

青銅文物展示的濕度控制

沈建東

青銅器的有害銹蝕防治，在國內容易潮濕的環境下，是一項困難的任務。除了度藏青銅器的庫房要針對青銅文物加以濕度控制，以維持不致誘發有害銹蝕的環境條件外，青銅文物的展示空間更是困難處理的課題，由於展出的環境並非具備理想的保存條件，未能像庫房那般有效控制，同時展櫃的設計及佈展使用材料與展場動線等等的規畫與施作，都起著影響青銅器保存的成效。

青銅文物展出的濕度要求是不超過百分之四十五的相對濕度，而環境因素是加速造成有害腐蝕發生的原因，又青銅器常常當作永久展出或長時段展出的展件，所以其中影響保存成效的變因以及降濕作業與管理，都是必須要加以考慮的，以期營造出有利於保存青銅文物的展示方式。

青銅文物的銹蝕與保存方式

青銅文物展示的展櫃不外是以長條櫃、獨立櫃及平台櫃陳列的方式，同類材質規劃於同一個展示區內，這

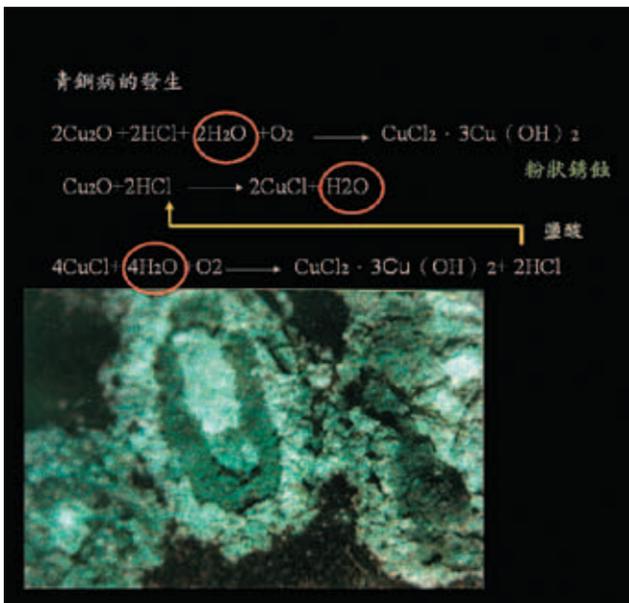
樣的展出方式比較簡單的，意味控制了展場的濕度也就保障了展櫃內的濕度。但如果是綜合類型的展覽，雖然器物類型沒有被打散，青銅區的範

圍依舊完整，但因為展場調控變得一致時，要降低櫃外的不同濕度環境所造成的影響，也變得困難些。

近年來展出的型態已非簡單的作

法，如多種材質文物的對照展示，使青銅文物的展示保存，更增加了困難度，如何因應這樣非典型的展示保存課題，也成為維護人員與策展單位要共同討論的課題了。

青銅文物主要是銅、錫、鉛的合金，其銹蝕物包括氧化物、碳酸化、硫化物及氯化物等，我們通常看見商周時代青銅器上有令人讚嘆的綠色或藍色銹層，這類碳酸化銹物即所謂



圖一 青銅病形成的反應機制中，水份是很重要的影響因子，因此控制相對濕度，對青銅文物而言是極為迫切的。

的孔雀石與藍銅礦，是一種長時段相對穩定的良性銹層，跟氧化層一樣，保護青銅器免於進一步銹蝕。

如果青銅器上有氯化物型態存在，又受到酸性、高濕環境影響，則容易進一步產生點狀或粉末狀銹蝕，在反應機制中產生的這類鹼式氯化銅及伴隨酸與水份的產生，可成為提供這一反應機制繼續反應的物質，所以這類銹蝕是一種破壞性的銹蝕，可以說是一種青銅病或銅器病。(圖一)

上述反應機制中，水是一個關鍵因子，所以降低青銅展存環境的相對濕度，是防止青銅病發生的先決條件。對青銅文物的預防性保護措施，除了必須嚴格檢驗所使用的裝潢材不能是釋酸性的材料外，同時要確認展櫃內相對濕度維持在百分之四十五左右，當然越低越好，超過百分之五十以上則為極不適合的濕度環境，須施以降濕。特別注意生坑及曾經有青銅病腐蝕發生或有發病疑慮的青銅文物，陳列時的濕度要確認在百分之四十五以下為佳。

什麼樣的展櫃適合青銅文物的展

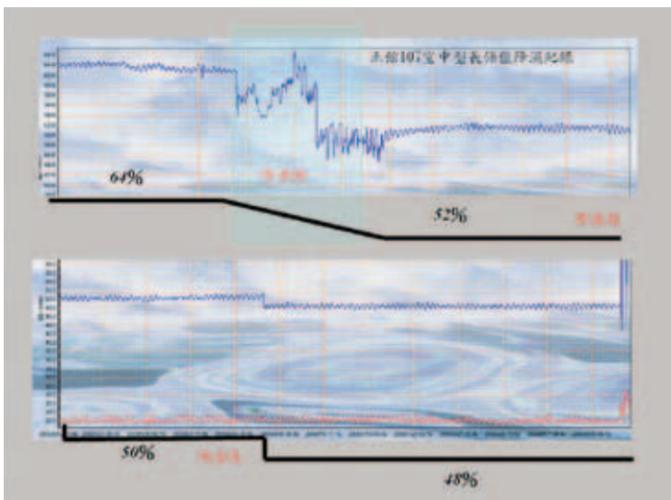
示？就控濕而言，影響展櫃內濕度的原因分為內與外，內部的影響主要是櫃體與裝潢材中所含水氣及燈光及光源產生器所造成的溫度變化；外部的影響則由於展場溫濕度的變化、櫃門的開閉與櫃體密封程度相關。理想的青銅文物展櫃要包括下列幾個要素：

- 一、青銅櫃體儘量採用金屬材質的櫃體，以去除木質櫃體在濕度及釋酸性上造成有害銹生成的機會。
- 二、櫃內空間大小適當，可掌握使用除濕劑的用量，考慮玻璃開關門縫壓條的密合效果，其效果與櫃子高度及玻璃板的粘接及縫隙長短有關連。
- 三、放置及更換除濕劑的方式，最好與臺面以上部份分開，避免展件環境因開櫃造成劇烈的濕度變化，如採用臺面下抽屜式，則於臺面上、下，各有各的開閉鑰匙。
- 四、展櫃的密閉性越好，受外在環境影響的情況越可延後。

把握以上四點，可做為青銅文物展櫃的選擇參考，如果使用舊有展櫃，可針對上述項目加以補強或改造。



圖三 利用ESCAL袋，做為進行降濕、佈展及封玻璃前，內外環境的臨時阻隔（2007，大英文明瑰寶展）。



圖四 佈展前除濕機除濕與佈展後以適量乾燥劑調濕過程的濕度變化曲線。

展櫃除濕與控濕作業
青銅文物展櫃的除濕，包括了兩個階段，首先是展櫃或櫃內壁布及墩座完成後，放置無水矽膠（Silica gel）（Donna Stran, 1997）作為除濕劑進行除濕（註二），也可利用一般除濕機進行除濕，或利用展場控濕而達到平衡，這時裝潢材、壁布及墩座中多餘的水氣可被排出，達到濕度數值相對

穩定而不再攀升，與展場達到了平衡時，大致上相對濕度可從百分之六十至七十降至百分之五十五至五十五的範圍。
第二階段是青銅器佈展及封櫃的階段，筆者會使用不透氣性封袋（ESCAL），暫時封住未上玻璃的展櫃正面，櫃內進行降濕，以達到符合青銅器所須的百分之四十五以下的相

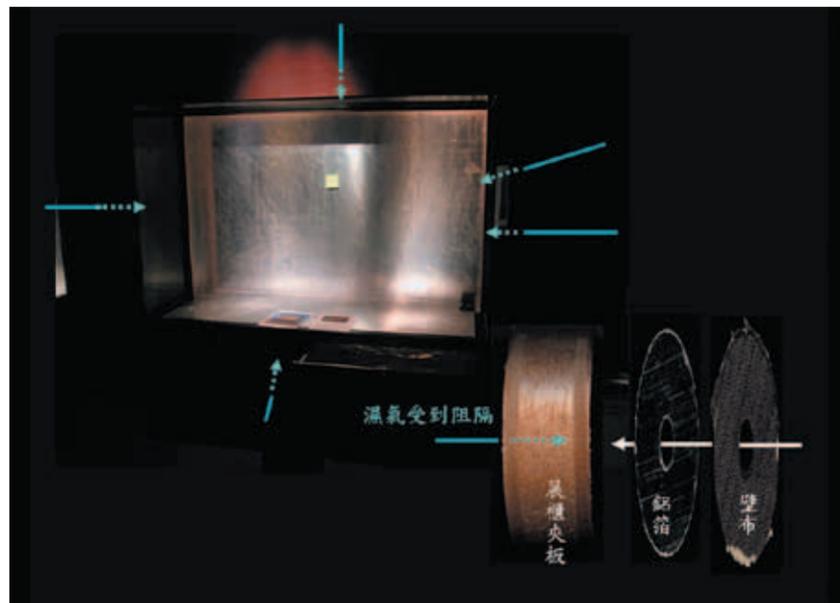
對濕度，封袋下半部可半開，以利進行佈展，待佈展完成時將封袋再次封好，再經濕度調整後，抬上玻璃時，同步將封袋由上往下撤除，立即將玻璃打上樹脂封實，如此便完成第二階段的降濕。（圖三）若是活動櫃前後可開的，並且無封玻璃的問題，則降濕過程也是兩階段方式，但不用封袋，只須開櫃平衡或閉櫃除濕。

青銅展櫃內因兩階段降濕，記錄器濕度曲線，亦呈階梯式的降濕形狀。（圖四）最初展櫃內相對濕度可在百分之六十至七十左右，經第一階段處理，以降至百分之五十為目標，平衡時間愈久，裝潢材的含水率才能有效的降低。但這階段的降濕，常因總體工作流程時間的壓縮而可能不足，墩座及木櫃等所含水氣可能會在開展後繼續釋出，必須再經過幾次處理，才能達成。

未經平衡處理或添加的木、紙類裝潢材料，如支撐和墩座等，也是釋放濕氣的來源，甚至會因展場溫度變化而間接導致櫃內玻璃產生凝露現象，故墩座的製作及進場平衡均已納

青銅文物展示環境的控制方式

博物館展示的型態，可分為常設展與短期特展兩類。常設展常以同材質文物同一展廳為原則；短期特展因須配合主題規劃、空間設計及製作臨



圖二 新製木櫃在貼壁布之前隔上一層鋁箔，可有效隔離來自櫃外及木櫃本身的濕氣。

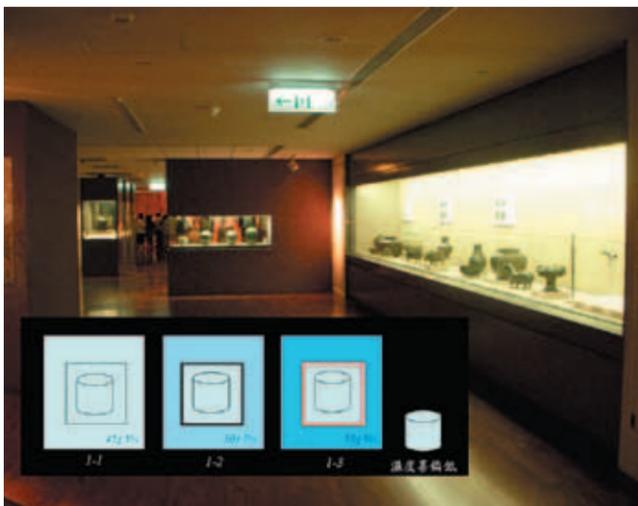
時展櫃，同時展品材質的多樣（如青銅器與牙木、書畫類材質同時展出，正常有機材質所需相對濕度在百分之五十五至六十左右，金屬類材質有效控制的相對濕度在百分之四十五以下），加上準備開展的時間急迫等因素，在預防性保護的管理上較常設展難於控制。

展示期間也常因展櫃的性質、數量及空調與管理等多種原因，較難有效達到青銅展存濕度的要求，其櫃內環境也不像在庫房中那樣安全穩定，因此展櫃控濕與管理的課題也是博物館辦展時宜注重的施作項目。

展櫃內的環境控制成效臧否，與展場運動程度關係頗深，即使再密閉的展櫃也有一定的換氣率（註一），以及會遇上開關櫃門的時刻，因此展場環境的穩定是文物展櫃控制是否有有效的前提。首先，展場空調控制必須有除濕及加濕的能力，以因應外在環境氣候的改變。除強化展場空調的控濕能力外，展場出入口易受到戶外溫濕度的影響，可在出入處隔出一緩衝區，減緩其外來的劇烈影響。

如展場環境比較不穩及無法控制於低濕狀態時，展櫃的密閉程度便成為保存青銅文物的關鍵因素，密閉性越好的展櫃，與展場環境的運動越小，濕度的變化也越少，開櫃的處理次數相對減少。所以隨著展櫃的功能性不同及開櫃換件整理時段之影響，必要調整除濕與降濕的工作間隔。臨時製作的木質展櫃，密閉性通常不算好，也許展場空調也不近理想，則予以適度地強化展櫃的密閉性，如可以鋁箔紙從櫃內部加以貼封，並增強密封玻璃邊緣與櫃的縫隙，由櫃內調濕自成一適合保護的微環境，減少與展場不當濕度的運動。（圖二）

封貼鋁箔紙的方式亦可運用在木質紙質的支撐材及墩座材上，外表再繃上壁紙壁布，以防止支撐及墩座材釋放水氣。這種方法在二〇〇七年大英綜合材質文物展時採用，以保護需要低濕環境的石灰質大型石雕像；又二〇〇八年嘉義展為例，該現場環境是高溫高濕，金銅佛三個長條木質展櫃在決定採用封貼鋁箔的方式後，始能有效的進行降濕。



圖七 青銅展場以漸近原則控制，較能有效控制各類青銅櫃的櫃內低濕環境。(部分濕度數據曲線表由登錄保存處濕度即時監測系統提供)



圖八 展場以漸近原則控制下(圖上)，櫃內調濕的效果較好且變化曲線平穩櫃內低濕狀態可以較長時段維持(圖下)。

電子式除濕系統使用的時機

除濕機作用的原理是一面送出

必要縮短。想時，以致更換除濕劑的時間間隔勢

受到影響，特別是展櫃密閉性較不理想時，以致更換除濕劑的時間間隔勢

必要縮短。

非漸近方式管理的展場，展場濕度若不接近青銅環境濕度，且變化頗為劇烈時，便容易使櫃內的調濕環境受到影響，特別是展櫃密閉性較不理想時，以致更換除濕劑的時間間隔勢必要縮短。

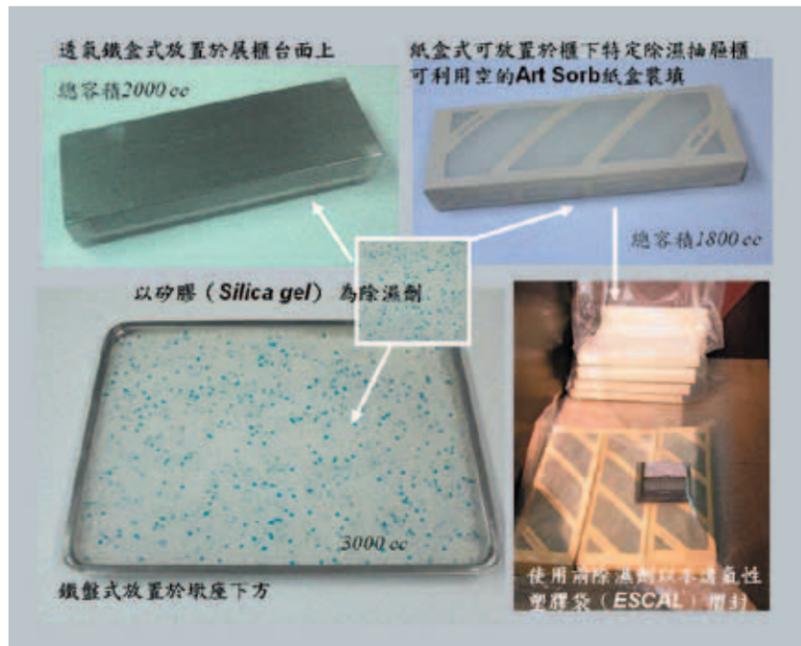
防止來自櫃底或地面的濕氣。用無水矽膠作為除濕劑，不論是採用鐵盤或鐵盒、紙盒盛裝，必先於展示規劃時討論放置的方式，不論藏於可透氣式墩座內，或採用抽屜式或只置於臺面，皆以拿取更換除濕劑方便，不需移動文物為原則。(圖五)若放置於臺面而無可躲藏，可外罩無酸紙盒，紙盒之製作配合墩座顏色，以維持整體展示的美觀。(圖六)

漸近原則雙層保護之下的管理模式。展場濕濕環境越接近展櫃調控環境，對展櫃濕度維持越有利，反之則不利，如青銅器展場濕濕調控盡可能接近青銅的條件，書畫展場的濕濕調控盡可能接近書畫的條件等，即筆者所謂的漸近原則(註三)。(圖七)在展場與展櫃內各自的適當調控下，形成有利的雙層保護的效果。

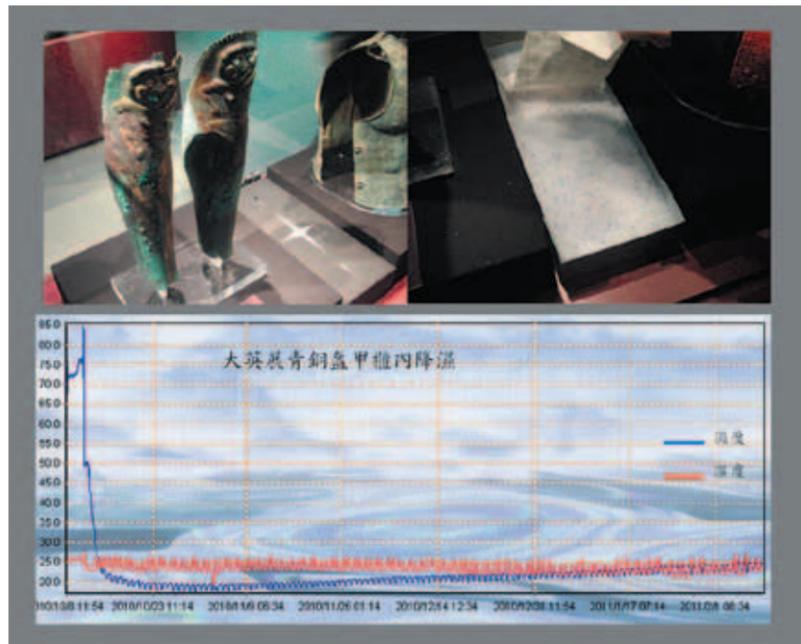
入策展的管理日程表排序的項目。第二階段的降濕是針對青銅文物所適合保存的相對濕度為處理對象的，一般我們以百分之四十五以下為目標。封上玻璃方式的展櫃，要估量三個月內濕度上升不超過百分之五為目標；可開櫃式的櫃子或抽屜式調濕櫃

則可定期更換矽膠，以維持長期櫃內穩定的濕度環境。以獨立櫃的容積，基本上以一米長一米寬，高兩米為例，經驗上以一盤(約300c.c.)或約兩盒(100-180c.c.)的矽膠量為準，內含墩座等其他使用材料，櫃內濕度可以降至百分之二十五左右，其後相對濕度值隨日逐漸上升，最後接

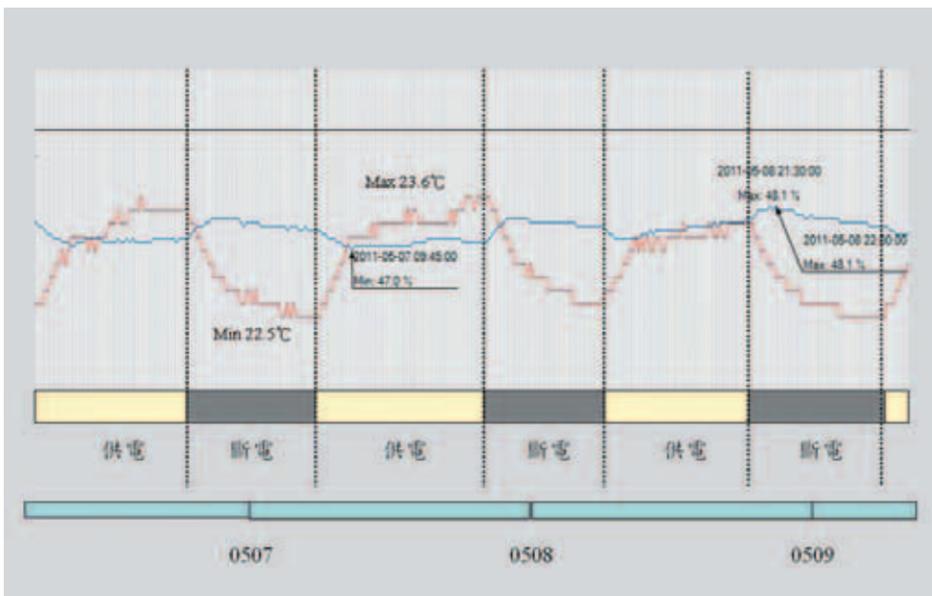
展場並非經常能有效的控制在適合或接近的濕度範圍，可能受到人潮、天氣、停電、換氣及空調機具故障而產生變化，所以提高展櫃密閉性的意義即在於延長展場濕度變化波及至櫃內，延緩櫃內隨之產生變化的反應時間，這段時間正好是調整修正展場環境的黃金時間，這就是雙層防護的主旨。



圖五 以無水矽膠作為除濕劑放置於展櫃內降濕的方法。



圖六 青銅盃甲展出期間櫃內濕度的變化緩升曲線如圖下方。利用乾燥劑調濕如右上圖，自製調濕盒儘量配合墩座顏色及整體展櫃搭配一致如左上圖。



圖十一 展櫃密閉性較好時內裝置除濕設備，晚間插座斷電後，至隔日清晨始復電，此時段溫濕度的變化不大：溫度降低1度左右，濕度幾乎變化不大，增加值可在1-2%範圍內。

綜合性材質的短期特展往往因有機材質文物需要的濕度較高，所以展場環境條件有別於青銅文物櫃的條件，又特展製作的木質展櫃其密閉性也不盡理想，有時赴外場地的氣候與環境控管不佳，造成溫濕度變化劇烈的情形，這時如果以除濕劑進行櫃內控制，常常撐不過一兩星期，為解決這類櫃內濕度常起伏且容易過高的狀況，使用電子式除濕系統進行濕度控

制，使用電子式除濕系統進行濕度控制，是不错的选择。二〇〇八年青銅文物赴嘉義展時即採用電子式除濕系統，同時也在展櫃貼壁布前，也進行了鋁箔隔離的措施，有效地製造一個利於青銅展示的櫃內環境。

利用乾燥劑進行青銅文物櫃內環境控制時，濕度常由百分之三十、四十逐漸上升至五十為範圍，接近百分之五十時即進行更換乾燥劑，所以濕度會呈現週期性的起伏，處理週期則與展櫃密閉性能成反比。如果遇到文物需要更低濕，如青銅器狀況不佳，會發生有害銹，若以乾燥劑處理，須考慮櫃體密閉性高，且乾燥劑量更充足，才能降至更低的濕度。此時運用電子式除濕系統進行濕度控制，櫃內濕度點的預設可望再降低。同樣的，長期展中的青銅器也很適合這樣的控管模式，以得到長期平穩的狀態。

裝置電子式除濕系統時，要考慮櫃壁必須挖出與管徑大小相符的出風及回風孔，接管至除濕系統，所挖孔的邊圍以金屬圓圈片包覆以防縫隙，這是針對木質臨時特展櫃方式而施作的；若是櫃下型的出風、回風孔則可

較乾燥的空氣，一面將較濕的空氣吸回處理，整個密閉空間形成一個空氣的循環流動的機制。其實筆者曾以乾燥劑（除濕劑）配合電池式的小型風扇，櫃側預開兩氣孔（直徑約四公分），將風扇的風由乾燥劑盒上部從出風孔吹出，由另一背面回風孔吸入

電子式除濕設備（LHB01）的原理是利用致冷晶片方式以低溫除濕（非除濕劑），並由微電腦電路進行

除濕程序，在接近指定濕度時緩慢作用，達指定濕度後停止除濕，符合用電量省及安全原則（耗電量十二安培小於七十瓦），同時設備輕便易於裝置，使用時溫度不致升高，濕度保持曲線較能平穩，其運用的時機如下：

較乾燥的空氣，一面將較濕的空氣吸回處理，整個密閉空間形成一個空氣的循環流動的機制。其實筆者曾以乾燥劑（除濕劑）配合電池式的小型風扇，櫃側預開兩氣孔（直徑約四公分），將風扇的風由乾燥劑盒上部從出風孔吹出，由另一背面回風孔吸入

較乾燥的空氣，一面將較濕的空氣吸回處理，整個密閉空間形成一個空氣的循環流動的機制。其實筆者曾以乾燥劑（除濕劑）配合電池式的小型風扇，櫃側預開兩氣孔（直徑約四公分），將風扇的風由乾燥劑盒上部從出風孔吹出，由另一背面回風孔吸入

櫃內氣流，以加速及強迫發生乾濕空氣的循環，亦可做為櫃內降濕及緊急除濕處理之用途，一但櫃內有氣流的發生，乾燥劑加速吸收櫃內的濕氣，並透過更換乾燥劑，可持續增強櫃內除濕的效果（圖九）。這種方式由於裝備簡易、攜帶方便，極適用於緊急

櫃內降濕的時機。展櫃數量較少及展場無供電源時，這個方法是可行的，但如果櫃子數量一多，更換乾燥劑將變成為管理上的負擔，且濕度變化曲線顯示較為不穩，所以採用非除濕劑且省電、穩定的除濕方式，才是優先的考慮。



圖九 短期特展因新做展櫃密閉性不夠，利用乾燥劑加上風扇方式以加強降濕效果，可以避免展櫃內的濕度因櫃外環境引起的濕度增加。



圖十 大空間展示區域利用電子式除濕系統進行濕度控制，以降低外來環境帶來濕度滲增的問題。

「... The imposition of the new requirements on the citizens of Taiwan is no longer justified. Regulation (EEC) No. 1231/2010」



百年傳承 走出活路

中華民國外交史料特展

A Century of Resilient Tradition:
Exhibition of the Republic of China's
Diplomatic Archives



《中日和約》簽署場景
由蔣公超（左）及河田烈（右）簽署



展期 Period: 2011 8/9 - 2012 2/6 故宮正館陳列室 Galleries: 103, 104

上午八時三十分至下午六時三十分開放，夜間免費參觀時段：每週六下午六時三十分至八時三十分
Open every day from 8:30 a.m. to 6:30 p.m.
Extended evening hours: Every Saturday, 6:30 p.m. to 8:30 p.m. (free admission)

11143臺北市士林區至善路二段221號 Tel: +886-2-2881-2021 http://www.npm.gov.tw/
No. 221, Sec. 2, Zhishan Rd., Shilin Dist., Taipei City 11143, Taiwan (R.O.C.)

結語
青銅文物展櫃內環境調控的難易，受到多種因素影響，如青銅保存狀況、展櫃密閉程度、櫃體大小、展場調控穩定性、人力物力的投入等，都是決定控濕優劣的關鍵。如何

達到適合的調控模式，有幾個原則要把握的，如溫濕度的紀錄曲線要求平穩，應減少降濕作業的難度，並遵守漸近原則，合理規劃展場濕度的控制。至於展櫃則櫃內儘量少用木、紙質類材料做為墩座及背板，必要時針對新製木櫃利用鋁箔紙加以封護，形

成內防水層，並有效增強展櫃的密閉性。同時考慮長期展與短期展的管理模式，它們的展場環境與施作裝潢的品質與穩定性是不同的。若能把握上述的原則，便能對青銅文物展示的過程，盡一份保護的責任。

作者任職於本院登錄保存處

- 註釋
1. 展櫃空氣交換率可採用濃度遞減測試法 (Concentration Decay Test Method) 以氫氣灌滿櫃體中，以氫氣為滲入交換的追蹤氣體，藉由氫氣濃度的增加來估算櫃內外的氣體交換速率，以瞭解櫃體的密閉程度。
 2. 除濕劑與調濕劑在定義與實質上有所不同，簡言之，除濕劑利用適量乾燥的矽膠將展櫃內部降濕至適合的濕度並可維持一段適合的濕度環境；調濕劑則用於已達相近適合的環境時加入展櫃中以調整維持適當的濕度環境，可選用調整濕度後的矽膠或活性白土 (Activated Sorbent) 作為調濕劑。若考慮展櫃及時間因素，佈展前展櫃的降濕與調濕，則以除濕劑所發揮的效果較佳。
 3. 圖七中的丁，是櫃內外都是低濕的情形，管理上側重於空調的穩定性，適用於櫃體密閉性較差的情況，但展場與櫃內連動性強，因此展場調控更要求時時平穩並降低巨大變化的發生。1-2表示展場以接近櫃內的濕度為控制的手段，通常因應金屬器展出，展場濕度可控制在百分之四十五至五十五左右，此時須加強櫃體的密閉及定時更換櫃內的調濕劑或除濕劑，更換的時間與展場接近的程度如何而定。1-3是指金屬展櫃在濕度較高的展場展出，這可能出現在綜合型展覽同時有機

- 參考文獻
1. May Cassar, 1985, Case design and climate control: a typological analysis, Museum—Show-cases, Unesco, Vol. X X XVII, No. 2, p. 104-107.
 2. Donna Stran, 1997, The Exhibition and Transportation of Ancient Bronzes, Preservation and Conservation of Bronzes Workshop, Peiking.
 3. 沈建東，〈文物展櫃內外溫濕度控制的理想模式〉，《故宮文物月刊》，110-110。同 The Optimal Models of Humidity Control for Museum Display Cases, 2010, National Palace Museum Bulletin, V43, p. 47-58.
 4. 萬家保，〈安陽青銅器的銹蝕——一個金屬顯微組織的初步觀察〉，《東吳大學中國藝術史集》第十四期，一九八五。萬家保，〈若干中國古代青銅器的銹蝕產物〉，《大陸雜誌》卷七十一第五期，一九八五。