

洁净厂房 HVAC 系统对化工生产环境微粒控制效果研究

冯树刚

嘉兴金门量子科技有限公司 浙江 嘉兴 314201

【摘要】：洁净厂房 HVAC 系统为化工生产场景微粒管控构筑关键依托，方案规划科学程度、作业存续平稳状态直接框定微粒管控实效，作用于化工制品品质与作业全流程风控，厘清 HVAC 系统各类构件在微粒管控流程运转机理，调适系统作业指标与管控模式，削减化工生产场景浮游微粒含量，规避微粒对生产链路负面作用。解析 HVAC 系统在化工洁净厂房应用特质，研判系统作业作用于微粒管控成效的核心要素，拟定靶向性改良方案，为化工洁净厂房微粒管控供给可落地技术指引，维系化工生产作业连贯态势与稳定状态。

【关键词】：洁净厂房；HVAC 系统；化工生产；微粒控制

DOI:10.12417/2705-0998.26.02.035

引言

洁净厂房构成化工生产核心承载空间，微粒污染属化工生产环境首要隐患，易致使化工原料反应失稳、产品纯度不符标准，还可能诱发生产安全事故，对化工生产全流程形成严重干扰，微粒管控成效关联化工产业产品竞争力与安全生产层级。HVAC 系统作为调控洁净厂房温湿度、空气质量的核⼼装置，肩负微粒过滤、净化及循环管控的核⼼使命，厘清 HVAC 系统与化工生产环境微粒管控的内在联系，排查系统运行中影响微粒净化成效的核⼼症结，调适系统规划与运行管控模式，可有效消解微粒污染隐患，为化工生产供给稳定洁净的环境支撑，衔接后续对系统微粒管控机制、改良路径的深度探究。

1 化工生产环境微粒污染的危害及控制核⼼需求

化工生产场景微粒污染成因繁杂，涵盖原料处置、设备运转、物料传送及环境渗入，原料破碎研磨与粉末状原料转运投料会生成固体浮游微粒，设备部件损耗、密封件老化渗漏会形成金属及工艺介质微粒，管道渗漏、输送设备震动会造成物料微粒溢散，外界尘埃亦可能渗入厂房内部，微粒污染危害覆盖生产全流程，破坏反应均衡、拉低产品纯度、损耗设备部件，高浓度微粒还可能触发粉尘爆炸^[1]。化工洁净厂房微粒管控围绕保障生产安全与产品质量展开，管控微粒浓度与粒径至规定范围，聚焦原料处理、反应等关键区域，兼顾内源与外源微粒防控，搭建全方位管控体系。

2 洁净厂房 HVAC 系统的构成及微粒控制核⼼机制

2.1 洁净厂房 HVAC 系统的核⼼组成部分及功能定位

洁净厂房 HVAC 系统囊括空气处理机组、通风管道、过滤系统、送风装置、回风装置及控制系统等核⼼构件，各构件协同发力实现洁净厂房空气环境全方位调控，微粒管控是核⼼效能之一，空气处理机组负责空气冷却、加热、加湿、除湿及初步净化，截留部分大粒径微粒为后续精密过滤筑牢根基，通风管道作为空气传输载体，输送处理后洁净空气至厂房各区域，同时将含微粒回风送至空气处理机组循环净化。过滤系统作为

微粒管控核⼼，分初效、中效、高效过滤器分级截留不同粒径微粒，送风与回风装置合理布设保障洁净空气均匀覆盖，形成稳定气流组织，控制系统实时监测厂房微粒浓度、温湿度等参数，调控系统运行维系微粒管控效果稳定。

2.2 HVAC 系统微粒过滤与净化的核⼼作用机制

HVAC 系统对化工洁净厂房微粒的管控，依托分级过滤、气流组织调控及空气循环净化三大机制协同发力，确保微粒管控达标，分级过滤通过初效、中效、高效过滤器逐级拦截实现不同粒径微粒精准截留，初效过滤器主要拦截大粒径粉尘、毛发等杂质，避免堵塞后续系统。中效过滤器进一步截留中等粒径微粒，减轻高效过滤器负荷，高效过滤器可截留细微悬浮微粒，是微粒深度净化的关键，气流组织调控通过合理设计送风、回风方式，形成稳定单向流或乱流气流，让洁净空气持续覆盖生产区域，及时带走生产过程产生的微粒，杜绝微粒积累，空气循环净化使厂房内空气持续经过 HVAC 系统过滤处理，不断降低空气微粒浓度，维系洁净环境稳定。

2.3 HVAC 系统运行参数对微粒控制效果的影响机理

HVAC 系统运行参数关联微粒管控成效，核⼼涵盖送风量、送风速度、过滤风速及空气循环次数，各参数设置不当会弱化微粒管控效果，送风量不足会导致洁净空气无法全面覆盖厂房，生产产生的微粒难以被及时带走，造成微粒浓度攀升，送风量过大致使系统能耗增加，还可能破坏气流稳定引发微粒二次飞扬^[2]。送风速度需适配洁净厂房布局与生产工况，过快易产生涡流阻碍悬浮微粒进入回风系统，过慢则无法及时带走生产区域微粒，过滤风速直接影响过滤器过滤效能，过高会导致微粒穿透过滤器降低净化效果，过低则影响空气处理效率，难以满足微粒实时管控需求。

3 洁净厂房 HVAC 系统微粒控制存在的核⼼问题

3.1 HVAC 系统设计不合理导致的微粒控制短板

部分洁净厂房 HVAC 系统规划阶段，未充分考量化工生产微粒污染特质与管控标准，致使系统建成后显现明显微粒管控

缺陷,过滤系统选型适配性不足,未依据生产环节微粒粒径分布、含量等指标选定匹配过滤器,高效过滤器选型冗余会加重系统建设与运行成本。过滤器等级偏低则难以达成精准截留,通风管道规划布局欠缺合理性,转弯频次过多、管径突变或密封性能欠佳,造成气流阻力攀升、分布不均,部分区域形成送风盲区,区域内微粒无法及时排出进而堆积,气流组织规划与厂房布局、生产设备摆放不协调,单向流或乱流设计不当,洁净空气无法全面覆盖生产关键区域,弱化微粒管控整体效能。

3.2 系统运行过程中维护管控不到位的相关问题

HVAC 系统运行阶段的维护管控水准,直接关联微粒管控效果的稳定性,当前部分化工洁净厂房在系统运维管控上存在诸多疏漏,过滤器运维更换滞后,长期运行后表面会附着大量微粒,造成过滤效能下滑、气流阻力增加,严重时出现过滤器堵塞、渗漏等状况,未经充分净化的空气进入厂房,加剧微粒污染程度,通风管道清洁运维频次不足,内壁易积聚灰尘与微粒。气流扰动下会重新扩散至空气中形成二次污染,管道连接处密封件老化后未及时更换,外界含尘空气渗入厂房,影响微粒管控成效,控制系统监测精度不足,监测仪器未及时校准,无法精准捕捉厂房内微粒浓度波动,难以依据实际工况调控系统运行指标。

3.3 外界环境及生产工况对系统微粒控制的干扰问题

洁净厂房 HVAC 系统微粒管控成效,易受外界环境及化工生产工况变动的影响而出现波动,外界环境中尘埃、颗粒物含量过高时,即便经过厂房密封处理,仍有部分微粒通过门窗缝隙、通风口等部位渗入,增加 HVAC 系统过滤负荷,系统未及时调整运行指标便会导致厂房内微粒含量超标,化工生产工况变动同样干扰微粒管控^[3]。生产负荷调整时,原料处理量、反应强度改变会造成生产环节微粒含量波动,生产工艺调整可能产生新型、新粒径微粒,现有 HVAC 系统过滤与调控能力无法及时适配,致使微粒管控效能下降,厂房内设备检修、物料转运等临时作业,也会释放大量微粒,扰乱系统正常微粒管控节奏。

4 提升洁净厂房 HVAC 系统微粒控制效果的优化路径

4.1 优化 HVAC 系统设计方案适配化工微粒控制需求

结合化工生产微粒污染特质与管控标准,调适 HVAC 系统规划方案,增强系统与微粒管控需求的适配度,过滤系统规划需精准选定型号,依据生产环节微粒粒径分布、含量及成分,合理布设初效、中效、高效过滤器,保障各级过滤器协同发力,实现不同粒径微粒精准截留,兼顾系统能耗与过滤效能,调适通风管道规划布局。缩减管道转弯频次与管径突变,保障管道内壁平整,降低气流阻力,强化管道密封处置,采用高性能密封构件,杜绝管道渗漏与外界微粒渗入,适配洁净厂房布局、

生产设备摆放及关键区域分布,规划合理气流组织,选定匹配送风、回风方式,保障洁净空气全面覆盖厂房,消除送风盲区,提升微粒排出效能。

4.2 完善 HVAC 系统运行维护与常态化管控体系

搭建完备的 HVAC 系统运行维护与常态化管控架构,保障系统平稳运转,提升微粒管控效果的持续性,制定过滤器运维更换规范,依据过滤器运行时长、过滤效能及压差变动,定期开展检查、清洁与更换作业,规避过滤器堵塞、渗漏引发的微粒管控失效,对更换后过滤器实施规范处置,防范二次污染,强化通风管道清洁运维。定期清扫、消毒管道内壁,及时更替老化密封构件,保障管道密封性能优良,减少管道内微粒积聚与外界微粒渗入,校准控制系统监测仪器,提升监测精准度,实时捕捉厂房内微粒浓度、温湿度等指标,依据指标变动调适系统运行参数,保障微粒管控效果平稳。

4.3 强化工况适配与外界干扰的防控措施

针对化工生产工况变动与外界环境干扰造成的影响,强化靶向防控举措,保障 HVAC 系统微粒管控成效不受显著影响,搭建生产工况变动预警架构,生产负荷、生产工艺调整时,提前预判微粒浓度变动趋势,及时调适 HVAC 系统运行参数,增大送风量、提升过滤风速等,适配工况变动带来的微粒管控需求^[4]。针对新型、新粒径微粒,及时优化过滤系统布设,提升系统过滤能力,强化洁净厂房密封处置,优化厂房门窗、通风口密封结构,采用高性能密封材料,减少外界微粒渗入,外界微粒浓度过高时,启动空气预处理系统,对进入厂房的外界空气进行初步净化,降低 HVAC 系统过滤负荷,保障厂房内微粒浓度稳定在规定限值内。

5 HVAC 系统微粒控制优化的实践应用及成效保障

5.1 优化方案在化工洁净厂房的实际应用要点

HVAC 系统微粒管控优化方案应用于化工洁净厂房时,需结合厂房实际布局、生产工况及现有系统布设,注重针对性与可操作性以保障优化成效落地,应用前需全面排查洁净厂房现有 HVAC 系统,明确系统存在的缺陷、微粒污染核心来源及管控难点。结合排查结果调适优化方案,规避方案与实际应用脱节问题,过滤系统优化应用中,逐步更替适配过滤器,更换期间需暂停对应区域生产,做好施工防护以防施工过程产生微粒污染,通风管道优化需分段施工,最大限度降低对厂房正常生产的干扰,施工完毕后对管道开展密封检测与气流测试,确保管道运行顺畅,系统运行参数调整阶段,逐步调试送风量、送风速度等指标,实时捕捉微粒浓度变动,直至参数调试至最优状态。

5.2 系统优化后的微粒控制成效保障措施

HVAC 系统微粒管控优化完成后,需搭建完备的成效保障举措,防止微粒管控效果反弹,确保优化成效长期维持,建立

微粒管控效果常态化监测架构,在洁净厂房各关键区域设置监测点位,实时捕捉微粒浓度变动,搭建监测档案,跟踪优化后微粒管控效果的稳定性。若出现微粒浓度超标现象,及时排查诱因并落实整改举措,强化系统运行巡检工作,安排专业人员定期检查 HVAC 系统各核心构件,重点排查过滤器运行状态、管道密封性能及控制系统运行情况,及时发现并处置系统运行中的异常问题,规避系统故障引发的微粒管控效能下滑,定期评估优化方案应用成效,结合生产工况变动与外界环境影响,及时调适优化举措,确保方案始终适配微粒管控需求,为化工生产安全稳定推进提供保障。

5.3 适配化工生产升级的 HVAC 系统长效管控策略

结合化工产业升级趋势,制定 HVAC 系统长效管控策略,确保系统微粒管控能力持续适配生产升级需求,为化工生产高质量发展筑牢支撑,强化技术升级与创新,关注 HVAC 系统相关新技术、新设备、新材料的应用,诸如高效低耗过滤器、智能控制系统等,逐步升级改造现有系统,提升系统微粒管控的智能化与高效化水准^[5]。搭建技术培训架构,定期对系统运维

人员开展专业培训,提升运维人员对系统运行原理、维护技巧及故障处置的掌握能力,确保运维人员能够规范操作系统、及时处置异常问题,结合化工生产升级后的工艺需求、产品标准,提前优化 HVAC 系统规划与管控方案,预判生产升级带来的微粒管控新需求,提前做好系统适配准备,实现微粒管控与化工生产升级同步推进。

6 结语

本研究聚焦洁净厂房 HVAC 系统对化工生产环境微粒管控成效,明确其作为微粒管控核心载体,构成、运行机制与管控水准直接关联化工生产环境洁净度,剖析化工生产环境微粒污染危害与管控标准,探究 HVAC 系统微粒管控核心机制及现存缺陷,提出靶向优化路径与长效管控策略。构建“明确需求—分析机制—排查问题—优化提升—保障成效”的完整研究框架,研究成果可指导化工洁净厂房 HVAC 系统规划、运行与管控,提升微粒管控效能,消解微粒污染隐患,保障化工制品品质与生产安全,为化工产业高质量发展提供技术支撑。

参考文献:

- [1] 林亚军.洁净厂房净化系统施工质量控制方法的探讨[J].中华建设,2026,(01):99-101.
- [2] 赵华,白晓华,贾爽.基于数字孪生的洁净厂房 HVAC 系统实时动态调控技术[J].现代工程科技,2025,4(20):105-108.
- [3] 陈祥生.大型电子洁净厂房洁净空调系统设计要点及工艺流程优化研究[C]//广西网络安全和信息化联合会.2025年第八届工程领域数字化转型与新质生产力发展研究学术交流论文集.绍兴君万微电子科技有限公司,;2025:22-24.
- [4] 徐如意,李春敏.电子洁净厂房依据 FM 标准消防水系统设计[C]//中国建筑设计研究院有限公司,中国建筑学会建筑给水排水研究分会,天津友发钢管集团股份有限公司.第十七届建筑给水排水大会 2025 建筑给水排水优秀论文选编.北京维拓时代建筑设计股份有限公司,;2025:342-344.
- [5] 李文龙,张卫东,杨文军,等.面向高洁净与绿色制造的 12 寸线传感器厂房系统设计探究[J].中国高新科技,2025,(18):42-44.