

醇醚法的發展及瞻望

—漆木器溶劑脫水法探討之四

魏象

一、導言

無庸置疑，人類對木頭和石頭的應用，就其時代的久遠而言，是不相伯仲的。然而，並無木器時代之說，緣因木頭的使用遍及人類所歷各個時代，因此，失去了作為時代標識的特殊意義。但時至今日，木頭對於人類的意義仍不斷有新發現（註一）。

當然先民們對木頭的應用在各國的考古發掘中均有大量發現。中國由於戰國至西漢在埋藏方式上的智慧，使此類文物在地下常能保存幾千年，因而它們的出土數量可能居世界之首（註二）。即使如此，稍加注意我們就會發現無論東西方，金屬文物的傳世品很多，木質文物卻很少。這不是用人們的拜金主義就能解釋得了的。由於缺乏安全保存這類出土文物的科學方法，導致它們在歷史上隨出隨毀，以至古代及近代的盜墓賊，棄之若敝屣（註三），即使

近代的考古學家，恐怕亦只能用遺憾的心情看待這些為他們發掘出來的珍寶，——它們大都只能短暫的保持輝煌。——大量此類文物若不採取措施，幾天、幾個月就會收縮變形，變得面目全非，最後成爲一堆垃圾（註四）。中國五、六十年代出土的木質文物，至今大都僅有照片可考，而原物早已毀損。是什麼緣故，使木質類文物（包括木器、木胎漆器、竹器等）如此難以保存，以至考古界把它列爲世界難題呢？坦率的說這個問題至今依然困擾著我們。對中國而言，問題的解決有著特殊的意義。這不僅是前面所說的數量問題，更重要的是，戰國以降，至遲到唐代，中國人在很長的歷史時期內，是以木、竹爲主要書寫材料（註五）。如何保存這些發掘出來的文獻，當然是至關重要的。

下面我們就討論這個問題的難點及過去解決問題的一般方式。

二、木質文物保存的難點，及以往解決問題的一般方法。

爲了弄清我們討論的對象，我們必須建立木材的物理、化學模型（註六），爲此我們必須簡單的了解木材的化學成份和物理結構。它們都是十分複雜的學問，（即使要弄清一個樹種的化學成份，即要研究者窮其畢生的精力）我們只討論有關的主要部分。所有木材其基本化學成份是纖維素，即由單個的葡萄糖分子鏈結而成的有機高分子。它們構成了長腔狀的木材細胞，而這些長條形管狀細胞，又由果膠形成的膠層（中膠層）黏連，將它們集成束狀，沿樹軸方向（樹木生長方向）依次排列下去，這些管狀物在橫向和縱向均有孔相通（具緣孔）。管狀細胞的框架還由一種稱木質素的材料作了加固。總之管狀細胞壁由纖維素、木質素和少量半纖維素結合，具有很大的機械強度和較爲穩定的化學結構（在水中煮一周或更長時間也不能稍稍改變它們的化學成份，即使採用現代的手段分離它們，亦要大費周折。）

纖維素、半纖維素 百分之六十～百分之七十以上

木質素 百分之二十～百分之三十以上

果膠澱粉、灰分 百分之二～百分之四左右

正是由於有著這樣優良的性質，許多木質文物才能在地下埋藏數千年，依然能較好的維護原形。然而必須指出的是，除少量木質文物的質地由於埋藏條件的優越而能保持不變，其

中大多數木質文物由於微生物的影響已嚴重朽蝕，由於纖維素降解流失，這些外表發黑的木頭已呈軟泥狀（註七），含水率往往高達百分之四百至一千以上。正常木材含水率一般在百分之十五以下，即使浸水材（註八）含水率也僅百分之一百至二百左右。由此可以想像，木質文物是那些仍成管狀，但細胞壁已變得很薄、很稀疏的纖維包裹著水的軀殼而已。由於纖維素、木質素的流失，及鏈狀分子的斷裂，它們已全然失去了強度（註九）。出土的木質文物一旦離開水置於空氣中，很快就會出現前面講的悲慘的一幕。當然這後來的變化是純物理原因，包含在管狀細胞中水的張力，將對脆弱的細胞壁形成收縮應力，木器最終收縮成又黑又硬的任意形狀，使人無言以對。這個收縮力量有多大呢？本人以上述模型爲基礎作了計算（註十）。採用醇醚法，導致收縮的壓強爲自然脫水時的五分之一，而採用熱脫醚爲自然脫水時的十二分之一或五分之一個大氣壓，自然脫水時收縮壓強爲二·四八個大氣壓。

這顯然是一個驚人的結果，它很好的解釋了木質文物如何走向崩潰。事實上，計算還表明隨著收縮的進行，收縮壓力將進一步增大，這解釋了爲什麼收縮後的殘物，如何由豆渣般稀軟變到堅硬如石的過程。

然而木質文物若長年擱置在水中浸泡，若非無菌環境，則終不敵微生物作用而日益腐朽耗盡。因此，這就給我們提出了一個難題，即如何去除水份，又能保持器物的原形。此類研

究可能始於上世紀初。思路不外兩種：一是用適當的材料填充木料，再設法改變填充物存在的條件，使之固化，因而阻止木材收縮。例如，早期採用的明礬（註十一）填充和目前的PEG填充。其二是採用表面張力小的溶劑取代水，再讓溶劑揮發，由於降低了表面張力，從而減小收縮。（註十二）當然也有上述兩種方法聯合進行的。（註十三）上述方法之一的問題是填充材料的性質可能引發出新的麻煩。例如不合宜的偏酸性材料，以及材料物理、化學的穩定性。此外，包括PEG在內的許多材料可能使木材發黑失去原色。當然，也還存在收縮的問題。

上述方法之二的缺點是依然存在百分之幾至百分之十幾的收縮率，對於收縮率敏感的器物不合適。當然還有一些其它問題。

三、新醇醚法簡介

I 課題的緣起

「醇醚法」是由丹麥的Werner Kramer 首先應用於木質文物脫水保護的（註十四），在此以前它一直是生物學標本製作的技術，由於它有減少飽水軟質木質文物脫水時收縮的優點，而為各國文物保護界所認可，並得到應用。醇醚法在傳入我國後有著較廣泛的應用。但隨著它的推廣，傳統醇醚法的缺陷逐漸凸現出來（註十五）。尤其是填充法的發展（註十六），使它漸有萎縮之勢。為使傳統方法揚長避短，

得到新的發展，筆者在一九八三年即著手改進「醇醚法」，後因經費問題，減緩了研究進度，全力投入填充法的研究。那麼是什麼限制了傳統醇醚法的應用呢？下面讓我們討論一下傳統醇醚法的局限性。由於乙醚的表面張力較水溶液的的表面張力小許多，因此能大大減少木質文物脫水時的收縮，因而得到應用。但傳統醇醚法仍然有一些缺陷和問題有待解決，舉其大者有：

1. 儘管乙醚的表面張力小，但表面張力依然是一個客觀存在（註十七），它勢必引起飽水軟質木材的收縮，雖然收縮力較小，但引起的收縮對那些形狀變化敏感的器物而言，些微變化即有完全改觀之嫌。例如圓形的器物（盤、壺、奩、盒等）可能因為收縮而變為橢圓形，由於脫醚時引起漆器木胎的收縮因而導致漆膜起皺、開裂，美麗的紋飾受到損害，從而大大限制了醇醚法對漆器脫水的應用（註十八）。此外像木牘、竹簡一類形態簡單，卻因為上面存有幾百年，幾千年前的文字而彌足珍貴的木質、竹質文物，脫醚時的收縮將引起字體變形。

2. 醇醚法中採用的藥物均為毒性大，揮發性強，易燃易爆的化學溶劑，而且處理周期長（一般為幾個月至一年以上不等），手續繁複，因此污染環境，有礙健康，極不安全。

3. 費用高昂，處理濕重為十公斤的木桶，僅藥物一項，耗費近萬元，這是國內文物界難以承受的負擔，巨大的耗費使人望而卻步：

凡此種種，傳統的醇醚法在實際應用中受到很大限制，往往只能用來處理小件，小批量的木質、竹質文物，許多適用於醇醚法處理的文物，由於上述考慮，不得不改用其它方法，甚至不得不長年泡在池中苟延殘喘。

筆者由於從事填充法研究多年，深知填充，尤其是大多數填充物是水溶性的，可能引發種種問題，而「醇醚法」最大長處即在於既可以減小收縮率又無需填充那些引起爭論的水溶性材料。儘管醇醚法有上述種種弊端，如何改進它，仍是一個極有價值的科研課題，這也就是筆者多年來，孜孜以求，未敢捨棄它的緣故。經過多年的努力，筆者在理論和實踐上都取得了一些進展，終於建立了「新醇醚法」這一新工藝。

經由小型設備的初試，大型設備的製作，試車、設備改裝、試車等階段後，研製的新工藝及由此製作的大型設備已基本就緒，並投入使用。從已脫水的木質文物看，效果極佳，並克服了傳統醇醚法的種種不足。新工藝完全刷新了傳統方法，給「醇醚法」以全新的面貌。

II 原理

新醇醚法是筆者十多年來幾項研究綜合構成的系統。它們是以「壓力—降壓法脫醚」技術為中心形成的新工藝。其他幾項研究依次為「熱浸法」、「細胞修復法」、「醇、醚回收系統」。下面，筆者依次對它們作一簡要說明。

1. 「壓力—降壓法脫醚技術」：（註十九）

為了減小乙醚揮發時由表面張力而形成的收縮應力，筆者於一九八三年—一九八四年期間發明了這項技術。新技術從充盈在細胞中的液體設法。眾所周知，要使氣球脹大，有兩法，一是往其中吹氣，二是設法使氣球所在的外空間的壓力減小，我們採用第二種方法。我們不妨把木材看成無數的管型汽球，減壓即對它們施行，關鍵在於如何減壓，為此我們利用乙醚的飽和蒸氣壓的溫度效應，獲得較高的壓力（通常升溫至攝氏一百度左右，此刻壓力接近0.6mpa），然後小心啓動閥門，使乙醚氣體排出，由於密閉容器內外壓力差，木質細胞中所含過熱乙醚迅速以氣態方式膨脹，並穿透細胞壁排放出來，持續加熱，維持這一膨脹過程，過熱乙醚將持續蒸發，直至木材中所含乙醚全部蒸發乾淨為止。與前述自然蒸發不同的是，液體的表面張力為揮發氣體的擴張力量所遏制，收縮力量為氣體膨脹力量所克服。而揮發收縮過程逆轉為揮發膨脹的過程。從某種意義上說新方法提出了一個新的概念，它與傳統方法一樣借重乙醚，然而含義卻不完全相同，對新法而言，它更倚重於溶劑的溫度—蒸氣壓效應，因此這裡應用乙醚與傳統的方法之應用乙醚，出發點不完全一樣。十分幸運的是採用升溫的方式還可以進一步減少液體的表面張力，這由下述理論計算可以知道：

$$\delta_2 / \delta_1 = (T_c - T_2)(T_c - T_1) / 1.2 \quad \text{② 單位爲：}$$

式中 δ_1 —溫度 T_1 時液體的表面張力係數，達因／公分

δ_2 —溫度 T_2 時液體的表面張力係數，達因／公分

T_c —臨界溫度 K

T_1 、 T_2 —給定溫度

$\delta_1 = 16.96 \times 10^{-3} \text{ N/M} = 16.96 \times 10^{-1} \text{ 達因} / \text{公分}$

$T_c = 194.6 + 273 = 467.6 \text{ K}$

則由式②得： $T_1 = 20 + 273 = 293 \text{ K}$

$T_2 = 100 + 273 = 373 \text{ K}$

$\delta_2 = (T_c - T_2) / (T_c - T_1) \delta_1$

$= (467.7 - 373) / (467.6 - 293) 1.2 \times 10.96 \times 10^{-1}$

$= (94.6 / 174.6) 1.2 \times 10^{-1}$

$= 8.13 \times 10^{-1} \text{ 達因} / \text{公分}$

$= 8.13 \times 10^{-3} \text{ N/M}$ (註二十)

以上計算告訴我們升溫將使乙醚表面張力大幅下降，如升溫至攝氏一百度，則表面張力係數降至常溫下的一半。由此可知「壓力—降壓法脫醚」較傳統「醇醚法」能更有效的減小木質文物的收縮，這從我們作過的對比實驗可以清楚的知道（註二一）。然而實驗證明，新法並不如我們所希望的那樣完全消除收縮，為完全消除收縮，我們必須作出新的努力。分析原因，這主要是由於細胞不夠「關風」的緣故，為此，我於一九八六年發明了「細胞修復」法。

2. 細胞修復法與傳統的填充法不同的是，

細胞修復法並非在木材細胞中充填樹脂材料。筆者是利用物理手段使某種樹脂材料均勻的以膜狀形式覆蓋在細胞壁上，從而達到「修復」的目的，作過這種修復處理後的木材，在作壓力—降壓脫醚時，能更有效的減小收縮。在最近幾個月的實驗中，我們終於實現了收縮為零的夢想（註二二）。現在我們終於能應用醇醚處理那些傳統方法難以施展的器形敏感的木質文物了（註二三）。而且敏銳的同事將立即意識到新醇醚法又掃除了醇醚處理漆器的一個重大障礙，因而具有重要的意義（註二四）。

3. 熱浸法：在作壓力—降壓熱脫醚實驗過程中，筆者發現在乙醇和乙醚的熱溶液中，不論是飽水軟質木材還是漆器殘片，均無明顯的變化。從而使筆者想到何不採用加熱的方式完成傳統醇醚法中的浸泡過程呢？十分明顯的是，加熱將促使不同溶液間的交換變得十分快捷。實驗表明對於一些小件的木質文物我們甚至可以用一天的時間即完成浸泡和脫醚的全過程（同註二三）。即使是那些較大的木質文物，如木桶，用上三天至一周的時間即可完成脫水的全過程。我們知道，在過去採用傳統方法時，我們至少需要幾個月甚或一年以上的時間才能完成這些工作。

4. 醇、醚回收系統：如前敘我們已經知道醇醚法中藥量的耗費將成爲我們十分沉重的經濟負擔，以至我們不得不放棄利用醇醚法來處理某些大件木質文物。如何降低成本是採用醇醚法至關重要的問題，筆者於一九九二年即開

新醇醚法脫水處理木質文物例舉

組A：



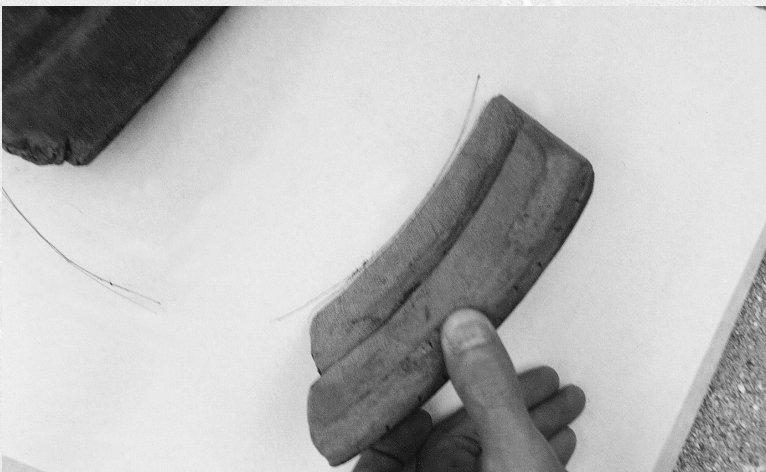
A-2



A-1



A-3



A-4

A-1 採用傳統醇醚法脫水處理的戰國鼓殘件之一

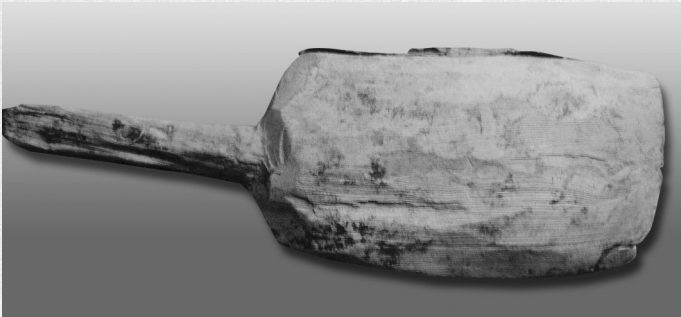
A-2 採用新醇醚法脫水處理的戰國鼓殘件之二

A-3、4 殘件之二與殘件之一作對比。可以發現之一因存在收縮，曲率發生變化。戰國鼓變得更彎了。而殘件二處理前，處理後沒有變化。

組B：商代採礦工具



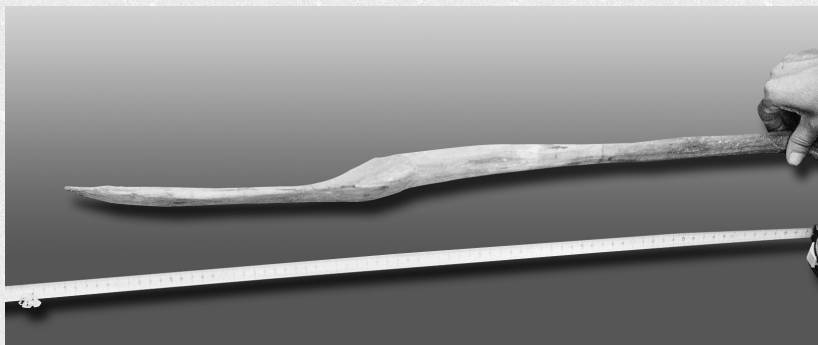
B-1



B-2



B-3



B-4

- B-1 手鏟正面
- B-2 手鏟反面
- B-3 手鏟側面
- B-4 木插

組C：戰國木俑



C-2



C-3



C-1

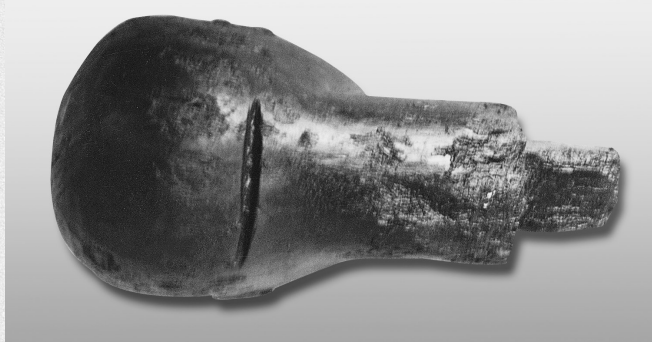
戰國木俑

C-1 正面

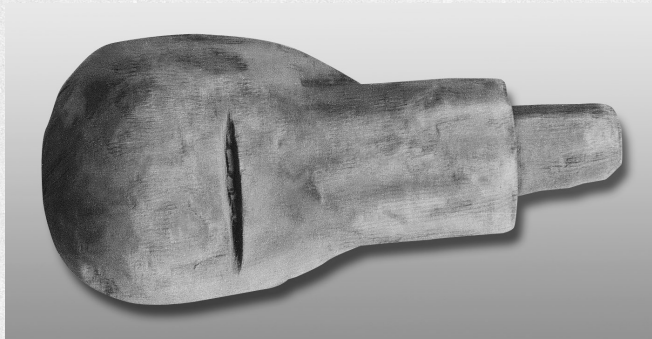
C-2 反面

C-3 側面

組D：戰國俑頭



D-1



D-2

戰國俑頭

D-1 處理前

D-2 處理後

組E：戰國俑



E-2



E-1



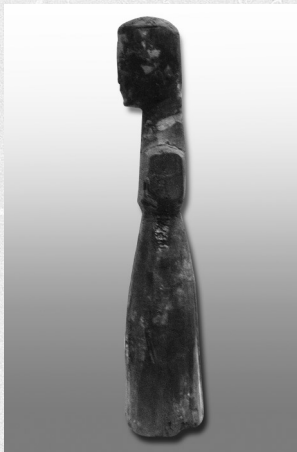
E-4



E-3



E-6



E-5

戰國俑

E-1、2 處理前後正、反面對比

E-3、4 處理前後左側面對比

E-5、6 處理前後右側面對比

始設計製作醇、醚的回收系統，在投資不多的情況下，利用熱脫醚的設備及冷凝設備即可實現大部分藥品的回收，當然，藥品的精煉還要輔以化學手段。目前，我們已經能做到回收百分之八十以上的藥品，回收系統的完成，無疑將大幅降低醇醚法的成本，從而為醇醚法的應用提供更廣闊的前景。

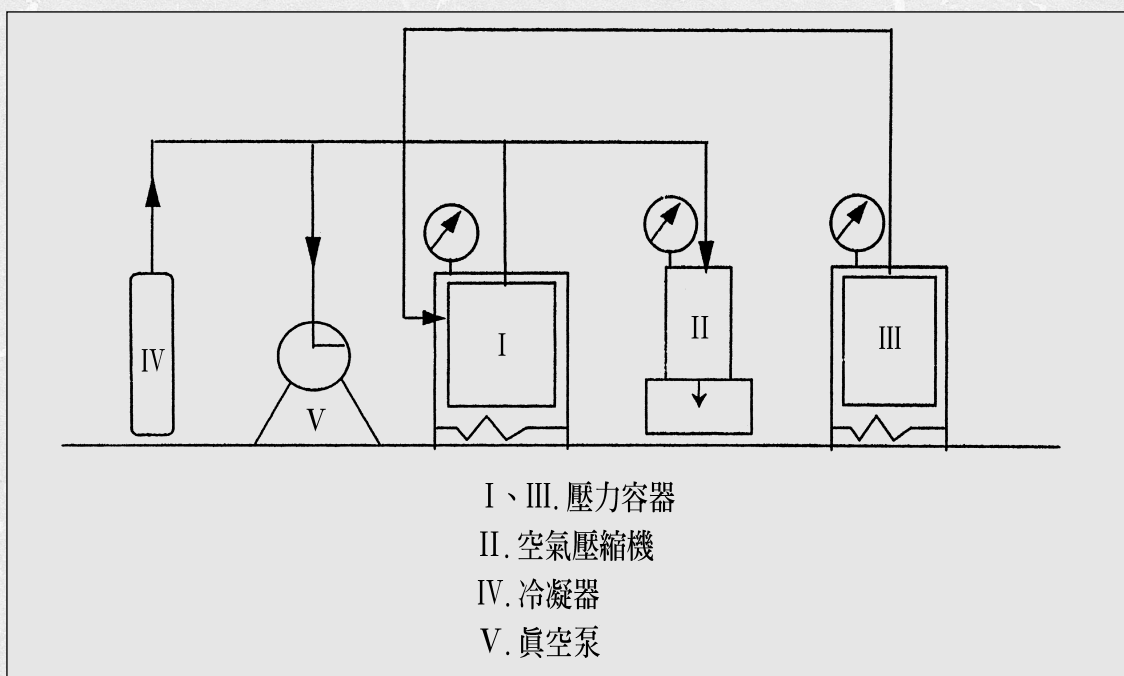
綜合以上幾項研究及實驗，它們構成了完全不同於傳統醇醚法的新工藝系統，經過近五年的努力，我們終於實現了這樣一個效率很高、成本很低、易於操作的新工藝。記得一九九三年應荊州博物館之請，我曾在那裡看到令人嘆為觀止的數千件木質文物，當時的館長會提出能否採用工業化規模來處理這些文物。考慮到像我們這樣一個文物大國，每年出土的木質文物均數以千計，產生這樣的想法是十分自然的。我們正在向這一目標前進。

四、新醇醚法的設備及工藝過程

為使新醇醚法成爲一個高效的完整的工藝系統，筆者自一九九四年至今年年初，與設計院（機械工業部第八設計院）合作，設計並製作了三台大型設備，最大的壓力容器內徑爲一·五公尺，高爲二·五公尺，從而爲規模化處理，以及大型木質文物處理做好了準備。

新醇醚法的工藝過程如下圖所示：

I、III分別爲壓力容器，其中I採用夾套水電加熱方式，III置於水浴池中，水浴池裡裝



有電熱管和蒸汽管，因此可以電加熱或蒸氣加熱池中的水。

壓力容器可用於熱浸泡、熱脫醚以及蒸餾、貯液，用過的殘液經蒸餾後由冷凝器II回收並泵入III，並可將精製後的藥物送回容器再次投入使用，藥物的輸送全由泵和連接各容器的管道完成，由於對稱性，根據處理文物的尺寸可選擇I或III這樣不同尺寸的壓力容器做相同的工作，因為它們是結構相同，不同尺寸的相同容器，大型的封閉型貯液罐，將給我們操作人員很大的便利，使繁複的換藥工作變得簡單起來，而且由於藥的循環使用以及所有的過程都是在封閉系統中進行，對環境的污染，對操作人員健康的損害，將降到最低程度，也消除了長期貯存時對安全構成的威脅，這是不言自明的（註二五）。

具體操作過程如下：

(一) 處理前準備

1. 照像，稱重、量取尺寸。
2. 對壓力容器作壓力測試保證無洩漏。
3. 將文物小心的放入容器I或III（根據文物尺寸決定）文物間不能互相擠壓，文物多時，可用隔離網將其分層放置。

(二) 乙醇浸泡階段

1. 將合適濃度的乙醇由貯液罐I或III泵入放有木質文物的容器中，也可由罐外吸入，至所有的文物被淹沒為止。
2. 升溫，溫度通常在乙醇溶液沸點以上，以形成壓力，加速滲透過程。

3. 濃度測試，與傳統方法相同，但測試時間以小時計。

4. 換藥：通常升溫幾小時後，木材中含醇量即與浸泡液相同，將藥液排出至I或III中。換入濃度相宜的新藥，若貯液罐I或III中藥液濃度不夠，則可以加熱貯液罐使藥液蒸餾至冷凝器，由於冷凝器附有大的貯液罐II，濃度合適時則可直接泵入放有文物的壓力容器I或III中。

5. 升溫交換：再次重複上述過程，直至木質文物中水分全由乙醇置換。

(三) 乙醚浸泡階段：

過程與(二)同，但測試時需對容量進行冷卻，一般用冷水作強制冷卻至常溫，當測試表明交換徹底，木材中乙醇全由乙醚取代後，再行冷卻，至常溫後，將乙醚抽至貯液罐中。

(四) 脫醚：

對含醚木質文物持續升溫至攝氏一百度，此刻壓力表將顯示近達 0.6 MPa 的壓力值。開啓調節閥門，使流量計上顯示出合適的流量時，保持閥門開啓狀態。排出的乙醚通過冷凝器被收集。隨著乙醚的蒸發，壓力容器上的壓力表示值將緩慢下降，降至零位時，表明乙醚已脫盡，此刻由壓力容器的視窗中可以看到深黑色的木質文物顏色已變淺。關閉閥門停止升溫，待其自然冷卻或強制冷卻均可，正常時容器將處於負壓狀態。小心開啓閥門，待其恢復常壓後，即可開啓壓力容器取出文物，此刻已完成脫水全過程。

一般說來採用新醇醚法處理文物，周期很短，一九九一年、一九九五年筆者分別處理江西瑞昌銅礦出土的商代採礦木質工具，大小近二十件，每次歷時僅三天，也就是說，從文物由水中取出至完成脫水全過程在幾十個小時裡即可完成，且效果極佳，是同類方法中收縮率最低的。一九九七年二月至五月筆者和助手一起分幾批處理了戰國木俑，戰國漆鼓，以及五、六十年代長沙出土的木俑，江西商代木製工具十餘件，由於採用了細胞修復術，終於實現收縮為零（註二六）。

至此我們看到新醇醚法給我們提供了一個快速、價廉、安全，較少污染且處理效果極佳的方法，它解決了前面我們提出的大部分問題，從而為木質文物的醇—醚脫水帶來了極好的前景，尤其是在我國歷年來累積下數以萬計的木質文物仍然浸在水中束手無策的時候，一種價廉的、高效的近乎工藝化規模的處理工藝是很有用處的。

我們正在籌集經費以繼續從事飽水軟質漆器的無損浸漬，一俟完成這項研究，新醇醚法將顯示更大的威力。

五、安全問題

1. 新醇醚法從工業角度看，工藝中有一個壓力過程，它仍屬低壓範圍，雖然不比家用煤氣更危險，然而考慮到介質（乙醚）的危險性，我們仍需十分小心。

這要求我們密切注意容器的任一個可能的

洩漏點：要採取特殊的密封墊圈（最好採用聚四氟乙烯作墊圈）。若採用耐溫橡膠墊圈，則需定期更換，一般說來橡膠紙板墊圈是不適合的，因為它的密閉性不是很好，而且頻繁關閉過程容易損害墊圈的密閉性。（註二七）

2. 加熱方式只宜用水浴式，這樣溫度易於控制且加熱系統不會對工作室構成威脅。

3. 工作室所有的電器包括電源開關及燈具均需採用防爆形式的，工藝過程中採用的電機均要使用防爆式，以免在洩漏出現時構成威脅。

4. 在壓力容器的上方應有冷卻水龍頭，防止氣體外洩時緊急冷卻降壓制止洩漏。

5. 為防萬一，工作現場需備有防毒面具，以防不測。坦率的說，上述工藝過程的危險性並不比家用煤氣更危險，何況使用煤氣的對象往往是各種層次的人，許多甚至是缺乏科學知識的家庭主婦，而進行上述操作的人均為訓練有素的專業人員。兩者當然有天壤之別，儘管如此，在使用上述技術時，我們仍需備加小心，一定要按照操作規程辦事，在筆者曾經歷成百上千次上述實驗，從未出現危險情況（註二八），應當說小心謹慎是十分重要的原因。

6. 對於使用的乙醚，不論是新藥或是回收的乙醚一定要作氧化測試。在貯存容器中，必要時應放置有鐵銹的材料，用以防止氧化的發生（註二九）。

當然上述一切措施均為防止不虞之用。

六、新技術尚存的問題

1. 檢測手段：對於浸泡過程的監控尚未完備，經驗的成分很大，尚需研究出一種可靠的、準確的方法以確定，木質中所含溶劑的精確濃度，提高文物處理的安全係數。

2. 由 $\Delta P = f(\mu, v)$ (註三十) 可知為遏制收縮應力而給出的 ΔP ，實際由 μ 及 v 兩個參數決定：式中 μ 為阻尼係數，它為文物的狀態及細胞修復中的樹脂膜決定，而 v 為壓力容器中木質文物脫醚時的過熱乙醚蒸氣蒸發的速度，它取決於我們脫醚時所選取的氣流量。實驗發現這個速度是受到制約的，制約因素有二：一是過大的 v 將使木質細胞受到過大的壓力，可能造成破損（註三一）。二是過大的 v 將使飽含乙醚的木質迅速降溫，從而達不到上述理論所要求的溫度，使我們獲得的好處盡失。實驗表明參數 μ 的給出，從某種意義上說這是一個模糊系統，它的給出應依我們的經驗選擇，它在量上並無限制，而 v 的給出，通常受到限制，它與加熱系統，傳熱媒介有較大關係，至於安全上的考慮則是易於掌握的。

上述討論同時也告訴我們，同一批次處理的文物應當有相同的狀態，因為 μ 的選擇及 v 的選擇是依它們的狀態給出的。

3. 對於朽蝕到已完全喪失細胞結構的木質文物，細胞修復法的加固作用不夠明顯，可能要輔以其他加固措施。通常此類文物的含水率在百分之八百以上。

七、新醇醚法的未來

1. 多年的實驗研究表明，新醇醚法的思維模式：木材的基礎結構，以及脫水的動態過程中，表面張力所導致的木材收縮是一個真實的過程，由此而給出的膨脹式脫去溶劑的升壓降壓過程是富有成效的，它從相反的角度證明了人們對於木材收縮的認識的正確性。

2. 因為新醇醚法在克服收縮應力的有效性，因此簡化醇醚法，例如尋找一種能與水互溶的低沸點溶劑，甚至合成這種溶劑以取代乙醇和乙醚，使醇、醚連浸的兩個步驟簡化，退一步說若是能找到一種能與乙醇混溶、低毒、低沸點的溶劑取代乙醚亦是十分有用的。筆者曾在過去的論文中，提出的用氟氯系列制冷剂取代乙醚，由於該系列化合物的禁用，一直難以實行。

去年年底在北京舉行的一次大型國際文物保護學術會上，日本國學者公開他們採用的液態二氧化碳取代乙醚的努力，就是用這同一思維模式所做的努力。但是七十個大氣壓的壓力值對於壓力容器，特別是工作空間稍大一點的容器而言，提出了較高的要求。

3. 應當指出，在處理朽蝕嚴重的竹筒、木牘上，新醇醚法的應用有著十分重要的意義。爲了減小收縮量，我們不得不對它們作填充，然而填充量過大，會導致竹筒、木牘發黑，字跡難辨，填充量過小，又會導致它們過大的收縮量。唯有新醇醚法，由於細胞修復工藝中，只需微量的樹脂，即可有效阻止收縮，又不致

因加固材料的存在而使木質材料顏色變深。因此新法在木牘、竹簡的脫水處理中應有很大的優勢。

4. 新醇醚法用於漆器脫水的嘗試：醇醚法用於木胎漆器脫水，因為漆膜對溶劑的阻擋作用，以及由滲透壓而形成的滲透過程的不平衡性（註三二），常常導致漆器的收縮。一般只能用於處理木胎質地較堅實，漆膜與木胎附著情況好，漆膜厚度相對較厚的漆器。

能否應用新醇醚法對木胎漆器作脫水處理呢？多年前筆者曾嘗試對漆器的小殘片作試驗，試驗結果是令人鼓舞的，脫水的殘片，但未有收縮，而且漆膜光亮如新狀況很好，由於是殘片，漆膜不完整，有少量木質是裸露的，所以筆者認為，溶劑與水的交換主要在木胎裸露部分進行，減少了滲透交換中的非平衡因素。二〇〇一年我們嘗試著採用新法對館藏飽水漆器中五塊九澧戰國墓出土的中型木胎漆構件進行脫水處理，這幾件漆器見方在三十公分以上，厚度亦達三至四公分，其中四塊有一面裸露，另一塊則基本為漆膜覆蓋，由於質地嚴重朽蝕，木胎又厚，若採用PEG填充，則填充後裸露的部分，長期暴露在像湖南這樣潮濕的空氣中，十分不妥，於是決定用新醇醚法處理，在適當改進浸泡的方法後，用了約二周的時間，成功的實現了對這五件中型漆器的脫水定型，由於木胎幾乎未見收縮，而漆膜在較為溫和的浸泡環境中完成的溶劑交換，狀況也很好。那塊漆膜較完整的構件，除浸泡時間稍長

一點，沒有什麼特殊，處理結果也很好。坦率的說這幾件漆器的木胎不但朽蝕嚴重，而且漆膜的附著情況也很差，因此處理的結果比我們希望的好。其中有一塊脫水前漆膜即極易脫落，因此在脫水後我們嘗試用蠟對它進行了黏接、固定，效果還有待觀察。像通常見到的戰國漆器一樣，這幾件漆器的漆膜很薄，所繪圖案為雲紋，顯得大氣、粗獷，從造型而言，我很懷疑它們是戰車上的構件。新法用於漆器脫水的成功，使我們受到很大的鼓舞，我們將繼續這一方向上的研究。

結語

通過以上介紹和附件材料我們看到「新醇醚法——飽水軟質木質文物脫水工程」成功的推出了一種飽水軟質木質文物脫水的新工藝。此法的優越性在於：

1. 它以全新的思路徹底改造了傳統方式，這表現在以升溫方式減小溶液表面張力，以膨脹方式克服收縮應力，以細胞修復方式克服收縮及加固文物。

2. 使新工藝與較為完備的新理論結合，有效的克服了飽水軟質木質文物的收縮，有效的降低了國內外同類方法中的收縮率，而收縮為零的結果，將為傳統方法不宜使用的敏感器形的木質文物脫水處理提供機會。

3. 在醇—醚中的升溫交換新技術大大縮短了文物的處理周期，使其成爲世界上最快捷的

方法。

4. 細胞修復法的採用，使飽水軟質木質文物重新獲得強度，這對於今後的安全保存有著重要意義。

5. 藥物回收系統，大大降低了醇醚法的成本。

6. 工業操作系統，使新工藝易於施行並保持了很高的工作效率。為大批量處理木質文物提供了強有力的手段。

7. 新工藝減少了對環境的污染，由於是封閉系統，大大提高了安全係數。

8. 為飽水漆器的脫水提供了新的研究方向。

9. 新工藝仍然存在一些問題尚待我們去努力解決。

註釋

一、這裡權且不提人們在研究植物的有用成份及其合成方面的大量新發現，最具諷刺意義的是：人類似乎是在地球上出現大面積荒漠化後才認識到森林植物被對於人類的意義，而以聰明見稱於世的中國人在這方面表現的遲鈍可說是拔了頭籌。

二、這並非一個好消息。若是統計一下各國對木質文物保存研究方面的文獻，我們可能會遺憾的發現它的數量與出土文物的數量極不相稱，因為此類文物多在東方尤其是中國出土。筆者這樣說只是一個猜測，並未作過實際的統計，但願這樣猜測並不正確。但是筆者認為，僅從本國的利益出發，我們亦應當在此項研究中投入更多的力量。

要靠我們自己解決自己的問題。

三、一九九六年長沙望城出土的西漢王室墓，發現自古被盜多次的這一大墓中，碩果僅存的是數以千計的漆木器，盜墓賊為了尋找他們心中的寶物，曾將這些漆木器在墓坑內多次翻動，挪位。這些被他們視為礙手礙腳的廢物而致損的文物恐不在少數。

四、木材在脫水收縮時，在不同的方向有不同的收縮力和收縮率，因此導致器物扭曲、變形，甚至裂開，其結果是很難以預知的。

五、筆者早年在參觀北京十三陵時，驚奇的發現長陵、定陵中所藏皇帝對皇后冊封記錄居然亦是在木頭上書寫的。

六、以下各節有關木材物理化學模型的議論參考：木材內幕——大自然的傑作美·W·M·哈洛，中國林業出版社出版，一九七〇年，*Inside Wood Masterpiece of Nature*, The American Forestry Association 1970 Wilim M.HARLOW PH.D.

七、筆者一次在清洗戰國木質器物時，由於受驚於意外的聲響，抖動的手使木頭裂下一塊，掉在地上，如同稀泥頓時失去了形狀，令筆者懊惱不已。

八、浸水材即指木材細胞腔中也充滿了水的木材，通常只有在木材浸泡在水中時，才會出現這種情況，詳見註六。

九、有一種很流行的看法，認為不同的木材，樹種或同一木材的不同部位在失水時收縮率會出現不同的情況。筆者同意這一看法，筆者發表在「全國第五屆考古與文物化學保護研討會」的論文中通過計算，對此作了理論上的證明，但同時筆者認為當木材含水率高達百分之四百或更高時，上述說法就不很確切了，由於化學成分的改變使不同樹種或不同部位在化學結構上的差異已變小，朽

蝕使它們更趨一致，很難說何種樹種在結構上具有什麼優勢，即使細胞腔的大小在收縮壓力上造成差異，然而一旦收縮開始，增長的應力將使它們的優勢完全喪失。

十、見一九九八年「全國第五屆考古與文物化學保護研討會」論文集上所載筆者的論文。

十一、十一、十三、十四、見《古物及藝術品的保養》

五·J·卜倫德萊斯，紹照譯，圖博口、文博組編，一九七三年北京。

十五、詳見筆者發表在台灣《故宮文物月刊》第一六七期上的論文〈漆木器溶劑脫水法探討之二〉。

十六、近年來，湖北省博物館、河南省博物館、湖南省博物館在填充上均有建樹。又見一九九七年台北舉行的文物保存國際學術會議論文集中有關PEC含浸法的論述。

十七、同註十。

十八、詳見筆者發表在台灣《故宮文物月刊》第一五八期上的論文〈漆木器溶劑脫水法探討之一〉。

十九、同註十五。

二十、同註十五。

二十一、詳見上述論文所附照片。

二十二、詳見對比照片之一、戰國鼓殘片處理及三個戰國木俑照片。

二十三、詳見戰國鼓對比照片。

二十四、衆所周知，醇醚法處理飽水漆木器有兩難，其一是脫醚時的收縮對文物產生的破壞，其二是浸泡時對文物產生的破壞，（詳見論文之一）新醇醚法解決了兩難之一。但對浸泡過程中出現的問題，則需完成筆者所擬「飽水軟質漆木質的無損浸漬」課題後方能最終解決。

二十五、詳見《溶劑手冊》程能林編著，化學工業出版社，一九九四年出版。四〇二頁：「乙醚見光或

久置空氣中能形成有爆炸性的過氧化物」，鐵容器作為抗氧劑用於貯存是十分理想的，我們對過氧化物的檢測證明了這一點。

二六、坦率的說，我們至今對於何種狀態的木質文物採取上述技術能完全實現零收縮率，並無絕對把握，從經驗上看，含水率百分之四百至六百左右的似乎能做到，考慮到阻尼係數及氣流量的可變發行量，我們希望通過改變這些參數，實現不同含水率的木質文物的零收縮率，然而這需要一個較長的實踐階段。

二七、配合我們的實驗，橡膠廠的技術人員為我們製了專用橡膠。採用聚四氫乙烯做墊圈，當然最為理想。但對於大口徑的壓力容器，目前尚未找到有合適大小尺寸的聚四氫乙烯板料。

二八、這裡當然不包括「壓力降壓脫醚」首次試驗及墊圈耐用實驗，事實上這兩次試驗都十分危險。

二九、見註二五。

三十、式 $\Delta P = f(u, v)$ 在筆者一篇尚未公布的論文中有專文討論。

三一、見註二十中 $\Delta P = f(u, v)$ ，而 ΔP 見筆者二〇〇一年十一月在北京舉辦的「北京文物保護學術會議」中公布的論文中推算得出的收縮應力：

$$F = \int (P_a - P_b) \cos \theta ds$$
$$\text{式中 } P_a - P_b = \Delta P \cdot \text{而 } P_b \text{ 即為氣流對細胞腔的擴張壓強，當流速 } v \text{ 過大時，即可引起文物破損。在我們所做的破壞實驗中，這一點已得到證明。}$$

三二、筆者發表在台灣《故宮文物月刊》一五八期上的論文〈漆木器溶劑脫水法探討之一〉對此有詳盡討論。