

工业厂房暖通空调系统与防排烟系统联动控制策略研究

李 慧

河北英科石化工程有限公司天津分公司 天津 300400

摘 要: 工业厂房作为现代制造业的重要载体,其内部温湿度环境、空气品质、气流流向以及火灾防护体系对设备运行、产品质量与人员安全均具有直接影响。暖通空调系统承担着调控环境参数、排除污染物与维持空气流通的功能;防排烟系统则在火灾情形下承担烟气控制、疏散保障等关键职责。由于两大系统在风量调控、压力分布与气流组织等方面存在明显关联,通过建立联动控制策略,使两者在常态运行与应急状态下互相协调,已成为提升工业厂房运行效率和保障消防安全的重要课题。本文在系统分析暖通空调系统与防排烟系统运行机制及其相互影响关系的基础上,结合工业厂房大空间特征、复杂气流变化规律与火灾烟气扩散模型,对联动需求进行归纳,并重点研究基于火灾信号触发的联动逻辑、气流组织优化策略与智能化控制体系的构建原则。研究表明,科学的联动控制策略不仅能够提升暖通系统能效水平,增强系统可靠性,还能显著提高防排烟系统在火灾初期的响应速度与控制效果,从而实现安全性与节能性的兼顾。本文可为工业厂房暖通系统升级、防排烟系统建设以及智能化建筑系统集成提供实践参考与理论支撑。

关键词: 工业厂房;暖通空调;防排烟;联动控制;气流组织;智能化系统

引言

工业厂房内部设备密度大,工艺流程复杂,设备运行带来的余热、有害气体与颗粒物会导致厂房内部温湿度异常、空气质量不达标等问题,影响人员健康与生产效率,因此暖通空调系统在厂房环境调节中具有重要作用。同时,工业厂房在火灾情景下烟气产量大、扩散快、温度高,若不能及时控制烟气蔓延,将严重威胁人员疏散与应急救援。防排烟系统在火灾应急中承担着关键的生命安全保障作用。然而在实际工程应用中,暖通空调系统与防排烟系统往往由不同的技术团队设计与调试,缺乏统一的控制平台与联动逻辑,导致系统之间存在信息孤岛,运行时可能相互干扰,甚至在火灾情况下因未及时切换运行模式而扩大风险。例如,暖通系统在火灾初期持续送风会促进烟气扩散;排烟系统若不能根据厂房实际压力变化动态调整,也可能造成负压不稳,影响排烟效率。随着智能建筑技术的发展,企业对环境安全、高效生产和能源利用效率的要求不断提升,系统联动控制已成为工业厂房暖通及消防系统建设的新趋势。基于此,本文围绕工业厂房暖通空调系统与防排烟系统联动控制策略展开研究,通过对系统特点、联动需求、协同

逻辑、控制策略及未来优化方向的系统分析,为工业厂房提供一套可实施、可扩展、可升级的联动控制理论框架与实践指导。

一、工业厂房暖通空调系统的功能特点与运行特征

(一) 温湿度调节的高精度需求与负荷变化规律分析

工业厂房内部存在大量发热设备,如加热炉、机械加工设备、电气柜等,同时人员密度和生产工艺负荷随时间与工段不同呈现波动性。因此暖通空调系统必须具备对温湿度的高精度、快速响应能力。部分行业如电子制造、医药净化、精密加工等对温湿度控制的波动容忍度极低,需要通过多级调节、实时监测和智能预测控制确保环境稳定。此外,温湿度负荷具有昼夜周期性、工艺启动周期性及季节性差异等多维特点,使暖通系统需要具备动态调节的能力,以避免能耗浪费和控制偏差。

(二) 工业污染负荷大背景下的新风补偿与空气品质调节

工业厂房常伴随粉尘排放、焊接烟尘、挥发性有机物、酸性气体等空气污染负荷,这要求暖通空调系统必须具备健全的新风引入和污染物稀释机制。新风补偿量应根据污染源强度、设备运行状态和厂房空气品质实时调节,而非采用固定风量模式。污染物扩散速度快且

作者简介: 李慧(1995.03-),女,汉,河北石家庄,本科,初级工程师,研究方向:暖通、防排烟。

方向不确定,暖通系统需借助高效过滤器、多级净化装置和合理气流组织,确保厂房内部空气质量维持在安全范围内。同时空气质量调节需兼顾能效,避免因过度通风而产生高能耗问题。

(三) 高大空间气流组织对暖通系统运行效果的影响分析

工业厂房普遍具有高大空间结构,空间高度大、设备布局开阔,气流组织受热浮力、设备布置、进风方式等影响显著。暖通空调系统需采用适合大空间的送风方式,如上送下回、侧送侧回、大射流送风等方式,使空气分布更加均匀。在气流组织不合理的情况下,会出现分层现象、温度梯度过大、污染物滞留、冷热不均等问题,降低系统运行效率。在火灾情况下,高大空间中的烟气分层与逆流风险更高,因此气流组织对联动控制和烟气管理具有重要影响。

二、防排烟系统的结构组成与运行机理

(一) 加压送风系统的工作原理与应用要求深化分析

加压送风系统主要用于疏散通道和避难区域,通过机械送风提高通道内的空气压力,使烟气难以进入疏散路径。在工业厂房中,由于空间规模大、开口多,加压系统需具备更高的风压补偿能力,并保证系统运行时的压力稳定性。压力过大将影响人员疏散,压力不足又无法有效阻烟,因此加压送风系统的设计需依据厂房防火分区、设备布置和门窗启闭方式进行优化。

(二) 机械排烟系统的结构特点与烟气控制能力探讨

机械排烟包括排烟风机、管道、阀门、排烟口等组成部分,其核心任务是快速降低烟气浓度、减少毒性并维持能见度。工业厂房火灾烟气产生速度快、温度高,因此排烟系统需具有耐高温性能,轴功率大、风量高,同时管道布局需避开主要设备并尽量减少阻力损失。机械排烟与自然排烟结合时需考虑火灾风压、热压以及开口位置的耦合关系,确保系统整体排烟效率最大化。

(三) 阀门、防火阀与系统自动化装置的联动功能分析

防排烟系统包含大量阀门、防火阀、排烟阀,其动作依赖火灾探测系统的信号。阀门需在极短时间内完成打开或关闭,确保烟气流向正确、风道通畅、防火分隔有效。系统还需具备远程控制及反馈监测能力,以便管理人员了解阀门实时状态,及时调整系统运行策略。在联动控制机制中,这些装置的可靠性直接关系到防排烟系统的整体效果。

三、暖通空调系统与防排烟系统联动需求分析

(一) 避免暖通系统在火灾初期造成烟气扩散的联动需求

暖通空调系统在常态运行中往往连续送风,若在火灾初期仍保持运行,可能会驱动烟气向更大范围扩散,使得火灾控制难度提升。因而联动策略必须确保火灾报警触发后迅速关闭暖通空调部分风口或停止送风段设备,从源头减少烟气扩散动力。同时需要确保关闭动作具备区域性识别能力,使非火灾分区的暖通系统可继续维持必要的环境功能。

(二) 压力控制协调机制与火灾工况下的气流重构需求

暖通系统通常维持厂房整体轻微正压,而防排烟系统在火灾工况下需在疏散通道、避难层形成更高的正压,在火灾区形成负压,以控制烟气流动方向。因此联动系统需具备压力协调机制,实现暖通风量的快速降低或停止、防排烟风量迅速增加,使压力分布符合排烟要求。系统需实时监测压力变化,确保气流组织迅速从舒适性模式切换至安全防烟模式。

(三) 火灾应急模式中气流方向与常态模式差异的联动需求

常态模式下气流组织主要服务于温湿度控制与空气质量,而火灾应急模式下气流方向则以烟气控制为核心目标,两者气流组织方向、风量需求与压力差完全不同。联动控制策略必须具备快速模式切换能力,并确保火灾模式下气流组织能够满足烟气阻断、能见度提升与人员疏散的需求。这需要暖通系统与防排烟系统之间建立可靠的数据交换与指令互通机制,使其在火灾情况下协同响应。

四、联动控制策略的构建与系统优化路径

(一) 基于火灾信号触发的联动逻辑体系构建

联动控制需要以火灾报警系统信号为核心,形成由烟感、温感、手动报警按钮触发的逻辑链。火灾信号出现后,暖通空调系统按控制要求执行区域停机、风阀关闭、变频器调节等动作;防排烟系统同步完成排烟风机启动、加压风机运行、防火阀动作等任务。逻辑体系需根据建筑结构、分区设计与厂房工艺布局进行逐级划分,形成主控制逻辑、分区控制逻辑与设备联动逻辑,使系统在不同火灾场景下均能快速响应。

(二) 暖通系统与防排烟系统的风量协调策略

风量协调是联动控制的核心内容。暖通系统需在火灾信号触发后减少送风,避免气流推动烟气扩散;防排

烟系统需迅速形成排烟主风道与负压控制。压力差控制需使疏散通道正压保持在 20 ~ 50Pa 范围, 既保障防烟效果又不影响逃生门开启。风量协调还需结合 CFD 模型评估气流流向, 针对大空间厂房建立分区风量调控策略, 使气流组织与烟气流动保持可控关系, 提高整体联动效率。

(三) 采用智能控制技术提升联动响应速度与协同能力

智能控制技术可利用传感器、风速与温湿度监测设备实时采集环境参数, 通过 BAS 或 PLC 系统进行数据分析, 自动识别火灾位置与烟气扩散趋势。基于智能控制模型, 系统可实现动态调节风量、自动匹配排烟模式、自动优化压力控制等功能, 提高联动响应速度, 减少人为干预, 提高整体系统的精度和可靠性。

五、工业厂房暖通空调系统与防排烟系统联动的未来优化方向

(一) 加强基于 CFD 模拟的气流组织优化研究

CFD 模拟技术为火灾工况下的气流组织研究提供了重要支撑, 可用于预测烟气扩散路径、速度分布与温度场变化特征。通过数值模拟手段, 能够在设计阶段评估不同通风策略对烟气控制效果的影响, 识别潜在的高温积聚区与不利气流通道。将模拟结果与建筑空间形态、设备布置相结合, 有助于优化送排风位置与控制参数, 使气流组织更符合火灾安全目标。未来的联动控制设计应强化模拟验证环节, 通过多情景、多工况的仿真分析, 提高控制策略的适应性与可靠性。基于模拟数据形成的设计依据, 可减少经验判断带来的不确定性, 提升系统在紧急状态下的响应效率。模拟验证与工程设计的深度融合, 将推动气流组织调控走向更高水平的科学化与精细化。

(二) 推动节能与安全协同化控制策略的发展

在保障运行安全与室内环境质量的前提下, 持续提升暖通系统能效是建筑运行管理的重要方向。通过对风量控制算法进行精细化优化, 使送回风调节更加贴合实际负荷变化, 可有效减少无效能耗。基于工况识别与负荷预测的智能控制策略, 有助于在不同使用场景下实现精准供给, 避免系统长期处于高负荷运行状态。引入智能经济运行模式, 可在满足通风、温控与安全需求的条件下, 自动选择能耗更优的运行参数组合。系统运行数据的持续分析, 为能效评估与策略调整提供依据, 使节能措施具备可验证性与可持续性。安全约束与能效优化

的协同推进, 使暖通系统在稳定运行的基础上实现能耗降低, 兼顾运行可靠性与经济性, 提升整体运行管理水平。

(三) 推进智能化联动平台建设实现系统自适应控制

随着工业互联网技术的不断普及, 未来工业系统将逐步向高度集成化与全面数字化方向演进。依托人工智能、物联网与大数据平台的深度融合, 系统能够实现设备、工艺与管理层面的协同运行, 使信息传递更加高效顺畅。通过对多源数据的持续采集与分析, 系统具备更强的状态感知与趋势判断能力, 为运行决策提供数据支撑。自适应联动机制的引入, 使系统能够根据环境变化与运行需求进行动态调整, 减少人为干预带来的不确定性。数字化平台在统一管理 with 智能分析方面的作用不断增强, 有助于优化资源配置与运行策略。系统预测能力与运行效率在技术驱动下持续提升, 为工业生产的稳定性、灵活性与高质量发展提供坚实保障。

结论

工业厂房暖通空调系统与防排烟系统在运行目标与控制逻辑上存在紧密关联, 其联动控制水平直接影响工业环境质量与消防安全成效。围绕工业厂房空间尺度大、工况复杂及安全要求高等特点, 对两类系统的功能定位、联动需求与控制逻辑进行系统梳理, 有助于构建更具针对性的协同控制思路。基于火灾信号的联动机制, 可在异常状态下实现系统快速切换, 保障人员疏散与设备安全。风量协调机制的优化, 使通风与排烟过程更加有序, 减少系统冲突带来的能耗与风险。智能化控制平台的引入, 为系统运行提供统一调度与状态监测手段, 使联动策略具备更高的响应速度与稳定性。

参考文献

- [1] 李强, 王斌. 工业建筑暖通系统设计优化研究 [J]. 建筑环境与能源, 2021, 40 (5): 58-64.
- [2] 赵岩, 陈海兵. 防排烟系统运行特性与控制策略分析 [J]. 建筑技术, 2020, 51 (10): 112-118.
- [3] 孙凯, 周鹏. 暖通空调系统智能化控制技术研究 [J]. 暖通空调, 2019, 49 (6): 33-40.
- [4] 王敏, 刘晓东. 大空间建筑排烟系统设计与优化 [J]. 消防科学与技术, 2022, 41 (3): 87-93.
- [5] 何伟, 张志强. 建筑机电系统联动控制技术的发展趋势 [J]. 建筑电气, 2021, 40 (12): 55-61.