

建筑防火分区设计对火灾控制效果的影响研究

陆 路

阜新城投建筑设计(集团)有限公司 辽宁 阜新 123000

摘 要: 本文旨在系统探讨建筑防火分区设计对火灾控制效果的影响机制。首先, 论文阐述了防火分区的基本概念、设计原则及其在建筑防火体系中的战略地位; 其次, 深入分析了防火分区通过限制火灾荷载、控制烟气扩散、保障疏散路径和为消防救援创造有利条件等多重路径实现火灾控制的具体机理; 再次, 结合国内外相关规范标准, 对防火分区的设计要素(如面积、耐火极限、分隔构件、开口处理等)进行了详细剖析, 并通过典型案例分析, 揭示了设计缺陷与火灾失控之间的内在联系; 最后, 针对当前防火分区设计面临的挑战, 提出了基于性能化设计、新材料应用和智能化技术融合的优化策略。研究表明, 一个经过精心规划和严格实施的防火分区系统, 是提升建筑整体火灾韧性、实现“防得住、控得小、灭得快”防火目标的关键保障。

关键词: 建筑防火; 防火分区; 火灾控制; 耐火极限; 性能化设计; 火灾动力学

引言

城市化加速与建筑形态复杂化, 催生了高层、超高层等高风险建筑, 带来严峻消防挑战。火灾一旦发生, 易致灾难性后果, 国内外多起火灾事故警示: 建筑防火安全设计是抵御火灾的关键防线。防火分区作为基础有效的被动防火策略, 核心是“化整为零”, 用防火墙等分隔构件划分独立防火单元, 阻止或延缓火势、烟气等蔓延, 为人员疏散和消防扑救创造条件。但实际工程中, 防火分区设计面临诸多挑战, 如追求空间开敞性弱化分隔、既有建筑改造破坏完整性、设计人员理解不足等, 削弱了其火灾控制效能。因此, 系统深入研究建筑防火分区设计对火灾控制效果的影响, 具有重要理论价值与现实意义。本文将从多维度剖析其作用, 为提升我国建筑防火安全设计水平提供依据。

1 防火分区的理论基础与设计原则

1.1 防火分区的基本概念与战略地位

防火分区是指在建筑内部采用防火墙、防火门、防火卷帘、防火楼板等具有一定耐火极限的不燃性构件进行分隔, 形成的能在一定时间内阻止火灾向同一建筑的其他部分蔓延的局部空间。它是建筑被动防火系统(Passive Fire Protection, PFP)的基石, 与主动防火系统(如自动喷水灭火系统、火灾自动报警系统)和人员疏散系统共同构成了完整的建筑防火安全体系。防火分区的战略地位体现在其“源头控制”和“过程阻断”的双重功能上^[1]。它不依赖于外部能源或人为干预, 是一种固有的、可靠的建筑安全属性。一个有效的防火分区系统, 能够在火灾发展的初期阶段就将其“圈禁”在有限空间内, 从根本上遏制了火灾规模的扩大, 是实现“小

火不蔓延、大火可控制”防火目标的根本保障。

1.2 防火分区的设计原则

①完整性原则(Integrity): 防火分隔构件必须形成一个连续、无缝的屏障, 任何贯穿物(如管道、电缆桥架、风管)都必须进行严格的防火封堵, 确保在火灾高温下不会形成火焰或高温烟气穿透的路径。②隔热性原则(Insulation): 分隔构件不仅要能阻挡火焰, 还必须具备足够的隔热能力, 确保其背火面的温度在规定时间内不超过临界值(通常为平均温升不超过 140°C , 最高点温升不超过 180°C), 以防止引燃相邻区域的可燃物。③承载能力原则(Load-bearing Capacity): 对于承重的防火分隔构件(如防火墙、防火楼板), 在火灾作用下必须能在规定时间内保持其结构稳定性, 不发生垮塌, 以维持防火分区的物理边界。④功能性与安全性平衡原则: 防火分区的设计不能以牺牲建筑的基本使用功能为代价。需要在满足防火安全的前提下, 通过巧妙的设计(如使用防火卷帘、防火玻璃、可熔断自动关闭的防火阀等)来兼顾空间的通透性和使用的便利性。

2 防火分区对火灾控制的影响机理

防火分区通过以下四个相互关联的路径, 对火灾的发展和蔓延产生决定性的影响:

2.1 限制火灾荷载与热释放速率

火灾荷载是指建筑空间内所有可燃物的总潜在热能。防火分区通过物理隔离, 将整个建筑的总火灾荷载分割成多个较小的单元荷载。根据火灾动力学理论, 火灾的热释放速率(HRR)与可燃物的数量和分布密切相关。在一个较小的防火分区内, 即使发生全面燃烧, 其能达到的最大热释放速率也远低于整个未分隔空间。较

低的HRR意味着火灾产生的热量更少,火场温度更低,从而大大降低了引燃相邻区域可燃物的可能性,并为消防扑救创造了更有利的条件。

2.2 控制烟气与有毒气体的扩散

火灾中,超过80%的死亡是由吸入有毒烟气所致。高温烟气不仅含有大量一氧化碳、氰化氢等致命毒气,还具有极强的流动性和扩散性。防火分区通过其密闭性,能有效阻挡烟气的水平和垂直蔓延。防火门、防火阀等构件在火灾时自动关闭,切断了烟气通过走廊、楼梯间、管道井等“烟囱效应”通道扩散的路径^[2]。这不仅保护了未着火区域的人员免受烟气侵害,也为消防员内攻侦察和灭火提供了相对清晰、安全的环境。

2.3 保障安全疏散路径的有效性

人员安全疏散是建筑防火的首要目标。防火分区通过将疏散楼梯间、前室、避难层(间)等关键疏散路径设置为独立的防火单元(通常为最高耐火等级),确保了这些“生命通道”在火灾期间的相对安全。即使建筑其他部分已陷入火海,这些疏散路径也能在规定时间内保持无烟、无火、结构稳定的状态,为人员提供可靠的逃生和避难空间。防火分区的合理布局,还能引导人员沿着最短、最安全的路径疏散,避免因恐慌而误入火场。

2.4 为消防救援创造有利条件

一个被有效防火分区控制住的火灾,其规模和复杂性都大大降低。消防员可以集中力量在起火分区内进行扑救,而无需担心火势向整栋建筑蔓延。同时,清晰的防火分区边界为消防指挥提供了明确的战术分区依据,便于部署力量、设置水枪阵地和进行火情侦察。此外,防火分区还能有效保护建筑内的消防设施(如水泵房、消防控制室)免受火灾直接威胁,确保其在关键时刻能正常工作。

3 防火分区的关键设计要素分析

防火分区的效能直接取决于其具体设计要素的质量和合理性。

3.1 分区面积与建筑类型

防火分区的最大允许面积是设计的首要参数,其大小与建筑的使用性质、高度、耐火等级以及是否设置自动灭火系统等因素密切相关。例如,《建筑设计防火规范》(GB50016)规定,对于一级耐火等级的高层民用建筑,每个防火分区的最大允许建筑面积为1500平方米;当设置自动喷水灭火系统时,可增加1.0倍。这种规定背后的逻辑是:建筑越高、功能越复杂(如商场、仓库),火灾风险越大,因此需要划分更小的防火单元以加强控制。

3.2 分隔构件的耐火极限

耐火极限是衡量防火分隔构件性能的核心指标,指在标准火灾试验条件下,构件从受到火的作用时起,到失去承载能力、完整性或隔热性时止的这段时间,以小时(h)计。不同位置的构件要求不同:

防火墙:通常要求不低于3.00h,是建筑内最重要的水平防火分隔。

防火隔墙:根据其分隔的房间或区域的重要性,耐火极限从0.50h到2.00h不等。

楼板:作为垂直防火分隔的关键,高层建筑的楼板耐火极限通常不低于1.50h或2.00h。

防火门/窗:其耐火极限需与所在墙体的耐火极限相匹配,常见的有甲级(1.50h)、乙级(1.00h)、丙级(0.50h)。

3.3 开口部位的处理

防火分区的完整性最容易在开口部位被破坏。因此,对门、窗、洞口的处理至关重要。

防火门:必须能自动关闭,并具有良好的密封性。常开式防火门需与火灾自动报警系统联动,在火灾时能自动释放关闭。

防火卷帘:用于大跨度开口(如中庭、自动扶梯口),需具备良好的耐火、防烟性能,并能与火灾报警系统联动。

管道穿越:所有穿越防火墙、楼板的管道(水管、风管、电缆等)都必须采用防火封堵材料(如防火泥、防火包、防火板)进行严密封堵,确保封堵系统的耐火极限不低于被贯穿构件。

4 典型案例分析:设计缺陷与火灾失控

4.1 案例一:伦敦格伦费尔塔公寓火灾(2017年)

这场造成72人死亡的惨剧,其火灾迅速蔓延至整栋24层建筑的关键原因之一,就是建筑外墙保温系统和窗户设计严重破坏了防火分区的垂直分隔。易燃的外墙保温材料形成了一个连续的“燃料层”,火焰通过窗户开口迅速向上层和邻近单元蔓延,完全绕过了楼板这一关键的水平防火分隔。这起案例深刻揭示了当建筑外围护结构与内部防火分区系统不匹配时,防火分区将形同虚设。

4.2 案例二:某大型商业综合体火灾

在一次未造成人员伤亡的火灾中,起火点位于一个餐饮商铺。由于该商铺与相邻商铺之间的防火隔墙未砌筑到结构顶板,且顶部的电缆桥架穿越处未做防火封堵,火灾产生的高温烟气通过这个“缺口”迅速蔓延至整个楼层,触发了大面积的喷淋系统,造成了巨大的水渍损失。此案例说明,即使主体结构符合规范,但细节

处理的疏忽（如防火封堵缺失）也会导致防火分区失效，扩大火灾的次生灾害。

5 防火分区设计的优化策略与未来展望

5.1 深化性能化防火设计（Performance-Based Design, PBD）

性能化防火设计以火灾科学为基础，强调“目标导向”而非“手段限定”。其核心在于根据具体建筑的功能、人员密度、疏散路径、结构特点等因素，设定明确、可量化的安全目标（如“在最大允许疏散时间内，疏散通道内烟气层高度不低于2米”或“核心筒楼梯间内CO浓度不超过500ppm”），并通过火灾动力学模拟软件（如FDS、PyroSim等）对多种火灾场景进行数值模拟，验证所提出的防火分区方案是否能够满足预设性能目标^[3]。这种方法不仅能够突破规范对防火分区面积、分隔形式的硬性限制，还能在保障安全的前提下，优化空间布局、提升使用效率。例如，在大型商业综合体中，通过性能化分析可合理设置中庭防火分隔，既保留视觉通透性，又确保火灾时烟气不会快速蔓延至相邻区域。未来，随着计算能力的提升和火灾模型的精细化，PBD将在更多复杂项目中成为主流设计方法，并与BIM技术深度融合，实现从设计、施工到运维的全生命周期防火性能管理。

5.2 推广应用新型防火材料与技术

材料创新是提升防火分区效能与美学价值的关键驱动力。传统防火墙厚重、封闭，难以满足现代建筑对轻盈、通透、灵活空间的需求。近年来，一系列高性能防火材料的出现为设计提供了新可能：高耐火极限的复合防火玻璃（可达3小时以上）可作为防火隔断，实现视觉连续性与防火安全的统一；膨胀型防火涂料在常温下薄而美观，遇火迅速膨胀形成致密隔热炭层，有效延缓钢结构升温，广泛应用于大跨度钢结构建筑；柔性防火封堵材料（如防火密封胶、防火包）能适应管线穿墙的复杂节点，确保防火分隔的完整性^[4]。此外，智能防火材料也崭露头角，如温敏变色涂层可在局部过热时变色预警，或自修复防火涂层在受损后自动恢复防火性能。未来，随着纳米技术、相变材料、气凝胶等前沿科技的引入，防火材料将朝着更轻质、更高性能、更环保、更智能的方向发展，为防火分区设计提供更丰富的技术选项。

5.3 融合智能化与物联网技术

在“智慧城市”与“数字孪生”背景下，防火分区正从“静态被动”向“动态主动”转变。通过将防火门、防火卷帘、防排烟系统、火灾探测器等设备接入建筑物联网（IoT）平台，可实现对防火分隔状态的实时监测与智能联动。例如，传感器可24小时监测防火门是否常闭、封堵是否完好，并在异常时自动报警；火灾发生时，系统不仅能按预设程序关闭相关防火分隔设施，还能结合实时烟气探测数据、人员定位信息和建筑BIM模型，动态调整防烟分区边界，启动最优排烟路径，形成“动态防火分区”。这种基于实时数据的自适应控制策略，能显著提升火灾初期的控制效率，延缓火势蔓延，为人员疏散和消防救援争取宝贵时间。未来，随着人工智能（AI）算法的引入，系统还可通过历史火灾数据学习优化响应策略，实现预测性防火管理，真正构建“感知—分析—决策—执行”一体化的智能防火体系。

6 结语

本文通过系统分析，明确了防火分区通过限制火灾荷载、控制烟气扩散、保障疏散路径和辅助消防救援四大核心机理，对火灾控制效果产生决定性影响。其效能的发挥，高度依赖于分区面积的合理划定、分隔构件耐火极限的严格保证以及对所有开口部位的精细化处理。历史火灾案例反复警示我们，任何对防火分区完整性、隔热性或承载能力的忽视，都可能在火灾中付出惨重代价。面向未来，防火分区设计应超越传统的规范符合性思维，积极拥抱性能化设计理念，融合新材料、新技术和智能化手段，构建一个更加动态、智能、高效的建筑防火安全屏障。

参考文献

- [1]宋明林.对大空间公共建筑防火分区及隔离带的设计探讨[J].今日消防,2021,6(06):97-98.
- [2]冯伟彪.建筑防火设计中有关防火分区问题的几点看法[J].科技创新导报,2021,18(09):107-109.
- [3]陆伟.大型建筑防火分区的性能化设计探讨[J].消防界(电子版),2024,10(19):91-93.
- [4]李奕霄.防火分区与建筑设计的融合与创新研究[J].消防界(电子版),2024,10(03):74-76.