



# 中华人民共和国国家标准

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

Fire safety engineering guide—

Part 2: Initiation and development of fire and generation of fire effluents

(ISO/TR 13387-4:1999, Fire safety engineering—

Part 4: Initiation and development of fire and generation of fire effluents, MOD)

2015-05-15 发布

2015-08-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 发布  
中国国家标准化管理委员会

## 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 .....	2
5 子系统 1 简介 .....	3
6 子系统 1 的评估流程 .....	5
7 工程方法 .....	12
附录 A (资料性附录) 本部分与 ISO/TR 13387-4:1999 的章条编号对照情况 .....	14
附录 B (资料性附录) 本部分与 ISO/TR 13387-4:1999 的技术性差异及其原因 .....	16
附录 C (规范性附录) 烟气测量单位 .....	17

## 前 言

GB/T 31540《消防安全工程指南》由以下部分组成：

- 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；

.....

本部分为 GB/T 31540 的第 2 部分。

本部分按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本部分采用重新起草法修改采用 ISO/TR 13387-4:1999《消防安全工程指南 第 4 部分：火灾发生、发展及烟气的生成》。附录 A 中列出了本部分章条编号与 ISO/TR 13387-4:1999 章条编号的对照一览表。本部分与 ISO/TR 13387-4:1999 的技术性差异也已编入正文中，并在它们所涉及的条款的页边空白处用垂直单线标识。附录 B 中给出了这些技术性差异及其原因一览表以供参考。

本部分还做了下列编辑性修改：

- 删除了国际标准的前言，重新起草了前言；
- 修改了国际标准的引言，将其作为本部分的引言；
- 将国际标准的“本国际标准”一词改为“GB/T 31540 的本部分”或“本部分”；
- 将国际标准中某些标点符号修改为符合中文习惯的标点符号；
- 删除了国际标准的参考文献；
- 增加了资料性附录 A 和附录 B。

本部分由中华人民共和国公安部提出。

本部分由全国消防标准化技术委员会建筑消防安全工程分技术委员会(SAC/TC 113/SC 13)归口。

本部分负责起草单位：公安部四川消防研究所。

本部分参加起草单位：中国科学技术大学。

本部分主要起草人：刘军军、李乐、张寒、伍萍、胡锐、卢国建、姚斌、王莉萍、王炯、张晓明。

## 引 言

近 20 年来,关于火灾发生、发展及烟气生成的计算模型得到很大的发展,试验技术的进步也为计算模型提供了输入数据,同时也使大尺寸火灾试验可以被用来验证计算模型的有效性和局限性。

消防安全设计的工作目标是防止火灾发生和减小火灾规模。现行消防规范一般通过限制可燃材料的使用、控制火源和降低火灾荷载的方法来防止火灾发生及减小火灾规模,同时采用材料对火反应试验及燃烧性能分级方法控制材料的点燃性能、火焰传播、燃烧速率、烟气和有毒物质的生成。

评估火灾的发生、发展及烟气的生成是消防性能化设计和评估工作的重要组成部分。本部分规定了采用火灾模型或试验方法对建筑物火灾发生可能性、火灾发展、烟气流动和火灾生成物等进行预测,对建筑火灾风险进行评估的具体工作流程。本部分应与 GB/T 31540 的其他部分共同使用。

本部分适合从事消防安全工程的专业人员使用,包括建筑消防设计人员、消防救援人员、消防标准规范制定者、保险人、消防安全管理人员,标准使用者应充分理解本部分给出的计算方法中相关参数的含义和应用条件。

# 消防安全工程指南

## 第 2 部分：火灾发生、发展及烟气的生成

### 1 范围

GB/T 31540 的本部分给出了用于预测火灾的发生、发展及烟气生成的工程计算方法,可用于评估以减少着火几率、限制火灾发展、减弱烟热和有毒燃烧产物蓄积等目标的消防安全措施的有效性。

本部分适用于建筑消防安全工程与火灾风险评估,以及相关的工程计算与应用。

### 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(所有部分) 消防词汇

GB/T 31540.1 消防安全工程指南 第 1 部分:性能化在设计中的应用(GB/T 31540.1—2015, ISO/TR 13387-1:1999,MOD)

GB/T 31593.4 消防安全工程 第 4 部分:设定火灾场景和设定火灾的选择(GB/T 31593.4—2015,ISO 16733:2006,MOD)

ISO 5658(所有部分):2006 对火反应试验 火焰传播(Reaction to fire tests—Spread of flame)

### 3 术语和定义

GB/T 5907 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

#### 3.1

**燃空比 air-fuel ratio**

燃料与空气的质量比。

#### 3.2

**质量损失速率 rate of lost mass**

可燃物燃烧时,单位时间内的质量损失速率,单位为千克每秒(kg/s)。

#### 3.3

**着火温度 ignition temperature**

特定的试验环境下,经测量能引起某种物质持续燃烧的最低温度,单位为开尔文(K)。

#### 3.4

**热惯性 thermal inertia**

$k\rho c$

导热系数、密度和比热的复合参数,单位为  $J^2/(m^4 \cdot K^2 \cdot s)$ 。

#### 3.5

**烟粒子总截面积 total cross-sectional area of smoke**

与光路相垂直的烟粒子平均截面积与烟粒子数的乘积,单位为平方米( $m^2$ )。

3.6

**壁面火 wall fire**

火源靠近壁面,火焰形成壁面羽流且发生蔓延。

3.7

**当量燃空比 fuel-to-air equivalence ratio**

燃料与空气的质量比能够使燃料完全燃烧且没有空气剩余。

4 符号

$A_v$  开口面积,单位为平方米( $m^2$ );

$A_{fuel}$  燃料表面积,单位为平方米( $m^2$ );

$A_T$  建筑物总表面积,单位为平方米( $m^2$ );

$\alpha$  火灾增长速率,单位为瓦每二次方秒( $W/s^2$ );

$F_o$  开口因子,单位为二分之一一次方米( $m^{1/2}$ );

$F_v$  通风因子,单位为二分之五次方米( $m^{5/2}$ );

$f_x$  生成因子, $x$ 为一氧化碳、二氧化碳等燃烧生成物;

$h_v$  开口高度,单位为米(m);

$I$  穿过烟气后的光强度,单位为瓦每平方米( $W/m^2$ );

$I_o$  洁净空气中的光强度,单位为瓦每平方米( $W/m^2$ );

$k$  导热系数,单位为瓦每米开[ $W/(m \cdot K)$ ];

$K$  减光系数,单位为负一次方米( $m^{-1}$ );

$L$  样品厚度,单位为米(m);

$m$  烟密度,单位为分贝每米(dB/m);

$m_{fuel}$  质量损失速率,单位为千克每秒(kg/s);

$m_x$  质量生成速率, $x$ 为一氧化碳、二氧化碳等燃烧生成物,单位为千克每秒(kg/s);

$N$  烟粒子总数量;

$n$  烟粒子的数量密度,即单位体积内的烟粒子的数量,单位为负三次方米( $m^{-3}$ );

$\phi$  当量燃空比;

$Q$  热释放速率,单位为瓦(W);

$Q_o$   $t^2$ 火中,在火灾增长时的热释放速率,单位为瓦(W),通常取兆瓦(MW);

$q''_{ext}$  外部热通量,单位为瓦每平方米( $W/m^2$ );

$q''_{loss}$  表面对流或传导引起的热通量损失,单位为瓦每平方米( $W/m^2$ );

$\rho$  密度,单位为千克每立方米( $kg/m^3$ );

$\sigma$  烟粒子有效吸热的截面积,单位为平方米( $m^2$ );

$T_{ig}$  着火温度,单位为开尔文(K);

$T_L$  可燃混合物在燃烧下限条件下发生燃烧的最低温度,单位为开尔文(K);

$T_o$  表面初始温度,单位为开尔文(K);

$T_U$  可燃混合物在燃烧上限条件下发生燃烧的最低温度,单位为开尔文(K);

$t$  时间,单位为秒(s);

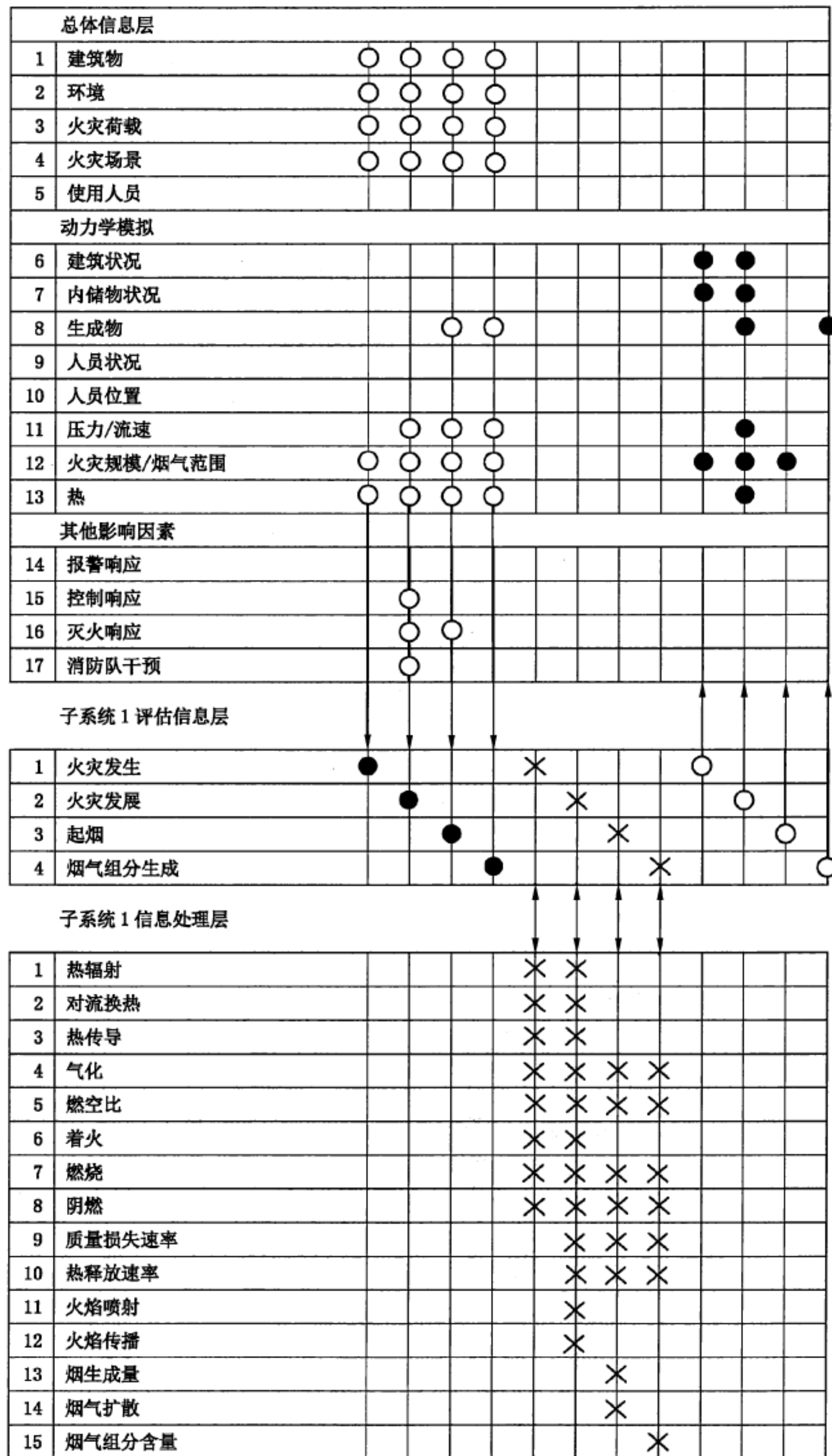
$t_g$   $t^2$ 火的火灾增长时间,单位为秒(s);

- $t_{ig}$  着火时间,单位为秒(s);  
 $\tau$  时间常数,单位为秒(s);  
 $V_f$  体积流速,单位为立方米每秒( $m^3/s$ );  
 $V_x$  体积生成率, $x$ 为一氧化碳、二氧化碳等燃烧生成物,单位为立方米每秒( $m^3/s$ );  
 $x_f$  火焰高度,单位为米(m);  
 $x_p$  热解的前端处位置,单位为米(m);  
 $kg_{fuel}$  参与燃烧燃料的质量,单位为千克(kg);  
 $kg_{air}$  参与燃烧空气的质量,单位为千克(kg)。

## 5 子系统 1 简介

GB/T 31540.1 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,各子系统之间的相关性和相互影响得到可靠辨识,并在消防安全设计过程中得到全面体现;GB/T 31540.1 还说明了消防安全工程方法的应用与时间相关的原则,即从起火开始计时,火灾的发展程度和范围随时间不断发生变化。

根据 GB/T 31540.1,消防安全工程方法的应用流程被模拟为一个信息总线。信息总线分为三层,即总体信息层、评估信息层和信息处理层。在此信息总线中,子系统 1 评估和处理的是关于火灾发生、发展及烟气生成的信息。子系统 1 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 1 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。

图 1 子系统 1 的总体信息、评估和信息处理流程图



## 6 子系统 1 的评估流程

### 6.1 概述

本章讨论各种火灾现象及其可能产生的后果,确定子系统 1 的输入和输出信息。

### 6.2 火灾发生

#### 6.2.1 火灾发生可能性的评估

6.2.1.1 火灾发生可能性的评估是判断可燃物能否被引燃,以及引燃所需的条件。当设定火灾场景时,或在风险评估中设计事件树时,需要对可燃物的着火可能性进行评估。根据对各种非自燃火灾现象的分析,图 2 列举了影响可燃物着火性的因素。

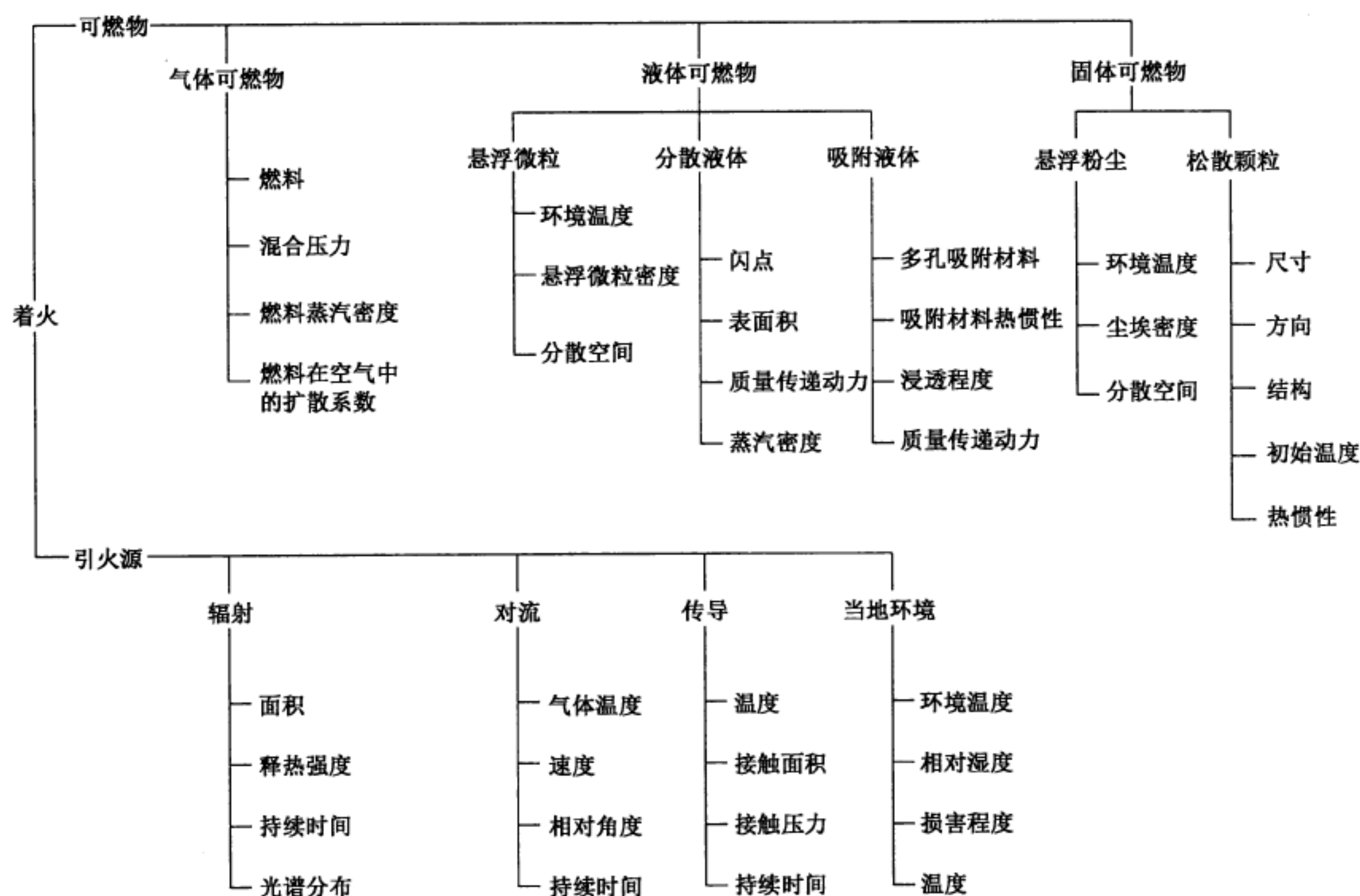


图 2 评估可燃物着火性时需考虑的因素

#### 6.2.1.2 输入信息包括:

- 建筑物参数(室内装修材料及其热化学性能、火源位置);
- 火灾荷载(建筑内储物及其热化学性能、火源位置);
- 火灾场景(火源的特性、数量和位置);
- 热特性(辐射、传导、对流、气体温度、初始温度);
- 火灾规模/烟气范围。

#### 6.2.1.3 输出信息包括:

- 着火温度;
- 着火时间;
- 着火区域;
- 初始火焰尺寸。

6.2.2 气体燃料着火性评估

6.2.2.1 在一定的燃空比条件下,当环境温度高于可燃气体自燃点时就能发生有焰燃烧,其着火条件如图3所示。液体可燃物或固体可燃物转变为气体可燃物需要一定的能量,对液体来说,需要的能量与其蒸发率、分布方式或被何种物质吸附有关。

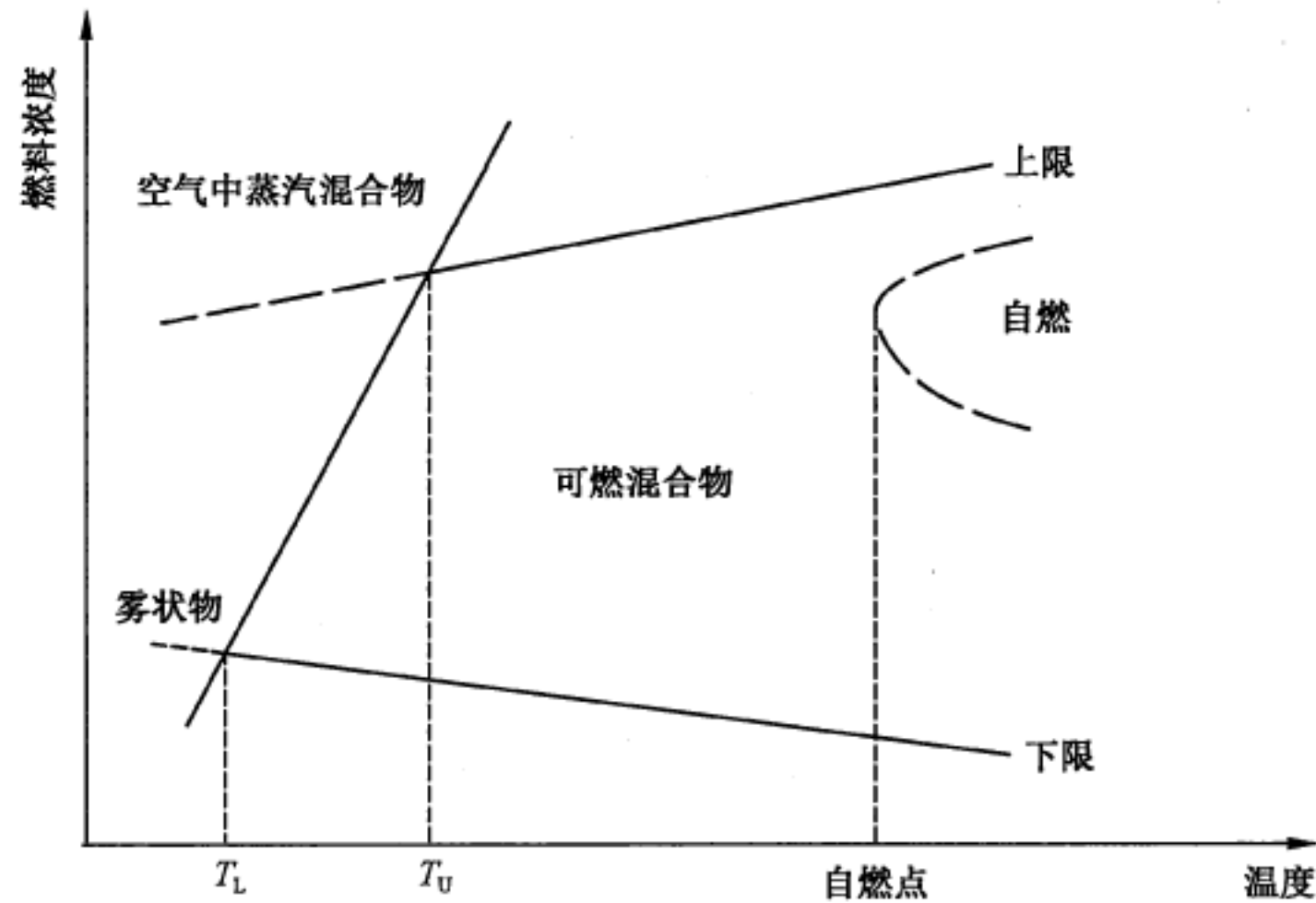


图3 在一定压力下温度对可燃气体燃烧极限的影响

6.2.2.2 输入信息包括:

- 燃料特性(气化潜热、燃点、燃烧极限、特定温度及不同受热条件时的气化和热解速率);
- 热传递;
- 燃空比;
- 引火源。

6.2.2.3 输出信息包括:

- 着火时间;
- 着火发生的可能性。

6.2.3 固体燃料着火性评估

6.2.3.1 影响固体燃料燃烧过程的因素有:着火方式、热交换速率、可燃物成分、可燃物位置、热量及环境。固体可燃物有闪燃和明火点燃两种着火方式。

6.2.3.2 热厚型材料和热薄型材料的着火性评估的计算公式如下:

对于热厚型材料,着火时间如式(1):

$$t_{ig} \propto k\rho c (T_{ig} - T_0)^2 / (q''_{ext} - q''_{loss})^2 \dots\dots\dots (1)$$

对于热薄型材料,着火时间如式(2):

$$t_{ig} \propto \rho c L (T_{ig} - T_0) / (q''_{ext} - q''_{loss}) \dots\dots\dots (2)$$

其中,  $k\rho c (T_{ig} - T_0)^2$  或  $\rho c L (T_{ig} - T_0)$  项可用试验方法确定。在上式中,所有的物性参数都被看作常数,但物性参数与温度和其他环境因素有关。

热厚型材料或热薄型材料的判断条件为  $L \gg (kt_{ig})^{1/2}$ ,也可采用厚度  $L$  是否大于  $0.6\rho q''_{ext}$  来判断其是否为热厚型材料。

6.2.3.3 输入信息包括:

- 燃料特性(厚度、表面辐射系数、热传导率、密度、比热、不同条件的着火温度、临界辐射热通量);

- 热传递(热辐射、对流传热、热传导);
- 引火源特性(温度和着火能量、火焰尺寸)。

#### 6.2.3.4 输出信息包括:

- 着火时间;
- 着火发生的可能性。

#### 6.2.4 阴燃

发生阴燃应具备如下条件:可燃物为受热分解后能够产生多孔碳结构的固体物质,周围环境具备能够发生阴燃的适合温度和供热速率。

### 6.3 火灾发展

#### 6.3.1 火灾发展的评估

6.3.1.1 火灾发展的评估与火灾场景的设定密切相关。应根据可燃物的数量、类型、分布以及建筑物的类型来设定火灾场景(见 GB/T 31593.4),火灾发展主要通过设定火灾场景条件下热释放速率(HRR)随时间的变化情况来表征。

#### 6.3.1.2 输入信息包括:

- 建筑物参数(室内装修材料及其热化学性能、火源位置);
- 火灾荷载(建筑内储物及其热化学性能、火源位置);
- 火灾场景;
- 热特性(辐射、传导热、热对流通量、气体温度、初始温度);
- 建筑状况(建筑构件)。

#### 6.3.1.3 输出信息包括:

- 火灾规模/烟气范围(燃烧区域、火焰高度、热释放速率、质量损失速率,房间内的烟气密度);
- 热特性(房间内初始温度和热通量的分布);
- 压力/速度变化图(排烟口的压力、通过排烟口的气流、顶棚射流速度);
- 建筑物热响应;
- 内储物热响应。

#### 6.3.2 表征火灾发展的有关参数

##### 6.3.2.1 燃烧速率

6.3.2.1.1 可采用试验方法和计算模拟的方法获得燃烧速率。当不能确定起火房间中可燃物的特性时,火灾增长常被假定为  $t^2$  火,即热释放速率与燃烧时间的关系如式(3):

$$\dot{Q} = \alpha t^2 \quad \dots\dots\dots (3)$$

其中,  $\alpha = Q_0/t_g^2$ ,  $t_g$  指达到热释放速率  $Q_0$  的时间。根据火灾增长率统计或试验数据可以得到  $\alpha$  值。在燃料控制型或通风控制型火灾中,火灾燃烧速率通常假定为一个常数。

#### 6.3.2.1.2 输入信息包括:

- 热传导率、比热和密度;
- 气化热;
- 燃烧热;
- 热释放速率的辐射份数(一般取 0.30);
- 质量损失速率或者单位面积的热释放速率(从小尺寸试验中获得);
- 质量损失速率或热释放速率(从大尺寸试验获得)。

6.3.2.1.3 输出信息包括:

- 质量损失速率;
- 热释放速率;
- 表面递减速率。

6.3.2.2 火焰尺寸

6.3.2.2.1 火焰的尺寸大小可用于计算火焰的热辐射通量以及火羽流的温度和速度分布。火焰尺寸大小与热释放速率相对应,单位体积火焰的热释放速率在 0.5 MW/m<sup>3</sup>~2 MW/m<sup>3</sup> 之间。

6.3.2.2.2 输入信息包括:

- 火源的热释放速率;
- 火源直径;
- 壁面火单位宽度的热释放速率。

6.3.2.2.3 输出信息包括:

- 火焰尺寸;
- 火焰高度。

6.3.2.3 火焰热辐射

6.3.2.3.1 火灾对建筑物或建筑内储物的影响主要取决于火焰热辐射,热辐射的接收量与几何视角和火焰特征有关,火焰特征主要包括温度场分布和辐射率,取决于燃烧物种类、燃空比、火焰的尺寸和形状等因素。

6.3.2.3.2 输入信息包括:

- 热释放速率;
- 燃料种类;
- 火源大小和相关物体的位置;
- 物体的热物性。

6.3.2.3.3 输出信息包括:

- 热辐射量;
- 火焰和物体表面的传热系数。

6.3.2.4 固体表面的火焰蔓延

6.3.2.4.1 火焰蔓延至墙壁、顶棚和地面的过程取决于表面特性和环境。火焰的水平蔓延可以根据 ISO 5658 给出的数据来描述。火焰的竖向蔓延可用式(4)来描述:

$$\frac{dx_p}{d\tau} = \frac{x_f - x_p}{\tau} \dots\dots\dots(4)$$

式中:

- $x_p$  ——材料热解最前端的位置,单位为米(m);
- $x_f$  ——火焰高度,单位为米(m);
- $\tau$  ——通常被认为是在适当的热通量下的引燃时间,单位为秒(s)。

6.3.2.4.2 输入信息包括:

- 着火时间和单位面积热释放速率;
- 由火焰水平蔓延标准试验得到的火焰蔓延参数。

6.3.2.4.3 输出信息包括:

- 火焰蔓延的时间函数;

- 火焰蔓延的热释放速率；
- 火焰蔓延的尺寸(火焰高度)。

### 6.3.2.5 阴燃

6.3.2.5.1 纤维类材料阴燃的特征是比相同燃料的有焰燃烧产生更多的烟,且由于燃烧不充分导致燃料质量损失速率低,总的燃烧产物生成率也相对较低。随着火灾的发展,阴燃有可能转变为有焰燃烧。阴燃也可用热释放速率或者质量损失速率的时间函数进行描述。从阴燃转变到有焰燃烧是火灾发展的一个过程。从阴燃转变到有焰燃烧的时间很难预测,在建筑消防设计中很少考虑。在对起火房间进行生命安全评估时,一般都是假定阴燃时间足够长。

#### 6.3.2.5.2 输入信息包括:

- 阴燃前端面的传播速率；
- 燃料密度和化学成分；
- 燃料燃烧效率和燃烧热。

#### 6.3.2.5.3 输出信息包括:

- 质量损失速率；
- 热释放速率。

### 6.3.3 房间对火灾增长的影响

房间对火灾增长的影响表现在以下三个方面:

- 火源与墙体的位置；
- 轰燃；
- 壁面火。

### 6.3.4 通风控制型火灾

6.3.4.1 对于通风控制型火灾,在封闭环境中的燃烧速率取决于通风因素,见式(5):

$$F_v = A_v (h_v)^{1/2} \dots\dots\dots (5)$$

气体在封闭环境中的温度取决于边界的热物性和开口因子,见式(6):

$$F_0 = A_v (h_v)^{1/2} / A_T \dots\dots\dots (6)$$

式中:

$A_T$ ——封闭房间表面的总面积。

温度-时间参数曲线表征了火灾发展导致的温度变化是时间、房间边界的热物性和开口因子的函数。

在狭小封闭环境中,如果木垛火燃烧满足  $A_v (h_v)^{1/2} / A_T = 0.08 \text{ m}^{1/2}$  条件时,则可达最高温度。如果比值较小,则表示燃料过多,如果比值较大,则表示空气过多。当比值超过  $0.11 \text{ m}^{1/2}$  时,火灾发展由燃料控制。当木垛火燃烧满足  $A_v (h_v)^{1/2} / A_{\text{fuel}} > 0.08 \text{ m}^{1/2}$  条件时,属燃料控制火。在一个房间内,如果燃烧速率超过了引起轰燃的极限值,则轰燃可能在火灾进入充分发展阶段前发生。

#### 6.3.4.2 输入信息包括:

- 房间中的火灾荷载密度；
- 房间尺寸和开口位置；
- 墙面、地面和天花板的热特性。

#### 6.3.4.3 输出信息包括:

- 最大燃烧速率；
- 房间内的最大热释放速率；

——房间内温度-时间函数。

### 6.3.5 火灾衰退

火灾衰退期一般从室内平均温度降到其峰值的80%左右开始。此时室内可燃物大量燃烧消耗导致燃烧速率减小,使燃烧无法持续,火焰熄灭。火灾荷载分布比较分散时,火灾衰退期到来的较晚,时间也更短。火灾衰退期一般被看做是一个全面发展的通风控制型火灾的继续,计算方法因此也与6.3.4的规定一致。

## 6.4 烟气生成

### 6.4.1 烟气生成评估

6.4.1.1 烟气是燃烧或热解过程中生成的悬浮固体或者液体颗粒。烟气生成率受建筑材料、装饰材料、家具等因素影响,随材料、暴露情况、燃烧条件以及时间发生变化。烟气的危害主要有毒害性和减光性。附录C中介绍了烟气的几种测量单位。

#### 6.4.1.2 输入信息包括:

- 建筑参数(如室内装修材料及其热化学性能、热源位置);
- 火灾荷载(建筑材料及其热化学性质、热源位置);
- 火灾场景(火源的特征、数量和位置);
- 环境参数(环境温度、湿度)。

6.4.1.3 输出信息包括火灾规模、产烟速率和烟气扩散范围。

### 6.4.2 影响烟气产生的因素

#### 6.4.2.1 燃烧物的化学性质

燃烧物的化学性质对烟气产生有决定性影响。有机材料在特定条件下燃烧时则可能会产生大量的烟。含氧的有机物燃烧时产生的烟气比碳氢化合物燃烧时产生的烟气少。

#### 6.4.2.2 环境

烟气的产生也受环境影响,如热辐射通量、含氧量、空气流通状况、可燃物几何尺寸及其含水率等,上述因素甚至在火灾的不同发展阶段也不尽相同。

#### 6.4.2.3 燃烧状态

烟气是不完全燃烧的产物。有焰燃烧生成的烟比阴燃少。

#### 6.4.2.4 阻燃剂

对同种材料或制品采取不同的阻燃处理方式会造成产烟性能的明显差别。阻燃材料的产烟量可能会比同类的未经阻燃处理的材料更高。

### 6.4.3 可用的烟气数据

不同材料的产烟量数据主要来自于小尺寸试验,在使用这些数据的时候,应明确这些产烟量数据仅代表材料在试验条件下的产烟水平。

大尺寸试验通常被看作是更加可靠的方式,用来判断小尺寸试验数据的可靠性。

### 6.4.4 烟气生成的预测

大尺寸火灾测试方法可对建筑物火灾的烟气生成进行预测。

在不能提供大尺寸测试数据的情况下,可通过建立小尺寸测试和大尺寸烟气生成的关联模型来预测烟气生成量。也可用光密度来表征产烟量。

## 6.5 生成物种类

### 6.5.1 生成物种类评估

6.5.1.1 有毒物质的生成取决于可燃物及火灾环境。可燃物燃烧后被氧化成乙醛、有机酸、一氧化碳、二氧化碳等,其中一氧化碳与二氧化碳的比值应作为火灾生成物的特征参数。热解过程中,氰化氢的产生与材料本身有关,只有含氮的物质才会产生氰化氢。含卤素(氟、氯、溴)聚合物则在火灾中生成卤化氢(氟化氢、氯化氢、溴化氢)。

#### 6.5.1.2 输入信息包括:

- 建筑参数(室内装修材料及其热化学性能、热源位置);
- 火灾荷载(建筑材料及其热化学性质、热源位置);
- 火灾场景(火源的特性、数量和位置);
- 环境参数(温度、湿度)。

6.5.1.3 输出信息包括生成物种类及生成速率。

### 6.5.2 一氧化碳

6.5.2.1 在有焰燃烧时,一氧化碳的产量主要取决于空气的供给。一氧化碳的产生与当量燃空比相关,当量燃空比的计算方法如式(7):

$$\phi = \frac{kg_{\text{fuel}}/kg_{\text{air}}}{(kg_{\text{fuel}}/kg_{\text{air}})_{\text{stoich}}} \quad \dots\dots\dots (7)$$

其中,下标 stoich 表示燃料和空气的比例处于当量燃空比(即燃料完全燃烧,氧气无剩余)。因此,当  $\phi=1$  时,燃料完全燃烧且氧气没有剩余;当  $\phi<1$  时,燃烧时空气通风良好;当  $\phi>1$  时,燃料过剩或者通风不足,一氧化碳的生成量较大。

研究表明在通风良好时( $\phi\ll 1$ ),一氧化碳生成很少,在  $\phi<0.5$  时,一氧化碳的生成量可忽略;在  $\phi$  到达 0.5 之后,一氧化碳生成量随着  $\phi$  的增长急剧增长;在  $\phi>1.0$  时,一氧化碳生成量会到达 0.1~0.2。

6.5.2.2 一氧化碳质量生成速率  $m_{\text{CO}}$  可通过式(8)计算:

$$m_{\text{CO}} = f_{\text{CO}} m_{\text{fuel}} \quad \dots\dots\dots (8)$$

式中:

$f_{\text{CO}}$  ——一氧化碳生成因子,在轰燃条件下,通常设定为 0.2;

$m_{\text{fuel}}$  ——燃料质量损失速率,单位为千克每秒(kg/s)。

6.5.2.3 计算的输入信息包括  $f_{\text{CO}}$  和  $m_{\text{fuel}}$ ,输出信息包括一氧化碳质量生成速率  $m_{\text{CO}}$  或一氧化碳体积生成速率  $V_{\text{CO}}$ 。

### 6.5.3 二氧化碳

6.5.3.1 对于通风良好的火灾, $\phi\ll 1$  时,所有的含碳燃料都被氧化为二氧化碳。

6.5.3.2 估算燃料燃烧产生的二氧化碳,最简单的方法是计算二氧化碳生成因子的最大值,在二氧化碳生成率很高的情况下,其生成因子的最大值与燃料的化学成分有关。如果已知燃料的化学成分,最大生成因子  $f_{\text{CO}_2}(\text{max})$  可按式(9)计算:

$$f_{\text{CO}_2}(\text{max}) = \frac{44}{M_{\text{fuel}}} \quad \dots\dots\dots (9)$$

式中:

$M_{\text{fuel}}$  ——根据燃料的实验式(即  $\text{CH}_x\text{O}_y\text{N}_z$ )计算得出的相对分子质量。

一氧化碳、二氧化碳的质量生成速率可通过生成因子与燃料质量损失速率相乘进行计算。

6.5.3.3 输入信息包括：

- 燃料的实验式(如果不知道燃料的实验式就用碳氢化合物的通式来表征)；
- 质量损失速率  $m_{\text{fuel}}$ 。

6.5.3.4 输出信息包括二氧化碳的质量生成速率  $m_{\text{CO}_2}$  或二氧化碳的体积生成速率  $V_{\text{CO}_2}$ 。

6.5.4 氰化氢

6.5.4.1 火灾中也会产生氰化氢,其主要来源于含氮燃料的燃烧。

6.5.4.2 氰化氢生成因子的最大值(假定所有的氮元素都转化为氰化氢)可按式(10)计算：

$$f_{\text{HCN}}(\text{max}) = \frac{27}{M_{\text{fuel}}} \dots\dots\dots(10)$$

式中：

$M_{\text{fuel}}$ ——根据燃料的实验式(即  $C_{1/z}H_{x/z}O_{y/z}N$ )计算得出的相对分子质量。

6.5.4.3 输入信息包括：

- 燃料的实验式；
- 燃料的质量损失速率  $m_{\text{fuel}}$ 。

6.5.4.4 输出信息包括氰化氢最大的质量生成速率  $m_{\text{HCN}}$  或体积生成速率  $V_{\text{HCN}}$ 。

6.5.5 卤化氢

6.5.5.1 火灾中产生的卤化氢(氟化氢、氯化氢和溴化氢)主要来源于含卤燃料的燃烧。

6.5.5.2 卤化氢的最大生成因子可按式(11)计算：

$$f_{\text{HX}}(\text{max}) = \frac{M_{\text{halide}}}{M_{\text{fuel}}} \dots\dots\dots(11)$$

式中：

$M_{\text{halide}}$ ——卤化物的相对分子质量；

$M_{\text{fuel}}$ ——根据燃料的实验式(即  $C_{1/w}H_{x/w}O_{y/w}N_{z/w}X$ )计算得出的相对分子质量。

6.5.5.3 输入信息包括：

- 燃料的实验式；
- 燃料的质量损失速率  $m_{\text{fuel}}$ ；
- 涉及化学反应过程的信息。

6.5.5.4 输出信息包括：

- 氟化氢、氯化氢或溴化氢最大生成速率  $m_{\text{HX}}$  或体积生成速率  $V_{\text{HX}}$ ；
- 氟化氢、氯化氢或溴化氢最大累积率。

7 工程方法

7.1 概述

工程方法包括火灾模型和实体火灾试验。火灾模型分为确定性模型和不确定性模型,确定性模型包括场模型、区域模型和经验模型三大类。

7.2 经验模型

经验模型的研究对象包括燃烧、传热以及燃烧生成物的浓度变化和输运现象,包含了用于计算火焰高度、质量流量、温度和火羽流速度等火灾参数的经验公式,可用于验证使用大型仪器或计算机软件得出的评估结果是否准确。



根据燃料的种类和数量可计算火灾的发展过程和热释放量。热释放速率可通过小尺寸试验或大尺寸试验获得。

材料燃烧数据库中包含的试验数据,可供选择合适的热释放速率曲线,也可用于计算开口的质量流速、热烟气的浮力、生成物的浓度、火焰大小和温度。

对于在室内充分发展的火灾,可通过房间开口数据和边界条件获得温度-时间曲线。

### 7.3 区域模型

区域模型可用于模拟分析火灾的发展过程、生成物的浓度变化和输运现象,对火灾可能产生的后果进行预测和评估。在此类模型中,计算空间被分为数量有限的控制区域或者控制带,并且假定各个控制区域内的物理参数(如温度、压力、密度等)为均匀分布,在每个区域内通过求解质量、能量和动量守恒方程,描述火灾发展过程。最常用的一种区域模型被称为“双区域模型”,在此模型中,计算空间被划分为上部热烟气层和下部冷空气层,在每个设定时间步长内,划分的各区域内质量、能量和动量均保持守恒。

### 7.4 场模型

场模型也可用于模拟分析火灾的发展过程、生成物的浓度变化和输运现象。场模型利用数值计算方法将计算空间划分为数量众多而又相互关联的体积元,根据质量守恒定律(连续性方程)、动量守恒定律(内维尔-斯托克斯方程)、能量守恒定律(能量方程)以及化学反应定律,在体积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,获得对于热浮力、热辐射和气流扰动等参数在设定时间步长内变化情况的预测。

### 7.5 不确定性模型

该类模型不采用物理和化学原理分析火灾,而是将一场火灾描述为一系列不连续的阶段,根据经验数据和火灾统计数据预测火灾从一个阶段转变到另一个阶段的概率,以此来反映火灾的性质。

### 7.6 试验

#### 7.6.1 一般规定

实体火灾试验在消防安全工程设计中的重要作用是为计算模型提供输入参数,以提高计算结果的可靠性,还可为制定消防性能化设计方案提供参考和依据。

基于不同火灾试验目的,有以下几种试验方法:

- a) 测量不同建筑材料、构件的对火反应;
- b) 模拟火灾场景;
- c) 研究消防系统各组成部分的相互影响;
- d) 验证小尺寸试验获得的材料燃烧性能。

#### 7.6.2 试验设计

当设计具体试验时,宜先采用可靠性高的计算模型来预测试验结果。通过研究不同参数对结果产生的影响来获得敏感性定量信息,进而分析结果可能存在的不确定性。

样品和引火源的设置是火灾试验的设计重点,房间的几何尺寸和形状以及通风条件对试验结果也有重要影响,通常试验空间的尺寸应尽可能大,开敞空间的试验应尽量保证在无风的环境条件下进行。

#### 7.6.3 引火源

引火源可采用燃料数量、燃料类型、燃料质量损失速率、热释放速率、设定的火焰高度、对流和辐射热以及燃烧时间等参数来描述。

附 录 A  
(资料性附录)

本部分与 ISO/TR 13387-4:1999 的章条编号对照情况

表 A.1 给出了本部分与 ISO/TR 13387-4:1999 的章条编号对照情况。

表 A.1 本部分与 ISO/TR 13387-4:1999 的章条编号对照情况一览表

本部分章条编号	对应的 ISO/TR 13387-4:1999 的章条编号
—	3.1~3.6
3.1	—
3.2	—
3.3	3.7
—	3.8~3.13
3.4	3.14
3.5	3.15
3.6	—
—	3.16
6.2.1.1	6.2.1 悬置段
6.2.1.2~6.2.1.3	6.2.1.1~6.2.1.2
6.2.2.1	6.2.2 悬置段
6.2.2.2~6.2.2.3	6.2.2.1~6.2.2.2
6.2.3.1~6.2.3.2	6.2.3 悬置段
6.2.3.3	6.2.3.1
6.2.3.4	6.2.3.2
6.3.1.1	6.3.1 悬置段
6.3.1.2~6.3.1.3	6.3.1.1~6.3.1.2
—	6.3.2 悬置段
6.3.2.1.1	6.3.2.1 悬置段
6.3.2.1.2~6.3.2.1.3	6.3.2.1.1~6.3.2.1.2
—	6.3.2.2,6.3.2.2 悬置段,6.3.2.2.1,6.3.2.2.2
6.3.2.2	6.3.2.3
6.3.2.2.1	6.3.2.3 悬置段
6.3.2.2.2~6.3.2.2.3	6.3.2.3.1~6.3.2.3.2
6.3.2.3	6.3.2.4
6.3.2.3.1	6.3.2.4 悬置段
6.3.2.3.2~6.3.2.3.3	6.3.2.4.1~6.3.2.4.2
6.3.2.4	6.3.2.5

表 A.1 (续)

本部分章条编号	对应的 ISO/TR 13387-4:1999 的章条编号
6.3.2.4.1	6.3.2.5 悬置段
6.3.2.4.2~6.3.2.4.3	6.3.2.5.1~6.3.2.5.2
6.3.2.5	6.3.2.2
6.3.2.5.1	6.3.2.2 悬置段
6.3.2.5.2~6.3.2.5.3	6.3.2.2.1~6.3.2.2.2
6.3.4.1	6.3.4 悬置段
6.3.4.2~6.3.4.3	6.3.4.1~6.3.4.2
6.4.1.1	6.4.1 悬置段
6.4.1.2~6.4.1.3	6.4.1.1~6.4.1.2
6.5.1.1	6.5.1 悬置段
6.5.1.2~6.5.1.3	6.5.1.1~6.5.1.2
6.5.2.1	6.5.2 悬置段
6.5.2.2	6.5.2.1
6.5.2.2.1~6.5.2.2.2	6.5.2.1.1~6.5.2.1.2
6.5.3.1	6.5.3 悬置段
6.5.3.2	6.5.3.1
6.5.3.3~6.5.3.4	6.5.3.1.1~6.5.3.1.2
6.5.4.1	6.5.4 悬置段
6.5.4.2	6.5.4.1
6.5.4.3~6.5.4.4	6.5.4.1.1~6.5.4.1.2
6.5.5.1	6.5.5 悬置段
6.5.5.2	6.5.5.1
6.5.5.3~6.5.5.4	6.5.5.1.1~6.5.5.1.2
7.3~7.4	7.2.1~7.2.2
7.5	7.3
7.6	7.4
7.6.1	7.4.1
7.6.2	7.4.2
7.6.3	7.4.3
附录 A	—
附录 B	—
附录 C	附录 A
—	参考文献

**附 录 B**  
(资料性附录)

**本部分与 ISO/TR 13387-4:1999 的技术性差异及其原因**

表 B.1 给出了本部分与 ISO/TR 13387-4:1999 的技术性差异及其原因。

**表 B.1 本部分与 ISO/TR 13387-4:1999 的技术性差异及其原因一览表**

本部分的章条编号	技术性差异	原 因
2	<p>关于规范性引用文件,本标准做了具有技术性差异的调整,调整情况集中反映在第 2 章“规范性引用文件”中,具体调整如下:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>——删除引用 ISO 31-0:1992、ISO 1000:1992、ISO 7345:1987、ISO/TR 11696-1、ISO/TR 13387 的第 3 部分和第 5~8 部分、ISO 13571;</li> <li>——用 GB/T 5907 的所有部分代替 ISO 13943 (见第 3 章);</li> <li>——用 GB/T 31540.1 代替 ISO/TR 13387-1;</li> <li>——用 GB/T 31593.4 代替 ISO/TR 13387-2;</li> <li>——增加引用 ISO 5658(所有部分):2006</li> </ul>	<p>本部分经修改采用 ISO/TR 13387-4:1999,未引用这些标准;引用 GB/T 5907,便于标准使用者使用中文术语;ISO/TR 13387-1 和 ISO/TR 13387-2 已有对应的国家标准,故在本部分当中被代替;增加引用 ISO 5658,以满足 6.3.2.4 的应用要求</p>

**附 录 C**  
(规范性附录)  
烟气测量单位

光学烟密度可采取不同的测量单位表述。附录 C 介绍了多种测量单位及相互之间的换算方法。

首先,利用光学烟密度计测试烟密度的情况:初始光强度为  $I_0$  的一束光线穿过烟气粒子,烟粒子可有效吸收热量的横截面面积用  $\sigma$  表示,单位为平方米( $\text{m}^2$ ),该烟气粒子是随机分布的,其烟粒子密度是用  $n = dN/dV$  来表示的,单位为负三次方米( $\text{m}^{-3}$ )。其中  $N$  表示总体积  $V$  里的烟粒子总数。如果烟气厚度为  $L$ ,可由郎伯比尔定理推导出光线衰减的程度为式(C.1):

$$IL = I_0 \exp^{-\sigma n L} = I_0 \exp^{-KL} \quad \text{.....( C.1 )}$$

其中,消光系数  $K$  是单位体积的烟粒子总截面积,单位为  $\text{m}^{-1}$ ,根据式(C.2)计算:

$$K = (1/L) \ln(I_0/I) \quad \text{.....( C.2 )}$$

烟粒子总体数量或者总的烟气产量 TSP,定义为在给定时间范围内产生的烟粒子总截面积,单位为平方米( $\text{m}^2$ ),根据式(C.3)计算:

$$\text{TSP} = \sigma N \quad \text{.....( C.3 )}$$

烟气产生率 RSP,单位为平方米每秒( $\text{m}^2/\text{s}$ ),定义为在单位时间内烟粒子总截面积的增加量,是 TSP 的时间导数,根据式(C.4)计算:

$$\text{RSP} = d(\sigma N)/d\tau = \sigma dN/d\tau \quad \text{.....( C.4 )}$$

假设所有的烟粒子以体积流速  $V_r = dV/d\tau$  从一个管道流过,通过式(C.5)或式(C.6)可计算出烟气生成率:

$$\text{RSP} = \sigma (dN/dV) (dV/d\tau) = \sigma n V_r \quad \text{.....( C.5 )}$$

或

$$\text{RSP} = K \dot{V}_r \quad \text{.....( C.6 )}$$

如所有烟气流入体积为  $V$  的房间,则烟粒子总截面积的增长率与 RSP 相等。如烟气被完全混合,其平均烟气密度由式(C.7)得出:

$$K_{\text{room}} = \int_0^t (K_{f,\text{source}} V_{f,\text{source}} / V_{\text{encl}}) dt \quad \text{.....( C.7 )}$$

在有些文献中,光线的衰减通常采用底数为 10 的常用对数来表示。光衰减由式(C.8)给出:

$$I/I_0 = 10^{-DL} \quad \text{.....( C.8 )}$$

其中  $D$  表示烟气的光密度,则可得出式(C.9)~式(C.11):

$$D = (1/L) \lg(I_0/I) \quad \text{.....( C.9 )}$$

$$D = K \lg e = 0.434K \quad \text{.....( C.10 )}$$

或

$$K = D \ln 10 = 2.30D \quad \text{.....( C.11 )}$$

在感烟探测技术中,单位分贝每米( $\text{dB}/\text{m}$ )可用来定义烟气密度,如式(C.12)~式(C.14)所示:

$$m = (10/L) \lg(I_0/I) \quad \text{.....( C.12 )}$$

$$m = K 10 \lg e = 4.34K \quad \text{.....( C.13 )}$$

或

$$K = m \ln 10 / 10 = 0.23m \quad \text{.....( C.14 )}$$

中 华 人 民 共 和 国  
国 家 标 准  
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 31540.2—2015

\*

中 国 标 准 出 版 社 出 版 发 行  
北 京 市 朝 阳 区 和 平 里 西 街 甲 2 号 (100029)  
北 京 市 西 城 区 三 里 河 北 街 16 号 (100045)  
网 址 [www.spc.net.cn](http://www.spc.net.cn)  
总 编 室：(010)68533533 发 行 中 心：(010)51780238  
读 者 服 务 部：(010)68523946  
中 国 标 准 出 版 社 秦 皇 岛 印 刷 厂 印 刷  
各 地 新 华 书 店 经 销

\*

开 本 880×1230 1/16 印 张 1.5 字 数 34 千 字  
2015 年 7 月 第 一 版 2015 年 7 月 第 一 次 印 刷

\*

书 号：155066·1-51949 定 价 24.00 元

如 有 印 装 差 错 由 本 社 发 行 中 心 调 换  
版 权 专 有 侵 权 必 究  
举 报 电 话：(010)68510107



GB/T 31540.2-2015