

# 熱浸鍍鋅防蝕概要

蕭勝彥

## 一、前言

鐵、很廣泛的被使用為近代產業之基礎材料，在我們日常生活中可以說是無法分割的重要金屬。鐵，它富有加工性，也易於熔接或切削，更具有高度信賴性之強度。

而令它感到最痛苦的，最致命的缺點就是“銹蝕”，尤其是在我們台灣，這塊地處高溫潮濕，四面環海的氣候條件下，腐蝕最易發生。特別是台灣西部海岸，澎湖島等地，一年當中；大部份時間都處在海鹽粒子及飛砂的洗禮中，物件容易腐蝕可以說是它最大的缺點了。

而為了使鐵免於銹蝕有如圖 1 所示之各種方法。

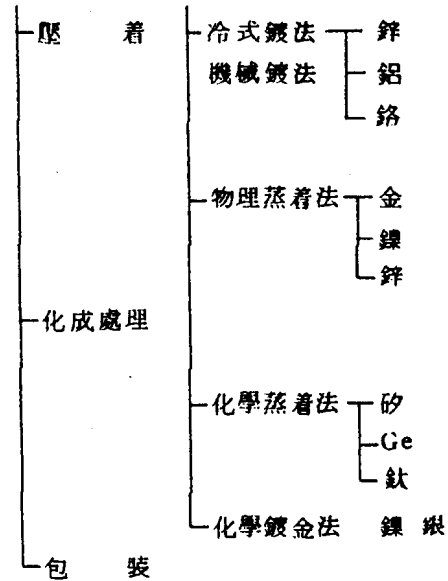
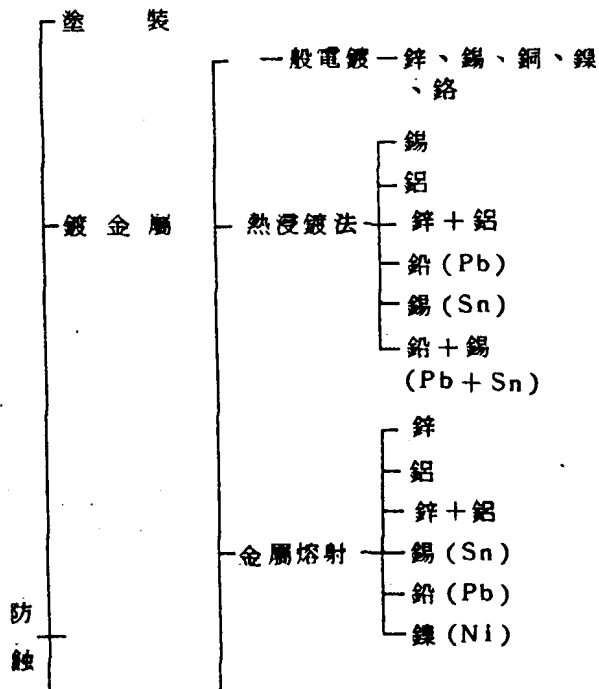


圖 1 金屬防蝕的方法

雖然，大部分的人都曉得用油漆來塗裝，做為防銹的方法，但是最近因為鋼鐵結構物要求永久免維修 (FREE MAINTANCE)；而熱浸鍍鋅於它具有耐蝕性及經濟性之優點，所以能與此項要求相呼應，達到一致的目的。因此也漸漸的被使用在各種場所。例如土木、建築關係上有橋樑之鋼架、水壩之閘門、防止落石欄柵、公路旁之護欄板、格子板、混凝土鋼筋、工廠廠房、車站等，另外與農、漁、牧方面相關有溫室鋼架、牛、豬、雞舍、漁港之鋼構建築物，舌箱等都已普遍採用熱浸鍍鋅。

## 二、熱浸鍍鋅之歷史

熱浸鍍鋅的歷史遠從 1742年，法國的 MELOUIN 發表了此項方法，1836年同樣是法國人的 SOREL 取得專利，於是，世界上最初在巴黎將它使用在工業上。以後，在英國、德國、奧地利，及歐洲各地相繼的建造了熱浸鍍鋅工廠。

在日本，則是於 1908年，即明治 41 年由田中亞鉛鍍金株式會社首創。

### 三、熱浸鍍鋅作業流程

熱浸鍍鋅跟焊錫的原理是一樣的，我們可以看到當焊錫的時候，師傅會將焊接部份用銼刀或小刀把那個部位弄乾淨再沾上ペースト然後再焊上，熱浸鍍鋅也是將化學性的油污、銹等去除，洗淨鐵基再浸助劑，這個助劑就等於ペースト的功用，全部浸過助劑後再浸入溶解之鋅浴中。

熱浸鍍鋅之作業流程如圖 2 所示，大部可分為三個階段；前處理、熱浸，成品整理等順序來處理。

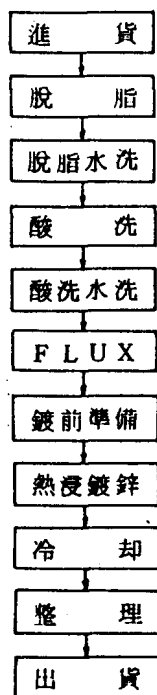


圖 2 熱浸鍍鋅作業流程

### (一) 前處理流程：

#### 1. 脫脂流程：

在鍍件表面，加工時使用潤滑油、切削油等油脂類，或者為了暫時防銹塗上防銹油， $\text{Fe}_2\text{O}_3$  等附着在上面，這些油脂類對下一步流程酸洗作業影響很大，所以必須完全除去。

脫脂方法當然有很多種，但在熱浸鍍鋅方面，一般都使用鹼性脫脂，也是最具經濟性的好方法。

所謂鹼性脫脂液就是使用  $\text{NaOH}$  及  $\text{Na}_2\text{O}$ 、 $n\text{SiO}_2$  之混合液。

附着在鍍件上之動植物油脂類與  $\text{NaOH}$  產生化學反應而皂化，變成肥皂溶解在水中而達到脫脂之目的，而不能產生皂化反應之礦物油則由於  $\text{Na}_2\text{O}$ 、 $n\text{SiO}_2$  之功效而乳化，離開了鍍件表面。另外有些難以脫脂液脫脂之油漆，樹脂類等東西就得靠噴砂方式來處理了。而事實上噴砂這種方法無法在鍍鋅廠處理，還是在送到鍍鋅廠前先處理好，否則鍍鋅費用就太貴了。

脫脂是否完全清除可在水洗時視其濕潤狀態判定，水洗後再送到酸洗槽去。

#### 2. 酸洗流程

熱浸鍍鋅皮膜之形成，並不只是單純的鋅附着在鍍件表面上而已，它是鐵與鋅合金化反應後的產物。為了合金化反應，鍍件表面與鋅熔液兩者之間必須在一種極為活性狀態下接觸。所以在鍍件表面與鋅熔液之間一定不能有介在物等碳層或銹存在。因此就必須用酸洗來達到除銹的目的。酸洗當然可以用很多種類的酸，但通常都用鹽酸或硫酸，至於鑄件因含有砂所以使用氟酸，但因為使用氟酸太慢，所以大都將氟酸與鹽酸混合使用。

#### 3. 噴砂處理

高張力鋼等經酸洗處理易於吸收氫氣，為了避免發生氫脆化現象，所以最好以噴砂除銹來代替酸洗。另外由於鍍件表面所附著

之油脂、碳層、焊渣等不易以脫脂、酸洗方式除去時，亦多採用噴砂處理。

經過噴砂處理後由於鍍件表面變得較為粗糙，鍍層為較厚，密着性也更為良好。

#### 4. 助劑處理

為了達到良好的熱浸鍍鋅品質就必須使熔解的鋅與潔淨的鍍件接合不可。經過脫脂、酸洗後鍍件已經完全洗清淨了，但是在酸洗好到熱浸前，這中間一定不能再生鏽，若是有些微的鏽就必須馬上除去。另外處於熔融狀態的鋅液表面因為與空氣接觸產生了氧化鋅及其它氧化物覆蓋在鋅浴上，而妨礙了清淨的鍍件與鍍液接合，所以我們就使用助劑來解決這些障礙條件。

#### 5. 熱浸鍍鋅

在經脫脂、酸洗、助劑等前處理流程後，鍍件通常都是很快速的浸入  $430^{\circ}\text{C} \sim 470^{\circ}\text{C}$  左右之熔融鋅液中，以各種規範之要求未決定浸鍍之時間。

鍍件浸入鍍液內以後，附着在鍍件之氧化物或弄髒之鍍件因助劑之藥液效力，能把氧化物及髒之物體飄浮於鋅液之表面上，鍍件要從鋅液提出時，必須把飄浮於鋅液表面上之浮渣清除後，才能提出，這樣鍍件才能保持其外觀之美觀。另也須將過剩之鋅滴，以震動或敲打之方式把鋅滴去除後才冷卻。熱浸鍍鋅之鋼鐵與鋅液之反應為鋼鐵與鋅產生一合金層；最上面則有一層純鋅層。附着在表面之厚薄與鋼鐵之化學反應，鋼材本身之厚薄有關。

##### (一) 鍍鋅附着量之控制

關於鍍鋅之鍍層之厚薄方面：控制熱浸鍍鋅之附着量有種種之因素，最主要之控制因素，有些是可以作業方式調整，有些是不可能以作業方式調整，而不能的為鍍件本身材質有問題，則必須考慮到鋼材之化學反應。如圖

影響鍍鋅附着量之原因

在鍍鋅作業過程之原因 (鋼材之因素)	可由鍍鋅作業調整之因素
1. 材質鍍件之厚薄 (厚的鍍鋅層越厚)	鍍鋅溫度 (越多越厚)
2. 大、小，越大附着量越多	浸鍍時間 (浸鍍時間越久，附着量越高)
3. 壓延方法 (熱壓方法附着量高)	提出速度 越快附着量越高
4. 化學成分 (Si、Mn、Pc) 影響大	酸洗、噴砂、鍍件表面粗糙附着量越高

#### 四 熱浸鍍鋅之防蝕作用

鋅在化學上它是一活性之良性金屬它擁有易腐蝕之特性，與水或氧很容易反應成一耐蝕性之氧化層來保護其底下之鋅，如圖七所表示的鍍鋅層，鍍鋅皮膜之表面有碰傷或剝離現象，鋅能產生正電位，來保護鐵，防止鐵之腐蝕，這就是我們所說的鋅能犧牲陽極保護鋼鐵之防蝕作用；但如圖八，如果是塗裝時，塗層碰傷有如一針孔之破洞，鐵材接觸到氧，則鐵材會產生鏽，鐵材的腐蝕工作則開始進行。鏽則會把針孔之鏽蝕擠浮上來，則塗層開始剝落。

但熱浸鍍鋅皮膜之犧牲陽極保護作用，並不是無限制，在大氣中則以不超過 10 mm 大之範圍，海洋中不超過 30 mm 之範圍內，則可犧牲陽極保護鐵材鏽蝕之產生。

##### (一) 大氣中耐蝕性

暴露在大氣中之腐蝕氧化層經分析確認為一氧化鋅之被覆物其酸化鋅， $(\text{ZnO})$  鹽基性碳酸鋅  $(\text{Zn}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_6, 4\text{ZnO}, \text{CO}_2, 4\text{H}_2\text{O})$ 。

像在山野、山野地帶較不受污染之大氣下，這層氧化物之皮膜可來保護鍍鋅之物件，所以鍍件之腐蝕非常緩慢，但在工業地帶或海洋地帶因含有二氧化硫和海洋鹽粒子很重，會妨礙這層皮膜之形成，所以這層皮膜會

腐蝕得較快，所以說在大氣中鋅之皮膜和海洋之防蝕環境之不同有很大之分別。

## 五、熱浸鍍鋅與鋼鐵材

### (一) 用於熱浸鍍鋅的鋼鐵材

#### 1. 材質

通常使用於建築鋼鐵構造物的一般構造用展延鋼材(JIS G3106 SS材)、熔接構造用鋼材(JIS G3106 SM材)、鑄鋼(SC材)、鑄鐵(PC材)等多種鋼鐵材料都可以施以熱浸鍍鋅。由於其鋼鐵材的化學成分及製鋼法相異，其鐵、鋅的反應速度也大有差異，造成鍍鋅層厚度、外觀、甚至於密著性迥異。以下列舉鋼材化學成分，製鋼法而影響熱浸鍍鋅的概要。

#### (1) 化學成分 1：

鋼鐵中合金成分影響鐵鋅合金反應是由於化學成分、鍍鋅條件會變化，其一般性傾向如下：

##### (i) 碳：

一般施鍍鋼材的含碳量約在 0.04~0.3%、至 0.2% 不影響通常鍍鋅。

##### (ii) 矽：

對鍍鋅附著量具最大影響力的元素，其一般含矽量為 0.05% 以下，於 0.18~0.22% 間以外者其反應激烈，據資料顯示易生成異常厚度的鍍鋅層，或發生燒灰現象。但矽因與其他元素的互相關係容易變化，故於此含量範圍外者就不能保證經常能得到優良的鍍鋅層，故應特別注意矽的含量。

##### (iii) 錳：

含錳量在 1.35% 以下時影響甚小，含量稍多之合金化反應趨激烈以致密著性下降。

##### (iv) 磷：

含磷量在 0.05% 以下時影響

甚小，至於含磷量在 0.15% 以上時其合金層會非常厚。

##### (v) 鉻：

含鉻量在 0.06% 以上者其合金層厚度生成約 2 倍。

通常使用的鋼材類如一般構造用鋼材(SS材)、熔接構造用鋼材(SM材)等其抗拉強度在 50 kgf/mm<sup>2</sup> 者或配管用碳鋼鋼管(JIS G3452)等通常可以得到良好鍍鋅製品。然而只根據鋼材化學分析值，來判斷燒灰和異常附著等發生機率時，往往會遇到與預測相反的結果。這個原因係因參與熱浸鍍鋅反應者只限於鋼材表層的約 10.μm 處，而此表層與鋼材全體的成分間具有差異所造成。

#### (2) 製鋼方法：

鋼材製鋼法之影響係由於熔鋼的脫氧劑產生差異。脫氧劑是鐵矽劑(Ferrosilicon)、鋁為主，而由前者處理者一般鍍鋅附著量較多。

Rimmed Steel(未淨鋼)是具有不純物在表面，其鋅附著量較同一組成的 Killed Steel(淨鋼)為少，其變異小，又較少發生燒灰現象。

在 Semikilled steel(半淨鋼)同一鋼錠內的附著量具易變異的傾向。依連續鑄造法所造錠塊較普通鑄造法，以矽脫氧者在燒灰發生附著量，密著性都有較劣傾向。然而以鋁脫氧者沒有這種劣勢。

#### 2. 鍍鋅底材及表面狀態

由於底材狀態可能導致異常的鍍鋅製品。即鍍鋅而無鍍鋅、燒灰密著性劣化等，在鋼材是扭曲變形、脆化等現象產生。

於前處理工程無法消除，而附著異物的底材，不適用於鍍鋅。例如在展延鋼材時所形成深的軋輪痕跡、重疊板，或生成於鑄鍛造品的鑄砂、壞朽、砂孔、氧化物

的缺陷，含浸油脂類等。

經通常的脫脂作業無法消除附著之塗料、焦油、瀝青等時需要以熔劑洗滌、焚燒、噴砂等特別處理。被嚴重腐蝕、表面產生銹污成粗糙而的底材、無法鍍成光滑的鍍鋅面，且其鋅附著量頗多。

## (二) 由於鍍鋅引起的鋼材變化

### 1. 強度變化

建築廣泛使用 SS41、SM41、SM50 等鋼材，據資料顯示沒有因為熱浸鍍鋅而引起機械強度的變化。

據日本熱浸鍍鋅協會及武藏工業大學共同研究指出，SS41、SM58 鋼材經熱浸鍍鋅後，其抗拉強度符合 JIS 規格與鍍鋅前底材比較沒有顯著的差異，致於耐衝擊試驗彎曲試驗等也無顯著差異，不受熱浸鍍鋅影響。

列舉部分結果：

本試驗是依表 5-1 的 SM41、SM58 Q 的 12 mm 厚與 22 mm 厚鋼數者，其機械強度的影響結果如表 5-2、5-3、表 5-4。抗拉試驗的屈伏點、抗拉強度、伸張度等，並不以有無鍍鋅或鍍鋅條件而顯著差異。衝擊值也相同，於 -40℃ 呈韌性破裂，顯示具良好的低溫韌性。切片的疲勞強度試驗（回轉彎曲疲勞試驗 2840 rpm）的結果表示於圖 5.1、圖 5.2 這些與有無鍍鋅，沒有產生顯著差異。無論如何至 60 Kg/mm<sup>2</sup> 程度的鋼材，並不會因施鍍而產生強度變化。

### 2. 氫脆性與鍍鋅脆性

氫脆性與鍍鋅脆性兩者係由與一般除銹作業所使用的酸類引起反應所致。由於鍍鋅前的酸洗及浴中（經 Flux 分解）的酸、鐵與酸反應產生氫氣。一部分與 H<sub>2</sub> 分子狀態放出於大氣中，而一部分以 H 原子狀態於鋼表面擴散被吸收。因此滲量一般以硫酸較鹽酸為多，液溫愈高酸洗時間愈長。硫酸隨濃度增高而增多，鹽酸

濃度不怎麼影響氫吸收量。製品可分類為含高碳矽錳等高張力鋼與調質鋼。

- (1) 高張力鋼調質鋼、彈簧鋼、高張力螺栓等高硬度者氫脆性及鍍鋅脆性較顯著。
- (2) 常溫加工製品，經常溫加工形成加工硬化者（內含應力）一般防止脆性方法如下：

- ① 鍍鋅前須消除內應力 (Stress) 可以退火消除應力。
- ② 調質鋼時，鍍鋅前以 Shotblast、Gridblast、Sandblast 等代替酸洗法。
- ③ 熱處理鋼材的硬度盡可能調整為 HRC 48° 特別是高張力螺栓必須注意以上諸問題。

## (三) 參考文獻

1. 日本鉛亞鉛需要研究會，亞鉛ハント"フ"ック。
2. (社) 日本溶融亞鉛鍍金協會。  
低合金高張力鋼の機械的性質口溶融亞鉛めつきの及はす影響  
鉛と亞鉛 Vol 59, 5, 1974  
鉛と亞鉛 Vol 74, 11, 1976

## 六 白銹

### (一) 白銹發生之原因

熱浸鍍鋅成品在熱浸鍍鋅後，會呈現出一種金屬光澤之灰白色原素，這是一些化學元素呈活性不安狀態下之光澤，當鍍件在大氣中暴露一段時間後漸漸消失光澤而成灰色，這是因為鍍件表面慢慢氧化而產生很緻密之氧化皮膜之原因。而此氧化皮膜是一種很難在水內溶化，而它在大氣中是一種很安定之狀態。但是熱浸鍍鋅之成品堆放在不良之環境下，如濕氣重，通風不良、結露水、雨水之浸淋，二氧化碳等，則會產生不良之現象，如白色粉末狀態、白斑點或產生灰黑色之光澤出現，這是一般所謂白銹現象。

表5.1 試片化學成分

鋼種	板厚 mm	化 學 成 分 (%)							
		C	Si	Mn	P	S	Cu	Mo	V
SM41A	12.0	0.12	0.22	0.70	0.012	0.018	—	—	—
	22.0	0.10	0.22	0.95	0.013	0.022	—	—	—
JIS 規定值	0.23 以下	—	2.5× C以上	0.040 以下	0.040 以下	—	—	—	—
SM58C	12.0	0.13	0.34	1.46	0.014	0.009	—	—	—
	22.0	0.14	0.24	1.32	0.015	0.008	0.13	0.04	0.04
JIS 規定值	0.18 以下	0.55 以下	1.50 以下	0.040 以下	0.040 以下	依需要添加合金元素			

表5.2 SM41(12 mm厚)熱浸鍍鋅之強度變化

試驗片 No.	熱 浸 鍍 鋅 條 件				結 果		
	浴溫度 (C°)	浸漬時間 (分)	冷却 方法	前處理法	降伏點 Kg/mm <sup>2</sup>	強 度 Kg/mm <sup>2</sup>	伸張率 %
素 材	—	—	—	—	31.8	44.8	29.7
11-1	430	15	水冷	噴 砂	33.4	45.5	30.2
11-2	450	10	水冷	噴 砂	34.1	46.3	29.7
11-3	450	5	空冷	噴 砂	33.9	45.5	30.2
11-4	470	10	空冷	噴 砂	33.0	45.5	29.8
11-5	430	10	空冷	酸 洗	32.6	45.1	29.0
11-6	450	15	空冷	酸 洗	32.1	44.9	29.7
11-7	450	10	水冷	酸 洗	32.7	46.1	30.0
11-8	470	5	水冷	酸 洗	33.2	46.5	30.8

表 5.3 SM58Q (12 mm厚) 熱浸鍍鋅強度變化

試驗片 No.	熱浸鍍鋅條件				結 果		
	浴溫度 (C°)	浸漬時間 (分)	冷卻 方法	前處理法	降伏點 Kg/mm <sup>2</sup>	抗拉強度 Kg/mm <sup>2</sup>	伸張率 %
素 材	—	—	—	—	61.8	66.4	31.5
31-1	430	15	水冷	噴 砂	62.6	68.4	32.0
31-2	450	10	水冷	噴 砂	64.2	67.7	31.3
31-3	450	5	空冷	噴 砂	63.0	66.9	31.0
31-4	470	10	空冷	噴 砂	63.6	67.6	31.0
31-5	430	10	空冷	酸 洗	61.5	67.1	31.7
31-6	450	15	空冷	酸 洗	62.8	67.2	32.7
31-7	450	10	水冷	酸 洗	62.5	66.8	34.3
31-8	470	5	水冷	酸 洗	62.7	67.7	31.7

表 5.4 SM 8 Q (22mm厚) 熱浸鍍鋅強度變化

試驗片 No.	熱浸鍍鋅條件				結 果		
	浴溫度 (C°)	浸漬時間 (分)	冷卻 方法	前處理法	降伏點 Kg/mm <sup>2</sup>	抗拉強度 Kg/mm <sup>2</sup>	伸張率 %
素 材	—	—	—	—	60.5	68.2	27.5
41-1	430	15	水冷	噴 砂	61.9	69.9	27.4
41-2	450	10	水冷	噴 砂	62.8	70.0	27.5
41-3	450	5	空冷	噴 砂	60.8	69.0	27.5
41-4	470	10	空冷	噴 砂	62.6	70.1	26.8
41-5	430	10	空冷	酸 洗	62.7	69.6	26.8
41-6	450	15	空冷	酸 洗	63.0	69.9	27.3
41-7	450	10	水冷	酸 洗	62.5	69.5	27.7
41-8	470	5	水冷	酸 洗	63.2	69.6	28.3

## (二) 白銹產生之處理方法

其實白銹所產生之腐蝕量，比我們所看到的還少，雖然看起來銹之腐蝕量很多，其實它上是微量而以。

1. 看起來很薄之白銹  $0.7 \text{ g/m}^2$
2. 看起來很多之白銹  $1 \text{ g/m}^2$
3. 非常嚴重之白銹  $2 \sim 4 \text{ g/m}^2$

但上述腐蝕是暫時性，不會再腐蝕下去，以  $400 \text{ g/m}^2 \sim 500 \text{ g/m}^2$  之附着量來說，所擔心的是多餘的。

白銹之處理方式如下：

1. 如輕微的、以抹布或鋼刷清理則可。
2. 用有機酸等化學方法處理。

## 七 燒灰鍍鋅

熱浸鍍鋅皮膜與鋅產生合金皮膜、因所用材質或作業溫度，作業時間等的影響，如合金層反應太快時，則產生表面之純鋅也合金化，表面則呈現一種灰色或暗灰色之光澤叫燒灰鍍鋅。

### 燒灰的耐蝕性

一般認為只有純鋅層才具有保護作用，

其實合金層仍會產生一層保護層具保護作用，而根據日本之試驗結果，燒灰鍍鋅與純鍍鋅二種耐蝕性均一樣。而另一特別之現象在大氣污染很嚴重之狀態下，反而是燒灰鍍鋅較能有耐蝕性，而此標準却超出二倍以上。

## 八 熱浸鍍鋅表面上之塗裝

隨著熱浸鍍鋅產品之使用推廣，人們對鍍鋅物件的要求也越來越高，如「熱浸鍍鋅之物件能不能加一些色彩」「或使用年限再增高，或能使用在更廣泛之地方上」……等，若可加以塗裝於表面上則可解決，但是於熱浸鍍鋅之表面上塗裝是最大之問題，幸好熱浸鍍鋅之業者，也研究出相關塗裝法。

熱浸鍍鋅後要求塗裝有三種情形：

- (一) 在市內街道上或國立公園之鋼鐵結構為使週圍之環境達到調和美觀。
- (二) 輸配電鐵路或載波鐵塔 航空安全之規定必須塗上紅白色之塗裝。
- (三) 化學工廠或飛濺到之海洋地帶等環境非常惡劣之地方，可用塗裝來達到防蝕之雙層效果。