



化学工程与工艺应用型本科建设系列教材

普通高等教育“十三五”规划教材

HSEQ与清洁生产

HSEQ YU QINGJIE SHENGCHAN

高峰 主编



化学工业出版社



化学工程与工艺应用型本科建设系列教材

普通高等教育“十三五”规划教材

HSEQ与清洁生产

HSEQ YU QINGJIE SHENGCHAN

高峰 主编

韩生 蔺华林 王朝阳 夏卫红 副主编



化学工业出版社

· 北京 ·

突破创新 资源无限

2016年5月

《HSEQ与清洁生产》是根据应用型本科人才培养目标和中本贯通教育的特点编写的专业课教材。本教材内容包括化工安全(S)、职业健康(H)、化工环境保护技术(E)、化工生产质量保证体系(Q)及清洁生产与绿色化工五个方面。全书共四章,着重介绍化工生产安全、环境保护、质量管理及清洁生产的理论与技术。

《HSEQ与清洁生产》具有应用型特色,既可作为化工专业学生的专业课教材,也可作为化工行业从业人员的参考书。

林峰主编 “十三五”普通高等教育

HSEQ与清洁生产

HSEQ YU QINGJI SHENGCHAN

主编 林峰

图书在版编目(CIP)数据

HSEQ与清洁生产/高峰主编. —北京:化学工业出版社, 2019.12

化学工程与工艺应用型本科建设系列教材 普通高等教育“十三五”规划教材

ISBN 978-7-122-35497-6

I. ①H… II. ①高… III. ①化学工业-安全技术-高等学校-教材②化学工业-无污染技术-高等学校-教材
IV. ①TQ086②X78

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第235689号

责任编辑:刘俊之

装帧设计:韩飞

责任校对:宋玮

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:三河市双峰印刷装订有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张12¼ 字数317千字 2020年1月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888

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

《HSEQ与清洁生产》是根据上海市教委有关中本贯通教材建设的文件精神，以应用型本科人才培养目标为依据编写的。在编写过程中征求了相关中职学校教师及企业专家的意见，具有较强的实用性和适合中本贯通教学的特点。

化学工业(chemical industry)泛指生产过程中化学方法占主要地位的过程工业。化学工业是多品种的基础工业。为了适应化工生产的多种需要，必须使用各种化工设备，设备的操作条件比较复杂。按操作压力来说，有真空、常压、低压、中压、高压和超高压；按操作温度来说，有低温、常温、中温和高温；处理的介质大多数有腐蚀性，或为易燃、易爆、有毒和剧毒等。对于今后面向化工行业从事生产、服务、建设和管理一线工作的应用型高技能人才来说，必须掌握“HSEQ与清洁生产”的基本知识和技能；必须重视化工安全环保技术在生产中的作用，不断提高技术水平；珍惜化工资源，搞好综合利用；注意节约能源；搞好生产管理工作，不断提高经济和社会效益，保持生产的可持续发展。

按照中本贯通人才培养的特点，本书在编写过程中注重贯彻“理论教学以应用为目的。以必需、够用为度，以掌握概念、强化应用、培养多项技术融合的技能为重点”的原则，着重突出能满足我国未来化工产业发展所需要的高水平技术型人才的操作性较强的技术技能培养，注重化工生产现场各种操作规范，注重职业能力发展的持续性。

《HSEQ与清洁生产》共分四章，依次为化工安全(S)与职业健康(H)、化工环境保护技术(E)、化工生产质量保证体系(Q)和清洁生产与绿色化工。第一章由韩生编写，第二章由高峰和夏卫红合编，第三章由高峰和王朝阳编写，第四章由高峰和蔺华林合编，朱勇强、何慧红、顾静芳参加了各章节的编写工作。全书由高峰担任主编并负责统稿。

本教材具有一定的应用型特点，既可作为化工专业学生的专业教材，也可作为化工行业从业人员的参考书。

本教材在编写过程中得到了相关中职学校教师及企业专家的大力支持，并引用了部分网络资料，在此一并表示衷心的感谢。

化工安全和环保技术以及绿色化工技术种类繁多，而且有关的新技术不断涌现。限于编写人员水平有限，书中难免有不妥之处，衷心希望广大读者和有关专家学者予以批评指正。

编者

2019年5月

目 录

第一章 化工安全与职业健康

1

第一节 化工生产的特点和常见的安全事故	1
一、化工生产的特点	1
二、化工生产中常见的安全事故	2
第二节 火灾、爆炸事故及防范	5
一、燃烧	5
二、火灾与爆炸的基本特点	6
三、防(灭)火防爆基本措施	9
第三节 电气事故及防范	17
一、触电事故	17
二、触电预防措施	19
三、静电事故	22
四、静电防护	22
第四节 职业中毒与防范	24
一、工业毒物的毒性评价	24
二、工业毒物侵入人体的途径和危害	26
三、化工过程中职业性中毒的防范措施	27
第五节 压力容器的安全技术管理	27
一、压力容器	27
二、压力容器爆炸的原因	28
三、压力容器爆炸的危害性	28
四、压力容器的安全技术管理	29
五、压力容器安全附件	30
第六节 化工设备的腐蚀及防腐	31
一、腐蚀与工业腐蚀	31
二、工业腐蚀的典型类型	32
三、防腐设计与防腐处理	36

第七节	化工装置维护检修中的安全技术	38
一、	化工检修的分类	38
二、	化工检修的特点	38
三、	化工检修的安全技术	39
第八节	化工安全设计	42
一、	化工安全设计的基础和依据	42
二、	几个重要的安全设计问题	42
第九节	化工操作安全	45
一、	典型化学反应的危险性及基本安全技术	45
二、	化工单元操作的危险性及基本安全技术	50
三、	化工生产岗位安全操作要求	52
四、	化工工艺参数的控制技术	52
五、	化工生产开停车安全操作要求	54
六、	化工企业安全事件应急处理方案	56
第十节	化工物料的安全性	57

第二章 化工环境保护技术 59

第一节	概述	59
一、	环境、环境污染与环境保护	59
二、	化工与环境污染	59
三、	化工污染防治途径	61
四、	化工行业环境保护面临的形势和任务	62
第二节	化工废水处理	65
一、	化工废水的种类、特点及危害	65
二、	物理处理法	67
三、	化学处理法	80
四、	物理化学处理法	83
五、	生化处理法	89
第三节	化工废气处理技术	108
一、	化工废气及其处理原则	108
二、	除尘技术	111
三、	气态污染物的一般处理方法和净化技术	115
第四节	化工固体废物处理技术	122
一、	化工固体废物及其防治方法	122
二、	化工固体废物的一般处理技术	123
三、	典型化工废渣的处理及综合利用技术	128

第三章 化工生产质量保证体系

136

第一节 质量管理的基本概念和内容	136
一、质量与质量管理的基本概念	136
二、质量管理的演变	137
三、全面质量管理及特点	138
四、全面质量管理的内容	138
第二节 全面质量管理的基本方法	139
一、排列图	140
二、因果图	142
三、直方图	143
四、分层法	144
五、相关图	145
六、控制图	146
七、统计分析表	148
第三节 全球质量管理新趋势	152

第四章 清洁生产与绿色化工

156

第一节 清洁生产的概念	156
一、清洁生产的定义	156
二、清洁生产与末端治理的区别和联系	157
三、清洁生产的作用和意义	158
第二节 清洁生产的形成和发展	159
一、清洁生产形成的历史背景	159
二、清洁生产的形成过程	160
三、清洁生产的发展趋势	161
第三节 清洁生产的主要理论基础	162
一、可持续发展理论	162
二、工业生态学理论	164
三、生命周期评价理论	166
四、废物与资源转化理论	168
第四节 绿色化学原理	175
第五节 绿色化学化工技术	179

参考文献

189

第一章

化工安全与职业健康

第一节 化工生产的特点和常见的安全事故

一、化工生产的特点

化学工业是国民经济基础产业，它的发展有力地促进了工农业生产，巩固了国防，提高和改善了人民生活。

化学工业 (chemical industry) 又称化学加工工业，泛指生产过程中化学方法占主要地位的过程工业。化学工业从 19 世纪初开始形成，并发展较快的一个工业部门。

化学工业是属于知识和资金密集型的行业。随着科学技术的发展，它由最初只生产纯碱、硫酸等少数几种无机产品和主要从植物中提取茜素制成染料的有机产品，逐步发展为一个多行业、多品种的生产部门，出现了一大批综合利用资源和大型规模化的化工企业。包括基本化学工业和塑料、合成纤维、石油、橡胶、药剂、染料工业等。是利用化学反应改变物质结构、成分、形态等生产化学产品的部门。如：无机酸、碱、盐，稀有元素，合成纤维，塑料，合成橡胶，染料，涂料，化肥，农药等。

化工生产具有以下四个特点。

(1) 化工生产使用的原料、半成品和成品种类繁多，绝大部分是易燃、易爆、有毒害、有腐蚀的危险化学品。这些原材料、燃料、中间产品和成品的贮存和运输都有特殊的要求。

(2) 化工生产要求的工艺条件苛刻。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。如由轻柴油裂解制乙烯、进而生产聚乙烯的生产过程中，轻柴油在裂解炉中的裂解温度为 800°C ；裂解气要在深冷 (-96°C) 条件下进行分离；纯度为 99.99% 的乙烯气体在 294kPa 压力下聚合，制取聚乙烯树脂。

(3) 生产规模大型化。近 20 多年来，国际上化工生产采用大型生产装置是一个明显的趋势。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，世界各国都积极发展大型化工生产装置。但大型化会带来重大的潜在危险性。

(4) 生产方式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，同时也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%。

20世纪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,使我国的化工生产水平和技术水平有了很大的提高。特别是使我国的基础化工原料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。现代化学工业越来越向大型化、自动化、节能化、精细化的趋势发展。

由于化工生产过程中一方面存在着高温、低温、高压和高真空度特点,另一方面有毒、有害、易燃、易爆物质在检修或运行期间的泄漏,使得中毒、爆炸、环境污染的事故发生的概率增大。所以化学工业的生产与安全、化学工业的生产与环境之间的关系越来越多地引起关注。化学工业生产的安全与否,不仅仅只是影响人类的和社会活动,它甚至直接影响一个国家或者一个民族在政治上、军事上、经济上等诸多方面的计划和决策。化学工业的安全生产和环境保护是今后化学工业能否持续、高速发展的关键问题所在。

二、化工生产中常见的安全事故

安全事故是指生产经营单位在生产经营活动中突然发生的伤害人身安全和健康,或者损坏设备设施,或者造成经济损失的,导致原生产经营活动暂时中止或永远终止的意外事件。

事故一般分为以下等级:

① 特别重大事故,是指造成30人以上死亡,或者100人以上重伤或者1亿元以上直接经济损失的事故;

② 重大事故,是指造成10人以上30人以下死亡,或者50人以上100人以下重伤,或者5000万元以上1亿元以下直接经济损失的事故;

③ 较大事故,是指造成3人以上10人以下死亡,或者10人以上50人以下重伤,或者1000万元以上5000万元以下直接经济损失的事故;

④ 一般事故,是指造成3人以下死亡,或者10人以下重伤,或者1000万元以下直接经济损失的事故。

随着化学工业的发展,涉及的化学物质的种类和数量显著增加。很多化工物料的易燃性、反应性和毒性本身决定了化学工业生产事故的多发性和严重性。而反应器、压力容器的爆炸以及燃烧传播速度超过声速,都会产生破坏力极强的冲击波,冲击波将导致周围厂房建筑物的倒塌,生产装置、贮运设施的破坏以及人员的伤亡。如果是室内爆炸,极易引发二次或二次以上的爆炸,爆炸压力叠加,可能造成更为严重的后果。

多数化工物料对人体有害,设备密封不严,特别是在间歇操作中泄漏的情况很多,容易造成操作人员的急性或慢性中毒。据我国化工部门统计,因一氧化碳、硫化氢、氯气、氯氧化物、氨、苯、二氧化碳、二氧化硫、光气、氯化钡、氮气、甲烷、氯乙烯、磷、苯酚、砷化物等16种化学物质造成中毒、窒息的死亡人数占中毒死亡总人数的87.6%。而这些物质在一般化工厂中是很常见的。

化工生产过程中使用、接触的化学物质种类繁多,生产工艺复杂,事故原因千变万化,很难加以分类概括,这里仅列举部分火灾、爆炸事故,供读者举一反三。

1. 装置内产生新的易燃物、爆炸物

某些反应装置和贮罐在正常情况下是安全的,如果在反应和储存过程中混进或渗入某些物质而发生化学反应产生新的易燃物或爆炸物,在条件成熟时就可能发生事故。

如粗煤油中硫化氢、硫醇含量较高,就可能引起油罐腐蚀,使构件上黏附着锈垢,其成分是硫化铁、硫酸铁、氧化铁,有时还会有结晶硫磺等。由于天气突变、气温骤降,油罐的

部分构件因急剧收缩和由于风压的改变而引起油罐晃动，造成构件脱落并引起冲击或摩擦产生火种导致油罐起火。

浓硫酸和碳钢在一般情况下不发生置换反应，但若贮罐内混入水变成稀硫酸，稀硫酸就会和钢罐反应放出氢气，其反应式如下：



这时在贮罐上部空间就会形成爆炸性混合物，若在罐壁上动火，就会发生爆炸事故。

2. 某种新的易燃物在工艺系统积聚

某氯碱厂使用相邻合成氨厂的废碱液精制盐水。因废碱液中含氨量高，在加盐酸中和时，产生大量氯化铵随盐水进入电解槽，生成三氯化氮夹杂在氯气中。氯气中的三氯化氮经冷却塔、干燥塔虽有部分被分解，但是大部分未被分解随氯气一起进入液化槽，再进入热交换器内的管间与冷凝器来的液氯混合。由于液氯的不断气化，使三氯化氮逐渐积累下来（液氯气化温度为 -34°C ，而三氯化氮气化温度为 -71°C ）。后来因倒换热交换器，积存有氯化氮的热交换器停止使用，但是，温度较高的气体氯仍从热交换器管中经过，使热交换器管间的残余液氯进一步蒸发，最后留下的基本上都是三氯化氮。因氯气温度及其他杂质反应发热的影响，最终引起了三氯化氮的爆炸。

3. 高温下物质气化分解

许多物质在高温下能自行分解，产生高压而引起爆炸。

用联苯醚作载体的加热过程中，由于管道被结焦物堵塞，局部温度升高，加上控制仪表失灵未能及时发现，致使联苯醚气化分解（在 390°C 下联苯醚能分解出氢、氧、苯等）产生高压，引起管道爆裂，使高温可燃气体冲出，遇空气燃烧。如果联苯醚加热系统混进某些低沸物，例如水，也会因其急剧气化发生爆炸。某厂水解釜用联苯醚加热，由于夹套内联苯醚回流管设计不合理，高出夹套底部 15mm ，在联苯炉进行水压试验后水不能放净，夹套底部积水约 20kg 。当水解釜开车运行时，积水遇高温联苯醚回流液温度逐渐上升，约经过一小时，积水突然气化，夹套超压爆炸。

热不稳定物由于某种原因温度升高且又不能及时移走热量，就可能引起爆炸。例如用苯和丙烯做原料生产丙酮、苯酚，中间产物过氧化氢异丙苯储存温度不能过高。某厂在生产装置检修后，由于误操作，致使从蒸馏塔进入贮罐的过氧化氢异丙苯没有经过冷却直接进入贮罐，罐内物料温度升高，加上设计不合理，贮罐又没有降温措施和防爆泄压装置，造成罐内压力急剧上升，发生爆炸和燃烧。

4. 高热物料喷出自燃

生产过程中有些反应物料的温度超过了自燃点，一旦喷出与空气接触就着火燃烧。造成物料喷出的原因很多，如设备损坏、管线泄漏、操作失误等。

例如在催化裂化装置热油泵房的泵口取样时，由于取样管堵塞（被油凝住），将取样阀打开用蒸汽加热，当凝油熔化后， 400°C 左右的热油喷出立即起火。环氧氯丙烷生产中，经过预热，丙烯在 300°C 左右进行氯化反应，由于反应放热，最终温度可达 500°C 左右。因测温热电偶套管损坏，高温氯丙烯、丙烯等混合气体从反应器中喷出，立即起火燃烧。

5. 物料泄漏遇高温表面或明火

由于放空管位置安装不当，放空时油喷落到附近 250°C 高温的阀体上引起燃烧。加热渣油带水，可产生突沸现象，渣油从罐顶喷出，沾污了设备及管线，用汽油进行洗刷时被汽油溶解后渗淌到下面的高温管线上引起自燃。

1974年英国尼普洛公司已内酰胺工厂的一临时管线破裂，造成大量己内酰胺泄漏，在厂区上空形成大量可燃气体蒸气云，遇明火发生大爆炸，全厂毁灭。

6. 反应热骤增

参加反应的物料，如果配比、投料速度和加料顺序控制不当，会造成反应剧烈，产生大量的热，而热量又不能及时导出，就会引起超压爆炸。

苯与浓硫酸混合进行磺化反应，物料进入后由于搅拌迟开，反应热骤增，超过了反应器的冷却能力，器内未反应的苯很快气化，导致塑料排气管破裂，可燃蒸气排入厂房内燃烧。

7. 杂质含量过高

有许多化学反应过程，对杂质含量要求是很严格的。有的杂质在反应过程中，可以生成危险的副反应产物。

乙炔和氯化氢的合成反应，氯化氢中游离氯的含量不能过高（一般控制在0.005%以下），这是由于过量的游离氯存在，氯与乙炔反应会立即燃烧爆炸生成四氯乙烯。某厂因操作失误使氯化氢中游离氯高达含量30.2%，造成氯乙烯合成器及混合脱水系统燃烧爆炸。

8. 生产运行系统和检修中的系统串通

在正常情况下，易燃物的生产系统不允许有明火作业。某一区域、设备、装置或管线如果停产进行动火检修，必须采取可靠的措施，使生产系统和检修系统隔绝，否则极易发生事故。

某合成氨厂氨水罐停产检修，动火管线和生产系统间未加盲板，仅用阀门隔开，由于阀门不严，又未进行动火分析，结果氨气漏入贮罐，动火时贮罐发生爆炸。某厂油罐检修，经过处理后达到动火要求。事隔数天后，相邻的另一油罐开始装油，两罐之间联通阀门没有加盲板隔开。由于阀门不严，满罐油的静压力使阀门泄漏更加严重，造成检修罐内充满了油蒸气和空气的混合物，再次动火前又没有进行检查，结果油罐发生爆炸。

9. 装置内可燃物与生产用空气混合

生产用空气主要有工艺用压缩空气和仪表用压缩空气，如果进入生产系统和易燃物混合或生产系统易燃物料混入压缩空气系统，遇明火都可能导致燃烧爆炸事故。

某合成氨装置，由于天然气混入仪表气源管线，逸出后遇明火发生爆炸，原因是这个生产装置的天然气（原料）管线与仪表用空气管线之间有一个连通管，由阀门隔开。天然气的压力为2.7MPa，空气压力为0.7MPa。在一次停车检修后，有人误将此阀打开，使天然气通过连通管进入仪表空气管线，再由仪表的排气管逸出，遇明火引起整个控制室爆炸。

易燃物料严禁用压缩空气输送，这是因为易燃物料和空气接触以后，在容器内便会形成爆炸性混合物，一旦遇到明火、高热或静电火花就会发生爆炸。某厂聚氯乙烯生产车间用压缩空气送聚合釜内的物料，当时由于冷却水中断，轴封温度升高冒烟，造成聚合釜爆炸。

正常情况下合成氨原料中，氧含量控制在0.2%以下，系统是安全的。某合成氨厂重油气化炉加氧制气，配氮装置的阀门没有关（充氮管道和氧气管道通过三通连接由两道阀门控制，但没有明显的开关标志和警报装置），135℃的氧气经氮气总管（氧气压力大于氮气压力）窜入压缩机然后进入原料气体精制系统，形成氢气和氧气的爆炸性混合气体，遇点火源系统发生爆炸。

10. 系统形成负压

某一带有搅拌装置的二硫化碳容器，用泵将二硫化碳抽空后充入氮气，将人孔盖移去用刮棒清除搅拌器上的固体残留物。由于温度下降，器内残留二硫化碳蒸气凝结，体积缩小，

形成负压，空气便从人孔进入容器内，与二硫化碳形成爆炸性混合物，在清除残留物过程中，刮棒和搅拌器撞击产生火花，引起爆炸。发酵罐通入大量蒸气后，若又将大量的冷液迅速加入罐内，则冷的液体使蒸气很快凝结，罐内形成负压，发酵罐被吸瘪。

11. 传热介质选用不当和加热方法不当

传热介质选用不当极易发生事故。选择传热介质时必须事先了解被加热物的性质，除满足工艺要求之外，还要掌握传热介质是否会和被加热物料发生危险性的反应。选择加热方法时如果没有充分估计物料性质、装置特点等也易发生事故。

某丁二烯装置在检修压缩机时，为了缩短停车时间，采用部分装置停车，造成丁二烯中的杂质乙烯基乙炔在精制塔积聚。精制塔底部的再沸器用 157°C 的蒸气加热，而乙烯基乙炔温度高于 135°C 时在丁二烯中发生放热反应，结果从再沸器内开始引爆，爆炸波把底层的塔板抬起，向塔顶部冲击，又造成第二次大爆炸。

12. 系统压力变化造成事故

反应釜一般在常压或敞口下进行反应。如果作业人员操作失误，反应失控造成管道阀门系统堵塞，使正常情况下的常压、真空状态变成正压，若不能及时发现处置，本身又无紧急泄压装置，很容易发生火灾爆炸事故。某重氮化反应釜爆炸事故，就是因为反应釜蒸汽阀门未关死，在保温阶段仍有大量蒸汽进入反应釜夹套，导致反应釜内温度快速上升，重氮化盐剧烈分解，体积膨胀，压力升高，继而爆炸。

第二节 火灾、爆炸事故及防范

一、燃烧

1. 燃烧条件

燃烧是可燃物质与助燃物质（氧或其他助燃物质）发生的一种发光发热的氧化反应。燃烧具有三个特征：发光、发热、生成新物质。

燃烧必须同时具备下述三个条件：可燃性物质、助燃性物质、点火源。而且每一个条件要有一定的量，相互作用，燃烧方可产生。对已发生的燃烧，若消除了三个要素中的任何一个，燃烧便会中止，这就是灭火的原理。

在生产中，常见的引起火灾爆炸的点火源有以下8种：①明火，②高热物及高温表面，③电火花，④静电、雷电，⑤摩擦与撞击，⑥易燃物自行发热，⑦绝热压缩，⑧化学反应热及光照和射线。

2. 燃烧过程

可燃物质的燃烧一般是在气相中进行的。可燃气体最易燃烧，燃烧所需热量只用于本身氧化分解，所以将可燃气体加热到其燃点即可燃烧。可燃液体在火源或热源的作用下，首先蒸发，然后蒸气氧化、分解进行燃烧。

可燃固体的燃烧可分为简单可燃固体、高熔点可燃固体、低熔点可燃固体和复杂的可燃固体燃烧等四种情况。

3. 燃烧形式

均相燃烧和非均相燃烧；混合燃烧和扩散燃烧；蒸发燃烧；分解燃烧。

4. 闪燃和闪点

可燃液体表面的蒸气与空气形成的混合气体与火源接近时会发生瞬间燃烧，出现瞬间火苗或闪光的现象称为闪燃。闪燃的最低温度称为闪点。

闪点是液体可以引起火灾危险的最低温度。液体的闪点越低，它的火灾危险性越大。

5. 着火和着火点

可燃物质在空气充足的条件下，达到一定温度与火源接触即行着火，移去火源后仍能持续燃烧达5min以上，这种现象称为着火（或点燃）。点燃的最低温度称为着火点。

可燃液体的着火点约高于其闪点 $5\sim 20^{\circ}\text{C}$ 。但闪点在 100°C 以下时，二者往往相同。在没有闪点数据的情况下，也可以用着火点表征物质的火险。

6. 自燃和自燃点

在无外界火源条件下，物质自行引发的燃烧称为自燃。自燃的最低温度称为自燃点。自燃分为以下两种。

(1) 受热自燃 可燃物被外部热源间接加热达到一定温度时，未与明火直接接触就发生燃烧，这种现象叫作受热自燃。

该类物质具有较大的比表面积，热量吸收的速度大于向环境散发的速度。

(2) 自热燃烧 可燃物质因内部所发生的化学、物理或生物化学过程而放出热量，这些热量在适当条件下会逐渐积聚，使可燃物温度上升达到自燃点而燃烧，这种现象叫自热燃烧。

物质自热自燃的几种类型：

- ① 由氧化热积蓄引起的自燃；
- ② 由分解发热引起的自燃；
- ③ 由聚合热、发酵热引起的自燃；
- ④ 由化学品混合接触引起的自燃。

7. 燃烧产物

火灾不仅会产生高温破坏，而且往往因燃烧产物有毒害而引起人员伤亡。一般可燃物在空气中完全燃烧时，其产物是可燃物各元素最稳定的化合物或单质。

8. 燃烧速度

(1) 气体燃烧速率 在气体燃烧中，扩散燃烧速率取决于气体扩散速率，而混合燃烧速率则只取决于本身的化学反应速率。因此，在通常情况下，混合燃烧速率高于扩散燃烧速率。

(2) 液体燃烧速率 液体燃烧速率取决于液体的蒸发。其燃烧速率有下面两种表示方法：

- ① 质量速率，指每平方米可燃液体表面，每小时烧掉的液体的质量；
- ② 直线速率，指每小时烧掉可燃液层的高度。

(3) 固体燃烧速率 一般要小于可燃液体和可燃气体。不同固体物质的燃烧速率有很大差异。萘及其衍生物、三硫化磷、松香等可燃固体，其燃烧过程是受热熔化、蒸发气化、分解氧化、起火燃烧，一般速率较慢。而另外一些可燃固体，如硝基化合物、含硝化纤维素的制品等，燃烧是分解式的，燃烧剧烈，速度很快。

二、火灾与爆炸的基本特点

1. 火灾的基本特点

火灾是指在时间或空间上失去控制的灾害性燃烧现象。火灾种类很多，各有特点。本文

仅介绍化工火灾的基本特点。

(1) 火势发展快且易燃易爆 化工企业生产过程中的原料和产品沸点低,挥发性强,绝大部分物质易燃烧、易爆炸,起火后燃烧速度非常快,常常导致大量危险化学品的泄漏。尤其是轻质油品和可燃气体,燃烧时蔓延速度快,常常以爆炸形式出现,瞬间全部燃烧。有些可燃液体,除火势蔓延速度快以外,本身也有流动性,起火后失去控制,到处流散,使火灾迅速蔓延扩大。此外,火势的蔓延方向,往往沿着逆风或可燃气体流动的相反方向蔓延。石油火灾热值高、火势猛,一旦发生火灾,火苗能够瞬间高达数十米。燃烧量大,比如汽油火灾可达 $80.9\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,苯可达 $165.4\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。燃烧和爆炸速度之快,防不胜防。而且热辐射强,有沸溢喷溅的可能,会使大量可燃液体流散,形成大面积流淌火。同时,爆炸一旦发生,破坏力极强,如1997年,某化工厂油品罐区发生特大火灾爆炸事故,死亡9人,伤37人,直接经济损失高达数亿元。由此可以得出结论,扑救危险化学品火灾是一项极其重要又非常艰巨和危险的工作。扑救石油化工火灾时要注意观察、侦察、分析爆炸的危险性,及早应对,采取正确的预防和抑爆措施,对整个火灾的扑救、事故的处置具有至关重要的作用。

另外,爆炸威胁大。化工车间、仓库、贮罐发生火灾时,由于各种因素的影响,往往先爆炸,后燃烧,也有时先燃烧,后爆炸。爆炸时会在一瞬间造成建筑结构破坏、变形或倒塌,对岗位工人、灭火人员的安全有一定的威胁。

(2) 扑救难度大 化工厂发生火灾后,往往导致建筑物倒塌、道路堵塞,行动不便,有时先后或反复出现燃烧、爆炸或伴有毒气泄漏等情况,给灭火行动带来很大困难。大部分化工产品工艺流程十分复杂,因燃烧物质的性质不同,需选用不同类型的灭火剂;因装置设备和着火部位不同,需采用不同的灭火技术战术;有的时候还需要堵漏、倒灌转移等,扑救工作难度非常大。

(3) 毒害性较大 化工企业发生火灾时,有些物质在燃烧过程中产生大量有毒气体,有些物质在化合、分解、重整时需要某些有毒元素做添加剂。

(4) 灭火作战时间长 许多化工火灾对特种装备的要求高,对灭火药剂和用水量要求大,对参战力量要求多,而且灭火作战时间长。

(5) 易造成环境污染 在事故状态下,有毒气体的飘散,会造成局部地区的空气环境污染;有毒危险化学品在失控状态下的流淌,会造成地面环境污染。

2. 爆炸的基本特点

爆炸是某一物质系统在发生迅速的物理变化或化学反应时,系统本身的能量借助于气体的急剧膨胀而转化为对周围介质做机械功,通常同时伴随有强烈放热、发光和声响的效应。爆炸现象一般具有如下特征:

① 爆炸过程进行得很快;

② 爆炸点附近瞬间压力急剧上升;

③ 发出声响;

④ 周围介质发生震动或邻近物质遭到破坏。

按照爆炸的性质不同,爆炸可分为物理性爆炸、化学性爆炸和核爆炸。

(1) 物理性爆炸 物理性爆炸是由物理变化(温度、体积和压力等因素)引起的,在爆炸的前后,爆炸物质的性质及化学成分均不改变。

锅炉的爆炸是典型的物理性爆炸,其原因是过热的水迅速蒸发出大量蒸汽,使蒸汽压力不断提高,当压力超过锅炉的极限强度时,就会发生爆炸。又如,氧气钢瓶受热升温,引起气体压力增高,当压力超过钢瓶的极限强度时即发生爆炸。发生物理性爆炸时,气体或蒸汽

等介质潜藏的能量在瞬间释放出来，会造成巨大的破坏和伤害。上述这些物理性爆炸是蒸汽和气体膨胀力作用的瞬时表现，它们的破坏性取决于蒸汽或气体的压力。

(2) 化学性爆炸 化学爆炸是由化学变化造成的。化学爆炸的物质不论是可燃物质与空气的混合物，还是爆炸性物质（如炸药），都是一种相对不稳定的系统，在外界一定强度的能量作用下，能产生剧烈的放热反应，产生高温高压和冲击波，从而引起强烈的破坏作用。爆炸性物品的爆炸与气体混合物的爆炸有下列异同。

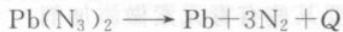
① 爆炸的反应速率非常快。爆炸反应一般在 $10^{-5} \sim 10^{-6}$ s 间完成，爆炸传播速度（简称爆速）一般在 $2000 \sim 9000$ m/s 之间。由于反应速率极快，瞬间释放出的能量来不及散失而高度集中，所以有极大的破坏作用。气体混合物爆炸时的反应速率比爆炸物品的爆炸速度要慢得多，数百分之一至数十秒内完成，所以爆炸功率要小得多。

② 反应放出大量的热。爆炸时反应热一般为 $2900 \sim 6300$ kJ/kg，可产生 $2400 \sim 3400$ °C 的高温。气态产物依靠反应热被加热到数千度，压力可达数万兆帕，能量最后转化为机械功，使周围介质受到压缩或破坏。气体混合物爆炸后，也有大量热量产生，但温度很少超过 1000 °C。

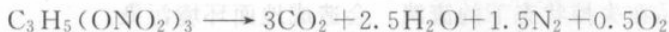
③ 反应生成大量的气体产物。1kg 炸药爆炸时能产生 $700 \sim 1000$ L 气体，由于反应热的作用，气体急剧膨胀，但又处于压缩状态，数万兆帕压力形成强大的冲击波使周围介质受到严重破坏。气体混合物爆炸虽然也放出气体产物，但是相对来说气体量要少，而且因爆炸速度较慢，压力很少超过 2MPa。

根据爆炸时的化学变化，爆炸可分为四类。

(1) 简单分解爆炸 这类爆炸没有燃烧现象，爆炸时所需要的能量由爆炸物本身分解产生。属于这类物质的有叠氮铅、雷汞、雷银、三氯化氮、三碘化氮、三硫化二氮、乙炔银、乙炔铜等。这类物质是非常危险的，受轻微震动就会发生爆炸，如叠氮铅的分解爆炸反应为：



(2) 复杂分解爆炸 这类爆炸伴有燃烧现象，燃烧所需要的氧由爆炸物自身分解供给。所有炸药如三硝基甲苯、三硝基苯酚、硝化甘油、黑色火药等均属于此类。如硝化甘油炸药的爆炸反应：



1kg 硝化甘油炸药的分解热为 6688kJ，温度可达 4697 °C，爆炸瞬间体积可增大 1.6 万倍，速度达 8625 m/s，故能产生强大的破坏力。这类爆炸物的危险性与简单分解爆炸物相比，危险性稍小。

(3) 爆炸性混合物的爆炸 可燃气体、蒸气或粉尘与空气（或氧）混合后，形成爆炸性混合物，这类爆炸的破坏力虽然比前两类小，但实际危险要比前两类大，这是由于石油化工生产形成爆炸性混合物的机会多，而且往往不易察觉。因此，石油化工生产的防火防爆是安全工作一项十分重要的内容。爆炸混合物的爆炸需要有一定的条件，即可燃物与空气或氧达到一定的混合浓度，并具有一定的激发能量。此激发能量来自明火、电火花、静电放电或其他能源。

爆炸混合物可分为：

① 气体混合物，如甲烷、氢气、乙炔、一氧化碳、烯烃等可燃气体与空气或氧形成的混合物；

② 蒸气混合物，如汽油、苯、乙醚、甲醇等可燃液体的蒸气与空气或氧形成的混合物；

③ 粉尘混合物，如铝粉尘、硫黄粉尘、煤粉尘、有机粉尘等与空气或氧气形成的混

合物；

④ 遇水爆炸的固体物质，如钾、钠、碳化钙、三异丁基铝等与水接触，产生的可燃气体与空气或氧气混合形成爆炸性混合物。

(4) 分解爆炸性气体的爆炸 分解爆炸性气体分解时产生相当数量的热量，当物质的分解热为 80kJ/mol 以上时，在激发能源的作用下，火焰就能迅速地传播开来，其爆炸是相当剧烈的。在一定压力下容易引起该种物质的分解爆炸，当压力降到某个数值时，火焰便不能传播，这个压力称为分解爆炸的临界压力。如乙炔分解爆炸的临界压力为 0.137MPa ，在此压力下储存装瓶是安全的，但是若有强大的点火能源，即使在常压下也具有爆炸危险。

爆炸性混合物与火源接触，便有自由基生成，成为链锁反应的作用中心，点火后，热以及链锁载体都向外传播，促使邻近一层的混合物起化学反应，然后这一层又成为热和链锁载体源泉而引起另一层混合物的反应。在距离火源 $0.5\sim 1\text{m}$ 处，火焰速度只有每秒若干米或者还要小一些，但以后逐渐加速到每秒数百米（爆炸）以至数千米（爆轰），若火焰扩散的路程上有障碍物，则由于气体温度的上升及由此而引起的压力急剧增加，可造成极大的破坏作用。

3. 火灾与爆炸的关系

由于燃烧和（化学）爆炸的本质都是氧化反应，因此火灾和爆炸事故常常互相转化。

① 爆炸引起火灾。爆炸抛出的易燃物可能引起火灾。如油罐爆炸后，由于油品外泄往往引起火灾。

② 火灾引起爆炸。火灾中的明火及高温可能引起周围易燃物爆炸。如炸药库失火，会引起炸药爆炸。一些在常温下不会爆炸的物质，如醋酸，在火场高温下有变成爆炸物的可能。

在防火防爆中，要考虑以上复杂情况，采取措施。

三、防（灭）火防爆基本措施

防（灭）火防爆基本目的：把人员伤亡和财产损失降至最低限度。

防（灭）火防爆的基本原则：预防发生、限制扩大、灭火熄爆。

防（灭）火防爆的基本措施：易燃易爆物质的安全处理、着火源控制与消除、工艺过程的安全控制和限制火灾蔓延措施等几方面。

防火防爆基本措施的着眼点应放在限制和消除燃烧爆炸危险物、助燃物、着火源三者的相互作用上，防止燃烧三个条件（燃烧三要素）同时出现。

1. 易燃易爆物质的安全处理

对易燃易爆气体混合物：

① 限制易燃气体组分的浓度在爆炸下限以下或爆炸上限以上；

② 用惰性气体取代空气；

③ 把氧气浓度降至极限值以下。

对于易燃易爆液体，加工时应该避免使其蒸气的浓度达到爆炸下限，可采取下列措施：

① 在液面之上施加惰性气体覆盖；

② 降低加工温度、保持较低的蒸气压，使其无法达到爆炸浓度。

对于易燃易爆固体，加工时应该避免暴热使其蒸气达到爆炸浓度，应该避免形成爆炸性粉尘。可采取下列措施：

① 粉碎、研磨、筛分时，施加惰性气体覆盖；

- ② 加工设备配置充分的降温设施，迅速移除摩擦热、撞击热；
- ③ 加工场所配置良好的通风设施，使易燃粉尘迅速排除不至于达到爆炸浓度。

2. 着火源的控制与消除

在化工生产过程中存在较多的着火源，如明火、火花和电弧、危险温度（ $>80^{\circ}\text{C}$ ）、化学反应热、生物化学热、物理作用热、摩擦撞击火花、静电放电火花等等。因此，控制和消除这些着火源对防止火灾、爆炸事故的发生是十分重要的。一般应采取以下几种措施。

(1) 严格明火管理措施 在化工生产中，火灾爆炸事故的发生绝大部分都是由明火引起的，所以严格明火管理，对防火防爆工作非常重要。

① 加强加热用火管理：严格生产性用火管理，对蒸汽、油浴盐浴、电加热等使用要严格管理。生产区中应尽量避免使用明火加热，因生产需要用蒸汽、油浴、盐浴、电热来加热时，应按国家有关规定，科学合理设计，明火区应远离生产区，并处在常年下风处等。

② 加强检修用火管理：对检修动火、使用喷灯、浇注沥青等作业要严格管理。制订检修动火制度，对未办动火证、动火证未经审批，未做好有效隔绝、未做好清洗置换，未做动火分析，无人监火等情形不准动火。

③ 加强流动火花和飞火管理：对机动车进入生产区、烟囱飞火、穿化纤服装、吸烟等要严格管理，制订相关规定。对机动车排气管要戴阻火器，防止火花喷出。对燃煤、烧柴的烟囱要设置阻火措施（水幕除尘等）消除飞火。对防火防爆要求高且特别危险的岗位，要禁止穿化纤服装进入生产岗位，以避免静电火花的产生。在生产区严禁吸烟，违者重罚。

为了防止烟囱飞火，燃煤炉炉膛燃烧必须完全，并要有水洗设施，彻底消除火花，在燃煤炉下风处切勿堆放易燃物料。

④ 加强其他火源控制管理：对高温设备、管道表面热、自燃热、压缩热、化学反应热等等要加强控制和管理。对高温表面应及时做好隔热保温，破损的要及时修补。不准在高温设备、管道上烘烤可燃物品。压缩机（空压机、冰机等）等在压缩过程中产生的热要进行冷却，严格控制在 80°C 以下。油抹布、油棉纱头等要及时安全地处理掉。

(2) 避免摩擦、撞击产生火花和危险温度措施 轴承转动摩擦、铁器撞击、工具使用过程中打击都有可能产生火花和危险温度，对易燃易爆的生产岗位，应做好以下防范措施：

- ① 设备转动部位应保持有良好的润滑，以防断油发热；
- ② 采用有色金属工用具，防止撞击火花的产生；
- ③ 搬运物料要轻搬轻放，防止发生火花；
- ④ 车间内禁止穿带钉的鞋，以防摩擦产生火花；
- ⑤ 检修过程中要防止撞击发生火花。

(3) 消除电气火花和危险温度措施 电气火花和危险温度是引起火灾爆炸仅次于明火的第二位原因，因此要根据爆炸和火灾危险等级和爆炸、火灾危险物质的性质，按照国家有关规定进行设计、安装。对车间内的电气动力设备、仪器、仪表、照明装置和电气线路等，分别采用防爆、封闭、隔离等措施，以防止电气火花和危险温度。

(4) 导除静电措施 静电对化工生产的危险性很大，但往往很容易被人们忽视。由于静电产生火花而造成重大的火灾、爆炸事故教训较多。因此，在化工企业从厂房设计、工艺设计、建设安装等方就应充分考虑导除静电的措施，如全厂地下接地网络设计、防雷、避雷设计，在易燃易爆车间，对工艺管线、设备等均要进行有效的接地，对一些电阻率高的易燃液体在运输、输送、罐装、搅拌中应设法导除静电，勿使静电积聚。对一些特别易燃易爆的岗位还应禁止穿易产生静电的化纤面料的服装。