 DOI: https://doi.org/10.12349/edc.v8i5.10258

Research on Fire Protection and Fire Fighting Design of Data Center Building in Housing Construction

Lei Zhang

CCTC (Zhongwei) Big Data Technology Co., Ltd., Zhongwei, Ningxia, 755000, China

Abstract

Addressing data center scenarios with high power density and high airflow rates, this study establishes a fire prevention and firefighting design framework prioritizing business continuity. The system incorporates risk-based fire compartmentation, customized clean gas fire suppression systems, electromechanical smoke suppression coordination, and independent emergency evacuation routes. Methodologically, the proposed solution specifies: single data center compartments not exceeding 1,000 square meters, composite enclosure fire resistance ratings of at least 3 hours, heptafluoropropane gas fire suppression with zone-specific venting and redundant storage cylinders, multi-layered detection systems with cross-verification, integrated supply-return air cutoff mechanisms with damper linkage, and circular independent evacuation corridors with low-level ground induction. Case validation at a data center demonstrated reduced fire response time from 15 to 8 seconds, improved fire suppression success rate from 85% to 98%, and shortened average evacuation duration from 2 minutes to 1 minute. Results indicate that the proposed strategy achieves synergistic optimization of early detection, localized control, and safe evacuation under high wind speed and load coupling conditions, providing replicable pathways for new data center construction and retrofitting projects.

Keywords

data center; fire compartment; clean gas fire suppression; flue gas control; emergency evacuation

房建施工中数据中心建筑防火与消防设计研究

张磊

中交（中卫）大数据科技有限责任公司，中国·宁夏 中卫 755000

摘　要

面向高功率密度与高风量并存的数据中心场景，研究构建了以业务连续性为前提的防火与消防设计体系，涵盖基于风险分级的精细化防火分区、针对性洁净气体灭火系统配置、机电联动抑烟控制与独立短捷的应急疏散路径。方法上，提出机房单分区面积不大于1000平方米、复合围护耐火极限不低于3小时，气体灭火采用七氟丙烷并按列区实施分区放气与储瓶冗余，探测采用上下分层与交叉确认，送回风切断与风阀联动，疏散侧设置环形独立通道与沿地低位诱导。以某数据中心为案例验证，改造后火灾响应时间由15秒降至8秒，灭火成功率由85%提升至98%，平均疏散时间由2分钟缩短至1分钟。结果表明，所提策略能在高风速与高负荷耦合条件下实现早期识别、就地控制与安全疏散的协同优化，为数据中心新建与改造提供可复制路径。

关键词

数据中心；防火分区；洁净气体灭火；烟气控制；应急疏散

1 引言

数字基础设施持续扩容与人工智能应用的快速发展，使数据中心长期处于高负荷与高风量运行状态。高功率密度机柜使单位面积电负载显著提高，设备过热、短路电弧与电池储能热失控成为主要诱因，架空地板与吊顶夹层、电缆竖井等隐蔽空间又为火与烟的早期迁移提供通道。与常规建筑相比，数据中心对水敏感设备集中、业务连续性要求刚性、人员常态配置以值守巡检为主，传统以水系为主的消防与大客流疏散组织难以直接适配。如何在不牺牲可用性的前提下，实现超早期识别、低残留灭火、烟气蔓延抑制与可操作的疏散引导，构成该领域的关键命题。基于此，本文提出面向风险分级的防火分区策略，构建与气流组织耦合的探测与抑烟联动机制，选择与布局兼顾设备安全与处置效率的洁净气体灭火系统，并优化低人流场景下的疏散路径与门禁联动。通过工程案例进行量化对比验证，旨在为数据中心防火与消防的系统化设计提供可落地框架与可复用方法。

2 数据中心建筑防火与消防设计的需求特性

鉴于数据中心承载关键算力与数据存储，建筑与机电系统长期处于高负荷状态，使防火与消防设计呈现专属性需

【作者简介】张磊（1982年10月），男，中国陕西西安人，本科，工程师，从事建筑工程施工管理。

求。高功率密度机柜把单位面积电负载集中，单机柜功耗常见 10–30 kW，AI 集群可达 >50 kW，散热余量一旦不足即形成热点；24 h 连续运转叠加高频维护，把作业失误与点火源带入机房；大规模线缆与电池储能系统简称 BESS 构成可燃负载，架空地板与吊顶夹层成为隐蔽火源与烟气通道。风险主要来自三类机理：设备过热导致元器件热击穿，电气短路或接触不良触发电弧并沿竖井蔓延，锂电池热失控伴随可燃气体释放与高风量空调耦合而快速迁移。由此推导，消防设计需把业务连续性放在约束前提，提出高灵敏早期识别与低残留灭火介质的兼容性要求；把蔓延抑制作为边界条件，提出精细化分区与通风联动抑烟的控制要求；把人员生命安全作为底线，提出独立而短捷的疏散路径与可视化引导，并把探测覆盖至架空地板、吊顶夹层及电缆竖井。同时，气流组织与烟气控制的耦合效应需要被同步考量 [1]。

3 数据中心建筑防火与消防关键设计策略

3.1 防火分区的精细化划分策略

在负荷持续高位运行的场景下，数据中心功能空间的火灾荷载与潜在点火源呈现明显差异，本研究把服务器机房归为高风险区，把办公与运维用房归为中风险区，并据此构建面向风险分级的分区划分路径，见图 1。分区的基本单元为防火分区，即在规定耐火时间内把火势限制在围护边界内的独立空间。面向高风险区，采用由实体耐火隔墙、独立吊顶与架空地板共同构成的复合围护，把单分区建筑面积控制在不大于 1000 m²，把隔墙耐火极限设置为不低于 3 h，同时把门洞设置为 A 级防火门并配置可联动关闭的防火卷帘。对于中风险区，强调与结构布置协同确定分区尺度，突出与机房的刚性隔离与水平通道断开，避免通过走廊和设备夹层形成烟气短路路径。进一步观察在机柜功率密度超过 50 kW 或设置电池储能系统的机房功能块时，需把该局部按高风险子区嵌入机房分区，并把封闭热通道与耐火围护同步构造实现源头约束 [2]。由此推导，竖井、电缆夹层与桥架应作为独立判定对象，把贯穿孔洞实施耐火封堵，把每层分隔与楼板形成连续；在吊顶与架空地板内设置不燃分隔带，把间距与机柜排布相协调，并把送回风在分区边界处进行切断与设联动风阀，通过与空调系统的抑烟联动把烟气迁移路径进行有效截断。结合运维通行与疏散组织，把分区边界与共享疏散空间进行解耦，保证疏散路径连续且不跨越高风险界面，形成与风险分级一致的分区总图及机电联动清单，见图 1。

3.2 针对性消防系统配置策略

面向对水高度敏感的核心信息设备，本研究把七氟丙烷洁净气体灭火系统当作服务器机房的主要配置来使用，使灭后残留与导电风险维持在较低水平，并把抑制初起火的响应速度纳入控制目标。结合高风量气流组织，优化点式感烟探测器布局密度，服务器机房按每 50 m² 设置 1 只，同时把探测覆盖延伸至吊顶与架空地板，采用上下分层与交叉确认逻辑，以在烟羽尚未进入回风口前完成报警并降低误触发。在管网与储瓶设计上，把机房按列区划小分区设置喷嘴与选择阀，设置储瓶冗余并实施分区放气，使局部起火得以定域处置并把药剂冲击与停机范围压缩；对喷嘴朝向、遮挡与放气时间进行校核，契合高功率密度机柜与狭窄热通道的空间特性。联动控制层面，把气体放射与送回风机、分区风阀以及防火门卷帘进行耦合，放气前完成风量切断与通道封闭，放气时触发声光预警与延时并设置手动中止，放气后通过围护泄压口与密闭性检测控制超压与逸散，并对高风速环境修正报警阈值。建筑消防供水仍需具备韧性保障，在非水敏感区域继续选用喷淋与室内消火栓，并在水系统侧构建双回路消防水源，包括两条独立环状管网、双电源消防泵组与分区阀控，使任一回路故障时仍能把干线维持供水，同时把机房分区的水系阀门与气体系统联动锁定，减少误入水风险 [3]。

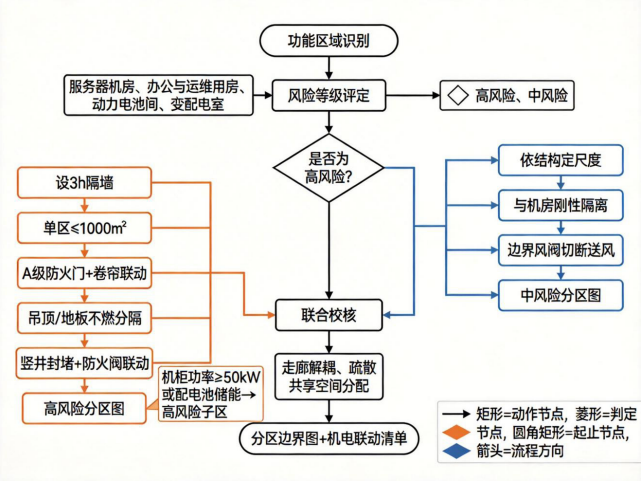


图 1 数据中心防火分区划分流程图

3.3 应急疏散路径的优化设计策略

在数据中心人员常态配置以值守与巡检为主、瞬时人流量较低的现实情境下，疏散组织不再依赖大客流容量而更强调路径明确性与跨区干扰的削减。进一步观察发现，运维人员对机房流线具备熟悉度，而外协施工与访客在突发工况中易出现路径辨识滞后，需重点关注的是把通行界面与高风险区进行刚性隔断，并把疏散路线以最短距离引导至室外安全区域。由此推导，本研究把通道净宽不小于 1.2 m 作为刚性约束，并把疏散流线绕开机柜列区与电缆竖井，设置沿机房周边的独立环形走道，借助防火墙体与可联动关闭的防火门形成与机房分离的连续通道。结合高风量空调对烟气层稳定性的影响，选用低位与沿地连续布置的应急照明与诱导系统，把地面照度维持在不低于 5 lx，并把标识指示的间距控制在不大于 20 m，辅以关键转折点的重复提示，削弱烟雾浊层导致的视程下降。联动控制层面，把火警信号与防火门释放、疏散门禁失效开启、防烟加压与排烟控制进行耦合，让通道在报警阶段完成加压建立与烟气切断，同时把气体灭火延时、声光告警与路径指示同步触发，减少人员误入危险

区的概率。结合设备维护动线，本研究把设备搬运通道与人员疏散通道进行解耦，设置与楼梯间直连的单向疏散门，避免逆向交叉，并把共享走廊的可燃负载清单纳入管理，降低通道阻塞与二次火源的叠加效应 [4]。

4 数据中心建筑防火与消防设计效果验证

4.1 某数据中心工程案例应用分析

选取某数据中心 A2 机房楼作为对象，该机房楼建筑面积 15000 ㎡，16 个机房功能模块，IT 装机容量 19.6MW，典型机柜 12kW，配置电池储能 2 MWh。鉴于持续高负荷与高风量耦合，项目把机房界定为高风险区，把 AI 训练列区按子区嵌入，单分区面积不大于 1000 m²，把围护耐火等级提升至 3 h，并把竖井贯穿进行耐火封堵，把送回风在边界切断并设联动风阀。消防系统侧把七氟丙烷当作主要介质来使用，按列区设置选择阀与喷嘴，实施分区放气与储瓶冗余；感烟探测按 50 m² 一只进行加密，并把吊顶与架空地板纳入覆盖，运用上下分层交叉确认逻辑，同时把放气与风机风阀以及防火门卷帘进行联动，完成风量切断与声光提示。疏散组织把机房周边设置净宽 2300~2500mm 环形通道，选用沿地低位诱导与应急照明，把关键转折点进行重复提示，并把门禁与加压排烟按火警信号联动建立。项目把关键指标按统一口径进行对照，见表 1。

表 1 某数据中心防火消防设计效果指标对比表

指标	改造前	改造后
火灾响应时间	15 s	8 s
灭火成功率	85%	98%
平均疏散时间	2 min	1 min

4.2 设计方案的优化建议

基于某中心改造后的运行条件，本研究把优化方向聚焦在监测、组织与结构三条链路，以在既有早期探测与联动框架之上提高适配性与韧性。引入 AI 智能火灾监控，融合视频烟火识别、红外温度异常捕获与多点烟雾序列建模的边缘算法，针对高风量背景学习气溶胶噪声与热通道扰动，构建动态阈值与多源一致性判据，把预警分级信号接入消防联动控制器与楼宇自控系统，形成抑烟风阀预置位与分区预停机的前置策略，同时配置误报回溯与模型自校准机制。结合值守为主且瞬时人流低的运维场景，建立按季度开展的情景化消防演练，把气体灭火延时阶段人员撤离、联动门禁失效开启、加压送风稳定性检验以及电池储能热失控处置流程纳入剧本式推演，并把记录转化为联动清单与整改闭环，形成面向运维团队与外协队伍的差异化训练大纲。面向扩容与业态调整的需求，选用模块化建设思路，把可拆装耐火围护、可编址探测回路与选择阀分区管网构成标准化接口，在机柜列区预留热通道封闭节点与风阀插接位，把新增子区的隔断、探测与放气快速接入得以实现，同时把跨区桥架贯穿封堵选用可维护构件并加设检修标识，以在扩展过程中维持分区边界完整性与系统可靠性 [5]。

5 结语

本文提出的防火与消防一体化策略，以风险分级为主线，将复合耐火围护、分区尺度控制、洁净气体分区放气与储瓶冗余、上下分层探测与交叉确认、送回风切断与风阀联动、环形独立疏散通道与沿地低位诱导等要素协同集成，在工程案例中显著改善响应效率、灭火成效与人员撤离表现，验证了在高风量、高功率密度与水敏感负载约束下的适配性与韧性。针对运行阶段的持续优化，建议引入融合视频烟火识别与红外温度的智能监测，建立情景化演练与联动清单闭环管理，并以模块化围护、可编址探测与选择阀管网预留接口支撑扩容与业态调整。同时，应进一步开展高风速环境下探测阈值修正与喷放性能的定量验证，完善电池储能热失控的专属处置策略与排烟方案，探索与数字孪生相结合的性能化评估工具。未来工作可在跨系统联动可靠性、环境友好型灭火介质替代以及分区扩展过程中的边界完整性维护方面开展更系统的实证研究。

参考文献

[1] 夏宗军,李婧,陈志飞,李彼,李晓丹,刘桂麟.基于CiteSpace的我国建筑施工期间火灾情况研究[J].建筑科学,2025,41(05):176-182.

[2] 陈章迎,房一泉.基于智能服务链的数据中心安全架构重构的研究和实践[J].通信学报,2024,45(S2):69-73.

[3] 杜宇,陈达,朱淼,吕存浩,陈洁,甘亦忻.既有科研办公楼消防水系统改造难点及相关措施探讨[J].给水排水,2025,61(05):105-108.

[4] 于萍,滕森林,林志伟.数据中心机电工程预制化设计的优化方向研究[J].中国信息界,2025,(06):225-227.

[5] 郭巧洪,张伟,付超,蓝政杰.基于财务指标体系的数据中心节能改造经济可行性探究[J].中国建设信息化,2025,(12):74-78.