

不同分子量的聚乙二醇分子的吸湿性和力学性能的研究

王 飞 刘东坡 栾 天 于梦楠 刘 言 靳海斌
(浙江省博物馆, 浙江杭州, 310013)

摘要 本研究以PEG800、PEG1500、PEG2000、PEG4000、PEG8000、PEG20000在温度35℃, 湿度分别为70%和80%的环境中进行吸湿实验, 定期检测其PEG分子重量变化而计算其吸湿率。同时以泡桐木材作为载体, 将上述PEG分子进行填充并冷冻干燥脱水, 测试其顺纹抗压强度以及端面、径面和弦面硬度, 对PEG填充后的力学性能进行分析。

关键词 聚乙二醇 (PEG) 吸湿性 顺纹抗压 硬度

引 言

木材是人类最先使用的重要材料之一。仅在浙江省范围内的各类遗址中, 就出土了大量有代表性的远古时代人类所使用的木器, 如萧山跨湖桥遗址的独木舟、木桨等^[1], 余姚河姆渡遗址的斧柄、木刀、蝶形器等^[2, 3]。

目前留存在世的木质文物除了以古建筑、佛像、工艺品等形式保存下来的, 还有一种就是以出土文物的形式被发掘。其中, 出土木质文物长期埋藏于地下, 木材细胞中的纤维素、半纤维素等成分降解, 导致木材结构疏松、强度降低、含水率提高, 形成了饱水木质文物, 只能依靠水分的支撑作用才能保持原有形状。但是, 饱水木质文物出土后若不采取保护措施, 便会引起木材外形尺寸“不可逆”的收缩变形, 这会使木质文物失去应有文物的价值。

聚乙二醇 (PEG) 是一种水溶性高、蒸气压低、无毒、稳定性好的高分子。它含有的羟基能和糟朽的木材组织形成氢键形成支撑作用, 使处理后的饱水木质文物稳定且较好地保持原貌。因此, 数十年来被国内外研究人员投入到饱水木质文物的应用领域, 并成为一种比较成熟、应用比较广泛的处理方法^[4-7]。

现有的大部分研究集中在PEG分子在饱水木质文物中的应用案例, 但是对PEG分子自身的吸湿性, 以及PEG填充对饱水木质文物力学性能改变方面的研究罕见。对PEG分子的吸湿性的研究为不同地区出土木质文物脱水定型针对性地选择PEG填充剂提供了科学依据。其次, 对PEG分子填充后的木材力学性能的研究, 也为不同糟朽程度的木质文物的加固提供了理论依据。

1 实验样品和方法

1.1 样品

PEG800、PEG1500、PEG2000、PEG4000、PEG8000、PEG20000购自国药集团化学试剂有限公司，1m长泡桐木桩购自广德永旺竹木工艺品有限公司。

1.2 实验仪器

样品干燥是在DHG-9140A型电热恒温鼓风干燥箱中加热完成的。泡桐木材填充后脱水步骤是通过北京四环科学仪器厂有限公司生产的LGJ-10C四环冷冻干燥机完成的。吸湿性试验是在上海力辰LHS-80HC-Ⅱ恒温恒湿箱内完成的。

1.3 实验步骤

1.3.1 吸湿性实验

将PEG800、PEG1500、PEG2000、PEG4000、PEG8000、PEG20000各称取20g左右，装入150ml的烧杯中先置入45℃的烘箱中干燥，每隔4h称重，直至两次称重之间的重量差小于5‰，则认为样品已达到恒重。然后将上述样品放入恒温恒湿箱内，分别设置35℃温度、70%湿度和35℃温度、80%湿度的温湿度条件，通过14d的观察，并定时称重记录样品重量的变化。其中吸湿率的计算公式如下所示：

$$w=\frac{m_n-m_0}{m_z}\times 100\%$$

w 为PEG分子的吸湿率， m_n 为第 n 天PEG分子和容器的总重量， m_0 为吸湿实验前PEG分子和容器的总重量， m_z 为PEG分子在吸湿实验前的净重。

1.3.2 力学性能测试

将1m长的泡桐木桩沿生产方向以3cm厚度切片编号，且每片泡桐木片上面以3cm×3cm尺寸再加工，最后得到3cm×3cm×3cm的泡桐立方块。取同一片或者临近泡桐片的样品进行同一种力学性能测试。首先将上述泡桐木材放置于45℃的烘箱中干燥至恒重。然后将木材样品分别浸泡于水、20%浓度的PEG800、PEG1500、PEG2000、PEG4000、PEG8000、PEG20000的溶液内静置7d后，再通过冷冻干燥脱水处理。浸泡在水中的样品作为标准样品。

木材样品的力学性能包括顺纹抗压强度和木材硬度（端面硬度、径面硬度和弦面硬度）测试委托中国林业科学研究院木材工业研究所完成，其测试步骤分别参考了GB/T 1935-2009《木材顺纹抗压强度试验方法》和GB/T 1941-2009《木材硬度试验方法》标准。

2 结果与讨论

2.1 吸湿性

浙江省地区的气候属于典型的亚热带季风气候，同时处于长江中下游，因此还出现高温高湿的梅雨季节，这对有机质文物的保护、储藏和展陈带来了很大的挑战。对于通过PEG填充脱水定型的木质文物，高温高湿环境对PEG分子的吸湿效果的影响也是不可忽略的。本研究为了研究PEG吸湿性与分子量之间的关系，将分子量800、1500、2000、4000、8000、20000作为研究对象，并且以温度为35℃，湿度分别为70%和80%作为吸湿条件。

如图1和图2所示，在温度35℃，湿度分别为70%和80%的条件下，PEG的吸湿性与分子量成反比，且环境湿度对分子量在2000及以下的影响更加明显。在14d的观察期中，PEG分子量在2000及以下的样品吸湿性还未达到饱和状态，而2000以上的样品在3d左右基本达到饱和状态。

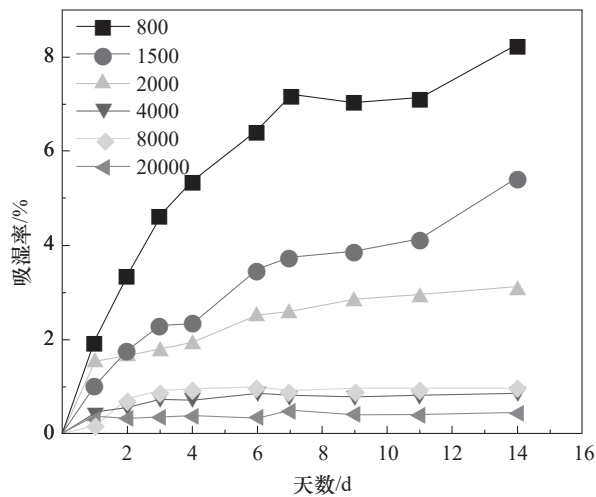


图1 PEG分子在温度35℃，湿度70%时的吸湿性

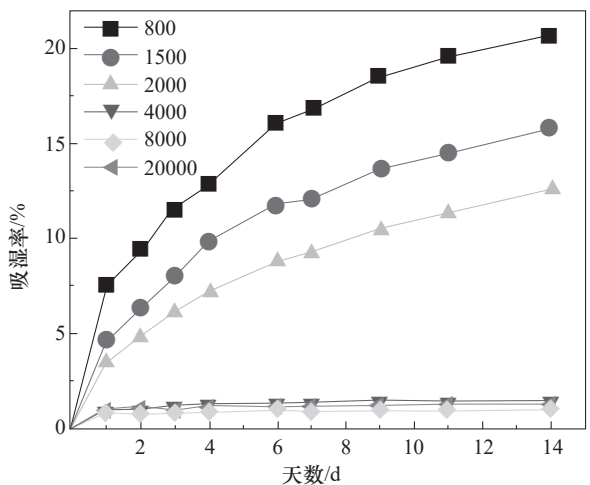


图2 PEG分子在温度35℃，湿度80%时的吸湿性

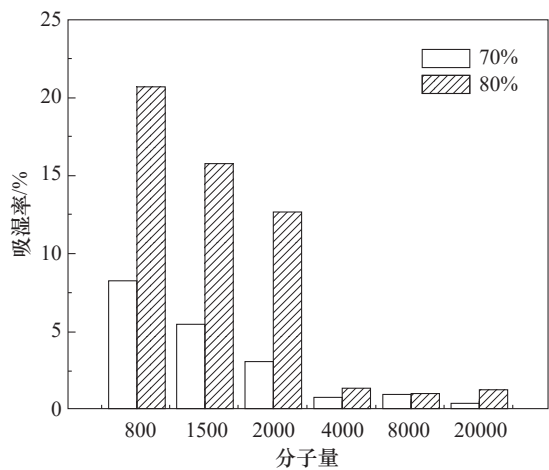


图3 不同分子量的PEG样品分别在70%和80%湿度下第14天时的吸湿率

如图3所示，在温度35℃，湿度为70%的条件下吸湿14d时，PEG样品分子量从小到大的吸湿率分别为8.27%、5.43%、3.12%、0.86%、0.96%、0.43%；在温度35℃，湿度80%的条件下其吸湿率为20.72%、15.77%、12.61%、1.44%、1.01%、1.27%。上述数据说明相同分子量的样品的吸湿率与环境湿度变化成正比，而且对于2000及以下的PEG样品的吸湿率的影响幅度远大于2000以上的样品。

2.2 力学性能

顺纹抗压强度是木材各种力学性质中的基

本指标，木材顺纹受压破坏的是细胞壁丧失稳定性的结果，而非纤维断裂，因此木材顺纹抗压的强度很高，而且受木材内外部的缺陷影响较小。木材抵抗其他刚体压入的能力、木材硬度与纹理方向有关，端面硬度较径面和弦面都高，弦面较径面的硬度一般略高或近似。

如图4中所示，泡桐的标准样品是没有经过任何PEG分子填充所得的样品。其顺纹抗压的强度低于分子量为800、8000和20000的样品。

图5所示是泡桐木材在不同PEG分子填充后的端面、径面和弦面硬度图。相对于标准样品，被PEG填充后的泡桐木材的端面硬度均产生了不同程度的增长，而径面和弦面的硬度变化相对较小。

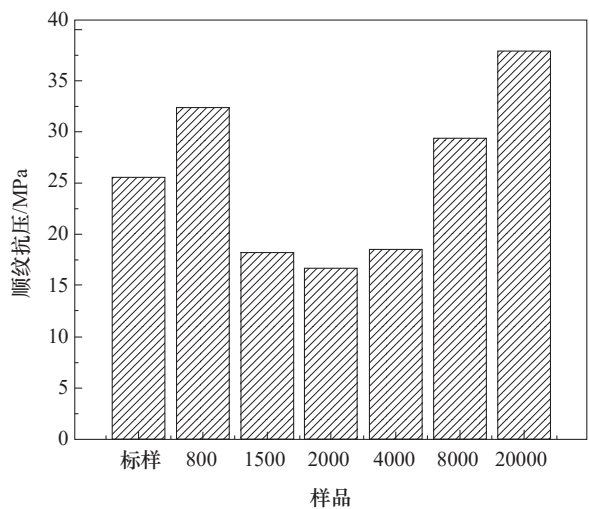


图4 泡桐木材不同PEG分子填充后的顺纹抗压强度图

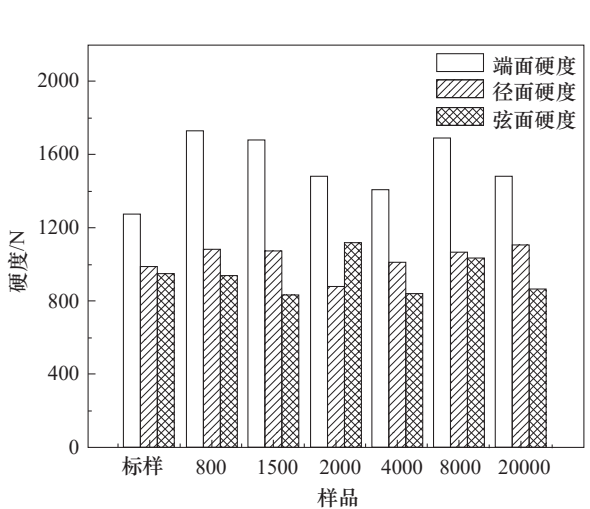


图5 泡桐木材不同PEG分子填充后的端面、径面、弦面硬度图

顺纹抗压和端面、径面、弦面硬度测试都是毁坏性的测试，测试数据会受到泡桐木材的取样位置的影响。木材的心材和边材由于生长年限不同，其力学物理性能会出现很大的差异。因此在顺纹抗压的测试样品中出现了PEG1500、PEG2000和PEG4000填充后其强度减弱的现象，有可能是受此影响。但是从图4和图5中均观察到PEG1500、PEG2000和PEG4000分子量填充后的泡桐样品的力学性能增幅相对于分子量800、8000和20000要小。这主要是由于PEG800的分子量小相对于其他大分子量的样品更易渗透至泡桐木材内部，在相同的浓度下它进入到泡桐木材的量更多，因此起到支撑作用从而使得样品的顺纹抗压和硬度增幅明显。而分子量8000和20000在所有PEG测试的样品中分子量相对较大，因此认为其分子量越大对PEG分子自身的力学性能更加有优势。所以泡桐木材的力学性能在PEG分子量小的情况下增强受益于更高的填充浓度，而随着分子量增加PEG的填充浓度下降，其力学性能增加更受益于大分子量产生的力学强度。因此会出现随着PEG分子量增加泡桐木材力学性能先减后增的趋势。

结 语

通过对一系列不同分子量PEG的吸湿性的测试结果显示，PEG分子的吸湿性和湿度变化幅度随着分子量的增加而降低。而且分子量2000及以下的PEG分子更易受到环境湿度的影响。通过PEG填充后的泡桐木材的顺纹抗压以及端面、径面和弦面硬度的增幅随着分子量增加呈现先降低再升高的

趋势,这是受PEG分子的渗透性和其力学强度两者的相互影响。

参 考 文 献

- [1] 张慧,张金萍,杨隽永. 浙江萧山跨湖桥独木舟遗址加固保护试验研究 [J]. 文物保护与考古科学, 2012, 24 (3) : 95-99.
- [2] 卢衡,郑幼明. 河姆渡严重降解木构件的室外冷冻脱水 [J]. 文物保护与考古科学, 1992, 4 (2) : 10-18.
- [3] 浙江省文物管理委员会,浙江省博物馆. 河姆渡遗址第一期发掘报告 [J]. 考古学报, 1978 (1) : 39-94.
- [4] 刘东坡. PEG稳定河姆渡遗址出土香樟的干燥特性研究 [J]. 文物保护与考古科学, 2015, 27 (2) : 13-18.
- [5] 刘东坡,卢衡,郑幼明,等. 动态粘度法测定饱水古木尺寸稳定剂PEG浓度 [C] // 浙江省博物馆. 东方博物 (第三十三辑). 杭州:浙江大学出版社, 2009: 102-105.
- [6] 王飞. 一种新型水溶性单体聚合-冷冻干燥联用法在饱水木质文物脱水定型应用中的研究 [J]. 文物保护与考古科学, 2019, 31 (1) : 41-49.
- [7] 王飞. 几种传统饱水木质文物脱水定型方法在田螺山遗址出土的饱水柏木试样中的应用比较 [C] //浙江省博物馆. 东方博物 (第六十九辑). 北京:中国书店, 2018: 112-117.