



HUAGONG SHENGCHAN FANGHUO FANGBAO SHIYONGZHINAN

化工生产 防火防爆 实用指南

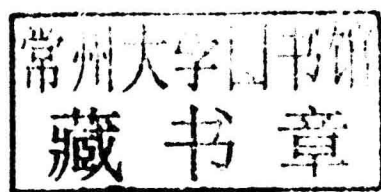


● 马良 杨守生 主编

宁夏人民教育出版社

化工生产防火防爆实用指南

马 良 杨守生 主编



宁夏人民教育出版社

图书在版编目(CIP)数据

化工生产防火防爆实用技术/马良,杨守生主编.
银川:宁夏人民教育出版社,2004.11
ISBN 7-80596-749-0

I.化... II.①马...②杨... III.①化学工业-防火②科学工业-
防爆 IV.TQ086.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 113353 号

化工生产防火防爆实用指南 马良 杨守生 主编

责任编辑	师传岩
封面设计	董雅莉
责任印制	来学军
出版发行	宁夏人民教育出版社
地 址	银川市北京东路 139 号出版大厦
经 销	新华书店
印 刷	宁夏华地彩色印刷厂
开 本	787×1092mm 1/16
印 张	19.75
字 数	400 千
版 次	2004 年 12 月第 1 版
印 次	2004 年 12 月第 1 次印刷
印 数	1000 册
书 号	ISBN7-80596-749-0/TQ·1
定 价	50.00 元

版权所有 翻印必究

前 言

化工生产具有自动化程度高、连续性强、易燃、易爆等特点,其发生火灾爆炸事故的几率高、损失大,容易发生重特大火灾爆炸事故。

近几年发生了多起特大危险化学品事故,诸如1997年6月27日,北京东方化工厂发生特大爆炸事故,近20个贮罐同时燃烧,着火区域达到6万多平方米,直接经济损失达1.17亿元,40余人受伤,8人死亡;1998年4月28日,河北省石家庄市电镀一厂化工车间爆炸,造成6人死亡,10人受伤,4层的厂房全部过火,直接财产损失547.6万元;1998年3月西安液化石油气贮罐火灾爆炸,2001年9月沈阳大龙洋石油公司特大火灾爆炸事故,都直接造成严重的经济损失和重大人员伤亡,影响到人们的正常生产和生活。

为了加强消防安全工作,普及防火防爆知识,化工安全技术协会防火防爆委员会主持编写了这本《化工生产防火防爆实用指南》。本书从实用的角度出发,介绍与防火防爆有关的燃烧与爆炸的基本概念,化工生产过程火灾危险性的分析及防火防爆的基本措施;阐述了典型化工生产过程及危险化学物品的防火防爆对策,化工生产装置安全检修的措施和流体泄漏的处置技术;论述了化学事故应急救援的原则、程序、方法和化工火灾事故的处置,灭火剂及其选择。

本书在编写过程中,注重实用性与系统性,力求内容简明,深入浅出,通俗易懂,涉及内容广泛。本书为从事化工生产及从事化工生产相关的人员编写,特别适合作为化工行业广大安全、消防保卫干部及专职、义务消防队员自学和培训教材,也可作为从事化学物品生产、储存、运输工作人员的学习参考和企业相关从业人员的培训教材,还可作为消防部门对企业单位相关人员的培训参考用书和中队指挥员参考用书,也是消防工程专业学员学习的参考书。

尽管我们力求完美,但由于化工生产涉及面广,技术性强,且编者水平有限,时间仓促,难免有所疏漏,衷心希望广大读者指正。

编者

2004年9月

目 录

第一章 燃烧与爆炸	1
第一节 燃烧	1
第二节 爆炸	10
第二章 化工生产过程火灾爆炸事故类型及预防措施	18
第一节 化工生产过程火灾危险性分析	18
第二节 化工生产过程火灾与爆炸事故类型	24
第三章 化工防火防爆基本措施	46
第一节 可燃物与点火源的控制	46
第二节 控制点火源	48
第三节 工艺参数的安全控制	54
第四节 防火防爆安全装置	56
第五节 电气防火防爆	64
第六节 危险设备与作业的消防安全	74
第七节 主要动力站房的防火防爆	79
第四章 常见化工生产过程防火防爆	83
第一节 炼油生产典型工艺防火防爆	83
第二节 氯碱生产典型工艺防火防爆	96
第三节 农药生产典型工艺防火防爆	106
第四节 橡胶生产典型工艺防火防爆	114
第五节 氮肥生产典型工艺防火防爆	122
第六节 油漆生产典型工艺防火防爆	131
第七节 医药生产典型工艺防火防爆	143

第五章 危险化学品储运的消防安全管理	151
第一节 危险品的分类和标志	151
第二节 各类危险品的危险特性	156
第三节 危险化学品的储存	190
第四节 危险化学品的运输	206
第五节 危险化学品的生产和使用	213
第六节 危险化学品的销毁	216
第六章 化工生产设备检修防火防爆	218
第一节 化工生产装置检修的准备工作	218
第二节 装置停车的安全处理	223
第三节 化工装置安全检修	229
第四节 装置检修后开车	240
第七章 化工生产设备泄漏及其堵漏技术	242
第一节 化工生产常见的泄漏	242
第二节 流体泄漏的堵漏技术	255
第八章 化学事故应急救援	264
第一节 化学事故概述	264
第二节 化学事故应急救援	265
第三节 化学事故现场急救	273
第四节 化学事故应急救援预案的制定与演练	280
第五节 化工生产火灾事故的扑救	285
第六节 灭火剂	289
附录	293
参考文献	306

第一章 燃烧与爆炸

第一节 燃 烧

一、燃烧

1. 燃烧的本质

燃烧是物质相互作用,同时伴有发热和发光现象的化学反应过程,在反应过程中物质会改变原有的性质变成新的物质。所以,放热、发光、生成新物质是燃烧的三个特征。

2. 燃烧的必要条件

可燃物、助燃物和点火能源是燃烧的三个条件,即通常所说的燃烧三要素或燃烧三角形(如图 1-1 所示)。只有当这三个条件同时存在并相互发生作用时,燃烧才有可能发生,缺少其中任一条件,燃烧便不会发生。所以,所有的防火措施都在于防止这三个条件同时存在,所有的灭火措施都在于消除其中的任一条件。

用燃烧三角形来表示无焰燃烧的基本条件是非常确切的。但对于有焰燃烧,因过程中存在未受抑制的游离基(自由基)作中间体,在燃烧三角形中需增加一个坐标,形成燃烧四面体(如图 1-2)所示。自由基是一种高度活泼的化学基团,能与其他自由基和分子起反应,从而使燃烧按链式反应扩展。因此,有焰燃烧的发生需要四个必要条件,即可燃物、氧化剂、温度和未受抑制的链式反应。

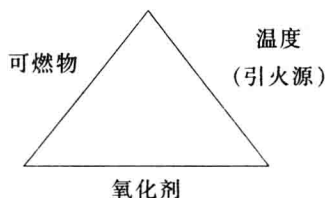


图 1-1 燃烧三角形

3. 燃烧的充分条件

具备了燃烧的必要条件,并不意味着燃烧必然发生。在各种必要条件中,还有一个“量”的概念,这就是发生燃烧或持续燃烧的充分条件。

(1)一定的可燃物浓度。

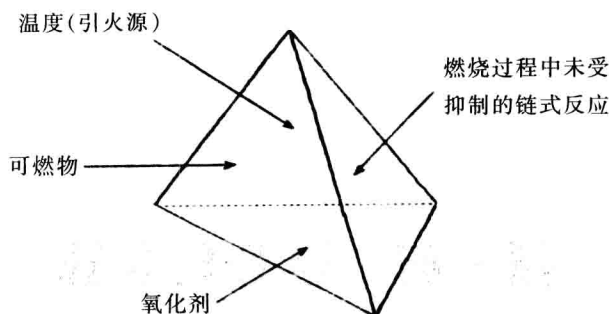


图 1-2 燃烧四面体

可燃气体或蒸气只有达到一定浓度时,才会发生燃烧或爆炸。如:甲烷只有在其浓度达到 5% 时,才有可能发生燃烧;而车用汽油在 -38°C 以下则不能达到燃烧所需的浓度,即使有充足的氧气和明火,仍不能发生燃烧。

(2) 一定的氧气含量。

各种不同的可燃物发生燃烧,均有本身固定的最低含氧量要求。低于这一浓度,虽然燃烧的其他条件全部具备,燃烧仍不会发生。如:汽油燃烧的最低含氧量要求为 14.4%,煤油为 15%,乙醚为 12%。

(3) 一定的点火能量。

各种不同可燃物发生燃烧,均有本身固定的最小点火能量要求。如:在化学计量浓度下,汽油的最小点火能量为 0.2mJ,乙醚(5.1%)为 0.19mJ。

(4) 未受抑制的链式反应。

对于无焰燃烧,以上三个条件同时存在,相互作用,燃烧即会发生。而对有焰燃烧,除以上三个条件外,由于燃烧过程中存在未受抑制的游离基(自由基),能够形成链式反应,使燃烧持续下去,亦是燃烧的充分条件之一。

4. 灭火的基本原理

(1) 冷却灭火。

对一般可燃物而言,它们之所以能够持续燃烧,其条件之一就是它们在火焰或热的作用下,达到了各自的着火温度。因此,对于一般可燃固体,将其冷却到其燃点以下就可以终止燃烧;对于可燃液体,将其冷却到闪点以下,燃烧反应就会终止。用水扑灭一般固体物质的火灾,主要是通过冷却作用来实现的。水能够大量吸收热量,使燃烧物的温度迅速降低,最后导致燃烧终止。

(2) 窒息灭火。

各种可燃物的燃烧都需要在其最低氧浓度以上进行,低于此浓度时,燃烧不能持续。一般碳氢化合物的气体或蒸气通常在氧浓度低于 15% 时不能维持燃烧。用于降低氧浓度的气体有二氧化碳、氮气、水蒸气等。通过稀释氧浓度来灭火的方法,多用于密闭或半密闭空间。

(3) 隔离灭火。

可燃物是燃烧条件中的主要因素,如果把可燃物与引火源以及氧隔离开来,那么燃烧反应就会终止。火灾中,关闭有关阀门,切断流向着火区的可燃气体和液体的通道;打开有关

阀门,使已经发生燃烧的容器或受到火势威胁的容器中的液体可燃物通过管道导至安全区域,都是隔离灭火。这样残余可燃物烧尽后,火也就自熄了。

此外,用喷洒灭火剂的方法,把可燃物同氧和热隔离开来,也是通常采用的一种灭火方法。泡沫灭火剂灭火,就是用产生的泡沫覆盖于燃烧液体或固体的表面,在起到冷却作用的同时,还把可燃物与火焰和空气隔开,达到灭火的目的。

(4) 化学抑制灭火。

物质有焰燃烧中的氧化反应,都是通过链式反应进行的。碳氢化合物的气体或蒸气在热和光的作用下,分子被活化,分裂出活泼氢自由基 $H\cdot$ 。 $H\cdot$ 与氧作用生成 $OH\cdot$ 、 $O\cdot$ 等自由基,成为链式反应的媒介物使反应迅速进行。对于含氧的化合物,燃烧的速度决定于 $OH\cdot$ 的浓度和反应的压力。对于不含氧的化合物, $O\cdot$ 的浓度决定了燃烧的速度。因此,如果能够有效地抑制自由基的产生或者能够迅速降低火焰中 $H\cdot$ 、 $OH\cdot$ 、 $O\cdot$ 等自由基的浓度,燃烧就会终止。许多灭火剂都能起到这样的作用,如干粉灭火剂,其表面能够捕获 $OH\cdot$ 和 $H\cdot$,使之结合成水,自由基浓度急剧下降,导致燃烧终止。

二、燃烧的过程和形式

大多数可燃物质的燃烧是在蒸气或气态下进行的。由于可燃物质的聚集状态不同,其受热所发生的燃烧过程和形式也不同。

1. 可燃气体燃烧的过程和形式

(1) 气体燃烧过程。

可燃气体的燃烧过程与其化学组成有关。简单的可燃气体(如氢气)燃烧只经过受热的氧化过程,而复杂的可燃气体(如甲烷)燃烧,要经过受热、氧化、分解等过程才能进行。气体的燃烧过程参见图 1-3。

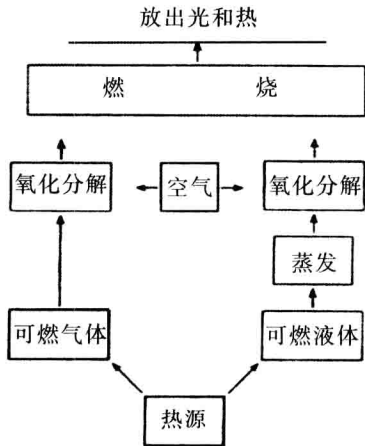


图 1-3 可燃气体和液体的燃烧过程

(2) 气体燃烧形式。

当可燃气体从管口、容器的裂缝流向空气时,可燃气体分子和空气分子互相扩散、混合,其混合浓度达到爆炸范围,遇火源即能着火燃烧,形成火焰,并能使燃烧持续下去,这种燃烧称为扩散燃烧。

可燃气体与助燃气体在管道、容器或空间中扩散混合,其浓度在爆炸范围内,此时遇点火源即会发生燃烧,这种燃烧在混合气体所分布的空间中快速进行,称之为混合燃烧。

2. 可燃液体燃烧的过程和形式

(1) 液体燃烧过程。

可燃液体在火源或热源作用下,首先蒸发,然后氧化、分解进行燃烧。开始时燃烧速度较慢,火焰也不高,因为这时的液面温度低,蒸发速度不快,蒸气量较少。随着燃烧时间延长,火焰对液体表面传热,使表面温度上升,蒸发速度和火焰温度同时增加,这时液体就会达到沸腾的程度,使火焰显著增高。如果不能阻断空气,可燃液体就可能完全烧尽。

多组分混合可燃液体燃烧时,先蒸发出低沸点的组分,而重组分即高沸点组分开始蒸发的很少,因此多组分混合可燃液体在燃烧过程中,剩余的高沸点组分逐渐相对增加,这些组分的闪点、密度、黏度也相应增高。原油及其产品均为多组分混合可燃液体,在燃烧过程中,会发生上述情况。

(2) 液体燃烧形式。

可燃液体的燃烧,实质上是燃烧可燃液体蒸发出来的蒸气,所以称为蒸发燃烧,其燃烧过程参见图1-3。难挥发的可燃液体受热后分解出可燃性气体,然后这些可燃性气体进行燃烧,这种燃烧形式称为分解燃烧。

3. 可燃固体的燃烧过程和形式

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。

(1) 简单可燃固体燃烧。

硫、磷、钾等都属于简单的可燃固体,由单质所组成。它们燃烧时,先受热熔化,然后蒸发变成蒸气而燃烧,所以也属于蒸发燃烧。这类物质的燃点、熔点都比较低,只需要较少热量就可变成蒸气,而且没有分解过程,所以容易着火。

(2) 高熔点可燃固体燃烧。

固体碳和铝、镍、铁等金属熔点较高,在热源作用下不气化也不分解,它们的燃烧发生在空气和固体表面接触的部位,能产生红热的表面,但不产生火焰,燃烧的速度和固体表面的大小有关,这种燃烧形式称为表面燃烧。

(3) 低熔点可燃固体燃烧。

低熔点可燃固体常温下是固体,受热后迅速熔化,如石蜡、沥青、松香等。它们燃烧时,先受热熔化,然后蒸发、分解、氧化,直到燃烧出现火焰。例如用火柴点燃蜡烛,当火焰接近时,它并不马上燃烧,而是首先受热熔化,发生氧化分解,氧化分解产物和空气中的氧化合而进行燃烧,所以也称为分解燃烧。

(4) 复杂可燃固体燃烧。

这类物质有木材、煤、纸、棉麻纤维、橡胶、合成树脂等。它们在燃烧时,首先受热分解,生成气态和液态产物,然后气态和液态产物的蒸气再发生氧化燃烧。例如,木材开始受热时先蒸发出水分和二氧化碳,然后慢慢分解出一氧化碳、氢和碳氢化合物等可燃的气态产物,继而剧烈地氧化,直到出现有火焰的燃烧。因此,这种燃烧也是分解燃烧。

在火灾爆炸事故现场,可燃气体、液体、固体的燃烧通常不是孤立的,而是互相蔓延。扩散燃烧、混合燃烧、表面燃烧、蒸发燃烧、分解燃烧这五种燃烧形式之间也是可以互相转化或

者几种同时并发,一旦发生这种情况,往往会造成灾害性的后果。可燃固体的燃烧过程如图 1-4 所示。

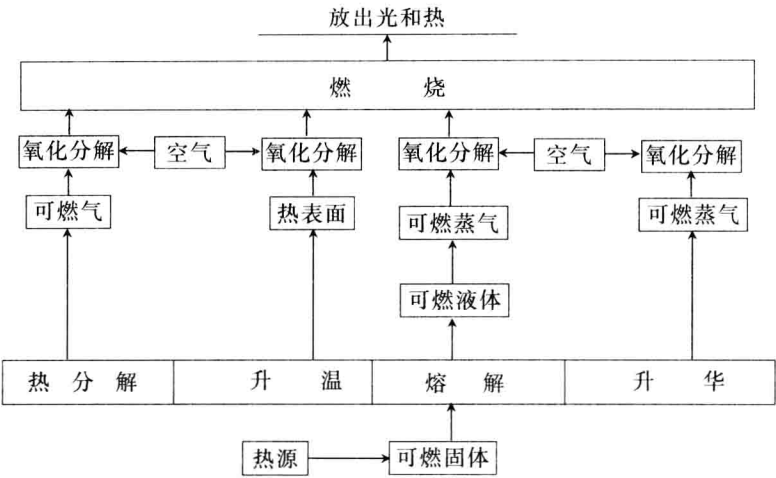


图 1-4 可燃固体燃烧过程

三、燃烧的种类

燃烧现象按形成的条件和瞬间发生的特点,分为闪燃、着火、自燃、爆燃等四种。

1. 闪燃

在液体(固体)表面上能产生足够的可燃蒸气,遇火能产生一闪即灭的火焰的燃烧现象,称为闪燃。液态可燃物表面会产生可燃蒸气,固态可燃物也因蒸发、升华或分解产生可燃气体或蒸气,这些可燃气体或蒸气与空气混合而形成可燃性气体,当遇明火时会产生一闪即灭的火苗或闪光的现象。

2. 阴燃

没有火焰的缓慢燃烧现象称为阴燃。一些固体可燃物在空气不流通、加热温度较低或含水分较高时会发生阴燃,如成捆堆放的棉、麻、纸张及大堆垛的煤、草、湿木材等易发生这类燃烧。

3. 爆燃

以亚音速传播的爆炸称为爆燃。爆燃反应中,穿过未燃烧介质的反应前端速度小于或等于声速(空气中约 340m/s)。

4. 自燃

可燃物质在没有外部明火等火源的情况下,因受热或自身发热并蓄热所产生的自行燃烧现象称为自燃。亦即物质在无外界引火源条件下,由于其本身内部所进行的生物、物理、化学过程而产生热量,使温度上升,最后自行燃烧起来的现象。

四、闪点、燃点与自燃点

1. 闪点

(1)定义。

在规定的实验条件下,液体(固体)表面能产生闪燃的最低温度称为闪点。闪点是衡量物质火灾危险性的重要参数。

(2) 液体的闪点。

①同系物的闪点随其分子量的增加而升高,随其沸点升高而升高。如甲醇闪点为 36°C , 苯的闪点为 -14°C , 二甲苯为 25.5°C 。

②同系物中异构体比正构体的闪点低;如异戊烷闪点为 -52°C , 正戊烷为 -10°C 。

③各组分混合液,如汽油、煤油等,其闪点随沸程的增加而升高。如沸程为 $50^{\circ}\text{C} \sim 60^{\circ}\text{C}$ 的汽油的闪点为 -58°C , 沸程 $80^{\circ}\text{C} \sim 110^{\circ}\text{C}$ 的汽油的闪点为 -24°C 。

④低闪点液体和高闪点液体形成的混合液,其闪点低于这两种液体闪点的平均值。如闪点为 -38°C 的车用汽油与闪点为 40°C 的煤油以 1:1 混合时其闪点低于 1°C 。

(3) 固体的闪点。

木材的闪点在 260°C 左右,从这一温度起木材热分解加快,放出的分解产物增多。

2. 燃点

(1)定义:在规定的实验条件下,液体或固体能发生持续燃烧的最低温度称为燃点。表 1-1 给出了一些物质的燃点。

表 1-1 一些物质的燃点

物质名称	燃点($^{\circ}\text{C}$)	物质名称	燃点($^{\circ}\text{C}$)
汽油(闪点 10°C)	16	木材	$250 \sim 300$
灯用煤油	86	松木粉	196
润滑油(闪点 285°C)	344	醋酸纤维素	305
航空润滑油	$230 \sim 260$	粘胶纤维素	235
乙醇(闪点 10°C)	$69 \sim 76$	乙基纤维素	291
豆油	220	尼龙 6	395
松节油	53	尼龙 66	415
石蜡	$158 \sim 195$	涤纶	390
蜡烛	190	腈纶	355
樟脑	70	有机玻璃	260
萘	86	聚乙烯	341
麦草	200	聚丙烯	270
烟叶	222	聚氯乙烯	391
麻	$150 \sim 200$	聚苯乙烯	$345 \sim 360$
纸张	$130 \sim 230$	聚苯乙烯粒料	296
棉花	$210 \sim 255$	氯乙烯-醋酸乙烯共聚物	$320 \sim 340$
蚕丝	$250 \sim 300$	苯乙烯-丙烯腈共聚物	366
赛璐珞粉	$130 \sim 140$	酚醛塑料	$520 \sim 540$
金属钾	70	硬质聚氨酯泡沫塑料	310
金属钠	100	杨木	447
硫	207	红松	430
三硫化四磷	92	枞木	437
炭黑	180	稻壳	200
红磷	160	松香	216
黄磷	34	无烟煤	$280 \sim 500$

(2)燃点与闪点的关系。

一切可燃液体的燃点都高于闪点。易燃液体的燃点一般比闪点高 1℃ ~ 5℃ ,而且液体的闪点越低,这一差值就越小。例如,对于汽油、丙酮等闪点低于 0℃ 的液体,这一差值仅为 1℃ ;闪点在 100℃ 以上的可燃液体,这一差值则可达 30℃ 以上。燃点对可燃液体及闪点较高的液体具有实际的意义。在控制物质燃烧时,需将温度降至其燃点以下。

3. 自燃点

(1)定义:在规定的条件下,可燃物质产生自燃的最低温度是该物质的自燃点。表 1 - 2、表 1 - 3、表 1 - 4 给出了一些典型固体、气体及液体蒸气和粉尘的自燃点。

表 1 - 2 几种固体的自燃点

名称	自燃点(℃)	名称	自燃点(℃)
樟脑	70	赛璐珞	100
纸张	130	棉花	150
漆布	165	蜡烛	190
布匹	200	麦草	200
硫磺	207	无烟煤	280 ~ 500

表 1 - 3 几种气体及液体在空气中的自燃点

名称	自燃点(℃)	名称	自燃点(℃)
氢	572	丁烯	443
一氧化碳	609	戊烯	273
二硫化碳	120	乙炔	305
硫化氢	292	苯	580
氢氟酸	538	环丙烷	498
己烷	248	甲醇	470
庚烷	230	乙醇	392
辛烷	218	乙醛	275
壬烷	285	乙醚	193
醋酸	650	丙酮	661

表 1 - 4 几种粉尘的自燃点

名称	自燃点(℃)	名称	自燃点(℃)
铝	645	碳酸树脂	460
铁	315	聚苯乙烯	490
镁	520	棉纤维	530
锌	680	烟煤	610
醋酸纤维	320	硫	190
合成硬橡胶	320	六次甲基四胺	410
有机玻璃	440	木粉	430

(2)影响自燃点的主要因素。

对于液体和气体可燃物而言,压力越高,自燃点越低;混合气体中氧浓度越高,自燃点越低;正催化剂能降低自燃点,负催化剂能提高自燃点,不同材质的器壁有不同的催化作用;容器直径越小,自燃点越高。

对于固体可燃物而言,受热挥发出的可燃物越多,其自燃点越低;固体颗粒越细,其表面积越大,自燃点越低;可燃固体长时间受热,其自燃点会有所降低。

五、燃烧特性

1. 燃烧温度

(1) 理论燃烧温度。

理论燃烧温度是指可燃物遇空气在绝热条件下完全燃烧,所释放出来的热量全部用于加热燃烧产物,使燃烧产物达到的最高燃烧温度。某些可燃物的燃烧温度见表 1-5。

(2) 实际燃烧温度。

可燃物燃烧的完全程度与可燃物在空气中的浓度有关,燃烧放出的热量也会有一部分散失于周围环境,燃烧产物实际达到的温度称为实际燃烧温度,也称火焰温度。实际燃烧温度不是固定值,它受可燃物浓度和一系列外界因素的影响。

表 1-5 可燃物在空气中的燃烧温度

名称	燃烧温度(℃)	名称	燃烧温度(℃)
甲醇	1100	天然气	2020
乙醇	1180	石油气	2120
乙炔	2325	原油	1100
乙烯	2102	汽油	1200
丙烯	2065	重油	1000
甲烷	1963	一氧化碳	1680
乙烷	1971	二硫化碳	2195
丙烷	1977	氢	700
丁烷	1982	木材	1000 ~ 1177
氢	2130	烟煤	2100 ~ 2250
煤气	1600 ~ 1850	褐煤	1400 ~ 1950

2. 燃烧速度

(1) 气体的燃烧速度及影响因素。

如果把浓度在爆炸范围内的可燃气与空气的混合气体点燃,火源的能量使临近的混合气产生游离基,游离基作为活性中心使附近的混合气层发生化学反应,发生反应的混合气体层又成为新的火源和活化中心源,使下一层混合气体发生化学反应,以此层层传播,反应层也称为反应带。这是一种强烈的自身加速反应,由反应带放出的热量强烈地预热邻近的混合气体层,使化学反应在极薄的反应带内完成,化学反应进行完全的区域称为火焰锋。火焰锋的界限并不明显,但由于在火焰锋区域内反应剧烈,各组分浓度和温度不会都非常明显,所以火焰锋是可以观察到的。火焰锋的厚度一般不超过 1mm,经常把火焰锋当作冷可燃物混合气和热燃烧产物之间的界面,如图 1-5 所示。

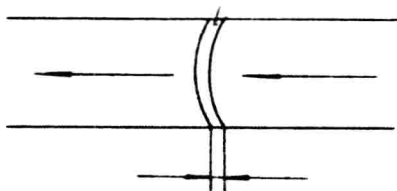


图 1-5 火焰传播示意图

火焰在可燃介质中的传播速度也称为燃烧速度,它是燃烧过程最重要的特征,决定着燃烧过程的强度,在火灾条件下也是决定火灾蔓延速度和损失严重程度的重要参数。当可燃混合气体从管口或裂缝喷出并且着火时,如果流速大于火焰锋在管内的传播速度,则在管口或裂缝处形成稳定的火焰锋。如果可燃混合气体流出速度小于火焰锋在管内的传播速度,则会发生逆火。这种情况有可能引发或扩大火灾爆炸事故。

可燃气体燃烧不需要像固体那样经过熔化、蒸发的过程,像液体那样经过蒸发的过程,而是在常温下就具备了气相的燃烧条件,所以燃烧速度较快。可燃气体的组成、浓度、初温、燃烧形式和管道尺寸对燃烧速度有重要影响。

①气体的组成和结构。组成简单的气体比组成复杂的气体燃烧速度快。氢的组成最简单,热值也较高,所以燃烧速度快。氢气的燃烧,只需经过受热、氧化即可点燃,在空气中的最大燃烧速度为 4.83m/s (含量为 38.5%)。可燃气体的燃烧速度也和它的结构有关,如乙炔分子中含有不饱和键,它的燃烧速度较快,乙炔含量为 10.2% 时,燃烧速度为 1.63m/s 。

②可燃气体含量。从理论上说,可燃气体为化学计算含量时,混合气体的热值最大,燃烧温度最高,燃烧速度也最快。可燃气体高于或低于此含量时,燃烧速度都会变慢。

③初温。可燃混合气体的燃烧速度随初始温度的升高而加快,混合气体的初始温度越高,则燃烧速度越快。石油化工生产的各种工艺中可燃气体温度都很高,也就是说这些可燃气体的初始温度很高,一旦由于某种原因起火,就会因为燃烧速度快而在极短的时间导致爆炸。

④燃烧形式。由于气体分子间扩散速度比较慢,所以扩散燃烧形式的气体燃烧速度比较慢,它的燃烧速度取决于气体分子间的扩散速度。混合气体因可燃气和助燃气已混合均匀而构成预混气,它燃烧速度取决于本身的化学反应速度。混合燃烧的速度要比扩散燃烧的速度快得多。一些使用气体燃料的加热炉、焚烧炉点火时,采用可调节控制的、稳定的扩散燃烧方式。如果因为设备缺陷和操作失误,在炉膛内充满了可燃混合气体,点火时就会发生爆炸,这是因为混合燃烧速度极快所致。

⑤管道。管道直径对火焰的传播速度有明显的影响。一般情况下,火焰传播速度随着管道直径的增加而加快。当管道直径增加到某个极限尺寸时,速度就不再增加。同样,传播速度随着管道直径减小而减慢,当管径小到某种程度时,火焰在管道中就不能传播。

(2) 液体的燃烧速度及影响因素。

液体的燃烧速度在工业上有两种表示方法:一种是以单位面积上单位时间内烧掉的液体质量来表示,叫做液体燃烧的质量速度;另一种是以单位时间内烧掉液层的高度来表示,叫做液体燃烧的直线速度。液体燃烧的初始阶段是蒸发,然后蒸气分解、氧化达到自燃点而燃烧。液体蒸发需要吸收热量,它的速度是比较慢的,所以液体的燃烧速度主要取决于它的蒸发速度。液体蒸发燃烧时可以是扩散燃烧形式,也可以是混合燃烧形式。显然,混合燃烧速度比扩散燃烧速度快得多,发生在油罐液面上方的混合燃烧可以使油罐爆炸。

一般来说,易燃液体的燃烧速度高于可燃液体的燃烧速度。多种组分混合液体的燃烧速度往往是先快后慢。例如,原油、汽油、煤油、重油及其他石油产品燃烧时,先蒸发出来的是燃烧速度快的低沸点组分,随着燃烧的进行,液体中高沸点组分含量相对增加,相对密度、粘度、闪点也相对增高,蒸发速度逐渐降低,燃烧速度也逐渐减慢。

初始温度对液体的燃烧速度有影响。初温越高,燃烧速度越快。例如,苯在初温 16°C 时的燃烧速度为 $165.37\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$;在 40°C 时为 $177.18\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$; 60°C 时为 $193.30\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。

·h)。在燃烧过程中,火焰主要以辐射形式向表层液体传入大量热,使表层液体蒸发,同时也提高了表层的温度,加快液体的燃烧速度。

液体的含水量影响着燃烧速度。通常不含水的液体比含水的液体燃烧速度快,对重质石油产品(如重油、润滑油等)着火初期的影响尤为显著。

如果液体燃烧在罐内进行,其速度与罐直径、罐内液面高低有关。一般来说,燃烧速度随储罐直径的增加而加快。储罐内液面较高时,因上部空间较少,燃烧时火焰根部离液面较近,辐射传热较多,所以储罐液面较高时比液面较低时的燃烧速度快。

风对液面的燃烧速度有一定的影响。一般来说,风速越快,储罐内液体的燃烧速度越快,如柴油在罐径为1.3m的储罐内燃烧时,当风速从0m/s增至3m/s时,燃烧速度增加30%~40%。只有当风速达到某一临界值时,燃烧速度才下降,甚至吹灭火焰。但是,风对火焰沿液体表面蔓延有很大影响。如果风向与火焰蔓延方向一致,则火焰速度就急剧增加。一旦出现这种情况,往往会带来极其严重的后果。

(3) 固体物质的燃烧速度。

固体物质的燃烧速度一般小于可燃气体和液体的燃烧速度。不同组成、不同结构的固体物质,燃烧速度有很大差别。例如萘的衍生物,石蜡、三硫化磷、松香等固体物质,燃烧过程要经过熔化、蒸发、分解氧化、起火燃烧等几个阶段,一般速度较慢。又如硝基化合物、硝化纤维及其制品等,因本身含有不稳定的含氧基团(如 $-\text{NO}_2$ 、 $-\text{ONO}_2$ 等),它们是先分解后燃烧,不需要外界供氧,在燃烧过程中还有自催化作用加速反应,所以燃烧反应激烈,速度很快。固体物质的燃烧速度也和燃烧时的风向和风力有关。对于同种固体物质,燃烧速度还和固体物质含水量、比表面积(表面积对体积的比值)有关,固体物质的比表面积越大,燃烧速度越快。

第二节 爆 炸

一、爆炸与爆炸分类

物质由一种状态迅速转变成另一种状态,并在瞬间以声、光、热和机械功等形式放出大量能量的现象叫作爆炸。爆炸做功的根本原因在于系统内存在高压气体,瞬间形成的高压气体或蒸气骤然膨胀。实质上爆炸是一种极为迅速的物理或化学的能量释放过程。

爆炸可分为三种类型,即爆裂、化学爆炸和核爆炸。

1. 爆裂

爆裂是由物理变化引起的,爆裂前后物质的成分和性质均不改变,如锅炉的超压爆炸。地壳弹性压缩引起的地壳运动(地震),也是一种强烈的爆裂现象。最大的地震能量可达到 $10^{16}\text{J} \sim 10^{18}\text{J}$,比 1.00×10^6 吨TNT炸药爆炸的威力还要大。

化工生产中的各类液化气体储罐,由于充装过量,压力超过规定可能会引起爆裂;锅炉或其他压力容器,由于设计错误或者由于腐蚀、过热、长期超压、超负荷等造成强度降低,或者由于操作不当,反应剧烈造成压力容器的压力急剧升高,安全泄放装置失灵,都有可能造成爆裂。

2. 化学爆炸

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。

(1) 爆炸性物品爆炸的特点。

与气体混合物的爆炸相比,爆炸性物品的爆炸有下列特点:

①爆炸的反应速度非常快。爆炸反应一般在 $10^{-5}\text{s} \sim 10^{-6}\text{s}$ 间完成,爆炸传播速度(爆速)一般在 $2000\text{m/s} \sim 9000\text{m/s}$ 之间。由于反应速度极快,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度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 $2900\text{kJ/kg} \sim 6300\text{kJ/kg}$,可产生 $2400^{\circ}\text{C} \sim 3400^{\circ}\text{C}$ 的高温。气态产物依靠反应热被加热到数千度,压力可达数万个兆帕,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 $700\text{L} \sim 1000\text{L}$ 气体,由于反应热的作用,气体急剧膨胀,但又处于压缩状态,数万个兆帕压力形成强大的冲击波使周围介质受到严重破坏。气体混合物爆炸时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 。

(2) 化学性爆炸分类。

根据爆炸时的化学变化,爆炸可分为四类:

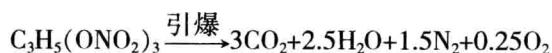
①简单分解爆炸。

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。属于这类爆炸的物质有叠氮铅、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为:



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 8625m/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(或氧气)混合后,形成爆炸性混合物,这类爆炸的爆炸破坏力虽然比前两类小,但实际危险要比前两类大,这是由于化工生产形成爆炸性混合物的机会多,而且往往不易察觉。

爆炸混合物的爆炸需要一定的条件,即可燃物与空气或氧气达到一定的混合浓度,并且