、感光材料和气体特殊功能材料等,为现代科技的发展提供了重要的基础条件。

(3) 促进科学技术的进步。化学工业是技术密集型工业,对合成、分离、测定、控制等技术都要求很高,这就向机械工业、冶金工业、电子工业等部门提出了新的要求,从而促进了这些部门新技术的发展。当然,新技术的发展也相应推动了化学工业技术的进步。

(4)提高人民的生活水平。化学工业可以为人们提供药品、化妆品、食物添加剂、涂料、油漆等各种各样的生活必需品,满足人们衣食住行等方面的需求,使人民的生活更加丰富多彩。可以说,没有现代化学工业,就没有现代的社会生活。同时,化学工业也是劳动密集型工业,可以提供更多的就业机会。

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,其他工业部门对化学工业的依赖程度越来越大。化学工业已发展成为国民经济的支柱产业和发展高技术的基石,其发展水平已经成为衡量一个国家综合国力的重要标志之一。

1.2 化工发展对安全的新要求

化工装置大型化,在基础投资和经济效益方面的优势是无可争辩的。但是,大型化是把各种生产过程有机的联合在一起,输入输出都是在管道中进行,许多装置互相连接,形成一条很长的生产线,规模巨大、结构复杂,不再有独立运转的装置,装置间互相作用、互相制约,这样就存在许多薄弱环节,使系统变得比较脆弱。为了确保生产装置的正常运转并生产符合要求的产品,装置的可靠性研究变得越来越重要。所谓可靠性,是指系统设备、元件在规定的条件下和预定的时间内完成规定功能的概率,可靠性研究用得较多的是概率统计方法。化工装置可靠性研究需要完善数学工具,建立化工装置和生产的模拟系统。

化工装置大型化使得加工能力显著增大,大量化学物质都处在工艺过程中,增加了物料外泄的危险性。化工生产中的物料多半本身就是能源和毒性源,一旦外泄就会造成重大事故,给生命和财产带来巨大灾难。这就需要对过程物料和装置结构材料进行更为详尽的考察,对可能的危险做出准确的评估并采取恰当的对策,对化工装置的制造加工工艺也提出了更高的要求。化工安全设计在化工设计中变得更加重要。

化工装置大型化必然带来生产的连续化和操作的集中化,以及全流程的自动控制。省掉了中间储存环节,生产的弹性大大减弱,生产线上每一环节的故障都会对全局产生严重影响。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。

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。面临从未经历过的新的工艺过程和新的操作,更加需要辨识危险,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。因此,对危险进行辨识和评价的安全评价技术的重要性越来越突出。

化学工业的技术进步为满足人类的衣食住行等诸方面的需求做出了重要贡献,但作为负面结果,在化学工业生产过程中也出现了新的危险性。化工安全必须采用新的理论方法和新的技术手段应对化学工业生产中出现的新的隐患,与化学工业同步发展。

1.3 化工生产的特点及危险性

1.3.1 化工生产的特点

化工生产过程存在着许多不安全因素和职业危害,比其他生产有着更高的危险性,这主要是由于化工生产有如下特点。

1.3.1.1 生产涉及多种危险化学品

化工生产使用的原料、半成品和产品种类繁多,且绝大部分具有易燃易爆、有毒有害和腐蚀性等危险。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。例如,生产聚氯乙烯的原料乙烯、甲苯、四个碳原子的烃类和中间产品二氯乙烯、氯乙烯都是易燃易爆物质,在空气中达到一定的浓度,遇到火源就会发生火灾爆炸事故;氯气、二氯乙烷、氯乙烯还具有较强的毒性,其中氯乙烯具有致癌作用;氯气和氯化氢在有水的条件下有强烈的腐蚀性。易燃、易爆、毒性大、腐蚀性强的危险化学品给化工生产、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、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,按照工艺规程进行安全操作是必要的。

1.3.1.2 生产工艺条件苛刻

化学工业是多品种、技术密集型的行业,每一种产品从投料到生产出产品都有其特定的工艺流程、控制条件和检测方法,化工生产过程多数是在高温、高压、密闭和深冷等特定条件下进行的。例如,以柴油为原料裂解生产乙烯的过程中,最高操作温度接近 1000°C ,最低则为 -170°C ,最高操作压力为 11.28MPa ,最低为 $0.07\sim 0.08\text{MPa}$;高压聚乙烯生产的最高压力达 300MPa 。乙烯在 $30\sim 300\text{MPa}$ 、 $150\sim 300^{\circ}\text{C}$ 的条件下很不稳定,易发生分解,分解后产生的巨大热量可能会引起爆聚,严重时会导致反应器和分离器的爆炸。高压操作对设备强度和密封都提出了很高要求,高温操作容易引起设备材料强度降低、发生蠕变和氧化现象,低温操作引起材料脆化,而且压力和温度波动易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。

1.3.1.3 生产装置大型化

近年来,国际上化工生产装置越来越趋于大型化。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。20 世纪 50 年代合成氨的最大规模为 $6\times 10^4\text{t/a}$,60 年代初达到 $12\times 10^4\text{t/a}$,60 年代末发展到 $30\times 10^4\text{t/a}$,70 年代发展到 $54\times 10^4\text{t/a}$ 。乙烯装置的生产能力也从 50 年代的 $10\times 10^4\text{t/a}$ 发展到 70 年代的 $60\times 10^4\text{t/a}$ 。裂解炉单台炉的生产能力从 $4.5\times 10^4\text{t/a}$ 达到 $10\times 10^4\text{t/a}$ 。化工生产装置越大型化,涉及的物料就越多,介质泄漏、控制失灵、设备失效等潜在危险就越大,事故的后果也越严重,这就涉及技术经济的综合效益问题。例如,目前新建的乙烯装置和合成氨装置大都稳定在 $(30\sim 40)\times 10^4\text{t/a}$ 的规模。

1.3.1.4 生产过程高度自动化和连续化

现代化工企业的生产方式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,同时也由人工手动操作变为仪表自动控制进而又发展为计算机控制。生产过程高度自动化和连续化会减少对劳动力的需求,例如年产 $30\times 10^4\text{t}$ 合成氨、 $44\times 10^4\text{t}$ 尿素的鹿岛氨厂只有 100 人;美国联合化学公司年产 $60\times 10^4\text{t}$ 乙烯的工厂,有 20 台裂解炉,全厂有 1000 多台仪表,全部集中在控制室操作,每班只有 7 个人。连续化与自动化生产是大型化的必然结果,但控制设备也可能发生故障。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。

1.3.1.5 生产过程复杂

一种化工产品的生产往往由几个车间(工段)组成,每个车间又由多个化工单元操作、若

千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、要求严格的生产线。例如,炼油生产上的催化裂化装置,从原料到产品要经过8个加工单元,乙烯从原料裂解到产品出来需要经过12个化学反应和分离单元。另外,化工生产涉及的化学反应复杂,有氧化、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,有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。

1.3.1.6 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,还体现在与水、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。

1.3.1.7 化工生产污染严重

化工工业在生产中产生的废气、废水、废渣多,是国民经济中污染的“主力军”,在排放的“三废”中,许多物质具有易燃、易爆、有毒、易腐蚀及放射性等特性,这都是生产中的不安全因素。

1.3.2 化工生产的危险源

化工危险的根源是储存、使用、生产和运输过程中的易燃、易爆及有毒有害的危险化学品,这些危险化学品具有引发灾难性事故的能力。导致重大工业事故的概率及后果的严重程度既与物质的固有特性有关,又与设施或设备中危险物质的数量或能量的大小有关。重大危险源是指长期或临时地生产、使用、运输和储存危险物品,且危险物品的数量等于或者超过临界量的设备、设施或场所。值得注意的是重大危险源与事故隐患之间是有区别的,重大危险源强调设备、设施或场所本质的、固有的物质能量的大小,事故隐患强调了作业场所、设备和设施的不安全状态,以及人的不安全行为和管理上的缺陷。

根据事故类型,化工生产中的危险源可以分为泄放型危险源和潜在型危险源。

1.3.2.1 泄放型危险源

(1)连续性气体,包括气体管道、阀门、垫片、视镜、腐蚀孔、安全阀等的泄放,如果气体呈正压状态,泄放的基本形态为连续气体流。

(2)爆炸性气体,包括气体储罐、汽化器、气相反应器等爆炸性泄放,基本形态是大量气体瞬间释放并与空气混合形成云团。

(3)爆炸性加压液化气体,包括加压液化气储罐、钢瓶、计量槽、罐车等爆炸性泄放。基本形态是大量液化气体在瞬间泄放,由于闪蒸导致大量空气夹带,液化气液滴蒸发导致云团温度下降,形成冷云团。

(4)连续加压液化气体,包括加压液化气储罐的液相孔、管道、阀门等的泄漏,基本形态是加压液化气迅速闪蒸,混入空气并形成低温烟云。

(5)非爆炸性加压液化气体,包括加压液化气储罐气相孔、小口径管道和阀门等的泄放,基本形态是产生气体喷射,泄放速度随罐内压力而变化。

(6)非爆炸性冷冻加压液化气体,包括半冷冻液化器储罐的液相通道和阀门等的泄放,基本形态是泄放物部分闪蒸,部分在地面形成液池。

(7)冷冻液化气体,包括冷冻液化气储罐液位以下的孔、管道、阀门等的泄放,基本形态是地面形成低温液池。

(8)两相泄放池,包括加压液化气储罐气相中等孔泄放,基本形态是产生变化的“雾”状或泡沫流。

1.3.2.2 潜在型危险源

(1)阀门和法兰泄漏:阀门和法兰加工缺陷、腐蚀、密封件失效、外部载荷或误操作引起的气体、加压液化气、冷冻液化气或其他液体的泄漏。

(2)管道泄漏:管道接头开裂、脱落、腐蚀、加工缺陷或外部载荷引起的气体、加压液化气、冷冻液化气及其他液体泄放。

(3)储罐泄漏:储罐材质缺陷、附件缺陷、腐蚀或局部加工不良而引起的气体加压液化气、冷冻液化气及其他液体泄放。

(4)钢瓶泄放:超标充装、超温使用或附件缺陷引起的加压液化气或压力气体泄放。

1.3.3 化工生产的危险因素

美国保险协会(American International Assurance, AIA)对化学工业 317 起火灾和爆炸事故进行了详细的分析和调查,分析了主要和次要原因,把化学工业危险因素归纳为 9 个类型,如表 1.1 所示。

表 1.1 化学工业危险因素的类型

序号	类型	危险因素
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)受邻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)对不能替换的设备没有有效的防护 (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	厂房结构	(1)支撑物、门、墙等不是防火结构 (2)电气设备无防护措施 (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