

熱浸鍍鋅

趙焜堦題

2026/04

NO.93

<http://www.galtw.org.tw>



中華民國熱浸鍍鋅防蝕技術研究基金會
Galvanizers Foundation of R.O.C.

中華民國熱浸鍍鋅協會
Galvanizing Association of Taiwan

■ 鋼橋、廠房等鋼鐵結構物的最佳防蝕方法

創造熱浸鍍鋅文化 · 維護台灣有限資源





熱浸鍍鋅 — HOT DIP GALVANIZING

鋼鐵製品之最佳防蝕處理！

小自螺絲、螺帽及其他零組件

大至鋼鐵橋樑、廠房鋼結構

我們的理念是 — 只要有鐵的地方就能夠，也應該做『熱浸鍍鋅表面防蝕處理』



高雄海洋文化及流行音樂中心



中油林園新六輕廠房結構

服務項目

結構爐 (16500×1800×3300mm)

最大載重能力：30噸

- 路燈、標誌桿、護欄板、鋼管、格子板、水溝蓋、熱交換器、桁架、鐵塔、電力電信構件、橋梁廠房等各類鋼構物。

配件爐 (3000×1000×1200mm)

- 螺栓、螺帽、鉚釘、墊圈等小型鋼鐵製品及扣件。

我們不誇耀設備的新穎與宏大，我們只強調服務與品質

熱浸鍍鋅

TGA 中華民國熱浸鍍鋅協會
Galvanizing Association of Taiwan

INDEX

- 1 **第一單元** ▶ 活動紀實
 - ◎防蝕技術交流與應用論壇
 - ◎桃園市政府養護工程處-熱浸鍍鋅先進技術參訪與交流活動
- 8 **第二單元** ▶ 生產技術及防蝕技術專題：
 - ◎鋼結構橋梁耐久設計施工案例分享-以臺中市光竹橋為例
 - ◎熱浸鍍鋅A490高強度螺栓之試驗研究與工程應用探討
- 38 **第三單元** ▶ 2025年生產統計表
- 39 **第四單元** ▶ 本會認證熱浸鍍鋅廠合格廠商
- 40 **第五單元** ▶ 熱浸鍍鋅結構物設計要點
- 41 **第六單元** ▶ 中華民國熱浸鍍鋅協會簡介及
中華民國熱浸鍍鋅防蝕技術研究基金會簡介

發行者 ■ 財團法人中華民國熱浸鍍鋅防蝕技術研究基金會
協辦單位 ■ 中華民國熱浸鍍鋅協會
發行人 ■ 王和源
社長 ■ 蕭勝彥
主編 ■ 鄭明智
副主編 ■ 張六文
編輯委員 ■ 鄭錦榮、羅俊雄、陳鴻興、劉明皓、何芳元、蔡明達
助理 ■ 賴淑娟
會址 ■ 806024高雄市前鎮區一心二路33號11樓B2室
電話 ■ (07)3320958~9
傳真 ■ (07)3320960
網址 ■ <http://www.galtw.org.tw>
電子信箱 ■ galvanat@ms63.hinet.net
印刷設計 ■ 達利金廣告設計有限公司 0939784123

2026/04
NO.93



工程名稱：臺中市烏日前竹地區區段
徵收光竹橋改建工程
業主：臺中市新建工程處
設計單位：磊盛工程顧問有限公司
監造單位：磊盛工程顧問有限公司
施工廠商：協誠營造股份有限公司
鋼構工程：大將作工業股份有限公司彰濱廠
熱浸鍍鋅廠商：盟雅工業股份有限公司
鍍鋅鋼構總量：293公噸
契約金額：86,200,000元
開工日期：112年2月10日
竣工日期：112年10月30日

廣告索引

- 封底 ▶ 力鋼
- 封面裡 ▶ 慧鋼
- 封底裡 ▶ 盟雅
- 4 2 頁 ▶ 前鋒日報社
- 4 3 頁 ▶ 現代營建雜誌社
- 4 4 頁 ▶ 亨欣
- 4 5 頁 ▶ 易宏
- 4 6 頁 ▶ 臺鍍
- 4 7 頁 ▶ 台灣鋼聯

鍍鋅雜誌滿意調查表



您的寶貴意見是我們將內容更完善的原動力！

(請掃描進入填寫，感謝您的支持！)

《創造熱浸鍍鋅文化·維護台灣有限資源》

「防蝕技術交流與應用論壇」活動紀實

秘書處

為促進防蝕技術之交流與實務應用，本會與臺灣港務股份有限公司臺中港務分公司於民國 114 年 12 月 24 日（星期三），假震大國際會議中心 107 會議室共同舉辦「防蝕技術交流與應用論壇」。本次活動計有來自產業、政府、學術及研究單位之代表共 85 人與會，現場交流熱烈，成效顯著。

活動於上午 8 時 30 分起進行報到，9 時整正式開幕。開幕式由臺中港務分公司張欽聰總工程司及本會蕭勝彥理事長分別致詞，強調熱浸鍍鋅技術於基礎建設防腐蝕之重要性，並期許透過本次論壇推動技術擴散與實務合作。

論壇內容豐富多元，分為上、下午兩場次進行。上午場次由本會蔡明達秘書長主講「熱浸鍍鋅防蝕工法與應用」，說明該工法之原理與適用環境；蒞盛工程顧問有限公司宋昌國總經理以「臺中市光竹橋改建工程」為實例，分享熱浸鍍鋅於橋梁工程之應用成效；台灣世曦工程顧問（股）公司洪博勝經理則以「液化天然氣接收站巡禮—以三接工程為例」，探討腐蝕防治於重大能源建設中之關鍵角色及熱浸鍍鋅鋼筋於三接工程之應用。

下午場次著重技術標準與實務經驗，由交通部運輸研究所謝幼屏副研究員講解「熱浸鍍鋅防蝕設計參據—大氣腐蝕環境分級介紹」，介紹台灣腐蝕環境調查及分級提供科學化之設計指引；黎明工程顧問（股）公司石建愉協理進行「熱浸鍍鋅實務案例分享」，藉多元案例剖析施工常見課題與因應對策。

綜合討論由臺中港務分公司張欽聰總工程司及本會秘書長共同主持，進行現場問題與討論及彙整全日研討重點，與會者提問踴躍並經由講者、主持人等回應，充分達成技術交流與經驗傳承之效，最後並展望防蝕技術

之未來發展方向。活動於下午 3 時 30 分圓滿結束。本次論壇不僅深化熱浸鍍鋅技術於工程防蝕之應用認知，亦建構跨領域合作平臺，有助提升國內相關工程之耐久性與永續發展。

會議議程如下：

時間	講題	主講人	主持人
08:30-09:00	報 到		
09:00-09:20	開幕與貴賓致詞	張欽聰 總工程司 臺中港務分公司 蕭勝彥 理事長 中華民國熱浸鍍鋅協會	
09:20-10:10	熱浸鍍鋅防蝕工法 與應用	蔡明達 秘書長 中華民國熱浸鍍鋅協會	羅建明 總經理 歐力智慧科技公司
10:10-11:00	臺中市光竹橋改建工程	宋昌國 總經理 翊盛工程顧問有限公司	羅建明 總經理 歐力智慧科技公司
11:00-11:10	休 息 時 間		
11:10-12:00	液化天然氣接收站巡禮 - 以三接工程為例	洪博勝 經理 台灣世曦工程顧問 (股)公司	羅建明 總經理 歐力智慧科技公司
12:00-13:00	午 餐		
13:00-13:50	熱浸鍍鋅防蝕設計參據 - 大氣腐蝕環境分級介 紹	謝幼屏 副研究員 交通部運輸研究所運輸 技術研究中心	林祐任 研究員 臺中港務分公司
13:50-14:20	茶歇及交流時間		
14:20-15:10	熱浸鍍鋅實務案例分享	石建愉 協理 黎明工程顧問 (股)公司	林祐任 研究員 臺中港務分公司
15:10-15:30	問題與討論		蕭勝彥 理事長 中華民國熱浸鍍鋅協會
15:30	賦 歸		



臺中港務分公司張欽聰總工程司致詞



本會蕭勝彥理事長致詞



主持人：歐力智慧科技公司羅建明總經理



本會蔡明達秘書長



協盛工程顧問有限公司宋昌國總經理



台灣世曦工程顧問(股)公司洪博勝經理



主持人：臺中港務分公司林祐任研究員



交通部運輸研究所運輸技術研究中心
謝幼屏 副研究員



黎明工程顧問(股)公司石建愉協理



問題與討論



大合照



桃園市政府養護工程處—熱浸鍍鋅先進技術參訪 與交流活動紀實

秘書處

為提升公共工程設施之耐久性與防蝕品質，本會邀請桃園市政府養護工程處於115年3月4日，於臺鍍科技股份有限公司觀音廠舉辦「熱浸鍍鋅先進技術參訪與交流會」。本次活動由桃園市政府養護工程處主辦，中華民國熱浸鍍鋅協會協辦，並邀集工程界專家與相關技術人員共同參與，透過專題演講、工廠實地參觀與工程案例交流，深化對熱浸鍍鋅防蝕技術與應用價值之認識。活動共約21人參與，交流氣氛熱烈。

活動於上午9時正式開始，由中華民國熱浸鍍鋅協會理事長致歡迎詞。理事長表示，熱浸鍍鋅產業在臺灣已深耕數十年，相關技術已廣泛應用於各類公共工程與鋼構設施。隨著政府近年積極推動公共工程「生命週期成本（Life Cycle Cost, LCC）」理念及節能減碳政策，耐久性與長期維護成本已成為工程設計的重要考量。理事長指出，熱浸鍍鋅防蝕工法在延長鋼構件使用壽命、降低維護成本與提升工程整體耐久性方面，具有明確成效，期盼透過本次交流讓更多工程單位深入了解其技術價值。隨後桃園市政府養護工程處莊浚騰副總工程司致詞表示，養工處長期負責橋梁及道路相關設施維護管理，對於工程結構耐久性與防蝕效能極為重視。本次率領養工處及區公所同仁前來參訪，不僅可透過專題課程了解熱浸鍍鋅技術理論，也能實地觀摩鍍鋅工廠作業流程，下午更安排實地參訪竹北鳳山溪水月橋案例，對於工程實務與技術應用的結合具有重要意義。

本次交流會安排多場專題演講，內容涵蓋工程應用、經濟效益與實務案例分享。首先由前台灣世曦工程顧問公司副總經理林曜滄理事主講「具工程耐久性之熱浸鍍鋅防蝕工法應用及成效追蹤」，從工程防蝕設計角度說明熱浸鍍鋅於公共工程之長期耐久表現，並分享實際工程案例與使用經

驗。接續由本會委員與法規委員會李開志主委介紹「熱浸鍍鋅工法與應用」，說明鍍鋅製程、品質控制及在鋼構、橋梁與交通設施中的實務應用。另一場專題「鋼橋熱浸鍍鋅真實價值分析帶來的省思」則由李祐承副主任委員主講，從工程經濟與生命週期成本角度，探討鋼橋採用熱浸鍍鋅防蝕工法之長期效益。在專題演講後，與會人員由臺鍍科技帶領分三組，實地參觀熱浸鍍鋅作業流程，包含前處理、鍍鋅、冷卻及品質檢測等製程，使參訪人員對熱浸鍍鋅的實際操作與品質管理有更直觀的了解。透過現場解說與互動討論，讓工程單位對於鍍鋅製程與品質控制重點有更清楚的認識。下午行程則前往新竹縣竹北市鳳山溪之水月橋工程進行實地參訪，由林曜滄理事現場說明橋梁採用熱浸鍍鋅防蝕設計的工程背景與應用成果。透過實際工程案例觀摩，讓參訪人員更深入理解熱浸鍍鋅在橋梁結構防蝕與長期耐久性方面的實際效益。

本次活動透過專題演講、工廠參觀及工程案例觀摩等多元方式，促進政府工程單位與產業界之間的技術交流。與會人員普遍表示，透過此次活動不僅加深對熱浸鍍鋅防蝕技術的認識，也有助於未來在公共工程設計與維護管理中，更全面地評估耐久性與生命週期成本等重要議題。本次在各單位熱烈交流下圓滿落幕，對於推廣耐久型公共工程與提升國內鋼構防蝕技術應用，具有積極意義。



蕭勝彥理事長致歡迎詞



莊浚騰副總工程司致詞



林曜滄理事主講



工廠參觀



水月橋參觀，林曜滄理事解說



水月橋參觀 -1



水月橋參觀 -2



水月橋參觀 -3

鋼結構橋梁耐久設計施工案例分享 - 以臺中市光竹橋為例

宋昌國¹

¹ 荔盛工程顧問有限公司 總經理

* 通訊作者：cksung22@gmail.com



工程名稱：臺中市烏日前竹地區區段徵收
光竹橋改建工程

業主：臺中市新建工程處

設計單位：荔盛工程顧問有限公司

監造單位：荔盛工程顧問有限公司

施工廠商：協誠營造股份有限公司

鋼構工程：大將作工業股份有限公司彰濱廠

熱浸鍍鋅廠商：盟雅工業股份有限公司

鍍鋅鋼構總量：293 公噸

契約金額：86,200,000 元

開工日期：112 年 2 月 10 日

竣工日期：112 年 10 月 30 日

摘要

本工程於 112 年獲得臺中市公共工程獎優等、第 17 屆金安獎優等、第 23 屆公共工程金質獎優等，113 年參加中華民國熱浸鍍鋅協會舉辦「2025 年第三屆優良熱浸鍍鋅獎」，獲得首獎；近年來因參與橋梁檢測工作，看到諸多橋梁因設計考量不周、鋼構防蝕工法不佳、施工細節品質不良，致在使用年限屆滿前即因銹蝕而千瘡百孔，除影響景觀、增加維管成本外，更降低使用壽命、危及人車安全。本文僅就臺中市光竹橋改建在橋梁耐久性部分，提出設計考量及施工過程的感想與經驗分享，期能提升鋼橋設計、施工者對於鋼橋防蝕的重視。



鋼構橋梁常見因設計或施工欠妥造成之銹蝕

一、前言

臺中市烏日前竹地區於民國 91 年 12 月 10 日公告實施擴大及變更烏日都市計畫（第三次通盤檢討）案採區段徵收方式辦理開發，區段徵收計畫書於 107 年 8 月 28 日內授中辦地字第 1071305191 號函准予區段徵收，烏日前竹地區區段徵收共分為 4 個工區執行，其中區段徵收範圍最主要之 40M 寬聯外道路沿中央管區排 - 旱溪排水闢建，道路路面高程採旱溪排水治理堤頂設計（圖 1）；本計畫橋梁 - 光竹橋垂直銜接此 40M 道路，原橋 84 年 5 月竣工，橋長 60M(5@12M)、橋寬 5M，跨越旱溪排水，連接舊農業區與區段徵收 40M 道路（如圖 2 所示）。

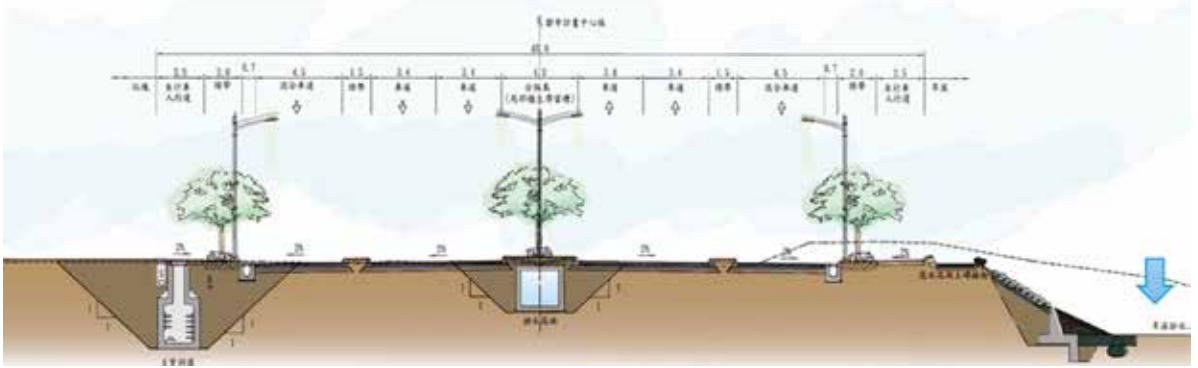


圖 1 40M 計畫道路沿旱溪排水護岸設置



圖 2 計畫橋梁位置



圖 3 光竹橋與 40M 道路關聯圖

光竹橋銜接區段徵收 40M 計畫道路，橋梁改建依據「申請施設跨河建造物審核要點」第 6 點，橋梁之最低梁底高程應不低於河川兩岸之堤防堤頂高程及計畫堤頂高程，爰此，40M 計畫道路的高程必須配合跨河橋調整（詳圖 3），這也就是為什麼必須在區段徵收工程之前辦理橋梁改建的原因，本文在此對主辦機關臺中市建設局新建工程處未雨綢繆之遠見表示敬佩之意。

二、工址環境

原光竹橋橋長 60 公尺（5 跨 12 公尺）的鋼板梁橋，寬 4.2 公尺，於民國 84 年 5 月竣工，跨越中央管旱溪排水，歷史資料顯示，橋址段旱溪排水河道無明顯沖刷，河道穩定。光竹橋完工後北側垂直銜接前竹區段徵收 40M 寬道路計畫園道，並順接五光里既有 4.2M 寬道路，計畫橋梁有串聯新興都市計畫區域與傳統農業區之功能，施工前旱溪排水尚未整治，橋梁施工期間，旱溪排水配合整治完成，現地環境狀況整理如圖 4。

三、工程規劃設計

（一）設計標準及依據

1. 內政部 104 年 7 月頒布「市區道路及附屬工程設計規範」。（註：設計階段在 110 年）
2. 交通部 109 年 8 月頒布「公路路線設計規範」。
3. 交通部 109 年 1 月頒布「公路橋梁設計規範」。
4. 交通部 108 年 1 月頒布「公路橋梁耐震設計規範」
5. 經濟部 109 年 5 月頒布「申請施設跨河建造物審核要點」
6. 經濟部水利署 108 年 6 月頒布「旱溪排水系統 - 旱溪排水治理計畫」

（二）規劃設計

1. 平面線形：光竹橋平面路線採垂直 40M 計畫道路並銜接既有 4.5M 巷道之直線設計（詳圖 5），因與原橋梁位置重疊，必須拆除原 60M 光竹



圖 4 施工前工址現況圖

橋，新闢橋梁依據渠道治理寬度 45 公尺並考量一定之退縮距離及與周邊環境之配合，採單跨 50.5 公尺長設計。

2. 縱面設計：設計高程及縱坡度受渠道治理高程拘束，依據「申請施設跨河建造物審核要點」第 6 點第 1 項，橋梁之最低梁底高程應不低於河川兩岸之堤防堤頂高程及計畫堤頂高程……計畫橋梁橋址計畫堤頂高程 33.57m，最低梁底高程 33.61m，符合治理需求；橋梁縱坡採弧形設計，採 3.93% 上坡、3.0% 下坡（詳圖 6），弧形橋除可彰顯力學之美外，亦有利橋面排水，避免橋面積水。另橋梁採單跨設計，不落墩雖然會增加梁深，但可以減少阻水並降低水中施工的風險，此外依據「申請施設跨河建造物審核要點」第 5 點第 2 款，橋墩之墩柱外緣距堤防堤前坡趾二十公尺內或距低水河槽岸邊兩側二十公尺以內（包括河床及高灘地）者，應設置必要之保護河防安全措施。計畫渠道兩岸坡趾寬度僅 25 公尺，落墩會增加坡腳掏刷風險，必須設置必要之保護河防安全措施（詳圖 7），因此，經評估採不落墩設計。橋台施工為避免深開挖及破堤，採基樁式橋台。
3. 橫斷設計：計畫橋梁除供車輛通行使用外，同時依據市區道路及附屬工程設計標準第 16 條規定，橋面兩側設置兼具人行及自行車通行之功能，橋面採 13.5 公尺寬設計。橋梁結構採 8 支 1.9M 深鋼板梁，橋面為 20 公分厚鋼筋混凝土，鋼構與混凝土橋面採複合斷面設計（詳圖 8）。



圖 5 橋梁平面設計圖

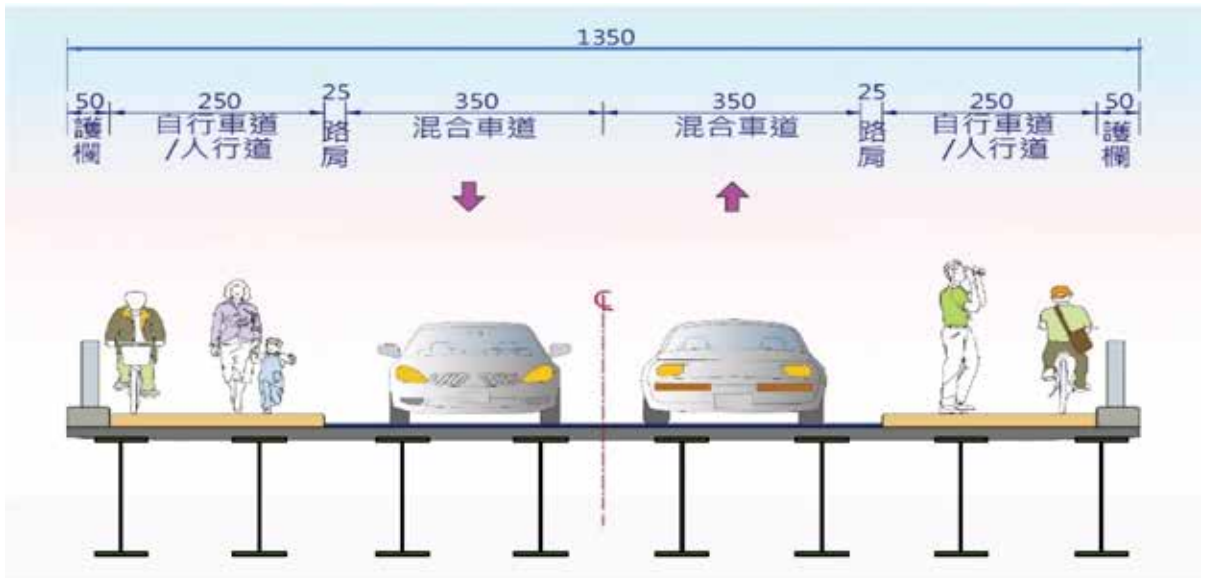


圖 8 橋梁橫斷面設計圖

四、耐久性設計

鋼構橋梁因維護管理困難、耐久性不佳，降低機關及設計者採用之意願，但隨著氣候變遷，節能減碳意識抬頭，屬於綠色材料之鋼結構，逐漸被接受並採用；其實，鋼構橋梁耐久性不佳並非材料之原罪，如果設計者可以用心針對橋梁所在的腐蝕環境採用適當的防護並考量維護管理的可行性及效益，施工者細心、耐心的按設計內容及規範確實施工，鋼構橋梁之耐久性並不亞於混凝土橋梁。

一般橋梁的耐久性與橋址腐蝕環境有密切關聯，鋼橋設計應採取適當保守的防護設施，由橋檢經驗，鋼橋發生銹蝕的熱點包括：橋面排水排放口、螺栓接合處、橋墩(台)支承、橋下淨空不足或通風不良處、與土壤接觸或雜草叢生處及鋼板邊緣銳角等(詳圖 9)，在設計上只要對症下藥，事實上是確實有效改善的。

依據 CNS13401(ISO-9223) 大氣腐蝕環境腐蝕性分類，腐蝕環境可以區分為 C1 ~ C5+CX(詳表 1)，光竹橋位於臺中市烏日區，經查詢港灣環境資訊圖臺，碳鋼腐蝕環境分類為 C3，1 年平均腐蝕速率為 37.6 μm ；熱



圖 9 鋼構橋梁經常發生之銹蝕

表 1 大氣腐蝕環境腐蝕性分類表

腐蝕環境分類	單位面積上重量損失/厚度損失 (經第1年暴露後)				溫帶氣候下的典型環境案例 (僅供參考)
	低碳鋼		鋅		
	重量損失 (g/m ²)	厚度損失 (μm)	重量損失 (g/m ²)	厚度損失 (μm)	
C1 非常低	≤10	≤1.3	≤0.7	≤0.1	-
C2 低	>10-200	>1.3-25	>0.7-5	>0.1-0.7	低污染之大氣，大部分是鄉村地區
C3 中	>200-400	>25-50	>5-15	>0.7-2.1	都市、工業大氣、中度二氧化硫污染、低鹽度的沿海區域
C4 高	>400-650	>50-80	>15-30	>2.1-4.2	工業區、中度鹽度的沿海區域
C5 非常高	>650-1500	>80-200	>30-60	>4.2-8.4	高溼度和惡劣大氣的工業區域及高鹽度的沿海區域
CX 極端	>1500-5500	>200-700	>60-180	>8.4-25	熱帶與亞熱帶之高鹽份海上區域及高溼與惡劣大氣腐蝕工業區

熱浸鍍鋅鋼近幾年之年腐蝕環境分類為 C3 ~ C4，1 年平均腐蝕速率為 2.04 ~ 2.27 μm ；由表 1 可知鋅的腐蝕速率遠低於碳鋼，以光竹橋而言，鋅的腐蝕速率是碳鋼的 1/16 ~ 1/18，換言之，如果可以在鋼構表面鍍上一層鋅，將可有效提升橋梁耐久性。

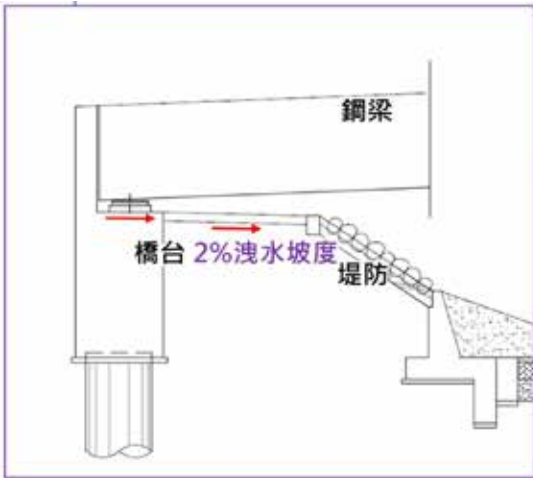
光竹橋的耐久性主要從橋梁各構件的排水、構件與環境的空間、塗裝系統的選擇、施工品質的落實及維護管理便利性的考量等（詳圖 10），進行設計及施工，從基本功做起，為鋼構橋梁耐久能力開啟新的認知。



圖 10 光竹橋耐久性提升之作為圖

（一）、排水順暢快速

橋梁最容易積水的地方在橋面、橋墩（台）帽梁頂及橋兩端堤防或護岸平台，光竹橋兩側護岸高程相當，以往慣例縱坡大多採接近水平設計，但光竹橋為加速排水，採 3.93% → -3.0% 的弧形設計，讓橋面的逕流水可以迅速往兩側排放。另橋台支承平台常因伸縮縫排水設施阻塞或損壞漏水而有積水情形，因此，在橋台支承平台的短向及護岸平台設置 2% 的坡度（詳圖 11），避免積水提高小環境的濕度，造成鋼構件銹蝕。



橋台支承平台的短向及護岸平台設置 2% 的坡度



完工後 2 年雨後平台未見積水

圖 11 橋台及護岸平台設置洩水坡度圖

(二)、消除間隙潮濕環境

跨河橋兩側經常可看到鋼梁梁底非常接近堤防或護岸頂，淨高不足除了影響檢測維護的空間之外，更因雜草接觸及狹小潮濕空間，造成間隙腐蝕現象，使橋梁發生銹蝕；設計上應該盡量避免梁底淨高不足的現

象，如果無法避免，應增加空間並於下方平台鋪設混凝土(詳圖 12)，避免雜草叢生、通風不積水，可有效降低甚至排除間隙腐蝕。

(三)、避免乾濕交替

經常性的噴濺使得鋼結構處於乾濕循環的環境，會加速鋼構材銹蝕，這樣的現象常出現在橋面排水孔下緣的鋼梁及伸縮縫下方的鋼構材，包括橫梁、支承等(參上圖 9)，伸縮縫排水設施應妥善安裝，通車後必須經常維護避免阻塞造成排水溢流；橋面排水在設計上避免僅設排水「孔」應採用排水「管」，並延伸至橋梁下緣至少 60 公分(詳圖 13)，避免因噴濺造成乾濕交替而銹蝕。



圖 12 橋下避免產生間隙腐蝕

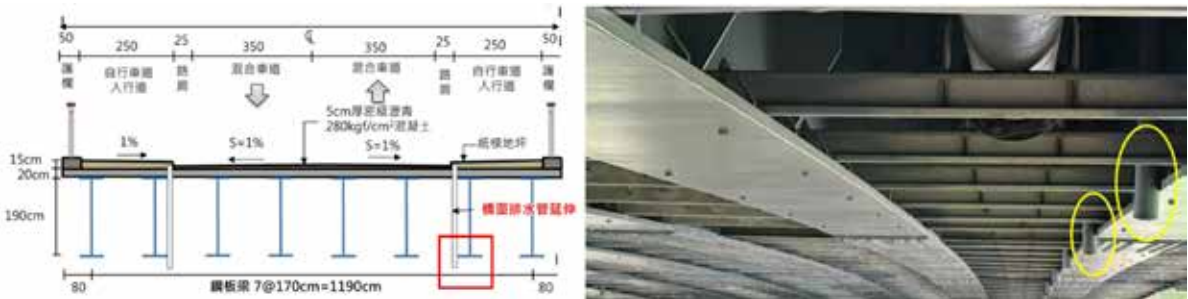


圖 13 橋面排水管延伸至梁底 60 公分以上

(四)、選擇適當的塗裝系統

鋼構橋梁因暴露在戶外環境，風吹雨淋，加上環境中氯離子、硫酸根離子等有害物質，相較於建築鋼結構更容易銹蝕而降低耐用年限；在橋梁檢測經驗中我們看到台中生活圈 2 號道路及南投信義鄉雙龍橋，橋齡均已超過 20 年，期間未進行任何塗裝維護，縱使雙龍橋在設計為充分考量排水問題，兩座橋梁至今未發現任何銹蝕現象，探討其原因發現兩座橋梁均有採熱浸鍍鋅之共同性，而由前述之討論，鋅氧化速率遠低於碳鋼，熱浸鍍鋅確實可有效保護鋼構橋，延長耐用年限；依據 CNS 10007 規定厚度 6mm 以上鋼板最小鍍鋅量 550g/m^2 ，光竹橋採用雙層防蝕系統 $550\text{g/m}^2+120\mu\text{m}$ 油漆塗裝 (詳表 2)。

表 2 光竹橋塗裝系統

塗裝工程		塗料規格	塗裝次數	最少乾膜厚
場所	工項			
工廠鍍鋅	表面處理	表面塵埃、污泥、油漬以溶劑或清潔劑擦淨		
	熱浸鍍鋅	鍍鋅量 $\geq 550\text{g/m}^2$ (約 $77\mu\text{m}$)		
工廠掃砂	表面處理	輕掃砂(粗度 $\geq 19\mu\text{m}$)掃除鋅白, 1hr內塗裝		
工廠塗裝	底漆	環氧樹脂合金塗料底漆	1	$50\mu\text{m}$
	中塗漆	氟素樹脂塗料中塗漆	1	$40\mu\text{m}$
	面漆	氟素樹脂塗料面漆	1	$30\mu\text{m}$
鍍鋅量+最小總乾膜厚		鍍鋅 $77\mu\text{m}$+塗裝 $120\mu\text{m}$		

油漆塗裝系統雖然施工綱要規範 09972 章鋼橋塗裝有清楚之規定，惟 09972 並未區別大氣環境，也就是 C1~CX 的系統都一樣，建議仍應因地制宜，就不同的環境採用不一樣的塗裝系統；ISO12944 針對環境分類、設計考量、表面類型及表面處理、保護塗料系統、實驗室性能測試方法、塗裝工程的施作與管理、新建與維護作業說明書之制定等有更為明確的

的時間)。

以光竹橋為例，鋅金屬 C4 類腐蝕等級，30 年平均腐蝕率為 $7.85 < r_{lin} \leq 15.7 \text{ g/m}^2$ ，鍍鋅量 550 g/m^2 耐用年限：最短 = $550/15.7=35.0$ 年、最長 = $550/7.85=70.0$ 年；整座橋之耐用年限 = $(35+7)*1.5 \sim (70+7)*1.5=63 \sim 115.5$ 年。基本上搭配基本的維護管理，光竹橋可符合 100 年設計年限之需求。

表 4 鋅平均腐蝕率彙整表

腐蝕等級		第一年腐蝕率	10 年腐蝕率	30 年腐蝕率
C1	$\text{g/m}^2 \cdot \text{a}$	$r_{\text{corr.}} \leq 0.7$	$r_{\text{av.}} \leq 0.5$	$r_{\text{lin.}} \leq 0.36$
	$\mu\text{m} \cdot \text{a}$	$r_{\text{corr.}} \leq 0.1$	$r_{\text{av.}} \leq 0.07$	$r_{\text{lin.}} \leq 0.05$
C2	$\text{g/m}^2 \cdot \text{a}$	$0.7 < r_{\text{corr.}} \leq 5$	$0.5 < r_{\text{av.}} \leq 3.6$	$0.36 < r_{\text{lin.}} \leq 2.86$
	$\mu\text{m} \cdot \text{a}$	$0.1 < r_{\text{corr.}} \leq 0.7$	$0.07 < r_{\text{av.}} \leq 0.5$	$0.05 < r_{\text{lin.}} \leq 0.4$
C3	$\text{g/m}^2 \cdot \text{a}$	$5 < r_{\text{corr.}} \leq 15$	$3.57 < r_{\text{av.}} \leq 10$	$2.86 < r_{\text{lin.}} \leq 7.85$
	$\mu\text{m} \cdot \text{a}$	$0.7 < r_{\text{corr.}} \leq 2.1$	$0.5 < r_{\text{av.}} \leq 1.4$	$0.4 < r_{\text{lin.}} \leq 1.1$
C4	$\text{g/m}^2 \cdot \text{a}$	$15 < r_{\text{corr.}} \leq 30$	$10 < r_{\text{av.}} \leq 20$	$7.85 < r_{\text{lin.}} \leq 15.7$
	$\mu\text{m} \cdot \text{a}$	$2.1 < r_{\text{corr.}} \leq 4.2$	$1.4 < r_{\text{av.}} \leq 2.8$	$1.1 < r_{\text{lin.}} \leq 2.2$
C5	$\text{g/m}^2 \cdot \text{a}$	$30 < r_{\text{corr.}} \leq 60$	$20 < r_{\text{av.}} \leq 40$	$15.7 < r_{\text{lin.}} \leq 31.4$
	$\mu\text{m} \cdot \text{a}$	$4.2 < r_{\text{corr.}} \leq 8.4$	$2.7 < r_{\text{av.}} \leq 5.5$	$2.2 < r_{\text{lin.}} \leq 4.4$
CX	$\text{g/m}^2 \cdot \text{a}$	$60 < r_{\text{corr.}} \leq 180$	$40 < r_{\text{av.}} \leq 114$	$31.4 < r_{\text{lin.}} \leq 92.8$
	$\mu\text{m} \cdot \text{a}$	$8.4 < r_{\text{corr.}} \leq 25$	$5.5 < r_{\text{av.}} \leq 16$	$4.4 < r_{\text{lin.}} \leq 12.9$

(五)、提高施工品質

施工品質對於鋼結構耐久性影響態樣甚多且鉅，本文僅就其中幾項提出說明探討：

1. 鋼板角隅銹蝕

鋼板角隅 90 度過於尖銳會大幅降低塗裝之附著及膜厚，改善之道應在圖說規定倒 3mm 圓弧，並編列合理預算，確實落實辦理。

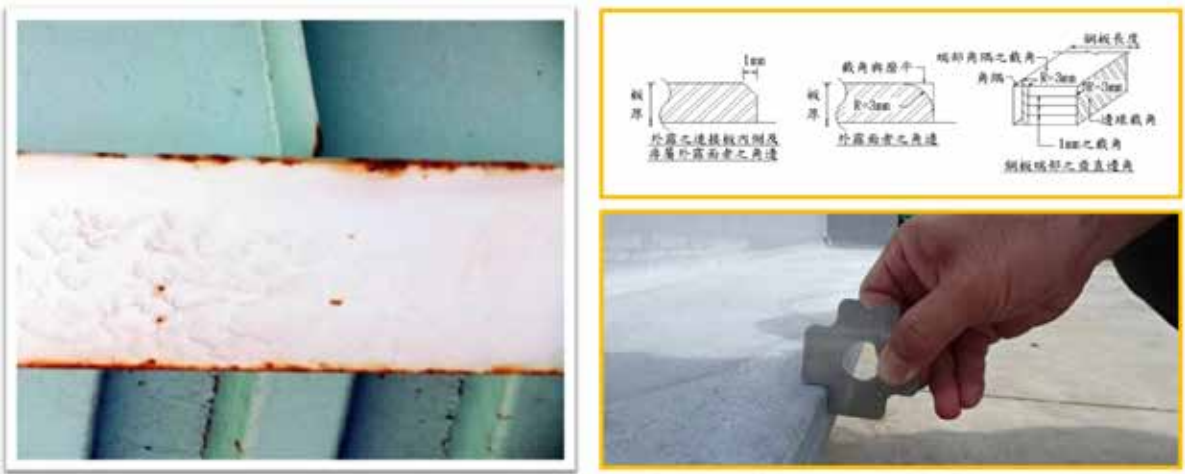


圖 14 鋼板角隅倒圓弧

2. 連接板銹蝕

橋梁栓接連接板是鋼橋銹蝕的熱點，其原因主要有使用無鍍鋅螺栓、連接處鋼梁端口塗裝不確實、螺栓群直接採無氣噴塗、螺栓安裝方向錯誤等，螺栓的頭部應向潮濕環境，讓螺帽及螺柱保持乾燥，並採鍍鋅螺栓+張力指示器並先手刷塗裝後再以無氣噴塗做均勻塗裝，中塗漆膜厚可以適度增加並加強端口之塗裝；鍍鋅螺栓之螺帽應事先潤滑（綱要規範 05081 規定，螺帽於鍍鋅後出貨前須經潤滑處理），使得螺栓在旋轉容量範圍內可以達到預期的預拉力。

3. 鋼梁底面局部銹蝕

橋梁在工廠塗裝期間為避免無氣噴塗時之揚塵污染，會設置高度至少 60 公分的支撐座，一般噴塗過程並不會移動支撐座，因此支撐處通常塗裝均難以確實，完工後很快就會出現因膜厚不足而產生銹蝕，改善的方式是支撐位置設在連接處，連接處接合面因考量摩擦係數不塗裝，可以避免上述缺失。

4. 鍍鋅表面塗裝脫落問題

熱浸鍍鋅表面油漆塗裝後經常看到油漆脫落的情形，其原因主要是鋼構熱浸鍍鋅後表面平滑，且暴露在空氣中表面氧化作用，產生鬆散的



鋅白，塗裝前必須除去鋅白並將表面粗糙化；光竹橋依據 SSPC-SP-16 規定，要求塗裝前必須先進行掃砂，掃砂標準為粗糙度大於 $16\mu\text{m}$ ，膜厚損失在 $25\mu\text{m}$ 以下（換言之，鍍鋅後塗裝前膜厚要大於 $77+25=102\mu\text{m}$ ）。

（六）、落實維護管理

任何橋梁要達到使用壽命除了詳實的設計、良好的施工品質外，更是需要妥善的維護管理，光竹橋設計及施工時即已考量橋梁未來的維護管理，除了透過設計及施工給予橋梁具備十足的耐久能力外，更妥善規劃管線附掛的位置、數量，並將管線附掛設計併入鋼構施工圖一起繪製加工，方便管線附掛施工，不會在現場切割、鑽孔或銲接，並在橋台處標示管線種類方便管理，控制附掛數量是考量橋下梁底需有足夠的檢測與維修空間。光竹橋未來並不需要特別之維修，只要定期檢測即可，因

此檢測動線是設計施工時我們考量的重點，光竹橋具備方便安全的檢測動線，完善了具備全生命週期考量的拼圖（詳圖 15、光竹橋具備方便安全的檢測動線）。

四、結論

光竹橋雖然非主要的跨河交通橋梁，但如果不配合區段徵收改建，未來在區段徵收完工後要再提高完工後道路，其難度可以想像；因此我們很慶幸在區段徵收工程施工時參與本橋梁設計，及時改建光竹橋。光竹橋雖然只是一座單跨的雙車道橋梁，但是從全生命週期的角度進行設計，以打造金剛不壞之身的精神施工，並考量維護管理的需求，提升耐久性達成工程永續、節能減碳的目標。希望光竹橋的耐久性理念可以廣為橋梁工作者接受，並加以推廣，提升我國橋梁工程的品質。

致謝

感謝主辦機關臺中市政府建設局、臺中市新建工程處、協誠營造股份有限公司、大將作工業股份有限公司及盟雅工業股份有限公司……等施工團隊，於工程期間提供協助，同時也感謝中華民國熱浸鍍鋅協會蕭理事長的支持及推廣委員會的先進們不藏私地分享鋼構耐久性專業知識，使得本工程如期如質順利完成。



圖 15 光竹橋具備方便安全的檢測動線

熱浸鍍鋅 A490 高強度螺栓之試驗研究與工程應用探討

蔡明達¹

¹ 臺鍍科技股份有限公司 技術總監

* 通訊作者 :uftgctc@ms5.hinet.net

摘要

ASTM A490 高強度螺栓因具高強度特性，長期以來被認為不適合採用熱浸鍍鋅防蝕處理，主要疑慮在於氫脆化與延遲破壞風險。現行 ASTM F3125 規範亦未允許 A490 螺栓進行熱浸鍍鋅處理。然而，氫脆化多源於酸洗或電鍍時所引入之氫，而非熱浸鍍鋅製程本身。本研究以噴砂取代酸洗作為前處理方式，針對 ASTM A490 Type 1 高強度螺栓及 Type 3 扭斷型螺栓進行熱浸鍍鋅處理，並依 ASTM F606 規範完成機械性質、全尺寸抗拉、硬度與氫脆化試驗。結果顯示，熱浸鍍鋅後之 A490 螺栓各項性能均符合 ASTM F3125 Gr.A490 規範，且未觀察到氫脆化現象，顯示在適當前處理條件下，熱浸鍍鋅應用於 A490 高強度螺栓具實務可行性。

關鍵詞：熱浸鍍鋅、A490 高強度螺栓、噴砂前處理、氫脆化

一、前言

高強度螺栓為鋼結構工程中承擔主要結構連接功能之關鍵構件，其中 ASTM A490（現行整併於 ASTM F3125 規範中，有 Gr.A490/A490M）高強度螺栓有 Type 1、Type 3 兩種。Type 1 之鋼材有合金鋼及含硼合金鋼兩種；Type 3 為耐候鋼。A490 抗拉強度介於 150 ~ 173 ksi，廣泛應用於橋梁、工業廠房及大型鋼構工程。

然而，A490 高強度螺栓在防蝕處理方式之選用上，長期以來受到嚴格限制，主要原因在於國際規範對其進行熱浸鍍鋅（Hot-Dip

Galvanizing, HDG) 後可能產生氫脆化 (Hydrogen embrittlement) 與延遲破壞 (Delayed failure) 之疑慮。因而，基於結構安全之保守設計原則，ASTM 及 Research Council on Structural Connections (RCSC) 長期未建議 A490 螺栓採用熱浸鍍鋅處理。

近年來，隨著鋼構工程服役年限與耐久性要求不斷提高，如何在確保高強度性能之前提下，提供具長效防蝕能力之表面處理方式，已成為工程界與熱浸鍍鋅產業共同關注之重要課題。金門水頭港大型旅客服務中心的建築基礎螺栓即採用熱浸鍍鋅 A490 高強度螺栓，如圖 1 及圖 2 所示。



圖 1 金門水頭港大型旅客服務中心



圖 2 熱浸鍍鋅 A490 基礎螺栓

二、技術背景與研究動機

文獻資料 (1) 得知，材料產生氫脆化需同時具備材料強度高 (150 ksi 以上 (硬度 >35 HRC)、受拉伸應力下及具有氫的環境 (或來源)，如圖 3 所示。也就是，要氫導致材料失效的發生需要滿足三個條件，而這三個條件必須達到足夠的強度並且相互重疊。其中，應力和氫是觸發因素，材料的敏感性是氫導致失效發生的根本要求，與根本原因密切相關。

A490 螺栓之抗拉強度達 150 ksi 以上，一般總認為螺栓經熱浸鍍鋅處理會有產生氫脆化的風險，其主要風險來源在於鍍鋅前之酸洗製程而非鍍鋅本身，因熱浸鍍鋅時屬於物理冶金反應，並非電化學反應之電鍍，

於鍍鋅過程中是鋅鐵的擴散反應而不會產生氫氣；因此，真正可能導入氫原子之階段，為鋼材表面之酸洗除銹。

因此，若能以噴砂方式取代酸洗作為前處理製程，如圖 4 所示，即可有效降低氫脆發生之潛在風險。本研究即基於此一技術邏輯，而規劃 A490 高強度螺栓之熱浸鍍鋅試驗，並透過完整之機械性質與氫脆化試驗進行驗證。

另，與 A490 同等級之歐盟 10.9 級高強度螺栓 (ISO 898-1) 可依 ISO 10684 標準進行熱浸鍍鋅處理，其前處理亦採用噴砂處理除銹⁽²⁾。同時，ASTM A143 “防止熱浸鍍鋅結構鋼脆化的措施及脆化檢測程序”規範中 7. 鍍鋅前的準備 (Preparation for Galvanizing) 提及，當需要對抗拉强度高於 150 ksi [1100 MPa] 的超高強度鋼進行熱浸鍍鋅時，可採用噴砂處理後進行快速酸洗 (flash pickling)。噴砂處理過程中不會產生氫氣⁽³⁾。

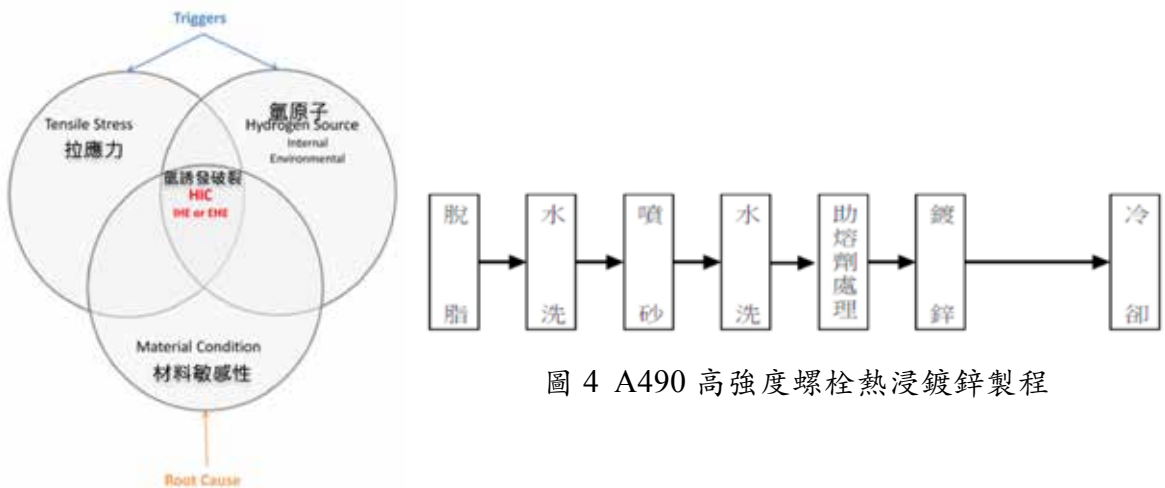


圖 3 氫脆化產生的來源⁽¹⁾

圖 4 A490 高強度螺栓熱浸鍍鋅製程

三、試驗規劃與製程條件

本研究選用 ASTM F3125 Gr.A490 高強度螺栓作為試驗對象，並分別以 Type 1 及 Type 3 兩種進行試驗，其 Type 1 螺栓鋼材成分如表 1 所示。Type 1 為 AISI 4140 合金鋼、Type 3 為耐候鋼。螺栓尺寸以 7/8 吋規格

為主。Type 1 螺栓 (7/8"×4") 是由市面上購得，為六角頭螺栓；Type 3 螺栓 (7/8"×2") 是由恒耀工業 (股) 公司提供，為六角頭扭斷型螺栓。Type 3 為耐候鋼，其在一般不需經熱浸鍍鋅處理，本次只一併試驗觀察了解。

鍍鋅前處理流程包含脫脂與噴砂，不進行酸洗作業，並於噴砂後短時間內浸泡助熔劑後再進行熱浸鍍鋅處理，以降低氫吸附風險，如圖 5 及圖 6 所示。試驗之 A490 螺栓鍍鋅溫度控制於約 487 ~ 492℃。

試驗項目依 ASTM F606 進行，包含：

1. 拉伸試驗 (，車削試片)，各取 3 試體
2. 抗拉與保證荷重試驗 (全尺寸螺栓)，各取 5 試體
3. 表面洛氏硬度試驗，各取 2 試體
4. 氫脆化試驗，各取 3 試體，其中 1 試體前處理刻意採酸洗方式



圖 5 熱浸鍍鋅 A490 type 1 螺栓



圖 6 熱浸鍍鋅 A490 type 3 螺栓

表 1 A490 高強度螺栓試驗用之 Type 1 螺栓成分

	C	Si	Mn	P	S	B	Cu	Ni	Cr	Mo
F3125 規格	0.38~0.48	-	0.60 以上	0.035	0.04	0.003 以下	-	-	-	-
4140 鋼材規格	0.38~0.43	0.15~0.35	0.75~1.00	0.030 以下	0.040 以下		0.03 以下	0.25 以下	0.80~1.10	0.15~0.25
Type 1 螺栓	0.39	0.25	0.76	0.021	0.003		0.11	0.07	0.93	0.16

四、試驗結果與討論

(一) A490 Type 1 高強度螺栓

試驗結果顯示，經噴砂後熱浸鍍鋅之 A490 Type 1 高強度螺栓，其抗拉強度、降伏強度、伸長率及斷面縮率皆符合 ASTM F3125 Gr.A490 之規範要求，如表 2 所示，顯示熱浸鍍鋅製程並未對螺栓基材機械性質造成不利影響。圖 7 為 Type 1 熱浸鍍鋅高強度螺栓車削成試驗試片拉斷照片，其拉斷有頸縮現象，斷面收縮率達 40% 以上，所以是延性破壞非脆性斷裂。

在 A490 Type 1 高強度螺栓全尺寸之抗拉與保證荷重試驗 (Proof Load) 中，熱浸鍍鋅螺栓之最大荷重與伸長量亦均落於規範允許範圍內，如表 3 所示。表面洛氏硬度於鍍鋅後略有下降，但仍低於規範上限值，如表 4 所示。

依 ASTM F606 氫脆化試驗結果顯示，A490 Type 1 熱浸鍍鋅螺栓於 48 小時試驗期間內，未發生螺栓斷裂或螺帽脫牙現象，顯示在避免酸洗之前提下，熱浸鍍鋅不致引發顯著氫脆化破壞，如表 5 及圖 8 所示。即使其中一組採酸洗方式前處理之熱浸鍍鋅高強度螺栓亦無顯著氫脆化破壞。

表 2 A490 Type 1 熱浸鍍鋅高強度螺栓後車削試片之機械性質

編號	試片截面積 mm ²	抗拉強度 ksi	降伏強度 ksi	伸長率 %	斷面收縮率 %
ASTM F3125 Gr.A490 參考值		150~173	130 以上	14 以上	40 以上
1	123.5	164	150	15	56
2	123.9	167	151	15	57
3	124.7	158	144	16	58

表 3 A490 Type 1 熱浸鍍鋅高強度螺栓全尺寸抗拉試驗與保證荷重試驗

編號	最大負荷 lbf	保證荷重 lbf	伸長量 mm
ASTM F3125 Gr.A490 參考值	69,300~79,950	55,450	≤ 0.012
A	75,940	55,450	0.004
B	76,260	55,450	0.006
C	76,140	55,450	0.009
D	75,240	55,450	0.007
E	76,150	55,450	0.009

表 4 A490 Type 1 熱浸鍍鋅後表面洛式硬度

編號	硬度值 HRC
A	35
B	35
ASTM F3125 Gr.A490 規範參考值 :33~38 HRC	

表 5 A490 Type 1 氫脆化試驗（熱浸鍍鋅後）

編號	拉伸鎖固荷重 KN 初始值	拉伸鎖固荷重 KN48 小時後	拉伸鎖固 荷重損失 %	結果
A	231.44	230.07	0.59	螺栓無斷裂 螺帽無脫牙
B	231.71	229.61	0.91	
C	231.68	228.75	1.26	

註：C 之前處理以酸洗方式除銹。



圖 7 Type 1 熱浸鍍鋅高強度螺栓試片拉斷情形，有頸縮現象



樣品 A - 試驗前



樣品 A - 氫脆試驗後



樣品 B - 試驗前



樣品 B - 氫脆試驗後



樣品 C - 試驗前



樣品 C - 氫脆試驗後

圖 8 氫脆化試驗前(左)、後(右)，無斷裂或螺帽脫牙現象

(二) A490 Type 3 扭斷型高強度螺栓

試驗結果顯示，經噴砂後熱浸鍍鋅之 A490 Type 3 高強度螺栓其抗拉強度、降伏強度、伸長率及斷面縮率同 Type 1，皆符合 ASTM F3125 Gr.A490 之規範要求，如表 6 所示。圖 9 為 Type 3 熱浸鍍鋅高強度螺栓車削成試驗試片拉斷照片，其拉斷亦有頸縮現象斷面收縮率亦達 40% 以上，所以也是延性破壞非脆性斷裂。

在全尺寸之抗拉與保證荷重試驗中，熱浸鍍鋅螺栓之最大荷重與伸長量，除試體 E 之最大荷重稍高於最大值外，餘均落於規範允許範圍內，如表 7 所示，顯示熱浸鍍鋅製程並未對螺栓基材機械性質造成不利影響。理論上，熱浸鍍鋅溫度 492°C 若對 A490 抗拉強度產生影響，應是導致抗拉強度下降而非高於上限值，所以應該解釋為試驗之誤差。更何況其高出值僅為 303lbf，為 0.38%。

氫脆化試驗仍依 ASTM F606 進行，結果顯示 A490 Type 3 扭斷型熱浸鍍鋅螺栓試體 1 及試體 2 螺栓組於 48 小時試驗期間，未發生螺栓斷裂或螺帽脫牙現象，顯示在避免酸洗之前提下，熱浸鍍鋅不致引發顯著氫脆破壞，如表 8 及圖 10 所示。其中，試體 3 一組是採酸洗方式前處理之熱浸鍍鋅高強度螺栓無顯著氫脆破壞，但螺帽有脫牙現象。另，試驗

表 6 ASTM A490 Type 3 熱浸鍍鋅高強度螺栓後車削試片之機械性質

編號	試片截面積 mm ²	抗拉強度 ksi	降伏強度 ksi	伸長率 %	斷面收縮率 %
ASTM F3125 Gr.A490 參考值		150~173	130 以上	14 以上	40 以上
1	23.5	168	155	18	60
2	23.9	164	155	20	60
3	24.7	168	159	14	57

表 7 A490 Type 3 高強度螺栓熱浸鍍鋅後之抗拉試驗與保證荷重試驗 (全尺寸)

編號	最大負荷 lbf	保證荷重 lbf	伸長量 mm
ASTM F3125 Gr.A490 參考值	69,300~79,950	55,450	≦ 0.012
A	79,452	55,450	0.002
B	79,709	55,450	0.004
C	79,452	55,450	0.002
D	79,140	55,450	0.005
E	80,253	55,450	0.001

用 A490 Type 3 扭斷型螺栓原組合未搭配加大 0.8mm 螺帽，故另找尋不同廠牌鍍鋅螺帽試驗。有可能是兩者匹配因素導致脫牙。因此，尚不能定論產生氫脆化現象。

表 8 A490 Type 3 高強度螺栓熱浸鍍鋅後之抗拉試驗與保證荷重試驗 (全尺寸)

編號	拉伸鎖固荷重 KN 初始值	拉伸鎖固荷重 KN 48 小時後	拉伸鎖固荷重 損失 %	結果
1	231.76	228.35	1.47	螺栓無斷裂 螺帽無脫牙
2	231.65	228.07	1.54	
3	231.56	0(20~21 小時破壞)	100	脫牙 ※

註：螺栓與螺帽不同廠牌組合。

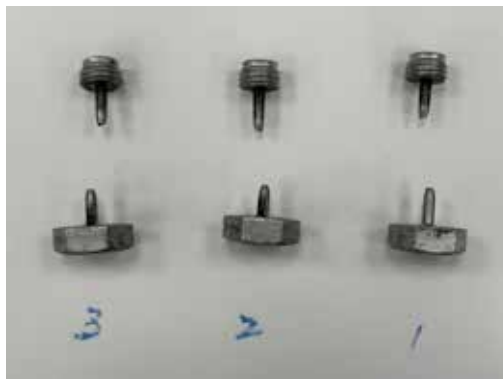


圖 9 為 Type 3 熱浸鍍鋅高強度螺栓試片拉斷情形，有頸縮現象。



樣品 1 - 試驗前



樣品 1 - 氫脆試驗後



樣品 2 - 試驗前



樣品 2 - 氫脆試驗後



樣品 3- 試驗前



樣品 3 - 氫脆試驗後

圖 10 樣品 1 及樣品 2 螺栓組無斷裂或螺帽脫牙現象，
樣品 3(酸洗處理)螺帽有脫牙現象

(三) 從鍍鋅層探討氫脆化

A490 高強度螺栓抗拉强度高於 150 ksi，在工程上鎖緊後受拉伸應力下若有氫的來源或腐蝕生銹的狀況，即有產生氫脆化的延遲破壞風險。

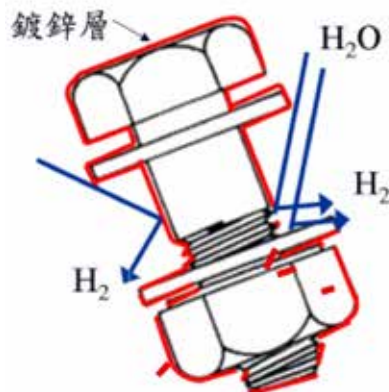


圖 11 高強度螺栓熱浸鍍鋅層，耐蝕可延長螺栓本體接觸大氣

若 A490 高強度螺栓經熱浸鍍鋅處理，螺栓表面即有增加鍍鋅層之隔絕作用，更可防止氫氣容易被高強度螺栓吸收，因其較其他防蝕更具長期防蝕能力，因而延遲被腐蝕的時間而更延遲高強度螺栓吸收氫產生氫脆化，如圖 11⁽⁴⁾ 所示。

五、結論

綜合試驗結果可知，A490 高強度螺栓若於鍍鋅前採用噴砂取代酸洗，並妥善控管熱浸鍍鋅製程條件，其機械性質與抗氫脆行為皆可符合現行 ASTM F3125 Gr.A490 之基本要求。

此研究結果亦與中華民國鋼結構協會於《鋼結構施工規範 (TISC 031-2022)》中所述內容相呼應，該規範明確指出 F10T 及 ASTM A490 若採熱浸鍍鋅時，鍍鋅前表面處理不得採用酸洗，得以噴砂進行處理。

本文研究成果顯示，熱浸鍍鋅在特定製程控制條件下，具備應用於 A490 高強度螺栓之工程可行性，未來可作為相關規範修訂與產業應用之技術參考。

六、致謝

感謝恒耀工業股份有限公司提供 A490 Type 3 扭斷型螺栓，及金屬工業發展中心、台灣檢驗科技股份有限公司協助進行相關試驗。

七、參考文獻

- 1.S.Brahimi,Fundamentals of hydrogen embrittlement in steel fasteners, Canada,(2014) p.10
- 2.ISO 10684-2021 Fasteners — Hot dip galvanized coatings
- 3.ASTM A143-07(2020) Standard Practice for Safeguarding Against Embrittlement of Hot-Dip Galvanized Structural Steel Products and Procedure for Detecting Embrittlement
4. 蔡明達，鋼結構會刊第三十三期，2009 年，第 37~47 頁。

2025 年度熱浸鍍鋅產量統計表（產業別）

類別 年月	生 產 類 別 (單位:噸)													合計
	公路	鐵路	電力能源	通訊	石化業	營建	農業	環保	科技	造船	下水道工程	其他		
2025年1月	2,076	1,069	2,598	704	2,664	5,819	531	429	2,532	296	776	2,570	22,064	
2025年2月	2,416	1,324	3,620	801	3,246	7,045	588	497	2,734	295	739	2,920	26,225	
2025年3月	2,934	1,578	3,390	835	3,607	6,427	642	607	2,813	324	962	3,324	27,443	
2025年4月	3,128	1,480	2,804	752	3,186	5,699	753	586	2,724	293	865	3,476	25,746	
2025年5月	2,752	1,516	2,734	749	3,832	5,644	780	527	2,810	269	856	3,379	25,848	
2025年6月	2,536	1,316	2,685	648	3,730	5,849	1,141	560	1,938	278	682	2,700	24,063	
2025年7月	2,566	2,022	2,645	767	2,630	6,221	1,321	533	1,970	245	772	2,550	24,242	
2025年8月	2,571	2,145	3,359	882	2,977	5,698	1,212	605	1,860	232	708	3,105	25,354	
2025年9月	2,784	1,754	3,486	842	2,593	6,828	1,079	545	1,950	277	789	2,604	25,531	
2025年10月	2,567	2,186	3,138	846	3,879	5,613	968	608	2,587	248	697	2,462	25,799	
2025年11月	2,257	1,970	3,037	944	3,769	6,034	904	525	2,257	282	740	3,037	25,756	
2025年12月	1,955	2,291	3,381	932	4,142	6,916	821	588	2,885	295	753	3,168	28,127	
合計	30,542	20,651	36,877	9,702	40,255	73,793	10,740	6,610	29,060	3,334	9,339	35,295	306,198	
月平均	2,545	1,721	3,073	809	3,355	6,149	895	551	2,422	278	778	2,941	25,517	

2025 年度熱浸鍍鋅產量統計表（產品別）

類別 年月	生 產 類 別 (單位:噸)																				合計						
	H型鋼	鋼管	鋼橋	花板	角鋼	護欄板	槽鋼	線槽	鋼網	C型鋼	鐵板	欄杆	彎頭及配件	燈管	輕鋼橫樑	格柵板	鋼筋	電力配件	電信配件	鍛造花窗		螺帽	螺栓	華司	鏈條	鐵配件	其他
1月	7,928	2,889	335	655	1,497	15	960	137	179	805	614	470	300	524	72	1,489	308	226	136	279	141	322	15	25	556	1,187	22,064
2月	9,368	3,719	422	834	1,686	20	1,287	221	254	806	910	569	360	654	93	1,430	498	253	171	337	170	324	28	26	424	1,361	26,225
3月	9,933	3,839	378	776	1,738	28	1,148	290	279	1,051	845	644	413	691	88	1,619	501	262	203	394	167	365	40	24	604	1,123	27,443
4月	8,485	3,246	477	700	1,714	29	1,179	268	250	815	1,022	694	389	814	117	1,525	556	271	224	374	196	354	30	9	763	1,245	25,746
5月	8,898	3,810	430	605	1,433	24	1,073	212	235	948	807	548	326	689	88	1,609	715	253	161	318	158	330	31	17	794	1,336	25,848
6月	7,992	3,359	380	631	1,595	27	1,040	239	261	847	580	557	335	677	112	1,285	694	271	195	363	195	364	44	18	863	1,139	24,063
7月	8,808	3,128	409	690	1,575	26	1,065	231	211	727	698	532	308	709	142	1,164	960	242	183	311	158	400	33	16	598	918	24,242
8月	9,698	3,560	247	617	1,739	30	1,012	269	245	655	629	631	482	631	110	1,210	565	286	207	406	170	329	38	14	479	1,095	25,354
9月	9,906	3,318	339	592	1,723	28	932	283	232	630	720	587	396	642	119	1,417	802	297	180	320	152	404	37	2	435	1,038	25,531
10月	9,602	3,353	408	587	1,842	31	961	294	236	688	633	585	459	712	147	1,516	651	290	206	393	172	254	25	29	565	1,160	25,799
11月	9,933	3,288	304	621	1,809	27	858	245	218	704	757	591	325	726	134	1,190	645	286	189	321	181	369	22	19	632	1,362	25,756
12月	10,954	3,867	409	625	1,444	30	984	236	266	758	732	724	564	784	172	1,535	759	330	216	433	159	416	46	17	653	1,014	28,127
合計	111,505	41,376	4,538	7,933	19,795	315	12,499	2,925	2,866	9,434	8,947	7,132	4,657	8,253	1,394	16,989	7,654	3,267	2,271	4,249	2,019	4,231	389	216	7,366	13,978	306,198
月平均	9,292	3,448	378	661	1,650	26	1,042	244	239	786	746	594	388	688	116	1,416	638	272	189	354	168	353	32	18	614	1,165	25,517

中華民國熱浸鍍鋅協會合格熱浸鍍鋅廠商名冊

編號	公司名稱	鍍鋅爐尺寸	通訊住址	聯絡電話	有效期限
1	台灣鐵塔股份有限公司	14.0×1.6×2.0	325 桃園市龍潭區八德村八張犁 55-4 號	03-4792201	115.09.30
2	臺鍍科技股份有限公司觀音廠	16.0×1.8×3.0	328 桃園市觀音區成功路 2 段 919 號	03-4837966	115.09.30
3	臺鍍科技股份有限公司高雄廠	12.5×1.5×2.3	821 高雄市路竹區中山路 259 號	07-6973181	115.09.15
4	慧鋼企業股份有限公司	16.5×1.8×3.3	820 高雄市岡山區嘉新東路 2 號	07-6226978	115.09.15
5	力鋼工業股份有限公司	12.5×1.8×2.5	324 桃園市平鎮區東勢里 19 鄰快速路一段 246 巷 158 號	03-4503511	115.09.30
6	易宏熱鍍鋅工業股份有限公司	17.0×1.8×3.2	831 高雄市大發工業區大有三街 15 號	07-7873377	116.01.15
7	亨欣工業股份有限公司	13.0×1.8×3.3	812 高雄市小港區永光街 2-2 號	07-8068007	116.01.15
8	盟雅工業股份有限公司	14.0×1.9×3.2	521 彰化縣北斗鎮四海路二段 1 號	04-8880775	116.01.15
9	尚燁工業股份有限公司	13.0×2.0×3.2	338 桃園市蘆竹區蘆竹里蘆竹街 147 號	03-3221411	116.05.15
10	由仁工業股份有限公司	13.0×1.85×2.7	507 彰化縣線西鄉寓埔村彰濱東八路 7 號	04-7910255	116.05.23
11	邦凱工業股份有限公司	13.2×1.6×2.5	103 台北市忠孝東路二段 19 號 4 樓	03-4837373	116.06.15
12	物格股份有限公司	14.0×1.85×3.2	505 彰化縣鹿港鎮工業西六路 25 號	04-7810326	115.11.30
13	金正豐企業有限公司	13.0×1.6×3.2	505 彰化縣鹿港鎮鹿工南三路 28 號	04-7811998	117.02.22

※ 說明：

- 1、熱浸鍍鋅合格廠係由本會熱浸鍍鋅合格認證委員會委員審查通過，每次認證期限為 2 年，2 年後得更新提請認證。
- 2、本會熱浸鍍鋅合格認證委員會成員如下：

本會熱浸鍍鋅合格認證委員會成員

主任委員	陳嘉昌	財團法人金屬工業研究發展中心組長
副主任委員	羅俊雄	前工業技術研究院正工程師
委員	鄭錦榮	前台灣電力公司綜合研究所主任

GALVANIZING
ASSOCIATION

徵稿

- ※市場活動專述
- ※新產品、新觀念
- ※技術交流園地
- ※鍍鋅產業資訊
- ※鍍鋅專題報告

刊登
廣告

- 封底：費用一萬八千元
- 封面裏：費用一萬五千元
- 封底裏：費用一萬二千元
- 內頁：費用一萬元

中華民國熱浸鍍鋅協會

TEL:(07)3320958

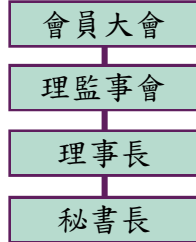
FAX:(07)3320960

E-mail:galvanat@ms63.hinet.net

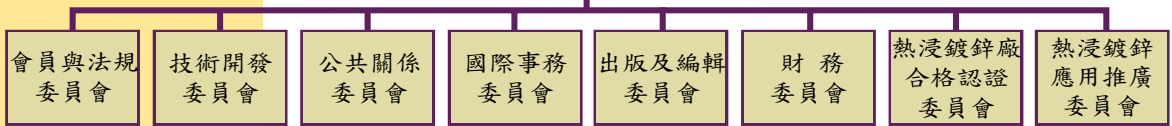
中華民國熱浸鍍鋅協會簡介 財團法人中華民國熱浸鍍鋅防蝕技術研究基金會簡介

中華民國熱浸鍍鋅協會 簡介 ▶▶▶

- 一、成立時間：2000年07月26日
- 二、組織及工作人員介紹：



理事長：蕭勝彥先生
 秘書長：蔡明達先生
 助理：賴淑娟小姐

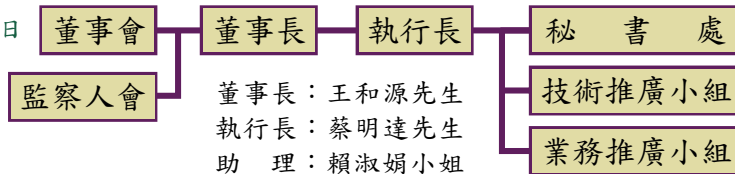


三、第九屆理監事名單：

編號	姓名	職稱	編號	姓名	職稱	編號	姓名	職稱	編號	姓名	職稱
1	蕭勝彥	理事長	8	李家順	理事	15	邱琳濱	理事	22	王慶一	監事
2	戴晉平	常務理事	9	許皇義	理事	16	廖肇昌	候補理事	23	李文隆	監事
3	陳麒文	常務理事	10	彭振聲	理事	17	羅俊雄	候補理事	24	葉乙平	監事
4	梁銘倫	常務理事	11	林曜滄	理事	18	陳嘉昌	候補理事	25	陳益勝	監事
5	鄭錦榮	常務理事	12	鄭書恒	理事	19	卓宏信	候補理事	26	潘錫富	候補監事
6	鄭旭成	理事	13	宋昌國	理事	20	石建愉	候補理事			
7	石 磊	理事	14	劉育明	理事	21	魏豐義	常務監事			

財團法人中華民國熱浸鍍鋅防蝕技術研究基金會簡介 ▶▶▶

- 一、成立時間：1989年07月07日
- 二、組織及工作人員介紹：



三、第十二屆董事（監察人）名單：

編號	姓名	職稱	編號	姓名	職稱	編號	姓名	職稱	編號	姓名	職稱
1	王和源	董事長	5	陳麒文	董事	9	李家順	董事	13	石建愉	董事
2	蕭勝彥	董事	6	鄭旭成	董事	10	潘錫富	董事	14	胡文虎	常務監察人
3	鄭添富	董事	7	施漢章	董事	11	黃勝俊	董事	15	鄭錦榮	監察人
4	戴晉平	董事	8	鍾自強	董事	12	卓宏信	董事	16	李文隆	監察人

協會、基金會聯絡處

地址：806024 高雄市前鎮區一心二路33號11樓B2室 電話：07-3320958~9 傳真：07-3320960
 Email: galvanat@ms63.hinet.net 網址: http://www.galtw.org.tw



立夏

『二十四』插畫展

展期：2020/0222-0322

地點：板橋435藝文特區

「二十四」插畫展 -- 即將於本月底假板橋435藝文特區舉辦，展出者是本名楊佳運的年輕插畫師，在2018年3月21日起，便以「二十已」這個稱號誕生了。

二十已作品風格細膩、寫實，白紙上除了黑色墨水勾勒而成的點、線、面以外，也伴隨著深刻且蘊含寓意的文字，作品多以隱晦、象徵性的元素來傳達作者的想法，略帶的悲傷是創作者本身對事物的觀點也是現實中所面臨的真相。

本展覽由新北市政府、新北市政府文化局、板橋435藝文特區、海峽前鋒文化共同主辦，並由海峽畫報發起及協辦，獨立策展人郭芷芸策展。

小滿



2026訂戶預繳報費優惠專案



【莊園級/呼叫咖啡】

呼叫咖啡是來自雲山山脈，位於1200-1680公尺山谷的雲南莊園的咖啡豆，在得天獨厚的氣候和地形條件中栽種的阿拉比卡原豆，並採用有機栽種，經48小時熟成、發酵、水洗、日曬，提供給喜愛咖啡的人士高品質的精品咖啡。

創新包裝的浸泡式咖啡(中度烘培)，特別適合講究品味的商務人士，內容量達13g/包(一般商品僅8g)

訂戶讀者會員價315元/盒
(3盒免運費)



規格：13g/包x10包/盒
保存期限：24個月

訂戶預繳一年報費9000元，即贈【莊園級/呼叫咖啡】三盒。市價逾一千元

或 選擇優惠折扣價8500元 (優惠二選一)

服務專線：02-82192298(158) 傳真：02-82192286

總管理處：新北市新店區建國路257號五樓之12 電子報網址：<http://www.cfnews.com.tw>42

一份真正屬於工程界的專業雜誌

創於 1980 年

現代營建雜誌 每月發行

創刊42週年 1980~2022



每期內容涵括建築、土木專業性文章報導，有土木技術、大地工程、建築技術與設計、結構設計、工程法務、營建管理、房地產行情及營建類股變動分析等專欄，理論與實務兼具，是工程師、建築師、營造建設業等從業人員不可或缺的良師益友。

多一份資訊 就是多一份力量
現在訂閱 永不嫌遲

零售每本 150 元

訂閱一年(12期) **1500 元** 訂閱二年(24期) **2900 元**

★★★若需掛號寄書一年加收 420 元、二年加收 840 元★★★

★★★相關科系學生訂閱有特價優惠，請附學生證影本★★★

歡迎試閱，來電或傳真相關資料即贈閱當期月刊壹本。

試閱專線(02)2551-8906 傳真(02)2571-9333

優惠協會會員

訂閱一年 12 期 **8折** 1200 元 · 訂閱二年 24 期 **8折** 2300 元

如需掛號寄書一年加收 432 元，二年加收 864 元

大樓鋼構工程施工及管理要領

馮春源 編著 定價500元(精裝/16開/398頁)

台灣大樓鋼結構工程雖然已有十幾年之歷史，但國內有關大樓鋼結構工程管理的中文資料極為缺乏。編者歷經十幾年之施工管理實務經驗，在工作之餘，將以日常用之管理手法整理成冊。本書依工程作業流程編排並分為規劃管理、工廠製造管理、工地安裝管理等三部份，另將非破壞檢測、焊工檢定及品質管理要領書、世界各主要規格對照表作為附錄。內容均依作業程序另加說明，並將常用之管理重點摘要為管理要領，希望對同業與學界之朋友能有參考價值。

現代營建雜誌社

電話：(02)2551-8906

郵撥帳號：01510899

傳真：(02)2571-9333

戶名：現代營建雜誌社





亨欣工業股份有限公司

HENCEFORTH SHINE INDUSTRY CORP

ISO 9001(2015年版)國際品質保證

- 📍 高雄市小港區永光街2-2號
ADD:NO, 2-2 Yung-Kwang st. Kaohsiung Taiwan R.O.C.
- ☎ TEL:886-7-8068007 FAX:886-7-8062466
- ✉ E-mail:hen.shin@msa.hinet.net

- 鍍鋅槽尺寸：長13.0M × 寬1.8M × 高3.3M
- 處理能力：每月產能5000噸 單一構件最大負重15噸
- 自結構物到鋼管，各種形狀的鍍鋅構件都可以鍍作

岡山之眼



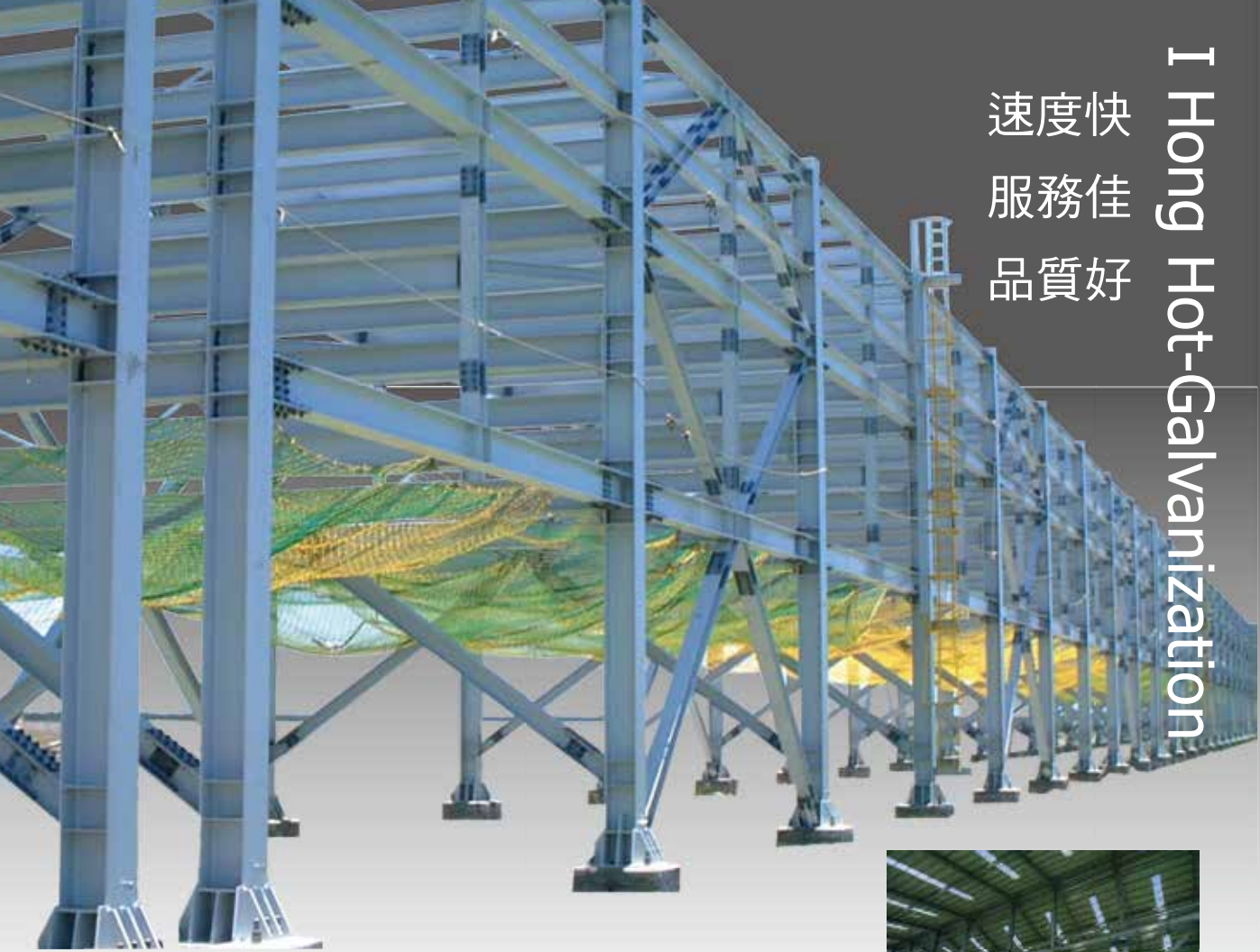
大連案

流行音樂中心



長光部落風雨球場

速度快
服務佳
品質好



- 鍍鋅爐：長17M×寬1.8M×高3.2M
- 最大鍍鋅構件：30噸
- 最大產能：每月8000噸以上
- 廠區面積：8000坪
- LRQA ISO 9000 · ISO 14001 · OHSAS 18001 認證通過
- 台電 · 中船 · 中鋼 · 中油 · 鐵路局
- 台塑審定合格



服務項目

鑄造鍛造 · 型鋼鐵材 · 鋼管鋼材
養殖農畜 · 鋼架結構 · 公路護欄
電力電訊

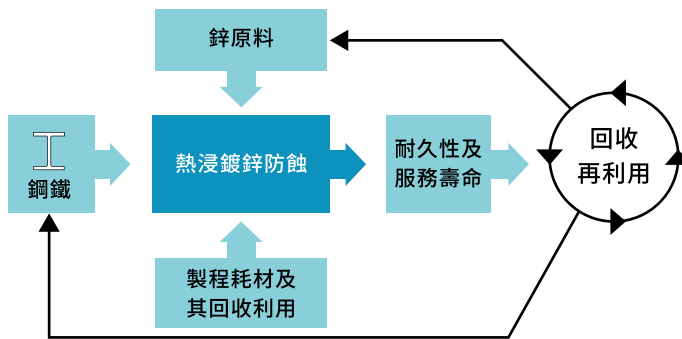
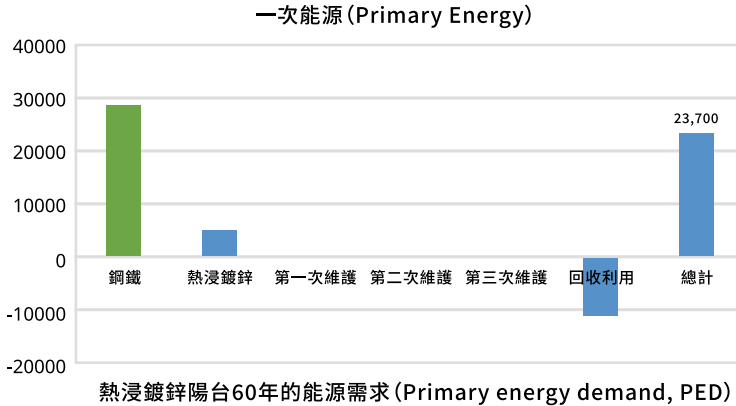
 易宏熱鍍鋅工業股份有限公司
I Hong Hot-Galvanization Industrial Co., Ltd.

高雄市大寮區大發工業區大有三街15號
No. 15, Dayou 3rd St., Da-Fa Industrial Park, Kaohsiung County
TEL : 886-7-7873377
FAX : 886-7-7873380
E-mail : ihong@ms19.hinet.net



臺鍍科技股份有限公司

tg co., ltd.



品質

服務

創新



鍍鋅爐尺寸

桃園廠: 16m × 1.8m × 3.0m
3.0m × 0.7m × 1.0m

高雄廠: 12.5m × 1.5m × 2.3m

台南廠: 4.5m × 1.2m × 1.8m
3.8m × 0.8m × 1.2m

單件最大荷重能力

桃園廠: 40噸 / 高雄廠: 10噸

耐用年限長

經濟效益高

熱浸鍍鋅
特點

週期成本低

環境衝擊少



總公司

台北市大安區和平東路一段117號2樓
Tel: 02-25617665 Fax: 02-27123686
網址: <http://www.tgnet.com.tw>
E-mail: info.tg@tgnet.com.tw

桃園廠

桃園市觀音區成功路二段919號
Tel: 03-4837966 Fax: 03-4837735
E-mail: tg.ky@msa.hinet.net

高雄廠

高雄市路竹區中山路259號
Tel: 07-6973181 Fax: 07-6966311
E-mail: emily.chen@tgnet.com.tw

台南廠

台南市山上區明和里北勢洲76號
Tel: 06-5783702 Fax: 06-5783550
E-mail: simon.chen@tgnet.com.tw



台灣鋼聯股份有限公司
TAIWAN STEEL UNION CO., LTD.



啟動循環經濟，廢棄物從鋅開始



合法 · 專業 · 永續
您的工業廢棄物處理最佳合作夥伴



中文名：廢鋅
廢棄物代碼：R-1303



中文名：無機性污泥
廢棄物代碼：D-0902



中文名：非有害集塵灰或其混
合物
廢棄物代碼：D-1099



中文名：金屬冶煉爐渣(含原
煉鋼出渣)
廢棄物代碼：D-1201



中文名：其他含有毒重金屬且
超過溶出標準之混合廢棄物
廢棄物代碼：C-0119



中文名：鋅及其化合物(總鉛)
廢棄物代碼：C-0102

立即洽詢，共創永續未來

電話：(04) 758-6136#802

傳真：(04) 758-6135

47 地址：彰化縣伸港鄉彰濱工業區線工北一路36號

網址：www.tsutw.com.tw

盟雅工業股份有限公司

MENG YEA INDUSTRY CO., LTD

熱浸鍍鋅專業處理



日月潭纜車鋼結構



台北捷運內湖車站



台中大肚溪水管橋



台塑六輕輸油管架

公司簡介

- 鍍鋅爐：長14米、寬1.9米、深3.2米
- 最大產能：每月5000公噸
- ISO 9001：國際品質認證

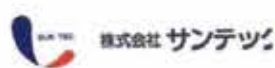
服務項目

- 鋼構廠房、鋼構橋樑
- 型鋼鐵材、農業溫室
- 公共工程、電信電力

地址：彰化縣北斗鎮四海路二段一號(北斗工業區) 服務電話：04-8880775~7 傳真：04-8872307

安全第一 品質至上 技術為先

信譽的標誌 鐵塔 · 橋樑名廠



住電朝日精工株式会社
SUMIDEN ASAHI INDUSTRIES, LTD.



株式会社 巴コーポレーション
TOMOE CORPORATION



佐賀工業株式会社



高鐵車站天花板



輸電鐵塔



太魯閣砂卡礑溪鐵橋



防止墜落裝置



高鐵輸配電鋼架



大型鋁合金太陽光電板架



高鐵隧道內外鋼模台車



板橋國中太陽光電結構

營業項目：

1. 輸電鐵塔、微波鐵塔、鋼管樁、鋼骨結構、各類鐵塔
2. 輸送機械、停車塔、標準廠房、空間桁架、拱橋
3. 隧道棧橋、防水布台車、鋼筋台車、鋼模作台車、棧橋
4. 鐵路及高鐵輸配電鋼構、防音構造、其他鐵件製品
5. 防墜裝置、電器承裝、太陽光電板架及熱浸鍍鋅加工等。



力鋼工業股份有限公司
LIH KANG INDUSTRIAL CO., LTD



1996通過
國際品質標準
ISO9001認證

總公司：台北市士林區社中街76號

工廠：桃園市平鎮區東勢里19鄰快速路一段246巷158號

Http://www.lihkang.com.tw

TEL：(02)28118101(5線) FAX：(02)28123974

TEL：(03)4503511(7線) FAX：(03)4503518

E-mail：lihkang@ms34.hinet.net