

港灣金屬結構物防蝕研究與發現（上）

林維明 * 譯

摘要

本文簡介英國環境部委託曼徹斯特 (Manchester) 大學理工學院腐蝕防治中心研究在港灣海岸環境下有關金屬結構物腐蝕與防治問題，於1974-1977期間調查所獲得之結果，值得參考。

第一章為現有港灣腐蝕現況調查，助於確認在許多地方曾使用某種防蝕方法而所獲的結果相當令人滿意。

油漆是港灣防蝕工程中相當倚重之方法，因此在第二章對其經濟評估，主要考慮有關購置和應用不同油漆系統之費用及長期評估所涉及因素。

因為在海岸環境下有關油漆及油漆塗裝之問題相當地重要，因此本研究引用實驗室之測試方法在現場應用。這些試驗主要設計在決定五種油漆系統在各種不同噴鹽霧之表面污染水平下之大氣腐蝕及防蝕性能特性。這些試驗及一年曝露試驗初步結果均在第三章中加以闡述。

一、港灣結構物腐蝕及防治之現場調查

1.1 現場調查介紹

1. 調查背景

有關港灣金屬結構物腐蝕與其防制之研究計劃為英國環境部巨型建築研究站 (Building Research Station) 調查之一部份，其目的在調查使用於海岸環境下使用之金屬結構物材料，以非金屬替代之可能性，整體之建議將主要針對如何減少施工費用和維持港灣設施所需之維護費用。

雖然有不少評估油漆塗裝及材料於現場和實驗室測試之結果被發表，然而並未能真正以實際之觀點，對某些問題之嚴重性和真正的性質加以深思熟慮，而經常需要個別地提出忠告。

英國工業部，腐蝕防治委員會在1971年之報告指出英國每年在海洋工業上，腐蝕造成損失之費用約為貳億捌千萬英磅；若能研究改進設計，和應用防蝕措施等，將可能會節省伍仟伍佰萬英磅之經費。然而該報告有點過時，且主要傾向於船隻和造船工業之防蝕方面之資訊。

*省交通處港灣技術研究所研究員兼港工材料組組長

[譯自：A S Doughty, J B Johnson, J A Richardson, J D Scantlebury and G C Wood "Protection of metals in ports and harbours: research and findings", Building Research Establishment Report, 1980, Building Research Establishment, Department of the Environment, London, Her Majesty's Stationery Office.]

在上列數據中，在港灣結構物安裝費之投資上每年約為參仟伍佰萬至伍仟萬英磅，而操作及維護費約參仟萬英磅（1972年數據），使用最適宜的材料而獲得良好之性能則可節省相當可觀之費用。

2. 研究之目的

調查之目的在檢討英國所有港灣現在所使用之材料與防蝕措施。特別考慮靜定或永久性之結構物；而移動性之船隻剛開始，尚未包含在內。然而拖船或挖泥船經常由港務局維護，所使用之技術與結構物相同。北海石油探油平台有關的金屬結構物腐蝕同樣未包括在本研究內，除非該結構物確實是使用港灣之設備施工之情況。

調查之目的有三，首先是提供評估腐蝕問題程度和特性之最可行方法。其次是可能明確地陳述研究計劃，或許與新的或替代性材料或改善防蝕措施等有關。特別是與未來之實用上之遠景有關聯。最後是合併上述兩項與適切之經濟數據，而可對改進現有工程實務和減少未來修理和操作費用提供最良好之建議。

3. 調查之執行

調查之最初部份是由全國各港之碼頭工程師負責執行。在此情況，港灣是由英國運輸碼頭委員會(British Transport Boards)所管轄而透過倫敦之總公司研討問題，接著目視腐蝕問題及加以討論，通常是參觀碼頭，以得到實際操作上之困難和工作條件之第一手經驗。在大型港灣，例如曼徹斯特和利物浦等必須針對特殊地點作個別之訪問。另外，在許多港，其機構中負責之部門，為了與其他工程師作討論，需要做多次之複查。

一旦被確定有腐蝕問題存在時，調查之領域將擴展包含至油漆製造商，油漆塗裝承包商，陰極防蝕工程師，金屬供應商及專家

組織等各界人員參與研究。

現在所承辦之調查工作已經考慮得相當週到，然而並不能保證其他的腐蝕情況並不會存在，例如有些不受調查者注意到的或許不是工程師所關心的，特別是懷疑港灣中有細菌引起之腐蝕，然而由調查中所出現之證物卻沒有任何跡象。

1.2 過去發現情形摘要

一權威者建議，港灣由於受地理位置影響，某一港灣之結構物所作之維護工作需較其他地區者為多，同樣地道理，位於離海洋較遠者，例如阿姆斯特丹和鹿特丹等港遭受腐蝕問題之傾向較少。然而一般而言，並未發現有關地理位置（東、南、西、北）相關之特別趨勢，且經常亦未因港灣曝露或遮避條件，而有所差異；對於同一種類的結構物由觀測值作精確地比較，及評估局部之氣象條件和曝露情況之重要性是相當困難地。雖然在許多實例發現一般或特殊之工業大氣污染對腐蝕之重要性值得懷疑，主要是缺乏明確的數據，則不能獲得任何一般性之結論。至於局部污染之重要性，於受腐蝕性之船貨中可以較顯著的清理出來。

港灣結構物上最惱人之腐蝕現象被發現是位在高低潮位間，濺濺區和大氣區等部位上。雖然在某一港灣之腐蝕現象，亦有在泥線上地方的腐蝕情況比在水 那位更為嚴重的情形出現。然而在水線下仍較少發現有腐蝕現象，此可能由於看不見，忘卻之故。在某一兩種情況下，亦有發現海洋生物及海草污著將使腐蝕速率減慢，因此曾有一位工程師依經驗提出「海洋結構物不會在低水位下發生劣化」之建議。

1. 材料

(1) 在工程師們一般對材料之心態是：如果材料易引起局部腐蝕現象，例如鱗

隙、點蝕或應力腐蝕龜裂等，則將被懷疑可能會引起突然破壞或崩毀。局部劣化由於平時未受注意，因而易導致意外之破壞，故此需作緊維修之工作。

港灣工程師對於軟鋼 (mild steel) 建造之港灣碼頭結構物之防蝕為其主要之問題，而不锈鋼、白銅、蒙耐合金或鈦合金等幾乎未有此問題，而應用特殊之耐蝕合金鋼，則僅限於特殊之用途上，強化塑膠 (Reinforced plastics) 亦使用於一些特殊之情況上。

- (2) 在港灣工程材料中，鋼筋混凝土之使用量僅次於軟鋼。
- (3) 在老舊結構物中可發現相當數量之鍛鐵 (Wrought Iron)。
- (4) 承受大氣腐蝕之地區已有使用熱浸鍍鋅鋼材。
- (5) 鋁合金發現在未承受負荷之結構上使用，例如在倉庫之屋頂或小型泵浦房等上面使用的情形很多。

2. 表面處理

- (1) 表面處理對於一塗裝系統之使用壽命的重要性受工程師們所認同，然而卻無法完全瞭解所有包含之因素。
- (2) 新結構物之表面處理幾乎都要應用噴砂 (2, 3)，此工作經常是在工場做好，但通常並未認知在噴砂過程中控制條件的重要性。
- (3) 新建結構物表面處理之規範變化很多，通常未定出重點，例如使用砂粒徑，表面剖面，在噴砂與塗底漆之時差。油漆與再塗裝間之時差和噴砂條件，例如相對濕度，溫度，抽取灰塵，表面污染和檢查之尺度等。

- (4) 油漆製造商，塗裝承包商與油漆檢查者等各專業人員間對於有關噴砂標準解釋所引起的問題，通常是對表面或噴砂在一完全實際之工作上所使用之規範不一致。
- (5) 對於表面剖面與底漆厚度之關係未知，將導致對較高尖型之表面包覆不足且接著發生破損現象。
- (6) 在現場維修工作之表面處理不如新建工程一樣的清楚，通常對港灣結構物所處的地理位置，可用之設備和經費足夠否等都會影響最後的選擇。
- (7) 使用鋼刷和手工用砂布清除錫斑 (Hand scaling) 等方法進行鋼材表面處理是在各港都可以見到的，而其成功程度常受懷疑。
- (8) 在重新油漆前，利用沖水法清除鬆弛之鐵錫和惡化之油漆塗裝並不常見。由於沖水後接著就油漆塗裝，因此時間很短，而很難評估此種表面處理法是否會成功。

3. 油漆塗裝

- (1) 在大氣區或半浸於海水之情況下，鋼材之保護幾乎全賴油漆塗裝，而在完全浸於海中區，則使用塗裝再加上安裝陰極防蝕。
- (2) 油漆系統為根據足夠之保護，初期費用和易於應用等因素作妥協處理，再經由以前成功的經驗或廣告媒體作選擇。而工程師們通常無法知道特殊油漆對腐蝕之保護形式。
- (3) 通常在大氣區所使用之油漆系統有二即：
 - A. 紅丹底漆 (環氧，快乾或油基等) 含石碳酸、油或環氧基底塗料，而面漆含雲母狀之氧化鐵之顏料。

B. 含鋅、鋅鉻、酸鹽或鋅磷酸鹽之底漆（樹脂基）和氯化橡膠底塗料和面漆有時以雲母狀氧化鐵或其他隋性顏料加以染色。

浸水區之塗料，可使用瀝青。最近有使用煤焦環氧系統。使用後者，較不會發生海洋生物污著之問題。

(4) 由於某一特定港灣結構物之總油漆系統通常由一製造商所供應，因此塗料之不相容性問題較少。

(5) 在不利之條件下，油漆應用涉及問題較大。對於表面處理不當和受鹽害嚴重之表面之油漆保護能力值得置疑，需評估各種油漆系統及其對表面處理不同之乾燥時間，多道塗裝之時差等，由於上述問題存在，所以參與油漆計劃之各單位間經常引起爭論。

(6) 在決定油漆塗裝之使用壽命上，設計是佔了一個相當重要的份量，製造者已逐漸認知問題，例如：箱型斷面之結構物出現較不易發生腐蝕。

(7) 要求油漆品質在使用三十年以上才會發生惡化已受油漆造商否定。但他們並不否認有些稀有材料已逐漸難以取得。

在碼頭工程油漆系統是相當地重要。實驗室條件下，鋼材表面上油漆而可得到充分的保護是不容置疑的，但真正的問題是使用在現場污染的鋼結構物表面上，而並不足以強調初期保護計劃投資之重要性，在現場維護所花之經費較為浪費。

保護計劃之品質並未與資本投資成比例關係，而且油漆系統未與結構物之使用壽命有所關聯。

4. 金屬噴射塗裝

(1) 所有使用於鋼鐵結構之金屬噴射塗裝料為鋅粉。

(2) 在大氣曝露之結構物上使用噴鋅塗裝，而在海中區，噴鋅塗裝之能力與性能很受到懷疑。

(3) 有一噴鋅塗裝之失敗實例為油漆與鋅間之黏著性不足，特別是碼頭面版之底側部位，此現象是否與缺乏適當之表面處理程序有關並不清楚。

金屬噴射塗裝防蝕方法應用情形很少，而再進一步的使用此具有潛力之重要防蝕措施，可能面對需或不需接著油漆的問題。

5. 陰極的防蝕

(1) 一般工程師對於各種不同陰極防蝕之設計，安裝及相對之優點並不知道。在許多例子，陰極防蝕之採購及安裝都是委託顧問公司代表港務局直接處理，因此工程師並未直接與陰極防蝕之公司直接作技術上之處理。

(2) 在港灣工程中，犧牲陽極系統可能較外加電源法系統受愛用，主要因不需複雜的整流設備需作維護且較便宜。

(3) 通常並未作陰極防蝕與塗裝費用之比較，然而許多港務局拒絕使用陰極防蝕，因為初期投資費與油漆塗裝系統比較下顯得太高。

港務局似乎該想想有關使用陰極防蝕技術。有一個鋼結構之防蝕實例，發現油漆系統性能發生問題而斷斷續續地使用陰極防蝕，則不但既不能完全解決問題，而且也無法對於原先銹蝕之鋼材表面提供適當的陰極防蝕保護。

1.3 調查結果之發現

(1) 材 料

在港灣所有大型結構物主要之施工材料為軟鋼，通常老舊結構物有使用鍛鐵建造的

。而許多工程師認為鍛鐵在海洋環境下使用為比鋼材性能較為優越之材料、然而缺乏供應此種材料，所以大都使用鋼材替代。上述論點曾由一位工程師加以補充，他曾拆除一對相當老舊的鍛鐵門，此門於1974年重新檢查而有33%之格板需要更換。事實上被認為需要用鋼格板修理的格板數量約比預期的少10倍，而軟鋼具有一些優點即主要考慮易於製作（焊接與接合程序），卻忽略任何耐蝕之性質。

使用低合金鋼，不妨說是耐蝕鋼，在一港灣中曾用於建造浮體式平底船（floating pontoons），工程師考慮可以與同時使用軟鋼建造之平底船之行為作個比較。工程師們初期用目視檢查水線上的範圍已發現合金鋼之平底船之性能相當令人滿意。然而經過六個月後，這些平底船其中有兩艘非常突然地無法作業。在碼頭邊檢查其中一平底船發現有很深的點蝕型態之局部腐蝕，此僅出現在完全浸於海中區，而且在許多情況，幾乎對鋼板之整個斷面完全穿孔（7.9 mm），鄰接於焊接區之斷面引起平底面沉至海床之總損失，且雖然沒有查覺到焊接材料與鋼材間有組合上之差異，在這些地區之點蝕現象特別地普遍。在使用期間均相似條件下，軟鋼的腐蝕情形由孔蝕造成實際上之穿孔比預期的為大。在海床泥線處受細菌攻擊亦懷疑是在腐蝕過程中之可能參與之因素，此類特殊低合金鋼剛開始是為工業大氣條件下設計的。在環境部所完成之曝露試驗是使用相同之鋼材，證實在海洋環境下容易有局部腐蝕形態之現象發生。然而現已有特殊合金鋼應市，例如 Mariner 及 Mercor 等商品名稱係為在海洋環境下使用而發展出來的。並沒有這種產品在港灣使用之實例，且尚未獲得其實際腐蝕性能之歷時變化。許多港務局佔

在審美的理由而非防蝕性能之觀點，因此並不喜用特殊合金鋼。

鋁和鋁合金曾在一泵浦房使用，而一般使用僅限於未承受負荷之結構物，例如倉庫之屋頂或梯形物等，某些工程師似乎很強烈地厭惡使用鋁材。

有些較受大眾知道的耐海水腐蝕材料如青銅、鈦、蒙耐合金（Monel）和不銹鋼等發現很少用於船塢上，而僅在集水泵浦和水力機等某些小零件中使用。此大部份是被泵浦製造商所使用，而非由碼頭工程師建議採用。

2. 金屬表面之前處理

在鋼結構塗裝前作前處理為其耐久性之重要因素，為調查目的，需以新建結構物及現存結構物兩種不同情況，分別討論如下：

(1) 新建結構物

實際上所有工程師均同意鋼材之噴砂需在工場依據規範作業為實際，且接著底材加以油漆，在許多大港規範定得較詳細，包括使用之噴砂粒徑（grit size），及最大之容許振幅或鋼材表面剖面（ $100 \mu\text{m}$ ），即噴砂後鋼材表面之最高峰與其鄰近谷底之垂直間距。

港務當局很少去校核這些參數而經常靠雇用之檢查者去執行此工作。

有一些規範包含噴砂後四小時在工場進行噴底漆，以防止噴砂後之表面有足夠時間生鏽，再塗刷油漆，效果將不佳之故。

有兩個問題受指摘，首先是吊車製造商對於搬運鋼材至噴砂工場並不熱忱，此耽誤製作進度，為此將使總工程費增加；第二個問題是在接著之運輸工場操作員所造成之手動或機械自動所引起之損害。

在某些情況下，由主要承包商所雇用之檢查者，將決定可進行噴砂的特殊製造場，

然後油漆承包商必須在一般之條件下進行噴砂與油漆工作，而這些並非永遠是最高品质的。相對濕度、溫度、灰塵清除設施和受大氣環境（如雨水等）完全地包覆等因素之重要性有時僅由油漆承包商在考慮；在特定地點可用之設備變化很大，有時可含蓋上述各點，在相當寬闊的現場噴砂，但在製造場噴砂期間有關環境條件之資料調查並無獲得詳細內容。

在某一港獲取一40噸之老吊車（1949）相當有趣的原始油漆規範，是不需噴砂之唯一實例，對於此一反常現象，為在當時尚未有噴砂之施工程序，所遵循之規範或許假設可用之最佳之替代處理方法，所有鱗物，鐵銹和工廠製作時所生之鱗片等都使用鐵鎚，切削器，鋼刷和火焰清除等方法去除，直到其表面為光亮和清潔為止。另一更有趣之處為火焰清除是以氧氣乙烯火焰，溫度介於15.5°C至26.5°C之間快速清除，然後塗上底漆（係亞麻子油內加紅丹），據報導25年之使用結果良好，雖然並未確定在爾後之維護工作上，此吊車是否曾經用噴砂維修過。

(2)老舊結構物之重新油漆

這種情形在各港務局之工程實務方面有所差異。雖然噴砂被認為最最佳之現有表面處理方法，但有許多人懷疑在現場執行此程序是為明智行為，主要原因為：

- ①此種施工法困難。
- ②檢查不夠。
- ③財務不足。
- ④在噴砂清除和塗底漆期間內受海鹽噴霧而造成污染之現象。

其他可採取之方法是一令人生厭，耗時及費工的作業，包括使用手工敲碎和鋼刷或用電動工具清除。大多數港務局都對使用此程序清除之有效性抱持懷疑。而如果在噴砂

清除方法不能實施的情形下，可使用此方法替代。而至今尚無有關鋼刷清除之標準制定。

有兩位工程師曾經使用鋼刷清除結構物之鐵銹後再加以油漆，而認為油漆塗裝是為美觀而非為保護，因為金屬與塗料間之附著性不良。

在有些港灣有使用沖水清除表面之技術，其水壓控制在3000至6000 psi，可去除鬆弛之鐵銹與老舊之油漆塗料。港務局對其效果很滿意，雖然此作業尚未變成普遍性，且由於時間不足評估其真正的價值，亦無設定其操作規範。

在訪問荷蘭時，發現使用沖水法修理表面鐵銹時發現一件很有趣之情形，此程序曾採用於現場執行碼頭門（lock gate）之小修理。剛開始使用沖鹽水法清除鬆弛鐵銹與油漆，最後再用清水沖洗。工程師表示使用此技術作表面處理較合實際，適合於不能用噴砂及鋼刷清除之情況。

3. 保護系統（一般性之使用）

油漆維護工作通常都是包給廠商負責執行，然而有些港務局傾向於雇用自己的工人作維護工作。一位工程師建議碼頭為一勞力密集之工業，由其自己的駐地油漆工人工作是有問題的，在清淡期需遣散一些員工是困難的。此現象與另一港務局形成相當大的對比，他們是擁有少數之維護油漆工人，而當港在1939—45年，二次世界大戰期間有顯著之油漆工作。

有關使用各種油漆型態，現在對一般環境與健康之考慮的重要性已漸增。一機構考慮清除油漆中含鉛顏料，此在未來將變為普及，且亦應考慮對油漆含鋅鉻酸鹽顏料造成對健康不利之影響而加以清除。

瀕濱區為受風與水作用之地區，以及在

高低潮位間之地區，可定義為在海洋環境下承受最惡劣之腐蝕而且容易受到相當多的力學損害如船隻或漂流之木材等，在此地區，鋼材之保護完全是以油漆塗裝為之時，塗裝之形態與厚度應做以下檢討。

在潑濺區以上之範圍，包括碼頭邊之設施，幾乎僅用油漆塗裝加以保護，使用熱浸鍍鋅保護之實例僅在受海鹽吹襲和力學損害（手欄杆等）之情況下應用，所有港務當局對結果均滿意，但仍對此系統加以批評，尤其是製作之困難，因必須考慮焊接與鑽孔，以及為何此材料僅用在螺栓栓住之結構物（使用熱浸鍍鋅螺栓）上。

第三個需要保護之地區是在低潮位下，經常包括保護碼頭之鋼板樁或鋼管樁結構物，有關此區域保護之形態與價值是工程師意見最大的分歧。最簡單的系統是使用較厚的油漆塗裝，此為一般老舊固定物（fixture）之情況。最近所採用的方法為油漆塗裝再加上陰極防蝕。這對於無法接近結構物及每年定期作檢查之情形下很適用。外加電源法和犧牲陽極法均有人使用過，配合油漆系統其效果有的很有價值，然而亦有不良者。

工程師們對油漆與不油漆決定之意見亦分歧。反對者認為油漆系統破損將導致更嚴重的局部腐蝕而造成結構物強度之損失；贊成者認為在打樁過程後，可能需修整管樁，基於經費上之考量，油漆系統仍可提供足夠之保護。

在荷蘭，已經使用鋅陽極之陰極防蝕保護水線下之移動部位，工程師考慮如果使用油漆塗裝小心地維護，因而懷疑再使用較貴的陰極防蝕是否正當？

工程師們一般的意見是分配在維修的經費逐年縮減，因此無法展開重新油漆工作。然而在一業務繁忙之港灣，美觀之油漆列為

第一優先，此港每年有七百萬旅客，每天有70—80艘船，因此特別強調其外觀，負責之工程師在此情況下，很難在品質及費用下決定不顧腐蝕防治之目的，此狀況之產生是因該港快速成長，而將擴建區擴展以配合漸增之交通，所導致之間題為是否多花錢在初期包含範圍廣泛的系統上而可維持一段長時期或使用花費少，假設在一可再發展地區而未來可再考慮的情況上作一決擇，有關各種塗裝系統使用於港灣中某些主結構上之詳細估價將在下章中檢討。

4. 油漆塗裝

(1) 碼頭邊之吊車

A. 概 說

在港灣中所見到之吊車種類很多，最大及最昂貴的是20、30及40噸之貨櫃起重機，所有這些都是相當新的結構物（不超過12年）。這種吊車之費用約在10萬至40萬英磅，雜貨吊車自30噸至40噸不等，其名稱有輕便型吊車（portal cranes），屋頂型吊車（roof cranes）抓取式吊車（Grabbing cranes）和爬行式吊車（Crawler cranes）等，一般這些名稱取自其位置及操作模式。較小的吊車通常是很老的，當時購置的起重需求未及今日之大，這些吊車中有許多現在已荒廢。

在吊車上之塗裝，在操作時都會受到損害，對油漆與維護有各種處理方式，大多數港務局定有5至10年之維修計劃，但因缺乏時間與金錢，因此經常未固守此原則，花費在油漆系統上之金錢亦常有變化，但一般而言，隨吊車之資本投資費增加而遞增，在腐蝕性特別強之船貨裝載（例如食鹽或蘇打灰）情況下，則需使用不同之措施。在購買最便宜之吊車，而使用便宜之油漆塗裝情況下，五年後就變成廢物。有工程師認為沒有油漆

系統可與這些腐蝕性強之船貨相對抗，因此似乎很少人對花費大筆金錢在油漆上提出異議。

另一有趣點是某些港務局考慮不能僅因腐蝕問題而扔棄吊車，雖然此現象曾在一港發生過。吊車劣化之理由包括機械裝置和起重設備損害，且過去所買的吊車與現在操作特殊船貨所需者比較顯得不足和不經濟。然而其他工程師們確定一套良好之油漆維修進度將可使結構物之使用壽命增長。

B. 貨櫃起重機

在訪問較大之港灣中，有一港擁有 5 台 40噸之貨櫃起重機，其中有二台是在 1968—1969 年期間建造的，而是使用常用的油漆，以手工清除銹皮後塗上油漆；另外三台是在工場噴砂，再使用五道塗漆及氯化橡膠塗料系統塗裝的。上述二台之油漆已破損嚴重，現在正在重新油漆，在現場使用噴砂作表面處理符合瑞典 Sa2.5 之規範，即表面粗細度最大為 $100 \mu\text{m}$ ，噴砂後四小時塗底漆，其中有一台已計劃按下列方式重新油漆。

第一道漆：兩層環氧紅丹（底漆），乾膜厚為 $35 \mu\text{m}$ 。

第二道漆：如上。

第三道漆：氯化橡膠中塗漆 + 雲母狀氧化鐵，乾膜厚 $125 \mu\text{m}$ 。

第四道漆：氯化橡膠中塗漆，乾膜厚 $35 \mu\text{m}$ 。

第五道漆：氯化橡膠，特殊顏色之上塗修飾，乾膜厚為 $35 \mu\text{m}$ 。

所有油漆均彷用刷子塗膜，可得總膜厚為 $265 \mu\text{m}$ 。

在參觀此貨櫃起重機時，剛好因惡劣天候而停止油漆工作，在其底部，剛好上完第二道底漆，可發現膜厚變化不定。當測試時，顯現有可目視之惡化跡象。在當時工程師

考慮一旦開始噴砂即可對整個起重機重新油漆，由於噴砂過程中之灰塵引起起重機上電氣設備發生故障，因而耽擱委辦之油漆工作。由於上述問題存在，因此另一台起重機在訂定油漆規範時，會加以修正需提供最佳之保護包括應用之速度。表面處理包含除去油脂和清除所有鬆弛不堅牢之油漆，然後補底漆和塗磷酸鋅底漆一道厚約 $38 \mu\text{m}$ ，中塗漆使用氯化橡膠 + 雲母狀氧化鐵系統 $75 \mu\text{m}$ ，最後用氯化橡膠上塗膜厚約 $38 \mu\text{m}$ 。

上述之油漆系統是所見過最詳盡的計劃，而可能最難在現場完成。與另一港的一台貨櫃起重機明顯的對比，該起重機是在十年前採購的，最要緊的是趕快使起重機能操作，採購與交貨時間很急，距預期需操作之時限僅 8 個月，所以必須縮短油漆之時間，而當時使用最便宜之油漆塗裝。安裝三年內，需補底漆且選用氯化橡膠系統，應用此系統曾失敗過且檢查時發現在鋼架上有大的腐蝕坑，有許多地方沒有或很少油漆黏著。當時考慮可行的處理方式是用噴砂先清除再重新油漆。然而一旦腐蝕已經到此程度，噴砂清除後很難保證可去除蝕孔中之腐蝕生成物。

在另一港有兩台 30噸之貨櫃起重機在作業，第一台是在 1967 年委託建造的，原始規範是在工場噴砂至 Sa2.5 之清潔度，一道鋅粉環氧樹脂底漆，二道灰色之底漆及一道高度平滑光澤之面漆，在總工程費玖萬陸仟英磅中 6% 供油漆系統用（£5920），在當時設計貨櫃起重機時即考慮未來之油漆維護的困難性，因此加強油漆系統作如下列規定：

- 噴砂至 Sa2.5 程度（在工場施工）。
- 一道鋅粉加環氧樹脂底漆（在工場施工）。
- 二道鋅粉加環氧樹脂底漆（在起重機製造商處施工）。

- 一道灰色底塗。
- 一道高度光滑面漆。

貨櫃起重機最後 £ 150,000 定約，其中 7 % (10,380) 供油漆系統，此金額已包括由超然腐蝕顧問專家對已完成之油漆系統作徹底檢查之費用 £ 2400。此油漆系統預期可使用 15 年，雖然該貨櫃起重機之設計年限為 30 年，上述價格是 1967 年的時價。

* 第二台貨櫃起重機是在一九七〇年採購的，其規範如下：

- 噴砂如前
- 噴底漆（在工場）
- 二道鉛系防銹塗料
- 二道底塗（灰色）
- 一道高度光滑修飾塗料

總膜厚達 $200 \mu\text{m}$ ，至今上述兩台起重機尚未作做維護工作。

C. 裝卸貨起重機 (Cargo cranes)

在英國全國僅有兩種油漆系統曾在港灣之載貨起重機上使用，最常用的紅丹亞麻仁油基底或快乾紅丹（一或二道）再加上雲母狀氧化鐵油基上塗（一至二道），此系統能受許多工程們偏愛之原因有二。

- (A) 此系統可提供足夠之保護且易於應用上提供最佳之妥協。其所考慮之表面處理並非相當地嚴格而可得到相當好的保護。
- (B) 在該處僅能使用鋼刷作表面處理，接著補塗及使用紅丹補底漆，不會有與不同油漆系統產生不相容之現象。

另一種油漆系統是使用鋅粉底漆再塗氯化橡膠油漆，有些使用者發現其內部塗料黏著性不佳而發生問題，有一工程師發現氯化橡膠油漆在結構物之轉角或尖銳狀之邊緣處，黏著性易喪失，在施工上特別地困難。

下列為一台新建十噸重之載貨起重機之塗裝規範：

- Ⓐ 在起重機製造廠之準備工作
 - 噴砂十噴 125 mm 膜厚之鋅粉（依據 BS2569 規範）
- Ⓑ 在起重機製造廠之油漆工作
 - 塗一道稀薄底漆 (Wash primer) (在四小時內)
 - 塗一道石碳酸之氯化鋅漆 (Phenolic zinc chromate)
 - 塗一道石碳酸之磷片氧化鐵油漆
- Ⓒ 在起重機建造地點之油漆工作
 - 受損傷的鋅粉底漆處，使用同等材料噴補。
 - 塗三道石碳酸磷片氧化鐵油漆

此一完整油漆計劃曾被採用，係因處於很明顯之嚴酷環境下。花費在防蝕上之金額佔總費用相當高的比例。

在此港亦在拆除一台因受腐蝕引起結構破壞的小型起重機。此機器是在 1898 年建造的，是使用鍛鐵以鉸釘固結之結構物，工程師考慮現在的一台起重機之使用壽命約為 30 年，而此台起重機在此種非常嚴酷之曝露條件使用性能表現很好，其原因是：

- a. 此超重機設計太保守 (over-design)，可忍受一些腐蝕。
- b. 鍛鐵在海洋環境下，以現有之鋼結構比較，具有優越之耐蝕性。

某單位曾花上四年時間研究使用魚油之新油漆在維護起重機方面頗為成功。施工時先用鋼刷去銹，然後依廠商建議塗裝。工程師考慮擴展此系統之使用，但可獲取之基本

資料很少，未來之性能值得注意。

在蘇格蘭有一台五十噸之新載貨吊車正在建造而有生銹之跡象。此吊車交貨時花費二十萬英磅，包括噴砂，底漆及兩道上塗漆等。在建造後有相當數量之螺釘帽及螺栓尚未油漆，而僅少數螺栓鍍鋅。在某些範圍噴砂不完全且亦在加熱製造時在表皮上留下來之銹皮亦塗上油漆，斷面焊接後未加防護，所以在鄰近區域有油漆剝落與起泡，產生銹蝕現象。

當安裝一新吊車時，必須考慮維護油漆最經濟且工作簡易之最宜時間。這是在規劃維護進度與檢查時之構想。下面列舉不可能在正確時間重新油漆情況下所造成之後果。

有八噸之載貨吊車於1952年建造，每七年作一次油漆維護工作並接受檢查，但由於其他地方需要油漆之工作已積存太多，所以並未按時作維修工作。吊車突出之迴旋臂受海鹽潑濺而嚴重孔蝕，結果需取下送至工廠，而其支撐斷面需用火焰切除來焊接新斷面，此現象不僅增加修理費而且由額外之拆除及建造浪費不少時間。

另一是同一碼頭工程師不能在適當的時間重新油漆吊車之突出迴旋臂，當有經費可以油漆時，此臂已遭太嚴重之孔蝕，而影響其強度。每一部吊車更換所有迴旋臂要£2,000，安裝費為£600（1974年時價）而需另外再加上£1,400之油漆費用，如果按正確之維護進度時間表於1970年重新油漆該迴旋臂，則整台吊車僅需花£800即可重新油漆。由於油漆計劃之延誤而使得碼頭不能操作造成相當大之損失。

大多數工程師所考慮維修計劃的最大問題是可取得之維修經費，幾乎所有工程師們都被要求遞送在下年度預定進行的維修工作之預算然而都是被削減，因而無法堅持原定

之維修計劃。

D. 設計方面：

所有港務局都考慮有關易於進行之油漆與維護工作，特別是較老舊之吊車，然而每位工程師想，近十年來，吊車製造廠在考慮這方面已有很大之進步，而且引進新的設計，許多老舊吊車有許多交叉支撐構件，特別是在突出之迴旋臂上，除了易於進行之間題外，許多接頭易於積水，雖然有些工程師之設計包括在鋼結構物上留排水孔，缺少此類排水孔會造成吊車上油漆系統之使用壽命降低，因而比預期者要較提早重新油漆。使用最後一道光滑塗裝將有助於排水。

有些較新之六噸載貨吊車傾向於將突出迴旋臂以焊接密閉箱型斷面設計，外部油漆較容易，然而內側則不易油漆。

在一些單位指出吊車設計保守之有趣之問題。在1920～40年期間建造之吊車應實際業務需求，所吊舉之重量超過合約上所規定值。此種保守設計係因比所需要的鋼材數量高，即腐蝕量可在容許範圍內而不至嚴重地影響吊車之舉重，而如今所建造之吊車很少有設計保守的，因此建議材料之斷面必須在設計極限內。

(2) 港灣橋樑與駛上駛下船席（roll-on, roll-off berth）

A. 概說

港灣之橋樑及駛上駛下船席大都使用與吊車上所之類似油漆系統，有兩種系統，其一為含有石炭酸（Phenolic）油基雲母狀氧化鐵與紅丹底漆。另一為使用鋅粉環氧樹脂底漆之氯化橡膠塗漆。此可能是因在港灣之中之橋樑與起重機遭受類似之曝露條件，所以應用相似之表面處理及油漆標準。上述兩種油漆系統，使用前者之成效較後者為佳。其原因與起重機的完全相同。有一工場對其重

新油漆計劃保固五年，不過自鋼構重新噴砂時，即由油漆工場細心地觀測鋼構之油漆歷時變化。

應用鋅粉底漆之不同是使用噴鋅粉取代底漆，上塗再用氯化橡膠塗料，此橋樑需作油漆維護工作，問題主要是噴鋅粉與塗氯化橡膠間之黏著性不良所致，所有表面在噴鋅粉前都是經噴砂至 Sa2.5 程度（膜厚為 100 μm ）。

駛上駛下碼頭現已變為相當引人注意，特別是在裝卸汽車為主要貨物之港灣。在某一個尖峰時期，一天中使用駛上駛下運送車輛達一百次。有三個方地方容易受害①路面磨損②木材護舷受力學損傷及③甲版底端易受腐蝕。每年花費 £ 45,000 更換因受船隻碰撞損壞之木材護舷（1974年費用），為克服橋樑面版底側之腐蝕，港務局使用自己之技工，花時間與金錢在現場用噴砂清除這些斷面之鐵锈，使用煤焦環氧樹脂系統油漆，而經過十二年之使用結果良好，不利之點是在於夏季使用率高，而必須在天候不良之冬季油漆。

B. 設 計

一般鋼構之橋面板底側比別的部位遭受更嚴重之腐蝕情況，主要是鹽害問題，當需作油漆維護時，需考慮設計問題，爬至橋樑底側施工是相當困難的，在小港必須使用小型工作船執行油漆維修工作，而在潮差高達 9~12 公尺的港灣，則難於工作。有一小港為克服腐蝕，在面板底側塗上厚層黑色柏油漆，而其他地方則使用以雲母狀氧化鐵塗料油漆。

C. 個案研究

舉一油漆失敗之實例是發生一港灣使用過二年的橋樑，此橋樑橫跨現有之渭道和包括兩活動架每一座長 10 公尺寬 5 公尺重 22.6

噸兩者平行，使用水力圓柱聯接於每一活動架，使其以 90 度上升或下降，此橋樑所作表面處理工作如下：

- (A) 所有鋼構之表面都需沒有油脂、油、銹和銹皮等雜質。
- (B) 噴砂之清潔度至少達 Sa2.5，且規定最大之表面突出物高度為 75 μm ，鋼構之交錯部份可能必須在兩小時內在兩小時內在工場用一蝕刻底漆噴塗。

有三種油漆系統供選擇，最後所使用的是二道底漆每一道厚度為 40 mm，然後是上二道塗料，其膜厚亦各為 40 μm 。為減少可能發生不良油漆黏著之問題發生，在規範中亦列出一些應預先注意之限制，如下列各項：

- a. 工程師使用氯亞鐵酸鉀 (Potassium Ferrocyanide) 測試噴砂後表面是否含可溶性之鐵污染物。
- b. 油漆時最大之相對濕度不得大於 50%。
- c. 表面之潤濕度不得大於 50% 且隨時可用氯化鈷檢察紙校核。
- d. 表面清潔度可使用表面清潔反射法量測，亦可用乾濕膜厚儀試驗。
- e. 系統塗裝完成後可以針孔檢查法校核其防阻之效果。

合約價格是 £ 48893 (1973 年時價)，其中 £ 1115 為油漆基礎鋼構，£ 2910 為油漆橋樑結構，£ 527 為機械上或電氣上之裝備，合計為 £ 4552 約為總價之 9.3% 此保護系統在當時是相當的高，然而由於應用問題，故仍發生油漆失效之問題。

(3) 通棧與倉庫

在港灣中之貯存通棧，由於許多理由，故其施工材料，大小、費用及條件變化很大，因此以下就作一般性說明。

老舊通棧（1920～1930）大都使用波狀形鐵皮，並塗上紅丹底漆及瀝青或以鋼筋混凝土建造。波狀鐵皮之通棧幾乎永遠處於荒廢狀態，很少作維護，現使用作貯存有毒之化學物或腐蝕的貨物。此種型態之通棧另一例子是貯存肥料之原料（硫酸銨和硝酸銨）由於腐蝕及缺乏修理，通棧之側面已不存在，而使化學物灑出至鄰近碼頭邊之上面。

在所遇到的情況中，有一半是混凝土結構物，而老舊鋼筋混凝土結構物的性能大都表現不錯，主要有問題的經常是鋼筋保護層厚度不足。使用噴漿法修復，其效果經常是不錯，但在1932年建造的大穀倉，使用此種修復法失敗過，原因是噴於鋼筋上之水泥砂漿缺乏黏著性，最後修理之處理方式是將混凝土清除至鋼筋背後，而以環氧樹脂填充此區域，此過程之成效經證實相當令人滿意。作為貯存硫酸銨的RC之通棧，曾經發生過受硫酸鹽侵蝕之問題。

較新之通棧（1950～1970）亦是使用RC建造的。鋼筋保護層適當而使腐蝕問題減少，有一受硫酸鹽侵蝕之實例歸因於該港灣之海水之硫酸鹽含量高之故。

替代鋼筋混凝土之另一選用材料為使用鋼材門架，四邊以磚造及屋頂使用鋁材，控制實際設計與材料之標準是貨物之選擇與所需之花費。例如貯存水果和牛之飼料則應保持高度之清潔性，通常此類通棧需每年檢查，需要時常作油漆維護與貯存肥料，鐵礦砂或煤灰等之通棧比較，維護費較高。當選擇油漆系統時，因為毒性問題，所以考慮貨物之特性亦是很重要的。本來應考慮減少施工材料之數量節省經費，例如在一港之新建通

棧減少磚塊用量而使矮牆高約1.8～2.4公尺，而所有側牆及屋頂均在鋼架支撐下使用鋁板建造。另有一座通棧在鋼架支撐下，全部以鋁板施工建造的，則遭受力學上之損傷，雖然有關腐蝕方面，在短期使用期間內，表現相當好。由於力學上之損傷，因此工程師考慮在通棧周圍建一鋼柵保護。

在魚市場之鋼架腐蝕現象為一大問題。所使用之建築物有點不同，沒有側牆垂向鋼樑支撐屋頂，在魚市場通常發現腐蝕問題之原因有下列三點：

- A. 魚油為一大腐蝕媒體。
- B. 在魚市場使用大量之冰塊且四面通風導致鋼樑過度地冷凝收縮，使油漆提早被破壞而發生腐蝕現象。
- C. 魚市場之開放式建築使得海風可由任意方向侵襲，海鹽侵入屋頂及鋼樑結構體內，使惡化現象加劇。

由於上述三個原因，增加了油漆維護之困難。通棧之門易受卡車及持續作業造成之力學損傷，如果這些門在油漆前先噴鋅粉底漆，則底下之鋼材比單獨使用油漆塗裝所受之保護性更佳。

(4) 閘門 (Lock gate)

此為設於港灣之進口水閘，在高低潮位相差較大之港灣應用幫助維持低潮位下之水位及降低高潮位下之蓄存量，一般有兩種型態之閘門，依其操作模式而異。

A. 斜接門 (Mitre gates)

結構使用相當普遍，有兩個一半(halves)，一旦關閉可在閘門中央達到不透水之密封，實際之密封是使用綠心護舷木製成的，使用之施工材料為鍛鐵，而如今已用鋼材取代，現代之鋼閘門是焊接結構物與老式之鉚釘型式不同，雖然仍有使用鉚釘的閘門，每一進口閘門，一般有兩三組，所以可移開

一對門進行維修，而不至於關閉港灣，此門之重量約為300噸，對30公尺寬之一進口閘門而言所需費用約為23萬英磅（1967年時價），在一箱型門之實例，這些門基本上是一件結構，當閘門開啟時是在水平面，而操作至垂直面使閘門關閉，然而佔在腐蝕之觀點，門之保護與斜樑間有相同之問題存在。因為閘門之重要性，因此需定期作檢查，每年約兩次，有些單位並未作檢查，但常在使5~10年，平均約七年後取出修理及重新油漆。

油漆脫落，接著腐蝕經常發生於高潮位與低潮位間之範圍，在門檻之嵌板並非所最主要考慮之問題，此可由檢查一對門而證實。在潮汐帶因受腐蝕穿孔，整個斷面必須將銅板更換，許多工程師贊成大多數閘門都是同等地受損害，而有些則認為在其港灣位置較外側之閘門，因曝露條件增強，所以遭受更嚴酷之腐蝕。

維修程序變化相當大，往常依存有之設施而定，在一小港一對閘門浮出，可完全地在海灘上被修理，首先使用手刮清其面上之海洋生物、污著物，接著用鋼刷刷至金屬裸露之表面為止（噴砂不可行）然後儘速地塗上一層紅丹底漆，然後選用熱柏油為上塗漆。任何受船隻損傷的木材護舷都換新，閘門放回原位。

在較大之港灣，維護工作是在乾船塢進行，更換所有有缺陷之嵌板，然後噴砂至Sa2.5之清潔度。接著塗上一層紅色氧化物底漆。經測試室內之不透水性，再依下列規範進行油漆工作：

- 外表面及通道鋼架：三道煤焦環氧樹脂（膜厚為 $150\mu m$ ）
- 內部壓艙室：一道柏油底漆（ $30\mu m$ ），二道纖維質的瀝青混合物（ $150\mu m$ ）
- 內部空氣室：一道柏油鋁漆（ $100\mu m$ ）

，一道柏油鋁修飾面漆（ $25\mu m$ ）

有一單位使用乾船塢之設備，用高壓噴水（壓力為4000 Psi）法作表面處理，接著塗底漆及煤焦環氧樹脂油漆厚度 $375\sim500\mu m$ 。

有一港曾於1938年安裝鉚接之鋼門，使用之油漆規範為紅丹底漆，一道冷柏油溶液（Bitumastic solutin），一道熱柏油瓷釉。此閘門於1963年被徹底檢查，完全相同的油漆規範重新在此閘門之內外側油漆。

在調查期間，在鋼構外側重新油漆之工作，普遍採用煤焦環氧樹脂系統，由海洋生物所遭遇之問題較使用柏油之情況者少。

內部壓艙及空氣室通常是使用類似之油漆系統，困難的是油漆者不易接近工作位置，為此，一位工程師曾試用各種型態之產品，此溶液是當作羊毛油脂鋼材防腐劑出售，具有可以噴灑或用壓艙分散而能得到 $200\sim250\mu m$ 之保護厚度。此產品之結果至今是寄以希望，工程師滿意其性能，另一優點是價格便宜。

在一港灣曾調查到一對閘門剛重新油漆過，正在碼頭等待安裝，門之鋼架並未完全油漆，因而開始生銹，工程師認為這些閘門可能在安裝前還需再重新油漆過。

使用於固定門檻木材於鋼閘門之螺釘也是用軟鋼製成的，由於拉緊及齒根與齒冠部份交互作用，使螺栓需持續地替換，此仍歸因於木材中濕氣，鹽水與軟鋼等之交互作用，使用瀝青化合物適當地填封螺栓被稱為對此現象之一種修理良策。

B. 沉 箱

在一較大港一新進港船閘門是使用滑動沉箱建造，基本上是以水力操作向後與向前移動，橫過船閘而與碼頭邊形成不透水之密封。在船閘內有三座沉箱，每一座價格為七

十萬英磅（包括水力操作設施）這些沉箱必須每三年進船塢作徹底檢查，此結構物所有鋼架必須噴砂至 Sa2.5 清潔度及噴底漆，爾後塗上三道環氧松脂（Epoxy pitch）油漆。使用環氧松脂塗裝是成功的，但面塗料受船隻碰傷，可使用柏油鋁塗料修理相當有效，除外在清潔閘門過後，對整個鋼構在每一特殊時機使用一道柏油鋁塗料是值得例行採取之措施。

在荷蘭時亦發現其中有一港也使用滑動沉箱橫跨進港閘門，曾經發生問題在沉箱橫跨船閘移動時之轉動齒輪之軸承上，工程師對此問題之解決曾與八個專業機構研商，每一個都將其產品置於不同之齒輪軸承上，而沉箱裝回作業下次維護期間，可選用這些現有材料之最佳者作為未來之使用，此結構物之鋼架外側亦噴砂至 Sa2.5 清潔度且以媒焦環氧樹脂系統塗裝。

(5) 碼頭 (Jetties)

大多數之碼頭建於遠離河口或建在未掩避區，當船隻沿航道進入較外側之船閘門時有大的防波堤可保護船隻進港。所有較老之碼頭（有些遠在1912年建造）完全是以木材建造的。此為脂松或洋松，所有這些碼頭都已惡化需修理。在碼頭經更換或重建之處，使用之材料有些完全是鋼筋混凝土或鋼板樁，碼頭面為鋼筋混凝土結構。

一般鋼板樁首先在工場表面噴砂至 Sa2.5 之清潔度，接著塗底漆，油漆系統經常使用二道柏油或媒焦環氧樹脂油漆。在某些情況，此塗料使用於所有之基樁上，而打樁之範圍仍為裸鋼，然後廠商受指示修理在打樁過程中，油漆受損之區域。此引起有些單位懷疑使用油漆塗裝於基樁上在財政上是否為正當。有一位工程師曾在同一期間建造相同之碼頭而使用未經油漆之基樁打樁，在低潮

位時檢查這些碼頭時，發現在高潮位與 RC 碼頭面板底側間之未加油漆之基樁上已經銹蝕，但腐蝕現象並未顯現很嚴重，此可能因該碼頭僅使用五年而已，由於接近之困難，所以不太可能對這些基樁作詳細之檢查，而在半潮位以下，在兩座碼頭，都不易目視發現鐵锈形成之現象。

5. 陰極防蝕

(1) 概 說

下列之資料為試圖討論港務局及從事陰極防蝕之公司對陰極防蝕所表示之態度與觀念。

陰極防蝕計劃是安裝犧牲陽極在曝露於完全浸於海水中或潮汐帶之各種結構物上。會提供有關吊車、閘門等之規範者，對陰極防蝕計劃所能提供之資料很少，其原因為在顧問，港務局代表及碼頭工程師等之間缺乏知識之轉移。在一些實例安裝陰極防蝕之專門的公司亦定約作維護工作，在此種情況下，港務局對此計劃插不上手，現有之資料稀少，因此沒有作安裝與維護費之比較而無法進行長期性之經濟評估，所以很難在陰極防蝕或油漆塗裝方面作一適當之選擇。

一般決定包含陰極防蝕最少之維護與操作工作較少之故，而使用此系統之問題是碼頭人員經常在變，因此當需換陽極時，經常會忘記。

佔在陰極防蝕專家之觀點，建議不論使用犧牲極或外加電源法之陽極都是使用過去之經驗與知識安放的。首先完成排流試驗 (Current drain test) 決定所需電力裝備 (外加電源法) 之大小。有一公司承認在海水系統，陽極置於適當之位置而有點誤差程度是可忍受的，然而仍然要獲取鋼構上正確的電位分佈，一旦陰極防蝕開始運作，似乎很少由安裝陰極防蝕之廠商量測腐蝕電位分

佈來校對陽極正確之定位工作。

在一港灣碰見過使用犧牲陽極有趣之問題，一小河流注入於碼頭內，而必須排出水使碼頭內維持一定之水位。基本上碼頭水域的水是新鮮的，而日量測電阻發現是380歐姆公分（海水為30～40歐姆公分）因此懷疑犧牲陽極系統，特別是鋅陽極在此情況下能否完全作用？

(2)突堤碼頭 (Jetties)

在不同港灣，有兩座突堤碼頭之鋼管樁是使用陰極防蝕保護的，在此兩種情況，基樁都是先噴砂，塗底漆及柏油漆等，有一碼頭選用鋅陽極之犧牲陽極系統，而另一碼頭則使用鉑鈦陽極之外加電源法，需經過5～7年之使用後才能證實何者之成效為佳。

(3)碼頭與裝卸船席

一座新的貨櫃船席是以鋼箱樁 (Steel box piles) 施工建造的。這些樁會以噴砂至 Sa2.5 清潔度再以環氧松脂 (Epoxy pitch) 塗裝，然後再以鉑鈦陽極之外加電源法加強保護，此船席尚未使用很久，所以系統之優點尙未能確定。

在一港灣之碼頭完全用鋼板樁建造，先經過噴砂及塗上廉價的柏油漆，最後所有鋼材都使用鋁合金犧牲陽極系統以 3 萬 8 千英磅費用加以保護，許多陽極塊是在1970年安裝的，而發現鋼材上之海洋生物污著消失，此系統之保證年限是定為15年，期望至少可持續35年，在同一港，曾使用外加電源法保護老魚市場之基樁，據報導此系統已失敗且已廢棄，然而此陰極防蝕系統是在這些樁用油漆塗裝保護25年後才安裝的。因此不能確定是外加電源法發生失敗的問題。

有一座新的深水潮汐港，能處理礦砂裝船超過10萬噸呆重，曾在英國之 South Wa-

les 興建。裝卸碼頭主要之基樁材料是用軟鋼，使用噴砂至 Sa2.5 之清潔度，塗底漆及上二道煤焦油環氧樹脂。所有基樁再以鉑鈦陽極材料之外加電源法加強保護，在低潮位下檢查顯示大量之海生物污著於油漆上，此不會引起任何問題，但值得注意的是這些有機物之分離將去除基樁上面的塗料。

(4)密封壩 (Sealing Dam)

此種結構物為連接一進港閘門橫跨至一防波堤，藉以攔截整個的碼頭系統而建造的。此壩為細胞狀鋼板樁結構體，其細胞填充砂，而鋼板樁為使用鉑鈦陽極之外加電源系統加以保護。不同之電流使用於壩之內外側，因為在一側，保持一定水位（攔截區）而另一邊則承受潮汐之條件。

6. 金屬噴射塗裝

此種工法僅在一些特例中遇到，在這些例子中，其使用似乎已普遍的被接受。

(1)燈塔

燈塔高約30或40公尺，其主要使用是使碼頭能在夜間作業，所有塔都是以鋼管建造。此鋼管曾噴射鋅粉。有時此類燈塔雖使用12～15年，尚未發生嚴重之腐蝕問題。有一兩個燈塔曾塗上雲母狀之氧化鐵油漆，而沒有任何內部塗料黏著性問題存在，有關噴射金屬粉之主要問題為接下去進行成形操作（尤其是鍛接）之困難。

(2)鋼索

起重機之吊索 (Lifting rope) 為採用鍍鋅的，然而其他工程師懷疑此方面之知識，由於鋼索與滑輪間之磨耗問題，導致鋼材表面之鋅粉分離，因此鍍鋅所增加之額外費用是否理由充分呢？在使用鍍鋅之處，塗裝之犧牲行為被宣稱可增加使用年限。

（下期待續）