

鋼結構建築防鏽蝕工法之研究

內政部建築研究所研究報告

中華民國 96 年 12 月

鋼結構建築防鏽蝕工法之研究

研究主持人：何明錦

協同主持人：黃 然、張建智

研究助理：陳建宏、張志宇

內政部建築研究所研究報告

中華民國 96 年 12 月

**ARCHITECTURE AND BUILDING RESEARCH INSTITUTE
MINISTRY OF THE INTERIOR**

REPORT

on

Corrosion Prevention and Control of Steel Structures

By

**Ming-Chin HO
Ran Huang
Jiang-Jhy Chang
Chuen-Hung Chen
Chih-Yu Chang**

December, 2007

目次

目次.....	I
表次.....	III
圖次.....	V
摘要.....	VII
第一章 緒論.....	1
第一節 研究緣起與背景.....	1
第二節 研究目的.....	2
第三節 研究方法與流程.....	2
第二章 文獻回顧.....	5
第一節 防蝕機理概述.....	5
第二節 暴露環境分類.....	9
第三節 防護塗漆系統.....	11
第四節 試驗室性能試驗法.....	20
第三章 試驗計畫.....	29
第一節 試驗變數及試片.....	29
第二節 表面防護系統.....	30
第三節 試驗方法.....	32
第四節 試驗儀器及設備.....	37
第四章 結果與討論.....	41
第一節 塗層外觀及厚度.....	41
第二節 熱浸鍍鋅檢驗結果.....	42
第三節 塗層物理試驗.....	45
第四節 塗層化學抗性試驗法.....	50
第五節 塗膜耐久性試驗法.....	57
第六節 綜合討論.....	70
第五章 結論與建議.....	73
第一節 結論.....	73
第二節 建議.....	75
附錄一 鋼結構防蝕塗漆技術手冊(草案).....	77

附錄二 審查會議紀錄.....	103
參考書目	109

表次

表 2-1	腐蝕分類	10
表 2-2	台灣地區腐蝕環境分類	11
表 2-3	腐蝕環境、使用壽命和塗膜厚度的關係	16
表 2-4	規定乾膜厚度與公差	16
表 2-5	塗層保護系統實例	17
表 2-6	塗層保護系統實例(續).....	18
表 2-7	循環試驗及試驗順序	25
表 3-1	噴砂級別	29
表 3-2	表面處理之標準對應	29
表 3-3	防護系統編號	30
表 3-4	防護系統編號說明	30
表 3-5	附著性試驗之評定點數表(方格法).....	34
表 3-6	附著性試驗之評定點數表(x切割黏帶法).....	34
表 3-7	膜厚計規格	37
表 3-8	鹽霧複合耐候試驗箱之試驗項目與範圍	38
表 4-1	塗層厚度(μm)	42
表 4-2	附著量試驗結果	43
表 4-3	塗層衝擊損傷評分方式	46
表 4-4	塗層衝擊損傷評分表	46
表 4-5	塗層表面硬度	48
表 4-6	耐磨損指數	50
表 4-7	耐酸 30 天硬度試驗結果	51
表 4-8	耐酸 30 天附著性試驗結果	51
表 4-9	耐鹼 30 天硬度結果	54
表 4-10	耐鹼 30 天硬度結果	56
表 4-11	鹽水噴霧試驗 500 小時腐蝕面積率與數字分級	58
表 4-12	鹽水噴霧試驗重量變化(g).....	59
表 4-13	表面受損之腐蝕型態	70

圖次

圖 1-1	研究流程	3
圖 2-1	不同防蝕機理之腐蝕電位與腐蝕電流示意	6
圖 2-2	陰極控制防護電化學機理	7
圖 2-3	陽極控制防護電化學機理	7
圖 2-4	電位控制防護電化學機理	8
圖 2-5	混合控制防護電化學機理	8
圖 2-6	電位控制有機/無機塗層電化學機理	9
圖 2-7	光澤度測定裝置示意	21
圖 2-8	塗膜厚度取點位置示意	22
圖 2-9	落砂試驗示意	23
圖 3-1	熱浸鍍鋅作業流程	31
圖 3-2	膜厚計	37
圖 3-3	維氏硬度儀	38
圖 3-4	鹽霧複合耐候試驗機與設定操作面板	39
圖 4-1	試片外觀	41
圖 4-2	塗層厚度	42
圖 4-3	附著性試驗後試片外觀	43
圖 4-4	附著量試驗前後試片外觀變化	44
圖 4-5	附著性試驗	45
圖 4-6	EZ 衝擊試驗後外觀	47
圖 4-7	SZ 衝擊試驗後外觀	47
圖 4-8	硬度試驗結果	48
圖 4-9	落砂試驗後試片外觀	49
圖 4-10	浸漬強酸溶液 24 小時塗層外觀	52
圖 4-11	浸漬強酸溶液 30 天後塗層外觀	52
圖 4-12	EZ 及 AZ 試片耐酸試驗後外觀	53
圖 4-13	SZ 試片 30 天強酸浸漬後網格區域鏽蝕狀態	53
圖 4-14	耐酸 30 天前後硬度比較圖	54
圖 4-15	浸漬強鹼溶液 24 小時塗層外觀	55

圖 4-16 浸漬強鹼溶液 30 天後塗層外觀	55
圖 4-17 浸漬氯化鈉溶液 30 天後塗層外觀	56
圖 4-18 浸漬氯化鈉溶液 3 個月後塗層外觀	57
圖 4-19 鹽水噴霧試驗 500 小時後塗層外觀	59
圖 4-20 鹽水噴霧試驗 2500 小時後塗層外觀	60
圖 4-21 鹽水噴霧試驗 2500 小時後 C 試片外觀	60
圖 4-22 鹽水噴霧試驗重量損失	61
圖 4-23 鹽水噴霧試驗各試片腐蝕速率	61
圖 4-24 耐濕試驗 500 小時後塗層外觀	62
圖 4-25 耐濕試驗 2000 小時後塗層外觀	63
圖 4-26 UV-B 紫外燈照射後 Z 試片外觀變化	64
圖 4-27 UV-B 紫外燈照射後 C 試片外觀變化	64
圖 4-28 UV-B 紫外燈照射後 P1 試片外觀變化	65
圖 4-29 UV-B 紫外燈照射後 P2 試片外觀變化	65
圖 4-30 UV-B 紫外燈照射後 EZ 試片外觀變化	66
圖 4-31 UV-B 紫外燈照射 SZ 試片 30 天後外觀變化	66
圖 4-32 UV-B 紫外燈照射 EP 試片 30 天後外觀變化	67
圖 4-33 UV-B 紫外燈照射 E1 試片 30 天後外觀變化	67
圖 4-34 UV-B 紫外燈照射 E2 試片 30 天後外觀變化	68
圖 4-35 UV-B 紫外燈照射 AZ 試片 30 天後外觀變化	68
圖 4-36 曝曬試驗 500 小時後塗層外觀	69
圖 4-37 曝曬試驗 2000 小時後塗層外觀	69

摘要

關鍵字：塗層、有機物、犧牲陽極、電位防蝕、性能驗證、手冊

一、 研究緣起

台灣地區現行鋼結構建築物內部構件表面處理以達到需求防火時效為優先要件，室內防火設計的方式主要採用表面包覆處理，亦即以防火被覆、混凝土或防火板材等保護鋼構件，一般情況不再進行其他防蝕處理措施；然而，依 ISO 12944-2 腐蝕環境分類台灣地區屬於中、高等級(C4)至嚴重等級(C5)的腐蝕影響區域，鋼結構建築物暴露於外部環境的構件或配件仍然於會產生普遍明顯腐蝕的現象，鋼結構建築物腐蝕破壞的案例亦時有所見，因此，探討鋼結構防鏽蝕材料、技術與工法仍有其必要性。

二、 研究方法及過程

鑑於國內新建與既有之鋼結構建築物防蝕工法尚未建立完備之際，參照相關資料與討論結果，本研究計畫分成三部分執行，第一部分：藉由蒐集國內外文獻資料，彙整腐蝕環境分類、鋼結構防蝕材料、技術與工法等資料；第二部分：選取不同防蝕機理與屬性類別(generic type)的商業化產品製作塗層鋼材試片進行實驗室性能驗證試驗，其中包括物化性與抗腐蝕性試驗及加速與自然暴露試驗；第三部分：獲致相關塗層防蝕效能資訊並參照 ISO 規範擬定鋼結構防蝕塗漆技術手冊草案，以提供工程界應用參考。

三、 重要發現

台灣屬高溫及高濕度亞熱帶海島型氣候，且部分地區受到高度工業化因素的影響，環境因素會造成台灣大部分地區鋼結構易生銹蝕，此外，國內鋼結構使用的鋼鐵構件於施工前處理步驟與施工組裝後的防蝕保護措施均無可依遵循的嚴謹規範或可資引用的技術手冊，導致結構物在一般使用的條件下，常因忽略嚴重腐蝕環境因素及使用前未進行適當的防護處理或使用後未進行定期維護工程，所以常於結構物預期使用年限內發生鋼構件嚴重腐蝕，甚且影響整體結構物的安全性或使用性，更且達到不堪使用的情況，例如台東三仙台大橋完工後六年就發生嚴重腐蝕，以及十八王公橋及重陽大橋完工不到三年亦發生腐蝕必須進行維修補強的工作。許多案例證明若鋼結構於規劃、設計階段時，未考量適當防蝕材料或工

法，將會導致完工使用後付出更多的維修與維護成本，使得生命週期成本大幅提高。所以鋼結構物的防蝕設計與施工為影響結構物品質與成本的重要因素之一。

本研究計畫中附著性與耐衝擊性試驗結果顯示除環氧樹脂鋅粉塗料、無機鋅粉塗料試片有些微凹痕外，其他塗料塗層均無明顯剝落現象，亦即試驗塗層大致具有良好的附著性與耐衝擊性。硬度試驗結果顯示金屬鍍層具有較高的硬度，但從落砂試驗可以看出環氧樹脂與 PU 塗層，硬度雖然不高，卻也有良好的耐磨性，此因 PU 與環氧樹脂塗層材料有較高的韌性，降低落砂的衝擊效應，同時或至適當的耐磨性；但鋅粉塗層的硬度與耐磨性卻相對較低。耐酸試驗結果顯示熱浸鍍鋅與鋅粉塗層的耐強酸性能較差，但鋅鋁塗層卻具有較好的耐酸性，另外，環氧樹脂與 PU 塗層皆有相對較佳的耐酸性。耐鹼試驗、耐鹽水試驗以及耐濕試驗結果顯示各種塗層均無劣化現象。加速耐候試驗顯示環氧樹脂系列塗層抗紫光線輻射的能力較差，紫光線輻射下的鋅粉塗層也有些微顏色改變情形。鹽水噴霧試驗與自然曝曬試驗結果顯示熱浸鍍鋅、鋅粉塗層及鋅鋁塗層都有不錯的防蝕能力，但熱浸鍍鋅塗層表面色會變暗，光澤度變差，影響美觀性。PU 與環氧樹脂系列塗層在刮痕以外的區域無鏽蝕產生，刮痕深及基材鏽蝕會塗層底部延伸至表面。

參照試驗結果與 ISO 規範擬定鋼結構防蝕塗漆技術手冊草案，其中包括暴露環境分類、塗漆防蝕設計考量、表面類型及塗漆施作前表面處理、塗漆防蝕系統、試驗室性能試驗法及塗漆作業執行與監督及允收標準等，可作為國內材料商，設計工程師、營造商與業主應用或參考。

四、 主要建議事項

目前鋼結構防蝕工程尚未針對塗漆塗層系統訂定設計、材料、施工、監工、性能試驗法與驗收等相關規範，本研究藉由蒐集國內外學術研究成果、規範或案例，以及進行鋼結構防蝕塗層性能試驗，以獲得相關塗層防蝕效能資訊並擬定鋼結構防蝕塗漆技術手冊草案。綜合提出下列建議：

鋼結構防蝕塗漆技術手冊適用作為鋼結構腐蝕防護塗漆系統相關技術之參考。應用範圍依鋼結構形式、基材表面狀況及塗漆施作前表面處理方式、鋼結構腐蝕暴露環境、防護塗漆系統屬性類別、施工或作業方式以及腐蝕防護系統耐久性需求等而決定之。適用的類型為使用碳鋼或低合金鋼(厚度不小於 3mm)參照規範設計製作完成的鋼結構。表面型式及表面處理分為：未塗封表面，熱噴鋅、鋁或其合金表面、熱浸鍍鋅表面、電鍍鋅表面、滲鋅防蝕表面、塗漆表面。本手冊

僅規定塗漆塗層相關技術。結構物於大氣中腐蝕環境分為六類，結構物於水中或土中腐蝕環境分為三類。塗漆系統分類為：粉末塗封材料、熱烘瓷漆、熱固塗漆、大於 2mm 乾膜厚塗封、表面化學處理產品。塗層系統耐久性分為低、中及高三類。

第一章 緒論

第一節 研究緣起與背景

一、研究緣起

台灣鋼結構建築物多興建於高溫潮濕易腐蝕環境，未施作防蝕工程或使用不當防蝕工法，會降低鋼結構服務品質與使用壽命，增加為修補強頻率，提高結構物的生命週期成本，所以彙整研析鋼結構物防鏽蝕材料與工法以延長鋼結構之的使用品質、安全與壽命，為目前國內營建產業界努力推動永續發展、永續建築的重要課題之一。台灣地區高樓層建築物因耐震及完工時效考量，使用鋼結構取代鋼筋混凝土結構的案例逐年增加，土木構造物亦因外觀、跨距及耐震考量，常採用鋼材為主結構材料。然而國內大部分區域屬的多雨潮濕副熱帶型氣候，依 ISO 分類多為嚴重腐蝕暴露區，對於構件裸露於大氣腐蝕環境下的鋼結構建築物，防蝕材料的選擇與施工更是鋼構建築物使用品質與安全的關鍵要素。台灣地區現行鋼結構建築物內部構件表面處理以達到需求防火時效為優先要件，室內防火設計的方式主要採用表面包覆處理，亦即以防火被覆、混凝土或防火板材等保護鋼構件，一般情況不再進行其他防蝕處理措施；然而，依 ISO 12944-2 腐蝕環境分類台灣地區屬於中、高等級(C4)至嚴重等級(C5)的腐蝕影響區域，鋼結構建築物暴露於外部環境的構件或配件仍然於會產生普遍明顯腐蝕的現象，鋼結構建築物腐蝕破壞的案例亦時有所見，因此，探討鋼結構防鏽蝕材料、技術與工法仍有其必要性。鑑於國內新建與既有鋼結構建築物防蝕工法尚未具體完整建立之際，本研究擬藉由蒐集國內外文獻資料，彙整出適用於國內建築物使用環境之防鏽蝕工法，另外選取不同防蝕機理與其商業化產品製作成塗封鋼材試片進行一系列效能驗證試驗，其中包括物化性與抗蝕性等試驗。目前鋼結構建築物防鏽蝕工法尚未明訂規範，本研究擬蒐集國內外學術研究成果、規範或案例，以及進行鋼結構防蝕塗層性能試驗，以獲得相關塗層防蝕效能資訊並擬定鋼結構防蝕塗漆技術手冊草案。

二、研究背景

鋼鐵材料被使用在各種工程領域中如機械零件、石油管路、船舶、飛機及土木工程的鋼筋和鋼結構等，都可以見到它的蹤跡，是目前人類使用量最多的一種金屬材料。鋼材最初是由鐵礦經施加熱能冶煉而成的，依據熱力學的概念，自然界中任何物質都有趨向能量較低的方向發展，而金屬腐蝕正是一種放出能量的自

然發生的現象，因此在暴露環境允許下，鋼鐵材料將會產生自發的腐蝕。除了材料本身的屬性類別外，暴露環境因子 (corrosion stress) 對腐蝕發展速度與範圍也有很大的影響。台灣位處亞熱帶且四面環海，擁有高溫潮濕的氣候，屬於有利於腐蝕發展的環境，再加上近幾年工業及交通廢氣污染日益嚴重，更使得鏽蝕造成的結構損害問題更趨嚴重。若不採取對應的防蝕措施，鋼結構會發生腐蝕損害 (corrosion damage)，對國家社會經濟、人身安全造成直接或間接的損失和傷害，對保存地球資源或降低能源耗損而言更有負面影響。統計資料顯示全世界鋼鐵年產量 25% 會因鏽蝕而消耗損，而美國因腐蝕所造成的經濟損失約占國民生產毛額的 3~5%，鏽蝕產生的損失約有 40% 可以藉由適當的防蝕措施而加以避免，所以金屬防蝕技術的相關研究與防蝕材料的研發也就成了各國政府及民間團體戮力支持的重要課題，始能降低腐蝕造成的損害。

第二節 研究目的

鋼結構建築物暴露於溫濕易腐蝕環境，為確保結構物的使用品質與安全，彙整防鏽材料與工法等資訊，為目前土木、建築界推動永續經營的重要課題。本研究為探討鋼結構建築物使用不同防鏽材料與工法、技術與機理及延壽效益。本研究計畫針對目前國內公共工程最常應用之「表面隔絕腐蝕環境法」於鋼結構防蝕等工法，依下述研究目的與方向進行探討分析。

- (1) 彙整分析文獻及相關資料，比較國內外鋼結構建築防鏽工法或技術；
- (2) 進行防鏽塗層材料性能驗證試驗，以獲致適於台灣地區之防鏽工法；
- (3) 草擬鋼結構防蝕塗漆技術手冊草案包括防鏽機理、材料選擇及施工技術。

第三節 研究方法與流程

本研究進行鋼結構建築防鏽工法之研究，主要為文獻蒐集、分析與彙整，以及進行相關指標性試驗，訂定草擬鋼結構防蝕塗漆技術手冊草案。研究流程如圖 1-1 所示。

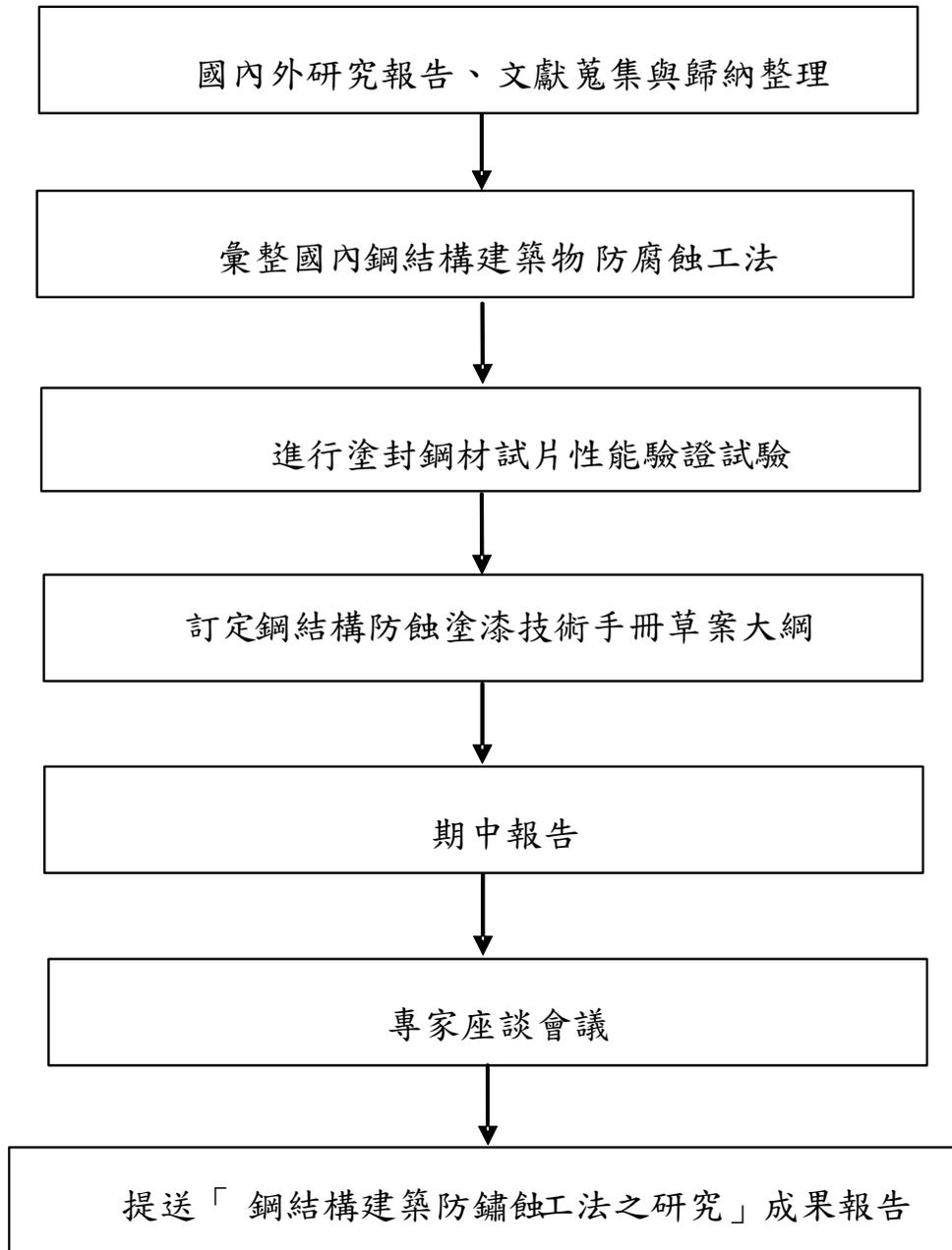


圖 1-1 研究流程

第二章 文獻回顧

針對鋼鐵防蝕技術在國內外已有多年的研究經驗與報告，本研究計畫文獻彙整與工作項目如下，(1)完成鋼結構防蝕機理分析與防護材料應用彙整；(2)歸納與分析 ISO 規範；(3)評估塗膜厚度與塗膜主成份等變異參數，對施工便利性與防蝕效能之關連性；(4)比較多種防鏽工法耐久性；(5)維修、檢測、補強防蝕；(6)針對多種防鏽工法經探討與分析後，選擇最適型與經濟性防蝕方法；(7)配合腐蝕環境，訂定建議之防蝕塗裝系統，以及其標準作業程序；(8)鋼結構建築物使用目的分類；(9)試驗計劃中各種防蝕系統之施工作業內容，包括塗裝方法：刷塗、滾塗、無氣噴塗；塗裝時間間隔；塗裝環境如溫度、濕度、通風、照明；塗裝膜厚值；(10)表面處理等級與方法包括噴砂、酸洗、電動、手工具；(11)參考國內外既有工法、技術規範、試驗標準；(12)塗裝工廠及工地檢驗項目及可行驗證項目。

第一節 防蝕機理概述

不同防蝕機理之腐蝕電位與腐蝕電流示意如圖 2-1。針對鋼結構防蝕塗層技術依機理可分為五大類型，初步彙整概述如下。

(1)陰極控制防護塗層(cathodic control protection by sacrificial metal coatings)，電化學機理示如圖 2-2。該機理為犧牲金屬的塗層，一般於鐵金屬表面施加一層鋅，其腐蝕電位較裸露的鐵金屬低，因鋅塗層表面與陰極電位差增加，以及鋅的氧化改變電流密度，一般可應用的塗層材料為鋅、鋁、錳、鎳與其它合金。

(2)陽極控制防護塗層(anodic control protection by noble metal coatings)，電化學機理示如圖 2-3。此方法為增加陽極電位，並於陽極鈍態金屬上塗層，一般使用塗層材料為貴金屬如鉻、鎳與合金，其表面會於大氣下呈現鈍態狀，此類金屬材料提供非常高的電阻以抗腐蝕。

(3)電位控制防護金屬塗層(electromotive force control protection by noble metal coatings)，電化學機理示如圖 2-4。該方法係利用腐蝕電池電位於陰極與陽極電位之差異，一般使用塗層材料為銅、銀、白金、金與其它合金。

(4)混合控制防護塗層(mixed control protection by conversion coatings)，電化學機理示如圖 2-5。利用表面塗層氧化作用增加陽極與陰極極化曲線的斜率，一般使用塗層材料為無機的複合物如氧化鋁等。

(5)電位控制有機/無機防護塗層(electromotive force control protection by

organic/inorganic coatings), 電化學機理如圖 2-6 所示。此塗層目的為增加腐蝕電池電路阻抗，一般此法使用的塗層材料為有機的複合物如油漆等，該類型複合物塗層能延緩離子的傳輸，因此能抑制腐蝕電池的形成。

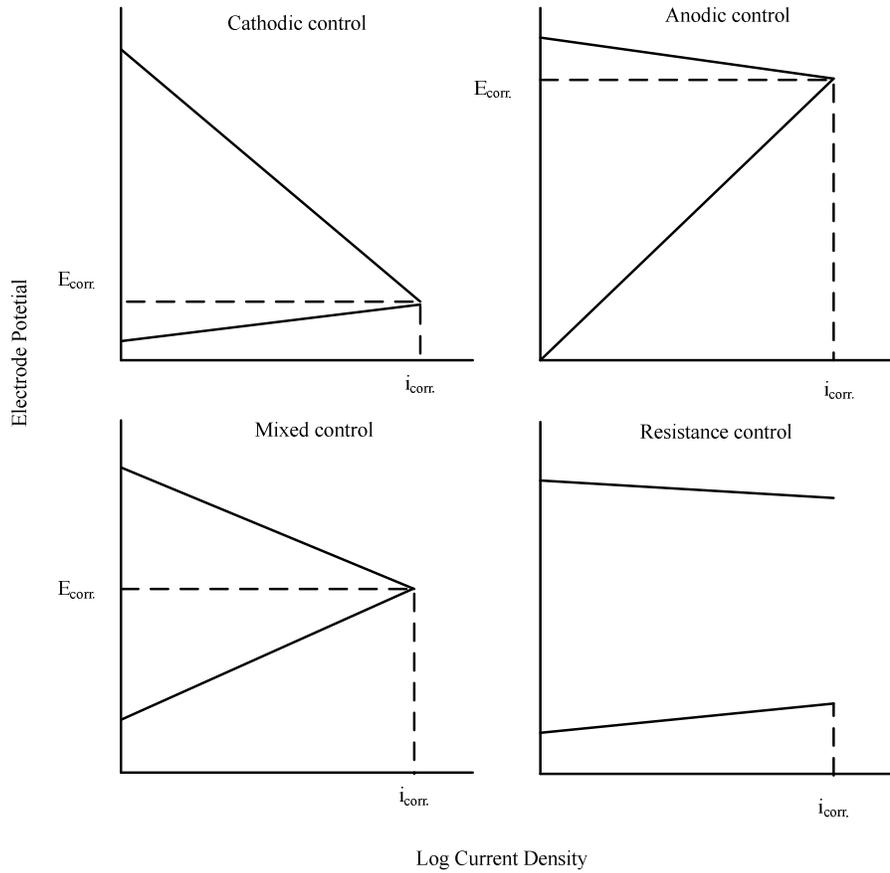


圖 2-1 不同防蝕機理之腐蝕電位與腐蝕電流示意
(1989 corrosion-resistant coatings technology P.12)

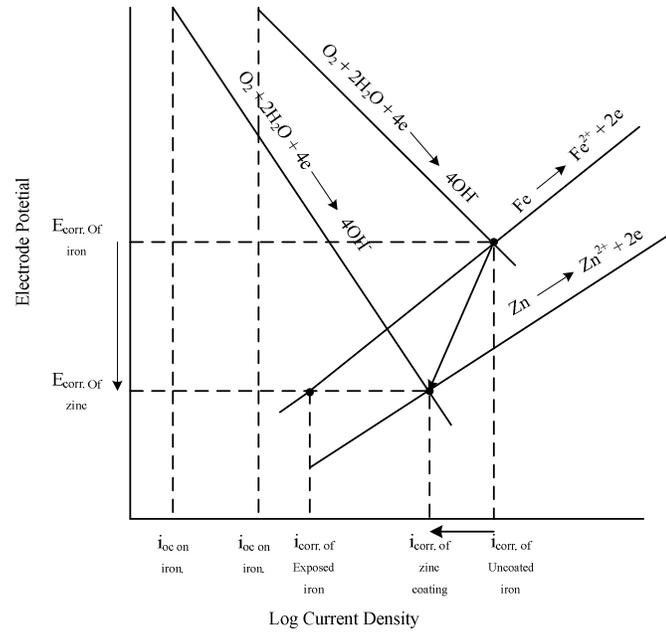


圖 2-2 陰極控制防護電化學機理
(1989 corrosion-resistant coatings technology P.12)

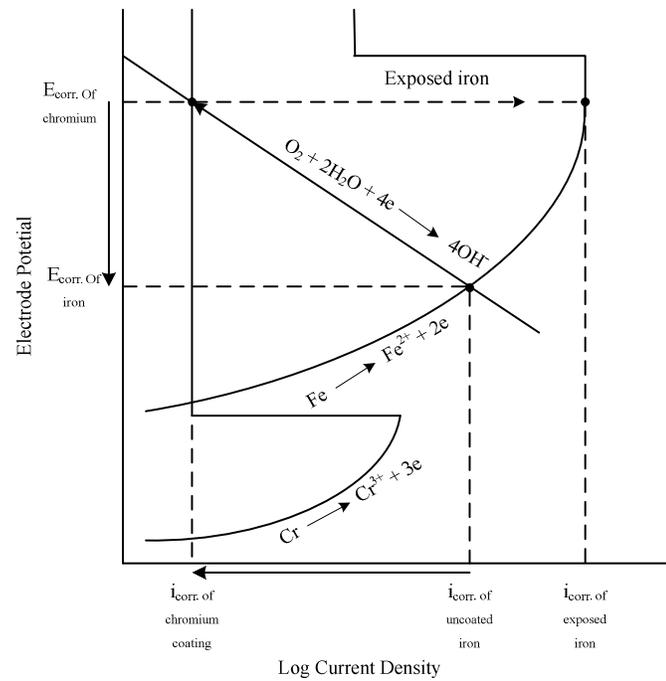


圖 2-3 陽極控制防護電化學機理
(1989 corrosion-resistant coatings technology P.16)

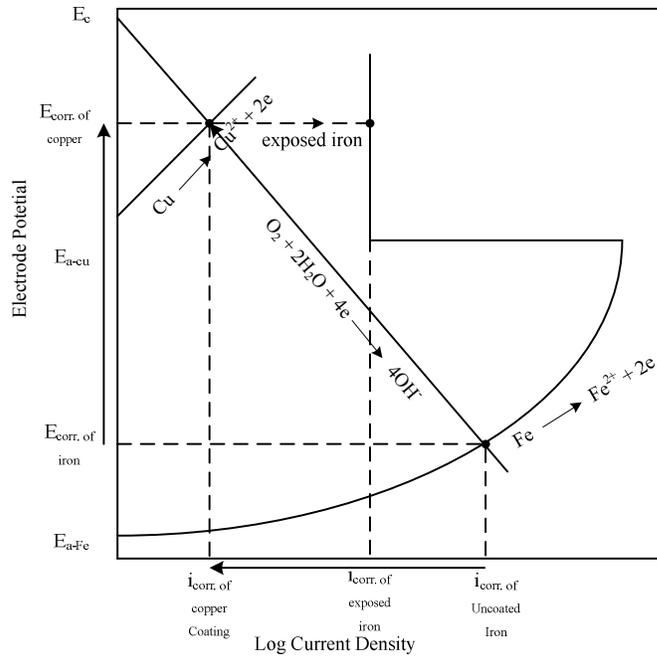


圖 2-4 電位控制防護電化學機理
(1989 corrosion-resistant coatings technology P.14)

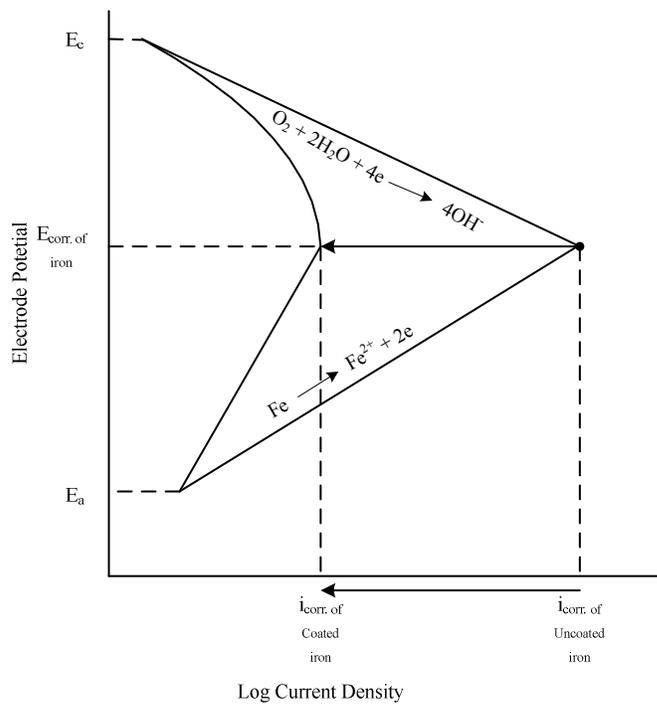


圖 2-5 混合控制防護電化學機理
(1989 corrosion-resistant coatings technology P.17)

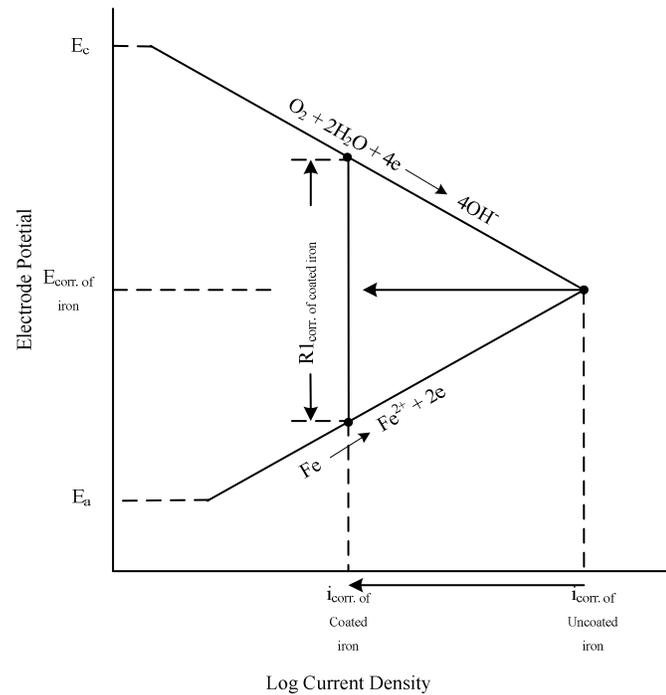


圖 2-6 電位控制有機/無機塗層電化學機理

(1989 corrosion-resistant coatings technology P.17)

第二節 暴露環境分類

一、ISO 腐蝕環境分類

ISO 依據大氣腐蝕現象將腐蝕環境分類為 C1、C2、C3、C4 與 C5-I 及 C5-M 六大項。一般來說，鄉村地區、低污染的地區、有暖氣的建築內部等，是 C1 和 C2 環境。城市及工業環境、中等程度的污染區、二氧化硫含量高、溫度高的生產區是 C3 環境。工業區、沿海和化工廠等可視作 C4 環境。高濕度的工業區域污染特別厲害的是 C5I 工業腐蝕環境，高濕度加上高鹽度就是 C5M 海洋腐蝕環境，詳述於表 2-1 所示。ISO12944 中列舉的腐蝕環境並無法涵蓋所有的情況，因此塗料公司還要根據自己的研究和經驗進行特別的塗裝方案設計。

表 2-1 腐蝕分類

腐蝕 類型	腐蝕 環境	單位面積重量損失與消耗厚度 (一年暴露時間下)				典型氣候環境範例 (供參考)	
		鐵		鋅		外部環境	內部環境
		重量損 失(g/m ²)	腐蝕厚 度(μm)	重量損 失(g/m ²)	腐蝕厚 度(μm)		
C1	極低	≤10	≤1.3	≤0.7	≤0.1	-----	空氣乾燥與污 染不明顯環 境，例如：辦公 大樓/學校/旅館 溫溼度變化、水 氣冷凝與低空 氣污染環境，例 如：運動館/車 站
C2	低	>10-200	>1.3-25	>0.7-5	>0.1-0.7	低污染大氣環 境，鄉村	中等溼度與低 度空氣污染廠 房，例如：釀造 廠/酪農場/洗衣 房
C3	中等	>200-400	>25-50	>5-15	>0.7-2.1	微量氯離子或 中度污染大氣 環境，城市區/ 低開發工業化 區/受濱海微影 響區	高溼度與高度 空氣污染之廠 房，例如：化學 工廠/游泳池/製 船廠
C4	高	>400-650	>50-80	>15-30	>2.1-4.2	中度氯離子或 高度污染大氣 環境，工業區/ 濱海區	高溼度與大氣 嚴重腐蝕之工 業區
C5-I	極高(工 業區)	>650-1500	>0-200	>30-60	>4.2-8.4	高度氯離子散 佈之濱海與近 海岸區	經常性高度空 氣污染環境
C5-M	極高(濱 海區)	>650-1500	>0-200	>30-60	>4.2-8.4		經常性高度空 氣污染環境

(ISO 12944-2: 1998)

二、台灣地區腐蝕環境

根據研究文獻指出，台灣地區腐蝕環境對照 ISO 腐蝕類型示如表 2-2，將台灣地區進行腐蝕等級分類可得國內大部分區域為 C3 等級以上，以及濱海沿線為 C5 等級甚且超越 C5 以上，因此建築物之防蝕工程更應當謹慎規劃與執行。

表 2-2 台灣地區腐蝕環境分類

腐蝕類型	腐蝕環境	台灣地區大氣環境下
C3	中等	奮起湖(阿里山)
C4	高	基隆、土城、樹林、新竹、竹東、斗南、小港、枋山、頭城
C5-I	極高(工業區)	高雄、新營
C5-M	極高(濱海區)	台中港、新達港、台東大武、台東市
C5+	無定義	陽明山、林口、墾丁佳樂水、花蓮、澎湖湖西

(參照ISO 12944-2分類)

第三節 防護塗漆系統

金屬基材之表面防蝕處理塗層依材料性質可分為金屬塗層(metallic coating)與非金屬塗層(nonmetallic coating)兩大類型，分別敘述如下。

一、金屬塗層

鋼鐵基材之表面處理加工方式包括熱浸塗層(hot-dip coating)、電鍍(electroplating)、擴散(diffusion)、熱噴(thermal spray)、物理汽相沉積(physical vapor deposition)、化學汽相沉積(chemical vapor deposition)、機械塗層(mechanical coating)七大類型。鋼材應用於建築與土木工程上，其防蝕塗層處理技術主要為熱浸塗層、電鍍與擴散等三類，各處理方式之特性敘述如下：

(一)表面處理方式

(1)熱浸塗層

熱浸鍍鋅是各先進國家採用的防蝕方式，但國內的熱浸鍍鋅似乎使用年限不

夠久所以必須用到複合防蝕。而國內使用之塗層大多為環氧樹脂，主要為隔絕作用，然而若有破損，其破損部份就會腐蝕，真要有效果還是必須使用富鋅塗料，才有犧牲陽極陰極保護之效。

以熱浸方式進行表面處理為鋼材防蝕最受廣泛應用之方式，熱浸過程乃將欲處理之鋼材表面清潔後置入熔融爐浴沉浸處理。熱浸方法包括：a.連續處理(continuous process)，將欲使用之塗層材料用量置入爐浴以控制塗層重量，再以50psi 低壓拭焊方式(low pressure wiping system)固化，其熱浸塗層厚度約為6~50 μm ；b.批次處理(batch mode)，熱浸塗層厚度約為50~130 μm 。

熱浸金屬之熔點最大限制為 732 $^{\circ}\text{C}$ (1350 $^{\circ}\text{F}$)。一般常使用之熱浸塗層以鋅(zinc)、鋁(aluminum)或鋁鋅合金(zinc-aluminum alloys)為主。

(2)電鍍

電鍍方式亦為表面處理常見之應用方式，電鍍方法首先將陰極之鋼板置入電鍍槽中，另取一可行電極置於陽極，電鍍開始電解液之金屬離子逐漸減少，同時附著於鋼板表面形成一薄層。一般電鍍膜厚約為2~10 μm 。電鍍浴成分、電解質速率(electrolyte velocity)、電流密度與溫度等控制因素將決定金屬或合金鍍層之化學特性。電鍍浴成分含有水溶性鹽類(aqueous salts)提供之離子以進行電化學反應；進行負電性(electronegative)金屬電鍍時，例如欲電鍍鋁金屬，需使用熔化鹽類或與非質子性溶劑(aprotic solvent)同時使用。一般以電鍍方式進行表面處理之金屬鍍層包括鋅、鎳鋅(zinc-nickel)、鐵鋅(zinc-iron)、錫(tin)、鉻(chromium)、鎳(nickel)、鎘(cadmium)與銅(copper)為主。

(3)擴散

應用擴散方式進行防蝕處理，乃將鋼材與防蝕金屬材料接觸，並於高溫環境發生交互擴散，通常防蝕材料為粉末型。滲鋅防鏽法(sheradizing)為最早與最常以擴散機理使用之方法，以鋅粉與鋼材於370 $^{\circ}\text{C}$ 旋轉高溫爐形成鐵鋅合金層，合金層厚度為50~100 μm ，其中鐵含量占8~10%。另外，鋁和鉻金屬亦以擴散方式應用於鋼材表面之高溫氧化防蝕處理，以氣體型態擴散至金屬表面。

(二)表面處理塗層材料

鋼材之表面處理以金屬材料進行合金化表面處理(coating alloys)，其塗層材料包括鋅、鋅合金、鋁、鋁鋅合金、錫鉛合金(terne)、錫板(tinplate)、鉻、鎘等，本研究針對常使用之防蝕塗層金屬如鋅、鋅合金、鋁、鋁鋅合金等進行探討。

(1) 鋅

純鋅塗層通常以熱浸鍍或電鍍方法應用於鋼材表面處理。熱浸鍍鋅塗層厚度約為 6~20 μm (40~140 g/m^2)；電鍍鋅塗層通常較熱浸鍍鋅塗層均質但施作價格高，其厚度約為 4~13 μm (20~90 g/m^2)。鋅金屬於 1740 年代由歐洲開始進行商業化的熔鍊，1742 年法國化學家 P. J. Moulin，為第一位表示鋅金屬可用於保護鋼材上，直到 1830 年代才由法國化學家 Sorel 得到鋼材上鍍鋅技術製程專利，並命名為 Galvanizing，使用至今已經超過 100 年歷史。

鋅金屬在強酸及強鹼下都會腐蝕，尤其在 pH 值大於 13 及 pH 值小於 6 之環境介質中腐蝕行為更為顯著；鋅金屬介於 pH 值 8~12.5 間會因腐蝕生成物覆蓋表面而呈鈍化狀態，腐蝕速率很慢，除非有外在因素使鈍態保護膜破壞，否則鍍鋅鋼材將不會腐蝕。

熱浸鍍鋅鋼材是將已除鏽的鋼材熱浸於含有熔融鋅(450 $^{\circ}\text{C}$)的槽中，產生一層由鋅與富鋅合金的多層次冶金覆蓋層，組成粗糙耐磨。熱浸鍍鋅鋼材有兩種防蝕機制，分別為：(1)在許多環境中，鋅金屬較鋼材不易腐蝕，鍍鋅層扮演著隔離鋼材與腐蝕環境接觸之介質；(2)以電化學角度而言，鋅的標準氫電極電位小於鋼材，因此在腐蝕過程中，鋅扮演陽極(被腐蝕)的角色，鋼材扮演陰極(被保護)的角色，防蝕原理中犧牲陽極的方法即在於此。

(2) 鋅合金

鋅合金應用於塗層材料包含鋁-鋅、鎳-鋅與鐵-鋅合金等，通常亦以熱浸鍍或電鍍方法應用於鋼材表面處理。熱浸鐵鋅塗層稱為 galvaneal 迦凡尼，鐵金屬佔 8~12%，厚度為 6~11 μm (40~80 g/m^2)，鐵鋅塗層含有多相微結構，包括表層的富鋅 zeta 相、富鐵 delta 相以及靠近鋼鐵基材的 gamma 相。電鍍鐵鋅塗層之鐵含量佔 8~18%，厚度為 8 μm 。鐵鋅合金塗層較純鋅塗層具有較佳的可焊接性，且因為表層具有微孔隙結構，故與一般油漆塗層有較佳附著能力。

鎳鋅塗層通常以電鍍方式進行，鎳含量為 10~14%，厚度為 3~6 μm ，鎳鋅塗層因為較純鋅塗層具有較佳的可焊接性與成型能力而被機動工業之嵌板/結構板 (panels) 普遍使用。鋁鋅塗層通常使用 5% 含量之鋁金屬與其他微量金屬於商業販售上應用。鋁鋅塗層普遍以添加 0.1% 美鈰合金 (mischmetal) 如鈰與鐳 (cerium and lanthanum) 等微量金屬，以增加於熔融浴之可濕性 (wettability) 與降低塗層裸

(3) 鋁與鋁合金

Type 1：鋼板之鋁塗層製程為連續熱浸熔融鋁浴方式，且包含 5~11% 之矽

(silicon)元素，其塗層較 Type2 薄且成形性亦較佳，厚度一般為 10~20 μm 。成品廣泛使用於高溫環境，耐溫可達 675 $^{\circ}\text{C}$ ，特別使用於動力燃料排氣管(tailpipes)與隔焰設備(mufflers)。

Type 2：鋼板之鋁塗層製程為連續熔射鋁線熱浸方式，形成鋁鐵介金屬層(intermetallic layer)以及鋁鍍蓋(overlay)層，厚度總共為 20~40 μm 。Type2 鋁塗層鋼板目前於輕結構物已廣泛應用，例如金屬建築物與倉儲。

鋅鋁合金塗層於鋁含量 55%、鋅含量 43.5%與矽含量 1.5%之熱浸浴製作完成，其塗層組成為鋁鋅金相層包含富鋅樹枝體(interdendritic)區，厚度通常為 20~25 μm (150g/m²)。鋅鋁塗層普遍應用於金屬建築廠房，塗層耐溫高達 675 $^{\circ}\text{C}$ ，可應用於機動工業之熱屏障(shields)、氣體儲槽屏障與隔焰設備。

二、非金屬塗層

非金屬塗層材料又可分為有機(organic)與無機(inorganic)塗層，有機塗層包括使用於分散無機或金屬材料之配方材料，例如透明塗層(clear coatings)、一般油漆(typical paints)、金屬片層(metal flake coatings)與有機基底迦凡尼塗層(organic-based galvanic coating)；無機塗層則如磷酸鹽(phosphates)、陽極塗膜(anodic coatings)、氧化物(oxides)、碳化物(carbides)、氮化物(nitrides)、硼化物(borides)、矽化物(silicides)、無機基底迦凡尼塗層(inorganic-based galvanic coatings)。

(一)表面處理塗層材料

(1)壓克力樹脂(acrylic resin)

壓克力樹脂塗料早在 35 年前即已發展出來，但近年來由於材料成本之降低，其使用才有顯著之發展。壓克力樹脂之性質隨者壓克力單體之種類、聚合條件、聚合度及聚合構造等而有所不同。

(2)環氧樹脂(epoxy resin)

環氧樹脂最早為瑞士的 CIBA 公司依據 P. Castan 的專利開始生產，而在大戰後，美國 Shell 公司也加入生產行列。如今，再加上 Dow chemical 公司之參與，已佔全世界的環氧樹脂生產量的絕大部分。早期的環氧樹脂，是由雙酚 A 系環氧樹脂與 epichlorohydrin 縮合而成的產物。此後，新的種類環氧樹脂亦在繼續研發之中。

(3)聚胺基甲酸酯樹脂塗料(PU)

PU 塗料最早於 1933 年由德國的 Otto Bayer 以其他共同的研究人員發展出來，

在二次大戰時期主要作為軍事用途。到了 1940 年 Bayer 公司更開發出 D/D Lacquer，由於其優異的特性，而廣泛的使用至今。PU 塗料為合成化學工業之產物，由含 isocyanate ($-N=C=O$) 與氫氧基 (OH) 之化合物化合而成。PU 塗料強韌而有彈性，其附著性及耐候性也頗為優異，同時光澤及硬度也比環氧樹脂與壓克力樹脂來的高，但是其最大缺點在於照射紫外線後易變為黃色。

(4)傳統鋼結構表面油漆

傳統鋼結構表面油漆包括 (1)底漆：為改質環氧樹脂塗料，乾膜厚度 $50\ \mu\text{m}$ ，塗刷次數為 1 次，所使用調薄劑為改質環氧樹脂塗料調薄劑；(2)中層漆：為聚胺基甲酸酯樹脂塗料，乾膜厚度為 $30\ \mu\text{m}$ ，塗刷次數為 1 次，所使用調薄劑為聚胺基甲酸酯樹脂塗料調薄劑；(3)面漆：為聚胺基甲酸酯樹脂塗料，乾膜厚度為 $30\ \mu\text{m}$ ，塗刷次數為 1 次，所使用調薄劑為聚胺基甲酸酯樹脂塗料調薄劑。

(5)複合防蝕法

複合防蝕法包括(1)鋅鋁熔射加樹脂塗料塗裝；(2)熱浸鍍鋅加樹脂塗料塗裝；(3)富鋅塗料；(4)鋅鋁熔射加富鋅塗料塗裝；(5)熱浸鍍鋅加富鋅塗料塗裝。近年來，以複合防蝕處理之鋼構橋樑工程作實例分析，比較鋅鋁熔射外加油漆塗裝、熱浸鍍鋅外加油漆塗裝，以及重防蝕油漆塗裝等三種複合重防蝕之差異性，經由大氣腐蝕試驗、鹽水噴霧實驗及模擬潮汐不同環境試驗結果得知，複合防蝕工法中，防蝕效果依序為鋅鋁熔射加油漆塗裝最佳，熱浸鍍鋅加油漆塗裝次之，重防蝕油漆塗裝較差。

三、表面處理塗層耐久性分析

比較壓克力樹脂、環氧樹脂、聚胺基甲酸酯樹脂塗料等三種不同塗層，固定在相同厚度下其經乾濕循環測試後的巨觀金相圖比較可得知，環氧樹脂塗層時其防蝕性能最佳，PU 次之，壓克力最差。與鹽霧試驗的巨觀金相圖比較亦有相同趨勢。此外，塗層表面在乾濕循環測試下更易於發生紅銹與起泡，因此乾濕循環測試比鹽霧測試更加速其塗層的破壞。

EIS 所測得的塗層阻抗值的趨勢亦為環氧樹脂 > PU 樹脂 > 壓克力樹脂；塗層電容值趨勢卻為壓克力樹脂 > PU 樹脂 > 環氧樹脂。塗層厚度越厚，塗層電阻會上升，而塗層電阻值卻下降。

四、塗層厚度要求

對於塗層厚度的規定，依據腐蝕環境及使用壽命來定，如表2-3所示。

ISO12944在此說明了塗層系統耐久性的3個範圍：

L 為低耐久性：設計壽命 5 年以下

M 為低耐久性：設計壽命 5~15 年

H 為低耐久性：設計壽命15年以上

為了達到有效的防蝕效果，以及使塗層規格對膜厚有明確規定，對於乾膜厚度的定義是十分關鍵的。表2-4依據ISO12944-5的規定，明確給定相對於規定乾膜厚度的乾膜厚度測量公差。

不同的油漆公司，針對於ISO12944均有適合於該公司的產品配套來工用戶選擇，表2-5是根據不同的腐蝕環境和不同的塗料產品進行的舉例和一般經驗總結。

表 2-3 腐蝕環境、使用壽命和塗膜厚度的關係

腐蝕環境	使用壽命	乾膜厚度 (μm)	腐蝕環境	使用壽命	乾膜厚度 (μm)
C2	低	80	C4	低	160
	中	150		中	200
	高	200		高	240(含鋅粉) 280(不含鋅粉)
C3	低	120	C5I	低	200
	中	160	C5M	中	280
	高	200		高	320

(ISO12944)

表 2-4 規定乾膜厚度與公差

所有測量值	$\geq 80\%$ 規定乾膜厚度
平均值	100%規定乾膜厚度
標準內容簡述	除非另有協定，否則乾膜厚度不允許小於規定乾膜厚度的 80%，允許乾膜厚度值在規定乾膜厚度的 80%~100%之間，只有所有測量值的平均值等於或超過規定的乾膜厚度值，都是允許的

(ISO12944)

表 2-5 塗層保護系統實例

腐蝕環境		塗料類型	塗層系統	乾膜厚度 (μm)	備註
C1	L	環氧樹脂	厚漿型環氧漆	80	
	M	醇酸樹脂	醇酸底漆	40	
	H		醇酸面漆	40	
C2	L	醇酸樹脂	醇酸底漆	40	
			醇酸面漆	40	
	M	醇酸樹脂	醇酸底漆	80(40 \times 2)	厚漿型底漆可以 一道成膜
	H	環氧/聚胺 酯	厚漿型環氧底漆	100	>15 年的方案， 最好使用環氧系 統
			脂肪族聚氨酯面漆	60	
C3	L	醇酸樹脂	醇酸底漆	80(40 \times 2)	厚漿型底漆可以 一道成膜
			醇酸面漆	40	
		環氧樹脂	厚漿型環氧底漆	120	無需裝飾性要求 時可選用此方案
	M	醇酸樹脂	醇酸底漆	80(40 \times 2)	厚漿型底/面漆可 以一道成膜
			醇酸面漆	80(40 \times 2)	
	環氧樹脂	厚漿型環氧底漆	150	無需裝飾性要求 時可選用此方案	
H	環氧/聚胺 酯	厚漿型環氧底漆	150	>15 年的方案， 最好使用環氧系 統	
		脂肪族聚氨酯面漆	50		
C4	M	富鋅/環氧 中層漆/聚 氨酯	環氧富鋅底漆	50	底漆最低要求為 40 μm ，環氧中層 漆通常選用雲母 環氧鐵型
			環氧中層漆	100	
			脂肪族聚氨酯面漆	50	
		環氧磷酸鋅 /環氧中層 漆/聚氨酯	環氧磷酸鋅底漆	50	環氧中層漆通常 選用雲母氧化鐵 型
		環氧中層漆	100		
		脂肪族聚氨酯面漆	50		

表 2-6 塗層保護系統實例(續)

腐蝕環境		塗料類型	塗層系統	乾膜厚度 (μm)	備註
C4	H	富鋅/環氧/ 聚氨酯	環氧富鋅底漆 環氧中層漆 脂肪族聚氨酯面漆	50 140 50	底漆也可適當加厚到 $80\mu\text{m}$ ，中層漆適當減薄到 $110\sim 120\mu\text{m}$ 。如果使用無機鋅，厚度要求 $75\mu\text{m}$ 或 $80\mu\text{m}$ 。
		環氧磷酸鋅/ 環氧中層 漆/聚氨酯	環氧磷酸鋅底漆 環氧中層漆 脂肪族聚氨酯面漆	50 150 80(40 \times 2)	如果不使用富鋅底漆，總膜厚增加到 $280\mu\text{m}$ 。
C5 I	M	富鋅/環氧/ 聚氨酯	環氧/無機富鋅底漆 環氧中層漆 脂肪族聚氨酯面漆	80 150 50	在 C5 環境中，底漆必須使用富鋅底漆。
	H	富鋅/環氧/ 聚氨酯	環氧/無機富鋅底漆 環氧中層漆 脂肪族聚氨酯面漆	80 150 80(40 \times 2)	厚漿型聚氨酯面漆可以一道成膜；厚漿型環氧中層漆也可以增加到 $180\mu\text{m}$ ，面漆減到 $50\mu\text{m}$ 。
		富鋅底漆 聚矽氧烷	環氧/無機富鋅底漆 丙烯酸聚矽氧烷塗料	80 120	該方案是特例，膜厚沒有遵循 ISO12944 的要求，有著同樣的耐腐蝕性能。
<p>1. L 為低耐久性： <5 年 M 為低耐久性： 5~15 年 H 為低耐久性： >15 年</p> <p>2. 在 C4 和 C5 I 環境下，推薦 5 年以下的方案是沒有意義的，建議制定 5 年以上的方案。</p> <p>3. C5-M 現在已經使用 ISO 20340 進行制訂方案，通常用於海洋平台等結構，因此不在這裡進行討論。</p>					

(ISO12944)

五、塗層乾膜厚度測量標準

乾膜厚度測量中採用的標準有 ISO 2809-1997 以及美國的 SSPC-PA2 要求如下:

(1) 每 100ft²(注:1ft²=0.093m²), 進行 5 組任意測試(每組取 3 個讀數的平均值)-注意: 單個讀數不受規定, 但包括在"任意點"測試的平均值中。

(2) 5 組任意測試的平均值(即, 15 個測試點)不得高於、也不得低於規定的厚度。

(3) 單個測試點的厚度不得低於規定厚度的 80%, 也不得高於規定厚度的 120%。

(4) 最低膜厚的規定:

任何 100ft²(9.3m²)面積內的任一測試點的厚度不得低於規定的最低厚度的 80%。平均厚度不得低於規定的最低厚度。

任何測試值的讀數可能會低於規定數值。

如果特定 100ft²(9.3m²)面積內任意測試點的平均厚度符合或高於規定的最低厚度, 但有一個或多個任意測試點的厚度規定的最低厚度的 80%, 則可能需要增加測試, 以限定不符合要求的區域。

(5) 最高厚度:

任何 100ft²(9.3m²)面積內的任一測試點的厚度不得高於規定的最高厚度的 120%。

平均厚度不得高於規定的最高厚度。

任何測試值的讀數可能會高於規定值。

100ft²(9.3m²)面積內任意測試點的平均厚度符合或低於規定的最高厚度, 但有一個或多個任意測試點的厚度高於規定的最高厚度的 120%, 則可能需要增加測試, 以限定不符合要求的區域。

在特定情況下, 可查閱生產商的資料以決定是否允許較高的最高厚度讀數。

(6) 測試區域:

1000ft²(93m²)以下區域, 任意選擇並測試三個 100ft²(9.3m²)的區域。

如果那些區域的乾膜厚度符合規定範圍, 則繼續進行。

如果不符合規定範圍, 以增加測試, 以限定不符合規定的區域, 然後再重新開始。

對於 1000ft²(93m²)以上的區域, 如上所述測試第一個 1000ft²的乾膜厚度符合要求, 則對另外的每 1000ft²(93m²)任意選擇測試 100ft²(9.3m²)的區域。

六、國內鋼結構防蝕工程案例分析

林口高架位於台十五線 20k+205 至 21k+270 段為國內首座鋼製橋梁採用熱浸鍍鋅防蝕之高架橋公路橋梁之一，常年受海風、鹽霧、海水與林口發電廠排放大量不明煙霧及塵粒的侵襲，造成鋼構腐蝕現象，遂積極辦理橋梁防蝕修復工程，復因原橋梁採用熱浸鍍鋅處理方式僅完工 4-5 年即產生嚴重腐蝕，後經評估及專家建議採用鋅鋁熔射施工法，並於表面塗裝油漆，藉此阻隔鋼構材與外界接觸以達到防蝕效果。

熔射準備工作包括 3.5 噸工程車、高空作業車、4000 psi 以上高壓清洗機、防塵網搭設、鋼構表面清洗處理。鋼構鋅鋁熔射施工步驟依序為(1)高壓水 4000 psi 以上清洗鋼構表面之粉塵、鹽份等不潔之附著物，清洗後須以高壓空氣機吹乾；(2)表面處理：將鋼構表面鏽蝕及熔射處以乾式噴砂除銹至 Sa2 1/2 以上，表面粗糙度 Rz60 μ m 以上，除銹後立即以高壓空氣機吹乾；(3)熔射施工：線徑為 3.17mm，85/15 鋅鋁合金線，採電弧式熔射噴塗，其膜厚為 150 μ m 以上；(4)封孔處理：封孔劑為稀釋 50%之改質環氧樹脂塗料，環氧樹脂滲入熔射被覆內之量應為 250 g/m²(鋅鋁熔射應符合 JIS H8305 之規定，附著強度應達 60 kgf/m²)。

第四節 試驗室性能試驗法

一、塗膜表面特性目視檢測法

(一)光澤度試驗

本試驗法參照 CNS10756-1 或 ASTM D523。光澤與一個表面在某方向反射光的能力有關，在相同的幾何學狀況下從一樣品反映出到標準的表面的發光流比率，以此測量光澤度，標準表面是被擦亮的玻璃板(200×150×5mm)，如圖 2-7 所示。測定塗膜光澤在入射角與受光角分別為 20 度、60 度、85 度時之反射率，以鏡面光澤度之基準面之光澤度為 100 度時之百分率表示。變換位置測定 5 次。若塗面有刷痕等之方向性時，再同一位置由互成直角之方向測定。測定前須用與試片之光澤度相同程度之二次基準面將測定裝置調整。將入射角之鏡面光澤度 5 次測定值予以平均，測定值在 10 以上時修整為整數，未滿 10 時修整為小數點以下一位。

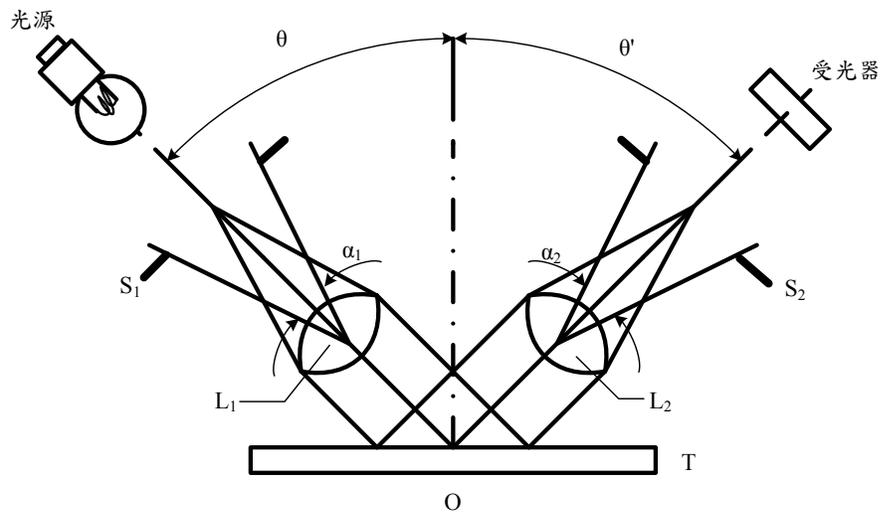


圖 2-7 光澤度測定裝置示意
(CNS10756-1)

(二) 塗膜色差值

本試驗法參照 CNS10756-1。在漫射白晝光下或顏色觀察室內，將試樣之乾燥塗膜之顏色與參比樣品相比較，由目試檢查有無色差。光源使用 CNS9007 第 3.1.4 節所規定之漫射晝光。參比樣品係產品標準所規定之塗料參比樣品。將試片與參比樣品排在同一平面內，在與眼睛相距約 50cm 處彼此並排或予以重疊。然後，將試片以及參比樣品，對 0 度入射角之照明面由 45 度方向觀察比較。參比樣品與試片之顏色差異不大時，即為“與參比樣品比較顏色差異不大”。

二、塗膜物理性質試驗法

(一) 塗料膜厚度量測

本試驗使用電磁膜厚計直接量測試片之膜厚，量測點共五點約落於圖 2-8 區分之區域中，且試片邊緣 10 mm 不予量測，取此五點之平均值作為此試片之塗膜厚度。五點之平均值不得高於、也不得低於規定的厚度。單個測試點的厚度不得低於規定厚度的 80%，也不得高於規定厚度的 120%。

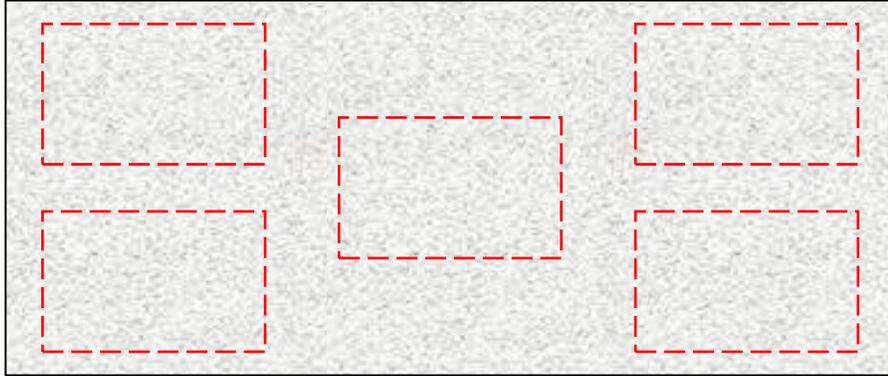


圖 2-8 塗膜厚度取點位置示意

(三)耐衝擊試驗法

檢查塗膜之耐衝擊性。將試片的單面朝上水平放置及固定，使之重錘之球自由墜下，並於重錘以靜止，不旋轉及不擺動之狀態下，穩定放下，將衝擊後之試片至於室內 1 小時後，檢查塗膜之損傷情形。試片上之塗膜未因受衝擊而引起凹痕龜裂、剝離等現象時，即可視為「無因衝擊而引起凹痕龜裂、剝離等變形」。

(四)塗膜硬度試驗

維氏硬度儀係利用經校準之機台在設定的荷重下，採用正方錐體兩面對角線為 136° 的鑽石方壓痕器壓入受測試件表面，找尋試體之適當位置後，目鏡尋找焦距。每撞擊一次之周圍最多撞擊 3 次。持續一段時間後移去荷重及壓痕器，藉由量測壓痕的對角線長度及荷重大小決定出硬度值 (HV)。維氏硬度可依下列公式計算：

$$HV = 1.8544P/d^2$$

P：加載 (kgf)

d：壓痕對角線平均值 (mm)

(五)塗膜耐磨試驗

落砂試驗：本試驗法參照 ASTM D968，將大量標準砂倒入磨損試驗機的漏斗，使砂呈 90° 落下而打在塗裝式片上，如圖 2-9 所示，砂流速：21 to 23.5 sec/2l，衝擊試片之落砂量達到 90%，當試片受檢測面上出現一個小黑點，並逐漸擴大至 2mm 左右時，立即關上開關停止落砂，在秤取所剩磨料的質量，從 2 次量測中計算所需用砂質量。觀測塗裝試片之耐磨損情形。耐磨耗性可依下列公式計算：

$$A = W/T$$

A：耐磨耗係數

W：使用之落砂量，kg(計算至小數第一位)

T：試片塗裝膜厚，單位 mil(計算至小數第一位)

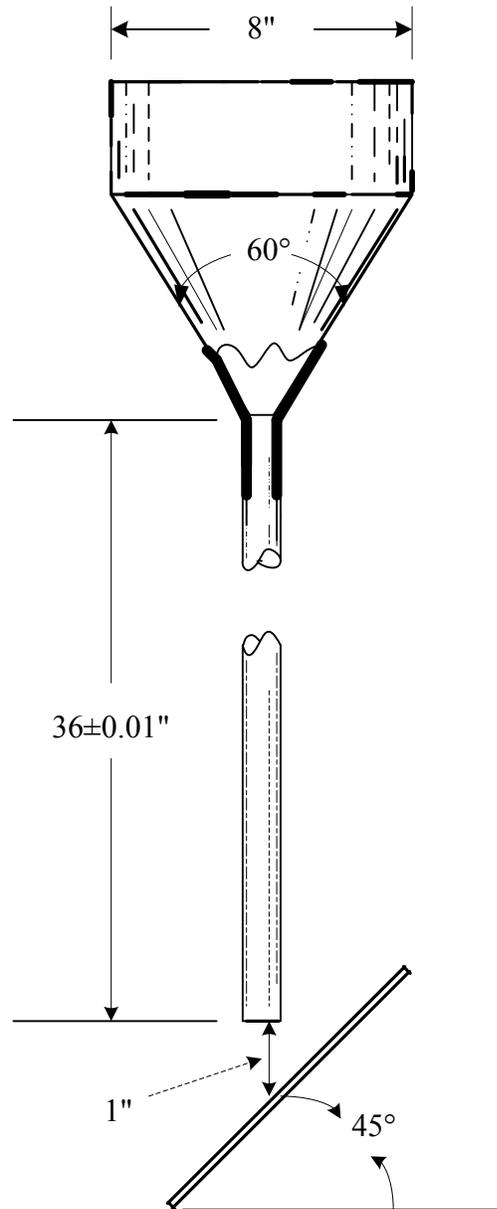


圖 2-9 落砂試驗示意

(ASTM D968)

三、塗膜抗化學性試驗法

(一)耐酸試驗法

將試片浸漬於酸溶液中，觀察塗膜狀態及溶液之變化情形。將塗膜試片，插放 2000ml 玻璃燒杯中，並加入 5W/V% H_2SO_4 溶液約至試片五分之四深，於 24 小時後取出試片，並以清水清洗，放於室內乾燥 2 小時後，檢查塗膜。當長期浸漬試驗時，則應浸漬每至 30 天時，換新試驗溶液。此試驗中，試片之周圍及離液面約 10mm 以內部分之塗膜，不作為觀察對象。以目視觀察塗膜上有無膨脹、龜裂、剝離、針孔、軟化、生鏽等缺失。更須觀察浸漬過之溶液無著色與無混濁，並認為原狀試片觀察比較光澤、變色程度不大時，評定為「酸浸漬試驗無異常」。

(二)耐鹼試驗法

將試片浸漬於鹼溶液中，觀察塗膜狀態及溶液之變化情形。試驗方法如下：將塗膜試片，插放 2000ml 玻璃燒杯中，並加入 5W/V% Na_2CO_3 溶液至約試片五分之四深，於 24 小時後取出試片，並以清水清洗，放於室內乾燥 2 小時後，檢查塗膜。倘長期浸漬試驗時，則應浸漬每至 30 天時，換新試驗溶液。此試驗中，試片之周圍及離液面約 10mm 以內部分之塗膜，不作為觀察對象。以目視觀察塗膜上有無膨脹、龜裂、剝離、針孔、軟化、生鏽等缺失。更須觀察浸漬過之溶液無著色與無混濁，並認為原狀試片觀察比較光澤、變色程度不大時，評定為“鹼浸漬試驗無異常”。

(三)耐鹽水性

將試片浸漬於氯化鈉溶液中，觀察塗膜狀態及溶液之變化情形。試驗方法如下：將塗膜試片，插放 2000ml 玻璃燒杯中，並加入 3W/V% $NaCl$ 溶液至約試片五分之四深，於 96 小時後取出試片，並以清水清洗，放於室內乾燥 24 小時後，檢查塗膜。當長期浸漬試驗時，則應浸漬每至 30 天時，換新試驗溶液。此試驗中，試片之周圍及離液面約 10mm 以內部分之塗膜，不作為觀察對象。以目視觀察塗膜上有無膨脹、生鏽、龜裂以及剝離等現象與原試片作比對，變化不較原狀試片為大者，評定為「氯化鈉溶液浸漬試驗無異狀」。

四、塗膜耐久性試驗法

(一)鹽水噴霧試驗法

本試驗依照 ASTM B117-95 規範。其鹽水濃度為 $5\pm 1\%$ ；pH 值為 6.5~7.2；鹽水比重為 1.2055~1.0400；空氣壓力 10~25 psi；噴霧量 1~2 ml/hr；槽內溫度為 $35\pm 1^\circ C$ ；飽和空氣桶壓力為 1 kg/cm^2 溫度為 $47\pm 1^\circ C$ 將以塗裝完成之 70 mm × 5 mm × 6 mm 之版狀試片，塗膜表面先以刀片畫一至底材露出，且於試片四周施以

保護後，將試片主要面與鉛直線成 15~30° 置於鹽水噴霧機中。試驗完畢後，將試片洗淨，並依 ASTM D610、ASTM D714 及 ASTM D1654 的規範，針對塗膜外觀及割線部分銹蝕與起泡進行評估；對於裸材試片則表面不畫×，僅觀察表面腐蝕情況。評定塗膜上有無銹污、膨脹、剝離及其程度。

(二)耐濕性

本試驗法參照 ASTM D2247，將試片置於恆溫恆濕箱中，恆溫恆濕箱之溫度保持在 $38 \pm 1^\circ\text{C}$ ，相對溼度為 $98 \pm 2 \text{ RH}\%$ ，因為樣品和環境之間的溫差使環境中的水蒸氣凝結在試片上，並以 ASTM D523 或 ASTM D1654 Procedure A Method 2 或 ASTM D714 評估，檢視試片有無顏色變化、起泡、剝落，軟化等狀況。

(三)耐濕冷熱反覆性

本試驗法參照 CNS11607。塗膜經濕潤或浸漬狀態後，檢查受溫度變化時之塗膜變化。依試樣之產品標準所規定的循環條件處理試片後，於擴散晝光之下以目視檢查塗裝有無異狀。循環試驗條件之範例如表 2-7 所示。試片無看到銹污、龜裂、剝離，膨脹、白化時，可評定為「能耐濕冷熱反覆性」。

表 2-7 循環試驗及試驗順序

條件	循環試驗及試驗順序		
1 濕潤(溫度、溼度、時間)	低溫(溫度、時間)	標準狀態(時間)	
2 浸漬(溫度、時間)	低溫(溫度、時間)	高溫(溫度、時間)	

(CNS11607)

(四)粉化度

本試驗法參照 CNS11607。施於加速耐候性、耐候性等試驗而粉化的試樣塗面上用濕潤的印象紙以一定之載重加壓於塗面，將印象紙由粉化塗膜粉受污染之程度與評定用照相比對。找出與印相紙附著污染最相近之評定用照相，以該點數為試樣之點數。若在二個評價用照相中間時，應以中間之點數表示之。

(五)加速耐候試驗

本試驗法參照 ASTM G154，係將試片置於耐候試驗台或紫外線燈箱中，使用 UV-B313 燈管照射，在觀察時間到達時取出試片，經由與室內對照組相互比對，

並以 ASTM D523 進行評估，以檢視試片有無膨脹、龜裂、剝落，軟化、生鏽、色差及粉化等劣化狀況，藉此測試塗膜在自然環境或人為加速情況下之耐候能力。

(六)曝曬試驗

耐候性：本試驗法參照 CNS11607。檢查塗膜如何耐抗，塗膜對曝露是外所受自然環境之影響。將試樣試片及參比樣品試片安裝於耐候試驗台實施室外曝露試驗。並於試驗期間中，依一定期間間隔觀察塗膜施行試驗，而比較結果並紀錄。

防鏽性：本試驗法參照 CNS11607。將試片於室外曝露一定期間，經曝曬後之塗膜表面及試驗板基材之鏽污發生狀態，與同樣經處理的參比樣品做比較。防鏽性之評定方法，即由塗料品種、使用目的、被塗物等不相同。因而本方法係由室外曝露的防鏽性評定之一的方法，即無法評定全部之防鏽性。

(七)開路電位量測

鋼材腐蝕行為為電化學反應，在鋼片表面會形成眾多陰極及陽極，當陽極反應和陰極反應分別在金屬表面不同的微小區域進行時，就會形成腐蝕微電池，而開路電位法(open circuit potential Method, OCP Method)就是在穩定及自然狀況的環境下，量測無外加電流相通之鋼片的腐蝕微電位與參考電極之間的全面電位差。本研究乃將試片連接於恆電位恆電流儀上作為工作電極(working electrode, WE)，並使用飽和甘汞電極當作參考電極(reference electrode, RE)，對試片進行開路電位的量測。

(八)腐蝕速率量測

本研究使用恆電位恆電流儀對試片進行動態極化曲線掃瞄，待極化曲線圖完成後，再以Tafel 外推法取得試片之腐蝕速率。將塗封完成之試片切割小塊並於背後連接導線，接著使用耐酸鹼膠帶將其包覆，僅露出1 cm×1 cm的塗膜面積。將試片連接於恆電位恆電流儀上作為工作電極，並以飽和甘汞電極作為參考電極，白金電極則為輔助電極(auxiliary electrode, AE)。試片浸漬於溶液中一段時間，待試片與環境達成平衡後，對試片進行開路電位的量測。接著從試片之開路電位開始，掃瞄速率設定為1mV/sec，往負電位方向掃至-1.5V，再往正電位方向掃至約+0.3V，即完成極化曲線的掃瞄。本試驗使用個人電腦作為紀錄器使用，在試驗過程中會自動紀錄電位及電流的變化值，試驗後亦可經由它畫出極化曲線圖並計算出腐蝕速率。

(九)重量損失法

本試驗法為量測鋼材表面處理材料腐蝕速率方法之一，進行加速腐蝕之假設

環境為鹽水噴霧與浸漬試驗法(salt spray & immersion)。本試驗法中之鹽水噴霧過程係參照 ASTM B117-03 與 CNS8886。另外鹽水浸置過程係參考 ASTM G31 規範進行。試驗時將試片稱重至 ± 0.5 mg 誤差內以供腐蝕速率計算用。試片準備後將試片放置於腐蝕環境中，至達到浸漬時間後取出，將浸漬區域上腐蝕生成物洗除，並量測酸洗後重量。鐵鏽酸洗溶液(ASTM G1)調製方法為：在 500ml 氫氯酸中(HCl, sp gr 1.19)加入 3.5g 六甲基四胺(hexamethylene tetramine)，再加水稀釋至 1000ml，將腐蝕後之鋼材在室溫下(20~25°C)浸漬 10 分鐘，取出後以清水加以清洗。鋅鏽酸洗溶液(ASTM G1) 調製方法為：取 100g 氯化銨(NH₄Cl, ammonium chloride)加水稀釋至 1000ml，將帶有鋅鏽之鋼筋在 70°C 酸洗溶液中浸漬 2~5 分鐘，取出後以清水加以沖洗，求得腐蝕前後重量變化差異後，以計算腐蝕速率 mpy(mils per year)。鋁合金鏽酸洗溶液(ASTM G1) 調製方法為：取 50ml 之磷酸(H₃PO₄, phosphoric acid, sp gr 1.69)與 20g 三氧化鉻(CrO₃, chromium trioxide)加水稀釋至 1000ml，將帶有鋁或鋁合金之腐蝕產物在 90°C 至沸騰溶液中浸漬 5~10 分鐘，取出後以清水加以沖洗，求得腐蝕前後重量變化差異後，以下式計算腐蝕速率 mpy。

$$\text{corrosion rate} = (K \times W) / (A \times D \times T)$$

式中：K：單位常數(3.45×10⁶)，W：腐蝕前後重量損失(g)，A：腐蝕液浸漬面積(cm²)，T：浸漬時間(hr)，D：鋼片密度(g/cm³)。

第三章 試驗計畫

本研究於鋼材試片表面施作不同防鏽蝕處理或塗層，進行效能指標性試驗，以瞭解防護處理於不同環境下之性能並評估防護系統適用性。

第一節 試驗變數及試片

一、試驗變數

試驗變數為試片表面防護系統包括複合式塗裝、環氧樹脂塗裝、聚胺基酯 (polyurethane, PU) 塗裝、添加鋅粉與熱浸鍍鋅。

二、試片

長方形碳鋼試片尺寸為 75(w) × 150(l) × 3(t) mm，依照 ISO 8501-1 規定進行表面噴砂，噴砂級別如表 3-1 所示。

表 3-1 噴砂級別

ISO 8501-1988	表面狀態
Sa 3 鋼材表面清潔	表面不允許留下任何可見污物
Sa 2 ^{1/2} 重度噴砂清理	同 Sa 2 但只允許表面每 9in ² 留下 5% 的陰影、條紋和痕跡
Sa 2 中度噴砂清理	可見油脂被清除，只允許表面每 9in ² 留下 33% 的其他汙物留下的陰影、條紋和痕跡
Sa 1 輕度噴砂清理	所有可見油脂、鬆散鏽蝕和氧化皮都被清除

表 3-2 表面處理之標準對應

GB 8923-88	ISO 8501-1988	SSPC	NACE
Sa 3	Sa 3	SP	1
Sa 2 ^{1/2}	Sa 2 ^{1/2}	SP10	2
Sa 2	Sa 2	SP6	3
Sa 1	Sa 1	SP7	4
St 3	St 3	SP3	-
St 2	St 2	SP2	-

三、防護系統編號

本研究分為傳統複合式塗裝、環氧樹脂、聚胺基甲酸酯樹脂、鋅粉塗封與熱浸鍍鋅等系統其編號如表 3-3 所示，編號詳細說明如表 3-4 所示。

表 3-3 防護系統編號

編號	成分
Z	鋅(Zn)
E	環氧樹脂(epoxy)
PU	聚胺基甲酸酯樹脂(polyurethane)
P	磷(P)
A	鋁(Al)
S	矽(Si)

表 3-4 防護系統編號說明

編號	防護系統	編號	防護系統
BARE	無(裸鋼)	ES	無機鋅粉塗裝
Z	熱浸鍍鋅	EP	環氧樹脂系三聚磷酸鋁防銹塗裝
C	複合式塗裝	E1	液體環氧塗裝
P1	環保型快乾彈性 PU 塗裝	E2	熔結環氧樹脂粉體塗裝
P2	無溶劑型 PU 塗裝	AZ	鋅鋁合金塗裝
EZ	環氧樹脂鋅粉塗裝	--	--

第二節 表面防護系統

一、熱浸鍍鋅處理

依據 CNS 8503 熱浸鍍鋅作業方法進行熱浸鍍鋅處理。將已清洗潔淨的鐵件，經由 Flux 的潤濕作用，浸入鋅浴中，使鋼鐵與熔融鋅反應生成一合金化的皮膜。其作業流程簡示圖 3-1 所示。

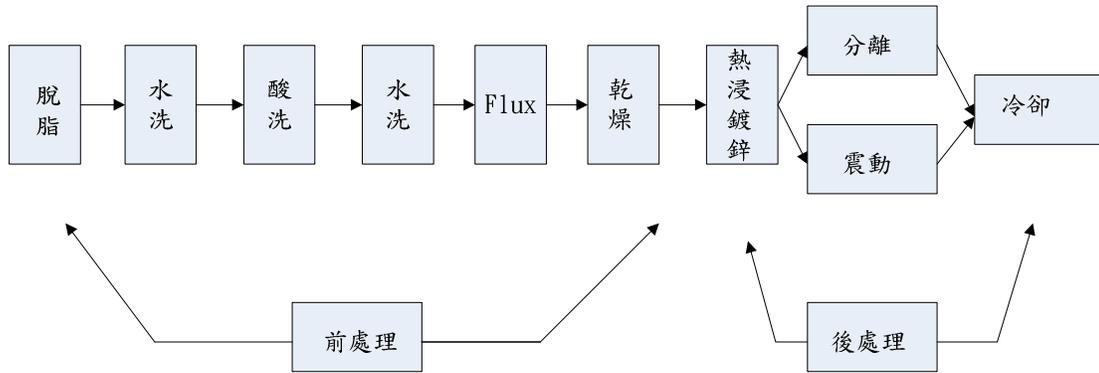


圖 3-1 熱浸鍍鋅作業流程
(台灣熱浸鍍鋅協會)

二、複合式塗裝

本防蝕塗裝系統係在室溫下噴塗 1 道環氧樹脂底漆，12 小時後噴塗 1 道環氧樹脂中漆，再隔 12 小時後噴塗 2 道 PU 面漆。環氧樹脂底漆為環氧樹脂配合磷酸鋅，藉聚醯胺交聯硬化，混合比為主劑：硬化劑=7.5：1 (重量比)。環氧樹脂中漆為環氧樹脂混合氧化鐵，藉聚醯胺交聯硬化，混合比為主劑：硬化劑=8：1 (重量比)。PU 面漆混合比為主劑：硬化劑=8：1 (重量比)。

三、聚氨基甲酸酯樹脂 PU 塗裝系統

(一)快乾彈性 PU 塗裝

試片表面噴砂處理至 ISO 8501-1Sa2^{1/2} 以上，表面粗糙度約為 75 μ m。利用噴塗機具施工，漆料於噴槍入口處混合。

(二)無溶劑型 PU 塗裝

無溶劑型聚氨基甲酸酯樹脂(PU)，混合比為主劑：硬化劑=4：1 (重量比)，試片表面噴砂處理至 ISO 8501-1Sa2^{1/2}，並使表面粗糙度達到 40~75 μ m。於一次噴塗施工。

四、鋅粉塗裝系統

(一)環氧樹脂鋅粉塗裝

由環氧樹脂及硬化劑配以鋅粉製成二劑一粉型高鋅粉防銹漆。混合比為主劑：硬化劑：鋅粉=15：9：75(重量比)，將硬化劑倒入主劑中攪拌後再加入鋅粉，

再以80孔篩網過濾。使用高壓機具一次噴塗完成。

(二) 矽酸酯鋅粉塗裝

由高純度鋅粉及矽酸酯類構成之二液型防銹漆。混合比為矽酸酯：鋅粉=35：65(重量比)，將鋅粉倒入主劑中，然後以80孔篩網過濾。試片表面噴砂處理至ISO 8501-1Sa2^{1/2}以上，並使表面保持適當的粗度(45~60 μ m)。乾膜厚度不宜超過100 μ m。使用高壓機具一次噴塗完成。

五、環氧樹脂三聚磷酸鋁防銹塗裝

為環氧樹脂、氧化鐵及三聚磷酸鋁防銹顏料構成之二液型防銹漆。混合比為主劑：硬化劑=88：12(重量比)，表面必須乾燥。使用空氣壓力4~6 kgf/cm²壓縮比28：1之噴塗機一次噴塗完成。

六、環氧樹脂塗裝系列

(一)液態環氧樹脂塗裝

液態環氧塗料為雙組分固化體系，試片表面必須用噴砂處理至ISO 8501-1Sa2^{1/2}，混合比為主劑：硬化劑=2.2：1(重量比)，採刷塗方式塗裝。

(二)熔結環氧樹脂粉體塗裝

由環氧樹脂與多層聚烯(polyolefin)系統熔化結合(fusion bonded)組成。多層聚烯系統係由聚乙烯(polyethylene)分子聚合物之中間層黏結聚乙烯或聚丙烯分子(polypropylene)聚合物外塗層構成，使用低氧低水份滲透熔化聯結環氧樹脂。在試片清潔之後噴塗完成。

七、鋅鋁合金塗裝

為陽極保護的特殊塗料，用於較大的物件。混合比為鋁：鋅：硬化劑=1：8：1(重量比)，表面必須乾燥，使用靜電噴槍噴塗，噴塗完成後至160°高溫下烘烤15分鐘。

第三節 試驗方法

一、熱浸鍍鋅層檢驗法

(一)附著性與附著量檢驗

附著性係參照CNS1247規定進行鏈擊試驗，首先將試驗面固定，以支持台為

中心，錘柄垂直落下。每隔 4mm 打擊 1 點，打擊 5 點，觀察打擊點間之剝離與浮脹現象。試片之角邊及試片邊緣 10mm 以內不在試驗範圍內。

附著量系利用酸溶法進行鍍鋅層附著量分析，並求得平均鍍鋅層厚度。鍍鋅層重量是根據 CNS 1247 進行試驗，試驗原理係利用試驗液將鍍鋅層溶去，以試驗前後重量差異來求得鍍鋅層重量。試驗液製作方法為：取試藥級三氧化二錒 20g 溶解於氫氯酸(hydrochloric acid, 比重 1.18 以上)1000ml 中作為原液，於開始試驗前，取 5ml 原液至 100ml 氫氯酸中作為試驗液。稱試片質量精度至預估附著量之 1%，浸漬於試驗液中，直到無氣泡發生時，以其減少量除以鍍鋅表面積，即為附著量。

(二)鍍層厚度及鋅附著量測定法

本試驗參照 CNS1247 規定進行。膜厚計應使用予已知鍍層厚度之標準式片校正者。就一片試片測定 5 點以上之鍍層厚度，以其平均值為鍍層厚度測定值。由鍍層厚度測定值求附著量，依下式算出之

$$A = 7.2 \times t$$

式中 7.2 g/cm^3 為鋅密度，A 為鋅附著量(g/m^2)，t 為鍍層厚度(μm)

二、塗膜性質試驗法

(一)塗料膜厚度量測

本試驗使用電磁膜厚計直接量測，於試片選定範圍內量測五點，取此五點之平均值作為此試片之塗膜厚度。

(二)耐衝擊試驗法

本試驗法參照 CNS10757 進行。首先將試片面朝上水平放置及固定，錘球自由落下，衝擊後試片置於室內 1 小時後，關查塗膜表面。

(三)附著性試驗

本試驗參照 CNS10757 規定進行。方格法：使用定規儀及刀片，於試片中央處割畫成方格狀，切割面與塗面保持在 $35 \sim 45^\circ$ 範圍內，觀察試片塗膜之損傷狀態，參考表 3-5 評定之。×切割黏帶法：將試片上塗膜以切割刀切割至基材層，並切格成×狀。再於其上黏貼膠帶，於撕開膠帶後，檢查試片與基材附著性之優劣性質，參考表 3-6 評定之。

表 3-5 附著性試驗之評定點數表(方格法)

評定點數	損傷狀態
10	每一條割痕，兩邊平滑且細，割痕之交叉點以及正方形每一方格內無任何剝落現象。
8	切割之交叉點稍微剝落，正方形每一方格無剝落現象而缺損部分之面積在總正方形之5%以內。
6	割痕之兩側與交叉點有剝落，缺損部分之面積為總正方形面積之5~15%。
4	切割所起之剝落寬度較廣，缺損部分之面積為總正方形之面積之15~35%。
2	由於切割所造成之剝落寬度較評定為4點者更廣，缺損部分之面積為總正方形面積之35~65%。
0	剝落面積為總正方形面積之65%以上者

(CNS10757)

表 3-6 附著性試驗之評定點數表(x切割黏帶法)

評定點數	x切割部分之狀態
10	無任何剝落現象
8	交叉線無剝落，在x切割部有一點剝落
6	由x切割部之交叉點向任何方向有1.5mm以內之剝落
4	由x切割部之交叉點向任何方向有3.0mm以內之剝落
2	膠帶所黏貼之x切割部之大部分有剝落者
0	較x切割部較大之剝落者

(CNS10757)

(四)塗膜硬度試驗

本試驗參照CNS10757規定進行。硬度(鉛筆法)：以鉛筆筆芯試驗塗膜支硬度，並以鉛筆之硬度號述表示之方法。將試片塗膜面朝上，使鉛筆與水平面保持45度角在試驗片上刮削，向試驗者正前方以1cm/s刮約1cm，連續反覆試驗5次。5次反

覆試驗中，2次以上看不到試驗片的表面或下層塗膜時，應更換號數大1號支鉛筆做同樣之試驗。如此試驗求取塗膜破裂達2次以上的鉛筆，並記錄該鉛筆硬度號數小1號之號數。

維氏硬度儀：維氏硬度儀係利用經校準之機台在設定的加載下，採用正方錐體兩面對角線為 136° 的鑽石方壓痕器壓入受測試件表面，持續一段時間後移去荷重及壓痕器，藉由量測壓痕的對角線長度及荷重大小決定硬度值(HV)。可依下式計算：

$$HV = 1.8544P/d^2$$

P：加載 (kgf)

d：壓痕對角線平均值 (mm)

(四)塗膜耐磨試驗

落砂試驗：本試驗參照 ASTM D968 規定進行，將標準砂倒入漏斗，使砂呈 90° 落下在塗裝式片上，砂流速：21 to 23.5 sec/2l，衝擊試片之落砂量達到 90 %時，觀測試片磨損情形，並以下式計算耐磨損指數：

$$A=W/T$$

A：耐磨耗指數

W：落砂量(kg)

T：塗膜厚度(μm)

四、塗膜化抗學性試驗法

(一)耐酸試驗法

本試驗參照 CNS10757 規定進行。將試片浸漬於酸溶液中，觀察塗膜狀態及溶液之變化情形。將塗膜試片，插放 2000ml 玻璃燒杯中，並加入 5W/V% H_2SO_4 溶液約至試片五分之四深，於 24 小時後取出試片，並以清水清洗，放於室內乾燥 2 小時後，檢查塗膜。長期浸漬試驗時，則浸漬至 30 天時，需更換試驗溶液。試片周圍 10mm 內之塗膜，不做為觀察對象。

(二)耐鹼試驗法

本試驗參照 CNS10757 規定進行。將試片浸漬於鹼溶液中，觀察塗膜狀態及溶液之變化情形。試驗方法如下：將塗膜試片，插放 2000ml 玻璃燒杯中，並加入 5W/V% Na_2CO_3 溶液至約試片五分之四深，於 24 小時後取出試片，並以清水清

洗，放於室內乾燥 2 小時後，檢查塗膜。長期浸漬試驗時，則浸漬至 30 天時，需更換試驗溶液。試片周圍 10mm 內塗膜，不做為觀察對象。

(三)耐鹽水試驗法

本試驗參照 CNS10757 規定進行。將試片浸漬於氯化鈉溶液中，觀察塗膜狀態及溶液之變化情形。試驗方法如下：將塗膜試片，放置於 2000ml 玻璃燒杯中，並加入 3W/V% NaCl 溶液至約試片五分之四深，於 96 小時後取出試片，並以清水清洗，放於室內乾燥 24 小時後，檢查塗膜。長期浸漬試驗時，則浸漬至 30 天時，需更換試驗溶液。試片約 10mm 內，不作為觀察對象。

五、塗膜耐久性試驗法

(一)鹽水噴霧試驗法

本試驗依照 ASTM B117-95 規定進行。鹽水濃度為 5±1%；pH 值為 6.5~7.2；鹽水比重為 1.2055~1.0400；空氣壓力 10~25 psi；噴霧量 1~2 ml/hr；槽內溫度為 35±1℃；飽和空氣桶壓力為 1 kg/cm² 溫度為 47±1℃

塗裝之 70 mm × 150 mm × 30 mm 試片，表面先以刀片畫×深度至底材露出，將試片測試面與鉛直線成 15~30°置於鹽水噴霧機中。試驗完畢後，將試片洗淨，並參照 ASTM D610、ASTM D714 及 ASTM D1654 規定，針對塗膜外觀及切畫處銹蝕與起泡進行評估；對於控制組試片則表面不畫×，僅觀察表面腐蝕情況。

(二)耐濕性試驗

本試驗參照 ASTM D2247 規定進行，試片係置於櫃中，櫃之溫度保持在 38 ±1℃，相對溼度為 98±2 RH%，參照 ASTM D523 或 ASTM D1654 Procedure A Method 2 或 ASTM D714 規定，檢視試片有無顏色變化、起泡、剝落，軟化、等狀況。

(三)加速耐候試驗

本試驗參照 ASTM G154 規定進行，試片置於紫外線燈箱中，使用 UV-B313 燈管照射，在觀察時間到達時取出試片，經由與室內對照組相互比對，並依 ASTM D523 規定檢視試片有無膨脹、龜裂、剝落，軟化、生鏽、色差及粉化等狀況。

(四)曝曬試驗

本試驗參照 CNS11607 規定進行，以評估塗層耐候性。試片裝於室外耐候試驗台上，定期觀察塗層表面變化並紀錄。

另外防鏽性試驗亦參照 CNS11607 規定進行。試片於室外曝露一定期間後，

比較塗層表面及基材之鏽蝕情況。

第四節 試驗儀器及設備

一、電磁膜厚計

本研究採用 KETT LE-900J 電磁膜厚計，對塗封完成之試片進行塗膜厚度測量，儀器規格如表 3-7，外觀如圖 3-2 所示。

表 3-7 膜厚計規格

KETT LE-900J 電磁膜厚計	
測定方法	電磁式
測定對象	磁性金屬上之非磁性被膜
測定範圍	0~1500 μ m 或 60 mils；公、英制可任意切換
測定精度	50 μ m 以下 \pm 1 μ m；50 μ m 以上 \pm 2%
解析度	100 μ m 以下：0.1 μ m；100 μ m 以上：1 μ m



圖 3-2 膜厚計

二、維氏硬度儀

本研究使用日本製 HMV-2000 維氏硬度儀來測試塗膜的硬度，維氏硬度實驗儀是採用正方錐體兩面對角線為 136°的鑽石方壓痕器，以量測凹痕的對角線長度

來推硬度值(HV) ，儀器外觀如圖 3-3 所示。



圖 3-3 維氏硬度儀

三、鹽水噴霧試驗機

本試驗儀器設備採用 SUGA CTP-96 型，應用於模擬建築料材如橡膠、塑膠、塗料、鋼材、石材與陶瓷等於各種氣候環境中加速劣化之物理化學變化。

試驗箱之性能與相關配件說明如下所述：噴霧方式為噴霧塔噴霧，鹽水由機台下方浸漬液槽供給固定溫度之浸漬液至試驗箱之浸漬槽；鹽水濃度為 5% 中性鹽水，噴霧量為 $1 \sim 2 \text{ ml} / 80 \text{ cm}^2 / \text{hr}$ (35°C)，噴霧壓力為 $0.098 \text{ MPa} \pm 0.0025 \text{ MPa}$ ，試驗溫度為 $35^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ ，空氣飽和器溫度為 $(47^\circ\text{C}、63^\circ\text{C}) \pm 1^\circ\text{C}$ 。試驗箱可進行之試驗項目與其相關溫溼度設定限制如表 3-8 所示，儀器外觀與操作面板如圖 3-4 所示。

表 3-8 鹽霧複合耐候試驗箱之試驗項目與範圍

試驗項目	設定溫溼度範圍
鹽水噴霧試驗	35°C
濕潤試驗	98%RH
外氣導入試驗	約為室外氣溫溫度



圖 3-4 鹽霧複合耐候試驗機與設定操作面板

第四章 結果與討論

本研究主要探討不同塗層對鋼材的保護效果。進行塗層外觀觀察、物理試驗及化學試驗，分別對試驗結果進行討論分析，以評估塗層特性及防蝕性能。

第一節 塗層外觀及厚度

一、塗層外觀

檢視塗層外觀是一項重要的工作，若塗層有缺陷其防護效能會受到明顯影響。本研究係以目視檢查試片外觀如圖4-1所示。圖中顯示各試片無膨脹、龜裂、剝離及氣泡等缺陷。

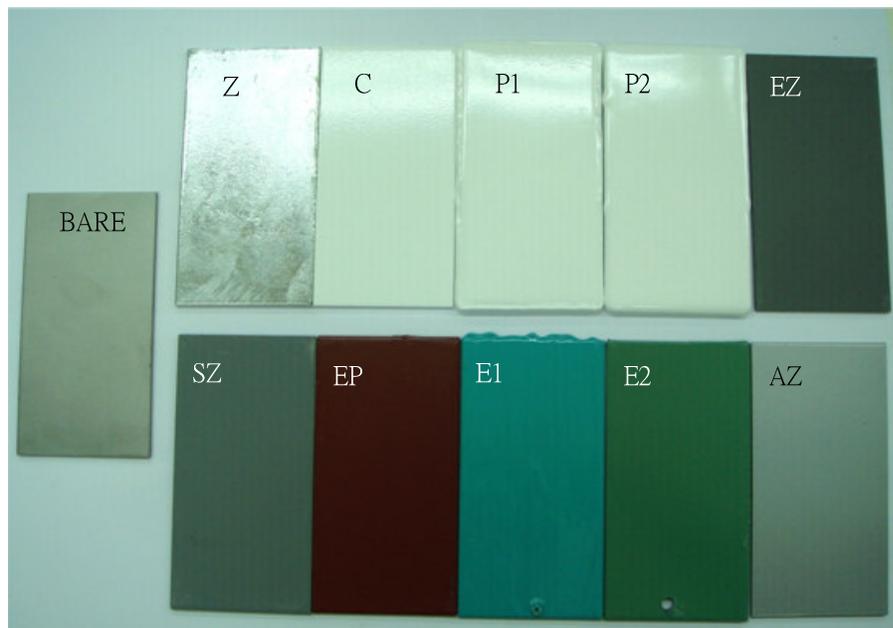


圖 4-1 試片外觀

二、塗層厚度

防蝕壽命與塗層厚度成正比，但塗層過厚亦會造成剝離及氣泡等缺陷。膜厚為量測五點之平均值詳如表 4-1 所示。圖 4-2 顯示各試片的五點膜厚並無明顯差異。

表 4-1 塗層厚度(μm)

編號 量測點	Z	C	P1	P2	EZ	SZ	EP	E1	E2	AZ
1	134	233	2075	2025	91	293	281	184	362	37
2	187	259	2065	2165	92	292	267	154	337	39
3	133	283	2020	2150	85	254	282	115	343	48
4	134	262	1975	2080	85	274	278	130	349	41
5	148	256	2060	2185	83	292	247	145	350	41
平均	147	258	2039	2121	87	281	271	145	368	41

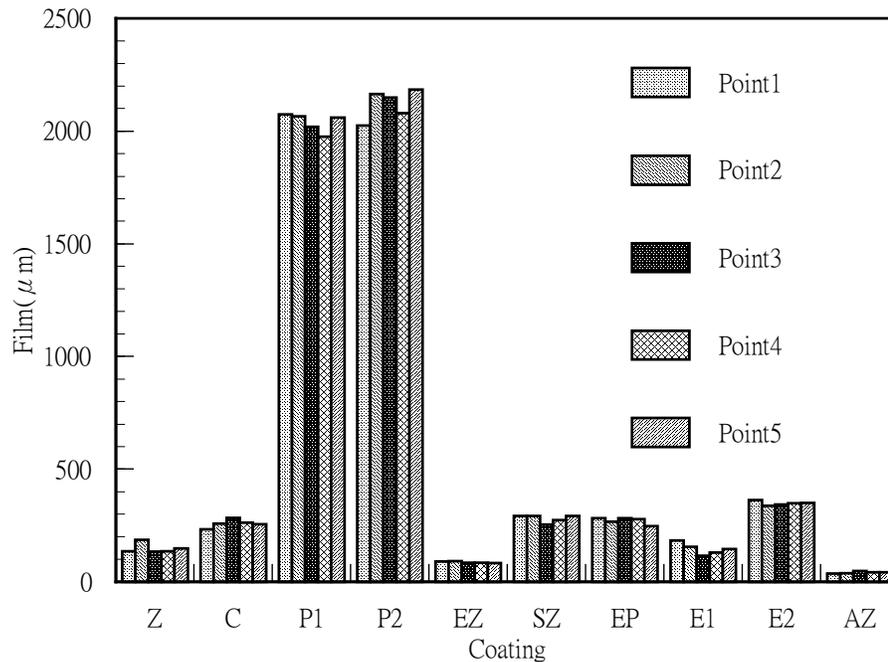


圖 4-2 塗層厚度

第二節 熱浸鍍鋅檢驗結果

一、附著性與附著量

鍍鋅層與鋼鐵需密合，主要要求鍍鋅構件在整理、運搬、存放及使用中不得剝離。附著性試驗是以錘打擊試片，檢查鍍層表面的狀態，觀察是否剝離。試驗結果如圖 4-3 所示，表面並無損傷。在試驗前後分別量取錘擊位置之膜厚，平均膜厚變化為 4 μm。

鋅附著量的多寡直接影響到基材的耐用年限。本研究之鋅附著量是以酸溶法進行。鋅和鹽酸化學反應方程式： $Zn + HCl \rightarrow ZnCl_2 + H_2$

鋅的活性比氫大，可置換出鹽酸(氯化氫)裡面的氫分子產生氯化鋅和氫，而氯化鋅溶於水，所以可去除鋼片上的鍍鋅，外觀如圖 4-4 所示，由試驗前後的重量損失求出鋅的附著量，試驗結果如表 4-2 所示。

表 4-2 附著量試驗結果

酸溶前試片重(g)	酸溶後試片重(g)	鋅附著量(g/m ²)	鍍鋅層厚度(μm)
289.2	265.5	1053.3	146.3



圖 4-3 附著性試驗後試片外觀



圖 4-4 附著量試驗前後試片外觀變化

二、鍍層厚度測定

耐蝕性主要決定於鍍鋅層的厚度，故量測厚度常為主要判定鍍鋅品質好壞的根據，鍍鋅層受鋼材表面的成分、組織、結構不同而有不同的反應，另進出鋅溶液的角度、速度亦有很大的影響。故預得完全均一的鍍層厚度，實際上不太可能。所以量測附著量絕對不能以單一點（部位）來判定，必須要量測其單位面積（ m^2 ）平均附著鋅重（g）才有意義。

參照 CNS1247 鍍層厚度測定法，由鍍層厚度測定值求附著量，依下式算出

$$A = 7.2 \times t$$

式中，A：鋅附著量(g/m^2)

7.2：鍍鋅層密度(g/cm^3)

t：鍍層厚度(μm)

由表 4-1 膜厚計測出鍍層平均厚度為 $147\mu m$ ，故鋅附著量 $A=7.2 \times 147=1058.4 g/m^2$ ，與附著量試驗結果 $1053.3 g/m^2$ 無明顯差距。由此可知膜厚計的準確性與量測金屬鍍層的可行性。

第三節 塗層物理試驗

一、附著性試驗

塗層需通過各項機理產生附著力，才能披覆於欲保護之基材表面，達到保護的目的，因此塗層附著力的大小，將會直接影響到塗層的保護力、耐久性及使用壽命。本研究係參考規範CNS 10757，使用方格法對各配比塗料之塗層附著性進行試驗。由圖4-5可看出各塗層並無剝落的情況發生，依據CNS 10757評定附著力，各塗層之評定點數皆為10點。並以此試驗結果為依據，與耐酸試驗、耐鹼試驗、耐鹽水試驗後之塗層附著性做比較。

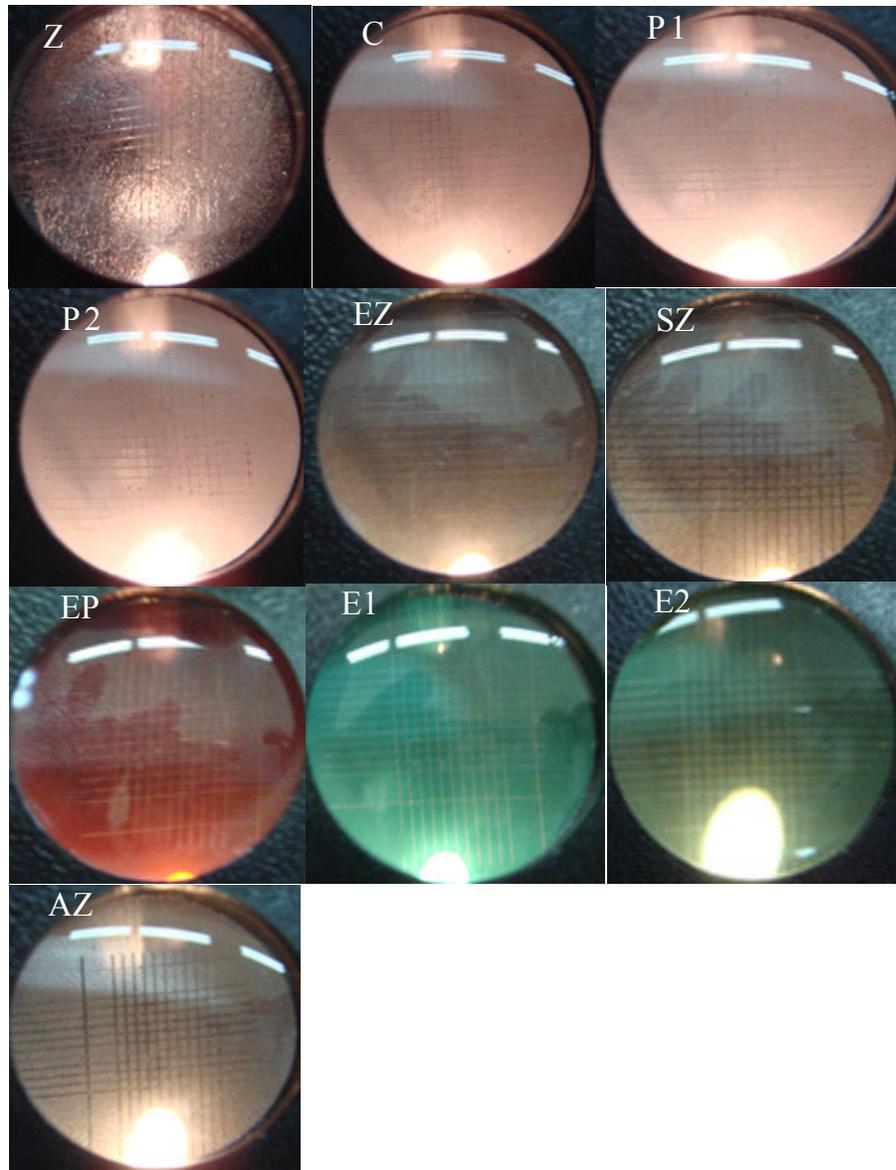


圖 4-5 附著性試驗

二、耐衝擊試驗

若瞬間的外力衝擊將塗層破壞，會使得塗層的保護產生漏洞而發生腐蝕，故塗層必須要有抵抗外力損傷的能力。本試驗將重 300g 之重錘置於距待測鋼板高 0.5m 處自由落下後，觀察鋼板塗層是否受衝擊導致龜裂或剝離。依據塗層破壞程度概分為五級如表 4-3 所示。塗刷後於室溫下靜置三天後再進行耐衝擊試驗，表 4-4 為塗層衝擊損傷評分，其中環氧樹脂鋅粉塗層(EZ)、無機鋅粉塗層(SZ)試片有輕微的凹痕，損傷情形如圖 4-6、圖 4-7 所示。

表 4-3 塗層衝擊損傷評分方式

評定點數	表面塗膜損傷狀況
5	無凹痕、龜裂及剝離等現象
4	輕微凹痕
3	明顯凹痕
2	明顯凹痕，剝離現象
1	明顯凹痕，龜裂及剝離現象

表 4-4 塗層衝擊損傷評分表

編號	評定點數	編號	評定點數
Z	5	SZ	4
C	5	EP	5
P1	5	E1	5
P2	5	E2	5
EZ	4	AZ	5



圖 4-6 EZ 衝擊試驗後外觀



圖 4-7 SZ 衝擊試驗後外觀

三、塗層硬度試驗

硬度為材料強度的重要指標，塗層的硬度值越高，除代表本身的鍵結強度越強外，對於外來力量的抵抗能力亦越佳。由於受防蝕塗料保護的鋼鐵製品通常置於戶外，故通常要求塗層須有適當的硬度，以抵禦經年累月風砂的侵蝕及其它外力的撞擊。

本研究參考規範CNS 10757 以鉛筆硬度手劃法試驗塗層之硬度。試驗結果列於表4-6中，由圖4-8可看出Z與AZ試片擁有較高的硬度。

表 4-5 塗層表面硬度

編號	硬度	編號	硬度
Z	9H	SZ	F
C	5H	EP	6H
P1	HB	E1	6H
P2	HB	E2	6H
EZ	2H	AZ	9H

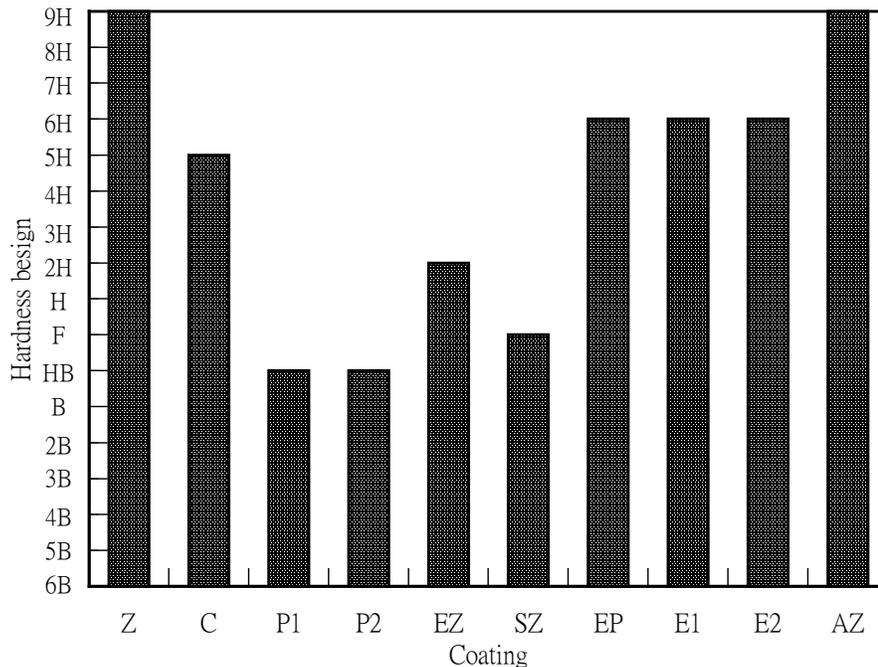


圖 4-8 硬度試驗結果

四、塗層耐磨試驗

塗層在戶外環境下必定會受到風沙的磨損，長期被風沙侵蝕下，塗層厚度變薄而容易破壞。本研究採用落砂試驗，模擬長期被風沙侵蝕下的塗層外層的抵抗能力。落砂試驗後，試片外觀如圖 4-9 所示，試驗結果如表 4-6 所示。

由結果看出 P1、P2 試片需要接近 3000kg 的落砂量才可將塗層磨掉，而依照 ASTM D968 計算出的耐磨損指數卻沒有較其他塗層高，因為耐磨耗指數為每單位厚度的耐磨損性，所以 P1、P2 試片的高落砂量因塗層厚度較厚使得耐磨耗指數不是最高。Z、EP、AZ 試片有較高的耐磨損能力。E1 試片的耐磨損能力較低，SZ 試片的耐磨損能力最低。

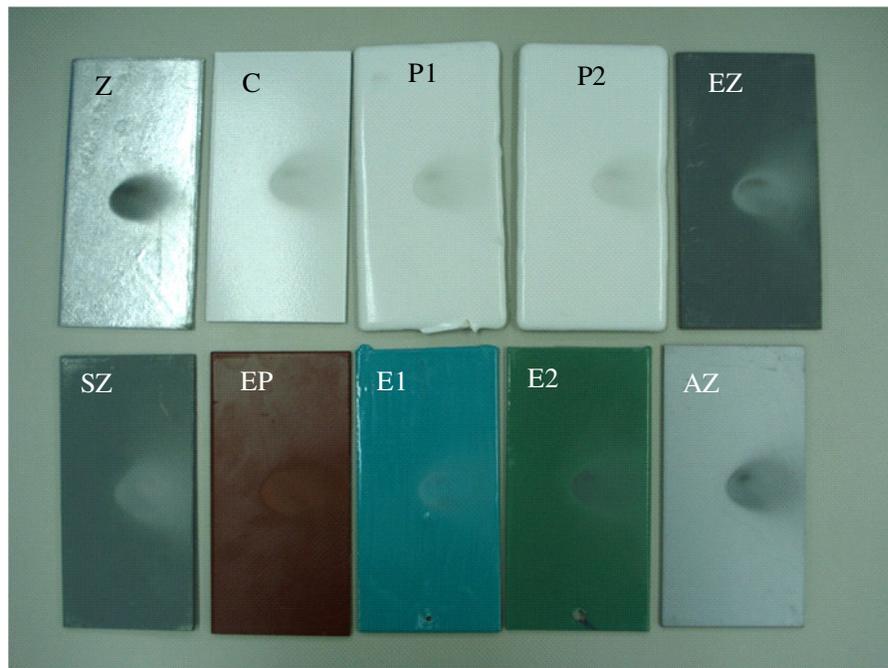


圖 4-9 落砂試驗後試片外觀

表 4-6 耐磨損指數

編號	落砂量 W(kg)	塗層厚度 T(μm)	耐磨損指數(W/T)
Z	415.36	147	2.83
C	336.87	258	1.31
P1	2868.87	2039	1.41
P2	2992.73	2121	1.41
EZ	96.05	87	1.10
SZ	161.82	281	0.58
EP	663.17	271	2.45
E1	133.06	145	0.92
E2	687.88	368	1.87
AZ	99.13	41	2.42

第四節 塗層化學抗性試驗法

一、耐酸試驗

將試片浸漬於強酸溶液 24 小時後，耐鹼試驗結果圖 4-10 所示。BARE 沒有塗層保護，已有部分斑點的的鏽蝕產生。Z 試片之鍍鋅會與硫酸產生反應，反應式為：

$$3\text{Zn}+4\text{H}_2\text{SO}_4\rightarrow 3\text{ZnSO}_4+\text{S}+\text{H}_2\text{O}$$

產物是硫酸鋅、硫、水，其中硫酸鋅會溶於水，故溶液中試片的鋅層被完全溶解。SZ 與 AZ 試片有些微褪色的情形，其餘試片並無明顯變化。

浸漬 30 天結果圖 4-11 所示。Z 試片的鋅層被完全溶解，如同沒有塗層保護的 BARE 試片，所以有嚴重的鏽蝕情形。EZ 試片的塗層有片狀剝離情形。SZ 試片明顯的褪色，由淡灰色變成白色，試片側邊的塗層開始剝離、鏽蝕。EP 試片側邊的塗層開始剝離、鏽蝕，但範圍較 SZ 試片小。AZ 試片有褪色情形。

以硬度試驗、附著性試驗評估浸漬 30 天塗層表面之脆化、附著情形，試驗結果如表 4-7、表 4-8。Z 試片因鋅層已被溶解，沒有附著性可言，所以並沒有評定點數。EZ 及 AZ 試片附著性明顯降低，塗層整片與基材剝離如圖 4-12 所示，其中 AZ 試片在進行附著性試驗，百格刮刀切割塗層表面時才整片剝落。SZ 試片在方格法檢測中，有超過 65% 的剝離情形如圖 4-13。硬度試驗結果如圖 4-14，EZ、SZ、AZ 試片的硬度有明顯下降情形。

表 4-7 耐酸 30 天硬度試驗結果

編號	硬度	編號	硬度
Z	--	SZ	4B
C	5H	EP	6H
P1	HB	E1	6H
P2	HB	E2	6H
EZ	5B	AZ	5B

表 4-8 耐酸 30 天附著性試驗結果

編號	損傷狀態	評定點數
Z	嚴重鏽蝕	--
C	無剝落	10 點
P1	無剝落	10 點
P2	無剝落	10 點
EZ	剝落面積為總面積 65% 以上	0 點
SZ	剝落面積為總面積 65% 以上	0 點
EP	無剝落	10 點
E1	無剝落	10 點
E2	無剝落	10 點
AZ	剝落面積為總面積 65% 以上	0 點

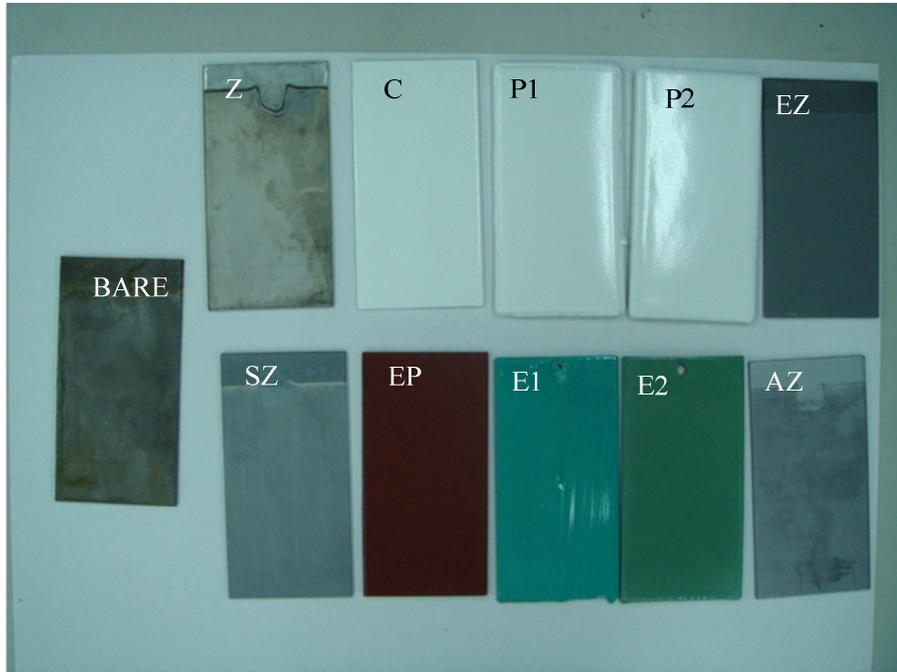


圖 4-10 浸漬強酸溶液 24 小時塗層外觀

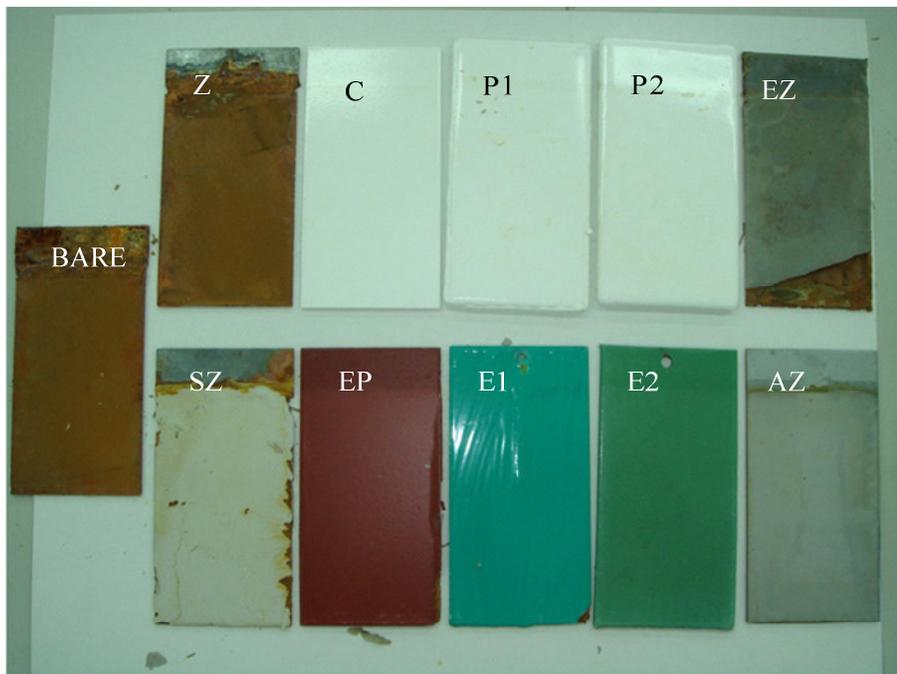


圖 4-11 浸漬強酸溶液 30 天後塗層外觀



圖 4-12 EZ 及 AZ 試片耐酸試驗後外觀

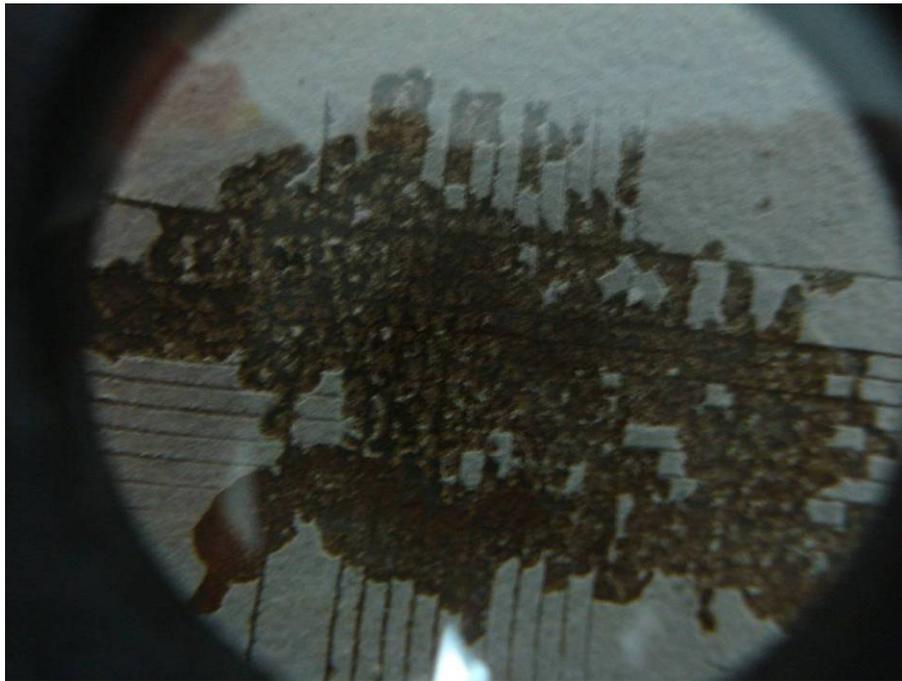


圖 4-13 SZ 試片 30 天強酸浸漬後網格區域鏽蝕狀態

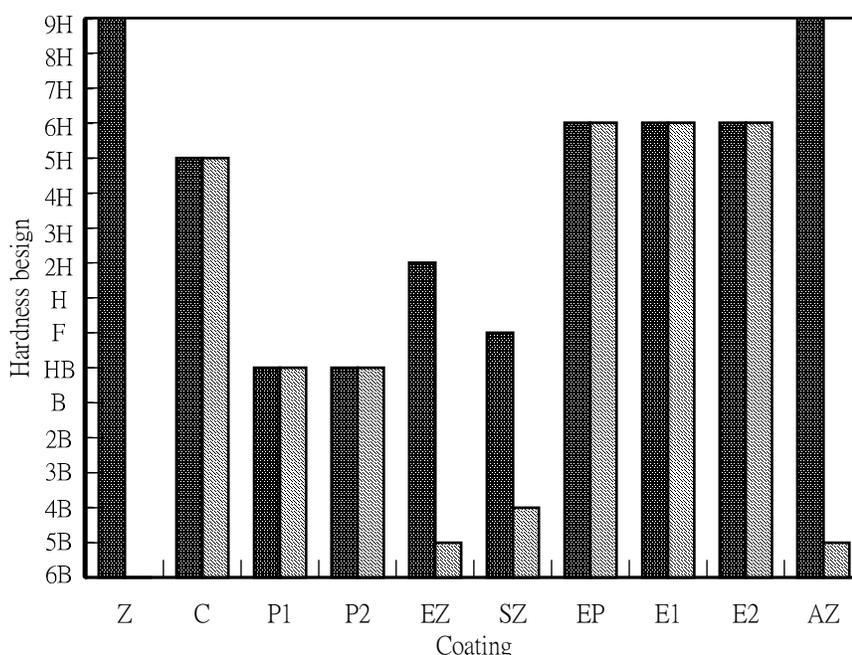


圖 4-14 耐酸 30 天前後硬度比較圖

二、耐鹼試驗

將試片浸漬於強鹼溶液 24 小時後，耐鹼試驗結果圖 4-15 所示。BARE 試片有些微的褐色斑點。Z 試片在鹼溶液與空氣交接部分產生深藍色的物質。其餘試片並無明顯變化。浸漬 30 天結果圖 4-16 所示。BARE 試片有斑點狀的鏽蝕產生，Z、EZ、SZ、AZ 試片皆有藍色薄膜產生，但並無鏽蝕產生，其中 Z、AZ 試片的色澤變暗。以硬度試驗、附著性試驗評估塗層表面之脆化、附著情形。硬度結果如表 4-9 所示，附著性試驗各試片並無剝離的情形，評定點數皆為 10 點。在耐鹼試驗後，各試片的硬度與附著性沒有下降的情形，由此可知藍色薄膜並不會對塗層造成影響。

表 4-9 耐鹼 30 天硬度結果

編號	硬度	編號	硬度
Z	9H	ES	F
C	5H	EP	6H
P1	HB	E1	6H
P2	HB	E2	6H
SZ	2H	AZ	9H



圖 4-15 浸漬強鹼溶液 24 小時塗層外觀

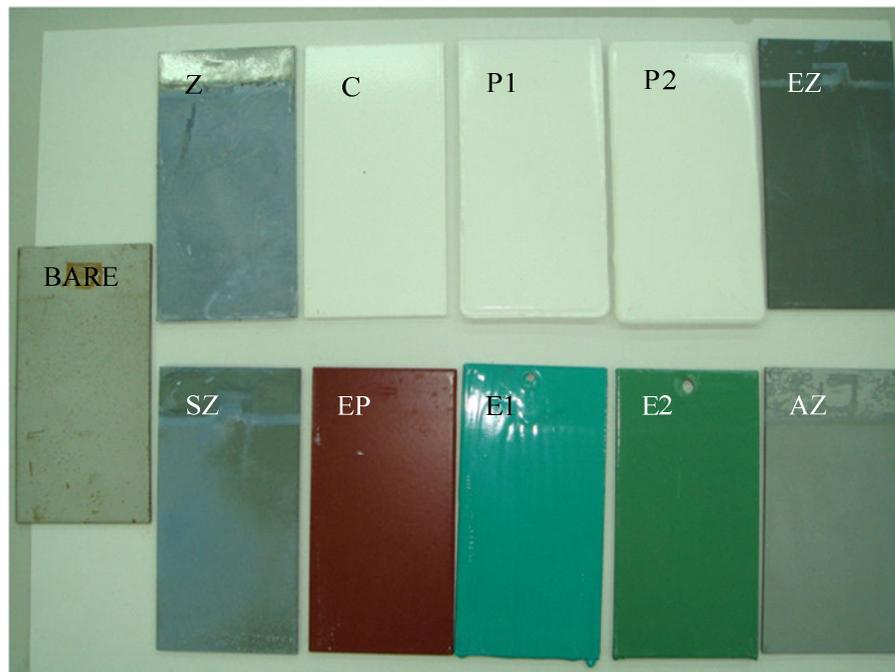


圖 4-16 浸漬強鹼溶液 30 天後塗層外觀

三、耐鹽水性

在高鹽分的環境中，容易使得鋼材發生腐蝕，而在塗層的保護下必須使發生腐蝕的情形降到最低。本試驗將試片浸漬於氯化鈉溶液，30 天後耐鹽水試驗結果如圖 4-17 所示。BARE 試片有明顯的鏽蝕產生，Z 試片有藍色條紋狀的痕跡，其餘試片並無鏽蝕產生，其餘試片並無明顯變化。3 個月後耐鹽水試驗結果如圖 4-18 所示。BARE 試片的腐蝕範圍擴大。Z、EZ、SZ、AZ 試片皆有淡藍色薄膜產生，但並無鏽蝕產生。硬度結果如表 4-10 所示，附著性試驗各試片並無剝離的情形，評定點數皆為 10 點。

表 4-10 耐鹼 30 天硬度結果

編號	硬度	編號	硬度
Z	9H	ES	F
C	5H	EP	6H
P1	HB	E1	6H
P2	HB	E2	6H
SZ	2H	AZ	9H



圖 4-17 浸漬氯化鈉溶液 30 天後塗層外觀

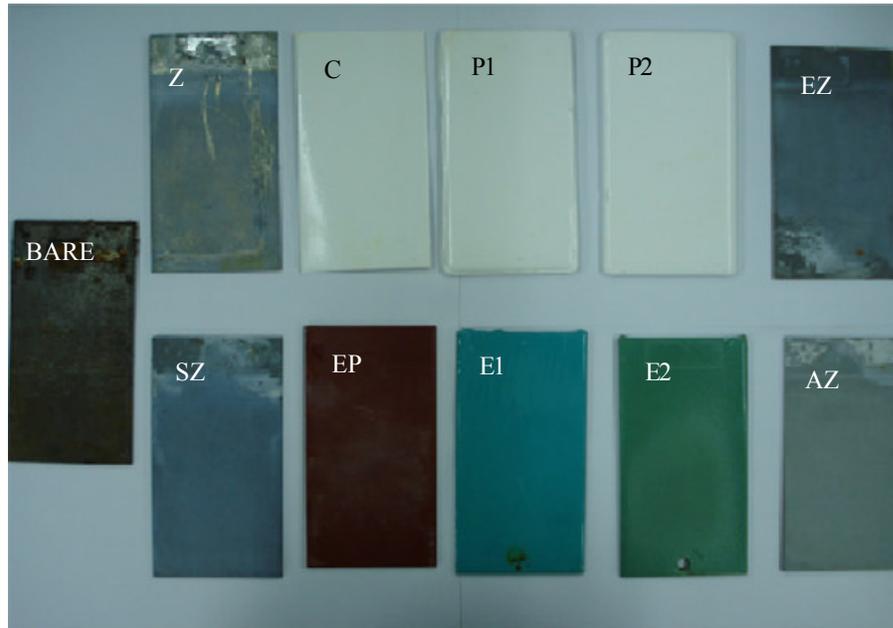


圖 4-18 浸漬氯化鈉溶液 3 個月後塗層外觀

第五節 塗膜耐久性試驗法

一、鹽水噴霧試驗法

在高濕高鹽分的腐蝕環境下，更快觀測出各塗層的腐蝕情形，500 小時試驗結果圖 4-19 所示。BARE 試片嚴重鏽蝕，整個試片產生褐色鐵鏽。Z 試片失去金屬光澤，無鏽蝕產生，但是有白色生成物產生。C、P1、P2、E1、E2 試片的刻痕中有鐵鏽產生，EZ、SZ、EP、AZ 並無明顯變化。2500 小時後試驗結果如圖 4-20 所示，Z 試片之白色生成物增加，C 試片有起泡的情形如圖 4-21 所示，EP 試片刻痕的中心點有鏽蝕產生，其餘試片與 500 小時並無明顯差異。

試驗評估方法有數字分級法與質量法兩種。作數字分級法時，切口生成物之腐蝕缺陷不在此評定內，腐蝕面積率依照 CNS8886 分級數字標準圖評定，分級數字 (RN) 和腐蝕面積率 (A) 的關係如下列表示式：

$$RN=3(2-\log A)$$

試驗結果之分級數字結果如表 4-11 所示，BARE 試片整個試片已經腐蝕，故腐蝕面積為 100%，RN 值為 0。C、P1、P2、E1、E2 依照 CNS8886 的數字分級標準圖可評定出 RN 值為 9.8，其餘試片因為沒有鏽蝕情形，RN 值為 10。

試驗結果之重量變化量如表 4-12 所示，圖 4-22 為重量損失比較圖。由此看出在防

護系統之下的試片相對於無防護的 BARE 試片，其重量損失明顯的低很多，而各防護系統其重量損失並沒有明顯差異。Z、EZ、SZ、EP 與 AZ 試片因為犧牲陽極的作用，仍有重量損失。C、P1、P2、E1 與 E2 試片在刻痕中雖然有鏽蝕情形，但其重量損失因塗層的保護而減至最低。鹽水噴霧試驗後，各試片的腐蝕速率如圖 4-23 所示，可明顯的看出未受保護的 BARE 試片腐蝕速率明顯偏高。

表 4-11 鹽水噴霧試驗 500 小時腐蝕面積率與數字分級

編號	腐蝕面積率 A(%)	分級數字(RN)
BARE	100	0
Z	0.01	10
C	0.02	9.8
P1	0.02	9.8
P2	0.02	9.8
EZ	0.01	10
SZ	0.01	10
EP	0.01	10
E1	0.02	9.8
E2	0.02	9.8
AZ	0.01	10

表 4-12 鹽水噴霧試驗重量變化(g)

小時(hr) 編號	0	500	1000	1500	2000	2500
BARE	261.2	253.13	244.78	236.515	226.702	218.683
Z	283.6	282.78	281.49	280.948	279.586	278.663
C	272	271.56	271.57	270.475	270.888	269.428
P1	336.7	335.99	334.93	334.5	332.825	332.727
P2	319.2	318.63	316.87	317.29	314.25	313.636
EZ	269.2	268.55	268.27	266.95	267.257	266.796
SZ	272.5	272.43	271.66	272.232	270.707	269.728
EP	283.4	283.15	282.5	282.52	281.543	281.136
E1	262.9	262.72	261.26	262.428	259.769	258.543
E2	272.1	271.19	271.01	269.448	269.603	268.706
AZ	268.5	267.99	267.62	266.62	266.542	266.242

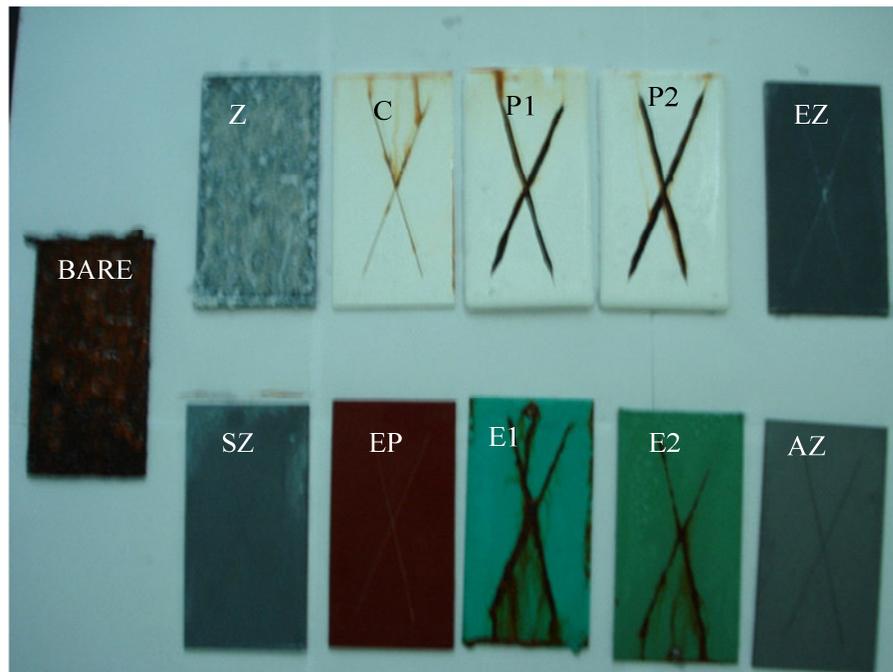


圖 4-19 鹽水噴霧試驗 500 小時後塗層外觀



圖 4-20 鹽水噴霧試驗 2500 小時後塗層外觀

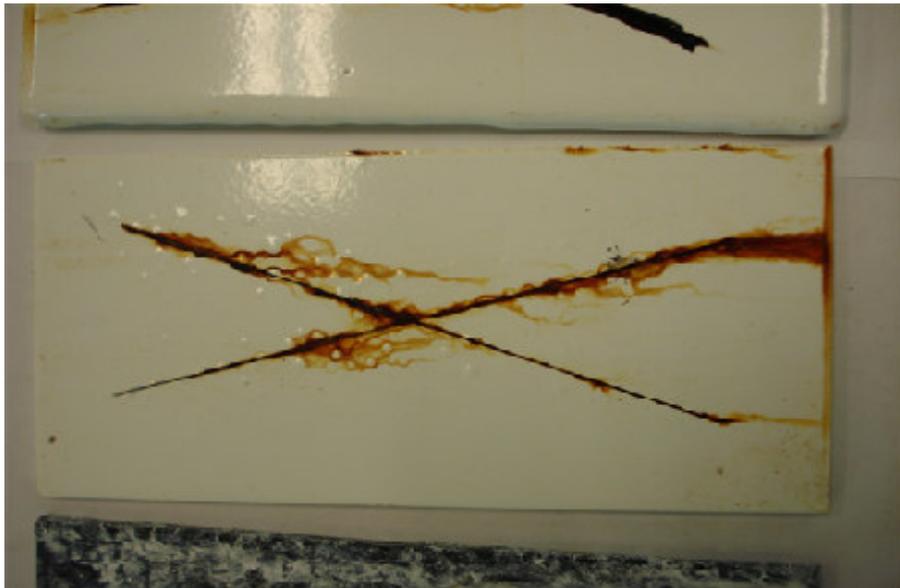


圖 4-21 鹽水噴霧試驗 2500 小時後 C 試片外觀

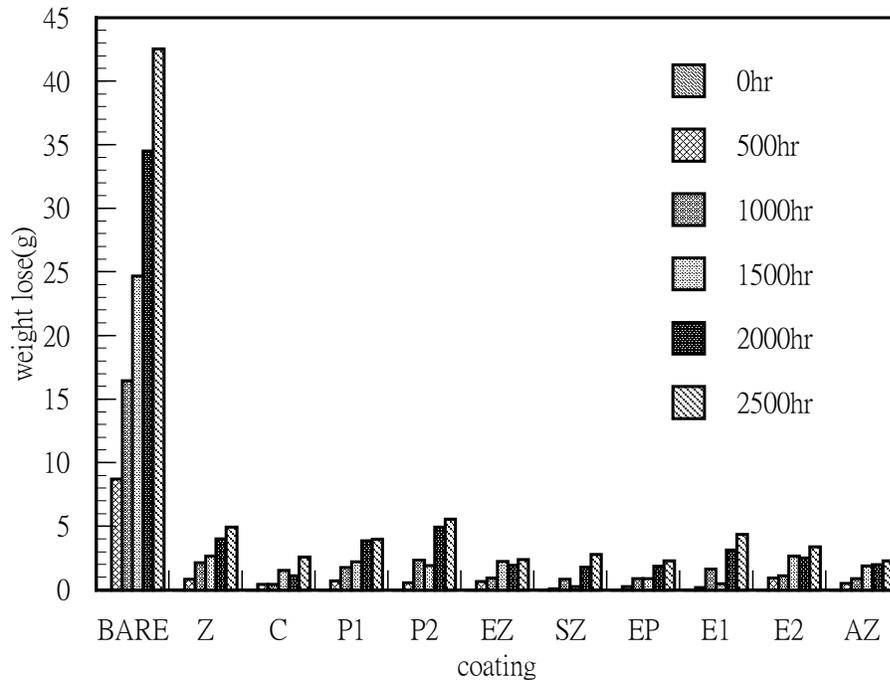


圖 4-22 鹽水噴霧試驗重量損失

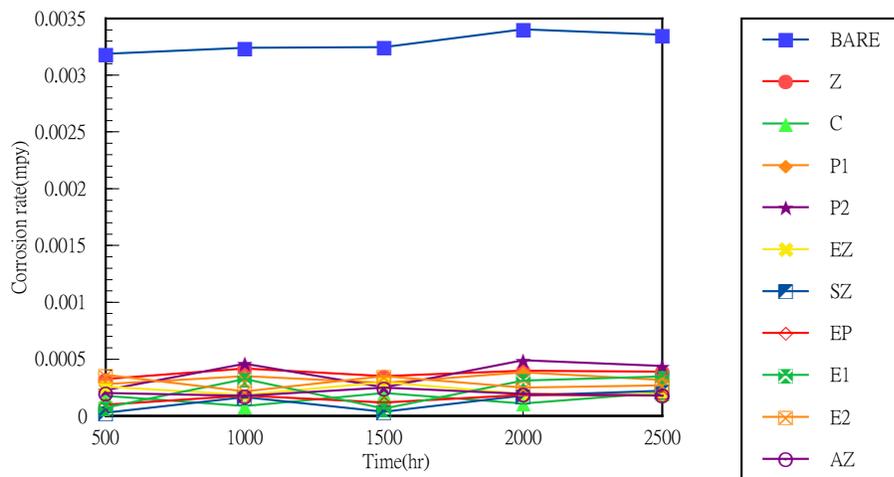


圖 4-23 鹽水噴霧試驗各試片腐蝕速率

二、耐濕性

試片置於濕氣櫃中，溼氣櫃之溫度保持在 $50 \pm 1^\circ\text{C}$ ，相對溼度為 $95 \pm 2 \text{ RH}\%$ ，樣品和環境之間的溫差使環境中的水蒸氣凝結在試片上，使用去離子水，排除氯離子等因素的影響，檢測在高溫高濕環境的影響下試片的外觀有無缺陷，並依照

CNS10757 的×切割黏帶法在中間畫交叉線，檢測其附著性。

圖 4-24 與圖 4-25 分別為耐濕試驗 500 小時、2000 小時之塗層外觀。500 小時後 BARE 試片有斑點狀鏽蝕，Z、AZ 試片上有局部的淡藍色薄膜產生，C、P1、P2、E1、E2 的×中有鏽蝕產生，EZ、SZ、EP 試片並無明顯變化。2000 小時後，除了 BARE 的鏽斑增加之外，其餘試片與 500 小時比較並無明顯差異。各試片在×切割黏帶檢測下並無脫落情形，評定點數皆為 10 點，在高溫高濕環境的影響下並不會影響其附著性。

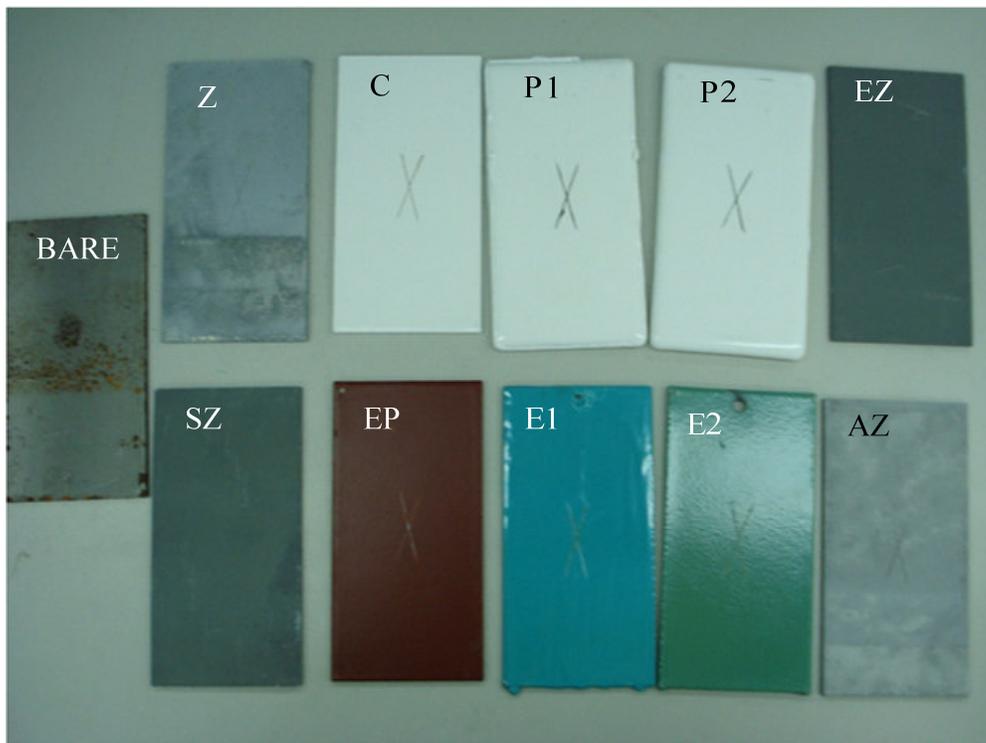


圖 4-24 耐濕試驗 500 小時後塗層外觀

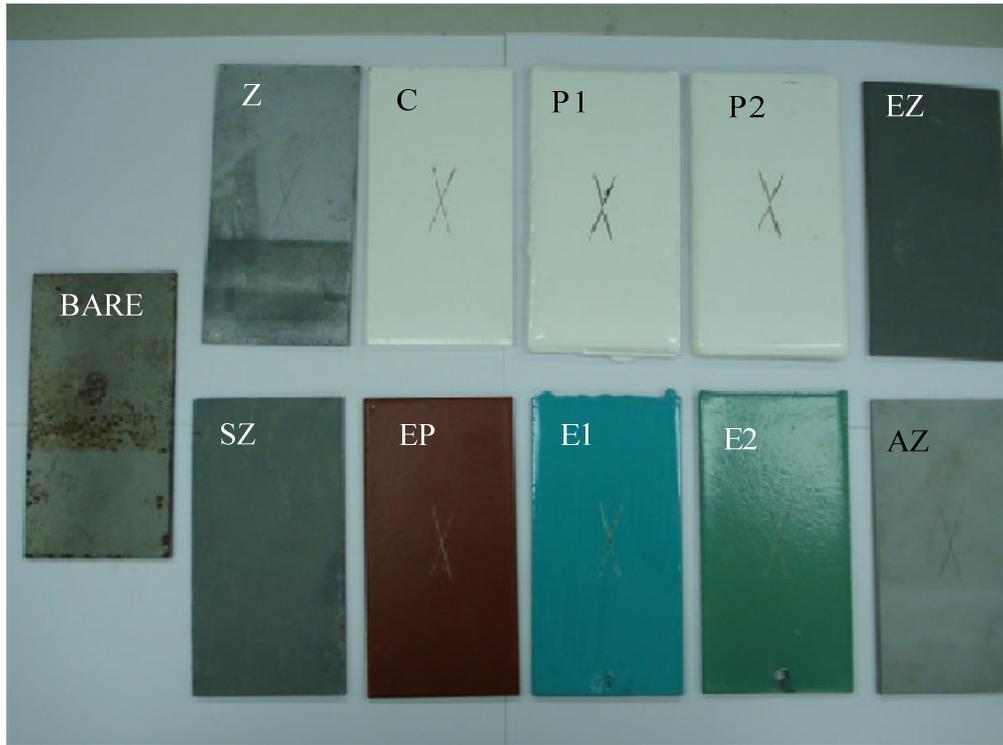


圖 4-25 耐濕試驗 2000 小時後塗層外觀

三、加速耐候試驗

塗層長期暴露在外，陽光的紫外線照射會使得塗層產生褪色、變色等情形而影響美觀。本試驗將試片置於UV-B紫外燈箱，在經過紫外線30天與3個月的照射後，觀測其色澤變化情形。圖4-26～圖4-35為塗膜表面色澤變化情形。30天後，EZ、SZ、EP、AZ試片有色澤變淡的情形，而E1、E2試片除了色澤變淡，還有顏色變黃的情形，C、P1、P2試片並無變化。3個月後，Z試片的金屬光澤明顯下降，EZ、SZ、EP、AZ、E1、E2試片色澤仍然有變淡的情形，C、P1、P2試片仍然無變化。由此可看出C、P1、P2試片對於紫外線有較高的抗性。

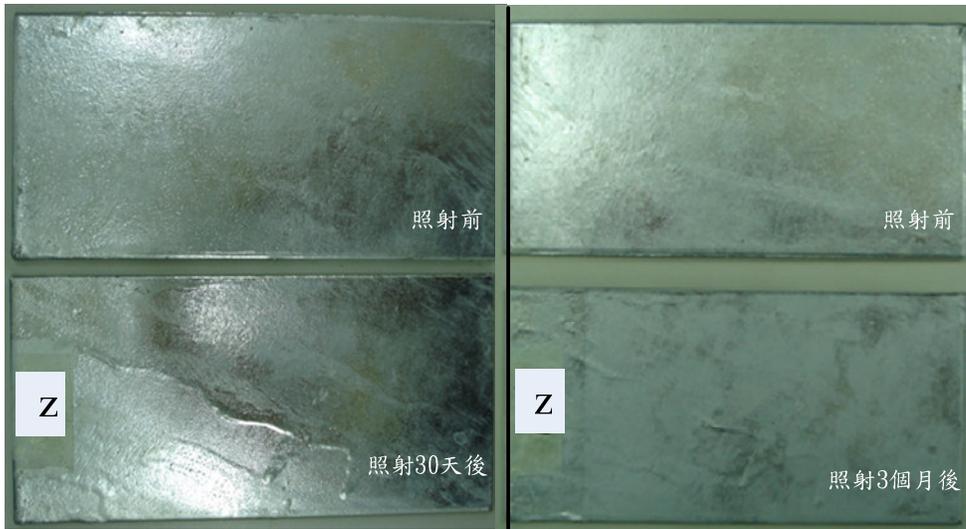


圖 4-26 UV-B 紫外燈照射後 Z 試片外觀變化



圖 4-27 UV-B 紫外燈照射後 C 試片外觀變化

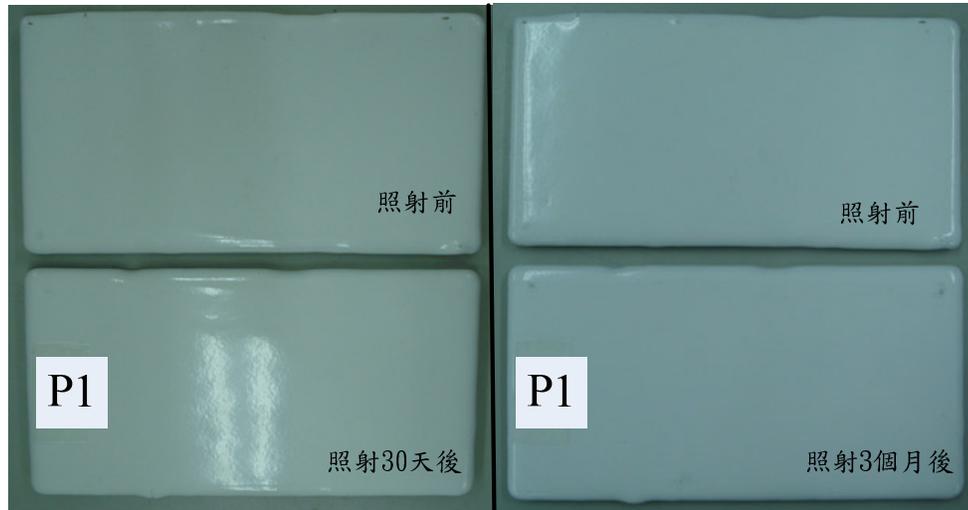


圖 4-28 UV-B 紫外燈照射後 P1 試片外觀變化



圖 4-29 UV-B 紫外燈照射後 P2 試片外觀變化

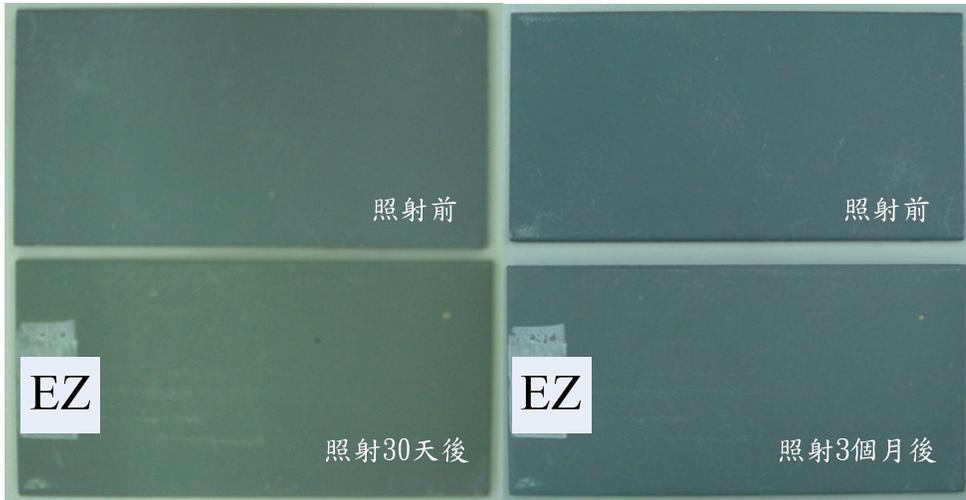


圖 4-30 UV-B 紫外燈照射後 EZ 試片外觀變化



圖 4-31 UV-B 紫外燈照射 SZ 試片 30 天後外觀變化

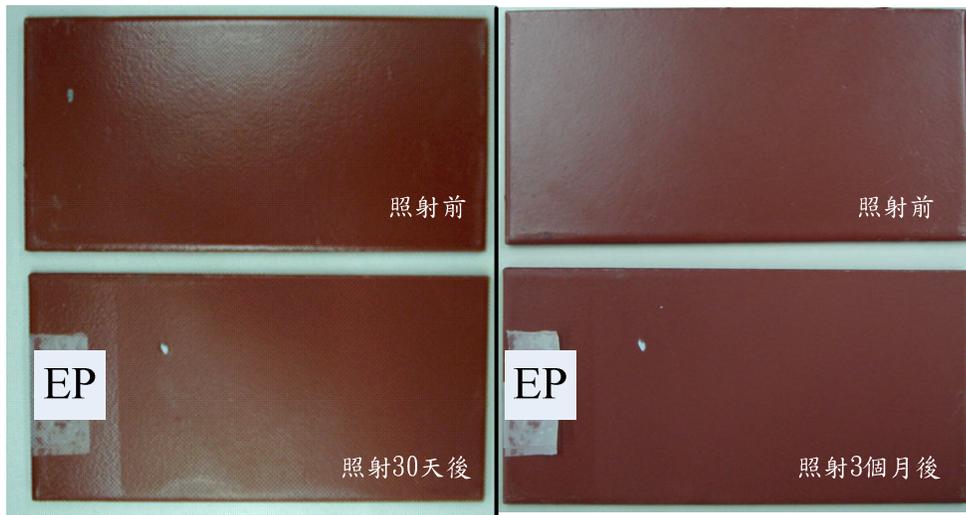


圖 4-32 UV-B 紫外燈照射 EP 試片 30 天後外觀變化

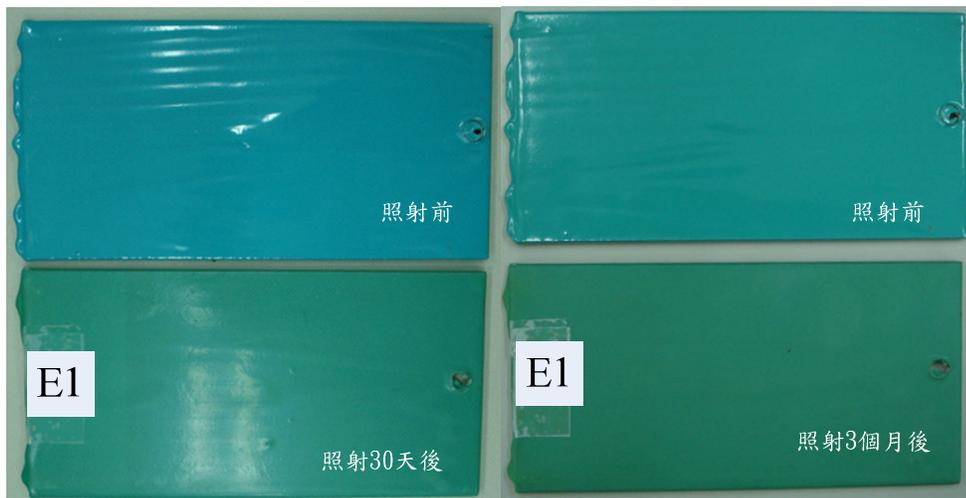


圖 4-33 UV-B 紫外燈照射 E1 試片 30 天後外觀變化



圖 4-34 UV-B 紫外燈照射 E2 試片 30 天後外觀變化



圖 4-35 UV-B 紫外燈照射 AZ 試片 30 天後外觀變化

四、曝曬試驗

本試驗於海洋大學河工二館五樓進行，離海邊約 50m，在此高腐蝕環境下觀測各塗層的腐蝕情形，試驗結果如圖 4-36 與圖 4-37 所示，分別為曝曬試驗 500 小時、2000 小時之塗層外觀。500 小時後，BARE 試片嚴重鏽蝕，整個試片產生褐色鐵鏽。Z 試片失去金屬光澤，無鏽蝕產生。C、P1、P2、E1、E2 試片的刻痕中有鐵鏽產生，EZ、SZ、EP、AZ 並無明顯變化。2000 小時後，EP 試片的×刻痕的正中心點有鏽蝕產生，AZ 的刻痕有鏽蝕產生，其餘試片與 2000 小時並無明顯變化。

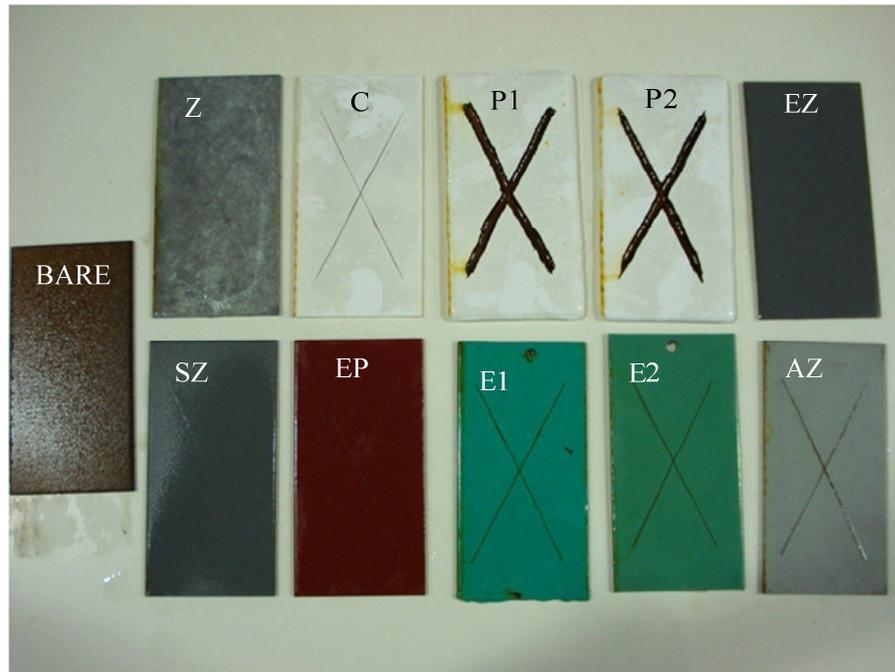


圖 4-36 曝曬試驗 500 小時後塗層外觀



圖 4-37 曝曬試驗 2000 小時後塗層外觀

第六節 綜合討論

一、防蝕效果

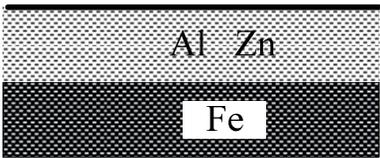
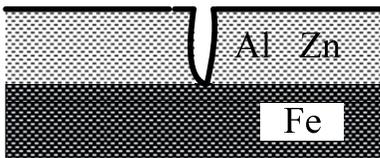
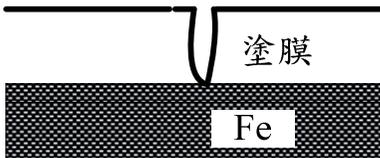
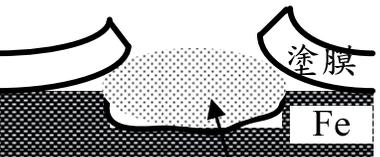
保護鋼鐵底材免於腐蝕有兩種功能：

1. 隔絕效果：使氧及水氣不與鋼鐵表面接觸。
2. 陰極防蝕：當鋼鐵底材外漏時，鋅及鋁可對鐵提供陰極防蝕。

PU、環氧樹脂塗裝主要是依靠隔絕效果達到防護作用，熱浸鍍鋅、鋅粉塗裝及鋅鋁合金塗裝則同時擁有兩種效果。因此當熱浸鍍鋅、鋅粉塗裝及鋅鋁合金塗裝外層受到刮傷後，因惰性陽極防蝕作用可減緩陽極消耗速度及供鋼鐵底材阻絕作用，不同於PU、環氧樹脂塗裝遭刮傷或破裂使鋼鐵底材生鏽。由於PU、環氧樹脂塗裝不具犧牲保護作用，與熱浸鍍鋅、鋅粉塗裝及鋅鋁合金塗裝表面受損之防蝕狀況不同，如表4-23所示。且若PU、環氧樹脂塗裝施工時，倘若材質品質不當將造成塗裝加速腐蝕。

故綜合以上所述防蝕效果以熱浸鍍鋅、鋅粉塗裝及鋅鋁合金塗裝較佳，PU、環氧樹脂塗裝系統較差。

表 4-13 表面受損之腐蝕型態

	熱浸鍍鋅、鋅粉塗裝及鋅鋁合金塗裝	PU、環氧樹脂塗裝
基材		
破裂發生		
腐蝕狀態	 犧牲陽極 保護作用	 鏽，加速腐蝕

二、防蝕時效

在各種試片上，均畫×至底材後，在 7 天後觀察，由於曝曬點在海洋大學濱海校區五樓頂離海僅 50m，因受海風及海鹽粒子侵蝕，PU、環氧樹脂塗裝塗裝試片上之×字內已生鏽，熱浸鍍鋅、鋅粉塗裝及鋅鋁合金塗裝試片均正常。另鹽水噴霧試驗亦比照於各試片上劃一×字後經試驗 500hr 後，除 PU、環氧樹脂試片之×字內已生鏽，其餘試片仍未生鏽。綜合上述，PU、環氧樹脂塗裝於鋼鐵之塗裝有缺陷時，水份會滲入基材表面生成腐蝕物，且在漆底擴展造成基材表面腐蝕，不如熱浸鍍鋅、鋅粉塗裝及鋅鋁合金塗裝防蝕系統。

第五章 結論與建議

第一節 結論

1. 各塗層之性能試驗結果如表 5-1 所示。
2. 附著性與耐衝擊性試驗顯示除了環氧樹脂鋅粉塗料(EZ)、無機鋅粉塗料(SZ)試片有些微凹痕，各種塗層均無明顯剝落現象，亦及所有塗層均有良好的附著性與耐衝擊性。
3. 從耐磨試驗中耐磨損指數較高的熱浸鍍鋅、環氧樹脂系三聚磷酸鋁防銹塗裝(EP)與鋅鋁塗裝在硬度試驗也擁有較高的硬度，而鋅粉塗裝系統(環氧樹脂鋅粉塗裝 EZ、無機鋅粉塗裝 SZ)的硬度與耐磨性卻較低。
4. 耐酸試驗顯示熱浸鍍鋅、鋅粉塗層與鋅鋁塗裝的耐強酸性能較差，環氧樹脂與 PU 塗層皆有較好的耐酸性。在酸性環境中，熱浸鍍鋅、鋅粉塗裝與鋅鋁塗裝含有的鋅粉會與酸性的物質產生化學變化使鋅粉加快消耗而使得防鏽能力下降，而環氧樹脂與 PU 塗層並沒有此問題。
5. 耐鹼試驗顯示各種塗裝系統均無鏽蝕現象，亦及所有塗裝系統均有良好的耐鹼性。
6. 耐鹽水試驗顯示各種塗裝系統均無鏽蝕現象，亦及所有塗裝系統均有良好的耐鹽水性。
7. 耐濕試驗顯示各種塗裝系統均無明顯鏽蝕現象，亦及所有塗裝系統均有良好的耐濕性。
8. 加速耐候試驗顯示環氧樹脂系列的抗紫光線的能力較差，鋅粉塗裝系統也有些微的顏色變淡的情形。PU 塗裝系統不受紫外光影響，抗紫光線的能力較強。
9. 鹽水噴霧試驗與曝曬試驗可看出熱浸鍍鋅、鋅粉塗裝系統、鋅鋁塗裝系統都擁有很好的防蝕能力，但熱浸鍍鋅在試驗中色澤會變較灰暗，光澤度變差，鋅粉塗裝系統、鋅鋁塗裝系統則會有淡藍色薄膜，較不美觀。PU 與環氧樹脂系列在刮痕以外的地方皆沒有鏽蝕產生，深及基材的刮痕，容易從基材產生鏽蝕，因此其耐磨耗性、耐衝擊性必須要好才能有很好的防蝕性。
10. 參考本研究文獻回顧資料、試驗計劃結果，以及 ISO 12944 標準「塗漆和清漆-鋼結構系統經由防護塗漆系統進行」，針對鋼結構防蝕塗漆系統擬定「鋼結構防蝕塗漆技術手冊」，概分為七章，章節主題包括(1)概述、(2)暴露環境分類、(3)設計考量、(4)表面類型及表面處理、(5)防護塗漆系統、(6)實驗室性能試驗

法、(7)塗漆作業執行與監督。

表 5-1 各塗層試驗結果

試驗 編號	Z	C	P1	P2	EZ	SZ	EP	E1	E2	AZ
附著性試驗	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
耐衝擊試驗	○	○	○	○	△	△	○	○	○	○
硬度試驗	○	○	△	△	△	△	○	○	○	○
耐磨試驗	○	△	△	△	△	×	○	△	△	○
耐酸試驗	×	○	○	○	×	×	△	○	○	×
耐鹼試驗	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
耐鹽水性	○	△	△	△	○	○	○	△	△	○
鹽水噴霧試驗	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
耐濕性	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
加速耐候試驗	○	○	○	○	△	△	△	×	×	△
曝曬試驗	○	△	△	△	○	○	○	△	△	○

註：○（較優）與其他塗層相比評定點數較高。

△（尚可）與其他塗層相比評定點數次之。

×（較差）與其他塗層相比評定點數較差。

第二節 建議

1. PU 與環氧樹脂系列雖然有很好的隔絕效果，若有深及基材的裂痕產生，仍然會從基材產生鏽蝕，因此塗裝作業的控管必須完善。建議在塗裝前的表面處理工作要有嚴格的控管，且表面處理完必須立即塗裝。
2. 在都市與工業環境中考慮到防蝕效益與經濟性之平衡，建議使用熱浸鍍鋅或鋅粉塗裝及鋅鋁合金塗裝等具有陰極防蝕作用的塗裝系統。
3. 在酸性的環境中，熱浸鍍鋅與鋅粉塗裝可能會與酸性物質產生化學反應，建議加上有隔絕作用的環氧樹脂或 PU 塗裝。
4. 在已發生鏽蝕之鋼結構建築，若要重新塗裝，因組裝完成無法再拆除重新鍍鋅，建議使用鋅粉塗裝或鋅鋁合金塗裝底漆加上 PU 面漆。

附錄一 鋼結構防蝕塗漆技術手冊(草案)

參照 ISO 12944「塗漆和亮光(清)漆-鋼結構防蝕塗漆系統」及相關試驗結果訂定本技術手冊，概分為七章：

- (1)概述
- (2)暴露環境分類
- (3)設計考量
- (4)表面型式與表面處理
- (5)防護塗漆系統
- (6)試驗室性能試驗法
- (7)塗漆作業執行與監督

第一章 概述

1. 適用範圍

- 1.1 本手冊適用作為鋼結構腐蝕防護塗漆系統相關技術之參考。
- 1.2 本手冊僅涉及塗漆系統之腐蝕防護功能。
- 1.3 本手冊應用範圍係依鋼結構形式、表面及表面處理方式、暴露環境、防護塗漆系統類別、作業方式以及防護塗料系統耐久性等因素而決定之。

1.3.1 結構類型

本手冊所述之結構係使用碳鋼或低合金鋼(厚度不小於 3mm)參照規範設計製作完成。

1.3.2 表面型式及表面處理

未塗封表面，熱噴鋅、鋁或其合金表面、熱浸鍍鋅表面、電鍍鋅表面、滲鋅防蝕表面、塗漆表面。

1.3.3 暴露環境分類

結構物於大氣中腐蝕環境分為六類，結構物於水中或土中腐蝕環境分為三類。

1.3.4 塗漆系統分類

粉末塗封材料、熱烘瓷漆、熱固塗漆、大於 2mm 乾膜厚塗封、表面化學處理產品。

1.3.5 作業分類

本手冊包括新工法及維護。

1.3.6 防護塗料系統耐久性

耐久性分為低、中及高三類。

2. 名詞定義

2.1 塗層

一次施作完成的連續表面層或連續塗漆膜。

2.2 腐蝕

金屬與暴露環境間之的物理化學反應，此反應會改變金屬的性質，並且會導致金屬性能發生損害。

2.3 腐蝕損害

由於腐蝕發生造成金屬性能的損害。

2.4 腐蝕應力

促使腐蝕發生的環境因素。

2.5 耐久性

防護塗漆系統施作完成後至首次需要進行主要維護作業的預計時期。

2.6 內襯層 (lining)

槽內表面的防護塗封。

2.7 塗漆

一種液體、漿體或粉體並可著色的塗封材料，可施加於基材表面，形成具有防護、裝飾或其他特性的不透明的膜，。

2.8 防護塗層系統

為提供腐蝕防護而已經或將要施加於基材表面的金屬層(或/及)塗漆層或其他相關產品。

2.9 防護塗漆系統

為提供腐蝕防護而已經或將要施加於基材表面的塗漆層或其他相關產品。

2.10 基材表面

已經或將要施加塗層材料的表面。

3. 一般考慮及要求

- 3.1 因塗漆系統能夠提供結構物有效防護的期限常較結構物的預期使用壽命為短，故於規劃設計時應將塗漆系統的維護或更新可行方式列入考慮。

3.2 曝露於環境腐蝕因子下，如構件組裝後無法再施作防蝕措施時，應提供有效防蝕措施使結構物於使用年限內具有適當的保護。倘若無法施作防護塗層系統時，設計時可考慮使用抗腐蝕材料或使用未來可抽換的組件等。

3.3 腐蝕防護系統的成本效益，一般與維持有效防蝕時間長短成正比，有效防蝕時間愈長在結構物服務年限內，防護系統的維護與更新的費用愈低。

3.4 塗層耐久性分為三類：

低耐久性(L)	2~5年
中耐久性(M)	5~15年
高耐久性(H)	15年以上

第二章 暴露環境分類

1. 適用範圍

本章主要針對鋼結構的主要暴露環境及暴露環境的腐蝕性進行分類。

2. 名詞定義

2.1 腐蝕性

在特定的腐蝕系統中，環境造成腐蝕的能力。

2.2 腐蝕應力

促使腐蝕的環境因子。

2.3 腐蝕系統

系統包含一種或多種金屬及影響腐蝕的環境因素。

2.4 大氣腐蝕

於地球大氣及大氣溫度下發生的腐蝕。

2.5 大氣環境分類

依據促使腐蝕發生的程度分類：

2.5.1 鄉村大氣環境

2.5.2 都市大氣環境

2.5.3 工業大氣環境

2.6 局部環境

結構組成元素周圍局部的大氣環境

2.7 微觀環境

結構組成元素和周圍接觸界面的環境；微觀環境是腐蝕應力評估的決定因素之一。

2.8 濕潤時間

係指金屬表面導致大氣腐蝕發生的電解液覆蓋時間。濕潤時間的指標值(guidance value)可經由累計大氣環境相對溼度大於 80%且溫度大於 0°C 的總小時數而得。

3. 空氣、水與土壤的腐蝕因子

3.1 大氣腐蝕

大氣腐蝕是水膜附著於金屬表面而發生的電化學反應，水膜可能甚薄以致無法由肉眼察覺。

3.2 水及土壤中的腐蝕

當部分結構浸於水中或埋入土中時，局部結構會有高腐蝕速率，應留意處理。

3.2.1 浸於水中結構物

清水、微鹼水或鹽水對於鋼材的腐蝕性會有明顯的影響。水中的溶氧量、溶解物質數量與溫度會影響腐蝕性。水中動、植物生長會加速腐蝕。

4. 暴露環境分類

本節項次主題包括：ISO 依據大氣腐蝕現象將腐蝕環境分類為六大項、水及土壤的種類。分類如表 1 所示。

表 1 - 腐蝕分類

腐蝕 類型	腐蝕 環境	單位面積重量損失與消耗厚度 (一年暴露時間下)				典型氣候環境範例 (供參考)	
		鐵		鋅		外部環境	內部環境
		重量損失 (g/m ²)	腐蝕厚 度(μm)	重量損 失(g/m ²)	腐蝕厚度 (μm)		
C1	極低	≤10	≤1.3	≤0.7	≤0.1	-----	空氣乾燥與污染 不明顯環境，例 如：辦公大樓/學 校/旅館 溫溼度變化、水氣
C2	低	>10-200	>1.3-25	>0.7-5	>0.1-0.7	低污染大氣環 境，鄉村	冷凝與低空氣污 染環境，例如：運 動館/車站 微量氯離子或 中度污染大氣
C3	中等	>200-400	>25-50	>5-15	>0.7-2.1	環境，城市區/ 低開發工業化 區/受濱海微 影響區	空氣污染廠房，例 如：釀造廠/酪農 場/洗衣房 中等溼度與低度 空氣污染廠房，例 如：釀造廠/酪農 場/洗衣房
C4	高	>400-650	>50-80	>15-30	>2.1-4.2	高度污染大氣 環境，工業區/ 濱海區	高溼度與高度空 氣污染之廠房，例 如：化學工廠/游 泳池/製船廠 中度氯離子或 高溼度與高度空 氣污染之廠房，例 如：化學工廠/游 泳池/製船廠
C5-I	極高(工 業區)	>650-1500	>0-200	>30-60	>4.2-8.4	嚴重腐蝕之工 業區	經常性高度空氣 污染環境 高溼度與大氣 嚴重腐蝕之工 業區
C5-M	極高(濱 海區)	>650-1500	>0-200	>30-60	>4.2-8.4	高度氯離子散 佈之濱海與近 海岸區	經常性高度空氣 污染環境 高度氯離子散 佈之濱海與近 海岸區

(ISO 12944-2: 1998)

第三章 設計考量

1. 適用範圍

本章說明鋼結構使用防護塗漆系統的基本設計準則，以避免發生早期腐蝕及防止塗層或結構劣化。設計考量包括鋼結構的處理(handling)與運送。

2. 防蝕設計基本準則

- 2.1 具有可施作性(accessibility)
- 2.2 裂縫或間隙處理(treatment of gaps)
- 2.3 防止水分及雜物滯留的預防措施(precautions to prevent retention of deposits and water)
- 2.4 稜邊處理(edges)
- 2.5 焊接表面的缺失處理(welding surface imperfections)
- 2.6 螺栓連接處理(bolted connections)
 - 2.6.1 使用高拉力強度螺栓止滑連接處理(slip-resistant connections with high - tensile bolts)
 - 2.6.2 預載連接處理(preloaded connections)
 - 2.6.3 螺栓、螺帽及墊片處理(bolts, nut and washers)
- 2.7 箱型構件與中空元件處理(box members and hollow components)
- 2.8 刻痕處理(notches)
- 2.9 加勁構件處理(stiffeners)
- 2.10 伽凡尼腐蝕的防止處理(prevention of galvanic corrosion)
- 2.11 運送及安裝處理(handling transport and erection)

第四章 表面類型及表面預處理

1. 適用範圍

本章敘明碳鋼或低合金鋼結構的表面形式及表面前處理。鋼結構表面類型包括：未塗封表面、熱噴鋅、鋁或其合金表面、熱浸鍍鋅表面、電鍍鋅表面、滲鋅防蝕表面、預製底漆表面及其他塗漆表面。表面前處理可分許多等級但並未訂定基層面在表面前處理的需求條件。高度磨光表面及加工硬化表面不在本章考慮範圍。

2. 名詞定義

2.1 噴砂磨平清理

以高動能將噴砂噴擊於塗漆施作的表面

2.2 噴擊清理用研磨材料

一種可用於研磨噴砂清理的固體材料

2.3 粉塵

存在欲塗漆表面的鬆散顆粒，主要為噴砂或其他表面準備過程所產生

2.4 露點 (dew point)

空氣中的水氣能夠在固體表面冷凝的溫度

2.5 快速鏽蝕 (flash rusting)

鋼材表面清理後快速產生的輕微鏽蝕

2.6 金屬削 (grit)

具有多角、斷裂面與尖銳邊緣的顆粒

2.7 熱扎鋼材表面氧化皮 (mill scale)

鋼材熱處理或熱扎後形成的厚氧化層

2.8 鏽蝕

肉眼可見的腐蝕生成物，鐵金屬腐蝕生成物主要為氫氧化鐵

2.9 圓形顆粒 (shot)

主要為圓形 (長度不大於寬度兩倍)的顆粒

2.10 基材 (substrate)

已經或將要被施作塗層材料的表面

2.11 表面準備處理 (surface preparation)

任何一種塗漆施作前，清理塗層表面的方法

2.12 白色鏽蝕

鍍鋅層白色至灰色的腐蝕生成物

3. 通則

4. 表面處理類型

4.1 無塗層表面(uncoated surface)

4.2 金屬塗層表面 (metal-coated surface)

4.2.1 熱噴塗表面 (thermally sprayed surface)

4.2.2 熱浸鍍鋅表面 (hot-dip-galvanized surface)

4.2.3 電鍍鋅表面 (zinc-electroplated surface)

4.2.4 粉末鍍鋅表面 (sherardized surface)

4.3 塗漆表面 (surface painted surface)

5. 表層處理方法

5.1 清水、溶劑及化學清理

5.1.1 水清理

5.1.2 蒸氣清理

5.1.3 乳化劑清理

5.1.4 鹼性清理(alkaline cleaning)

5.1.5 有機溶劑清理

5.1.6 化學轉化清理

5.1.7 刮除

5.1.8 酸除(acid picking)

5.2 機械清理包含噴砂清理

5.2.1 手工清理

5.2.2 電動工具清理

5.2.3 噴砂清理

5.2.3.1 乾燥噴砂清理

5.2.3.1.1 離心噴砂清理

5.2.3.1.2 真空或吸附噴砂清理

5.2.3.2 噴水噴砂清理(高壓水噴射噴砂清理)

5.2.3.3 濕式噴砂清理

5.2.3.3.1 空壓濕式噴砂清理

5.2.3.3.2 漿體式噴清理(slurry blast – cleaning)

5.2.3.3.3 液壓式噴清理

5.2.3.4 特殊噴式清理 (particular applications of blast-cleaning)

5.2.3.4.1 全面噴清理(sweep blast-cleaning)

5.2.3.4.2 斑點噴清理 (spot blast-cleaning)

5.2.4 噴水清理

5.3 火焰清理

6. 表面清理分級

6.1 無塗層表面

6.2 金屬塗層表面

6.3 施作底漆與塗漆表面

6.4 其他塗漆表面

7. 表層剖面(粗糙度)及表層剖面分級

8. 完成清理表面的評定(assessment of prepared surfaces)

9. 防止完成清理的表面污染或腐蝕臨時防護

10. 多重塗裝對於表面保護的臨時處理

11. 熱浸鍍鋅表面前處理

11.1 未風化表面

11.2 已風化表面

12. 熱噴金屬表面前處理(鋅和鋁)

13. 電鍍鋅及粉末鍍鋅表面前處理

14. 其他塗層表面前處理

15. 污染及環境建議事項

16. 健康和安全

第五章 防護塗漆系統

1. 適用範圍

本章說明鋼結構防蝕塗層類別及塗漆系統，並對選擇適用於不同暴露環境、不同表面處理程度及不同需求耐久性之塗漆系統提出建議。塗漆耐久性可分為短期、中期及長期三種。

2. 名詞定義

2.1 高製造 (high-build)

一種塗層材料，可允許施作比一般應用較厚的塗層。依 ISO 12944 規定大於 80 μ m 乾膜厚度。

2.2 高固含量 (high-solid)

塗漆有較高的固體成分。

2.3 相容性

- (1) 塗漆系統中產品之相容性
- (2) 塗漆系統與基材之相容性

2.4 底層漆

底層漆對於粗造面、乾淨金屬面或清理後舊塗層面提供良好的黏著性，始能與上塗層結合良好。底漆同時也提供塗層作業間隔期間與塗層系統使用年限中的防蝕功能。

2.5 中漆

中層漆介於底漆與面層。

2.6 面漆

面漆為塗層系統之最後塗封層，在定暴露環境下中設計作為保護下部塗層並提供整體系統的防蝕保護及表面需求色澤。

2.7 連接塗層(tie coat)

連接塗層用來改善塗層間的接著性或在施作過程中避免某些缺陷發生。

2.8 輔助塗層(stripe coat)

輔助塗層用以確保重要區域如施作面邊緣及焊接處等有適當的防護。

2.9 乾膜厚度

表面塗層硬固後之厚度。

2.10 標稱乾膜厚度

為能達到需求耐久性，指定之單一塗層或整體塗層系統的乾膜厚度

2.11 最大乾膜厚度

最大的容許乾膜厚度，超過最大乾膜厚度塗漆或塗層系統可能會受到損害。

2.12 底漆 (primer)

一種塗漆施作於清理完成的基材表面

2.13 組裝前用底漆 (pre-fabrication primer)

一種快乾漆可施作於噴砂完成的鋼材避免組裝時塗層受損同時亦允許焊接。

2.14 混合後使用期限 (pot life)

當塗漆各組合材料混合後，最長可使用的期限。

2.15 保存期限 (shelf life)

使用原有密封容器且在一般貯存條件下，塗料能維持良好品質的期限。

2.16 揮發性有機化合物 (VOC)

基本上在適當的溫度和大氣壓力下，任何有機液體或固體會自然的揮發。

2.17 揮發性有機化合物含量 (VOC content)

塗料中揮發性有機化合物的質量(在特定的條件下量測)。

3. 塗漆種類

下列所述各類塗漆被廣泛使用於鋼結構防蝕塗層系統。

3.1 氣乾型塗漆

塗膜硬固係因有機溶劑或水分揮發及黏結劑是與氧氣產生膠結反應。主要黏結劑為：酸醇樹脂(alkyd)、聚氨基甲酸-酸醇樹脂(urethane alkyd)、環氧樹脂(epoxy ester)

3.2 物理性乾燥型塗料

3.2.1 溶劑型塗料

塗膜乾燥是因溶劑的蒸發；此程序是可逆的，乾燥後的塗膜可再被原有溶劑溶解；乾燥時間受空氣的流動及溫度所影響，乾燥溫度可降至 0°C，但溫度越低乾燥速度越低。主要黏結劑為：氯化橡膠(chlorinated rubber)、聚氯乙烯(PVC)、壓克力樹脂(acrylic resins)、瀝青(bitumen)。

3.2.2 水性塗料

塗料黏結劑在水中會分散；塗膜硬固是因水分的蒸發與分散黏結劑形成的薄膜。此程序是不可逆的；乾燥時間受空氣的流動及溫度的影響，乾燥溫度可降至

3°C，但溫度越低時乾燥速度越慢。主要黏結劑為：可分散型壓克力(acrylic dispersion)、可分散型乙烯(vinyl dispersion)、可分散型聚氨酯(polyurethane dispersion)。

3.3 化學硬化塗漆 (chemically curing paints)

通常此類塗料包括主劑與硬固劑；塗層硬固係因溶劑蒸發(如有溶劑)，接續主劑與硬固劑混合產生化學反應。

3.3.1 環氧樹脂二劑型塗料

主劑：主劑中的黏結劑為環氧基高分子材料可與適當的硬固劑反應。一般黏結劑為環氧(epoxy)、(epoxy vinyl/epoxy acrylic)、(epoxy combination)。硬固劑為聚胺 Polyaminoamines (polyamines)、聚醯胺 Polyaminoamides (polyamides)等。聚胺較適用於底漆；聚醯胺主要作為塗層且有較佳的耐化學性。其硬固時間隨空氣流動或溫度變化而變，硬固溫度可低達 5°C。

3.3.2 聚氨酯二劑型塗漆(polyurethane 2-pack paints)

黏結劑為氫氧自由基能與適當硬固劑反應。分為溶劑型跟無溶劑型。主要黏結劑為聚酯樹脂(polyester)、丙烯酸酯(acrylate)、環氧樹脂(epoxy)、聚醚(polyether)、含氟樹脂(fluoro resin)。硬固劑為芳香族或脂肪族聚異氰酸酯。芳香族聚異氰酸酯能保持良好的顏色及光澤，但須與適當主劑混合。脂肪族聚異氰酸酯具有速乾效果。影響乾燥因素為空氣流動及溫度變化，硬固溫度可降至 0°C。

3.3.3 濕硬固塗漆

塗膜因溶劑的蒸發而形成，硬固的化學反應與空氣溼度有關。主要黏結劑為聚氨酯(polyurethane) (1-pack)、烷基矽酸鹽(alkyl silicate)、乙基矽酸鹽(ethyl silicate)(2-pack)、乙基矽酸鹽(ethyl silicate) (1-pack)。乾燥時間與空氣流動、溫度變化、濕度及膜厚有關，硬固溫度可降至 0°C；必須提供足夠的濕氣，若相對濕度降低其硬固效果也變慢。

第六章 實驗室性能試驗法

1. 適用範圍

本章敘明鋼結構防蝕塗漆系統的評估試驗法和試驗條件。試驗結果可作為選擇適當塗漆系統的參考，但不適作為決定耐久性的準確資訊。

2. 引用參考標準

本手冊引用下列標準條文，所有標準都會適時修正，應引用最新版標準作為參考。

ISO 554 :1976，調節/或試驗標準大氣----規範

ISO 1512: 1991，塗漆和亮光(清)漆 ----由液體的產品或漿體中取樣

ISO 1513：1992，塗漆和亮光(清)漆 ----試樣查驗和準備

ISO 2409 :1992，塗漆和亮光(清)漆----交叉切痕試驗

ISO 2808 : 1997，塗漆和亮光(清)漆----膜厚測定

ISO 2812-1 : 1993，塗漆和亮光(清)漆----抗液體測定 ----part 1: 一般方法

ISO 2812-2 : 1993，塗漆和亮光(清)漆---- 抗液體測定 ----Part 2：浸水法

ISO 3231 G1993，塗漆和亮光(清)漆---- 抵抗含二氧化硫潮濕大氣測定

ISO 4462 : 1978，塗漆和亮光(清)漆----黏著拉力試驗

ISO 4628-1 : 1982，塗漆和亮光(清)漆----塗漆層劣化評估 ----強度，數量和缺陷大小規定 Part---1 一般原理和評級規畫

ISO 4628-2 : 1982，塗漆和亮光(清)漆---- ----對塗漆層劣化評估 ----強度，數量和缺陷大小規定 Part 2：起泡程度規定

ISO 4628-3 : 1982，塗漆和亮光(清)漆----塗漆層劣化評估 ----強度，數量和缺陷大小規定 ---- Part 3 :鏽蝕程度規定

ISO 4628-4 : 1982，塗漆和亮光(清)漆----塗漆層劣化評估 ----強度，數量和缺陷大小規定----Part 4:斷裂程度規定

ISO 4628-5 : 1982，塗漆和亮光(清)漆----塗漆層劣化評估 ----強度，數量和缺陷大小規定 ----Part 5: 表面剝落薄片程度規定

ISO 6270:1980，塗漆和亮光(清)漆----抗濕度測定(持續凝結)

ISO 7253:1996，塗漆和亮光(清)漆----抗中性鹽水(霧)的測定

ISO 7384:1986，人造環境中腐蝕試驗----一般規定

ISO 8501-1:1988，塗漆和相關產品施作前鋼材準備工作----目視評估表面清潔----

Part1 在先前的塗封移動之後分開未塗封鋼材和完成清除先前塗層鋼鋼材表面鏽蝕等級與表面清理等級

ISO 8503-1:1988，塗漆和相關產品施作前鋼材準備工作----Part 1 用以評估噴砂清理表面之ISO表層剖面精密度測定器(comparator)的規格和定義

ISO 8503-2 :1988，塗漆和相關產品施作前鋼材準備工作---- Part 2 噴砂清理鋼材的表層剖面評級方法---- 使用精密度測定器步驟

ISO 12944-1:1998，塗漆和亮光(清)漆----保護塗漆系統對鋼結構的腐蝕防護 ----Part 1 概述

ISO 12944-2:1998，塗漆和亮光(清)漆 ----保護塗漆系統對鋼結構的腐蝕防護----Part 2 環境分類

ISO 12944-4:1998，塗漆和亮光(清)漆 ----保護塗漆系統對鋼結構的腐蝕防護---- Part 4 表面的型式和表面準備

ISO 12944-5:1998，塗漆和亮光(清)漆 ----保護塗漆系統對鋼結構的腐蝕防護---- Part 5 保護塗漆系統

3. 名詞定義

3.1人工加速老化：加速塗漆系統老化的一種方法，亦即可較自然暴露過程，快速降低腐蝕保護效能

3.2目視評估法：除了視覺評估法外還使用視覺評估方法平均值方法

3.3輔助評定法

3.4需求：試驗結果需能用以決定一塗漆系統適用於腐蝕防護

4. 通則

4.1人工加速老化和自然暴露間的關係

塗漆系統的選擇應該儘可能基於來自在類似條件下使用系統的經驗。此因塗漆系統的耐久性取決於許多外部因素如暴露環境、結構設計、表面處理、施作方式和乾燥程序。雖然耐久性與塗漆系統化學和物理特性有關如黏結劑類別及乾膜厚度。人工老化試驗可評估塗漆特性。塗漆系統的抗水、抗濕及抗鹽霧性試驗可作為潮濕連結與屏障特性的指標。在特定應用上，選擇老化試驗與持續時間以確保(具有高機率)塗漆系統可以達到需求耐久性。

但是人工老化試驗結果應謹慎使用，人工老化未必與自然暴露有相同的效

應。許多因素對塗漆劣化過程有影響，試驗室無法適當地加速所有影響因素。試驗室人工老化試驗不易對塗漆系統提出可靠分級資訊。

4.2 增加性能試驗

建議增加性能試驗，如果：

- (a)經由紫外線輻射循環老化試驗後，認為有必要評估塗漆系統的防蝕能力；
- (b)需要更多腐蝕保護行為的資訊。

5. 試驗

5.1 試片

5.1.1 鋼基材

試片應由相同鋼材製成(除非另有協議)。試片最小尺度為150 mm × 70 mm。試片厚度將取決於試驗項目(但至少2 mm)。除非另有協議，試片表面應噴砂清理，達到ISO 8501-1規定 Sa 2或Sa 3等級表面粗糙度(剖面)符合ISO 8503-1中級(G)。

5.1.2 鋅塗層鋼基材

除非另有協議試片尺寸和厚度應與鋼基材相同。表面前處理應按甲乙方約定辦理。適當的表面前處理法可參考ISO 12944-4。

5.2 塗漆取樣

自產品(或多塗層系統每一種產品)中選取代表性樣本，檢視並準備樣本

5.3 試片數量

除非另有協議，每次試驗準備3個試片

5.4 塗漆系統

儘可能利用噴塗方式進行試片塗層施作。塗漆施作應參考製造商說明書。塗層厚度應均一並且無下陷，漏塗，小孔，起皺，光澤變化，顆粒附著和起泡等。膜厚根據ISO 2808測量且不超過規定值20%。

除非另有協議，試驗前試片應放置在23°C/(50%RH)或(20±2)°C/(65±5%RH)大氣環境中三週。如果進行鹽霧試驗(參閱表1)，表面刮痕應切深至基材表面。試片邊緣和背面應施作適當保護。

5.5 參考系統

建議以一現場成功使用多年的塗漆系統(該系統試驗室試驗結果顯示的性能已非常清楚)，做為參考系統。可應用於與此系統組成、類型及膜厚相似的待測試的

另一系統。

5.6 試驗程序

試驗程序詳列於表 1 及表 2。

參照 ISO 2812-1，需使用的辨識、分析品質的化學品如下：

- a) NaOH, 10% (m/m), 水溶液;
- b) H₂SO₄, 10% (m/m), 水溶液;

評定塗漆系統使用於水中與土中的合適性，可參考 ISO 12944-2(如表 2 所示)

6. 塗漆系統評定

6.1 通則

每個腐蝕環境中塗漆系統試驗進行和試驗期可參考 ISO 12944-2 表 1(列於 6.2)。三個試片中允許一片不需完全符合 6.3 和 6.4 規定的要求

6.2 試驗及試驗期

6.2.1 鋼基材上的塗漆系統

試驗及試驗期列於表 2。塗漆系統的防蝕分類為 C5-1，ISO 2812 程序可以 ISO 3231 規定代替或補充（按 ISO 6270 圖表的耐久性試驗），例如 240 小時（10 個循環）的低耐久性試驗、480 小時（20 個循環）的中耐久性試驗，及 720 小時（30 個循環）的高耐久性試驗。一般塗漆系統常用富鋅底層

6.2.2 鋅塗層鋼基材的塗漆系統

表 3 列出的試驗與試驗時間可應用於鋅塗層鋼基材（熱浸鍍鋅與熱噴附）

6.3 人工加速老化前評定

評定方法	規定
ISO 2409	(0 或 1 分級)

如果塗漆系統的乾膜厚度大於 250 μ m，下列的黏著試驗可使用(替代 ISO 2409)

ISO 4624	規定：不可有黏著破壞(拉脫值 pull-off value =5MPa)
----------	--------------------------------------

6.4 人工加速老化後特定時間評定

評定方法	規定
ISO 4628-2	起泡 0(S0) (立即評估)
ISO 4628-3	鏽蝕 Ri 0 (立即評估)
ISO 4628-4	開裂 0(S0) (立即評估)
ISO 4628-5	剝落 0(S0) (立即評估)

人工加速老化後，效依據 ISO7253 基材在刮痕得腐蝕不得超過 1 mm，可使用附錄 A 公式計算。

試片邊緣 1cm 內任何缺陷不需列入

補充評定方法 規定

ISO 2409 0 或 1 (評估於 24 小時修復後參照 5.4)如果塗漆系統的乾膜厚度大於 250 μ m，下列的黏著試驗可使用(替代 ISO 2409)

ISO 4624 規定：不可有黏著破壞(拉脫值(pull-off value) =5MPa) (評估於 24 小時修復後參照 5.4)

7. 試驗報告

試驗報告至少應包含下列資料：

- (a)試驗室 (名稱和地址)
- (b)每筆試驗數據
- (c)基材和基材表面前處理的說明
- (d)任何可以辨明保護塗漆系統的詳細資料 (製造商、名稱或產品參考編號、批次碼、塗層碼，每一層的乾膜厚)
- (e)辨明參考系統需要的詳細資料
- (f)乾燥硬固及修補的條件與持續時間
- (g)依據試驗結果獲得的塗漆系統的分類。(腐蝕分類和耐久性範圍，舉例來說 C5-1 中等)
- (h)試驗進行和試驗持續時間
- (i)每一試片的試驗結果
- (j)特定試驗法的任何偏差

試驗報告應明確敘述試驗設備與步驟(參考 ISO 相關標準)。

試驗報告需有試驗人員和實驗室的主管或被授權的代表簽署。

表 2 - 應用於鋼材的塗漆系統測試步驟

ISO 12944-2 腐蝕分區	需求耐久性	ISO 2812-1 (抗化學物)	ISO 2812-2 (水浸泡)	ISO 6270 (水凝結)	ISO 7253 (鹽霧)
C2	低	-	-	48	-
	中	-	-	48	-
	高	-	-	120	-
C3	低	-	-	48	120
	中	-	-	120	240
	高	-	-	240	480
C4	低	-	-	120	240
	中	-	-	240	480
	高	-	-	480	720
C5-1	低	168	-	240	480
	中	168	-	480	720
	高	168	-	720	1440
C5-M	低	-	-	240	480
	中	-	-	480	720
	高	-	-	720	1440
Im1	低	-	-	-	-
	中	-	2000	720	-
	高	-	3000	1440	-
Im2	低	-	-	-	-
	中	-	2000	-	720
	高	-	3000	-	1440
Im3	低	-	-	-	-
	中	-	2000	-	720
	高	-	3000	-	1440

1)使用方法 1(化學法見 5.6)。抗化學物試驗的目的不是在評估腐蝕防護的功效，而是評估在非常高度工業化環境內的抵抗能力。C5-1 腐蝕分類，ISO 2812 可替換或以 ISO 3231 測試補充(10 循環 240 小時是低耐久性，20 循環 480 小時中耐久性，30 循環 720 小時高耐久性)。

表 3 - 應用於鍍鋅鋼材塗層系統黏著測試步驟

ISO 12944-2 腐蝕分類	需求耐久性	ISO 6270 水凝結
C2	低	240
	中	240
	高	240
C3	低	240
	中	240
	高	240
C4	低	240
	中	240
	高	480
C5-1	低	240
	中	480
	高	720
C5-M	低	240
	中	480
	高	720

附錄 A

A.1 產生刮痕

刮痕工具可參考 ISO2409:1992(單個刀刃的切割工具)刮痕線可能為水平、垂直或對角線，長度最少 50mm，另外刮痕線距離邊緣至少 20mm 並深入達到金屬表面。

A.2 沿著刮痕方向腐蝕的評估

鹽霧試驗後，量測最大腐蝕寬度 C (mm)，計算基層在刮痕處的腐蝕，使用下列公式計算(M)：

$$M=(C-W)/2$$

W 初始寬度(mm)

第七章 塗層作業的執行和監督

1. 適用範圍

1.1 本章係說明鋼結構在工廠或工地塗漆作業的執行與監督。

1.2 本章節不適用於

- 金屬塗層施作
- 前處理方法如磷酸鹽或鉻酸鹽處理、浸泡、粉粒塗層

2. 執行塗漆作業的 2 個條件

2.1 資格

2.1.1 為確保塗漆系統的承包商工人能正確且安全地進行塗漆工作。工人須具有被認可的資格證明。

2.1.2 承包商須具有作業品質系統，品質計畫應含有一般作業標準，每一階段的工作需載明其施工方法。承包商可利用 ISO 9001 或 ISO 9002 品質認證系統，在每個施工階段均能達到需求品質。除非另有協議，承包商應提供業主品質手冊所載作業與監督的標準系統的重點摘要。

2.2 基材的條件

保護塗漆系統需要進行適當的表面處理(取決於表面的最初和最後狀態)，此方面的要求應載明於塗漆規範中並能予以達成。

表面處理的方法描述於 ISO 12944-4。處理後的表面可以目視清潔度、表面剖面和化學清潔度來評量。如果表面狀態不符規範規定時須通知業主。

2.3 健康和安全和環保

應遵照健康、安全和環保相關規定。

3. 塗層材料(塗料)

3.1 供應

塗漆製造商應提供所有施作時所需的技術資訊

3.2 儲存

製造商應於塗料容器上標明使用期限，除製造商特別註明其他溫度外，塗料應儲存溫度應在 $+3^{\circ}\text{C} \sim +30^{\circ}\text{C}$ 。水溶性的塗料，有時在結凍後即無法使用。

塗料和任何其他材料(溶劑、稀釋劑等)應儲存於安全的環境。

塗料容器應密封至施工時，部分塗料可再密封供以後使用但須標明。

4. 塗漆作業的執行

4.1 通則

塗層表面應處理至可安全施作與明亮；使用塗料時應檢視製造商的技術資料。使用前和使用期間，塗料須確認以保證：

- 容器標籤與產品相符合
- 無表層形成
- 無不可逆的沉澱
- 工地條件下的使用性。

塗料中發現任何的雜質應能輕易清除；低溫施工或不同施工方法需調整黏度。施工法取決於塗料的類型，結構物的表面、類型及大小，和工地的條件。

塗層底漆應覆蓋整個鋼結構表面剖面。塗層應盡可能均勻並且沒有任何地方漏塗。量測膜厚方法可參考 ISO 2808。檢查乾膜厚度的方式（儀器、刻劃及造成表面粗糙度的允許值）可經由締約雙方協商。

除非另有協議，乾膜厚度不可小於 80% 的標稱乾膜厚度。除非另有協議，乾膜厚度介於 80% ~100% 標稱乾膜厚度可視為等同標稱乾膜厚度。盡量達到標稱乾膜厚度且避免厚度過大。建議最大的乾膜厚度不大於 3 倍的標稱乾膜厚度。特定的產品或系統允許的最大乾膜厚度，應載明於製造商的技術資料書。所有難以施作的表面如邊緣、角落、焊接及鉚栓接合處須小心進行的塗裝。若需要額外保護邊角，塗層在邊緣兩側可延伸一合理的寬度(大約 25mm)。為了達到要求的乾膜厚度，施工期間需定期檢驗未乾的膜厚。施工期間及最後一層塗層到開始使用期間，需參照製造商技術資料書或其他規範的規定。任何缺失會導致塗層降低保護效能或影響外觀。

4.2 施工條件

為了確保塗層能達到保護作用，須確認工地周遭環境條件是否符合製造商技術資料的規定。在計畫階段，應先確認環境的不利影響可避免或可降到最低程度。施工必須小心避免塗層品質降低。塗層作業應與其他作業區域(如噴砂、焊接)分開。如果天氣不良應暫停施工，且剛塗裝的塗層應確實保護。

表面最低和最高的容許溫度製造商的技術資料應載明。根據 ISO 8502-4 規定不可於低於 3°C 或高於露點的溫度下施工。若塗裝於潮濕的表面，須參照技術數據或經製造商同意。當組件需要銲接，則需在預熱及銲接時加以保護。

4.3 施作方法

4.3.1 塗刷式

刷子適合不易被塗布的區域如角落，鉚釘頭，螺栓頭和有角度區域。

4.3.2 滾筒式

塗漆適用此種施工法。滾筒式施工不適用於防蝕底漆塗佈。

4.3.3 噴塗式

常用的噴塗式方法如下列：

- 傳統低壓空氣噴塗；
- 無空氣噴塗；
- 空氣輔助噴塗；
- 靜電噴塗。

塗料黏性、噴壓力、噴嘴類型、塗料溫度、塗裝離表面的距離及噴塗角度的選擇，會影響塗層的均勻性。

4.3.4 其他施工法

例如流動塗層、熱熔式塗料，進行方式參照製造商說明書。

4.4 施工前評估

在指定施工方法中評估所使用的指定材料能保證提供足夠的保護。若發現使用的指定材料不合宜，規範書則須經過有關方面修改。例如花費、時間，都將被考慮。

5. 塗漆工作監督

5.1 通則

工作執行須全程監督。監督者須有合適的經驗與資格。除承包商需負責監督外，建議業主亦應重點監督(即使在工廠施工)。承包商若不熟悉塗料，應諮詢製造商。監督的程度取決於工程類型和重要性、工作困難度、現地狀況、塗層的類型和計畫使用年限。監督需要適當的技術知識和實務經驗。

5.2 量測和試驗儀器

設備使用應遵循儀器說明書。儀器將定期檢查、校驗及維修且記錄其結果。

5.3 檢查塗漆層

塗層檢查需遵照規範規定，例如：

- 目視評定，如均勻性、顏色、起皺褶、坑孔、氣泡、剝落、裂縫。

-利用符合乾膜特性規定方法檢測：

-乾膜厚度：可用非破壞性法測定，(見 ISO 2802) [或下列 a]

-黏著性：使用破壞性法測定 (見 ISO 2409 或 ISO 4624)

-孔隙率：使備高壓檢測器檢測。

關於乾膜厚度量測，簽約各方應協商：

- a) 使用方法、量測儀器、儀器校正細節，及考量表層剖面的方式
- b) 取樣規畫：每種表面應量測的數目
- c) 結果報告及與允收標準比較方式

當塗層施作完成時及每一重要階段都須檢視乾膜厚度 (標稱及最大乾膜厚)。「重要階段」如塗漆作業中工人變更或底漆層規定完成後與次一層漆施作會長期間隔。

預載連接栓接觸面的塗層如使用在摩擦錨夾(friction-grip)接合中的高強度螺栓及剪力式承載連接的高強度螺栓，都需檢測是否符合合約規定。

若需進行破壞性檢測，刻痕切削量測是可接受的。該方式可用來檢查個別塗層及系統塗層厚度。氣孔的檢測，儀器及使用電壓需經業主同意。塗層損害的修護須符合規範(參見 ISO 12944-8)。

6. 參考區域 (reference areas)

6.1 通則

結構物上可設定一參考區域作檢視施工作業的最低允收標準，以檢核材料商或承包商提供的數據的正確性，並能評定施作完成後塗層的性能。參考區通常不作為施工保證(除經簽約雙方同意)。若需要參考區，選擇位置的腐蝕因子應與施作結構物的腐蝕因子相同。參考區的表面準備及塗漆施工應有相關簽約單位代表在場，如參考區符合規定應簽訂書面同意書。所有參考區應確實記載並應永久標識於結構物上 (參見 ISO 12944-8)。參考區尺度與數目，依照實務性與經濟性考量，與整體結構物的面積應有合理比例 (參見 ISO 12944-8)。

6.2 前置塗層表面(previously coated surface)

如有前置塗層表面的特殊情形，可以選定兩類參考區(A 和 B)。前置塗層可能是舊有塗層或是新近其他承包商所施作。

A 型參考區

表面準備與塗層施作與規範符合。

B 型參考區域

清除既有的機塗層暴露在基材表面，然後參照規範施作完整塗層系統。

6.3 參考區記錄

承包商須紀錄每一工作階段參考區的準備與處理（建議表格參照 ISO 12944-8 附表 B），紀錄應包括簽約各方同意的相關事項。

6.4 塗層評定

評估方法需經簽約各方同意，使用國際或國家標準規定的方法，是較佳的選擇。

塗層缺陷可能發生在下列位置：

- 在結構物上但不在參考區內；
- 在結構物上亦在參考區內；
- 只在參考區內。

如參考區可作為施工保證，應請簽約各方同意聘請具有經驗與資格的人員，評定缺陷發生的可能原因。如果參考區已經受損，缺陷應被仔細修復，但修復部分不能被視為參考區。

附錄 B 報告範例

測試試驗室:

地址:

測試日期:

基材:

表面準備:

製造公司:

地址:

塗漆系統:

	屬性類別	商品名稱	批次號碼	NDFT
塗層 1				
塗層 2				
塗層 3				
塗層 4				
塗層 5				
塗層 6				
NDFT= nominal(specified) dry-film thickness				

參考系統:

	屬性類別	商品名稱	批次號碼	NDFT
塗層 1				
塗層 2				
塗層 3				
塗層 4				
塗層 5				
塗層 6				
NDFT= nominal(specified) dry-film thickness				

風乾/硬固條件:

大氣或水、土壤的腐蝕類型規定如 ISO 12944-2:

需求耐久性:

測試	結果(參照 6.3 與 6.4)		
	試片 1	試片 2	試片 3
量測乾膜厚度			
評定前測試			
測試 1:ISO..... 測試持續時間:.....小時 測試後評定 ISO 4628-2 ISO 4628-3 ISO 4628-4 ISO 4628-5 ISO 2409 or ISO 4624			
測試 2:ISO..... 測試持續時間:.....小時 測試後評定 ISO 4628-2 ISO 4628-3 ISO 4628-4 ISO 4628-5 ISO 2409 or ISO 4624			

評定意見:

簽署:

附錄二 審查會議紀錄

期中審查會議紀錄與答覆：

1. 鋼建築物因使用目的不同，而有不同類別，故對鋼材有些有保護，有些則無，建請在文獻部份加以說明，以釐清有那些鋼建築物的鋼構材將直接曝露在自然環境下，有必要作防蝕設計，如廠房結構。

答覆：詳如第二章第二節暴露環境分類。

2. 第三章試驗計畫，表 3-1，防蝕塗裝系統，建議加列各塗裝膜厚值，並考慮增加『鋅鋁熔射』塗裝。(本部份在簡報第 20 頁中已加註會進行)，但簡報第 22 頁有關試片編號卻無此塗裝系統，請澄清。

答覆：本研究試驗計劃採用鋅鋁合金塗裝，取代傳統鋅鋁熔射。鋅鋁合金塗裝優點為表面平滑美觀無需二次施工，且塗層厚度大幅減少，降低材料成本。

3. 試驗計畫所採用不同塗裝系統試驗，可在同一種條件測定不同塗裝系統的防蝕成效，惟被保護之鋼建築物處於不同的地點與腐蝕環境，則採用塗裝系統會因地制宜，故請考慮試驗成果如何與環境參數結合。

答覆：詳如第四章第六節綜合討論，以及附錄一鋼結構防蝕塗漆技術手冊。

4. 本研究之重點在於建築物鋼結構（主要及次要構造）之防蝕問題分析，可能之工法（含檢測維修）、試驗室之試驗等，於充分探討、了解後，再參考國內外已有之工法、技術規範、試驗標準等研擬建築鋼結構防鏽蝕技術準則（草案）。目前初步成果尚符合上述目標。

答覆：鋼結構防蝕塗漆技術手冊詳如附錄一。

5. 技術準則中之適用範圍建議多加調查並分類，且防蝕技術除新建所需之設計方法及施工規範外，建議加入維修、檢測、補強防蝕等工作要求。(第八節多加強之)。

答覆：詳如附錄一鋼結構防蝕塗漆技術手冊。

6. 第二章第一節 ISO12944 中 pp.4~12 之譯文有許多不正確之處請再檢視修改。

答覆：修正詳如附錄一鋼結構防蝕塗漆技術手冊。

7. 有機塗裝的塗裝設計，可依底漆、中漆、面漆來考量較符合業界的的需求。

答覆：詳如第二章第三節防護塗漆系統，以及第三章第一節試驗變數與試片。

8. 有機塗裝的品質測試應考量剝離測試、拉拔測試及百目方格法等。

答覆：詳如第四章第三節塗層物理試驗。

9. 鍍鋅法中採鋅鋁合金者可考慮列入測試。

答覆：本研究試驗計劃採用鋅鋁合金塗裝，關於熱浸鍍鋁鋅防蝕效能由第二章第三節防護塗漆系統得知較熱浸鍍鋅抗蝕性佳。

10. EIS 電化學測試可考慮設計攜帶式，以方便能在現場實作。

答覆：關於電化學試驗詳如第二章第四節實驗室性能試驗法。

11. 鹽霧試驗可考慮循環之 Cyclic test，較符合大氣變化情況（可參考相關 ISO 或日本規範）。

答覆：鹽霧試驗設計詳如第三章第三節試驗方法。

12. 參考 ISO 規範草擬鋼結構防鏽技術準則草案時，應參考本土化的資料來整理。

答覆：鋼結構防蝕塗漆技術手冊詳如附錄一。

13. 防蝕效果是否可與防蝕工法結合，以得到如工法之優劣點，防蝕時間等之比較。

答覆：詳如第四章結果與討論，以及第五章第一節結論所述。

14. 研究案宜增列敘述表面處理等級，如美國鋼材塗裝協會 SSPC-SP 或瑞典防蝕學會 SIS (055900Sa) 等標準及兩者對照，最好以照片標示。

答覆：表面處理等級詳如第三章第一節試驗變數與試片。

15. 請增敘表面處理方法如噴砂、酸洗、電動、手工具等，可達到之 SSPC-SP/SIS Sa 的對照標準。

答覆：詳如第三章第一節試驗變數與試片，以及附錄一鋼結構防蝕塗漆技術手冊。

16. 請列述研究塗裝（如油漆、金屬塗層）之表面處理合適方法及需達到之 SSPC-SP/SIS Sa 標準。

答覆：詳如第三章第一節試驗變數與試片，以及附錄一鋼結構防蝕塗漆技術手冊。

17. 增列油漆作業時（1）限制（如鋼材接合面）（2）種類（3）適合性（4）乾膜厚（5）道數（6）品質標準（CNS）。

答覆：詳如附錄一鋼結構防蝕塗漆技術手冊。

18. 請補充每一種塗裝方法之（1）方式，如刷塗、滾塗、無氣噴塗（2）塗裝時間間隔（3）塗裝環境如溫度、濕度、風力、通風、照明等。

答覆：詳如第三章第二節表面防護系統，以及附錄一鋼結構防蝕塗漆技術手

冊。

19. 塗裝之工廠及工地檢驗項目及可行驗證項目之建議。

答覆：詳如第二章第四節實驗室性能試驗法。

期末審查會議紀錄與答覆：

1. 本研究詳細介紹鋼構鋼材之防蝕機理，暴露環境腐蝕類型，以及各種防護塗層之特色與其性能試驗方法等，很值得參考。
2. 本研究完成一系列不同塗料試片之基本性試驗，成果良好，惟試驗結果(表 4-1~表 4-23 等)有少數仍請加強。如：評定點數皆為 10 點時，宜以附註採用 XX 試驗法之程序說明即可；另有的表中未列單位。
3. 附錄一之鋼結構防蝕塗漆技術手冊(草案)很難得，建議未來可制訂一完整之手冊與可用之製造與施工規範。
4. 本研究結論是否可以推論所提防蝕工法可以耐用幾年不腐蝕，另是否可以提出隔絕防蝕工法如 PU 與環氧樹脂不同塗裝厚度之效果或建議最佳厚度。其他如鋅粉塗裝、鋅鋁塗裝能達到最佳防蝕效果之厚度亦請一併提出。
5. 對於既有鋼結構物是否可以提供較實用可行之防蝕工法。
6. 本研究案宜對於鋼結構建築物之鋼構材例如梁、柱、牆面版等在 ISO12944-2 腐蝕分區下，配合構造物使用年限及生命週期等，訂出其適宜的防護系統及其相對應之基材表面處理要求。
7. 宜對於各種防護系統增列比較表，分析其成本、施工性及可及性等之優劣點。
8. 在各種塗膜耐久性試驗樣本中，除表面受損之樣本外，在現場作業中經常因焊接、螺栓擴孔、彎曲或刮傷等。一般均規定應在安裝時或完成後補修防護漆，類似此種樣本宜予增列比較。
9. 附錄一之鋼結構防蝕塗漆技術手冊(草案)已包含各該有項目，惟部分項目的說明均甚簡單，如第三、四章之各項次是否加列說明。
10. 建議在上開塗漆技術手冊(草案)中第七章另外提出(手冊內容不更動)，並參考本國鋼結構施工規範中塗裝規定試擬完整修訂版，以供工程單位訂立塗裝施工規範之參考。
11. 各種防鏽蝕層有無建議之厚度？如何檢驗？

綜合回復：

1. 期末成果報告繳交前，會對現有鋼結構防蝕塗漆技術手冊草案加以潤飾，以作為後續研究參考。
2. 本案將按照 ISO 的腐蝕分區製作一個包括室內外腐蝕防護系統、成本分析之綜合表。詳如附錄一表 1 以及附表 1、附表 2、附表 3、附表 4 所示。表中價格並非定價，僅供參考，尤其鋅粉漆價格變動過大，需向承辦業務洽詢報價。表中材料不能單以價格比較，不同材料有不同的塗層厚度考量，需向承辦業務洽詢。
3. 參照 ISO12944 塗層耐久性分為三類：（1）低耐久性(L)2~5 年；（2）中耐久性(M)5~15 年；（3）高耐久性(H)15 年以上。厚度因為材料的種類不同，很難有一致的厚度，僅能有建議的厚度範圍。詳如第二章第三節塗膜厚度要求。
4. 對於各防護系統在台灣不同腐蝕區域的建議厚度，及施工完成後該如何檢驗其厚度，增列 ISO2808 膜厚測定於第二章第三節塗膜厚度要求。

附表 1 熱浸鍍鋅價目表

品名	材料成本
熱浸鍍鋅	計價方式，一般以鍍鋅後總重量計，至於價格並無統一價格，視構件而定。 約台幣 例如：H 型鋼約 8 元/kg、槽角鋼架約 15 元/kg、 10000 元/噸 螺栓約 25 元。 上述價格為鍍鋅廠承接價，若是工程發包方式則 單價需再加 30%

(台灣鍍鋅股份有限公司)

附表 2 環氧樹脂價目表

品名	一加侖裝	五加侖裝	一立裝
鋁膜可塗 A-535	935 元	4660 元	250 元
鋁膜可塗 Ar-910	825 元	4110 元	220 元
鋁膜可塗 I-350	1650 元	8235 元	435 元
鋁膜可塗 Z-120HB	2700 元	-	715 元
Fusion Bonded Epoxy Coatings	1515 元	-	400 元
Fusion Bonded for Proven Performance	760 元	-	200 元

(柏林股份有限公司、3M 台灣明尼蘇達礦業製造股份有限公司)

附表 3 環氧樹脂價目表

品名	一加侖裝	五加侖裝	一立裝
伯特耐 R	1650 元	8235 元	435 元
伯特耐面漆 S-100/A-1000	1650 元	8235 元	435 元
環保型快乾防蝕塗料	1650 元	8235 元	435 元

(柏林股份有限公司)

附表 4 鋅鋁塗裝價目表

品名	一加侖裝	五加侖裝	一立裝
無機鋅粉底漆	2300 元	-	-
永保鋅粉底漆	2200 元	-	220 元
永保新三聚磷酸鋁防鏽底漆	685 元	-	-
ZINTEK 400	-	-	2500 元

鋅粉漆價格變動過大，需向承辦業務洽詢報價

(永記造漆工業股份有限公司、3M 台灣明尼蘇達礦業製造股份有限公司)

參考書目

(一)中文資料

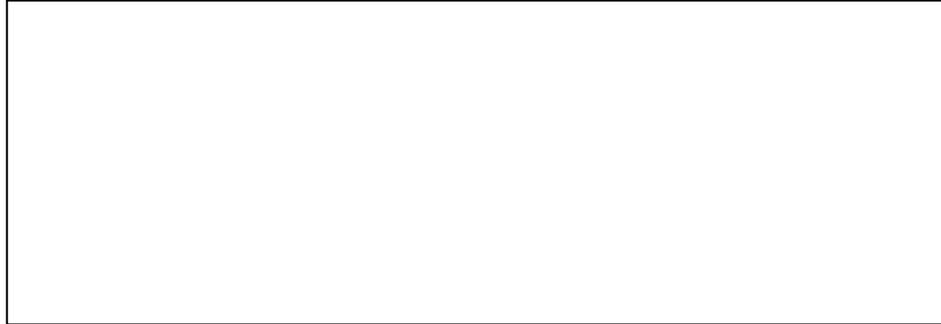
- 1988 鮮祺振 腐蝕理論與實驗 財團法人徐氏基金會出版
- 1988 鮮祺振/劉國橋 金屬腐蝕及其控制 財團法人徐氏基金會出版
- 1992 施建志 濕性腐蝕的一般型態及其有關原理 材料科學第十二卷 pp. 54-63,。
- 1994 馬慶林 塗料工藝 第一分冊 化學工業出版社出版
- 1996 姜英濤 塗料工藝 第五分冊 化學工業出版社出版
- 1996 李悅良 實用塗料 化學工業出版社出版
- 1998 郭俊良 塗料製造業揮發性有機物類減量及逸散防制 塗料與塗裝技術
- 1999 洪敏雄 工程材料試驗(I)金屬材料試驗 中國材料科學學會出版
- 1999 季瑞峰 水性無機富鋅塗料 塗料工藝
- 2000 林傳銓 鋼鐵構造物腐蝕防治技術 台灣省土木技師公會技師報 第 173 期
- 2001 陳文斌 新型複合金屬粉末防蝕塗料之開發研究 國立成功大學材料科學及工程學系碩士論文
- 2002 陳丁于 台灣地區室內環境因子對建材揮發性有機物質逸散行為影響之研究-以清漆為例 國立成功大學碩士論文
- 2003 朱崇恩 高性能水性金屬防腐蝕塗料的研製 華南理工大學碩士論文
- 2004 何明錦 鋼筋與混凝土表面處理效能之實驗研究 內政部建築研究所研究報告
- 2004 劉益雄 鋼筋混凝土構造物陰極防蝕設計與驗收-海洋環境下鋼筋混凝土與鋼材結構物陰極防蝕技術與應用研討會論文集 運輸研究所港灣技術研究中心
- 2004 羅俊雄/翁榮洲/陳桂清/饒正 港灣(水下)鋼構造物陰極防蝕準則草案介紹-海洋環境下鋼筋混凝土與鋼材結構物陰極防蝕技術與應用研討會論文集 運輸研究所港灣技術研究中心

(二)英文資料

- 1932, B. Roetheli, G. Gox, W. Littreal, Metals and Alloys, Vol. 3, pp. 73.
- 1984, Kirk-Othmer, Encyclopedia of Chemical Technology, Vol. 6, pp. 471.
- 1984, OCCA Australia, Surface Coatings, Chapman & Hall, New York, Vol. 2, pp. 484.
- 1990, ASM Handbook, Heat Treating, tenth edition.

- 1997, E. R. Sampson, Thermal spray coatings for corrosion protection: an overview, Materials Performance, Vol. 36, pp. 27.
- 1998, C.H. Hare, Paintindia, Vol. 48, pp. 47.
- 1999, S .Mukherjee, Paintindia, Vol. 49.
- 2001, G. Parashar, D. Srivastava, P. Kumar, “Ethyl silicate binders for high performance coatings”, Progress in Organic Coatings, Vol. 42, pp. 1-14.

國家圖書館出版品預行編目資料



鋼結構建築防鏽蝕工法之研究

出版機關：內政部建築研究所

電話：(02) 89127890

地址：台北縣新店市北新路三段 200 號 13 樓

網址：<http://www.abri.gov.tw>

編者：何明錦、黃然、張建智、陳建宏、張志宇

出版年月：96 年 12 月

版(刷)次：初版

工本費：

GPN：

ISBN：978-986-01-2872-7