

# 石油化工粉尘爆炸风险控制策略研究

陈金水

江苏江山制药有限公司 江苏 泰州 214500

**摘要:** 在高风险的石油化工行业领域,粉尘爆炸是过程安全管理中不可忽视的重要风险之一,对系统运行及人员安全极具挑战。本次研究主要围绕石油化工粉尘爆炸风险控制策略展开,目的是通过对粉尘爆炸的机理,特点及危害性进行系统的分析,从而提出行之有效的风险控制措施。研究首先深入探究粉尘爆炸基本原理,结合粉尘特性揭示其潜在危险。同时论文提出了一系列控制方案,主要包括风险评估实践、静电危害预防、防爆安全技术和工业厂房内局部排风气流场特征研究等内容。通过实验研究与现场实践表明,本文提出的策略是行之有效的,对石油化工行业安全生产具有一定的理论依据与实践指导。

**关键词:** 石油化工;粉尘爆炸;风险控制;防爆技术;安全实践

## 引言

石油化工工艺流程中往往涉及可燃性粉尘的操作处理,导致其面临粉尘爆炸的高风险。尽管我们已经对粉尘爆炸的机制已有较多的研究,但实际的控制策略还需要进一步加强。本次研究将对石油化工粉尘爆炸风险因素进行分析,并探究有效控制策略,从而促进安全生产。研究围绕粉尘爆炸特性、危害性评价、风险控制评估策略等方面展开,考虑构建综合风险控制框架。同时根据目前对粉尘爆炸试验与理论的认识和分析,提出了风险控制的实践方案。研究结果将对石油化工行业粉尘爆炸危险性治理提供理论支持与实践指导,有利促进技术进步与安全生产。

## 1 粉尘爆炸风险概述

### 1.1 粉尘爆炸机理分析

粉尘爆炸发生机制深刻地揭示出其破坏性产生的根本原因。粉尘爆炸是复杂的物理化学过程,本质为可燃粉尘与空气在一定浓度范围内形成的悬浮混合物,产生危险粉尘云环境,当遇到如明火、静电火花或高温表面等适当的点火源,粉尘云中的微粒会迅速被点燃并自行传播;同时大量热量与气体会在极短的时间内释放出来,使局部温度与压力剧烈升高,继而引发爆炸,爆炸后粉尘云中的能量很快转变成冲击波而产生爆炸波,这种巨大的威力不仅使装备受损,而且极易连锁反应产生二次爆炸,给周边环境带来严重的威胁。粉尘爆炸的机理同时涉及多个关键因素的相互作用,包括的粉尘本身燃爆特性、动力学、工艺条件等影响参数,这些因素直接影响粉尘云浓度、粒径分布及颗粒之间相互作用,并成为决定爆炸威力大小及范围大小的关键<sup>[1]</sup>。另外,爆炸波传播时,遇有障碍物将进一步发生反射,折射而产生

复杂波场,增强了对周边结构及装置的破坏力。

### 1.2 石油化工粉尘爆炸特性

石油化工行业涉及的粉尘类别及性质复杂多变,粉尘物质特性直接决定了爆炸的危害后果,因此深入理解识别粉尘本身的性能对粉尘爆炸风险的防控至关重要。粉尘燃爆性能,往往取决于粉尘本身的物理特性,主要影响因素包括粒径分布,颗粒形状,密度及比表面积等,因其涉及与粉尘悬浮于空气中的能力及流动性有直接联系,从而对粉尘爆炸潜能产生影响。颗粒愈小、比表面积愈大,愈易产生爆炸性粉尘云。

在化学性能上,石油化工产生的粉尘成分复杂且多含有机元素和不稳定键,这些结构直接决定了其本身的燃爆性、敏感性、热稳定性,导致其因受工艺条件、可燃性指数、自催化分解、点火源的等因素作用而敏感性很高,很可能快速作用并形成爆炸。此外环境因素影响也不容忽视,包括氧含量、气压、温湿度及粉尘自身浓度等,这些因素是影响粉尘爆炸是否激烈的关键;合适的氧气浓度与粉尘浓度对诱发爆炸至关重要,高温环境会加快粉尘氧化反应并增大爆炸风险<sup>[2]</sup>。所以在石油化工设计评估生产时,一定严格认识并把控粉尘安全数据、工艺设备条件、爆炸波传播特性及其环境效应等,才能有效防控粉尘爆炸风险。

### 1.3 粉尘爆炸的危害性评价

粉尘爆炸危害性评价对石油化工行业粉尘爆炸事故防治至关重要,该评价涉及诸多方面:一是爆炸可能性评价,目前主要方法是结合物质爆炸特性分析评价、点火源识别、爆炸危险性环境识别综合判定,这是粉尘爆炸风险评估的首要步骤,其中重点分析的可燃性粉尘物质本身包括最重要的敏感性参数和严重性参数等,一

般通过明确的数据文献、安全数据表、实验室测试等确认,主要参数包括MIE、MEC、MIT、LIT、LOC、 $P_{max}$ 、 $dp/dt$ 、 $K_{st}$ 等,上述物理化学性质及关键参数分析,是判定粉尘爆炸风险的前提。二是爆炸后果评价,主要评价爆炸所产生的热辐射和冲击波等对周边设备及建筑物造成的威胁,并要考虑粉尘爆炸的连锁反应,以便确认采取必要的隔离及抑制措施;注意要包括对人员伤亡及财产损失进行评价,评价时可通过对历史事故数据进行分析,并可对粉尘爆炸潜在危害进行预测,从而为安全管理提供决策支持<sup>[3]</sup>。系统的危害性评价对认识和防止粉尘爆炸具有重要意义,只有通过全面地评价与监测,才能最大限度地认识管控粉尘爆炸风险。

## 2 粉尘爆炸风险控制策略

### 2.1 粉尘爆炸风险评估方法

粉尘爆炸风险评价是粉尘爆炸风险辨识与控制的先决条件。目前评估方法有定性评估与定量评估两种。定性评估主要使用安全查表法,并根据粉尘物理化学性质,粉尘浓度和点火源等,划分风险级别,检查落实安全措施。定量的评估,实际应用时往往结合运用故障树分析法和事件树分析法对其进行综合评价,并需要依赖必要的实验或模拟计算来确定粉尘爆炸后果,如爆炸产生的压力以及爆炸指数等关键参数。目前国内外比较好的评估实践,包括美国的粉尘燃爆危害评估DHA、欧盟的粉末安全处理SPH等,通过好的风险评估可充分识别粉尘爆炸关键控制点,建立有效风险控制措施。

### 2.2 防爆安全技术基础

粉尘爆炸的风险控制需要从预防、控制和管理等入手,其中避免爆炸性环境是预防管理的关键环节,为重点防止粉尘爆炸事故,需要工程师及技术人员对粉尘爆炸机理进行深入探讨,充分了解粉尘物理特性,爆炸条件以及其各方面影响因素等,从而为建立科学高效的防爆策略打下坚实的基础。

防爆安全技术中包括防火防爆设计、静电防护、惰性化保护、爆炸隔离系统、泄压系统设计等,其中防火防爆设计原则运用占据核心位置;实践中包括使用防爆型电气设备来降低由粉尘爆炸危害区域的危险;布置合理隔爆装置阻止爆炸波扩散;导入惰性气体防护以减少粉尘的爆炸性。同时对可能出现的点火源必须做好接地,增湿及其他预防措施来消除静电及摩擦火花的安全隐患。防爆安全技术同时明确突出了人员培训的重要性<sup>[4]</sup>,通过对操作人员定期开展防爆知识培训及应急演练,增强其安全意识及突发事件处置能力,保证其在遇到粉尘爆炸等突发事件时能快速准确行动,为企业安全生产保

驾护航。

### 2.3 防爆电气设备安装质量控制

在石油化工行业中,防爆电气设备对于预防粉尘爆炸具有十分重要的意义。它的选型安装维护质量好坏,直接影响设备防爆性能的好坏。所以一定要严格执行国家标准及行业规范。要根据粉尘爆炸危险区域的分类分区分级等选用适当防爆电气设备种类及规格,以保证与粉尘物理化学性质配套。安装要关注对电气设备接地,密封和隔离等关键环节进行严格把控,以防电气火花。运行过程中要经常对防爆电气设备的保养与测试,以保证设备的正常工作。

### 2.4 工业厂房局部排风气流流场特性及逃逸粉尘控制策略

工业厂房局部排风系统对于控制粉尘扩散与逸出具有重要意义。通过气流组织合理设计,能有效地降低空气中粉尘浓度和粉尘爆炸危险。首先要根据厂房布置及工艺流程合理布置排风罩,排风管道及排风机等,组成高效排风系统。还要通过计算与试验对排风系统气流流场进行优化以保证粉尘能得到有效集排。另外,应充分考虑粉尘物理化学性质并选用适当除尘设备如布袋除尘器和旋风除尘器以提高粉尘捕集效率。采取上述措施可有效控制粉尘逸出,减少粉尘爆炸危害。

### 2.5 石油化工粉尘爆炸风险控制实践

石油化工粉尘爆炸危险性控制工程比较复杂,实际风险控制实践中还包括点火源评估控制、爆炸性粉尘环境识别评估、静电控制与预防,以及在无法避免时采取降低影响的粉尘防爆保护措施如泄爆、抑爆、抗爆、隔爆等,并需同时配套组织措施如禁止吸烟、动火许可、清洁清扫、应急救援体系等管理要求;此外国外先进粉尘防控体系还包括了结合具体工艺过程的风险评估检查表,如热稳定性研究(类似我国的反应风险评估,包括流化床、喷雾干燥、接触式烘干等工艺过程分析)、输送设备(含气力、手动、机械)粉尘风险评估、研磨设备风险评估、粉体包装的安全使用原则等,这些实践需要密切结合理论指导、技术理解、工程认识和现场操作经验等,同时配合实实验室分析测试及粉尘特性分析等,才能对粉尘爆炸控制所有过程实施完善的策略和方法,从而有效降低石油化工行业的粉尘爆炸风险,提高生产安全性。

## 3 石油化工粉尘爆炸风险控制实践

### 3.1 石油化工粉末静电危害预防与控制

点火源是引发粉尘爆炸的必要条件,在涉及有效点火源识别和评估中,静电往往因人们不了解其机理、影

响因素、放电类型、物质的导电性能等，从而导致忽略或认识不到静电的真正危害；静电往往因产品导电性、设备材料的性能、工艺操作条件等因素影响，导致其在充放电过程中成为危险的点火源。根据静电放电类型电晕放电、刷形放电、传播型刷形放电、火花放电、锥形放电，采取不同的控制措施，主要包括采用泄漏法来加快静电漏散，具体措施有设备接地，提高环境湿度及采用抗静电添加剂，这些方法能有效地减少静电积累和静电放电危险；中和法还是控制静电的有效技术，利用静电中和器使粉末所带电荷极性相反而发生中和作用来消除静电危险<sup>[5]</sup>。另外，工艺控制法还强调对静电产生进行源头控制，主要是选用适当材料，优化设备设计以及完善工艺流程来降低静电产生。与此同时，工作人员个人防护不可忽视，一定要穿防静电或者导电衣服、鞋，保证电气连续性，尽量采用导电地面，减少静电在人体内堆积。

### 3.2 石油化工通风除尘系统设置与安全措施

通风除尘系统是控制粉尘浓度、降低爆炸风险的重要手段，一般通风除尘系统主要包括吸尘罩、风管、风机、除尘器及排放管道，通过合理的布置以及高效的操作，对生产中粉尘进行有效的收集与治理。通风除尘系统设计时首先要考虑它的高效性与可靠性，吸尘罩需科学地设置在粉尘源周围，以保证最大程度的捕集粉尘并减少其逸出；风管系统需要按照生产现场进行合理的布局设计，使用耐磨和耐腐蚀的材料，降低阻力损失和除尘效率；除尘器选型非常关键，需要依据粉尘性质及处理量而定，常用的是布袋除尘器，静电除尘器，既要保证除尘效率符合环保标准，更要关注其材料的防静电性能。风机作为系统动力源，在选择时需要综合考虑风量，风压需求和能耗等多方面因素才能达到高效平稳运行。

为保证通风除尘系统安全运行，还必须辅助系列安全措施。包括考虑防爆性能、关注防爆电气选型检测和管理，以保证电气设施的完好；加强系统日常检修和维护，定期对吸尘罩，风管和除尘器进行维保，避免设备

老化造成事故。建立监控及报警系统，对粉尘浓度，温度和压力等系统内部关键参数实时监控，发现有异常情况应立即报警，并采取适当措施。此外现场警示、人员培训、应急演练等管理措施，对确保通风除尘系统安全运行同样具有重要意义

### 4 结束语

本研究系统地探讨了石油化工行业粉尘爆炸风险控制策略，从粉尘爆炸风险评估到具体的控制实践，探讨了相关技术要求及防控方案。通过对粉尘爆炸机理的深入分析，我们认识到石油化工粉尘爆炸具有其特殊性和复杂性，粉尘爆炸风险防控是需要多因素多层次参与的一项复杂工作，需要技术、管理与实践的紧密结合；只有通过完善的风险评估、科学的研究测试、有效的风险控制措施、完善的技术要求、才能够构建起一个多层次的防控体系，实现从源头到管理的全面安全保障。同时我们必须认识到，粉尘爆炸风险控制是一个持续改进的过程，随着新技术的发展和新标准的出台，我们需要不断更新和完善管理控制机制，包括全生命周期风险管理模式的构建、智能化监测和预警的开发与应用、新技术材料的研究突破等。希望本论文的研究成果能够为石油化工行业的粉尘爆炸风险管理提供有益的参考，并推动相关领域的进一步研究与发展。

### 参考文献

- [1]樊秀刚.石油化工项目施工质量控制策略研究[J].石油化工建设,2023(1):85-87.
- [2]牛国荣.石油化工装置土建施工质量的控制策略[J].化工管理,2023(2):165-168.
- [3]延晓晖,谢媛媛,白云飞,等.石油化工安全技术与安全控制策略探析[J].石油石化物资采购,2023(9):175-177.
- [4]赵金光,郭天永,周超,等.石油化工安全技术与安全控制策略探究[J].石油石化物资采购,2023(11):172-174.
- [5]王姗姗.石油化工安全技术与安全控制策略探究[J].石油石化物资采购,2023(15):160-162.