

氮氧化物對文物之危害及 博物館應對措施

彭潔薇¹

摘要

氮氧化物 (NO_x) 是常見室外空氣污染物，可對博物館文物造成危害。氮氧化物能使紙張與織品變脆泛黃、使石材風化、腐蝕金屬，對著色劑、攝影材質等文物也有嚴重危害。本文藉由相關文獻探討，歸納氮氧化物對不同材質文物產生之危害，探討氮氧化物的檢測方法及文物預防性保存措施，並總結博物館氮氧化物濃度標準之訂定法，做為博物館文物保護措施之參考。

關鍵詞：文物預防性保存、氮氧化物、博物館

前言

空氣污染是導致文物劣化的主要原因之一，也是文物預防性保存工作須控制的重要環境因子。使文物劣化的空氣污染物可按其物理狀態分為兩類：顆粒物 (particles) 及污染氣體 (airborne pollutants)。其中污染氣體又可依據其來源分為室外污染氣體——如二氧化硫 (SO₂)、氮氧化物、臭氧 (O₃) 等，和室內污染氣體——如甲醛、乙醛等 (Grzywacz, 2006: 2; Tétreault, 2003: 7)。

常見的室外污染氣體中，長久以來對文物危害最大且最受關注者莫過於二氧化硫。但由於博物館多位於城市地區，汽機

車排放之廢氣較多，因此也應防範氮氧化物對文物造成之危害。本文以文獻整合為基礎，首先歸納氮氧化物對不同材質文物的危害機理及文物劣化現象，繼而探討博物館可對文物採取的預防性保護措施及對氮氧化物的檢測方式，最後總結博物館氮氧化物濃度標準之訂定法，做為博物館文物保護措施之參考。

氮氧化物的定義及來源

一、定義

「氮氧化物」即僅由氮、氧兩種元素組成的化合物。大氣中的氮氧化物有一氧化氮 (NO)、二氧化氮 (NO₂)、三氧化氮

¹ E-mail: jwjw_peng@sina.com

(NO₃)、一氧化二氮 (N₂O)、三氧化二氮 (N₂O₃)、四氧化二氮 (N₂O₄) 和五氧化二氮 (N₂O₅) 等。其中三氧化氮、三氧化二氮、四氧化二氮和五氧化二氮在空氣中不能長久存在，而一氧化二氮性質穩定，對文物沒有危害 (Thomson, 1986: 151)。一般所謂「氮氧化物」只包含一氧化氮及二氧化氮。

二、來源

(一) 室外來源

氮氧化物屬於室外污染氣體，通常由室外產生，經由門窗或空調系統進入博物館內部。大氣中氮氧化物的主要來源是汽車排放之廢氣和硝酸、石油等工業產生之廢氣 (Tétreault, 2003: 11)。汽車數量增加是城市中氮氧化物排放量上升的主要原因。

(二) 室內來源

少數情況下，氮氧化物也可能產生於博物館內部，由含有硝酸纖維素的藏品釋出。硝酸纖維素被廣泛用於影片、相片、黏著劑等材質，其具有耐水耐油、容易加工等優點，但也容易在光、熱的作用下劣化。博物館室內產生的氮氧化物，大多來自以硝酸纖維素做為片基材料的影片。據檢測，硝酸纖維片盒中的二氧化氮濃度能達到片盒外的數十倍 (Tétreault, 2003: 103)。高濃度的二氧化氮一旦從片盒中釋放，對於博物館中其他文物是極大威脅。

氮氧化物對文物的危害

一、氮氧化物對文物危害之機理

博物館保存環境中，空氣污染對文物的危害機理相當複雜。文物產生的劣化現象通常不只由一種因子造成，而是多種污染氣體，或是污染氣體與溫溼度、光照等

環境因子間協同作用 (synergy) 之結果。博物館環境通常存在多種導致文物劣化的因子，因此由協同作用導致的劣化比單一因子導致的劣化更加普遍。本文雖以敘述氮氧化物對文物的危害為主，但同時也涉及協同作用之危害。

一般所謂的兩種「氮氧化物」中，對文物材質有害的氮氧化物主要是二氧化氮。一氧化氮並不會對文物產生直接影響，但是可以快速生成二氧化氮，且能生成或協助生成其他對文物有害的氣體，因此也需給予防範。

據陳元生等 (2002: 169) 的研究，二氧化氮對文物的危害立即肉眼可見之情形有下列 3 項：

(一) 二氧化氮具強氧化性，可破壞紙張和部分織品中的纖維素，使某些顏料、染料褪色；

(二) 二氧化氮與有機化合物反應的產物帶有黃色，使紙張、織品的顏色變黃；

(三) 二氧化氮和水反應生成亞硝酸 (HNO₂) 和硝酸 (HNO₃)，亞硝酸又繼續被氧化成硝酸，硝酸的酸性能夠腐蝕文物。

由於氮氧化物對不同文物的危害程度存在較大差異，下文將具體介紹氮氧化物對不同文物材質之危害。

二、氮氧化物對不同文物材質的危害

本文將常見文物材質分為有機 (organic materials)、無機 (inorganic materials) 與人工合成 (man-made materials) 3 類 (依據 Szczepanowska, 2013: vi-vii)，具體危害狀況見表 1。

(一) 有機材質

1. 植物性材質

植物性材質包括紙質、木質及部分織品文物²，此類文物富含植物纖維素和

² 常見紡織品有棉、麻、絲、毛 4 種，其中棉、麻屬於植物性材質，絲、毛屬動物性材質 (CCI, 2008)。

表 1. 氮氧化物對不同文物材質之危害

文物材質		表面狀況	
有機	植物性材質	紙張	紙張發黃，耐折度下降。
		棉、麻	織品碎裂、顏色變黃，耐折度與延展性下降。
	動物性材質	皮革	皮革表面粉化，產生裂紋。
		絲、毛	織品碎裂、顏色變黃。
		骨、角、牙	文物脆化、變形、開裂。
無機	金屬	鐵、銅等金屬及相應合金受腐蝕。	
	石質材料	文物粉化、剝落，甚至分解崩裂，文物表面紋飾變模糊。	
	矽酸鹽材料	玻璃	玻璃表面霧化、透明度下降，重者粉化碎裂。
	著色劑	顏料、染料	某些顏料、染料褪色或變色。
人工	攝影材質	基底材、黏合劑分解，感光材料變色。	

資料來源：本文整理

半纖維素成份。二氧化氮能破壞纖維素結構，使紙張、織品變脆 (Thickett and Lee, 2011: 241)，也能與纖維素反應生成硝基纖維素，使紙張、織品發黃 (張晉平，2013: 36-37)。此外，纖維素的結構具親水性，易吸附空氣中酸氣。酸造成纖維素的水解，使紙張及織品的耐折度和延展性下降 (Szczepanowska, 2013: 113)。

2. 動物性材質

動物性材質包括皮革、部分織品、骨、角、牙等，此類文物含有較多蛋白質、脂肪等有機成份，容易被酸侵蝕。同時，此類材質本身吸附力較強，易吸附水份和酸性氣體，因此對空氣污染更加敏銳 (陳彥君，2006: 46、52)。

皮革由動物表皮經過鞣製等工序製成，主要成份是蛋白質，其中鞣劑與蛋白質均可被硝酸水解。水解後文物出現裂紋，表面粉化，易被外力損傷 (Florian, 2006: 37-38)。

動物性織品主要是絲和毛。其中絲織品的主要成份是絲素，絲素是纖維蛋白質，酸能促使其水解，使絲織品強度下降以致碎裂 (周寶中，2000: 215)。毛織品以羊毛為主，羊毛的主要成份也是蛋白

質。毛織品能夠抵抗稀酸，但一定濃度的酸就會對羊毛產生危害 (CCI, 2008)。

骨、角、牙由有機質和無機質共同構成，其中無機質主要是鈣質材料，易被酸破壞。骨角製品雖然外觀緻密，但微觀結構疏鬆多孔，容易被酸鹼侵蝕。骨、角、牙劣化的表現一般是質地變脆，顏色變深，以及變形開裂 (周寶中主編，2007: 478)。

(二)無機材質

1. 金屬

氮氧化物通常不是導致金屬腐蝕的最主要因子，但在多種環境因子對金屬的協同危害中起快速加成作用。氮氧化物對金屬的危害主要體現在二氧化氮和水反應生成硝酸。多數金屬都容易受酸性物質影響——酸降低金屬表面 pH 值，加速金屬的電化學腐蝕；同時也腐蝕金屬表面原有的氧化物，使金屬頓失自我保護機制，導致金屬內部原生質的腐蝕增速 (徐飛等，2009; 張承志，2010: 351)。

組成文物的金屬材質中，鐵最易被腐蝕，銅也較容易被腐蝕生鏽。鋁、鋅、鉛、銀雖比較耐腐蝕，但是氮氧化物也對其腐蝕速率有影響。錫器、金器則在所有

金屬文物中最為穩定 (Selwyn, 2004: 46-47, 62, 104, 137, 153-154)。

2. 石質材料

空氣污染是導致石材劣化的首要原因。石質文物多由碳酸鈣等鹼性物質構成，可與酸性溶液直接反應，二氧化氮和水反應生成的硝酸可導致文物表層粉化、剝落，紋飾變模糊（周偉強等，2008：207）。如果石材曝露於室外，其表層風化的生成物可能直接被雨水沖走，使文物體積縮小；如果處於遮雨棚下，表層反應產物則可能不斷積累，形成稠密附垢 (Doehne and Price, 2010: 10-11)。

3. 矽酸鹽材料

玻璃、陶瓷均屬矽酸鹽材料，穩定性較好，但並非完全不受空氣污染影響。玻璃的主要成份是二氧化矽，同時含有鹼金屬氧化物、鹼土金屬氧化物等助熔物。鹼金屬、鹼土金屬離子會從玻璃內部擴散到表面，再與表面的酸反應形成鹽，使玻璃產生斑點。玻璃風化後，輕則透明度下降，失去光澤，重則粉化碎裂（周寶中主編，2007：173）。

4. 著色劑

著色劑有顏料和染料之分，顏料只黏合在載體表面，而染料會被載體吸收，分佈於載體之中 (Tímár-Balázs and Eastop, 1998: 67)。

二氧化氮的強氧化性可使某些有機顏料褪色 (Grzywacz, 2006: 97)。中國古代顏料大多屬天然礦物，並不容易劣化，然而較少使用的植物顏料（如藤黃）容易褪色。另外，中國古代白色顏料大多含有碳酸鈣，碳酸鈣能與硝酸反應，造成畫作表面圖案變化，並促使其他顏料脫落（周寶中，2000：124-125、176）。

染料多為有機材質，二氧化氮的強

氧化性能使染料褪色，硝酸所造成的文物 pH 值變化也可能使染料變色，最終改變織品顏色 (Tímár-Balázs and Eastop, 1998: 97)。

(三) 攝影材質（人工合成材質）

影片文物主要由感光層、黏合劑、基底材組成。感光層一般使用對光敏感的鹵化銀材料，硝酸可以和鹵化銀反應，使感光層變色。黏合劑一般是明膠，明膠的主要成份是蛋白質，蛋白質能與硝酸反應。明膠分解後，基底材失去保護，更易受到硝酸侵蝕。基底材通常有硝化纖維、醋酸纖維等材料，硝化纖維片基不穩定，會持續釋放氮氧化物。氮氧化物被封閉在片盒內，與水結合生成硝酸，進而加速基底材、明膠和感光材料的劣化（張承志，2010：381-383、392-397）。

相片文物的組成與影片類似，包含基底材、黏合劑和顯像層。顯像層材料一般有銀、彩色染料等，二氧化氮能使部分染料褪色。黏合劑也採用明膠，劣化情形與影片相似。基底材通常有玻璃、紙張等，紙張會被硝酸影響逐漸褪色、變脆，失去支撐作用 (Lavédrine, 2003: 101; Roosa, 2004)。

文物的保護

博物館所採用的文物保護措施通常不單獨針對氮氧化物，但一些保護方式對氮氧化物效果比較明顯，可供博物館特別參考。保護措施可分為室外與室內兩種，具體如表 2。

一、室外保護措施

(一) 降低博物館附近的污染氣體濃度

在對文物採取個別保護措施之前，博物館首先宜降低附近區域的污染氣體濃度。具體做法有：

表 2. 博物館防止文物受空氣污染危害之措施

保護方式	具體措施	利弊分析
室外	1. 降低博物館附近的污染氣體濃度（控制污染源、使車輛遠離建築物入口、綠化環境）。 2. 為室外文物提供遮雨棚、保護層。 3. 避免室外污染氣體進入室內（增加門窗密閉性、安裝帶有空氣過濾裝置的空調系統）。	綠化環境成本高，所需時間長，但效果可期；安裝空調成本高，效果最佳。
室內	1. 利用建物表面材料吸附污染氣體（增加建物表面積、選用吸附性強的表面材料）。 2. 在櫃架內使用吸附劑（最常用為活性炭）。	總體成本低，且效果可期。

資料來源：本文整理

1. 控制污染源，例如禁建化工廠、焚化廠、紙廠、電鍍廠等。
2. 車輛遠離建築物入口。
3. 綠化環境。樹木和草坪對污染物有過濾、吸附作用，另外洋槐、銀杏、橡樹等特定樹種對於汽車尾氣具有較強吸附能力（周寶中，2000：68）。但環境綠化對人力、財力要求較高，且所需時間長，因此博物館還需視實際情況決定。

(二) 為室外文物提供遮雨棚、保護層等

某些體積龐大的文物無法遷入室內保護（主要是金屬和石質文物），此類文物受酸雨的侵蝕非常嚴重。博物館應對之策是為文物搭建遮雨棚，或在文物外罩無機或有機高分子材料保護層，防止酸雨沖刷（Doehne and Price, 2010: 28-46）。另外還可以在容易積水之處設置排水管，使文物免於雨水浸泡（王瓊花譯，2001：178）。

(三) 避免室外污染氣體進入室內

博物館建築是阻止室外污染氣體進入室內的屏障。博物館可在入口安裝旋轉門、增加門窗密閉性，以及懸掛門簾、窗簾（Stanniforth et al., 2011: 231），阻隔或吸附室外污染氣體。

若經費允許，安裝空調系統是避免室外污染氣體進入室內的最佳途徑。空調系統不僅能控制空氣污染物，更能調節室內溫溼度，文物、觀眾及館員均可受益。但

博物館若採用空調系統，務須加裝空氣過濾裝置。由於空調會增加建築物通風率，因此若無過濾裝置，進入博物館的污染物將比自然通風狀態下更多（Blades et al., 2000）。

二、室內保護措施

(一) 利用建物表面材料吸附污染氣體

建物表面材料可吸附進入室內的污染氣體。博物館可增加空氣與表面材料的接觸面積，如在室內空間增加阻隔物，使室外進入的空氣儘量沿曲折路徑穿過建築物，減緩空氣流動，提昇污染氣體被吸附的可能性（Ryhl-Svendson, 2007; Blades et al., 2000）。另外，博物館還可選用吸附性強的表面材料，加快材料與氣體反應速率（Blades et al., 2000）。例如牆面材料使用紙漿、活性炭布或不織布（均須定期替換），在地板上鋪設地毯。文物的包裝材也可採用織物、含有活性炭的袋子等多孔材料（Stanniforth et al., 2011: 231）。

(二) 在櫃架內使用吸附劑

除藉助表面材料吸附外，在櫃架內使用吸附劑也是有效的文物保護方法。吸附劑分為物理和化學兩類，物理吸附劑（如活性炭、分子篩、乾燥劑）是利用分子間的相互吸引力吸附氣體，氣體本來性質不變。因此當吸附劑達到飽和，或周圍環境中該氣體濃度降低時，氣體容易解

吸 (Tétreault, 2013)。化學吸附屬於化學反應，被吸附的氣體在高溫下才能被解吸 (張承志, 2010: 424)。

最典型的物理吸附劑是活性炭。一些活性炭呈粉末狀，附著在織物或紙板上使用；也有些呈顆粒狀，可直接使用。其中顆粒狀活性炭表面積較大，作用更加明顯。但活性炭並非對所有氣體都具有相同的吸附能力，其吸附臭氧、硫化氫 (H₂S) 等氣體的效率較高，但對二氧化氮的吸附效率不足 5% (Lavédrine, 2003: 104-107)。博物館防範氮氧化物時應考慮活性炭的此種特性。

化學吸附劑一般是將基底材浸漬在化學試劑中製成。例如活性炭浸漬氫氧化鈉或氫氧化鉀後，能夠中和酸性氣體；以氧化鋁為載體的過錳酸鉀能吸收二氧化硫、一氧化氮等氣體。但化學吸附裝置的購買和維護成本都較高，壽命也不明確 (其使用期限通常與空氣污染程度和粉塵數量有關)，因此許多博物館仍傾向於使用活性炭。活性炭吸附雖然不能達到最佳效果，但確實能改善室內空氣品質 (Lavédrine, 2003: 104-107)。

氮氧化物的檢測

一、檢測目的

(一) 依污染物濃度高低選擇文物保護措施

氮氧化物屬於室外產生的空氣污染物，通常此類污染物對文物的危害需經若干年始顯現 (Tétreault, 2003: 80)。因此，在文物出現肉眼能辨識出的劣化現象前，先瞭解文物保存環境中的污染物濃度水平，進而選擇合適的保護措施，有助於避免文物產生更嚴重劣化。

(二) 判斷文物保護措施效果

在同一時間檢測室外及室內的污染物濃度並進行對比，可判斷文物保護措施是否有效。而採取保護措施一段時間後，再次檢測污染物濃度，更可用於判斷文物保護措施的效果，以決定下一步保護方案。

二、檢測原理

不同方法之氮氧化物檢測原理基本相同，即收集一定量空氣，使之與儀器裝置中的標記物 (marker materials) 反應，隨後直接讀出結果或送入實驗室分析氣體成份或濃度。檢測方法可以分被動與主動兩類，被動法的原理是等待空氣自然擴散到儀器中 (diffusive sampling)，而主動法是用泵將空氣打入儀器中 (pumped sampling)。目前博物館普遍採用被動法，因為其成本低廉、操作簡便，且便於移動、噪音小 (Grzywacz, 2006: 21-22)。以下所介紹之檢測方法均屬被動法。

三、檢測前準備工作

(一) 估算污染物濃度範疇

由於檢測博物館內氣體污染物成本較高，因此在實際檢測前應預估待測氣體濃度範疇，以便選擇合適方法進行檢測。估算方法如下：在博物館建物和展櫃密閉性良好的條件下，氮氧化物在室內的濃度約為室外濃度的十分之一，展櫃內濃度又約為室內濃度的十分之一 (Tétreault, 2003: 35)。污染物室外濃度可由環保部門公佈的數據得知。

另外須注意博物館空氣污染濃度的計量單位與常用的氣體濃度計量單位不同。由於空氣污染物的濃度水平一般較低，因此常採取 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、ppb (parts per billion) 等小量級的計量單位³。

³ 美國習慣使用 ppb (以 ppb 為單位時須記錄溫度和氣壓)，而歐洲國家常用 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。1ppb 約相當於 $2\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Tétreault, 2003: 7)。

(二) 選擇檢測位置及測點

通常情況下，室內檢測位置的選擇須兼顧不同功能的房間（如典藏庫、展廳、觀眾接待大廳）。另外還應重點檢測金屬、書畫、織品、竹木牙雕等極易受氮氧化物危害的文物，以及剛修復完畢的文物所在的空間。

在具體測點的安排上，應儘可能控制檢測的誤差。例如，位於室外的測點應接近空調入風口，不能選在空氣過於流通之處（如空調出風口）。位於室內的測點須避免選在空氣流通死角（如牆角）。若預算充足，還可在陳列室與典藏庫每個櫃架內增加測點。

(三) 選擇檢測時間

原則上博物館應持續檢測空氣污染物。由於不同季節及一天中的不同時段污染物濃度差異較大，因此應尤其注意各種時段的檢測數據。如不能長時間檢測，則至少須檢測到污染物濃度最高的時刻（對於氮氧化物而言就是交通最繁忙的時刻）的數值（Tétreault, 2003: 81）。

四、檢測方法

目前專用於博物館污染物檢測的設備種類多樣，檢測原理、量測準確度、費用各異。一般而言，博物館為節約經費，不需對污染物進行精確測量，僅檢測污染物的粗略濃度即可，因此選擇可立即測出氮氧化物濃度多寡的設備為佳。

試紙 (test strips)、金屬片 (metal coupons)、檢知管 (diffusion tubes) 是 3 種較簡易的檢測設備。其中試紙與金屬片在檢測結束後可直接讀出結果，而檢知管一般須送回廠商處方能得知讀數，所需時間較長。如果用以上設備測出氮氧化物濃度超標，則需要再使用抽氣式等綜合量測儀器進行精確量測。

(一) 試紙和金屬片

試紙和金屬片是最簡易的污染氣體檢測設備，試紙的檢測範圍一般在 ppm 級別，金屬片則可達 ppb 級別。使用試紙檢測時，只需將其在檢測點曝露指定時間，待檢測結束後將試紙顏色與標準濃度表比對，便可得知酸性氣體的濃度範疇。使用金屬片時，則可直接從其腐蝕程度推斷污染氣體濃度 (Grzywacz, 2006: 24-33)。

試紙和金屬片依材質不同，所檢測的主要污染物亦有不同，博物館可選擇專門針對酸性氣體或氮氧化物的試紙或金屬片進行檢測。用於檢測污染氣體的金屬片一般有銅片、銀片、鉛片等，其中銅片主要針對酸性氣體，而銀片主要針對含硫氣體，鉛片則針對有機酸 (Grzywacz, 2006: 33)。

(二) 檢知管

檢知管是外形類似試管的檢測設備，其中裝有能與待測氣體反應的試劑，試劑的變化程度反映污染氣體濃度。檢知管與試紙和金屬片最大的區別是能夠測出污染物濃度的具體數據，惟須送回實驗室檢驗，較為不便。不同種類的檢知管測量範圍不同，一些只能精確到 ppm 級別，而有些能夠達到 ppb 級別 (Grzywacz, 2006: 34-40)。

須注意的是，實驗室得出的污染物濃度是整個曝露時間之內的平均值，並非污染物濃度最大值。因此，如果測得的氮氧化物濃度在可接受範圍之內，不代表濃度始終未超出標準 (Grzywacz, 2006: 25) (表 3)。

博物館氮氧化物濃度標準

污染物濃度標準是指文物保存環境理論上應達到的最低標準，污染物濃度若超過此數值，則會對文物產生較大危害。迄

表 3. 博物館氮氧化物的檢測

項目	具體內容
檢測目的	1. 依污染物濃度高低選擇文物保護措施。 2. 判斷文物保護措施效果。
檢測前的準備工作	1. 估算博物館內及展櫃內氮氧化物濃度範圍。 2. 選擇檢測位置及測點。 3. 選擇檢測時間。
檢測方法	1. 將試紙、金屬片曝露在待測環境中一定時間，結束後檢視其表面產生變化。 2. 將檢知管曝露在待測環境中一定時間，送入實驗室檢驗污染物濃度。

資料來源：主要依據 (Grzywacz, 2006) 整理

今為止，國際上並無統一的博物館環境品質標準，僅有個別機構制定的適用於該機構的標準，供其他博物館參考（張晉平，2013：42）。博物館可參考已有標準，或視自身所處環境、藏品類型、經費等條件，訂定適合自身的環境標準。

一、可供參考之標準

美國國家標準學會 (American National Standards Institute, 簡稱 ANSI)、湯姆森《博物館環境》(The Museum Envi-

ronment) 一書 (Thomson, 1986)、蓋提文物保護中心 (Getty Conservation Institute, 簡稱 GCI)、加拿大文物保護協會 (Canadian Conservation Institute, 簡稱 CCI) 均提出過較有代表性的博物館環境品質標準，上海博物館陳元生等也曾提出基於中國實際情況的博物館空氣污染分級方案。各機構或個人之標準總結如表 4。

二、制定標準之參考依據

以上標準的制定 (除上海博物館外)，主要出自文物對保存環境之容忍度的考量，但僅依文物容忍度而制定標準未免過於理想。博物館尚須考慮現有設備、耗材、電費支付可以接受之範疇，以及人員配置可顧及的程度，評估自身適用標準。另外，各博物館還應考慮所處地理位置的氣候環境、博物館建築特性、藏品種類等，以訂定適合自身的標準。從地理位置與建築特性考慮，若博物館建造在氮氧化物污染嚴重、地理條件不利污染物擴散之處，或者博物館建築不利阻隔污染物進入，則污染物濃度標準可能須適當放寬。從藏品種類考量，若博物館藏品多是金

表 4. 可供參考之二氧化氮濃度標準

資料來源	對於二氧化氮濃度的規定
ANSI (轉引自 Baer and Banks, 1994: 143)	採取合適的氣體清洗和吸附設備
《博物館環境》(Thomson, 1986)	$\leq 10\mu\text{g}/\text{m}^3$ (5.2ppb)
GCI (Grzywacz, 2006: 109)	敏感文物： $\leq 0.05\text{ppb}$ -2.6ppb 一般文物： $\leq 2\text{ppb}$ -10ppb
CCI (Tétreault, 2013)	(均對於一般文物，且溫度 20-30°C，溼度 50%-60%) 期望保存一年 ⁴ ： $\leq 10\mu\text{g}/\text{m}^3$ (5.2ppb) 期望保存十年： $\leq 1\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.52ppb) 期望保存一百年： $\leq 0.1\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.052ppb)
上海博物館 (陳元生、解玉林，2002)	一級標準： $\leq 5\mu\text{g}/\text{m}^3$ (2.6ppb) 二級標準： $\leq 10\mu\text{g}/\text{m}^3$ (5.2ppb) 三級標準： $\leq 20\mu\text{g}/\text{m}^3$ (10.4ppb)

資料來源：本文整理

⁴ 保存一年的含義是文物曝露在相應濃度的污染物中一年而不會顯現出劣化現象，十年、一百年同理。

屬、書畫、織品類文物，則標準應從嚴制定，若蒐藏民俗文物、現當代藝術，標準可放寬。

總之，博物館的職責是盡全力保護文物，儘量使文物因現代保存環境導致的劣化小於自然狀況下的劣化程度，但並不需完全套用環境品質標準，相較花費大量人力、物力控制污染物濃度，定期觀察與記錄文物保存狀況更加重要。

結語

一般情況下，博物館內的氮氧化物濃度很低，儀器檢測不到屬正常現象⁵。氮氧化物造成的危害非短期可見，而是長期累積而成。但博物館不應因此忽視氮氧化物的存在。臺灣汽機車數量眾多，車輛排出廢氣所帶來的氮氧化物污染，對文物能夠造成不可逆之危害。本文所述之文物保護方式，以及氮氧化物檢測方法、氮氧化物濃度標準訂定法，均提供多種可能方案

供博物館參考。例如，在文物保護方面，若財力充足，可安裝帶有過濾裝置的空調系統；若財力短缺，則可利用密閉、吸附等措施為文物營造低污染之環境。在檢測方面，財力充足的博物館可選用相對精準的檢測設備，財力不足則可選擇簡易檢測設備。在氮氧化物濃度標準訂定方面，博物館也可根據財力、人力、藏品類型等因素，制定適合自身之標準。總之，不同博物館雖在主題、規模、資源多寡等面向存在極大差異，但都有適合自身之文物保護措施。博物館在防範空氣污染時應將氮氧化物納入考量，以減少氮氧化物對文物產生之危害。

誌謝

感謝博館所老師的耐心指導和審查委員的寶貴建議，使本文能夠完成並更臻完善。

參考文獻

- 王瓊花譯，澤田正昭原著，2001。文化財保存科學紀要。臺北：國立歷史博物館。
- 朱堉銓，2016。雲林地區文物與圖書館類博物館空氣污染物監測與改善研究。國立雲林科技大學文化資產維護系碩士論文。
- 周偉強、王永進、劉林西，2008。石質文物病害分類研究，文物保護研究新論。北京：文物出版社。
- 周寶中，2000。文物保護科技文集。臺北：國立歷史博物館。
- 周寶中主編，2007。文物修復和辨偽。鄭州：大象出版社。
- 徐飛、萬俐、朱一帆，2009。清代鐵炮自然表面與腐蝕關係研究，文物科技研究（第6輯）。北京：科學出版社。
- 張承志，2010。文物保藏學原理（第三版）。北京：科學出版社。

⁵ 朱堉銓（2016：99、112）曾偵測雲林縣多個博物館或圖書館展覽空間的氮氧化物濃度，其中雲林科技大學圖書館五樓書庫一直都有0.1-0.3ppm的二氧化氮（可能為學校餐廳烹飪產生，也可能因為館內植栽所施肥料分解產生），雲林縣警察局史蹟文物館多在晨間有0.3ppm的二氧化氮，中午和下午則沒有（可能因為附近停車場上班時間車輛出入頻繁）。雲林科技大學校史館和西螺延平老街文化館三樓都沒有偵測到二氧化氮。可見氮氧化物濃度於不同地點差異頗大，附近車輛較多的博物館，其氮氧化物污染不應忽視。

- 張晉平，2013。博物館環境監測控制技術。北京：中國環境出版社。
- 陳元生、解玉林，2002。博物館文物保存環境質量標準研究，文物保護與考古科學，14（增刊）：152-191。
- 陳彥君，2006。動物性典藏品之蒐藏管理：預防性措施要點，王玉豐、顏上晴、馬綠蓉編，寶室藏珍：蒐藏空間規劃與管理實務研討會論文。高雄：國立科學工藝博物館。
- Baer, N. S. and Banks, P. N., 1994. Indoor air pollution: Effects on cultural and historical materials. *In*: Knell, S. (Ed.), 1994, Care of Collections. London: Routledge.
- Blades, N., Cassar, M., Oreszczyn, T. and Croxford, B., 2000. Preventive conservation strategies for sustainable urban pollution control in museums. *In*: Roy, A. and Smith, P. (Eds.), 2000, Tradition and Innovation: Advances in Conservation. Contributions to the Melbourne Congress. London: International Institute for Conservation of Historic and Artistic Works.
- CCI, 2008. Natural fibres. CCI Notes. Retrieved December 26, 2014, from <http://www.cci-icc.gc.ca/resources-ressources/ccinotesicc/13-11-eng.aspx>.
- Doehne, E. and Price, C. A., 2010. Stone Conservation: An Overview of Current Research. Los Angeles: The Getty Conservation Institute.
- Florian, M.-L. E., 2006. The mechanisms of deterioration in leather. *In*: Kite, M. and Thomson, R. (Eds.), 2006, Conservation of Leather and Related Materials, pp. 36-57. Oxford: Elsevier Butterworth-Heinemann.
- Grzywacz, C. M., 2006. Monitoring for Gaseous Pollutants in Museum Environments. Los Angeles: The Getty Conservation Institute.
- Lavédrine, B., 2003. A Guide to the Preventive Conservation of Photograph Collections. Los Angeles: The Getty Conservation Institute.
- Roosa, M., 2004. Care, Handling, and Storage of Photographs International Preservation Issues. Paris: International Federation of Library Associations and Institutions.
- Ryhl-Svendsen, M., 2007. The role of air exchange rate and surface reaction rates on the air quality in museum storage buildings. *In*: Padfield, T. Borchersen, K. and Christensen, M. C. (Eds.), 2007, Museum Microclimates: Contributions to the Copenhagen Conference. Copenhagen: Nationalmuseet.
- Selwyn, L., 2004. Metals and Corrosion: A Handbook for the Conservation Professional. Ottawa: Canadian Conservation Institute.
- Stanniforth, S., Julien, S. and Bullock, K., 2011. Chemical agents of deterioration. *In*: Caple, C. (Ed.), 2011, Preventive Conservation in Museums. London: Routledge.
- Szczepanowska, H. M., 2013. Conservation of Cultural Heritage. London: Routledge.
- Tímár-Balázs, Á. and Eastop, D., 1998. Chemical Principles of Textile Conservation. Oxford [England]; Boston: Butterworth-Heinemann.
- Tétreault, J., 2003. Airborne Pollutants in Museums, Galleries, and Archives: Risk Assessment, Control Strategies, and Preservation Management. Ottawa: Canadian Conservation Institute.
- Tétreault, J., 2013. Agent of deterioration: Pollutants. Retrieved September 6, 2014, from <http://www.cci-icc.gc.ca/resources-ressources/agentsofdeterioration-agentsdedeterioration/>

chap07-eng.aspx#toc1 .

Thickett, D. and Lee, L. R., 2011. Selection of materials for the storage and display of museum objects. *In*: Caple, C. (Ed.), 2011, Preventive Conservation in Museums. London: Routledge.

Thomson, G., 1986. The Museum Environment (2nd ed. London). Boston: Butterworth-Heinemann.

作者簡介

彭潔薇現為輔仁大學博物館學研究所碩士生。

Review of Nitrogen Oxide Damage to Cultural Heritage and Preventive Conservation Strategies

Jie-Wei Peng*

Abstract

Emissions of nitrogen oxides have increased significantly in urban areas, causing damage to cultural heritage. In museums, nitrogen oxides can weaken paper and textiles and cause colors to fade. They also adversely affect stone, metals and photographs. Research on the deterioration of cultural heritage due to nitrogen oxides and preventive conservation treatments is reviewed in this article. Methods for air quality monitoring in museums and criteria for cultural heritage site indoor air quality are also discussed. The aims of this article are to emphasize the necessity for conducting air quality monitoring in museum environments and to provide references for museums to establish measures for maintaining acceptable levels of nitrogen oxides.

Keywords: preventive conservation of cultural heritage, nitrogen oxides, museum

* Graduate Student, Graduate Institute of Museum Studies, Fu Jen Catholic University;
E-mail: jwjw_peng@sina.com