

建筑防排烟系统设计与安全性能研究

李跃鹏

河北建筑设计研究院有限责任公司, 河北 石家庄 050000

[摘要]建筑火灾中, 烟气是造成人员伤亡的主要因素, 防排烟系统的效果直接影响人员疏散及消防救援效果。介绍了火灾烟气的性质以及流动传播特点, 对比了自然排烟、机械排烟以及加压送风等防排烟方式的工作机理及其适用范围。火灾烟气流动性极强、遮挡视线明显、有毒有害, 容易在建筑物内部竖井中产生“烟囱效应”, 使火灾范围进一步扩大。防排烟系统主要目的是火灾发生时保证疏散通道内无烟, 便于人员逃生。对于排烟风机的选择上, 比较轴流式及离心式的优劣, 排烟风机需满足能在 280℃环境中正常运行不少于 30 分钟的要求, 同时对排烟风机进行检测应满足相关的国家标准规定; 关于排烟管道的设计, 在保证排烟顺畅的前提下, 尽量缩短管道长度, 降低弯头数量以及合理使用导流叶片以提高排烟能力。防排烟系统的检查要点为: 楼梯间剩余压力应在 40~50Pa 之间, 前室剩余压力应在 25~30Pa 之间, 排烟口风速不宜大于 10m/s, 系统联动时间不应超过 2s。研究表明, 防排烟系统的设计必须以建筑物的安全为前提, 在保证烟气控制的同时兼顾人员的安全以及系统的可靠性的基础上进行合理的布置。

[关键词]防排烟系统; 烟气控制; 排烟风机; 安全性能

DOI: 10.64635/ja.2026.1282

中图分类号: TU892

文献标识码: A

Research on the Design and Safety Performance of Building Smoke Control and Exhaust Systems

Li Yuepeng

Hebei Architectural Design & Research Institute Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei 050000, China

Abstract: In building fires, smoke is the main factor causing casualties, and the effectiveness of smoke control and exhaust systems directly affects personnel evacuation and fire rescue. This paper introduces the properties of fire smoke and its flow and propagation characteristics, and compares the working mechanisms and applicable scopes of natural smoke exhaust, mechanical smoke exhaust, and pressurized air supply systems. Fire smoke is highly mobile, significantly obstructs visibility, and contains toxic and harmful substances. It is also likely to produce a “chimney effect” in vertical shafts inside buildings, further expanding the fire-affected area. The main purpose of a smoke control and exhaust system is to keep evacuation routes smoke-free during a fire, thereby facilitating safe evacuation. In the selection of smoke exhaust fans, the advantages and disadvantages of axial-flow fans and centrifugal fans are compared. Smoke exhaust fans should meet the requirement of normal operation for no less than 30 minutes in an environment of 280 °C, and their inspection should comply with relevant national standards. For the design of smoke exhaust ducts, the duct length should be shortened as much as possible, the number of elbows should be reduced, and guide vanes should be reasonably used to improve smoke exhaust capacity while ensuring smooth smoke discharge. The key inspection points of smoke control and exhaust systems are as follows: the residual pressure in stairwells should be between 40 and 50 Pa, the residual pressure in antechambers should be between 25 and 30 Pa, the air velocity at smoke exhaust outlets should not exceed 10 m/s, and the system linkage time should not exceed 2 seconds. The study shows that the design of smoke control and exhaust systems must be based on building safety, and should be reasonably arranged on the basis of ensuring smoke control while taking into account personnel safety and system reliability.

Keywords: smoke control and exhaust system; smoke control; smoke exhaust fan; safety performance

引言

建筑火灾数据显示, 在火灾死亡人数中约有 80% 是由于烟气窒息或者中毒造成的。而烟气中含有大量的有害物质, 同时由于它的遮挡作用也会影响人们辨别方向, 所以

防排烟系统是高层建筑、地下空间以及大体量公共建筑必不可少的消防设备。目前在防排烟系统的设计与研究中存在的主要问题主要有三个方面: 从设计的角度来看, 有些设计人员对于相关规范的理解不够准确, 造成自然排烟窗的位

置不合适以及正压送风量的确定忽略了漏风的影响等;从技术角度来看,排烟风机的选择不合适、风管布置不合理、连锁关系不合理等问题非常普遍。运维方面,系统监测不足、排烟阀卡顿、风机老化等问题长期存在。本文主要针对建筑防排烟系统的设计以及安全性进行研究,首先介绍了关于烟气的基本知识,然后详细讲解了自然排烟、机械排烟及加压送风设置的防烟系统的设计理念,在此基础上对排烟风机的选择及其性能指标、排烟管道合理布局以及防火阀连锁控制等重点内容进行了阐述,最后提出了一个由余压值、排烟量、响应时间等组成的综合性安全性能评估标准,旨在为防排烟系统的建设起到一定的借鉴作用。

1 建筑防排烟系统相关理论基础

对火灾烟气特性进行研究是设计防排烟系统的基础条件。烟气是在燃烧时放出的一种悬浮在空气中的固体颗粒、液体微粒以及气体组成的混合物。它具有以下特点:一是毒害性,烟气中有大量的一氧化碳、氰化氢、氯化氢等有害气体,吸入会造成人体中毒失去知觉;二是减光性,烟气中的炭黑会使视线模糊不利于人们辨别逃生方向;三是高温危害,烟气温度可以达到几百度以上,会造成人的呼吸系统严重烧伤。烟气在建筑物内传播受到诸多因素的影响。造成建筑火灾烟气流动原因主要有烟囱效应、浮力效应、热膨胀作用以及外界风力的作用,在高层建筑中以烟囱效应最突出,烟气沿着楼梯间或者电梯井之类的竖向空洞快速上升,其速度可以达到每秒几米。防排烟主要是利用自然或机械的方法对烟气流动进行干预,在安全出口处形成正压防止烟气进入室内,或者是在着火部位形成负压把烟气排到室外。防排烟的设计依据主要有《建筑防排烟系统技术标准》(GB 51251-2017)、《建筑设计防火规范》(GB 50016)。GB 51251-2017 规定了防烟系统以及排烟系统的设置要求:防烟系统包括自然通风方式和机械加压送风方式,而排烟系统包括自然排烟方式和机械排烟方式,在设计中应按建筑物的类别、层数以及用途等进行选择。

2 建筑防排烟系统设计分析

2.1 设计原则

防排烟系统是建筑物消防体系中重要的一个部分,其设计应做到安全可靠经济并重的要求。首先是安全性要求,在火灾情况下要有效地阻止烟火的蔓延路线,避免高温有毒烟气侵入到疏散走道、楼梯间以及避难层等重要位置,保证人们能够顺利逃生;在设计时也要充分考虑到烟气传播特性,科学的设计排烟口、送风口以及防烟区,使烟气可以迅速外溢,减少蔓延面积;其次是可靠性方面的要求,

在发生火灾的状态下该系统必须可靠运行,所以系统中的相关设备以及管道材料都需具有一定的耐火等级,风机、风阀、控制器等主要设备也都需满足相关的消防产品质量要求,另外还应该设有双回路或者备用电源供电,并对控制线路采取一定的防火措施等手段来保证系统能在发生火灾后能按预定程序启动并正常运作;再者就是经济性方面的要求,在满足以上两个要求的同时还要尽量地减少不必要的分区,选择合理的设备型号,尽可能的简化系统结构,节约投资,后期的维护费用等方面开支。总之,防排烟系统的建设应做到分区明确,联动有效,设施配置与工程的功能相协调,从而实现系统的有效性。

2.2 自然排烟系统设计

自然排烟是通过建筑物的门窗或排烟口等开口使烟气依靠本身浮力以及室外风压作用而自然排出。自然排烟适用于进深不大、层较高场所,例如中庭、展览馆、大空间厂房等。设计上应注意:排烟窗应位于储烟仓内;其面积应符合相关规定一般为地面面积的 2%~5%,并且应方便在现场操作及与消防系统联控。

自然排烟的优点是投入小、管理方便、不需要动力,但是它的通风换气的效果受到外界风向、风速的影响很大,在多种不同方向的风条件下可靠性差,不适合高层建筑以及地下建筑使用。

2.3 机械排烟系统设计

机械排烟是通过排烟风机形成的负压将烟气强制排除室外,用于不能设置自然排烟设施的房间或场所。排烟量根据防烟分区面积确定,每个防烟分区排烟量不宜小于 $60m^3(h \cdot m^3)$ 。机械排烟系统包括排烟风机、排烟管道、排烟口、防火阀以及联动控制设备等。排烟口宜设于顶棚或靠近顶棚的墙面上,且不得低于该空间净高的 1/2,同时不得与附近的安全出口相对;如果一个防火分区内的几个防烟分区需要同时进行排烟,则排烟风机的风量应以其中最大的一个防烟分区的排烟量为基准增加 1.2 倍来选择。

2.4 加压送风防烟系统设计

加压送风是向疏散楼梯间、前室等场所送风使该处处于正压状态以防止烟气侵入。加压送风的主要参数是余压值:楼梯间余压值应在 40~50Pa 之间,而前室、合用前室、消防电梯前室以及避难层余压值应在 25~30Pa 之间;如果余压值太小不能有效阻止烟气进入房间,余压值太大又会使开门困难。加压送风量应包括门缝漏风量及开启门处风速等因素。加压送风机风量要考虑风管或竖井漏风系数的影响,否则会导致实际风量小于设计风量而达不到预

期效果。余压可通过设置余压阀或者变频风机来调节以免压力过大造成门打不开。

3 建筑防烟系统关键技术研究

3.1 排烟风机选型与性能分析

排烟风机是机械排烟系统的必备设备。按其结构不同

可以分为轴流式排烟风机和离心式排烟风机；按其功能又可以分为单速风机和双速风机。HTF 系列消防高温排烟风机性能优越，在 300℃ 高温环境中可正常工作 1 小时以上，适用于高层民用建筑、地下车库、隧道等场合，如表 1 所示。

表 1 HTF 系列消防排烟风机性能参数表

机号	风量范围 (m³/h)	全压范围 (Pa)	转速 (r/min)	功率 (kW)	噪声 (dB)	适用场景
3.5	3350~4225	280~420	2900	1.1	≤76	小型商业、住宅
4.5	5442~8500	410~685	2900	2.2	≤79	餐饮、中型商铺
5.5	8256~12693	653~756	2900	4.0	≤84	地下车库、厂房
6.5	18000~21500	512~620	1450	5.5	≤87	大型车库、商场
7	18908~24380	610~728	1450	7.5	≤88	中庭、会展中心
10	35000~45679	630~770	1450	11.0	≤90	大型工业建筑

选型时应注意：排烟风机最小风量不应小于 7200m³/h，最大风量不宜大于 60000m³/h（按一个防烟分区计算）；选型时应考虑比设计风量大 10%~20%，以便克服管道内漏风造成的损失以及系统阻力的变化；对于既有平时排风又有火灾时排烟要求的房间，宜采用双速风机，平时以低速运行用于正常通风换气，在发生火灾情况下切换到高速工作进行排烟。排烟风机入口处应设置 280℃ 熔断防火阀，在送入气体温度升至 280℃ 时，防火阀熔断关闭同时切断风机电源以免火势沿风管扩散。

3.2 排烟管道布置优化研究

排烟管道的设计对排烟能力有很大影响，在设计上应注意以下几点：首先，尽量使管道走线简洁，避免过多弯头及变径出现，一个弯头所造成的局部阻力系数为 0.5~1.0，而且每增加一个弯头相当于增加 5~10m 直管段阻力；其次，管道断面宜采用矩形，其长宽比不宜大于 4:1，以利于通风良好同时节约空间为宜，排烟风管穿过防火墙或防火分区处须设 280℃ 排烟防火阀；穿过机房隔墙处应设有防火阀。风管与风机连接处应使用柔性接管降噪，风管吊架距离应满足相关规定保证整个系统的安全性。在地下建筑等空间受限场合可以利用 CFD 数值模拟优化排烟口位置以及排烟管路布置。带顶盖车辆基地排烟系统的分析表明排烟口高度对排烟能力的影响最大，然后是排烟口间距以及排烟管路间距，在合理布置的情况下可以使排烟能力提升 25% 以上，这对大空间建筑物的排烟设计有指导意义。

3.3 防火阀与排烟阀联动控制技术

防火阀和排烟阀是控制气体流通与切断的重要部件，它们之间的连锁关系是否正确对整个系统的功能起着决定性作用。排烟阀位于排烟口处，在非工作状态下处于关

闭状态，当接收到火警信号后被电动打开；而排烟防火阀位于风机进风口以及穿过防火墙的位置，在正常情况下保持开启状态，一旦有烟气温度上升到 280℃ 就会熔断关闭。防排烟系统的连锁控制的基本要求为：在火灾报警控制器发出火警信号之后，应在 15s 内启动排烟风机，在 30s 内打开相应防烟分区内的排烟口或者排烟阀，所有设备之间的时间差不能大于 2s^[1]。排烟口开启有两种方式：一种是通过火灾探测器发出报警信号联动控制器实现自动开启；另一种是排烟口自带的手动开启装置进行手动开启。加压送风系统的联动控制应在确认火灾情况下，打开着火层以及着火层以上、以下各层前室送风口并启动加压送风机。加压送风机进风口不应设置防火阀以避免误操作造成送风中斷，在日常维护管理过程中应对各个阀门开闭情况进行检查，以免由于长时间不动作而发生卡死现象。

4 建筑防排烟系统安全性能分析

4.1 安全性能评价指标

防排烟系统安全性评估应有多个方面的指标。主要指标是三个方面：烟气控制方面指标、人员疏散保障方面指标、系统可靠度方面指标^[2]。烟气控制方面指标有：楼梯间余压值（40~50Pa）、前室余压值（25~30Pa）、排烟口风速（≤10m/s）、补风口风速（≤10m/s）、排烟量（≥设计值的 90%）、补风量（≥排烟量的 50%）。人员疏散保障方面指标有：烟气层高度（不低于 2.0m）、能见度（疏散通道不低于 10m）、温度（人员所在高度上不能超过 60℃）。系统可靠度方面指标有：风机备用率、防火阀故障率、联动成功率等。

4.2 烟气控制效果分析

烟气控制效果是评价防排烟系统优劣的重要指标。机

械排烟系统必须保证着火防烟分区内烟气能够迅速排出,不得有烟气流向相邻区域;加压送风系统必须保证疏散走道内具有一定的正压值,阻止烟气进入着火区^[3]。烟气控制效果一般有以下两种分析方式:现场测量法,用风速表、微压计测量各个位置的余压及风速;烟雾模拟法,通过 CFD 软件对整个烟气流动过程进行仿真计算从而确定出最优排烟口位置以及排烟量等。而在防排烟系统测试过程中,排烟能力也能体现该系统的优劣之处——在一个 200 m² 的标准试验房间内,从开始排烟至全部排净所需时间不应大于两分钟。对排烟效果不佳系统,应找出原因:是由于排烟风机选择过小、管道阻力大、排烟口设置不合理或者防火阀没有打开造成的。

4.3 人员疏散安全性能研究

人员疏散安全是防排烟系统设计目的,在火灾情况下可用疏散时间和所需安全疏散时间比值表示疏散安全性。防排烟系统通过排烟保持疏散走道可见性和加压送风保证楼梯间无烟以增加可用疏散时间。而加压送风需要控制余压:如果低于规定值则会导致烟气通过门缝进入;如果超过 100N 则会阻碍通行。影响疏散的主要因素有:烟气层高度(不应小于 1.2m)、能见度(低于 5m 时疏散速度急剧降低)、烟气温度(大于 60℃会造成烫伤)。防排烟设计要使以上各项均不超过其限制条件内。

5 结语

建筑防排烟系统是保证发生火灾时人员安全疏散及

灭火救援的重要设备。本论文以烟气基本知识为基础,对防排烟系统的设计理念、主要设备以及安全性进行探讨并得出如下几点看法:一是在防排烟系统设计中要根据不同的建筑物选择合适的自然排烟、机械排烟或者加压送风的方式。高层建筑的电梯井应该有加压送风;不能够实现自然排烟的地下区域或者大空间建筑需要设置机械排烟。二是排烟风机的选择应当注重其耐热性和风量裕度,HTF 系列风机可以在 300℃ 温度下持续工作 60min,因此在选择时应考虑比计算所需风量大 10%~20% 的裕度。排烟管道应合理布置尽量降低局部阻力以保证联动控制灵敏可靠。第三,安全性能评估主要参数有余压值、排烟量、响应时间等:楼梯间保持在 40~50Pa,排烟口风速小于等于 10m/s,联动响应时间不大于 2s,以上均为应重点检查内容。目前防排烟系统还存在对相关标准认识不足、施工质量不高、维护管理不到位等问题,在今后的工作中需要进一步加强智能化监控以及节能环保技术的研究以便使系统更加完善、可靠和智能化。

【参考文献】

- [1]马金晔.建筑防排烟系统设计存在误区及优化设计[J].中国建筑装饰装修,2022(09):99-101.
- [2]陈操.高层建筑防排烟系统的常见问题[J].消防界(电子版),2022,8(13):98-100.
- [3]谢志华.厂房建筑通风排烟系统对消防安全的影响分析[J].消防界(电子版),2025,11(01):105-107.