

纺织用品中阻燃纤维的阻燃机理及应用分析

田朝发

(云南省产品质量监督检验研究院 云南 昆明 650000)

[摘要]人们在家居生活、建筑规划、军事准备、医疗服务、生物研究等领域对纤维纺织产品有着巨大的需求。而未经阻燃处理的纤维织物表现出较强的可燃性,在日常穿着和办公应用中容易引发火灾事故,具有危险性。因此,对纤维织物进行阻燃处理逐渐成为保证纺织品安全的有效策略。根据阻燃机理,需要保持纤维织物的原有品质,减少质感退化的问题。

[关键词]纺织用品;阻燃纤维;阻燃机理;应用分析

[DOI] 10.12252/j.issn.2096-627X.2021.09.1100

大部分纺织品是易燃的,不仅威胁到人们的生命财产安全,而且对相关产业的发展也造成很大损害。阻燃纺织品可以从源头防止火灾,因此已成为一项重要的性能要求,并且即将采用安全、舒适和环保的阻燃整理方法。当前,棉织物阻燃技术已经成熟,合成纤维基阻燃剂的研究和应用取得了良好的市场经验效果,但其缺点也很明显,如染色效果、耐久性、接触性和阻燃处理后的强度等。而且合成阻燃单体的成本也会增加。同时国内外阻燃纤维品种越来越多,性能越来越好,但长寿纤维仍然短缺,相关研究仍在进行中。

一、阻燃纤维的阻燃机理

随着科技和纺织业的发展,物质种类逐渐增多,物质的阻燃性能成为衡量质量的因素之一。织物的阻燃整理并不意味着成品织物不与火源接触燃烧,而是尽量降低织物的可燃性,减缓火灾蔓延。从明火中分离后,组织上的火焰无需重新点燃就可以迅速去除。燃烧一般需要三个条件:可燃性、热源和氧气。为了达到阻燃剂的目标,必须中断三种燃烧条件之间的循环。目前,公认的防火机制有以下几点:

(一) 泡沫隔离

在纤维织物表面使用阻燃剂后,如果织物所在的环境以高温为特征,则在织物表面添加的阻燃剂会转化为泡沫涂层,使纤维与空气分离,实现保温效果。减少可燃气体的量,有效控制织物燃烧的传播能力。燃烧控制主要有两种:(1)高温下,阻燃剂转化为降解产物,可促进纤维表面的水分解,有效保护纤维聚合物免受深层裂缝的侵害,显着隔离热分解产物,形成燃烧抑制作用。掺入阻燃剂的磷基成分可以控制含氧聚合物在燃烧中的作用,从而实现有效的阻燃剂保护。(2)在燃烧条件下,磷卤化物和硼火焰保护成分形成一种非挥发性薄膜,附着在纤维表面,有效地分离热分解物质,适当控制火,达到阻燃目标。

(二) 吸热机理

一般来说,燃烧反应可以在短时间内产生高热。如果在燃烧过程中迅速转移或吸收部分热量,可以降低火焰温度,部分抑制燃烧。当组织在高温下燃烧时,一些高温阻燃剂会变成内皮分解反应(如相变、脱水等)。吸收燃烧过程中的部分热量,从而降低组织燃烧温度,降低纤维表面温度,减少可燃气体的释放,抑制聚合物的热裂解。无机阻燃剂一般是内皮阻燃剂,如氢氧化镁和氢氧化铝。

(三) 可燃成分稀释

高温条件下,阻燃剂在热作用下分解不可燃气体,从而稀释燃烧产生的可燃气体,有效控制可燃气体的释放量,使其无法达到火焰形成的浓度状态。同时,氧气成分在燃烧的组织周围稀释。难燃烧气体形成热对流后,它消耗热量,有效控制燃烧的传播速度,具有阻燃性。

(四) 自由基控制机理

根据燃烧链理论,自由基是保持燃烧的基础。在气相燃烧区,阻燃剂可以捕捉燃烧反应中的自由基,防止火焰进一步扩散,然后降低燃烧反应的速度,直至火焰熄灭。含卤素阻燃剂的蒸发温度接近纤维聚合物的分解温度。当组织加热并通过燃烧分解时,阻燃剂也会蒸发。热分解产物和含卤素阻燃剂位于气相燃烧区。阻燃剂中的卤素可以捕获保持燃烧反应的自由基,降低燃烧区的火焰密度,最终抑制或防止织物的进一步燃烧。

(五) 火焰密度控制

在燃烧链中,自由基是保持燃烧连续性的关键因素。当气体阶段发生燃烧时,形成的自由基被火焰剂消耗,以控制火焰大小,防止火势蔓延,并在该地区燃烧完毕后清除火焰。可以选择含卤素阻燃剂,蒸发温度等于织物的热分解温度。当组织被热分解时,就会产生燃烧的火焰。使用阻燃剂可以积极消耗自由基,控制火势蔓延速度,形成燃烧抑制。

(六) 熔滴机理

当组织加热和燃烧时,阻燃剂作用于组织纤维表面,使组织纤维聚合物发生分解反应,从而逐渐扩大点火点与熔点之间的温差,熔化的热塑性纤维收缩为液滴并减少部分热量。这将抑制燃烧过程并消除火焰。

二、纺织物阻燃纤维的种类

(一) 天然纤维

以VBS为代表的磷系阻燃剂,通过混合纺丝制备纤维素纤维。当VBS含量为18%时,纤维素纤维的氧指数(规整度)为26。阻燃剂含量增加时,表面泡沫会更加突出,烧结膜表面的孔径会更大,泡沫塑料层能有效阻止火焰扩散。低毒重纤维阻燃剂由双氰胺和甲醛在70~75℃下反应合成,当阻燃剂质量分数为26%时,若将0.5mol/L NaOH溶液喷洒在待检棉织物上,LOI值可达31而不影响其弹性。加入一定量的阻燃纳米二氧化硅,加入氢氧化钠、硫脲、尿素和水溶液,与纤维素膜混合制成阻燃纤维素膜。当阻燃剂的质量分数超过12%时,该规律可达31。

(二) 维纶阻燃纤维

乙烯基又称乙烯基,是乙烯基乙酸的商标名称。其性能类似于棉花,因此被称为“合成棉”,是合成纤维下吸湿性最高的纤维。乙烯基具有良好的化学稳定性、良好的耐候性和耐阳光性、较强的耐酸性和耐碱性、比尼龙和涤纶强度较弱、染色能力较差、耐起皱性和染色材料无光性。采用溶胶凝胶技术,首先将聚合物阻燃剂转化为纳米颗粒,然后采用特殊工艺制备阻燃聚乙烯纤维。阻燃乙烯基纤维不仅具有纤维本身的物理特性,而且具有无毒、阻燃、不熔化、不滴的特性。阻燃乙烯基纤维纺织产品在安全和服务方面有了很大改进,广泛应用于工

业、军事、纺织品、建筑等领域。以无卤六苯基磷阻燃剂和聚乙烯醇为原料制备了丝绸混合阻燃乙烯基纤维，研究了该纤维的阻燃机理和性能。结果表明，随着纤维中阻燃剂质量分数的提高，阻燃乙烯基纤维的阻燃性能得到了提高。当阻燃剂的质量分数为30%时，阻燃乙烯基纤维的热稳定性将大大提高。甲醛处理后，阻燃乙烯基纤维的氧极限指数下降了一定程度，但仍满足了防火要求。采用在乙烯基水溶液中加入热解吸附法制备阻燃乙烯基纤维，研究了磷有机磷阻燃剂热解吸附法对阻燃乙烯基纤维阻燃力学性能的影响。结果表明，当乙烯基纤维与阻燃剂的质量比为10:4时，制备的阻燃乙烯基纤维具有良好的综合性能、良好的阻燃性能和力学性能。

三、纺织用品中阻燃纤维的应用表现分析

(一) 聚丙烯腈

聚丙烯腈结构纤维组织是主要由丙烯腈组成的纤维组织，与其他类型的单体组分共聚，聚合物结构是通过纺织加工形成的。这种布料在羊毛的性能上非常相似，被称为“人造羊毛”。具有抗拉强度高、保温、弹性高、耐受性好等优点。纺织产品引发的火灾事故很多，引起人们对阻燃剂使用的关注。但是聚丙烯腈的限制氧参数为17%，最低防火标准为26%，因此一定很难燃烧。采用水解反应，提高了聚丙烯腈整体结构的阻燃性能。水解反应中加入了两种试剂Hydrazin和碱，结合金属离子的特性，至少采用了三种金属离子优化纤维性能。发现优化纤维组织显著提高纤维层密度，适当控制电阻，使边界层达到标准，具有优良的阻燃性能。其中锌离子用于优化组织性能，阻燃性最强。

(二) 黏胶

黏胶纤维是以天然纤维素为主要原材，表现出较强的绿色性、清洁性、资源再生性等纺织优势。此种织物的极限氧参数为19%，表现出较强的易燃性，需要对其进行阻燃处理。经阻燃加工获得的黏胶纤维，具有染色性能强、防静电等优势，可在特种防护织物中得到有效使用。黏胶织物产品与火源进行短间接接触时，能给予防火保护响应。阻燃黏胶产品具有质感舒适、吸湿性较强、阻燃性优异等优势，在家居装饰、优质内衣等产业中得到了广泛应用。

(三) 锦纶

尼龙织物具有较高的耐久性、材料弹性和织物拉伸强度。工业领域这类织物的生产落后于聚酯，在工业生产、医疗服务、军事等行业得到了有效的推广和应用。但是尼龙纤维结构中的淀粉接枝具有活性化学性质，在高温下用阻燃剂作出反应。该纤维的阻燃处理方法有：(1)原料的阻燃处理；(2)成品的阻燃加工；(3)所有原料和制成品均须用阻燃剂处理。阻燃尼龙的加工工艺重点是共聚和混合工艺，阻燃剂主要是卤化物和磷。阻燃剂处理过程中，阻燃剂的选择要求：(1)与纤维兼容；(2)具有较高的耐高温性，要求粒径较小；当温度达到300℃时，可以起到阻燃作用。

四、阻燃纤维的结构与性能对比分析

(一) 纤维阻燃性能分析

采用极限氧指数法和45°燃烧法的接火次数法测定纤维的阻燃性，结果见表1。由表2可得，阻燃涤纶纤维和腈纶纤维的极限氧指数(LOI值)均大于27%，符合阻燃性评定标准，属于阻燃纤维。阻燃涤纶纤维的LOI值大于腈纶的LOI值。极限氧指数越高表明阻燃性能越好，因此，阻燃涤

纶纤维的阻燃性能优于腈纶纤维。

表1 2种纤维的阻燃性能

纤维名称	LOI值/%	接近火次数/次
阻燃涤纶纤维	32	≥7
腈纶纤维	30	≥5

按照日本工业标准JIS1091-77，接近火次数达到或超过3次的纤维为阻燃纤维，总接近火次数表示阻燃级数。由表2中结果可知，阻燃涤纶纤维接近火的次数达7次以上，腈纶纤维接近火次数为5次以上，因此阻燃涤纶纤维和腈纶纤维均达到纤维阻燃要求，且阻燃涤纶纤维的阻燃级数高于腈纶纤维阻燃级数。由分析可得，阻燃涤纶的阻燃性比腈纶纤维好。

(二) 纤维燃烧性能分析

试样被点燃后移开火源，2种织物试样均继续燃烧至完全烧毁。这主要是因为混纺织物中的棉纤维不具有阻燃性，非常容易燃烧；并且，织物试样为针织物，结构较轻薄疏松，也有利于燃烧。织物燃烧性能测试结果见表2。

表2 织物燃烧性能测试结果

纤维	阻燃涤纶纤维	腈纶纤维
靠近火焰	不熔不缩	不熔不缩
接触火焰	有熔滴现象,不燃烧,无烟	不熔不缩,仅炭化,冒灰烟
离开火焰	自灭	自灭
气味	烧橡胶味	烧纸味
残留物特征	黄白色硬圆珠状	黑色硬块状

由表2可知，阻燃涤纶纤维化学结构与聚酯纤维相似，腈纶纤维是经腈纶纤维改性得到，因此物理机械性能、外观和后加工性能均与普通涤纶、腈纶纤维相近。2种阻燃纤维均属于中大型化纤，通过物理机械性能测试，发现阻燃涤纶纤维相比于腈纶纤维，回潮率更小，可挠度大，拉伸断裂性能更优，比电阻值小，其可纺性优于腈纶纤维。

五、结语

许多类型的纤维组织容易发生火灾事故，对人的安全构成一定的威胁。纺织产品的生产研究应注意防火性能，为防火、安全生产、舒适生活奠定基础。为了提高纤维织物的阻燃性，有必要重点研究阻燃纤维的加工方法和工艺。从织物技术、清洁生产和智能技术的角度，加大阻燃纤维的研发深度，全面构建阻燃纤维生产体系。同时扩大阻燃纺织品产品的输送范围，充分发挥阻燃织物的防火功能。

参考文献

[1]刘斌.纤维阻燃技术的研究进展[J].消防界(电子版),2021(3):76-77.
 [2]陈敏,董子靖,孙润军,等.两种阻燃纤维的结构与性能对比研究[J].纺织科技进展,2020(12):28-30,42.
 [3]刘湖滨.纺织用品中阻燃纤维的阻燃机理及应用[J].印染助剂,2020(9):6-10.
 [4]么志高,陈冲,刘辉,等.高性能纺织阻燃纤维素纤维分析[J].煤炭与化工,2019(4):147-150,152.
 [5]李振辉,李霞,于捍江,等.阻燃粘胶纤维研究进展[J].高分子通报,2019(4):33-39.
 [6]刘芸菲,李凤美,陈彦坤,等.MPB阻燃剂的合成及在聚丙烯腈中的应用[J].合成技术及应用,2019(3):17-22.
 [7]何勇,岳海生,王桦,等.涤纶阻燃研究现状[J].纺织科技进展,2016(8):7-10.