

普通高等院校安全工程专业
“十二五”规划教材

化工设备安全

主 编 王文和

副主编 段志祥 刘庆刚 孟亦飞 张华文



国防工业出版社

National Defense Industry Press

普通高等院校安全工程专业“十二五”规划教材

化工设备安全

主编 王文和

副主编 段志祥 刘庆刚 孟亦飞 张华文

国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

本书根据普通高等院校安全工程专业“十二五”规划教材编审委员会审定的大纲编写,全面系统地介绍了化工设备安全技术基础及应用知识。全书共分8章,主要内容包括化工设备安全基础、典型化工设备安全技术、化工设备安全设计、化工设备安全保护装置、化工设备失效与检测技术、化工设备事故调查和处理、化工设备安全常用标准和规范等。

本书在编写过程中注重化工设备安全基础知识的介绍,并兼顾安全基础知识的通用性和系统性。本书对化工生产中涉及的化工设备大类及安全技术理论与应用作了较系统的介绍,为帮助读者加深对知识的理解和掌握,选编了一些典型事故案例。

本书内容全面、实用,既可作为高等院校安全工程、化学工程与工艺、过程装备与控制工程等相关专业本科生和研究生的安全类课程教材和参考书,也可作为从事化工安全、化工设备管理相关工程技术人员和企事业单位安全管理人员的参考书或培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

化工设备安全/王文和主编. —北京:国防工业

出版社, 2014

普通高等院校安全工程专业“十二五”规划教材

ISBN 978-7-118-09499-7

I. ①化… II. ①王… III. ①化工设备-设备安全-高等学校-教材 IV. ①TQ05

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 110213 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

北京市李史山胶印厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 15 字数 406 千字

2014 年 6 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—3000 册 定价 35.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店: (010)88540777

发行邮购: (010)88540776

发行传真: (010)88540755

发行业务: (010)88540717

普通高等院校安全工程专业“十二五”规划教材

编委会名单

(按姓氏笔画排序)

门玉明	长安大学
王 志	沈阳航空航天大学
王文和	重庆科技学院
王洪德	大连交通大学
尤 飞	南京工业大学
申世飞	清华大学
田 宏	沈阳航空航天大学
司 鹄	重庆大学
伍爱友	湖南科技大学
刘秀玉	安徽工业大学
刘敦文	中南大学
余明高	河南理工大学
陈阮江	中南大学
袁东升	河南理工大学
梁开武	重庆科技学院
景国勋	河南理工大学
蔡 芸	中国人民武装警察部队学院

前 言

化学工业是我国国民经济的重要支柱产业,又是潜在危险性较大的行业。由于危险化学品所固有的易燃易爆、有毒有害的特性,并随着高参数、高能量、高风险的化工过程的出现,化工事故隐患越来越多,事故也更加具有灾害性、突发性和社会性,可造成严重的人员伤亡、财产损失和环境污染。目前,化工生产过程安全问题成为制约化工行业发展突出问题之一,尤其是化工设备的安全问题。随着科技的发展,大型化、自动化和连续化的化工工艺对化工设备的要求越来越高。尤其是石油化工生产的特殊要求,这些设备大多是在恶劣的环境下运行,如高温、高压、低温、高真空度、变载荷,如严重的腐蚀环境、有毒及易燃易爆环境等。一旦发生事故,将会造成严重的人身伤亡、环境污染和巨大的经济损失。大量的化工生产过程事故给人们敲响了警钟:化工设备安全问题不容忽视,必须依靠安全工程技术和科学管理手段来提高化工生产过程中的化工设备的本质安全度,必须提高工程技术人员和管理者的安全素质,以确保化工生产过程中设备的安全运行。

本书是为满足高等院校安全工程专业教学的需要,并针对当前化工安全类教材中化工设备安全教材缺乏的情况,编者所做的尝试性编写。主要重点内容包括:化工生产过程中的特点、化工设备的重要性及其要求,化工设备的特点以及化工设备事故的类型;化工设备分类及其结构特点、化工设备应力状态及其强度理论、化工设备的载荷类型及应力计算;典型化工设备(如反应设备、换热设备、储运设备、动力设备、分离设备等)常见事故、故障及安全技术要求;化工设备强度设计、材料安全设计、本质安全设计和平面安全设计;化工设备安全装置的种类及其安全泄放量的计算、化工设备联锁装置以及紧急停车装置的设计与应用;化工设备失效类型及常见失效模式、化工设备常规安全检测技术;化工设备常见事故类型及其破坏形式识别、事故调查分析以及事故处理过程;国外和我国常用的化工设备安全相关法律法规及标准。本书编写过程中,还穿插了典型的事故案例分析,便于理解学习。

本书共分8章,第1章、第4章和第5章由重庆科技学院王文和编写;第2章由河北科技大学刘庆刚编写;第3章由浙江海洋学院张华文编写;第6章由中国石油大学(华东)孟亦飞编写;第7章和第8章由中国特种设备检测研究院段志祥编写。全书由王文和主持编写、统稿和修改。同时,王昌酉、崔月冬、孙宝江等人也付出了辛勤的劳动,在此一并表示感谢。

本书在编写过程中,参阅了大量相关资料,在此谨对原作者表示衷心感谢。

由于时间仓促以及编者水平有限,书中错误和疏漏之处在所难免,为便于今后不断完善,恳请广大读者和同行专家多多赐教,不胜感激。

编 者

2014年1月

V

目 录

第1章 绪论	1
1.1 化学工业与化工设备安全	1
1.1.1 化工行业的发展概况	1
1.1.2 化学工业的安全形势	1
1.1.3 化工生产特点与安全	2
1.1.4 化工设备安全的要求	3
1.2 化工设备及其事故特点	4
1.2.1 化工设备的主要特点	4
1.2.2 化工设备事故特点与类型	5
1.3 化工设备安全技术与管理的发展	9
1.3.1 化工设备安全技术发展要求	9
1.3.2 化工设备安全管理发展要求	11
思考题	12
第2章 化工设备安全基础	13
2.1 化工设备分类	13
2.1.1 化工设备的主要分类	13
2.1.2 化工承压容器分类	13
2.2 化工设备的结构	15
2.2.1 化工设备总体结构	15
2.2.2 化工设备的焊接结构	24
2.3 化工设备强度计算基础	26
2.3.1 化工承压设备的应力状态	26
2.3.2 化工承压设备的应力强度理论	28
2.4 化工设备的载荷与应力	29
2.4.1 化工设备承受的载荷	29
2.4.2 化工承压设备应力计算	30
思考题	33

第3章 典型化工设备安全技术	34
3.1 反应设备安全技术	34
3.1.1 反应设备的类型及操作方式	34
3.1.2 反应设备的主要危险性	37
3.1.3 反应器安全运行的基本要求	38
3.1.4 釜式反应器的选择与安全运行	38
3.2 传热设备安全技术	40
3.2.1 换热器安全技术	40
3.2.2 废热锅炉安全技术	48
3.2.3 蒸发器安全技术	53
3.2.4 加热炉安全技术	54
3.3 储运设备安全技术	55
3.3.1 储罐安全技术	55
3.3.2 管道安全技术	58
3.4 动力设备安全技术	60
3.4.1 压缩机安全技术	60
3.4.2 风机安全技术	69
3.4.3 泵的安全技术	70
3.4.4 汽轮机安全技术	75
3.5 分离设备安全技术	76
3.5.1 干燥器安全技术	76
3.5.2 精馏塔安全技术	79
3.5.3 除尘器安全技术	82
3.5.4 过滤器安全技术	85
3.5.5 离心机安全技术	89
思考题	91
第4章 化工设备安全设计	92
4.1 化工设备强度安全设计	92
4.1.1 化工设备强度设计理论和准则	92
4.1.2 化工设备应力分析与设计基础	93
4.1.3 化工设备结构强度的安全要求	93
4.2 化工设备材料安全设计	94
4.2.1 化工设备常用钢材	94
4.2.2 化工设备材料力学性能	95

4.2.3	化工设备腐蚀检测与监测	97
4.2.4	化工设备选材与防腐设计	99
4.3	化工设备本质安全设计	101
4.3.1	本质安全化设计及准则	101
4.3.2	化工设备本质安全化	103
4.3.3	人机工程安全设计及应用	105
4.4	化工设备平面布置安全设计	113
4.4.1	装置内设备平面布置	113
4.4.2	动设备平面安全布置设计	115
4.4.3	静设备平面安全布置设计	116
4.4.4	其他设备平面安全布置设计	118
	思考题	119
第5章	化工设备安全保护装置	120
5.1	安全装置种类及设置原则	120
5.1.1	安全装置的种类	120
5.1.2	安全保护装置的设置原则	120
5.2	安全泄放装置	121
5.2.1	安全泄放装置的分类	121
5.2.2	安全阀保护装置	122
5.2.3	爆破片保护装置	128
5.3	锅炉压力容器的安全泄放量	134
5.3.1	气体储罐的安全泄放量	134
5.3.2	液化气体储罐的安全泄放量	134
5.3.3	蒸发和反应容器的安全泄放量	135
5.4	安全联锁装置	136
5.4.1	安全联锁装置的分类	136
5.4.2	安全联锁装置设计与应用	136
5.5	紧急停车装置	141
5.5.1	紧急停车装置的设置	141
5.5.2	紧急停车装置的设计与应用	142
5.6	其他安全保护设施	144
5.6.1	压力表	144
5.6.2	水位表	146
5.6.3	温度测量仪表	149
5.6.4	视镜	150

5.6.5 减压阀	151
5.6.6 排污阀	151
5.6.7 紧急切断装置	153
思考题	157
第6章 化工设备失效与检测技术	158
6.1 化工设备失效及其危害性	158
6.1.1 化工设备失效的概念	158
6.1.2 化工设备失效的分类	158
6.1.3 化工设备失效的危害	158
6.2 化工设备常见失效模式	158
6.2.1 焊接缺陷及裂纹	158
6.2.2 韧性破裂	165
6.2.3 脆性破裂	166
6.2.4 疲劳破裂	168
6.2.5 应力腐蚀破裂	169
6.2.6 蠕变破裂	170
6.3 化工设备常规检测技术	170
6.3.1 检测的目的、意义及内容	170
6.3.2 常规检测	171
6.3.3 无损探伤技术	172
6.3.4 容器耐压及气密性检测	185
思考题	186
第7章 化工设备常见事故与处理	187
7.1 化工设备常见事故	187
7.1.1 爆炸事故	187
7.1.2 腐蚀破坏事故	188
7.1.3 泄漏事故	188
7.2 化工设备安全的主要因素	188
7.2.1 化工设备的本质因素	188
7.2.2 化工设备的使用因素	188
7.2.3 安全管理因素	189
7.3 化工设备破坏及其危害性	189
7.3.1 化工设备的破坏形式	189
7.3.2 化工设备破坏的危害	189

7.4	化工设备事故调查分析	190
7.4.1	事故现场调查	190
7.4.2	事故过程调查	191
7.4.3	设备制造与服役历史的调查	191
7.4.4	技术检验与鉴定调查	192
7.4.5	事故综合分析	193
7.4.6	事故原因的确定	196
7.5	化工设备典型事故案例	197
7.5.1	设计、制造缺陷引起的爆炸事故	197
7.5.2	应力腐蚀引起的爆炸事故	198
7.5.3	误操作引起的爆炸事故	200
7.5.4	容器失稳引起的事故	201
7.6	化工设备事故处理	202
7.6.1	事故调查范围	202
7.6.2	事故等级分类	202
7.6.3	事故处理原则	203
7.6.4	事故报告	203
7.6.5	事故调查	204
7.6.6	事故处理	205
	思考题	206
第8章	化工设备安全常用法规和标准	207
8.1	国外化工设备安全常用法规标准	207
8.1.1	美国化工设备安全法规标准	207
8.1.2	欧盟化工设备安全法规标准	210
8.1.3	国际标准化组织(ISO)化工设备安全法规标准	212
8.2	我国化工设备安全常用法规标准	213
8.2.1	我国压力容器安全法规标准体系	213
8.2.2	我国化工设备安全常用法规	214
8.2.3	我国化工设备安全常用标准	217
	思考题	219
附录	国内外常用化工设备安全相关法规标准目录	220
	参考文献	228

第1章 绪 论

1.1 化学工业与化工设备安全

1.1.1 化工行业的发展概况

化工行业是国民经济的基础行业。目前,中国的石油和化学工业从石油、天然气等矿产资源勘探开发到石油化工、天然气化工、煤化工、盐化工、国防化工、化肥、纯碱、氯碱、电石、无机盐、基本有机原料、农药、染料、涂料、新领域精细化工、橡胶工业、新材料等,已经形成具有 20 多个行业、可生产 4 万多种产品、门类比较齐全、品种大体配套并有一定国际竞争力的工业体系。

近 10 多年来,我国化工企业发展迅速,区域化工产业带已初步形成。据不完全统计,省级以上人民政府批准建设的新建化工园区已达 60 多家。如依托长江水系形成长江经济带和长江三角洲地区,上游有重庆长寿化工园、四川西部化工城,下游有南京、无锡、常州、镇江、南通、泰兴、常熟、扬子江和苏州工业园,以及上海化学工业园区;依托珠江水系的珠江经济带和泛珠三角地区,主要有广东湛江、茂名、广州、惠州、深圳、珠海等;沿海地区的化工园区,如环杭州湾地区形成的精细化工园区,山东半岛和环渤海地区的青岛、齐鲁、天津、沧州、大连和福州湄洲湾的泉港、厦门、莆田等均建立了化工园区;一批具有特色的内陆地区化工园区正在崛起,如内蒙古的包头、鄂尔多斯和巴盟化工园区、陕西的神华(煤化工)工业园区、青海西宁经济技术开发区、新疆独山子、乌鲁木齐、克拉玛依、库车和塔里木五大园区和贵州正在形成的依托铝、钛、锰、磷、煤炭、石油以及天然气资源的贵州—遵义产业带等。这些化工园区具有很多的优势:交通运输便利、产品靠近市场、园区内产品和原料相互配套、劳动力便宜、公用工程设施完善等,给投资者创造了比较好的条件。目前,已有美、日、德等公司进入这些园区,今后还会越来越多。

1.1.2 化学工业的安全形势

化学工业是我国国民经济的重要支柱产业,又是潜在危险性较大的行业。由于危险化学品所固有的易燃易爆、有毒有害的特性,伴随着高参数、高能量、高风险的化工过程的出现,化工事故隐患越来越多,事故也更加具有灾害性、突发性和社会性,可造成严重的人员伤亡、财产损失和环境污染,如 1930 年 12 月比利时发生了“马斯河谷事件”。在马斯河谷地区,由于铁工业、金属工业、玻璃厂和锌冶炼厂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 月在美国宾夕法尼亚州的多诺拉、1952 年 11 月在英国的伦敦都相继发生了类似的事件。伦敦烟雾事件使伦敦在 11 月 1 日至 12 月 12 日期间比历史同期多死亡了 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。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,造成 2500 多人死亡,5 万人双目失明,近 10 万人终生致残都是震惊世界的灾难。1994 年 1 月 2 日,埃及埃斯农特市石油基地储油罐区遭雷击起火,死亡近 500 人。2001 年 9 月 21 日,法国南部城市图卢兹一家制造硝酸铵化肥的化工厂发生爆炸,死亡 29 人,受伤 2442 人。

近年来,我国的化工安全形势比较严峻,各类事故和职业危害频繁发生,已成为制约我国化学工

业健康发展的重要问题。2003年7月28日,河北省辛集市一家爆竹厂发生爆炸,共造成35人死亡,103人受伤。2005年11月13日,中石油吉林石化分公司某厂因事故处理不当发生爆炸事故,共造成5人死亡,1人失踪,60余人受伤。2006年7月28日,江苏省射阳县盐城某化工有限公司氯化反应器在试生产过程中发生爆炸造成硝化、氯化两个车间厂房全部坍塌,共造成27人死亡,29人受伤。2007年5月11日,河北某大化甲苯二异氰酸酯有限公司TDI车间硝化装置发生爆炸,造成5死80伤,其中14人重度伤。2007年11月27日,江苏某科技有限公司重氮盐生产过程发生爆炸,造成8死5伤,直接经济损失400万元。

2013年11月22日凌晨3点,位于黄岛区秦皇岛路与斋堂岛路交汇处,中石化输油储运公司潍坊分公司输油管线破裂,事故发生后,约3点15分关闭输油,斋堂岛约1000m²路面被原油污染,部分原油沿着雨水管进入胶州湾,海面过油面积约3000m²。处置过程中,当日上午10点30分许,黄岛区沿海河路和斋堂岛路交汇处发生爆燃,同时入海口被油污染海面上发生爆燃。此次事故共造成62人遇难,医院共收治伤员136人。

我国化工系统的一些老化工企业原来分布在离城区比较远的地方,但随着城市建设的加快,现在工厂周围大都形成了市区。其周围的居民的生命财产安全受到极大的威胁。如重庆市某化工厂2004年4月16日的氯气泄漏事件,直接威胁到长江两岸几万人的生命财产安全,导致几万人撤离家园。

1.1.3 化工生产特点与安全

1. 化工生产过程的特点

化工生产过程中存在许多不安全因素。从安全角度来说,化工生产具有如下特点。

(1) 工作介质多为易燃易爆、有毒有害和有腐蚀性危险化学用品。

化工生产中使用的原料、生产过程中的中间体和产品,其中70%以上具有易燃易爆、有毒有害和有腐蚀性的特性。在化工生产中从原料到产品,包括工艺过程中的半成品、中间体、溶剂、添加剂、催化剂、试剂等,许多属于易燃易爆物质,而且多数以气体液体状态存在,在高温高压等苛刻条件下极易发生泄漏或挥发,甚至发生自燃,如果操作失误、违反操作规程或设备管理不善、年久失修,发生事故的可能性就增大。一旦发生事故,不仅损伤设备还会造成人员伤亡。

化工过程中的有毒有害物质种类多、数量大。许多原料和产品本身即为毒品,在生产过程中添加的一些物质也多数有毒性,化学反应还会形成一些新的有毒有害物质。这些毒物有的属于一般有毒物质,也有的属于剧毒物质。它们以气、液、固三态存在,并随生产条件的不断变化而改变原来的形态。

化工生产过程中还有些腐蚀性物质。例如,在生产过程中使用一些强腐蚀性的物质,如硫酸、硝酸、盐酸和烧碱等,它们不但对人有强烈的化学灼烧作用,而且对金属设备也有很强的腐蚀作用。例如,不同场合使用的泵,其材质是不一样的,就是这个道理。另外,在生产过程中很多原料和产品本身具有较强的腐蚀作用,如原油中含有硫化物就会腐蚀设备管道。化学反应中生成新的具有腐蚀性的物质,如果硫化氢、氯化氢、氮氧化物等,如果在设计时没有考虑到该类腐蚀产物的出现,不但会大大降低设备的使用寿命,还会使设备减薄、变脆,甚至承受不了设备的设计压力而发生突发事件。

(2) 生产过程复杂、工艺条件恶劣。

现代化工生产过程复杂,从原料到产品,一般都需要经过许多工序和复杂的加工单元,通过多次反应和分离才能完成。化工生产过程广泛采用高温、高压、深冷、真空等工艺,有反应罐、塔、锅炉等各种各样的装置,再加上众多的管线,使工艺装置更加的复杂化。同时,许多介质具有强烈的腐蚀性。受压设备在温度压力不断变化的情况下,常常存在潜在的泄露、爆炸等危险。如果由于选材不当、材料失误、材质恶劣、介质腐蚀、制造缺陷、设计失误、缺陷漏检、操作不当、意外操作条件、难以控

制的外部条件原因,压力容器就容易发生事故。有些反应要求的工艺条件苛刻,如丙烯和空气直接氧化产生丙烯酸的反应,物料配比在爆炸极限附近,且反应温度超过中间产物丙烯酸的自燃点,在安全控制上稍有失误就有发生爆炸的危险。因此,世界各国对化工承压设备的安全运行十分关注,做了大量的科学研究工作,从一般的失效分析到安全评定,发展到对提高可靠性、预测寿命课题的开发,建立案例库、专家系统,并向人工智能方向发展,以确保设备的安全运行。

(3) 生产规模大型化、生产过程连续化。

现代工业生产装置越来越大,以求降低成本,提高生产效率,降低能耗。所以各国都把采用大型装置作为加快工业发展的重要手段。装置的大型化有效地提高了生产效率,但规模越大装置越复杂,危险源增多且不易判断。装置规模大型化在提高企业效率的同时,也使得工业生产中的安全隐患增大。化工生产从原料的输入到产品的输出具有高度的连续性,前后单元息息相关,相互制约,某一环节发生故障往往会影响到整个生产的正常进行。设备一旦发生故障,停产的损失也很大。

(4) 生产过程自动化程度高。

由于装置大型化、连续化、工艺过程复杂化和工艺参数要求苛刻,因为现代化工生产过程中,人工操作已不能适应其需要,必须采取自动化程度较高的系统。近年来,随着计算机技术的发展,化工生产中普遍采用了DCS集散型控制系统,对生产过程中的各个参数及开停车情况实行监控、控制和管理,从而有效地提高了控制的可靠性。但是控制系统和仪器仪表维护不好,性能下降,也可能因检测或控制失效而发生事故。

(5) 事故紧急救援难度大。

由于大量的易燃易爆物品、复杂的管线布置增加了事故紧急救援的难度;一些管道、反应装置直接阻挡了最佳的救援路线,扑救必须迂回进行,施救难度大。

2. 化工安全生产的重要地位

由于化工生产具有以上特点,发生事故的可能性及后果的严重性比其他行业来说要大得多,所以安全生产显得尤为重要。安全是生产的前提,没有安全作保障生产就不能正常进行。安全是工业发展的关键,没有安全作保障,生产就不能实现向大型化连续化的方向发展。随着社会的发展,人类文明程度的提高,人们对安全的要求也越来越高,企业各级领导、管理干部、工程技术人员和操作人员都必须做到“安全第一,责任重于泰山”,把安全生产始终放在一切工作的首位;同时,还必须深入研究安全管理和预防事故的科学方法,控制和消除各种危险因素,做到防患于未然。对于担负着开发新技术、新产品的工程人员,必须树立安全观念,认真探讨和掌握伴随生产过程而可能发生的事故及预防对策,努力为企业提供技术先进、工艺合理、操作可靠的生产技术,使化学工业生产中的事故损失降低到最低限度。

1.1.4 化工设备安全的要求

化工装置大型化,在基建投资和经济效益方面的优势是无可争议的。但是,大型化是把各种生产过程有机地联合在一起,输入输出都是在管道中进行的。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,装置之间互相作用、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达到规定目标的产品,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条件、规定时间下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。概率与数理统计方法,以及系统工程学方法将更多地渗入化工安全研究领域。

化工装置大型化,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,大多本身就是能源或毒性源,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,必然带来是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的影响。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、新工艺和新技术的运用,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的评价,并根据评价的结果采取优化的安全措施。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的贡献。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。化工安全必须采取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。

化学工业的初期只是伴有化学反应的工艺制造过程,进而包括以过程产品为原料的工业。化学工业随着技术的进步和市场的扩大迅速发展起来,目前已占整个制造业的30%以上,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。

大多数的化工危险都具有潜在的性质,即存在“危险源”,危险源在一定的条件下可发展成为“事故隐患”,而事故隐患继续失控下去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,国内外流行的安全评价技术,就是在危险源辨识基础上,对存在的危险源进行定性和定量的评价,并根据评价的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。

1.2 化工设备及其事故特点

化工设备涉及面十分广泛,如动力设备、输送设备、分离设备、压力容器、管线阀门等。随着科技的发展,大型化、自动化和连续化的工艺对这些设备的要求越来越高。尤其是石油化工生产的特殊要求,这些设备大多是在恶劣的环境下运行,如高温、高压、低温、高真空度、变载荷,如严重的腐蚀环境、有毒及易燃易爆环境等。一旦发生事故,不仅仅影响生产,而且会对装备、工厂造成巨大的破坏,造成严重的人身伤亡事故,造成严重的环境污染。所以,石油化工设备安全问题是一个非常重要的问题,必须有充分的措施保证其安全运行。

1.2.1 化工设备的主要特点

1. 化工设备的类型

化工装备是化工生产中的重要物质基础,也是化工生产中的重大危险源。生产中的各种化学、物理过程往往在密闭的状态下连续进行,在这些过程中,都需要使用各种设备、机器。例如,换热设备、塔设备、干燥设备、分离设备、储罐、压缩机、泵等,以完成生产过程中的各种化学反应、热量交换、不同成分的分离、各种原料的传输、气体压缩、原料和产品的储存等。按其运行特点来分,常可分为静设备和动设备两类。

化工设备又称静设备。涉及化工过程领域的绝大多数单元操作和化工反应过程,都是在化工设备

这一特定空间内进行的,尽管这些设备尺寸大小不一,形状结构不同,内部构造的形式更是多种多样,但是它们都有一个外壳,这个外壳就称作压力容器,它是化工设备的一个基本组成部分。因此,相对于其他机械设备而言,化工设备的结构简单,都是由一个密闭的压力容器外壳加上内外附件构成。

(1) 压力容器构成。虽然化工设备的种类较多,但其容器构成基本都是相似的,主要由封头、筒体、开孔、接管、法兰、人孔(手孔)、支承及安全附件等构成。

(2) 内附件。不同的化工设备具有不同的功能内件,如换热设备内部的传热管束、塔设备内的传质原件(塔盘、填料、除沫器等)、反应釜内的搅拌器、储存设备没有内附件等。

(3) 外附件。有时根据安装、操作和维修的需要,设备还有一些外部附件,如保温层、吊柱、扶梯、操作平台等。

2. 化工设备的特点

化工设备都是按照化工生产过程要求的不断变化而发展起来的。因此,与通常的产业机械设备相比,有着以下显著特点。

(1) 功能原理多样化。化工设备及技术与“化工过程”的原理密不可分。设备的设计、制造及运行在很大程度上依赖于设备内部进行的各种物理或化学过程以及设备外部所处的环境条件,或者说,“化工生产过程”是“化工设备”的前提。由此,化工生产过程的介质特性、工艺条件、操作方法以及生产能力的差异,也就决定了人们必须根据设备的功能、条件、使用寿命、安全质量以及环境保护等要求,采用不同的材料、结构和制造工艺对其进行单独设计。从而,使得在工业领域中所使用的化工设备的功能原理、结构特征多种多样,并且设备的类型也比较繁多。例如,换热设备的传热过程,根据工艺条件的要求不同,可以利用加热器或冷却器实现无相变传热,也可以采用冷凝器或重沸器实现有相变的传热。

(2) 外部壳体多是压力容器。对于处理如气体、液体和粉体等这样一些流体材料为主的化工设备,通常都是在一定温度和压力条件下工作的。尽管它们的服务对象不同、形式多样、功能原理和内外结构各异,但一般都是由限制其工作空间且能承受一定温度和压力载荷的外壳(筒体和端部)和必要的内件所组成。从强度和刚度分析,这个能够承受压力载荷的外壳体即是压力容器。

压力容器及整个设备通常是在高温、高压、高真空、低温、强腐蚀的条件下操作,相对其他行业来讲,工艺条件更为苛刻和恶劣,如果在设计、选材、制造、检验和使用维护中稍有疏忽,一旦发生安全事故,其后果不堪设想。

(3) 化—机—电技术紧密结合。随着现代工业技术的发展,对物料、压力、温度等参数实施精确可靠控制,以及对设备运行状况进行适时监测,已是化工设备高效、安全、可靠运行的保证。为此,生产过程中的成套设备都是将化工过程、机械设备及控制技术三个方面结合在一起,实施“化—机—电”技术的一体化,对设备操作过程进行控制。这不仅是化工设备在应用上的一个突出特点,也是设备应用水平不断提高的一个发展方向。

(4) 设备结构大型化。随着先进生产工艺的提出以及设计、制造和检测水平的不断提高,许多行业对使用大型、高负荷化工设备的需求日趋增加。尤其是大规模、专业化、成套化生产带来的经济效益,使得设备结构的特征更加明显。例如,使用中的乙烯换热器的最大直径已经达到 2.4m;石化炼油工业中使用的高压加氢反应器,由于国外解决了抗氢材料及一系列制造技术问题,现在可以制造直径 6m、壁厚 450mm、质量为 1200t 的大型热壁高压容器。中国目前设备最大壁厚也可以达到 200mm,质量达 560t。

1.2.2 化工设备事故特点与类型

1. 化工设备事故特点与失效模式

化工设备是承受高温、高压、低温、高度真空和处理易燃易爆、有腐蚀、有毒介质,完成复杂工艺

的工具。一旦发生事故,其后果相当严重,轻者会使设备损坏、失效,影响装置的正常运行,重者还会引起着火爆炸、窒息中毒和灼伤等人身伤亡的严重后果。

由于化工设备在高温高压等苛刻条件下运行,材料比较容易恶化,其劣化的形式可分为经历过的及未经历过的两大类型,如图 1-1 所示。经历过的劣化有两种不同的形式,即渐进型及突发型。



图 1-1 化工设备劣化类型

渐进型的劣化是指在一定的时间过程中,定量观察,预先可以发现设备功能递减的劣化。渐进型的劣化可以进一步区分为磨损和疲劳两种形式。磨损是指如轴承或垫片的磨损等事先可预知的渐进的劣化形式。疲劳发生则像针孔和裂纹一样,虽然是不可预知的,但是一旦发现,劣化的渐进即可被观察到。一般来说,渐进型劣化是最容易维修的。因为设备的估计寿命或故障可能发生的时间,可以根据渐进劣化的过程推断而知。

突发型的劣化也可以分成两种形式,即潜在型和外部型。潜在型是指故障的原因已经存在于设备的内部,一有机会就会发作;外部型是指由于设备外部的一些条件而引起的劣化。

劣化影响的严重程度是采用何种维修方针所考虑的因素之一。在石油化工厂一般可分为五个等级。

一级:对系统造成致命性的损坏。

二级:对系统的运行造成一定的影响。

三级:对单台设备本身的功能带来递减。

四级:对设备目前尚无影响,但如对劣化不及时维修,将会发展成为一种故障。

五级:十分轻微,不完全担心会发展成为一种故障,但还是维修为好。

在石油化工厂导致设备劣化和失效的原因很多,条件也很复杂,如腐蚀与冲蚀、应力交变、温度变化、压力或负荷变化、磨损、地震、风载荷等。

2. 化工设备的常见事故类型

(1) 燃烧与爆炸。燃烧是一种放热发光的化学反应,也是化学能转变成热能的过程。爆炸的重要特征是爆炸点周围介质发生急剧的压力突跃。按照物质产生爆炸的原因和性质不同,与化工设备一样,化工机械爆炸现象有化学与物理爆炸之分,包括物质在发生极迅速的化学反应过程中形成高温高压和新的反应物而引起的化学爆炸;或者因气体压力过高,超过管道与储气罐材料的强度极限而引起的物理爆炸。

(2) 腐蚀与污染。腐蚀不但对人有不同程度的化学性灼伤作用,而且对金属设备也有较强的腐蚀性,同时还会使机器性能急剧下降。腐蚀将会使零部件减薄、变脆造成机件破坏,甚至承受不了原设计压力而引起断裂、泄漏、着火爆炸事故。泄漏则会造成对环境的污染。

(3) 磨损与疲劳。在化工装备试车、运行过程中,其机械作用引起的常见事故原因是运动副的磨损、材料的塑性变形和疲劳破坏。按照磨损造成化工机械磨损表面破坏的机理,主要可分为黏着

磨损、磨料磨损和腐蚀磨损等类型。其中,压缩机、风机、泵和离心机的主轴与承轴之间、活塞与活塞环之间的磨损为黏着磨损。外界硬颗粒或者对磨表面上的硬凸起物在摩擦过程中引起表面材料脱落的现象为磨料磨损。在腐蚀和磨损的重复作用下,主要是因为腐蚀原因造成的磨损称为腐蚀磨损。此种磨损往往与黏着、磨料磨损结合在一起同时产生。有关磨损问题的详细分析,可参阅摩擦学方面的书籍。

(4) 噪声与振动。噪声除损害职工身体外,还可能对环境造成噪声的污染,石油化工采用泵的噪声主要有流体噪声和机械噪声两类。流体噪声是由于泵系统中流体的周期性脉动、汽蚀和泵的实际运行点远离允许运行范围时产生的。机械噪声则是由于地脚螺栓松动、垫片未垫实、轴弯曲、叶轮不平衡、滚动轴承滚珠破碎、滑动轴承间隙过大、口环间隙过小和平衡盘研磨等原因产生的。化工机器在运行中,由于种种原因而产生的机组强烈异常振动是化工机器常见的一种故障。强烈的振动将严重影响化工机器运转的可靠性,甚至引起机器、管道疲劳断裂,造成爆炸等破坏性事故。同时,振动本身还直接危害职工的身心健康,引起神经系统和心血管疾病。

(5) 汽蚀与喘振。所谓汽蚀现象即是当液体在急剧汽化过程中,产生大量气泡。随液体进入高压区时,在压差作用下被压碎,突然破灭、消失,此时,在材料的局部表面上产生的局部压力可达到上百兆帕,金属表面在巨大压力的高频连续冲击下产生疲劳点蚀破坏,加之气泡凝结时放出氧气,对金属表面产生化学腐蚀作用(又称侵蚀),从而加快金属零件的破坏。离心泵在严重的汽蚀状态下运行,将使泵的流量、扬程和效率显著降低,甚至无法工作。因此,在设计和操作中应设法提高离心泵抗汽蚀性能,以防汽蚀发生。

3. 化工设备失效事故原因分析

所谓失效,是指设备失去了设计所规定的功能。化工设备失效的原因很多,无论是容器、管道、管件、过程设备和各种机器,失效时通常都表现为多种失效形式并存,因此要进行分析,首先必须了解其主要的失效形式。一般的判断方法则是通过失效导致最终破坏的主要现象来确定其失效形式,通常可进行如下的划分和归类。

1) 过渡形式

凡是设备总体或某一最薄弱的局部发生了永久性的过度变形,导致设备失去了设计所规定的功能,即可判断为失效。如容器、管道工作过程中发生了非预期而不可恢复的鼓胀,弯曲与扭曲,杆、轴类零部件工作中出现的异常弯曲与扭曲等均属于过度变形。对于遭受压应力引起失稳的零部件,即使处于弹性失稳也可能导致过度变形而失去原有的设计功能。

2) 过度磨损

过度磨损将使运动副的间隙加大或机械的精度降低,使运动部件的接触间隙加大,导致振动严重;或是设备及管道的壁厚异常减薄等现象,都属于过度磨损的范畴。

3) 泄漏

因为密封件失效引起的泄漏,以及因局部裂纹的扩展(疲劳的、应力腐蚀的、蠕变的裂纹扩展)导致壁厚局部穿透,引起介质的泄漏甚至喷出,均有可能引起燃烧、二次爆炸或人员中毒,轻则使装置停止运行,重则产生比过度变形及过度磨损更为严重的破坏。

4) 断裂

由于裂纹的扩展而使设备的零部件发生断裂失效,将可能使设备无法继续运行,而对压力容器与管道,则可能因介质的大量喷发而造成次生事故。

5) 爆炸

爆炸通常易发生在受压容器和管道上,爆炸发生后,通常可在容器或管道上发现较大的撕裂现象,失效部位常见有明显的大变形,可能伴随碎片飞出,甚至整台设备移位或抛出,并伴有巨大响声。爆炸大致可分为物理性的超压爆炸及化学性的瞬间温度、压力骤增引起的爆炸。后者导致的后果更