

DOI:10.19344/j.cnki.issn1671-5276.2025.01.023

除尘设备空间配置对于防爆系统的安全分析

史克志

(美埃(中国)环境科技股份有限公司,江苏 南京 211111)

摘要:针对除尘设备的实际使用需求,从设备与建筑结构的安全距离、爆炸泄压方向的规划、通风与散热空间的设计、安全监测保护系统的布置等多个角度对设备位置的安全性进行了考量。通过科学设置设备空间配置及合理规划防爆距离,有效控制粉尘聚集和发生二次爆炸的潜在风险,使除尘设备的防爆安全得以显著提升。

关键词:除尘设备;防爆距离;泄压方向;通风散热;粉尘聚集;监测保护

中图分类号:TP277 **文献标志码:**B **文章编号:**1671-5276(2025)01-0109-05

Analysis on Space Configuration of Dust Removal Equipment for Safety of Explosion-proof System

SHI Kezhi

(MayAir Technology (China) Co., Ltd., Nanjing 211111, China)

Abstract: This paper discusses the safety of dust removal equipment location in terms of actual needs of the equipment application, safety distance of the equipment and building structure, explosion relief direction planning, ventilation and cooling space designing, safety monitoring and protection system layout ect. The scientific setup of equipment space configuration and reasonable planning of explosion-proof distance are carried out, which effectively controls dust accumulation, reduces the potential risk of dust aggregation and secondary explosion and significantly enhances explosion-proof performance of the dust removal equipment.

Keywords: dust removal equipment; explosion-proof distance; venting direction; ventilation and heat dissipation; dust accumulation; monitoring and protection

0 引言

在除尘设备的应用场景中,粉尘浓度与电气设备的运行环境构成了潜在的燃爆危险。设备的空间配置和周围环境设计不仅是简单的空间配置,更是关乎安全的关键问题。随着除尘设备在工业生产中的广泛应用,如何有效降低粉尘爆炸的风险成为设备布置的首要目标。合理的空间配置与通风设计直接影响到设备的防爆效果。

1 设备空间配置的选择与防爆距离的设置

1.1 防爆距离的定义与标准要求

在考虑除尘设备的空间配置时,防爆距离直接关系到在突发爆炸事件中如何最大限度地减少冲击波、热辐射和喷射碎片对周围环境的破坏。合理的防爆距离可以最大化地降低风险,为设备的正常运行提供安全保障。因此,防爆距离的设计需要符合两个关键标准:一是考虑爆炸冲击波的扩散特性和空间缓冲效应;二是依据具体设备

的容积和结构,充分落实国家防爆规范中的相关强制性要求。

从爆炸冲击波的角度来看,设备与其他设施之间的间隔设计需要在空间结构上设计合理的吸收与疏导通道,使冲击波在发生爆炸时可以顺畅地释放而不被束缚。理想情况下,防爆距离应结合设备周边的空旷区域进行设计,并形成连续的缓冲带。缓冲带的存在可有效地降低爆炸引发的冲击和对建筑结构及周边人员的威胁程度^[1]。同时,对于同一区域内的多台设备,不能简单地等距排布,而需要依据各设备的可能波及半径及其危险等级进行错位安装。此外,针对不同规模和防护等级除尘设备的空间配置,国家和行业标准均有具体的安全间距要求。这些要求应根据设备的容积、材质和操作温度等因素进行动态调整,以保证在发生高能爆炸时周围设备不会因压力过高而受损。

防爆除尘系统整体案例如图 1 所示。防爆除尘系统是在普通除尘系统的基础上,用防静电滤袋替换普通滤袋,锁气卸灰器替换翻板卸灰器,防

作者简介:史克志(1976—),男,江苏南京人,硕士,研究方向为环保设备的系统设计,shikz@mayair.com.cn。

爆膜片阀替换球阀,并且新增了泄爆片、隔爆阀和喷淋装置^[2]。其中隔爆阀安装在除尘系统进风主管道距离除尘设备 3~5 m 处的位置。除尘器和管道、料仓与管道,一旦某一设备发生爆炸,火焰和气压会随着管道传播到其他设备上,从而造成设备的二次爆炸或多次爆炸。增加隔爆阀可有效地防止爆炸传播,保护相邻设备或车间。在设备发生粉尘爆炸时,冲击波在火焰前端,隔爆阀因爆炸产生的冲击波迅速关闭,并被自锁机构锁死,防止阀瓣开启,从而阻止火焰和压力波传播。爆炸结束后,手动复位,简单维护并经评估后即可再次使用。正常工作时,阀瓣由辅助开启装置打开^[3]。

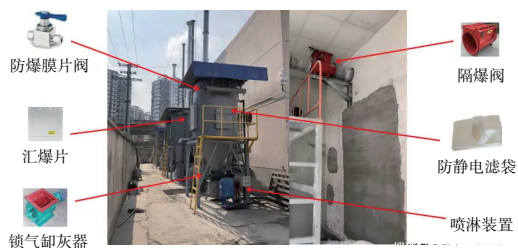


图1 防爆除尘系统整体案例

1.2 与建筑结构安全距离的设置

在设置除尘设备与建筑结构的安全距离时,必须从结构抗爆能力和空间隔离双重维度进行深入考量,其目的是在爆炸性粉尘环境中能有效隔离爆炸冲击,使建筑结构得以承受压力并保全关键区域。在实际布局中,为提升结构的抗冲击能力,需在除尘设备与承重墙或主要支撑结构之间保持适当的防爆间距。若距离规划得当,冲击波将有更多空间被自然衰减,建筑结构的承受力得以最大化利用;若规划失误,则可能会导致爆炸能量集中传导,对建筑结构造成不必要的压力负荷,甚至导致结构性损坏。因此,在设计距离时要精准计算设备与承重墙、梁柱等构件的安全间隔,预留足够的缓冲区,以应对爆炸波对建筑的破坏性冲击。如厂房内存在铝镁制品等机械加工粉尘等爆炸危险区域,厂房建筑物应独立设置,与学校、医院、商业等重要建筑之间的防火距离不小于 50 m,与民用建筑之间的防火间距不小于 25 m。

高强度的钢筋混凝土墙体和厚度足够的隔断墙可有效吸收爆炸的冲击力,设计时应将设备避开这类关键结构,避免直接承压;若必须设置在较近距离内,则应在墙体和设备之间设立缓冲设施,例如防爆隔板或泄压墙,使爆炸压力能够从安全区域导出。在这种布局中,泄压墙成为建筑结构

的“缓冲器”,一方面可减轻直接冲击,另一方面可将过剩的能量释放至空旷区域,从而在结构承压和爆炸能量释放之间形成平衡。

1.3 爆炸泄压方向的规划

在规划除尘设备的空间配置时,设备的泄压口应避开人员密集区和易燃、易爆物堆放区,优先面向空旷区域或外部开阔空间,以确保一旦爆炸发生,能量得以迅速、有效地被释放而不对周围构成二次危害。泄压方向的设计是对泄压口位置的选择及对设备周围空间整体布局的关键。泄压路径必须避免任何阻碍性结构,以免使压力释放受到阻碍,爆炸波发生反弹,使泄压系统失效造成设备损坏或爆炸能量聚集,增加安全隐患。因此,规划时需在泄压口前方保持一定的开放区域,设置辅助性的导流板或防爆墙,引导爆炸能量按照预期方向释放,增强泄压的稳定性和可控性^[4]。同时,泄压方向的选择需要综合评估设备周围的通风情况及风向特征,爆炸性粉尘一旦泄压,会形成高温高压的气流,若风向与泄压方向产生交叉,会导致粉尘扩散到更远区域,形成次生爆炸的隐患。为了减少这样的风险,可在泄压路径上加设防爆通道或排风系统,通过定向引导与快速疏散粉尘,将爆炸影响限制在指定区域内。而且在泄压路径的规划中需预留充足的维护空间,以便在设备检修、泄压口清理时具备操作的便利性。

无焰泄爆装置案例如图 2 所示。无焰泄爆装置由火焰熄灭模板、泄爆片、防爆接线盒及挟持器组成。三维网筛熄灭模块通过打开防爆门的燃烧和未燃烧的粉尘,遏制爆燃的火焰和热气。三维网筛设计可充当“散热器”,在中间部分阻止爆炸并吸收被泄爆释放的压力波和粉尘。尽管粉尘爆炸的火球温度可能达到 1 000 ℃,但是熄火模块的巨大表面积可快速进行冷却并保持在 100 ℃ 以下,这使得系统周围温度变化可忽略不计。由于能够熄灭火焰、遏制粉尘并控制压力和温度,该系统可用于室内需要避免泄爆冲击的地方。无焰泄爆装置的安全距离行人应不小于 1 m,安全距离建筑物或设备应不小于 0.5 m。

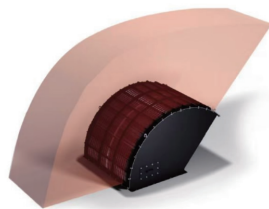


图2 无焰泄爆装置案例

2 通风与散热的空间设计

2.1 自然通风与设备温度控制

在除尘设备的安装中,设备周边要确保空气流通自然通风,为除尘过程中的温度调节提供足够的散热条件。因此,设备空间配置应避开封闭或阻塞区域,优先设置在通风性能较佳的开阔位置,使空气能够自由地对流,从而有效带走设备运转所产生的热量。同时,对于高温作业环境,通风设计需通过定向风道或通风口的精准开设,保证散热路径的通畅,以确保温度不会在设备周围形成局部积聚。通风口和通风管道的朝向与位置应根据设备的产热情况和粉尘性质进行具体调整,避免因风道设置不当而导致高温区出现,进而降低设备整体温度控制的效率。设备温度控制还需考虑周围结构的导热性和设备间的距离,以避免热量因空间布置不合理而回流至设备^[5]。对于易受热的区域,可在自然通风的基础上增设隔热屏障或导流板,隔离设备周边的热量传导路径,确保散热空气不在设备周围形成热气囊。此外,在通风布局中,留出便于定期清理和检查设备的空间,为散热系统的维护提供便利,延长设备使用寿命并保障防爆的持续性。

2.2 预留定期清理的操作空间

在设计操作空间时,首先需要考虑操作人员进入空间的便利性。一个典型的误区是将除尘设备贴墙安装,这种设计虽然会节省空间,但操作人员难以接触设备的后部,清理、检查或维护时须在极为局促的空间中进行,既影响操作安全,也不利于清理效果。因此,操作空间应至少保证人员能够自由出入,最好能够在设备周围预留适当的维护走廊,使操作人员能全方位接触设备。同时,设备的周围空间还应考虑高度设计,避免因空间过低导致积尘难以清理。此外,粉尘在特定浓度下极易燃爆,若清理空间过小,会增加粉尘聚集的风险,在高温环境中形成粉尘燃爆的条件。在此情境下,通过设置合理的通风装置和排气管道,使清理空间中的粉尘能够被迅速排出,防止浓度增加。也可利用自然通风结合局部抽风装置,保持设备周围空气流通,有助于减少粉尘浓度,降低燃爆风险。

3 避免粉尘聚集的安装高度和清洁便利性

3.1 选择合理的安装高度

合理的安装高度在除尘设备的防爆设计中起

关键作用,尤其是在粉尘易燃易爆的环境中,合理的高度决定了设备与粉尘沉降位置的相对关系。若安装高度过低,设备极易位于粉尘浓度较高的区域内,成为爆燃发生的潜在点。因粉尘堆积的特点决定了其自然沉降范围与浓度的梯度分布,而靠近地面的设备一旦处于高浓度粉尘的包围中,会加剧散热困难,为设备的电气元件产生火花提供可燃条件。因此,设备安装的高度应综合考虑粉尘沉降规律与空气流通路径,尽可能将设备置于粉尘浓度较低的区域,以降低爆燃风险。在高度设计时还需确保设备能够方便接触,但不至于与地面接触频繁,以免造成粉尘堆积与电气设备的磨损^[6]。以垂直空间配置设备,尽量远离地面,但又确保工作人员在清洁、检修时不必进行反复的攀爬动作,这样既能保证除尘设备清理的频率和效果,又能在设备周围形成稳定的空气流通,使粉尘不易滞留。通过合理设计安装高度,结合现场实际清洁需求,不仅能延长设备的使用寿命,也在日常操作上减少了安全隐患,为防爆措施的实施提供了结构保障。

3.2 地面清理通道的设置

为确保粉尘定期清理效率,必须首先考虑地面清理通道的宽度和通畅度。设备周围若被其他障碍物阻挡,操作人员在清理过程中将难以到达所有死角,导致部分粉尘残留。这种局部粉尘的积聚,可能会因设备运行产生的热量或静电逐渐形成引爆的隐患。因此,清理通道的设置要保证充足的宽度,避免转角和过多的死角,使粉尘清理工具能够无障碍通过,保障清理的覆盖性和彻底性。在关键通道区域,还可以增设高效的防滑设施,避免因粉尘湿滑或清理时水汽积聚导致滑倒等安全事故。同时,除尘设备周围的通道最好选用耐腐蚀、易清扫的材质。例如耐磨防滑的工业级地板材料能够减少粉尘附着的机会,并提高清理效率。而在通道铺设过程中,适当的倾斜度设计则可使清扫时的粉尘或残留物能够自然流向指定的收集区域,避免粉尘二次聚集,防止因清理不彻底导致的粉尘回流问题。对于需要定期用水清洗的通道,倾斜度的设计还可以减少水分残留,加速通道干燥,降低湿粉尘的黏附风险。

3.3 防止粉尘回流与二次爆炸的隔离

在设备内部结构的设计时,应在关键部位设置防回流隔板或防爆阀门,这些隔板和阀门在粉尘流动过程中起到动态隔离的作用,防止粉尘颗

粒因气流波动或设备运作而反向聚集。一旦设备内部出现压力变化,隔板或阀门能迅速关闭,阻止粉尘回流,并有效降低二次燃爆的可能性。通道结构也应避免直接连接,以减少粉尘逆流路径。特别是在除尘设备的排放口或过滤装置处,设置适当的隔离壁,能够阻止粉尘在排出时进入相邻设备的通道,进而避免高浓度粉尘回流引发的二次爆炸风险。对于整体的排风系统设计,可以通过增加单向排风阀来引导气流方向,使粉尘流向仅限于单一排放路线,避免粉尘因气流扰动进入相对密闭的区域。这种排风系统的设计可将粉尘隔离在外部环境中,有效降低回流至设备内部或敏感区域的风险,确保防爆安全的可控性。

4 安全监测保护系统的布置

4.1 进风主管道风速改进系统

在锂电部分工艺段(主要是辊压段和激光切段)存在主管道风速不足情况,因为电芯设备的排尘口风速需要结合实际生产调试,不宜过快。过快会导致电芯料带断裂,影响生产。因此在实际生产使用中会出现实际使用风量小于设计风量的情况。当每个收尘口的实际风量都偏小时,进入主管道的风量也偏小,导致主管道风速不足,甚至出现管道内粉尘大量沉积的现象。为了能达到电

芯设备上支管道的风速要求,通常除尘系统都是满负荷甚至超负荷运转,使得管道内的负压过大,甚至会产生除尘系统风管吸扁的情况。在主进风管道上安装风速传感器、温度传感器、压力传感器等监测装置,实时监控设备运行状态,及时发现异常情况并采取相应措施,并在进风主管道上增设补风阀,通过调节补风阀的开度来控制主管道的风速^[7]。

管道风速改进系统整体案例如图3所示。除尘系统设计风量为 $16\,000\text{ m}^3/\text{h}$ 。为了匹配不小于 23 m/s 的管道风速,设计的主管道为 $\varphi 490\text{ mm}$ (风量/管道横截面积=风速)。另外要求除尘系统内的主管道510风速在设计时也不宜过快,会增加能耗。由于需要匹配实际生产时的情况,业主会对支管道520上的手动阀门进行调节,补风支管道520上的手动阀门处于半开状态,这样会导致支管道520的横截面积变小,减少了支管道520的通流量。因此主管道510的通流量只有 $2/3(12\,000\text{ m}^3/\text{h})$ 左右。在主管道上增加补风阀600,即调试完成后,当管道上的风速传感器710捕捉到实际风量低于 $16\,000\text{ m}^3/\text{h}$,打开补风阀600,通过不断调节阀门的开度增加补风量,直到主管道的风量达到设计风量为止。使主管道的通流量增大,从而达到管道的设计风速。

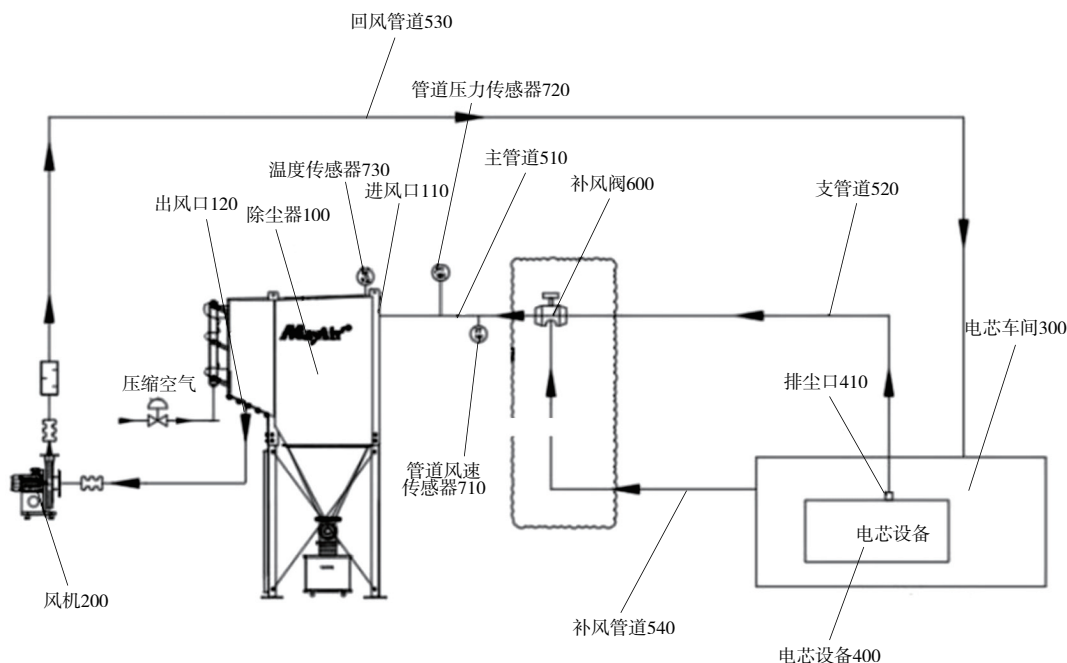


图3 管道风速改进系统整体案例

4.2 高负压工况下的泄压系统

在高负压收尘系统运行过程中,单凭调整真

空单元的电机频率来稳定吸尘管线的真空压力较为困难,会存在安全隐患影响高负压收尘系统的

安全性,如在较高运行频率下关闭所有管线末端的收尘点位将导致收尘系统的真空压力剧增,冲击真空单元,进而造成其损伤;同时电机运行电流将快速上升,产生超电流现象,导致整个系统停机。在吸尘主管道上增加泄压管线,通过监测各主、分支管线上的压力数值来调节泄压管线上泄压阀的开度,以保护真空单元及整个管线^[8-10]。

高负压工况下的泄压系统整体案例如图 4 所示。在使用时,真空单元 1 依次通过真空管线 11、除尘单元 2、主管线 3 和支管线 4 对吸尘口 41

形成吸力,从而使吸尘口 41 将工程内的粉尘吸出,进行过滤,并将过滤后的空气通过排气管线 12 输送至排气口 13 进行排出;当真空单元 1 启动和停止导致系统内部的真空压力剧增时,泄压阀 52 同步开启,系统或管线内部真空压力依次通过泄压管线 5 和泄压口 51 将外部空气吸入,从而避免管线内产生真空压力冲击真空单元,造成真空单元的损伤,同时避免电机运行电流快速上升产生的超电流现象导致的系统停机的状况。

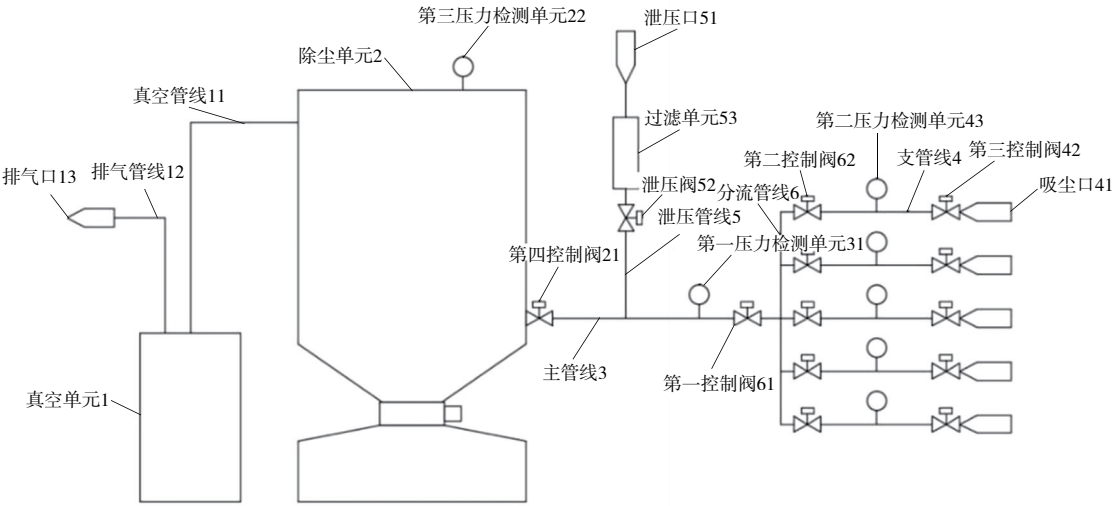


图 4 高负压工况下的泄压系统整体案例

除尘设备空间配置对于防爆的安全考虑如表 1 所示。

表 1 除尘设备空间配置对于防爆的安全考虑

主题	安全考虑	具体措施
防爆距离选择	确保与建筑的安全距离	根据防爆标准设置最小距离,保证安全通道畅通
	爆炸泄压方向	将泄压方向朝向空旷区域,远离人流密集区
通风与散热设计	控制设备温度	采用自然通风或排风系统降低设备温度
	定期清理空间	预留清理空间,便于去除粉尘堆积
	电气防护与通风要求	使用防尘防护设备,安装单向排风系统
防止粉尘聚集与清洁	防止粉尘聚集与清洁	设置适当高度,避免粉尘在设备下方堆积
	清理通道设置	设计宽敞的通道,便于清扫操作
	粉尘回流与隔离	安装防回流隔板和单向阀门,减少二次爆炸风险
安全监测保护系统的布置	进风管道风速稳定系统	通过参数监测控制补风阀来稳定管道风速
	高负压工况下的泄压保护装置	根据各主管线压力控制泄压阀来保护真空单元

5 结语

综上所述,通过对除尘设备空间配置的防爆考虑,系统性分析表明:防爆距离的精确设定、合

理的泄压规划、有效的通风散热布局及安全监测系统的布置是提升设备安全的核心因素。科学合理的安装设计可以减少粉尘浓度聚集带来的安全 (下转第 118 页)

压力机机身振动对生产的影响。

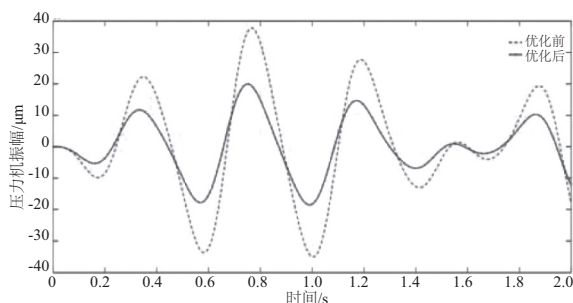


图9 优化前后振幅曲线对比

4 结语

利用 SolidWorks、Adams 和 Matlab 等软件,对不同工况下压力机振动规律进行模拟分析,得出如下结论。

1) 提出利用 4 个金属隔振器对压力机进行抑振,并将隔振系统简化为一个双自由度有阻尼力学模型,从而得到隔振系统的运动微分方程。

2) 随着压力机整机质量和平台质量的增大,压力机和平台的最大振幅均呈逐渐增大的变化特征;地基刚度和阻尼对压力机和平台振幅的影响较小;隔振器刚度和阻尼对振幅的影响较大,随着隔振器刚度的增加,压力机和平台的振幅呈先增大后减小的变化特征,随着隔振器阻尼的增加,压力机的振幅呈先增大后减小变化特征,而平台振幅呈逐渐减小变化特征。

3) 将隔振器刚度和阻尼作为优化参数,将刚度由原设计的 11 700 000 N/m 提升至 23 900 000 N/m,将阻尼由原设计的 205 000 Ns/m 提升至 341 000 Ns/m,优化后压力机和平台的最大振幅

分别较原设计时降低了 49.8% 和 17.4%,减振抑振效果明显。

参考文献:

- [1] 郑晖,廖恕,宋适元,等.汽车内板件一步翻边成形模具设计[J].锻压技术,2022,47(12):182-188.
- [2] 王飞宇,彭朋.基于无线传感的机械冲压振动监测分析[J].锻压装备与制造技术,2019,54(6):52-56.
- [3] 沈洪炜.基于 BP 神经网络的冲压机振动故障检测[J].工业加热,2020,49(10):29-33,36.
- [4] 洪国华.基于伺服压力机的板料冲裁降噪及减振效果研究[D].广州:华南理工大学,2011.
- [5] 孙明江,王兴松.闭式高速压力机的隔振研究[J].控制工程,2013,20(4):635-638.
- [6] 熊瑞.12000KN 数控精冲压力机机架有限元分析及优化[D].武汉:武汉理工大学,2016.
- [7] OTSU M, YAMAGATA C, OSAKADA K. Reduction of blanking noise by controlling press motion[J]. CIRP Annals, 2003, 52(1):245-248.
- [8] 黄栋.非线性组合隔振器结构优化及系列化设计[D].南京:东南大学,2016.
- [9] 周宇.主被动复合驱动的高速精密冲床机构的设计研究[D].南京:南京理工大学,2015.
- [10] 熊聪,梁松康,王建斌.减振器橡胶节点刚度对铁道车辆垂向振动特性的影响[J].机械制造与自动化,2023,52(1):7-10,21.
- [11] 李明臻,郭长青.地面简谐运动作用下双自由度体系鞭梢效应的影响因素研究[J].南华大学学报(自然科学版),2022,36(6):8-14.
- [12] 李建新.混沌序列密码设计及其应用研究[D].西安:西安电子科技大学,2019.

收稿日期:2023-04-11

(上接第 113 页)

隐患,有效控制粉尘的回流和二次爆炸的可能性。随着工业场景中除尘设备需求的增加,进一步优化设备布置的防爆设计将成为提升操作环境安全性的重要课题。

参考文献:

- [1] 王海霞,张晓静,周义德.纺纱车间清梳联工序防火防爆措施[J].上海纺织科技,2024,52(6):14-18.
- [2] 国家安全生产监督管理总局.AQ 4272—2016 铝镁制品机械加工粉尘防爆安全技术规范[S].
- [3] DB21/T 3401—2021 隔爆翻板阀性能试验方法[S].
- [4] 陈国荣.有机废气和除尘设备的安装技术分析[J].中国设备工程,2018(18):93-94.

- [5] 刘彩辉.浅谈有机废气和除尘设备的安装技术[J].福建建材,2016(9):93-94.
- [6] 张明宵.有机废气、除尘等设备安装管理[J].山东工业技术,2014(19):100.
- [7] 李春洋,史克志,陈玲,等.锂电行业除尘主管道风速改进系统:CN221602703U[P].2024-08-27.
- [8] 赵亮,史克志,陈玲,等.一种具有泄压功能的高负压收尘系统:CN221694610U[P].2024-09-13.
- [9] 郭诗慧,张琛朕,荆海伟,等.粮食物流行业工艺设计粉尘防爆措施[J].现代食品,2016,22(8):60-62.
- [10] 施倚.如何有效控制粉尘爆炸危险场所除尘系统的防爆[J].劳动保护,2021(12):96.

收稿日期:2024-11-18