

高职高专“十二五”规划教材

——煤化工系列教材

煤化工安全与案例分析

MEIHUAGONG ANQUAN YU ANLI FENXI

谢全安 赵 奇 主编
杨庆斌 主审



化学工业出版社

高职高专“十二五”规划教材
——煤化工系列教材

煤化工安全与案例分析

谢全安 赵 奇 主编
杨庆斌 主审



167879

广西工学院鹿山学院图书馆



d167879



化学工业出版社

· 北京 ·

本书共分八章,主要以事故案例的形式分析了煤化工生产中各类事故发生的原因及预防措施,内容涉及火灾爆炸事故、电气安全与事故、压力容器安全与事故、毒物防护与事故、机械伤害及坠落事故、检修安全与事故、职业危害与防护、安全管理与事故应急救援等方面,并以实例的方式简要介绍了事故应急救援预案的编制。

本书可作为高职高专煤化工专业及部分本科相关专业的教材,也可作为煤化工生产管理人员的参考用书。

主编 赵奇 安全
审主 谢全安

图书在版编目(CIP)数据

煤化工安全与案例分析/谢全安,赵奇主编. —北京:
化学工业出版社,2011.8

高职高专“十二五”规划教材——煤化工系列教材

ISBN 978-7-122-11914-8

I. 煤… II. ①谢…②赵… III. 煤化工-安全
生产-高等职业教育-教材 IV. TQ53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 144842 号

责任编辑:张双进
责任校对:吴静

文字编辑:李姿娇
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)

印装:北京云浩印刷有限责任公司

787mm×1092mm 1/16 印张14 字数357千字 2011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:28.00元

版权所有 违者必究

前 言

煤化工生产过程中,存在着易燃易爆物、毒物、压力容器、电气火花、高温、机械车辆等很多不安全因素,若设计不当、安装不好、操作失误、设备未定期检修、生产管理不科学,就很有可能发生火灾、爆炸、中毒、机械伤害等事故。煤化工生产中还存在着尘毒、噪声、高温等职业危害,这些都给职工生命和国家财产带来很大威胁。随着煤的大规模气化及液化等新型煤化工技术的发展,易燃易爆物质种类增加,且多采用压力容器生产,危险因素更为复杂。

因此,煤化工从业人员应不断加强安全生产知识的学习,掌握防火、防爆、防毒、检修安全、压力容器安全等方面的安全技术以及安全管理、事故应急救援的知识,掌握防慢性中毒、防尘、噪声治理、振动消除、人体防护等职业卫生方面的知识,从而防止事故的发生,保护自身安全,保障煤化工装置的安全运行,减少国家及企业财产损失。

为便于教学,本书在介绍煤化工生产中火灾、爆炸、中毒、机械伤害等方面基本安全知识的基础上,编排了大量相关事故案例并详细分析了事故发生的原因及预防措施,还介绍了职业危害的防护知识及安全管理知识,最后以实例的形式阐明了事故应急救援的措施。

本书可作为高职高专煤化工专业的教材,也可作为煤化工安全生产管理人员的参考用书及培训教材,还可用作煤化工安全评价的参考资料。使用本书进行教学,可根据不同的专业和不同的课时选择教学内容,建议以50学时为宜。

全书共分八章。河北联合大学化工与生物技术学院谢全安编写第一、二、三、四、六章,煤炭科学研究总院北京煤化工分院赵奇编写第七、八章,河北联合大学化工与生物技术学院朱靖编写第五章。全书由谢全安负责统稿,曹妃甸京唐钢铁焦化部杨庆斌高级工程师担任本书的主审。

在本书的编写过程中,河北联合大学化工与生物技术学院李连顺、王杰平、孙元甲、白宁博、张国杰等同学帮忙进行收集整理事故案例的工作,在此对他们表示感谢!

限于编者水平,加上时间紧迫,书中不妥之处在所难免,敬请专家和广大读者批评指正。

编者

2011年6月

目 录

第一章 火灾爆炸事故预防及案例分析	1
第一节 燃烧基础知识	1
一、燃烧及燃烧条件	1
二、燃烧形式	1
三、热值与燃烧温度	5
四、燃烧速率	6
第二节 爆炸基础知识	7
一、爆炸及破坏作用	7
二、爆炸的分类	8
三、爆炸极限	9
四、煤尘爆炸	13
第三节 煤化工生产中火灾爆炸危险性 分类	14
一、可燃气体的火灾危险性分类	15
二、可燃液体的火灾危险性分类	15
三、固体、设备及房间的火灾危险性 分类	15
第四节 火灾爆炸事故的预防	15
一、火灾爆炸事故的原因	15
二、火灾爆炸事故的预防	16
第五节 防火防爆安全装置	21
一、阻火泄压装置	21
二、测爆装置	26
第六节 火灾爆炸事故的处理	27
一、灭火原理与方法	27
二、灭火剂的种类及选用	28
三、消防设施	30
四、着火事故的处理	33
五、爆炸事故的处理	34
第七节 烧烫伤事故预防	34
一、焦炉作业烧烫伤事故	34
二、防范措施	35
三、烧烫伤的急救救护	35
第八节 火灾爆炸事故案例分析	35
复习题	49
第二章 电气安全与事故案例分析	50
第一节 电气防火防爆	50
一、爆炸和火灾危险场所的区域划分	50
二、防爆电气设备的类型和标志	51
三、防爆电气设备的选型	53
四、电气防爆的其他措施	54
第二节 防雷技术	55
一、雷电的分类及危害	55
二、常用防雷装置的种类与作用	56
三、化工设施的防雷	57
四、防雷装置的检查和电阻测量	57
第三节 静电防护技术	58
一、静电的产生及危害	58
二、静电的安全防护	60
第四节 用电安全技术	62
一、电流对人体的作用	62
二、电流对人体的伤害	63
三、防止触电的技术措施	63
四、焦炉作业触电事故及预防	64
五、触电急救	64
第五节 电气事故案例分析	65
复习题	68
第三章 压力容器安全与事故案例分析	69
第一节 压力容器概述	69
一、压力容器的分类	69
二、压力容器的制造材料	71
三、压力容器的设计、制造和安装	71
第二节 压力容器的定期检验	73
一、定期检验的要求	73
二、定期检验的内容	73
三、定期检验的周期	74
第三节 压力容器的安全附件	75
一、安全阀	75
二、防爆片	76
三、防爆门	76
四、压力表	77
五、液面计	77
第四节 压力容器的安全使用	78
一、压力容器的使用管理	78
二、压力容器的操作与维护	79
三、压力容器破坏形式和缺陷修复	81
四、压力容器安全状况等级评定	83
第五节 压力管道	84
一、管道的标准	84

二、高压管道操作与维护	86	一、焦炉机械的特点	135
三、高压管道技术检验	86	二、焦炉机械伤害事故	135
第六节 蒸汽锅炉安全措施	88	三、防范措施	138
一、锅炉简介	88	第四节 坠落事故预防	139
二、锅炉运行安全	88	一、煤塔坠落及窒息事故预防	139
三、锅炉常见事故及处理	89	二、焦炉坠落事故预防	140
第七节 压力容器事故案例分析	91	三、化工高处作业安全	141
复习题	93	四、焦炉砌筑安全	142
第四章 毒物防护与事故案例分析	95	复习题	142
第一节 中毒的概念	95	第六章 检修安全与事故案例分析	144
一、职业中毒	95	第一节 化工检修安全管理	144
二、毒性物质的毒理作用	96	一、检修的分类	144
第二节 毒物危害及中毒急救	97	二、检修前的安全管理	144
一、一氧化碳 (CO)	97	第二节 装置安全停车	145
二、苯类	100	一、停车操作	146
三、萘 (C ₁₀ H ₈)	102	二、抽堵盲板	146
四、苯酚 (C ₆ H ₅ OH)	102	三、置换、吹扫和清洗	146
五、甲醇 (CH ₃ OH)	104	四、其他注意事项	147
六、二硫化碳 (CS ₂)	105	第三节 置换作业安全	147
七、吡啶 (C ₅ H ₅ N)	106	一、置换方法	147
八、氨 (NH ₃)	107	二、置换方案及安全条件	148
九、硫化氢 (H ₂ S)	108	三、停送煤气作业	149
十、氰化氢 (HCN)	109	四、气柜置换作业	150
十一、二氧化硫 (SO ₂)	110	第四节 动火作业安全	151
十二、氮氧化物 (NO _x)	110	一、动火作业管理	151
第三节 毒物的防护	110	二、置换动火安全	152
一、中毒事故的预防	111	三、带压不置换动火安全	153
二、毒物泄漏处置	113	第五节 设备内作业安全	154
三、中毒人员的搬运	114	一、设备内作业的管理	154
四、心肺复苏法简介	115	二、设备内作业安全要求	155
第四节 毒物防护设施	119	第六节 检修后安全开车	156
一、呼吸器	119	一、现场检查清理	156
二、有毒气体报警仪	126	二、试车	156
三、高压氧舱	127	三、开车前的安全检验	156
复习题	127	四、开车安全	157
第五章 机械伤害及坠落事故预防	129	第七节 焦炉烘炉、开工安全	157
第一节 运转机械安全技术	129	一、烘炉安全措施	157
一、运转机械的不安全状态	129	二、焦炉开工安全措施	159
二、人的不安全行为	130	第八节 煤气带压作业安全	160
三、运转机械安全防护	131	一、煤气带压作业	160
第二节 备煤机械安全	132	二、带压作业安全措施	160
一、卸煤及堆取煤机械	132	第九节 泄漏处置对策	161
二、破碎机及粉碎机	133	一、管道及设备泄漏处理	161
三、皮带输送机	134	二、管件泄漏处理	163
第三节 焦炉机械伤害事故预防	135	三、水封及排水器漏气处理	163

第十节 检修事故案例分析	163	一、安全生产责任制	190
复习题	168	二、安全教育培训制度	192
第七章 职业危害与防护	170	三、安全检查及隐患整改制度	194
第一节 尘毒防护	170	四、安全技术措施计划管理制度	195
一、多环芳烃的毒害作用	170	五、事故管理制度	195
二、粉尘危害	172	第三节 事故应急救援	196
三、尘毒的防护	173	一、事故应急救援的基本原则和任务	197
第二节 高温辐射的危害与防护	174	二、事故应急管理的过程	197
一、高温辐射的危害	174	第四节 事故应急救援预案	198
二、防止高温辐射的措施	175	一、事故应急救援预案的作用	198
第三节 噪声的危害与防护	175	二、事故应急救援预案的内容	198
一、声音的物理量	175	三、应急预案的演练	198
二、噪声的来源及分类	176	第五节 事故应急救援预案实例	199
三、噪声的危害及接触限值	177	一、企业基本情况	199
四、噪声控制	177	二、危险目标的确定及事故应急处理	200
第四节 振动的危害与防护	180	三、应急救援指挥部的组成、职责和分工	207
一、振动及其类型	180	四、事故报警与应急通讯	208
二、振动的危害	180	五、应急救援保障	208
三、振动控制	180	六、培训与演练	208
第五节 电磁辐射危害与防护	181	七、附件	208
一、电离辐射的危害与防护	181	复习题	208
二、非电离辐射的危害与防护	183	附录	210
第六节 个人防护用品	184	附录1 制气车间主要生产场所爆炸和火灾危险区域等级	210
一、头部、面部的防护	184	附录2 焦化厂主要生产场所建筑物内火灾危险性分类	211
二、听觉器官的防护	184	附录3 焦化厂室内爆炸危险环境区域划分	212
三、足部的防护	185	附录4 工作场所有害因素职业接触限值	213
四、躯体的防护	185	附录5 常用安全生产法律法规	214
五、防坠落用具	187	附录6 安全防护设施	216
复习题	187	参考文献	218
第八章 安全管理与事故应急救援	188		
第一节 煤化工生产安全管理	188		
一、安全生产管理的基本原则	188		
二、安全生产管理措施	188		
第二节 安全生产管理制度	190		

第一章 火灾爆炸事故预防及案例分析

传统的煤化工生产中，易燃易爆的物质主要为煤气、芳香烃、焦油各种馏分、甲醇等；以煤液化为主的新型煤化工生产中，其产物主要是易燃易爆的石脑油、汽油、柴油及甲烷等各种烃类。一旦这些易燃易爆物质由于各种原因发生泄漏，遇到火源，就会有着火的危险；达到爆炸极限，遇到火源，就会发生火灾爆炸事故。因此加强煤化工生产安全，防火防爆是首要问题。

第一节 燃烧基础知识

一、燃烧及燃烧条件

燃烧是可燃物质与助燃物质发生的一种发光发热的氧化反应，其特征是发光、发热、生成新物质。如煤的风化过程，虽属氧化反应，有新物质生成，但没有产生光和热，不能称之为燃烧；灯泡中灯丝通电后虽发光、发热，但未产生新物质，而不是氧化反应，也不能称之为燃烧。

可燃物质（一切可氧化的物质，如氢气、一氧化碳以及甲烷、苯等烃类）、助燃物质（氧化剂，如空气、氧气、氯气等物质）和火源（能够提供一定的温度或热量，如明火、静电火花、化学能等）是物质燃烧的三个基本条件，缺少其中的任何一个条件，燃烧均不会发生。对于正在进行的燃烧，只要充分控制三个条件中的任何一个，燃烧就会终止，这就是灭火的基本原理。

要使燃烧发生或继续维持，不仅必须同时具备燃烧三要素，而且还需满足其充分条件：

- ① 具备一定的可燃物浓度，可燃物浓度需达到着火极限或着火范围（即爆炸极限），否则不能燃烧。例如，氢气在常温常压的空气中浓度小于 4%（燃烧极限）时就不能燃烧。
- ② 供给一定数量的氧化剂，否则燃烧不能进行。例如，当空气中的氧含量从 21% 降到 14%~16% 时，木柴的燃烧就会终止。
- ③ 具有足够温度的点火源或最小点火能。

二、燃烧形式

由于可燃物质的存在状态不同，因此它们的燃烧形式是多种多样的。根据燃烧的起因和剧烈程度的不同，燃烧分为闪燃、着火和自燃。

1. 闪燃与闪点

当火源接近易燃或可燃液体时，液面上的蒸气与空气混合物会发生瞬间（持续时间少于 5s）火苗或闪光，这种现象称为闪燃。引起闪燃时的最低温度称为闪点。在闪点时，液体的蒸发速度并不快，蒸发出来的蒸气仅能维持一刹那的燃烧，还来不及补充新的蒸气，所以一闪即灭。从消防角度来说，闪燃是将要起火的先兆。某些可燃液体的闪点见表 1-1。

混合物的闪点需实际测定。如粗苯是苯、甲苯、二甲苯的混合物，其闪点约为 12℃，不同比例的混合物闪点不同，以实际测定为准；不同比例的甲醇-汽油闪点应介于甲醇和汽油闪点之间。某些固体，也能在室温下挥发或缓慢蒸发，因此也有闪点，如萘的闪点为 78.9℃。

表 1-1 某些可燃液体的闪点

液体名称	闪点/℃	液体名称	闪点/℃
苯	-11.1	焦油	96~105
甲苯	4.4	焦化轻油	28~58
粗二甲苯	28.3~46.1	酚油	>120
邻二甲苯	72.0	萘油	78
间二甲苯	25.0	洗油	100
对二甲苯	25.0	蒽油	140
乙苯	21.1	沥青	232
三甲苯	50	萘	80
苯乙烯	31.1	蒽	121
二硫化碳	-30	醋酸	38
吡啶	20	醋酐	49
甲基吡啶	39~57	脱酚酚油	45
苯酚	79.4	间-对甲酚	94.44
二甲酚	127.2~165	喹啉	99
汽油	-42.8	二甲醚	-41.4
煤油	28~58	石脑油(也称轻油,不同于焦化轻油)	-2
甲醛	32	轻柴油	>55
甲醇	16(开口),12(闭口)	重柴油	>120
乙醇	14	煤油	28~45
醋酸甲酯	-10	乙二醇	116

在化工生产中,可根据各种可燃液体闪点的高低来衡量其危险性,即闪点越低,火灾的危险性越大。通常把闪点低于 45℃ 的液体,称为易燃液体;把闪点高于 45℃ 的液体,称为可燃液体。

2. 着火与着火点

当温度超过闪点并继续升高时,若与火源接触,不仅会引起易燃物质与空气混合物的闪燃,而且会使可燃物燃烧。这种当外来火源或灼热物质与可燃物接近时,产生持续燃烧的现象叫着火。使可燃物质持续燃烧 5s 以上时的最低温度,称为该物质的着火点或燃点,也叫着火温度、火焰点。一般燃点比闪点高出 5~20℃,易燃液体的燃点与闪点很接近,仅差 1~5℃;可燃液体,特别是闪点在 100℃ 以上时,两者相差 30℃ 以上。一些常见可燃气体的着火温度可见表 1-2。

表 1-2 一些可燃气体的着火温度(常压空气中)

可燃气体名称	着火温度/℃	可燃气体名称	着火温度/℃
氢	510	焦炉煤气	550~650
一氧化碳	610	高炉煤气	700~800
甲烷	645	转炉煤气	530
乙烷	530	发生炉煤气	650~700
乙烯	540	水煤气	550
乙炔	335	连续直立炭化炉煤气	560~600

3. 自燃与自燃点

自燃是可燃物质自行燃烧的现象。可燃物质在没有外界火源的直接作用下,常温下自行发热,或由于物质内部的物理、化学或生物反应过程所提供的热量聚积起来,使其达到自燃温度,从而发生自行燃烧。可燃物质发生自燃的最低温度称为自燃点,自燃点越低,则火灾

危险性越大。

自燃又可分为受热自燃和自热自燃。受热自燃是指可燃物质在外界热源作用下，温度升高，当达到自燃点时，即着火燃烧。如化工生产中，可燃物由于接触高温表面、加热和烘烤过度、冲击摩擦，均可导致自燃。自热自燃是某些物质在没有外来热源影响下，由于本身产生的氧化热、分解热、聚合热或发酵热，如煤的缓慢氧化过程，使煤的温度上升，达到自燃点而燃烧的现象。某些可燃物质的自燃点见表 1-3。

表 1-3 某些可燃物质的自燃点

液体名称	自燃点/℃	液体名称	自燃点/℃
苯	555	焦油	580~630
甲苯	535	萘	526
邻二甲苯	463	蒽	590
间二甲苯	525	洗油	478~480
对二甲苯	525	沥青	270~300
乙苯	430	醋酐	315
三甲苯	485	乙二醇	412
苯乙烯	410	喹啉	480
二硫化碳	102	二甲醚	350
吡啶	482	汽油	280
甲基吡啶	538	石脑油	500 左右
苯酚	715	轻柴油	350~380
二甲酚	515	重柴油	300~330
甲醛	430	煤油	380~425
甲醇	455	蜡油	300~380
乙醇	422	渣油	230~240
醋酸甲酯	502	硫黄	250
甲胺	430	氨	651

(1) 自燃点与燃点的概念区别

自燃点是可燃物质由于自身化学反应、物理作用等产生的热量而升温到无需外来火源就能自行燃烧的温度。燃点（即着火点或着火温度）是可燃物质在某一点（或局部）被外来火源引燃后，将火源移去仍能保持继续燃烧的最低温度。两者最大的差别在于燃烧发生时有无明火直接作用。自燃点和燃点的关系与可燃物质的状态有关。

可燃液体的燃烧一般是由于受热汽化形成蒸气以后，按可燃气体的燃烧方式进行的，并不是液体本身在燃烧。例如，车用汽油在 $-38\sim-25^{\circ}\text{C}$ 时，有外来火源就能引起着火，这是因为在该温度下车用汽油蒸发出的可燃蒸气与空气混合，在某一点被火源点燃，撤走火源，其燃烧释放出的热量足以维持燃烧的继续。而在无外来火源的情况下，外来热源对其可燃蒸气与空气的混合气体加热，混合气体由于对流，受热比较均匀，直至温度达到引起燃烧的温度（即外来火源引燃混合气体时引燃处的最低温度），才能自行燃烧。因而，可燃液体的自燃点一般都比燃点高。

可燃固体燃烧情况很复杂，可分为三种方式：受热后先熔化，再蒸发产生蒸气，并分解、氧化燃烧；受热时直接解析出气态产物再氧化燃烧；无火焰的表面燃烧。由于燃烧方式的多样性，加之固体形状差异较大，所以可燃固体燃点与自燃点的关系比较复杂。以木材燃烧为例，木材遇到外来火源时受热升温， 110°C 以下只能放出水分， 130°C 时开始分解， $150\sim 200^{\circ}\text{C}$ 分解出的主要是水和二氧化碳，并不能燃烧， 200°C 以上分解出一氧化碳、氢气和碳氢化合物， 295°C 时开始燃烧，移去火源后，燃烧继续。若木材由于外界加热，其化合

物随着温度的升高分解、碳化,到 250℃ 时不需火源就出现火焰,并燃烧起来。

对于可燃气体,其自燃点受可燃气体浓度的影响很大。可燃气体只有在一定浓度范围内才能燃烧,并且处于反应化学计量比时的自燃点最低。在通常情况下,都是采用反应化学计量比时的自燃点作为标准自燃点。虽然可燃气体自燃点的数据比较齐全,但却找不到与燃点相关的数据资料。有些人认为可燃气体的燃点与自燃点是同一温度,这一说法并不很科学,比如,乙炔常温下就能被点燃,那么在零下几度甚至零下几十度还能燃烧吗?这些都还有待于通过实验获得可靠的数据,况且气体的燃点还受限于点火源的能量,因此,表 1-2 通常称为可燃气体的着火温度,实际上严格地说是可燃气体的自燃点。

(2) 煤的储存安全

煤堆容易自燃,是由于煤堆内部接触空气所发生的氧化反应引起的,氧化反应产生的热量不能散发出来,因而又加速了煤的氧化。这样使热量逐渐积聚在煤堆里层,促使煤堆内部温度不断升高,当温度达到煤的燃点时,煤堆就会自行着火。煤的着火点高低主要与煤化程度有关,一般规律是挥发分越高的煤,着火点越低,所以从不同煤化程度的煤来看,以泥炭的燃点最低,其次是褐煤和烟煤,无烟煤的燃点最高。在烟煤中,以煤化程度最低的长焰煤和不黏煤的燃点为最低,其次是气煤、肥煤和焦煤,瘦煤和贫煤的燃点最高。各牌号煤的燃点范围见表 1-4。

表 1-4 一些煤的自燃点 (常压空气中)

煤 种	自燃点/℃	煤 种	自燃点/℃
泥炭	<250	肥煤	320~360
褐煤	270~310	焦煤	350~370
长焰煤	275~320	瘦煤	350~380
不黏煤	280~305	贫煤	360~385
弱黏煤	310~350	无烟煤	370~420
气煤	300~350	焦炭	550~650

另一种自燃原因是煤与水蒸气相遇,由于煤本身有一种吸附能力,水蒸气能在它表面凝结变成液体状态,并析出热量,当煤堆达到一定的温度后,再因氧化作用,温度会继续升高达到煤的自燃点,发生自行着火。

这两种情况在煤堆的自行着火过程中是相互进行的,因此,在储存煤时要采取安全措施,不可麻痹大意。储存煤的防火要求如下。

① 煤堆不宜过高过大,煤堆的储存高度可按表 1-5 执行。

表 1-5 煤堆储存时间及高度要求

煤的种类	储存期限/月	煤堆高度/m		煤堆宽度/m	煤堆长度/m
		2 月以下	2 月以上		
褐煤	1.5	2~2.5	1.5~2	<20	不限
烟煤	3	2.5~3.5	2~2.5	<20	不限
瘦烟煤	6	3.5	2.5	<20	不限
无烟煤	6	不限	不限	不限	不限

② 煤堆应层层压实,减少与空气的接触面,减少氧化的可能性,或用多洞的通风孔散发煤堆内部的热量,使煤堆经常保持在较低的温度状态。

③ 较大的煤仓中,煤块与煤粉应分别堆放。

④ 经常检查煤堆温度,自燃一般发生在离底部 1/3 堆高处,测量温度时应在此部位进

行。如发现煤堆温度超过 65°C ，应立即进行冷却处理。

⑤ 室内储煤最好用阻燃材料建造的库房，室内要保持良好通风，煤堆高度离房顶不得少于 1.5m 。

⑥ 为使煤堆在着火之初能及时扑灭，煤仓应有专用的消防水桶、铁铲、干沙等灭火工具。

⑦ 如发现煤堆已着火，不能直接往煤堆上浇水进行扑灭，因水往往浸透不深，并可产生水蒸气，会加速燃烧，如果用大量的水能将煤淹没，可用水扑救。一般都是将燃烧的煤从煤堆中挖出后，再用水浇灭。此外，还可用泥浆水灌救，泥浆可在煤的表面糊上一层泥土，阻止煤堆继续燃烧。在扑灭煤堆火时，应注意防止煤堆塌陷伤人。

(3) 焦炉煤气管道沉积物自燃

焦炉煤气中的氧含量为 $0.4\%\sim 0.6\%$ ，在金属表面上会形成相应的氧化物，而金属氧化物会与煤气中的硫化氢反应，煤气中的硫化氢还会与铁反应：



从上面反应可看到，运行的煤气管道内存在大量的铁的硫化物 Fe_2S_3 和 FeS ，在进行煤气作业时，硫化物会与空气中的氧气接触，又发生下面的化学反应：



上述反应为放热反应，一般情况下，如果硫化物比较致密，氧气不能进入其内部，不会形成热量积聚，仅在其表面生成黄色的晶体，即硫单质。如果铁的硫化物比较松散，氧气极易与其内部接触反应置换出单质硫，产生大量的热能瞬时积累，使得局部温度瞬时升高，达到硫的着火点后，就会导致硫的燃烧而自燃。抽堵盲板时煤气一旦与其接触就会发生着火；如果是煤气置换时煤气与空气混合气达到爆炸极限，一旦与其接触即可发生爆炸。在较长时间停运的煤气管道中发现过这种现象，因此，硫化物是煤气安全生产的“隐形杀手”。从某厂对焦炉煤气管道内沉积物的分析结果看，萘含量为 17.85% ，其自燃点为 526°C ；硫化亚铁含量为 15.77% ；单质硫含量为 36.8% ，其自燃点为 250°C ；存在少量的煤焦油，其着火温度为 220°C 。硫化亚铁被氧化后放热使能量聚积，而硫的自然温度又很低，可引燃煤焦油及萘等可燃物。

三、热值与燃烧温度

1. 热值

单位质量或单位体积的可燃物质完全烧尽时所放出的热量称为该物质的热值。热值也叫发热量，是表示燃料优劣的重要指标之一，也是决定燃烧温度的主要因素。以煤气为例， 1Nm^3 煤气完全燃烧所放出的热量称为煤气的热值，单位为 kJ/m^3 。N 指标准状态，即处于 0°C ，一个标准大气压时的状态。

热值可分为高热值和低热值。高热值是指 1Nm^3 煤气完全燃烧后其烟气被冷却至原始温度，而其中的水蒸气以凝结水状态排出时所放出的热量；低热值是指 1Nm^3 煤气完全燃烧后其烟气被冷却至原始温度，但烟气中的水蒸气仍为蒸汽状态时所放出的热量。高、低热值之差实际为水的气化潜热。通常用低热值表示煤气的发热量。

煤气的热值既可以通过实验来测定，也可以根据煤气中各可燃成分的比例算出。不同种类的煤气具有不同的热值。煤气的低热值可以按下式计算：

$$Q_{\text{低}} = Q_1 X_1 + Q_2 X_2 + Q_3 X_3 + \dots$$

式中 Q_1, Q_2, Q_3 ——各可燃成分的热值， kJ/m^3 ；

X_1, X_2, X_3 ——各可燃成分在煤气中的百分数。

煤气中一些可燃成分的低热值如下： CO 为 12730kJ/m^3 ； H_2 为 10840kJ/m^3 ； CH_4 为 35840kJ/m^3 。

煤气热值的大小主要取决于煤气中所含的可燃成分（ CO 、 H_2 、 CH_4 、 C_mH_n ）和惰性成分（ N_2 、 CO_2 、 O_2 ）的含量。煤气按热值大小（指低热值）可分为三种：热值在 14651kJ/m^3 以上时，为高发热值煤气，如焦炉煤气（热值 $16747\sim 18003\text{kJ/m}^3$ ）、直立炭化炉煤气（热值 16957kJ/m^3 ）；热值在 $6279\sim 14651\text{kJ/m}^3$ 时为中发热值煤气，如转炉煤气（热值 $6280\sim 8374\text{kJ/m}^3$ ）和铁合金炉煤气（热值 10467kJ/m^3 ）；热值在 6279kJ/m^3 以下时，为低发热值煤气，如高炉煤气（热值 $3349\sim 4187\text{kJ/m}^3$ ）和发生炉煤气（热值 $3768\sim 6280\text{kJ/m}^3$ ）。

2. 燃烧温度

物质燃烧时的火焰温度叫做燃烧温度。可燃物的种类、成分、燃烧条件和传热条件等都能影响燃烧温度。燃烧温度实际为燃烧时燃烧产物所能达到的温度，而燃烧产物中所含热量的多少，取决于燃烧过程中热量的收入和支出。一些煤气的理论燃烧温度分别为：焦炉煤气 2150°C 左右；发生炉煤气 1300°C 左右；炭化炉煤气 $1990\sim 2000^\circ\text{C}$ ；高炉煤气 1500°C 左右；转炉煤气理论燃烧温度比高炉煤气高；铁合金炉煤气的理论燃烧温度比转炉煤气稍高。

四、燃烧速率

燃烧速率亦称为正常火焰传播速率，用来表示可燃物燃烧的快慢。

1. 气体燃烧速率

气体燃烧速率是指单位时间内燃烧物质表面的火焰沿垂直于表面的方向向未燃烧部分传播的距离， m/s 。它也是单位时间内在单位火焰面积上所烧掉的气体的体积，其单位可写作 $\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。

管道中气体的燃烧速率与管径有关。当管径小于某个小的量值时，火焰在管中不传播；若管径大于这个小的量值，火焰传播速率随管径的增加而增加，但当管径增加到某个量值时，火焰传播速率便不再增加，此时即为最大燃烧速率。

燃烧速率的大小，还与可燃气体种类、浓度、压力、温度等条件有关。

① 可燃气体成分中碳、氢、硫、磷等可燃元素的相对含量越多，燃烧速率越快。

② 混合气中惰性气体浓度增加时，火焰传播速率降低；惰性气体的热容越大，火焰传播速率降低越快，甚至会使火焰熄灭。

③ 可燃气体混合物起始温度越高，燃烧后放热越多，火焰传播速率越快。

④ 燃烧速率与混合物中可燃气体的浓度有关。从理论上讲，火焰传播速率应在化学计量比时达到最大值。但实际测试表明，火焰传播的最大速率并不是在混合气中可燃气体与氧化剂按化学计量比燃烧时的速率，而是在可燃气体浓度稍高于化学计量比燃烧时的速率。

⑤ 与火焰传播方向有关，一般是向上最快，横向次之，向下最慢。

常见的一些可燃气体的最大燃烧速率见表 1-6。

2. 液体燃烧速率

液体燃烧速率取决于液体的蒸发。包括以下两种表示方法。

(1) 质量速率

指在每平方米可燃液体表面，每小时烧掉的液体的质量， $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。

(2) 直线速率

表 1-6 一些可燃气体与空气混合物的最大燃烧速率

燃气种类	燃烧速率/(cm/s)	混合比/%	燃气种类	燃烧速率/(cm/s)	混合比/%
一氧化碳	45.0	51.0	丙烷	39.0	4.54
氢	270	43.0	乙烯	38.6	2.26
甲烷	33.8	9.96	乙炔	163	10.2
乙烷	40.1	6.28	苯	40.7	3.34

指每小时烧掉可燃液层的高度,单位为 m/h。火焰沿液面蔓延的速率决定于液体的初温、热容、蒸发潜热以及火焰的辐射能力。

3. 固体燃烧速率

固体燃烧速率取决于燃烧比表面积,即燃烧表面积与体积的比值越大,燃烧速率越大,反之,则燃烧速率越小。

第二节 爆炸基础知识

一、爆炸及破坏作用

爆炸是物质发生急剧的物理、化学变化,在瞬间释放出大量能量并伴有巨大声响的过程。爆炸常伴随发热、发光、高压、真空、电离等现象,并具有很大的破坏作用。爆炸的一个本质特征是爆炸点周围介质压力的急剧升高,这种压力突跃变化,是产生爆炸破坏作用的直接原因之一。

爆炸现象一般具有如下特征:爆炸过程进行得很快;爆炸点附近瞬间压力急剧升高;发出或大或小的响声,很多还伴随有发光;周围介质发生振动或邻近物质遭受破坏。爆炸的主要破坏作用形式有以下几种。

(1) 碎片打击

机械设备、装置、容器、建筑等爆炸以后,变成碎块或碎片飞散出去,会在相当广的范围内造成危害。碎片飞散范围通常是 100~500m,也可更远。快速飞行的碎片对人具有杀伤力,对阻挡物具有破坏作用。

(2) 冲击波

物质爆炸时,产生的高温高压气体以极高的速度膨胀,挤压周围空气,把爆炸反应释放出的部分能量传递给压缩的空气层,空气受冲击而发生扰动,使其压力、密度等产生突变,这种扰动在空气中传播就称为冲击波。冲击波最初出现正压力,而后又出现负压力(气压下降后的空气振动,产生吸引作用),正、负压交替产生,在它作用的区域内产生震荡作用。冲击波的传播速度极快,方向随时随地而变,防不胜防。

冲击波的冲击破坏作用,主要是由其波阵面上的超压引起的。在爆炸中心附近,空气冲击波波阵面上的超压可达几至十几个大气压,致使人员伤亡,机械设备、管道等遭受严重破坏。当冲击波大面积作用于建筑物时,波阵面超压在 20~30kPa 内,就足以使大部分砖木结构建筑物受到强烈破坏;超压在 100kPa 以上时,除坚固的钢筋混凝土建筑外,其余部分将全部破坏。另外,冲击波的震荡作用,可使物体因震荡而松散,甚至破坏。

(3) 造成火灾

通常爆炸气体在极短的瞬间扩散,对一般可燃物质不足以造成起火燃烧,甚至有时冲击波还能起到灭火作用。但遗留的大量热能或残余火种,会把从破坏的设备内流出的可燃气体或易燃、可燃液体的蒸气点燃,加重爆炸的破坏程度。

(4) 造成中毒和环境污染

很多爆炸性气体不仅可燃,而且有毒,爆炸时可引起大量有毒有害物质外泄,造成人员中毒和环境污染,形成二次或长期灾害。

二、爆炸的分类

1. 按爆炸能量来源不同分类

(1) 物理爆炸 (又称为爆裂)

物理爆炸是指物质的物理状态 (如温度、压力等) 发生急剧变化而引起的爆炸。例如蒸汽锅炉、压缩气体、液化气体过压等引起的爆炸都属于物理爆炸。物质的化学成分和化学性质在物理爆炸后均不发生变化。

因设备内的液体或气体介质迅速膨胀,压力急剧上升并超过设备所能承受的强度,致使容器破裂而发生的爆炸,也属于物理爆炸。如煤气发生炉的物理爆炸,就是煤气发生炉蒸汽水套发生的爆炸。往往是由于受压设备 (蒸汽水套) 所承受压力超过机械强度限度,或由于蒸汽水套的金属材料受热过度、腐蚀失修而机械强度降低所致。

此类事故多是蒸汽水套严重缺水 (缺水事故大多是由于设备事故或是操作者失误造成) 又突然进水导致爆炸。因为水套缺水后,水套钢板干烧过热,甚至燃红,使强度大大下降;另一方面,过热的钢板温度与给水温度相差极为悬殊,钢板先接水的部位因遇冷急剧收缩而龟裂,在蒸汽压力的作用下,龟裂处随即裂成大口造成爆炸。

另外,蒸汽水套钢板的锈蚀和结垢也可以造成蒸汽水套的爆炸事故。因为一般钢板的热导率是 $46.53 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$,当蒸汽水套钢板表面有水垢时传热量大大减小,水垢的热导率为钢板的 $1/20$,而烟灰垢为钢板的 $1/200$,这样特别容易造成蒸汽水套钢板的过热。锈蚀又可造成蒸汽水套钢板壁的苛性脆化而龟裂。这种裂纹最初相当细微,但发展很快,在水套内蒸汽压力作用下和炉内高温条件下裂纹会在瞬间迅速扩大撕裂,最终造成爆炸事故。

凡属物理爆炸事故一般都是两次爆炸,可以听到两响,先是一声闷响,在 $1 \sim 2 \text{ s}$ 后又是一声巨响。这类事故的主要原因是蒸汽水套内的压力超过了水套环形焊缝和水套壁所能承受的压力而使焊接缝及钢板破坏;水套内壁破坏后,水套内大量的水涌向炉内遇到炽热的燃料层,产生蒸汽和水煤气形成二次爆炸。二次爆炸的能量远远大于一次爆炸的能量。但这类事故容易事先被操作者发现,可以防止其发生,因为蒸汽水套是由锅炉钢板制成的,具有塑性,爆炸之前先有明显的变形,操作者在事先可听到炉鸣 (在事故前几分钟都不同程度地听到炉鸣),如能及时放汽降压,完全可避免爆炸事故的发生。

(2) 化学爆炸

化学爆炸是指物质发生急剧化学反应,生成一种或多种新物质,产生大量的气体和热能,体积迅速扩大几十或几百倍,瞬间形成高温高压而引起的爆炸,物质的化学成分和化学性质在爆炸后均发生了质的变化。如可燃气体、可燃液体蒸气和可燃粉尘与空气混合物的爆炸等。发生化学爆炸必须具备三个条件:反应过程的放热性,反应过程的高速度,反应过程生成气态产物。

(3) 核爆炸

核爆炸是指由原子核反应引起的爆炸。如原子弹、氢弹、中子弹的爆炸。

2. 按所发生的化学变化分类

(1) 简单分解爆炸

简单分解爆炸是简单分解爆炸物自身分解并放热而引起的爆炸。简单分解爆炸发生的化

学反应是分解反应，不发生燃烧反应。

这类爆炸物大多是具有不稳定结构的化合物，爆炸所需热量可由自身分解时产生。如乙炔银 (Ag_2C_2)、碘化氮 (NI_3)、高压乙炔等，这类物质爆炸危险性很大，受到摩擦、撞击甚至轻微振动，即可能引起爆炸。

(2) 复杂分解爆炸

复杂分解爆炸是物质分子在分解反应的同时伴随有自身氧化还原反应的燃烧爆炸，燃烧所需的氧化剂由本身分解供给。含氧炸药（如苦味酸、TNT、硝化棉等）的爆炸即属此类，这类物质的危险性比简单分解爆炸物稍低。

(3) 爆炸性混合物爆炸

爆炸性混合物爆炸是可燃气体、可燃蒸气、薄雾、可燃粉尘（如煤尘）或纤维单独或共同与氧化剂（如空气）按一定比例混合为爆炸性混合物，在点火源作用下，通过瞬间的燃烧反应而发生的爆炸。与一般气体燃烧过程相比，主要区别在于其燃烧速率极快。

可燃气体、可燃蒸气、可燃粉尘爆炸必须同时具备三个要素，即可燃物、空气（氧气）和火源（或高温）。以上三个条件缺一不可，是互相制约的，同时也是互相联系的。“缺一不可”是指相互制约的一面；“三个条件同时具备”就有可能发生爆炸，是指相互联系的一面。

煤尘爆炸是煤尘粒子表面和氧作用的结果。当煤尘表面达到一定温度时，由于热分解或干馏作用，煤尘表面会释放出可燃气体，这些气体与空气形成爆炸性混合物，而发生煤尘爆炸，因此煤尘爆炸的实质是气体爆炸。

3. 按传播速度分类

(1) 爆燃

预混的可燃气体着火时，火焰传播速度较慢，几乎不产生压力和爆炸声响，这种情况称为缓燃。而当燃烧速度很快时，将可能产生压力波和爆炸声，这种情形称之为爆燃。爆燃为亚音速流动，一般速度为 $0.3 \sim 10\text{m/s}$ 。

(2) 爆轰

在密闭容器中的可燃混合气体一旦着火，火焰便在整个容器中迅速传播，使整个容器中充满高压气体，压力在短时间内急剧上升，形成爆炸，而当其内部压力超过初压的 10 倍时，会产生爆轰。爆轰为超音速的流动，其传播速度为每秒 1000m 至数千米以上。爆轰突然引起极高的压力，其传播是通过超音速的冲击波，燃烧也落在它的后面，冲击波能远离爆轰地而独立存在，并能诱发该处的爆炸性气体混合物、其他炸药的爆炸，称为殉爆。

三、爆炸极限

1. 爆炸极限的概念

可燃气体、液体蒸气及粉尘与空气的混合物，并不是在任何组成下都可以燃烧或爆炸，而且燃烧（或爆炸）的速率也随组成而变。通常把发生爆炸的浓度称作爆炸极限。爆炸极限通常用体积分数来表示，其中可能发生爆炸的最低浓度称为爆炸下限，最高浓度称为爆炸上限，在爆炸下限至爆炸上限之间的燃气浓度范围就是爆炸极限或称爆炸极限范围，这种混合气体就是爆炸性混合气体。

高于上限或低于下限的混合气体遇引燃能量不会发生爆炸，所以不是爆炸性混合气体。低于下限的混合气体中有大量的空气，而可燃气体不足，所以既不会燃烧，也不会爆炸；高于上限的混合气体中有大量的可燃气体，所以能够燃烧，也不会发生爆炸。只有在这两个浓度之间才有爆炸危险。一些物质和某些煤气的爆炸极限见表 1-7 和表 1-8。

表 1-7 一些物质的爆炸极限 (空气中)

物质名称	爆炸极限(体积分数)/%		物质名称	爆炸极限(体积分数)/%	
	下限	上限		下限	上限
一氧化碳	12.5	74.2	丙烷	2.4	9.5
氢气	4.0	74.2	丙烯	2.0	11.1
甲烷	5.0	15.0	苯	1.2	8.0
乙烷	3.0	15.5	甲苯	1.2	7.0
乙烯	2.7	28.6	邻二甲苯	1.0	7.6
乙炔	2.5	80.0	氨	15.0	27.0
二硫化碳	1.2	50.0	氰化氢	5.6	40.0
硫化氢	4.3	45.5	甲醇	6.7	36.5
乙苯	1.27	7.0	乙醇	3.3	18.9
三甲苯	1.1	6.4	醋酸甲酯	3.2	15.6
苯乙烯	1.1	6.1	醋酸	4.0	17
吡啶	1.8	12.4	醋酐	2.67	10.13
甲基吡啶	3.5	19	二甲醚	3.45	26.7
苯酚	3.3	19	石脑油	1.2	6.0
汽油	1.4	7.6	轻柴油	1.5	4.5
轻油	1.2	6.0	煤油	0.7	5.0
酚油	3.3	19.0	萘	0.9	5.9
甲醛	7.0	73	乙二醇	3.2	15.3

表 1-8 一些煤气的爆炸极限 (空气中)

煤气名称	爆炸极限(体积分数)/%		煤气名称	爆炸极限(体积分数)/%	
	下限	上限		下限	上限
焦炉煤气	4.5	35.8	无烟煤发生炉煤气	15.5	84.4
高炉煤气	30.8	89.5	水煤气	6.9	69.5
转炉煤气	18.2	83.2	铁合金煤气	10.8	75.1
烟煤发生炉煤气	14.6	76.8	直立炭化炉煤气	7.0	56.0
天然气	4.5	13.5	LPG	1.5	9.5

根据爆炸极限可以知道它们的危险程度。

① 爆炸范围越大,其危险性越大,如氢气的爆炸极限范围比氨大 5 倍多,说明氢气危险性比氨大得多。

② 爆炸下限越低,危险性越大,如焦炉煤气稍有泄漏容易进入下限范围,应特别防止跑、冒、滴、漏,防止其达到爆炸下限。

③ 如爆炸上限较高的可燃气体,也只需不多的空气进入设备和管道中,就能进入爆炸范围,所以应特别注意设备的密闭和保持正压,严防空气进入。

因此,爆炸极限可作为制定安全生产操作规程的依据,在生产和使用可燃气体的场所,根据其爆炸极限及其他理化性质,采取相应的防爆措施,如通风、惰性气体稀释、置换、检测报警等,以保证生产场所可燃气体浓度严格控制在下限以下。

2. 爆炸极限的影响因素

(1) 初始温度

可燃性混合气的初始温度升高,会使反应物分子的活性增大,使爆炸反应容易发生。因此初始温度越高,爆炸极限范围就越宽,即下限降低,上限升高。

由 25℃ 时的爆炸极限可以算出 t ℃ 时的爆炸极限,根据 Burgess-Wheeler 法则, Zabe-