

# 鋼結構銹蝕實例與防蝕探討

陳純森

高雄市結構技師公會學術委員會 主任委員

2009. 8. 10

## 前 言

鋼結構固然優點很多，但是缺點則是容易氧化造成腐蝕，腐蝕後之鋼料因為厚度減薄，結構強度必定折減，且生銹以後之除銹與善後工作十分麻煩，造成無謂之浪費。國內曾有三十餘層之超高層鋼結構，因為從業者未熟諳鋼料之腐蝕特性，將整棟鋼骨間置約八年之久，以致於鋼架生銹異常嚴重，造成嚴重之損失。有鑑於此，為提供工程實務案例之經驗以便相關從業人員互相探討，筆者乃就個人領域專長撰寫本文，並檢附相關現場實際相片作為印證補充，以作為共同探討之參考，希望有助於鋼結構工程技術之提昇。本文部分資料引用筆者拙著「鋼結構工程實務」一書內容，以資補充。

### 一、鋼料之銹蝕

一般鋼料的銹蝕程度以腐蝕厚度作為認定的標準。有關鋼鐵材料的生銹標準，常用的標準是瑞典的 SIS 標準，其分類簡述如下：

#### 1-1 鋼鐵銹蝕程度

鋼鐵的銹蝕度 (Rust Grade) 依照瑞典工業標準 (Swedish Industry Standard, 簡稱 SIS) 分為 A、B、C 及 D 等四類，SIS 之防蝕標準幾乎已成為慣用之國際標準：

- A 類：鋼鐵表面完全覆蓋著完整黑皮（Mill Scale），並無紅鐵銹或僅具有極少量紅銹之表面銹蝕。
- B 類：鋼鐵表面開始銹蝕，有部分黑皮剝落，生銹面積約小於全面積之三分之一。
- C 類：鋼鐵表面已產生全面之銹蝕，大部分之黑皮已剝離或呈現非常鬆懈狀態。
- D 類：黑皮已完全剝落，鋼鐵表面產生許多針孔（Pitting），呈全面性嚴重腐蝕狀態。如下圖屬於 D 類之銹蝕程度。

### 1-2 國內鋼結構大樓之銹蝕實例

施工完成之鋼構架，由於鋼架受風雨侵蝕之方向特性，且鋼料之加工程度與受力並不規則，所以鋼架實際之銹蝕程度並不劃一。茲列舉各種不同之鋼結構銹蝕程度說明如下：



圖一 梁柱接頭之生銹(一)

如圖一之梁柱接頭，其鋼柱可歸屬於 B 類之銹蝕，梁端與剪力板則屬於 D 類之銹蝕，鋼梁下翼板為 B 類銹蝕而腹板則可歸為 A 類，即未發生銹蝕。



圖二 梁柱接頭之生鏽(二)

又如圖二之梁柱接頭，鋼柱與鋼梁之上翼板均為 C 類鏽蝕，腹板與下翼板則屬 B 類鏽蝕，剪力板亦為 D 類鏽蝕。



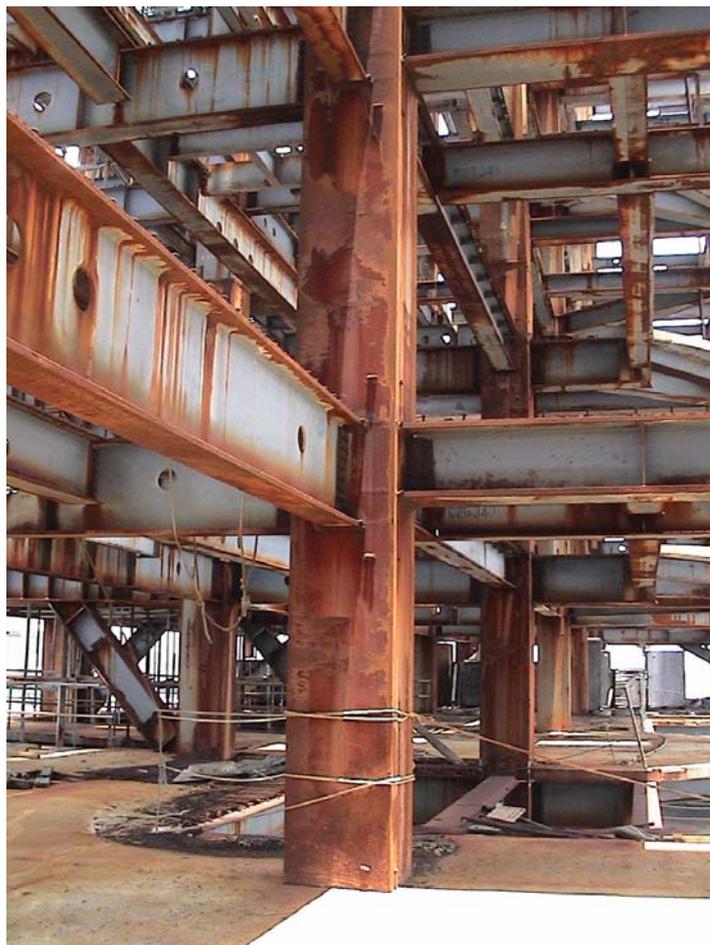
圖三 鋼梁之生鏽

圖三之鋼梁上翼板已全面生鏽，屬於 C 類腐蝕，下翼板則少數面積腐蝕可歸屬 B 類，至於腹板則未有明顯之腐蝕，可歸為 A 類。



圖四 螺栓與電銲道之D類生銹

圖四之梁柱接頭，其剪力板、螺栓與電銲道均已嚴重腐蝕，並且有明顯之蛀孔，屬於最嚴重之D類腐蝕。



圖五 鋼柱與鋼梁之銹蝕

圖五之鋼柱為 C 類腐蝕，而其他構件則分別屬於 A 類至 D 類之銹蝕。

## 二、鋼鐵表面處理

鋼鐵表面之處理方法可區分為二種。第一種處理方法為利用手工或電動工具處理者，係局部除銹之方法，以 St 表示，一般工地使用之局部整理即為 St 工法。第二種係以噴砂或甩鋼珠方式處理者，將整支構件除銹乾淨，用 Sa 表示，通常在工廠使用。表面處理之程度又分為 0 級、1 級、2 級、2½級與 3 級共五級。其定義分別如下：

0 級：未處理之表面

1 級：輕度之處理表面

2 級：中度之處理表面

2½級：幾近完整之處理表面（處理後接近白色）

3 級：完整之處理表面（處理後為白色）

一般鋼結構的除銹標準，除了核能發電廠採用 Sa-3 級作為除銹標準以外，其餘之工程無論廠房、橋梁或大樓工程均採用 Sa-2½級作為除銹之檢查標準。根據上述銹蝕度及表面處理程度之標準，其綜合表示之方法及符號如表一所示：

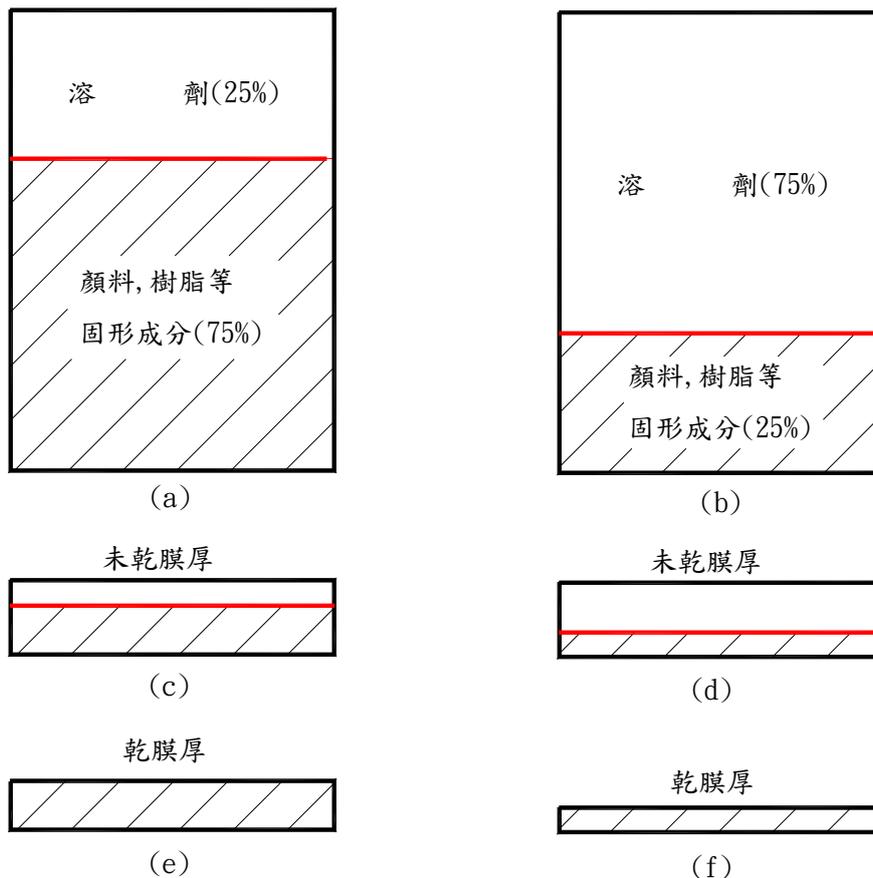
表一：鋼料表面處理之分類標準

銹蝕度	處 理 程 度			
A 類	---	---	A Sa 2½級	A Sa 3 級
B 類	B Sa 1 級	B Sa 2 級 B St 2 級	B Sa 2½級	B Sa 3 級 B St 3 級
C 類	C Sa 1 級	C Sa 2 級 C St 2 級	C Sa 2½級	C Sa 3 級 C St 3 級
D 類	D Sa 1 級	D Sa 2 級 D St 2 級	D Sa 2½級	D Sa 3 級 D St 3 級

### 三、塗裝介紹

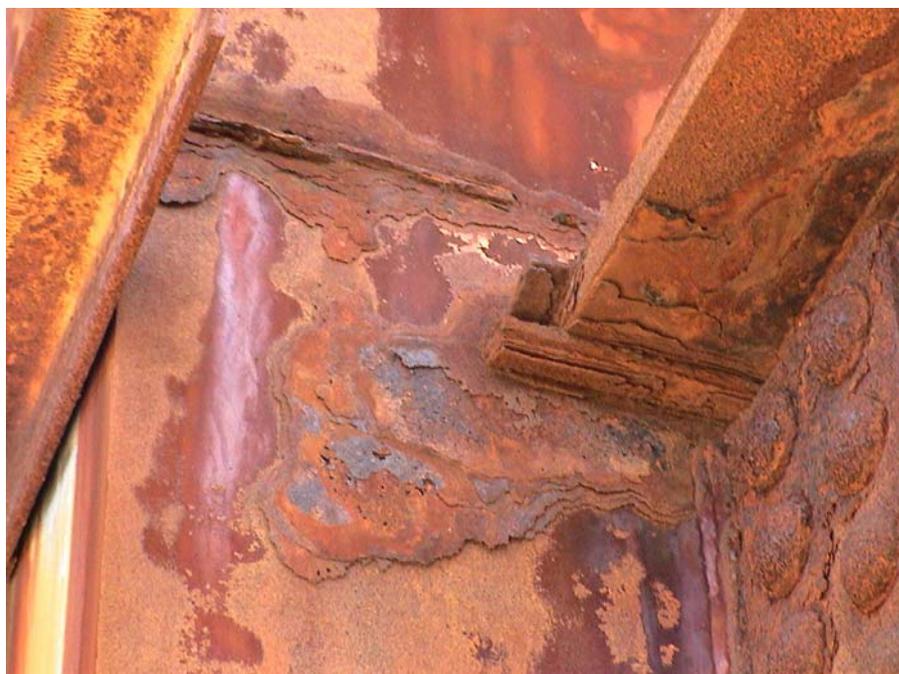
#### 3-1 塗料功用介紹

防銹工法最普遍之方法為噴塗油漆，簡稱塗裝。油漆的主要成分包括顏料及溶劑，有時顏料另加樹脂以增加粘結性。顏料可反應塗裝顏色並可覆蓋鋼鐵材料，而溶劑則是用以溶解漆料以便塗刷。當塗裝工作完成後顏料會存留在鋼料表面作為隔離材，避免鋼料與空氣中之氧氣產生化學反應，通稱的鐵銹即為鋼鐵氧化後之三氧化二鐵 ( $Fe_2O_3$ )；溶劑則會揮發不會存留在鋼料表面。塗裝的防蝕效果與油漆乾膜的厚度成正比，乾膜厚度愈厚其防蝕年限愈長，故乾膜厚度或油漆固形成分的含量也就成為防蝕效果的重要指標。圖六為分別不同固形成分之油漆材料，於塗裝完成尚未乾涸時其總膜厚之情況，固形成分愈高者其防銹年限也愈長。



圖六 不同固形成份之塗裝材料

從圖六的乾膜厚度使用者可以推算油漆的理論塗佈量，考慮各種不同之損耗量即可估算油漆數量。鋼結構規範規定須灌混凝土的部位不可油漆，須噴防火被覆的部位不可油漆，鎖螺栓的部位不可油漆，電銲的部位也不可油漆。因此，除了廠房與橋梁外，高層建築幾乎都沒有油漆的機會，因為國內建築技術規則規定，三樓以上建築必須防火建築，其構造必須防火構造，結構體必須具備至少兩個小時以上之防火時效，所以大樓建築地上層都有防火被覆，當然不能油漆。但考量鋼構件在工廠加工與與工地安裝的閒置時間太久，通常最快在六個月以後才會輪到防火被覆廠商進場施工，因而鋼架會生銹很嚴重，反而造成防火被覆施工的困擾。因此，鋼結構大樓一般都噴一層薄薄的預塗底漆，其厚度視油漆的種類而異，大約在 15~25 micron meter 之間，國外慣稱為 Wash primer，如此超薄的預塗底漆在工地約可維持一年左右不生銹。圖七即為國內某 34 層之超高層大樓鋼架，雖然有預塗無機鋅粉底漆，但因閒置工地達 8 年之久，仍然發生嚴重之銹蝕狀況，造成財務上的極大之損失。



圖七 露天閒置之鋼構架銹蝕狀況

### 3-2 鋼結構防蝕方法

鋼結構之防蝕處理包括塗裝、烤漆、鋁鋅熔射及熱浸鍍鋅等方法。鋼架在塗裝前，必須先把表面的銹渣用硬砂或鋼珠噴除乾淨，再依照施工規範將油漆分層噴塗於鋼構件表面。塗裝時的環境氣溫應保持在 10°C 至 35°C 之間，溫度太低時，噴漆容易冷縮而裂開，溫度高時噴漆容易起氣泡導致氣泡破裂，兩者均容易造成鋼料之生銹。且噴漆時，相對濕度應維持在 85% 以下，以免氣候潮濕降低油漆的粘結效果。

油漆的總乾膜厚度約自 70 $\mu\text{m}$  至 300 $\mu\text{m}$  不等。一般工廠建築約噴漆二~三層，總厚度約在 100 $\mu\text{m}$  左右。橋梁鋼結構之外側則噴六層油漆，總厚度約 300 $\mu\text{m}$  左右，箱型鋼橋之內側則視設計情況分別從二至六層不等。每一層油漆均必須調查其相容性，否則容易掉漆或剝落。目前最佳防銹效果之無機鋅粉漆，因本身相容性太差，所以施工時必須噴足厚度，萬一厚度不足須要補噴時，效果不佳，只能採用有機鋅粉漆補塗，防銹效果大為降低。

有關油漆之膜厚檢查，一般在每平方公尺的表面積取 5 點的量測厚度平均，作為該處的膜厚值，不得低於規範的規定值。而防銹或防蝕之保固標準應係以銹蝕面積少於全部塗裝面積之 15% 作為容許公差之合格標準。圖八為人工塗裝作業之實況。噴塗時應依規定配戴必要之防護面具。



圖八 人工噴漆

鋁鋅熔射是採用鋁棒與鋅棒在熔解時，同時噴濺至鋼料表面作為防銹。按照學術之研究，如果採用 5%的鋁與 95%的鋅混合均勻後，其防銹效果最佳。但因為鋁與鋅之比重不同，熔點也不同，施工時是否可以混合均勻不無疑義，其防銹效果仍待觀察。

至於烤漆則是將漆粉利用靜電效果先吸付在鋼料表面，然後將鋼構件送入加熱爐內部，以 200℃之溫度將漆粉熔融並附著在鋼料表面作為防銹，表面光滑平順，防銹效果也不錯。

#### 四、熱浸鍍鋅

鋼結構工程為避免銹蝕，亦有採用熱浸鍍鋅之工法，其防銹功能所涉及之相關因素包括鍍鋅方法、鍍鋅含量與工程所在地之腐蝕環境等。有關腐蝕環境之因子又包括當地濕度、溫度、鹽害程度與酸氣含量等，可謂銹蝕之因素錯綜複雜，必須詳細調查始能確定。目前國內在此方面之調查資訊並未整合完全，熱浸鍍鋅之防銹保固必須謹慎處理，不宜冒然訂定。圖九為鋼構件於鍍鋅前後之比較。



圖九 鋼構件之鍍鋅前後比較

部分相關業界推廣熱浸鍍鋅防銹之資料，曾引用外國資料記載熱浸鍍鋅可以防銹 30 至 50 年，應屬於環境特佳之案例。如工程所在地之腐蝕環

境不佳時，如高濕度地區、高鹽害地區及高酸氣地區等，均會明顯減少防銹年限。嚴重者，其防銹年限甚且會降至 10 年以內。國內許多潮濕地區，如台北盆地與基隆地區、桃園觀音工業區、彰濱工業區、台南安平與恆春等地，因氣候潮濕防銹之效果常有少於 10 年之情況。於此特殊情況，建議除辦理熱浸鍍鋅外，最好外表再塗裝適當之油漆。

熱浸鍍鋅的除銹方式，一般採用酸洗除銹法，目前多半採用鹽酸酸洗，先將製作完成之鋼構件浸入鹽酸槽中，待鐵銹溶解洗滌後，再移至清水槽中清洗並涼乾，再放入 400°C 至 500°C 之鋅液溶解池中，使鋅液覆蓋在鋼構件表面，冷卻後即完成鍍鋅工作。熱浸鍍鋅的防銹原理是利用鋅保護鐵，讓鋼鐵材料不致氧化，以達防銹之目的。鋅與鐵均為帶正二電之金屬材料，容易與帶負二電之氧產生化學反應，一般熱浸鍍鋅的鋅膜很厚，其單位重量約 300~600g/m<sup>2</sup> 左右，其完全產生鋅銹耗時甚久，故防銹效果良好。惟熱浸鍍鋅法對於加工後之鋼構件有類似熱處理之退火之作用，會大量消除電鍍之殘留應力，故對於電鍍量較多或不規則之鋼構件，容易產生變形，施工技術困難度較高，務必細心規劃選用。

一般採用強力螺栓接合之鋼構件比較適合熱浸鍍鋅。惟在鎖螺栓以前，如果採用摩擦式接合時，應先在接合部位以手工鋼刷將其刮刷，以增強摩擦效果。由於鍍鋅之表面氧化迅速，通常在第二天就產生明顯之氧化效應，而使表面略呈灰色，此為正常之現象。部分熱浸鍍鋅工廠為使鍍鋅表面維持美白較長之時間，常在鋅液加填鋁料，反而造成不純之鋅液成分，並非正途。

## 五、防蝕常見缺失

鋼架於施工後應儘量避免暴露尖銳的邊緣，因為尖銳角度於噴漆後很容易生銹。應設法用研磨機磨成鈍角或倒角處理後再噴塗油漆。螺栓接頭處亦十分容易生銹，施工時必須謹慎。圖十為安裝不久銹蝕之實況。



圖十 鋼架安裝完成不久即產生銹蝕

總之，鋼鐵材料之氧化生銹為一種無可避免之自然現象，從業人員無論是規劃、設計、施工或監造，都必須確實瞭解其特性，採取有效之作為與防範措施，以免造成工程失敗與浪費。

#### 【參考文獻】

1. 陳純森，鋼結構工程實務，第三版，2009年7月。科技圖書公司。
2. 中華民國鋼結構協會，鋼結構施工規範。