

阻燃纤维及织物

桂伟民 黄象安 陈佩兰 编著

纺织工业出版社

前 言

近年来,随着纺织工业的不断发展,各类纺织品,特别是铺饰用和产业用纺织品的产量迅速增长,应用领域已从原来的民用衣料扩展到工业、交通、军工、卫生和旅游等各个部门,但与此同时,由纺织品引起的火灾事故也相应增加,造成了生命和财产的重大损失。为此,世界各国都纷纷制订各种法规,对纺织品的阻燃性提出了明确的要求,并积极进行阻燃纤维与织物的研究和开发。在此形势下,研制和生产价格合理、综合性能良好的阻燃纤维和织物已成为我国纺织工业的一个重要课题。

全书可分为两大部分。第一部分为阻燃化学基础,主要叙述燃烧的基本概念、纤维材料的燃烧性、表征方法及影响因素;阻燃剂及其阻燃机理,各类主要纺织用阻燃剂的性能;制造阻燃纤维及织物的各种方法及其特点。第二部分为阻燃纤维及织物各论。按纤维的化学结构分章讨论各类纤维和织物的阻燃方法,主要工业产品的性能和用途。基于聚芳酰胺纤维的特殊性能和近期的发展,我们将它从其它阻燃纤维中分出设专章介绍。

本书各章分别由陆伟民(绪论、第一、二、三、四、八章第十一章第二、七节和附录)、黄象安(第七、九、十章)和陈佩兰(第五、六章和第十一章第一、三、四、五、六节)撰写,全书由陆伟民统稿。在撰写过程中,承南京市化工设计研究所、江苏省纺织研究所、北京市化学纤维研究所、吉林

省化学纤维研究所和湖南锡矿山矿务局的蒋幼生、陆书朋、高景晨、郭文惠和陈习宜等各位高级工程师热忱鼓励和帮助，在此一并致以衷心感谢。

限于笔者水平，不当之处在所难免，敬请读者批评指正。

编 者

1988年8月

目 录

绪论.....	(1)
第一章 纤维的燃烧.....	(5)
第一节 燃烧的基本概念.....	(5)
一、燃烧过程.....	(5)
二、燃烧体系.....	(7)
第二节 热对纤维的作用.....	(9)
一、热对纤维的物理作用.....	(9)
二、热对纤维的化学作用.....	(11)
第三节 纤维的燃烧性.....	(16)
一、纤维的燃烧性分类.....	(16)
二、表征燃烧性的参数.....	(18)
三、燃烧反应历程.....	(22)
第四节 烟雾和毒气.....	(23)
一、发烟性及其测试方法.....	(23)
二、燃烧气及其毒性试验方法.....	(28)
第五节 影响纤维燃烧性的因素.....	(32)
一、化学组成.....	(32)
二、分子结构.....	(33)
三、炭化倾向.....	(35)
四、织物结构和重量.....	(36)
五、环境因素.....	(36)
第二章 阻燃剂及其阻燃作用.....	(38)
第一节 阻燃剂概述.....	(38)
一、阻燃剂的分类.....	(38)

二、阻燃剂的阻燃作用·····	(39)
三、阻燃剂的选择·····	(42)
第二节 无机阻燃剂·····	(43)
第三节 卤系阻燃剂·····	(50)
一、阻燃机理·····	(50)
二、主要的卤系阻燃剂·····	(52)
第四节 磷系阻燃剂·····	(59)
一、阻燃机理·····	(59)
二、主要的磷系阻燃剂·····	(61)
第五节 阻燃协效作用·····	(68)
一、卤锑协效作用·····	(68)
二、磷氮协效作用·····	(73)
三、磷卤协效作用·····	(74)
第三章 纤维及织物的阻燃方法·····	(76)
第一节 纤维的阻燃方法·····	(77)
一、提高成纤高聚物热稳定性·····	(77)
二、原丝改性·····	(78)
三、接枝改性·····	(81)
四、后处理改性·····	(82)
第二节 织物的阻燃整理·····	(82)
第四章 阻燃粘胶纤维·····	(86)
第一节 粘胶纤维的热性能和燃烧性·····	(86)
第二节 粘胶纤维的阻燃改性·····	(88)
一、后处理阻燃改性·····	(88)
二、接枝共聚阻燃改性·····	(88)
三、共混阻燃改性·····	(88)
四、阻燃整理·····	(93)

第三节	主要的阻燃粘胶纤维产品及其应用	· · · · ·	(98)
第五章	阻燃聚丙烯腈纤维	· · · · ·	(108)
第一节	聚丙烯腈纤维的热性能和燃烧性	· · · · ·	(108)
第二节	聚丙烯腈纤维的阻燃改性	· · · · ·	(110)
一、	共聚阻燃改性	· · · · ·	(110)
二、	共混阻燃改性	· · · · ·	(114)
三、	后处理阻燃改性和阻燃整理	· · · · ·	(116)
四、	热氧化法	· · · · ·	(117)
第三节	主要的阻燃腈纶产品及其应用	· · · · ·	(119)
第六章	阻燃聚乙烯醇纤维	· · · · ·	(129)
第一节	聚乙烯醇纤维的热性能和燃烧性	· · · · ·	(129)
第二节	聚乙烯醇纤维的阻燃改性	· · · · ·	(131)
一、	共聚阻燃改性	· · · · ·	(131)
二、	共混阻燃改性	· · · · ·	(131)
三、	化学交联法	· · · · ·	(134)
四、	阻燃整理	· · · · ·	(138)
第三节	主要的阻燃维纶产品及其应用	· · · · ·	(138)
第七章	阻燃聚酯纤维	· · · · ·	(146)
第一节	聚酯纤维的热性能和燃烧性	· · · · ·	(146)
第二节	聚酯纤维的阻燃改性	· · · · ·	(150)
一、	共聚阻燃改性	· · · · ·	(151)
二、	共混阻燃改性	· · · · ·	(155)
三、	阻燃整理	· · · · ·	(159)
第三节	涤棉混纺织物的阻燃	· · · · ·	(161)
一、	涤棉混纺织物的热性能和燃烧性	· · · · ·	(161)
二、	涤棉混纺织物的阻燃整理	· · · · ·	(163)
第四节	主要的阻燃涤纶产品及其应用	· · · · ·	(166)

第八章 阻燃聚丙烯纤维	(177)
第一节 聚丙烯纤维的热性能和燃烧性.....	(177)
第二节 聚丙烯纤维的阻燃改性.....	(180)
一、阻燃整理.....	(180)
二、共混阻燃改性.....	(181)
第三节 聚丙烯阻燃母粒产品.....	(187)
第四节 阻燃丙纶的应用.....	(192)
第五节 阻燃聚丙烯/聚酯共混纤维.....	(194)
一、阻燃切片的制备和纺丝.....	(194)
二、纤维的性能和应用.....	(196)
第九章 阻燃聚酰胺纤维	(199)
第一节 聚酰胺纤维的热性能和燃烧性.....	(199)
第二节 聚酰胺纤维的阻燃改性.....	(202)
一、共混阻燃改性.....	(202)
二、合成新型阻燃聚酰胺纤维.....	(207)
三、阻燃整理.....	(208)
四、接枝共聚-阻燃处理.....	(210)
第十章 阻燃聚芳酰胺纤维	(213)
第一节 聚芳酰胺的热性能和燃烧性.....	(213)
一、聚芳酰胺的热裂解.....	(213)
二、聚芳酰胺的分子结构与阻燃性的关系.....	(217)
第二节 阻燃聚芳酰胺纤维.....	(220)
一、聚间苯二甲酰间苯二胺纤维.....	(220)
二、聚对苯二甲酰对苯二胺纤维.....	(223)
第三节 聚芳酰胺纤维的阻燃改性.....	(225)
一、合成新型阻燃聚芳酰胺纤维.....	(226)
二、共混阻燃改性.....	(230)

三、阻燃整理.....	(233)
第十一章 其它阻燃纤维.....	(235)
第一节 聚氯乙烯纤维.....	(235)
一、聚氯乙烯纤维的制备.....	(235)
二、聚氯乙烯纤维的性能.....	(240)
三、聚氯乙烯纤维的应用.....	(241)
第二节 酚醛纤维.....	(242)
一、酚醛纤维的制备.....	(243)
二、酚醛纤维的性能.....	(245)
三、酚醛纤维的应用.....	(246)
第三节 聚芳砜酰胺纤维.....	(247)
一、聚芳砜酰胺纤维的制备.....	(247)
二、聚芳砜酰胺纤维的性能.....	(248)
三、聚芳砜酰胺纤维的应用.....	(250)
第四节 聚苯并咪唑纤维.....	(251)
一、PBI纤维的制备.....	(251)
二、PBI纤维的性能.....	(252)
三、PBI纤维的应用.....	(254)
第五节 丙烯酸/丙烯酰胺共聚纤维.....	(255)
一、index 的性能.....	(255)
二、index 的应用.....	(258)
第六节 聚苯硫醚纤维.....	(259)
一、PPS纤维的制备.....	(259)
二、PPS纤维的性能.....	(260)
三、PPS纤维的应用.....	(261)
第七节 聚对苯二甲酰草酰双咪唑金属螯合纤维.....	(262)
一、PTO 纤维的制备.....	(262)

二、PTO 纤维的性 能	(264)
三、PTO 纤维的 应 用	(266)
附录一 铺地纺织品的燃烧性能——室温片剂试验···	(267)
附录二 服装燃烧的试验方法·····	(272)
附录三 各国纺织品的燃烧试验方法·····	(276)
主要参考文献·····	(286)

绪 论

近20多年来,随着社会的进步,城市建设的发展,高层建筑林立,公共设施增多,交通工具增加,各类民用和产业用纺织品的消费量迅速增长,尤其是各种室内、舱内铺饰织物,如窗帘、帷幕、墙布、地毯、家具布和床上用品(睡衣、床罩、床单、枕芯、絮棉)的需求量与日俱增。但与此同时,由纺织品着火引起的火灾也不断增加,造成了巨大的损失。据美、英、日对现代火灾起因的调查,由纺织品引起的火灾约占火灾总数的一半,在纺织品中以床上用品和室内铺饰织物为起火的主要原因。例如,日本在1974年至1979年期间,由窗帘着火酿成的火灾事故高达1547起。联邦德国在1982年,由室内铺饰织物引燃的火灾约占火灾总数的20%以上,床上用品几乎占其中的20%。英国在1962年至1972年期间,由室内铺饰织物引燃的火灾事故约增加了50%,而到1980年,这类火灾事故比1962年增加了三倍。据英国有关方面统计,其火源主要是吸烟者的火柴、点燃的香烟、儿童引燃和间接加热等。虽然这类火灾只占火灾总数的23%,但死亡人数占火灾死亡总人数的61%,受伤人数占37%;如1973年有102人死亡,1983年为160人。因此,赋予纺织品以阻燃性对于确保安全、减少火灾次数和由此造成的损失有重要的现实意义。

为了保障生命和财产安全,世界各发达国家早在60年代就对纺织品提出了阻燃要求,并制订了各类纺织品的阻燃标准和消防法规,从纺织品的种类和使用场所来限制使用非阻燃纺织品。例如,美国已对窗帘、床单、睡衣、童装、汽车

用织物、野营、帐篷、玩具等各种纺织制品，广泛地制订了有关可燃性的国家法令、州法令、都市条令，以及各行业自行制订的标准和规定。日本已规定，31m以上的高层建筑、地下街道、剧场、旅馆、会场、酒吧、幼儿园、托儿所等公共设施所使用的窗帘、帷幕、地毯，以及老弱幼者使用的床上用品及服装必须达到规定的阻燃标准。另外，飞机、船舶、汽车上使用的各类纺织品在国际上也都有明确的阻燃法

表1 美国纺织品的阻燃法规

类 别	规定标准	试验方法	制订单位	实施或修订日期(年)
服用织物一般衣料	可燃性织物法 CS 191-53	45°倾斜法	CPSC	1976
儿童睡衣	DOC FF3-71 DOC FF5-74	垂直法	CPSC	1978
地毯	DOC FF1-70 DOC FF2-70	水平烟蒂法 乌洛托品法	CPSC	1971
床上用品	DOC FF4-72	水平法	CPSC	1973
窗帘		垂直法	各州、市政府	
飞机内铺饰织物		垂直法	运输部	1961
汽车内铺饰织物	FMVSS 302	水平法	运输部	1972
玩具类	Mattel公司法	水平法	行业会	1969
野营睡袋	CPAI 75	水平法 乌洛托品法	市政府、行业会	
野营帐篷	CPAI 84	垂直法、水平法	市政府、行业会	

表2 日本纺织品的阻燃法规

类别	规定标准	试验方法	制订单位	实施或修订日期
窗帘、帐幕、工程用罩布	消防法施行令第4条(3) 消防厅告示第11号	45°倾斜法、水洗、干洗	消防厅	1968 1973
家庭用纺织品(窗帘、床单)	家庭用品品质表示法	JISL1091 A、B法		1972
卧具、睡衣	消防65号	45°倾斜法、耐洗性、口服毒性、皮肤过敏	消防厅	1974
墙布	建筑标准法告示第1231号、3415号	烟、发热量、燃烧气毒性	建设者	1971 1976
飞机内铺饰织物	航空法施行规则附属书第1条	水平法、垂直法	运输者 航空局	1969
轮渡船等船舶内装饰织物	船查第367号、481号	JIS L1091 A、B法	运输者 船舶局	1971
汽车内铺饰织物	JISD1201	FMVSS302、水平法	行业会	1973
火车客车内铺饰织物及卧具	铁路监督局行政指令第81号	JIS Z2150、45°倾斜法	运输者 铁路局	1969
玩具类	玩具燃烧性标准	水平法	玩具协会	1973
军用纺织品	防卫厅规格	JIS L1091B法	防卫厅	

规。表1和表2分别为美国和日本的纺织品阻燃法规及其相应的测试方法。由表可知，美国和日本的阻燃法规，其着重点略有不同，美国是从保护消费者利益出发，以衣料为主；而

日本则是从控制早期火灾出发，以室内装饰织物和产业用纺织品为主。

除了上述纺织品外，国防军工和各种防火作业服、劳动保护服，如作战服、消防服、炉前服、焊接服、飞行服、石油服、森林服，以及某些产业用织物（火车卡车的篷布、帆布、音箱设备喇叭布、消防带等），也需要大量的阻燃织物。这些巨大的需求促进了纺织品阻燃技术的发展，各国的纺织和化学工业部门都在竞相开发研究各种阻燃纺织品。同样，阻燃纺织品在我国也有着广阔稳定的潜在市场。随着国际贸易、交通运输、文化娱乐、公安消防、劳动保护和国防建设的发展，纺织品燃烧性标准和消防法规的逐步建立和完善，对于阻燃纺织品的需求，无论在数量和品种上都日益增加，而且还希望发展抗静电、抗菌、防霉、防水等多功能的阻燃织物。据不完全统计，仅就目前我国的大型剧场、高级宾馆、铁路客车和消防服四项，每年需耗用的各类阻燃纺织品就约有4800万平方米之多。总之，发展阻燃纺织品具有很明显的经济效益和社会效益。

第一章 纤维的燃烧

第一节 燃烧的基本概念

一、燃烧过程

纤维材料的燃烧过程，即从着火燃烧直至成为最终燃烧产物，需要经过一系列复杂的物理和化学变化，这些变化具

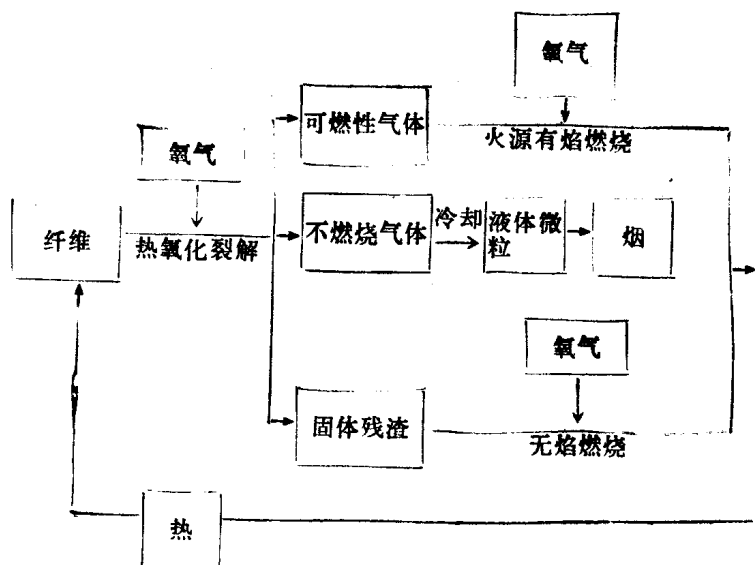


图1-1 纤维的燃烧过程

有明显的阶段性。通常，可将燃烧过程分为：（1）材料的受热裂解，产生可燃性气体、不燃性气体和炭化残渣。（2）可燃性裂解气与氧气混合，当温度达到着火点或遇到其它火源时，着火燃烧并释放出热、光和烟。（3）放出的热量使纤维继续裂解燃烧，引起火焰蔓延等三个主要阶段。燃烧的全部过程如图1-1所示。

由图1-1可知，可燃物（纤维）、热和氧气是燃烧过程三个不可缺少的要素，而纤维受热裂解产生可燃性气体，是燃烧过程的基础。因此，纤维的热性能与燃烧性是密切相关的。

若要从已经燃烧的纤维材料上除去火源而继续保持燃烧，则必须具备下列条件：

（1）燃烧释放出的热量反馈到纤维上，要足以使之连续不断发生裂解，继续产生可燃性气体。

（2）生成的可燃性气体与氧气混合，并扩散到已点燃的区域。或者使燃烧火焰蔓延到可燃性气体与氧气混合气区域。

这样，可燃物、热和氧气三个要素构成了燃烧循环。

图1-2为燃烧过程中燃烧时释放出的热量、因热交换损失的热量与温度的关系。图中横坐标为温度，纵坐标为热生成或热损失。随着环境温度的升高，燃烧时放出的热量呈指数增加（曲线Ⅰ）；而与环境热交换损失的热量大致正比于燃烧温度与环境温度的差值（曲线Ⅱ）。曲线Ⅰ和曲线Ⅱ的三个交点A、B、C分别为放出热量与损失热量的平衡点。A点是环境温度，C点是稳态燃烧温度，这两点是稳定的，而B点是不稳定的。B点的左侧热量损失超过热量的释放，右侧则相反。因此B点的温度（ t_i ）是引燃温度，同时也是自熄

温度。显然，热损失曲线Ⅱ的斜率与环境温度有关。因此，同一种纤维材料在不同的环境条件下可能是可燃的，也可能是难燃的，这完全取决于有没有B点的出现。

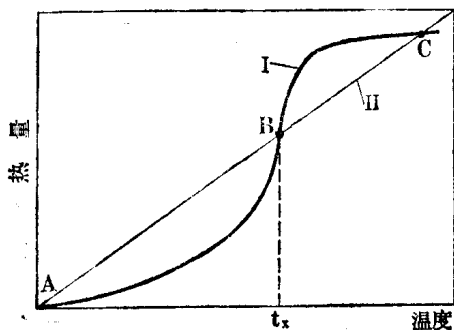


图1-2 燃烧过程中的热生成和热损失

除了上述可燃性气体与氧气的气相有焰燃烧外，还有裂解时形成的炭化残渣与氧气发生的固相无焰燃烧（又称阴燃）。这两种燃烧均会产生烟雾，但是，无焰燃烧所需的温度比有焰燃烧要高得多。阴燃也能烧毁材料，有时并能突然爆发火焰成为有焰燃烧而引起火灾。

二、燃烧体系

燃烧过程在空间的分布一般可分为5个区：（1）凝聚相加热区；（2）凝聚相反应区；（3）气相加热反应区；（4）火焰区；（5）燃烧产物区。

每一个区域都发生不同的物理和化学变化，这些变化可由各区的温度和产物分布所证实。燃烧时凝聚相反应区、气相加热反应区和火焰区的变化最为剧烈。在凝聚相加热区，聚合物在热源作用下，温度逐渐升高，发生物理吸热，升温速率主要是由热源温度及物体与环境的温差等因素决定。

在凝聚相反应区，由于高温的作用，随着聚合物结构和受热情况的不同，进一步发生各种热裂解、热氧化裂解、脱氢、缩合、环化和炭化等化学反应，这些反应有的是放热的，有的是吸热的。

由凝聚相反应区生成的各种裂解产物和少量分散的微粒炭，在向气相加热反应区扩散过程中，它们被继续加热而发生进一步裂解，并与空气中的氧气混合反应放出热量。这些热量除用于本区的裂解外，还向凝聚相反应区反馈一部分，以维持凝聚相反应区反应的进行。因气相加热反应区靠近材料的表面，温度不太高，裂解产物浓度较大，氧气浓度较小，因此，发生不完全燃烧而形成一些与石墨结构相似的微粒炭，或在材料的表面形成炭化层。

由气相加热反应区逸出的深度裂解产物和氧化产物在向火焰区扩散的过程中，因火焰区氧气浓度最高，而完成全部的燃烧反应。反应放出的热量或传递给相邻的气相加热反应区，或以辐射的形式传递到其他各区。显然，反馈的能量与扩散到外部的能量的比率与燃烧物的形态、火焰的蔓延方式有关。

实际上，燃烧是一个连续的过程，各区域之间并无绝对的界限，它们相互结合而成为燃烧波。

由上述分析可知，在稳态燃烧时，每一个区域所发生的物理和化学变化都需要靠其本身反应放出的热量或高温区传入的热量来维持，各区的反应物则由其本身的反应产生，或从低温区进入。其中凝聚相反应区发生的反应对气相燃烧的影响最大。裂解反应生成的可燃性气体是气相燃烧反应的原料，可促使火焰蔓延；但脱氢炭化形成的焦化层，因其良好的绝热性，可抑制热量向凝聚相加热区和凝聚相反应区传