

某会展中心性能化消防设计研究

Research on Performance-based Fire Protection Design of a Convention and Exhibition Center

顾正军^{1,2}

GU Zheng-jun^{1,2}

(1. 南京工业大学; 2. 中安建设集团)

(1. Nanjing Tech University; 2. CICG Group)

【摘要】会展建筑在日常设计中经常遇到防火分区超面积、安全疏散距离超规范等问题，文章研究的目的是通过性能化设计方法，采用火灾模拟软件（FDS）设定火灾模拟场景，使用专业的疏散软件（PathFinder）模拟疏散场景并计算出疏散时间，在所设置的消防设施保护下，确保可用安全疏散时间 $ASET >$ 必需安全疏散时间 $RSET$ 。针对疏散距离超标的情况，给出既满足功能又满足疏散安全的合理烟气控制方案和疏散设计方案。针对会展中心人员疏散设计的消防难点，本文展开了相关研究，主要工作包括：总体消防系统设计分析、烟气控制方案设计、疏散方案设计。

【Abstract】In the daily design of exhibition buildings, we often encounter problems such as excessive area of fire division and excessive safety evacuation distance. The purpose of this paper is to adopt the performance-based design method, adopt the fire simulation software (FDS) to set the fire simulation scene, use the professional evacuation software (Pathfinder) to simulate the evacuation scene and calculate the evacuation time. Under the protection of the set fire protection facilities, it is necessary to ensure the available safety evacuation time (ASET) > the required safety evacuation time (RSET). Aiming at the situation that the evacuation distance exceeds the standard, the reasonable smoke control scheme and evacuation design scheme satisfying both the function and evacuation safety are presented. Aiming at the fire control difficulties in the personnel evacuation design of the convention and exhibition center, this paper carried out relevant research, the main work includes: overall fire system design and analysis, smoke control scheme design, and evacuation scheme design.

【关键词】消防；性能化；火灾模拟；会展中心；排烟；疏散

【Keywords】fire control; performance-based; fire simulation; exhibition; eject smoke; evacuation

中图分类号：TU242.5; TU998.1

DOI：10.13655/j.cnki.ibci.2021.07.037

1 引言

会展中心具有会展、经营和办公等多种功能，人员密集，一旦发生火灾，如人员不能快速疏散至安全区，可能造成严重人员伤亡。建筑防火设计首要考虑防止起火，其次要考虑在起火后及时扑灭或控制火灾，还要考虑在火灾时尽快疏散人员至安全区域。但超大面积的会展类场馆，需要借助消防性能化设计手段进行辅助设计，给出符合安全水平的设计方案。

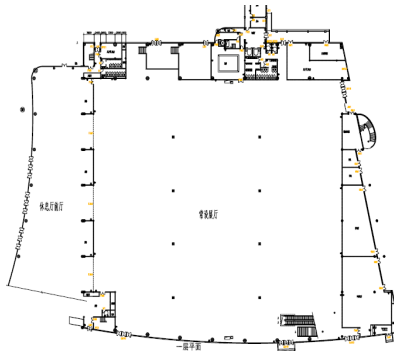


图1 常设展区一层平面图

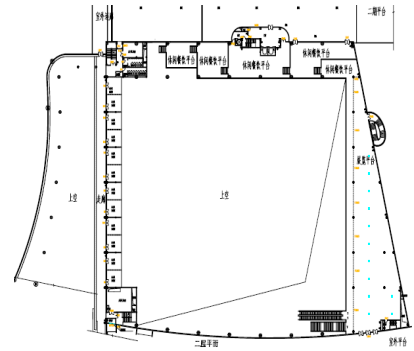


图2 常设展区二层平面图

2 功能设计

2.1 平面布置

某会展中心为大型展览项目，总建筑面积约43475m²，地上包括第一至第四展区、常设展区及餐饮接待区组成。除常设展厅区外安全疏散距离均符合规范要求，本文将重点分析常设展厅区的安全疏散距离超标情况，常设展厅平面布置见图1、图2，建筑基本情况见表1。

表1 常设展区建筑基本情况

展厅区域		功能	吊顶下净高/m	建筑面积/m ²
常设展区	一层展厅	展览	19.05~22.2	9436
	二层展览平台	展览	7	1131
	前厅	前厅	14.50	4820

2.2 安全疏散

《建筑设计防火规范》(GB50016-2014)第5.5.17条规定最大安全疏散距离不应超过37.5m。常设展厅一层展厅中间部位、二层休闲平台部分位置最大疏散距离为55m(见图3)。

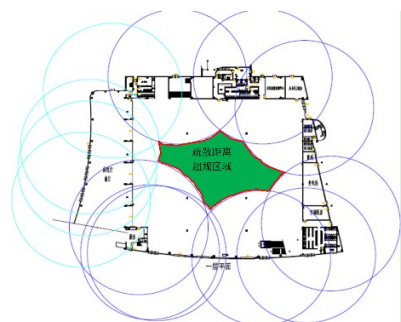


图3 常设展区一层37.5m疏散距离图

2.3 消防设施

该展厅设置火灾自动报警系统、自动喷水灭火系统、固定消防炮灭火系统、室内消火栓给水系统,对于各展厅由于跨度和进深大所致的消火栓保护范围盲区问题,在调研和论证的基础上,采用地坑式消火栓;设置火灾应急照明、疏散指示标志、地面连续灯光疏散指示标志、机械排烟系统。

3 消防性能化设计应解决的问题

常设展厅的建筑面积和进深较大,导致常设展厅一层大厅、二层休闲平台的安全疏散距离超过规范要求。

4 研究方法^[1-3]

①对比分析了相关规范对消防设计的规定,对某会展中心各展厅的烟气控制方案进行了分析,提出了疏散流线和疏散楼梯设置建议。

②根据相关规范要求和实际情况分析多种火灾场景,结合火灾模拟软件进行性能化分析。

③结合火灾场景设计疏散方案,采用性能化分析的方法对其合理性进行了论证。

5 性能化设计简介

性能化设计是基于火灾科学研究、借助消防安全工程学的方法和手段,在对具

体建筑物的火灾风险、火灾场景及主动和被动防火措施的实际效果进行评估的基础上确定该建筑所需要的消防措施的设计方法。

①采用火灾模拟软件(FDS)对设定的火灾场景进行烟气运动模拟,以此为基础对排烟系统进行设计,并为人员疏散设计方案提供火灾模拟场景。

②使用专业的疏散软件(PathFinder),模拟各疏散场景下人员疏散的情况,并计算出所需疏散时间。通过计算人员疏散所需时间,以及与环境内可以维持的人员耐受时间进行比较,确定人员是否可以安全疏散。

③性能化消防设计的生命安全目标是:在所设置的消防系统和设施保护下,发生可信的不利(Worse-credible)火灾时,须确保人员疏散的安全性,即可用安全疏散时间 $ASET >$ 必需安全疏散时间 $RSET$,并留有充足的安全裕度^[4]。

5.1 火场耐受环境判定标准^[5-9]

①烟气层位于必须的清晰高度以上(该会展中心展厅按照较大空间计算,采用清晰高度 $h=1.6+0.1H$ (大空间建筑高度);火场中能能见度不小于10m,较小空间能见度不小于5m),烟气辐射量不超过 $2.5\text{kW}/\text{m}^2$ (即烟气层温度不超过 180°C)。

②下部空气层能见度不小于必须的安全疏散要求,亦即能见度不小于10m;

③下部清晰层温度不超过 50°C ,CO浓度不超过500ppm。

6 会展中心烟气控制方案设计与分析

6.1 FDS理论基础^[10-11]

FDS专门从数值计算方面解决一系列适合于热驱动、低速流动的Navier-Stokes方程,重点适用于火灾导致的热烟传播和蔓延的数值模拟。FDS软件建立的模型能够体现火场的空间几何形状和尺寸,并能够借助NIST开发的前处理软件DXF2FDS来辅助建立几何形状复杂火场模型。将实际消防安全工程中的物理参数和设施,如火场温度及速度、火源、火灾探测器、风机、挡烟设施、喷头等在模型中建立,并模拟火灾中动作时序,与真实火灾相似性大。

6.2 设计火灾

6.2.1 设计火灾规模(见表2)

6.2.2 设计火灾—燃烧热及产烟率的确定(见表3)

根据表3,将火灾的燃烧热确定为 $20\text{MJ}/\text{kg}$ 、发烟率保守地确定为0.05。

6.2.3 设计火灾—机械排烟量的确定

对于较大空间机械排烟系统排烟量的确定有两个基本方法:火灾规模与清晰高度法和换气次数法。火灾规模与清晰高度法重点考虑火灾规模(MW)和清晰高度(m)两个参数,并不能够体现建筑的空间形状和面积几何尺寸,其排烟面积的计算结果需要与其他计算方法比较使用。换气次数法通过建筑体积间接考虑建筑的几何尺寸,但又缺少对火灾规模的考虑,设计排烟量时缺乏定量的参数依据,同样具有缺点。有必要运用计算流体力

表2 某会展中心各展馆设计火灾

区域	火灾场景	火源功率	火源位置
常设展厅大厅	F3.1	t^2 快速增长火,最大功率12MW	展厅西南
常设展厅二层展览	F3.2	t^2 快速增长火,最大功率8MW	展厅南侧
常设展厅前厅	F3.3	t^2 快速增长火,最大功率8MW	展厅中央

表3 典型可燃物的燃烧热和产烟率

燃料	燃烧热 (MJ/kg)	产烟率
Timber 木材	13.0	<0.01-0.025
Polyvinyl chloride 聚氯乙烯	5.7	0.12-0.17
Polyurethane (Flexible) 柔性聚亚安酯	19.0	<0.01-0.23
Polyurethane (rigid) 刚性聚亚安酯	17.9	0.09-0.11
Polystyrene 聚苯乙烯	27.0	0.15-0.17
Polypropylene 聚丙烯	38.6	0.016-0.10

表4 实际设计各展厅机械排烟量

展厅	设计火灾规 /MW	防烟分区面 积/m ²	机械排烟量/ m ³ /h	净高/m
常设展厅	12	9436	540,000	23
常设展厅前厅	8	4820	180,000	18.5~20.5

学 CFD (Computational Fluid Dynamics) 软件对烟气控制进行模拟,以验证和优化所设计的排烟率,最终确定排烟策略,实际设计各展厅机械排烟量见表4。

6.2.4 设计火灾—火灾场景的选取 (见表5)

7 烟气控制方案与分析

7.1 场景选取—常设展厅大厅

火灾场景F3.1发生在常设展厅大厅,其火源设置如图4所示。

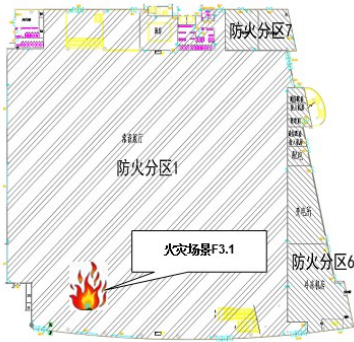


图4 火源设置

7.1.1 基本参数设置(见表6)

7.1.2 火灾烟气模拟结果与分析—能见度 (见图5)

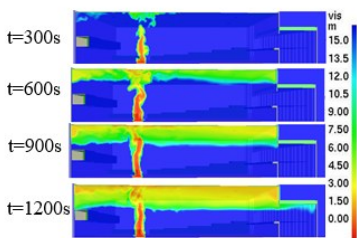


图5 火灾场景F3.1垂直方向截面烟气能见度进程图

根据能见度模拟结果可知,常设展厅大厅在模拟设置的机械排烟下能够有效排烟,1200s内将烟气至少控制在二层楼板以上2.5m范围(10m能见度计,此时烟气层高度趋于稳定),1200s内将烟气至少控制在大厅地面以上4m范围(10m能见度计,此时烟气层高度趋于稳定)

7.1.3 火灾烟气模拟结果与分析—烟气温度 (见图6-7)

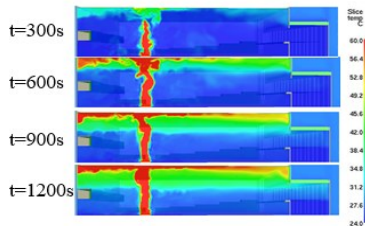


图6 火灾场景F3.1垂直方向截面温度分布(以60℃为最高标尺)

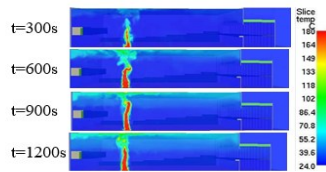


图7 火灾场景F3.1垂直方向截面温度分布(以180℃为最高标尺)

根据温度模拟结果可知,除火羽流外,火场清晰层温度不超过50℃,烟气层温度不超过180℃。因此,常设展厅一层可以有1200s火场耐受时间供人员安全疏散,即可用安全疏散时间ASET=1200s;二层可以有1200s火场耐受时间供人员安全疏散,即可用安全疏散时间ASET=1200s。

8 疏散方案设计与分析

8.1 Pathfinder软件简介

PathFinder软件利用美国工程师防火协会(SFPE)的《防火工程手册》给出的公式对疏散的过程进行动态仿真并用图形界面形式输出。采用典型的水力模型和行为模型,综合考虑了人与人,人与建筑之间的相互作用,能够较准确地反应火灾时人员疏散的真实情景。动态疏散分析对于暴露于火场中的人员疏散至关重要。可以改变参数并易于进行重新模拟,可研究疏散方向和疏散出口位置多种变化组合的疏散情况。Pathfinder还可以模拟出口被火或烟气堵塞的情况。该软件适用于大型综合商场、办公大楼、展览馆、体育馆、地铁站等的人员疏散仿真模拟。

表5 火灾场景选取

区域	火灾场景	火源功率	火源位置	机械排烟设置	备注
常设展厅大厅	F3.1	t ² 快速增长火,最大功率12MW	展厅西南	模拟时60s启动屋顶排烟,排烟量540000CMH	排烟风机启动根据模拟探测时间确定
常设展厅二层展览	F3.2	t ² 快速增长火,最大功率8MW	展厅南侧	模拟时60s启动展览区排烟,排烟量72000CMH,360s启动大厅排烟,排烟量为540000CMH	保守考虑大部分卷帘降落失效;排烟风机启动根据模拟探测时间确定
常设展厅前厅	F3.3	t ² 快速增长火,最大功率8MW	展厅中央	模拟时60s启动屋顶排烟,排烟量180000CMH	排烟风机启动根据模拟探测时间确定

表6 火灾场景F3.1的基本参数设置表

火灾热释放率曲线	12MW 快速时间平方火
燃烧热	20MJ/kg
发烟率	0.05
机械排烟量	模拟时60s启动屋顶排烟,排烟量540,000CMH,360s启动展览区排烟,排烟量为72,000CMH
补风面积	总面积约67.2m ² ,考虑人员疏散对门洞的阻挡,补风面积取门洞面积的50%,为33.6m ²

8.2 疏散时间的确定

人员疏散所需的时间 $RSET$ 由以下部分组成:探测时间、报警时间、人员识别时间、人员反应时间和人员从开始疏散到安全地点的行动时间。

$$RSET = \Delta t_a + \Delta t_{pre} + K \times \Delta t_e$$

式中, Δt_a 为报警时间。结合工程项目实际,在此基础上假设探测时间约为 60s; Δt_{pre} 为人员疏散预动作时间,该会展查表取 3min; Δt_e 为疏散行动时间,即疏散行动从开始到疏散至室外出口所需的时间,包括人员移动时间和在出口的排队等候时间。 K 为安全系数,一般取 1.5~2。

8.3 人员疏散场景

8.3.1 常设展厅人员疏散场景

常设展厅防火分区 1 的人员疏散,考虑西南侧出口不能利用的情况。常设展厅火灾场景对应的人员疏散场景见图 8。

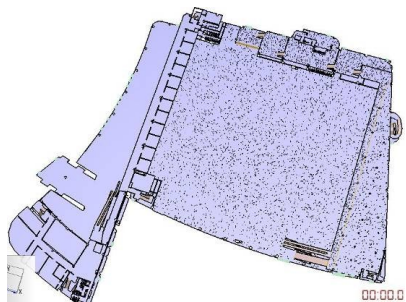


图8 火灾场景对应的人员疏散场景

1) 人员疏散模拟结果与分析

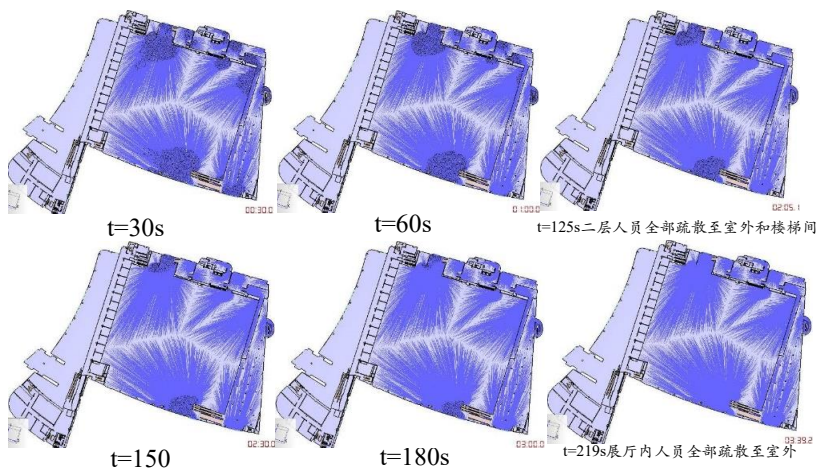


图9 人员疏散运动过程模拟典型时刻截图

在火灾场景 F3.1 下,从图 9 模拟结果中可以看出,一旦常设展厅地面层发生火灾,在有组织人员进行诱导的情况下,人员将通过各楼梯和疏散出口进行疏散,在 219s 时全部(首层)疏散至室外安全区域。其中二层休闲餐饮平台人员在 125s 时全部疏散至室外(或楼梯间)。

2) 人员疏散安全判定

常设展厅及二层展览模拟结果显示,考虑西南侧出口不能使用、大厅及二层休闲及展览平台人员整体疏散及同时疏散时,一层大厅内疏散行动时间为 219s,则对应的整个大厅防火分区内人员的 $RSET = 219 \times 1.5 + 240 = 569s$; 其中,二层人员全部疏散离开本层的时间为 125s,保守起见,取全部疏散至室外(时间为 219s)方为安全,则对应的 $RSET = 219 \times 1.5 + 240 = 569s$ 。

对比火灾场景 F3.1 的烟气控制效果 CFD 模拟结果表明,常设展厅的:

一层: $ASET = 1200s$, $RSET = 569s$, 安全裕度 $ASET - RSET = 631s$;

二层: $ASET = 1200s$, $RSET = 569s$, 安全裕度 $ASET - RSET = 631s$;

9 主要结论

①我国相关规范普遍给出了防火分区、安全疏散、消防设施等消防安全设计的要求,但是关于大空间建筑防火分区和安全设施设计,还不能够直接借鉴普通规范,还需要结合性能化设计进行综合

分析。

②本文通过对比烟气运动控制模拟结果和人员疏散模拟结果,在设定的可信不利火灾场景下,现有设计的机械排烟系统可以为火灾时人员安全疏散提供较长时间的安全环境,且有较大安全裕度解决疏散距离问题。

③对实际案例的分析结果表明,通过性能化分析的方法,量化和比较可用安全疏散时间和必需安全疏散时间来判断疏散方案的安全性,并找出影响安全的因素,采取改进措施提高可用安全疏散时间或降低必需安全疏散时间以实现人员安全疏散。

参考文献

- [1] 梅秀娟. 建筑物性能化消防设计方法及其应用情况[J]. 消防技术与产品信息, 2004(1): 8-10.
- [2] SFPE. 性能化消防分析和设计工程指南[S].
- [3] 李引擎. 建筑防火性能化设计[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.
- [4] 霍然, 袁宏永. 性能化建筑防火分析与设计[M]. 合肥: 安徽科学技术出版社, 2002.
- [5] 霍然, 胡源, 李元洲. 建筑火灾安全工程导论[M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 1999.
- [6] 吴龙标, 袁宏永. 火灾探测与控制工程[M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 1999.
- [7] Brian J. Meacham, P.E. 性能化消防安全设计的简要介绍[C]/NFPA 论文集, 2001.
- [8] 避难安全验证法的解说以及计算实例及其解说[M]. 日本, 2001.
- [9] 建筑防火性能化设计. 李引擎主编[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.
- [10] McGrattan Kevin. NIST Special Publication 1018 Fire Dynamics Simulator (5) Technical Reference Guide [M]. National Technical Information Service (NIST), U. S. Department of Commerce, USA, 2008.
- [11] 王海涛. 单室火灾的三维场模拟分析[D]. 天津: 哈尔滨工业大学, 2007.