



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 31540.5—2019

---

## 消防安全工程指南 第5部分：火灾烟气运动

Fire safety engineering guide—Part 5: Movement of fire effluents

2019-10-18 发布

2019-10-18 实施

国家市场监督管理总局  
中国国家标准化管理委员会 发布

## 目 次

前言 .....	III
引言 .....	IV
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 符号 .....	1
5 子系统 2 简介 .....	2
6 子系统 2 的评估流程 .....	4
7 工程方法 .....	8



## 前 言

GB/T 31540《消防安全工程指南》分为以下部分：

- 第 1 部分：性能化在设计中的应用；
- 第 2 部分：火灾发生、发展及烟气的生成；
- 第 3 部分：结构响应和室内火灾的对外蔓延；
- 第 4 部分：探测、启动和灭火；
- 第 5 部分：火灾烟气运动；

.....

本部分为 GB/T 31540 的第 5 部分。

本部分按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本部分由中华人民共和国应急管理部提出。

本部分由全国消防标准化技术委员会(SAC/TC 113)归口。

本部分起草单位：应急管理部四川消防研究所、应急管理部消防救援局。

本部分主要起草人：李乐、刘激扬、刘军军、张寒、荣建忠、刘玉波、李俊华。



## 引 言

建筑物发生火灾时必然有大量烟气产生,火灾产生的烟气可对建筑内部人员产生严重伤害。因此,烟气的有效控制是建筑防火设计的重要目标之一。目前,建筑火灾烟气控制主要采取两种方法,一种是处方式方法,由相关技术规范给出防烟排烟的技术指标和要求;另一种是消防安全工程方法,主要采用火灾模型和相关计算公式或计算软件,通过设定火灾场景和火灾规模,预测火灾烟气发生发展及运动情况,并在此基础上提出控制措施,以减缓火灾现场环境恶化速度,增加人员获救的机会,从而降低火灾烟气运动可能带来的危害。GB/T 31540 的本部分可为工程技术人员采用消防安全工程方法预测火灾烟气运动提供指南。



# 消防安全工程指南

## 第5部分：火灾烟气运动

### 1 范围

GB/T 31540 的本部分规定了火灾烟气运动的评估方法、输入输出参数及工程方法。本部分适用于建筑消防安全工程与火灾风险评估的基础指南和相关工程应用。

### 2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 5907.1—2014 消防词汇 第1部分：通用术语

GB/T 31540.1—2015 消防安全工程指南 第1部分：性能化在设计中的应用

GB/T 31540.2—2015 消防安全工程指南 第2部分：火灾发生、发展及烟气的生成

GB/T 31540.4—2015 消防安全工程指南 第4部分：探测、启动和灭火

GA/T 999—2012 防排烟系统现场性能试验方法 热烟试验法

### 3 术语和定义

GB/T 5907.1—2014 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

#### 3.1

**火灾烟气 fire effluent**

所有从燃烧或热解中产生的气体、卷吸的空气、颗粒物或气溶胶液滴。

#### 3.2

**火羽流 fire plume**

在火灾燃烧中，火源上方的火焰及燃烧生成的烟气流。

#### 3.3

**顶棚射流 ceiling jet**

顶棚下水平运动的烟气流。

#### 3.4

**开口烟流 vent flow**

从室内墙壁上的门、窗洞口进入室外开放空间中的烟流。

### 4 符号

下列符号适用于本文件。

$p$  压强，单位为帕斯卡(Pa)

$\Delta p$  压差，单位为帕斯卡(Pa)

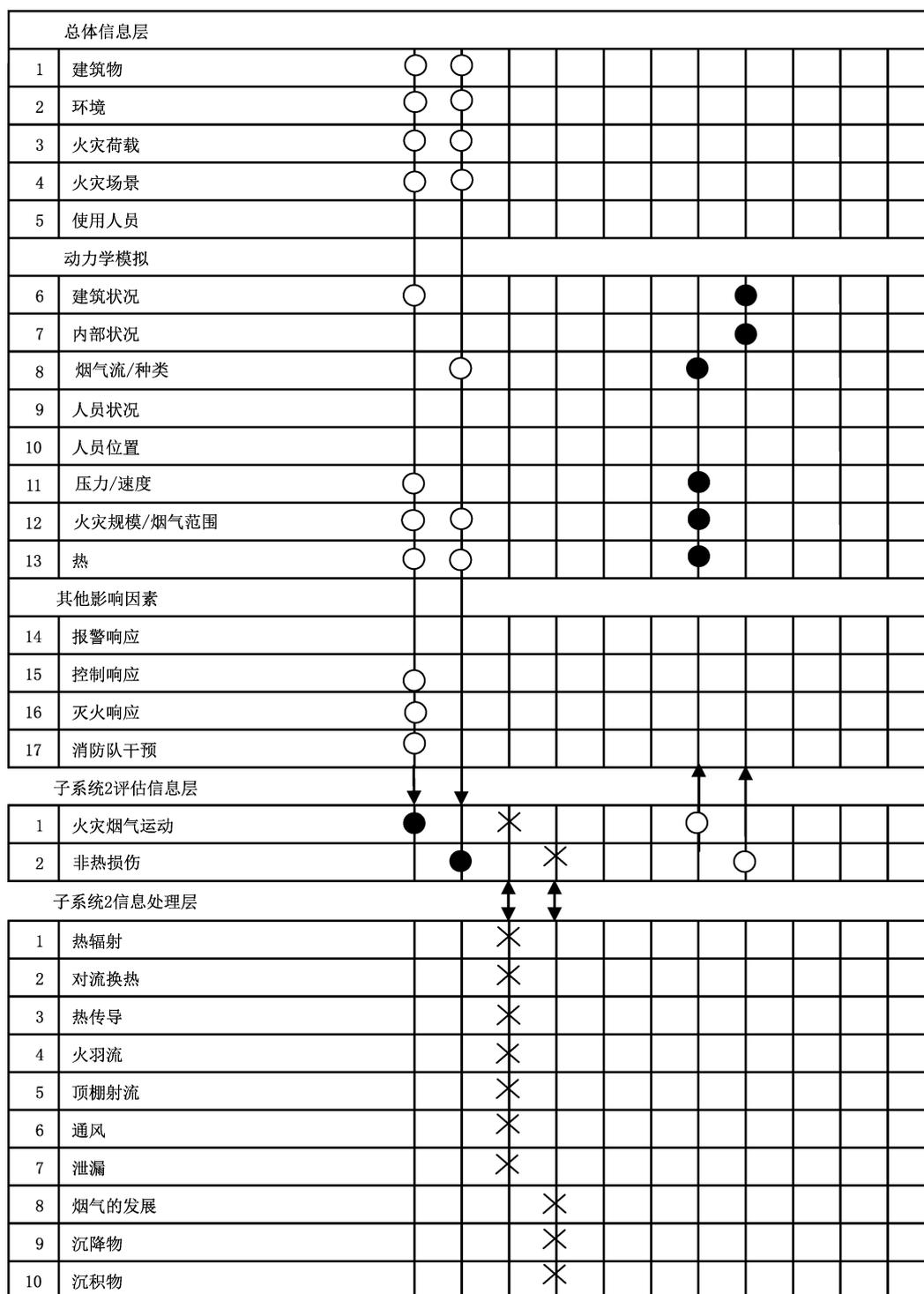
$\rho_0$  环境空气密度，单位为千克每立方米( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$\Delta\rho$	空气密度差,单位为千克每立方米( $\text{kg}/\text{m}^3$ )
$h_v$	竖井高度,单位为米(m)
$T_0$	环境温度,单位为开尔文(K)
$T_g$	竖井内温度,单位为开尔文(K)
$C_i$	组分 $i$ 的浓度,单位为千克每立方米( $\text{kg}/\text{m}^3$ )
$t$	时间,单位为秒(s)
$V_{\text{encl}}$	空间体积,单位为立方米( $\text{m}^3$ )
$\dot{m}_i$	组分 $i$ 的质量生成速率,单位为千克每秒( $\text{kg}/\text{s}$ )
$\dot{V}$	体积流率,单位为立方米每秒( $\text{m}^3/\text{s}$ )
$C_{\text{in}}$	流入室内气体组分 $i$ 的浓度,单位为千克每立方米( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

## 5 子系统 2 简介

GB/T 31540.1—2015 以消防安全设计为总体目标,将消防安全工程方法划分成若干子系统,各子系统之间具有明确的相关性,且在消防安全设计过程中得到体现,其中子系统 2 用于预测火灾烟气运动。

根据 GB/T 31540.1—2015 的规定,将消防安全工程方法的应用流程模拟为一个信息总线。信息总线分为三层:总体信息层、评估信息层和信息处理层。在此信息总线中,子系统 2 评估和处理的是关于火灾烟气运动的信息。子系统 2 从其他子系统中提取火灾的特征信息,并向其他子系统输出评估和处理结果。子系统 2 的信息交换流程如图 1 所示。



说明：

- —— 输出信息；
- —— 输入信息；
- × —— 系统数据交换；
- —— 数据流向。

图 1 子系统 2 的总体信息、评估和信息处理流程图

6 子系统 2 的评估流程

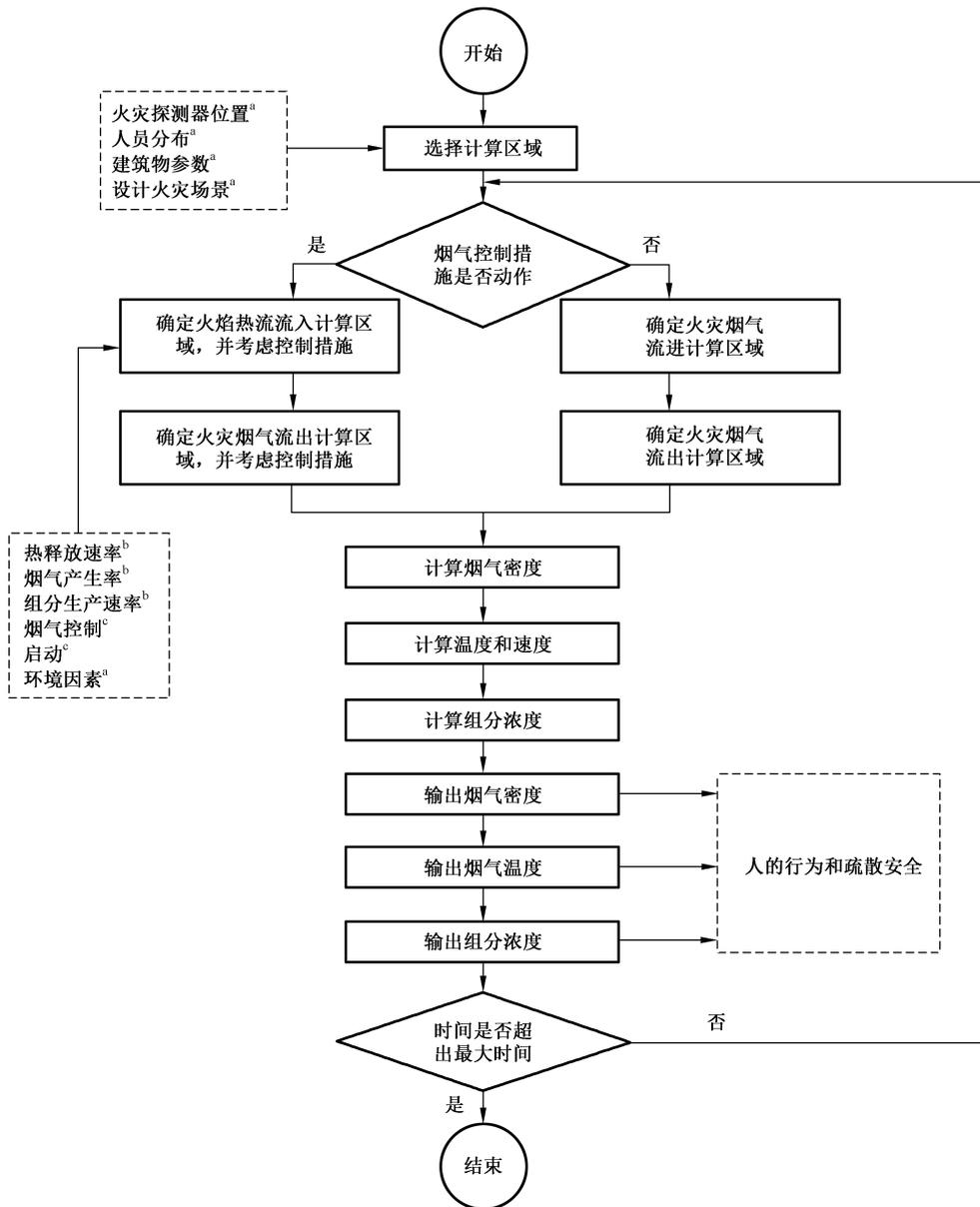
6.1 一般规定

根据火灾烟气运动特点,本部分规定了子系统 2 的输入和输出信息。

6.2 火灾烟气运动

6.2.1 火灾烟气运动计算流程

6.2.1.1 火灾烟气运动计算流程图见图 2。



<sup>a</sup> 详见 GB/T 31540.1—2015。

<sup>b</sup> 详见 GB/T 31540.2—2015。

<sup>c</sup> 详见 GB/T 31540.4—2015。



图 2 火灾烟气运动计算流程图

#### 6.2.1.2 输入信息包括：

- 建筑物参数(材料热物性、几何尺寸、开口条件)；
- 环境参数(主导风速度和方向、室外温度、建筑内温度场、由通风系统造成的室内空气流动)；
- 火灾规模(热释放速率、火羽流的质量流量、烟气生成速率)；
- 温度边界条件(火羽流的温度场)；
- 压力场/速度边界条件(起火房间内压力场、门窗的空气流动)；
- 烟气组分描述(火羽流中烟气组分生成速率、质量流量)。

#### 6.2.1.3 输出信息包括：

- 烟气分布(建筑内烟密度分布)；
- 温度场(建筑内温度场)；
- 压力场/速度场(排烟口压力、通风口流量、顶棚射流速度)；
- 烟气生成物组分浓度(建筑内气体组分浓度分布)。

### 6.2.2 火灾烟气运动过程

#### 6.2.2.1 概述

火灾烟气的蔓延主要借助于其浮力和空气卷吸作用。控制蔓延的方式包括设置挡烟装置、排烟装置和形成压差。火灾烟气的温度和其浮力取决于热释放速率和冷空气进入火羽流的卷吸率。卷吸作用可以减少烟气粒子的浓度、降低烟气的温度、提高能见度,同时也会增加烟气量。火羽流上升到顶棚后在顶棚下水平蔓延,在光滑的顶棚或短距离的屋顶水平方向卷吸量很小,可忽略不计;当烟气流绕过障碍物或通过开口时,卷吸量将明显增加。燃烧物的质量流量与火羽流卷吸量相比通常很小,也可忽略不计。

#### 6.2.2.2 火羽流

6.2.2.2.1 火羽流的温度和速度分布特点决定了质量流和能量流会随羽流高度的变化而变化。火羽流模型可以通过简化基本规律以及实验数据的拟合得到。用于消防安全工程的火羽流模型大多将火源假设为一个虚拟点火源。

##### 6.2.2.2.2 输入信息包括：

- 热释放速率(总热释放速率、对流热释放速率)；
- 火源尺寸；
- 环境温度。

##### 6.2.2.2.3 输出信息包括：

- 火羽流中不同位置的平均温度和平均速度；
- 火羽流中不同高度的质量流量。

#### 6.2.2.3 顶棚射流

6.2.2.3.1 当火羽流到达顶棚,竖直扩展的火羽流受到顶棚的阻挡,形成水平流动的顶棚射流。顶棚射流携带燃烧产物远离火源轴线。顶棚射流和顶棚之间的摩擦减缓了顶棚表面烟气的流动速度,可能对火灾探测器和喷淋系统的动作产生影响。

##### 6.2.2.3.2 输入信息包括：

- 热释放速率；
- 火源尺寸；
- 环境温度。

6.2.2.3.3 输出信息包括：

- 顶棚射流中不同位置的平均温度和平均速度；
- 顶棚射流中不同轴向距离处的质量和能量流。

6.2.2.4 热烟气层

6.2.2.4.1 由于浮力作用,燃烧产物聚集在房间上层形成烟气层。为便于计算,一般假设烟气层足够均匀,可用单一温度表征,烟气层的厚度和温度取决流入该烟气层的质量流、能量流、边界壁面热损失、房间的下层冷空气层以及溢流出房间的质量和対流传热等。

如果羽流到达顶棚并形成射流,射流温度可能比顶棚的平均温度高,使火灾探测器和喷淋系统具有更快的响应速度。顶棚有排烟口的情况下,火焰在排烟口直接流向外部开放空间,造成大量热损失,从而造成火灾探测器和喷淋系统的响应延迟。

6.2.2.4.2 输入信息包括：

- 热释放速率；
- 火羽流的质量和对流能量；
- 房间开口的流入与流出；
- 边界热损失；
- 初始温度及流场特性；
- 房间尺寸。

6.2.2.4.3 输出信息包括：

- 热烟气层的温度和厚度。

6.2.2.5 开口烟流

6.2.2.5.1 门、窗等开口部使得火焰和燃烧产物扩散到火源所在室内空间之外,同时使得外部空气进入其中从而影响火灾规模的大小。对于垂直方向的开口,可采用单区域或双区域模型,在火源所在房间温度已知的条件下,计算得出开口烟流的质量流量。水平方向开口烟流的定量计算非常复杂,尤其当新鲜空气与燃烧产物通过同一开口部流入和流出室内空间时,很难对开口烟流进行定量计算。

6.2.2.5.2 输入信息包括：

- 建筑物参数(开口尺寸、开口流量系数和其他开口)；
- 环境参数(外部风、温度)；
- 房间内的温度分布特征；
- 压力和风速。

6.2.2.5.3 输出信息包括：

- 通过开口的质量、体积和能量。

6.2.2.6 机械排烟

6.2.2.6.1 机械排烟系统在发生火灾时启动排烟机,将着火房间中产生的烟气通过排烟口排到室外,其排烟量通常采用体积换气法或面积指标法计算得出。

6.2.2.6.2 输入信息包括：

- 建筑物参数(排烟风管、开口、气密性特点、风机压力-流量曲线、结构尺寸)；
- 环境参数(外部风、温度)；
- 房间内的温度分布特征；
- 房间内压力/风速特征。

6.2.2.6.3 输出信息包括：

——通过排烟口的烟气质量、体积。

### 6.2.2.7 烟囱效应

6.2.2.7.1 烟囱效应是建筑火灾中烟气流动的主要影响因素,烟囱效应一定程度上影响烟气在建筑内的蔓延。当外界温度较低时,在建筑物中的竖井内存在向上的空气流动,称为正向烟囱效应。在正向烟囱效应的影响下,空气流动能够促使烟气从着火区通过建筑内竖向通道上升至建筑内较高楼层。而当外界温度较高时,在建筑物中的竖井内则存在向下的空气流动,称为逆向烟囱效应。烟囱效应所产生的压差可用式(1)来描述:

$$\Delta p = \Delta \rho \times g \times h_v = \rho_0 \times T_0 \times g \times h_v \left( \frac{1}{T_0} - \frac{1}{T_g} \right) \dots\dots\dots (1)$$

6.2.2.7.2 输入信息包括:

- 建筑物参数(竖向通道尺寸和开口尺寸);
- 温度分布(竖向通道内外温度分布)。

6.2.2.7.3 输出信息包括:

- 流入竖向通道中烟气的体积流率和质量流速。

### 6.2.2.8 通风管道的烟气运动

6.2.2.8.1 通风系统通常是在设计的压力和温度条件下进行工作,火灾发生时将破坏其工作状态,并影响起火房间的气流。为避免火灾烟气通过通风管道蔓延,通常在通风管道中安装有防火阀、防烟阀,但防火阀、防烟阀通常有缝隙,仍会有漏烟发生,所以还应对通风管道内的火灾烟气流动进行评估。另外,火灾烟气的分层可能会受到机械通风的影响,此时温度梯度分布和组分分布与自然通风时的情况不同,双区域模型可能不适用。

6.2.2.8.2 输入信息包括:

- 建筑物参数(通风管道的位置和尺寸、风机性能);
- 环境条件(外部温度和风向);
- 起火房间及建筑内温度分布;
- 起火房间及建筑内压力场/速度场特征。

6.2.2.8.3 输出信息包括:

- 通风管道内流入的火灾烟气的体积及质量流速。

### 6.2.3 烟气组分

6.2.3.1 火灾烟气中含有大量导致能见度下降的颗粒物和多种有毒气体。本部分规定了可用于评估远离火源位置的烟密度或烟气组分浓度的方法。

区域模型中假定烟气良好混合,即颗粒物或组分浓度均匀分布在一个恒温的空间内。组分*i*的浓度可通过式(2)积分获得:

$$C_i(t) = \frac{1}{V_{\text{encl}}} \int_0^t \dot{m}_i(t) dt \dots\dots\dots (2)$$

如果流入和流出起火房间烟气的体积流率 $\dot{V}$ 以及流入烟气的浓度 $C_{\text{in}}$ 是已知的,那么火源所在房间内的烟气组分浓度可以通过式(3)积分获得:

$$C_i(t) = \frac{1}{V_{\text{encl}}} \int_0^t [C_{\text{in}}(t) - C_i(t)] \dot{V}(t) dt \dots\dots\dots (3)$$

采用场模型可以得到更加详细的烟气组分分布。



6.2.3.2 输入信息包括：

- 可见的烟气和气体组分的生成速率；
- 流入烟层的烟气和气体组分的浓度；
- 流入房间的体积流率。

6.2.3.3 输出信息包括：

- 组分浓度；
- 烟气密度。

6.3 火灾烟气的非热损伤

6.3.1 火灾烟气的非热损伤包括表面腐蚀、结构损伤、电气故障、变色、异味等。火灾烟气中的酸性气体产物可能会导致钢筋混凝土结构建筑物中钢筋的腐蚀,使其结构性能下降。燃烧产生的烟灰沉积,也可能导致控制面板、微电路、电气开关和电路板等出现故障。这些损伤都可视为火灾烟气的非热损伤。非热损伤的严重程度取决于沉积在建筑构件、家具和设备表面的火灾产物的化学特性、物理特性、移动和沉积等因素。

6.3.2 输入信息包括：

- 腐蚀性火灾烟气的浓度；
- 沉积表面的特性。

6.3.3 输出信息包括：

- 非热损伤的潜在可能性(包括设备功能丧失的可能性等)。

7 工程方法

7.1 概述

用于评估火灾烟气运动的工程方法包括经验模型方法、区域模型方法、场模型方法和试验方法。

7.2 经验模型方法

根据经验方程和经验法则近似得到的经验模型可用于评估烟气运动。使用时应注意每个模型的局限性,超出其适用范围可能会得到错误的结果。

7.3 区域模型方法



7.3.1 一般规定

区域模型用于模拟分析火灾烟气的运动。区域模型中通过输入建筑物参数、火灾荷载、火灾场景和消防设施设备等,得到关于烟气运动的烟气层厚度、烟气层温度和烟气运动速度等信息。

7.3.2 输入信息

包括：

- 建筑物参数(地板和顶棚面积、房间高度、房间开口位置和尺寸)；
- 火灾荷载(建筑内储物和室内装修材料的热化学性能、热物理性质)；
- 设计火灾热释放速率和火源位置；
- 设施设备参数(火灾探测器、排烟设备参数等)。

7.3.3 输出信息

包括：

- 烟层厚度；
- 烟气层温度；
- 开口的流速；
- 烟密度和耗氧量。

#### 7.3.4 结果应用

区域模型适用于预测烟气的充填以及火灾的发展,包括达到轰燃的时间,其结果可直接用于应急救援模型、火灾探测模型、结构响应模型等。

#### 7.3.5 区域模型的局限性

使用区域模型时需要考虑到模型是否适合设计的火灾场景,如房间的长、宽、高比值,房间高度和地面面积等。

### 7.4 场模型方法

#### 7.4.1 一般规定

场模型可用于模拟分析火灾的烟气运动。该类模型利用数值计算方法将计算区域划分为互相关联的大量小体积单元,根据质量守恒定律(连续性方程)、动量守恒定律(Navier-Stokes 方程)、能量守恒定律(能量方程)以及化学反应定律,在体积单元之间建立相互关联的方程组,求解质量方程、动量方程和能量方程,可得出对烟气移动的预测评估。

#### 7.4.2 模型预测法

场模型预测法可对计算域中每个体积单元的速度、温度、燃料和氧化剂及燃烧产物的浓度和压力等进行预测,还可预测开口部的烟气质量流量,以及通过固体边界的对流热和辐射热。

#### 7.4.3 计算结果的验证

对每个数值解进行工程适用性判断前,应对其收敛性进行分析。数值解相对于网格精细程度的敏感性同时也需要得到检验。

#### 7.4.4 安全评估的工作模式

应用场模型分析火灾烟气运动时,应首先对其模型、求解方法进行科学评价和验证,保证分析结果合理可信。

### 7.5 试验方法

试验方法在消防安全工程中承担着重要的作用,可以利用缩尺寸试验和热烟试验(见 GA/T 999—2012)、实体火灾试验等对烟气运动进行预测及评估。当采用试验方法对火灾烟气运动进行研究时,可依据 GB/T 31540.2—2015 给出的指南实施。

---