

羽绒纤维的燃烧性能研究

李秋雁^{1,2}, 齐鲁^{1,2}

(1.天津工业大学 生物与纺织材料研究所,天津 300387;

2.天津市改性与功能纤维重点实验室,天津 300387)

摘要:从羽绒纤维自身的物理结构、化学成分入手分析了影响羽绒燃烧性能的各种因素,并从剩碳率、极限氧指数和热分析3个方面对羽绒的燃烧性能进行系统研究。得出羽绒纤维燃烧性能的参数:羽绒在空气中400℃燃烧时的剩碳率为13.78%;极限氧指数值为22%~23%;热分析显示羽绒在258.1℃时开始裂解,334.3℃时的质量损失最快,500℃后趋于稳定,在598.6℃时残留质量只有26.45%。最后将羽绒与其他纤维的燃烧性能进行对比,指出羽绒纤维阻燃性能稍差于羊毛,但好于棉和大豆蛋白纤维。

关键词:羽绒纤维;燃烧性能;极限氧指数;剩碳率;热分析

中图分类号:TS 959.16

文献标志码:A

文章编号:1000-4033(2012)07-0073-03

羽绒纤维作为一种优质的天然蛋白纤维,由于其具有轻质、蓬松、保暖的特性而被广泛应用于各种服饰和生活用品的填充物,制作成羽绒服、羽绒被、羽绒睡袋和羽绒枕等产品。它的结构特征类似于羊毛、丝绸等纤维,但目前羽绒尚未能纺制成纺织用品,因此它的各种性能未能被广泛研究和关注。目前,金阳^[1-6]等人对羽绒的形态结构和理化性能进行了研究,高晶^[7-8]等

人分析了羽绒的吸湿性能等等。然而,作为天然蛋白纤维的羽绒是可燃的,这极大地限制了羽绒的应用范围,降低了羽绒制品的安全性。同时,随着人们生活水平的提高,对纺织品安全性能要求也越来越高,因此,对羽绒的燃烧性能研究也势在必行。

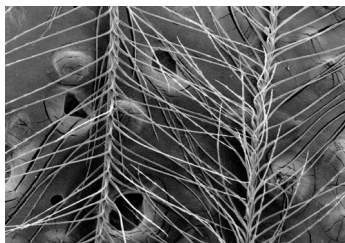
1 羽绒纤维

1.1 形态结构

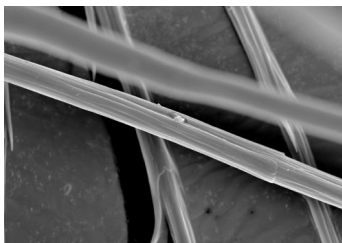
羽绒以绒朵形式单独存在,一

个绒朵上有50~80根不等的绒枝,每根绒枝长约1~3 cm,绒枝的细度8~22 μm,绒枝从绒核向四周蓬松扩散,其中每根绒枝上都排列着长度约为1 mm的细绒丝^[9-13],每根细小的绒有不同层次的节点。绒枝的扫描电镜图如图1所示。

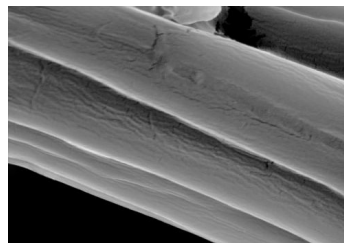
羽绒的这种结构赋予其很好的蓬松性、轻质性以及较大的比表面积。这些性能使得羽绒纤维在燃烧时与氧气接触面积大且充



(a)100 倍



(b)2 000 倍



(c)20 000 倍

图1 不同倍数下的羽绒电镜图

作者简介:李秋雁(1986—),男,硕士研究生。主要从事功能纤维的开发与研究。

分,火焰蔓延迅速。同时,燃烧的羽绒收缩成碳,覆盖未燃烧的羽绒,在一定程度上又阻碍了火焰的蔓延。所以,羽绒的蓬松性和轻质性对羽绒的燃烧性能有较大的影响。

1.2 化学成分

羽绒纤维属于天然蛋白质纤维,其内含有大量的肽键。羽绒纤维的红外谱图如图2所示,从图2可以看出,1 635 cm^{-1} 和 1 538 cm^{-1} 两处很强的 C=O 和 N—H 振动吸收峰是羽绒内部的肽键峰;羽绒纤维氮含量达到 15%~17%^[4],在燃烧过程中氮捕捉空气中的氢,产生 NH_3 ,稀释空气中的氧气,抑制纤维迅速燃烧。此外,3 423 cm^{-1} 处的—OH 吸收峰和 1 235 cm^{-1} 处的 P=O 双键峰,是由羽绒纤维表面双分子层膜上的甾醇与三磷酸脂^[3]所形成。甾醇上羟基的存在使羽绒纤维含少量吸附水,受热吸附水蒸发,降低纤维周围的温度。三磷酸脂本身就是很好的磷系膨胀类阻燃物,燃烧过程中磷捕获自由基,与氢结合,起到抑制火焰的作用。同时,磷化合物生成非燃性液态膜覆盖在纤维表面,聚偏磷酸的强脱水性使纤维脱水碳化,从而阻碍纤维进一步燃烧。

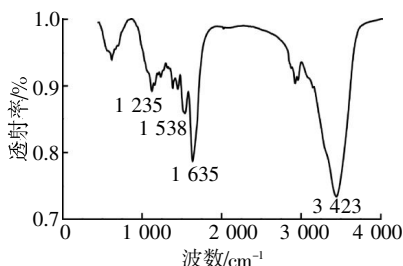


图2 羽绒纤维的红外谱图

2 燃烧性能表征

2.1 剩碳率

剩碳率是指样品在马弗炉中 400 $^{\circ}\text{C}$ 恒温 40 min 后所形成的剩碳量占原来质量的百分数,如公式

(1)所示。

$$\text{剩碳率} = (M_2/M_1) \times 100\% \quad (1)$$

式中: M_2 为样品在 400 $^{\circ}\text{C}$ 马弗炉中恒温 40 min 后所形成的剩碳质量, g; M_1 为样品的原始质量, g。剩碳率的大小在一定程度上反映了羽绒燃烧性能的高低,其值越大,纤维阻燃性能越好。经测试,羽绒纤维的剩碳率为 13.78%。

2.2 极限氧指数

极限氧指数(LOI)是指在氮氧混合气体中,样品燃烧所需的最小氧气百分数,其数值越大,阻燃效果越好。

羽绒纤维是以绒朵形式存在,质轻、短细,属于非支撑性的纤维材料,且不能编织成条,无法常规制样对其进行极限氧指数的测试。结合羽绒自身的物理特性和 ASTM D2863-70 标准用常规型 HC-2C 氧指数测定仪制作样品的要求,利用铁丝网,编织一个 1 $\text{cm} \times 1 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$ 的长方体作为支撑架,将 0.5 g 羽绒填充至其中,保证羽绒在里面不间断连续,并且氧气和氮气能充分覆盖羽绒燃烧部分。用打火机对自制支撑长方柱内的羽绒进行

点火,12 s 后撤离,观察羽绒纤维是否继续燃烧。如果阴燃距离超过 10 cm ,则降低氧气浓度;如果阴燃距离少于 10 cm 或是离火即灭,则增加氧气浓度。制取 3 组样品,按上述操作进行实验,最后测定羽绒纤维极限氧指数值为 22%~23%,属于可燃纤维。

2.3 TG(热失重分析法)-DTG(差热质量分析法)值

热分析采用德国 STA409PC 热分析仪,试样 0.5 g,在氮气保护下,升温速率为 10 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$,温度范围为室温至 600 $^{\circ}\text{C}$ 。羽绒纤维的 TG-DTG 曲线如图3所示^[14]。

从图3可以看出,羽绒在氮气保护下的热失重主要有两个阶段,第一个阶段在 100 $^{\circ}\text{C}$ 以下,主要是羽绒纤维上吸附水或束缚水的脱水反应,质量减少 2.92%,最快热失重温度为 75.4 $^{\circ}\text{C}$,热失重速率为 0.90%/min。第二个阶段则发生在 258.1 $^{\circ}\text{C}$ 以后,羽绒纤维本体的热分解过程,此过程羽绒纤维发生热裂解反应,纤维收缩,内部蛋白质碳化,各种分子间的氢键、硫键等发生断裂,并附带气体产生,直至

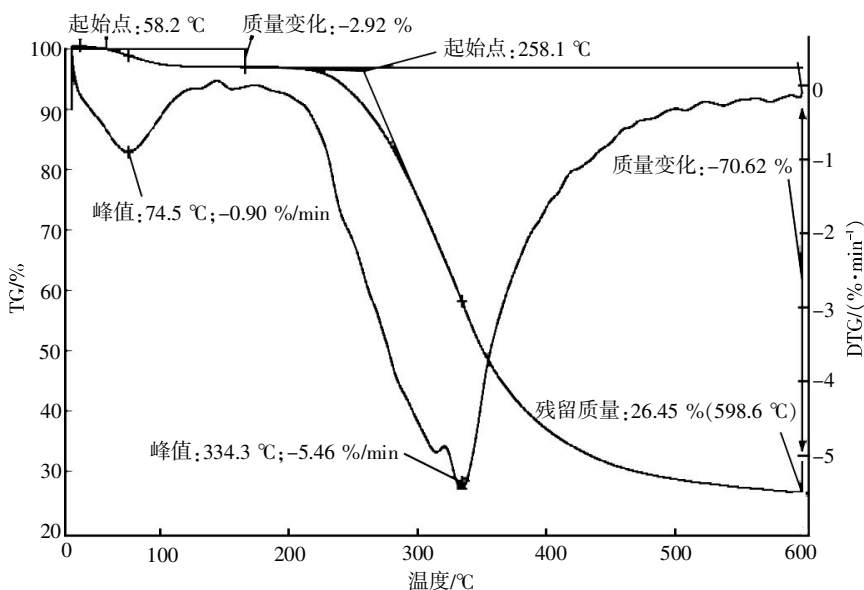


图3 羽绒纤维的 TG-DTG 图

500℃之后裂解减缓,质量趋于稳定。此阶段最快的失重温度为334.3℃时,热失重速率最大,达到5.46%/min。最后在598.6℃时羽绒纤维残留质量为26.45%。

羽绒纤维在400℃的残留质量是37.04%,而在马弗炉中燃烧测得剩碳率13.78%,相差很大,其原因是TG测试是在氮气保护条件下的纤维裂解碳化,无空气氧化过程,羽绒自身的碳含量损失较少,两者是两种不同环境下的燃烧性能指标。

3 与其他纤维燃烧性能的比较

羽绒及其他几种纤维燃烧性能的比较见表1^[15-19],具体分析过程如下:

a. 与棉纤维相比,羽绒为蛋白质纤维,氮、磷等阻燃元素含量高,具有较好的阻燃性能,属于可燃纤维,而棉纤维属于易燃纤维;

b. 在同类蛋白纤维中,羊毛有较高的回潮率,纤维内部能吸收一定水分来阻碍纤维的燃烧,并且羽绒较低的导热率使其在燃烧过程中热散失变慢,因而,羽绒纤维的阻燃性能稍差于羊毛;

c. 羽绒纤维受热不能被熔融而分解,直接受热收缩成碳,一定程度上阻碍与空气的接触,且回潮率和残碳率均比大豆蛋白纤维高,故其阻燃性能好;

d. 裂解温度越低其极限氧指数越高,这是由于低温裂解出的可燃气体尚未能达到可燃点而逃逸出去,并带走部分能量,降低周围温度使物质不易燃烧,从而提高阻燃性能。此外,蛋白质纤维之间各自的氨基酸含量和类别的差异也造成了其燃烧性能的不同。

4 结论

羽绒纤维的形态结构、化学成

表1 几种纤维的燃烧性能

纤维	热导率/ [W·(M·℃) ⁻¹]	回潮率/ %	氧指 数/%	裂解温 度/℃	残碳 率/%	燃烧情况
羊毛	0.052~0.055	14.0~16.0	26	245	23.1	燃烧收缩,有烧羽毛臭味,不易燃烧,生成黑脆容易破坏的灰
羽绒	0.048~0.054	15.0	22~23	258	13.9	燃烧收缩,无熔滴,有烧毛发臭味,生成脆黑残渣
大豆蛋白		8.6	21	330	7.3	燃烧收缩熔融,有黑烟和烧毛发气味,生成松脆黑硬块
棉		9.9	19	362	8.0	受热不熔融,遇火焰后燃烧较快

分对其燃烧性能有一定的影响。试验结果表明:羽绒在空气中400℃燃烧时的剩碳率为13.78%;极限氧指数数值为22%~23%;热分析显示羽绒在258.1℃时开始裂解,334.3℃时的质量损失最快,500℃后趋于稳定,在598.6℃时残留质量只有26.45%。这些数据为羽绒在热学性能和阻燃改性方面的研究提供了理论依据。

参考文献

- [1]金阳,洗初见,陈钢,等.羽绒纤维各项性能测定方法的探讨[J].毛纺科技,2002(1):15-17.
- [2]金阳,鲍世还,林伯样.羽绒理化性能的研究[J].现代纺织技术,2000(1):7-10.
- [3]金阳,李薇雅.羽绒纤维结构与性能的研究[J].毛纺科技,2000(2):16-20.
- [4]金阳,李益民,李薇雅.羽绒纤维与其它蛋白质纤维结构的比较[J].纺织学报,2003,24(6):83-84.
- [5]金阳,金叶飞,李薇雅.羽绒表面性能及其蓬松度的研究[J].日用化学工业,2000(4):17-19.
- [6]金叶飞,金阳,徐景华,等.羽绒织物化学后处理工艺研究[J].毛纺科技,2000(3):22-25.
- [7]高晶,于伟东.羽绒纤维的吸湿性能[J].纺织学报,2006,27(11):28-31.
- [8]高晶,于伟东,潘宁.羽绒纤维的形态结构表征[J].纺织学报,2007,28(1):1-4.

- [9]陈宏权,周莉,刘武艺,等.羽绒生长发育及其特性的研究进展[J].安徽农业大学学报,2004,31(2):236-240.
- [10]马鸣.羽绒质量各主要指标相关性初探[J].中国纤检,2008(11):49-41.
- [11]董旭东,邓玉春,姚志强.仿羽绒纤维研究进展[J].合成纤维,2006(7):12-14.
- [12]刘桂琼,曾凡同,邱祥聘.鸭绒羽理化特性的研究[J].四川农业大学学报,1996,14(1):75-79.
- [13]俞镇慌,王利伟,丁国沪.羽毛纤维和化纤混纺保暖絮片[J].产业用纺织品,2004(7):10-15.
- [14]黄翠蓉,于伟东,许海叶.羽绒服保暖性探讨[J].武汉科技学院学报,2007,20(1):25-29.
- [15]吴安成,宋修彩,易曙晖,等.羽绒(毛)结构和性能研究[J].中国纺织大学学报,1990(2):94-99.
- [16]董绍伟,刘中君.羊毛制品的氟钛酸钾/AEAPS阻燃整理研究[J].毛纺科技,2005(2):17-19.
- [17]叶霞,焦云红,屈红强,等.阻燃羊毛纤维的热性能研究[J].化学工程师,2004(5):3-5.
- [18]徐建中,赵晓珑,乔艳茹,等.阻燃大豆蛋白纤维的热性能研究[J].合成纤维,2006,22(4):227-230.
- [19]田春明.阻燃棉纤维的热降解研究[J].河北大学学报:自然科学版,2004,27(4):392-396.

收稿日期 2011年12月8日