

# 鋼結構橋梁防蝕塗裝技術手冊介紹

廖肇昌

交通部臺灣區國道新建工程局工務組組長  
防蝕塗裝技術手冊編輯小組召集人

臺灣地區鋼結構橋梁數量日益增多，橋齡亦逐年增加，後續維護管理，尤其是防蝕塗裝更成為重要課題。降低鋼橋塗裝維護頻率及成本與鋼橋興建時的防蝕規畫設計與施工有密切的關連，妥善事前調查、合理規劃、正確設計與確實施工，一直都是橋梁興建與管理機關所關心的技術。有鑑於此，中華民國鋼結構協會與中華民國防蝕學會共同合作組成「鋼結構橋梁防蝕塗裝技術手冊」編輯小組，蒐集有關塗裝技術(油漆塗裝)文獻與經驗，歷經三年數十次的開會討論，提出乙份「鋼結構橋梁防蝕塗裝技術手冊」供設計、監造、施工與材料供應商等參考使用。手冊共分六章，區分為規劃階段(第一章大氣腐蝕性分類與防蝕方法，第二章鋼橋規劃及結構設計之防蝕考量)、塗裝系統設計階段(第三章塗裝系統設計)、施工準備階段(第四章塗裝施工計畫)及施工與檢驗階段(第五章表面處理與檢驗、第六章噴塗作業與檢驗)等。

手冊特點在(1)建議台灣地區腐蝕環境分類方式及橋梁於規劃設計階段應進行現場腐蝕環境調查，建立合理與即時的腐蝕因子資訊，避免只依循歷史資料，搭配提高腐蝕環境等級之方式進行設計。(2)重新檢討橋梁構件與塗裝系統類別(塗料規格，塗層及膜厚等)、等級、腐蝕環境的關係，並就橋梁規劃設計時應注意的構造細節以圖示說明。(3)施工與噴塗檢驗的內容也較目前使用中的施工規範有更為詳盡的建議與規定，包括塗裝材料取樣頻率、表面處理等級、清潔度檢驗、表面處理工具與材料、施工環境安全管理、膜厚檢驗等。(4)各章節所列規定條文，搭配解說，可進一步了解條文規定的內涵與相關的技術知識。

為期手冊內容能充實現有規範之不足，編輯小組成員涵括產官學研各界，包括陳正誠教授、王朝正教授、王炤烈協理、陳哲生博士、潘明宜協理、鄭光壯課長、陳丕東課長及蔡永岳先生等。本手冊已於99年5月12日假台灣科技大學國際會議廳辦理公聽會，廣納各界意見，使本手冊能為未來使用。以下將簡要介紹各章特點與內容，如需深入了解相關內容，請參閱該手冊。

## 第一章 大氣腐蝕性分類與防蝕方法

橋梁防蝕規劃設計前應基於環境認知與充分可靠的大氣腐蝕環境調查資料進行大氣腐蝕性分類，作為設計依據。若橋址之大氣腐蝕環境調查資料不足，無法進行大氣腐蝕性分類，應於橋址規劃階段同時進行腐蝕環境調查。若規劃時程過短，不及同時進行腐蝕性調查，則應蒐集橋址附近或可比對之相關可靠資料，進行大氣腐蝕性分類

之推估。此外，為利日後鋼橋防蝕維護管理，若橋址位於高腐蝕性以上(含)之環境，鋼橋於啟用後，可利用原有之腐蝕環境調查設施，或在鋼橋上設置調查設施，持續進行大氣腐蝕環境調查。

大氣腐蝕性分類應依 CNS 13401 [金屬及合金之腐蝕-大氣腐蝕性之分類] (ISO 9223)之規定辦理，其調查分類以碳鋼或鋅之腐蝕速率為主要分類依據，若兩者因腐蝕速率而產生不同之分類，一般以碳鋼為主，於本手冊採該標準將其分為 C1~C5 等 5 類。

## 第二章 鋼橋規劃及結構設計之防蝕考量

鋼橋防蝕方法應依腐蝕環境及防蝕目標，選擇最合適方法，且不限使用單一方法，可從結構設計、鋼材選擇、表面防蝕及陰極防蝕等方式進行之。鋼橋於規劃與結構設計時，應兼顧初期及後續防蝕維護需求成本，針對所處腐蝕環境進行整體設計，包括採用合適之防蝕方法與防蝕構造細部。如下為規設時應考慮的方向：

### 1. 防蝕考量因素

應包括橋梁使用年限、橋梁設置地點之大氣腐蝕環境分類、橋梁特性、規模與施工方式、相關防蝕技術有效性、施工性與耐久性、維護管理方法、制度及生命週期成本等。

### 2. 耐候鋼材之使用

每種耐候鋼材均有其防蝕特性及適用環境，使用時應謹慎選擇，必要時得與表面防蝕塗料或被覆共同使用。與耐候鋼材結合或接觸之構件或材料，如螺栓或鋅材等，應使用與耐候鋼材之電化學電位相近之材質，以避免因電位差過大而產生加速腐蝕。

### 3. 鋼材之最小厚度

鋼橋中各鋼材之最小厚度應符合設計規範規定。曝露於嚴重腐蝕環境之鋼材，除採用適當防蝕方法保護外，其厚度亦應酌量增加。

### 4. 橋梁規劃之防蝕要點

橋梁規劃應從路線選擇、橋址位置、橋梁高度、橋梁型式、橋梁基本構造等審慎規劃，使鋼橋能降低受腐蝕環境之影響，並減少橋梁曝露在腐蝕環境下之表面積。

### 5. 橋梁結構之防蝕設計

鋼橋應儘量減少腐蝕物質接觸到或停留在鋼材上，以降低腐蝕機會。腐蝕物質較可能長期滯留之部位，應加強防蝕塗裝保護。鋼橋之構材設置、斷面形狀與附屬設施等各項構造細部應依規定進行設計。

### 6. 檢修設施之設置

為方便後續維護工作，對檢修較不易之橋梁，應考慮於橋梁上設置檢修步道等設施。

### 第三章 塗裝系統設計

鋼橋塗裝分為鋼材預塗及構件塗裝。鋼材預塗包括表面處理、塗料選擇、塗裝施工等；構件塗裝包括表面處理、塗裝系統選擇、塗裝施工等。鋼材預塗及構件塗裝所使用之各種塗料均應指定其品質標準，以確認所使用之塗料品質能符合塗裝系統設計之性能。

構件塗裝系統設計應考慮下列因子：大氣腐蝕環境、鋼結構之設計、塗膜耐用年限、維護管理、外觀及施工性。以下各節所指之塗裝系統適用環境，各塗裝系統之塗層、塗料規格、道數及最小乾膜厚度等請參見手冊。

構件塗裝系統之選擇可區分如下：

- (1) 構件塗裝系統分為外部塗裝系統、內部塗裝系統及特殊部位塗裝系統。
- (2) 外部塗裝系統及內部塗裝系統之選擇，應依構件所處之腐蝕環境為之。
- (3) 直接受陽光照射或與大氣環境直接接觸之部位，應使用外部塗裝系統。
- (4) 未直接受陽光照射且不與大氣環境直接接觸之部位，得使用內部塗裝系統。
- (5) 特殊部位塗裝系統包括：
  - a. 使用於鋼床板及鋼梁上翼板上表面之 D1 塗裝系統。
  - b. 使用於箱梁內部上翼板鋼床板底部之 D2 塗裝系統。
  - c. 使用於螺栓接合部位之 E1~E4 塗裝系統。
  - d. 使用於工地現場銲接部位之 F1~F3 塗裝系統。
- (6) 本手冊 A3~A5 外部塗裝系統及 B3~B5 內部塗裝系統，可使用位於 C1~C5 腐蝕環境之構件。
- (7) 位於超越 C5 腐蝕環境之構件，其塗裝系統應針對其腐蝕來源及特性設計之，以達到防蝕所需之功能。

#### 外部塗裝系統

A3~A5 外部塗裝系統中 A3-1 及 A3-2 適用於 C3 以下之腐蝕環境，A4-1 及 A4-2 適用於 C4 以下之腐蝕環境，A5-1、A5-2 及 A5-3 適用於 C5 以下之腐蝕環境。超越 C5 腐蝕環境之塗裝系統，應根據其腐蝕環境之特性設計之，並經過合理的評估方法確認該塗裝系統之有效性，且據以擬訂施工與維護計畫。

#### 內部塗裝系統

內部塗裝系統又分為 B3~B5 系統，其中 B3 適用於 C3 以下之腐蝕環境，B4 適用於 C4 以下之腐蝕環境，B5 適用於 C5 以下之腐蝕環境。鋼橋內部塗裝因屬封閉空間，較不受外在環境腐蝕因子影響，塗裝系統較為單純。此區域塗裝較重視防水性，故採用環氧樹脂為主之塗料，其對水份滲透率低可達到防蝕效果。

### 鋼橋面版之塗裝系統

本塗裝系統適用於僅以瀝青混凝土鋪面之鋼床板鋼橋系統，其施作範圍包含：

- (1) 箱梁上翼板上表面與鋼床板上表面之 D1 塗裝系統。
- (2) 箱梁內部上翼板之 D2 塗裝系統。
- (3) 塗裝系統應用範圍，詳手冊之塗裝示意圖所示。

### 螺栓接合部之塗裝系統

鋼橋以高強度螺栓接合時，其接合部之塗裝系統應依下列之規定辦理：

- (1) 接合密貼面，包括構件接合面與接合板接合面，採用 E1 塗裝系統；
- (2) 外露接合板外表面及外露螺栓頭、墊圈與螺帽，採用 E2 塗裝系統；
- (3) 箱梁內或鋼橋墩內之內部接合板外表面及外露螺栓頭、墊圈與螺帽，採用 E3 塗裝系統；
- (4) 與 RC 橋面版接觸之接合板外表面及外露螺栓頭、墊圈與螺帽，採 E4 塗裝系統。

### 其他塗裝系統

高強度螺栓接合部位除前述採 E1~E4 塗裝系統外，得考量其他方式或塗裝系統進行設計，以確保螺栓接合部之防蝕效果。

### 工地現場銲接部塗裝系統

鋼橋在工地現場以銲接進行接合時，於銲道檢驗合格後，其銲道及銲道兩側各 100mm 或 6 倍板厚之較寬範圍內，應依下列規定之塗裝系統施工：

- (1) 位於 C3~C5 腐蝕環境下之外露側現場銲接部，應採用 F1 塗裝系統。
- (2) 位於高酸鹼腐蝕環境下之外露側現場銲接部，應採用 F2 塗裝系統。
- (3) 箱型斷面之內面側現場銲接部，應採用 F3 塗裝系統。

## 第四章 塗裝施工計畫

塗裝施工計畫包含塗裝施工程序書、塗料之儲存與搬運、塗料檢驗、施工方法、施工機具與設備、檢驗儀器及塗裝作業之環安衛措施等。承包商在施工前應依工程合約及設計圖說之規定，製作塗裝施工程序書，經工程司核可後方可施工。

塗裝施工程序書應包括下列事項：塗裝系統說明、塗料之品名與規格、塗裝樣板、塗料之儲存與搬運、塗料檢驗、表面處理、塗裝施工方法與順序、成品檢驗及其它事項。塗料容器應標明品名、容量、製造日期、批次、有效期限等各項資料。塗料應存放於陰涼處，並依塗料的特性控制儲放區之溫度且應低於 40°C。搬運時應防止容器碰撞、破損。

### 塗料檢驗

塗裝時應使用在有效期限內之塗料。塗料進場前，承包商應提供原製造廠依據 CNS 9007 規定取樣檢驗每一批次塗料之品質證明，其內容應包含品名、批次、數量、檢驗

標準及檢驗結果等資料，經工程司核可後方可進行後續取樣檢驗。

取樣頻率：塗裝施工前，承包商應會同工程司按每一工程契約所使用之每一種塗料依頻率抽驗—

- (1) 該工程所需使用之任一種塗料其用量不超過 1,250 加侖，若該種塗料具有有效（一年內）之正字標記認證報告，則不必取樣抽驗，若該塗料無有效（一年內）之正字標記認證報告，則應取樣抽驗一次。
- (2) 每一種塗料其用量在 1,250 至 10,000(10K)加侖間取一組試樣抽驗，超過 10,000(10K)加侖之塗料，則於每增加 5,000(5K)加侖，再增加一組試樣。
- (3) 每一種具有有效（一年內）正字標記認證報告之塗料，其製造批次累計超過 10 個時，應再抽取一組試樣；每一種無有效（一年內）正字標記認證報告之塗料，其製造批次累計超過 5 個時，應再抽取一組試樣。
- (4) 若同一種類塗料係由二家以上廠牌提供，亦需分別依廠牌及其數量按上述抽取試樣。
- (5) 取樣方式依據 CNS 9007 之規定辦理，並送認可之試驗機構進行檢驗。

#### 施工方法與準備

表面處理之施工方法包括自動噴砂、手動噴砂及工具打磨。施作時應以自動噴砂或手動噴砂為主。塗裝施工方法包括無氣噴塗法、空氣噴塗方法、滾塗方法及刷塗方法。使用時應以無氣噴塗法為主。施工前應針對相關作業之施工機具或設備進行整理準備，以確保塗裝工程之執行與品質。塗裝作業所使用之檢驗儀器或設備，應定期校正，並作成記錄。施工前應確認施工場所的空間、進出動線、溫度、濕度、風向及風速等，並排除不利於施工之因素。塗裝時應採取一切有效措施，以防新塗膜或未塗裝前鋼材表面之污染。

#### 施工機具及設備

表面處理依作業方式不同，其施工機具或設備區分為自動噴砂設備、手動噴砂設備與打磨工具等，施工時應針對構件形狀、尺寸、特性與施工範圍等，選擇合適之方法與施工機具。噴塗依作業方式不同，其施工機具或設備區分為無氣噴塗機、有氣噴塗機、滾筒與毛刷等，施工時應針對構件形狀、尺寸、特性與施工範圍等，選擇合適之方法與施工機具。

## 第五章 表面處理與檢驗

表面處理係指鋼材表面於塗裝前，將被塗面所附著之污染物、油污、浮鏽、黑皮、外界異物及表面灰塵去除，提升其清潔度並使被塗裝面具適當粗糙度，以增加塗膜之附著力及維持塗裝系統之耐用年限。表面處理完成後應在規定時間內進行塗裝，表面處理時應注意環境溫度及鋼材表面溫度。表面處理包括一次表面處理及二次表面處理。

表面處理檢驗項目包括施工環境量測、鋼材銹蝕等級確認、表面清潔度檢驗、表面污染物檢驗及表面粗糙度檢驗等。

表面清潔度檢驗：表面清潔度檢驗：除契約另有規定外，以噴射法進行表面處理時，一次處後之表面應至少達 Sa 2½ 等級，二次處理後之表面應至少達 P<sub>Sa</sub> 2½ 等級。工具法僅可使用於二次表面處理，處理後之鋼材表面清潔度應達 P<sub>St</sub>3 等級。

表面污染物檢驗：鋼材表面污染物係指鋼材經表面處理後，無法以目視檢驗之清潔度，如可溶性鹽類。表面污染物檢驗目前以氯離子含量為主。其他污染物如含硫化合物、含氮化合物，應視施工現場之大氣環境，必要時於契約中訂定檢測方法、檢測頻率及合格標準。

表面粗糙度與檢驗：粗糙度以 Ry 平均值（或稱 R<sub>max</sub> 平均值）表示之。Ry 平均值為在 55cm<sup>2</sup>（如 7.5cm×7.5cm）之範圍內讀取 3 個 Ry 數值，並取其平均值。

表面粗糙度之檢驗與標準如下：

- (1) 除契約另有規定外，Ry 量測方法應依 ASTM D-4417 Method B 之規定進行之。
- (2) 表面粗糙度之檢驗時機與頻率應依手冊之表 5.7-1 之規定進行之。
- (3) 一次表面處理後，鋼材表面粗糙度（Ry 平均值）應在 25-75μm 之間。
- (4) 二次表面處理後之鋼材表面，可不規定表面粗糙度。

## 第六章 噴塗作業與檢驗

塗料噴塗應以無氣噴塗法為之，如施工上有困難，經徵得工程司之認可，得改用滾塗法或手刷法。使用噴塗法施工時，對於角邊、螺栓、銲接等處及其他不易噴塗之處，應以手刷法或滾塗法先塗刷一次，再以噴塗法全面塗裝。所有塗裝工作，應依塗料之塗裝間隔規定施作。工作場所附近揚起之灰塵過多，足以影響塗裝工作時，承包商應採取有效措施，以防塵垢沾污新漆或未塗裝之鋼材表面。一般塗料塗裝時之大氣溫度應在 5°C~40°C 之間，相對濕度應在 85% 以下。鋼板表面溫度應高於露點溫度 3°C 以上，且不得超過 50°C。但塗料另有規定者，從其規定。此外，對塗裝間隔、不塗裝部位及塗料拌合亦有相關規定。

塗膜檢驗：塗膜檢驗可區分為濕膜檢驗與乾膜檢驗。濕膜之檢驗項目包含外觀、厚度等檢驗。乾膜之檢驗項目包含外觀、厚度與附着力等檢驗。

濕膜外觀與厚度檢驗：噴塗作業中濕膜出現橘皮或垂流等缺陷時，應立即採取適當措施消除之。濕膜厚度檢驗應依據廠商提供產品說明書之塗料容積固含量、乾膜

規定厚度與調薄劑用量等資料計算之。

乾膜外觀檢驗：每一塗層之乾膜均應進行外觀檢驗，乾膜外觀檢驗採目視方式進行之。

乾膜表面不得有龜裂、起皺、垂流、氣泡、橘皮、塌凹、吐色、針孔等缺陷。

塗膜檢查有外觀缺陷時，應按第 6.5 節之規定改善之。

乾膜厚度檢驗：檢驗時機：在最後一道底漆、中塗漆及面漆施作完成並乾燥後，應分別進行檢驗。乾膜厚度之量測應根據 CNS 15200-1-7 方法 6『磁力法』為之。

#### 1. 檢驗頻率：

(1) 主要構件：以每一構件作為一批。

(2) 次要構件及接合(連接)板：不同塗裝系統及膜厚之塗裝應分批檢驗，相同系統及膜厚之塗裝其累積面積每 300m<sup>2</sup> 為一批，未達 300m<sup>2</sup> 者視為一批。

(3) 每批應至少檢查 16 處，每處應於 4 公分直徑範圍內量測 3 個讀數，取 3 個讀數之平均值為該處測定值。

#### 2. 合格基準：每批測定值均符合下列 3 項規定方屬合格。

(1) 每批乾膜厚度測定值之平均值，不得小於設計膜厚，且不得超過設計膜厚的 3 倍。

(2) 每處乾膜厚度測定值，應達設計膜厚的 80% 以上。

(3) 每批乾膜厚度測定值之標準差，不得超過平均值之 20%。

#### 3. 每批第一次檢驗不合格時，應進行複驗

4. 複驗時每批應再增加檢查至少 16 處，併同第一次檢驗之數據進行分析判定，合格基準同第 4 款之規定。

#### 5. 複驗仍不合格者應按第 6.5 節之規定改善之。

### 塗膜改善與塗層修補

1. 塗膜因噴塗之外觀缺陷，或因構件搬運、儲置、架設與現場支撐拆除後，所造成之塗膜局部損傷均須加以修補，此修補稱之為補漆作業或塗層修補。

2. 塗膜厚度不足時，則補噴塗至規定最小乾膜厚度。塗膜過厚且影響安裝或防蝕功能時，應將其研磨至規定之最大乾膜厚度值以下。

3. 塗層修補作業之程序與塗層之損傷程度息息相關，各種塗層損傷之程度與其修補程序應依手冊表 6.5-1 所示之方法為之。

4. 塗層損傷至鋼材表面外露時，應採用動力工具進行表面處理後，再依原塗裝系統各塗層之規定實施補漆作業。

5.塗層損傷未及至鋼材表面時，得採用砂紙研磨或手工具進行表面處理後，再依原塗裝系統各塗層之規定實施補漆作業。

#### 結語

本文僅為摘錄手冊中各章之部份內容，有些章節有前後連結之關係，使用者仍應參考對照手冊各章節，不宜僅摘錄其中部份內容使用，以免有前後無法對應之情形。手冊內容難免有疏漏處，任何與手冊內容有相關之意見或建議，歡迎傳送至中華民國鋼構協會。