

高等学校“十一五”规划教材

防火防爆

Fanghuo Fangbao

余明高 主编

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

X932
Y-518

“五”规划教材

防火防爆

主 编 余明高
参 编 (按姓氏笔画排序)
于水军 王轶波 牛国庆
邢书仁 伍爱友 何启林
袁东林

中国矿业大学出版社

前 言

“安全第一,预防为主,综合治理”是我国的一项基本国策,也是安全生产过程中应遵守的基本准则。随着社会的发展和科学技术的进步,各行各业在生产过程中,均可能涉及易燃、易爆、毒害和腐蚀性的危险物质,如果生产工艺不合理或操作不当,则会造成严重的燃烧、爆炸事故,给国家和人民的生命财产造成不可估量的损失。因此,防火防爆问题已成为安全生产管理中的头等大事。

本书是矿业类高等学校“十一五”规划教材之一,本着实用、深入浅出的原则,在重点讲解燃烧与爆炸基本概念、基本原理的基础上,根据不同的燃爆危险品,详细地讲解防火防爆基本措施、设施、装备、有关火灾爆炸事故管理等内容。通过融入典型工业防火防爆技术、典型火灾爆炸事故案例分析,旨在使与安全技术及工程相关专业的高等院校学生、从事安全生产操作和管理的工程技术人员等广大读者,能够理解、掌握具体的防火防爆技术,提升相关的专项安全知识。

全书共分10章。第1章为绪论,讲解国内外有关防火防爆的基本情况、燃烧与爆炸的危害性、防火防爆的一般性原则,由河南理工大学余明高编写;第2章为燃烧,主要讲解燃烧的基本概念、类型、特征,由湖南科技大学伍爱友编写;第3章为爆炸,主要讲解爆炸的基本概念、类型、特征,由黑龙江科技学院邢书仁编写;第4章为燃爆危险品,主要讲解燃爆危险品的基本概念、类型、特征,由河南理工大学于水军编写;第5章为防火防爆基本措施,主要讲解根据防火防爆基本原理而通常采用的基本措施,由河南理工大学袁东升编写;第6章为防火防爆设施,主要讲解根据不同防爆措施应采用的防火防爆设备,包括原理、类型等,由华北科技学院王轶波编写;第7章为典型工业防火防爆技术,主要讲解典型工业,包括电气、建筑、石化、危化品、煤矿等领域中所采用的主要防火防爆技术,由河南理工大学牛国庆编写;第8章为灭火技术与装备,主要讲解灭火原理、方法、灭火剂、灭火系统等,由安徽理工大学何启林编写;第9章为火灾爆炸事故管理,主要讲解火灾爆炸事故调查方法、统计与建档、通用的预测方法等,由河南理工大学余明高编写;第10章为典型火灾爆炸事故案例分析,主要是结合国内外发生的典型火灾爆炸事故,讲解事故发生的经过、原因分析,以及应吸取的经验教训等,由河南理工大学牛国庆编写。全书由余明高担任主编。

由于编写时间仓促、编者水平有限,书中错误和不妥之处,希望广大读者予以批评指正。

编 者

2007年5月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 燃烧与爆炸的特点	1
1.2 燃烧与爆炸的危害性	2
1.3 防火防爆的基本原则	7
第 2 章 燃烧	8
2.1 基本概念	8
2.2 燃烧过程	14
2.3 燃烧机理	18
2.4 燃烧特性	22
2.5 燃烧与爆轰	30
第 3 章 爆炸	34
3.1 爆炸及其种类	34
3.2 爆炸机理	36
3.3 爆炸极限及其理论	36
3.4 爆炸破坏力计算	41
3.5 气体和粉尘爆炸	44
第 4 章 燃爆危险品	50
4.1 燃爆危险品分类及基本特性	50
4.2 可燃性气体和蒸气	51
4.3 易燃和可燃液体	57
4.4 可燃固体	59
4.5 可燃粉尘	62
4.6 自燃性物质	65
4.7 忌水性物质(遇水燃烧物质)	68
4.8 氧化剂和有机过氧化物	70
4.9 爆炸品	73
4.10 混合危险性物质	75



第 5 章 防火防爆基本措施	78
5.1 火灾事故与爆炸事故	78
5.2 防火防爆的基本原理和方法	80
5.3 防火防爆的基本措施	83
5.4 防火防爆安全装置	90
第 6 章 防火防爆设施	93
6.1 燃爆气体传感器	93
6.2 火灾探测与报警系统	98
6.3 防火防爆安全装置	109
第 7 章 典型工业防火防爆技术	116
7.1 电气防火防爆	116
7.2 工业建筑防火防爆	122
7.3 石化企业防火防爆	127
7.4 危险化学品防火防爆	137
7.5 煤矿防火防爆	141
第 8 章 灭火技术与装备	150
8.1 灭火剂	150
8.2 灭火系统	153
8.3 其他消防设施	171
第 9 章 火灾爆炸事故管理	179
9.1 火灾爆炸事故调查	179
9.2 火灾事故统计与事故档案	186
9.3 火灾爆炸事故的预测方法	189
第 10 章 典型火灾爆炸事故案例分析	198
10.1 新疆克拉玛依友谊馆特大火灾事故	198
10.2 西延线蔺家川隧道 3161 次货物列车火灾事故	199
10.3 东方化工厂特大火灾爆炸事故	202
10.4 衡阳“11·3”特大火灾坍塌事故	206
10.5 河南洛阳东都商厦特大恶性火灾事故	208
10.6 甘肃八〇五厂“9·2”特大爆炸事故	211
参考文献	217

第 1 章

绪 论

燃烧和爆炸是常见的自然现象和人为行为,其实质是一种独特的化学反应或物理过程。所谓燃烧,就是平常所说的“着火”,一旦失去对燃烧的控制就会发生火灾,造成危害。所谓爆炸,就是大量能量(物理能量或化学能量)在瞬间迅速释放或急剧转化成功和机械、光、热等能量形态的现象。

一般来说,控制状态下的燃烧和爆炸,会使人们从中得到所需的能量;失去控制的燃烧和爆炸,会给人类造成灾害。研究燃烧和爆炸,就是要找出燃烧、爆炸的规律,掌握其规律,利用其规律,消除其危害,为人类服务。

1.1 燃烧与爆炸的特点

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。燃烧必须满足 4 个要点:① 可燃物质存在;② 助燃物质存在;③ 发生氧化反应;④ 伴有发光放热。

四个要点同时成立才称为燃烧。如灯泡中的钨丝通电后虽然发光、放热,但并不是燃烧现象,因为它没有发生化学反应和生成新物质,只是由电能变为光能的一种物理现象。又如铁生锈是铁与空气中的氧气发生反应生成氧化铁,但是反应不激烈,它虽然放热,但不发光,也不是燃烧现象。同样,铜与稀硝酸反应,虽然有电子得失,但不产生光和热,也不能称为燃烧。但如氢气在氯气中燃烧,氯原子得到一个电子被还原,氢原子失去一个电子被氧化,在这个反应中,虽然没有氧参与反应,但发生的是一个激烈的氧化反应,并伴随有光和热的发生,所以这个反应是燃烧。又如炽热的铁、金属钠、铜与氯气的反应,都是同时伴有放热、发光的氧化反应(其中氯气是氧化剂),因而也都属于燃烧现象。同样像煤、木炭、油等点燃后即发生碳、氢等元素与空气中的氧气作用的氧化反应,生成二氧化碳和水等新物质,同时放热、发光,因此也是一种燃烧现象。

需要说明的是,燃烧在本质上属于氧化还原反应,参与燃烧反应的反应物必须包含氧化剂和还原剂,也就是通常所说的助燃物和可燃物。其中氧气是最常见的氧化剂,一般常见的燃烧现象多数是可燃物与空气中的氧之间发生的激烈的氧化反应,但氧化剂并不局限于氧,一些非金属性强的单质,如 F_2 、 Cl_2 等也可作为氧化剂。还有一些含高化合价元素的化合物也可作为氧化剂,它们通常是含氧酸及其盐。如硝酸(HNO_3)中含有正 5 价的氮元素,又如

高锰酸钾(KMnO_4)中含有正7价的锰元素。许多有机化合物(如甲烷、木材、合成高分子材料等)几乎都可以作为还原剂。

可燃物质(一切可氧化的物质)、助燃物质(氧化剂)和火源(能够提供一定的温度或热量)是可燃物质燃烧的3个基本必须要素。缺少3个要素中的任何一个,燃烧便不会发生。此外,燃烧反应在温度、压力、时间、组成和点火能等方面都存在极限值,只有达到相应条件,才会引发燃烧。如果可燃物质和助燃物质在某个浓度值以下,或者火源不能提供足够的温度或热量,即使表面上看似具备了燃烧的3个要素,燃烧仍不会发生。

综上所述,燃烧过程具有2个本质特征:一是有新的物质产生(即燃烧是化学反应);另一是伴随着发光放热现象。其3个特点是放热、发光、生成新物质,它们是区分燃烧和非燃烧现象的依据。对已发生的燃烧,若消除了3个要素中的任何一个,燃烧便会中止,这就是灭火的原理,对于利用燃烧原理造福人类、采取防火安全措施以及追查火灾原因是具有实际意义的。

爆炸是物质发生急剧的物理、化学变化,能量(物理能、化学能或核能)在瞬间迅速释放或急剧转化成机械功和其他能量,并伴有巨大声响的过程。其一般特性是:化学反应速度快,可在万分之一秒或更短的时间内反应爆炸;能产生大量气体,在爆炸瞬间,固态爆炸物迅速转变为气态,使原来的体积成百倍地增加,释放出大量热,一般可以放出数百或数千兆焦耳的热量,温度可达数千摄氏度并产生高压。

爆炸常伴随发热、发光、高压、真空、电离等现象,并且具有很大的破坏作用。爆炸的破坏作用与爆炸物质的数量和性质、爆炸时的条件以及爆炸位置等因素有关。如果爆炸发生在均匀介质的自由空间,在以爆炸点为中心的一定范围内,爆炸力的传播是均匀的,并使这个范围内的物体粉碎、飞散。

在爆炸过程中,爆炸物质所含的能量快速释放,变为爆炸物质本身、爆炸产物及周围介质的压缩能或运动能。物质爆炸时,大量能量在有限体积内以极短的时间突然释放并积聚,造成高温高压,对邻近介质形成急剧的压力突变并引起随后的复杂运动。爆炸介质在压力作用下,表现出不寻常的运动或机械破坏效应,以及爆炸介质受振动而产生的音响效应。

一般说来,爆炸现象具有以下特征:

- (1) 爆炸过程进行得很快。
- (2) 爆炸点附近压力急剧升高,多数爆炸伴有温度升高。
- (3) 周围介质在压力作用下产生振动或受到机械破坏。
- (4) 由于介质振动而产生或大或小的响声。

其中,压力急剧升高是爆炸现象的最主要特征。

1.2 燃烧与爆炸的危害性

1.2.1 燃烧的危害性

燃烧造成的危害主要是其燃烧产物,即由燃烧或热解作用而产生的全部物质,通常指的是燃烧生成的气体、热量和可见烟等。

(1) 燃烧生成的气体,一般指一氧化碳、氰化氢、二氧化碳、丙烯醛、氯化氢、二氧化硫等。



(2) 大多数物质的燃烧是一种放热的化学氧化过程。从该过程中放出的能量以热量的形式表现,形成热气的对流与辐射。热量对人体具有明显的物理危害。

(3) 由燃烧或热解作用产生的悬浮在大气中可见的固体和(或)液体颗粒总称为烟。其粒径一般在 $0.01\sim 10\ \mu\text{m}$ 之间。大多数这种含碳物质是在火灾中不完全燃烧所生成的。

那么,燃烧产物对大气有何影响呢?包括:降低大气能见度,热污染,全球气候变暖,释放二氧化硫、一氧化碳和粉尘造成的大气污染。如1998年四川双流县的农民燃烧秸秆,导致成都双流机场数十个航班不能正常起降,造成很大的经济损失。燃料中碳燃烧后转化为 CO_2 进入大气,使大气中 CO_2 浓度增大可造成温室效应。燃烧过程中产生的粒状污染物或有毒气体(如戴奥辛等)造成空气污染,如燃料中的杂质硫等燃烧产生 SO_2 等。煤炭燃烧排放大量的烟尘,造成大气污染。另外,不完全燃烧的危害还包括:浪费燃料,排放一氧化碳,生成炭黑等有害物质。

同样,燃烧产物对人体有何影响呢?

当人体吸入过多空气污染物时,易使呼吸器官丧失正常的防御功能,威胁人体健康。首先,在燃烧现场,人可能因缺氧而窒息,这一方面是因为可燃物燃烧时消耗了空气中的氧气,另一方面因为大量燃烧产物的生成导致了现场空气中氧气浓度的下降。另外,很多燃烧产物会使人中毒或对人体产生不良影响,统计资料表明,火灾中死亡人数约80%是由于吸入毒性气体而致死的。火灾产生的烟气中含有大量的有毒成分,如 CO 、 HCN 、 SO_2 、 NO_2 等,这些气体均对人体有不同程度的危害。如 CO_2 ,它是主要的燃烧产物之一,在有些火场中浓度可达15%,其最主要的生理作用是刺激人的呼吸中枢,导致呼吸急促、烟气吸入量增加,并且还会引起头痛、神志不清等症状。而 CO 是火灾中致死的主要燃烧产物之一,其毒性在于对血液中血红蛋白的高亲和性,其对血红蛋白的亲合力较氧气高出250倍,因此,它能够阻碍人体血液中氧气的输送,引起头痛、虚脱、神志不清等症状和肌肉调节障碍等。下面对几种气体做简要介绍:

(1) 二氧化碳(CO_2):无色、无味气体,对空气的相对密度为1.52,比空气重,它对人体的影响如表1-1所列。

表 1-1 二氧化碳对人体的影响

CO_2 的含量/%	对人体的影响
0.55	6 h 内不会有任何症状
1~2	引起不快感
3	呼吸中枢受到刺激,呼吸增加,脉搏、血压升高
4	有头痛、眼花、耳鸣、心跳等症状
5	喘不过气,在 30 min 内引起中毒
6	呼吸急促,感到困难
7~10	数分钟内会失去知觉,以致死亡

(2) 一氧化碳(CO):无色、无味、剧毒可燃性气体,对空气的相对密度为0.97,比空气轻,对人体危害较大,如表1-2所列。

表 1-2

一氧化碳对人体的影响

CO 的含量/%	对人体的影响
0.01	几小时之内没有什么感觉
0.05	1 h 内影响不大
0.1	1 h 后头痛、作呕、不舒服
0.5	经过 20~30 min 有死亡危险
1.0	吸气数次后失去知觉,经 12 min 可中毒死亡

(3) 二氧化硫(SO₂):无色、有刺激性臭味、有毒,对空气的相对密度为 2.26,易液化、易溶于水,造成大气污染的所谓“酸雨”主要是由二氧化硫溶入空气里的水形成的。二氧化硫能刺激人的眼睛和呼吸道,伤害动植物,腐蚀织物、金属和建筑物等。在工矿企业的空气中,二氧化硫允许含量不得超过 0.02 mg/L,它对人体的影响如表 1-3 所列。

表 1-3

二氧化硫对人体的影响

SO ₂ 的含量		对人体的影响
%	mg/L	
0.000 5	≤0.014 6	长时间作用无危险
0.001~0.002	0.029~0.058	气管感到刺激,咳嗽
0.005~0.01	0.146~0.293	1 h 内无直接的危险
0.05	≥1.46	短时间内有生命危险

(4) 氮的氧化物:在特定条件下,氮与氧反应生成一氧化氮(NO)和二氧化氮(NO₂)。如硝酸和硝酸盐分解,硝酸纤维素及其他含氮有机物燃烧,含硝酸盐炸药爆炸时,均会产生一氧化氮和二氧化氮。一氧化氮为无色气体,二氧化氮为棕红色气体,有难闻气味,且有毒。氮氧化物对人体的影响如表 1-4 所列。

表 1-4

氮氧化物对人体的影响

氮氧化物含量		对人体的影响
%	mg/L	
0.004	0.19	长时间作用无明显反应
0.006	0.29	短时间内气管即感到咳嗽
0.01	0.48	短时间内刺激气管,咳嗽,继续作用对生命有危险
0.025	1.20	短时间内可迅速致死

1.2.2 火灾的危害性

众所周知,燃烧一旦失去控制,就会形成火灾,也会对自然和人类构成巨大威胁,主要表现在以下几个方面:

(1) 造成资源浪费



随着人类文明的推进,保护资源、合理利用开发资源已成为全世界普遍关注的突出问题。我国资源相对更加匮乏,特别是在20世纪后期,随着现代化建设步伐的加快,对资源保护与利用缺乏前瞻性和持续性,造成了巨大破坏,如土地资源出现的大面积沙化,水资源严重污染,森林资源大幅度缩减等。而火灾更是加速资源破坏和削减的主要原因之一,造成资源白白浪费,使有限的资源更加匮乏。1987年世界比较罕见的大兴安岭森林火灾,造成101万 hm^2 森林资源毁灭。1997年印度尼西亚发生的森林火灾,毁林30万 hm^2 。据1997~2000年森林火灾统计资料表明,4年间全国森林火灾达19701起,其中重大森林火灾102起,特大森林火灾10起,造成毁林面积194944 hm^2 ,其中原始林57791 hm^2 ,人工林119142 hm^2 。除森林资源被毁外,其他资源如石油资源及其制品等被火灾烧毁浪费的现象更为严重。1989年中国青岛油库发生爆炸火灾,燃烧4h,数个原油储罐相继爆炸,形成燃烧面积达1 km^2 的恶性火灾,烧毁原油数万吨,还殃及近海的养殖业,造成重大损失和浪费。北京市的玉泉营环岛家具城于1996年3月发生火灾,直接经济损失达2087余万元。同年4月2日沈阳商业城发生火灾,造成高34.8m、总建筑面积69189 m^2 、地上6层、地下2层的商业大厦被烧毁,火灾造成的直接经济损失5519.2万元,其中房屋损失1306.1万元,设备损失704.1万元,商品损失3509万元。由此可见,火灾对资源构成了重大危害。

(2) 造成环境破坏

环境是人类赖以生存的基础,人类生存离不开环境,人类要从事实践活动,要搞经济建设,要搞科学研究,要做工、生产、种粮、生活、繁衍后代,每时都离不开环境。然而目前的环境状况却不尽如人意,粉尘的超标、噪声的污染、酸雨的出现、风暴的肆虐等给人们的生活带来了巨大的不便,特别是近几十年来,由于人们对自然资源的过度开采和工业技术手段的落后以及人的其他一些因素,人为造成了不同程度的环境破坏。1986年4月,前苏联切尔诺贝利核电站因工人违章发生火灾,燃烧10多天,造成16000人死亡,损失30多亿美元,并造成周围大片地区被放射性物质污染,因环境破坏,居民被迫搬迁。1991年,历时42天的海湾战争引起科威特油田大火,境内900口油井中727口起火,历时4个月,造成海湾地区海洋和陆地环境严重污染。1997年印度尼西亚森林火灾持续两个多月,烟雾扩散到东南亚各国,印度尼西亚2000万居民患肺病和呼吸道病,8000人住院,4000人丧生。就我国的城乡火灾情况来看,火灾给人们的生存环境造成了破坏。2000年全国城市发生火灾75310起,烧毁房屋建筑209万 m^2 ,受灾9万多户;乡村发生火灾44500起,烧毁房屋210万 m^2 ,受灾2.7万多户。可见,火灾对人类生存环境构成了重大危害。

(3) 造成人身伤亡

由于人们在社会实践中经常出现不合规律的事,严重时会导致灾难发生,人为火灾就是其中的例证。火灾事故严重时,能使人力资源造成重大伤害。据公安部提供的火灾资料表明,1991~2000年我国一次死亡10人以上的火灾共发生118起,死亡3178人,伤2795人。据《中国火灾统计年鉴2000》介绍,20世纪世界发生的一次死亡逾百人的90起火灾中,死亡人数达28万之多,伤33万多,死伤合计61万多人。如此惊人的数字,都是火灾引起的结果。火灾造成人身伤亡,值得人类自身进行检讨。只有研究火灾规律,揭示形成火灾危害的根源,采取有效的对策,才能减少人身伤亡。

(4) 造成财富毁灭

人类的财富是有限的,也是珍贵的,更是来之不易的。财富多数来自不可再生资源,面



面临着资源的枯竭,财富显得更加珍贵。实践证明,火灾能造成重大财产损失。我国从1991年到2000年,全国火灾直接财产损失达116亿多元,还不包括间接损失,间接损失一般比直接损失大几倍、十几倍甚至上百倍。如1987年大兴安岭森林火灾统计直接财产损失5.26亿元,按灾害统计学损失评估,大兴安岭火灾造成总损失为377.82亿元,可见火灾造成的损失是巨大的。进入“九五”以来,我国每年的火灾损失在15亿元左右,万元GNP火灾损失率为3.17%。火灾在造成财产损失的同时,还对无法用价值计算的古文物、稀世珍品等造成毁坏。如1994年11月15日吉林市博物馆内的银都夜总会发生的火灾,除造成6800 m²建筑物被烧和671万元财产损失外,还造成17400件文物(其中考古品8222件,传世品5691件)、全国惟一的陨石博物馆展出的104块陨石和一具7000万年前的长11 m、高6.5 m的鸭嘴龙化石及霸王龙牙齿、猛玛象化石等几十件考古珍品被大火吞噬。烧毁藏书130万册,其中古籍图书12万册,珍善本图书1067件。

(5) 引起社会波动

人类已进入21世纪,人类的社会本是文明的、紧张的、有序的、协调的,可是一旦发生意外,系统中某个局部就会不稳定,甚至影响全过程的可持续发展。火灾具有财产毁灭性,经常造成重大财产损失,使财物化为灰烬,火灾的伤亡特性是常威胁着人类的生命。无论是造成伤亡还是造成重大财产损失,都会引起社会上不同程度的不稳定,使社会出现波动,影响人类正常的生存与发展。1991~2000年,全国发生一次受灾50户以上的火灾达197起,仅1999年全国乡村就发生了12起特大火灾,每起火灾受灾户数都在50家以上,火灾烧毁了他们的房屋、农用器具和生活用品等,使他们的生活、生产无法维持,引起社会波动。城市商场火灾也会出现类似的情况,一座商场通常容纳上百家甚至上千家个体经营户,一旦发生火灾,他们就会为了索赔大动干戈,常常引起上访、告状。伤亡较大的火灾更容易引起波动,1994年12月8日,新疆克拉玛依友谊馆(影剧院)发生的火灾就值得引起我们深思,大火造成326人死亡,132人受伤,死难者中有天真烂漫的孩子289人,他们中最大的只有15岁,最小的仅8岁,这些孩子都是来自全市7所中学、8所小学的优秀学生,他们当中多数都是独生子女。这个灾难的降临引起了家庭、社会的极大不稳定。可见,火灾极易造成社会混乱,影响社会发展与稳定。

1.2.3 爆炸的危害性

爆炸发生时,其危害性也是非常严重的。因为爆炸的威力是巨大的,在爆炸起作用的整个区域内,有一种令物体震荡,使之松散的力量。爆炸发生时,爆炸力的冲击波最初使气压上升,随后气压下降使空气振动产生局部真空,呈现出所谓的“吸收作用”。由于爆炸的冲击波呈升降交替的波状气压向四周扩散,从而造成附近建筑物的震荡、破坏。化工装置、机械设备、容器等爆炸后,变成碎片飞散出去会在相当大的范围内造成危害。爆炸碎片的飞散距离一般可达100~500 m。化工生产中由于爆炸碎片造成的伤亡占很大比例。爆炸气体扩散通常在爆炸的瞬间完成,对一般可燃物质不致造成火灾,爆炸冲击波有时还能起灭火作用。但是爆炸的余热或余火,会点燃从破损设备中不断流出的可燃液体蒸气而造成火灾。

爆炸的破坏形式通常有直接的爆炸作用、冲击波的破坏作用和火灾等3种,后果往往都比较严重。

(1) 直接的爆炸作用。这是爆炸对周围设备、建筑和人的直接作用,它直接造成机械设



备、装置、容器和建筑的毁坏和人员伤亡。机械设备和建筑物的碎片飞出,会在相当范围内造成危险,如碎片击中人体而造成伤亡。

(2) 冲击波的破坏作用,也称爆破作用。爆炸时产生的高温高压气体产物以极高的速度膨胀,像活塞一样挤压周围空气,把爆炸反应释放出的部分能量传给压缩空气层,空气受这些能量影响而发生扰动,这种扰动在空气中传播就成为冲击波。它可以在周围环境中的固体、液体、气体介质(如金属、岩石、建筑材料、水、空气等)中传播。在传播过程中,可以对这些介质产生破坏作用,造成周围环境中的机械设备、建筑物的毁坏和人员伤亡。冲击波还可以在它的作用区域产生震荡作用,使物体因震荡而松散,甚至破坏。

(3) 造成火灾。可燃气(或可燃粉尘)与空气的混合物爆炸一般都引起燃烧起火,形成火灾。盛装易燃物的容器、管道发生爆炸时,爆炸抛出的易燃物有可能引起大面积火灾。这种情况在油罐、液化气爆炸后最容易发生,正在运行的燃烧设备或高温的化工设备被炸坏,其炽热的碎片飞出,有可能点燃附近贮存的燃料或其他可燃物,引起火灾。

此外,在实际生产生活中,许多物质不仅是可燃的,而且是有毒的,发生爆炸事故时,会使大量有害物质外泄,造成人员中毒和环境污染。

1.3 防火防爆的基本原则

防火防爆的基本目的是把人员伤亡和财产损失降至最低限度。针对其基本目的,总结出防火防爆的基本原则就是“预防发生、限制扩大、灭火熄爆”,即“预防为主,防消结合”。

“预防为主”,就是要把预防火灾发生放在第一位。为此,各部门消防监督组织应在各级机关领导的指导下,依靠广大职工群众,通过法律的、行政的和技术措施,切实抓好火灾预防工作,从根本上减少或避免火灾危害。在检查落实各种消防制度的同时,充分做好消防宣传工作,增强广大职工群众的消防意识,大力普及防火知识,克服麻痹思想和侥幸心理,做到人人防火,处处防火。

“防消结合”,指对于同火灾作斗争的2个基本手段——预防和扑救,必须结合起来。也就是在做好火灾预防工作的同时,必须积极主动地在思想上、组织上和物质上做好充分准备。有条件的,可组织义务消防队;远离公安消防队并且火灾危险性大的企业,还应设专职消防队。

其基本原则具体如下:

(1) 对所用易燃、易爆物料及有火灾和爆炸危险的过程及设备必须严格管理,采取有效的安全措施,防止发生火灾、爆炸事故。

(2) 贯彻“以防为主,以消为辅”的方针,积极采用先进的防灭火技术,建立健全义务消防组织,开展安全防火教育,加强防火检查和灭火器材的管理。

(3) 从全局出发,统筹兼顾,综合采取预防、局限灭火和疏散的对策,达到以下几方面:

- ① 严格控制和管理各种危险物及发火源,消除危险因素;
- ② 将火灾和爆炸危险性局限在最小范围内;
- ③ 迅速扑灭火灾,防止蔓延和发生次生灾害;
- ④ 作业人员能迅速撤离危险区,安全疏散。

第 2 章

燃 烧

2.1 基本概念

2.1.1 燃烧现象

自有人类以来就有燃烧现象,但人们对燃烧的认识却晚得多,而有关燃烧的学说则更晚一些。我国古代“五行说”的“金、木、水、火、土”中有火;古希腊“四元论”的“水、土、火、气”中有火;古印度“四大说”的“地、水、火、风”中也有火。这些学说的建立者都认为火是构成万物本源的一种元素。人们之所以对火如此重视,因为很多物质燃烧时都能产生火焰,有些物质燃烧后留下了少量的灰烬,其重量比原来的物质轻得多,似乎表明了燃烧时损耗了一些东西;有些金属燃烧后所得到的物质却比原来的金属重些,这些现象应该怎样解释呢?有的人把火看成熟和物质两种原性的化身;有的炼金术士和经院哲学家把火看成从物体中出来的神秘东西。英国化学家波义耳坚决反对这两种说法,他认为火应该是一种实实在在的,由具有重量的“火微粒”所构成的物质元素。植物燃烧时,它的极大部分变成火素散失到空间,只留下原物质本来具有的微不足道的灰烬。波义耳把铜、铁、铅、锡等金属置于密闭的容器中煅烧,其结果都是重量增加。他认为这些都是金属燃烧时与火微粒结合变成比金属更重的灰烬。为了说明这些现象,于是他提出了一个“火微粒”的概念。然而,波义耳只注意密闭容器中金属重量增加的一面,而忽视了与金属密切接触的空气是否也发生了什么变化。由于他在实验上观察的片面性,故未能正确揭示燃烧现象的真实本质。

其后,研究燃烧现象比较突出的有德国化学家施塔尔(G. E. Sathl 1660~1734)。他研究了燃烧中的各种现象和观点之后,于1703年系统地阐述了他提出的燃素学说。施塔尔认为,燃素充塞于天地之间,植物能从空气中吸收燃素,动物又从植物中取得燃素,所以动植物中都含有大量的燃素。一切与燃烧有关的化学变化,都是物体吸收燃素和释放燃素的过程。如金属燃烧时,便有燃素逸出,金属就变成金属灰,可见金属比金属灰含有更多的复杂成分。如果金属灰与燃素重新结合,就会再变成金属。木炭、烟灰、油脂都是从植物中来的,植物又在空气中吸收了燃素,因此它们都是富有燃素的物质。如果把木炭与金属灰一起燃烧,金属灰就可以吸收木炭的燃素,使金属灰再变成金属。这样燃素学说不仅可以解释许多燃烧现象,同时可以解释冶金中的许多化学变化。不仅如此,当时还用燃素学说解释了许多非燃烧



的化学变化。如金属溶解于酸中,理解为酸夺取了金属中的燃素;铁置换溶液中的铜,理解为铁中的燃素转移到铜中。燃素不仅是燃烧的要害,还是金属的性质,物体的颜色、气味等的根源。

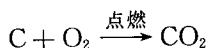
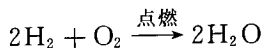
但是,许多科学家自燃素学说提出时起,就对它持有怀疑。首先,施塔尔提到的燃素从来没有被分离出来过;其次,金属在焙烧过后,总是增加了若干重量。按燃素说观点,燃素在燃烧过程中丧失,但燃烧后物质反而增重,这很难令人信服。但是,尽管许多科学家长期怀疑燃素说,真正否定这个错误观点,揭示出燃烧实质的是18世纪的法国化学家拉瓦锡。1774年,拉瓦锡做了著名的金属锻炼实验:他将锡和铅分别密封在曲颈瓶中,在加热前后都精确地称量,发现瓶和锻灰的总重量并未改变。当他把瓶子打开后,发现有空气冲进瓶内,这时瓶和锻灰的总重量增加。空气进入瓶内增加的重量与金属变成锻灰增加的重量正好相等。拉瓦锡根据这些实验,对燃素学说产生了怀疑,并指出金属锻灰的增重与燃素无关,而是由于金属与空气化合的缘故。同年10月,普利斯特利向拉瓦锡介绍了他用凸透镜加热汞锻灰发现了一种脱燃素空气。拉瓦锡立刻重做了普利斯特利的实验,证实了加热汞锻灰时逸出的气体重量与汞锻炼成锻灰所增加的重量相等。这是拉瓦锡用来推翻燃素学说最有力的证据。后来他做了大量的燃烧实验,都说明燃素是不存在的。1777年他接受其他化学家的见解,确认空气是2种气体的混合物,一种是能助燃的、有助于呼吸的氧气;另一种是不助燃的、无助于生命的氮气。1789年,拉瓦锡出版了他的名著《化学纲要》,以大量的实验事实为根据,系统、全面地批判了燃素学说,阐明了燃烧的氧化学说。

氧化学说的要点:①物质燃烧时放出光和热;②物质在有氧存在时才能燃烧;③物质在空气中燃烧时吸收其中的氧,燃烧后增加的重量恰等于吸收的氧的重量;④一般可燃物(非金属)燃烧后变为酸,金属燃烧后变为灰渣即金属氧化物。这个以氧为中心的理论简明地把燃素学说所不能解决的问题解决了,把燃素学说误解的问题也纠正了,使人们能够真正掌握燃烧规律和实质。拉瓦锡的燃烧氧化学说的建立使现代的化学体系得以建立,从而促进了化学事业的发展。

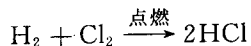
2.1.2 燃烧本质

2.1.2.1 燃烧的概念

大量的科学实验证明,燃烧是可燃物与氧化剂作用发生的放热反应,通常伴有火焰、发光和发烟的现象。燃烧是一种化学反应,物质在燃烧后,本质发生了变化,生成了与原来完全不同的物质,如:



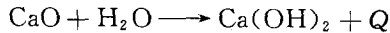
燃烧不仅在氧存在时能发生,在其他氧化剂中也能发生,甚至燃烧得更加激烈。例如, H_2 能在 Cl_2 中燃烧:



燃烧反应有如下3个特点:

(1) 通过化学反应生成与原来完全不同的新物质。物质在燃烧前后性质发生根本变化,生成与原来完全不同的新物质。如木材燃烧后生成木炭、灰烬以及 CO_2 和 H_2O (水蒸

气)。但并不是所有的化学反应都是燃烧,比如生石灰遇水:



可见,生石灰遇水发生化学反应并放热,这种热可以成为火源,但它本身不是燃烧。

(2) 放热。凡是燃烧反应都有热量生成。这是因为燃烧反应都是氧化还原反应,氧化还原反应在进行时总是有旧键的断裂和新键的生成。断键时要吸收能量,成键时又放出能量。在燃烧反应中,断键时吸收的能量要比成键时放出的能量少,所以燃烧反应都是放热反应。但并不是所有的放热反应都是燃烧。如在日常生活中,电炉、电灯既可发光又可放热,但断电之后,电阻丝仍然是电阻丝,它们都没有发生化学变化。

(3) 发光和发烟。大部分燃烧现象都伴有光和烟的现象,但也有少数燃烧只发烟而不发光。燃烧发光的主要原因是燃烧时,火焰中有白炽的炭粒等固体粒子和某些不稳定(或受激发)的中间物质生成。

2.1.2.2 燃烧的分类

按不同的前提条件,燃烧通常有以下几种分类方式。

(1) 按引燃方式的不同,燃烧可分为点燃和自燃 2 种。

① 点燃

点燃是指通过外部的激发能源引起的燃烧。也就是火源接近可燃物质,局部开始燃烧,然后开始传播的燃烧现象。物质由外界引燃源的作用而引发燃烧的最低温度称为引燃温度。可燃物不同,引燃温度也不同。点燃按引燃方式的不同,又可分为局部引燃和整体引燃 2 种。如人们用打火机点烟头,用电打火点燃炊具燃气等都属于局部引燃;而熬炼沥青、石蜡、松香等易熔固体时,温度超过了引燃温度的燃烧就属于整体引燃。这里还需说明,有人认为由于加热、烘烤、熬炼、热处理或者由于摩擦热、辐射热、压缩热、化学反应热的作用而引发的燃烧应属于受热燃烧,实际上这是不对的,因为它们虽然不是靠明火的直接作用而引发的燃烧,但它仍然是靠外界的热源而引发的,而外界的热源本身就是一个引燃源,故仍应属于点燃。

② 自燃

自燃是指在无外界着火源作用的条件下,物质靠自身内部的一系列物理、化学变化而发生的自动燃烧现象。其特点是靠物质本身内部的变化提供能量。物质发生自燃的最低温度称为自燃点,单位为 $^{\circ}\text{C}$ 。

(2) 按燃烧时可燃物所呈现的状态不同,燃烧可分为气相燃烧和固相燃烧 2 种。可燃物的燃烧状态并不是指可燃物燃烧前的状态,而是指燃烧时的状态。如乙醇在燃烧前为液体状态,在燃烧时乙醇转化为蒸气燃烧,其状态为气相。

① 气相燃烧

气相燃烧是指燃烧时可燃物和氧化剂均为气相的燃烧。气相燃烧是一种常见的燃烧形式,如汽油、酒精、丙烷、石蜡等的燃烧都属于气相燃烧。实质上,凡是有火焰的燃烧均为气相燃烧。

② 固相燃烧

固相燃烧是指燃烧进行时可燃物为固相的燃烧。固相燃烧又称表面燃烧。如木炭、镁条、焦炭的燃烧就属于此类。只有固体可燃物才能发生固相燃烧,但并不是所有固体的燃烧都属于固相燃烧,对在燃烧时分解、融化、蒸发的固体,其燃烧都不属于固相燃烧,仍为气相燃烧。



(3) 按燃烧现象的不同,燃烧可分为着火、阴燃、闪燃、爆炸4种。

① 着火

着火亦称起火,是指以释放热量并伴有烟或火焰或两者兼有为特征的燃烧现象。着火是经常可见的一种燃烧现象。如木材、油类、煤气等的燃烧等都属于着火。这种燃烧的特点是:一般可燃物燃烧需要着火源引燃;可燃物一经点燃,在外界因素不影响的情况下,可持续燃烧下去,直至将可燃物烧完为止。

② 阴燃

阴燃是指物质无可见光的缓慢燃烧,通常产生烟和温度升高的迹象。它是可燃固体由于供氧不足而形成的一种缓慢的氧化反应,其特点是有烟而无火焰。

③ 闪燃

闪燃是指可燃液体表面蒸发的可燃蒸气遇火源产生的一闪即灭的燃烧现象。闪燃是液体燃烧特有的一种燃烧现象,但是少数可燃固体也会发生闪燃。

④ 爆炸

爆炸是指由于物质发生急剧氧化或分解反应,产生温度、压力增加或两者同时增加的现象。爆炸按其燃烧速度传播的快慢分为爆燃和爆轰2种:燃烧以亚音速传播的爆炸为爆燃;燃烧以冲击波为特征、以超音速传播的爆炸为爆轰。

2.1.2.3 燃烧与氧化

燃烧反应是一种剧烈的氧化还原反应。氧化还原反应是指有电子得失或共用电子对偏移的反应。在反应中,失去电子的物质被氧化,成为还原剂;得到电子的物质被还原,成为氧化剂。

燃烧是可燃物质与氧化剂进行反应的结果,但由于氧化反应的速度不同,或成为剧烈的氧化还原反应,或成为一般的氧化还原反应。剧烈氧化时会放热、发光,成为燃烧;而一般氧化反应速度慢,虽然也放出热量,但能随时散发掉,反应达不到剧烈的程度,因而没有火焰、发光和发烟的现象,则不是燃烧。所以氧化反应和燃烧反应的关系为种属关系,即凡是燃烧反应肯定是氧化还原反应,而氧化还原反应不一定是燃烧,燃烧反应只是氧化反应中特别剧烈的反应。

2.1.3 燃烧的要素和条件

燃烧是一种很普遍的自然现象,但燃烧并不是在任何情况下都可以发生的,而是必须具备一定的要素和条件才能发生。

2.1.3.1 燃烧的要素

燃烧的要素是指制约燃烧发生和发展变化的内部因素。由燃烧的本质可知,制约燃烧发生和发展变化的内部因素有可燃物和氧化剂。

(1) 可燃物

可燃物是指在标准状态下的空气中能够燃烧的物质。广义地讲,凡是能燃烧的物质都是可燃物。但是有些物质在通常情况下不燃烧,而在一定的条件下才能燃烧。例如,在通常情况下,谁也不会认为铁和铜是可燃物,但在一些特殊的条件下,它们又都能燃烧。炽热的铜和铁在纯氯气或纯氧气中都能发生剧烈的燃烧。在这种条件下,完全可以说铁和铜是可燃物;但通常条件下,它们都不是处在纯氧气或纯氯气中,而是处在含氧量为21%的大气



中,因而它们在大气中不会发生燃烧,故一般不能称之为可燃物。所以,通常所说的可燃物是指在标准状态下的空气中能够燃烧的物质。如木材、棉花、酒精、汽油、甲烷、氢气等。

可燃物大部分为有机物,少部分为无机物。有机物大部分都含有 C、H、O 等元素,有的还含有少量的 S、P、N 等元素。可燃物在燃烧反应中都是还原剂,是不可缺少的一个重要因素,是燃烧得以发生的内因,没有可燃物,燃烧也无从谈起。

(2) 氧化剂

氧化剂指处于高氧化态,具有强氧化性,与可燃物质相结合能够引起燃烧的物质。它是燃烧得以发生的必需的要害,否则燃烧便不能发生。在燃烧要素中,人们过去将氧化剂称为助燃物。

氧化剂的种类较多,按其状态可分为如下类型:

① 气体。如氧气、氯气、氟气等,都是气体氧化剂,都是能够与可燃物发生剧烈氧化还原反应的物质。

② 液体或固体化合物。如硝酸钾、硝酸钠等硝酸盐类,高氯酸、氯酸钾等氯的含氧酸及其盐类,高锰酸钾、高锰酸钠等高锰酸盐类,过氧化钠、过氧化钾等过氧化物类等。

2.1.3.2 燃烧的条件

燃烧的条件是指制约燃烧发生和发展变化的外部因素,通过对燃烧机理的分析,能使以上要素发生燃烧的条件有以下 2 个。

(1) 可燃物与氧化剂作用并达到一定的数量比例,且未受化学抑制。实践观察发现,在空气中的可燃物(气体或蒸气)数量不足,燃烧是不能发生的。例如,在室温 20℃ 的条件下,用火柴去点汽油和煤油时,汽油立刻燃烧起来,而煤油却不燃烧。这是因为煤油在室温下的蒸气数量不多,还没有达到燃烧的浓度;其次,如果空气(氧气)不足,燃烧也不能发生,如当空气中的氧含量降低到 14%~16% 时,多数可燃物就会停止燃烧。对于有焰燃烧,燃烧的自由基还必须未受化学抑制,使链式反应能够进行,燃烧才能得以持续下去。

(2) 具有足够能量和温度的引燃源。不管何种形式的热能,都必须达到一定的强度才能引起可燃物燃烧,否则燃烧便不会发生。能够引起可燃物燃烧的热能称为引燃源。引燃源根据其能量来源不同,可分为如下几种类型:

① 明火焰

明火焰是最常见且比较强的着火源,它可以点燃任何可燃物质。不同物质燃烧,其火焰温度也不同,约在 700℃~2 000℃ 之间。

② 炽热体

炽热体是指受高温作用,由于蓄热而具有较高温度的物体(如炽热的铁块、烧红了的金属设备等)。炽热体与可燃物接触引起着火的速度有快有慢,这主要决定于炽热体所带的热量和物质的易燃性、状态,其点燃过程是从一点开始扩及全面。

③ 火星

火星是在铁与铁、铁与石、石与石的强力摩擦、撞击时产生的,是机械能转为热能的一种现象。根据光测高温计测量,这种火星的温度约有 1 200℃,可引燃可燃气体或液体蒸气与空气的混合物,也能引燃某些固体物质,如棉花、布匹、干草、糠、绒毛等。

④ 电火花

电火花是指两电极间放电时产生的火花,两电极间被击穿或者切断高压接点时产生的白