

書畫文物保存芻議

阮鴻騫

元智工學院

〔內容提要〕文物保存攸關文化傳承，我國書畫文物以紙絹爲本，易受環境影響及本身結構薄弱，在維護方面有其特質。歷代本諸經驗雖有所成，但如加鑒於素材，未審其弊，使熟絹藝品難於久存，即爲明證。迺以理化觀點試解其因。紙絹一如所有高分子聚合物，易受光氧化作用，生成含氧自由基，進行連鎖反應，導致強度減弱，再加環境濕度及細菌之相乘效應，變本加厲。除在環境方面防患於未然，更宜以輓近科技知識加強維護，針對傷害文物之過氧及過氫氧自由基，予以處理，使用光安定劑於文物素材，諸如揭裱重裝時，與糊料併用或將溶液噴霧物面，以抑止光氧化反應之進行。至於素材朽損特甚者，可採取聚合作用以求保固。此外，利用非破壞性分析，如化學閃光法以監測文物受損程度及處理成效。當務之急則爲研討其可行性及系統設計。

一、緒言

文物保存工作爲文化傳承之一環，但所受自然環境各項因素影響，隨歲月遞增，再加大氣污染日甚，保存任務，更趨沉重。捨貴金屬及陶瓷類尚能無恙，雖木石雕鏤亦難久存。即使免於戰禍火劫，亟需刻意維護文物古蹟，俾可久藏。傳世紙絹藝品，表現其當代思維象徵，寓人文精神於書畫，惜其質地單薄，本身之有機結構，易受黴菌、蛀蝕、光線、濕度、溫差等侵損，復有氧化及有害氣體作用，更易崩壞。東方紙絹藝品，既在人類文明上有其獨特地位與貢獻，幸輓近保存鑒藏方面諸多進展，在防黴、防蟲、恒溫、恒濕、及照明控制等技術上，避免不必要傷害，而有增壽年〔註一〕

紙絹爲俱有氫鍵之高分子聚合物，結晶及非晶組織並存，能生成自由基 (Free Radical)，助長紙絹光氧化作用 (Photo-Oxidation) 之擾，進而使高分子分解，失去強度，實爲紙絹文物維護方面之隱憂。由於文物素材在製成後，多經處理，作品亦須裱褙，爰就物理及化學現象，對生熟紙絹、膠礬與糊料使用，及鑒藏條件諸方面加以探討，並對防止紙絹氧化過程，申論其可行途徑。

二、紙絹結構

1. 紙類：纖維素爲紙之基本組成，係聚合之無水葡萄糖 (Anhydroglucose, 圖1A)，其聚合度在棉纖維爲8,000、麻約10,000，而木則在7,500—10,500之間【註一】，由於每一單體上有三個醇基，當氧及氫原子相近時，生成分子內氫鍵 (Inter molecular Hydrogen Bonding)，亦可與水分子建立氫鍵而膨脹 (比較圖1B、C)，此等氫鍵對抄紙及紙張強度極俱影響，亦爲紙張對濕度至爲敏感之因，以及裱背良窳之源。如在抄紙時形成水分子架橋，迨乾燥後，氫鍵使纖維束密結，使紙張俱有一定強度。濕潤紙張因受水使纖維膨脹，減弱纖維束間集合力量，強度銳減，以抗張強度 (Tensile Strength) 作比，乾紙漿達9.0kg/1.5cm寬，而濕者僅0.6kg/1.5cm寬【註三】。此亦爲裱背，尤以揭裱時所應注意之點。此外，濕度變化可引起突發效應 (Humidity Hysteresis Effect)【註四】，令紙張強度變遷達五—二五%。

纖維素遇短波光線及放射線源，分子被激化，生成自由基而導致損傷 (圖五)。其分佈於結晶組織部份者，蟄伏頗久，遠長於在非晶組織中者。通常須待纖維膨脹後，始參與反應。當空氣中濕度過高，助長氫鍵生成，而令纖維膨脹，易使蟄伏

【註一】：張世賢：環境因素對文物的危害及其應變對策。《故宮文物月刊》卷九、期九、十，另有單行本。

【註二】：Hebeish A & Guthrie JT, *The Chemistry and Technology of Cellulose Copolymers*, Springer Verlag, New York, 1981, pp1-5.

【註三】：Cramer, W.A. et al, *Graft copolymers of paper cellulose in Large Radiation Sources for Industrial Processes*, International Atomic Energy Agency, Vienna, 1969, p338.

【註四】：ASTM D-685-93, *Standard Practice for Conditioning Paper and Paper Products*, in *Annual Book of ASTM Standards* Vol. 15. 09, p38 (1994).

之自由基活躍，參與光氧化作用。此外，自由基與空氣中氮硫氧化物等雜質，無論乾濕均起反應。

有關纖維素自由基之光氧化作用將在下章討論。

2. 絹類：蠶絲為家蠶吐絲經沸水除去外層所附絲膠質之纖維，本身為一蛋白質，由多種胺酸（亦稱氨基酸）組成。其主要成份為甘胺酸（Glycine）、丙胺酸（Alanine）及絲胺酸（Serine），約以三：一：一之比例成螺旋鏈狀相結為肽（Peptide）之聚合分子【註五】。除上述三種胺酸外，尚有少量酪胺酸（Tyrosine）、蘇胺酸（Threonine）、白胺酸（Leucine）等，其量較寡，但易受紫外光線作用，而導致絲質老化，蠶絲結晶成橢粒狀（圖二）在結晶間有非晶區，惟蠶絲結晶度僅達百分之卅左右，由於有肽—CO—NH結構，氫鍵在絲蛋白結晶構造中佔有重要地位，聚肽鏈與鏈間藉—CO—NH成平行褶片（Peated Sheet，圖一），即為氫鍵所致。另一方面，亦易使絲蛋白纖維與水分子結合，吸濕量達百分之廿以上；且此一吸濕現象足以切斷內分子氫鍵，減小纖維結晶度並微結晶粒子，導致強度下降而老化【註六】。如周遭濕度不斷變遷，足以影響聚合鍵呈現疲勞（Fatigue），更損強度。

三、紙絹光氧化反應

一若多類高分子聚合物，紙或絹之分子結構亦在長期儲放中老化而減弱強度。周遭環境不適當時更加速衰變。

1. 紙類：纖維素雖無強吸收光波之原子團亦即吸光基（Chromophore），但夾存之酮—C=O、氧烷—OR及酯分解物，藉空氣中氧及水份之助，可吸收低於340nm波段之光線，而引起光氧化反應【註七】。上述波段見於陽光及日光燈（圖三），至於攝影用閃光燈及照明裝置，更富於短波光源。波長與各原素間鍵能（Bond Energy）關係如圖四，當相當波長之光能

【註五】：①Lucas, F. *Silk fibroins in Advances in Protein Chemistry* Vol. III, Academic Press, New York, 1958, pp201-5. ②游振宗：《天然蛋白質纖維》，台北超級科技圖書公司，一九九〇年，第四章，頁五七一六七。

【註六】：平林潔（絹之形狀），《蠶絲科學技術》，卷二十五期八，六十一—三頁。

【註七】：Hon, D.N.S., *Photochemistry of wood in Wood and Cellulose Chemistry*, Ed. Hon D.N.S. & Shiraiishi, N. Marcel Dekker Inc., New York, 1991, pp525-55.

超於某一鍵能時，即可導致解離現象，生成自由基，化學性質活躍，易起氧化、分解及解聚（Depolymerization）作用。Hon【註八】曾就纖維素在245、280及340nm等波段照射後，以電子迴轉共振光譜（Electron Spin Resonance Spectrometer，簡稱ESR）測定初步生成之自由基（圖五）。在氧氣存在時，尤以高能階之第一能階（Singlet）及第三能階（Triplet）氧分子更易。此類自由基繼續氧化生成過氧或過氫氧基（ RO_2 、 $R-O-O-H$ ，參與連鎖反應（Chain Reactions），終使纖維素生成低分子量之醛、酮、酸等，或使長分子鏈斷裂。在使用254nm光源照射所產氧化物組成如下表所示：

照射時數（小時）：	○	三	五	一〇	一〇
生成量（mmol/100g）					
$>C=O$	○·二	○	五·六	一五·九	一二一·一
$-COO$	○	○	一·九	四·二	九·七
$\cdot OOH$	○	○	○·一	○·三	○·六

表列 $C=O$ 及 $-COO$ 量均隨照射時間遞增，尤以 $C=O$ 量為甚。至於 $\cdot OOH$ 所增似緩，其實係因生成與分解率相近所致，轉化為其他氧化物。另一方面纖維素聚合度亦隨照射降低，開始時為850單體，十小時後降至260，抗張強度自亦隨之減弱。當水份超過百分之十時，更易生成自由基，因水份可使纖維結構膨潤，助長光化學反應之進行。

2. 絹類：蠶絲蛋白質之主要肽成分如甘胺酸、丙胺酸、及絲胺酸並不吸收可見光，但非結晶區中有酪胺酸，含量達10.28mol%，另有少量酞胺酸及白胺酸均可受紫外光線影響，切斷肽鏈 $HN-C-CO-N-C$ 鍵，生成自由基進而起氧化作用，及絲蛋白分解，降低絲強度以至裂損。此一現象在高濕度及黴菌滋生時，更對絲質不利，因肇端雖始於非晶區，反應在有水份及黴菌作用下，遍及全部絲質，加速崩潰。此外，一旦自由基在絲蛋白結構中生存，並非固定，可轉移至其他部位，使光

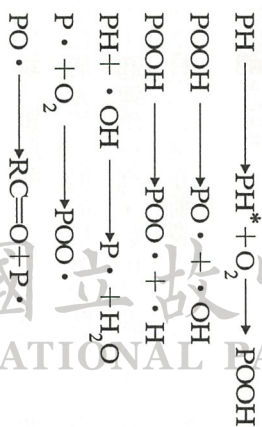
【註八】：Hon, DNS. Formation of free radicals in photoirradiated cellulose, J. Polym. Sci. Polym. Chem. Ed., 14, 2497 (1976).

氧化連鎖反應蔓延，破壞結晶組織，而使原本蟄伏其中之自由基，得以參與反應。陳年絹品破損粉碎，即為一例。

絲綢受機械能作用時，可生成機械自由基 (Mechanoradical)，已證實者 $\text{-HNCH}_2\text{-COCH}_2\text{-HNCHCO}$ 等【註九】。此點將於後文探討熟絹時論及。

在一般胺酸及肽分子中生存之自由基倘周遭環境不構成參與反應條件，俱有長期穩定性。以測定放射劑量所用丙胺酸，於受輻射後，以 ESR 測出所含自由基量，代表所受放射劑量。即使長期儲放，甚至將試體郵寄後時隔多日，再比較劑量值，亦不影響其正確度。以之作爲測定放射劑量之國際標準。實足以啟示絲綢製品所含自由基俱有潛伏性。

3. 光氧化過程：多類聚合物受光照射，吸收能量而呈激化狀態，如波長適度如圖四所示，分子鍵開始解離，而與氧作用生成過氫氧化合物，瞬即分解爲烷羰及羰自由基：



最後一式中含酮化合物繼續分解得一氧化碳及 CH_2 自由基 (Norris I 型) 或生成甲基酮及乙烯自由基 (Norris II 型) 所有自由基均參與連鎖反應，使氧化陸續進行，終使纖維素或絲蛋白質結構破裂，而無法保持強度。

反應中所涉及之過氧化合物、過氫氧化合物及酮類均爲吸光基，自對光化學反應有利，如圖四所示 $\text{O}-\text{O}$ 鍵在波長 440nm 即有解離傾向：已不限於短波光源而可見諸於一般室內照明光源。

【註九】：Zakravski, et al. Sov. Phy. Solid State, 10, 1341 (1968).

空氣中氧分子既已參與反應，牽涉分子間能量轉移，激化之聚合物中之基團如酮，可將其能量傳至鄰近氧分子而使其更具活性【註一〇】，以ESR測試可證實第一能階氧分子與過氫氧化合物之生成有關。如下列反應程式：



過氫氧化合物之易於分解，導致連鎖反應，已見前述不贅，並可由紅外線光譜及碘定量法（Iodometry）測定【註一一】。

綜上所述，紙絹之衰變始於光線照射而呈激化狀態，生成自由基再與氧分子作用，中間產物之過氧及過氫氧化合物，本身既俱吸光基，復不安定，引起連鎖反應。如再受濕度過高及細菌滋生，損及素材之結晶組織，反應更易持續，使紙絹部分化為酮酸及少量揮發物，而本身聚合鍵亦斷裂成低分子量產物，此等變化實為紙絹類文物保存上之困擾所在。

四、生熟紙絹之異

製作藝品之紙絹，常加礬於素材，利用其水解，生成氫氧化鋁膠體，便於著色吸墨，兼因氫氧化鋁對細菌有吸附作用，使糊料不易腐敗。加礬後水解另有成硫酸鉀及稀硫酸留存於素材中。經礬處理之紙絹稱為礬紙或熟紙，在絹則為熟絹，以別於未加工之生紙、生絹。熟絹之製備係將絹與膠礬水浸漬，再千捶百鍊，使絲織由圓變扁，以利用筆。

生熟絹在宋米芾《畫史》中〔註一二〕鑒賞古畫中述及：

【註|〇】..Trozzolo, A.M.S, Winslow, F.H. *Macromolecules*, 1,98(1968).

【註一一】..Rabek, J.F. *Experimental Methods in Polymer Chemistry* John Wiley, New York, 1981, p625.

【註一二】：米芾：《畫史》，見俞昆《中國畫論類編》台北華正書局，民國六十六年出版，頁二三二——二。

古畫至唐初皆生絹，至吳生、周昉、韓幹後來皆以熟、半熟入粉槌如銀板，故作人物精彩入筆，今人收唐畫必以絹辨，見絹細便不是唐，非也。張僧畫、閻令畫、世所存者皆生絹，南唐畫皆蠶絹，徐熙絹式如布。

上文雖未明言生熟絹保存之異，但自唐自宋不過四百年而熟絹畫存者不多。米文繼述及閻立本太宗步輦圖等損敗事：

宗室君發以七百千置閻立本太宗步輦圖，以熟絹通身背畫，經梅便兩邊脫磨得畫面蘇落。文彥博以古畫背作匣，然貼絹背著常損愈疾。……畫畫以時卷舒，近人手頻自不壞，歲久不開者，隨軸乾斷裂脆，黏補不成也。

此段已指出熟絹易損，在潮溼天氣及不通風情況下，損壞難免。實亦因細菌繁殖所致。《畫史》及米芾在其所刻群玉堂米帖有關晉武帝法畫糜爛之文句（圖六），為見諸文獻描述文物損毀之最早而不空泛之記載。

靖沈宗騫《芥舟學畫》卷四筆墨絹素瑣論中，對紙絹上礬頗有針貶，節其文云【註一三】

就金粟藏經紙一種而論，逾今千載，不過其色稍改，而完好緊勒幾不可碎。以此作畫，難傳之數千年無難也。……作畫家宜痛絕礬紙，礬紙作畫……且不百年而碎裂無寸完。余蓄夏太常墨竹，是散金礬紙本，筆墨尚好，而紙本遍體破碎，不可裝潢，惜哉！

夫絹之所以不久者，礬重故耳，今人不解用礬道理，生絹上欲以膠礬糊沒其縷眼，於是咎之不能經久。

嘗聞前人論云：「輕粉入絹素，槌如銀板」……先拭以膠水候乾，再以礬水上之。生絹膠礬不得不重而易裂，熟絹膠礬得以輕不易裂，而膠礬自應愈輕愈妙，但故輕亦不能。要知膠礬是伐絹之斧，不得已而用耳。蓋絹性與紙異，無膠礬則不利於筆，有膠而無礬則不利於色，能酌用之使不過份。

沈文中主張先用輕粉（石灰），以減弱上礬後水解造成之酸性，再以膠保護絲織，以免與鉀鹽直接接觸，為較佳之熟絹製作方法。以化學觀點言，一可防制氫離子對絲織氨基結合，及助長纖維膨脹。另一方面有硫酸鈣，膠蛋白及氫氧化鋁附著於絲織表面，硫酸鉀擴散至絲之內部機會降低。以目前技術，氫氧化鋁膠體製劑極為普遍，實可取代明礬水解方式，以為絲

【註一三】：沈宗騫：《芥舟學畫》見前書，頁一二三—一三五。

絹著色助劑，且易於塗佈。無需將絲絹「槌如銀板」，使纖維變形，並產生前述之機械自由基，助長隨後光氧化及解聚作用，如米芾所言「蘇落」，並俗云「世無千年絹」之因。

五、用礬後遺症

明礬為硫酸鉀鋁複鹽之含水結晶 ($KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$)，分子量424。如前所述，用於紙絹之目的為利用水解所成之氫氧化鋁膠質，以便於著筆。現所欲申論者，一為鉀離子之介入，另一為硫酸根所引起枝節，兩者影響更有甚於鋁離子水解所導致之酸性。

鉀有一放射同位素， ^{40}K ，佔原子組成0.118%，而半衰期長至 1.26×10^9 年，為自然界天生之放射性原素，延綿不絕。在其蛻變至氬—四十， ^{40}A ，過程中，釋出能量【註一四】

β	1.314 Mev
β^+	0.483 Mev
γ	1.460 Mev

在明礬中， ^{40}K 約為0.01%，相當於 $6.8 \times 10^{-9} Ci/g$ ，或每克明礬每秒分解250次，其量雖微，但可促成水份解離成氫自由基，而在高分子中引起光氧化等連鎖反應。 ^{40}K 在植物生態中之效應早在一九二二年Gurwitsch【註一五】已發現在植物體中發出180—240nm之紫外光線，當時稱為分裂元光 (Mitogenetic Radiation)，促進光合、蛋白質分解及氧化等作用。若干海洋深處之藻類進行光合作用，即因海水中 ^{40}K 含量達 $4.8 \times 10^{-2} PPM$ 或 $3.40 \times 10^{-10} Ci/l$ ，供應所需光能。 ^{40}K 在古物中可藉熱

【註一四】Fukai, R. & Yokokama S. *Natural radionuclides in the environment*, in *Handbook of Environmental Chemistry*, Ed. Hutzinger, O., Vol. 1, Part B, Springer Verlag, New York, 1982, p55.

【註一五】劉克濟：《養分之攝取與同化物質之利用》台北商務印書館，民國六十五年出版，頁五十三。

閃光法 (Thermoluminescence) 測定其內部 β 劑量率，【註一六】此法用於古陶瓷頗為簡便靈敏，堪供測定年代之需。惜其為取樣作業，難於施諸紙絹文物，但原則上可作加礬紙絹上產生放射劑量率。以此而論，熟絹既經槌擊，結構先已受損，復有機械自由基及來自⁴⁰K引發自由基，有足夠機會受光氧化及解聚作用影響，在典藏上自難延年。

用礬於紙絹必有硫酸根留存其中，為大氣中嗜硫細菌之養料，尤以在濕潤陰暗情況易於滋生。此類還原硫酸菌類可以脫硫弧菌 (Desulfovibrio desulficans) 為代表，將硫酸根及含硫有機質還原成硫化氫，且對環境抵抗及活性極強，被視為生態中終端氧化劑 (Terminal Oxidizer) 【註一七】。亦為鹽碱土生成之媒介，即能將土壤中硫酸鈉還原，再與二氧化碳作用成為碳酸鈉【註一七】。前引米芾《畫史》所述閻立本步輦圖經梅便兩邊蘇落，破損之速，當與徽菌作祟有關，而礬絹本殘存硫酸根，亦為種因之可能性。在生態中此類細菌俱有自然界硫循環功能，一旦滋生，必可損及包括以礬處理之含硫素材。如有可能，將陳年敗壞之礬紙熟絹，測試其硫酸根之存在，甚至含量，當可證實此一原委。此外，畫像中使用鉛白顏料變黑【見註一】，亦為硫化氫所造成，其來自嗜硫菌作用，可為考慮因素之一。而其為害，除上例外，又遍及多數文物。非祇加礬紙絹而已。值得注意者，酸雨以至建材用石膏表面，均包涵於硫生態循環範圍內，僅可在環境上「堅壁清野」始能克制典藏上因硫化氫及硫氧化物所引起困擾。

六、裱褙

裱褙古稱裝背，唐張彥遠《論名價品第》之〈裝背裱軸篇〉【註一八】述及：

自晉代以前 裝背不佳，宋時范曄始能裝背。宋武帝時徐爰，明帝時虞穌，巢尚之，徐希秀，孫奉伯，編次圖書，

【註一六】：Bailiff I.K. Aitken, M.J. Nucl. Instr. & Methods, 173, 423-9 (1988).

【註一七】：Thaer, R.K. Phil. Trans. R. Soc. Lond. B298, 467 (1982).

【註一八】：張彥遠：《論名價品第》見俞樾《中國畫論類編》台北華正書局，民國六十六年出版，頁二二七。

裝背爲紗，梁武帝命宋昇，等又加裝護。國朝太宗皇帝使典儀王行真等裝褫，起居郎褚遂良、校書郎王知敬等監領。

《唐書》百官志載有「校書郎有榻書手筆匠三人，熟紙絹裝潢匠八人」。於此可見官方對裱褙工作之建制與重視。

不僅官方有專責裝潢之措施，裱褙工作素爲典藏者所重，工於書者如褚遂良、米芾均能自行裱褙。清周二學之《賞延素心錄》中丁敬序文云【註一九】：

顧長康所畫「清夜遊西園圖」流傳至唐，河南褚公親爲裝背。宋郭若虛猶及見公題記，郭有畫見聞志，特詳錄焉。米海嶽有詩題大令帖後云：「龜澣雖多手屢洗，卷又生毛誰似米」，蓋自炫其裝背之妙也。

上述米詩之意，重視洗及防黴，深體裱褙之訣。在張彥遠文中又述及自製裝糊之方：

凡煮糊必去筋，稀緩得所，攪之不停，自然調熟。余往往少細研薰陸香末，出自拙意，永去蠹而牢固，若人未之思也。

背書畫入少蠟，要在密潤，此法得宜，候陰陽之氣以調適，暑濕之時不可用。勿以熟紙絹，必皺起，宜用白滑漫得薄大幅生紙。

可見張氏在十世紀時，已知糊之黏度控制防蟲及對濕度影響之對策。

明周嘉胄《裝潢志》重申張氏之意，添加花椒，乳香及明礬防腐防蟲防黴，更在製糊前，令澱粉充份膨脹後，再加熱，其文節錄如下【註二十】

先以花椒熬湯、濾去椒，盛淨瓦盆內放冷，將白麵逐旋輕輕糝上，令其慢沉，不可攪動，過一夜明早攪均，如浸數日，每早必攪一次，俟令過性，淋去原浸椒湯，另放一處。欲入白礬末乳香少許，用新水調和，稀稠得中，不令結成塊子，方用慢火燒，用元浸椒湯煮之，攪不停手，候熟取起面上，用冷水浸之，用之平貼不瓦。黴後不宜久停，

【註一九】：周二學：《賞延素心錄》丁敬序，見朱元壽《國畫裱褙裝潢》，台北中午出版社，民國六十四年再版，頁三。

【註二〇】：周嘉胄《裝潢志》見前書，頁七八。

經凍全無用處。

此處所可注意者爲(1)使花椒萃取液充份擴散至澱粉粒子內層，(2)使澱粉在加熱凝膠化(Gelation)均勻及(3)使用稀薄凝膠於裱糊，以防不勻及防脫。強調「表以糊就，糊用佳則捲舒溫適」。此外花椒等香料多含酚化合物，亦有抗氧化功效。對作品之保存自有裨益。雖周氏所記爲經驗之談，但其合於近代科技觀念，應無疑問。且使裱糊作業，直至清代，保持一定水準。惟其後式微，馴至若干國外博物院蒐藏精品，多送往日本裝裱，俱足深思。

就物理觀點而言，裱糊作業以糊料將藝品與背紙黏合，並不簡單。可視爲兩平行多孔表面間夾有稀薄膠體(非牛頓液體 Non-Newtonian Fluid)，當兩面相接時，排出其中所夾空氣以便貼合。所涉及各作用力，除糊料黏聚力之外，有表面張力，毛細壓力，滲透壓，重力、氫鍵，拆散壓力(Disjoining Pressure)等。尤以後兩者，決定黏合堅實平貼及裱後乾燥情況。由於藝品及背紙之物理性質如膨脹係數，吸濕率並不一致，在乾燥過程中，除表面水份蒸發外，尚有已膨潤纖維及糊料失去所含水份而收縮，氫鍵在此方面之作用力自不可忽視。收縮時糊料之黏聚力與拆散力互爭，纖維之澎潤則有回復其原來結構之平衡趨勢，在其分子鏈間產生彈性收縮力(類似橡皮筋拉伸後回縮)，而左右拆散力大小，實際上則受乾燥速率之控制，糊料之均勻分佈，以及周遭濕度與溫度影響。水份蒸發過速及局部不勻，可產生局部應力，而爲日後撓曲種因。

在〈論卷軸裱背法〉【註二十一】討論裱糊對藝品表面顏料層次影響，使用強韌長纖維背紙，可抗衡外界所造成應力，而不致損及著色顏料，成爲卷軸在保存上功能之一。

古紙絹文物損傷過甚，每有重新裱糊之需，則必涉及揭裱。此一步驟涉及外力施於濕潤藝品之背紙；亦即外力與拆散壓力結合，勝過黏聚力、氫鍵，揭紙時所遇大氣壓作用於紙面及重力。外力僅可略勝一籌，在濕潤藝品抗張強度之安全限度以內，以免扯傷年久脆弱之紙絹。米芾既躬親裝潢，在《畫史》有言：

「古畫若得之不脫，不須背標。若不佳，換標一次，背一次，壞屢更矣，深可惜！」

【註二十一】：張世賢：〈論卷軸裱糊法〉，《故宮季刊》卷十五，期三，頁二七一—二九。

南宋趙希鵠在《洞天清錄集》【註二十二】亦傳其意申言：

「書不脫落，不宜數裝背，一裝背則一損精神，此決然無疑者，墨跡法帖亦然。古畫絹脆，以手指點之，皆能破損，一壞則不可復救。」

《裝潢志》有言：

「書畫性命全關於揭；恃及良工苦心，施迎刃之能，逐漸耐煩，致力於毫芒微渺間，有臨淵履冰之危。……重裝盡善，如超劫還丹。」

綜此數家之言，俱見揭裱再裝之不易為。良以陳年紙絹已被氧化解聚，失去強度。再經揭裱重裝，充份濕潤纖維使之膨脹，不僅易使蟄存之自由基活躍，更易使空氣中氧份子擴散至纖維內部，加增日後氧化趨勢。如糊料中加礬，其得失已見前述不贅。以此而論，在陰乾過程中，如有抗氧化劑存在於糊料中，當有裨於保存。

七、鑒藏

在趙希鵠《洞天清錄集》中論臨模鑒藏文中對立軸懸掛有下述觀點：

擇畫之名筆，一屋止可三四軸，觀玩三、五日，別易名筆，則諸軸皆見風日，決不蒸濕。又軸次掛之，則不令惹塵埃，……

室中切不可焚沉香降真腦子，窗牖必油紙糊，戶口常垂簾，……極暑則屋中必蒸熱，不宜掛壁，大寒於屋中漸著少火，令如三月天氣候掛之不妨，然遇夜必入匣，恐凍損。

趙文對室溫、光線、濕度及煙塵所宜戒慎，較唐張彥遠《論名價品第》所言「卷舒失者，操揉便損，不解裝褫者，隨手棄捐……，向風日，正飲，唾涕，不洗手，並不可觀書畫。」更見完備，而兩文能在中世紀時，有此見解，符合近代典藏意識，雖環境條件遠不如今日時，告誡殷殷，在保存方面自有意義。

【註二二】：趙希鵠：《洞天清錄集》見俞昆《中國書論類編》，台北華正書局，民國六十六年出版，頁二二三—二二四。

近代文物保存，賴科技進步，發前人之未逮，張世賢之〈環境因素對文物的危害及其應變對策〉〔註一〕，扼要檢討溫度、濕度、照明、空氣污染，防蟲及防黴，為鑒藏文物所應採措施提供參考，並強調防患於未然，寄防範於監測。

對著色畫品，〈論卷軸裱褙法〉一文中，認為長期懸掛於不良溫差調濕環境下，易導致應力疲勞，卷軸正面及表面受不同方向相反應力影響，而使面心凹陷，初為可逆性變形，日久則衍為波浪形永久變形，變成裂紋或摺痕。同時顏料粒子須藉明膠保護其排列，但顏料層多孔，缺乏足夠膠質媒介之用量，以保護顆粒，防止因應力所引起之脫落情事，亦易為黴菌藏身之所。

黴害之困擾，在米芾詩中「卷不生毛」，已見其意。習用碳煙及顏料如藤黃、靛青、赭石、硃砂等雖均安定，但均須藉明膠之膠體保護作用，使粒子勻細，惟明膠為可溶性蛋白質，再加裱褙糊料均為黴菌養分。即使加添防腐防黴葯劑，亦難期其永遠。因黴菌多能產生抗體，滋生至一定程度，分解葯劑，其結局則為微生物孢子數逐漸增加，而葯料量只減不增終必消耗殆盡，不再抑制黴害。如併考慮紙絹表面亦為菌體寄主，則陳年古蹟，傳承至今，固有賴於防黴，如經常使用樟腦即為一例。過去習用曝曬於梅雨季節之後，雖勝於無，但未察光氧化後果及水份蒸發所造成溫濕度突變影響。紙絹變黃即為光氧化之跡象。

黴菌除損及素材外，可使陳年藝品色澤深黯；雖半由於積塵油煙（偽造古畫以煙薰近作以仿高古即本此意念），但黴菌作用於紙絹，其一產物為腐植質（Humus），含醣、肽如紙絹類可起表面分解及氧化作用，更易形成深色腐植質。唐張彥遠《論名價品第》之對策為：

「古畫必有積年塵埃，須用皂筴清水，數宿漬之，平案扞去其塵垢，畫復鮮明，色亦不落。」

米芾所作「龜澣雖多手屢洗」亦為除垢之述。浣洗雖臻膚功，但素材結構，在黴菌作用下，能生成腐植質，並損及結晶構造，助使潛伏其中之自由基向外擴散，參與光氧化作用，加速紙絹裂損。甚至腐植質在光照射下亦產生自由基參與複雜反應，而其本身又具促進光化學反應性能〔註二〕。

【註一】Choudhry, C.G. *Interaction of humic substance with environmental chemicals in Handbook of Environmental Chemistry* Ed. Hutzinger, O., Vol. 1 Springer Verlag, New York, 1984, p121.

綜上所言，鑒藏者須慎思擘劃，對適宜環境之要求極苛，捨恒溫、恒濕及幽光之外，週遭空氣亦須潔淨；以省防蛀防黴之勞。甚至舒卷懸掛時，亦須注意應力及任何俱有周期性變動之外力，以防疲勞致損。誠如張世賢環境因素文中防患未然之說，兼顧全局。以目前技術水準亦非難事，幾如半導體製造或微量分析實驗室之標準（除照明外），可為博物館、畫廊設計參考。如美國費城所藏獨立宣言，置於玻璃面匣於充氮及長波光源之下，可謂盡善盡美。雖難普施於國之瑰寶，但在鑒藏與防制不利環境因素之應有措施，實勢不可缺。

八、光氧化反應之抑止

陳年紙絹文物如長期受氧化、微害及應力等不利因素侵襲，壽年勢必有盡。前述之光氧化生成過氧基及過氫氧基為害最甚。蟄伏之自由基達一定濃度，或外界環境適宜時，即可藉連鎖反應，生成羰基，不飽和物，及剪裂分子鏈，導致紙絹糜損。古墓中紙絹文物出土，在天日下瞬不成形，水中古木亦復類似；此一急速光氧化現象深擾考古界，已成爲開掘裹足不前之阻力。南朝謝惠連元嘉七年九月（430）祭古冢文序有言：「刻木爲人……初開見悉是人形，以物根撥之，應手灰滅」〔註二四〕，可爲最早見證。

苟欲抑止氧化繼續進行，可藉光安定劑（Light Stabilizer）以消除紙絹中自由基，或阻止其與氧作用。雖此類安定劑因塑膠工業之需發展，但其功能亦適於紙絹。製品如六氫吡啶類及酚類衍生物，複合鎳鹽等（圖七，爲分子式舉例）茲就其抑止作用分類作一簡介：

(1) 鄰位酚酮化合物（O-Hydroxybenzophenones）：早用於紫外光線吸收，現仍用於防晒霜配方，吸收290-400nm區光波，籍其內部結構變化，吸收光能使不影響被安定之物料，尤以已含激化狀態之分子，但易被烷氧基及氫氧基所消耗而失效。由於後兩者可自光氧化分解產物之一，即過氫氧化化合物衍生如次： $\text{ROOH} \rightarrow \text{RO} \cdot + \cdot \text{OH}$ ；此兩者均可與安定劑中酚基之氫作用，對已受光氧化之陳年藝品難期佳效。

【註二四】：謝惠連：（祭古冢文序）見臧勵蘇《漢魏六朝文》河洛圖書出版社，民國六十四年出版，頁二五八。

(2) 複合鎳鹽：自七十年代起，以鎳或鎳硫為主幹之金屬複鹽泛用作光安定劑於塑膠製品。其作用在能除去激化狀態之酮基及分解過氫氧化合物，在高溫時效用尤著。以此推論，用於長期保存方面，本類安定劑易被消耗而難再生，亦如(1)類難期持久發揮功能。另一方面，鎳鹽可能變色，則更非所宜。

(3) 六氫吡啶衍生物：此類光安定劑為目前極具成效者，其構造多為聚合物，兩端各有六氫吡啶圈，而圈上氮原子兩鄰位之碳上均各有兩甲基，成為被保護氨基類(Hindered Amines)。光安定功能由於氮可生成安定之亞硝自由基(N-Oxy)，與過氧基或過氫氧化合物作用，一方面阻止繼續氧化，另一方面則本身成為氫氮化合物(Hydroxylamines)，仍俱安定作用，在與物料中含氧自由基作用後，再生成亞硝自由基，如此可循環發揮抗氧化作用，平常以物料重量0.1%即俱安定作用。簡便用法可取少量溶於揮發性液體中噴霧於文物背面，使其擴散至表面。另一方式為在揭裱重裝時，混於糊料中，更為便捷。由於市販種類頗多，宜先行篩檢，擇用量少，不變色，不揮發者為佳【註二五】

以一種含自由基物料與紙絹殘留自由基結合觀念，雖未見諸文獻，但有一旁證提示其可能性，一為前述製糊加入花椒所含酚衍生物，俱抗氧化作用。另一點則紙絹糜爛時，著墨部份殘存。如米芾記晉武帝法書及沈宗騫所述夏昶墨竹，此外碑帖拓本中白文部份較著墨處先潰亦屬常見。究其可能性，因碳煙為墨之主成份，著色之外，亦為高分子聚合物如橡膠、聚乙烯等之安定劑。不僅遮光，且抗氧化，因在其製作時，生成含多苯環之自由基，每克數達 10^{20} 非成對電子，可與含氧自由基或在激勵狀態之氧分子作用，截其為害。本諸此一意念，使用光安定劑以延長受損紙絹之壽年，不失其可行性。對新出土文物立即使用，亦可從容作進一步維護措施，尤如病患救急，先於調理。

對於紙絹中潛存自由基或其生成物定量，極為重要。習用之ESR光譜雖功能良好，但須取樣，實難施諸文物，且難作全面分佈之研討。以非破壞性分析方法而論，化學發光法(Chemiluminescence)極為靈敏，裝置示意如圖八。此法根據氧化生成之羰基自高能階降至低能階所釋出光子，由每秒閃爍次數多寡，推算羰基濃度。用於一般高分子氧化頗著績效【註二六】

【註二五】Allen, N.S. Chem. Soc. Rev. 15, 385-404 (1986).

【註二六】Mendenhall, G.D. et al. Comparison of chemiluminescence with impact strength for monitoring degradation of irradiated polypropylene, Polymer Degradation and Stabilization, American Chemical Society, 1985 pp373-385.

。使用於紙絹文物，在設備上如加添掃描裝置，當更完善，此法利用光子經光纖傳至檢測部份，因此儀器主體可在遠距離操作，合於現實之需。作為文物維護之診斷工具，化學閃光儀器之研發工作，實有迫切需要。

九、紙絹保固

在文物維護領域，遇有破損至近崩毀階段，採用保固（Consolidation）以全其結構。木雕石刻在採用單體（Monomer）浸漬後，使用 γ 射線照射，在藝品內部聚合，填充木、石空隙以增強度【註二七】。欲將此法引用於紙絹類文物，對單體要求頗苛，須符下列條件：

1. 易於聚合，反應條件平和。
2. 無須溶劑，不使纖維變形而可與其相容。
3. 生成透明均勻柔軟並安定之聚合體。
4. 歷久不變色、不硬化、不分解呈色，亦不損及著色層次。
5. 可與抗氧安定劑併用。

其目的在求聚合物在表面結成薄膜，酌量充填纖維空隙。用於紙類之單體如苯乙烯、丙烯酸、丙烯酸酯等屢見文獻，絹類亦有探討，在單體存在時，素材並不因照射受損，而獲加強之利，則係由於單體及中間物均經自由基過程，可結合纖維本身導致分解之自由基，而截止其活動。

【註二七】：有關技術可參考下列國際原子能總署論文集（IAEA Proceedings）：

- (1) *Impregnated Fibrous Materials*, 1968;
 - (2) *Large Radiation Sources in Industrial Processes*, 1969.
 - (3) *Industrial Application of Radioisotopes and Radiation Technology*, 1982.
- (1)之封面為新竹聯合工業研究所（現改名化學工業研究所）處理之和合木雕；(3)之封面為法國Grenoble核子研究中心處理之木雕聖母像。作者僉認此為核子技術對藝術之貢獻，並於一九六八年倡核子藝術（Nuclear Art）之名處理木石藝品，一九六九年初在奧國電視節目中介紹。

上述觀念雖未見於紙絹藝品保存，惟年前英國BBC廣播科技新聞，報導倫敦大英博物院藏書百萬餘冊，出借流通，其中本世紀初出版物，紙張稍帶弱酸，篇頁不耐掀閱，頗易碎裂，過去保全方法，綜述其序：

舊書——去封面——拆頁——藥液浸洗——清水漂靜——疊頁——乾燥——裝禱復原

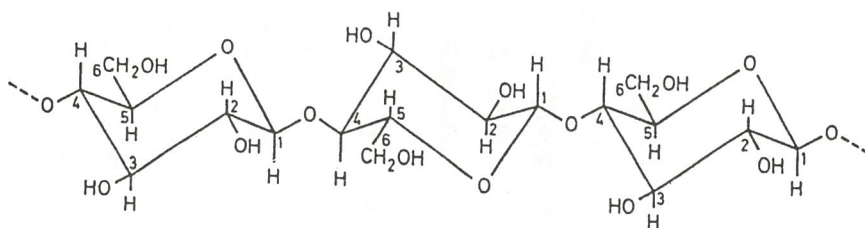
現改以γ射線照射聚合附有單體書籍（需要時移去封面，廣播稱單體須守秘），程序大幅簡化如次：

舊書——單體處理——鈷——六十照射——復原。

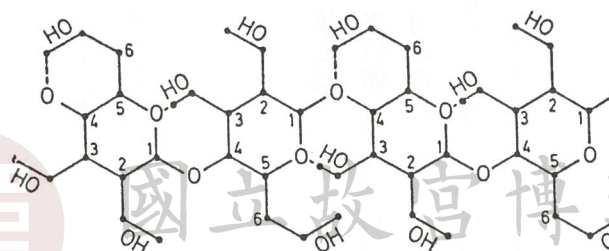
據云以新法維護，省時省工，價廉可靠。因此，如推動於糜損紙絹文物，可假以時日澈底研討處理之道，諒可期其有成而保全文物。

十、結 論

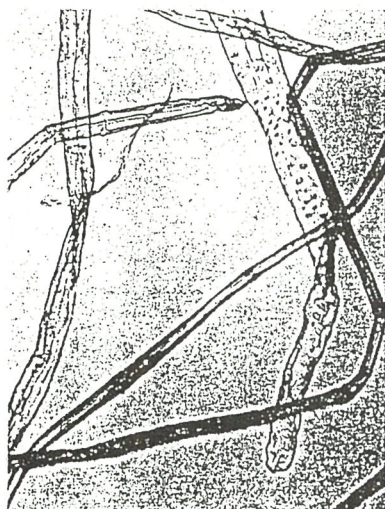
文物維護為文明傳承之舉，後之視今，猶今視昔，過去科技知識有限，但對問題所在。本乎經驗，相情度勢，得遺千載之功。輒近對鑒藏環境之重要，多所體會，輔以科技著重恒溫、恒濕、照明、及淨化空氣以符需要，目前所須加強維護之首務，當為針對文物已蒙光氧化反應之害者，抑止過氧及過氫氧自由基之繼續肆虐。予以適當處理，如使用光安定劑。另一方面則須能對自由基及其分解物獲有定量概念，以明受害程度及防範效應。凜於繼往開來之念，倘不著眼於後世，聽令潛憂衍化，則「世無千年絹」之諺，終將證諸現存傳世珍績，徒存其名，實為有心人士所不願坐視之識。踵事傳承，要為未晚。



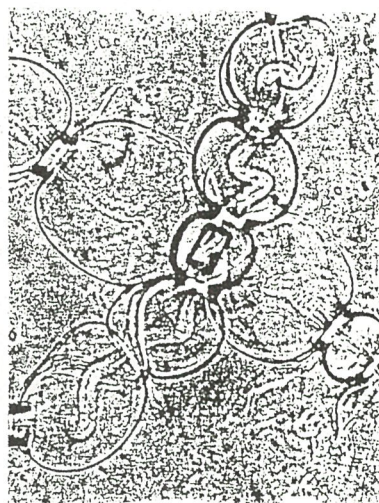
A. 分子式



B. 氫鍵



乾木纖維 (X400) I



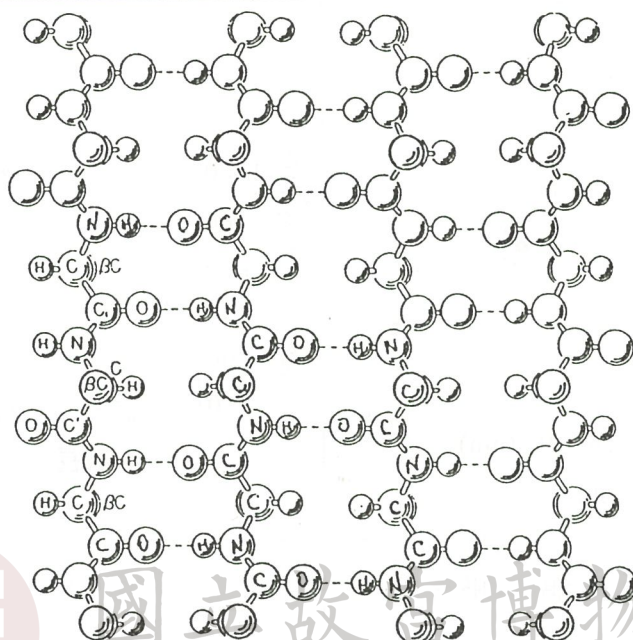
吸水膨脹之木纖維 (X400) II

C. 顯微結構

圖一 纖維素



國立故宮博物院
NATIONAL PALACE MUSEUM

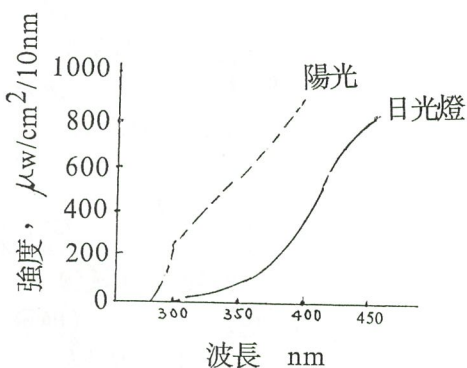
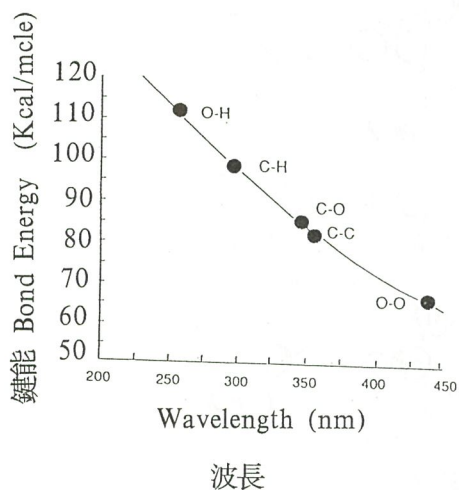


A.分子排列



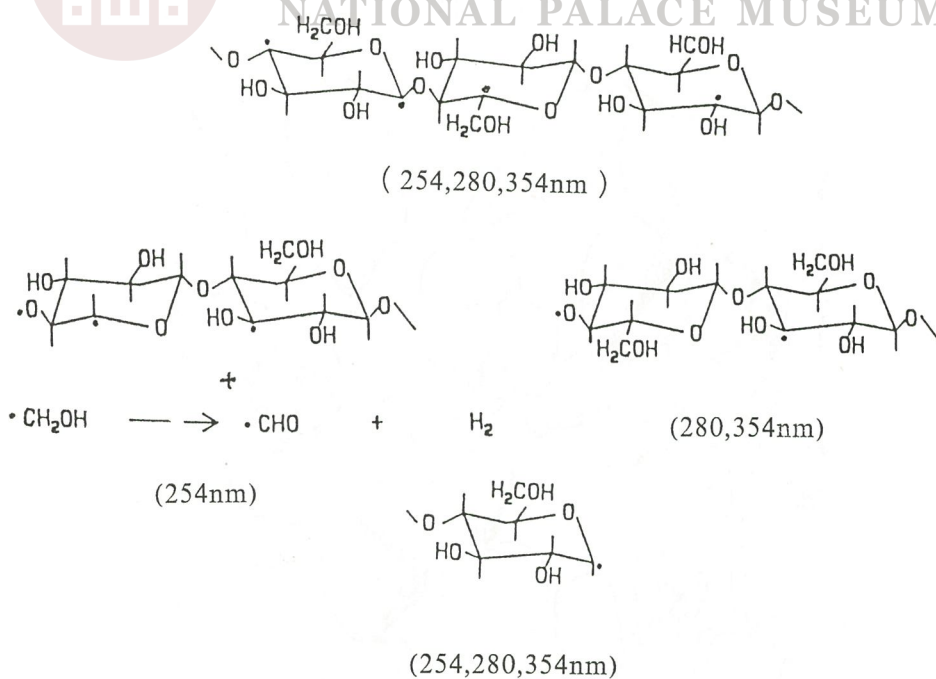
B.結晶截面

圖二 蠶絲分子排列及晶態

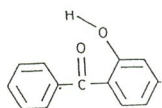


圖四 分子鍵能與波長關係

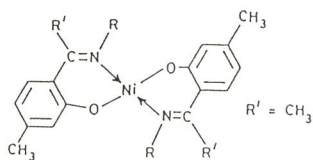
圖三 光源分佈



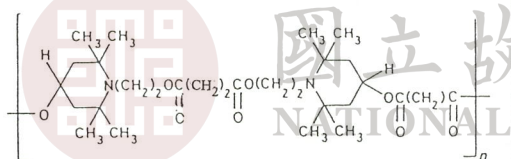
圖五 纖維素被光分解之自由基
(括弧數字為所用波長)



(1) 鄰羟基苯酮

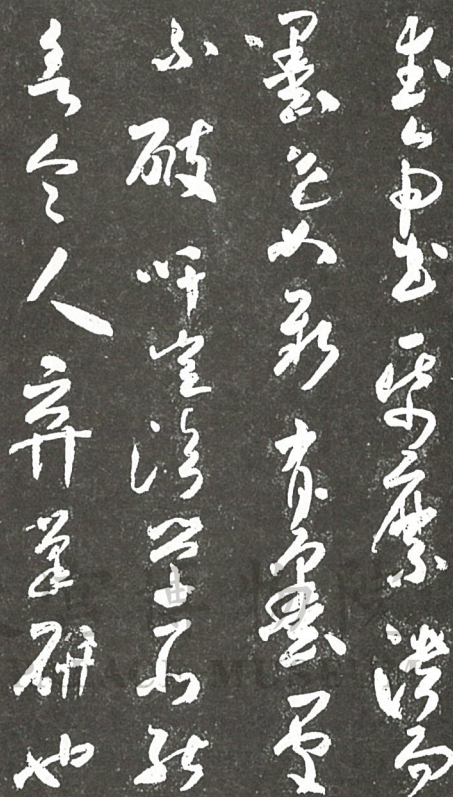


(2) 鎳鹽

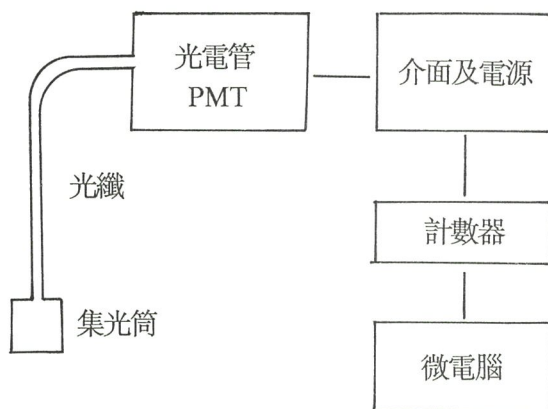


(3) Tinuvin 622

圖七 光安定劑分子式舉例



圖六 米芾群玉堂帖



圖八 化學閃光測定裝置

故宮學術季刊 第十四卷 第三期



國立故宮博物院
NATIONAL PALACE MUSEUM

On the Conservation of Chinese Painting and Calligraphy

Yuan, Hong-chien

Yuan-Tze Institute of Technology

Abstract

Chinese painting and calligraphy works represent the subtle traditions of culture in China. The artists express the concept, humanity, and aesthetic attitudes on paper and silk. However, these materials are delicate with limited resistance to environmental changes, microbial attacks, stresses and the last, in the storage and exhibition of art works, photo-oxidation reactions proceed silently under the influence of free-radical chain reactions initiated by light and atmospheric oxygen. On the substrate materials, the effect can be more pronounced through a combination of unfavourable factors cited above, or by additives used in the treatment. In art history, masterpieces from alum-impregnated silk and paper were reported for untimely disintegrations. One purpose of this paper is to investigate the adverse effect of alum, potassium and the action of sulfate reducing bacteria on the substrates.

As far as photo-oxidation is concerned, the essential step is to apply light stabilizer for protection. It is necessary to stop the chain reactions by peroxide and hydroperoxide radicals imbedded in the matrices of silk and paper. In monitoring the degree of photo-oxidation and efficiency of treatment, the use of chemiluminescence as an analytical tool is suggested for checking without taking samples. For art works close to the brink of destruction, attempt to use monomer impregnation followed by radiation induced polymerization is considered to be a versatile approach in consolidating the structures of silk or paper.

Keywords: Art conservation 藝品保存

Chinese painting and calligraphy 中國書畫

Photo-oxidation of silk/paper 紙絹光氧化

Light stabilization 光安定

* The Chinese text of this article appears on page一二九through page一五〇.