

建筑暖通空调防排烟设计常见问题分析

张明昇

新疆恒泰工程设计有限公司 新疆 图木舒克 844000

摘要：建筑暖通空调防排烟设计关乎火灾安全。本文分析常见问题，涵盖防排烟与疏散、消防系统协同矛盾，系统可靠性不足，防烟分区划分不合理等基础问题，机械排烟系统关键问题，自然排烟与特殊空间设计优化，以及智能控制与维护管理创新等方面。针对这些问题提出优化方向与改进措施，如建立动态模型、采用智能联动控制、提升系统可靠性、优化分区设计等，为建筑防排烟设计提供参考。

关键词：防排烟设计；系统可靠性；排烟量计算；自然排烟；智能控制

引言：在建筑领域，暖通空调防排烟设计是保障人员生命安全与建筑消防安全的关键环节。火灾发生时，有效的防排烟系统能及时排出烟气，为人员疏散和消防救援创造有利条件。然而，当前防排烟系统设计存在诸多问题，涉及系统协同、可靠性、分区划分、排烟量计算、风机选型、管道阻力控制等多个方面，影响火灾防控效果。深入剖析这些问题并提出针对性解决策略十分必要。

1 防排烟系统设计基础问题与优化方向

1.1 防排烟与疏散、消防系统的协同矛盾

在防排烟系统设计实践中，排烟路径与疏散通道的重叠问题屡见不鲜。这种设计缺陷不仅可能导致火灾时高温烟气侵入疏散通道，增加人员疏散风险，还可能因烟气遮挡视线而降低疏散效率，严重威胁人员生命安全^[1]。机械排烟与自然通风的协同失效同样值得关注，部分建筑在火灾初期依赖自然通风排烟，但因设计不当导致排烟口被火势封堵，而机械排烟系统又未能及时介入，最终造成烟气积聚。针对上述问题，可建立排烟与疏散空间动态模型，通过数值模拟技术优化排烟口与疏散门的相对位置，从源头上减少协同矛盾。在排烟模式选择上，宜采用智能联动控制策略，根据火灾发展阶段动态调整排烟方式。例如，火灾初期可优先利用自然通风，通过可开启外窗或天窗实现烟气排放；当火势蔓延导致自然通风失效时，系统自动切换至机械排烟模式，确保排烟效率。

1.2 系统可靠性设计不足

当前防排烟系统普遍存在单点故障风险，部分设计仅依赖单一排烟风机或电源，一旦设备故障或电力中断，整个系统将陷入瘫痪。这不仅会使建筑在火灾时失去有效的排烟手段，还会加剧火灾危害，给人员疏散和消防救援带来极大困难。备用电源切换失效问题同样突出，部

分系统因切换逻辑缺陷或自检功能缺失，导致火灾时备用电源无法及时投入使用。为提升系统可靠性，可采用分布式排烟架构，通过多台风机并联运行降低单点故障影响。即使部分风机出现故障，剩余风机仍可维持基本排烟功能。在电源设计方面，需优化备用电源切换逻辑，增加自检模块与故障预警功能。系统应定期自动检测主备电源状态，并在发现异常时发出警报，为维护人员提供充足的处理时间。

1.3 防烟分区划分不合理

防烟分区划分不合理主要表现为分区面积过大或挡烟垂壁高度不足。过大的分区面积会导致烟气扩散范围增加，加剧火灾蔓延风险，使火灾危害范围扩大；而挡烟垂壁高度不足则无法有效阻挡烟气跨区流动，降低防烟效果，影响人员疏散安全。优化防烟分区设计需结合烟气扩散模拟技术，根据建筑功能布局动态调整分区边界。对于功能复杂的建筑，可采用模块化分区策略，根据不同区域的使用性质划分独立防烟分区。在挡烟垂壁设计方面，推荐采用电动升降式可调节垂壁，通过传感器实时监测烟气高度并自动调整垂壁位置，确保在不同火灾场景下均能形成有效防烟屏障，提高防烟分区的可靠性。

2 机械排烟系统关键问题与改进措施

2.1 排烟量计算与实际需求偏差

传统排烟量计算模型多基于简化假设，往往忽略空间高度对烟气分层的影响，以及多区域耦合作用下的烟气迁移规律。这种计算偏差易导致设计排烟量与实际场景不匹配，尤其在高大空间建筑中，需针对性优化计算逻辑与控制策略^[2]。为提升计算精度，可引入三维计算流体动力学（CFD）模拟技术，通过构建建筑空间数字化模型，结合燃料热释放速率、烟气生成量等参数，精准预测烟气运动轨迹与浓度分布。基于此模拟结果，可修

正传统排烟量计算公式,增加空间高度修正系数与多区域耦合因子。系统设计宜采用可变排烟量控制策略,在排烟管道内布置烟气浓度传感器,实时监测关键节点烟气浓度值。通过传感器反馈数据动态调整风机运行状态,实现排烟量与火灾场景的精准适配,弥补固定计算模式的局限性。

2.2 风机选型与布置缺陷

风机性能与系统阻力特性不匹配是常见问题,部分设计仅依据经验值选型,未充分考虑管道长度、弯头数量等阻力因素,导致实际排烟量达不到设计要求。这不仅会影响排烟系统的正常运行,还可能降低火灾防控效果,增加安全隐患。排烟口与补风口位置设置不当同样影响系统效能,二者距离过近或处于同一气流路径时,易形成气流短路,降低排烟效率。针对风机选型问题,可建立包含风量、风压、效率等参数的风机性能数据库,通过系统阻力计算软件绘制阻力曲线,选择工作点位于高效区的风机型号,确保风机性能与系统需求相匹配。在布置设计方面,需优化排烟口与补风口的相对位置,二者垂直间距不宜小于3米,水平间距应大于10米。对于复杂布局建筑,可采用气流组织模拟技术,分析不同布置方案下的气流分布,确定最优风口位置,提高系统效能。

2.3 管道系统阻力控制

管道材质耐火性能不足会缩短系统有效工作时间,部分工程采用普通钢板管道,在高温作用下易变形损坏,导致排烟系统失效。普通钢板管道在高温下易损坏,会使排烟系统在火灾关键时刻无法正常工作,严重影响火灾防控和人员疏散。管道局部阻力过大则增加系统能耗,弯头、三通等部件设计不当会显著降低排烟效率。普通钢板管道在600℃高温下,30分钟内即可能发生严重变形,导致排烟系统瘫痪。提升管道耐火性能,宜选用镀锌钢板或不锈钢材质,并在管道内壁喷涂防火涂料或敷设防火岩棉,使管道耐火极限达到1.5小时以上,确保管道在火灾时能正常工作。为降低局部阻力,管道转弯处应采用大半径弯头,转弯半径不小于1.5倍管径,并减少不必要的弯头数量。三通部件宜采用45度斜接方式,避免直角连接形成涡流区。在管道直线段每隔6米设置导流叶片,可进一步优化气流分布,降低系统阻力损失。

3 自然排烟与特殊空间设计优化

3.1 自然排烟窗口设计改进

传统自然排烟窗常因可开启面积不足或开启机制失效,导致火灾时无法有效排出烟气。可开启面积不足会限制烟气排出量,开启机制失效则会使排烟窗在紧急情况下无法正常工作,严重影响自然排烟效果^[3]。部分建

筑为追求立面效果,采用固定窗或开启角度受限的窗型,直接削弱了自然排烟能力。此外,手动开启装置在紧急情况下易因操作不便或人员恐慌而失效,进一步降低系统可靠性。针对面积不足问题,可优先选用电动开启窗系统,通过集成风速传感器与雨量传感器,实现环境自适应控制。当检测到火灾信号且风速低于安全阈值时,系统自动开启排烟窗至最大角度;遇降雨天气则自动调整开启幅度,在保障排烟效率的同时防止雨水侵入。窗型设计宜采用上悬式结构,利用窗扇与窗框的间隙形成流通道,既避免直吹雨水又维持排烟动能。对于高层建筑,可结合建筑朝向与主导风向,在迎风面优先布置排烟窗,利用风压辅助排烟。

3.2 大空间建筑排烟挑战

大空间建筑因高度跨度大,烟气层高度难以稳定维持,热对流效应常导致烟气快速上升并扩散至整个空间。烟气快速扩散会使火灾危害范围迅速扩大,增加人员疏散和消防救援难度,严重威胁建筑内人员生命安全。传统排烟方式易因排烟口位置不当或补风不足,引发烟气层紊乱甚至逆流现象,严重影响人员疏散安全。对于高度超过12米的大空间建筑,烟气层高度在火灾发生后2分钟内即可能下降至疏散通道高度。分层排烟设计可有效应对该挑战,通过在建筑顶部设置独立排烟层,利用烟气自然上升特性实现定向排出。底部补风系统需与排烟层协同运作,通过可调风口控制补风量与流速,避免形成局部涡流。喷淋系统预降温技术可与排烟系统联动,当烟气温度超过设定值时,喷淋装置自动启动,通过水雾蒸发吸收热量,降低烟气温度以减缓其上升速度。此举既能延长烟气层稳定时间,又可减少高温烟气对建筑结构的损害。

3.3 地下空间防排烟矛盾

地下空间受活塞风效应影响显著,车辆进出产生的气流波动常干扰排烟系统正常运行,尤其在地下车库坡道区域,自然排烟窗口易因气流紊乱而失效。活塞风效应会使排烟系统运行不稳定,自然排烟窗口失效会降低排烟能力,增加地下空间火灾风险。传统机械排烟方式若单独使用,易因补风不足导致排烟效率下降,形成负压区阻碍烟气排出。防烟前室设置可有效削弱活塞风影响,通过在车库出入口构建独立缓冲空间,利用防火卷帘或防火门实现气密分隔。当车辆进出时,前室气压变化被限制在局部区域,避免对内部排烟系统产生冲击。机械排烟与诱导风机结合方案可优化坡道气流组织,在坡道两侧布置诱导风机,通过定向送风形成气流屏障,引导烟气向排烟口聚集^[4]。系统运行时可根据烟气浓度监测数据,

动态调整诱导风机转速与送风方向,实现精准排烟控制。

4 智能控制与维护管理创新

4.1 智能联动控制系统升级

传统防排烟系统在火灾探测阶段常面临信号优先级冲突问题,温度、烟雾及一氧化碳传感器独立运行,易因数据割裂导致排烟策略滞后。信号优先级冲突和数据割裂会使系统无法及时准确判断火灾情况,延误排烟时机,增加火灾危害。部分系统与消防水系统、应急照明等设施的协同机制不完善,难以形成立体化防护网络。为解决这些问题,多传感器融合算法的开发可突破单一参数局限,通过构建数据关联模型,综合分析温度梯度变化、烟雾颗粒粒径分布及一氧化碳浓度曲线,精准判断火灾发展阶段。例如,当温度与烟雾浓度同步增而一氧化碳浓度较低时,系统可判定为初期明火阶段,优先启动局部排烟;若三项指标均呈指数级上升,则自动切换至全区域排烟模式。同时,BIM模型与消防系统的深度融合,可实现三维空间排烟路径动态推演,通过数字孪生技术模拟不同火灾场景下的烟气扩散轨迹,为排烟口启闭、风机转速调节提供可视化决策支持,进一步提升系统的智能化与精准性。

4.2 系统可维护性提升

检修空间受限是排烟系统维护的常见痛点,部分风机房设计未预留足够操作面,导致滤网更换、阀门调试等日常维护工作难以开展。检修空间受限会增加维护难度,降低维护效率,影响系统正常运行和性能发挥。传统过滤装置多采用金属滤网,需定期人工拆卸清洗,不仅效率低下且易因清洗不当影响过滤精度。为改善这一状况,模块化排烟阀的设计可实现阀体与执行机构的快速分离,维护人员无需进入狭小空间即可完成在线更换。通过集成无线通信模块,阀体运行状态可实时上传至管理平台,支持远程参数校准与故障诊断,方便运维人员及时掌握设备情况。此外,自清洁过滤材料的研发为滤网维护提供新思路,采用静电吸附与纳米涂层技术,使灰尘在气流作用下自动脱落至集尘盒,结合物联网传感器对滤网压差进行连续监测,当压差超过阈值时自动触发反吹清洁程序,大幅降低人工干预频率,提高系统的可

维护性。

4.3 长期性能保障机制

风机叶轮积灰会显著降低排烟效率,传统人工清洁需停机拆解,影响系统可用性。管道漏风则因连接处密封材料老化引发,若未及时修复会导致排烟量衰减,严重威胁火灾防控效能。为保障系统长期性能,自动反吹清洁技术的引入可实现风机不停机维护,通过在叶轮前部设置高压气喷嘴,利用压缩空气定期清除叶片表面附着物,清洁周期可根据运行时长或环境含尘量动态调整,确保叶轮始终保持良好状态^[9]。分布式压力传感器网络可构建管道健康监测系统,在关键节点布置高精度传感器,实时采集压力波动数据,通过机器学习算法分析压力衰减模式,精准定位漏风点并生成修复优先级清单。系统还可与建筑设施管理系统对接,自动生成维护工单并推送至运维人员终端,形成预防性维护闭环,有效保障防排烟系统的长期稳定运行。

结束语

建筑暖通空调防排烟设计涉及多方面,需综合考虑多种因素。从基础设计到机械排烟、自然排烟及特殊空间设计,再到智能控制与维护管理,每个环节都紧密相连。针对各类问题提出的优化措施,如建立动态模型、采用智能联动控制、提升系统等,能有效提升防排烟系统性能。只有不断优化设计,加强维护管理,才能确保防排烟系统在火灾时发挥关键作用,切实保障建筑内人员生命安全。

参考文献

- [1]钱娟娟.建筑暖通空调防排烟设计常见问题分析[J].建筑与装饰,2025(8):46-48.
- [2]李晋芝.建筑暖通空调防排烟设计常见问题分析[J].建材与装饰,2023,19(2):81-83.
- [3]赵程.建筑暖通空调防排烟设计常见问题分析[J].中国建筑装饰装修,2022(7):83-85.
- [4]陈子建.浅谈建筑暖通空调防排烟设计常见问题[J].建筑与装饰,2022(22):16-18.
- [5]占春芬.建筑暖通空调防排烟设计常见问题分析[J].百科论坛电子杂志,2022(24):143-145.