

# 工业生产中可燃性粉尘爆炸的防控策略与实践研究

邵东卫

浙江天为安全科技有限公司 浙江 杭州 310000

**摘要:** 本文聚焦工业生产中可燃性粉尘爆炸的防控,阐述了可燃性粉尘定义、分类及爆炸机理、关键影响因素,为防控提供理论基础。接着从风险识别与评估入手,介绍识别方法、重点场景及量化评估指标。因此,提出全链条防控策略,涵盖源头控制、过程防护、防爆设计和应急处置。通过粮食加工、铝加工、塑料加工企业三个实践案例验证策略有效性。最后从技术优化和管理强化两方面提出优化防控的策略,助力工业生产安全。

**关键词:** 可燃性粉尘; 粉尘爆炸; 风险评估; 防控技术

## 引言

工业生产中可燃性粉尘分布广泛、爆炸风险突出,易造成重大人员伤亡与财产损失,防控工作至关重要。本文立足粉尘爆炸基础理论与风险特征,构建全链条防控体系,结合实践案例验证成效并提出优化方向,为工业粉尘防爆安全提供支撑。

## 1 工业生产中可燃性粉尘爆炸的基础理论

### 1.1 可燃性粉尘的定义与分类

按照GB15577、GB/T15604的定义,可燃性粉尘指在大气条件下能与气态氧化剂(主要是空气)发生剧烈氧化反应的粉尘、纤维或飞絮。粒径通常小于 $75\mu\text{m}$ ,且要能悬浮成可燃粉尘云、遇火源爆炸。按来源分为三类:有机粉尘,如粮食、塑料、木粉尘,含碳量高、燃烧放热多,爆炸风险高;金属粉尘,如铝、镁、锌粉,部分不仅易爆,还可能二次燃烧(如铝粉爆炸后易形成高温熔融物);混合粉尘,如化工生产中含树脂与金属颗粒的混合粉尘,爆炸特性受组分比例影响,防控难度大。不同类型粉尘的爆炸极限、最小点火能量、最大爆炸压力等参数不同,是制定防控策略的依据。

### 1.2 粉尘爆炸机理与关键影响因素

粉尘爆炸经历“粉尘悬浮-点火源触发-燃烧扩散-压力骤升”四个阶段:先形成均匀悬浮的粉尘云(浓度达爆炸下限);再遇明火、电火花、高温表面等点火源,粉尘颗粒受热分解或气化,接着可燃气体与氧化剂快速反应,引发局部燃烧并释放热量,推动周围粉尘参与反应,形成连锁反应;最后短时间内热量积聚致气体急剧膨胀,产生爆炸压力(通常 $0.2\text{--}1.0\text{MPa}$ ),引发冲击波与破坏。关键影

响因素有:粉尘浓度需在爆炸极限范围内(如铝粉爆炸下限为 $60\text{g/m}^3$ );粉尘粒径越小,比表面积越大,爆炸风险越高;点火源能量需超过粉尘最小点火能量(如木粉最小点火能为 $9\text{mJ}$ );环境氧含量越高,爆炸威力越大;粉尘湿度较高可抑制悬浮,降低爆炸风险<sup>[1]</sup>。

## 2 工业生产中可燃性粉尘爆炸的风险识别与评估

### 2.1 风险识别方法与重点场景

工业生产中可燃性粉尘爆炸的风险识别需结合“工艺环节+设备设施+环境条件”多维度展开:采用“现场调研法”排查粉尘产生、输送、储存、处理等关键环节(如粮食加工中的粉碎、筛分环节,金属加工中的抛光、打磨环节),识别粉尘堆积、悬浮的高风险区域;通过“设备清单核查法”检查可能产生点火源的设备(如未防爆的电机、传送带摩擦部位、易产生静电的管道);利用“危险与可操作性分析(HAZOP)”梳理工艺参数偏差(如粉尘产生场所通风不良导致粉尘悬浮、干燥温度过高引发粉尘受热)可能引发的爆炸风险。重点风险场景包括:密闭空间(如粉尘储罐、反应釜)内粉尘云积聚、通风不良的车间粉尘堆积、高温作业环境下的粉尘处理工序,这些场景因粉尘浓度易超标、点火源难控制,是爆炸事故高发区域。

### 2.2 风险评估指标与量化方法

为科学评估粉尘爆炸风险,需建立多维度评估指标体系,核心指标包括:粉尘爆炸特性参数(爆炸极限、最小点火能量、最大爆炸压力、爆炸指数)、粉尘暴露强度(粉尘浓度超标频次、堆积厚度)、点火源风险等级(点火源类型、能量大小、出现频率)、防护措施有效性(通风效率、防爆设备覆盖率)及人员暴露程度(高风险区域作业人数、作业时长)<sup>[2]</sup>。量化评估可采用“风险矩阵法”,将“可能性”(如粉尘浓度超标且存在点火源的概率)与“后果严重性”(如爆炸可能造成的伤亡人数、

**作者简介:** 邵东卫,1981年5月出生,男,浙江兰溪人,汉族,大学本科,高级工程师,研究方向为涉爆粉尘安全技术。

财产损失)划分为5个等级,确定风险等级(低、中、高、极高);对大型企业或复杂场景,可采用“数值模拟法”(如FLACS粉尘爆炸模拟软件),模拟不同工况下粉尘爆炸的扩散范围、压力分布,量化评估事故后果,为防控策略制定提供精准依据。

### 3 工业生产中可燃性粉尘爆炸的全链条防控策略

#### 3.1 源头控制:减少粉尘产生与优化粉尘特性

源头控制是降低粉尘爆炸风险的基础,核心策略包括:一是工艺优化,采用低粉尘产生的生产工艺(如用湿法加工替代干法加工处理金属粉末,用密闭式粉碎设备替代开放式设备),从源头减少粉尘生成量;二是粉尘特性改良,通过添加惰性物质(如在塑料粉尘中混入碳酸钙粉末)降低粉尘可燃性,或提高粉尘湿度(如在粮食储存环节采用喷雾增湿,使粉尘湿度维持在15%以上),抑制粉尘悬浮与燃烧;三是物料替代,在满足生产需求的前提下,用不可燃或难燃物料替代可燃性粉尘(如用玻璃纤维替代塑料纤维作为填充材料),从根本上消除爆炸风险。源头控制需结合企业生产实际,在保障产品质量的同时,优先选择技术成熟、经济性好的控制方案。

#### 3.2 过程防护:抑制粉尘悬浮与消除点火源

过程防护聚焦粉尘在生产、输送、储存过程中的风险管控,关键措施包括:一是通风除尘系统优化,在粉尘产生环节设置局部排风罩(如打磨工位的侧吸式排风罩),采用“旋风除尘器+布袋除尘器”组合工艺高效捕集粉尘,确保车间粉尘浓度低于爆炸下限的50%;定期清理除尘系统管道、滤袋上的粉尘堆积,防止管道内粉尘云形成或滤袋堵塞引发压力骤升;二是点火源管控,对高风险区域设备采用防爆设计(如防爆电机、防爆灯具、防静电管道),接地消除静电(如粉尘输送管道每隔20m设置接地装置,接地电阻 $\leq 10\Omega$ ),避免摩擦撞击点火(如采用不发火花材质的传送带、在设备转动部位添加润滑脂);严格管控明火(如禁止在粉尘车间吸烟,动火作业需办理许可证并采取隔离措施);三是惰化防护,在密闭粉尘容器(如储罐、料仓)内通入惰性气体(如氮气、二氧化碳),将氧含量控制在粉尘爆炸临界氧含量以下(如铝粉临界氧含量约8%),抑制燃烧反应,该方法适用于粉尘储存、反应等密闭场景。

#### 3.3 防爆设计:降低爆炸破坏与防止二次爆炸

防爆设计旨在减少爆炸发生后的破坏范围,核心策略包括:一是泄压装置设置,在粉尘爆炸风险区域的设备或建筑上安装泄压阀、泄压窗、爆破片等装置,泄压面积需根据设备体积、粉尘爆炸压力计算(如铝粉储罐的泄压面积与体积比不小于 $0.22\text{m}^2/\text{m}^3$ ),确保爆炸压力能

快速释放,避免设备破裂;泄压方向需避开人员密集区域或关键设备,防止泄压物造成二次伤害;二是抗爆结构设计,对粉尘处理设备(如除尘器、粉碎机)采用抗爆材质(如Q345R钢板),设备壁厚需满足抗爆压力要求(如能承受 $0.8\text{MPa}$ 以上爆炸压力);车间建筑采用轻质屋顶、抗爆墙体,减少爆炸对建筑结构的破坏;三是二次爆炸防控,在爆炸可能波及的区域设置粉尘清扫系统(如自动清扫机器人、高压水枪),及时清除地面、设备表面的粉尘堆积,防止爆炸冲击波扬起堆积粉尘引发二次爆炸;在除尘系统管道上设置隔爆阀,当某一段管道发生爆炸时,隔爆阀自动关闭,阻止火焰与压力波传播至其他管道<sup>[3]</sup>。

#### 3.4 应急处置:爆炸事故的快速响应与救援

完善的应急处置可降低爆炸事故的伤亡与损失,关键措施包括:一是应急预案制定,明确爆炸事故的报警流程(如现场人员按下紧急报警按钮、通知中控室启动声光报警)、应急指挥体系(如成立现场指挥组、技术组、救援组)、处置步骤(如切断火源、关闭设备、启动灭火系统)及人员疏散方案(如疏散路线、集合点、清点人数);针对不同场景(如车间爆炸、储罐爆炸)制定专项处置方案,提高预案针对性;二是应急设备配置,在高风险区域配置干粉灭火器(适用于金属粉尘爆炸)、二氧化碳灭火器(适用于有机粉尘爆炸)、消防水炮等灭火设备,设置应急照明、疏散指示标志及急救箱(配备烧伤、创伤急救药品);对大型企业,可安装“粉尘爆炸快速抑制系统”,通过传感器检测爆炸初期的压力、火焰信号,自动喷射抑制剂(如干粉、惰性气体),在爆炸发展阶段遏制事故扩大;三是应急演练与培训,每季度组织一次应急演练,模拟粉尘爆炸报警、人员疏散、灭火救援等环节,提升员工应急处置能力;定期开展安全培训,讲解粉尘爆炸机理、应急设备使用方法、疏散逃生技巧,确保员工掌握基本应急技能。

### 4 工业生产中可燃性粉尘爆炸防控的实践案例

#### 4.1 案例1:粮食加工企业粉尘爆炸防控实践

某大型粮食加工企业(日处理小麦500吨)针对粉碎、筛分、储存环节的粉尘爆炸风险,实施全链条防控:源头采用“湿法清理工艺”替代干法清理,减少小麦清理过程中的粉尘产生;过程防护中,在粉碎工位设置侧吸式排风罩,配套“旋风除尘器+脉冲布袋除尘器”,车间粉尘浓度控制在 $8\text{g}/\text{m}^3$ 以下(小麦淀粉爆炸下限约 $60\text{g}/\text{m}^3$ ),设备采用防爆电机与防静电管道,接地电阻控制在 $5\Omega$ 以内;防爆设计上,粉尘储罐安装爆破片(泄压面积 $0.5\text{m}^2$ ),车间采用轻质泄压屋顶;应急处置配置干粉

灭火器与应急照明，每周开展粉尘清扫，每季度组织应急演练。实施后，企业粉尘浓度超标频次从每月5次降至0次，未发生粉尘爆炸或火灾事故，验证了综合防控策略在粮食加工企业的有效性。

#### 4.2 案例2：铝加工企业粉尘爆炸防控实践

某铝加工企业（生产铝型材，涉及抛光、打磨工序）针对铝粉尘爆炸风险，重点强化“惰化防护+防爆设计”：打磨工位铝粉尘除尘管道内通入氮气，将氧含量控制在6%以下（铝粉临界氧含量约8%），除尘管道安装氧含量在线监测仪，超标时自动加大氮气供应量；抛光工位采用“密闭式抛光机+循环水除尘系统”，通过水幕捕集铝粉尘，避免粉尘悬浮；设备方面，所有电机、开关采用ExdIICT1

防爆等级，抛光机与传送带之间设置隔爆阀；应急处置配置D类干粉灭火器（专门用于金属粉尘灭火），并与当地消防部门建立联动机制，确保事故后快速救援。改造前，企业曾因铝粉尘堆积引发小规模火灾，改造后连续3年未发生粉尘安全事故，铝粉尘回收率提升15%，实现安全与效益双赢<sup>[4]</sup>。

#### 4.3 案例3：塑料加工企业粉尘爆炸防控整改实践

某小型塑料加工企业（生产塑料颗粒，存在塑料粉尘干燥、输送环节）因粉尘防控措施不到位，被责令整改：整改中，企业首先开展风险评估，明确干燥机、输送管道为高风险区域；源头更换为“低温干燥工艺”，将干燥温度从80°C降至60°C，减少塑料粉尘受热风险；过程防护中，在输送管道加装静电消除器，每10m设置接地装置，干燥车间安装防爆排风扇，确保通风次数 $\geq 12$ 次/小时；防爆设计上，干燥机安装泄压阀（泄压压力0.3MPa），车间地面采用不发火材质；应急处置制定简易应急预案，配置2台二氧化碳灭火器，对员工开展粉尘安全培训。整改后，经第三方检测，车间塑料粉尘浓度稳定在 $12\text{g}/\text{m}^3$ 以下（塑料粉尘爆炸下限约 $30\text{g}/\text{m}^3$ ），点火源风险等级从“高”降至“中”，满足安全生产要求。

### 5 优化工业生产中可燃性粉尘爆炸防控的策略

#### 5.1 技术优化：推动技术适配与创新应用

一是推广精准防控技术，针对不同粉尘类型、工艺场景制定技术选型指南（如金属粉尘优先采用湿法除尘或惰化防护，有机粉尘优先采用防爆通风），引导企业科

学选择防控技术；二是降低新型技术应用门槛，鼓励科研机构研发低成本、易操作的新型防控技术（如简易式粉尘爆炸抑制装置、便携式粉尘特性检测仪），政府通过补贴、技术推广会等方式，支持中小企业应用；三是建立设备全生命周期管理，制定防爆设备维护标准（如泄压装置每半年检测一次、静电接地每月检测一次），推广“智能监测+预警”系统，实时监控设备运行状态，确保防控措施有效。

#### 5.2 管理强化：完善制度与提升人员能力

一是健全安全管理制度，企业需制定《粉尘安全管理制度》《粉尘清扫制度》，明确粉尘产生、输送、储存各环节的防控要求，并将责任落实到具体岗位；二是加强员工培训与考核，开展“理论+实操”培训，讲解粉尘爆炸机理、防控措施、应急技能，考核合格后方可上岗；定期组织应急演练，提升员工实战能力；三是强化监管与社会监督，监管部门增加对高风险企业的检查频次，引入第三方机构开展专业检测；建立粉尘爆炸事故举报机制，鼓励员工、周边居民监督企业防控措施落实情况，形成多方共治格局。

#### 结束语

可燃性粉尘爆炸严重影响工业生产安全，全链条防控策略的制定与实施至关重要。通过源头控制减少粉尘产生、过程防护抑制风险、防爆设计降低破坏、应急处置快速响应，并结合实践案例验证，可有效降低爆炸风险。未来，需持续推动技术适配与创新应用，完善安全管理制度，强化人员培训与监管。多方协同努力，构建更完善的防控体系，为工业生产营造安全稳定的环境，推动行业可持续发展。

#### 参考文献

- [1]李晓明,赵阳.工业生产中粉尘爆炸风险评估与防控[J].工业安全与环保, 2020, 46(4):55-58.
- [2]李洪涛.化工企业安全生产管理与事故预防研究[J].中国安全生产科学技术,2021(9):56-58.
- [3]王庆芳.化工企业粉尘爆炸防控技术的现状与发展[J].化工技术, 2023(5): 45-47.
- [4]刘贞堂,周西方,林松,等.我国工业粉尘爆炸事故统计及趋势分析[J].消防科学与技术,2020,39(6):879-882.