

材料阻燃性能测试方法

欧育湘 李建军 主编



化学工业出版社

· 北 京 ·

图书在版编目(CIP)数据

材料阻燃性能测试方法/欧育湘, 李建军主编. —北京: 化学工业出版社, 2006. 8
ISBN 7-5025-9271-7

I. 材… II. ①欧…②李… III. 防火材料-性能试验-方法 IV. TB392

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 103362 号

材料阻燃性能测试方法

欧育湘 李建军 主编

责任编辑: 路金辉

文字编辑: 傅聪智

责任校对: 周梦华

封面设计: 关 飞

*

化学工业出版社出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

购书咨询: (010)64982530

(010)64918013

购书传真: (010)64982630

[http:// www. cip. com. cn](http://www.cip.com.cn)

*

新华书店北京发行所经销

北京永鑫印刷有限责任公司印刷

三河市延风装订厂装订

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 15 $\frac{3}{4}$ 字数 392 千字

2007 年 1 月第 1 版 2007 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 978-7-5025-9271-4

定 价: 39.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

前 言

采用阻燃材料是减少和防止火灾的战略措施之一。近 30 年来,各国对材料的阻燃化给予了越来越密切的关注。我国近年来阻燃材料工业的发展速度和规模更是为世人瞩目。我国目前的阻燃材料及其制品多属出口产品,其阻燃性能的测试应采用产品消费国的标准和方法进行。但在现阶段,各国的很多阻燃测试方法存在差异,要求也有所不同,而国内尚未见到论述各国材料阻燃性能测试方法及标准的专著,这使国内很多阻燃材料及其制品的出口厂商缺乏急需的参考资料。同时,在与国际接轨及材料阻燃性能测试方法国际化的进程中,在制订和完善我国材料阻燃性能测试方法的工作中,了解和掌握有关国际组织及各主要国家所颁布和采用的材料阻燃性能测试方法,也是十分必要的。有鉴于此,作者在多年从事阻燃材料科研及教学的基础上,通过系统查阅有关的国内外专著和期刊,特别是国内外有关材料阻燃性能的测试方法和标准,编就此书。

本书将材料阻燃性能的测试方法分成 6 大类:材料的点燃性和可燃性;材料的火焰传播速率;材料的释热性;材料的生烟性;材料热裂解及燃烧气态产物的腐蚀性;材料热裂解及燃烧产物的毒性。书中较全面地介绍了国际标准化组织、欧盟、国际电工委员会、中国、美国、加拿大、德国、法国、英国、北欧、俄罗斯、日本和澳大利亚上述 6 类的主要测试方法和标准,对每一种方法都叙述了其标准号、设备、试件、测定程序、评定标准及应用范围。本书所述方法绝大部分适用于塑料及其制品。另外,本书第一章详细地评述和分析了材料阻燃性能测试方法的发展、特点和国际化进程。各章末及书末尽可能详尽地收集了高分子材料上述六方面的一些实测性能数据,是十分难得和极富参考价值的资料。本书各图标注的尺寸,除特别注明的外,单位皆为 *mm*。

参加本书编写的人员,除主编外,还有博士生孟征、韩廷解、房晓敏、赵毅及硕士生许冬梅,是他们坚持不懈的努力和认真、严肃的编撰作风,才使本书得以付梓。

由于作者水平有限,且编写此类专著尚属首次,经验不多,故书中不当之处在所难免,祈望读者批评指正。

编者

2006 年 8 月

目 录

第一章 材料阻燃性能测试方法综论	1
第一节 概论	1
第二节 材料阻燃性能测试方法的进展	2
第三节 材料阻燃性能测试方法分类	3
第四节 各类阻燃性能测试方法概述	4
一、点燃性和可燃性试验	4
二、火焰传播试验	4
三、释热速率试验	5
四、生烟性试验	5
五、燃烧产物腐蚀性试验	6
六、燃烧产物毒性试验	6
七、耐燃性试验	7
第五节 对测试方法的基本要求	7
第六节 测试方法中的主要影响因素	7
第七节 测试方法的相关性	8
第八节 大型阻燃性能测试试验	9
第九节 阻燃性能测试方法和标准的国际化	10
一、概论	10
二、统一化途径	11
三、可用的统一化试验	12
四、统一化进程	13
五、统一化原则	14
六、现状	14
第二章 材料点燃性和可燃性的测定	17
第一节 塑料极限氧指数的测定	17
一、理论基础	17
二、实际测定	19
三、对氧指数测定法的综合评价	27
第二节 塑料水平及垂直燃烧试验	28
一、UL 94 塑料水平和垂直燃烧试验	28
二、中国的塑料水平及垂直燃烧试验	33
三、DIN VDE 0304, 3.8 及 3.9 的水平燃烧试验及垂直燃烧试验	44
第三节 塑料点燃温度的测定	45
一、概述	45

二、GB 9343 法	46
三、GB 4610	48
四、DIN VDE 0345/8.69 法（塑料薄膜闪燃温度试验）	48
第四节 建筑材料燃烧试验	49
一、建筑材料不燃性试验	49
二、建筑材料难燃性试验	51
三、建筑材料可燃性试验	57
四、测定建筑材料阻燃等级的燃烧试验	64
五、建筑构件耐火试验（GB/T 9978）	69
第五节 电子电气产品燃烧试验	71
一、炽热棒试验（GB 2407）	71
二、灼热丝试验	73
三、针焰试验	75
四、不良接触试验（GB 5169.6）	76
五、本生灯火焰试验（GB 5169.7）	77
六、热轴试验（VDE 0470）	78
七、漏电作为点燃源的试验（VDE 0303，1；VDE 0471，6；DIN IEC 112）	79
八、漏电起痕指数（CTI）试验	80
第六节 电线电缆燃烧试验	81
一、单根电线电缆垂直燃烧试验（GB 12666.2）	81
二、单根电线电缆及绝缘芯线燃烧性试验（DIN VDE 0472.804）	84
三、单根电线电缆水平燃烧试验（GB 12666.3）	84
四、单根电线电缆倾斜燃烧试验（GB 12666.4）	85
五、成束电线电缆燃烧试验（GB 12666.5）	86
六、电线电缆耐火特性试验（GB 12666.6）	88
七、电缆燃烧试验（NFC 32-070）	89
第七节 飞机、机车及船舰用材料的燃烧试验	90
一、飞机用材料	90
二、机车用材料	96
三、船舰用材料	100
第八节 家具（包括部件）及其材料的燃烧试验	101
一、床垫的可燃性试验（16 CFR 1632）	101
二、美国加利福尼亚州（CAL）可燃性试验	102
三、BS 5852.1 法	108
四、UNI 9175 法	109
第九节 大型燃烧试验	109
一、室角燃烧试验（ISO 9705）	109
二、单项燃烧试验（EN 13823）	110
三、电视机整机燃烧试验	111
四、家具量热仪试验	113
五、不熔建材燃烧特性试验（ULC-S 127）	113

六、建筑构件可燃性的测定（俄罗斯）	114
附录 1 材料的极限氧指数（LOI）	114
附录 2 ASTM D 5485 法（ $50\text{kW}/\text{m}^2$ ）测得的材料的点燃时间	115
附录 3 USF 点燃试验测得的材料的点燃时间	115
附录 4 锥形量热计法测得的材料的点燃时间	116
附录 5 材料的点燃敏感性（美国 California 家具局测定）	116
附录 6 NBS 闪燃试验测得的材料的闪燃性	117
附录 7 Douglas 闪燃试验测得的材料的闪燃性	118
附录 8 USF 闪燃试验测得的材料的闪燃性	118
第三章 材料火焰传播性能的测定	120
第一节 ASTM E 84 隧道法	120
第二节 加拿大 CAN/ULC-S 102 隧道法	121
第三节 ASTM E 162 辐射板法	122
第四节 ASTM E 970 法	122
第五节 ISO 5658-2 法	123
第六节 意大利 UNI 9174/A1 法	125
第七节 英国 BS 476. 6 法	125
第八节 英国 BS 476. 7 法	127
第九节 法国 NF P 92-506 法	128
第十节 德国 DIN 4102-14 法及荷兰 NEN 1775 法	128
第十一节 北欧 NT 火 006 及 NT 火 007 法	129
第十二节 荷兰 NEN 6065 法	130
第十三节 俄罗斯 GOST 12. 1. 017 法	130
第十四节 澳大利亚 AS/NZS 1530. 3 法	131
第十五节 EN ISO 9239-1 法及 ISO 9239-2 法	132
第十六节 直接点燃法测定燃烧速率	133
一、ASTM D 635 法	133
二、ASTM D 568 法	133
三、法国 NF P 92-504 法	133
四、英国 BS 2782. 5. 508A 法	134
五、德国 STV 20 法	134
附录 1 辐射板法（ASTM E 162）测得的材料的火焰传播指数	134
附录 2 辐射板法（ASTM E 162）测得的材料的火焰传播特性	135
附录 3 NBS 地板辐射板法测得的材料的临界辐射热值	136
第四章 材料释热性的测定	137
第一节 概述	137
第二节 锥形量热仪法	139
一、耗氧原理	139
二、锥形量热仪测定的火参数	139

三、设备及操作	140
第三节 美国俄亥俄州立大学 (OSU) 量热仪法	143
第四节 建筑材料燃烧释热量试验 (GB 14403 法)	144
第五节 英国 BS 476. 11 法	146
第六节 北欧 NT 火 004 法	147
第七节 日本模拟箱试验	148
第八节 材料燃烧热值的测定 (GB 14402)	148
附录 1 辐射板法 (ASTME 162) 测得的材料的释热性	151
附录 2 锥形量热仪 ($50kW/m^2$) 测得的材料的释热性	151
附录 3 OSU 法 (ASTME 906) 测得的材料的释热性	152
附录 4 OSU 法 (FAA 法) 测得的材料的释热性	153
第五章 材料生烟性的测定	154
第一节 引论	154
第二节 光学法测定烟密度	155
一、原理	155
二、方法的一般描述	156
第三节 NBS 烟箱法	158
一、概述	158
二、美国 ASTME 662 的 NBS 烟箱法	158
三、中国 GB 8323 的 NBS 烟箱法	159
四、法国 UTE C 20-452 的 NBS 烟箱法	161
五、德国的 NBS 烟箱法	161
六、改良 NBS 烟箱法	162
七、NBS 烟箱法测定材料生烟性的影响因素	162
第四节 中国测定材料生烟性的方法	167
一、GB 8323 法 (NBS 烟箱法)	167
二、GB 8627 法	167
三、GB 12666. 7 法	168
四、GB/T 14802 法	170
五、HB 6577 法	171
第五节 XP2 烟箱法	171
第六节 ISO 烟箱法 (ISO 5924)	172
第七节 德国 DIN 53436/E 53437 法	173
第八节 日本 JIS A 1321 法	174
第九节 日本 JIS 法 (草案)	175
第十节 光学法测定烟密度的其他方法	177
一、ASTME 84 隧道法	177
二、锥形量热仪法	177
三、ISO 5659-2 法	178
四、IEC 1034-1 及 1034-2 法	178

第十一节 测定生烟性的其他方法	179
一、质量法 (ASTM D 4100)	179
二、电子法	180
第十二节 烟尘化学组成测定	180
一、实验方法	180
二、EPS 的生烟特性及烟的化学组成测定	180
附录 1 OSU 法 (ASTM E 906) 测得的材料的生烟性	183
附录 2 OSU 法 (FAA 法) 测得的材料的生烟性	184
附录 3 OSU 法测得的材料的生烟性	184
附录 4 ASTM D 2843 法测得的材料的生烟性	185
附录 5 Arapahoe 法测得的材料的生烟性	185
第六章 材料燃烧产物腐蚀性的测定	186
第一节 概述	186
第二节 测定方法	186
一、ISO 11907-2 法	186
二、IEC 754-1 法	187
三、美国 ASTM D 5485 法	187
四、德国 DIN VDE 0472 法	187
五、法国 NFC 20-453 法	188
六、法国 CNET 法	188
七、法国 UTE C 20-453 法	188
八、电缆燃烧气体腐蚀性试验	189
附录 1 锥形量热计 (热流强度 $50\text{kW}/\text{m}^2$) 测得的材料的腐蚀性	189
附录 2 改良 NIBS 法测得的材料的腐蚀性	189
附录 3 CNET 法测得的材料的腐蚀性	190
附录 4 改良 DIN 法测得的材料的腐蚀性	190
第七章 材料燃烧产物毒性的测定	191
第一节 测定方法	191
第二节 美国匹兹堡大学生物试验法	193
第三节 德国 DIN 53436 生物试验法	194
第四节 日本 JGBR 生物试验法	195
第五节 中国 HB 7066 化学分析法	196
一、概述	196
二、有毒气体测定	196
三、结果计算	198
第六节 中国 HB 7068.4 化学分析法	199
第七节 其他方法	200
一、Lindberg 法	200
二、材料毒性指数的测定	200

三、德国航空工业的化学分析法	202
四、法国 UTE C 20-454 的化学分析法	202
五、US 辐射装置的生物试验法	202
六、俄罗斯 GOST 12.1.017—80 的生物试验法	203
第八节 不同方法的比较	203
一、试验方法	203
二、分析方法	203
三、结果及讨论	204
第九节 评估材料燃烧产物毒性的数学模型	205
一、N-气体模型概述	206
二、N-气体模型表达式	206
三、燃烧产物各组分间毒性的相互作用	207
四、用 N-气体模型预估材料燃烧产物毒性	208
五、使用 N-气体模型的注意点	208
六、使用 N-气体模型的试验方法	210
第十节 燃烧产物毒性的综合评介	211
一、烟雾指数	211
二、火灾毒性指数	211
附录 1 美国匹兹堡大学法测得的材料的 LC_{50} 值	212
附录 2 波兰消防中心法测得的材料的 LC_{50} 值	212
附录 3 以 Dome 毒性试验 (条件 1) 测得的材料的 LC_{50} 值	212
附录 4 以 Dome 毒性试验 (条件 1) 测得的材料燃烧产物对被试老鼠的半数致死时间	213
附录 5 材料热裂或燃烧产物对被试老鼠致死率的毒性次序 (由大到小)	213
附录 6 人对不同浓度 CO_2 的反应	214
附录 7 人对不同浓度 CO 的反应	214
附录 8 人对不同浓度羧络血红蛋白的反应	214
附录 9 动物对不同浓度碳氧化合物的反应	214
附录 10 人对不同浓度的多种有毒物质的反应	215
附录 11 动物对不同浓度的多种有毒物质的反应	216
参考文献	218
附录	219
附录一 常见高聚物的中、英文名称及缩写符号	219
附录二 世界主要阻燃性能测试标准	221
附录三 有关塑料阻燃性能测试方法和标准的国际和国家标准化组织	232
附录四 与阻燃及防火有关的重要名词中英对照表	234
附录五 高聚物粉尘爆炸性	235

第一章 材料阻燃性能测试方法综述

第一节 概 论

早期人们对材料阻燃性的评估，基本上是根据直觉、推测和经验。为了了解火对周围环境的影响，总体检测材料和构件的阻燃性，以便对各种材料的阻燃性进行比较，必须通过实验测定材料的各种阻燃参数。由于影响材料阻燃参数测定的因素极多，而且真正发生火灾时，被危害的常常是一个系统，例如一栋建筑或一个房间，而不是一个简单的元件，因此，人们在评估材料阻燃性及设计测定材料阻燃性能的试验方法时，应考虑多种因素的综合作用。还有，如果材料是完全燃烧，或者是不燃，则问题要简单得多。但是，大多数材料，特别是有机材料，往往是发生不同程度的燃烧。所以人们在材料阻燃性能测定方法方面所进行的研究，主要在于设计一些实用的方法，以区分各种材料在阻燃性能上的差别，并评价孰优孰劣。特别是一些工业部门，过去仅着眼于一类试验方法，用其可证明对某一特定产品，以某一种材料制造的阻燃性优于或逊于另一些材料，但这种试验方法并未充分考虑到试验条件对结果的影响。而今天，人们已有可能通过定量测定材料的各种阻燃参数及这些参数的相互关系，来预测不同材料可能引起的火危害，并指导人们采取合理的降低火危害性的有效措施。

为了研究这些参数，可将火划分为 3 个阶段，即初起阶段、全盛阶段及衰减阶段。所有可燃材料大多是在火灾全盛阶段燃烧，一般很少有阻燃能力。因此，在评估材料火危害性时，只需考虑从火初起至闪燃这一阶段，此阶段包括下述几个过程：点燃、火焰传播、释热和闪燃，它们所产生的效应称为火的一级效应。此外，这一阶段还会产生多种次级效应，即材料燃烧产生的烟、有毒及腐蚀性产物的危害。这些火的一级效应和次级效应，涉及材料的主要阻燃参数，也是材料阻燃性能测试方法的具体内容。

测定材料的阻燃性能是一个极其复杂的问题，因为影响材料燃烧的因素很多，且彼此制约。随着这些因素的变化，同一材料在火灾中的行为就很不相同，因而测得的材料阻燃性能也常有差异，有时甚至大相径庭。通常遇到的这类因素有：点火源的形式、施加火源的时间、火源的强度、材料与火源的位置、通风情况、材料的形状和厚度、材料的性能和应用环境等。而且，即使是同一种材料，因物态（固体或泡沫体或薄膜，厚或薄）及使用位置（用作墙壁？还是地板？还是天花板？）的不同，某些火试验测定的材料的燃烧特征就可完全不同。

在这样一个复杂系统中，要想准确而客观地测定有关材料阻燃性能的所有参数，并分别求得各个因素对材料燃烧的主要影响，几乎是不可能的。而且，为了试验结果的可比性，人们必须建立测试标准，严格规定测试条件。现在国际上已有很多材料（特别是塑料）阻燃性能测试标准，其中不少是针对专门行业的，如建材、电子-电气、运输（包括航运、公路、铁路及水运）、矿山、家具、纺织品、泡沫体等。不过，为国际上普遍采用的测试标准则为数较少，而且，常有某一个国家甚至某些个别工厂，对用于不同领域的塑料采用不同的标准。但问题是，测定同一阻燃参数的几个方法，有些也缺乏科学的相关性。实际上，有些阻

燃测试方法是根据阻燃法规制定的，而有些方法则主要是为了满足研究工作的需要。前者一般是很实用的，但有其局限性，其评定结果是“通过”或“不通过”。后者则往往能测得更多的阻燃参数，并可在其基础上得出较科学和定量的结果，有些还能转化为数学模型或物理模型。目前，单是在美国就有 100 种以上的测定材料上述阻燃参数的方法，而且其他国家还有一些与美国不同的方法，有时将它们的测定结果相互比较都是相当困难的。所以，有些在某个国家能够接受的阻燃材料，在另一些国家则可能不被采用。还有，有些阻燃材料的某些阻燃参数（如点燃性、自熄性）可能很好，但另一些阻燃参数则可能不合格或不能满足某些应用的要求。

综上所述，由于现有的一些阻燃试验方法所涉及的物理化学过程和影响因素极其复杂，所以有些不严格的试验所得的结果常令人失望。在 20 世纪 60 年代中期，有 7 个实验室联合研究了 24 种材料的阻燃性，当用不同的试验方法测定并根据试验结果将 24 种材料分级时，不同方法间很少有相关性，而不同实验室的分级结果则根本没有相关性。有鉴于此，ISO 决定不接受现有的那些直观的或经验的阻燃试验方法，而提倡发展和建立一些简单的、基本的方法，且每一个试验只着重测定决定火灾初起阶段过程的一个参数。与此相应，各国都在阻燃试验标准化方面进行了大量工作，并建立了一系列的标准方法。

迄今为止，人们已设计了很多火试验方法，并且还有新的方法在出现，但可以说，这些方法中没有几个是与真实火灾相关联的，即使一些已成为国际和国家标准的方法也大打折扣。

应当特别注意的是，阻燃不是一个绝对的概念，在标称材料的某一阻燃性能时，一定要具体说明采用的测试方法和测试条件。而且，为了正确使用阻燃高聚物，人们必须了解，使用现有的阻燃测试方法来评价高聚物的阻燃性是不全面的和不完全客观的，所以现代愈来愈多地采用那些可以测定材料阻燃基本性能，然后据此能够转化为数学模型和/或物理模型的测试方法。

第二节 材料阻燃性能测试方法的进展

在以木建筑为主的时代，人们就设计和应用了一些专门的试验方法，来评价建筑的可燃性和阻燃性。在 1773 年和 1790 年，分别在英国和德国，即有人研究过材料阻燃性能的测试方法。大约在 19 世纪末，在英国和美国，曾令建筑结构承受火焰，以检验构件的阻燃能力。今天，有些测定建筑构件阻燃性的方法，就是基于这种早期的原始试验标准化而成的，但今天的实验室标准化试验规定了更严格的试验条件，以更接近或模拟真实的火灾情况。例如，目前英国用于测定建材“火焰传播”的方法（BS 476.7）是在 20 世纪 40 年代初建立的，当时的意图是模拟走廊中的火灾情况。试件系垂直放置，其经轴水平，即模拟走廊中的墙壁。试验的热源为辐射板，即模拟来自走廊末端的火灾。1940 年左右美国建立的隧道法（ASTM E 84）是为了评估房间内或走廊内火灾沿墙壁或天花板传播的危害性。

早期的阻燃试验，一般是在室外进行的，即所谓开放试验，后来才逐步发展成室内的实验室标准试验，试验的规模和试件尺寸也大为缩小。这种室内试验的优点是材料燃烧产生的热可反馈至试件上，而不是将其散发至周围环境中。显然，这种热反馈效应对火过程的作用是不可低估的。

早期的阻燃试验，无论是原始的或经标准化的，都是用于检验天然材料，如木材和其他纤维素材料的。例如，在 20 世纪 30 年代和第二次世界大战期间，德国建筑工业部门就建立

了用于检测木材及木材基材料的阻燃性能试验方法，其主要目的是为了采用适当的措施以保护木建筑免遭炸弹攻击而引起的火灾的破坏。

第二次世界大战后，由于塑料的迅速发展，阻燃试验面临一个全新的形势。人们将以前用于木材的阻燃试验方法用于塑料时，发现试验现象很不相同，试验结果缺乏可靠性。例如，热塑性塑料及泡沫塑料在火中能熔化、滴落和收缩，因而在试验结果与真实火灾危害性之间，即使经验相关性也不再存在。有鉴于此，除了以前建立的经典阻燃试验外，又发展了很新的实验室阻燃试验及模型火试验。

这一时期，各国建立了很多简单而价廉的实验室方法，用于检测塑料的阻燃性能，以供研发产品时筛选用材或生产中的质量控制。但是，这些方法的结果只能用于各种材料阻燃性能的相互比较，而不具与真实火灾的相关性。不过，因为这类方法易于进行，所以已被广泛引用为标准方法，特别是在美国，如 ASTM、NFPA 和 UL 标准等。

20 世纪中后期，由于火灾模型的迅速发展，建立了一些新的特殊测试方法，例如锥形量热仪法、释热量热仪法等。利用这些方法，可以测定材料很多与火灾发展有关的参数，如释热速率、临界热流量、表面辐照损失的热响应参数、汽化热、火焰极限热流量、燃烧热、腐蚀系数、火焰传播系数、火焰淬灭指数、燃烧产物等。其中释热速率被认为是最重要的火灾参数，但至今人们不甚明了释热速率与材料物理-化学性能间的定量关系，只是建立了几个相关模型，可一般地描述材料点燃温度、点燃时间、汽化热、质量损失速率及释热速率与热力学及材料传输性能的关系。

现在，人们已能在标准化的实验室试验中，测定材料的各类阻燃性能参数。但是，根据实验室试验得出的结果，很难预测材料在真实火灾中的危险程度。所以，目前人们又发展了一些大型试验（如制成品或整机火试验、模型火灾试验等），试图在更接近真实火灾的条件下，测得材料的一些阻燃性能。在 20 世纪末，一些国家已经或正在建立大型试验法，特别是模拟真正火灾的大型试验，并建立计算机模型，包括区域（zone）模型和场（field）模型。不过，这种大型试验费时很多，耗资巨大，非一般实验室力所能及。另外，有些大型试验，目前也还是经验性的，并不总能得出令人满意的结果。再者，人们还在通过多种物理和数学模型，以期能由一些小型试验结果来推测材料在真实火灾中的行为，但这肯定是一个比较复杂的问题，不过正获得进展。

现在已出现一些第二代的描述“对火灾参数反应”的试验方法，它们已不再是基于经验，而是科学地制定了测定火灾参数的程序，这类方法虽尚未普遍为人接受，但无疑是材料耐火性能测试的基础。

第三节 材料阻燃性能测试方法分类

材料阻燃性能测试方法根据试件大小可分为实验室试验、中型试验及大型试验 3 类。但前两类是最常用的，也是本书讨论的重点。在实验室试验及某些中型试验中，根据被测材料的一些对引发火灾具有决定性影响的参量，如可燃性、点燃性、火焰传播、释热及二次火灾效应（生烟性，火灾气体的毒性及腐蚀性）等分类。

阻燃性能测试方法通常可分成下述 6 类，这也是一般文献中常采用的分类方法：①可燃性和可燃性（如点燃温度和极限氧指数）；②火焰传播性（如隧道试验和辐射板试验）；③释热性（如锥形量热仪和量热计试验）；④生烟性（如烟箱试验和烟尘质量试验）；⑤燃烧产物毒性及腐蚀性（如生物试验和化学分析法）；⑥耐燃性（如电视整机或建筑部件耐火性试

验)。

上述 6 类方法看似比较简单,但每一类中的很多种则相当复杂。点燃性和可燃性是要测定火是否易于引起;火焰传播性是要测定火是否易于蔓延和火传播速率;释热性是要测定材料燃烧时的放热量及放热速率,以了解火的发展趋势及火对邻近地区的危险;生烟性和有毒及腐蚀性燃烧产物试验是要测定材料燃烧时的生烟量及火灾气体的毒性和腐蚀性,以了解材料对生物及设备的危害性;耐燃性试验是为了了解某种材料构筑成的建筑物或建筑物的一部分(如墙、地板、天花板)或其他制品,在强热及火焰的作用下所能经受的时间,即它们在火中倒塌或破坏或燃尽所需的时间。

第四节 各类阻燃性能测试方法概述

一、点燃性和可燃性试验

材料的被点燃与点燃源所能提供的热量、可供氧量及施加点燃源的时间等一系列因素有关。点燃源可以是化学热能(如火焰)、电热能(如电热丝或电热棒)或机械热能(如摩擦生热)等。

点燃性试验可检验材料是否易由对流或辐射热或由火焰点燃。材料能否被点燃及何时被点燃,取决于辐射热源的强度及是否采用明火。采用适当的试验方法,可以模拟材料在初起至闪燃过程中各个不同阶段被点燃的倾向,从而可以确定材料在低强度点燃源(无辐射热源)下是否会引起火灾,和在高强度辐射热源下是否能使小火发展成闪燃。

多种点燃性试验均能测定材料的点燃性,表征特定材料对点燃源的反应,并可给出定量的指标,但每一种方法都是有选择的,适用于一定的场合,且肯定不能包括所有可能的点燃机理。

点燃试验中的变量有点燃源的类型,空气流速(从静止空气到高流速空气),被点燃材料的初温,试件相对于点燃源的位置(大多数试验倾向于垂直放置试样)等。在上述点燃试验中,最受人重视的很可能是氧指数试验。如氧指数只是作为一个材料点燃性的指标,则它在区别和比较点燃性上是相当合理和有用的;但如作为复合材料的易燃性标准,则很可能造成误解,因为在氧指数试验中,很多有关材料点燃性的参数均未考虑,而且该试验采用的试件尺寸很小,试验中无明显的空气流动,试件从顶部点燃,这些条件都可能是造成试验结果变动的原

因。还有一种有的文献上称之为“不燃性试验”的测试方法,也应属于“可燃性试验”。因为实际上该试验强调的是材料的可燃危险性,而不是材料的不燃安全性。该试验可区别可燃材料和不燃材料,前者大多为有机物,后者大多为无机物。但有些含少量有机物的无机物(如含合成树脂黏结剂的无机物纤维垫)也有可能不能通过此试验。

二、火焰传播试验

火焰传播是指火焰沿材料表面发展。火焰传播是一个表面现象,决定它的关键因素是在材料表面有可燃性气体产生,或者在材料内部能形成可燃气体但又能逸至材料表面。火焰传播必须将材料表面的温度提高至点燃温度,这种升温是由向前传播的火焰的热流引起的。因此,材料的点燃也与火焰传播有直接的关系。绝缘材料的表面能更快地被点燃,因而具有更高的火焰传播速率。

火焰传播速率是在一定燃烧条件下,火焰前沿发展的速率。火焰传播速率越高,越易使火灾波及邻近的可燃物而使火灾扩大。有时,传播火焰的材料本身火灾危险性不高,但火灾

所能波及的材料造成的损失则十分严重。所以材料的火焰传播速率在阻燃技术中是一个不可忽视的参数。

为了使燃烧传播，必须供给邻近燃烧的物质以足够的热量，并使其达到燃烧阶段。当邻近物质处于最初燃烧物质的表面上时，易于实现燃烧，而处于内部时，则难于被点燃。所以燃烧的传播经常视为一种表面现象。对于塑料，当其大部分面积都暴露于高热下时，表面火焰的传播速率可认为是燃烧传播的实际度量。

有多种测定材料表面火焰传播速率的方法，但不同的火焰传播试验适用于阻燃性能不同的材料。对阻燃性较低的材料，宜采用低强度的火焰作为点燃源，对阻燃性较高的材料，则除了点燃源外，还采用其他热源（如辐射热源）来加强火焰的传播。有些火焰传播试验还考虑了火焰本身对流和辐射给热，因为这种热反馈能提高火焰传播速率。

在这类试验中，被试材料与点燃源的相对方向是一个重要问题。只有少数这类试验，其试件方向可在 360° 范围内变化。实际上，不同的表面方向会得出不同的试验结果。例如，同一种材料，作为墙壁或地板或天花板试验时，其表面火焰传播速率可能很不相同，这主要是由于材料表面方向不同造成的。而且不同试验方法（按规定的表面方向）结果的相关性也很差，有时甚至无任何相关性。此外，改变试验时空气流动的方向，从与火焰传播方向相同至与火焰传播方向相反，会导致试验结果的定量更加困难。还有，燃烧气体的方向（它与试件的位置有关）也严重影响火焰传播，可使火焰停止传播或增加火焰传播速率。当燃烧气体离开试件表面时，可使表面冷却，降低火焰传播速率；当燃烧气体沿试件表面移动时，有助于火焰传播；当燃烧气体渗入试样内部时，可导致试件下层材料燃烧，使材料的燃烧不仅限于试件表面，从而使材料的可燃性大为提高；当燃烧气体沿燃烧背面移动时，则可能使火焰熄灭。

在设计测定火焰传播速率试验方法时，必须考虑上述提及的诸多因素。多种这类试验方法的差异在于适应于不同的材料（塑料、泡沫塑料、纺织品、涂料）、采用不同的点燃源、点燃源施加不同的时间、试料的尺寸及放置方向不同等。

三、释热速率试验

物质燃烧时放出的总热量称为总释热量，单位质量（或体积）物质燃烧时单位时间所放出的热量称为释热速率。总释热量及释热速率均可用热流强度单位表示，但随测定方法不同，单位也不一样。当以美国俄亥俄州立大学（OSU）释热仪测定时，总释热量的单位为热量/面积，释热速率单位为热量/（面积·时间）；以锥形量热仪测定时，总释热量（有效燃烧热）的单位为热量/质量，释热速率单位为功率/面积。物质燃烧的不同阶段的释热速率是变化的，常测定最大释热速率和平均释热速率。释热速率影响火灾环境温度和火灾传播速率，是材料潜在火灾危险的决定性因素之一，释热越大的物质，越易于和快速达到闪燃，火灾危险程度越高，反之越低。

四、生烟性试验

烟是固体微粒分散于空气中形成的可见但不发光的悬浮体，而这种固体微粒是由材料燃烧或升华产生的。生烟是火灾中最严重的危险因素之一，因为较高的可见度允许人们从火灾建筑物中疏散，和有助于消防人员找到火灾地点并及时扑灭，而烟大大降低可见度，且令人窒息。

生烟性常以烟密度或光密度表示。烟密度表征在给定条件下材料分解或燃烧生成的烟对光线和视觉的遮蔽程度。材料阴燃和明燃的生烟量是不同的。烟密度越大以及烟密度增长越快的材料所能提供的疏散人员和灭火的时间越短。

根据测定原理，可将生烟量测定方法分为两类。一类是光学法，一类是质量法。前者测定烟密度（明燃及阴燃），后者测定烟尘质量。另外，烟量测定可在静态下或动态下进行。还有，测定烟密度时，可在烟生成时立即测定（热烟密度），也可待生成的烟冷却及稳定后再行测定（冷烟密度）。

用于测定塑料释热速率的锥形量热仪法及 OSU 量热仪法，用于测定塑料火焰传播速率的隧道法，也可同时测定塑料的生烟性，但其结果系以其他有关烟量的参数表示。

为了评价烟的危害性，还建立了一些模拟烟对人视觉影响的试验方法。这些试验都是基于大大简化了的假说设计的，有待改进和优化，以使之更接近真实情况。

五、燃烧产物腐蚀性试验

有机材料在火灾中分解和燃烧时，可生成多种具腐蚀性的气体。水蒸气可增加由氧化而导致的腐蚀及水溶性气体的腐蚀速率。二氧化碳可生成碳酸。含氮化合物燃烧时可放出氨和氮氧化物，后者可形成亚硝酸和硝酸。含磷化合物可放出磷的氧化物，继而可形成磷酸和其他磷的含氧酸。含硫化合物可放出硫的氧化物，它们是硫酸和硫的含氧酸的前体。含卤化合物可放出卤化氢，它们溶于水即成为氢卤酸。

火灾中生成的腐蚀性气体会侵蚀金属，造成机械部件间的公差增大；还会析出沉淀（包括导电性沉淀及非导电性沉淀），改变材料的导电性和损耗导电材料，因而形成或破坏导电性环路。

由于腐蚀而引起电子-电气设备失灵的情况甚为多见，其原因有下述 3 个：①由于电解腐蚀而使电流泄漏。这种电解腐蚀是因为存在电解质所形成的电误差而造成的；②由于电流腐蚀而产生热接触电阻。这种电流腐蚀是由不同材料间的反应引起的；③由于化学腐蚀而使金属损耗。这种化学腐蚀是由外部杂质直接作用导致的。

特别是，火灾中生成的腐蚀性气体温度很高，故可提高对材料或制品暴露表面的氧化速率，因而产生氧化腐蚀。

鉴定和分析各种气体的潜在腐蚀性是困难的，而且目前的科学水平也尚不能准确测知不同浓度的多种气体混合物对某一特定金属的腐蚀性。有很多测定燃烧产物腐蚀性的方法，大多是在水平管式炉中燃烧试样，然后将燃烧产物溶于水中，再测定水溶液的 pH 值或滴定其中的酸含量，以评价燃烧产物的腐蚀性。但近年来，也有人通过燃烧气态产物对电气线路的影响来估测该产物的腐蚀性。

六、燃烧产物毒性试验

在火灾初起，当热的威胁还不甚严重时，有毒气体已成为对生命安全的首要威胁。显然，燃烧时放出有毒气体较多的材料，火灾危险性越大。有机物分解或燃烧时，能放出多种有毒气体，其中最常见的是氧化碳。含氮有机物则可放出氰化氢和氮的氧化物，含卤有机物则可放出卤化氢。

高聚物分解和燃烧时生成的产物与一系列因素有关，包括高聚物的组成、供氧情况、温度及升温速率、反应的吸热性或放热性、可燃挥发物释出的速率等。燃烧、热裂解和热氧化生成的产物是很不同的。

鉴定和分析所有燃烧产生的有毒物是很困难的，而且，多种不同浓度的有毒物的混合物对人体的综合危害也不是目前科学水平所能预测的。通常是在实验室观察材料燃烧所释出的有毒气体混合物对动物的整体效应，其结果可用产生一定效应的时间或浓度，例如使动物半数致死所需的时间或有毒物的浓度（ LC_{50} ）表示。可用的试验测定方法有化学法、生理学及生物法等，但最常用的是生物法。

燃烧产物毒性试验方法仍处于早期阶段，尚存在一些问题，如化学分析法未考虑多组分的联合效应，且有些组分，尽管含量很低，甚至低到不可检测，但仍具有可观的生物活性。生物法虽能检测火灾气体对生物系统的总效应，可更实际地估测有毒火灾气体的危害程度，但试验繁难。为了避免动物试验，ISO 一个专门工作小组还研究了一个生物-分析方法，可用于评估火灾流出物的潜在毒性。另外，近年还发展了一些可用于评估燃烧产物毒性的模型，详见本书第七章。

七、耐燃性试验

耐燃性试验通常是对整个构筑物或部分构筑物或构件进行的，如房屋、地板、天花板、墙面等，这时可观察火对被试系统的作用。当然，材料肯定对系统的耐火性是有影响的，但在某些情况下，系统中的一种材料可能会保护另一种材料；而在另一些情况下，系统中的一种材料则可能点燃另一种材料。例如，一种阻燃性很好的地毯，如果在它下面衬以可燃的橡胶垫，则后者将是点燃地毯的主要原因。所以，更实际的火试验是检验整个系统对一定点燃源的耐火性。

在构筑物或构件中，材料系处于受有应力的情况下，且在真实火灾中，结构中的各种材料会发生相互作用，这种相互作用常常使火易于穿透构件而使火灾蔓延。

为了进行对一个系统的耐火试验，就必须构筑这样的系统，并使其在火试验中破坏，即在大型火试验中，检验系统中的地板、墙壁、天花板、屋顶及主柱等构件在火中的行为。由此类试验可知系统的某一部分点燃时，对系统中另一部分及与系统邻近物件的影响，可以得出不同条件下不同时间内温度与时间的关系曲线。同时，对耐燃试验，常令系统在加载下进行，因为加载构件与无载荷构件对火的反应是不一样的，加载构件在火中被破坏或倒塌，可起因于高温下材料的强度下降，也可起因于真正被烧毁。而无加载构件的火试验则与实际情况相去甚远。

显然，这种大型的耐燃试验是十分复杂的，且费用甚昂，但有时又是非常必要的。如果设计和实行合理，这种试验能提供比较肯定和有价值信息。

第五节 对测试方法的基本要求

阻燃试验方法通常系根据有关专门的法规或行业自愿的协议制定的。在建立为权威部门和其他组织机构采用的阻燃试验方法时，下述几点是应当考虑的。首先是环境试验条件，即试验的环境应能改变（如更换试件的方向），以便能模拟多种火灾情况；其次是应能检测制品元器件，即应能以制品形式检测材料，因为这种制品是实际使用的；再次是要再现性好，即试验结果的分散带应足够窄，以便有可能根据试验结果选用合适的材料；还有是应易于操作，即在试验室中和在较短时间内，能为受过一定专门训练的人完成；最后是要费用低，即试验必须经济，耗用低廉。

对试验的上述要求，目的在于通过试验能定量地和尽可能多地测定材料各种阻燃参数，并能将实验室试验结果与大型火试验结果或真实火灾情况相关联。但为数极多的阻燃试验均远离上述要求，它们或多或少是一个多方面都较满意的折中方法。

第六节 测试方法中的主要影响因素

在阻燃性能测试中，特别是实验室试验中，测试设备都被认为是一个封闭系统，即与周

围环境不存在相互作用。对这样的系统，很多变量，特别是试件和点燃源等，对测试结果有决定性的影响，而另一些变量，如通风情况及测试系统的体积，则影响较小，大多不予考虑。

有关试件的主要变量是：①试件的形状 由于实际的原因，一般倾向于采用平板状试件。很多试验也采用组合试件，其厚度也与制成品相同。但这种制成品也只能代表一部分结构，在建筑行业更是如此。但在电气部门则并非如此，能以实验室试验检验很多真正的制成品，如插座和开关等。②试件的位置 试件的位置可有多种，但较好的方向是以水平、垂直或成 45° 倾斜布置试件。

对点燃源，起主要作用的参量是：①强度和类型 主要的点燃源是不同强度的明火，如火柴、酒精灯、煤气灯（包括小型喷灯、本生灯、多用途喷灯等）。也常采用煤气辐射器、电辐射器及辐射板，热介质（如空气）则较少采用为点燃源。此外，中型火焰也经常采用。②位置 常以水平、垂直或成 45° 倾斜布置点燃源。③作用于试件的方向及作用时间 点燃源从什么方向（例如从试件边缘还是从试件表面）作用到试件上，及作用时间的长短，对测试结果的影响是很大的。

由上述可知，即使只考虑有关试件及点燃源的各种因素，就可理解为什么不同试验方法所得结果很少一致。

有些测试方法只能测定材料单一的阻燃性能，而另一些则可同时测定多个阻燃性能。例如，ISO 1182 可燃性试验即属于前者，法国 Epiradiateur 试验即属于后者，它可同时测定材料燃烧时的释热性及火焰传播速率。有些阻燃性能参数在很多国家的有关标准中均进行测定，尽管命名相同，但由于试验条件有异，所以缺乏可比性。人们希望采用为国际接受的试验方法，来测定这些阻燃参数，这方面的工作正在进行中。

第七节 测试方法的相关性

如果能建立材料阻燃性能测定结果与真实火灾过程的相关性，则可正确地估计各种材料的火灾危害程度。一般说来，法规所定的有些实验室测试方法的结果，与大型试验结果，甚至与真实火灾事故间，也存在一定的相关性。很多研究证明，一些在某些实验室试验（如隧道试验）苛刻条件下能通过的材料，通常在大型火试验中也表现较好的阻燃性能。但是，仅根据实验室试验结果，甚至大型试验结果，不能可靠地评估材料的真实火灾危害性，因为一定的试验条件只能部分地再现火灾事故。所以，在评价材料火灾危害性时，还应结合实际火灾中取得的经验。

除了进行实验室试验与大型试验及与真实火灾相关联外，采取相反的关联，也是有用的，这就是说，从真实火灾及大型火物理模型开始，然后缩小规模，但保持系统重要的化学及热力学性能及几何形状，再与实验室试验结果相关联。实际上，由于经济和时间上的原因，人们常采用后一种方法。这样一来，“舱室试验”就可由几何形状一样的实验室试验所代替。同样，规模较小的“室角试验”也可用来检测系统的一部分，以帮助材料筛选。

实际上，即使在今天，对火灾危害性的评估还一般是基于直觉和经验，而较少涉及影响火灾过程的一些参数的基本原理和理论，对有关火参数的系统科学研究仍在进行中。但这些火参数不能被认为是孤立的，否则运用它们来表征火灾不会比用直观及经验方法更准确和更可靠。不过，现有的工作表明，人们正在引用基本的火参数理论及经验知识，动态地将火灾表征为一个完整的系统。