

塗裝系統在澎湖地區的大氣曝露試驗

張家華*、吳貞欽、林義宗

Exposure Test of Coating Systems in the Atmosphere at Peng-Hu Area

C. H. Chang*, J. C. Wu, Y. T. Lin

摘要

台灣地處亞熱帶，高溫潮濕，尤其以澎湖外島及本島沿海地區之腐蝕問題最為嚴重。為了提高特殊腐蝕環境下外露結構與設備之防蝕性能，本文針對目前常見的鋼(鐵)材塗裝系統，包括三聚磷酸鋁、無機鋅粉漆、金屬熔射、塑膠熔射、複合熔射及現場維護等塗裝系統進行鹽霧及大氣曝露試驗，希望藉由實地腐蝕試驗，累積更多腐蝕數據及經驗。經鹽霧4500小時與二年五個月的大氣曝露結果，證實金屬熔射系統及無機鋅粉塗裝系統均具有優異的防蝕性能，適合於嚴苛腐蝕環境下之外露鋼構裝備使用。

關鍵詞：防蝕；熔射；大氣曝露。

ABSTRACT

Taiwan is located in the subtropical zone with high temperature and humidity all the year, especially, in Peng-Hu area and coastal region around the island. In this study, in order to promote the anti-corrosion performance of outdoor steel structure, some coating systems in common use were evaluated including aluminum tripolyphosphate painting system, inorganic zinc dust painting system, metal sprayed coating system, plastic sprayed coating system, complex thermal sprayed coating system and field maintain system. The accelerative salt fog test and atmosphere exposure were performed to verify anti-corrosion capability of coating systems and collected related corrosion information. The experimental results of 4500 hours salt fog test and 29 months atmosphere exposure indicated that both metal sprayed coating system and inorganic zinc dust painting system have been proved their excellent anti-corrosion performance and are quite suitable for outdoor equipments served in the severe corrosion environment.

Keywords : Anti-corrosion; Metal spraying; Atmosphere exposure.

1. 前言

台灣屬於海島型氣候型態，環境條件極為惡劣，尤其是外露、固定且無法保養的設備，如大型鋼構物、輸配電設備等之腐蝕情形更為嚴重。特殊腐蝕環境的防蝕技術對防蝕工程人員而言，是一項嚴峻的挑戰。

一般鋼鐵材的防蝕方式可區分為二大類，一為犧牲陽極，其防蝕機制是在鋼鐵材上披覆一層犧牲層，由於披覆材料的化學活性遠大於底材，使底材形成陰極，因此當腐蝕產生時，會先腐蝕表面的陽極材料，而達到保護底材的效果。犧牲陽極的防蝕壽限可由使用環境的實際腐蝕速率與披覆層的膜厚來推估。另外一種常見的防蝕機制是在鋼鐵材上披覆一層隔絕層，使腐蝕因子隔絕在外，而達到保護底材的目的，常見的有機塗裝即屬於此類。

國內諸多文獻曾就鋼(鐵)裸材進行大氣佈放實驗^[1-2]，本研究主要目的係針對常見的幾種鋼鐵材塗裝系統進行鹽霧試驗及實地的大氣曝露驗證，希望藉由鹽霧加速實驗與實地大氣曝露結果的比對，來縮短塗裝系統的驗證時間，並藉以推估塗裝系統的耐蝕年限。所驗證的塗裝系統包括三聚磷酸鋁、無

機鋅粉漆、金屬熔射、塑膠熔射、複合熔射及現場維護等系統，期能針對嚴苛的腐蝕環境，累積更多的腐蝕數據及經驗。

2. 試片製備

實驗試片採用SAE 1020低碳鋼，試片規格為10 cm × 10 cm，厚度為2.5 mm，所有試片除維護系統以電動工具研磨至SIS St2外，其餘均使用G25金鋼砂噴砂至SIS Sa3級。噴砂後的試片分別進行塗裝，每一塗裝系統各製備五個試片，一片進行鹽霧試驗，其餘四個試片進行大氣曝露試驗。各塗裝系統編號與規格如表1所示。

在塗料方面，三聚磷酸鋁係採用虹牌1075環氧三磷酸鋁底漆，膜厚約為75 μm；無機鋅粉漆為虹牌SP-09無機鋅粉預塗漆，膜厚約為75 μm；中塗漆為虹牌1060環氧中塗漆，膜厚約為100 μm；MIL-C-23377及MIL-C-83286C均為柏林公司所生產，膜厚分別為35 μm及50 μm。維護系統之環氧修補底漆為美國AMERCO公司生產之Amerlock 400環氧底漆，膜厚約為75 μm。有機鋅粉漆為美國ZRC公司所生產之單液型鋅粉漆，膜厚約為75 μm

表1. 大氣曝露實驗試片塗裝規格。

Table 1 Coating specification of test specimens.

系統別		塗裝規格
三聚磷酸鋁系統	C1	三聚磷酸鋁/中塗漆/MIL-C-83286
	C2	三聚磷酸鋁/中塗漆/MIL-C-83286/金油
無機鋅粉系統	C3	無機鋅粉漆/中塗漆/MIL-C-83286
	C4	無機鋅粉漆/中塗漆/MIL-C-83286/金油
金屬熔射系統	C5	鋁熔射/MIL-P-23377/MIL-C-83286
	C6	鋅-鋁熔射/MIL-P-23377/MIL-C-83286
	C7	鋅熔射/MIL-P-23377/MIL-C-83286
塑膠熔射系統	C8	PE 塑膠熔射
	C9	NYLON 塑膠熔射
複合熔射系統	C10	鋁熔射/PE 塑膠熔射
	C11	鋁熔射/NYLON 塑膠熔射
維護系統	C12	研磨/AMERLOCK400/MIL-C-83286
	C13	研磨/ZRC/MIL-C-83286

。強化防蝕性能的金油係杜邦公司生產之A1060全光金油。

金屬熔射採火焰熔射方式進行，熔射設備為SULZER METCO 14E火焰熔射機，熔射線材分別為線徑1/8"之純鋁線、純鋅線及鋅-15%鋁預熔合金線。熔射鋁的膜厚約為100 μm ，熔射鋅之膜厚75 μm ，熔射鋅-鋁的膜厚約180 μm 。塑膠熔射皮膜使用EUTECTIC 3500塑膠熔射製備，熔射用塑膠粉末為EUTECTIC ET-12 PE粉末及Elf Atochem RILSAN 11 Nylon粉末，PE塑膠膜厚約為150 μm ，尼龍塑膠膜厚約為120 μm 。

塗裝後試片分別進行鹽霧試驗及實地大氣曝露試驗，鹽霧試驗依ASTM B117規範進行，以5%鹽水噴霧，部分試片鹽水噴霧試驗時間為3216小時，部分試片鹽水噴霧試驗時間為4500小時。大氣曝露試驗依CNS Z7234規範，於澎湖白沙沿海地區進行，試片佈放距離海岸約100公尺，試片傾斜仰角

45度，自90.06.11開始至92.11.18實驗結束為止，累計為二年五個月。實驗結果如圖1～圖6所示。

3. 防蝕性能測試結果

3.1 三聚磷酸鋁塗裝系統

三聚磷酸鋁塗裝試片鹽霧4500小時試驗結果如圖1左上角所示，由實驗結果發現，試片上均勻地佈滿直徑1~2 mm不等之鼓泡，大部份皮膜仍極為完整，且試片上無任何紅銹產生。大氣曝露結果如圖1右上角所示，四個試片之腐蝕結果並沒有明顯的差異，除局部產生直徑小於1 mm的零星鼓泡之外，靠近試片圓孔處之鼓泡較大，部分鼓泡直徑大於1 mm，大部份皮膜仍極為完整，且無任何紅銹產生。

加噴金油的三聚磷酸鋁系統經鹽霧4500小時試驗結果如圖1左下角所示，由實驗結果發現，試片

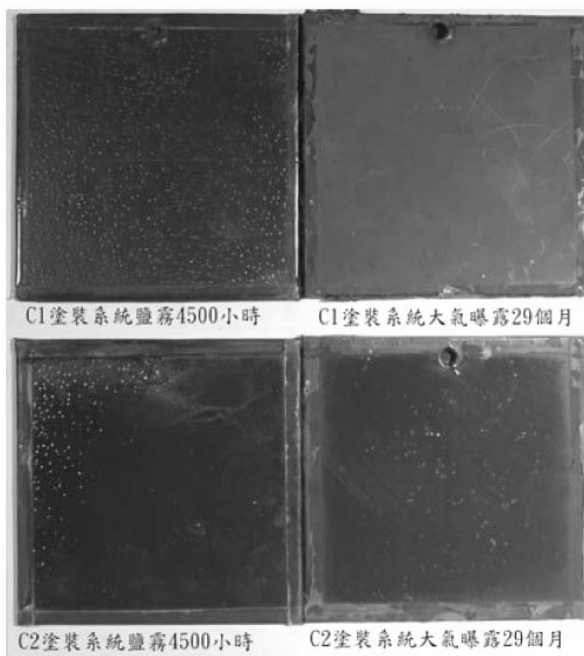


圖1 三聚磷酸鋁塗裝系統鹽霧及大氣曝露實驗結果。

Figure 1 The salt fog and atmosphere exposure results of aluminum tripolyphosphate painting system.

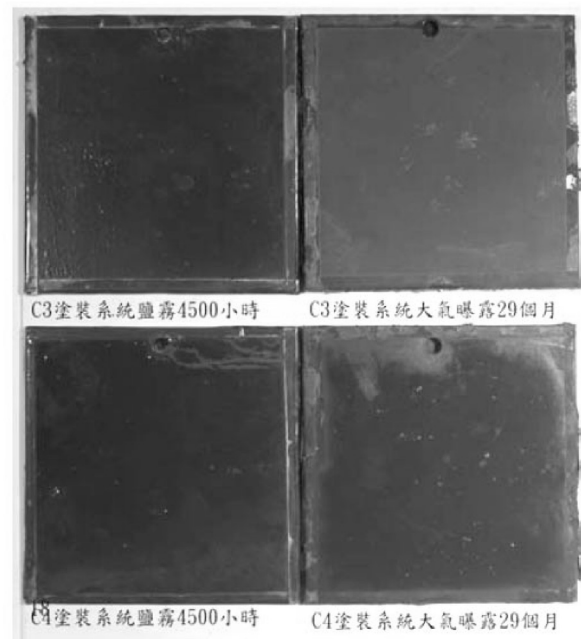


圖2 無機鋅粉漆塗裝系統鹽霧及大氣曝露實驗結果。

Figure 2 The salt fog and atmosphere exposure results of inorganic zinc dust coating system.

上均勻地佈滿直徑1~2 mm不等的鼓泡，大部份皮膜仍極為完整，且無任何紅銹產生，最外層的金油仍保持原有光澤。加噴金油的大氣曝露結果如圖1右下角所示，四個試片的腐蝕結果並沒有明顯的差異，試片上僅有1~2處直徑小於1 mm的鼓泡，除此之外，皮膜仍極為完整，且無任何紅銹產生，最外層的金油仍保持原有光澤。

3.2 無機鋅粉塗裝系統

無機鋅粉塗裝試片鹽霧4500小時試驗結果如圖

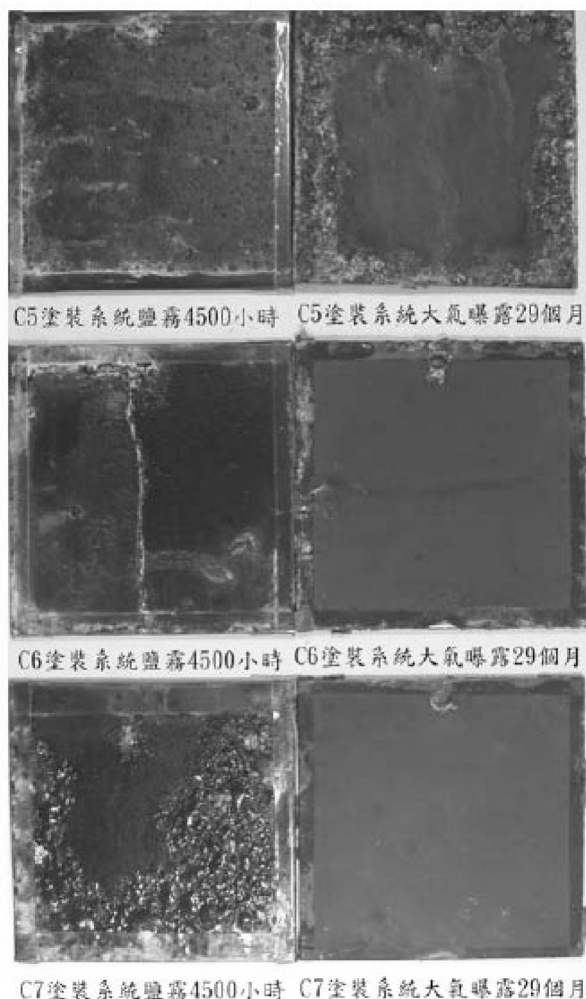


圖3 金屬熔射系統鹽霧及大氣曝露實驗結果。

Figure 3 The salt fog and atmosphere exposure results of metal spraying coating system.

2左上角所示，試片上除局部產生直徑小於1 mm的零星鼓泡之外，皮膜仍極為完整，無任何紅銹產生。大氣曝露結果如圖2右上角所示，由實驗結果發現，四個試片之腐蝕結果並沒有明顯的差異，除局部產生直徑小於1 mm的零星鼓泡之外，皮膜仍極為完整，無任何紅銹產生。

加噴金油的無機鋅粉系統經鹽霧4500小時試驗結果如圖2左下角所示，試片上僅有1~2處直徑小於1 mm的鼓泡，除此之外，皮膜仍極為完整，且無任何紅銹產生，最外層的金油仍保持原有光澤。加噴金油的大氣曝露試驗結果如圖2右下角所示，試片上除1~2處直徑小於1 mm的鼓泡之外，皮膜仍極為完整，且無任何紅銹產生，最外層的金油仍保持原有光澤。

3.3 金屬熔射系統

經鋁熔射噴塗試片之鹽霧試驗結果如圖3左上角所示，試片上有數十個直徑1~2 mm不等的鼓泡，試片皮膜大部分完好，僅有些微的白銹產生，但試片上尚無紅銹產生。大氣曝露結果如圖3右上角所示，四個試片之週邊均有明顯的鼓泡及白銹產生，由於鋁熔射試片邊緣並沒有以3M耐酸鹼膠帶保護，因此可以明顯看出腐蝕係由試片邊緣開始，再逐漸往中間漫延，惟經過二年五個月的實際曝露後，試片上仍無紅銹產生，即使是未經塗裝的試片側邊亦無紅銹產生。這也再次驗證犧牲陽極對角隅的保護效果。

鋅-鋁熔射試片的鹽霧試驗結果如圖3中間左側所示，試片上並無明顯的鼓泡及白銹產生。其大氣曝露結果則如圖3中間右側所示，試片上亦無明顯的鼓泡及白銹產生。鋅熔射的鹽霧試驗結果如圖3左下角所示，試片上已有明顯的鼓泡現象，但試片上並無白銹產生。大氣曝露結果如圖3右下角所示，試片上亦無明顯的鼓泡及白銹產生。

3.4 塑膠熔射系統

PE塑膠熔射經鹽霧試驗3216小時的實驗結果如圖4左上角所示，PE塑膠熔射皮膜有嚴重鼓泡現

象，惟鋼材並無紅銹產生。大氣曝露結果如圖4右上角所示，由於PE塑膠熔射僅在試片表面形成一層膜厚約150 μm的阻絕層，與一般有機塗裝系統相較，此一塑膠阻絕層並沒有任何防蝕顏料可抑制腐蝕產生，因此經二年五個月的大氣曝露實驗後，大部分的皮膜雖仍附著在試片上，但已有明顯龜裂及褪色現象，四個試片均已產生嚴重的腐蝕現象。

Nylon塑膠熔射試片經鹽霧試驗3216小時的實驗結果如圖4左下角所示，皮膜亦產生嚴重的鼓泡現象，且鋼材已有紅銹產生。Nylon塑膠熔射的大氣曝露結果大致與PE塑膠熔射相似，如圖4右下角所示，四個試片均呈現嚴重腐蝕現象，與PE塑膠熔射皮膜相較，部分的Nylon皮膜仍存在。

3.5 複合熔射系統

鋁熔射後再經PE塑膠封孔的複合熔射系統經鹽霧試驗3216小時的實驗結果如圖5左上角所示，漆膜尚無鼓泡現象，鋼材試片亦無紅銹產生。

大氣曝露結果如圖5右上角所示，試片上有多處鼓泡及白色氧化鋁腐蝕物產生，顯示部分PE塑膠熔射皮膜已經失效，與單一塑膠熔射系統比較，有熔射鋁作為底層，即使表層皮膜出現缺陷，底層的熔射鋁仍會產生犧牲陽極的作用，因此四個試片均無紅銹產生。

鋁熔射後再經Nylon塑膠封孔的複合熔射系統經鹽霧試驗3216小時的實驗結果如圖5左下角所示，漆膜尚無鼓泡現象，鋼材試片亦無紅銹產生。大氣曝露結果大致與鋁熔射/PE塑膠熔射相似，如圖5右下角所示，四個試片均有部分鼓泡與白色的氧化鋁腐蝕物出現，惟與鋁熔射後再經PE塑膠熔射之試片相較，鼓泡與腐蝕情形較為輕微，四個試片上亦無紅銹產生。

3.6 現場維護系統

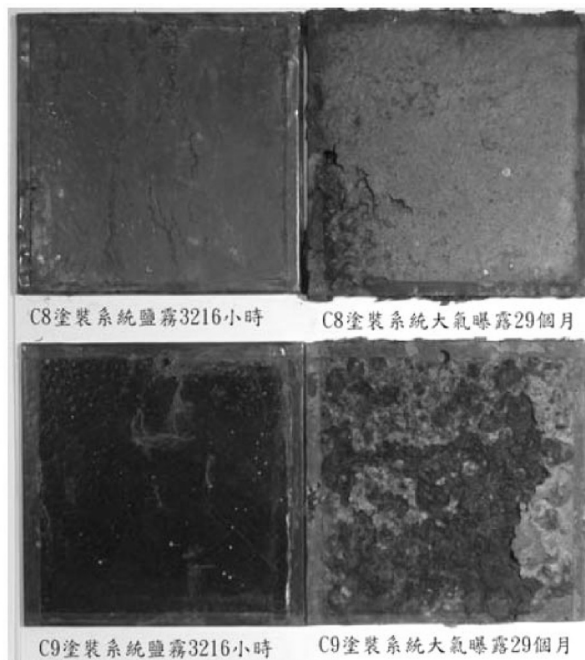


圖4 塑膠熔射系統鹽霧及大氣曝露實驗結果。

Figure 4 The salt fog and atmosphere exposure results of plastic spraying coating system.

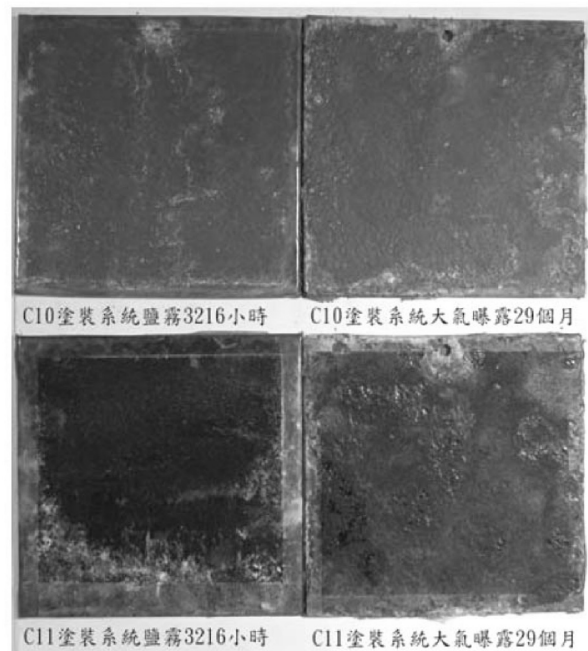


圖5 複合熔射系統鹽霧及大氣曝露實驗結果。

Figure 5 The salt fog and atmosphere exposure results of complex thermal spraying coating system.

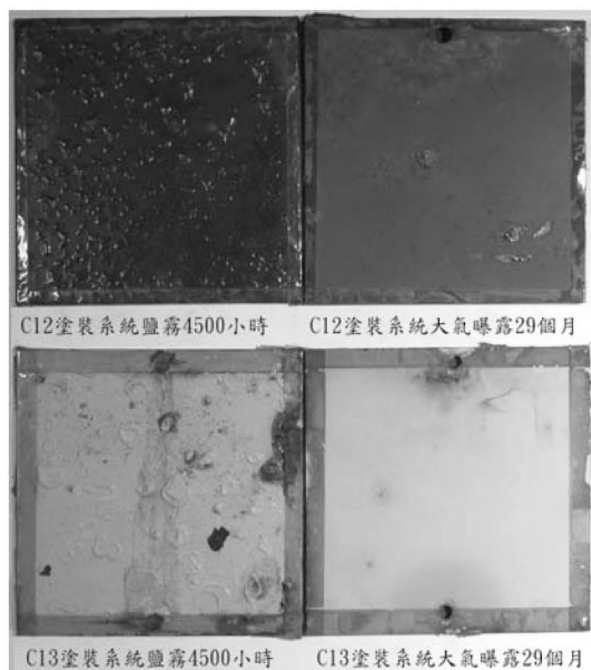


圖6 維護塗裝系統鹽霧及大氣曝露實驗結果。

Figure 6 The salt fog and atmosphere exposure results of field maintain system.

環氧修補系統塗裝試片經鹽霧4500小時試驗結果如圖6左上角所示，由試片上可明顯看到銹蝕產生，由於環氧底漆為阻絕型皮膜，腐蝕因子一旦穿透皮膜，將直接與底材接觸，因此試片上產生頗為嚴重的紅銹。其大氣曝露試驗結果如圖6右上角所示，觀察試片發現表層皮膜並無明顯破壞的情形，在試片週邊及靠吊掛孔部位之腐蝕情形極為嚴重，皮膜與基材之間已有明顯鼓起現象，且可看出明顯銹蝕產生，而基材腐蝕部位呈現鬆散的氧化層結構。

有機鋅修補系統試片經鹽霧4500小時試驗結果如圖6左下角所示，試片上已產生大型的鼓泡，在試片的邊緣及局部位置均有紅銹產生。鋅粉具有犧牲陽極的作用，由於試片上已有紅銹產生，應是該處的鋅粉已消耗殆盡的緣故。大氣曝露試驗結果如圖6右下角所示，試片上有大小不一的鼓泡現象，而在試片的邊緣及局部位置有紅銹產生，但銹蝕情況並不嚴重。

4. 討論

由鹽霧實驗結果發現，二種常用的鋼鐵材塗裝系統中，無機鋅粉漆的防蝕效果優於三聚磷酸鋁，但二種塗裝系統經鹽霧4500小時的試驗後均尚未產生紅銹。現有的塗裝系統亦具有不錯的防蝕效果，如能依規定施工，注意每一個處理的環節，基本上均可達到不錯的防蝕效果。然而就長期防蝕的觀點而言，三聚磷酸鋁的塗裝系統與無機鋅粉漆塗裝系統雖同屬重防蝕塗裝，但二者的防蝕機制並不相同。三聚磷酸鋁塗裝系統係利用塗料中的防蝕顏料與皮膜的緻密性來達到防蝕效果，屬阻絕型的皮膜，因此，一旦皮膜因前處理不當、有局部瑕疵如脫漆、鼓泡，或是組裝、拆卸及操作時產生刮傷，皮膜會從局部瑕疵進而擴及全面，導致皮膜失去防蝕效果，尤其是邊緣角隅處，皮膜的膜厚與附著性均較差。

無機鋅粉漆系統的防蝕機制是利用塗料中高固成份的鋅粉作為犧牲陽極，以達到底材的加凡尼保護效果。因此即使皮膜因前處理不當或是局部瑕疵，如脫漆、鼓泡及刮傷產生時，皮膜並不會因此失去防蝕效果。這種情形亦可由試片上得到驗證，在試片製作過程中為了方便試片吊掛，在試片上鑽有一直徑5.5 mm之通孔，此一圓孔因孔徑甚小，塗裝極為不易。

由現有塗裝系統的實驗結果顯示，在這些噴塗不易之邊緣及角隅部位，是塗裝系統的弱點，亦是腐蝕開始的原點。此種現象在三聚磷酸鋁塗裝系統中亦可發現，直徑較大的鼓泡均集中於圓孔處，反觀無機鋅粉漆的塗裝系統對圓孔的保護效果較佳，故無明顯的鼓泡現象。這是因為鋅粉對化學活性較低的貴金屬均屬於犧牲陽極，加凡尼效應可將保護效果延伸至沒有塗裝的圓孔。

由大氣曝露試驗結果亦證實，無機鋅粉漆具有極佳的防蝕能力，但由於許多腐蝕現象並無法由單純的實驗顯現出來，如裝備組裝後產生的罅隙，由外露裝備的使用現況即可得到佐證，大部分的腐蝕現象發生在邊緣、角隅、鉸道及結合處。

加噴金油的C2及C4塗裝系統，經二年五個月

的大氣曝露實驗後，皮膜均仍相當完整，鹽霧試驗結果亦呈現相同結果。

使用鋁、鋅及鋅-鋁等陽極材料的熔射，均具有長期防蝕的效果^[3-4]，其防蝕年限視作業環境、使用地點、熔射膜厚與材料選擇而定。一般而言，鋁熔射膜厚200 μm ，可於大氣環境下使用15年以上，在海洋性環境下使用10年以上，期間不需經過大規模維護。由於熔射後的皮膜孔隙率高，故須施以封孔處理以增加皮膜壽限。由實際的大氣曝露實驗及鹽霧試驗均證明金屬熔射具有極佳的防蝕效果。

金屬熔射塗裝系統的防蝕機制與無機鋅粉漆相同，由於熔射法係將陽極材料直接噴覆在底材上，並不使用溶劑或有機樹脂，且不需要熟化時間，因此熔射作業後可立即噴漆，皮膜中百分之百為固成分，陽極材料的純度更可達到99%以上，這是一般熱浸鍍或有機塗裝無法達到的，此外，金屬熔射作業亦是極符合環保的一種表處技術。

對以犧牲陽極為保護機制的皮膜而言，膜厚愈厚對基材的保護時間亦愈長。一般金屬熔射鋁或鋅之膜厚介於100 ~ 300 μm 之間，這也是一般熱浸鍍法或是有機塗裝無法達到的。熔射進行前基材須先經粗化的步驟，常見的粗化方式有噴砂、研磨等，其中以噴砂法最普遍，效果也最好。為得到較佳的皮膜附着力，基材噴砂後的表面粗度愈粗愈好，表面粗度與噴砂壓力、砂材粒徑及砂材種類有關。

由金屬熔射系統的鹽霧及大氣曝露結果，發現表層漆膜的損壞程度較其他塗裝系統嚴重，推斷其主因為熔射後基材的表面粗度提高，相同膜厚的漆膜並無法完全覆蓋熔射層，因而導致表層的漆膜鼓泡而失效。由於表層漆膜可提供熔射層阻絕外來腐蝕因子，並可將熔射層多孔的表層予以封孔，因此在金屬熔射後應進行研磨，研磨的作用除可降低熔射皮膜的粗度之外，同時亦可將附著不佳的金屬粒子予以去除。

塑膠熔射與金屬熔射的原理大致相同，將欲沉積在工件上的材料(塑膠粉末)先行熔融後，再經高壓空氣霧化後噴覆至工件上。常見的塑膠熔射材料有PE、PP、PVC及NYLON等。由於塑膠粉末經熔

射後，皮膜已經在工件上成膜，無需後續的烘烤，對於固定式外露裝備及無法烘烤之大型工件極為適合，國外普遍將塑膠熔射應用於大型化學貯槽、地下輸送管路、鑽油平台及無法烘烤的大型工件。塑膠熔射是一種阻絕型皮膜，膜厚高達150~1000 μm ，是一般粉體塗裝及有機塗裝的5 ~ 30倍，本次大氣曝露採用PE及Nylon二種塑膠皮膜，塑膠皮膜膜約120 ~ 150 μm ，如前所述，只要皮膜出現瑕疵或破損，皮膜的壽命會急速縮短。由實地大氣曝露結果發現，PE塑膠熔射皮膜雖已褪色，但並未與基材分離，腐蝕係由試片與皮膜之界面開始，進而延伸至整個試片，導致嚴重的腐蝕情形。觀察Nylon塑膠熔射試片，發現腐蝕係由皮膜表面缺陷開始，Nylon皮膜已與基材完全剝離。

由於塑膠熔射所須的工藝技術水準遠高於一般的熔射作業，即使破損的皮膜可於現場修補再生，但並非一般使用單位可現場執行，且塑膠皮膜一經附著後，除使用水刀之外，並無其他方式可以剝除，皮膜的附着力佳，是塑膠熔射的優點也是其缺點，因此不合格皮膜的剝除不易，這也是塑膠熔射無法普遍應用的主因。因此除了特殊的化學及耐藥性表處需求外，並不建議採用此種塗裝系統。

金屬熔射後再以塑膠熔射方式予以封孔處理，理論上應具有極佳的防蝕效果，由於此次塑膠熔射皮膜的厚度僅120 ~ 150 μm 之間，膜厚不足應是此複合式塗裝系統效果不佳的主因，如同上節所述，塑膠熔射的技術要求較高，若非特殊的防蝕需求，並不建議採用此種塗裝系統。

沒有一種塗裝系統可以保證永遠不會腐蝕，適時、適當的保養可以延長塗裝系統的壽限。由於維護作業多於現場執行，大多無法重新噴砂，僅能以手工具或電動工具進行機械性的除銹處理，因此後勤維護系統所使用的漆料必須配合現場施工條件，試片的製備亦模擬現場作業條件，僅以電動工具研磨至SIS St2。本實驗使用二種維護塗裝系統，其一是針對阻絕型皮膜，如三聚磷酸鋁塗裝系統，提供一漆膜堅硬、附着力佳且對表面清潔度要求較低的環氧厚塗型底漆。其次是針對保護型皮膜即無機鋅粉塗裝系統進行有機鋅粉漆的修護。無機鋅粉漆以

無機化合物為粘結劑，其優點是鋅粉的含量高，但要求之表面清潔度須達SIS Sa3級，一般應用於新建鋼構物或鋼(鐵)件之重防蝕塗裝，並不適合現場維護作業。而有機鋅粉塗裝系統因以有機樹脂為粘結劑，雖然鋅粉的含量略低於無機鋅粉漆，但由於對表面前處理的要求較低，極適合於現場的防蝕維護作業。

由鹽霧試驗及大氣曝露結果，發現二種維護塗裝系統中，有機鋅粉漆的效果優於環氧修補系統。由於環氧修補系統純粹為阻絕型皮膜，一旦皮膜遭受外來腐蝕因子穿透後，腐蝕速率會急速竄升，皮膜之防蝕性能將急速惡化，最後導致皮膜完全失效。反觀有機鋅粉漆系統，雖然部分表面漆膜已遭破壞，但由於底層鋅粉的加凡尼保護作用，具有雙重的保護效果，可減緩基材腐蝕的速率。實驗進行中為方便二者防蝕機制之比較，因此僅在有機鋅粉漆上加噴一道面漆，在實用上建議可於鋅粉漆上再加噴一道底漆以增加皮膜阻絕的性能，應可大幅提高該塗裝系統的耐蝕年限。

比較鹽霧試驗與大氣曝露的結果，發現腐蝕型態不盡相同，鹽霧試片因長期受到高溫鹽霧的侵襲，試片表面經常維持濕潤，皮膜的破壞肇始於皮膜產生鼓泡。反觀大氣曝露試片，由於表面經常是乾燥的，因此試片表層皮膜並沒有鼓泡現象，反而是保護試片邊緣的膠帶因不耐紫外線長時間的照射而紛紛剝落，其腐蝕係由皮膜與基材的界面開始。

含有鋅粉漆的試片，因具有犧牲陽極的加凡尼保護效果，可提供角隅及邊緣的保護，試片經大氣曝露試驗後，漆膜有局部鼓泡現象，試片上局部有紅銹產生。由大氣曝露試驗結果，可發現二種防蝕機制不同的維護系統均具有極佳的防蝕效果，但以有機鋅粉漆的防護效果較佳。

5. 結論

比對鹽霧試驗與大氣曝露實驗的結果，發現部分塗裝系統的兩種試驗結果並不一致。此種現象在實驗初期即已發現，以塑膠熔射為例，PE塑膠熔射的耐鹽霧性能明顯優於Nylon塑膠熔射，但大氣

曝露試驗則無太大差異。相同的問題也出現在維護塗裝系統，比較有機鋅粉漆與環氧修補底漆的鹽霧試驗結果，環氧修補底漆的耐鹽霧性似乎略勝一籌，但實地的大氣曝露實驗卻顯示，有機鋅粉漆的防蝕效果優於環氧修補底漆。這意味著鹽霧加速試驗並無法完全模擬實際的使用環境，即鹽霧加速試驗並無法完全取代實地的腐蝕驗證。尤其是以阻絕為目的的防蝕皮膜，皮膜的緻密性與厚度決定皮膜的防蝕壽限，其次是皮膜的缺陷難以預知，使得皮膜之實際使用壽命更難以評估。因此目前尚無法由鹽霧試驗結果直接評估塗裝系統實際服役的狀況。其次是塗裝系統的腐蝕程度判定極為主觀，並不同於一般的金屬腐蝕速率，可得到一量化且客觀的數據。然而鹽霧試驗結果仍可提供工程設計人員相當的參考資料，由於試片經鹽霧4500小時後的腐蝕狀況普遍較大氣曝露二年五個月嚴重，因此以鹽霧試驗4500小時的結果，來推估塗裝系統在澎湖地區二年五個月後之狀況應屬合理。惟此項推估也僅是一種參考，因為實驗試片在製作過程中比較嚴謹，所以實驗所得之結果應是該塗裝系統最佳之防蝕狀況，故塗裝系統的實際使用狀況，並非單純的鹽霧試驗或實地腐蝕驗證可以完全模擬的，因此在防蝕設計時應給予適當的安全係數。

此次塗裝系統的鹽霧及大氣曝露實驗，提供塗裝系統一個極佳的驗證機會，其結果將是往後塗裝系統訂定一個重要的參考指標，惟目前仍無法提供一種萬無一失的防蝕系統，同時也不是所有外露裝備都可適用同一種塗裝系統。由於試片製作時無論在表面清潔或漆膜厚度之要求上均極為嚴謹，且試片為平板，無應力腐蝕、罅隙腐蝕、異金屬腐蝕及銲道腐蝕等部位。反觀目前實際使用之裝備，動輒由數百個零附件組合而成，其中因材料、工程技術的選擇、機械加工，乃至於製程排序不同所造成之差異，絕非理論性的推導或單純的試驗可以完全模擬。由澎湖地區實地大氣曝露及實驗室進行的鹽霧試驗結果證實，即使是有機塗裝系統亦具有良好的防蝕性能，但實際的使用狀況卻不如預期。由此可見，塗裝系統的選擇與訂定僅是防蝕工程中的一環，吾人認為理想的防蝕工程應區分為以下五個

流程：(1) 整體的防蝕規劃；(2) 完善的藍圖審查制度；(3) 合理的防蝕規格訂定^[5-7]；(4) 嚴密的防蝕履約督導；(5) 定期的防蝕診斷與補強。此一流程不僅是環環相扣，而且是前後互相銜接，方能發揮最大的功能。

參考文獻

1. 張耀南、劉宏義、魏豐義，「碳鋼、耐候鋼與鍍鋅鋼在不同腐蝕環境十年之大氣腐蝕行為研究」，防蝕工程，第十九卷，第一期，2005年，第21～40頁。
2. 洪耀宗、王志華、施漢章、徐希白、林益全、劉日煬，「鍍鋅鋼材、5%鋅鋁鋼材及304不銹鋼之海洋大氣腐蝕研究」，防蝕工程，第十五卷，第三期，2001年，第107～114頁。
3. Corrosion Tests of Flame-Sprayed Coated Steel 19-Year Report, AWS (American Welding Society), (1974).
4. R. A. Sulit, AWS Guide for the Protection of Steel with Thermal Spray Coatings of Aluminum and Zinc and Their Alloys and Composites, National Thermal Spray Conference, Anaheim, CA, 7-11, June (1993).
5. 楊德均、沈卓身，金屬腐蝕學，冶金工業出版社(北京)，(1999)。
6. 趙克清，合理的防腐蝕設計，化學工業出版社(北京)，(1990)。
7. R. J. Landrum, Fundamentals of Designing for Corrosion Control- A Corrosion Aid for the Designer, NACE (1989) pp217-228.

收到日期：2004年10月27日

修訂日期：2005年3月4日

接受日期：2005年9月27日

