

木材结构特性对氧指数的影响

吴玉章* 华毓坤

摘要 采用氧指数法对4种树种木材、5种阻燃物质燃烧特性的研究发现,未阻燃处理木材的氧指数在纵向上有差异,纵向高于横向,径弦向差异很小。这主要是木材结构各向异性以及各方向上的导热系数不同所致。木材树种不同氧指数也有差异,原因之一是密度不同所致。阻燃处理可使方向上的差异逆转,即横向高于纵向。同一阻燃物质对不同树种木材的作用效果不同,即树种与阻燃物质之间存在适应性问题。树种结构对氧指数有很大影响。

关键词 氧指数;各向异性;阻燃;结构特性

Effect of Wood Structure Feature on Oxygen Index

Wu Yuzhang

(Research Institute of Wood Industry, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091)

Hua Yukun

(College of Wood Industry, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037)

Abstract This paper discusses the differences between oxygen index (*OI*) of wood on vertical and transverse section by four wood species with five fire retardants. The results showed that the *OI* of vertical section was lower than that in transverse section because wood is anisotropy and coefficient of heat conduction is different in different direction. But there was no obvious difference on radial and tangential section since the radial section is similar to tangential in structure. The effect of wood species on *OI* of wood was different, high density wood had a greater *OI*. With fire retardant treatment, the *OI* of vertical section could be higher than transverse section. The effect of same retardant on different wood species was different.

Keywords Oxygen index(*OI*); Anisotropism; Fire prevention; Structure feature

费尼莫和马丁于1966年提出用氧指数法判断聚合物材料的可燃性。这种方法重现性好,又有数字结果,许多国家都采用此法作为实验室条件下聚合物材料可燃性的评价方法^[1]。

木材是非均质和各向异性的有机聚合物材料,由纤维素、半纤维素和木素等高分子聚合物组成,具有高分子化合物的多分散性。木材中的纤维素具有结构不同的结晶区和无定型区,纤维素大分子链具有一定的取向,而半纤维素呈支链状,木素呈网状结构,这使木材结构与其它有机聚合物材料相比,具有较大的特殊性和复杂性^[2]。

木材燃烧是其组分受热分解的一个综合体现。研究木材三大组分在结构排列及分布上的差异及木材

不同方向结构上的差异对氧指数的影响,可为有效利用材料特性,提高材料阻燃能力提供科学依据。

1 试验材料与方法

1.1 木材

本试验选用4种木材:水曲柳(*Fraxinus mandshurica*)、钻天杨(*Populus nigra* var. *italica*)、水杉(*Metasequoia glyptostroboides*)、松木(*Pinus* sp.),按木材横截面、径切面、弦切面3个方向加工成氧指数试件所要求的尺寸:70.0 mm×6.5 mm×3.0 mm。3个面分别在点燃试件时与火焰接触。15个试件一组,取平均值。

1.2 阻燃剂

本试验用5种阻燃剂为含有磷、氮、硼等元素的混合体系,分别以F1、F2、F3、F4、F5为代号,其组成如

下:

F1- PNB,浓度 15%

F2- UDFR 磷酸氢二铵 ,浓度 20%

F3- UDFR 磷酸二氢铵 ,浓度 20%

F4- UDFR 硼酸 ,浓度 20%

F5- UDFR 硼砂 ,浓度 20%

1.3 阻燃处理方法

试件用阻燃剂常压浸泡 4 h后取出 ,清水冲洗表面后用滤纸吸去表面水分 ,称重 ,计算阻燃剂吸收率。然后在 70℃下干燥 1 h,取出 ,在大气中平衡一周时间 ,使含水率在 12%左右

吸药率 = $\frac{(\text{浸后重} - \text{浸前重}) \times \text{阻燃剂浓度}}{\text{浸前重}} \times 100\%$

1.4 燃烧试验

采用江宁分析仪器厂生产的 HC-2型氧指数测定仪 ,参照 GB 2406-80的方法测定氧指数

2 结果与分析

2.1 未阻燃处理木材各方向上的氧指数

表 1 未处理木材三个方向的氧指数

树 种	方 向		
	横切面	径切面	弦切面
水曲柳	31	26	26
杨 木	27	24	24
水 杉	26	-	-
松 木	31	23	24

从表 可知 ,木材氧指数存在着方向上的差异 ,顺纤维方向与垂直纤维方向差异较大 ,径切面和弦切面之间没有差异或差异不大 说明横切面为受火面时较不易燃 ,而径切面和弦切面则较易燃 究其原因 ,主要是木材横切面结构是细胞壁和细胞腔 ,其中细胞腔占较大比例 ,而径切面和弦切面结构则以细胞壁为主 燃烧离不开热源、氧气、燃烧物质等三要素 首先 ,可燃物质受热分解放出可燃性气体 ,可燃性气体在外界热源的作用下着火 着火是燃烧的开始 ,燃烧放出的热量向四周扩散 ,使周围气相和固相温升 ,从而使燃烧过程得以持续 燃烧阶段材料的燃烧热是重要的影响因素 ,因为燃烧能否继续的关键 ,取决于从燃烧热中扣除达到燃烧所需的热量之后剩余热量值的大小 剩余值为负值又无外界提供热量时 ,燃烧就会停止 ;剩余值为正值且其量足以使材料产生分解并着火 ,那末燃烧就会继续 燃烧物质的多寡对燃烧热有重要贡献 ,单位体积内的燃烧物质越多燃烧热越高 径切面和弦切面单位面积内的可燃物质比横切面多 ,剩余热量值高 ,所以在同样达到着火条件下 ,这两个面更易

稳定燃烧 ,并使燃烧过程持续的可能性增加 其次从导热特性上看 ,同种木材的导热系数是纵向> 径向> 弦向^[3] ,热量在纵向传递快 ,容易分散 ,相邻部位虽受热快但不足以达到使组分分解的程度 由于热量不断向四周扩散 ,要连续不断地供给更多的热量以保证组分分解所需的温度 ,需要一定的时间 ,这样就使有限的燃烧反应热不能集中 ,外界供热不足 ,燃烧继续的条件遭到破坏 从反应动力学角度分析 ,破坏一个化学键需要一定的能量 ,木材组分的热分解就是一个破坏化学键的过程 ,其关键在于能量供应充足与否^[4] 相反 ,木材横向导热系数低 ,热量向四周扩散受阻 ,热量集中 ,使热分解、着火、燃烧及蔓延得以逐渐发展 因此 ,在相同氧量的情况下 ,横向热量易于集中 ,在短时间内使被加热部分产生分解 ,进而使着火、燃烧的过程顺利完成 这就是纵横向氧指数差异的原因所在

木材径切面和弦切面氧指数差异很小或相同 ,这与二者结构相近 ,导热系数相差不大有关

木材的氧指数值不仅在方向上有差异 ,树种之间也有差异 对 4个树种研究结果表明 ,针叶树材的松木 (纵向)大于水杉 (纵向) ,阔叶树材的水曲柳 (纵横向)大于杨木 (纵横向) 试验所用的树种密度反差较大 ,但木材的基本组成是相同的 ,只是结构上有差异 所以 ,当木材含水率及所处的温度环境相同时 ,密度的高低对氧指数有较大的影响 ,其原因与上述分析相同 Truax和 Harrison^[4]对 28种木材燃烧速率与密度的关系进行了研究 ,认为燃烧速率随木材密度的减小而增加 泡桐等 14种阔叶树材点着温度与燃烧热值试验表明 ,木材点着温度、热值与木材密度有直接关系 ,密度大的点着温度高 ,热值小^[5] 本试验结论与之相吻合

2.2 阻燃处理材各方向上的氧指数

鉴于径弦面氧指数差异不大 ,故将二者合为横向 阻燃处理之后木材的氧指数结果列于表 2

由于树种的渗透性不同 ,在相同处理条件下各树种木材的吸药率不同 ,同一树种 同一阻燃剂的吸药率差异不显著 由表 2看出 ,阻燃剂的作用使木材各方向上的氧指数逆转 ,即木材横向氧指数大于纵向氧指数 (除 F对杨木外) 其原因主要是各方向上单位面积内阻燃剂吸收量不同而形成 横切面单位面积内的细胞壁物质少 ,相应吸收的阻燃剂就少 ;而径切面或弦切面 ,单位面积内的细胞壁物质多 ,相应吸收的阻燃剂就多 ,在相同火焰条件下横向较纵向难燃

表 2 阻燃处理木材纵横向上的氧指数

Tab. 2 Oxygen index of treated wood in vertical and transverse section

阻燃剂	指标 %	水曲柳		杨 木		松 木	
		纵向	横向	纵向	横向	纵向	横向
F1	吸药率	2.9	3.5	3.1	3.8	3.5	5.0
	氧指数	38	39	53	46	44	43
F2	吸药率	4.2	5.2	13.3	16.7	5.4	—
	氧指数	33	41	52	59	43	—
F3	吸药率	3.7	4.5	8.9	11.4	4.7	6.8
	氧指数	30	39	47	52	45	45
F4	吸药率	3.6	4.6	7.8	9.7	4.5	5.5
	氧指数	29	32	38	42	33	35
F5	吸药率	4.2	5.0	10.0	18.0	4.6	—
	氧指数	31	37	48	54	39	—

由表 2还可以看出,阻燃剂与树种之间有适应性的问题,即一种阻燃剂对有些树种可表现出较高的氧指数,而对另外一些树种则较低。例如用 F1处理后,杨木的氧指数高于水曲柳、松木,松木氧指数又比水曲柳高;用 F3、F4处理后,松木比水曲柳的氧指数高等。分析其原因认为,这是树种之间结构特性差异之所致,因为杨木及松木属于结构均匀且细或中,尤其是杨木渗透性较好,所以阻燃剂分布也比较均匀;相反水曲柳的结构不均匀而且粗,造成阻燃剂分布不均,在相同的受火条件下,阻燃剂分布均匀的可很好地保护木材的各组成单元,使木材表现出较好的耐热性能。因此,木材结构均匀细致与否直接影响到阻燃

剂分布状态,进一步影响组成单元的热性能。

3 结论

1)由于木材本身结构的各向异性,使木材的氧指数也表现出各向异性,纵向氧指数高于横向氧指数。阻燃处理可使这种方向上的差异产生逆转,即横向高于纵向。

2)树种之间的差异性也比较明显,原因在于树种自身密度的差异。

3)树种与阻燃物质之间存在适应性问题,同种阻燃剂对不同树种的阻燃效果是不同的。结构均匀的木材可使阻燃剂分布均匀,其整体耐热性能优于结构不均匀的木材。

4 参考文献

1 王元宏. 阻燃剂化学及其应用. 上海: 上海科学技术文献出版社, 1988

2 成俊卿主编. 木材学. 北京: 中国林业出版社, 1985

3 侯祝强. 木材导热系数的研究. 林业科学, 1992, 28(2): 153~160

4 ISHIHARA. Combustion of Wood and its Control. Journal of the Japan Wood Research Society, 1989, 35(9): 775~ 785

5 刘燕吉. 木质材料的燃烧. 木质材料的燃烧与阻燃 (系列讲座之一). 木材工业, 1996, 10(6): 37~ 39