

傳統材料在澳門文物修復中的應用

葉健雄*

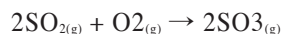
澳門的文物建築大多數以混合中西式設計、材料及工藝為主，其中包括常見的磚 - 石地基砌體 - 磚 / 木主體結構、木製柱樑、瓦脊及瓦片屋頂等。除了建築風格及用料獨特外，當中也包含了許多面臨失傳的傳統建築材料製造方法及使用技術。因此，給現今的修復工作帶來了不同程度的困難及挑戰性。本文列舉了兩個重點修復案例，大三巴夯土圍牆修復和沙梨頭圖書館內外牆身修復，一方面以科學方法分析及研究各原材料的主要成分，並按文物建築的原材料進行配比及合成，從而滿足文物修復準則中必須的原真性及完整性；另一方面，深入觀察探討傳統材料及建築技術在修復和保護現有文物中的不同優點。

澳門常見的文物損壞成因

澳門位於北半球中國大陸東南沿海珠江口西岸，由澳門半島、氹仔島和路環島以橋樑貫穿而成，除了北部與廣東省珠海市的拱北相連外，其它三面環海，成為中國與西方貿易的重要港口之一。⁽¹⁾ 另一方面，澳門以往的食水供應主要來自兩條河流：沙梨頭河及灣仔河，水井分佈密集，據統計，在五十年代末期，澳門約有二千七百多個公共及私家水井。⁽²⁾ 由於澳門地理位置特殊，除了四面環海、地下水源十分豐富外，陸地面積由19世紀中期的10.71平方公里增加至現今的30.3平方公里，填海用地約為原有土地面積的2倍。⁽³⁾⁽⁴⁾ 故此，澳門現時大部分土壤含有海鹽，在毛細管作用下，地下水帶着可溶鹽上昇至建築物牆體中，溶解於水中的海鹽在水分揮發後結晶於磚塊、灰泥及批盪的毛細孔內，結晶海鹽的體積不斷擴大，增加毛細孔的內壓力，導致建築材料產生大量微小裂紋，最後，海鹽破牆擠出，結晶於建築物的表面，這種現象，稱為潮氣上昇（rising damp），不但

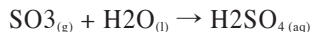
影響外觀，更會影響建築物的內在結構，造成嚴重損害。⁽⁵⁾⁽⁶⁾

澳門屬海洋性副熱帶季風氣候，除10月至12月天氣較為穩定外，大部分時間都是氣候炎熱和潮濕多雨，夏季還時常出現熱帶氣旋，帶來狂風暴雨等惡劣天氣。⁽⁷⁾ 建築物長期受強烈紫外光照射及處於潮濕的環境中，表面容易產生裂紋、褪色、剝落，甚至粉化等現象，大氣中的有害物質如酸雨、重金屬或碳粒子污染物、灰塵和建築立面清潔用品等，能沿着已經風化的位置進入材料的基底，更進一步損害建築物的外觀與內部結構，這種現象循環不息，不斷惡化，直至建築材料完全變壞為止。此外，城市的空氣懸浮物含量因工業的發達和車輛的增加而日趨加劇，當空氣中的粒子長期積聚在潮濕的建築物表面而不被雨水沖走時，形成厚厚的黑色碳灰層，大量附着在建築物表面的多孔碳粒子有效地加速了酸雨的形成，並把儲存在內的酸雨重新分佈於建築物表面，對材料的風化及腐蝕產生了極大的催化作用：⁽⁸⁾⁽⁹⁾



（空氣中的二氧化硫和氧氣產生三氧化硫）

* 葉健雄，澳洲悉尼科技大學建築文物修復博士，現任澳門特別行政區政府文化局文化財產廳修復師。



(三氧化硫和水產生硫酸)

案例一：大三巴夯土圍牆的修復工程

一、大三巴夯土圍牆修復前的狀況

大三巴牌坊是澳門地標性建築之一，於2005年與澳門歷史城區的其它文物一道列入聯合國世界文化遺產，是當時遠東最大的天主教堂——聖保祿教堂。教堂的立面高25.5米、寬23米，上下共分為五層，由花崗石築成，經歷了三次大火後，僅剩下現在所見屹立着的前壁遺蹟和其背面的四幅夯土圍牆。澳門早期的夯土牆主要是就地取材而建成。據記載，其中包括泥土、砂石、石灰、稻草、磚塊和貝殼粉等，並混入黃糖及糯米粉等有機材料以加強其黏結力，以木枋一層一層擠壓而成。⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾雖然夯土牆沒有經過任何煅燒或化學轉化作用，其強韌性及堅固度均可與現今的砌體甚至混合土相比，而且其優點很多，除了本身強硬堅固外，還可防寒保溫、透濕透氣及環保節能等，在一些先進國家，新建的土製樓房也十分流行。但是，夯土有一個極具威脅性的弱點，就是在溫、濕度波動不穩、長期積水及強烈紫外線的照射下，其內部結構容易受損，骨料與砂泥之間的黏結力逐漸失效，在風雨季節或人為磨擦下，砂石脫落分離，夯土牆逐漸瓦解破壞。

直接相連於大三巴牌坊背面的夯土圍牆狀況欠佳，除了上述各種自然風化及人為磨擦外，一些舊有的修復物料也為夯土牆體帶來不可逆轉的破壞。其中，整個夯土牆表面覆蓋着一層數毫米厚的膠膜，因多年來不斷在高溫、潮濕及強烈紫外光的影響下，膠膜的化學鍵因光降解反應而破裂，逐漸氧化成低分子產物，使膠膜軟化且不斷增加黏性，吸引大量懸浮於空氣中的污染物，形成灰黑色的外殼，影響外觀。此外，基於膠膜為黏力較大的熱塑性塑料，使用前為水溶性液體，在噴灑在夯土牆表面後可滲入牆體表面，並把原始的保護牆皮(夯土牆表面光滑保護層)緊緊黏

着，加上其不透氣又不透水蒸氣的特性，夯土牆體內的水分無法透到空氣中，故不斷積聚於膠膜內側，直至兩者界面不能承受內部水壓推擠時，膠膜便帶同牆皮及其基底夯土一起剝落，造成廣泛而嚴重的損害。⁽¹²⁾當內部夯土在膠膜剝落後暴露於空氣中，天然風化作用及人為接觸破壞再度重新啟動，而在沒有牆皮保護的條件下，夯土風化剝落的速度變得更加顯著[圖1]。

觀察上述四幅夯土圍牆，舊有的混合土修復用料大部分散佈於夯土牆頂部的不同位置上，由於其密度及重量遠遠超過本身土製牆體，大多數修復小塊已開始與夯土牆體分離，有些甚至連同夯土基底一同剝落，留下了數個缺失後的破洞。夯土牆上另有數個較深的破洞，一部分被聚居大炮臺附近的雀鳥築巢棲息，另一部分則因其獨特的位置及方向而成為“儲水洞”，這些洞穴因長期被鳥類或雨水破壞，侵蝕程度已延伸至牆體內高於1米的深度，情況較為嚴峻。

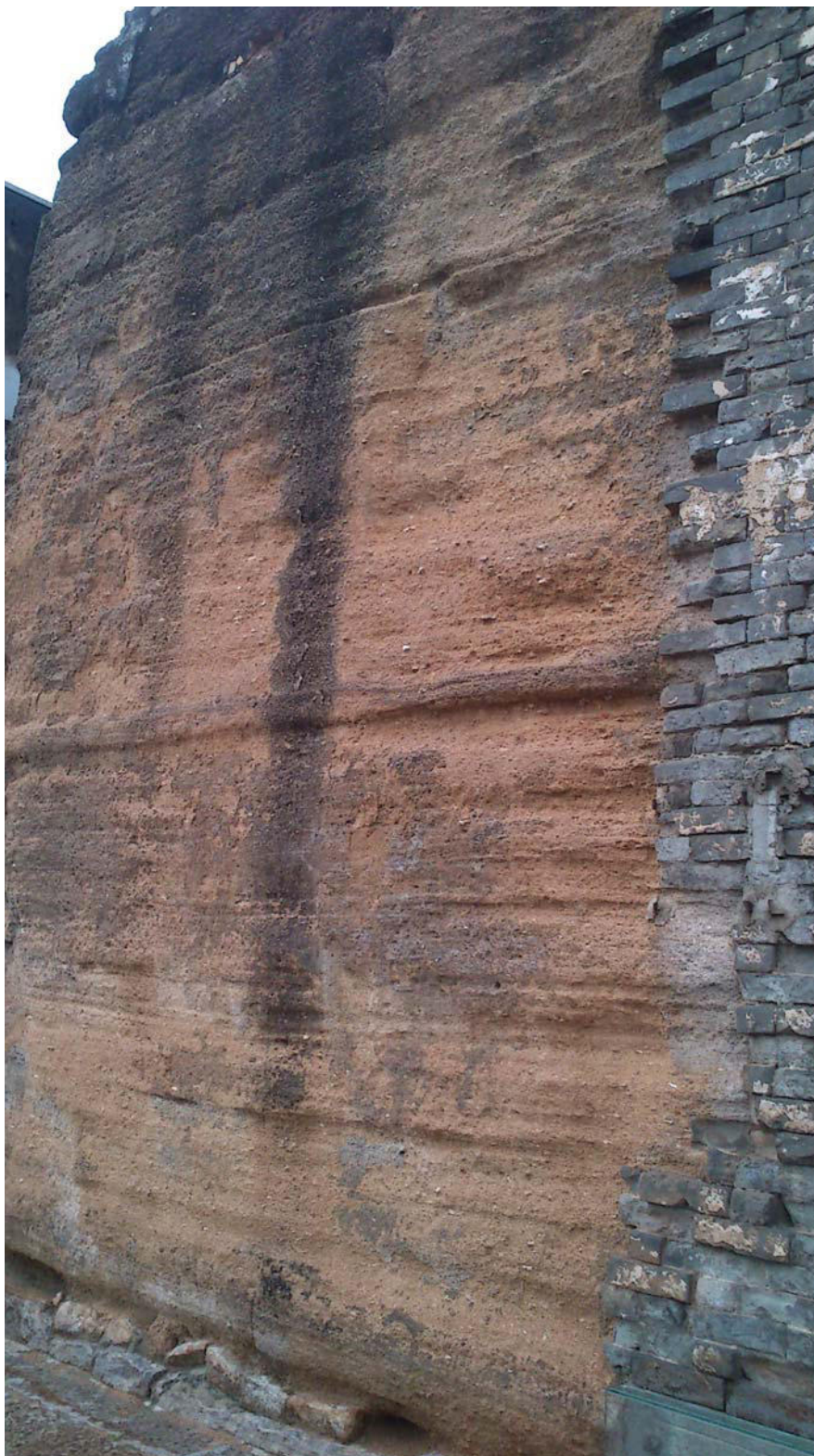
基於大三巴的地理位置臨近大炮臺山，叢林內鳥類活動頻繁，雀鳥偶然把植物種籽帶到夯土牆上，在濕潤多雨及陽光普照的環境下，含大量土壤的夯土牆成為植物幼苗的培育基地，植物根部很快便蔓延到夯土內部，茁壯成長，使夯土牆體破裂剝落。

二、修復方案及過程

鑑於以上不同的風化因素及新、舊材料的共融需求，在選擇夯土修復材料時，必須選擇一些既不會破壞原址，又能用作保護的材料。故大三巴夯土圍牆修復方案採取了“以夯土保護夯土”的方法，對現存遺址逐步進行修補及保護，目的為原址提供一幅透氣、透水蒸氣及成分相若的保護層。此外，為了解決積水對夯土牆結構的不利影響，在上述四幅夯土圍牆的地基外圍設置排水渠，把積聚於夯土牆內部及四周的雨水引流排出。

1. 樣本採集及分析

為了減少對原夯土牆的不必要損壞，本計劃的樣本全部來源於以往與混合土一同剝落或因人為碰撞、磨擦而剝離的夯土塊，經過機械式的粒



[圖1] 修復前的夯土牆狀況，包括表面風化剝落，舊修復膠膜分佈廣泛。

子分離與篩選，和光學顯微鏡的深入分析，可大致把夯土內粒子成分分為四個類別：

- a. 微型粒子：直徑小於1毫米的粒子(<1毫米，大多為黏土／泥土／幼砂／石灰／蠔殼灰)；
- b. 中型粒子：直徑在1毫與5毫米之間的粒子(1毫米<粒子<5毫米，蠔殼碎片及砂粒等)；
- c. 大型粒子：直徑大於5毫米的粒子(粒子>5毫米，蠔殼碎片，大砂粒及小石粒等)；
- d. 石塊：直徑由20毫米至40毫米不等的小石塊或大片蠔殼。

經過詳細檢測了十個樣本後，所得的平均數據如下：

	微型 粒子	中型 粒子	大型 粒子	石塊
重量(g)	14.40	16.22	4.60	15.97
百分比(%)	28.00	31.43	8.91	30.90

根據上圖的成分分析結果及顯微鏡觀察顯示，夯土樣本中含大量微／中型粒子，差不多佔夯土樣本的60%，故推斷其為含泥量較高的夯土

圍牆，與常見的高石英含量防禦式城牆的成分組成區別很大。另外，約1%的樣本在篩選處理及分析過程中流失，而中式夯土牆製造過程中常見的黃糖、糯米粉及禾稈草等有機物質也已大部分溶於雨水中而流失，或因天然風化而自然分解，祇有小數禾稈草的纖維夾雜在數個樣本內。⁽¹³⁾ 以上述數據為基準，工程人員把新的修復材料所含的泥土含量提昇5%，目的是輕微減弱新夯土的強度，避免因外層夯土過硬，而無法把修復用夯土緊密地黏附在舊夯土牆的表面，而最終產生剝離現象。此外，在修復工程開始前，工程人員預製了多個夯土樣本，當中含有不同配比的黃糖及糯米粉，並以原夯土硬度及透水蒸氣程度作標準，選擇相符的修復材料配比。實驗結果顯示0.5%重量比例的有機物含量所製成的樣本最為適合，而黃糖及糯米粉的比例為1:2。為了符合“就地取材”的基本夯土製造概念，大部分夯土修復原材料也來自澳門及其鄰近地區，目的是為了調配與原夯土成分相近的修復物料 [圖2]。



[圖2] 混合修復用夯土成分如山泥、河砂及石灰等。

2. 夯土圍牆修復過程

大三巴夯土牆的修復用料來自澳門本土與鄰近廣東區域，包括澳門路環開挖的山泥、廣東台山的漚製石灰、幼砂及石米、斗門禾稈草及陽江蠔殼碎／蠔殼灰等。夯土牆修復的整個過程十分簡單，但工序必須細緻及徹底，若夯土牆有部分位置擠壓不夠緊密結實，便留下空隙或氣孔，引致牆體強度明顯減弱，並提供了一個讓雨水及空氣污染物進入牆體的途徑，從而更進一步損壞牆體結構。另外，夯土混合物的含水量亦可直接影響完成後牆體的堅固度，水分不足，泥土鬆散，黏結力不足，牆體容易分離剝落；水分過量，土壤無法被壓實，水分蒸發後牆體收縮，密度減低且產生各類裂縫，影響整體強度。為了取得合適的夯土配比，在施工前先取小部分夯土混合物作“球體測試”：以手擠壓成

球狀後讓其在距地表約1米高處自由落下，如夯土球完全散開表示其含水量適中，可使用於夯土擠壓工作中。⁽¹⁴⁾

依附於夯土牆表面的舊有修復物料如膠膜、混合土及灰砂等，不但沒有產生其應有的保護及修復功能，還減少了夯土牆本身的透氣性及原真性，其附着於風化的夯土牆上甚至有脫落的危險。另外，生長於夯土表面的植物根部不斷向牆體內部延伸，造成破壞，影響結構。為了促進新、舊夯土接觸面的融合性和黏結力，並對風化的原夯土牆進行內部結構的加固，所有附着於牆體表面的異物必須徹底清除，並在清潔後的夯土表面噴灑熟石灰清水至牆身完全飽和。然後，在緊貼着原夯土牆地基外則穩固架起木板，把夯土材料放進圍板內達十數厘米後，以大小適中的木條／木枋／木槌等手作工具用力擠壓土壤，待



〔圖3〕工作人員在修復後夯土牆上噴灑熟石灰浸泡清水



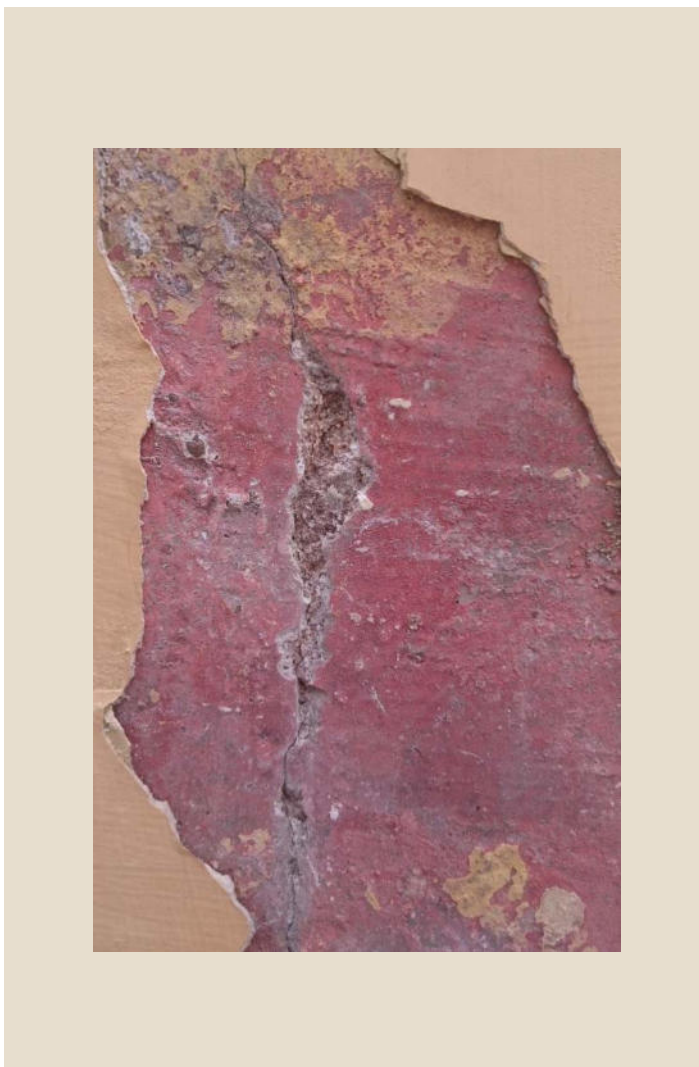
〔圖4〕土牆的修復完成面上的新舊夯土對比

土壤夯至堅實後，再鏟進夯土材料進行擠壓，如此類推，對夯土牆上各缺失部分進行修補，至牆體完成面完全平整後，再以浸漚的熟石灰清水不斷噴灑及滲透牆體數天以作鞏固。⁽¹⁵⁾ 由於熟石灰水為飽和的水溶性氫氧化鈣〔 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 〕，在滲入牆體後可填充內部孔隙，固化後內部密度提昇，可有效加強牆體的堅實度，從而增加其抗侵蝕能力。⁽¹⁶⁾ [圖3] 雖然，新的夯土保護層和原夯土牆的顏色因其山泥中的各金屬及其氧化物的含量不同，故在其剛修復後出現不一致的現象，當牆體坐落在相同的環境中，經過相當時間的風化侵蝕後，表面狀況會逐漸同化一致。另一方面，保護層中的熟石灰〔 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 〕也因吸收空氣中的二氧化碳〔 CO_2 〕和水分〔 H_2O 〕而變得堅硬，緊緊地依附在原夯土牆的表面。然而，在上述各種風化環境中，新建的夯土保護層的自然風化過程仍然不斷進行，但這幅透氣、透水蒸氣、特性共融的夯土層卻成為了舊夯土牆的風化犧牲層，在代替舊夯土牆被風化受損的同時，其本身也可在不損害原夯土的情況下重新被取代 [圖4]。

案例二：沙梨頭圖書館 內外牆身修復工程

一、沙梨頭圖書館修復前狀況
位於澳門內港的沙梨頭海邊街69至81號，是一組共七幢上居下舖的“吊腳樓”，是興建於20世紀30年代兩層高的鋼筋混凝土房子，於2011年澳門文化局對此七幢房子進行修繕工程，修復活化後將改建為沙梨頭圖書館。⁽¹⁷⁾ 由於這七幢樓房長期處於潮濕、低窪及含鹽量相對高的大氣環境中，海水倒灌的情況

也較為常見，帶鹽的海風吹到建築物表面後水分揮發，海鹽結晶於其立面上；另一方面，倒流的海水積聚於牆腳及地基四周，水分連同海鹽因毛細管作用上昇至建築物的不同位置，並在牆體內外結晶，對原鋼筋混凝土結構產生嚴重的腐蝕作用。在仔細檢查建築物內、外牆身的結構過程中發現，建築物立面上的原灰水塗層仍然保留在現有丙烯酸塗層(乳膠漆)之內 [圖5]，不少海鹽也透過牆身批盪結晶在新、舊塗層的接觸面之間，有些更直接弄破批盪層及塗料，擠到外牆表面。⁽¹⁸⁾ [圖6]



[圖5] 多層乳膠塗層下的原灰水顏料仍然被保存

由此可見，不透氣 / 不透水蒸氣的塑料塗層大大增加了海鹽集結於建築物內部結構的機會，造成不可逆轉的破壞。

二、修復方案及過程

為了更妥善地改善文物建築的現有狀況，減少建築物因含鹽的地下水和海水而受到不可逆轉破壞，因此，在這個修復計劃中，採用了西方研發的截水、除鹽系統。由於中式青磚密度較西式紅磚高，不能以壓力注射法把截水溶液注入牆體，故針對性研發滴定系統，注入無機硅酸截水溶液，隔絕建築物地基的水源 [圖7]。然後，為

了能讓牆體的內、外修復材料具備透氣及透水蒸氣的特性，且和原材料相符，故選用了建築物原有的傳統灰砂批盪及熟石灰灰水塗層，混合與原灰水塗層顏色相約的天然抗鹼礦物色素作為牆身的粉飾塗層，由於批盪灰砂和熟石灰灰水塗層均為漚製石灰，完成立面不但為舊建築提供透氣、透水蒸氣的保護外層，更重要的是解決了結晶鹽對原鋼筋混凝土的侵蝕。

鑑於傳統的漚製禾稈石灰在澳門市面已不再供應，整個工程所需的禾稈熟石灰均由工程人員按照嚴格指定，使用傳統材料及技術漚製而成的 [圖8]。整個熟石灰漚製過程大約需要四個月的時間，禾稈灰的製造過程、使用步驟及其化學反應如下：

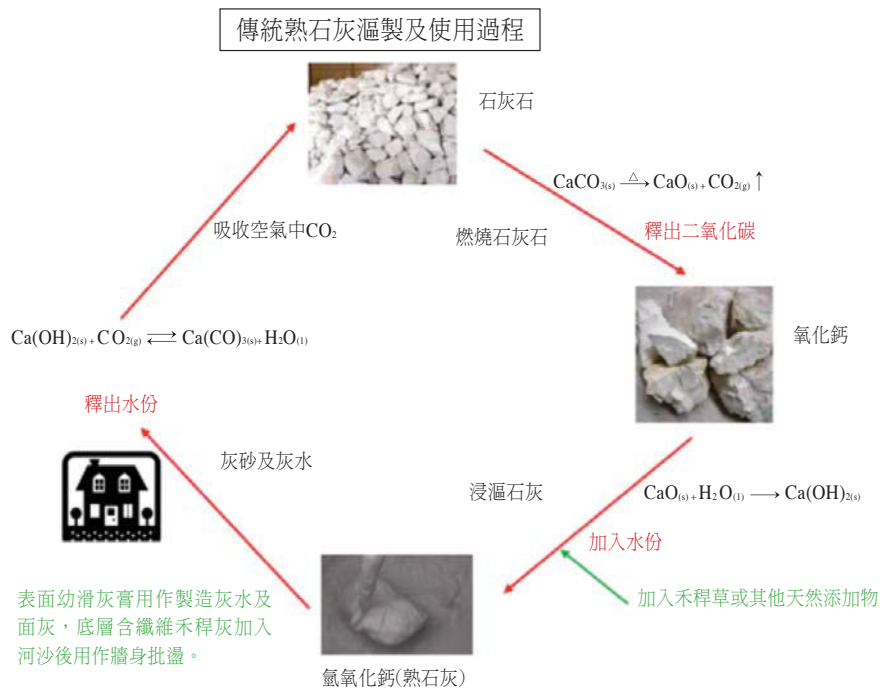
基於建築物的牆體受到多年海水倒流及海風的風化侵蝕，原批盪的含鹽量已達飽和狀態，且在過去的不同時間，使用者曾以不同的物料進行多次修補，牆身表面出現各種不同程度的破損如裂縫、空鼓及剝落等現象 [圖9]。為了更徹底地改善該建築物多年來不利的環境因素，工程人員在除去受污染的舊批盪後，為原鋼筋網除銹加固，最後，選用了傳統漚製的熟石灰及河砂製成新的透氣透水蒸氣外牆保護層，一方面防止牆體因水分及海鹽長期積聚於牆體結構內而造成批盪剝落，另一方面，可減少鋼筋網的過早腐蝕而引致其承載力的削弱。此外，熟石灰的強鹼特性可為鋼筋網提供內壓保護作用，而在漚製石灰時加入的禾稈草，為熟石灰添加了大量有機黏液及纖維，大大加強與基底的黏結力和減少裂紋的形成。



[圖6] 海鹽在牆身塗層表面結晶



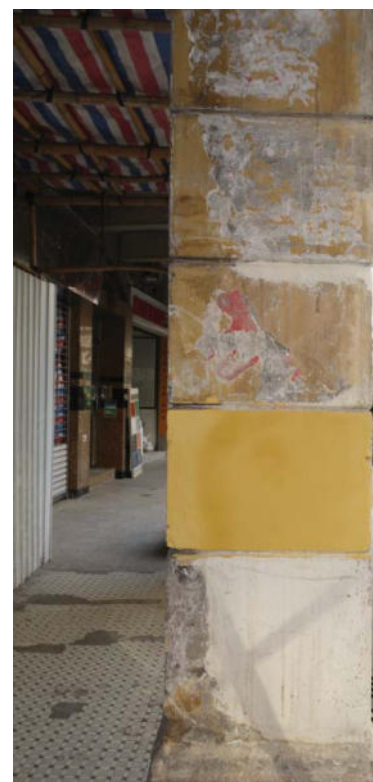
[圖7] 針對性研發滴定系統



〔圖8〕傳統熟石灰滷製現場



〔圖9〕沙梨頭圖書館修復前狀況





[圖11] 沙梨頭圖書館修復後狀況

建築物立面及內部灰水塗層採用了純石灰漚製的白灰水，加入適量（5%至10%）的礦物石粉（紅赭色、黃赭色及鉻綠色）製成 [圖10]，灰砂批盪基底則以熟石灰清水滲透至飽和後，塗抹三層有色灰水，再以同樣熟石灰清水作表面加固，完成面必須以清水保濕數天，以防止裂縫的產生 [圖11]。

結論：傳統修復材料效力的初步觀察

大三巴夯土圍牆在修復後一年，新、舊接面仍然十分緊密，沒有空鼓、裂縫或剝落等風化現象，表示新夯土保護層已具有透氣及透水蒸氣的功能，與基底夯土兼容性相符，黏合力緊密且防雨，產生完善的保護作用。雖然新夯土保護層顏色有異於原夯土牆，經過連續不斷的氣候風化，牆體表面質感及顏色已逐漸統一。另外，剛修復後的夯土完成面沒有植物生長的跡象，也觀察不到雀鳥築巢、棲息的狀況，牆身表面結實，動、植物難以侵入破壞，故進一步證實這次修復工程所採用的夯土成分配比與擠壓技術符合原夯土牆的各項修復需求。

沙梨頭圖書館內外牆身修復工作已完成差不多兩年，內外牆身灰水塗層十分平滑，顏色保持鮮豔，沒有裂縫或空鼓，牆體表面結實，沒有地下水上升或結晶鹽集結於批盪層等惡劣狀況，故顯示了新的灰砂批盪及灰水塗層具有理想的透水能力，可防止海鹽積聚於牆體內造成損害。

總結以上兩個個案的修復經驗，並進行詳細分析，傳統材料製作及使用技術在文物修復領域是一項不可缺少的科學，利用與原材料相符的傳統物料進行文物保護與修復，不但可達到減排、環保及節能的目的，更重要是對建築文物的妥善保存建立了一個可持續發展的機制。傳統材料的組成、含量及使用技巧沒有特定的標準，需要利用科學技術不斷地進行探索、研究及嘗試，才能深入瞭解及掌握其內部特性、風化及侵蝕成因，改善現有材料的製造及使用技術，從而制訂防止其風化及被侵蝕的有效方案。

【註】

- (1) 黃就順：《澳門地理》，三聯書店（香港）有限公司及澳門基金會，2009年，頁11。
- (2) 蔡佩玲：《口述歷史7——澳門的水井和水源》，澳門東亞大學公開學院同學會及澳門歷史學會，2012年，頁16。
- (3) 黃少敏：〈澳門地貌概要〉，澳門：《澳門研究》，1993（1），頁42-49。
- (4) 澳門統計暨普查局：《陸地面積》，澳門，2014年。
- (5) Young RW, Wray RAL (2000). "The geomorphology of sandstones in the Sydney region". In: McNally GH, Franklin BJ, eds. *Sandstone City – Sydney's Dimension Stone and Other Sandstone Geomaterials*. Sydney: Geological Society of Australia, pp. 55-73.
- (6) Zezza F, Macri F (1995). "Marine aerosol and stone decay". *The Science of the Total Environment*, pp. 167:123-143.
- (7) 澳門地球物理暨氣象局：〈澳門氣候簡介〉，取自 http://www.smg.gov.mo/smg/climate/c_climaintro.htm
- (8) Del Monte M, Sabbioni C, Vittori O (1981). "Airborne carbon particles and marble deterioration". *Atmospheric Environment*, 15: pp. 645-652.
- (9) Garcia-Vallès M, Blázquez F, Molera J, Vendrell-Saz M (1996). "Studies of patinas and decay mechanisms leading to the restoration of Santa Maria de Montblanc (Catalonia, Spain)". *Studies in Conservation*, 41: 1-8.
- (10) 鄧思平：《澳門世界遺產》，三聯書店（香港）有限公司及澳門基金會，2012年，頁115-134、頁149-150。
- (11) 譚學超：《澳門城牆與堡壘炮臺》，三聯書店（香港）有限公司及澳門基金會，2009年，頁19。
- (12) J. Canivell & A. Graciani (2012). "Critical analysis of interventions in historical rammed-earth walls-military buildings in the ancient Kingdom of Seville". In CMileto, FVegas, VCristini (eds.). *Rammed Earth Conservation*. London: CRC Press, pp. 289-295.
- (13) Ostrowski, J & H, X Yan-Li, M Ueda (2007) Hakka eco-village study tour report. Sept 28.
- (14) B.Windstorm & A.Schmidt (2013). "A Report of Contemporary Rammed Earth Construction and Research in North America". *Sustainability* 2013, 5, pp. 400-416.
- (15) P Jaquin (2006). *Analysis of Historic Rammed Earth Construction*. University of Durham.
- (16) E.Sebastián & G.Cultrone (2010). "Technology of Rammed – Earth Constructions ("Tapial") in Andalusia (Spain): Their Restoration and Conservation", In J. Bostenaru Dan (ed.), *Materials, Technologies and Practice in Historic Heritage Structures*, New York: Springer. pp. 11-28.
- (17) 澳門文化局：〈沙梨頭圖書館工程有序進行〉，取自 <https://www.icm.gov.mo/cn/News/NewsDetail.aspx?id=11344>, 2014.
- (18) Petuskey WT, Richardson DA, Dolske DA (1995). "Aspects of the deterioration of sandstone masonry in Anasazi dwelling ruins at Mesa Verde National Park, Colorado, USA". *The Science of the Total Environment*, 167: pp. 145 - 159.