



高职高专“十一五”规划教材



安全技术 系列

化工安全与环境保护

HUAGONG ANQUAN YU HUANJING BAOHU

王德堂 何伟平 主编

冷士良 主审



化学工业出版社

高职高专“十一五”规划教材——安全技术系列

化工安全与环境保护

王德堂 何伟平 主编
冷士良 主审



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书按照化工安全、环境保护的顺序,分化工安全生产技术、环境保护、危险化学品职业危害与卫生防护三个篇章,化工安全生产技术篇介绍了化学反应、化工单元操作、特种设备、防火防爆及电气安全、装置维修与运行、安全评价、安全管理等安全控制技术;环境保护篇介绍了化工“三废”和物理性污染的综合治理技术;危险化学品职业危害与卫生防护篇介绍了危险化学品应急救援和职业接触性毒物防护方法,列举了具体的应用实例,对化工生产过程中的问题提出了具体的安全措施,简要介绍了安全生产的工作程序、操作方法和控制技术。

本书通过较多的实例说明各类生产过程安全与环保及职业卫生防护方法,具有较强的实用性和可操作性。

本书可作为高职高专化工类专业、非安全类专业、环保类专业的教材,也可供安全环保业人员、企业安全环保生产技术管理人员学习和参考。

图书在版编目(CIP)数据

化工安全与环境保护/王德堂,何伟平主编. —北京:
化学工业出版社, 2009. 8
高职高专“十一五”规划教材——安全技术系列
ISBN 978-7-122-06463-9

I. 化… II. ①王…②何… III. ①化学工业-安全技术-
高等学校: 技术学院-教材②化学工业-环境保护-高等
学校: 技术学院-教材 IV. TQ086 X78

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 140737 号

责任编辑: 张双进
责任校对: 陶燕华

文字编辑: 廉 静
装帧设计: 王晓宇

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: 北京永鑫印刷有限责任公司

装 订: 三河市万龙印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张 24 字数 645 千字 2009 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: 38.00 元

版权所有 违者必究

前 言

自从《中华人民共和国安全生产法》、《危险化学品安全管理条例》、《中华人民共和国消防法》、《中华人民共和国环境保护法》、《中华人民共和国职业防护法》、《中华人民共和国劳动法》等颁布以来，国家安全生产监督管理总局、国家质量监督检验检疫总局及各部委发布了一系列有关安全生产规范和标准。我国化工生产行业发展速度很快，预防安全事故和环境污染的发生，对正常生产起到了很大的作用，也日益受到政府、企业的重视。

本教材根据教育部《高职高专教育专业人才培养目标及规格》要求，主要定位于高职高专化工类专业、非安全类、环保类专业学生。本教材按照化工安全生产顺序进行编写，并在编写中注重实例的应用，使学生能较快地掌握各种生产过程安全生产控制技术和方法。

本书由王德堂、何伟平担任主编。徐州工业职业技术学院王德堂编写第一、二、三、七章，何伟平编写第九、十一~十四章，叶明生编写第四章，刘晓静编写第五章、吴昊编写第十章，金华职业技术学院周福富编写第六章，长沙环境保护职业技术学院卢莎编写第八章，常州工程职业技术学院孙玉叶编写第十五、十六章。全书由王德堂统稿，冷士良主审。徐州安全生产监督管理局王化民处长、中国矿业大学朱国庆副教授、徐州工业职业技术学院袁秋生副教授等对书稿进行了认真审阅，提出不少宝贵意见，在此深表谢意。本书在编写过程中受到徐州工业职业技术学院院长周立雪教授、副院长金万祥副教授、冷士良教授、常州工程职业技术学院薛叙明副教授、河南工业大学蔡庄红副教授、天津渤海职业技术学院副院长杨永杰教授等大力支持和帮助，在此一并感谢。

本书内容丰富、系统性强，理论与实践相结合，具有较强的实用性。本书在编写过程中参考了有关文献资料，在此，向其作者一并表示感谢。由于编者水平有限，书中存在不妥之处在所难免，敬请读者批评指正，不吝赐教。

编 者

2009 年 7 月

目 录

第一篇 化工安全生产技术

第一章 绪论	1	第四节 火灾自动报警系统	85
第一节 化学工业	1	第五节 消防灭火	86
第二节 化工生产的危险性及其分类	2	第六节 防静电与防雷击	88
第三节 安全设计技术	9	第七节 防爆电气	91
第四节 安全控制技术	10	第八节 安全用电和安全救护	93
第五节 安全技术经济的发展	15	第五章 特种设备安全技术	98
第二章 化学反应安全技术	20	第一节 压力容器的安全技术	98
第一节 概述	20	第二节 锅炉的安全技术	111
第二节 氧化反应	21	第三节 气瓶的安全技术	118
第三节 还原反应	23	第四节 压力管道的安全技术	128
第四节 卤化反应	25	第五节 安全装置	134
第五节 硝化反应	26	第六章 装置运行与维护安全技术	141
第六节 磺化反应	28	第一节 概述	141
第七节 催化反应	29	第二节 化工装置的使用安全与故障 处置	142
第八节 聚合反应	30	第三节 化工装置泄漏维护技术	147
第九节 裂解反应	33	第四节 化工装置安全检修技术	150
第十节 电解反应	34	第五节 化工装置试车安全技术	159
第十一节 烷基化反应	35	第六节 安全生产与装置的验收	167
第十二节 重氮化反应	36	第七章 安全评价	172
第十三节 典型事故案例分析	36	第一节 概述	172
第三章 化工单元操作安全技术	41	第二节 危险有害因素辨识及评价单元的 划分	175
第一节 概述	41	第三节 安全评价分析	181
第二节 流体输送单元操作安全技术	42	第四节 其他安全评价方法	199
第三节 传热单元操作安全技术	45	第五节 安全对策措施及安全评价结论	205
第四节 冷冻单元操作安全技术	49	第六节 安全评价报告的编制及过程质量 控制	210
第五节 蒸发与蒸馏单元操作安全技术	51	第八章 安全管理	215
第六节 吸收单元操作安全技术	53	第一节 安全生产管理的发展状况	215
第七节 干燥单元操作安全技术	54	第二节 安全管理的基本制度	216
第八节 萃取单元的安全操作技术	57	第三节 生产经营单位的安全生产管理	222
第九节 其他化工单元安全操作技术	58	第四节 安全生产监督管理	230
第十节 典型事故案例分析	63	第五节 安全生产法	231
第四章 防火防爆和电气安全	69	第六节 安全生产相关的法律法规	233
第一节 防火技术	69		
第二节 防爆技术	76		
第三节 建筑防火	81		

第二篇 环 境 保 护

第九章 环境保护概述	239	第三节 环境科学	245
第一节 环境问题概述	239	第十章 废水的综合治理技术	248
第二节 化工环境污染概况	242	第一节 化工废水的来源及特点	248

第二节	水污染的控制技术	250	第十三章	物理污染综合治理技术	279
第三节	化工废水处理典型工艺	254	第一节	噪声污染	279
第十一章	废气的综合治理技术	258	第二节	光污染	281
第一节	化工废气的来源及特点	258	第三节	放射性污染	283
第二节	除尘技术	260	第四节	热污染	284
第三节	烟气处理技术	264	第五节	重金属污染	286
第十二章	废渣的综合治理技术	271	第十四章	环境保护与可持续发展	288
第一节	化工废渣概述	271	第一节	化工清洁生产技术	288
第二节	化工废渣处理技术	274	第二节	环境质量评价	290
第三节	固体废弃物污染的管理制度	276	第三节	可持续发展	292

第三篇 危险化学品职业危害与卫生防护

第十五章	危险化学品的职业危害与事故救援	297	第五节	应急救护及逃生自救技术	316
第一节	危险化学品的分类和特性	297	第十六章	职业健康与防护	334
第二节	危险化学品的职业危害	300	第一节	职业健康与职业病	334
第三节	危险化学品事故应急救援	302	第二节	职业病预防	336
第四节	典型危险化学品事故应急处置方案	309	第三节	防尘防毒技术	338
			第四节	防噪声防辐射技术	350
			第五节	个体防护用品	356
附录一		362			
附录二	安全评价报告格式和工作程序	370			

参 考 文 献

第一篇 化工安全生产技术

第一章 绪 论

学习目标

通过学习了解化学工业和化工生产,认识到化工生产的危险性、化工装置特点、化工安全设计的作用和重要性,熟悉安全设计过程和安全生产基本控制技术,更好地完善安全经济技术。主要培养学生化工安全基本职业素质和化工安全生产基本工作能力。

第一节 化 学 工 业

化学工业是国家和地方的支柱产业,生产总值约占国民经济的 1/3,正常生产尤为重要,如化肥厂、农药厂、涂料厂、焦化厂、石油化工厂等,生产介质有易燃、易爆、有毒、腐蚀等性质,生产设备有泵、压缩机、塔、容器、釜、阀等,生产过程具有高温、高压、低温、毒性、腐蚀性、燃烧性、爆炸性、物体打击等危险性,这些企业大多生产装置庞大、占地面积多、投资大、建设周期长、经济效益好。目前生产装置基本具有规模化、连续化、自动化、集中化等形式,劳动操作条件较好,生产过程主要表现为化学反应过程或生产化学产品的工业,广义上都属化学工业。它们的生产过程主要表现为化学过程,具有共同的生产技术特点和相同的技术经济规律。

一、化学工业的分类

世界各国所指的化学工业其基本含义相同,但包括的范围却有较大的差异。

美国化学工业指生产基本化工产品的企业和产品加工以化学过程为主的企业,以及与石油加工有关的企业。这些企业的产品可分为三大类:一是基本化工产品,如酸、碱、盐以及有机化工产品等;二是需进一步加工使用的化工产品,例如,合成纤维、塑料、橡胶等;三是能直接消费的化学产品,例如农药、洗涤剂、涂料等。

俄罗斯化学工业指包括石油化学工业在内的工业企业。化工产品分为八大类:一是无机化学产品和化学原料;二是聚合物、合成橡胶、塑料和化学纤维;三是涂料、颜料材料和产品;四是合成染料和有机中间体;五是有机合成产品(石油产品、炼焦产品和木材化学产品);六是化学试剂和高纯物质;七是药品和化学制品;八是工业橡胶制品和工业石棉制品。

中国化学工业一般理解为包括石油化学工业在内的生产部门。化学工业按三种方式分类:第一种是不受现行管理体制的局限,将化工产品分成 19 大类,该分类方式与国外化学工业的可比性较大;第二种分类方式是与上述产品基本相对应的行业分类,将化学工业分为 20 个行业;第三种是国家统计部门在统计工作中对我国化工行业的分类,较为粗略,但与国际上的较通行分类接近。化学工业既是加工工业,也是原材料工业;既包括生产资料的生产,也包括生活资料的生产。三种分类方法涉及化工产品如表 1-1 所示,从中看出化学工业的产品包括酸碱、无机盐、基本有机原料、合成橡胶、塑料、合成纤维、农药、染料、涂料

表 1-1 化工产品分类表

序号	按产品分类	按行业分类	统计部门的分类
1	化学矿	化学矿	基本化学原料制造业
2	无机化工原料	无机盐	化学肥料制造业
3	有机化工原料	有机化工原料	化学农药制造业
4	化学肥料	化学肥料	有机化学品制造业
5	农药	化学农药	合成材料制造业
6	高分子聚合物	合成纤维单体	日用化学产品制造业
7	涂料、颜料	涂料、颜料	其他化学工业
8	染料	染料和中间体	医药工业
9	信息用化学品	感光 and 磁性材料	化学纤维工业
10	试剂	化学试剂	橡胶制品业
11	食品和饲料添加剂	石油化工	塑料制品业
12	合成药品	化学医药	
13	日用化学品	合成树脂和塑料	
14	黏合剂	酸、碱	
15	橡胶和橡塑制品	合成橡胶	
16	催化剂和助剂	催化剂、试剂和助剂	
17	火工产品	煤化工	
18	其他化学产品	橡胶制品	
19	化工机械	化工机械	
20		化工新型材料	

和颜料、试剂、感光材料、橡胶制品、新型合成材料等，即称之为“大化工”。

二、化学工业的特点

化学工业在国民经济中起主导作用，生产过程中的工艺技术具有特殊性，具有许多不同于其他工业部门的特点：装置型工业；资金密集型工业；知识密集型工业；高能耗、资源密集型工业；多污染工业。

化工生产过程的中间产物多，副产物也多，可能导致的有害物质排放也相应增多。化工建设项目必须与相应的污染治理工程同步进行，才能获得批准和实施。防止和治理污染是化学工业面临的重要问题，也是化学工业可持续发展必须解决的重要课题。

三、化学工业的地位和作用

化学工业在国民经济中所处的地位非常重要，近年来世界上一些发达国家化学工业产值占整个工业产值的 10% 以上，化学工业历来为世界各国所重视，一般都使其保持超前发展，世界各主要工业化国家化学工业的发展速度一般均高于整个工业平均发展速度，化学工业的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。近 10 年来我国化学工业的发展速度也高于整个工业平均发展速度，一直都充满着发展的蓬勃生机，生产技术和操作环境提高较快。为适应整个国民经济发展，化学工业保持了较高的发展速度，按照科学发展观，认真研究和处理好化学工业中的安全问题，对化学工业乃至对整个社会的经济效益和发展都有重要的意义。

第二节 化工生产的危险性及其分类

石油化学工业的生产具有高温、高压、燃烧性、爆炸性、毒性、腐蚀性等特点。

一、燃烧性和火灾危险性分类

1. 基本概念

(1) 燃点 燃点是指可燃物质加温受热并点燃后，所放出的燃烧热能使该物质挥发足够

量的可燃蒸气来维持燃烧的继续。此时加温该物质所需的最低温度即为该物质的“燃点”，也称“着火点”。物质的燃点越低，越容易燃烧。

(2) 闪点 闪点是指可燃液体挥发出来的蒸气与空气形成的混合物，遇火源能够发生闪燃的最低温度。

(3) 自燃点 自燃点是指可燃物质达到某一温度时，与空气接触，无需引火即可剧烈氧化而自行燃烧的最低温度。

(4) 引燃温度 引燃温度是指按照标准试验，引燃爆炸性混合物的最低温度。

(5) 易燃物质 易燃物质指易燃气体、蒸气、液体和薄雾。

(6) 易燃气体 是指以一定比例与空气混合后形成的爆炸性气体混合物的气体。

(7) 易燃或可燃液体 是指在可预见的使用条件下能产生可燃蒸气或薄雾，闪点低于 45℃ 的液体称易燃液体；闪点大于或等于 45℃ 而低于 120℃ 的液体称可燃液体。

(8) 易燃薄雾 是指弥散在空气中的易燃液体的微滴。

2. 可燃气体的火灾危险性分类

《石油化工企业设计防火规范》GB 50160 中对可燃气体的火灾危险性分类见表 1-2，可燃气体的火灾危险性分类举例见表 1-3。

表 1-2 可燃气体的火灾危险性分类

类 别	可燃气体与空气混合物的爆炸下限(体积分数)/%
甲	<10%
乙	≥10%

表 1-3 常见可燃气体的火灾危险性分类举例

类 别	名 称
甲	乙炔,环氧乙烷,氢气,合成气,硫化氢,乙烯,氯化氢,丙烯,丁烯,顺丁烯,反丁烯,甲烷,乙烷,丙烷,丁烷,丙二烯,环丙烷,甲胺,环丁烷,甲醛,甲醚,氯甲烷,氯乙烯,异丁烷
乙	一氧化碳,氨,溴甲烷

3. 液化烃、可燃液体的火灾危险性分类

《石油化工企业设计防火规范》GB 50160 中对液化烃、可燃液体的火灾危险性分类见表 1-4，液化烃、可燃液体的火灾危险性分类举例见表 1-5。

表 1-4 液化烃、可燃液体的火灾危险性分类

类 别		名 称	特 征
甲	A	液化烃	15℃ 时的蒸气压力 > 0.1MPa 的烃类液体及其他类似的液体
	B		甲 A 类以外,闪点 < 28℃
乙	A		闪点 ≥ 28℃ 至 ≤ 45℃
	B		闪点 > 45℃ 至 < 60℃
丙	A		闪点 ≥ 60℃ 至 ≤ 120℃
	B		闪点 > 120℃

4. 生产厂房的火灾危险性分类

《建筑设计防火规范》GBJ 16 中的生产厂房的火灾危险性可按表 1-6 分为五类。

5. 仓库储存物品的火灾危险性分类

《建筑设计防火规范》GBJ 16 中的储存物品的火灾危险性可按表 1-7 分为五类。

表 1-5 常见液化烃、可燃液体的火灾危险性分类举例

类 别		名 称
甲	A	液化甲烷,液化天然气,液化氯甲烷,液化顺式 2-丁烯,液化乙烯,液化乙烷,液化反式 2-丁烯,液化环丙烷,液化丙烯,液化丙烷,液化环丁烷,液化新戊烷,液化丁烯,液化丁烷,液化氯乙烷,液化环氧乙烷,液化丁二烯,液化异丁烷,液化石油气,二甲胺
	B	异戊二烯,异戊烷,汽油,戊烷,二硫化碳,异己烷,己烷,石油醚,异庚烷,环己烷,辛烷,异辛烷,苯,庚烷,石脑油,原油,甲苯,乙苯,邻二甲苯,间、对二甲苯,异丁醇,乙醚,乙醛,环氧丙烷,甲酸甲酯,乙胺,二乙胺,丙酮,丁醛,二氯甲烷,三乙胺,醋酸乙烯,甲乙酮,丙烯腈,醋酸乙酯,醋酸异丙酯,二氯乙烯,甲醇,异丙醇,乙醇,醋酸丙酯,丙醇,醋酸异丁酯,甲酸丁酯,吡啶,二氯乙烷,醋酸丁酯,醋酸异戊酯,甲酸戊酯,丙烯酸甲酯
乙	A	丙苯,环氧氯丙烷,苯乙烯,喷气燃料,煤油,丁醇,氯苯,乙二胺,戊醇,环己酮,冰醋酸,异戊醇
	B	35 号轻柴油,环戊烷,硅酸乙酯,氯乙醇,氯丙醇,二甲基甲酰胺
丙	A	轻柴油,重柴油,苯胺,锭子油,酚,甲酚,糠醛,20 号重油,苯甲醛,环己醇,甲基丙烯酸,甲酸,乙二醇丁醚,甲醛,糠醇,辛醇,乙醇胺,丙二醇,乙二醇,二甲基乙酰胺
	B	蜡油,100 号重油,渣油,变压器油,润滑油,二乙二醇醚,三乙二醇醚,邻苯二甲酸二丁酯,甘油,联苯-联苯醚混合物

表 1-6 生产的火灾危险性分类

生产类别	火灾危险性特征
甲	使用或产生下列物质的生产： ①闪点<28℃的液体 ②爆炸下限<10%的气体 ③常温下能自行分解或在空气中氧化即能导致迅速自燃或爆炸的物质 ④常温下受到水或空气中水蒸气的作用，能产生可燃气体并引起燃烧或爆炸的物质 ⑤遇酸、受热、撞击、摩擦、催化以及遇有机物或硫黄等易燃的无机物，极易引起燃烧或爆炸的强氧化剂 ⑥受撞击、摩擦或与氧化剂、有机物接触时能引起燃烧或爆炸的物质 ⑦在密闭设备内操作温度等于或超过物质本身自燃点的生产
乙	使用或产生下列物质的生产： ①28℃≤闪点<60℃的液体 ②爆炸下限≥10%的气体 ③不属于甲类的氧化剂 ④不属于甲类的化学易燃危险固体 ⑤助燃气体 ⑥能与空气形成爆炸性混合物的浮游状态的粉尘、纤维、闪点≥60℃的液体雾滴
丙	使用或产生下列物质的生产： ①闪点≥60℃的液体 ②可燃固体
丁	具有下列情况的生产： ①对非燃烧物质进行加工，并在高热或熔化状态下经常产生强辐射热、火花或火焰的生产 ②利用气体、液体、固体作为燃料或将气体、液体进行燃烧作其他用的各种生产 ③常温下使用或加工难燃烧物质的生产
戊	常温下使用或加工非燃烧物质的生产

注：1. 在生产过程中，如使用或产生易燃、可燃物质的量较少，不足以构成爆炸或火灾危险时，可以按实际情况确定其火灾危险性的类别。

2. 一座厂房内或本防火分区内有不同性质的产品生产时，其分类应按火灾危险性较大的部分确定，但火灾危险性大的部分占本层或本防火分区面积的比例小于 5%（丁、戊类生产厂房的油漆工段小于 10%），且发生事故时不足以蔓延到其他部位，或采取防火设施能防止火灾蔓延时，可按火灾危险性较小的部分确定。

表 1-7 储存物品的火灾危险性分类

储存物品类别	火灾危险性的特征
甲	①闪点 $<28^{\circ}\text{C}$ 的液体 ②爆炸下限 $<10\%$ 的气体,以及受到水或空气中水蒸气的作用,能产生爆炸下限 $<10\%$ 气体的固体物质 ③常温下能自行分解或在空气中氧化即能导致迅速自燃或爆炸的物质 ④常温下受到水或空气中水蒸气的作用能产生可燃气体并引起燃烧或爆炸的物质 ⑤遇酸、受热、撞击、摩擦以及遇有机物或硫黄等易燃的无机物,极易引起燃烧或爆炸的强氧化剂 ⑥受撞击、摩擦或与氧化剂、有机物接触时能引起燃烧或爆炸的物质
乙	① $28^{\circ}\text{C}\leq\text{闪点}<60^{\circ}\text{C}$ 的液体 ②爆炸下限 $\geq 10\%$ 的气体 ③属于甲类的氧化剂 ④不属于甲类的化学易燃危险固体 ⑤助燃气体 ⑥常温下与空气接触能缓慢氧化,积热不散引起自燃的物品
丙	①闪点 $\geq 60^{\circ}\text{C}$ 的液体 ②可燃固体
丁	难燃烧物品
戊	非燃烧物品

注: 1. 储存物品的火灾危险性分类举例见《建筑设计防火规范》GBJ 16 附录四。

2. 难燃物品、非燃烧物品的可燃包装重量超过物品本身重量 $1/4$ 时, 其火灾危险性应为丙类。

二、爆炸性和爆炸分区

1. 基本概念

(1) 爆炸性概念

① 爆炸极限。易燃气体、易燃液体的蒸气或可燃粉尘和空气混合达到一定浓度时, 遇到火源就会发生爆炸。达到爆炸的空气混合物的浓度, 称之为爆炸极限。爆炸极限通常以可燃气体、蒸气或粉尘在空气中的体积百分数来表示。其最低浓度称为“爆炸下限”, 最高浓度称为“爆炸上限”。

② 爆炸性气体混合物。大气条件下气体、蒸气、薄雾状的易燃物质与空气的混合物, 点燃后燃烧将在全范围内传播。

③ 爆炸性气体环境。含有爆炸性气体混合物的环境。

④ 爆炸性粉尘混合物。大气条件下粉尘或纤维状易燃物质与空气的混合物, 点燃后燃烧将在全范围内传播。

⑤ 爆炸性粉尘环境。含有爆炸性粉尘混合物的环境。

⑥ 火灾危险环境。存在火灾危险物质以致有火灾危险的区域。

⑦ 自然通风环境。由于天然风力或温差的作用能使新鲜空气置换原有混合物的区域。

⑧ 机械通风环境。用风扇、排风机等设备使新鲜空气置换原有混合物的区域。

(2) 爆炸危险性概念

① 爆炸危险区域。爆炸性混合物出现的或预期可能出现的数量达到足以要求对电气设备的结构、安装和使用采取预防措施的区域。

② 非爆炸危险区域。爆炸性混合物预期出现的数量不足以要求对电气设备的结构、安装和使用采取预防措施的区域。

③ 释放源是指可释放出能形成爆炸性混合物的物质所在位置或地点。

④ 释放源分级。释放源按易燃物质的释放频繁程度和持续时间长短分为以下三个基本

等级。

- 连续级释放源：预计长期释放或短时频繁释放的释放源；
- 第一级释放源：预计正常运行时周期或偶尔释放的释放源；
- 第二级释放源：预计在正常运行时不会释放，或偶尔短时释放的释放源。

在实际情况下，既存在单一等级释放源，也可能存在两个或两个以上等级释放源的组合。

⑤ 一次危险和次生危险。一次危险是设备或系统内潜在着发生火灾或爆炸的危险，但在正常操作状况下不会危害人身安全或设备完好。次生危险是指由于一次危险而引起的危险，它会直接危害到人身安全、设备毁坏和建筑物的倒塌等。

⑥ 在爆炸性气体环境中，产生爆炸同时存在两个条件：一是存在可燃气体、可燃液体的蒸气或薄雾，其浓度在爆炸极限范围内；二是有足以点燃爆炸性气体混合物的火花、电弧或高温。

2. 爆炸性气体环境危险区域的划分原则

爆炸性气体环境危险区域的划分原则是根据爆炸性气体混合物出现的频繁程度和持续时间，按规定分 0 区、1 区、2 区、附加 2 区，具体划分条件如下。

- ① 0 区：连续出现或长期出现爆炸性气体混合物的环境；
- ② 1 区：在正常运行时可能出现爆炸性气体混合物的环境；
- ③ 2 区：在正常运行时不可能出现和存在爆炸性气体混合物的环境；

④ 附加 2 区：当易燃物质可能大量释放并扩散到 15m 以外时，划分为附加 2 区或即使出现也仅是短时爆炸危险区域的范围。

三、介质的毒性和毒性分级

1. 毒物危害程度分级原则

《职业性接触毒物危害程度分级》GB 5044 分级是以急性毒性、急性中毒发病状况、慢性中毒患病状况、慢性中毒后果、致癌性、最高容许浓度等六项指标为基础的定级标准。分级原则是依据六项分级指标综合分析，全面权衡，以多数指标的归属定出危害程度的级别，但对某些特殊毒物，可按其急性、慢性或致癌性等突出危害程度定出级别。

① 急性毒性。以动物试验得出的呼吸道吸入半数致死浓度（ LC_{50} ）或经口、经皮半数致死量（ LD_{50} ）的资料为准，选择其中 LC_{50} 或 LD_{50} 最低值作为急性毒性指标。

② 急性中毒发病状况。是一项以急性中毒发病率与中毒后果为依据的定性指标，可分为易发生、可发生、偶尔发生中毒及不发生急性中毒四级。将易发生致死性或致残性中毒定为中毒后果严重；易恢复的定为预后良好。

③ 慢性中毒患病状况。一般以接触毒物的主要行业中，工人的中毒患病率为依据，但在缺乏患病率资料时，可取中毒症状或中毒指标的发生率。

④ 慢性中毒后果。依据慢性中毒的后果，在脱离接触后，分为继续进展或不能治愈、基本治愈、自行恢复四级。并可依据动物试验结果的受损病变性质（进行性、不可逆性、可逆性）、器官病理生理特性（修复、再生、功能储备能力），确定其慢性中毒后果。

⑤ 致癌性。主要依据国际肿瘤研究中心公布的或其他公认的有关该毒物的致癌性资料，确定为人体致癌物、可疑人体致癌物、动物致癌物及无致癌性。

⑥ 最高容许浓度。主要以《工业企业设计卫生标准》TJ 36—70 中车间空气中有害物质最高容许浓度值为准。

2. 毒物危害程度分级标准

按《职业性接触毒物危害程度分级》GB 5044 规定，接触性毒物危害程度共分为四级，

见表 1-8。常见职业性接触毒物危害程度分级举例见表 1-9。

表 1-8 职业性接触毒物危害程度分级

指 标		分 级			
		I (极度危害)	II (高度危害)	III (中度危害)	IV (轻度危害)
急性 毒性	吸入 LC ₅₀ /(mg/m ³)	<200	200~2000	2000~20000	≥20000
	经皮 LD ₅₀ /(mg/kg)	<100	100~500	500~2500	≥2500
	经口 LD ₅₀ /(mg/kg)	<25	25~500	500~5000	≥5000
急性中毒发病状况		生产中易发生中毒,后果严重	生产中可发生中毒,预后良好	偶可发生中毒	迄今未见急性中毒,但有急性影响
慢性中毒患病状况		患病率高(>5%)	患病率较高(<5%) 或症状发生率高(≥20%)	偶有中毒病例发生 或症状发生率较高(≥10%)	无慢性中毒而有慢性影响
慢性中毒后果		脱离接触后,继续进展或不能治愈	脱离接触后,可基本治愈	脱离接触后,可恢复,不致严重后果	脱离接触后,自行恢复,无不良后果
致癌性		人体致癌物	可疑人体致癌物	实验动物致癌物	无致癌性
最高容许浓度/(mg/m ³)		<0.1	0.1~1.0	1.0~10	≥10

表 1-9 常见职业性接触毒物危害程度分级

级 别	毒 物 名 称
极度危害	汞及其化合物,砷及其无机化合物 ^① ,氯乙烯,铬酸盐,重铬酸盐,黄磷,铍及其化合物,对硫磷,羰基镍,八氟异丁烯,氯甲醚,锰及其无机化合物,氰化物,苯
高度危害	三硝基甲苯,铅及其化合物,二硫化碳,氯,丙烯腈,四氯化碳,硫化氢,甲醛,苯胺,氰化氢,五氟酚及其钠盐,镉及其化合物,敌百虫,氯丙烯,钋及其化合物,溴甲烷,硫酸二甲酯,金属镍,甲苯二异氰酸酯,环氧氯丙烷,砷化氢,敌敌畏,光气,氯丁二烯,一氧化碳,硝基苯
中度危害	苯乙烯,甲醇,硝酸,硫酸,盐酸,甲苯,二甲苯,三氯乙烯,二甲基甲酰胺,六氟丙烯,苯酚,氮氧化物
轻度危害	溶剂汽油,丙酮,氢氧化钠,四氯乙烯,氨

① 非致癌的无机砷化合物除外。
注：接触多种毒物时，以产生危害程度最大的毒物的级别为准。

四、金属材料的腐蚀性和分级

工业上常见的金属材料，在各种酸、碱、盐溶液中，在大气、土壤及工业用水、海水等介质中，发生的腐蚀多为电化学腐蚀。金属材料在高温气体中的氧化是另一种普遍的腐蚀形式。例如钢铁材料在高温、高压和氢气中发生氢腐蚀，在高温含硫气体中发生硫化腐蚀。

① 金属耐腐蚀性分级标准 金属耐腐蚀性分为 10 级标准，如表 1-10 所示。

表 1-10 金属耐蚀性的 10 级标准

耐蚀性类别	腐蚀率/(mm/a)	等级	耐蚀性类别	腐蚀率/(mm/a)	等级
I 完全耐蚀	<0.001	1	IV 尚耐蚀	0.1~0.5	6
II 很耐蚀	0.001~0.005	2		0.5~1.0	7
	0.005~0.01	3	V 欠耐蚀	1.0~5.0	8
III 耐蚀	0.01~0.05	4		5.0~10.0	9
	0.05~0.1	5	VI 不耐蚀	>10.0	10

② 常用金属材料易产生应力腐蚀破裂的环境组合 常用金属材料易产生应力腐蚀的破裂的环境组合见表 1-11。

表 1-11 常用金属材料易产生应力腐蚀的破裂的环境组合

合金	环 境	合金	环 境
碳钢及低合金钢	苛性碱溶液 氨溶液 硝酸盐水溶液 含 HCN 水溶液 湿的 CO-CO ₂ -空气 碳酸盐和重碳酸盐溶液 含 H ₂ S 水溶液 海水 海洋大气和工业大气 CH ₃ COOH 水溶液 CaCl ₂ , FeCl ₃ 水溶液 (NH ₄) ₂ CO ₃ H ₂ SO ₃ -HNO 混合酸水溶液	奥氏体不锈钢	NaCl+H ₂ O ₂ 水溶液 热 NaCl 湿的氯化镁绝缘物 H ₂ S 水溶液
		钛及钛合金	红烟硝酸 N ₂ O ₄ (含 O ₂ , 不含 NO, 24~74℃) 湿 Cl ₂ (288℃, 346℃, 427℃) HCl (10%, 35℃) H ₂ SO ₄ (7%~60%) 甲醇、甲醇蒸气 海水 CCl ₄ 氟里昂
奥氏体不锈钢	高温碱液[NaOH·Ca(OH) ₂ LiOH] 氯化物水溶液 海水, 海洋大气 连多硫酸(H ₂ SnO ₈ , n=2~5) 高温高压含氧高纯水 浓缩锅炉水 水蒸气(260℃) 260℃H ₂ SO ₄ 湿润空气(湿度 90%)	铜合金	NH ₃ 蒸气及 NH ₃ 水溶液 FeCl ₃ 水, 水蒸气 水银 AgNO ₃
		铝合金	NaCl 水溶液 海水 CaCl ₂ +NH ₄ Cl 水溶液 水银

③ 合金元素在不锈钢和低合金钢中对耐蚀性的影响作用 常见的合金元素在不锈钢和低合金钢中对耐蚀性的影响作用见表 1-12。

表 1-12 合金元素在不锈钢和低合金钢中对耐蚀性的影响

元素	不 锈 钢	低合金钢
Cr	提高耐蚀性的基本元素, 含量达 13% 时, 耐蚀性有突变地提高, 在 Cr-Mn-N 钢中, 能增加 N 的溶解度	提高抗 H ₂ S、抗高温高压 H ₂ 、抗 CO ₂ 、抗大气以及海水腐蚀的能力
Ni	扩大钝化范围, 提高耐蚀性, 尤其在非氧化性介质(如稀硫酸)中	抗碱, 耐海水, 耐大气腐蚀有一定的作用
Mn	在 Cr-Mn-N 钢中, 增加 N 的溶解度, 对某些有机酸(如醋酸)起有利影响	
C	与铬形成碳化物, 降低耐蚀性, 降低抗晶间腐蚀性能	对耐蚀性无有利影响
N	在 Cr-Mn-N 钢中提高在海水中的抗腐蚀能力	
Mo	扩大还原介质中钝化范围, 抗 H ₂ , H ₂ SO ₄ 、HCl、H ₃ PO ₄ 及某些有机酸, 抗腐蚀	提高抗 H ₂ S、CO、H ₂ O 以及高温高压 H ₂ 的腐蚀
Cu	提高在 H ₂ SO ₄ 中抗蚀性, 与 Mo 同时加入效果显著	抗大气及海水腐蚀
Si	提高氧化性介质中的耐蚀性	
Al	生成致密氧化膜, 在氧化性介质中抗蚀	抗大气、H ₂ S、碳酸铵及高温炉气
Ti、Nb	生成稳定碳化物, 减少 C 的有害作用, 保证有效铬抗晶间腐蚀	抗大气、海水、H ₂ S、高温高压下 H ₂ 、N ₂ 、NH ₃

五、石油化工企业可燃气体和有毒气体检测报警

在《石油化工企业可燃气体和有毒气体检测报警设计规范》SH 3063—1999 中, 对甲类气体和液化烃、甲_B、乙_A 类可燃液体汽化后形成的可燃气体或其中含有少量有毒气体(硫

化氢、氰化氢、氯气、一氧化碳、丙烯腈、环氧乙烷、氯乙烯)、蒸气特性见表 1-13, 属于 I 级 (极度危害) 和 II 级 (高度危害) 的有毒气体进行检测报警。

表 1-13 有毒气体、蒸气特性表

序号 ^②	1	2	3	4	5	6		7	8	9
	物质名称	相对密度 (气体)	熔点 /℃	沸点 /℃	闪点/ 自燃点 /℃	爆炸极限 (体积分数)/%		最高容许 浓度 /(mg/m ³)	火灾危险 性分类	危害程度 分级
						下限	上限			
1	一氧化碳	0.97	-199.1	-191.4	<-50/610	12.5	74.2	30	乙 ^①	II (高度危害)
2	氯乙烯	2.15	-160	-13.9	78/472.22	4	22		甲	I (极度危害)
3	硫化氢	1.19	-85.5	-60.4	<-50/260	4	46	10	甲	II
4	氯	2.48	-101	-34.5				1		II
5	氰化氢	0.93	-13.2	25.7	-17.8/538	5.6	40	0.3	甲	I (极度危害)
6	丙烯腈	1.83	-83.6	77.3	-5/480	2.8	28	2	甲 _B	II
7	环氧乙烷	1.52	-112.2	10.4	<-17.8/429	3	100	5	甲	II ^③

① 按《石油化工企业可燃气体和有毒气体检测报警设计规范》SH 3063—1999 中视为甲类。
② 本表中, 第 1~7 项数值来源基本上以《常用化学危险物品安全手册》为主, 并与《工业企业设计卫生标准》TJ36—79 及《有毒化学品卫生与安全实用手册》进行了对照, 第 8 项数值来自《石油化工企业设计防火规范》GB 50160—92; 第 9 项数值来自《职业性接触毒物危害程度分级》GB 5044—85。
③ 环氧乙烷危害程度分级中的 II 来自《石油化工企业职业安全卫生设计规范》SH 3047—92。

第三节 安全设计技术

一、安全设计过程的要求

一个工程项目从设想到建成投产这一阶段称为基本建设阶段, 这个阶段可以分为三个时期, 即投资决策前时期、投资时期和生产时期。投资决策前时期, 主要是做好技术经济分析工作, 以选择最佳方案, 确保项目建设顺利进行和取得最佳经济效益。这项工作在国外分为机会研究、初步可行性研究、可行性研究、评价和决策几个阶段。国内的做法稍有不同, 分为项目建议书、可行性研究、编制计划任务书及扩大初步设计等阶段。投资时期包括了谈判和订立合同、设计、施工、试运转等阶段。至于生产时期, 当然就是正式投产后进行生产了。基本建设阶段的工作, 大部分是与设计工作密切相关的, 有些工作甚至直接由设计工作者完成, 是设计工作的一个组成部分。

一般按工程的重要性、技术的复杂性并根据计划任务书的规定, 可将项目工程设计分为三段设计、两段设计或一段设计。

设计重要的大型企业以及使用比较新和比较复杂的技术时, 为了保证设计质量, 可以按初步设计、扩大初步设计、施工图设计三个阶段进行。

一般技术上比较成熟的中小型工厂, 按初步设计和施工图设计两个阶段进行设计。

技术上比较简单、规模较小的工厂或个别车间的设计, 可直接进行施工图设计, 即一个阶段的设计。

总之, 设计阶段的划分, 需按上级的要求、工程的具体情况和设计能力的大小等条件来决定。现将初步设计、扩大初步设计和施工图设计扼要叙述于后。

初步设计: 初步设计是根据计划任务书, 对设计对象进行全面的研究。探求在技术上可能、经济上合理的最符合要求的设计方案。初步设计阶段应编写初步设计说明书。

扩大初步设计：一般是根据已批准的初步设计，解决初步设计中的主要技术问题，使之进一步明确化、具体化。在扩大初步设计阶段编写扩大初步设计说明书及工程概算书。

施工图设计：是根据已批准的扩大初步设计进行的。它是进行工程施工的依据，为施工全过程服务。在此设计阶段的设计成品是详细的施工图纸和必要的文字说明书以及工程预算书。

关于安全设计，在设计各阶段，事前需充分审查并制订与各个设计有关的必要的安全措施。另外，通常在设计阶段中，各技术专业也要同时进行研究，对安全设计一定要进行特别慎重的审查，完全消除考虑不到和缺陷之处。例如化工设备是按图加工和安装，在进入制造阶段以后就难以发现问题，即使万一发现问题，也很难采取完备的改善措施。在安全设计方面一般要求附加下列内容。

① 按化工建设生产程序进行设计和审查；

② 各技术专业都要进行安全审查，制订检查表就是其方法之一；

③ 审查部门或设计部门在设计后期进行综合审查。在综合审查中要征求工艺、设备、电控、自动化、安全、技术管理、生产运行等尽量多的相关专业的意见，提高安全性、可靠性的设计条件；

④ 将设计委托给外部的专业公司完成时，要确立对安全设计充分检验和管理体制。

二、安全设计过程的基本内容

① 装置结构与材料的安全设计；

② 过程安全装置设计；

③ 引燃、引爆能量的安全设计；

④ 危险物处理安全设计；

⑤ 电力及动力系统安全设计；

⑥ 防止误操作的安全设计；

⑦ 防止意外事故破坏或扩展的安全设计；

⑧ 平面布置安全设计；

⑨ 耐火结构安全设计；

⑩ 防止火灾蔓延及爆炸扩展的安全设计；

⑪ 流体局限化安全设计；

⑫ 消防灭火系统安全设计；

⑬ 报警、通信系统安全设计。

第四节 安全控制技术

一、工艺安全控制技术

1. 工艺安全与危险因素分析

(1) 安全生产工艺 现代化学工业生产操作过程越来越复杂化和多样化，在生产过程中，开车和停车都有一定程序和操作步骤，特别是大型的石油化工生产过程，其开停车要花很长时间，若出现生产事故，延长开车时间，会造成严重的经济损失。对于间歇生产过程，生产负荷和品种变化多，危险性大，制订安全措施，及时消除异常现象，加强生产调度，按一定的顺序规程进行操作。

在化工生产过程控制系统中，监视和管理整个生产过程是很重要的功能。监视生产过程的变化，采集生产过程的实时数据和历史数据，对寻找出过程的危险因素和优化工艺条件以

及分析过程操作都是极为有用的。

(2) 影响安全生产的工艺危险因素 在化工生产过程中, 安全稳定实现产品设计能力和质量标准极为重要, 而在生产过程中各种危险因素和工艺设备特性的改变以及操作的稳定性均影响安全生产, 这些影响因素如下。

① 原材料的性质和组成变化。在工业生产过程中, 原料性质及成分的变化会严重影响生产的安全运行。

② 产品的变化。市场变化要求改变产品规格型号或更新产品, 企业频繁的变化操作影响生产, 产生不安全的危险因素。

③ 设备的安全可靠性。生产装置设备数量的增减或损坏或被占用, 都会影响生产负荷的变化。

④ 能力匹配。相邻装置或工厂生产能力匹配要合理, 以满足整个生产过程物料与能量的平衡与安全运行的需要。

⑤ 生产设备特性的漂移。在工业生产工艺设备中, 某些重要的设备其特性随着生产过程的进行会发生变化, 如热交换器由于结垢而影响传热效果, 化学反应器中的催化剂的活性随化学反应的进行而衰减, 有些管式裂解炉随着生产的进行而结焦等。这些特性的漂移和扩展的问题都将严重的影响装置的安全运行。

⑥ 控制系统失灵。仪表自动化系统是监督、管理、控制工业生产的关键手段, 自动控制系统本身的故障或特性变化也是生产过程的主要危险因素源。例如测量仪表测量过程的噪声、零点的漂移, 控制过程特性的改变而控制器的参数没有及时调整以及操作者的操作失误等, 这些都是影响装置的安全运行的因素。

2. 工艺参数的安全控制

化工生产过程中, 工艺参数主要是指温度、压力、流量、液位及物料配比等。按工艺要求严格控制工艺参数在安全限度以内, 实现化工安全生产。

(1) 温度控制 温度是化工生产中主要控制参数之一。如果超温, 造成压力升高, 有爆炸危险; 也可能产生副反应, 生产新的危险物。升温过快、过高或冷却降温设施发生故障, 还可能引起剧烈反应发生冲料或爆炸。温度过低有时会造成反应速度减慢或停滞, 反应温度恢复正常后, 出现未反应的物料过多而发生剧烈反应引起爆炸。温度过低还会使某些物料冻结, 造成管路堵塞或破裂, 致使易燃物泄漏而发生火灾爆炸。控制反应温度时, 常可采取以下措施。

① 移除反应热。化工反应一般都伴随着热效应, 放出或吸收一定热量。

移除热量的方法目前有夹套冷却、内蛇管冷却、夹套内蛇管兼用、浆液循环、液化丙烯循环、稀释剂回流冷却、惰性气体循环等。

此外, 还采用一些特殊结构的反应器或在工艺上采取措施。例如, 合成甲醇是一个强烈的放热反应过程, 采用一种特殊结构的反应器, 器内装有热交换装置, 混合气与合成气分两路, 通过控制一路气体量的大小来控制反应温度。向反应器内加入其他介质, 例如通入水蒸气带走部分热量, 也是常见的方法。乙醇氧化制取乙醛时, 采用乙醇蒸气、空气和水蒸气的混合气体送入氧化炉, 在催化剂作用下生成乙醛, 利用水蒸气的吸热作用将多余的反应热带走。

② 防止搅拌中断。化学反应过程中, 搅拌可以加速热量的扩散与传递, 如果中断搅拌可能造成散热不良, 或局部反应剧烈而发生危险。因此, 要采取双路供电、增设应急人工搅拌装置等可靠的措施。

③ 正确选择传热介质。化工生产中常用的热载体有水蒸气、热水、过热水、碳氢化合物(如矿物油、二苯醚等)、熔盐、汞和熔融金属、烟道气等。充分掌握、了解热载体的性