

漆木器脱水处理的新方法及其工艺的探索

——关于高压降压膨胀法的实验报告

魏 象 肖觉民

本文旨在报道醇醚连浸脱水过程中的一种最终消除收缩应力的新方法。此法已被实验证明是有效的，它大大减小了以往传统处理办法中漆木器所发生的收缩，而且在理论上，它有可能导致最理想的结果——收缩的完全制止。

新法与传统办法虽然同样借重于乙醚，但它们的概念是不同的。新法认为传统办法受到局限，因为它无法消除液体分子间，以及液体分子与细胞壁间的作用力，因而无法制止收缩，这种收缩量虽然对处理竹器、木俑无伤大雅，但对漆器就不太适合了。

针对这种情况，新法提出了一个新概念，它主张通过升温削弱分子间力，主张通过加热液体膨胀气化而产生抗张的力量，从而最始消除液体挥发时产生的收缩应力。

新法与旧法不同，它借重于乙醚的温度的蒸气压效应。在密闭容器中被加热的乙醚以及漆木器所含的乙醚自发产生高压，高压蒸气及乙醚液体温度上升到 $80 \sim 90^{\circ}\text{C}$ 左右，经由阀门排气，高达 $4 \sim 5$ 个大气压的压程足以克服任何导致收缩的应力。

新法所需设备极为简单，它由无缝钢管焊接法兰盘构成主体，法兰盘盖上接排气管、压力表及控制阀门。加热过程可通过水浴实现，因为加热温度 100°C 足可，而罐内温度 80°C 足可。

一、高压降压膨胀法——论漆木器脱水处理的新方法及其工艺

高压降压膨胀法是醇醚连浸脱水过程中一种最终消除收缩应力的新方法。应该指出，新法虽然在最先的步骤上与传统办法完全一致，然而在理论上仍有很大的区别。新法借重乙醚的原因与旧法不同，因而在脱醚阶段采用了截然不同的方法——高压降压法，尽管这样，新法及其原理并不复杂，它就像哥伦布的鸡蛋一样易于竖起。不过笔者仍然认为在理论上饶舌一番是有益的，否则弃原理于不顾，不对原理作深入的探讨，必

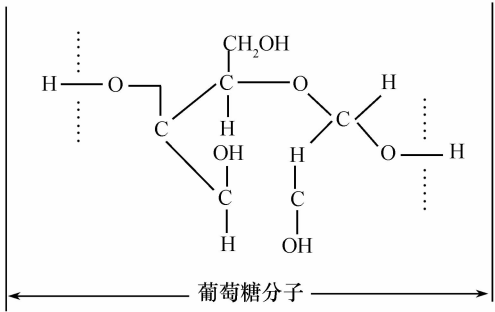
然会导致研究工作及实验的盲目性。

简而言之，我们认为在漆木器脱水研究中，有两个大问题是有待弄清的：①木材的物理、化学结构及其模型；②漆木器脱水过程中的收缩机制。不弄明白这两个问题，它们就会像迷雾一样遮住我们研究的路径。本文所论证的新法原理实际上正是基于对这两个问题的认识而发现的，而实验不过是针对它们而提供的符合逻辑的实际步骤。

（一）木材的物理、化学结构及其模型

木材结构无论从组织结构方面还是化学组成方面看，均不是一个简单问题，特别在化学组成及结构方面，仍有许多地方尚属未知领域。一个生命系统为维持其生命活动而形成的各种器官，它们的复杂性是不难想象的。所幸的是，由于考虑问题的角度不同，我们有可能对它们作最粗糙的简化，以利于研究，只要我们的抽象方法是科学的，这样做就是合理的。在本文的研究中，我们将把木材视作由一束束（纵向长度远大于横向）管型的、平行于树心轴而鳞次栉比地排列着的细胞群构成，而所有的细胞又由构成中胶层的胶质（果胶）材料黏合在一起（在长度方向垂直于树心轴的细胞同样存在，不过它们引起的收缩量较小）。这些细胞的纵向和横向分别由具缘孔连通。在后面的叙述中，我们将发现这样的处理确实既简单又能说明问题。

这些管型细胞的管壁由什么组成呢？这又是一个复杂又复杂的问题。对于那些多余的东西，我们权且不顾，不妨把它们看作一束束的细纤维丝组成，它的化学结构为纤维素链，其单分子结构如下：



由单分子结构可见三个剩余的羟基既可用于大分子间的连接形成网状结构，又可与其他极性基因构成氢键相连的分子间缔合物。

有了上述的简化的物理、化学模型，笼罩在漆木器收缩问题上空的乌云似乎变得明朗了一些。

(二) 漆木器脱水过程中的收缩机制

那么,漆木器脱水过程中的收缩机制究竟是什么呢?答案是填充在细胞中的液体的物理、化学性质决定了这个收缩过程。假定这种液体是水,则我们可以知道,组成细胞壁的纤维素所含亲水性物体的羟基可与水分子以氢键相连,这是一个较强的纽带,这远超过其他如色散力(范氏力)等水分子与纤维素分子间的作用。而水分子之间也以氢键相连,错综的相互作用,使它们构成三度网状结构。而在外表面,由于吉布斯函数所决定的最小表面能又促使与空气交界处产生表面张力作用。此力亦不可忽视(想想毛细现象,正是此力使水爬高若干米,送至树梢),况且它存在于整个脱水过程,既然它的作用是使液面自发地保持最小面积,那么它当然是促使漆木器收缩的不可忽视的原因。具体的分析一下脱水过程:当水分子吸收了外界的能量不断蒸发时管状细胞中的液面减小,但由于前述的极性分子间的作用——水分子与细胞壁间氢键维结将使细胞壁适应这不断减小的液面,而被拉拢;由于木材的厚度,挥发过程是由湿度梯度而决定的反复过程,这当然更加剧了收缩的程度;由于古木器腐朽的程度不同,细胞收缩程度也不一样,对于朽蚀特别严重的,到收缩的最后阶段,细胞壁之间的间隙小到壁上的胶层(果胶)和相互作用,竟致使漆木器缩为不成形的一团,原来含水时朽蚀到一触即碎的东西,此刻却坚硬如石。实验中出现的这种情况正是如此。顺便说一句,抛开其他问题不谈,真空冷冻——升华脱水实验之所以有可能成功,正在于水分子挥发时液面不会缩小,相反剩余的水晶恰似坚硬的内膜保持了细胞的原形。

在解释了收缩机制以后,我们前面的目标似乎更加清晰了,剩下的问题是如何减小或阻止收缩。我们注意到收缩应力,直接与细胞中的填充液体的物理、化学性质相关。又与细胞壁的物理、化学性质有关,为什么这样说呢?我们不妨把液体与细胞壁间的作用看成是缚在细胞壁上的绳结,而液体分子间的力看作绳索,那么收缩力的大小既决定于绳索间的拉力(液体分子间力),又决定于绳结的牢实程度(液体分子与纤维素链的作用力),这两者间较小的一个力决定了收缩应力的大小,乙醚之所以能减小收缩,其奥秘正在此。从乙醚的沸点、表面张力、黏度系数的值可以看出乙醚的分子间力很小,从而得到应用。

应当指出,乙醚的分子间力虽然不大,却是客观存在的。而那些质地不好的古木器,纤维分子间间距较大(为液体分子间离)彼此作用小,乙醚分子间力可能已不算小,因此不能很好地制止挥发过程中的收缩。毋庸置疑,使用传统的醇醚连浸法,能较好地处理竹木器,但对大部分漆木器效果仍不理想。其原因就在于传统办法有一定局限性,它不能改变乙醚分子间力。

我们开始了新的探索：高压降压膨胀法。

（三）原理及处理过程

由于上述原因，细胞在脱水过程中总要发生收缩，这些收缩的力量汇集形成很大的应力，由于应力分布的不均匀性（由木材层次结构造成），不免使漆木器出现不同程度的形变乃至破裂。如何消除这一应力呢？我们决定从细胞中已充盈的液体设法。众所周知，要使气球胀大，有两法：一是往其中吹气，二是使气球外的压力减小，我们取用了第二法。根据前面给出的物理模型，我们不妨把木材看成无数的管型的气球，减压即对它们施行。关键在于如何减压，为此我们采用了高压降压法，即利用乙醚的温和蒸气压随温升而猛增的特点，将加工品置于密闭容器中加温，当压力升高到某一值时（如1~5个大气压时），迅速排气，而漆木器细胞中所含过热乙醚迅速膨胀，产生很大的压力，且从细胞壁迅速渗出，漆木器因而干燥，从而使得挥发收缩过程转变为挥发膨胀的过程，这就使收缩逆转为膨胀，膨胀应力自然地消除了收缩。从这个意义上讲新法提出的完全是一个崭新的概念，它同旧法一样借重于乙醚，然而含义却完全不同，对新法而言它对分子间力并无苛求，无论是氢键也好还是其他较氢键更强的分子力也好，它一概不管，5个大气压的压力过程使我们对此毫无顾忌。新法苛求的是温度的蒸气压效应，因此这里应用乙醚与传统办法之用乙醚，出发点是完全不同的。更值得注意的是新法对漆木器的朽蚀程度亦不挑剔，因为分子间力对它们已无作用，适当的膨胀张力足以消除任何导致收缩的应力。事实确实如此，我们曾对一个含水率极高的耳杯碗形部分的残片进行处理，处理过程中不作任何控制形状的措施（如加外模等）。实验表明，不但整个尺寸未变，而且它的弧度外形也未改变，从而有力的验证了理论。该理论认为既然在可能的范围内不论多大的收缩应力均可消除，则收缩的彻底被根除以及由此而引起的变形、开裂等现象之消失是最自然不过的事。

（四）设备及操作

使用高压减压法所需设备是极为简单的，不过应当注意，由于是高压容器，对材料不免有些要求，如钢壁厚度、罐盖密封及固定。加热的办法有多种，如容器可置于恒温箱和定出温标加热，不过这样做要求容器密封好，否则泄出的气体可引起火灾。我馆采用的水浴法，即置容器于开水池中，持续加热开水，使容器内乙醚达到所需压力及温度再启阀排气。

二、在漆木器收缩实验中的收缩率测定

在漆木器脱水实验中,我们为了确定实验效果,常常需要测定木材样片的收缩率。测定收缩率的理想方式当然是将木材切为立方体再做实验,然而由于木材收缩的非线性关系,以及各部分材质、结构的不同,即使这样的样品,形变后亦不会太规则,这样测定势必带来误差。而在一般情况下,研究人员不愿去切割样品,一则因为残片少,二则受残片大小形状的限制,此外,切割腐朽古木器成规则形状并非易事,尤其横切面不易做好。因此非不得已,人们一般依样品原形进行实验。此外,由于收缩率往往与木材材质的腐蚀程度直接相关,与样品属木材的哪一部分亦有关,这就使得收缩率的测定决不能依某一次的所谓标准测定而决定,收缩率实际上应当是具有统计性质的数据。这就意味着与此数据相关的参数亦应同时给出,如含水率、测定次数等。既然不能依此标准测定给出数据,那么对大量未作木材立方体切割的实验数据显然亦很重要,否则无法给出具有统计意义的数据。那么,如何准确地给出测试数据呢?本文给出一种计算供大家参考。

样品收缩方向规律

众所周知,木材的收缩主要表现在横向,纵向收缩很小,往往不是测试的重点。而横向的收缩又可分为两个方向,可设为 X , Y 向。在我们多次试验的坐标图上又可发现,当收缩发生在 Y 向,则 X 向几乎观察不到收缩(只要测定面为垂直于树心轴线的面)。因此,我们可以把收缩归结到某一个方向。奇怪的是,由我们观察到的大量的收缩线几乎与原线平行,显见收缩与原长不成正比例关系。

一般的测量程序

对于上例中的收缩率测定,我们习惯于沿曲线 Y , 取几个点 Y_1 , 然后向 X 轴引垂线,垂线与 Y' 虚线相交于 Y'_2 ……然后分别量出它们的长度。

由

$$\frac{Y_1 - Y'_1}{Y_1} = \frac{\Delta Y_1}{Y_1}, \quad \frac{Y_2 - Y'_2}{Y_2} = \frac{\Delta Y_2}{Y_2}, \quad \dots, \quad \frac{Y_n - Y'_n}{Y_n} = \frac{\Delta Y_n}{Y_n}$$

得收缩率

$$\begin{aligned} C &= \left(\frac{\Delta Y_1}{Y_1} + \frac{\Delta Y_2}{Y_2} + \dots + \frac{\Delta Y_n}{Y_n} \right) / n \\ &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{\Delta Y_i}{Y_i} \\ &= \frac{1}{n} \left(\frac{\Delta Y_1}{Y_1} + \frac{\Delta Y_2}{Y_2} + \dots + \frac{\Delta Y_n}{Y_n} \right) \times 100\% \end{aligned}$$

$$= \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{\Delta Y_i}{Y_i} \right) \times 100\%$$

其实, 显然 n 愈大, C 愈接近真实情况。

应当看到, 就算我们很有耐心, 测量次数总不能无限, n 总是有限的, 而且, 由于对于 Y 曲线上各点的取法不同, 计算结果将大不一样。而任一个点都不天生具有某种优越性, 我们要么放弃选取测量点的自由权, 要么放弃测量的精确性。

面对这种情况, 如何办呢? 在此, 我们提供一种精确的测量法供大家参考。

仪器的测量法

令 Y 曲线为函数 $f(X)$, Y' 曲线为函数 $f'(X)$, 则由积分中值定理可知, Y 曲线可展为一系列 Y 方向的等高线, 其底边长不变, 而总面积不变。该等高线可由 $h = \frac{1}{X} \int_0^X f(X) dX$ 求得。同理, Y' 曲线的等高线 $h' = \frac{1}{X} \int_0^X f'(X) dX$ 求得。那么, 收缩率

$$\begin{aligned} C &= (h - h') h \\ &= \frac{1}{X} \left[\int_0^X f(X) dX - \int_0^X f'(X) dX \right] / \frac{1}{X} \int_0^X f(X) dX \\ &= 1 - \int_0^X f'(X) dX / \int_0^X f(X) dX \end{aligned}$$

而我们由等高线可知道, $\int_0^X f'(X) dX$ 及 $\int_0^X f(X) dX$ 实际上即为曲线 Y_1 、 Y' 、与 X 轴所围面积, 由于 $f'(X)$ 及 $f(X)$ 的解析式实际上找不到, 我们可由求面积的办法来求积分值。面积如何求呢, 在坐标纸上数格子是不现实的, 我们不妨借助于一种简单的测量仪器求积仪来进行。这种简单测量求积仪只需沿封闭曲线走一周, 即可直接读出上述曲线所围面积来, 手续既简单, 测量数据亦精确。求线性胀缩率由面积比值所得, 较直线段量度所测要优越得多。

(原刊于《文物保护技术》辑刊 1987 年第四辑第 98 ~ 107 页)