



中华人民共和国国家标准

GB/T 31540.3—2015

消防安全工程指南 第3部分：结构响应和室内 火灾的对外蔓延

Fire safety engineering guide—
Part 3: Structural response and fire spread beyond the enclosure of origin

(ISO/TR 13387-6:1999, Fire safety engineering guide—
Part 6: Structural response and fire spread beyond
the enclosure of origin, 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

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3部分。

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本部分使用重新起草法修改采用 ISO/TR 13387-6:1999《消防安全工程 结构响应和封闭间火灾的对外蔓延》。

本部分与 ISO/TR 13387-6:1999 相比在结构上有较多调整，附录 A 中列出了本部分与 ISO/TR 13387-6:1999 的章条编号对照一览表。

本部分与 ISO/TR 13387-6:1999 相比存在技术性差异，这些差异涉及的条款已通过在其外侧页边空白位置的垂直单线(|)进行了标示，附录 B 中给出了相应技术性差异及其原因的一览表。

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“本部分”；
- 将国际标准中某些标点符号修改为符合汉语习惯的标点符号。

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：四川法斯特消防安全性能评估有限公司。

本部分主要起草人：张晓明、卢国建、谢元一、王莉萍、刘军军、伍萍、王炯、刘志坚。

引 言

无论是采用“处方式”条款还是性能化方法进行消防安全设计,都应确保建筑构件能够防止或延缓火灾的蔓延和结构失效;确保火灾蔓延和结构失效不会威胁建筑物内人员和消防救援人员的生命安全,不会对其他消防安全目标的实现造成影响。

“处方式”消防安全设计一般采用 GB/T 9978.1 规定的建筑构件耐火试验方法来判定建筑构件的耐火性能,标准判据主要有耐火稳定性、耐火完整性和耐火隔热性。在我国的消防规范中,一般根据建筑物的用途、防火分区的大小和建筑物的高度,对建筑构件的耐火性能提出要求。

本部分是消防安全总体评估体系的组成部分。采用本部分给出的工程计算方法,可在具有代表性的设定火灾场景条件下,计算建筑构件对于火灾的热响应和力学响应。在此基础上,采用适当的判据评估火灾蔓延趋势和结构失效的可能性。

本部分适合从事消防安全工程的专业人员使用,包括消防设计人员、消防救援人员、规范标准制定者、保险商、消防安全管理人員和风险管理人員,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3部分：结构响应和室内火灾的对外蔓延

1 范围

GB/T 31540 的本部分为评估火灾对建筑结构的危害程度和火灾蔓延方向,以及相应消防安全措施的有效性规定了框架性工程计算方法。

本部分适用于预测建筑构件在火灾导致的受火条件下的结构响应,以及火灾在建筑物内部和建筑物之间的蔓延趋势。

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 9978.1 建筑构件耐火试验方法 第1部分:通用要求(GB/T 9978.1—2008,ISO 834-1:1999,MOD)

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 31540.2 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,ISO/TR 13387-4:1999,MOD)

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

建筑构件 **building element**

建筑结构的组成部分,包括地板、墙、梁、柱、门等,但不包含建筑的内储物。

3.2

封闭间 **enclosure**

由建筑构件围合而成的空间。

3.3

力学响应 **mechanical response**

建筑物构件在火灾中的偏移变化、刚度变化及稳定性的变化,或火灾中建筑材料的收缩(膨胀)、剥落、分层等原因而引起的建筑物构件开口(裂缝)的变化。

3.4

热响应 **thermal response**

火灾中建筑构件内温度的变化情况,以及建筑构件受火灾高温的影响而发生熔化开裂的过程。

GB/T 31540.3—2015

3.5

结构失效 structure failure

火灾中,在建筑构件上所施加的荷载超出其承载能力。

4 符号

下列符号适用于本文件。

c 材料的比热容,单位为焦耳每千克开尔文[J/(kg·K)];

k 导热系数,单位为瓦每米开尔文[W/(m·K)];

ρ 密度,单位为千克每立方米(kg/m³)。

5 子系统 3

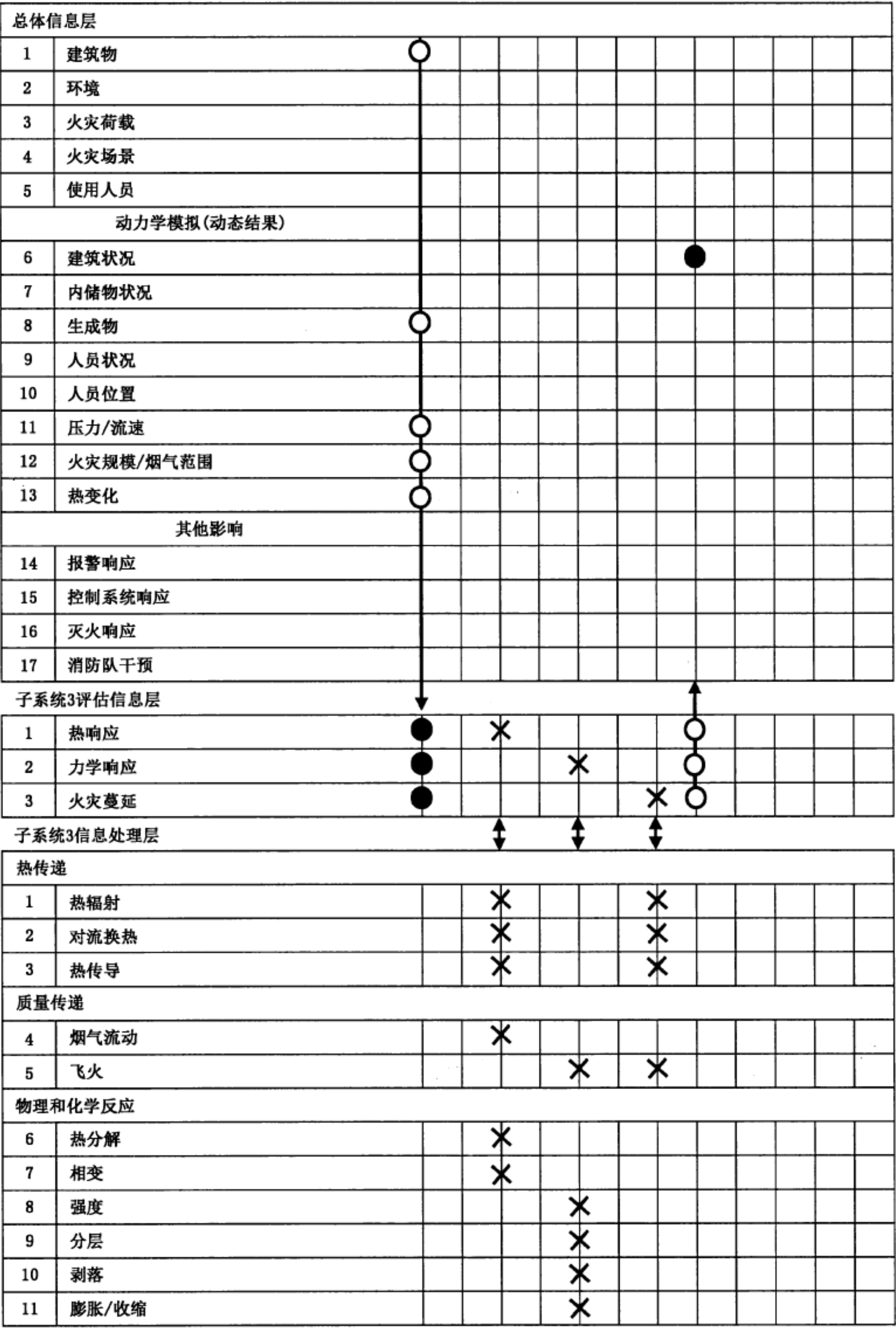
根据 GB/T 31540.1 的规定,消防安全设计评估内容由多个子系统组成,本部分为子系统 3。消防安全设计评估方法的关键点是确认子系统之间的关联性,并评估子系统之间的转换关系。

在 GB/T 31540.1 中,对消防安全设计评估方法的信息处理流程进行了分析说明。信息处理流程包含有总体信息层、评估信息层和信息处理层。

第一层为总体信息层,包括子系统之间传递的数据和用于进行工程判断的数据,子系统 3 与总体信息的关联情况见图 1。子系统 3 采用其他子系统的输入数据,同时输出其他子系统所需的数据。图 1 给出了数据在总体信息系统和子系统 3 评估的传递关系。

第二层为评估信息层,描述子系统 3 的评估对象。子系统 3 对建筑物系统的热响应和力学响应进行计算和评估,确定火灾是否会发生蔓延。详见本部分第 6 章。

第三层为信息处理层,描述子系统 3 的评估基本过程。图 1 给出了子系统 3 的评估流程,第 6 章对这些流程进行详细说明。



说明：
●——输入数据；
○——输出数据；
×——子系统数据交换。

图 1 子系统 3 的总体信息、评估和信息处理流程图

GB/T 31540.3—2015

6 子系统 3 的评估流程

6.1 一般规定

本章给出了火灾中建筑物结构构件的热响应、力学响应以及判断发生火灾蔓延的评估指南,提供了相关的输入数据和输出信息。

6.2 热响应

6.2.1 概述

计算火灾中建筑构件的热响应,同时结合热响应性能判据,可评估建筑结构失效的可能性和火灾蔓延方向。建筑构件的热响应性能判据见第 8 章。

6.2.2 输入和输出

6.2.2.1 输入信息包括:

- 建筑物的参数(建筑构件尺寸、火源位置、热物理和热化学性能);
- 火灾规模/烟气范围(火灾的规模大小、火源与主要建筑构件的相对位置);
- 热变化(动态温度分布、流入建筑构件的热通量);
- 压力/流速(火灾烟气的速度,用于评估从火灾传递到建筑构件上的对流热通量);
- 生成物种类(生成物的烟气浓度影响烟气发射率,用于计算传递到建筑构件的热辐射量)。

6.2.2.2 输出信息为建筑物的状况(建筑构件表面的温升曲线)。

注:该输出结果亦可用作输入数据,评估建筑构件的力学响应和火灾蔓延。

6.2.3 建筑构件热响应的模拟

建筑构件热响应评估流程见图 1。子系统 3 的分析重点在于计算传递到建筑构件表面和内部的热量,建筑构件所处的火灾环境由子系统 1(见 GB/T 31540.2)进行计算分析。

材料内部热传递的热传导方程需要采用数值方法求解。对于热导率很大或极薄的材料,可假设构件内部温度场均匀一致,建立集总热容模型。

用于模拟火灾中建筑构件热响应的工程方法见第 7 章。

6.3 力学响应

6.3.1 概述

构件内部的温升曲线作为输入数据可用于评估建筑结构和构件的力学响应。

力学响应可以衡量火灾中建筑构件挠度、刚度和稳定性的变化情况,也可以衡量因材料收缩或膨胀、散裂、分层等造成构件出现开口裂缝的变化情况。

评估结构失效和火灾蔓延,需要预测火灾中建筑构件的力学响应,评估火灾中建筑物所能承受的应力损坏程度。

结合力学响应性能判据,可对建筑构件的力学响应进行评估。力学响应性能判据见第 8 章。

6.3.2 输入和输出

6.3.2.1 输入信息包括:

- 建筑物的参数(建筑构件的力学性能、建筑构件所承受的结构荷载);
- 建筑物的状况(建筑构件内部和表面的动态温度分布);
- 压力/流速(压力分布对结构性能的影响)。

6.3.2.2 输出信息为建筑物的状况(建筑构件的完整性和稳定性)。

注:该输出结果亦可用作输入数据,评估结构失效和火灾蔓延。

6.3.3 建筑构件力学响应的模拟

在消防安全工程方法中,模拟单个构件或结构整体在受火条件下的力学响应需要了解构件内部的温度分布,对此可按照 6.2 规定的步骤计算得出;对于接受 GB/T 9978.1 标准温升曲线测试的构件,也可直接由标准温升曲线计算得出构件内部的温度分布。

将温度升高时材料的力学性能(如弹性模量、屈服强度)和传统的结构分析结合起来,可对建筑构件的结构响应进行评估,尤其是对构件的热膨胀、变形或承载能力进行评估。

在消防安全工程计算中,一般根据建筑构件在标准耐火试验中的性能表现判断其在受火条件下的完整性。

6.3.4 连续性和约束的影响

构件受火时的力学响应受到来自周围结构构件的连续性和约束的影响。

结构的连续性使应力在火灾条件下得到重新分配,单个构件的抗火性能得到提高,有利于保持结构稳定性。约束通常会减小位移量,但被完全约束的受热构件因热膨胀受限而产生巨大的内部应力,可造成结构失效。

约束对火灾中柱的性能产生两方面的影响。首先,受限的自由热膨胀会使柱的内部产生压应力,抵消温度上升引起的柱的强度和刚度下降。其次,当柱的承载能力受到应变能力的限制时,受约束柱的失效方式可从突然间的弯曲垮塌转换为一种渐进式的形变。

由于构件外表的热膨胀会受到来自温度较低的中心部位的限制,受火构件在整个厚度方向上的热梯度会产生内应力,应力的大小取决于受热材料的热物性。对于混凝土构件,局部的表面应力过大会导致构件表面出现爆裂脱落。

6.3.5 结构失效

在判定是否会发生结构失效前,应按 6.3.3 的规定,对建筑物的结构和构件在受火条件下的力学响应进行评估。结合建筑构件的力学响应和性能判据可判断是否会发生结构失效。结构失效性能判据的建立见第 8 章。

6.4 火灾蔓延

6.4.1 一般设计原则

6.4.1.1 消防安全设计的一个重要特征就是确保火灾蔓延不会威胁建筑内人员和消防员的生命安全,也不会破坏其他消防安全目标的实现。消防规范一般依靠防火分隔阻挡或延缓建筑内部的火灾蔓延,也就是使用具有规定耐火极限的建筑构件将建筑内部空间分割成多个封闭间,从而将火灾限制在封闭间内,防止其蔓延进入人员的疏散通道和其他空间。

6.4.1.2 火灾即可通过火灾发生前就存在的开口部蔓延,也可因防火分隔的隔热性、完整性或稳定性失效而在建筑物内蔓延。沿外墙传播的火焰可使火灾从一个楼层蔓延到其他楼层,火灾也可通过辐射热、

GB/T 31540.3—2015

火焰直接冲击和(或)飞火等方式在建筑物之间蔓延。

6.4.1.3 输入信息为建筑物的状况(建筑构件内部和表面上的温升曲线、建筑构件的完整性和稳定性)。

6.4.1.4 输出信息为火灾规模/烟气范围(火灾蔓延的范围)。

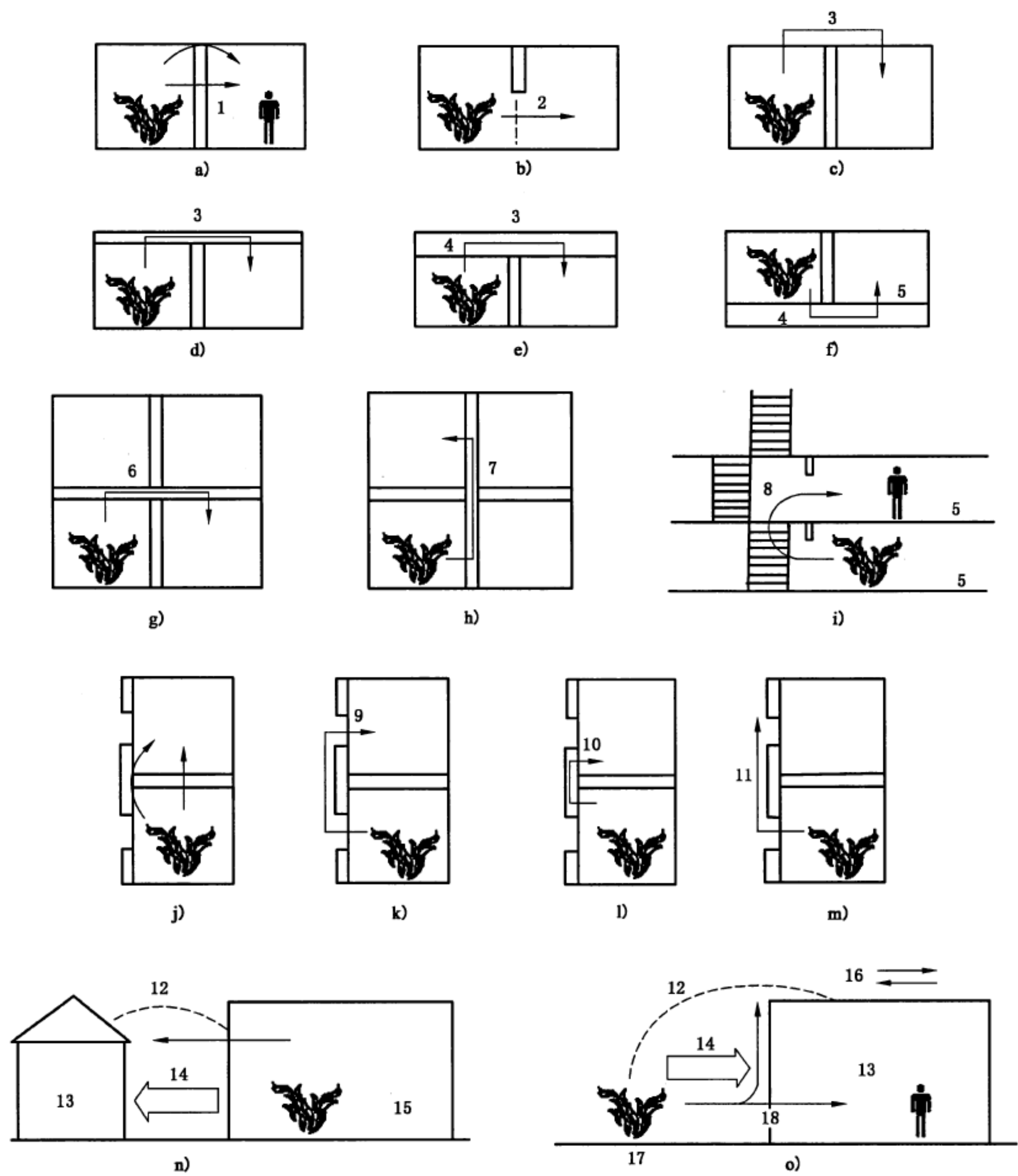
6.4.2 火灾蔓延途径

6.4.2.1 常见的火灾蔓延途径

图2描述了常见的火灾蔓延途径。图2中的分隔件代表有管线穿越的实际组件。以下对图中每个途径及其形成原因进行说明:

- 图2a):因完整性或隔热性失效,火焰直接穿过墙体,或通过裂缝在墙和邻近构件(如天花板)之间传播;
- 图2b):火焰穿过耐火极限较低的构件,从一个封闭间传播到另外一个封闭间;
- 图2c):因屋顶结构垮塌或完整性受到大面积破坏,火焰从封闭间冲出屋顶,并通过火焰辐射、燃烧滴落物等方式再次向下穿透屋顶进入相邻的封闭间。该途径也包括通过天窗的火灾蔓延;
- 图2d):因屋顶材料燃烧或熔化等原因,火焰或热烟气在屋顶结构内传播至相邻的封闭间;
- 图2e):墙体没有分隔到顶,火焰或热烟气穿透天花板通过夹层空间进入相邻的封闭间;
- 图2f):火焰通过地板进入相邻的封闭间;
- 图2g):火焰通过管道,水平蔓延到邻近的封闭间;
- 图2h):火焰在垂直管道内部向上蔓延,同时受到浮升和烟囱效应的影响;
- 图2i):火焰进入电梯井或者楼梯间蔓延到上面的楼层;
- 图2j):因楼板的完整性或隔热性失效,火灾通过楼板或楼板缝隙向上蔓延;
- 图2k):火焰通过窗户或外墙上的开口蔓延到上一层楼;
- 图2l):火焰通过外墙的内表面空隙传播到上一层楼;
- 图2m):从窗户或外墙的开口窜出的火焰或热烟气引燃外墙表面上的可燃材料,沿建筑物垂直向上蔓延;
- 图2n):火灾以热辐射、直接火焰冲击和飞火等方式在建筑物间传播蔓延;
- 图2o):建筑物外的火焰以热辐射、直接火焰冲击和飞火等方式传播到建筑物内。

图2c)~图2j)、图2l)和图2m)所示的途径对建筑物产生的影响需要通过试验获取数据,而图2a)、图2b)和图2o)所示途径则可通过计算获取数据。不同火灾蔓延途径出现的概率可根据实际的火灾统计数据进行评估。



说明：

- | | | |
|--------------|---------------------|-------------|
| 1 ——墙； | 7 ——垂直管道； | 13——火灾邻近建筑； |
| 2 ——墙开口部； | 8 ——垂直竖井(电梯井,楼梯间等)； | 14——辐射； |
| 3 ——楼层顶板； | 9 ——窗户； | 15——起火建筑； |
| 4 ——天花板夹层空间； | 10——外墙； | 16——风； |
| 5 ——地板； | 11——外墙表面； | 17——外部火源； |
| 6 ——水平管道； | 12——飞火； | 18——火焰传播。 |

图 2 常见的火灾蔓延途径

6.4.2.2 火灾在封闭间之间的蔓延

火灾在封闭间之间的蔓延可通过火灾发生前就存在的开口部实现,也可由两相邻封闭间的建筑分

隔构件失效引起。

6.4.2.3 火灾通过室外途径的蔓延

图 2k)和图 2m)描述了火灾沿建筑物外侧在楼层间的蔓延途径。窗户喷射出的火焰受浮升和卷吸作用的影响,贴附于窗户上方的外墙。

火焰喷射的水平和垂直距离取决于封闭间内的燃烧速率以及窗户的尺寸。

通过计算喷射火焰传递到外墙的辐射和对流热通量,并结合外墙的材料特性,可判定喷射火焰是否会引燃相邻楼层的可燃物,导致火灾垂直蔓延到相邻楼层。

当外墙为不燃材料时,通过计算喷射火焰传递到相邻楼层窗户的辐射和对流热通量,可判定火灾是否会蔓延到相邻楼层。

室外钢柱部分也会因受火焰直接冲击或热辐射而升温。可采用与外墙受热分析类似的方法进行性能化分析。

6.4.2.4 火灾在建筑物之间的蔓延

图 2n)给出了建筑物之间火灾的蔓延途径。火灾穿透建筑物的外墙,产生的飞火和热辐射引燃邻近建筑物。通过确定飞火、热辐射强度、邻近建筑物的外形和表面材料的点燃性能,可模拟火灾在建筑物之间的蔓延。

飞火的大小取决于起火建筑物内火灾的规模。由飞火引起的火灾蔓延,可根据以下几条进行评估:

- 飞火的大小;
- 飞火的轨迹;
- 局部的冷却情况。

7 工程方法

7.1 一般规定

本章给出了实用化的工程方法,预测建筑物构件在受火条件下的热响应和力学响应,并在此基础上预测其结构响应,评估火灾在建筑物内部和建筑物之间蔓延。

工程方法的类型分为:经验公式、计算机模拟和实验方法。

对选用的数学物理模型,包括经验公式和计算机模型,应进行确认和验证,并评估模型的局限性。

7.2 经验公式

预测封闭间之间火灾蔓延的评估公式通常基于 GB/T 9978.1,因此仅适用于与标准温升火类似的工况。

喷射出窗户的火焰可由经验公式进行计算。通过计算喷射火焰辐射到相邻楼层窗户上的热量,可判定火灾是否会蔓延到相邻楼层。

辐射传热引起的火灾蔓延也可采用经验公式进行计算评估。通过确定热辐射强度、形状系数以及相邻建筑物表面材料的点燃性能,可对此类火灾蔓延进行计算。

7.3 计算机模拟

用于预测构件热响应和力学响应的计算机模型是根据质量、动量、能量和组分守恒等基本定律,将火灾的物理和化学过程,结合温度、烟气的浓度等参数表达成微分方程组,应用数值方法求解。影响计算机模型预测能力的因素包括模型的物理和化学过程的假设和简化程度,以及计算初始输入数据。

计算机模拟的基础是传热和固体力学控制方程,这些控制方程通常要求采用有限元或有限差分法

进行数值求解。有限差分法可解决简单几何和匀质材料的问题,有限元方法解决复杂几何和非匀质材料的问题。

7.4 试验方法

将试验样品按 GB/T 9978.1 的要求进行标准耐火试验,通过此试验方法来确定建筑构件的耐火极限,结果可用于消防安全工程计算。对于实际火灾,将轰燃后的火灾转化为“等效”持续时间的标准火灾,可确定建筑构件在实际火灾中的耐火性能。

将耐火试验结果应用于尺寸大于试验样品的建筑构件时应考虑尺寸效应。

在某些工程应用当中,需要设计专门的试验,用以评估分隔构件或承重构件的热响应和力学响应。此时应确保试验条件与真实的火灾环境一致。对于轰燃火,试验的火灾荷载、物理尺寸、饰面材料的热物性及通风状况应与实际情况一致。

8 判据

建筑构件的耐火极限与构件的耐热性、完整性和承载能力有关。在性能化设计当中,对这些判据需要重新考量。例如,当建筑物外墙内侧受火且需要考虑的传热方式主要为辐射时,对外墙的隔热性和完整性判据可做适当放宽,并可根据临界辐射强度水平、形状系数以及释放热辐射的强度来计算允许的开口部大小或背火面温度。

分隔类构件背火面的温升通常被用作构件的耐热性判据。在性能化设计当中,可以选择紧贴或与构件背火面有一定距离的可燃物的点燃温度作为性能判据。但在某些特殊条件下,例如当分隔墙用于保护磁带这类可燃物时,分隔墙背火面的温升判据则应低于 GB/T 9978.1 的规定。

在性能化设计当中,如果具备非常充分的灭火措施,或者建筑立面的防点燃性能好于木材,对热辐射引起的建筑物之间的火灾蔓延判据可适当放宽,对受火建筑物立面所能承受的临界热通量可适当提高。

对于消防安全工程计算,温升临界值、承重能力、热膨胀或过度变形可作为失效判据,GB/T 9978.1 中结构的失效判据适用于特定的应用情况。对于大跨度的弯曲构件,应谨慎选择其变形失效判据。耐火试验中的结构失效或变形量在实际应用中会有明显不同,应重点分析大型梁的变形与分区隔墙稳定性和完整性的相互作用。

火灾在楼层间的蔓延判据如下:

- 通过起火层楼上窗户引燃室内可燃物的临界热通量;
- 起火层楼上窗户崩裂的临界温度;
- 火灾中楼上窗户的临界火焰高度;
- 火焰在幕墙上传播的临界热通量。

附 录 A
(资料性附录)

本部分与 ISO/TR 13387-6:1999 的章条编号对照情况

表 A.1 给出了本部分与 ISO/TR 13387-6:1999 的章条编号对照一览表。

表 A.1 本部分与 ISO/TR 13387-6:1999 的章条编号对照情况

本部分章条编号	对应的 ISO/TR 13387-6:1999 章条编号
—	3.3~3.4
3.3	3.5
—	3.6~3.8
3.4	3.9
3.5	—
6.2.2	—
6.2.2.1~6.2.2.2	6.2.1.1~6.2.1.2
6.2.3	6.2.2
6.3.2	—
6.3.2.1~6.3.2.2	6.3.1.1~6.3.1.2
6.3.3~6.3.5	6.3.2~6.3.4
6.4.1.1~6.4.1.2	6.4.1 与 6.4.1.1 之间的悬置段
6.4.1.3~6.4.1.4	6.4.1.1~6.4.1.2
6.4.2.1	6.4.2 与 6.4.2.1 之间的悬置段
6.4.2.2~6.4.2.4	6.4.2.1~6.4.2.3
注：表中的章条以外的本部分其他章条编号与 ISO/TR 13387-6:1999 其他章条编号均相同且内容一致。	

附 录 B
(资料性附录)

本部分与 ISO/TR 13387-6:1999 技术性差异及其原因

表 B.1 给出了本部分与 ISO/TR 13387-6:1999 技术性差异及其原因的一览表。

表 B.1 本部分与 ISO/TR 13387-6:1999 技术性差异及其原因

本部分的章条编号	技术差异	原 因
2	<p>关于规范性引用文件,本部分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">——删除规范性引用文件 ISO/TR 13387 第 2 部分、第 3 部分、第 5 部分和第 8 部分;——用 GB/T 5907 的所有部分代替 ISO 13943(见第 3 章);——用 GB/T 31540.1 代替 ISO/TR 13387-1(见第 5 章);——用 GB/T 9978.1 代替 ISO 834-1(见 6.3.3、7.2、7.4 和第 8 章)	<p>与本部分无紧密联系,在本部分无引用;引用了采用国际标准的国家标准和我国现行的术语标准,以适合我国国情并保持本标准各部分的协调统一,便于使用</p>
3	<p>删除了 ISO/TR 13387-6:1999 中的术语和定义 3.3、3.4、3.6~3.8,在本部分增加了术语和定义 3.5“结构失效”</p>	<p>术语和定义 3.3、3.4、3.6~3.8 已广为人知,或已在 GB/T 5907 当中给出,在本部分不再重复;“结构失效”的概念在本部分中多次用到,有必要给出定义</p>

中 华 人 民 共 和 国
国 家 标 准
消防安全工程指南
第 3 部分:结构响应和室内
火灾的对外蔓延
GB/T 31540.3—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

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 字数 26 千字
2015 年 6 月第一版 2015 年 6 月第一次印刷

*

书号: 155066·1-51256 定价 18.00 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 31540.3-2015