

博物館低氧除蟲實務經驗探析

呂釗君¹

摘要

本文主要為作者操作氮氣及脫氧劑之低氧除蟲經驗，分享給有意規劃與操作低氧除蟲者，或於材料仍有不熟悉部分之操作者，因此不再贅述基本除蟲原理。文章主要分為低氧除蟲的通用原則、氮氣除蟲與脫氧劑除蟲3個段落，分別說明影響除蟲效果的環境條件，氮氣與脫氧劑兩類材料設備的操作注意事項。

關鍵詞：低氧、氮氣、脫氧劑、博物館除蟲

前言

近年物理式除蟲逐漸取代化學除蟲，許多典藏單位或廠商對於低氧除蟲的應用產生興趣，筆者因曾操作脫氧劑、氮氣、液態氮、氮氣機、全自動調溼裝置等設備進行低氧除蟲，也曾自行組裝調溼裝置，因此偶有典藏單位諮詢低氧除蟲設備規劃。2022年4月筆者獲國立臺灣文學館邀請參加工作坊，向相關典藏單位介紹脫氧劑除蟲的材料工具與絕氧包製作，會後有感近年典藏單位之設備建置發展，決定撰文分享自身經驗與心得。本文不詳述低氧除蟲之原理與設備，想瞭解更多資訊的讀者建議閱讀1998年C. Selwitz和S. Maekawa的著作《Inert Gases in the Control of Museum Insect Pests》以及2003年S. Maekawa和K. Elert的著作《The Use of

Oxygen-Free Environments in the Control of Museum Insect Pests》。

低氧除蟲通用原則

同樣的詞語對於不同人可能有不同的定義，本段落會先解釋筆者使用的一些名詞，再說明低氧除蟲的基本原則與操作時的注意重點。

一、名詞定義

在此先定義文中常提的一些名詞，避免閱讀時造成混淆。

- (一) 微環境：密封後不與外界接觸的空間，本文指如絕氧包、氮氣櫃、氮氣庫、氮氣艙等低氧密閉環境。
- (二) 脫氧：脫除氧氣，減少微環境氧氣
- (三) 絕氧：隔絕氧氣。

¹ E-mail: chaochunlu@npm.gov.tw

(四) 絕氧袋：使用絕氧膜製作的袋子，尚未置入藏品並密封成絕氧包。

(五) 絕氧包：使用絕氧膜或絕氧袋製作，呈現密封狀態。

二、氧氣濃度

氧氣降至 0.5% 以下即可除蟲，但除蟲溫度須高於 30°C，因此實務多以 0.3% 為低氧上限。動態氣體型式的低氧除蟲，由於持續以氮氣汰換空氣，氧氣量會持續下降。依筆者經驗，使用液態氮鋼瓶時，微環境的氧氣量大約可降至 0.03% 左右，使用氮氣機甚至可降至 0.01%。靜態的脫氧劑處理，微環境內只能透過觀察氧氣檢知劑的反應來計算時間，而一般氧氣檢知劑會在氧氣量 0.1% 以下時發生明顯的變色反應。

另外要注意到空氣與氧氣、氮氣的比重，分別是 1 與 1.105、0.967，這表示低氧除蟲時，氧氣的偵測位置應位於低點，較具代表性。

三、溫溼度

低氧除蟲的溫度越高、相對溼度越低的效果越好，且溫度大於 25°C 時昆蟲加速新陳代謝，效果更佳 (Valentin and Preusser, 1990: 22-33)。微環境應綜合考量典藏與展示環境，波動越少越好，除蟲溫度會接近典藏溫度，但不可低於 20°C，低於 20°C 則除蟲效果不佳。微環境相對溼度可藉由緩衝材料、調溼劑或調溼設備來控制，建議不超過相對溼度 55%，並視藏品狀況調整以兼顧藏品安全。部分典藏機構會在氮氣庫艙內設置冷氣空調，空調可增加微環境的氣流循環，然需多加注意溫度設定與相對溼度的波動變化。

四、除蟲時間

以往計算除蟲時間時，多會參考 1996 年 Rust 針對博物館常見 10 種昆蟲的實驗，在溫度 25.5°C、相對溼度 55%、氧氣濃度低於 0.1% 時，需 8 至 10 日的除蟲時間 (Rust et al., 1996: 43-60)。Maekawa 後來在 Rust 的基礎上增加 50% 的處理時間為 14 日，並提出溫度降低 5°C 時，處理時間需要再增加 50% (Maekawa and Elert, 2003: 9-10)。2015 年時 Pinniger 指出 25°C 時，除蟲時間為 2 至 3 週 (Pinniger, 2015: 88)，2017 年美國文物保存學會²年會的藏品保護講座中，修護師們根據自身實務經驗，建議除蟲時間應延長至 28 日效果較佳。會後筆者採用此建議，目前使用的氮氣庫設定如下：相對溼度 52%，微環境溫度約 23°C，處理時間為氧氣量低於 0.3% 後起算 4 週。

五、禁忌

有些材料雖在低氧環境中會變色，在回到有氧環境後顏色會逐漸恢復，但劣化的普魯士藍不會，應避免含有普魯士藍的藏品進行氮氣處理 (Rowe, 2004: 259-270)。然而普魯士藍在氬氣低氧處理的黑暗環境中不會受影響 (Koestler et al., 2018)，若典藏品含有普魯士藍時，可能要考慮改用氬氣或其他方式進行除蟲。

氮氣除蟲注意事項

氮氣除蟲是利用持續性的氮氣沖洗汰換微環境中的氧氣，並維持微環境於正壓的狀態，避免氧氣從壁體與管線接縫處滲入，常應用在中大型的絕氧包、低氧櫃、庫、艙等微環境。

² American Institute for Conservation of Historic and Artistic Works.

一、微環境

規劃時要注意藏品與人員進出移動的安全性，移動式庫艙要注意移動便利性與使用時的穩固性，走入式庫艙則建議儘量做到入口處無斜坡與門檻，內外皆能開門，避免工作人員受困。

二、氮氣機

又稱氮氣產生機，開機暖機後即能製造氮氣，設備空間需求小，亦無鋼瓶更換與氣體填充的問題，適合中大型的微環境使用，建議選擇無油式空壓機的機種。從預算來說，除了初期的設備採購外，日後依照使用時數，需要定期進行保養檢修。

氮氣機在使用時，壓縮機運轉會持續產生熱氣造成室溫上升，氮氣庫管線溫度與庫內溫度皆會受到影響。在規劃氮氣設備時必須考慮此狀況，加強氮氣機周圍的換氣或降溫，或將除蟲空間設置於較大之空間，亦可考慮將氮氣機放置相鄰區域，減少直接影響。

歐盟在 2012 年頒布的新規範³中禁止使用氮氣機，雖然我國博物館未受其影響，但從近年的國際研討會、博物館交流中可以發現歐洲博物館已鮮少使用氮氣機，多以鋼瓶為主。為擺脫限制，歐盟內外各國、典藏與修護單位經過多年申訴與抗議，典藏品的氮氣除蟲現正朝特許業務的方向邁進 (Martinez and Vergeer, 2021: 12-15)。

三、氮氣鋼瓶

常用的氮氣氣體鋼瓶的容量約 6m³，可長期儲放，除了適合中小型的除蟲處理外，也能做為氮氣機備援，於停電或機器檢修時切換供氣。每個鋼瓶須搭配壓力閥控制（圖 1），兩者為建置初期購買，鋼瓶耗盡後廠商會直接提供填充好的鋼瓶更

換。惟氣體鋼瓶容量有限，備用囤放之數量，除了空間限制外，也要考慮氣體供應商的距離與供貨時間。

四、液態氮

液態氮的溫度低於 -196°C，在室溫中會持續蒸發消逝，無法長期囤放，必須於使用前由氣體廠商填充或更換。液態氮可使用約 175L 容量的儲存桶，依筆者經驗視流量每桶約可使用 1 至 3 日，需如氣體鋼瓶一樣更替使用。另一種選擇為填充式儲存槽，可配合氮氣使用量，設置於戶外易達處，於除蟲前進行填充，優點是可以一次儲存大量的氮氣。

使用時，桶槽內的液態氮會流經蒸發器，將氮氣由液態回溫為氣態後再進入調溼裝置。液態轉氣態時的吸溫膨脹，會造成部分管線、蒸發器鰭片結冰，因此鋼瓶或儲存槽放置處會有融冰積水的問題（圖 2）。



圖 1. 氮氣鋼瓶與壓力閥（攝影／呂釗君）

³ Biocidal Products Regulation, (EU)528/2012.



圖 2. 管線與桶壁結冰的液態氮儲存桶（右）與蒸發器（左）（攝影／呂釗君）

五、調溼設備

液態氮或氣體鋼瓶流出的氮氣相對溼度極低，需要通過調溼裝置進行適當的加溼處理，也能在溼度偏高時增加乾燥氣體的比例，調節低氧微環境內相對溼度，其設備原理不在本文贅述。

（一）設備建置

調溼設備製造難度不高，除了委由設備廠商設計製造外，也可以密封罐、管線、球閥、針閥、流量計、快速接頭等食品級零件自行組裝，雖然快速接頭與帶針閥的流量計價格較高，但裝置完成後可重複使用。惟自行打造的設備無法達到自動化，不會依照氮氣進氣量與微環境的溼度自動調整乾溼氣比例，使用時須人工監控與調整。

（二）水

加溼桶的水不可使用自來水，因自來水含氯，為避免影響藏品安全，應以純水

為主要水源。若受到工作環境中無水源之限制，可以手動加水，並於設計時加大加溼桶尺寸，避免除蟲途中需要時常補水。

（三）清潔

雖然加溼桶使用的是純水，但長時間的高溼度與積水，調溼桶內仍可能形成生物膜，進水管線也可能因水垢、生物膜而變色，建議調溼設備要能方便清潔，管線也要能更換。

六、微氧分析儀

低氧除蟲使用的微氧分析儀多採用電化學或氧化鋯兩類感測器的機種。電化學的儀器價格較為經濟，電化學感測器經啟用後會持續消耗，大約一年更換一次。氧化鋯型微氧分析儀的價格較高，暖機時間較長，但氧化鋯感測器的使用年限約達 10 年，且感測器是開機才會消耗，因此 10 年的壽命對於博物館幾乎是可終生使用。

若氮氣低氧除蟲的工作區較小或不通風，建議在微環境外的工作區再加裝一組氧氣分析儀，進入工作區前可先確認氧氣量，避免氮氣洩氣而不覺。

七、溫溼度控制

微環境內必設溼度計，溫度計則可視微環境種類彈性設置，袋裝的微環境的溫度會直接與外環境連動，庫艙型微環境或氮氣機放置在同一工作區者，則建議要一併監控微環境內外溫度，才能即時調整，不致因機器熱氣間接影響微環境溫度。

調溼裝置的混和桶亦應能即時監控相對溼度，以便適時調整乾溼氣配比，減少微環境內的溼度波動。使用手動微調的調溼裝置時，出氣的相對溼度會隨著進氣量而有波動，鋼瓶於啟用與耗盡之際，需特別注意溼度波動變化，以適時調整混氣比例。

八、備用電源

由於氮氣除蟲的一個行程約耗時 1 個月，若過程中突遇電源檢修、保養、停電等狀況而無法及時恢復供電，極可能造成微環境氧氣量上升或相對溼度失去控制，因此建議準備備用電源供微氧分析儀與自動調溼設備使用。另外，氧化鋯型微氧分析儀關機後需要再次暖機，主備援的電源切換最好能無縫接軌。

九、選配：吸塵器

動態氣體除蟲的絕氧包在除蟲處理時會維持在正壓狀態，製作時可以配合可調速的吸塵器適時調節抽氣量，先將微環境的空氣抽出後，再灌入氮氣，重複此步驟可快速降低微環境的氧氣比例，但抽灌氣時不可過於接近或直對藏品。藏品結構較脆弱時，可以無酸紙盒等具透氣性之材質盛裝或加覆棉墊等透氣緩衝材，避免絕氧袋或膜壓迫到藏品。

然而在抽灌氣體的過程中，絕氧袋或絕氧膜不斷的鼓起與收縮，容易造成深摺或細小孔洞，提高氧氣滲入機率，考量此

狀況僅建議正壓微環境的前處理可使用吸塵器，且抽灌次數不宜多。

十、重要原則：安全第一

氮氣低氧作業，操作不慎會造成工作環境氧氣量過低，安全起見，儘量不要一個人作業，也可以行前告知同事、作業時把工作區的門打開等方式，至少要使人知道有人正在工作。

進入大型氮氣庫時，務必確認庫內氧氣已恢復正常值，或加強換氣促使氧氣回升，若入庫後突感頭昏，請火速離開至外室休息。建議可在工作區域或氮氣庫內分散放置登山用的氧氣隨身瓶數個，當氮氣洩氣，或進入氮氣庫內工作時氧氣未全面回復正常值，致工作人員不適時可立即使用。

以筆者經驗，某次工作忙碌，忘記進入氮氣庫前用風扇擾動庫內空氣，位於門邊的微氧分析儀雖已顯示氧氣濃度正常，但因庫內仍有局部氧氣量未恢復，結果工作時突感頭昏腿軟，此後便在庫門板上貼了警告標語做為提醒（圖 3）。

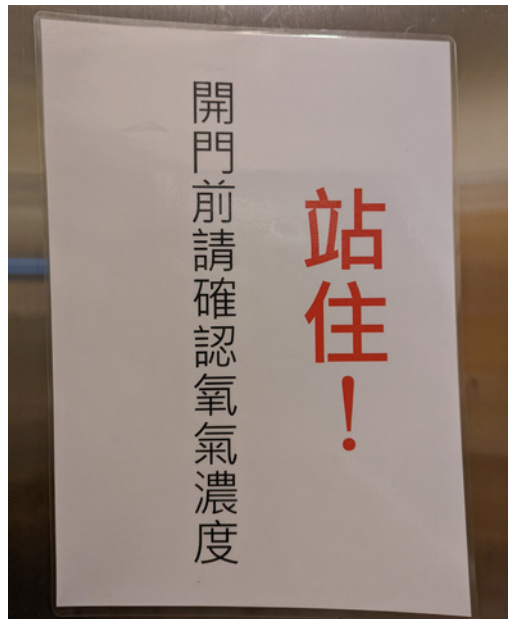


圖 3. 氮氣庫門上貼有警告標語，右為標語內容。（攝影／呂釗君）

脫氧劑除蟲注意事項

有鑑於網購的日益發展，現在很容易取得低氧除蟲材料，如真空食品包裝袋、脫氧劑等，然不一定所有材料的供應商皆能提供材料的透溼率與透氧率等資料。若遇到資訊不足之情形，建議自己先行測試，試看看效果是否能應付完低氧除蟲行程。

一、絕氧膜與袋

網路上皆可買到現成的複合膜或已三面封裝的各式真空包裝袋，多數食品級的真空包裝材多可供低氧除蟲使用，應選擇透溼率與透氧率皆低之阻隔材料，避免密封後的微環境持續受到外界溼度與氧氣的影響，透溼率與透氧率的建議數據，建議直接洽詢脫氧劑廠商。一般而言，鋁箔的透溼率與透氧率皆最低，但使用時容易穿刺與撕裂，可夾附韌性較佳的材質如尼龍，但尼龍的熔點高，會再夾附熔點較低的聚乙烯材質連接鋁箔與尼龍，如 Marvelseal® 360，就是尼龍／聚乙烯／鋁箔／聚乙烯的 4 層複合膜。惟鋁箔材料不透明，無法觀察袋內氧氣檢知劑，需要挖洞熔接透明絕氧膜成窗口，卻也容易因窗口連接處接合不佳造成外氣進入，影響氧氣濃度。

幸好材料與時俱進，現在透明絕氧膜已有許多種類可供挑選，且物美價廉，選擇時選用材質穩定、耐久性較佳的原料，如鋁箔、尼龍、聚乙烯、聚丙烯等，畢竟典藏單位使用的速度較慢，尚需考慮材料囤放的耐久性。

二、熱封設備

常見封口用的器材有熱封夾與鋤刀式封口機兩種，建議挑選有溫度控制的機種，尺寸以操作便利為原則，封口寬度建議至少 1cm。熱封夾封口寬度較寬，封口

長度選擇多，手持的特點使其易配合絕氧袋尺寸與形狀操作；熱封夾使用時需先熱機，且連續使用後封口處溫度會下降，建議使用數次後要暫停作業，待機器回溫後再繼續。鋤刀式的封口機，使用上有尺寸限制，僅適用平面或小型的絕氧包，封口機多為瞬熱式，不須提前暖機，由調整封口加熱時間來控制封口溫度，然封口寬度較窄，約 2 至 5mm，建議平行多封幾道，提高密封效果。筆者使用的熱封夾左右長度 30cm，封口前後寬度約 1cm，使用方便，但重量達 2kg，使用時需要有同事合作，一人拉絕氧膜，一人熱封，建議應視操作習慣選擇適合的熱封夾款式（圖 4、5）。



圖 4. 長 30cm，封口寬度 1cm 的熱封夾。（攝影／呂鈞君）



圖 5. 熱封夾溫度控制轉盤與指示燈號（攝影／呂鈞君）

不管使用何種熱封設備，正式作業前皆建議進行溫度測試，確保機器的溫度可正確熔合絕氧膜，才能有效隔絕氧氣。測試方式如下：以熱封設備絕氧膜樣本，待冷卻後，徒手撕裂熔合處，若撕開後兩側絕氧膜仍保持完好，表示溫度不足，需調高溫度或增加加熱時間；若不易撕開，或撕開後明顯見到絕氧膜分層破損，則表示溫度適宜；若熔合處產生氣泡且變形內縮，則表示溫度過高，需降低熱封溫度或縮短加熱時間。熱封溫度過高與不足，皆會影響絕氧效果，因此熱封溫度測試非常重要。

三、脫氧劑

以下介紹脫氧劑的種類，用量與擺放注意事項。

(一) 種類

脫氧劑分為鐵系與非鐵系兩大類（圖6）。

從低氧除蟲的使用演變來說，早期使用的是鐵系脫氧劑，鐵系是利用鐵粉的

鏽蝕氧化反應來吸除微環境中的氧氣，反應過程與反應結束後都會產生些微水氣，且氧化過程中脫氧劑會發熱，使用時有許多要注意的地方，例如不能太靠近藏品，也建議在藏品外加附緩衝材降低溼度的影響，或可以放入調溼劑維持溼度穩定。鐵系脫氧劑最大的優點為價格低廉，對於有預算考量的使用者來說，只要操作時注意避免前述狀況，並選擇適合用於中低含水量的脫氧劑種類，鐵系其實是不錯的選擇。特別是混合式低氧除蟲時，利用鐵系脫氧劑及藏品外覆的緩衝材直接調節平衡微環境溼度，填充的氮氣可免調溼。

另一類非鐵系脫氧劑，又稱為有機型脫氧劑，以三菱氣體化學的RP脫氧劑最具代表性，RP以有機成分吸收氧氣與腐蝕性氣體，其中RP-A型還會吸收微環境水分製造乾燥的環境，常被應用在金屬器的保存。一般藏品較常使用的是RP-K型脫氧劑，此型脫氧劑對微環境的溼度影響低，因此部分典藏單位會以此類脫氧劑為優先選擇。非鐵系脫氧劑除了三菱外，目前也有其他廠商有類似的產品，建議可多



圖 6. 左：多連喜 PQ-300PW 含粉狀氧氣檢知劑之鐵系脫氧劑，尺寸為 60 x 60mm；右：三菱氣體化學 RP-20K 有機型脫氧劑，尺寸為 100 x 130mm。（攝影／呂釗君）

向市場詢問。

脫氧劑選用重點：一、脫氧能力，在廠商提供的標準規格下能在多少時間內吸除氧氣至期待值（一般為 0.1%）。脫氧速度過快會影響操作時間與實際氧氣吸除量，過慢則會延長處理流程。二、溼度，脫氧劑是否可獨立作用，或是需要特定相對溼度條件才能起反應。

（二）用量計算

先估算出微環境容量，估算待處理物體積，兩者相減後之空氣量，再以此空氣量來換算脫氧劑數量。實務上，筆者會僅以微環境容量來估算脫氧劑用量，畢竟絕氧袋一旦封裝便無法重來，寧願多放脫氧劑也不要事後發現劑量不足。

脫氧劑的吸氧量可以從包裝型號辨別，不同種類的規格標示有極大的差異，採購時可向供應商請教用量的計算方式。以容量為 6L 的絕氧包推算脫氧劑的使用量，多連喜 PQ-300PW 的鐵系脫氧劑，300 意指可吸收 300mL 的氧氣，氧氣約佔大氣的 1/5，以此推算出每包對應的空氣量為 1,500mL，6L 的絕氧包最少需要 4 包；再以非鐵系的脫氧劑 RP-20K 為例，20 指的是對應的空氣量 2000mL，6L 的絕氧包最少需要 3 包。

（三）操作方式

低溫存放可延長脫氧劑壽命，開封後的脫氧劑在冷卻狀態下也可以延緩吸氧速度，爭取較充裕的作業時間。不論是何種脫氧劑，即使是不會發熱的非鐵系脫氧劑，也要避免直接接觸藏品。

考量微環境內的氧氣比重，建議將脫

氧劑放於較低處。且擺放時，要避免相互遮蓋，至少要有單面完全露出，另一面也儘量透過排列，增加接觸空氣的面積。

四、氧氣檢知劑

偵測與顯示微環境氧氣濃度的氧氣檢知劑，又稱氧氣指示劑，除了早期獨立包裝的錠劑外，現在已有如粉狀、條狀、片狀等形式，有獨立包裝，也有直接附加在脫氧劑包裝的類型。採購後建議要趁新鮮使用，不要囤放過久，因為檢知劑最為人詬病的便是容易失效。建議使用時可以雙面膠多黏幾個在微環境的不同位置，避免單一檢知劑失效，並可確保不同區域皆達低氧狀態。

英國 Hanwell 有一款無線氧氣檢知儀：Anoxibug Alert indicator⁴，可以取代氧氣檢知劑放入絕氧袋內，以燈號顯示微環境氧氣濃度，當氧氣濃度低於 0.02% 時燈號會由紅轉綠⁵。此電子儀器的優點是準確，缺點是單價較高，除非定期進行脫氧劑除蟲作業，不然仍建議作業前採購新鮮的氧氣檢知劑即可。

五、溼度指示卡

顯示絕氧袋內的相對溼度，若藏品材質敏感，還可以加放調溼劑以維持微環境，但調溼目標應不超過相對溼度 55%，因微環境溼度與除蟲效能息息相關。

六、無酸紙或棉胚布

對於光敏感或溫溼度敏感的材質，建議在藏品外包覆無酸紙或棉胚布，減緩微環境波動與工作照明對藏品的影響。棉胚布建議選用未漂白、未染色與無漿的柔軟

⁴ 屬於電化學式微氧偵測器，使用期限為 3 年，Talas 網站 <https://www.talasonline.com/> 售價為美金 595 元（瀏覽日期 2022/06/14）。

⁵ 氧氣偵測濃度資料查自 Insects Limited 官網，<https://www.insectslimited.com/store/p/hanwell-anoxibug-oxygen-indicator>（瀏覽日期 2022/06/14）。

布料，清洗晾乾後可重複使用。胚布的清洗方式，除了手洗外，也可以準備一臺洗衣機專供胚布或修護材料清潔使用。若需要使用洗劑，可選用中性洗劑，並增加洗淨次數避免殘留，洗淨後於室內晾乾或逕以乾衣機烘乾，避免戶外粉塵沾附。

七、無酸雙面膠

用來固定脫氧劑、氧氣檢知劑與溼度指示卡的雙面膠，因為會與藏品存放於同一微環境內，應選用無酸雙面膠為宜。

八、無酸瓦楞紙板

除了新材料外，可利用無酸紙盒切裁剩下的長型邊角料，或是其他具有支撐性的文保材料，如聚丙烯瓦楞板，主要的功能是固定微環境內脫氧劑、氧氣檢知劑、溼度指示卡等非藏品之工具，使其能輕易放入微環境與取出，也能避免這些工具與藏品直接碰觸。使用前，可先將紙板四角修裁為圓角，邊角皆用骨刀刮過修除尖銳部分，避免入袋後割或戳傷絕氧膜。

九、鋁箔膠帶

製作中大型的絕氧袋時，可能因為操作造成絕氧膜有白色摺痕與破洞的疑慮，此時可以鋁箔膠帶做為補丁，打補深摺痕、刮痕、可能有破洞之部位。

十、剪刀與美工刀

裁剪絕氧膜、無酸瓦楞紙板、無酸膠帶等材料用，應保持乾淨、銳利，避免膠漬殘留。當刀片有膠漬時，可嘗試以酒精或丙酮去漬，再以清水擦拭清潔。

十一、奇異筆、便利貼或標示牌

用來標註絕氧包的內容物、氧氣檢知劑變色的時間，與預計完成處理的日期。這些註記不僅可以提醒自己相關細節，也可以讓其他同仁知道有藏品正在做低氧處

理，請勿移動或重壓。

十二、選配：鹵素氣體偵測器與壓縮空氣

專門用來偵測鹵素氣體的氣體偵測器，可配合電腦除塵用的壓縮空氣吹罐使用，偵測吹罐內微量的推進劑如四氟乙烷，但不是所有吹罐內容物都可以被偵測到，仍須事先測試。

製作立體藏品的絕氧包，或進行絕氧包的不規則封邊，或是利用二手材料製作絕氧包時，可以在絕氧包即將封裝完成前，灌入少許的壓縮空氣，封邊完成後利用偵測器逐一檢查封邊與可能破損點，若未封實或確有破損，偵測器將會感應到灌入的氣體而發出警訊，遇脆弱處可再熱封補強，無法熱封時也可以鋁箔膠帶補丁。除了脫氧劑處理可用以檢測絕氧包的密封程度外，氮氣處理也可藉此抓漏以節省氣體消耗。

十三、重要原則：加倍佳

脫氧劑的使用量，建議以 2 至 3 倍為佳。絕氧包密封至氧氣檢知劑有反應至少需要 2 至 3 日，較大尺寸的絕氧包甚至需要 5 日以上，若脫氧劑放置量不足，將會消耗過多工作時間與材料。且若絕氧包有未查覺之微破損，多餘的脫氧劑也能適時吸附滲入的氧氣，維護微環境於低氧狀態。

當採購的材料無法取得氧氣與水氣滲透率的資訊時，可以製作測試用絕氧包，確認材料是否能達到需求。如筆者新購之兩種夾鏈立袋，一款為 NYLON/LLDPE 之四兩透明夾鏈立袋（圖 7 左），一款為 KPET/LLDPE 與 PET/AL/LLDPE 之半斤半面鋁箔夾鏈立袋（圖 7 右），因廠商未提供透氧率，便自行測試確保能長期維持低氧狀態。

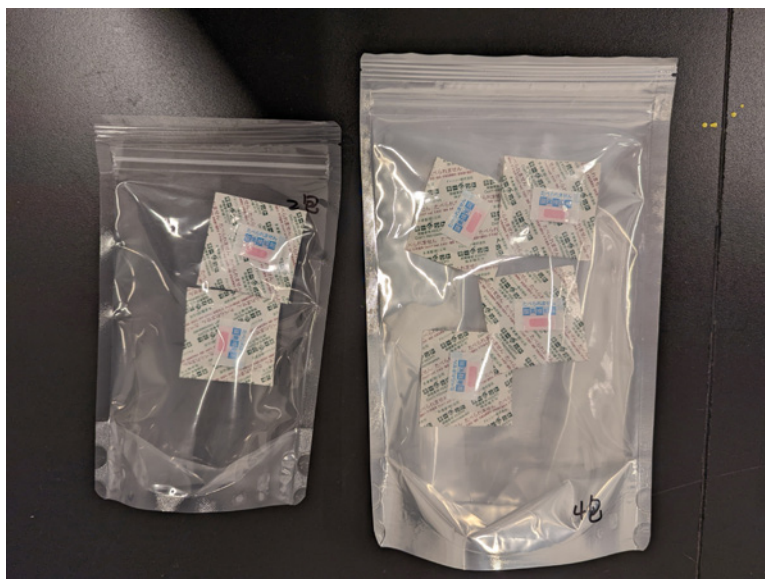


圖 7. 兩款新購絕氧袋於 100 日後氧氣量仍低於 0.1%，可有效隔絕氧氣。2022 年 3 月 18 日封裝，3 月 21 日氧氣檢知劑變色日起算至 6 月 28 日拍攝日止，共計百日。(攝影／呂釗君)

結語

自動化的除蟲設備費用雖高，若規劃得當，可以大幅減省後續操作所需的人力與時間，但設備保養將會是固定支出。自製的手動調溼設備，費用較低且組裝容易，然而必須靠人力監控溼度與氧氣含量，與自行調整進氣與乾溼氣比例，可能增加操作人員的工作量與工作時間。脫氧劑處理，工作區域有彈性，只要封裝熟練操作得宜，除了中大型絕氧包封裝時須較多人協助外，之後僅需定期觀察確保氧氣量即可，然脫氧時間會受到絕氧包大小與藏品外型影響，普遍來說處理時間較氮氣

長。本文為筆者實務操作與參加會議交流所得之經驗，供有意採用低氧除蟲的文保相關人員參考，希望透過分享個人經驗提供其他典藏單位做為低氧設備規劃之參考與提高操作之成功率，間接減少失敗之耗材與耗能。

誌謝

感謝 John Burke 老師、林春美老師、蔡斐文老師的指導，引發筆者對低氧除蟲法的興趣與探討。感謝審查委員的寶貴意見，使本文更加順暢完善。

參考文獻

- Koestler, D., Ballard, M., Charola, A. and Koestler, R., 2018. Does argon anoxia cause a color change in Prussian blue pigment? *Journal of the American Institute for Conservation*, 57(1-2): 47-61.
- Maekawa, S. and Elert, K., 2003. *The Use of Oxygen-Free Environments in the Control of Museum Insect Pests*. Los Angeles: Getty Conservation Institute.

- Martinez, M. and Vergeer, M., 2021. Nine years of in-situ generated nitrogen ban in the EU. *News in Conservation*, 84: 12-15.
- Pinniger, D., 2015. *Integrated Pest Management in Cultural Heritage*. London: Archetype Publication Ltd.
- Rowe, R., 2004. The effect of insect fumigation by anoxia on textiles dyed with Prussian blue. *Studies in Conservation*, 49(4): 259-270.
- Rust, M., Daniel, V., Druzik, J. and Preusser, F., 1996. The feasibility of using modified atmospheres to control insect pests in museums. *Restaurator*, 17(1): 43-60.
- Selwitz, C. and Maekawa, S. 1998. *Inert Gases in the Control of Museum Insect Pests*. Los Angeles: Getty Conservation Institute.
- Valentin, N. and Preusser, F., 1990. Insect control by inert gases in museums, archives and libraries. *Restaurator*, 11(1): 22-33.

收稿日期：2022 年 7 月 1 日；接受日期：2022 年 9 月 15 日

作者簡介

呂釗君現任國立故宮博物院助理研究員。

Museum Anoxic Pest Control Practices and Experience

Chao-Chun Lu*

Manuscript received July 1, 2022; accepted September 15, 2022

Abstract

The aim of this article is to share information about anoxic pest control methods in museums, such as the use of nitrogen gas and oxygen absorbers, based on the author's experience, with those who intend to implement or who are implementing anoxic pest control methods or who have some unfamiliarity with these methods. Therefore, basic pest control principles are not described in detail. This article is divided into three sections, principles of use of anoxic pest control methods, nitrogen gas, and oxygen absorbers, to explain the environmental conditions that influence the effectiveness of pest control methods and to provide tips and precautions for working with nitrogen gas and oxygen absorbers, as well as their associated materials and equipment.

Keywords: anoxia, nitrogen, oxygen absorber, museum pest control

* Assistant Research Fellow, National Palace Museum; E-mail: chaochunlu@npm.gov.tw