

GB 8624—2006 《建筑材料及制品燃烧性能分级》 实施指南

建筑材料 及制品 燃烧性能 分级评价

赵成刚 曾绪斌 邓小兵 金福锦 编著



 中国标准出版社

GB 8624—2006《建筑材料及制品燃烧性能分级》国家标准

建筑材料及制品 燃烧性能分级评价

赵成刚 曾绪斌 邓小兵 金福锦 编著



中国标准出版社

图书在版编目(CIP)数据

建筑材料及制品燃烧性能分级评价/赵成刚等编著.
北京:中国标准出版社,2007
ISBN 978-7-5066-4484-6

I. 建… II. 赵… III. 建筑材料-燃烧性能-分级-评价-中国 IV. TU502

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 065322 号

中国标准出版社出版发行

北京复兴门外三里河北街 16 号

邮政编码:100045

网址 www.bzcbs.com

电话:68523946 68517548

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 787×1092 1/16 印张 11.5 字数 284 千字

2007 年 5 月第一版 2007 年 5 月第一次印刷

*

定价 40.00 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)68533533

本书编写人员：

赵成刚 国家防火建筑材料质量监督检验中心

曾绪斌 国家防火建筑材料质量监督检验中心

邓小兵 国家防火建筑材料质量监督检验中心

金福锦 建筑材料工业技术监督研究中心

前 言

建筑防火的目的是为了降低火灾危险、减少火灾危害,保证建筑中居住者的生命和财产安全。建筑中所采用的建筑材料及室内装饰、装修材料的燃烧性能,对火灾的发生、发展和蔓延及火灾可能造成的人员伤害和财产损失,有着非常重要的影响。近年来,火灾日趋频繁,火灾造成损失日益严重,据统计资料显示,2006 年全国共发生火灾 22.3 万起,死亡 1 517 人,受伤 1 518 人,直接经济损失 7.8 亿元,而西方发达国家火灾损失最高可达国民经济总产值的 0.2%,绝大部分起火场所为建筑物。随着我国经济社会的快速发展,城镇建设成倍扩大,公众聚集场所大量增加,在较长一个时期内,我国仍将面临火灾持续增加,发生群死群伤火灾的压力和风险。

美国国家标准局(NBS)做了大量试验,比较了聚苯乙烯、聚苯醚、聚氨酯、泡沫塑料、聚乙烯材料等制作的电视机、电脑外壳、软椅、电缆绝缘层和橡胶护套等的燃烧性能。结果表明:1)发生火灾后,可供人口疏散和抢救财产的时间,阻燃试样是未阻燃试样的 15 倍;2)材料燃烧的质量损失,阻燃试样仅为未阻燃试样的 $1/2$;3)材料燃烧时的放热速度,阻燃试样仅为未阻燃试样的 $1/4$;4)材料燃烧时生成有毒气体量,阻燃试样仅为未阻燃试样的 $1/3$;5)阻燃试样生成的烟量与未阻燃相比有所减少。

因此,世界上许多国家都在建筑规范中对各类工程中采用的材料的性能做出了规定。为了保证这些规范的实施,世界各国又依据本土的国情和经济发展水平建立不同建材燃烧等级分级体系,这个体系应该包括对被测材料性能的界定、测试采用的方法、对测试结果的评价等内容。

一种产品可能有多种用途,因此产品在建筑中应用时就会有不同的燃烧性能等级要求。同时,产品用途不同,其对应的燃烧情况也不同,这就意味着产品需根据其最终使用环境来对燃烧性能进行评价。这里所谈到的燃烧性能指的是建筑材料及制品的对火反应能力,其能力的大小可由不同的燃烧特征表征,比如着火性、火焰传播、热释放、产烟性、烟气毒性等,这些不同的对火反应特征都有相应的标准试验方法

确定。

本书着重介绍了国内外常见的一些针对建筑材料燃烧性能评价的试验方法,以及我国建筑材料燃烧性能评价方法的发展情况,并对 GB 8624—2006 这个全新的燃烧性能评价体系标准进行了详细解释。作为国内最早接触和应用欧盟建筑材料燃烧性能新分级体系、GB 8624—2006 新分级体系和 SBI 试验方法及其标准的人员,笔者率先对一些防火阻燃建材和阻燃技术按新的方法进行了试验研究,并得到了一些数据,这些研究的内容和相关数据在本书中有相应的介绍,希望能对消防监督部门、建筑设计科研部门乃至防火阻燃建材生产企业更好的理解新分级体系起到积极作用。

在研究活动中,我们得到了欧文斯科宁(中国)投资有限公司、湖南科天新材料有限公司、江阴利泰装饰材料有限公司、杭州中创科技有限公司、滕州市华海新型保温材料有限公司、深圳市桑得特实业发展有限公司、青岛亿华科技工程有限公司、浙江天仁风管有限公司的大力支持,不仅提供国外相关技术信息,还配合研究需要提供相关样品进行试验,在此对这些企业的大力支持和帮助表示最衷心的感谢。

在本书的编写出版过程中,得到了中国标准出版社、公安部四川消防研究所、国家防火建筑材料质量监督检验中心、建筑材料工业技术监督研究中心的大力协助,在此谨向这些单位致以诚挚的谢意。

编者

2007 年 3 月

目 录

第 1 章 建筑火灾中材料的燃烧性能	1
1.1 受限空间的火灾发展	1
1.2 材料在火灾中的热作用	2
1.3 材料的对火反应	3
1.4 材料的阻燃	4
1.5 燃烧的基本性能参数	5
第 2 章 建筑材料燃烧性能分级方法	22
2.1 GB 8624 的历史沿革	22
2.2 GB 8624—1997 的主要技术内容	23
2.3 影响建筑材料燃烧性能及其分级的因素	29
第 3 章 建筑材料燃烧性能分级采用的标准试验方法	33
3.1 建筑材料燃烧性能标准试验方法分类及其颁布机构	33
3.2 GB/T 5464 建筑材料不燃性试验方法	34
3.3 GB/T 8625 建筑材料难燃性试验方法	36
3.4 GB/T 8626 建筑材料可燃性试验方法	38
3.5 GB/T 8627 建筑材料燃烧或分解的烟密度试验方法	39
3.6 GB/T 14402 建筑材料燃烧热值试验方法	41
3.7 GB/T 14403 建筑材料燃烧释放热量试验方法	43
3.8 GB/T 11785 铺底材料的燃烧性能测定 辐射热源法	45
3.9 GB/T 2406 塑料燃烧性能试验方法 氧指数法	47
3.10 GB/T 2408 塑料燃烧性能试验方法 水平法和垂直法	50
3.11 GB/T 5454 纺织品 燃烧性能试验 氧指数法	52
3.12 GB/T 8332 泡沫塑料燃烧性能试验方法 水平燃烧法	53
3.13 GB/T 8333 硬泡沫塑料燃烧性能试验方法 垂直燃烧法	54
3.14 GA 132—1996 材料产烟毒性危险分级	55
3.15 美国的建筑材料燃烧性能试验方法	56
3.16 日本的建筑材料燃烧性能分级及试验方法	59

3.17 英国的建筑火灾安全规范及燃烧性能试验方法	61
第4章 GB 8624—2006 分级标准及试验方法	67
4.1 标准修订的依据	67
4.2 对“前言”和“引言”的说明	68
4.3 对“1 范围”“2 规范性引用文件”的说明	69
4.4 对“3 术语、定义和符号”的说明	70
4.5 对“4 燃烧性能等级”的说明	74
4.6 对“5 试验方法”“6 试验原理和试样制备”的说明	76
4.7 对标准第8章～第11章的说明	96
第5章 燃烧性能分级评价应用	105
5.1 橡塑类保温材料	106
5.2 复合通风管道	118
5.3 铝塑复合板	127
GB 8624—2006 建筑材料及制品燃烧性能分级	137
参考文献	172

建筑火灾中材料的燃烧性能

从 20 世纪 60 年代我国开始创建火灾科学和消防工程学。随着科学技术的进步,人们运用先进的科学理论和技术手段,经过短短几十年,我国的消防科学技术有了长足的进步,在消防科学的各个领域取得了很大的成绩。随着对火灾认识的深入,人们逐渐开始了解火灾的机理,并运用先进的科学技术和手段进一步去认识火灾的发生、发展及其危害,对减少火灾带来的财产损失和人员伤亡,起到了积极的作用。

随着火灾科学的发展,建筑材料燃烧性能检测方法也不断发展变化,相应的也制定了一系列的标准规范。从最初测试材料的燃烧性能如可燃性、着火性、火焰的传播性能等,到后来的热释放速率、产烟速率、火灾增长指数等,人们对建筑材料燃烧性能的认识也更加深入,并确立了与建筑实体火灾发展相关的性能参数。本书所探讨的内容都是建立在建筑火灾科学的基础上,而建筑物火灾是较典型的是受限空间火灾,其火灾发生、发展特性决定了建筑材料及制品燃烧性能的试验和评价方法。

1.1 受限空间的火灾发展

火灾是一种特殊的燃烧现象,通常把可燃性物质在一定条件下起火并形成失去控制的火焰称为火灾。建筑火灾是一个复杂的物理化学过程,其影响因素很多,如可燃物质的化学成分和数量;受限空间的大小及几何结构;点火源的大小和位置;受限空间的通风条件等。通常来说受限空间的火灾发展要经历两种燃烧控制模式,即燃料控制模式和通风控制模式。

在火灾发展的初始阶段,可燃物质发生阴燃或者燃烧,当达到一定高的温度和遇到适当的通风条件时,阴燃就转变为明火燃烧,其相邻物质表面便同时受到辐射热的作用,如果辐射温度足够高,材料表面便受热分解挥发出可燃气体,当这些可燃气体遇到火源或外部温度达到它的燃点,那么可燃气体就会被点燃,燃烧释放出的能量反过来又将作用在材料的表面,促使燃烧速率迅速增加,并在火焰上方形成火焰羽流。当火源燃烧范围很小时,整个房间空间相对于火源来说比较大,供氧充足,所以燃烧情况与开敞空间的燃烧基本相同,周围的墙体对火灾基本没有影响,这时候火焰主要由燃烧物决定。这个阶段称为燃料控制阶段。

随着火灾发展的进行,材料表面释放的烟气越来越多,周围的空气受到卷吸的作用不断的与烟气发生参混,随着羽流高度的增加,烟气质量逐渐增加。当烟气受到房间顶棚的阻挡后,便顺着顶棚向四周流动,形成顶棚射流层。随着燃烧范围的扩大,热气体向上移动,卷入

火焰羽流的冷空气越来越多,在吊顶下方形成的热烟层质量便不断增加,热烟层的体积变大从而烟层高度开始下降,同时伴随着热量传递的增加,热烟层通过辐射和对流对周围的吊顶和墙壁加热,房间的温度急剧上升,这时墙壁、屋顶、热烟层以及通风口开始影响燃烧的发展。这时候房间内的火灾燃烧处于通风控制阶段。

随着室内温度的不断升高,在局部火焰高温和墙壁、热烟层辐射的共同作用下,可燃物质的燃烧和热分解变得更加剧烈,火势进一步增强,最终使房间内所有可燃物表面都开始燃烧,使火灾发展到轰然阶段。

按火灾的发展通常要经历以下几个阶段,即引燃、发展初期(轰燃前)、完全发展阶段(轰燃后)和衰减期。当房间发生轰然后,火灾进入完全成长阶段,火势猛烈,难于扑救。所以为了减少火灾危险,保证建筑内人们的生命财产安全,其防火的主要措施就是抑制火灾的快速发展,抑制小火源发展成为大火焰,防止出现轰然。

1.2 材料在火灾中的热作用

材料本身的化学组成和物理性能对火灾的发生、发展有着非常重要的影响。为了正确的表征建筑材料的燃烧性能,建立适当的评价方法,建筑材料对火反应试验要求必须选择适当的火灾场景,确定材料恰当的受火条件,才能给予正确的评价。在建筑火灾中,可燃物热量传递有三种基本方式,即导热、热对流和热辐射。

1.2.1 热传导

温度是衡量物质微观粒子如分子、原子等热运动强烈程度的指标,温度越高,微观粒子运动就越剧烈,其热运动的能量也就越大。当物体内部存在温度差异时,由于各部分分子热运动程度不一,分子、原子或电子之间会发生相互碰撞产生能量的传递,从而可以让热在固体中发生扩散。导热是材料内部的一种传热现象。对于材料的导热来讲,最重要的是材料自身的物理性质,这主要与材料自身的热学性能有关,包括材料的热传导率 k , 密度 ρ 和热容量 c , 即材料的热惯量 $k\rho c$ 。

1.2.2 热对流

热对流是伴随着气体流动而发生的传热过程。它通过流体内的导热和流体的混合运动进行热量传递。在起火的房间中,由于材料燃烧释放出热量,造成了气体内部温度分布不均匀,形成了气体密度的差异,因此在浮力的作用下,密度小的热气体便往上升,密度大的气体则向下降。

1.2.3 热辐射

热辐射是一种通过电磁波传递能量的传热方式。物体把热能以电磁波的形式传出去,被另一物体吸收后,这种电磁波便转变称为热能。任何物体都在不断地向外辐射热量,同时也不断地接受外界物体的热辐射。热辐射是一种非接触式传热,反映了分子热运动的强弱程度。热辐射与导热和对流传热不同,在传递能量时,物体间不需要相互接触。一个物体向外辐射的能量与其表面绝对温度的四次方成正比,随着物体表面温度的升高,它对外的热辐射作用将变得更强。在高温时,辐射传热往往起主要作用。

在建筑火灾发展过程中,房间内的热量传递并不是以导热、对流和辐射传热中的某种单一方式存在的,而是同时包含了这三种传热形式,但是,由于火灾在发展过程中,房间内的温

度变得很高,因此材料受到的热作用是以热辐射为主导的。在建筑火灾中通常将对流传热和辐射传热都统称为辐射作用。

1.3 材料的对火反应

1.3.1 燃烧

燃烧是可燃物与氧化剂作用发生的放热反应,燃烧是一个极其复杂的现象,它通常伴随着发光、发热,并产生火焰和烟气等现象。按照燃烧的形式或剧烈程度,可以将燃烧分为持续燃烧、阴燃、闪燃、爆燃和爆炸。

a) 持续燃烧:通常将有焰燃烧时间超过 5 s 的燃烧称为持续燃烧。

b) 阴燃:没有火焰的缓慢燃烧称为阴燃。

c) 闪燃:在物质表面产生足够的可燃蒸气,遇火产生一闪即灭的火焰的燃烧现象通常称为闪燃。在建筑材料燃烧性能测试中也将火焰持续时间小于 5 s 的燃烧称为闪燃。

d) 爆燃:以亚音速传播的爆炸称为爆燃。

e) 爆炸:由于物质发生急剧氧化或分解反应,使温度、压力在瞬间急剧增加并发生强烈的放热作用的现象。爆炸可以分为物理爆炸、化学爆炸和核爆炸。

1.3.2 燃烧的条件

材料燃烧必须具备三个基本条件,即可燃物、氧化剂和温度(点火源)。可燃物的存在是发生燃烧的基本条件,可燃物具有气相、液相和固相三种物态,可燃物状态不同,它与氧化剂相互混合的难易程度也不相同,因此燃烧状况也存在较大差异。建筑火灾中,可能会同时存在三种不同状态的可燃物。但是最常见的最直接的燃烧物还是可燃气体的。

可燃气体除了煤气、石油气及烃化合物外,建筑火灾中的可燃气体主要是材料受热分解释放出来的气体。当房间发生火灾时,建筑材料首先受到热辐射的作用,其表面发生高温分解,生成可燃性挥发气体,这些气体遇到火源就会被点燃,而点燃的明火又向材料反馈更多的热量,使材料热解增强,当温度达到一定程度时,即使没有外部火源,产生的火焰仍然能持续燃烧。建筑材料的燃烧通常都是按照这个方式进行的。所以在标准 ISO 5658 和 IMO A. 653 的试验方法中,其中的一种点火方式的就是采用点火火焰与材料非接触式的点火,首先引燃的就是材料在辐射热源作用下分解产生的可燃气体。

1.3.3 可燃气体燃烧的基本方式

可燃气体的燃烧有两种基本形式,即预混燃烧和扩散燃烧。

a) 气相预混燃烧。可燃气体与氧化剂先混合再燃烧,称为预混燃烧。在确定的温度条件下,可燃气体存在点燃浓度上限和点燃浓度下限,要发生气相预混燃烧,可燃气体必须在混合气体中达到一定浓度,而且处于点燃浓度上限和下限之间时才会被点燃,就是说气体浓度低于点燃浓度下限或是高于点燃浓度上限,可燃气体都不会被点燃。

b) 气相扩散燃烧。可燃气体与氧化剂边混合边燃烧的方式称为气相扩散燃烧。扩散燃烧是发生在可燃气体与空气的交界面上的,它也可以分为层流和湍流两种情况。在建筑火灾中,层流火焰高度 L_c 与可燃气体的体积流量成正比,与扩散系数成反比,即:

$$L_c = K_c \times V/D = K_c \times uR^2/D$$

式中: V ——可燃气体流量;

D ——气体扩散系数;

u ——可燃气体的平均流速;

R ——可燃气体喷口的当量直径;

K_c ——修正系数。

层流扩散火焰高度 L_c 是表示燃烧状况的重要参数,它大致与喷口直径成正比,与可燃气体的流速无关,通常可表示为:

$$L_T = K_T \times R$$

式中: L_T ——湍流火焰高度;

R ——喷口的当量直径。

1.4 材料的阻燃

1.4.1 阻燃原理

材料的阻燃性能是材料热稳定性能的一个体现,而材料的热稳定性能主要取决于材料自身的物理化学性能,即微观的化学结构和凝聚态结构。微观化学结构主要指有机材料的化学组成及其共价键的键级和键能;凝聚态结构主要指材料的结晶态和由化学交联导致的凝胶结构。建筑内的可燃物通常为有机聚合物,化学键主要为 C—C 和 C—H 键。对于材料中含有稠环芳香烃的聚合物一般具有良好的热稳定性,因为它们的化学结构中含有碳碳双键,在发生热降解时,具有双键或三键的共价键不易发生断裂,相比于其他的共价键具有更好的热稳定性。结晶态的物质由于在熔融过程中会发生吸热反应,因此,结晶材料受热分解时相较于其他非晶材料具有更好的热稳定性。

1.4.2 有机材料热降解特性

材料受到高温作用,材料表面产生气化产物,这些气化产物再与空气中的氧气反应生成低分子量的产物。材料发生热降解时,单位质量的燃料完成分解所需的热量称为热解热。从微观的角度对于一种单纯的聚合物,其分子链中最弱的共价键决定着它的热降解能力,即热降解作用主要取决于最弱键的离键能。半降解温度($T_{1/2}$)是表征聚合物热稳定性的一个特征温度,它是聚合物在真空中受热 30 min,质量失去 50%时所对应的温度。统计分析表明半降解温度与离键能有如下关系:

$$T_{1/2} = 1.46D_{AB} + 180$$

式中: D_{AB} 为离键能。有机材料中碳卤键 C—X 比 C—C 键的键能低,因此这些材料在受热作用下燃烧或分解时,分子中的碳卤键将作为弱键首先发生均解断裂,如聚氯乙烯中的 C—Cl 键。

1.4.3 建筑材料的阻燃性

阻燃是使可燃物具有防止、减慢或终止有焰燃烧的性能。从阻燃机理来说主要分为气相阻燃机理和凝聚相阻燃机理。气相阻燃机理就是通常所说的卤素阻燃,即向有机材料中添加含卤化合物。由于这些卤素化合物的分解温度较低,在高温作用下分解反应的结果释放出大量的卤素自由基。这些自由基与有机材料分子间发生自由基转移反应,生成氧指数较大的卤素聚合物,如聚氯乙烯、聚四氟乙烯、聚偏二氟乙烯等。

凝聚相阻燃又分为凝聚相反应型和玻璃化型。凝聚相反应型主要指那些含有多取代芳

香烃、稠环芳香烃和杂环化合物的聚合物,这些材料在高温或火灾条件下极易发生碳化,生成碳化残渣,从而阻止外部热条件对其进一步的热作用,表现出很好的阻燃性能,如热固性酚醛树脂、芳香尼龙等,试验证明阻燃性能与碳化残渣成正比。对于这些材料,发生热降解时,一部分首先降解成为大小接近单体分子的产物,这些小分子化合物在凝聚相中迅速裂解脱除更小的气体分子,释放出氨气、一氧化碳、二氧化碳等小分子气体,残存的芳香环部分进一步发生石墨化和碳化反应。凝聚相玻璃化型则是指含磷、硼、硅等元素的有机聚合物,这些材料在高温或着火条件下会形成玻璃层,这些玻璃层覆盖在材料表面,从而隔绝氧气和外部热源与材料的接触,避免进一步反应,故也表现出良好的阻燃性能。

1.4.4 阻燃方式

为了改善建筑材料的阻燃性能,常用的阻燃方法有:在材料表面涂刷阻燃剂或防火涂料;在产品的生产过程中添加阻燃剂。阻燃剂是一种可以提高可燃物阻燃性的一类助剂,它的存在可以改变材料的热值或分解热,从而可以改变材料的燃烧过程。

阻燃剂主要通过以下效应来发挥作用:

a) 覆盖效应:阻燃剂在燃烧产生的高温作用下,生成难燃的保护层或蜂窝状、泡状物质,覆盖在可燃材料的表面,起到隔氧和隔热的作用,从而阻止材料的热分解及可燃挥发组分与空气的混合。

b) 吸热效应:阻燃剂可吸收燃烧释放出的大量热量,使材料温度降低,从而使热分解和燃烧减慢。

c) 抑制效应:阻燃剂分解生成的某些生成物可捕捉火焰中的活性基团,从而使其热分解链式燃烧反应中断。

d) 稀释效应:阻燃剂分解产生大量不燃气体,大大稀释材料表面附近的可燃气体浓度和氧气浓度,从而使燃烧不能维持。

1.5 燃烧的基本性能参数

建筑火灾的发展影响因素很多,但是其中最主要的还是材料自身的性能。如何评定建筑材料的燃烧性能,如何确定建筑材料在真实火灾条件下的表现行为,如何建立评价材料燃烧性能的火灾场景,这些都是建筑材料燃烧性能测试中需要考虑的。为了更好的比较各种建筑材料的燃烧性能,必须确立一个能反应材料在真实火灾条件下的火灾危险性的参考场景,从而需要建立适当的试验条件,考虑材料的哪些性能参数最能反应其在火灾条件下的危险程度。建筑材料燃烧性能测试标准的制定是一项非常复杂和严肃的工作,其测试结果和评价指标是建筑设计和消防监督部门进行建筑设计和工程监督的重要依据。

对于每个对火反应试验的建立,都会首先考虑试验所模拟的火灾场景。建筑材料燃烧性能分级体系中所有的试验方法所考虑的火灾场景都是起火于房间,建筑制品在小火焰的作用下被点燃,火源逐渐蔓延传播,从小火焰增长成为大火焰,并最终引起整个房间的轰然的过程。这一火灾增长过程包括了三个阶段的火灾场景。

第一个阶段是指建筑制品被引燃的着火阶段,即用小火焰施加于制品的局部区域。它模拟的是由于人员不慎将烟头、火柴等小火源作用于建筑材料上引起的小范围内燃烧。

第二个阶段是指火灾从小火源开始逐渐发展阶段。这个阶段火源不断增大,房间温度

也逐渐增高,发展起来的火源开始对临近材料具有热辐射作用。在燃烧性能分级体系中,用房间角落处一个单个火源来模拟火灾发展过程中角落火源对相邻制品表面产生热辐射的作用过程。在这个阶段,火灾增长有可能非常迅速,这主要取决于建筑制品或房间中的可燃物的燃烧性能。

第三个阶段是指火灾已经发展起来,火焰甚至已经蔓延到了房间的吊顶,吊顶下方形成了热烟层,通过门洞,火焰和热烟层开始对相邻的房间或走廊上的地面材料产生辐射作用。这个阶段是整个火灾增长过程中最快的阶段,如果有足够的可燃物并有良好的通风条件,火灾能够迅速增长并导致整个房间的轰然。房间轰然后,所有可燃制品均发生燃烧,火灾不可逆。

在火灾发生、发展并达到轰然的整个过程中,建筑材料的燃烧性能对火灾的发展起着至关重要的作用,做好对建材制品火灾安全性的测试和评价工作关系着人身财产的安全。火灾科学研究表明,以下性能是建材制品对火反应特性的重要参数。

1.5.1 着火性

按照建筑火灾的发展过程,首先考虑制品的着火性。建筑材料的着火性主要是用来测试材料在特定的火灾条件下被点燃的难易程度。不同的材料具有不同的化学组分和形态,在受热条件下会分解释放出不同的可燃气体,在火灾条件下也会表现出不同的燃烧行为。材料能否被点燃,一方面是由外部条件决定,如温度、通风条件等,另一方面受材料本身的物理化学性能影响,就是说材料的最小点火能不仅取决于可燃混合气的状态和物理化学性能,同时也取决于点火系统的特性,还取决于点火能量以何种形式提供给可燃混合气,即是以热能还是以化学能来点燃混合气体。以热能点火主要是通过提高混合气的温度来实现的,而以化学能点火则是通过加入一些活性基促成点火。在相同的试验条件下,燃点越低的材料,越容易被点燃。当材料的燃点足够低时甚至可以发生自燃。

着火性的测试有单火焰点火法和在辐射条件下的点火试验法。单火焰点火法的火源是一个小火焰,相当于火柴燃烧的情况,建筑制品在这种火源的作用下一般不会形成快速蔓延,但是,如果建筑材料阻燃性能较差,如化纤布料、普通泡沫材料等,在小火焰的作用下仍然可能迅速燃烧起来,从而给建筑带来火灾安全隐患,这是建筑火灾安全规范所不允许的。对于这种情况的试验方法较为典型的是 GB/T 8626 所规定的试验方法,这种方法通常称为可燃性试验。可燃性试验直接反映的是材料在没有外部辐射作用时,被小火焰直接点燃的难易程度。此方法是建筑材料燃烧性能分级方法中比较重要的试验方法。

相似的测试方法还有针对泡沫材料的 GB/T 8332《泡沫塑料燃烧性能试验方法 水平燃烧法》和 GB/T 8333《硬泡沫塑料燃烧性能试验方法 垂直燃烧法》,针对纺织织物的 GB/T 5455《纺织织物 阻燃性能测定 垂直法》,针对塑料的 GB/T 2408《塑料燃烧性能试验方法 水平燃烧法》。

另外,对于软垫家具及床上用品,由于人员活动较为频繁,稍微不慎一个烟头就会酿成大灾害。GB 17926《软体家具 弹簧软床垫和沙发抗引燃特性的评定》、IMO A. 652《船用软垫家具着火性试验方法》和 IMO A. 688《船用床上用品着火性试验方法》分别模拟了软垫泡沫材料或者床上纺织物在小火焰和香烟烟头存在下的燃烧情况。不管是建筑中还是船上,沙发、坐椅、床垫通常都是可燃物,内部含有大量的聚氨酯泡沫或其他软质泡沫材料,大

都属于易燃材料,具有很大的火灾危险性。床上用品更是如此,床单、被罩、棉絮均是可燃物。香烟头掉在这些物品上,就可能发生闷燃,进而发展成为明火燃烧。这些试验就是为了评价这些可燃制品是否存在潜在的火灾危险性。

除了单火焰的作用,在建筑火灾中,建筑制品经常受到火灾的辐射作用,在这种情况下,制品更容易被点燃。GB/T 14523《对火反应试验 建筑制品在辐射热源下的着火性试验》就是评价建筑材料在不同辐射热源条件下被小火焰点燃的容易程度。本试验方法中,用锥型加热器作为辐射热源,通过改变加热管的电流可以设定不同的辐射照度。辐射照度表示为在制品表面的一个点上,照射在包含此点的无限小的面元上的辐射能通量与该面元面积的商。材料被点燃所需的最低辐射照度称为临界辐射照度,可通过测试不同辐射照度下材料表面是否被小火焰点燃获得。相似的加热装置还包括锥型量热计(ISO 5660)、烟密度单室法试验装置(ISO 5659、ASTM E 662 等)中的锥型加热器。NIBS 试样装置(ASTM E 1678)也可以测试材料的着火性。此装置以辐射灯为热源,测试材料在辐射热下被电子火花点燃的难易程度。

另外,在 ISO 5658 或 IMO A. 653 中还规定了被测制品点燃热度的试验方法。点燃热度以辐射通量与时间的乘积表示。它表示的也是一种材料在特定试验条件下被点燃的难易程度。在本试验装置中,辐射板在被测制品表面提供一个有梯度变化的辐射场,即在被测制品表面形成一个渐变的辐射通量分布。辐射通量表示为材料单位面积的照射热量。试验时,在制品一端的表面施加一个小火焰,观测制品在辐射条件下被点燃的难易性及其火焰传播特性。点燃热度以距试样热端 150 mm 的辐射通量与试验开始后火焰传播到 150 mm 的时间的乘积表示。

1.5.2 火焰传播

火焰传播是由材料表面的热传递和受热后的热效应决定的,火焰的传播速率主要依赖于材料的燃烧性能及火焰形态。材料由于受热,在其内部便形成热积效应,致使材料自身不断的分解释放出可燃气体,并加速燃烧的进行。火焰传播的基本公式可写成:

$$v \sim \frac{q}{\rho \Delta h}$$

式中: v ——火焰传播速率;

ρ ——固体材料密度;

Δh ——材料初始温度和点燃温度的燃烧焓之差;

q ——热通量。

这个公式包含了各种火焰的传播形式,指出了初始条件的重要性,如初始温度、影响密度的含水率、加热条件等,都有可能显著地影响火焰的传播。

在建筑材料燃烧性能试验方法中,主要考虑火焰传播的两个方面,即火焰传播的范围和火焰传播的速度。材料表面火焰传播的范围越大表明材料在火灾条件下损毁得越多,即是说材料在高温作用下受热被分解掉的越多,同时表明火灾可能扩展的区域越大。所以对火反应试验中,通常用材料的损毁长度或者是燃烧剩余长度来反映材料的这种燃烧性能。如 GB/T 8625 竖炉试验中测试材料的燃烧剩余长度,GB/T 8332 泡沫材料水平试验方法中测试材料的损毁长度等。类似的测试火焰燃烧范围的标准方法很多如 GB/T 20285(SBI 试

验)、GB/T 5455、GB/T 8333、IEC 66132 等,它们的一个共同点是测试材料在试验条件下燃烧的一种最终结果,如材料的损毁长度或碳化高度。但是在建筑火灾中,火焰的传播速度是影响人们生命安全的一个重要因素。对建筑内人员的逃生来说,火焰在材料表面的传播速度比火焰的传播范围更应值得关注。火焰在房间内传播越缓慢,火灾发展到危险阶段的时间就越长,人们就更容易发现险情,火灾也越容易扑救,同时还可以为人们争取更多的逃生时间。

GB/T 2408、GB/T 8332、GB/T 11785、ISO 5658、NFPA 255 等试验方法均能测试火焰在材料表面的传播速度。

GB/T 2408 试验方法又分为水平法和垂直法,试验时将试样水平或垂直地夹住试样一端,对试样自由端施加一个小火焰。通过测量损毁长度与燃烧时间的比值确定线性燃烧速度 v ,其公式为:

$$v = \frac{60L}{t}$$

式中: L ——烧毁长度,mm;

t ——燃烧时间,s。

同样在 GB/T 8332 中,燃烧速率也表示为燃烧距离或燃烧范围与时间的比值,其公式为:

$$v_1 = \frac{125}{t_b}$$

式中:125——试样受试端至标线的距离,mm;

t_b ——火焰传播 125 mm 的时间。

如果火焰传播没有超过标线,那么计算公式为:

$$v_2 = \frac{L_e}{t_e}$$

式中: L_e ——燃烧范围,mm;

t_e ——火焰熄灭的时间,s。

在 ISO 11785 中,要求记录火焰到达每超过 50 mm 的时间、每隔 10 min 火焰传播的距离,从而确定 HF-10、HF-20 和 HF-30 的值,即用试验开始后 10 min、20 min 和 30 min 的火焰传播距离来反应火焰的传播速度。

在 ISO 5658 中,以持续燃烧平均热度来表征火焰在材料表面的传播特性。在此试验方法中以燃烧甲烷的微孔陶瓷板作为辐射热源,被测材料与辐射板成 30° 角,在有引火火焰的条件下测试火焰在材料表面横向传播的性能。从点火开始,以火焰传播到几个特定位置的时间与该位置的辐射通量的乘积的平均值来表示持续燃烧平均热度。其公式可以表示为:

$$Q_c = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n q_i \cdot t$$

式中: Q_c ——持续燃烧平均热度, MJ/m²;

q_i ——距试样热端 150 mm 到 400 mm 之间,在试样表面每隔 50 mm 的位置对应的辐射通量, kW/m²;

t ——距试样热端 150 mm 到 400 mm 之间,在试样表面火焰传播到每隔 50 mm 时所

对应的时间, s;

n ——计算位置的数量。

持续燃烧平均热度是火焰传播过程中与辐射通量和火焰传播速度相关的一个参数, 这个参数直接与时间相关, 同时将维持火焰继续燃烧所需要的辐射通量联系起来, 表征了材料在特定辐射通量分布下的火焰传播的快慢。制品表面辐射通量越大, 材料分解越快, 火焰传播速度也越快。反之, 制品表面辐射通量较低, 那么火焰传播速度就较慢。因此火焰传播速度是受不同辐射通量影响的一个综合体现。

本试验方法中得到的另外一个重要的参数是熄灭临界辐射通量, 和 GB/T 11785 方法中的一样, 用来表示在试验条件下在制品表面维持火焰传播所需的最小辐射通量。

1.5.3 热值和热释放

1.5.3.1 燃烧热值

热值是指单位质量的燃料完全燃烧后所释放出来的总热量, 以 MJ/kg(J/g) 表示。完全燃烧是指对于碳氢化合物材料燃烧生成的产物全部转换成 H_2O 和 CO_2 。热值的测定通常使用氧弹量热计进行测定。在氧弹量热计中, 若把生成的水蒸气凝结成水所释放出的热量计算在内, 则称之为总热值, 用 PCS 表示, 若不把水蒸气凝结成水释放出的热量计算在内, 则称为净热值, 以 PCI 表示, 两者之差为水的汽化热。在建筑火灾中, 常用的是 PCS。在建筑材料燃烧性能分级体系中对材料热值的测定采用的标准为 GB/T 14402。

普通氧弹量热计测试的总热值 Q_{tr} (kJ/kg) 可以由下式计算:

$$Q_{tr} = \frac{E(t_m - t_i + c) - C}{m}$$

式中: E ——量热器、氧弹及其附件中充入水的水当量, MJ/K;

c ——量热计内筒与恒温式外筒之间的热交换校正值, °C;

C ——附加热量校正值, kJ;

t_m ——主期中量热计内筒的最高水温, °C;

t_i ——主期开始时量热计内筒的水温, °C;

m ——试样的质量, kg。

凝结水汽化潜热 q 可以通过测试材料的氢含量进行计算得到, 以 kJ/kg 表示, 其计算公式为:

$$q = 218.13 \times F$$

式中: F ——材料中的氢含量。

材料燃烧的低位热值可表示为:

$$Q_{jt} = Q_{tr} - q$$

结合 GB/T 14403 试验方法, 还可以通过测试材料的质量损失, 计算得出特定条件下材料单位面积的热释放 Q_F , 以 MJ/m² 表示。

$$Q_F = Q_{jt} \times m_{rs}$$

式中: m_{rs} ——按照 GB/T 14403 试验材料的燃烧质量损失, kg/m²。

燃烧质量损失 m_{rs} 按下式计算:

$$m_{rs} = (m_1 - m_2) / S$$