

快速硬化厚塗 PU 防蝕材

黃玄昇*、鄭慧英、陳哲生、陳文源

H. S. Huang*、H. Y. Cheng、C. S. Chen、W. Y. Chen

BERLIN CO.,LTD. 柏林股份有限公司

* 連絡作者：sheng@berlin.com.tw

摘要

鋼鐵由於具有加工方便且組裝容易的特性，近年來在公共工程中所使用的比例逐年提高，這當中又以橋樑工程建設最為明顯，與混凝土橋樑相比，鋼結構橋樑跨距大、強度高、變化大，因此無論是安全性或耐久性皆有顯著的提升，然而鋼鐵在戶外受到環境中腐蝕因子的影響，雖然腐蝕速率緩慢，但是經年累月下來無論是外觀或是強度，皆會受到極大的影響，也因此鋼結構表面的塗裝與使用壽命有著密不可分的關係。

市面上的防蝕塗料種類繁多，無論是抑制型或阻絕型塗料，都是由膜厚來決定保固年限，噴塗式快速硬化 PU 防蝕材能為構件本體提供一體成型的保護，一道塗裝可達所需之膜厚，塗膜緻密可阻絕外來的腐蝕因子，延長使用壽命，節省維修成本。
關鍵詞：防蝕，鋼構，高膜厚 PU。

Abstract

Steel has convenient processed and easy assemble characteristics. In recent years the proportion of steel application in public constructions increasing year by year. The most obvious in constructions of bridges. To compare with concrete bridges, steel bridges has long pier distance, high strength, variety. The safety and durability both improve obviously. However steel effect by corrosive factors in outdoor environments. Although the corrosion rate is slow. As time goes by the appearance and strength of steel will affect greatly. Therefore the coating on the surface of the steel structure and service life has a close relationship. °

There is variety of anti-corrosion Coatings on market, whether it is suppressed or block-type coatings the warranty period are determined by the thickness of coat. The spray-type quick hardening PU anti-corrosion material provides unity protection. Once spray can reach thickness you need. To prevent exterior corrosive factors from steel. To extend life of constructions. Saving maintain cost. Keyword: Anticorrosion,Steel, High build PU. °

1. 前言

鐵是地殼組成主要成分之一，約佔地殼質量 5.1%左右，鐵的發現與大量應用，將人類發展史由銅器時代帶入鐵器時代，大幅推動文明的發展，由於鐵具有優異的物理強度而且容易加工，在現代工業中已成為不可或缺的結構材料，因此可說是近代化學工業的基礎。當鐵暴露於大自然中，會傾向生成穩定的氧化態，也就是俗稱的鐵鏽，因為氧化鐵的結構並不緻密，剝落後內部的鐵將會繼續氧化直到消耗殆盡，當鐵開始出現腐蝕現象時，除了影響構件的美觀性，更會造成安全的隱憂，舉凡建築、公共建設、廠房管線都會因為腐蝕引起極大的傷亡，所伴隨而來的經濟損失更是可觀，據統計，全球因腐蝕所造成的經濟損失約 7000 億美元，此金額為自然災害損失的 6 倍之高，更佔各國國民生產毛額(GNP)的 2~4%，然而腐蝕反應並非完全無法控制，隨著新的耐蝕材料與防蝕技術的推廣，鐵的耐蝕性已被提高，如能配合正確的腐蝕與防蝕理論，除了可有效降低不必要的資源浪費，更可保障使用者的生命財產安全。

2. 塗裝系統與防蝕的關係

2.1 金屬腐蝕的成因

要解決金屬腐蝕問題，必須先了解腐蝕的成因，簡單來說，當金屬在大氣中因為電化學作用所產生的損壞，就稱為腐蝕，所以決定金屬腐蝕速率與狀況的因素，除了金屬本身的特性之外，就是大氣環境的條件。大自然中除了金、銀、白金等頓態金屬是以純物質的型態存在於地殼中，大多數的金屬都是化合物的型態，亦即我們藉由冶煉所得到的金屬材料，勢必隨著時日恢復為穩定的化合物，這種趨勢取決於金屬自身的氧化電位高低，相較之下，氧化電位高的金屬比氧化電位低的金屬容易出現腐蝕的現象，而合金因為組成的不均勻性，一旦有適合的介質形成通路，就會產生電位差，進而出現腐蝕的現象。

常見的大氣腐蝕因子包含水、氧以及其他具腐蝕性的腐蝕因子，當環境中具有足夠的相對濕度，在金屬表面將會形成水膜，當相對濕度越高，所形成的水膜越厚，腐蝕速率越快，在高溫的地區此現象更是明顯，文獻指出，當相對濕度低於 65%時，腐蝕行為較為緩慢，當相對濕度高於 65%時，溫度每上升 10°C，腐蝕速率提高約兩倍。而空氣中佔有 1/5 的氧氣，也會促成腐蝕現象的發生，金屬在大氣中的腐蝕行為，水與氧缺一不可，此理論可由鐵釘浸泡在無氧的水中即使經過多年也不會生鏽得到驗證。除此之外，工業區高濃度的硫化物、氮化物，沿海地區的氯化鈉離子，都會加速金屬的腐蝕，其所引起的腐蝕速率可為水與氧引起的數十倍。

以上各種腐蝕因子，其強度隨著構件所在區域不同而有所差異，在鄉村與內陸地區之空氣較潔淨，污染物濃度低，因此金屬建物腐蝕狀況緩和，相對之下沿海地區以及工業區之腐蝕因子種類複雜且濃度高，如此惡劣的環境將會加速金屬建物之鏽化。台灣四面環海又地處亞熱帶，構成高溫、高濕又高鹽分的環境，加上石化工業蓬勃發展，使得台灣地區的腐蝕等級已經超過 ISO 12944-2 的腐蝕環境分類中最嚴重的 C5 等級，這也就是為何在台灣塗裝系統往往在保固期限內便失去對構件之保護效果。

2.2 常見的防蝕方法

隨著工藝技術的演進，針對各腐蝕成因所發展出來的防蝕工法琳瑯滿目，依照其特性可分成四個對策：

(1)耐蝕材料的設計

常見的耐蝕材料就是不鏽鋼，其原理是將高活性的金屬與低活性的金屬混合得到不易腐蝕的合金，提升構件本身的強度，延長使用壽命，材料設計需依照實際環境狀況進行耐蝕性合金之開發。

(2)環境遮斷

又稱為被覆防蝕法，主要可分為塗裝被覆與金屬被覆，其原理是將被覆材料覆蓋於欲保護之構件上，藉由阻斷大氣中腐蝕因子與構件接觸的方式，達到抑鏽的目的，依照使用的被覆材料可區分為塗料被覆與金屬被覆，前者包含包覆、防銹處理、塗裝、內襯等，後者則有電鍍、熱浸鍍、金屬熔射、金屬內襯等方法。

(3)環境處理

以除濕、空調、防濕、離子交換、酸鹼度調整等方法，將環境中的腐蝕物質除掉，或者選用適當的腐蝕抑制劑，如氰化性防鏽劑、水溶性防鏽劑，此防蝕方法與其他方法相比，成本相當可觀，並不適合用於公共工程之鋼結構防蝕。

(4)電氣防蝕

顧名思義，電氣防蝕法就是以電化學的方法達到防蝕的效果，陰極防蝕與添加防蝕劑是兩種主要的方法，陰極防蝕之原理是替代材料或輔助電極先於構件出現氧化反應時，將會放出電子，而此電子會彌補構件本身因為氧化所失去的電子，藉此抑制腐蝕反應的進行，可以外加電流或犧牲陽極的方式達到此效果。防蝕劑的添加則是利用化學藥品化學藥品吸附於構件表面，所生成的保護層可以降低腐蝕因子的影響，避免構件繼續生鏽。

防蝕理論實際應用時，所使用的防蝕工法依照不同的需求與環境條件會有所不同，在更嚴苛的環境下，單一工法已無法符合實際需求，此時需要以其他工法加以輔助，例如塗料結合電氣防蝕這樣的複合防蝕技術才能獲得令人滿意的防蝕效果。

2.3 塗料防蝕

以鋼結構公共建設防蝕工程來說，普遍採用環境遮斷防蝕法隔絕外來的腐蝕因子，這當中又以塗料之應用最廣，目前常用的塗料依照其機制可分為三種，分別是 1.遮蔽型：以水滲透性較低之塗膜，隔絕外界的腐蝕因子，爲了獲得較佳的阻絕效果，常會以高膜厚來延長保固年限；2.抑制型：在配方中添加具有抑制效果的防鏽顏料，此類型的塗料之防蝕機制是當水滲透入塗膜後，防鏽顏料會釋放出離子並在金屬構件表面形成鈍態膜，這層薄膜只要不被破壞，便可提供底材極佳的保護，與遮蔽型塗料相比，所需之膜厚較薄，一般不會單獨使用，而是加上中塗漆與面漆作爲塗裝系統，提高整體之防蝕性能；3.犧牲保護型：結合電氣防蝕法之理論，在塗料中加入氧化電位高之金屬粉末，當金屬粉末與底材接觸後，便可藉由自身的氧化反應保護底材，當塗膜表面受到破壞時，還是能爲底材提供一定程度的保護作用。常用的金屬粉末爲鋅粉，此類型的塗料必須在配方中添加足夠量的鋅粉，才可具有令人滿意的犧牲保護效果，也因此價位上相對較爲昂貴。

這三種塗料之比較如表一所示：

表一、遮蔽型、抑制型、犧牲型塗料之比較

項目\類型	遮蔽型	抑制型	犧牲型
原理	以緻密性高的塗膜阻絕大氣中的腐蝕因子。	在配方中加入防鏽顏料，防鏽顏料與水接觸後在構件表面形成鈍態膜，藉以保護底材。	氧化電位高的金屬犧牲自己，保護底材不會產生鏽蝕。
代表產品	環氧樹脂瀝青塗料	紅丹漆、磷酸鋅、三聚磷酸鋁	無機鋅粉漆、有機鋅粉漆
優點	1.價格低廉 2.施工方便	1.防蝕效果佳 2.所需膜厚低 3.價格適中	1.防蝕效果極佳 2.塗膜受到損害仍具有保護效果
缺點	1.膜厚不足容易失敗。 2.塗膜破壞後無法繼續保護底材。 3.容易垂流。 4.乾燥速度慢，影響施工效率。	1.塗膜破壞後無法繼續保護底材。 2.需配合塗裝系統進行設計，工期較長。	1.成本較高。 2.施工難度高。 3.鋅粉比例不足則無法提供保護效果。

3. 快速硬化厚塗 PU 防蝕材

3.1 噴塗式 PU 防蝕材簡介

Otto Bayer(1902~1982)於 1932 年首先合成出具有聚胺酯 (Polyurethane, PU) 官能基的化合物，PU 的發展至今已七十餘年的歷史，由於其具有優異的機械性能以及耐溶劑、抗油性，近年來廣泛應用於發泡體、彈性體、纖維、合成皮革、塗料等製品，在各個領域皆有相當的市場佔有率。

異氰酸官能基具有較高的反應性，會與具有活性氫的化合物如：胺、酚、醇、酸、水進行反應。PU 樹脂是由二異氰酸酯 (Diisocyanate)、二醇 (diol) 合成所得的產物，其反應過程如下式 1，由於反應速率較慢，在製造 PU 彈性體與 PU 塗料時，常會加入 3 級胺或有機金屬鹽類作為催化劑。而與 PU 反應機制相近的聚脲樹脂則是由二異氰酸酯、二胺 (diamine) 反應所得(式 2.)，此反應在幾秒鐘之內便可完成。

• • • • • (1)

• • • • • (2)

噴塗 PU 塗料起源於 1970 年代，當時所使用的噴塗聚氨酯彈性體，是由包含異氰酸酯預聚物的 A 組份與包含端羥基樹脂的 B 組份反應生成的彈性塗膜，由於異氰酸酯與水之反應速率大於與端羥基樹脂之反應速率，所以此類型的材料在施作時異氰酸酯極易與大氣中的水份、濕氣反應，進一步生成二氧化碳，二氧化碳的存在將會使塗膜內部包覆許多氣泡，造成力學性能不穩定。因此人們試著在 B 組份中加入活性較高的端氨基化合物，此步驟可以有效阻止異氰酸酯與水份、濕氣反應，改善了材料力學性質，有助於工程應用。由於結構中同時包含了聚氨酯和聚脲結構，因此又稱為混合式聚氨酯(Hybrid PU)。

噴塗式 PU 防蝕材具備了以下的幾個特點：

- 1、不需事先混合，避免材料的浪費。
- 2、乾燥快速，2~4 小時便可半堅結。
- 3、使用新式噴塗工法，施工快速且可形成連續性塗膜，塗膜緻密性佳。

- 4、可一次噴塗達 2mm 以上之膜厚不垂流，與傳統塗料一道最多僅可噴塗 250-400um 不同，大幅節省工時。
- 5、快速硬化，可於垂直面與倒吊面施工。
- 6、材料無毒性。
- 7、固分高達 98%以上，無溶劑型配方，符合環保趨勢。
- 8、可連續重塗形成無接縫的高強度塗膜，為底材提供更佳的保護。

3.2 噴塗式 PU 防蝕材之塗裝設備

由前面的介紹可知，噴塗式 PU 防蝕材具有快速硬化的特性，因此無法預先攪拌後以一般的無氣噴塗設備施工，在噴塗時需搭配專屬的設備才能順利施工，本文以美國 GRACO 公司所製造之 Reactor E-XP2 來說明施作此類型塗料的基本設備。

(1)主機

主機上包含了控制面板以及氣壓泵(圖一)，控制面板用來控制漆料加熱的溫度同時顯示 A 料與 B 料之壓力與其他相關的資訊。氣壓泵可分為油壓與氣壓，氣壓泵經由往復的活塞運動以一定的壓力將定量的漆料送入管線中，相關技術規格如表二所示。



表二、GRACO Reactor E-XP2 主機技術規格

項目	技術規格
尺寸	1168mm x 757mm x 813mm
重量	175kg
混合比例	1:1(by vol)
最大工作壓力	3500psi
最大輸出功率	15300W

圖一、GRACO Reactor E-XP2 主機

(2)抽料泵

施作噴塗式 PU 防蝕材時通常是以 50 加侖桶包裝 A 料與 B 料，為了順利供料通常會使用抽料泵將漆料送至主機，由於 A 料對於水份極為敏感，通常會在 A 料的桶子上另外加上空氣乾燥器來吸收過多的水分。

(3)加熱器

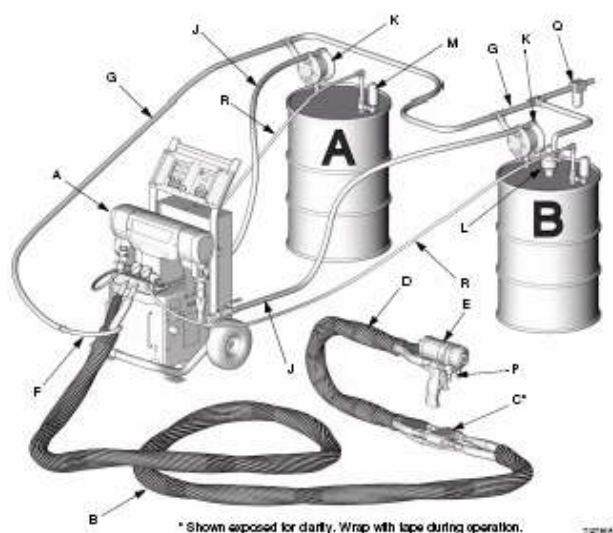
因為 A 料與 B 料之黏度較高不利施工，因此會以加熱器將溫度升高以降低黏度，加熱器可分為主加熱器與管線加熱器，主加熱器用來把經由抽料泵吸入的物料加熱到設定的溫度，而管線加熱器是纏繞在輸送管線上，用來維持漆料的溫度，避免因為送料距離

過長導致漆料黏度提高。

(4)噴槍

在施作噴塗式 PU 防蝕材時，漆料霧化的程度影響塗膜之性能甚巨，在噴塗式 PU 材料的施作過程中，常用使用衝擊混和式噴槍，原理是利用高壓將 A 料與 B 料在混合室內衝擊瞬間均勻混合，霧化後再噴塗至底材上。

圖二是噴塗式 PU 防蝕材所用之噴塗設備示意圖，通常除了這些設備之外還會額外加上提供氣體的空壓機與乾燥淨化壓縮空氣的乾燥機。



圖二 快速硬化彈性 PU 噴塗設備

表三、各部位名稱

編號	名稱
A	主機
B	加熱管
C	流體溫度感應器
D	加熱快接軟管
E	噴槍
F	噴槍供氣軟管
G	供氣管路
J	供料管路
K	進料泵
L	攪拌器
M	乾燥器
P	噴槍流體分支管
Q	空氣過濾器
R	回料管路

3.3 噴塗式 PU 防蝕材塗裝系統

噴塗式 PU 防蝕材具有快速硬化、物性優異的特性，材料相關規格如表四所示。固成分 100%，不會有溶劑型塗料所造成的環保問題，防蝕材表面可以噴塗耐候型面漆，除了可以延長材料的壽命，更可兼具美觀，圖三為噴塗式 PU 防蝕材之塗裝示意圖，由於底材處理影響 PU 膜與底材間之密著力甚大，因此在施作本產品時需注意確實做好表面

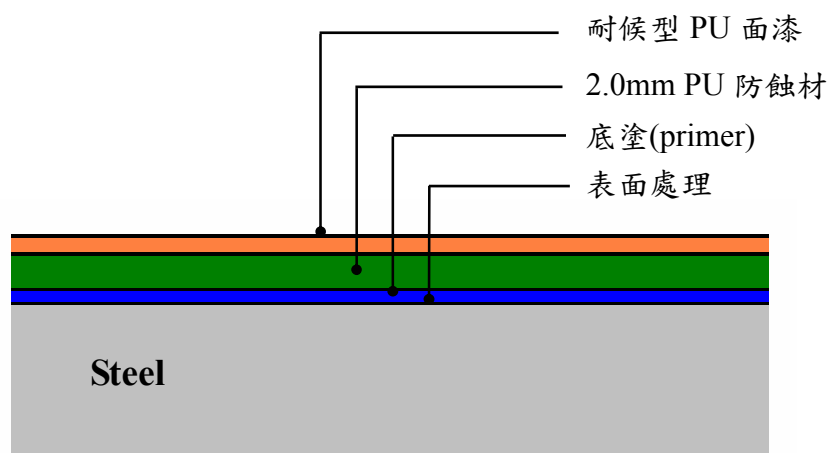
塗設備

清潔與底材處理，構件表面如有鏽蝕，需以噴砂或酸洗之方式進行除鏽。

此外過多的水氣將會造成塗膜起泡形成缺陷，所以施工前要確認大氣濕度低於90%，之後視實際需求選用底漆，通常使用環氧樹脂底漆或PU底漆，提高塗膜與素地間之密著，待底漆完全乾燥後直接噴塗PU防蝕材達所需之厚度，最後於防蝕材上塗佈一層耐候型PU面漆作為保護層以延長塗膜之使用壽命，表五為噴塗式PU防蝕材之塗裝工法。

表四、噴塗式PU防蝕材物性規格

性質	規格
吸水率(JIS K 7209)	0.3% ↓
透氣率(JIS Z 0208)	1mg/cm ² /day
抗張強度(JIS K 6301)	2500psi
伸長率(JIS K 6301)	50%
硬度(ASTM D2240)	55 shore D
耐衝擊(JIS G 3492)	pass
陰極剝離(ASTM G8)	6mm
耐磨耗性(ASTM D4060)	100mg ↓ (H-10/1kg/1000cycles)
耐鹽霧性(JIS K 5664)	2000hrs pass
耐候促進試驗(JIS K 5664)	2000hrs pass
附著力(DIN 30671)	105kg/cm ² ↑



圖三、噴塗式PU防蝕材之塗裝示意圖

表五、噴塗式 PU 防蝕材之塗裝工法

施工程序	材料	施工厚度	施工方式	測試方式
表面處理	1. 大氣相對濕度需低於 90%。 2. 將油漬及雜物以手工工具或溶劑清除。 3. 利用研磨或噴砂，將表面鏽點除去，並增加表面附著力。			相對溼度計 粗糙度比對
底漆施工	PU 底漆	G/M ²	噴塗	-
防蝕層施工	厚塗 PU 防蝕材	2.0m/m	噴塗	超音波膜厚器 濕膜厚器
保護層施工	耐候型 PU 面漆	30 μm	噴塗	超音波膜厚器 濕膜厚器

4. 結果與討論

防蝕材料的選用是公共工程中相當重要的一環，對於品質的好壞具有決定性的影響，現下材料品種繁多、形態不一，性能各異，價格高低懸殊；施工方式各不相同，在選定材料時必須考慮許多因素，例如：大氣環境，構件類型，施工季節，當地氣候，建築物使用功能以及特殊部位等。

噴塗式 PU 防蝕材由於物性優異，而且硬化時間極短，適用於各種惡劣的環境，以及其他塗料無法施作的部位，如坡度較大的建物甚至倒吊面皆可以輕易施工。施工品質對於防蝕工程的成敗也扮演極為重要的角色，塗料只是半成品，唯有依照各材料的特性確實施工，才能得到完美的塗膜，獲得預期中的防蝕效果。

參考文獻

- (1) 湯輝雄、張世忠，台灣公路工程，第 31 卷第 8 期，2005，第 2~19 頁。
- (2) 謝宗義、in：建築物防水設手冊(內政部建築研究所、台灣、2001)第 24~42 頁。
- (3) 賴耿陽、in：聚脲酯樹脂 PU 原理與實用(復漢、台灣、1997)第 1~4 頁。
- (4) J. H. Saunders, in: *Polyurethane Chemistry and Technology*(文京圖書、台灣、1973) p. 299。
- (5) 黃微波、in：噴塗聚脲彈性體技術(化學工業出版社、北京、2005)第 2~3 頁。