

出土饱水古木件干缩性探讨

李国清

木材是植物细胞所构成，细胞腔内的原生质在细胞形成后一定时期就消失，剩下细胞壁构成木材的主体。它的主要成分是纤维素（占 45%~50%）、半纤维素（占 20%~35%）、木素（占 15%~35%）等。纤维素是由许多 D—吡喃式葡萄糖基按长链结构相互联结起来的高分子聚合物（平均聚合度 10000 左右），而数十条纤维分子靠依附侧链上的羟基形成氢键的缔合作用，组成较有秩序的基本纤束，由基本纤束再组合为微纤维，构成了纤维素的最小单元。细胞壁的框架就是由这些微纤维所组成，在微纤维与微纤维之间有一定的间隙，木素及半纤维素则填充其内。

在木材学上，有一个纤维饱和点的胀缩性理论，在一些专业书籍和教科书上，以及在实用上经常被表达为：木材含水量在纤维饱和点以上，自由水（或称游离水）的散失或增加，不改变木材的尺寸和体积的变化；在纤维饱和点以下，吸着水（或称结合水）的减少，会引起木材的尺寸和体积的收缩，造成干缩，水分的增加会引起木材的尺寸和体积的增加，造成湿胀。

水分在木材中是以两种形式存在的：一是存在于大毛细管系统（即细胞腔、间隙和纹孔）中的为自由水，二是存在于微毛细管（即吸附于细胞壁内微纤维之间）的为吸着水。当木材干燥时，首先是自由水蒸发出来，然后蒸发吸着水，当自由水蒸发完毕，而吸着水呈饱和状态的木材含水量为木材的纤维饱和点，一般木材的纤维饱和点是在含水量 23%~31%，平均 30% 左右。

作为木材学上的经典理论，在我们出土古代木质文物中，曾多次被引用、引述过，但实际情况如何呢？以下是我们多次做的出土饱水古木的含水量与干缩变化情况的实验中的一组情况。木材取自 1982 年试掘的宋元时期同一批木质文物，二种针叶树，二种阔叶树。出土时，木材含水量均在 400% 以上，出土坑水质酸碱度中性含盐量（氯化物）0.24%。木头削成具有径向、弦向、顺纹的立方体，置室内自然干燥（表 1）。

土古木件文物要比地上生材气干后的传世品收缩要大得多。

2) 地下饱水古木器一经出土后，基本上可以说只要水分一开始散失，它的尺寸和体积就要发生相应的收缩变化，但变化幅度是有所不同。以本次试验为例，古木含水量在 300% 以上时，尺寸和体积的收缩变化比较不显著，从 300% 下降到 200% 时，较明显地收缩，开裂与扭曲变形也随之发生；从 200% 开始下降时，开始较大幅度地收缩；从 100% 下降到 30% 一直到气干，尺寸和体积则是剧烈地收缩，并发生严重的扭曲变形。

3) 阔叶树比针叶树饱水古木在脱水过程中的尺寸和体积收缩大。

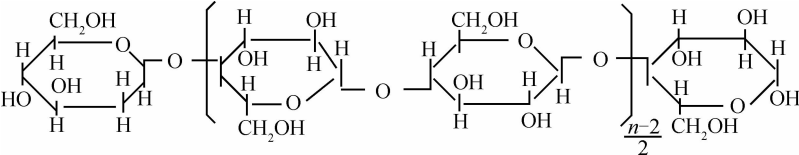
4) 古木的尺寸和体积收缩以弦向为最大，径向、顺纹次之，且 $T > 2R$ (T 、 R 分别为弦向、径向的干缩)，而一般正常木材 $T = 1.6 \sim 2R$ 。

由于各地出土的饱水木质文物的情况是千差万别、各不相同的，如地下埋藏的环境不同，年代的久远不同，木材的树种不同，木材的含水量不同，木材的腐朽情况不同，因此实验的结果也不全是相同的。根据以往经验比较，一般来说，含水量越高的古木它的尺寸和体积收缩就越厉害。

总体来说，从实验中我们可以得出一个初步结论，木材学上关于纤维饱和点的胀缩性理论的一些叙述对于出土饱水古木是不大适用的。如果认为出土饱水古木中的自由水的散失，不会影响它的尺寸和体积的变化，而在出土后不马上采取有效措施注意防护，那么就会带来不可挽回的损失。对于造成出土饱水古木的严重干缩变形的问题，试从以下几方面进行探讨。

一、它具有一般木材的共性

从纤维素分子结构来看：



在分子链上有大量的羟基，即每个基环上均具有三个醇羟基。羟基是极性基团，它易于吸附极性的水分子，组成氢键，这是纤维素吸附水的内在原因，见图 1。

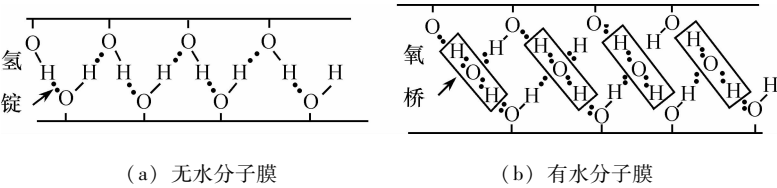


图 1 纤维素分子链间氢键示意图

微纤维的横侧链羟基吸附水后,引起相邻链的分离,使微纤维之间间隙增大,结果产生横向膨胀,反之吸附水的散失,就要收缩,这就是一般木材胀缩的主要原因。另外,木材细胞壁是由胞间层、初生壁、次生壁三部分组成的。由于占细胞壁 70% 以上的次生壁的中层 S2 层的微纤维与纤维纵轴几乎是平行排列的,因此吸附水以后引起的膨胀主要也是横向膨胀,木材细胞以纵细胞占多数,造成了木材弦向胀缩性较大的一个原因。

二、出土古木有自己的特殊性

地下埋藏的古木器,在漫长岁月的地下环境中,由于地下水和地面渗透水的长期浸渍侵蚀,特别是含有一定酸性的水分浸蚀以及土地微生物纤维素分解菌的作用造成自己的特殊缺陷性。

从古木的化学成分来看,根据化学分析的初步结果(分析报告附后)与现代同树种木材比较,它们的一些抽出物有较显著地增加,而纤维素和半纤维素(多戊糖)含量则普遍下降,相对地木素的百分比含量就显得增高了。

由于半纤维素是低分子量的聚木糖、聚甘露糖、聚半乳糖,其平均聚合访问期间只有 200 左右。它可以在碱水溶液中被抽提,又很容易在酸性的水中被水解,其稳定性较差。在长期的地下埋藏环境中,它首先容易遭受溶失和离解,其结果使细胞壁的孔隙增多或扩大。

纤维素是木材的主体。如前所述,数十条纤维素分子链依靠侧链羟基形成氢键,组成较有秩序的基本纤束,再组成微纤维。根据近代学者运用电子显微镜的观察研究结果,认为在其组合中,其中心部位分子排列较整齐有规则,特别是基本纤束的中心部分被叫做结晶中心,而包围在四周排列较不整齐规则的分子所组成的外膜,通常被叫做无定形区。因此,可以说这是纤维中较薄弱的部分。在长期的地下水的浸泡中,以及菌类纤维素分解酶的作用,往往使这一部分的纤维素分子逐步降解,最终使木材中的一些微细纤维消失。

以上作用的结果,使木材呈现多孔性,空虚率大为增高(从古木显微切片中亦可观察到),一些薄壁组织会导致穿孔破损,并造成细胞膜的分离(1983 年 5 月上旬,在厦门大学生物系进行切片显微观察中,被厦门大学生物系陈振端老师首先发现。在 450 倍显微镜视野中观察上面饱水古松木的番红染色横切面,发现松木管胞的次生壁与初生壁、胞间层发生明显分离)。这一些造成木材细胞壁的机械强度显著降低。

由于毛细管平均直径的增大,使纤维吸着表面减少,以及由于细胞腔内原来单独性小气孔变成连续性大气孔,使得一些原来为吸着水变成实质上的自由水。

另外，由于纤维无定形区是在基本纤束、微纤维的外围四周，因此纵向的解离要比横向解离大。这可以理解饱水古木弦向干缩率大的一个原因。在自然干缩后的古木横切面切片中，细胞失去了正常的形态，严重萎缩。松木管胞的胞腔变得异常窄小，很不规则，细胞壁坍塌，有的深深地陷入几乎挨在一起，有的较薄的胞壁已破裂，管胞外形，歪歪斜斜地扭曲状态，很不规则，特别是在春材的细胞中看得更为明显。

在干缩后的古代阔叶树木材的切片显微观察中可以看到主要部分的导管和木纤维的一些细胞呈现同样的状况，而且还更为严重。

从干缩木材的弦切面和径切面切片中，还可以观察到阔叶中的木纤维，针叶树的一些胞管干扁成枝条状或板壁状。

造成以上的情况，是在自然干燥过程中或不妥当的脱水过程中发生的。在干燥过程中，木材中的水分（首先是自由水）要蒸发。自由水的移动是以细胞腔、间隙及纹孔构成的管道，水分沿纵向（木纹方向）移动较横向移动快。较短的木材，水分较多从二端面跑掉；但较长的木材大部多水分还是从侧面跑掉。水分的移动形成有速度的水分子流，但在胞腔内与胞腔外以及各处的水分移动的速度均是不一，不均衡的，由于液态水分的表面张力作用，在细胞壁表面形成一层膜阻碍了这种均衡性，结果在细胞壁的内外形成一定压力差，特别是在一些胞腔内往往成为低压区。上述饱水古木的细胞壁的机械强度显著降低，这就造成了细胞壁的坍塌情况，最后导致整体的变形萎缩。另外，在干燥脱水过程中，由于水分在木材表面和内部脱水的不均匀以及水分在木材各个方向脱水的 inconsistence，伴随产生开裂及扭曲的现象。

综上所述，出土饱水古木干缩问题是个复杂的问题，是不能只用吸着的水的增减决定木材的尺寸和体积涨缩的一般纤维饱和点涨缩理论性来解释的。在采取妥当慎重的脱水处理措施以前，对出土的饱水古代木构件文物防止或减缓它的水分散失是很有必要的。

（原刊于《文物保护技术》辑刊 1987 年第四辑第 70 ~ 79 页）