

出國報告（出國類別：考察）

從敦煌莫高窟與台灣看煙燻壁畫的 清潔

服務機關：國立臺南藝術大學

姓名職稱：蔡斐文 副教授兼任古物所所長

派赴國家：中國

出國期間：98年10月23日~98年10月30日

報告日期：99年1月6日

摘要

敦煌莫高窟在彩繪上的豐富與彩繪層脆弱不穩定的因素，在制定修復方針時要謹慎考慮選擇適當的清潔方式；加上莫高窟鹽害問題嚴重，故含有水溶液的清潔方式如水，飽和溶液碳酸氨(Ammonia carbonate)等.台灣慣用的方式恐不適合。本次考察先於臺灣提出問題？何種清潔方式可以有效的清除煙燻？但又不傷害下面不穩定的彩繪層。我們製作大量煙燻樣本，於樣本上進行清潔測試，嘗試找出有效的清潔方式；經評估後確認的清潔方法，於敦煌莫高窟執行一清潔測試區。相對於敦煌，台灣壁畫在基底材與顏料方面較年輕，病害狀況不如莫高窟複雜；但是台灣有許多以合成樹脂繪製的壁畫，也無法使用含有水溶液的清潔方式如；敦煌莫高窟的經驗能提供台灣壁畫修復深入的視野，期盼助益於台灣壁畫乾式清潔領域的深入研究。

目次

壹	目的.....	4
貳	過程	5
	工作坊-國立臺南藝術大學.....	
	一、煙燻壁畫清潔工作坊之台灣準備與清潔測試.....	5
	(一) 準備模擬實驗材料.....	5
	(二) 將模擬樣本進行煙燻.....	5
	(三) 在顯微鏡下測試不同溶液與各類煙燻殘留的反應.....	6
	(四) 清潔測試煙燻後的模擬壁畫樣本.....	6
參	境外教學-大陸敦煌研究院莫高窟.....	10
	一、敦煌研究院莫高窟第 347，348，349 窟壁畫狀況檢視登錄.....	10
	(一) 洞窟病害調查.....	11
	二、煙薰壁畫採樣清潔.....	14
	三、清潔測試區.....	18
肆	心得與建議.....	22

壹、目的

因臺灣壁畫多位於寺廟內，而信徒因宗教儀式會燃香燭、焚燒紙錢(圖一)，故壁畫常有煙燻病害，且因環境與氣候之故，灰塵與煙燻附著於壁畫上。中國敦煌莫高窟壁畫因歷史久遠，部分洞窟的壁畫表面附著髒汙與煙燻，部分彩繪層、地仗層已劣化、壁畫脆弱不穩定，加上鹽害問題嚴重，含有水溶液的清潔方式如水，飽和溶液碳酸氨(Ammonia carbonate)等，恐不適合敦煌。敦煌研究院對煙燻壁畫清潔尚未有深入的研究，因此，貝克特教授(Barara Beckett)邀請德國化學家 Eberhard Wendler 博士至國立臺南藝術大學古物所開設「壁畫清潔工作坊」，藉由科學實驗與分析制訂敦煌壁畫煙燻清潔的方針。另外，因敦煌研究院壁畫清潔與修復經驗豐富，我們也與敦煌研究院達成共識，將於 2009 年 10 月 18 日前往敦煌，實行為其兩週的壁畫清潔實驗，期許能為敦煌壁畫之髒汙與煙燻問題找到適宜的清潔方法。



圖一 寺廟內燃香燭與焚燒紙錢之宗教儀式會造成壁畫的煙燻病害。

因此煙燻壁畫清潔工作坊將先後在國立臺南藝術大學與大陸敦煌莫高窟進行：

- (一) 國立臺南藝術大學(2009/10/12-10/15)：教授清潔理論與技術，且在實驗室測試各種清潔方式。
- (二) 大陸敦煌莫高窟(2009/10/19-10/29)：莫高窟 347、348 與 349 窟壁畫之煙燻病

害嚴重，我們也將在敦煌研究院—保護研究所之實驗室進行清潔測試與現場壁畫清潔測試。

壹、過程

工作坊-國立臺南藝術大學

地點: 國立臺南藝術大學

一、煙燻壁畫清潔工作坊之台灣準備與清潔測試

因臺灣壁畫多位於寺廟，而煙燻來源即香(incense)、香油(oil)與紙錢(paper)，故我們便以此三種材料模仿煙燻病害。另臺灣與敦煌乾壁畫之黏著劑主要是植物膠、動物膠與壓克力樹脂，因此我們將在模擬樣品上用此三種黏著劑混合顏料，以模仿真實壁畫。

煙燻清潔理論課程：講解煙燻的成分主要是碳氫化合物、油脂、樹脂、醣類與聚合物。

(一) 準備模擬實驗材料

1. 製作模擬壁畫的樣本：在輕石磚上塗抹一層灰泥(石膏、石灰、大理石粉與沙)。待乾後，分別用三種黏著劑混合顏料塗佈，植物膠(Tylose MH300 甲基羥乙基纖維素)、動物膠(皮膠)與壓克力(分為市售壓克力顏料與我們自行將顏料混合壓克力黏著劑 Primal)。共有七類樣本：PL(plaster 地仗層)、TY(Tylose 甲基羥乙基纖維素)、TP(Tylose powdery)、AG(Animal glue 動物膠)、AA(Artist acrylic 市售壓克力顏料)、AS(Acylic selfmade: Primal)、ASF(Acylic selfmade film)。
2. 用香(incense)、香油(沙拉油 oil)與紙錢(paper)作為煙燻的媒材。

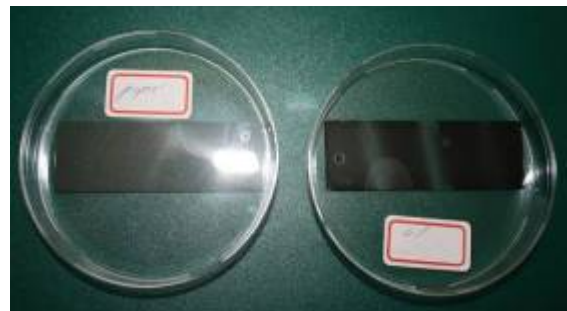
(二) 將模擬樣本進行煙燻：將三種黏著劑混合顏料的模擬壁畫樣本置於烤爐上方，下方則燃燒香、香油(沙拉油)與紙錢(圖二)；並刮取烤爐上的煙燻殘留，並置於載玻片上以利於在顯微鏡下觀察並做清潔測試(圖三)。



圖二 燃燒紙錢來煙燻模擬樣本。



圖三 刮取烤爐上的煙燻殘留，以利於在顯微鏡下觀察並做清潔測試。



圖四 將取下的煙燻置於載玻片上以利於在顯微鏡下觀察並做清潔測試。

(三) 在顯微鏡下測試不同溶液與各類煙燻殘留的反應：

使用去離子水、酒精、異丙醇(Isopropanol)、石油醚(Petroleum benzene)、氨水(NH₃)測試(圖四)，因水的表面張力大，因此會結成一球而無法散開，使用非極性溶劑之清潔效果較佳。

(四) 清潔測試煙燻後的模擬壁畫樣本：

清潔物質可大致分為三類(圖五)：1. 膠狀物(gel)；2. 薄膜(film)；3. 棉花棒沾溶液。膠狀物有 1) Carbogel + AC、6) Carbopol + Iso Propanol + Ethomeen (圖六)、7) Carbopol + NH₃(圖七)，膠狀物可延長溶劑在壁畫上的停留時間，因其分子較大，所以與日本紙相較，膠狀物較不會滲透進壁畫內部； 3) Belfor SRF 2NA(圖八、九)、4) Colarol(圖十)、5) Arte Mundit (Remmers) (圖十一)為乳劑狀，乾燥後形成薄膜，其主要成分為天然橡膠(rubber)，便可將其撕除，施用時盡可能使其單薄；另外，2) SEG V86b 為德國化學家 Eberhard Wendler 博士所自行研發的煙燻清潔產品，其為環十二烷、石蠟、天然橡膠、無酸橡皮擦等物質所構成，其使用方法類似橡皮擦擦拭。

我們從三個觀點評分，依序為：工作能力(work ability)、清潔效果(cleaning effect)、損害(damage)，評分為 1、2、3(好、中、壞)；最後再將三個分數相加，並用三種顏色表示清潔的整體結果：綠色(好)、黃色(中)、紅色(壞)。最後，我們

發現燭油所造成的煙燻，使用橡膠乳劑與 2) SEG V86b較易移除；而香所造成的煙燻，使用 4) Colarol、6) Carbopol + Iso Propanol + Ethomeen、7) Carbopol + NH3 + Iso Propanol、8) H2O(with cotton stick)的效果較佳¹；而紙錢所造成的煙燻，使用 2) SEG V86b、6) Carbopol + Iso Propanol + Ethomeen、9) Propanol(with cotton stick)則有較佳的清潔成果。

3.0-4.0 (好)
 4.5-5.5 (中)
 6.0-9.0 (壞)

Cleaning system	time	Samples								
		oil			incense			paper		
1) Carbogel + AC	10mins	1-2	3	3	1-2	2	2	2	3	1
2) SEG V86b	-	1	1	1	1	3	1	1-2	2-3	1
3) Belfor SRF 2NA	-	1	1	1-2	1	1-2	1	1	2	1-2
4) Colarol	-	1	1	1-2	1	1	3	1	2	1-2
5) Arte Mundit (Remmers)	-	1	1	2	1	2	1	1	2	1-2
6) Carbopol + Iso Propanol + Ethomeen	10mins	2	1-2	1-2	2	2	1-2	2	2	1
7) Carbopol + NH3 + Iso Propanol	10mins	2	2	2	2	2	2	2	2-3	1
8) H2O(with cotton stick)	-	1	2	1-2	1	1-2	2-3	1	3	2
9) Propanol(with cotton stick)	-	1	3	1	1	3	1	1	2-3	1-2
10) Petroleum benzene (with cotton stick)	-	1	3	1	1	3	1	1	2-3	11

¹ 3) Belfor SRF 2NA與 5) Arte Mundit (Remmers)的三項總分雖較高，但須注意其清潔效果！



圖五 十種清潔測試物質



圖六 施用膠狀的 6)Carbopol + Iso Propanol + Ethomeen



圖七 施用膠狀的 7) Carbopol + NH3



圖八 施用乳劑狀的 3) Belfor SRF 2NA



圖九 3) Belfor SRF 2NA 乾燥後，形成薄膜，便可將其撕除。



圖十 施用乳劑狀的 4) Colarol



圖十一 施用乳劑狀的 5) Arte Mundit (Remmers)

參、境外教學-大陸敦煌研究院莫高窟

一、敦煌研究院莫高窟第 347，348，349 窟壁畫狀況檢視登錄

地點: 莫高窟第 347，348，349 窟



圖十二 中國大陸甘肅省 敦煌研究院-莫高窟。

結束煙燻壁畫清潔工作坊臺灣部份後，我們搭上飛機，目標是中國大陸甘肅省 敦煌研究院-莫高窟，展開為期十一天的境外教學，將清潔工作坊的結論，應用與實踐在敦煌煙燻壁畫上。

經過一段長途的飛行與轉機後，我們終於來到文化遺產的寶窟-敦煌莫高窟。剛抵達敦煌已是晚上，我們興奮的休息，儲備體力為即將開始的工作準備。

敦煌研究院親切的安排我們參觀所有洞窟，讓我們對莫高窟：洞窟的全貌，所在位置，以及我們所關心的環境監控-河水與沙漠風沙，影響壁畫保存的各種自然力，有一個基礎印象。這些資訊對於洞窟壁畫的病害分析調查，非常必要。在參觀的過程中我們不斷提出相關專業問題，導覽人員也親切的回答我們。

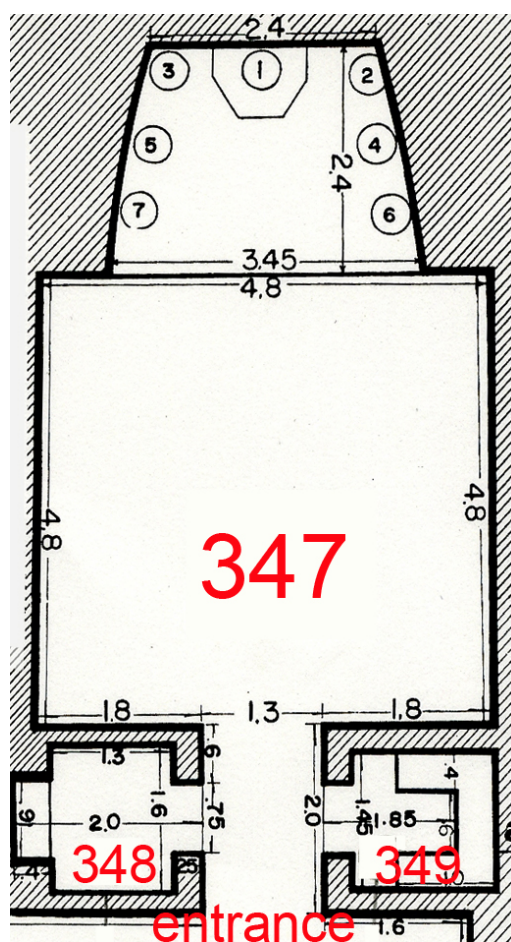
第二天進入洞窟工作，我們揹著沉重的裝備走入接下來的兩週我們將朝夕相處的洞窟-347, 348, 349 窟。由 Barbara Beckett 教授與 Eberhard Wendler 博士指導，學生們分成兩組，首先先對洞窟壁畫進行檢視登率與攝影。並在敦煌研究院研究人員許可的情況下收集煙燻樣本(樣本的量非常微小，只在無彩繪層的情況下且壁畫已有病害之處才能擷取)。接下來使用敦煌研究院國家古代壁畫保護工程

技術研究中心實驗室，分析煙燻來源與執行清潔測試。完成實驗室的步驟後，我們再返回洞窟，徵得研究人員同意後，於小區域執行清潔。

(一) 洞窟病害調查

347 窟有主殿以及一神龕，神龕上有七尊神像，主神為阿彌佗佛。依次是阿難與迦葉在依次為菩薩。348，349 為兩個小龕是僧人修行的洞窟，也接受民眾供養。其中一窟有爐灶與厚重煙薰，疑為僧人生活的痕跡。洞窟中的所有牆與藻井均佈滿壁畫，在主殿繪製的是千佛圖（見圖十四與十五）。

煙薰為碳氫化合物、油脂、樹脂、醣類與聚合物與黏著劑的結合，煙燻的張力往往大於壁畫彩繪層，形成壁畫的皺縮、起甲導致壁畫剝離脫落，形成嚴重的問題。在香火鼎盛的台灣廟宇也有相似的問題。由於煙薰是此次工作坊的重點，檢視登錄將針對煙薰為調查對象；我們發現在 347，348，349 窟煙燻非常厚重，有許多彩繪層起甲的狀況(見圖十六)，有的牆面壁畫已小部分剝離脫落。



圖十三 347，348，349 窟平面圖。



圖十四 347 窟北牆：全景照（清潔前）。厚重的煙燻牆壁幾乎是黑色的炭。



圖十五 347 窟裝飾圖案：千佛圖細部照片。



圖十六 347 窟：起甲細部照片。



圖十七 Eberhard Wendler 博士測量神像附近的溼度變化比對現場的鹽害問題。



圖十八 學生對壁畫進行病害調查與檢視登錄。

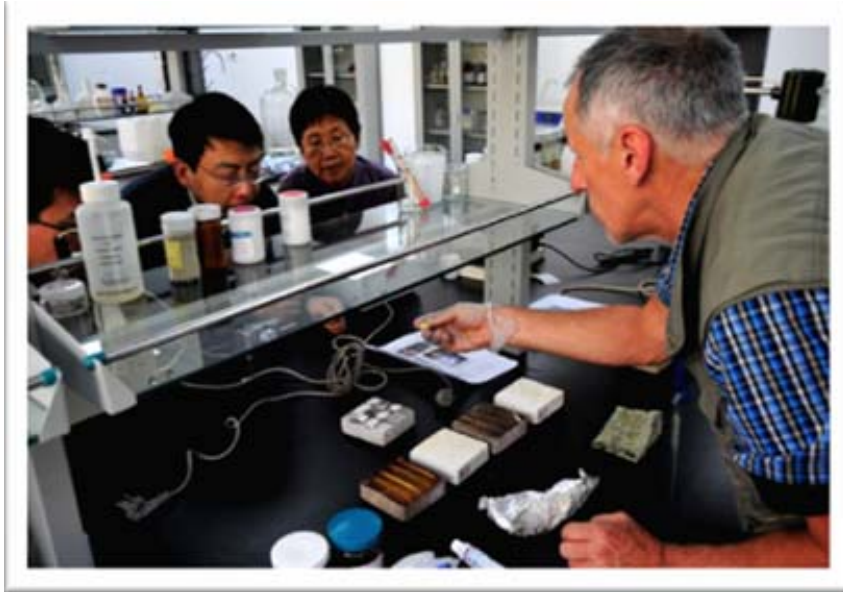
二、煙薰壁畫採樣清潔

地點:敦煌研究院國家古代壁畫保護工程技術研究中心實驗室。



圖十六

首先 Barbara Beckett 教授向敦煌研究院的范宇權老師與于宗仁老師介紹台灣古蹟廟宇壁畫修復的現況及發展與國立臺南藝術大學古物維護研究所壁畫維護組的歷年工作成果報告書。



圖十七

德國慕尼黑的 Dr.Eberhard Wendler 博士親自詳細講解各種清潔於煙燻樣品測試的成功案例且介紹各種可用於清潔煙熏市面上的清潔產品。

清潔產品介紹：

- SEG-V86b
- Belfor-SRF-2NA
- Carbopol+2-propanol+H₂O
- Carbopol+NH₃
- Cotton stick+H₂O



圖十八

此挑選的五樣清潔產品含括化學乾式與化學濕式清潔，更介紹各種清潔產品的優缺點以及其化學與物理特性和操作時應有的既定工作程序。

挑選與敦煌莫高窟相同類型材質的洞窟壁畫模擬樣品來執行煙燻清潔測試。



圖十九

古物維護研究所壁畫維護組、文物保護組學生以及德國 Bamberg 大學的 Max Rahrig 學生一起共同討論煙燻清潔的測試程序，並且一起制定清潔後的效果評估、清潔步驟程序難易度評估以及清潔後彩繪層損壞現況評估。



圖二十

著手開始使用各種不同的清潔產品來進行煙燻清潔。

採用了化學乾式與化學藥劑的濕式的清潔方式。

(1) 化學乾式的清潔方式如使用修復用的清潔軟膏與橡皮。

(2) 化學藥劑的濕式清潔方式如使用修復用的鹼性含氨成分的溶劑。

持續執行各種煙燻清潔的方式，並詳細評估紀錄清潔的效果、執行清潔步驟的難易度與清潔後彩繪層損毀的現況評估。



圖二十一

Dr.Eberhard Wendler 博士介紹從敦煌莫高窟洞窟取出的煙燻樣本，並且講解如何來執行清潔測試。



圖二十二

Dr.Eberhard Wendler 博士在實體顯微鏡下拍照煙燻區塊



圖二十三

Dr.Eberhard Wendler 博士解釋煙燻的來源和分析煙燻的分佈區域。

三、清潔測試區

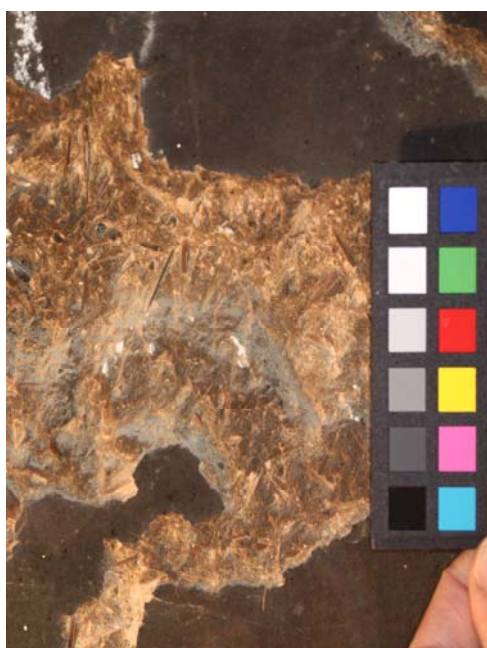
地點: 莫高窟第 347 窟

實驗室測試後，我們選擇清潔效果較佳的 2) SEG V86b、3) Belfor SRF 2NA、6) Carbopol + Iso Propanol + Ethomeen、7) Carbopol + NH₃ + Iso Propanol 四項應用於莫高窟第 347 窟中。

其中以 2) SEG V86b， 3) Belfor SRF 2NA 移除厚重的煙薰效果較佳(圖二十四，圖二十五~二十八)。 3) Belfor SRF 2NA 與 6) Carbopol+ Iso Propanol+ Ethomeen ， 7) Carbopol +NH3 + Iso Propanol 結合運用，在清潔上也有很好的效果。(圖三十~三十五)



圖二十四 清潔示範區 使用 2) SEG V86b。



圖二十五 清潔示範區：使用 3) Belfor SRF 圖二十六 清潔示範區：使用 3) Belfor SRF 2NA。清潔前。





圖二十七 移除 Belfor 膜。



圖二十八 清潔示範區：使用 3) Belfor SRF 2NA。清潔後。



圖二十九 清潔示範區：使用 6) Carbopol + Iso Propanol + Ethomeen。



圖三十 清潔示範區：使用 6) Carbopol + Iso Propanol + Ethomeen ， 7) Carbopol + NH₃ + Iso Propanol 。



圖三十一 清潔示範區：使用 6) Carbopol + Iso Propanol + Ethomeen ， 7) Carbopol + NH₃ + Iso Propanol:細部照片。



圖三十二 清潔示範區：以去離子水中和。



圖三十三 清潔示範區：塗敷 3) Belfor SRF 2NA，移除被溶解的煙燻。



圖三十四 清潔示範區：3) Belfor SRF 2NA 乾燥。



圖三十五 清潔示範區：6) Carbopol + Iso Propanol + Ethomeen ， 7) Carbopol + NH₃ + Iso Propanol 溶解煙燻，3) Belfor SRF 2NA 可將他移除。

肆、心得與建議

覆蓋在厚重煙薰層下的壁畫，狀況十分脆弱，修復師移除煙燻，還原壁畫的原貌；但一方面要小心壁畫的狀況，在香火鼎盛的台灣廟宇常存在這樣的狀況。在這樣兩難的問題下，壁畫清潔工作坊為它找到答案。

我們學習如何以科學的方法處理這樣的病害。首先分析問題：通過樣本分析，自製樣本實驗，再到實驗室的清潔操作，現場的清潔示範區操作；在邏輯的依據下，理論與實作步步結合，從中找出最適的方法。在工作坊中我們不但學習到煙燻清潔方法，也在博士與老師的指導下做了全盤規劃的訓練，這樣的演練對日後的修復工作更是重要的經驗。

這次的工作坊成果豐碩，Dr.Eberhard Wendler 博士本人為分析化學家，具備廣大的化學知識背景，他很親切的指導我們，熱心的解答各種疑問。能夠參這樣豐富的課程，我們獲益深遠，非常感謝安排所有行程的 Barbara Beckett 教授與古物維護研究所蔡斐文所長，林春美教授，以及敦煌研究院所有師長的協助，感謝教育部特色領域人才培育改進計畫案的補助與指導，讓我們能夠圓滿完成這個活動。我們期盼能工作坊得到的知識回饋於台灣珍貴的廟宇壁畫，另外，壁畫清潔工作坊的成果也盼為台灣與敦煌壁畫的煙薰病害，提供解決方法與後人研究方向。



圖三十六 老師與學員參觀治沙工程。



圖三十七 月牙泉拍攝團體照。