



熱浸鍍鋅在土木建築之應用概況

蔡明達／中華民國熱浸鍍鋅協會秘書長
李祐承／臺鍍科技股份有限公司業務專員

鋼鐵具備省能源、環保、耐震等特性，是土木建築中重要的材料。台灣每年可生產約2,000萬噸的粗鋼，且運用在建築結構將近100萬噸，但台灣受大陸及海洋的氣候影響，秋冬吹著東北季風為台灣帶來海中的氯離子且濕度高，而夏季則吹著西南風帶來高溫及多濕，這種型態氣候為鋼筋及鋼結構帶來生鏽、損壞的危機。雖然這些材料長期受混凝土或油漆的保護，但常因其施工性因素而致使防蝕能力略顯不足，因此更需要施工簡單且防蝕性佳的方法，熱浸鍍鋅正是可運用的方法。

熱浸鍍鋅

熱浸鍍鋅 (hot dip galvanizing)，是針對鋼鐵材料做防蝕的方法，是利用鋅的腐蝕速率及犧牲保護的防蝕特性，將鋼鐵或鋼筋浸在熔融鋅裡反應形成鋅鐵合金層後，鋅再披覆在外層以保護鋼鐵或鋼筋生鏽，因此熱浸鍍鋅層也具有軟中帶硬的耐碰撞效果。熱浸鍍鋅工法，自發明後運用在工業上已有 170 年以上的歷史，而在台灣至少也有 46 年的歷史，是個值得信賴的方法。熱浸鍍鋅工法之施工可依照 CNS 8503 作業方法施作，事先將鋼鐵經脫脂、酸洗等步驟將其表面清潔；而其鍍鋅品質可依照 CNS 10007 之規定施作，以達穩定品質。

熱浸鍍鋅，除具有防蝕佳之性質外，尚有環保及施工可靠之特性。熱浸鍍鋅之防蝕佳，是因熱浸鍍鋅暴露於空氣中，會逐漸與空氣中氧、水及二氧化碳形成氧化鋅 (ZnO)、氫氧化鋅 (Zn(OH)₂)、碳酸鋅 (ZnCO₃) 腐蝕生成物，成為緻密的薄膜保護鋅及底下鋼材。因為熱浸鍍鋅足以長時間保護鋼鐵以致不必時常維修，所以熱浸鍍鋅具長期經濟效益及優異之週期壽命，相較於其他防蝕方法更具環保，更不會造成環境污染。根據芬蘭 VTT Technical Research 研究顯示，以一熱浸鍍鋅處理平台架經 60 年後之週期壽

命 (Life-cycle) 為例，其包含鋼鐵製作及期間維修之所需要能源為 23,700M 焦耳，為其他處理方法之 36.6%。在全球變暖潛能值 (Global warming potential, GWP)、酸化潛能值 (Acidification potential, AP) 和光化學臭氧生成潛能值 (Photochemical ozone creation potential, POCP) 指標也一樣，熱浸鍍鋅的影響是比較油漆小，如圖 1 所示。

另外，熱浸鍍鋅的施工性也比其他方式佳。以天候及施工角度為例來談，熱浸鍍鋅在廠房施工，操作溫度在 450°C 浸入熔融鋅液中不受濕度、天候及角度影響。其他表面處理方法之前處理的噴砂及工法施作時皆必須控制在相對濕度 85% 以下，否則水氣會在常溫下的鋼鐵噴砂面結露，鋼鐵表面會很快產生紅鏽而影響施工品質，甚至影像後續之防蝕性。台灣，年平均相對濕度皆達 80% 以上，甚至有些地區高達 85% 或 90%。以 105 年 2、3 月為例，北部的雨季長達一個多月且濕度又高，因此可想而知，一年可施工天數應極為有限；施工角度而言，其他處理方法之角落、孔徑內、板厚端或管內是特別難施工，施工角度須特別注意否則容易疏忽產生缺陷。

熱浸鍍鋅並不是完美無缺的工法，構件的尺寸及重量會受鍍鋅設備而有所限制，但從上面施工性的分析，熱浸鍍鋅是值得信賴的防蝕工法。

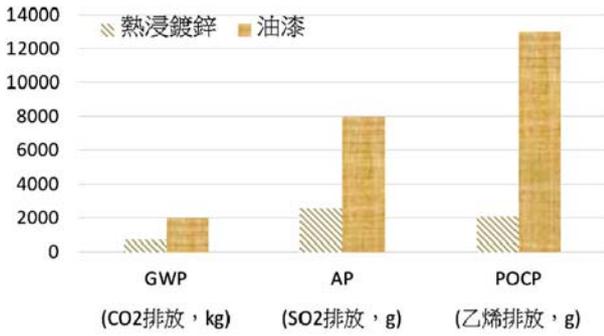


圖 1 熱浸鍍鋅陽台與油漆之比較

熱浸鍍鋅之應用

1970 年，台灣即有熱浸鍍鋅產業，早期只鍍一些外銷貨櫃用或管用配件。1972 年，台灣第一家輸電鐵塔公司成立後先設立 7 m 長鍍鋅槽，從此進入新的熱浸鍍鋅時代。當時，適逢十大建設及基礎建設開始建造，熱浸鍍鋅陸續運用在護欄板、號誌架、標誌架、路燈燈桿、鐵路電氣化電桿等，但輸電鐵塔尚未生產還是從日本進口鍍鋅角鋼構件來安裝，直到 1975 年輸電鐵塔公司才自行製作及鍍鋅；至於螺栓螺帽，亦至 1977 年經專業熱浸鍍鋅廠自日本引進關鍵技術後於 1979 年開始鍍作。台灣於 1982 年有廠商設立 10,500 × 1,000 × 1,200 鍍鋅槽後，才開始鍍作較大鋼結構件。

熱浸鍍鋅之應用，是多方面的，可說有鋼材的地方即可運用，除非一些特殊環境有所限制外。應用上，可概分為土木工程、交通設施、電力電信、農業園藝、機械設備、家居生活、五金配件等方面，如表 1 所示。據統計資料，台灣 2015 年約有 30.3 萬的鋼鐵經熱浸鍍鋅處理，其中營建相關工程之鋼構約有 7.2 萬噸，約佔全部熱浸鍍量的 24%，如圖 2 所示。建築工程可以運用熱浸鍍鋅防蝕的有很多，有鋼筋、鋼構、配件、設備、欄杆等，若以大宗而言則以廠房鋼構為主，至於鋼結構大樓，除非外露部分採用熱浸鍍鋅防蝕，否則位於內部則直接塗覆防火披覆或防火漆。以下就以土木工程方面分項概述。

建築

廠房

廠房結構以鋼結構為主，因熱浸鍍鋅具有防蝕性強及高經濟效益且方便，故利用作為表面之防蝕工

表 1 熱浸鍍鋅應用概分

分類	鋼鐵製品
土木工程	鋼鐵結構型鋼、鋼筋、基礎
交通設施	鐵公路之標誌、燈桿、護欄、隔音牆柱、電桿、鋼橋
電力電信	輸電鐵塔、電桿、4G 信號架、太陽能架
農業園藝	柵欄、溫室
機械設備	機械支座、汽車底盤、船用配管
家居生活	中庭大門、燈具、花台、欄杆、公園設施
五金配件	螺絲、螺帽、鐵釘、扣環.....等

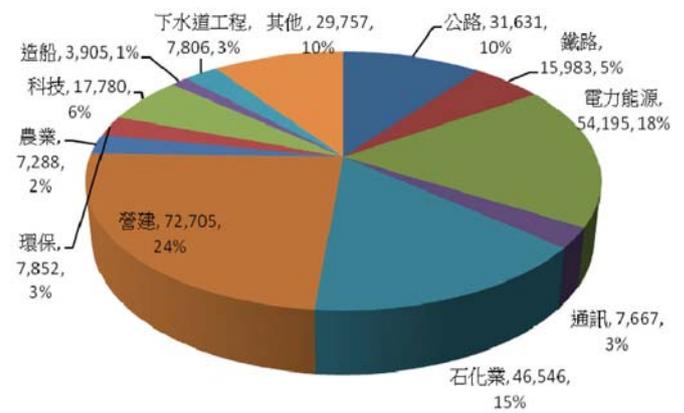


圖 2 台灣 2015 年鋼鐵熱浸鍍鋅統計分析

作。廠房結構利用熱浸鍍鋅防蝕已很普遍，特別是石化業及濱海地區廠房，甚至於熱浸鍍鋅表面再塗上三道或五道油漆做雙重保護，以抵抗嚴苛的腐蝕環境，例如位於臨海 3 ~ 500 公尺區域內的外露廠房、管架。廠房、管架結構可以以 H 型鋼或箱型梁為主結構再經熱浸鍍鋅處理，其他如基礎螺栓、C 型鋼、A325 高強度螺栓亦經熱浸鍍鋅處理，如圖 3 ~ 5 所示。

鋼構大樓

鋼構大樓室內鋼結構大多於其表面直接塗覆防火披覆或防火漆，而外露鋼構、制震器、帷幕牆配件、機械設施、消防系統、藝術欄杆等採用熱浸鍍鋅防蝕，如圖 6 ~ 10 所示。

高架車站

近年來，捷運路線、鐵路改建部分採用高架路段，高架路段車站鋼構多數為開放式，因而因真空強風吹襲而鋼構防蝕功效容易被打折，如圖 11 所示。因而，包括文湖線內湖段、機場捷運、環狀線、台中捷



圖 3 熱浸鍍鋅廠房(1)，H型鋼為主(上)
，柱子採用H型鋼封版當箱梁(下)



圖 4 熱浸鍍鋅廠房(2)，柱子採用箱梁
，A325 螺栓經熱浸鍍鋅(上)，H
型鋼為主，RC 包覆 H 鋼柱(下)



圖 5 公共管架 H 型鋼及高強度螺栓經熱浸鍍鋅
再噴塗防火漆

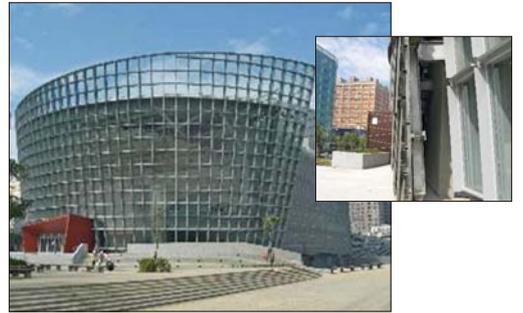


圖 6 外露鋼構採用熱浸鍍鋅



圖 7 921 地震災後重建採熱浸鍍鋅鋼構房屋



圖 8 大樓空調系統冷卻水塔一律採用熱浸鍍鋅



圖 9 大樓制震器固定座，經熱浸鍍鋅處理



圖 10 大樓帷幕牆預埋件、消防系統、配件採用熱浸鍍鋅防蝕

運 (G3 ~ G9 站)、台鐵台中高架化及高鐵新增三站等採用熱浸鍍鋅、防火漆及面漆之雙重保護，圖 11 為高鐵苗栗站月台鋼架 (基礎段未經熱浸鍍鋅)，其油漆系統如表 2 所示。



圖 11 高鐵苗栗站月台鋼架採用熱浸鍍鋅處理

表 2 高鐵苗栗站月台鋼架油漆系統

	防蝕系統	乾膜厚(μm)	備註
1	熱浸鍍鋅	85	
2	環氧合金底漆	50	
3	防火漆	3 ~ 4000	視鋼材厚度，2 hr 防火時效
4	環氧中塗漆	50	
5	氟樹脂面漆	30	
6	氟樹脂面漆	30	

道路橋梁

台灣於 1991 年在台 2 甲線陽金公路建造第一座熱浸鍍鋅橋梁－馬槽橋 (SRC 結構，鋼構 800 噸、鋼筋 1,500 噸)，由於當地潮濕又位於含硫磺地帶故特別注意防蝕性，如圖 12 所示。1992 年陸續設有 16 m 長可鍍作鋼橋之鍍鋅槽，所以於 1996 年設計建造出包含中和立體交叉工程及林口高架橋兩座的大量熱浸鍍鋅鋼橋，圖 13 為台灣歷年經熱浸鍍鋅處理之橋梁噸數統計，其中有含少部份人行陸橋、自行車道橋及水管橋。



圖 12 台灣第一座熱浸鍍鋅橋梁－馬槽橋

熱浸鍍鋅鋼橋雖於 1996 年出現高峰期，但鋼橋仍受限於鍍鋅槽而侷限於 I 型板梁橋，而當時已開始因長跨距往箱梁發展，因此箱梁鍍鋅也只侷限於鋼拱或桁架橋之較小箱梁，圖 14 為跨距 66 m 的鹿港福興橋，是第一座熱浸鍍鋅鋼拱橋，同時也是鋼箱梁，箱梁尺寸約為 12,500 × 1,000 × 2,000。另外，為克服大箱梁鋼橋（大於鍍鋅槽）鍍鋅問題，研究試驗箱梁先將翼板與腹板用鋼板放樣、加工後熱浸鍍鋅處理，然後再銲接組成箱梁。現已成功應用在幾座人行陸橋及道路橋，如圖 15 所示。圖 15 為台東東 36 線松楓橋，約有 782 噸。

板梁橋

板梁橋，因跨距較短梁深較不高且無密閉空間，故極適合熱浸鍍鋅處理。目前幾座較大熱浸鍍鋅板梁橋多屬於都會型快速道路，包含前述的中和立體交叉工程屬於台 64 線快速道路一部份及銜接北二高中和交流道匝道，共 6,958 噸，自通車至今已有 20 年，

熱浸鍍鋅的部分（不含橋墩及帽梁）仍未有維修或生銹的情形，如圖 16 所示，依現場吊掛 9 年試片分析其每年之腐蝕速率為 1.55 g/m²，如圖 17 所示，若依此腐蝕速率計算該橋鍍鋅附著量 600 g/m² 之耐用年限，應至少可再維持 100 年以上。表 3 為台灣幾座大型熱浸鍍鋅板梁橋，其中林口高架橋因位於台灣腐蝕環境最嚴重之一，因未採油漆作雙重防蝕，防蝕效果未充分發揮。藉此，希望大家引為借鏡，未來工程若臨海或接近海岸務必採取熱浸鍍鋅與油漆之雙重防蝕工法。

箱梁橋

箱梁橋，因跨距較長梁深較高或寬，且設有中、端隔板，故難度稍高，加上跨距長板較厚，箱梁單重也比較重，於鍍鋅處理時風險稍大。有些箱梁屬梁不深但較寬，此時鍍鋅時須將箱梁轉 90 度方向，所以吊耳之設置極為重要。圖 18 為桃園宏太橋，跨距 47.2 m 約有 532 噸。

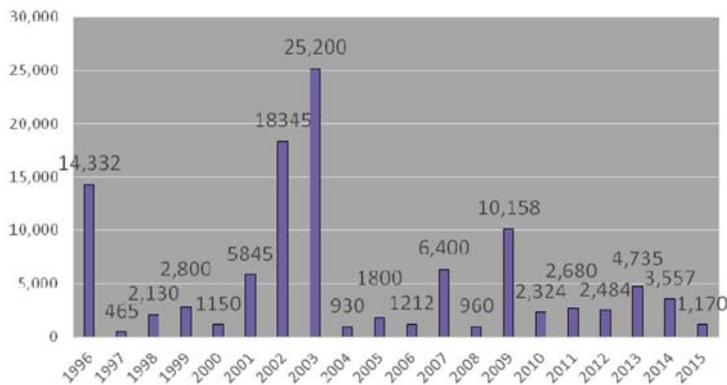


圖 13 台灣歷年之熱浸鍍鋅橋梁統計



圖 14 第一座熱浸鍍鋅鋼拱橋—福興橋



圖 15 松楓橋，採用鋼板先鍍鋅再組銲成箱梁



圖 16 中和立體交叉工程，歷經 20 年仍未有維修或生銹情形



圖 17 中和立體交叉工程現場吊掛暴露試片



表 3 台灣大型熱浸鍍鋅板梁橋

工程名稱	施工單位	重量 (噸)	完成年	備註
中和立體交叉工程	營建署	6,958	1996	台 64 八里新店
林口高架橋	公路總局	7,294	1996	台 61 線，未加油漆
新北環快一、二標	營建署	13,938	2002	
台中環中路五～八段	營建署	17,177	2003	高鐵聯外道路

RC 橋

RC 橋，理論上鋼筋受到混凝土鹼性環境保護下是不會生鏽腐蝕的，但往往事與願違，常因環境、施工或保護層不足等因素而看到保護層剝落、鋼筋生鏽，故熱浸鍍鋅被視為防蝕鋼筋而逐漸用於橋梁，有全橋鋼筋採用熱浸鍍鋅，例如馬槽橋、鹿安橋，如圖 19 所示；有過河段下部結構採用，例如西濱快 49 標（180 K 附近，跨員林大排與二港溪）及目前施工中的金門大橋；最近也有被採用於高架橋之胸牆、分隔島、擋土牆等以防止保護層不足或施工問題，例如西濱快觀音一新豐段。至目前止，用於土木建築的鋼筋經熱浸鍍鋅處理約有 53,000 噸。



圖 18 桃園宏大橋，箱梁鍍鋅時採翻轉 90 度方向浸鍍



圖 19 鹿安橋，全橋鋼筋採用熱浸鍍鋅

結語

熱浸鍍鋅工業化已有 170 年的歷史，在台灣的應用也超過 46 個年頭，雖然它顏色單一且會受限於鍍鋅設備，不是十全十美的工法，但它卻是個值得信賴、可靠的防蝕工法，可以讓工程減少維修次數及成本，也有較高的經濟效益。另位於臨海或近海岸工程，採用熱浸鍍鋅工法的同時也要採取加油漆之雙重防蝕，以充分發揮防蝕成效。

參考文獻

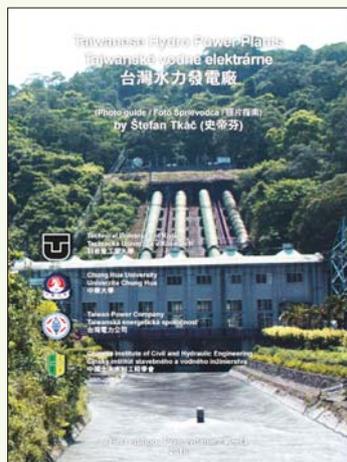
1. CNS 8503 熱浸鍍鋅作業方法。
2. CNS 10007 鋼鐵之熱浸鍍鋅。
3. American Galvanizers Association (2013), 「Galvanized Steels Contribution to the water environment」.
4. 曾清銓、王昭烈 (1993), 「熱浸鍍鋅在陽明山馬槽橋之應用」, 防蝕工程第七卷第二期, 第 40-52 頁。
5. 曾清銓、林曜滄、蔡明達 (1996), 「熱浸鍍鋅鋼橋施工—中和市中正路立體交叉工程」, 先進橋梁施工技術, 第 73-80 頁。
6. 王韻瑾 (1995), 「台十五線林口高架橋面漆更新技術」, 臺灣公路工程第三十二卷第二期, 第 35-48 頁。
7. CNS 14771 鋼筋混凝土用熱浸鍍鋅鋼筋。
8. 交通部 (2015), 耐久性設計, 「公路橋梁設計規範」。

訊息

最新出版品 ~ 台灣水力發電廠



~會員優惠中!~
歡迎踴躍訂購!



由斯洛伐克籍的史帝芬博士對台灣全島水力發電廠的歷史及現況收集拍攝的照片集，授權由本學會出版發行，2016 年 5 月出版。