

化工建筑防排烟系统选型与布局设计

田伟桐

海湾工程有限公司, 河北 石家庄 050000

[摘要]化工建筑本身火灾隐患极高, 不仅存放、生产的物料火灾荷载大, 燃烧产生的烟气毒性强, 还极易发生爆炸, 因此其防排烟系统的安全设计标准比普通民用建筑严格。目前传统防排烟设计方案, 很难适配化工建筑的特殊工况, 存在烟气扩散速度快、排烟防烟效果不佳、适配性差等实际问题。针对以上痛点, 聚焦化工车间、仓库、走道等不同功能区域, 全面分析各类空间的烟气扩散、积聚、流动特性, 对比自然排烟、机械加压送风、机械排烟等防排烟系统的运行效果和性能差异, 精准梳理不同功能区域的最优系统选型方案。同时结合化工建筑工艺设备密集、室内空间高大开阔、整体防爆等级要求高的特点, 建立一套标准化的防排烟设计方法, 涵盖防烟分区划分、风口点位布置、通风管道敷设、风机设备选型等核心设计环节, 对各项关键设计参数进行量化确定, 最终形成一套完整、适配性强的化工建筑防排烟布局设计体系, 以供参考依据。

[关键词]化工建筑; 防排烟系统; 系统选型; 布局设计; 防烟分区; 烟气控制

DOI: 10.33142/sca.v9i6.19803

中图分类号: TU892

文献标识码: A

Selection and Layout Design of Smoke Control and Exhaust Systems for Chemical Buildings

TIAN Weitong

Bay Engineering Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

Abstract: Chemical buildings themselves have extremely high fire hazards. Not only do the stored and produced materials have a large fire load, but the smoke generated by combustion is also highly toxic and prone to explosions. Therefore, the safety design standards for their smoke control and exhaust systems are stricter than those for ordinary civil buildings. At present, traditional smoke control design schemes are difficult to adapt to the special working conditions of chemical buildings, and there are practical problems such as fast smoke diffusion speed, poor smoke control effect, and poor adaptability. In response to the above pain points, we will focus on different functional areas such as chemical workshops, warehouses, and corridors, comprehensively analyze the characteristics of smoke diffusion, accumulation, and flow in various spaces, compare the operational effects and performance differences of natural smoke exhaust, mechanical pressurized air supply, mechanical smoke exhaust and other smoke control systems, and accurately sort out the optimal system selection schemes for different functional areas. At the same time, taking into account the characteristics of dense chemical building process equipment, tall and spacious indoor spaces, and high overall explosion-proof requirements, a standardized smoke control and exhaust design method is established, covering core design aspects such as smoke control zoning, air outlet layout, ventilation duct laying, and fan equipment selection. The key design parameters are quantitatively determined, and a complete and adaptable chemical building smoke control and exhaust layout design system is ultimately formed for reference.

Keywords: chemical construction; smoke control system; system selection; layout design; smoke prevention zone; smoke control

引言

化工建筑里危险源分布较为集中, 起火后会产生高温、高毒且带有腐蚀性的烟气, 事故中人员大多是因烟气窒息、中毒受伤, 而烟气快速蔓延是造成伤亡加重的主要原因。防排烟系统依靠正压送风阻挡烟气、主动排烟来保障人员安全疏散, 但常规建筑的设计标准, 满足不了化工场景防

爆、防毒、防腐蚀的特殊需求, 常会出现设备选型不当、防烟分区划分杂乱、布置方式不符合防爆要求等问题, 最终让整套系统无法正常发挥作用。目前相关研究大多只针对单一设备做改进, 缺少成套的选型思路 and 标准布置方案。结合化工建筑的空间特点与火灾风险, 对比各类防排烟方案、核定运行参数、划分防烟分区、规划设备排布, 搭建

起一套规范的设计体系,也为化工领域消防设计提供理论参考。

1 化工建筑火灾烟气特性与防排烟设计要求

化工建筑起火产生的烟气,和普通建筑差别很大,主要集中在毒性、腐蚀性、温度、扩散速度这四点。化工原料燃烧分解后生成一氧化碳、硫化氢、苯系物、氮氧化物等有毒气体,毒性远超普通烟气,人短时间内就会中毒昏迷。含硫、含氯物质燃烧产生的烟气腐蚀性极强,会侵蚀风机、管道等金属设施,时间一长设备就容易损坏失灵。化工火灾烟气温度能达到 800~1200℃,很容易造成管道变形、风机被烧坏。再加上化工车间普遍空间开阔、层高较高,设备排布密集、气流杂乱,烟气不仅扩散快,还难以分层消散,很快就会布满整个室内区域。

化工建筑防排烟设计要点,全套设备都做防爆处理,严防电气产生火花;排烟管道做好防腐,能耐受有毒烟气腐蚀;整套系统耐高温,高温环境下也不会故障停机;防烟分区结合生产工艺划定系统风量、启停全程自动运行,避免人工操作滞后,造成烟气扩散失控。

2 化工建筑防排烟系统类型及选型对比

2.1 防烟系统类型、机理与化工适配性分析

防烟系统的核心作用是通过搭建无烟防护屏障,阻挡有毒烟气窜入人员疏散通道,为火灾现场人员安全逃生提供基础保障。目前化工建筑常用的防烟方式主要分为两种,分别是自然防烟和机械加压送风防烟。自然防烟主要依靠建筑可开启外窗、通风缝隙,借助室内外的热压和风压差值完成空气对流换气。该方式具备无能源消耗、建设造价低、后期运维简便的优势,但短板也十分明显,运行效果完全受制于天气环境,无法主动抵御火灾烟气的热压力,在火灾发展中后期极易出现烟气倒灌回流的问题,因此仅适用于无易燃易爆隐患的附属办公区、备品库房等低风险功能区域。机械加压送风防烟系统主要由加压送风机、送

风管道、智能风口及联动控制系统组成,通过向封闭疏散通道持续输送新鲜空气,让安全区域的气压高于火灾区域,利用正压压差形成稳固的挡烟屏障。这套系统不受天气气候影响,风压参数可精准调控,适配化工防爆区域的设备均配置防爆电机与密闭结构,送风管道也经过防腐处理,可将正压值稳定在规范最优区间,既能有效阻隔烟气侵入,又不会干扰疏散门的正常开合。作为化工高危区域唯一合规、安全、可靠的防烟方式,目前已广泛应用于各类厂房、甲乙类仓库、防爆控制室的防烟楼梯间及前室。

2.2 排烟系统类型、机理与化工适配性分析

排烟系统的主要作用是快速排出火灾区域内的高温、高毒烟气,有效降低现场烟温与烟气浓度,减缓火势扩散速度,为人员安全疏散和消防灭火救援争取有利条件,化工建筑排烟系统主要分为自然排烟和机械排烟两种类型。自然排烟依靠排烟窗、排烟口、天窗等设施,借助室内外热压与风压差实现烟气自然排出,整套系统无动力设备、故障概率极低。但它的排烟效果极易受现场环境、天气工况影响,稳定性较差。化工建筑大多是大空间密闭结构,火灾烟气容易层层堆积滞留,且自然排烟无法处理过滤腐蚀性烟气,因此该方式仅能作为低风险丙类辅助区域的补充排烟手段。机械排烟系统由防爆排烟风机、密闭排烟管道、智能排烟口、防火阀以及联动控制模块构成,依靠机械负压强制抽取排出烟气,风量、风速均可精准调节控制,抗环境干扰能力强、运行稳定,是化工高危建筑的核心排烟方式。系统核心设备需满足严苛的耐火要求,可在 280℃ 高温环境下持续工作 30min 以上,爆炸危险区域的设备必须达标对应防爆等级,管道和排烟风口均采用防腐专用材质。同时该系统可与补风系统联动配合,形成负压排烟、正压补风的完整气流循环体系,大幅提升排烟效率。

为清晰量化各系统性能差异,构建系统选型对比,具体见表 1。

表 1 化工建筑防排烟系统选型对比分析

系统类型	运行稳定性	排烟/防烟效率	环境适应性	设备成本	维护难度	化工场景适配性
自然防烟	差,受气候干扰大	极低,无正压屏障	差,仅适用于开阔通风区域	低	极低	不适用于化工高危区域
机械加压防烟	高,持续稳定正压	高,有效阻隔烟气侵入	强,不受外界环境影响	中高	中等	完全适配化工疏散通道
自然排烟	不稳定,随机性强	中低,火灾后期效率骤降	差,逆风、低温环境失效	低	极低	仅适用于丙类低危辅助区域
机械排烟	极高,全程可控运行	极高,强制快速排烟	极强,适配密闭大空间	高	较高	适配化工车间、仓库等高危区域

2.3 化工建筑差异化选型准则与禁忌要求

结合建筑危险等级划分来选配化工建筑防排烟设施,甲、乙类爆炸危险区域,必须同时设置机械加压送风与机械排烟,不能用自然排烟,配套设备全部做到防爆、防腐、耐高温。室内净高超过 9m 的大空间,选用大排量机械排烟设备,各分区管路单独布设,防止烟气互相串流。防烟楼梯间、前室及疏散走道,统一采用机械加压送风,精准把控室内正压值。办公室、库房这类低风险区域,可采用自然排烟,开窗面积、开启形式都要符合规范要求。靠近生产装置的设备与管道,强化防腐处理,电气设备严格对应防爆等级,绝不私自降低设计和施工标准。

3 化工建筑防烟分区与排烟分区设计

防烟与排烟分区的划分是化工建筑防排烟整体布局设计的基础核心工作。依据 GB 51251-2017 规范要求,建筑净高 $\leq 6\text{m}$ 时,单个防烟分区最大面积为 500m^2 ;净高在 $6\sim 9\text{m}$ 区间时,最大面积为 1000m^2 ;净高 $>9\text{m}$ 时,最大面积可放宽至 2000m^2 。化工建筑分区划分严禁跨防火分区设置,同时要遵循同源、同工艺的原则,把相同生产工艺、同类危险介质的区域划为同一个分区,防止烟气跨工艺扩散引发连锁爆炸事故。分区边界优先利用现有工艺隔墙、防火隔墙和结构梁柱,尽量少新增挡烟构件。高大空间必须安装固定式挡烟垂壁,下垂高度严格符合规范标准,避免烟气从顶部上方窜区蔓延。设备密集区域不能因为设备占用空间就拆分分区,需要整体规划,保证分区完整统一。疏散通道需单独划分专属防烟保护区,和生产作业区彻底隔开,切实保障人员逃生安全。分区设计参数汇总表见表 2。

4 化工建筑防排烟系统布局设计

4.1 机械加压送风防烟系统精细化布局设计

机械加压送风系统的布局核心是保证疏散通道风压均匀、风量充足,同时杜绝漏风死角。风机机房优先独立布置在非防爆辅助区域或屋面安全位置,远离甲乙类工艺装置、易燃易爆储存设施、高温设备以及泄压口等危险点位,机房耐火等级不得低于二级,门窗做到密闭阻燃,防止隐患侵入。高层化工建筑需要采用分段送风方式,超高层建筑需增设中间加压机房,减小送风阻力,保障竖向风压分布均匀、运行稳定。送风管道选用热镀锌钢板等不燃、

耐腐蚀的金属管材,全程采用密闭焊接工艺,严禁穿越防火分区、防爆区域及危险品储存区域。竖向管道集中布置在专用管井内,每层楼板缝隙全部严密封堵,彻底杜绝烟气竖向串流。风口按照楼层均匀布置:防烟楼梯间每 2~3 层设置常开送风口;前室、消防电梯前室每层设置常闭智能送风口,可与火灾报警系统联动,仅自动开启着火层及相邻楼层风口。整套系统将楼梯间正压稳定维持在 $45\sim 50\text{Pa}$ 、前室正压控制在 $28\sim 30\text{Pa}$,既能有效阻挡烟气侵入,又不会因压力过大导致疏散门难以开启。

4.2 机械排烟系统模块化布局设计

机械排烟系统是化工建筑管控火灾烟气的核心设施,整体采用模块化设计,主要包含风机机房、排烟管道、排烟风口、防火阀、泄温组件等配套设施,核心设计要满足防爆、耐高温、耐腐蚀、防串烟、全覆盖无死角排烟的严苛要求。排烟风机优先安装在屋面或室外独立平台,避开人员密集区域和易燃易爆危险区域,设备可在 280°C 高温环境下连续稳定工作 30min 以上,风机入口位置配套设置 280°C 常开排烟防火阀。多分区的化工建筑采用“一机一区”的独立布置模式,从根源上杜绝不同区域的烟气互相串流。排烟管道紧贴建筑顶部铺设,严禁跨越防火分区,同时和工艺管线分层有序排布;针对大层高的高大空间,额外增设均匀分布的排烟支管,彻底消除排烟盲区。管道穿越墙体、楼板的缝隙全部严密封堵,防止烟气渗漏。排烟风口统一均匀布置在防烟分区顶部,贴合火灾烟气向上漂浮扩散的规律,同时避开易燃介质释放口和泄压口,避免系统负压抽吸加剧危险介质扩散。设备密集的复杂区域,采用多点分布式风口布局,有效解决局部烟气堆积淤积的问题。

4.3 系统联动与补风协同布局设计

化工厂房建筑密封性普遍较高,若只单独设置排烟设施,室内容易出现负压超标问题,因此必须搭配智能补风系统,做到排烟、补风、加压防烟三者联动运行。补风风机选用防爆款式,安装在安全区域内,补风风量控制在排烟风量的 50%~80%,以此平衡室内气压。整套系统与火灾自动报警系统联动,火灾探测器检测到火情后立刻打开排烟口、启动排烟风机和补风设备,同时关停普通通风设备,并开启疏散通道的加压送风装置。这样一来,生产作业区形成负压顺利排烟,疏散通道保持正压阻挡烟气蔓延,

表 2 分区设计参数汇总表

空间净高 H	单分区最大面积/ m^2	挡烟垂壁最小下垂高度/m	适用化工区域
$H\leq 6\text{m}$	500	0.5	低层化工车间、辅助仓库、走道
$6\text{m}<H\leq 9\text{m}$	1000	0.6	中层工艺车间、成品仓储区
$H>9\text{m}$	2000	0.8	大空间高大化工厂房、装置区

表 3 系统参数校核标准表

设计参数	规范标准值	化工建筑取值建议	参数作用
楼梯间正压值	40~50Pa	45~50Pa	保障楼梯间绝对无烟
前室正压值	25~30Pa	28~30Pa	平衡开门阻力，阻隔烟气
送风管道风速	$\leq 10\text{m/s}$	7~9m/s	降低风阻，稳定风压
排烟管道风速	$\leq 20\text{m/s}$	10~15m/s	提升排烟效率，防止积烟
高大空间换气次数	≥ 6 次/h	6~8 次/h	快速稀释高温毒烟

形成双重防护。系统的控制线路全部使用阻燃防爆线缆，控制模块也布置在爆炸危险区域之外，能在复杂现场环境里稳定可靠运行。

5 关键设计参数量化与校核

化工建筑防排烟设计必须精准把控各项关键参数，依据建筑高度、防火门数量及门洞面积，核算加压送风量，高层建筑还需适当预留风量余量。送风管道风速宜控制在 7~10m/s，送风口风速宜控制在 6m/s，以此避免气流产生涡流，维持室内正压防护能力。排烟风量方面，普通房间按 $60\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$ 取值，大空间区域换气频次需满足每小时不少于 6 次，排烟管道风速维持在 10~15m/s 区间。风速偏高会加大管路阻力，偏低则易引发烟气堆积、无法顺利排出。整套设计要逐项核对参数，既保证系统可靠运行，也不会出现风量不足或是用料、能耗浪费的情况。系统参数校核标准表具体见表 3。

6 结论

化工建筑产生的烟气毒性强、蔓延快，还极易引发爆炸，因此防排烟设计有着严苛的专属要求。实践表明，机

械加压送风搭配机械排烟是最优方案，自然排烟仅能用于低风险区域。防烟分区要结合室内净高和现场危险点位综合划分。统一设备、管道、风口的布设样式，逐项核对各项运行参数，能大幅提升系统运行可靠性。这套设计思路解决了过去设备选型混乱、布局不合理的问题，也为消防审核工作提供了标准参考。

[参考文献]

- [1]王荣尹.基于消防安全视角的建筑暖通防排烟应用分析[J].居业,2026,12(5):128-130.
- [2]宋金凤.石油化工车间暖通空调防排烟研究[J].中国建筑金属结构,2026,25(4):88-90.
- [3]王爽.化工厂房的通风设计思路和要点[J].当代化工研究,2022,12(10):4-6.
- [4]王文哲.抗爆建筑防排烟系统设计应用分析[J].广东化工,2016,43(11):223-225.

作者简介：田伟桐（1993—），男，汉族，河北省石家庄人，中级职称，本科，毕业于河北建筑工程学院建筑环境与能源应用工程专业。