

高层公共建筑防排烟系统设计难点及工程应用分析

张艳刚

中国核电工程有限公司河北分公司, 河北 石家庄 050000

[摘要]高层公共建筑功能多样、人流量大,火灾发生后烟气会快速扩散,防排烟系统是守护人员安全疏散的关键设施。但在实际设计工作中,常会出现系统选型和建筑需求不匹配、参数计算不够精准、风道与风口布局欠妥、各系统联动逻辑混乱,以及高大空间难以有效控制烟气等问题,轻则导致项目验收无法通过,重则会让防排烟系统在火灾现场彻底失灵。文中全面梳理这类建筑防排烟设计中的主要难题,深挖背后的技术问题与常见设计误区,给出实操性强的优化方案,同时结合现行设计规范与数值模拟检验方案效果,可为同类项目的防排烟精细化设计提供理论依据和实践参考。

[关键词]高层公共建筑;防排烟系统;设计难点;优化设计;消防规范

DOI: 10.33142/aem.v8i5.19915

中图分类号: TU976.5

文献标识码: A

Design Difficulties and Engineering Application Analysis of Smoke Control and Exhaust Systems in High-rise Public Buildings

ZHANG Yangang

Hebei Branch of China Nuclear Power Engineering Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

Abstract: High-rise public buildings have diverse functions and high pedestrian flow. After a fire occurs, smoke will quickly spread. The smoke control and exhaust system is a key facility for safeguarding the safe evacuation of personnel. However, in practical design work, there are often problems such as mismatch between system selection and building requirements, inaccurate parameter calculations, improper layout of air ducts and vents, chaotic logic of system linkage, and difficulty in effectively controlling smoke in tall spaces. These problems can result in project acceptance failure or even complete failure of the smoke control system at the scene of a fire. The article comprehensively summarizes the main challenges in smoke control design for such buildings, delves into the technical issues and common design misconceptions behind them, and provides practical optimization solutions. At the same time, by combining current design standards and numerical simulation to test the effectiveness of the solutions, it can provide theoretical basis and practical reference for the refined design of smoke control and exhaust in similar projects.

Keywords: high-rise public buildings; smoke control system; design difficulties; optimization design; fire protection code

引言

随着城市建设快速推进,高层公共建筑数量持续增加,这类建筑火灾风险显著偏高。火情发生后,烟气会顺着竖向通道迅速向上扩散,甚至会造成人员伤亡,均是烟气中毒、窒息所致。防排烟系统依靠加压送风阻挡烟气侵入,同时通过排烟、降温保障现场能见度,是人员安全疏散的重要保障。现阶段实际设计工作中,普遍存在直接套用标准参数、未结合实际工况、设备选型不匹配、安全余量不足、联动控制不健全等问题,致使系统无法发挥应有作用。全面梳理设计中的难点,深入剖析问题根源,并提出完整的优化举措,切实增强防排烟系统运行的稳定性与可靠性。

1 高层公共建筑防排烟系统核心设计原则

高层公共建筑防排烟系统设计,既要严格遵守现行相关规范,又要结合建筑实际条件开展精细化设计,整体主要遵循四大核心原则。第一,严守规范准则,全面遵循GB51251-2017 强制规定,根据建筑高度、使用功能和结构特点合理选用系统类型,规避选型不当问题;第二,坚守安全为先,以保障人员安全疏散为核心目标,利用防烟手段阻止烟气进入安全区域,并借助排烟措施,把烟气参数控制在安全标准内。第三,做到参数适配,风量、风压、设备与风管,均需适配建筑空间及最不利工况,充分考量风道阻力、漏风、联动损耗等影响因素。第四,保证协同

运转,系统应与火灾报警、自动喷水灭火、防火分隔、应急通风等设施实现精准联动,确保设备启动迅速、运行平稳,避免联动系统出现异常。

2 高层公共建筑防排烟系统主要设计难点及成因分析

2.1 系统选型边界模糊,功能冲突问题突出

系统选型是防排烟设计的首要环节,也是最容易出现问题的地方。建筑高度超过 50m 的一类高层公共建筑,主楼以及其正下方投影区域内的楼梯间、前室,必须安装机械加压送风系统,不能依靠自然通风。实际施工设计里,部分设计人员无法准确界定主楼与裙房范围,在投影区域设置自然通风窗,造成气流相互干扰、正负压抵消,难以形成规范要求的压力梯度。另外,当楼梯间和前室共用一套加压送风系统时,若没有配备压差自动调节装置,就会出现风压分配不均的情况:前室风压偏大,楼梯间风压却达不到标准,烟气容易窜进疏散通道,系统防烟效能彻底丧失。而大空间中庭、通透大堂的排烟形式选用,历来存在诸多分歧。部分项目为简化设计,直接采用自然排烟模式,却没考虑风速、风压、室内温度带来的影响,且未对排烟窗有效面积进行严谨核算,最终造成排烟效果大打折扣,未能有效阻挡烟气扩散。

2.2 参数计算精细化不足,设备选型匹配度低

风量、风压计算是防排烟设计的核心环节,直接关系到设备选配与实际运行效果,但很多设计人员直接简化计算步骤,忽视各类风损问题,这也是工程验收难以达标的主要原因。在机械加压送风系统设计中,设计人员常直接采用规范给定的最小送风量,没有计入竖井 10%~15%的漏风量、管路沿程与局部阻力,以及竖向风压衰减等因素,造成系统实际风量、余压达不到标准。同时风压取值未按照最不利环路的 1.1~1.2 倍系数核算,建筑顶层余压普遍不足 25Pa,最终防烟功能失效。排烟系统方面,部分场所未设置挡烟垂壁,或是单个防烟分区面积超出 500m²,使得排烟计算基数偏小。室内净高超过 6m 的大空间区域,也没有套用对应专用计算公式,依旧采用常规参数设计,导致排烟能力跟不上烟气产生速度,烟气无法快速排出,逐步沉降至人员疏散高度。

2.3 风道与风口布置受限,烟气流动效率失衡

高层公共建筑的核心筒区域空间狭小,给排水、强弱电、暖通、消防等各类管线交错排布,防排烟风道与风口的布置,既要符合结构安全要求、满足建筑正常使用,还要统筹管线走向与消防相关规定,各类空间冲突问题十分突出。在风道设计上,有些设计一味缩减风道断面尺寸,

使得送风、排烟的风速超出标准范围,管道沿途和局部阻力大幅增加,风量损耗严重,还会产生明显噪音。土建竖井内壁抹灰粗糙、密封不严,漏风情况远比金属风管严重。另外防火阀安装不标准、缝隙封堵不到位,也会埋下烟气串流、蔓延的安全隐患。风口设计存在的问题也比较多见,加压送风没有考虑建筑竖向风压变化规律,出现楼下风量过大、楼上风量不够的情况,风量分配很不均衡;送风口安装高度不合理,送出的气流没法完整覆盖疏散通道;排烟口和安全出口距离过近,水平间距达不到 1.5m 的规范要求,高温烟气会直接影响人员逃生。同时部分建筑排烟口数量偏少、布局零散,没办法有效控制烟气扩散。

2.4 联动控制逻辑不完善,系统运行可靠性差

防排烟系统属于消防联动系统,要和火灾报警装置、防火阀、喷淋系统、补风设备配合运转,联动逻辑是否合理,直接影响系统响应速度。目前不少项目都存在联动逻辑混乱、信号传输慢、防护设置不到位等问题。有的工程只用单个探测器就触发设备运行,很容易出现误启动;即便采用双探测器联动,风机等设备启动延迟也会超过 30s,错失最佳控烟时机。当温度达到 280℃时防火阀自动关闭,但不少设计没设置对应的风机停机联动程序,容易烧坏风机,还会造成烟气倒灌。此外,大部分建筑都没有配套智能监控设施,缺少余压实时监测和自动调控装置,楼梯间、消防前室的压力没法动态调整。压力太高会让防火门难以推开,压力太低又挡不住烟气,系统根本没法根据现场情况自主适配。

2.5 高大空间烟气控制难度大,控烟效果难以保障

高层公共建筑中,中庭、大堂等净高超 8m 的高大空间未设置完整楼层隔断,烟气可以自由扩散,流动特征和普通空间明显不同。火灾初期,烟气会在顶棚处汇聚形成热气层,一旦排烟设计存在缺陷,烟气无法顺利排出便会不断下沉,快速降到 1.8m 的安全临界高度,造成人员吸入有毒烟气、现场视线受阻。这类空间体量庞大,火灾产生的烟气总量远高于普通区域,标准排烟风量达不到控烟要求。自然排烟易受室外风力、气压、温差影响,常会发生烟气倒灌、排烟效率大幅降低的问题;不少建筑还存在排烟窗尺寸不够、开启形式不当、消防联动不稳定等情况。此外,多数场所缺少专用补风系统,排烟作业时室内形成较强负压,会削弱排烟风机的工作效能,阻碍烟气排出,最终让整体控烟效果变差。

3 高层公共建筑防排烟系统优化设计策略

3.1 规范系统选型,消除功能冲突隐患

高层公共建筑设计必须清晰划分防火分区与分隔界

限。高度超 50m 的主楼，以及其投影范围内的楼梯间、前室、避难层，全部采用机械加压送风方式，不再使用自然通风。裙房借助防火墙搭配甲级防火门完成分隔后，可按照规范选择对应的通风排烟形式。三合一前室、超高层合用前室，都要单独设置加压送风系统，不得简化设计、合并共用。合用送风系统需在前室支管处加装压差自动调节装置，将楼梯间余压控制在 40~50Pa，前室余压控制在 25~30Pa，依靠逐级递减的气压阻挡烟气窜入。建筑内高大空间优先选用机械排烟，自然排烟只作为辅助手段，以此避免外界环境因素影响排烟效果。

3.2 精准核算设计参数，优化设备选型精度

搭建精准细致的计算标准，加压送风结合门洞大小、数量和风速做理论测算，再额外增加 10%~15% 的漏风冗余风量，最终风量选取计算值和规范标准里的较大值；风压按照最大阻力的 1.1~1.2 倍取值，保证建筑顶层气压符合要求。排烟系统划分的防烟分区面积不能超过 500m²，分区长边长度控制在 60m 以内，挡烟垂壁高度至少 500mm。室内净高超过 6m 的区域，排烟量按地面面积乘以 60m³/(h·m²) 核算，整体风量再预留 1.2 倍余量。每套排烟系统都要搭配补风设施，补风量不低于排烟量的一半，确保排烟和补风形成稳定的动态平衡。

3.3 优化风道风口布局，强化系统密封性设计

从空间整体布局入手，全方位优化风道与风口设计，风道风速要严格管控，加压送风风道风速不超过 15m/s，排烟风道风速不超 20m/s，据此搭配合适的管道截面尺寸。管道优先选用金属风管，土建砌筑的风井内壁必须抹灰找平；土建风井漏风率不高于 10%，金属风管漏风率控制在 5% 以内。管道穿越防火分区时，需装设对应规格的防火阀，缝隙也要彻底封堵严实。风口根据功能区别布置，竖向加压送风系统采用多叶常闭型分层风口，顺着竖向高度梯度调整风口规格，送风口安装高度离地不超过 1.3m。排烟口设置在顶棚或是靠近顶棚的墙面，底部距离人员站立高度不小于 1.8m，和疏散出入口的水平间距大于 1.5m，且每个防烟分区至少设置 2 个排烟口，保证烟气能够顺畅

均匀地排出。

3.4 完善联动逻辑，搭建智能监控体系

统一设定火灾联动触发规则，同一个防烟分区内，两个独立烟感探测器同时报警后，要在 30s 内同步启动排烟阀、排烟风机、补风设备以及加压送风口。当排烟风机入口处 280℃ 防火阀因高温熔断时，会通过硬线联动让风机立刻停止运转。同时加装智能余压监控设备，在楼梯间、前室、避难层布设余压传感器，实时采集压力数据，自动调整风机转速和风口开合程度，动态稳定气压，避免压力过大导致门难以推开、或是压力不足无法有效挡烟的问题。系统运行数据会实时传输到消防控制室，可及时上报故障、监测设备状态，进一步提升整套系统的智能化水平与运行稳定性。

3.5 针对性优化高大空间控烟设计

高大空间采用机械排烟为主、补风配合、分区控烟的设计思路。全场单独设置机械排烟系统，排烟口均匀安装在顶部，彼此间距不超过 30m，快速排走上方积聚的烟气。补风风量按标准匹配排烟量，维持室内气压稳定。自然排烟窗设置有明确要求：装有喷淋的区域，开窗面积不小于地面面积 5%；无喷淋区域则不低于 10%，窗户统一布置在高处并可自动联动开启。结合建筑结构增设挡烟设施，划分单独控烟区域，约束烟气蔓延，保障人员顺利疏散。

4 防排烟系统设计效果模拟验证分析

借助 PyroSim 软件搭建中庭和走道的仿真模型，模拟 5MW 规模火灾持续 600s 的场景，对比传统设计与优化方案的烟气控制效果。采用传统设计时，火灾进行到 300s，烟气层就降到 1.8m 安全高度以下，现场能见度不足 10m，烟气窜入走道，同时区域内气压也达不到标准。优化方案则表现良好，600s 内烟气层始终维持在 2.5m 以上，能见度保持在 20m 开外，环境温度、一氧化碳浓度都远低于安全限值。楼梯间与前室的气压稳定合规，彻底阻挡了烟气侵入。本次模拟结果证明，这套优化方案能明显提升烟气管控能力，有效保障人员疏散安全，见表 1。

表 1 传统设计与优化设计烟气控制模拟参数对比表

监测参数	安全阈值	传统设计 (600s)	优化设计 (600s)	优化效果
烟气层高度	≥1.8m (人员安全高度)	1.42m	2.58m	远高于安全阈值，杜绝烟气沉降风险
室内能见度	≥10m (疏散可视标准)	6.3m	21.5m	大幅提升疏散可视性，消除视线遮挡隐患
烟气平均温度	≤60℃ (人体耐受温度)	78.5℃	42.3℃	有效降低火场温度，规避高温伤害
CO 浓度	≤500ppm (安全耐受浓度)	826ppm	218ppm	有毒气体浓度大幅降低，保障呼吸安全
前室余压值	25~30Pa	16Pa (不达标)	28Pa (达标)	形成稳定正压，完全阻隔烟气侵入

5 结论

随着城市高层建筑的不断发展,防排烟系统作为建筑消防安全的核心组成部分,其施工质量直接关系到火灾发生时的人员疏散与救援成效。高层公共建筑的防排烟设计会受到诸多条件制约,实际工作中常出现对规范解读不到位、设计方案不够细致等情况。文中梳理出五大核心设计难题,从规范落地、细节把控、智能升级三方面给出优化策略。通过合理选配设备、精准测算参数、优化管道风口布局、完善联动逻辑,并针对高大空间做专项设计,解决系统功能矛盾、控烟效果差等常见问题。仿真模拟结果证实,优化后的方案能有效阻挡烟气蔓延,稳定维持安全正压环境,保障人员疏散与消防救援顺利开展,相关思路也能为同类工程的设计、审核工作提供实用技术参考。

[参考文献]

[1]王亚楠,刘珍,陈德明.建筑防火规范在高层建筑设计中

的应用研究[J].石材,2026,11(4):105-107.

[2]李芳,黄育斌,刘金荣.既有建筑防排烟改造设计分析[J].浙江建筑,2026,43(1):95-100.

[3]杨胜芳.固定消防设施在高层建筑灭火救援中的应用研究[J].水上安全,2026,13(1):109-111.

[4]莫菲菲,龙慧琴.高层建筑防排烟施工技术及其质量控制策略探讨[J].消防界(电子版),2025,11(24):82-84.

[5]李宁.高层住宅建筑防烟排烟系统施工质量控制要点探讨[J].消防界(电子版),2025,11(21):94-96.

[6]陈文镇.浅谈高层公共建筑防排烟系统设计[J].江西建材,2021,14(8):74-75.

[7]洪阳清.浅谈高层公共建筑防排烟系统及联动设置问题[J].建材与装饰,2019,14(31):111-112.

作者简介:张艳刚(1994—),男,河北石家庄人,石家庄铁道大学机械工程专业硕士,工程师。