

药厂洁净车间通风系统智能化改造与气流组织创新策略

周鹏飞

中国电子系统工程第四建设有限公司 河北 石家庄 050000

摘要：随着制药行业对生产环境洁净度要求的日益提高，药厂洁净车间通风系统的智能化改造与气流组织创新成为关键。本文提出了结合智能传感器、物联网、预测控制等先进技术的改造策略，以优化风速、温湿度控制，降低交叉污染风险，并减少能源消耗。同时，创新气流布局、局部排风系统及过滤器选择，确保生产环境的高洁净度。该策略旨在提升药品生产质量，满足行业高标准需求。

关键词：药厂洁净车间；通风系统；智能化改造；气流组织创新策略

引言：在制药行业中，洁净车间的环境控制对于保证药品质量至关重要。随着科技的飞速发展，传统通风系统已难以满足现代药厂对高效、智能、节能的需求。本文旨在探讨药厂洁净车间通风系统的智能化改造与气流组织创新策略，通过引入先进技术和优化设计理念，提升系统的智能化水平，实现气流组织的精确控制，为药品生产提供稳定、可靠的环境保障，推动制药行业的可持续发展。

1 药厂洁净车间通风系统现状分析

1.1 通风系统的基本原理与结构

在药厂洁净车间中，通风系统是保证生产环境洁净度的核心。它基于中央空调系统的送风、回风及风量控制机制，以及洁净室压差的管理来实现其功能。（1）中央空调系统的送风、回风及风量控制：送风系统通过高效空气过滤器将外界空气处理后送入车间，确保空气中的微粒和微生物含量控制在一定范围内。回风系统则负责将车间内的空气抽出，经过处理后再次循环利用或排放到外界。风量控制则通过调节送风和回风的风速和流量，以适应车间内不同区域对洁净度的需求。（2）洁净室压差的控制与调节：为了保持洁净车间内部环境的稳定性，防止外部污染物进入，洁净室内部的压差需要得到精确控制。这通常通过调节送风量、回风量以及排风量来实现，确保洁净室内形成一定的正压环境，有效隔离外界污染源。

1.2 传统通风系统存在的问题

（1）风速、温度、湿度控制不稳定：由于系统本身的局限性和外部环境的变化，传统通风系统在控制车间内的风速、温度和湿度方面往往难以达到理想状态，导致环境参数的波动，影响生产效率和产品质量。（2）交叉污染风险高：在洁净车间中，不同区域间如果存在空气流动不畅或回流现象，容易导致交叉污染。传统通风

系统在气流组织方面可能存在设计缺陷，增加了这一风险。（3）能源浪费严重：传统通风系统在运行过程中往往能耗较高，这不仅增加了生产成本，也不符合当前的环保和节能要求。

1.3 气流组织现状分析

（1）送风口与回风口的设置：传统通风系统中，送风口和回风口的布局往往不够合理，导致气流分布不均匀，易产生涡流和死角。（2）气流方向与控制模式：单向流和混合流是两种常见的气流方向与控制模式。单向流能够提供稳定、均匀的气流，但能耗较高；混合流则在一定程度上节省了能源，但可能增加交叉污染的风险。（3）局部排风系统：针对特殊污染源，传统通风系统往往采用局部排风装置进行处理。然而，由于设计不当或维护不善，这些装置可能无法有效发挥作用。

2 通风系统智能化改造策略

2.1 智能传感器与物联网技术的应用

（1）实时监测风速、温度、湿度等参数：通过在通风系统的关键位置部署智能传感器，可以实时捕捉风速、温度和湿度的变化。这些数据对于评估室内环境舒适度、检测潜在污染源以及优化通风策略至关重要。（2）数据采集与智能分析：物联网技术将智能传感器收集的数据实时传输至云端或本地服务器，进行存储和分析。利用大数据算法，可以深入挖掘数据背后的规律，预测环境变化趋势，为通风系统的智能控制提供决策依据。（3）根据生产需求动态调节送风量与风速：基于智能分析结果，通风系统可以自动调整送风量与风速，以满足生产或活动的实时需求。这种动态调节不仅提升了室内环境的舒适度，还有效降低了能源消耗^[1]。

2.2 预测控制、模糊控制等先进控制技术的应用

（1）建立数学模型，实现精准控制：通过对通风系统的物理特性和运行数据进行建模，可以预测系统在不

同工况下的响应。这种预测能力使控制系统能够提前调整,实现更精准的控制效果。(2)提高通风系统的响应速度和稳定性:预测控制和模糊控制等算法能够快速识别并响应环境变化,调整系统参数,确保通风系统在复杂工况下仍能保持稳定运行。这不仅提升了系统的鲁棒性,还降低了因环境变化引起的系统波动。(3)降低能耗,优化能源管理:通过精准预测和动态调节,通风系统能够在保证室内环境舒适度的同时,最大限度地降低能耗。这种能源优化策略不仅有助于企业降低运营成本,还符合可持续发展的理念。

2.3 自动化控制系统的设计与实现

(1)自动化调节阀的应用:根据实时监测到的环境参数,自动化控制系统可以智能调节送风管道中的阀门开度,从而精确控制送风量。这种自动化调节不仅提升了系统的响应速度,还降低了人工操作的复杂性和成本。(2)定风量阀的安装与调试:在通风系统的关键位置安装定风量阀,可以确保系统在不同工况下始终保持恒定的送风量。这对于维护室内环境的稳定性、防止污染物扩散具有重要意义。同时,定风量阀的调试也是确保系统正常运行的关键步骤。(3)系统集成与调试:在完成智能传感器、控制器和执行器的部署后,需要进行系统集成和调试工作。这包括软件配置、通信测试、功能验证等环节。通过全面的系统集成和调试,可以确保通风系统的各个部件协同工作,实现稳定、高效的智能化运行^[2]。

3 气流组织创新策略

3.1 气流布局优化

(1)根据生产工艺和洁净度要求划分区域。在药厂洁净车间中,不同区域的生产工艺和洁净度要求各不相同。因此,合理划分区域是实现气流布局优化的首要步骤。根据生产工艺流程、物料特性、人员活动等因素,将车间划分为不同的洁净等级区域,如A级、B级、C级和D级等。通过明确各区域的洁净度要求,可以为后续的气流组织设计提供明确的方向和目标。(2)合理设置送风口与回风口。送风口和回风口的设置对于气流组织的均匀性和稳定性至关重要。在布局优化时,应根据车间的几何形状、洁净度要求、生产工艺等因素,合理确定送风口和回风口的位置、数量和大小。通过精确计算送风量、回风量以及气流速度等参数,确保车间内形成稳定、均匀的气流场,避免涡流和死角产生。(3)采用单向流或混合流气流模式。单向流和混合流是气流组织中的两种主要模式。单向流适用于对洁净度要求极高的区域,如无菌操作区,它通过送风口持续向车间内送

入新鲜空气,形成单向流动的气流场,有效避免交叉污染。而混合流则适用于对洁净度要求稍低的区域,它通过送风口和回风口的合理布局,实现空气在车间内的均匀混合和循环。在选择气流模式时,应根据车间的实际情况和洁净度要求进行权衡。

3.2 局部排风系统的创新设计

(1)针对污染源设置局部排风设备。在药厂洁净车间中,污染源如生产设备、操作人员活动、物料存放等可能产生有害颗粒物和污染物。为了有效控制这些污染源,应针对其设置局部排风设备。局部排风设备应具有高效、稳定的性能,能够迅速将污染物吸入并排出车间外,避免对洁净环境造成不良影响。(2)优化排风系统,提高污染物排出效率。在局部排风系统的设计中,应注重提高污染物的排出效率。通过优化排风管道的布局、选择合适的排风机型号和数量以及调整排风口的尺寸和位置等措施,实现污染物的快速、有效排出。同时,还应定期对排风系统进行维护和清洁,确保其长期稳定运行^[3]。(3)确保整体气流组织的稳定性。局部排风系统的创新设计不仅需要考虑其自身的效率和稳定性,还需要与整体气流组织相协调。在设计和调试过程中,应充分考虑局部排风对整体气流组织的影响,确保局部排风与整体气流能够相互补充、互为促进。通过合理设置送风口、回风口以及调整气流速度等参数,实现整体气流组织的稳定性和均匀性。

3.3 过滤器选择与优化

(1)选择高效颗粒空气(HEPA)或超低渗透率(ULPA)过滤器。HEPA能去除空气中大于0.3微米颗粒物的99.97%以上,ULPA过滤效率更高,可去除大于0.12微米颗粒物的99.999%以上。需依据生产区域洁净度要求和污染物特性权衡,无菌操作间等关键区域宜用ULPA过滤器。(2)定期清洁与更换过滤器,确保过滤效率。过滤器使用中会积累灰尘和污染物,导致效率下降。应按洁净度要求、使用寿命和实际污染情况,制定详细清洁更换计划。清洁时用适当清洁剂和方法,避免损坏过滤器;更换时遵循严格操作规程,保证安全可靠。(3)优化过滤器布局,提高空气净化效果。布局影响空气净化效果,合理布局可使空气充分净化,提升洁净度。优化时需考虑生产区域几何形状、送回风口布局及污染物分布等因素,通过计算和模拟分析,确定过滤器最佳位置和数量,实现空气均匀有效净化。

4 智能化改造与气流组织创新的实施步骤

4.1 需求分析与方案设计

(1)调研药厂生产需求与现状。项目启动之初,首

要任务是全面调研药厂的生产需求与现状。这包括了解药厂的生产工艺、洁净度要求、设备布局、人员配置以及现有的智能化水平等。通过深入调研，可以准确把握药厂的实际需求，为后续方案设计提供坚实基础。（2）设计智能化改造与气流组织创新方案。基于调研结果，设计团队需结合药厂的实际情况，制定智能化改造与气流组织创新方案。方案应涵盖智能化系统的架构、功能需求、设备选型、气流组织优化策略、预期效果及成本预算等方面。设计过程中，需充分考虑系统的可扩展性、兼容性和易用性，确保方案能够满足药厂长期发展的需要。

4.2 设备选型与采购

（1）选择适合的智能传感器、控制器等设备。设备选型是智能化改造的关键环节。根据项目需求，选择高精度、稳定性强的智能传感器，如温湿度传感器、颗粒物传感器等，以实时监测生产环境的状态。同时，选用可靠的控制器和执行器，如PLC（可编程逻辑控制器）、变频器等，以实现对智能化系统的精准控制。（2）采购高效过滤器与排风设备。气流组织创新离不开高效过滤器和排风设备的支持。在采购过程中，需严格遵循相关标准和规范，选择性能优异、质量可靠的产品。高效过滤器应满足生产区域的洁净度要求，排风设备则需具备高效、低噪、易维护等特点。

4.3 施工与调试

（1）智能化设备与系统的安装与调试。施工阶段，需按照设计方案，有序进行智能化设备与系统的安装工作。安装过程中，应注重细节，确保设备连接牢固、线路布局合理。安装完成后，进行设备调试，确保各项功能正常，系统稳定运行。（2）气流组织优化与调整。在气流组织创新方面，需根据设计方案，对送风口、回风口及排风设备进行合理布局和调整。通过模拟分析和实地测试，优化气流路径，确保生产区域内空气流动均匀、稳定，满足洁净度要求。（3）系统运行测试与验证。

系统安装与调试完成后，需进行全面的运行测试与验证。测试内容涵盖智能化系统的各项功能、气流组织的实际效果以及整体系统的稳定性和可靠性。通过测试，及时发现并解决问题，确保系统达到设计要求^[4]。

4.4 培训与人员管理

（1）对操作人员进行设备操作与维护培训。为确保智能化改造与气流组织创新项目的顺利实施和后续运维，需对操作人员进行系统的设备操作与维护培训。培训内容涵盖设备的基本操作、常见故障排查与处理方法以及日常维护注意事项等。通过培训，提升操作人员的技能水平，确保系统稳定运行。（2）制定智能化设备与系统的运行管理制度。为确保智能化设备与系统的长期稳定运行，需制定详细的运行管理制度。制度应涵盖设备的日常使用、定期维护、故障申报及处理流程等方面。同时，建立责任制，明确各级人员的职责和权限，确保各项制度得到有效执行。

结束语

综上所述，药厂洁净车间通风系统的智能化改造与气流组织创新是提升药品生产质量、保障环境洁净度的关键途径。通过实施本文提出的策略，不仅能显著优化通风系统的运行效率，降低能耗，还能有效避免交叉污染，确保生产环境的稳定性和可靠性。未来，随着技术的不断进步，我们将继续探索更多创新策略，为制药行业的可持续发展贡献力量。

参考文献

- [1]高常淋.制药厂洁净车间空调通风设计体会[J].建筑技术科学,2022,(08):81-82.
- [2]杨太辉.药厂洁净车间的空调自动控制系统设计[J].建筑技术科学,2020,(09):95-96.
- [3]王燕.生物制药厂房空调及通风系统设计要点[J].药学,2023,(10):103-104.
- [4]胡芳.洁净空调在制药厂的应用及问题胡芳[J].临床医学,2020,(12):127-128.