

可燃性粉尘爆炸及其预防控制

于立博¹, 贾晓东², 夏昭林¹

摘要: 生产性粉尘是我国目前最严重的职业有害因素, 接触人数众多。由于生产性粉尘的性质、浓度等不同, 其危害除引致大量尘肺病人的产生外, 还常常成为安全生产隐患。尤其是可燃性粉尘的爆炸往往对企业造成毁灭性的灾害, 引起巨大的人身伤害和经济损失。结合最近发生的可燃性粉尘爆炸事故, 本文就可燃性粉尘的危害及防控做一阐述。

关键词: 可燃性粉尘; 粉尘爆炸; 预防; 控制; 职业危害

Prevention and Control of Combustible Dust YU Li-bo¹, JIA Xiao-dong², XIA Zhao-lin¹ (1.School of Public Health, Fudan University, Shanghai 200332, China; 2.Shanghai Municipal Center for Disease Control and Prevention, Shanghai 200336, China). Address correspondence to XIA Zhao-lin, E-mail: zlxia@shmu.edu.cn
• The authors declare they have no actual or potential competing financial interests.

Abstract: Dust generated by industrial production is the most severe occupational hazard in China, which affects numerous exposed populations. Because of varied properties and concentrations, dust in production not only causes a large number of pneumoconiosis patients, but also becomes potential safety hazards. Especially, the explosion of combustible dust can cause devastating damages to enterprises, as well as huge death tolls or injuries and economic losses. This article, in view of a recent combustible dust explosion, described the characteristics of combustible dust in production and relevant preventive and controlling measures.

Key Words: combustible dust; dust explosion; prevention; control; occupational hazard

2014年8月2日发生在江苏昆山中荣金属制品公司的铝或铝合金粉尘爆炸, 造成了巨大的人员伤亡和财产损失, 这起事故留给人们“血的教训”引起了社会的广泛关注, 再次敲响了生产性粉尘防控的警钟。

生产性粉尘是当前我国危害最严重的职业性危害因素, 其导致的煤工尘肺、矽肺、硅酸盐肺和其他尘肺占我国职业病患者群体和新产生的职业病种类构成首位。生产性粉尘的危害除上述职业健康问题外, 其中可燃性粉尘爆炸所致的职业安全问题切不可忽视。

1 可燃性粉尘与粉尘爆炸定义

可燃性粉尘是指能与空气中的氧气等氧化剂发生化合反应, 短时间释放出大量燃烧热能并发生爆炸的一类粉尘。粉尘爆炸是指悬浮于空气中的可燃性粉尘颗粒物在接触到点火源(如明火、电火花、放电)时发生的爆炸。粉尘爆炸发生时, 火焰瞬间传播于整个混合粉尘空间, 化学反应速度极快, 同时释放大量的热, 形成高温和强压, 系统的能量转化为机械功、光和热的辐射, 具有很强的破坏力, 易产生二次或多次爆炸, 并

能产生有毒气体^[1-2]。

可燃性粉尘可以分为以下几类: 炸药粉尘(如三硝基甲苯粉尘、黑索金粉尘等); 金属粉尘(如镁粉、铝粉、铁粉、锌粉等); 煤炭粉尘; 合成材料粉尘(如染料、橡胶等); 农产品粉尘(如烟草、棉花、茶叶粉等); 林产品粉尘(如纸粉、木粉等); 粮食粉尘(如淀粉、奶粉、糖等); 饲料粉尘(如骨、鱼粉等)。

2 粉尘爆炸原理

厂矿生产过程中超过70%粉尘是可燃的。发生粉尘爆炸燃烧常见的原因是尘粒本身或其表面附着有较弱的还原剂(如C、H、N、S等元素), 当其与过氧化物及易爆粉尘共同存在时, 便发生氧化还原反应, 在化学反应过程中往往生成大量的气体, 有时气体量虽小, 但短时间内释放巨大的燃烧热能, 例如当铝粉与二氧化碳气体共同存在时就会有爆炸的危险。

粉尘爆炸是一个非常复杂的过程, 受到很多物理因素的影响, 其爆炸机理尚未完全明确。一般认为粉尘发生爆炸的难易程度与其物理、化学性质及环境条件等密切相关: (1)氧化速度。粉尘爆炸是粉尘表面粒子与氧化剂发生反应引起的, 一般认为氧化速度快的尘粒(如染料、镁粉、氧化亚铁等)容易发生爆炸。(2)燃烧热。当混合尘粒在与氧化剂发生化合反应时, 会释放大量的燃烧热, 燃烧热越大的物质(如碳、煤尘、硫磺等)越易发生爆炸。(3)荷电性。通常情况是易荷电的粉尘(如淀粉、合成树脂粉末、纤维类粉尘等)也易引起爆炸; 即使一些导电不良的物质在与机器或空气的不断摩擦过程中也能

DOI: 10.13213/j.cnki.jeom.2014.0142

[作者简介] 于立博(1974—), 女, 博士后; 研究方向: 职业病防治;
E-mail: yulibo2468@163.com

[通信作者] 夏昭林, E-mail: zlxia@shmu.edu.cn

[作者单位] 1. 复旦大学公共卫生学院, 上海 200332; 2. 上海市疾病预防控制中心, 上海 200336

够产生静电,当电荷积聚达到一定量时,就会放电产生电火花,成为爆炸的火源^[2]。

化学性质比较稳定的粉尘,如砂砾、氧化铁、土、石英粉等,一般不易与氧化剂发生化合反应,也不易燃烧并发生爆炸。但是,当这类粉尘存在于可燃气体中(如煤气、一氧化碳、油雾、甲烷等),也可引起爆炸。

3 粉尘爆炸发生的条件、特点和主要危害

发生粉尘爆炸应具备的条件:①高浓度可燃性粉尘在相对封闭空间的空气中悬浮;而沉降在车间设备和地面上的沉积粉尘是发生二次爆炸的重要因素。②具有充足的空气或氧化剂。③有明火或者有摩擦与强烈振动等点火源。

粉尘爆炸的特点主要表现为:①粉尘爆炸的最大特点之一就是多次爆炸。静止堆积于地面或设备表面的粉尘会被首次爆炸的气浪吹扬起来,此时在爆炸中心区就成为了负压区,新鲜空气由周围向中心填补进来,被吹起的粉尘与空气再次混合,故而引起二次爆炸。②大多数粉尘云爆炸所需的最小点火能量较高,一般在 5~50 mJ,比气体爆炸高 1~2 个数量级。③相对密闭的空间是可燃性粉尘爆炸发生的必要条件,爆炸后温度和压力急剧上升,与可燃性气体爆炸比较,粉尘爆炸产生的压力上升较缓慢,高压持续时间长,释放能量大,破坏力强^[3]。

粉尘爆炸造成的危害主要有以下几方面:(1)破坏性极强。一方面表现在破坏程度严重,爆炸时瞬间释放出大量的热能,化学反应释放的高温可达到两三千摄氏度,处在爆炸波及范围内的人员,其皮肤可能瞬间发生碳化;另一方面表现在爆炸涉及的范围广,工农业生产及农、林、渔、牧业的产品加工(如粮食加工、金属材料加工、煤炭、化工、纺织、饲料加工)等都可能发生。(2)常常伴随二次爆炸。粉尘二次爆炸时的浓度要远远高于第一次爆炸,因此二次爆炸的破坏性较第一次要大得多。爆炸产生的冲击力同样惊人,有时甚至可将重型机器设备炸飞到车间墙外。如 2001 年 8 月,发生于日本某加工厂的粉尘爆炸,是工人在进行镁合金手机抛光时产生静电,点燃了局部粉尘导致爆炸,爆炸沿着管道传播,点燃了管道中的金属粉尘,又发生了二次爆炸。(3)有毒气体的产生。一氧化碳是最常见的一类,因爆炸瞬间高温碳化不完全所致,另外爆炸物本身高温分解也会产生有毒气体。爆炸后大量的人畜伤亡往往是由爆炸产生的毒气造成的,应予以充分重视。

4 粉尘爆炸的预防和控制

2014 年 8 月 2 日发生在江苏昆山中荣金属制品公司的铝或铝合金粉尘爆炸事故,经调查组确定事故原因为粉尘浓度超标、遇到火源而引爆,是重大责任事故,责任主体是当事企业,当地政府领导责任和监管责任落实不力。

国家安全生产监督部门对粉尘爆炸事故防范有完善、细致的指导和要求,包括防火防爆安全设施配备、员工培训考核、安全措施效果评估等。企业应有环境-健康-安全部门(EHS)或有关专业人员专门负责。职业卫生现状评价要求对粉尘超标点追踪检测三年,分析趋势和评价;分析超标原因和提出整改

建议,同时须行防护设施参数检测,评判有效性;无有效整改就不能变成达标。

企业发生安全事故后企业法人应被追究责任;安全生产监管对外资企业可能存在监管盲区,监管部门履职应被追究法律责任;必要时相应的职业安全卫生服务机构也要调查追究责任,以重塑责任链。

除监督管理外,从技术层面看,预防控制粉尘爆炸的关键是去除可燃物、点火源、氧化剂这三个基本要素中一个或多个。

(1)消除可燃物^[4-5]。消除或降低生产环境中的可燃性粉尘浓度,使其控制在爆炸极限以下是非常关键的。不同种类可燃性粉尘的爆炸极限不同,爆炸极限即粉尘的浓度范围值,一般可用质量浓度表示(g/m^3)也可用体积百分数表示(%),当空气中粉尘浓度低于爆炸极限下限值或高于上限值时都不会发生爆炸。实际工作中,爆炸极限值尤其是下限值具有重要意义,它是评定可燃性粉尘危险性的依据,也是用来制定安全生产规程的依据。获得不同种类单一粉尘爆炸极限值数据可通过查阅专业书籍、工具书籍、安全生产手册等。但是,目前还没有混合性粉尘爆炸极限值可供参考,混合性粉尘的爆炸极限常常低于其中单一粉尘的下限值,也即混合粉尘爆炸的危险性更大。另外还可通过测试获得粉尘的极限值,测试方法可依据现有国家推荐标准 GB/T 12474—90《空气中可燃气体爆炸极限测定方法》及 GB 15577—2007《粉尘防爆安全规程》进行^[5-7]。

还可以通过改革工艺过程、革新生产设备等技术措施实现生产过程中可燃性粉尘浓度的控制,实际工作中可应用湿式作业、安装抽风除尘设备、采用负压吸尘等减少粉尘逸散并及时转运处理等方法;对不能采取湿式作业的场所,应采用密闭吸风除尘的办法;凡能产生粉尘的设备均应尽可能密闭,并加设局部抽出式机械通风装置,防止粉尘外逸;抽出的含尘空气应经除尘处理后再排入大气中。经常性的清扫工作台面、设备表面、车间厂房等,防止粉尘沉积也是消除可燃物的重要途径。

(2)消除点火源。任何可燃物的燃烧或爆炸都存在一个阈值,超过这个阈值才能燃烧引发爆炸,如果没有初始能量或初始能量低于阈值,就不会发生燃烧及爆炸。各种粉尘的理化性质不同,所需最小引爆能量也不同。现有的研究资料表明:引燃可燃粉尘所需点火能量的选取通常根据现行标准执行,但各标准推荐的点火能量不尽相同。例如,对于爆炸下限的测定,国标 GB/T 16425 推荐的点火能量为 10 kJ,欧洲标准 EN 14034 推荐的点火能量为 2 kJ,美国标准 ASTM E1226 则为 2.5 kJ,实际工作中一定要注明参考的来源和出处^[6-7]。通常可以采取消除明火、防止局部过热、可靠接地、不用铁质工具敲击等措施消除初始能量。如袋式除尘器内粉尘与滤袋摩擦、撞击生成静电火花是粉尘爆炸的主要点火源,当在滤袋中织入金属导线并可靠接地后,静电就能及时释放,避免电火花的产生。

(3)消除氧化剂。其实就是一个惰化的过程,即控制氧气浓度,使其浓度降低到极限浓度以下,常用氮气、二氧化碳等惰性气体替代氧气,一般用于密闭条件好、内部无人作业的筒仓等设备中。另外车间保持通风换气也是切实可行的一种办法。

此外,为使粉尘爆炸的损失尽可能降低,应在具有粉尘爆

炸风险的车间采用泄爆、隔爆、抑爆等措施,阻断爆炸的传播通道或使爆炸空间由密闭变成敞开式,同时应做到经常性正确清洁厂房、车间的工作台面和地面等易堆积粉尘的地方,防止积尘被再次吹扬起来,避免二次爆炸的发生,做到安全、卫生兼顾,使爆炸造成的损失降到最低。对于可燃性粉尘爆炸的防控,职业卫生工作人员应遵循三级预防的原则,通过现场访视和相关人员做好日常工作中的管、教、护、查等工作,配合相关安全监督部门将监督管理工作落到实处,使企业主承担起应有的社会责任,树立以人为本、生命无价的概念。

·作者声明本文无实际或潜在的利益冲突。

参考文献:

- [1] 赵显东.可燃粉尘爆炸的危险性分析及预防[J].开发应用, 2011 (8): 33-35.

- [2] 赵衡阳.气体和粉尘爆炸原理[M].北京:北京理工大学出版社, 1996.
- [3] 焦铸,张愚,李肖铸,等.典型爆炸粉尘的危险性预测[J].现代测量与实验管理, 2014(3): 19-22.
- [4] 刘琪,谭迎新.粉尘爆炸基本特性及防爆措施[J].工业安全与环保, 2008, 34(3): 17-18.
- [5] 王志荣,蒋军成.化工装置爆炸事故模式及预防研究[J].工业安全与环保, 2002, 28(1): 20-25.
- [6] ABBASI T, ABBASI SA. Dust explosions-cases, causes, consequences, and control[J]. J Hazard Mater, 2007, 140(1/2): 7-44.
- [7] CASHDOLLAR KL. Overview of dust explosibility characteristics[J]. J Loss Prevent Proc Ind, 2000, 13(3/4/5): 183-199.

(收稿日期: 2014-08-07)

(英文编辑: 汪源; 编辑: 王晓宇; 校对: 丁瑾瑜)

【EHP 专栏】

邻苯二甲酸酯暴露的时间趋势: 来自 2001—2010 年美国国家健康和营养调查的研究结果

Ami R. Zota, Antonia M. Calafat, Tracey J. Woodruff

摘要: [背景] 邻苯二甲酸酯是无处不在的环境污染物。由于对人类健康的潜在不利影响,邻苯二甲酸丁基苄基酯[BBzP; 代谢物,邻苯二甲酸单苄基酯(MBzP)]、邻苯二甲酸二丁基酯[DnBP; 代谢物,邻苯二甲酸单丁基酯(MnBP)]、以及邻苯二甲酸二(2-乙基己基)酯(DEHP)正在被替代品所取代,包括其他邻苯二甲酸酯。然而,人群水平暴露的结果趋势却鲜为人知。[目的] 研究普通美国人群中尿邻苯二甲酸酯代谢物浓度的时间趋势,以及该趋势是否随着社会人口学特征不同而发生变化。[方法] 结合国家健康和营养调查(National Health and Nutrition Examination Survey, 2001—2010)五个周期中 11 071 名参加者的 11 种邻苯二甲酸酯代谢物的数据。采用多元回归模型计算百分比变化和最小二乘几何平均数(LSGMs)。[结果] 邻苯二甲酸单乙酯、MnBP、MBzP 和 Σ DEHP 代谢产物的 LSGM 浓度在 2001—2002 年度与 2009—2010 年度之间下降[百分比变化(95%CI)分别为: -42%(-49%~-34%); -17%(-23%~-9%); -32%(-39%~-23%) 和 -37%(-46%~-26%)。与此相反,研究期间邻苯二甲酸单异丁基酯、邻苯二甲酸单(3-羧基丙基)酯(MCPP)、邻苯二甲酸单羧基辛基酯和邻苯二甲酸单羧基壬基酯(MCNP)的 LSGM 浓度增加[百分比变化(95%CI)分别为: 206%(178%~236%); 25%(8%~45%); 149%(102%~207%) 和 15%(1%~30%)。某些邻苯二甲酸盐在人群亚组中存在趋势变化。例如,在儿童中 DEHP 代谢物总和、MCPP 和 MCNP 的 LSGM 浓度高于成年人,但是群体之间的差异随着时间的推移而变小($P_{交互作用} < 0.01$)。[结论] 美国人群的邻苯二甲酸酯暴露在过去十年中发生了变化。数据上的差距令人很难解释其趋势,但立法活动和非政府组织的宣传活动可能在不断变化的趋势中起到了一定的作用。

原文详见 *Environmental Health Perspectives*, 2014, 122(3): 235-241.