

可燃性工业粉尘爆炸的分析和预防

闫安政

(化工系)

摘 要

工业生产的很多部门,由于机械原因,产生的分散于空气中的可燃性粉尘,遇火会象炸药一样产生爆炸。本文分析了引起爆炸的原因,影响爆炸的因素,产生爆炸的条件,并提出了一些预防爆炸的措施。

关键词: 粉尘, 悬浮, 气相非均一系, 爆炸。

工业生产的很多部门,由于机械原因,会产生大量的粉尘悬浮于空气中,称为气相非均一系。例如在某些化工厂、化工矿的生产和粉碎中,在棉纺厂、麻纺厂,面粉厂、煤矿等的生产中,由于大量粉尘的生成,不仅损失物料,影响工人的身体健康,而更严重的是有可能会发生爆炸,造成更严重的后果。本文仅对这种气相非均一系的爆炸性进行分析。

一、爆炸的危害

国内外因为空气中含有可燃性的固体粉尘超过安全系数而发生爆炸的事例已有多起。在化工厂的容器和管道中输送含可燃性粉尘的气体时,有发生爆炸的危险,如袋式过滤器中就易发生。日本某化工厂输送粉碎后的钙硅矿石,由于空气未置换彻底,使该矿石粉尘爆炸,死伤5人。较近的如1982年10月18日法国的一家麦芽厂的粮食仓库发生大爆炸,炸毁混凝土粮仓4座,伤亡十多人,爆炸的原因据查是由粮食粉尘所致。在美国20年来发生400多起粮仓爆炸事件,死亡200多人,损失几千万美元。根据调查分析和模拟实验证明,悬浮于空气中的粮食粉尘是引起爆炸的主要原因。因此,美国的一份研究报告认为:“粮食粉尘是这类粮仓的头号敌人。”

1803年美国有人就提出煤矿矿井的爆炸可能与空气中的煤尘有关。即注意到了煤尘悬浮于空气中有引起爆炸的危险。1906年法国一个煤矿矿井发生了严重的煤尘爆炸事故,约有1100人死亡。据有人实验证明,很细的煤粉,即使可燃的挥发物含量较低或者煤粉中含有一定量水份,即使不含可燃挥发物时也会爆炸。

最近有人注意到空气中悬浮有硫的粉尘的爆炸性,因硫粉的着火点低,故硫粉比煤尘更具有危险性,这也是硫矿更应注意的问题。

在我国也有这样沉痛的教训,1987年3月15日凌晨哈尔滨亚麻厂发生大爆炸,死伤200多人,三个车间被毁。究其原因,就是空气中的亚麻粉尘超过安全系数引起的。

爆炸的破坏力,一方面是由于爆炸产生的高温,更重要的是爆炸产生的冲击波。当冲击

波通过时, 空气介质的特性发生急剧的变化, 即空气压力、密度、温度和移动速度几乎是发生瞬间的变化, 造成很大的破坏力。

另外, 当有机物粉尘爆炸时, 生成有害的 CO 、 CO_2 气体, 硫磺粉尘爆炸时, 生成有害的气体 SO_2 , 这些气体造成中毒的危险很大。

二、爆炸的原因和影响因素

所谓爆炸, 是伴随着激烈的化学变化, 发生物质状态的突变, 并急速的放出热量, 从而伴随压力的急剧升高。

当点燃一块干的面团或一块煤时, 比较困难, 即使点燃, 燃烧也是很慢的。但当以细粉悬浮于空气中时, 遇火就会爆炸。这是因为化学反应与物质和空气的接触面积成正比, 而同样质量的物质, 细粉状比块状的表面积大得多, 一块边长10cm的正方体的固体将其研成10微米的颗粒, 则表面积增大一万倍。

燃烧时化学反应的速度与温度和压力有关, 温度每增加10[$^{\circ}\text{C}$], 反应速度增大2~4倍, 如当温度由室温提高到1000[$^{\circ}\text{C}$]时, 反应速度能加快几百万倍。压力增加, 反应速度也加快。在一般的燃烧过程中, 物质燃烧层产生的热量, 在固体中是以热传导的方式传向未反应的物料层, 在气体中是以对流的方式传向未反应的物料区, 由此获得的传热速率不大, 所以燃烧可以平稳的进行。但如果在反应区产生的并受反应热量加热过的气体的化学反应急剧加速时, 则该部分气体开始必处于高压之下。当它膨胀时, 这部分气体就冲击着前面未反应的物质, 在这种冲击的影响下, 未反应的物质和空气就受到压缩。这种压缩作用形成的冲击波, 就成为微粒悬浮区内产生化学反应的起因, 且冲击波的传播速度比传热的速度大得多, 故反应速度极快。因此, 伴随有化学反应而引起压力的急剧升高就是爆炸和燃烧的根本区别所在。由于气相非均一系的爆炸是在整个空间进行的, 所以危害大, 破坏力强。

气相非均一系的爆炸强度, 取决于粉尘的化学和热力学性质、微粒的尺寸、形状和在空气中的浓度以及空气的湿度、点火源的情况。

三、爆炸的条件

由以上分析可知: 悬浮于空气中的可燃性尘粒形成的非均相物系, 会像炸药一样引起大爆炸。气相非均一系的爆炸, 一般属于着火破坏型爆炸, 即容器和管道的可燃性粉尘, 由点火源给以能量, 引起燃烧、分解, 由此化学反应产生压力的急剧升高, 产生破坏容器和建筑物的爆炸。它的爆炸需要具备以下条件:

(1)、可燃性粉尘分散于空气中。对同一可燃性粉尘, 当其处于堆积状态或在容器中密集收存时, 是不会发生粉尘爆炸的。

(2)、空气中的粉尘需超过一定含量, 即超过某一临界值。在加工化工产品、化工矿物、谷物、染料、塑料、纤维等时形成的有机物和金属(如镁、铝、锌)的尘埃微粒, 均具有发火性。在空气中能引起粉尘爆炸的浓度称为爆炸浓度, 能引起爆炸的最高浓度称为爆炸上限, 最低浓度称为爆炸下限。某些物质粉尘的爆炸下限列表如下:

序号	粉尘名称	(雾状)自燃点 [°C]	爆炸下限(g/m³)
1	酚醛树脂	460	25.00
2	聚乙烯树脂	450	25.00
3	有机玻璃	440	20.00
4	硫 磺	190	35.00
5	肥 皂	430	45.00
6	烟 煤	610	35.00
7	麦 粉	470	60.00
8	谷物淀粉(加工的)	470	45.00
9	棉纤维	440	50.00
10	铁硅(89%硅)	860	425.00
11	铝	645	35.00
12	锌	680	500.00

从表中可断定, 自燃点低的粉尘, 爆炸的危险性更大。

这些物质的粉尘爆炸的上限临界值约为: 700~800[克/米³], 某些物质甚至更高, 如糖粉的爆炸上限为13500[克/米³], 因爆炸上限值很大, 多数情况下生产厂房中不会达到, 故一般情况下只考虑爆炸下限。

气体混合物中含氧越多, 爆炸的可能性越大, 爆炸力也越大。如使含氧量小于16%, 则气体不会爆炸。但对某些粉尘也有例外, 如钙硅矿石, 具有与氧容易结合的性质, 粉尘爆炸后生成高温的氧化物CaO及SiO₂, 只要粉尘周围氧气浓度达到(10~11)%就会爆炸。

由上表可以看出, 粉尘爆炸下限的数值相当高, 一般都在(20~40)克/米³以上, 在空气中长时间的保持这种分散状态是不可能的。这是因为粉尘的粒度大小差异甚大, 粒度大的因重力作用很快自然沉降, 而使空气中粉尘浓度降至爆炸下限以下。此情况可用下面分析说明, 假设颗粒的沉降在沉降的层流区, 就可由斯托克斯方程计算沉降速度:

$$u_0 = \frac{d^2 (\rho_s - \rho) g}{18\mu} \quad [\text{m/S}]$$

式中: u_0 ——粉尘颗粒的沉降速度[m/S]

d ——粉尘颗粒的直径[m]

ρ 、 ρ_s ——分别为空气和固体的密度[kg/m³]

g ——重力加速度

μ ——空气的粘度[N·S/m²]

由上式分析可知, 在同一系统中, 如: 两个颗粒, 若 $d' = 2d$, 则 $u_0' = 4u_0$, 即粒子直径大1倍, 则沉降速度大三倍。如颗粒直径增大三倍, 则沉降速度增大15倍。若粉尘粒径大到使颗粒沉降在沉降的过渡区或湍流区, 其沉降速度将更大, 将因重力很快从气相中分离出来。这说明粉尘在气相中达到或超过爆炸下限浓度的时间是短暂的, 只有在这短暂的时间内, 遇火才会爆炸。

可用原子弹爆炸来帮助说明爆炸下限问题, 原子弹中的铀在平时分开的两块都小于临界

值, 故是安全的。当需要时, 使其迅速而且紧密的结合起来, 使总质量大于临界值, 就为原子弹爆炸的自行发生创造了条件。

(3)、需要有引爆源: 当具备了爆炸的物质条件时, 只要遇到点火源, 就可引爆可燃的气相非均一系。如果没有引爆源, 空气中的微尘含量达到甚至超过临界值也不会爆炸。这是因为: 温度较低时, 即使系统中存在有很少数的活性分子, 但其能量在和它周围大量非活性分子碰撞中而分散, 因此, 这种能量不会在系统中引起自行传播反应。若使反应成为可能, 必须增加活性分子的数量。当遇到加热使物质温度升高时, 活性分子的数量就会增加。任何的火源就可起到这样的作用。它可引起系统的局部产生激烈的化学反应, 并迅速传至整个系统而引起爆炸。作为点火源可以是:

(a)、电火花: 是最常见的爆炸点火源。例如加热装置或其他设备自动调温的继电器接点处飞出的电火花, 因其在设备内部, 常被忽视。又如非防爆电器或漏电的电器产生的火花, 也会成为点火源。

(b)、静电火花: 虽然粉尘爆炸比混合气体爆炸需要更大的点火能, 但有时静电也可成为点火源。静电是由于含尘气体在管道内流动时, 因撞击和管壁摩擦而使粉尘带电, 堆积在不导电的除尘设备内壁上, 使静电在这里蓄积, 当放电时, 产生静电火花, 会引起爆炸。

但应注意: 静电放电的能量小, 如放电达不到点火所需的能量, 也不会引起爆炸。所以, 当发生爆炸事故时, 应根据具体情况分析原因, 不能把原因弄不清楚时就归于静电。

(c)、其它点火源: 如吸烟、用电器的火花、鞋底铁钉与水泥地板碰撞产生的火花等。

综上所述, 即当飞扬分散于空气中的可燃性粉尘, 在保持高于爆炸下限浓度的短时间内, 发生有效点火, 才会爆炸。

四、爆炸的预防

工业生产的某些工序产生粉尘是不可避免的, 但为了防止重大灾害事故的发生, 必须切实采取措施预防爆炸。预防的办法, 可根据引起爆炸需要的条件来采取。预防爆炸的措施有:

(1) 惰性气体置换: 对工业生产中产生可燃性粉尘的容器和管道, 在生产之前首先用惰性气体置换其中空气, 使氧气浓度降低至某一临界值以下, 即使有点火源, 也绝不会引起着火, 因而不会爆炸。例如在破碎、研磨和混合的设备内, 在正常工作时, 因粉尘浓度大于爆炸上限而无危险。但停车时, 粉尘沉降, 浓度下降; 开车时, 粉尘浓度渐增, 都可能进入爆炸范围。此时对其中氧气浓度应特别注意。

置换所用的惰性气体, 可以是 N_2 、 CO_2 或者是经冷却、除尘、脱硫后的锅炉废气。

(2)、降低空气中固体粉尘的浓度, 使空气中粉尘含量降至临界值以下。例如可在产生粉尘的车间设置通风和除尘设备或者在产生粉尘的设备上安装密封装置, 以免粉尘飞散到厂房中。在有可燃性粉尘的厂房中, 如分析、检测数据确认: 在空气中, 其含量达到或超过爆炸下限数据的50%时, 则应加强通风, 以降低爆炸性粉尘的浓度。而且要用除尘设备清

除墙壁、设备和建筑物其他部位沉积的粉尘，以防再次飞散于空气中。

(3)、切断引爆源：在现场应绝对禁止明火火源，且要防止可能产生火花的隐患。例如给用电设备安装防爆装置；禁止参观和工作人员穿带铁钉的鞋；为防止静电放电，可将设备和管道可靠的接地；为防止铁钉、螺栓、螺帽等金属块偶然落入产生粉尘的容器内和壁撞击而产生火花，可采用特制的金属捕集器。

在有粉尘爆炸危险的厂房工作，可采用防爆的扳手、管钳、铁锤等工具，它在和铁器猛烈撞击时，甚至用砂轮磨削时都不起火花，是易燃易爆场所必备的安全工具。

总之，发生过的灾害事故，带来了严重的物质和人员的损失，应该从国内外已发生的事故中吸取教训。凡是有可能产生可燃性粉尘的工厂、工段，都应采取有效措施，防止这些固体粉尘和空气形成的非均相物系爆炸事故的发生，保护国家财产和保障操作人员生命的安全。

参 考 文 献

- [1] T.乌尔班斯基著、欧育湘等译 《火炸药的化学与工艺学》(第Ⅲ卷) 国防工业出版社 1975
- [2] B.H.乌索夫等著、李悦等编译 《工业气体净化与除尘器过滤器》 黑龙江科学技术出版社 1934.11
- [3] 天津大学编:《化工原理》 天津科学技术出版社 1986.3
- [4] 金国森主编:《除尘设备设计》 上海科学技术出版社 1985.11
- [5] 北川徹三著:《爆炸事故的分析》(中译本) 化学工业出版社 1984.7

THE ANALYSIS OF THE EXPLOSION OF FLAMMABLE INDUSTRIAL DUST AND ITS PREVENTION

Yan An Zheng

(Chemical Engineering Department)

Abstract

Within many departments of industrial production, due to mechanical reasons, it will give out flammable dust suspending in the air, for example, the formation of organic substances, and metallic dusts (e.g. Mg, Al, Zn) in the production processes such as cereal product, dyestuffs, plastics, and filaments. The dust phase is a heterogenous system, and will explode when it meet with fire spark. Those accidents happened all over the world for many times. The high temperature and violent shock waves give very much distroying force, and make serious damage.

For the prevention of dust explosion;

(1)、Decrease the content of dust in the air, let it be lower than critical.

(2)、Cut down the origin of explosion.

Key words: Solid dust, heterogenous system, explode.