

# 精细化工有机粉尘爆炸参数研究及防爆控制措施

谢宏远 李艳鹰

鞍山七彩化学股份有限公司 辽宁 鞍山 114000

**摘要:** 本文以有机粉尘参数研究为基础,通过对检测数据进行系统性分析,总结出精细化工有机粉尘在粉尘防爆方面存在的隐患及常见问题,针对性地提出了精细化工有机粉尘防爆预防及管控措施相关建议。

**关键词:** 有机粉尘; 粉尘爆炸; 粉尘防爆; 控制措施

## 1 前言

2017年3月,辽宁省某企业成品仓库中产品因烘干后未完全降温,致使物料粉尘在夜间阴燃,导致仓库中存储的半成品燃烧引发火灾,直接经济损失近1000万元。2020年9月,湖北省某有限公司发生较大爆炸事故,据调查,该起事故的发生原因是物料进行压滤试验时,静电引燃危险物料导致分解爆炸。这两起由于粉尘的能量意外释放导致的事故事件发人深思,近年来,粉尘爆炸事故频发,多省市将粉尘防爆专项整治工作情况纳入年度安全生产考核内容,大力开展执法检查。精细化工产生的粉尘主要是有机粉尘,在运输、使用过程中,粉碎、分离等处理工艺可能会导致粉尘的产生,引起粉尘爆炸事故发生。本文通过对有机颜料粉尘火灾爆炸相关参数测定的基础上,引入粉尘相关概念并指出生产过程中可能涉及到的产尘区和可能的点火源,给出生产过程中相关安全措施,包括防止能量意外释放的消除静电措施,设置安全设施和运行监控措施等安全技术措施,制定点火源预防措施和设备粉尘控制措施相关制度等管理措施。通

过技术措施和管理措施的有效结合,最大限度地消除精细化工有机粉尘火灾爆炸隐患,做到安全稳定生产。

## 2 有机粉尘参数研究

粉尘爆炸指可燃性粉尘能量意外释放引发火灾或爆炸,火焰瞬间传播,同时释放大量的热,具有很强的破坏力。精细化工有机粉尘的爆炸危险性通常用爆炸极限、极限氧浓度、粉尘云/层最低着火温度、粉尘云最小点火能量等参数来描述。粉尘爆炸危险涉及整个工艺全生命周期范围内,其影响范围较大甚至可能造成灾难性的伤害,尤其是二次粉尘爆炸涉爆面加大,过程很难控制。根据大量的相关研究,对粉尘的可燃性、易燃性、粉尘爆炸危险性相关参数的全面理解是安全使用粉尘的基础<sup>[1]</sup>。

### 2.1 最大爆炸压力、最大爆炸压力上升速率

由于20L球形爆炸装置体积小、操作方便,试验费用低,因此检测评估实验室选用20L球形爆炸测试系统作为粉尘爆炸研究的关键装置。根据20L球形爆炸装置,参照国际标准ISO6184-1测试几种有机粉尘的最大爆炸压力、最大压升速率以及爆炸指数相关数据如下表1。

表1 有机粉尘最大爆炸压力、最大压升速率以及爆炸指数一览表

粉尘名称	最大爆炸压力/MPa	最大爆炸压力上升速率/MPa*s <sup>-1</sup>	爆炸指数/MPa*m*s <sup>-1</sup>	等级判定
颜料黄180	0.81	91.44	25.49	St 2
颜料黄151	0.74	75.11	20.38	St 2
颜料橙64	0.86	64.99	17.64	St 1
颜料红242	0.85	59.51	16.15	St 1
颜料红166	0.82	47.15	12.80	St 1

表1可以看出不同种类的有机颜料其爆炸产生的最大压力、压升速率以及爆炸指数均有差异。关于粉尘爆炸剧烈等级,ISO-6184及VDI-3673根据爆炸指数值把粉尘分为四个等级。St 1级指爆炸指数在0到20之间,爆炸特性为弱爆炸;St 2级指爆炸指数在20-30之间,爆炸特性为强烈爆炸。颜料黄相关产品爆炸剧烈程度较大,颜料橙相关产品次之,颜料红相关产品爆炸剧烈程度较小。

### 2.2 爆炸极限和极限氧浓度

粉尘爆炸极限通常用表示为爆炸下限定义为在空气中遇火源能发生爆炸的粉尘最低浓度。极限氧浓度是至少一个粉尘浓度能形成火焰传播的最低氧浓度和任意粉尘浓度都无法形成火焰传播的最高氧浓度的平均值,是控制作业现场粉尘条件的关键指标,是预防粉尘爆炸的关键措施之一。

根据20L球形爆炸装置测试几种有机粉尘爆炸下限数据和极限氧浓度如下表2。

表2 有机粉尘爆炸下限、极限氧浓度数据一览表

粉尘名称	爆炸下限/g·m <sup>-3</sup>	极限氧浓度
颜料黄180	60	10.50%
颜料黄151	45	10.50%
颜料橙64	100	11.50%
颜料红242	75	13.50%
颜料红166	75	15.50%

表2可以看出颜料黄系列的爆炸下限小于颜料红系列小于颜料橙系列,上述几个有机粉尘爆炸下限最小值为45g·m<sup>-3</sup>。对现场实际情况进行检测,结果显示现场粉尘浓度远低于爆炸下限,在正常工艺条件下,风险通常可控。表2显示的几种颜料粉尘极限氧浓度数值相差不大,但也说明常规的作业环境可使有机粉尘浓度形成火焰传播的氧浓度。为避免粉尘爆炸事故发生,可以重装氮气等惰性气体使粉体惰化,进而达到抗爆抑爆的效果。

### 2.3 粉尘最小点火能

最小点火能是粉尘云中可燃粉尘处于最容易着火的浓度时使粉尘云着火的点火源能量的最小值,是粉尘防爆方法选择的依据。粉尘的最小点火能范围较宽,一般在0.3mJ~1J之间。若MIE > 1J,则粉尘处理工艺相对安全;若MIE < 10mJ,则粉尘较易被点燃,通常要考虑惰化方法防爆。根据哈特曼管式粉尘点火能测试装置测试出有机颜料粉尘最小点火能数据通常在30-100mJ,静电敏感度较高。

### 2.4 粉尘云最低着火温度

实际生产过程中,经常会出现粉尘悬浮于空气中形成粉尘云状态。此时如果遇到温度足够高的热源,粉尘云就可能被引燃,从而引发粉尘爆炸。粉尘最低着火温度是一个评价粉尘对加热的环境,热表面及摩擦火花等点火源点火敏感度的重要参数,是防火防爆分区设备选型以及落实安全管理措施的依据<sup>[2]</sup>。粉尘云和粉尘层最低着火温度测试数值反映了对温度的敏感程度,比较二者数值大小,取两者中的低值作为爆炸危险场所选择防爆电器表面最高允许温度的依据。

几种有机颜料粉尘粉尘云最低着火温度数据如下表3。

表3 有机粉尘云最低着火温度数据

粉尘名称	粉尘云最低着火温度/°C
颜料黄180	590
颜料黄151	590
颜料橙64	640
颜料红242	740
颜料红166	710

从表3中的测试结果可以看出这几种颜料有机粉尘的粉尘层最低着火温度大于590°C,说明该样品被分散成

粉尘云后不易被点燃。然而,在这方面需要注意的是,实际过程中,粉尘云很难达到分布均匀,生产和存储过程中,即使环境温度低于最低着火温度,也有可能产生沉降或无法预料的情况,造成局部易燃浓度。在可燃性粉尘含量较高的环境中,加工或除尘时产生或伴生粉尘云,当粉尘云遇到高温设备或高温环境时,粉尘云发生着火将直接或间接引发爆炸<sup>[3]</sup>。

### 2.5 粉尘层最低着火温度

长时间堆积处于绝热状态的粉尘可能发生自燃现象,在精细化工企业生产的过程中,投料阶段、烘干阶段、粉碎阶段和包装阶段都不可避免地会发生粉尘的沉积的现象,作业现场亦不可避免地存在高温的热源,若设备表面堆积粉尘则容易发生自燃,从而成为作业现场的点火源引发火灾或爆炸<sup>[4]</sup>。粉尘层最低着火温度测试实验的目的就是模拟实际作业现场,在常温常压下,测试指定温度下热源表面堆积的一定厚度的粉尘层发生着火的最低温度。其测试结果是实施作业场所设备设施防火防爆安全管理措施的依据,同时也是防止粉尘爆炸的重要措施之一。

几种有机颜料粉尘粉尘层最低着火温度数据如下表4。

表4 有机粉尘粉尘层最低着火温度数据

粉尘名称	粉尘层最低着火温度/°C
颜料黄180	> 450
颜料黄151	> 450
颜料橙64	400
颜料红242	380
颜料红166	390

表4测试结果显示这几种颜料有机粉尘的粉尘层最低着火温度大于370°C,说明上述有机粉尘在堆积状态时对温度的敏感程度较差。在实际作业现场,设备设施及物料管道热表面上常常沉积粉尘,如果不及时处理会使粉尘的氧化速度增加,热量不断积聚,存在自燃着火的危险<sup>[5]</sup>。粉尘着火后虽然不会自身发生爆炸,但可成为粉尘爆炸的点火源,因此定期清理作业现场粉尘沉积不容忽视。

## 3 粉尘防爆预防及管控措施

### 3.1 控制粉尘扬散与积聚

控制现场空间粉尘浓度,使粉尘浓度控制在爆炸极限范围外。在整个工艺生产过程中,保持设备设施密闭并定期进行清理。

(1) 在作业现场的设备设施和管道结构中应避免粉体的不正常滞留、堆积和飞扬,同时还应配置必要的密闭、清扫和排放装置。

(2) 粉体的粒径越细,越易起电和点燃。在整个工

艺过程中,应尽量避免粒径在75 $\mu\text{m}$ 或更小的细微粉尘在作业场所扬尘形成粉尘爆炸的条件或接触点火源。

(3) 除尘设备、厂房、建筑物应按照相关要求设置抗爆、泄爆、隔爆、抑爆等措施。

(4) 组织制定粉尘清理管理制度,包括清扫范围、清扫方式、清扫周期等。

### 3.2 粉尘爆炸预防与管理措施

根据上述有机粉尘测试结果,精细化工企业应采取以下管理措施进行粉尘爆炸预防与保护:

(1) 企业应针对粉尘爆炸场所制定严格的用火管理规定,并遵照执行。

(2) 防止粉料自燃,定期相关测试数据,严格控制物料粉尘的储存、操作最低温度,并制定检查措施,与生产过程扬尘工序涉及范围内的设备设施,其表面允许温度应低于相应粉尘层/云最低着火温度。

(3) 针对员工开展粉尘防爆安全培训,宣贯粉尘防爆知识和措施,提高粉尘爆炸认识。

(4) 定期组织全体职工进行粉尘火灾的灭火和粉尘爆炸专项应急救援预案演练。

## 4 总结

综上所述,有机粉尘的火灾和爆炸预防应从科学的角度分析其风险,针对风险做好相关的预防措施,通过先期本质安全的设计和后期管控措施的落实达到安全、稳定生产的目的。

## 参考文献

- [1] 粉尘防爆安全规程 GB15577-2018.
- [2] 张倩倩,杨巍,张发涛等.工贸行业粉尘涉爆企业安全发展现状与对策研究[J],工业安全与环保,2021(47):56-59.
- [3] 司恭.化工行业涉爆粉尘风险现状分析与建议[J],化工安全与环境,2024(37):79-81.
- [4] 史兆伟,李振宝,赵利民等.不同玉米淀粉粉尘的燃烧与爆炸特性研究[J],科技资讯,2023(21):145-149.
- [5] 邓有凡.可燃性粉尘研究现状及十种粉尘特性测试[J],电气防爆,2022(03):5-9.