

机械制造车间粉尘爆炸风险评估与通风除尘安全优化方案

马磊

石家庄市智慧安评科技中心有限公司, 河北 石家庄 050000

[摘要]粉尘爆炸事故严重威胁企业安全运行,其防控要点的科学识别与实施关系企业的安全生产水平。机械制造过程中因切割、打磨、抛光等工序会产生大量可燃性粉尘,这些粉尘在车间内积聚后,易引发粉尘爆炸事故,爆炸致死率居高不下,迫切需要构建基于科学机理认知的精准防控技术体系。文章以机械制造车间为研究对象,先分析粉尘爆炸的形成机制与车间粉尘的来源及特性,再明确粉尘爆炸风险评估的核心内容与基本流程,最后从通风除尘系统设计优化、运行维护管理优化、安全防护辅助优化三个维度,提出针对性的通风除尘安全优化方案,为降低机械制造车间粉尘爆炸风险、提升车间作业安全水平提供理论参考。

[关键词]机械制造车间; 粉尘爆炸; 风险评估; 通风除尘; 安全优化

DOI: 10.33142/ec.v9i1.18883

中图分类号: TU834

文献标识码: A

Risk Assessment of Dust Explosion in Mechanical Manufacturing Workshop and Optimization Plan for Ventilation and Dust Removal Safety

MA Lei

Shijiazhuang Smart Security Evaluation Technology Center Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

Abstract: Dust explosion accidents seriously threaten the safe operation of enterprises, and the scientific identification and implementation of prevention and control measures are related to the safety production level of enterprises. In the process of mechanical manufacturing, a large amount of combustible dust is generated due to cutting, polishing, and other processes. These dust particles accumulate in the workshop and are prone to dust explosion accidents, with a high fatality rate. It is urgent to establish a precise prevention and control technology system based on scientific mechanism understanding. The article takes the mechanical manufacturing workshop as the research object, first analyzes the formation mechanism of dust explosions and the sources and characteristics of workshop dust, then clarifies the core content and basic process of dust explosion risk assessment, and finally proposes targeted ventilation and dust removal safety optimization plans from three dimensions: ventilation and dust removal system design optimization, operation and maintenance management optimization, and safety protection auxiliary optimization. This provides theoretical reference for reducing the risk of dust explosions in mechanical manufacturing workshops and improving the safety level of workshop operations.

Keywords: mechanical manufacturing workshop; dust explosion; risk assessment; ventilation and dust removal; safety optimization

引言

机械制造行业作为工产事业体系中的核心支柱产业,其生产流程涵盖众多工序环节,切割、打磨、抛光等工序的生产过程中易产生大量粉尘^[1],不仅会对车间作业环境造成严重的影响,降低空气质量,且会危害操作人员的呼吸系统健康与身体健康。从安全角度审视,制造的粉尘具备可燃性,在空气中达到特定的浓度范围,并恰好遇到点火源时,在一定程度上会引发粉尘爆炸等意外事故,不仅给生产现场造成严重的破坏,而且容易引发二次爆炸,对车间的人员生命构成严重的威胁,甚至会造成大量人员伤亡^[2]。然而在当前的机械制造行业领域中,多数企业并未重视车间的粉尘治理工作,在实际生产运营过程中存在通风除尘系统设计不合理、未能落实维护管理,这些问题的长期存在导致粉尘爆炸风险长期累积,给企业的生产带来严重的隐患。传统的粉尘管理模式仅仅关注于如何将已经

积聚的粉尘清除出车间,并未根据实际情况制定一系列具有系统性、前瞻性的管理防控措施^[3]。因此,本文研究将进一步深入分析机械制造车间粉尘爆炸风险评估,并制定针对性的优化策略,旨在为机械制造企业的粉尘安全管理提供切实可行的指导。

1 机械制造车间粉尘爆炸相关基础分析

1.1 粉尘爆炸的形成机制

粉尘爆炸是一种复杂的气固两相燃烧爆炸现象,其形成需同时满足五个核心条件,通常称为“粉尘爆炸五要素”,各要素及相互关系如下表 1 所示。

1.2 机械制造车间粉尘来源与特性

在机械制造的车间内粉尘主要来源于具有明显的工序关联性特征,其源头主要集中在物料加工的各个工艺环节之中。例如在加工金属的工序过程中,需要进行抛光打磨、切割等一系列操作,而操作会产生大量的金属粉尘。

在加工木材的操作过程中会进行打磨、刨削等操作，同样会产生木粉尘^[4]。此外，在搬运车间内物料的过程中，通过摩擦与碰撞的作用也会产生少量的粉尘，因缺乏有效的管理，受通风条件、车间空间布局等相关因素的影响这些粉尘在车间内部持续扩散与集聚，机械制造车间所产生的粉尘具备了可燃性差异的特征，金属粉尘中的镁粉、铝粉等属于典型的高危可燃性粉尘，容易提高爆炸事故的发生概率。塑料粉尘与木粉尘同样也具备了较强的可燃性，一旦条件适宜，也存在着燃烧风险。在机械制造的多数加工工序中，产生的粉尘粒径较细小，通常在微米级别，更容易被外界的火源点燃，且能够在空气中长时间悬浮形成粉尘云；粉尘的吸附能力比较强，极易吸附空气中的氧气、水分等物质，改变粉尘的物理化学性质，且容易受到环境湿度等相关因素的影响。由于粉尘粒径细小、质量轻盈，积聚性比较明显，特别容易在车间隐蔽且气流不畅的位置集聚，而一旦被扬起，遇到火源时会引发二次爆炸事故^[5]。

表1 “粉尘爆炸五要素”及相互关系

核心要素	要素说明	车间内常见形式
可燃性粉尘	粉尘爆炸的物质基础，需具备可燃属性	金属粉、木粉、塑料粉等
粉尘云	粉尘在空气中悬浮，浓度处于爆炸极限内	切割、打磨工序上方悬浮的粉尘团
点火源	具备足够能量，可触发粉尘燃烧反应	电气火花、摩擦火花、静电火花等
助燃气体	为燃烧反应提供氧气，维持反应持续	车间内的空气
有限空间	约束燃烧热量与压力积聚，促成爆炸	车间厂房、设备腔体、风管内部

2 机械制造车间粉尘爆炸风险评估流程

为了确保评估结果的可靠性与精准性，机械制造车间粉尘爆炸风险评估应遵循科学、系统、规范的流程，具体流程如下：

各阶段核心任务：首先在准备阶段对评估的边界进行明确，系统收集相关资料，同时由专家评估团队；风险识别阶段主要运用多元化的技术手段与科学方法，全面排查相关风险因素；风险分析与评价阶段主要是对风险发生概率进行科学的判断，同时基于实际情况合理进行等级划分；最后是结果输出阶段，主要是提出针对性的管理防范措施。

第一步，准备阶段。对评估范围进行清晰的明确，主要包括工艺流程、车间区域以及所涉及各类粉尘类型。获取车间平面布局图，收集粉尘检测报告与生产工艺文件，整理历史的安全事故记录等。由设备维护、生产技术、安全管理等人员组建一支评估团队。

第二步，风险识别阶段。综合运用多元化的方法对车间粉尘爆炸风险因素进行全面的识别与评估。在现场勘查环节对车间内各个角落进行全面检查，排查粉尘产生工序的粉尘逸散情况，对粉尘集聚的范围与程度进行明确。同

时需要全面排查安全防护设备配备的完整性、通风除尘系统的运行状态等获取有关粉尘爆炸风险的关键信息；另外，咨询相关领域的权威专家、查阅权威资料、进行实验检测等方式对各类粉尘的可燃性进行明确。

第三步，风险分析与评价阶段。针对已经识别出来的风险因素进行深入的探讨与分析，同时基于车间的实际生产状况，对于各类风险因素引发粉尘爆炸的可能性进行判断。以粉尘爆炸的破坏机理为依据，对若是发生粉尘爆炸事故之后可能导致的严重后果进行全面的剖析。基于各项评估结果，通过运用合理科学的风险评估方法，采用风险矩阵等方法对风险等级进行合理划分，依据判定结果明确风险管控的重点。

第四步，结果输出阶段。全面梳理与整合评估过程中的所有数据以及分析结果，形成一份专业的风险评估报告。该报告需以清晰、准确的表述明确给出车间粉尘爆炸风险的整体等级、风险管控中所存在的问题、主要风险点等评估结论；同时基于上述评估结论提出针对性和可操作性的风险管控建议。

3 机械制造车间通风除尘安全优化方案

通风除尘系统是控制机械制造车间粉尘浓度、降低粉尘爆炸风险的核心设施。基于前文的风险评估分析，从系统设计、运行维护、安全防护三个维度提出通风除尘安全优化方案，各维度核心优化要点如下表所示：

表2 各维度核心优化要点

优化维度	核心优化方向	具体优化要点
系统设计优化	提升粉尘捕捉与净化效能	局部+全面通风结合；匹配防爆型除尘设备；优化风管布置；科学设置气流组织
运行维护优化	保障系统长期稳定运行	建立常态化巡检；规范设备维护流程；完善运行记录；强化应急处置
安全防护优化	构建全方位风险防控体系	设置泄爆/隔爆/抑爆装置；控制各类点火源；强化人员安全培训与管理

通过上述多维度优化，可实现对车间粉尘的有效管控，从源头降低粉尘爆炸风险。

3.1 通风除尘系统设计优化

设计优化是提升通风除尘系统效能的基础，需结合车间的生产布局、粉尘产生特性，制定针对性的设计方案。

一是合理选择通风方式。以粉尘所产生的集中程度为依据，综合运用全面通风与局部排风的协同控制方式。集中通风方式主要应用于粉尘产生较为集中的工序，例如打磨、切割等，主要是通过粉尘发生源处设置集尘罩，利用负压原理实现粉尘的直接捕捉粉尘，在一定程度上可以有效控制粉尘向车间其他区域内扩散。而对于粉尘产生范围比较广泛且较为分散的区域建议采用全面的通风技术，通过优化车间内的送排风系统，形成有序的空气流动场，该策略可以有效减少车间整体的粉尘浓度。值得一提的是，关于集尘罩的设计应该严格遵守气溶胶捕集动力学的原理，确保罩口与粉尘产生点的距离合理、维持罩口断面风

速的均匀性分布,进一步全面提高粉尘捕捉效率。

二是科学选择除尘设备。基于车间内粉尘的物理化特性合理选择除尘技术装备,对于具有可燃性的粉尘优先配置具备防爆认证的除尘系统,通过增设隔爆阀、泄爆装置等安全措施,可以有效防止除尘设备内部因粉尘积聚而引发的燃烧爆炸事故;袋式除尘技术主要应用于细小组分含量较高的粉尘处理中,其过滤效率高,可实现高效分级净化;对于湿度较高的粉尘,建议优先选用具备抗结露的除尘设备,通过清灰系统、优化气流均布、保温伴热等措施,避免了粉尘在设备内部结露、积聚。在系统设计阶段根据工艺产尘设备的最大排尘量合理确定除尘设备的处理风量,防止因风量不足引发除尘效果不佳,同时可以避免因风量冗余导致的能耗浪费。

三是优化风管布置。对于风管的布置应该尽可能的减少弯头变径等阻力部件,同时基于风量与风速合理选择分管的直径,对于输送可燃性粉尘的管道系统应该安装防静电接地装置,消除粉尘颗粒与管壁摩擦产生的静电积聚,避免因静电积聚引发粉尘云爆炸的潜在风险,同时在风管的适当位置设置快开式检修门,便于风管的清理与维护,最大限度降低二次爆炸危害。

四是合理设置气流组织。对于送风口与排风口的布局,通过合理规划形成合理的气流方向,以确保能够高效捕捉车间内的粉尘并顺利排出。在车间的清洁区域设立送风口,排风口需布置于粉尘浓度相对较高的区域,并要安装在车间的下部或者粉尘容易堆积的地方。同时,控制车间内的气压平衡,避免出现负压过大或正压过高的情况,防止外界粉尘进入车间或车间内粉尘向外扩散。

3.2 通风除尘系统运行维护优化

为了确保通风除尘系统能够长期平稳的有效运行,日常中需要做好维护工作,加强完善相关管理制度、规范维护流程。基于现场的情况制定巡检计划,对于巡检周期、内容以及人员进行明确,巡检过程中主要检查风管的密封性、通风除尘设备的运行状态等多项指标,同时需要对粉尘浓度进行定期检测,若出现超标,及时停机进行整改。加强对通风除尘设备的保养和维护,可燃性粉尘除尘设备清灰用无火花方式,及时收集处置清灰粉尘;定期清理风管,防止堵塞。建立通风除尘系统运行维护档案,内容主要涵盖粉尘检测数据、维护保养内容、巡检结果等关键信息,并对运行记录进行全面深入分析,掌握设备的运行规律,及时发现存在的潜在风险,制定预防性维护措施。

除此之外,完善通风除尘系统故障应急处理预案,对故障产生后的应急流程、责任人进行明确。当发生重大事故,通风除尘系统无法正常运行时第一时间停止现场的生产工序,快速组织人员离开现场,并第一时间开启备用通风设备等干预措施。在故障排除之后,需要检测车间的粉

尘浓度,在确认达到标准要求之后可以恢复正常生产。

3.3 安全防护辅助优化

除了对通风除尘系统进行优化,同时需要配备完善的安全防护辅助设施,以此来防范粉尘爆炸风险。一方面,设置爆炸防护设施。主要在粉尘集聚、通风除尘设备等关键处安装隔爆装置、泄爆装置,在设备较为薄弱的部位安装泄爆装置,在粉尘输送管道上安装隔爆装置,并将抑爆装置与火焰探测器进行联合应用,通过设置爆炸防护设施,可以有效防止爆炸规模的进一步扩大。另一方面,强化人员安全管理。定期组织维护人员、车间一线操作人员参加培训,培训过程中着重讲解安全的重要性、粉尘爆炸的危害、通风除尘系统的操作规范,提高人员的安全意识与防范意识。定期组织人员参加应急演练活动,提高人员的应急处理能力。同时,制定完善的操作规程并要求操作人员严格执行,严禁在粉尘浓度超标区域进行动火作业、吸烟等可能产生点火源的行为。

4 结论

机械制造车间的粉尘爆炸风险是制约车间安全运行的关键隐患,具有较强的复杂性与危害性。开展粉尘爆炸风险评估,通过精准评估风险点,并制定全方位的粉尘管理方法策略,可提升通风除尘系统的粉尘捕捉与净化效能,确保系统长期稳定运行,可进一步提升风险防控的全面性。此外,防控措施持续改进机制涵盖措施有效性评估、改进方案制定、实施效果跟踪等关键环节,有效性评估结合定量指标与定性评价方式,改进方案制定遵循 PDCA 循环原理,通过计划、实施、检查、处理四个阶段的循环改进,确保防控措施的持续优化。未来,随着智能化技术的发展,可将物联网、大数据等技术融入通风除尘系统,实现粉尘浓度的实时监测、设备运行状态的智能预警与精准调控,进一步提升粉尘爆炸风险管控的智能化水平,为机械制造车间的安全稳定运行提供更有力的保障。

[参考文献]

- [1]郭红娟.粉尘爆炸安全防护研究现状分析与探讨[J].化工管理,2025(9):93-97.
 - [2]夏勇.粉尘爆炸事故的危害及灭火救援对策研究[J].水上安全,2024(12):121-123.
 - [3]张晓蕾,邓斌,杨松立,等.粉尘爆炸事故的模糊综合评估分析与预防策略研究[J].中国安全生产科学技术,2024,20(3):83-89.
 - [4]邹天宇,杜勋军,张彤.粉尘爆炸与防控措施[J].电气防爆,2023(5):28-30.
 - [5]冯晓美,崔楚凝,张轩鸣,等.粉尘爆炸及防护措施研究进展[J].山东化工,2022,51(12):204-206.
- 作者简介:马磊(1984.12—),毕业院校:河北科技大学,所学专业:机械设计制造及其自动化,职务:安全培训讲师,职称级别:机械工程师。