

## 大氣腐蝕性分類與鹽霧試驗之模擬比對

周淑芳、王朝正\*

### The Salt Spray Test Compared with Atmospheric Corrosion Rating

S. F. Chou, C. J. Wang\*

Received 30 July 2014; received in revised form 4 July 2015; accepted 20 August 2015

#### 摘 要

為瞭解鹽水噴霧試驗模擬大氣腐蝕的相關性，本研究使用三種型式之鋅試片，於鹽水噴霧試驗機進行加速腐蝕試驗。配合稱重判定法，瞭解鋅金屬於鹽霧試驗中須進行多久之實驗時間，方可達到 ISO 標準規範定義之 C1 ~ C5 的腐蝕性等級，並將實驗結果歸納以量尺之型式呈現，方便使用對照。經鹽霧試驗結果顯示，進行試驗前須考慮試片形狀和置放方式等因素對腐蝕速率的影響。其中單面暴露之平板狀試片背面塗覆保護蠟，且試片擺放與垂直方向呈 15° 角，因此不會有腐蝕面積不一，以及氯鹽於表面凝結等問題，其腐蝕速率的估算值，較適合做為鋅金屬於 ASTM B117 試驗之試片。

關鍵詞：腐蝕性等級；鹽霧試驗；鋅金屬。

#### ABSTRACT

In order to find the relationship between the salt spray test and atmospheric corrosion, this study used three forms of zinc specimens for salt spray test to determine the experiment period which will achieve the C1 ~ C5 corrosion rating defined by the ISO standard. The experimental results are presented as rulers. The salt spray test shows that the specimen shape and placement are the important factors on corrosion rate. The one-sided exposure specimen with a protective wax coating was placed with the vertical angle of 15 degree. Therefore, the one-sided exposure specimen should be more suitable in the experimental under ASTM B117 conditions.

Keywords: Corrosion rating; Salt spray test; Zinc metal.

## 1. 前言

鋅金屬每年全球產量超過一千一百萬公噸，產量中約 50% 用於鍍鋅以保護鋼材減緩腐蝕的發生，將近 17% 則用於製造鋅基合金<sup>[1]</sup>，且其製品之運用範圍甚為廣泛。由於許多產品於交付使用前必須經過鹽霧測試之考驗，以確保產品品質堪於大氣環境下長期使用。而廣為應用之鹽霧測試規範 ASTM B117<sup>[2]</sup>僅表示測試時間及結果判定由買賣雙方協商，因此如何決定產品所測試的時間已達到設定的腐蝕性等級，常困擾買賣雙方。故本研究利用鹽水噴霧試驗機進行鋅金屬的加速腐蝕試驗，配合稱重判定法，藉此瞭解鋅金屬於鹽霧試驗中須進行多久之實驗時間，方可達到 ISO 標準規範定義之 C1 ~ C5 的腐蝕性等級，並將實驗結果歸納以量尺之型式呈現，方便使用對照。

## 2. 實驗方法

鹽霧試驗標準是對鹽霧試驗條件，如溫度、濕度、氯化鈉溶液濃度和 pH 值等做的明確具體規定，鹽霧試驗的目的是為了考核產品或金屬材料的耐鹽霧腐蝕質量，而鹽霧試驗結果判定正是對產品質量的宣判，它的判定結果是否正確合理，是正確衡量產品或金屬抗鹽霧腐蝕質量的關鍵。其判定方法有：評級判定法、稱重判定法、腐蝕物出現判定法、腐蝕數據統計分析法。本研究以稱重判定法進行之，其主要是將腐蝕試驗前後樣品的重量稱重，並計算出受腐蝕損失的重量，對樣品耐腐蝕質量進行評判。

### 2.1 實驗材料

本實驗使用工研院協助提供之螺旋狀試片與平板狀試片，成分皆為 98.5% 以上純度之鋅金屬。螺旋狀試片係參考 CNS 13753<sup>[3]</sup> 大氣腐蝕性測定標準試片製作，直徑 2.35 mm、長度約 1020 mm；平板狀試片則根據 ASTM G 50-10<sup>[4]</sup> 標準規範製作，長度 150 mm、寬度 100 mm、厚度 5 mm。外觀如圖 1 所示。

### 2.2 實驗流程

本實驗分為螺旋狀試片、單面暴露平板狀試片及雙面暴露平板狀試片等三種類型之試片。實驗流程如下：

#### 2.2.1 試片前處理

在進行鹽霧試驗前，必須利用脫脂處理方式去除試片表面的各種污物附著，以保持試片潔淨，避免腐蝕速率受外在因素影響。

單面暴露的平板狀試片製備方式，首先將固態保護蠟加熱至熔融狀態後，以毛刷沾附蠟液，於水平置放的試片上沿單一方向均勻刷塗，待試片表面完全覆蠟後，靜置凝固。

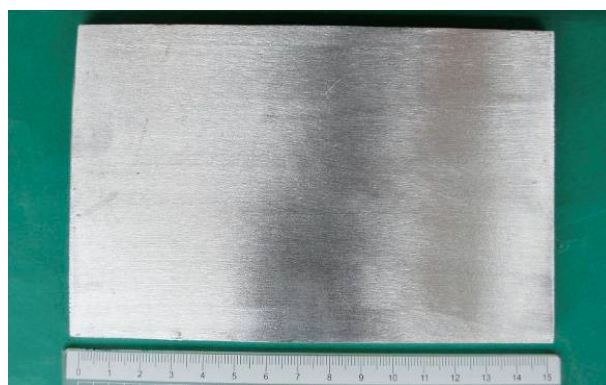
#### 2.2.2 鹽霧試驗

##### (1) 鹽霧試驗機

本實驗使用之鹽霧試驗機型號為 Q-Fog CCT 600，可執行鹽霧、乾燥和潮溼等三項循環測試，



(a)



(b)

圖 1 (a) 螺旋狀試片，(b) 平板狀試片。

Figure 1 (a) Helix specimen, (b) plate specimen.

其中鹽霧試驗之工作原理如圖 2 示意。溶液儲槽 (solution reservoir) 裡的 5% 鹽水溶液經由泵浦 (pump) 送到噴嘴，壓縮空氣 (compressed air) 則是經鼓泡塔 (bubble tower) 溼潤後通往噴嘴，隨後鹽水溶液經噴嘴霧化 (spray nozzle)，使箱體均勻佈滿鹽霧。箱體加熱器 (chamber heater) 則保持設定的箱內溫度。

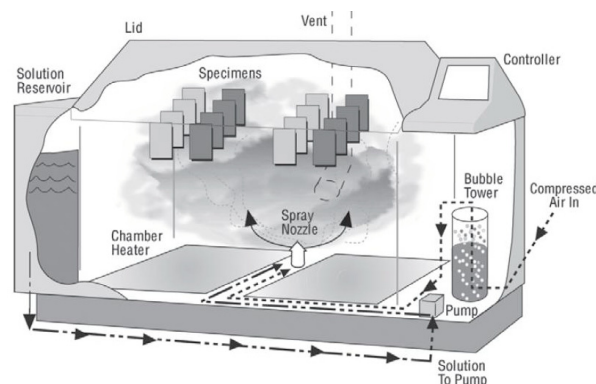


圖 2 鹽霧試驗工作原理<sup>[5]</sup>。

Figure 2 The operation of the salt spray test.

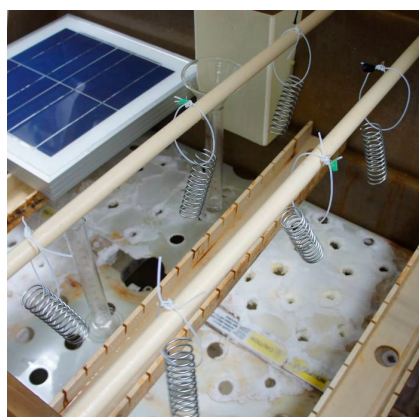
(2) 環境參數

將完成前處理之螺旋狀試片與平板狀試片置於鹽霧試驗機中進行實驗，環境參數依照 ASTM B117 之規範設定，如表 1 所示。

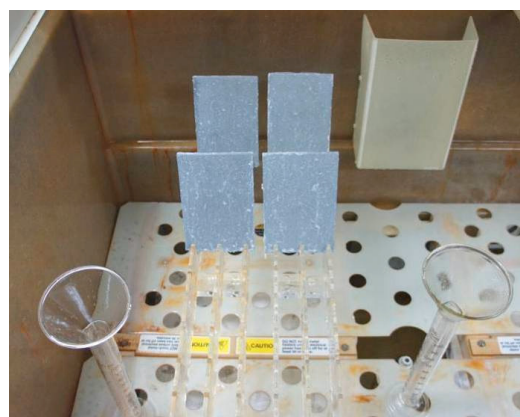
(3) 試片放置

螺旋狀試片旋入鐵氟龍 (Teflon) 線圈後，懸掛於塑膠桿上；平板狀試片則與垂直面呈 15° 角置於塑膠試驗架上，分別置入穩定運行中之鹽霧試驗

機至試驗時間結束，如圖 3 所示。三種試片之放置時間列示於表 2。



(a)



(b)

圖 3 試片放置方式：(a) 螺旋狀試片，(b) 平板狀試片。

Figure 3 Specimen in chamber: (a) helix specimen, (b) plate specimen.

表 1. 鹽霧試驗環境參數。

Table 1 Conditions in the salt spray chamber.

	溫度 (°C)	鹽水濃度 (wt%)	pH	落霧量 (ml/80 cm <sup>2</sup> /hr)
設定值	35	5	6.5	1.1 ~ 1.3
規範值	35 <sup>+1.1</sup> <sub>-1.7</sub>	5 ± 1	6.5 ~ 7.2	1 ~ 2

表 2. 螺旋狀試片與平板狀試片之試驗時間(天)。

Table 2 Experiment period of helix and plate specimen (day).

試片種類 \ 試驗時間	0.042 (1 hr)	0.25 (6 hr)	0.75 (18 hr)	1	2	3	7	9	14	28
螺旋狀試片	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V
平板狀試片 (單面暴露)						V	V		V	V
平板狀試片 (雙面暴露)						V	V		V	V

### 2.2.3 腐蝕速率量測

鋅試片的腐蝕速率量測，依照 CNS 14122<sup>[6]</sup>大氣腐蝕-試片腐蝕生成物清除法，選定適當的清除方法移除試片表面的腐蝕生成物，量測其重量損失，並依試片的試驗時間，計算其腐蝕速率。為確保只移除腐蝕生成物，而不損壞底材鋅金屬，故依照 CNS 14122 規範，使用腐蝕試片經重複清洗以制定檢量標準，流程如圖 4 所示。

單面暴露之平板狀試片需先移除塗覆之保護蠟，方可進行上述之腐蝕物清洗。首先利用刮刀將大部份的保護蠟除去，再於試片上方覆蓋棉紙，以吹風機加熱使剩餘之保護蠟融化並吸附於棉紙，重覆進行數次直至目視無保護蠟附著於試片。測得試片重量後，根據 CNS 13753 規範分別計算螺旋狀試片與平板狀試片之腐蝕速率，並依試片表面積與損失之質量，換算對照不同試驗時間之試片於 ISO 9223 腐蝕性分類中的等級。

#### (1) 螺旋狀試片

螺旋狀試片之腐蝕速率以  $R_{corr}(\mu\text{m}/\text{y})$  表示，計算方式如下：

$$R_{corr} = 0.25 ((\Delta m \times d) / (m \times t))$$

式中， $\Delta m$  = 質量損失(mg)

$d$  = 線材直徑(mm)

$m$  = 試片原始重量(g)

$t$  = 暴露時間，年(y)

#### (2) 平板狀試片

平板狀試片之腐蝕速率以  $R_{corr}(\mu\text{m}/\text{y})$  表示，計算方式如下：

$$R_{corr} = \Delta m / (A \times \rho \times t)$$

式中， $\Delta m$  = 質量損失(g)

$A$  = 試片表面積( $\text{m}^2$ )

$\rho$  = 密度( $\text{g}/\text{cm}^3$ )，鋅密度 =  $7.14 \text{ g}/\text{cm}^3$

$t$  = 暴露時間，年(y)

## 3. 結果與討論

### 3.1 螺旋狀試片

將試片由鹽霧試驗箱取出後，其表面可見到氯鹽附著且沿試片懸吊方向凝結，氯鹽凝結量隨著試驗時間增長而增加，如圖 5 所示。在流動的清水中利用軟毛刷將表面的氯鹽刷除後，可見到試片表面

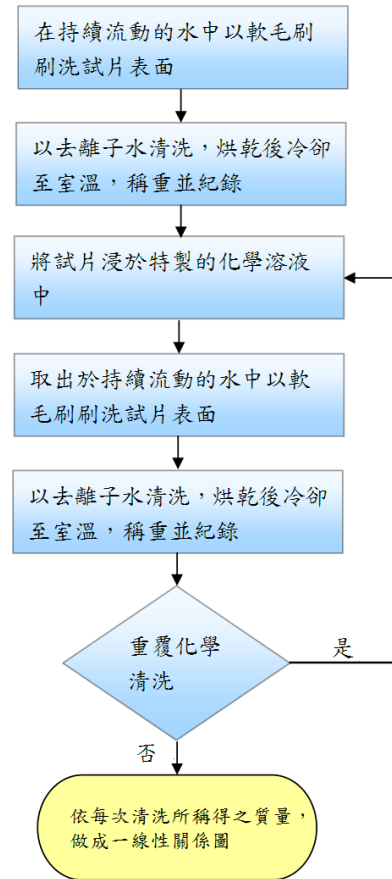


圖 4 腐蝕生成物清除法作業流程圖。

Figure 4 The flow chart of corrosion products removal.

之腐蝕生成物。惟主要腐蝕區域為試片上側，下側則因鹽霧由高處落下，故試驗初期無明顯腐蝕，隨著試驗時間增長逐漸腐蝕，如圖 6。

依腐蝕生成物清除方法進行試片清洗，量測試片重量並計算腐蝕速率，表 3 係各組試片取得之平均值。1 小時的平均質量損失為 15.45 mg，其隨著暴露時間增長而增加，至暴露 28 天的試片之質量損失達 1746.20 mg。依據 ISO 9223 訂定鋅金屬大氣腐蝕性第一年暴露的腐蝕速率，將每平方公尺之克數 ( $\text{g}/\text{m}^2$ ) 換算為螺旋狀試片表面積損失之毫克數 ( $\text{mg}/0.00753 \text{ m}^2$ )，對照如表 4。螺旋狀試片表面積 ( $0.00753 \text{ m}^2$ ) 係以直徑 2.35 mm、長度 1020 mm，按圓柱體表面積公式計算而得。

以 C1 條件  $\Delta m \leq 5.27 \text{ mg}$  為例，表示若一螺旋狀試片放置於 C1 腐蝕性分類之環境，以其表面積  $0.00753 \text{ m}^2$  計算，一年的質量損失應不得超過  $5.27$

$\text{mg}$ 。將表 3 之實驗數據與表 4 進行對照，即可得知螺旋狀試片約進行多長時間之鹽霧試驗，方可達到其於大氣環境暴露第一年之各個腐蝕性等級的質量損失。以鹽霧試驗 1 天為例，其質量損失為  $170.45$



(a)



(b)

圖 5 螺旋狀試片表面，試驗時間：(a) 2 天，(b) 14 天。

Figure 5 Helix specimen surface, test period: (a) 2 days, (b) 14 days.



(a)



(b)

圖 6 螺旋狀試片以清水刷洗後之表面，試驗時間：(a) 2 天，(b) 14 天。

Figure 6 Washed helix specimen surface, test period: (a) 2 days, (b) 14 days.

表 3. 螺旋狀試片之質量損失與腐蝕速率平均值。

Table 3 The weight loss and corrosion rate of helix specimen.

試驗時間(天)	0.042	0.25	0.75	1	2	3	7	9	14	28
$\Delta m$ (mg)	15.45	59.60	130.00	170.45	208.25	284.25	420.50	563.50	898.275	1746.20
Rcorr ( $\mu\text{m}/\text{y}$ )	2713.48	1777.90	1307.40	1273.45	778.09	702.72	448.52	467.58	477.10	467.32

表 4. 試片對應 ISO 9223 鋅金屬大氣腐蝕性等級。

Table 4 The corrosion rating of specimens compared with ISO 9223.

腐蝕性分類	ISO 9223 ( $\text{g}/\text{m}^2$ )	螺旋狀試片 ( $\text{mg}/0.00753 \text{ m}^2$ )	單面暴露平板狀試片 ( $\text{mg}/0.015 \text{ m}^2$ )	雙面暴露平板狀試片 ( $\text{mg}/0.03 \text{ m}^2$ )
C1	$\Delta m \leq 0.7$	$\Delta m \leq 5.27$	$\Delta m \leq 10.5$	$\Delta m \leq 21$
C2	$0.7 < \Delta m \leq 5$	$5.27 < \Delta m \leq 37.65$	$10.5 < \Delta m \leq 75$	$21 < \Delta m \leq 150$
C3	$5 < \Delta m \leq 15$	$37.65 < \Delta m \leq 112.95$	$75 < \Delta m \leq 225$	$150 < \Delta m \leq 450$
C4	$15 < \Delta m \leq 30$	$112.95 < \Delta m \leq 225.90$	$225 < \Delta m \leq 450$	$450 < \Delta m \leq 900$
C5	$30 < \Delta m \leq 60$	$225.90 < \Delta m \leq 451.80$	$450 < \Delta m \leq 900$	$900 < \Delta m \leq 1800$

mg，對應表 4 可得知其落在 C4 範圍( $112.95 < \Delta m \leq 225.9$ )，表示鹽霧試驗箱的加速腐蝕使螺旋狀試片 1 天的質量損失，即達到 C4 腐蝕性分類之大氣環境暴露一年的損失量。圖 7 利用量尺的方式表示二者之對應關係，可看到鹽霧試驗僅進行 1 個小時，其質量損失 15.45 mg，已達到 C2 等級之腐蝕量；當試驗進行至第 9 天時，其質量損失 563.50 mg 已遠超過 C5 之上限值 451.8 mg。

觀察試片之腐蝕速率趨勢如圖 8，試片暴露 1 小時之腐蝕速率約為  $2713.48 \mu\text{m}/\text{y}$ ，其隨著暴露時間增長逐漸下降，暴露 7 天之值已降至約  $448.52 \mu\text{m}/\text{y}$ ，且其後腐蝕速率趨於平穩。腐蝕速率下降係因為試片表面之腐蝕生成物使氧擴散至鋅金屬受到阻礙，故腐蝕反應漸緩。隨試驗時間增長，試片的氯鹽凝結現象愈嚴重，且逐漸擴及試片下側未受鹽霧腐蝕的區域。當試片上側腐蝕速率緩降，而試片

下側正開始受鹽霧腐蝕，交互之下使腐蝕速率隨著試驗時間增長趨於平穩。

### 3.2 平板狀試片

將試片由鹽霧試驗箱取出，在流動的清水中以軟毛刷清洗後，其試片表面如圖 9 及圖 10 所示。兩種型式之試片正面皆為均勻腐蝕，且表面可見到白色腐蝕生成物，無明顯差異。單面暴露之試片因背面塗覆保護蠟，故除蠟後之表面未受鹽霧侵蝕，仍具有金屬光澤。雙面暴露之試片背面則因試片置放呈一傾斜角度，因此由高處落下之鹽霧未直接落於試片表面，故表面於暴露初期僅可見到數條水痕狀之腐蝕，如圖 10(b)，與試片正面之腐蝕形貌相異。研判此乃因鹽霧於試片上方 5 mm 之厚度處凝結後，水珠沿試片背面滑落而形成。隨著暴露時間增長，雙面暴露試片之背面受腐蝕之面積漸增，如圖 10(c)。

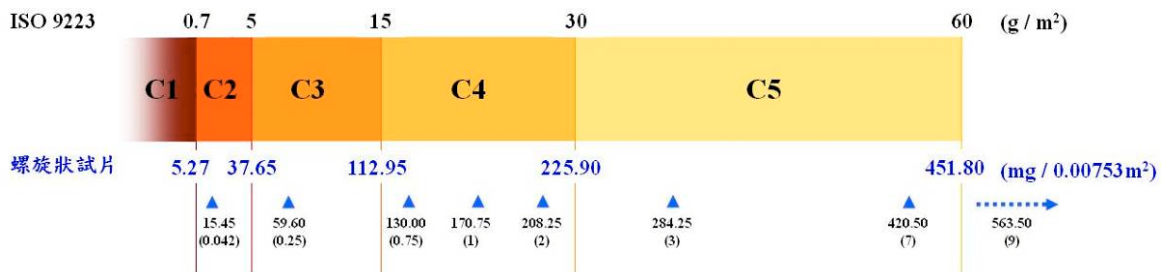


圖 7 以量尺表示螺旋狀試片與 ISO 9223 腐蝕性等級之對應。

Figure 7 The corrosion rating of helix specimen compared with ISO 9223 as a ruler.

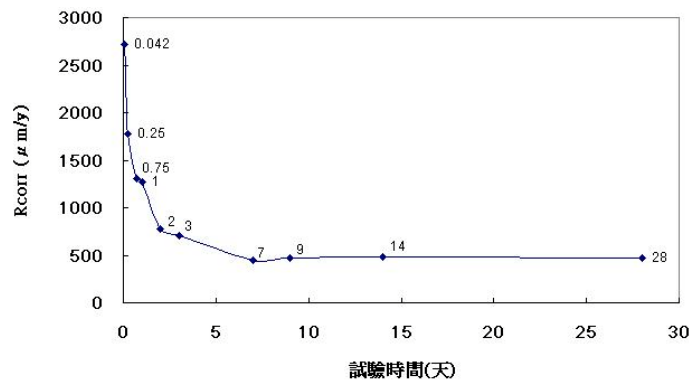


圖 8 螺旋狀試片腐蝕速率趨勢。

Figure 8 The trend chart of corrosion rate of helix specimen.

兩種型式之試片由於上述之差異，故其質量損失與腐蝕速率有所區別，分別列示於表 5 及 6。比較每一試驗時間之質量損失，雙面暴露試片僅較單面暴露試片多約 50%之腐蝕量，而 28 天的試片腐蝕量多約 80%，此乃因為其背面未受鹽霧均勻之腐蝕所致。依據 ISO 9223 訂定鋅金屬大氣腐蝕性第一年暴露的腐蝕速率，將每平方公尺之克數( $g/m^2$ )換算為

兩種型式平板狀試片表面積損失之毫克數，對照如表 4。換算方法與螺旋狀試片相同，惟單面暴露試片表面積( $0.015 m^2$ )係以長度 150 mm、寬度 100 mm，按方形平面之面積公式計算；雙面暴露表面積( $0.03 m^2$ )則將單面暴露面積乘上二倍即可。

得知兩種型式之平板狀試片於各個試驗時間之質量損失，與鋅金屬大氣暴露第一年腐蝕量之對應

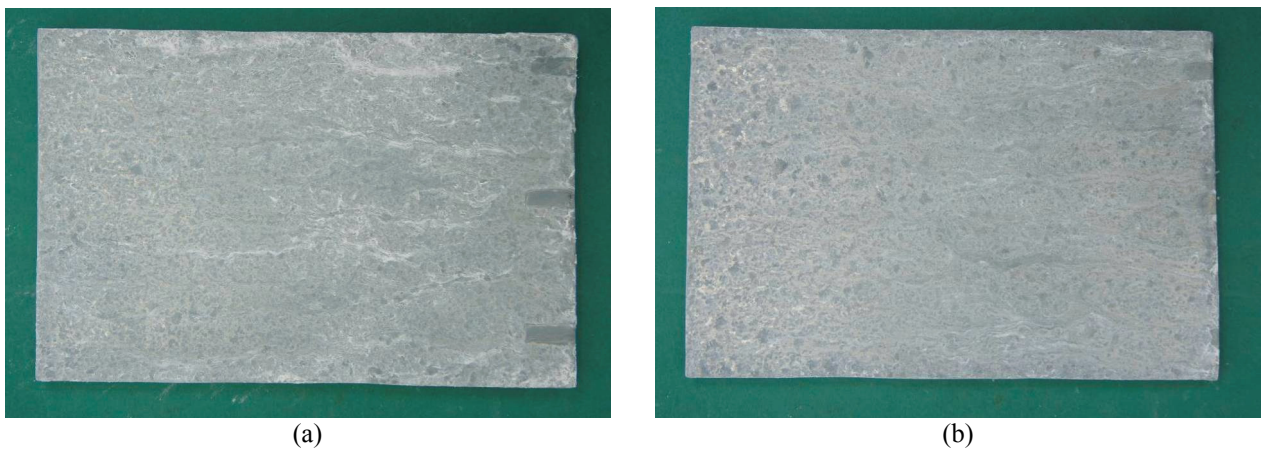


圖 9 清水刷洗後之平板狀試片正面：(a) 單面暴露，(b) 雙面暴露。

Figure 9 The front of washed plate specimen: (a) one-sided exposure, (b) two-sided exposure.

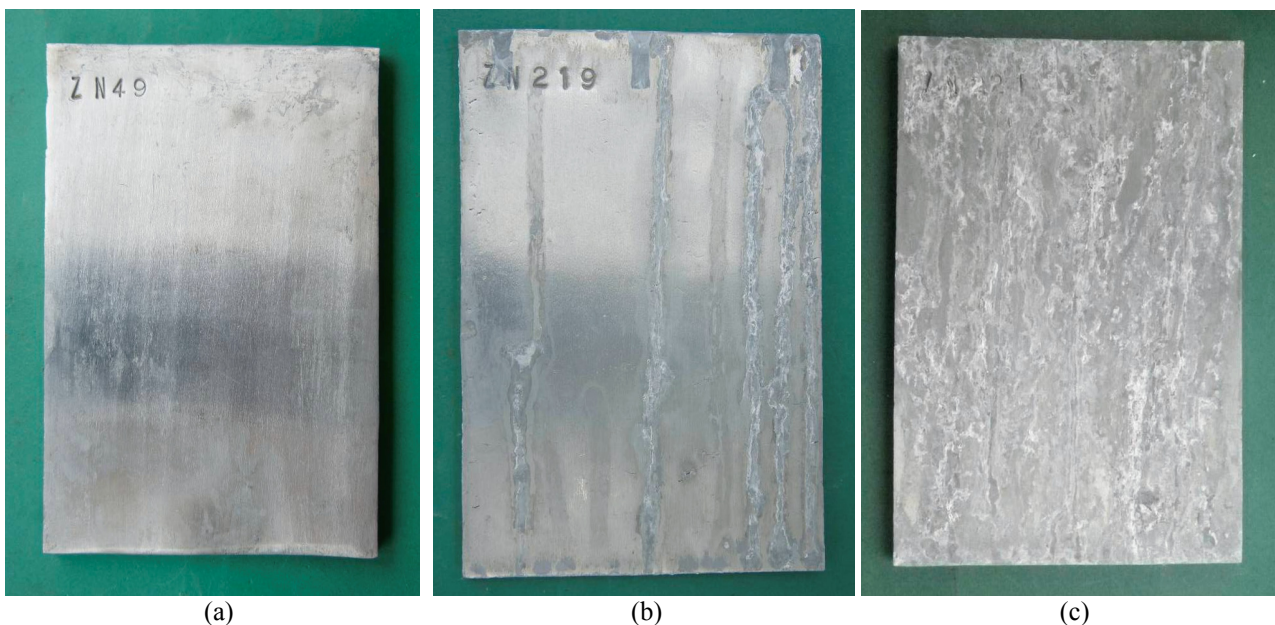


圖 10 清水刷洗後之平板狀試片背面：(a) 單面暴露，(b) 雙面暴露 3 天，(c) 雙面暴露 28 天。

Figure 10 The back of washed plate specimen: (a) one-sided exposure, (b) two-sided exposure in 3 days, (c) two-sided exposure in 28 days.

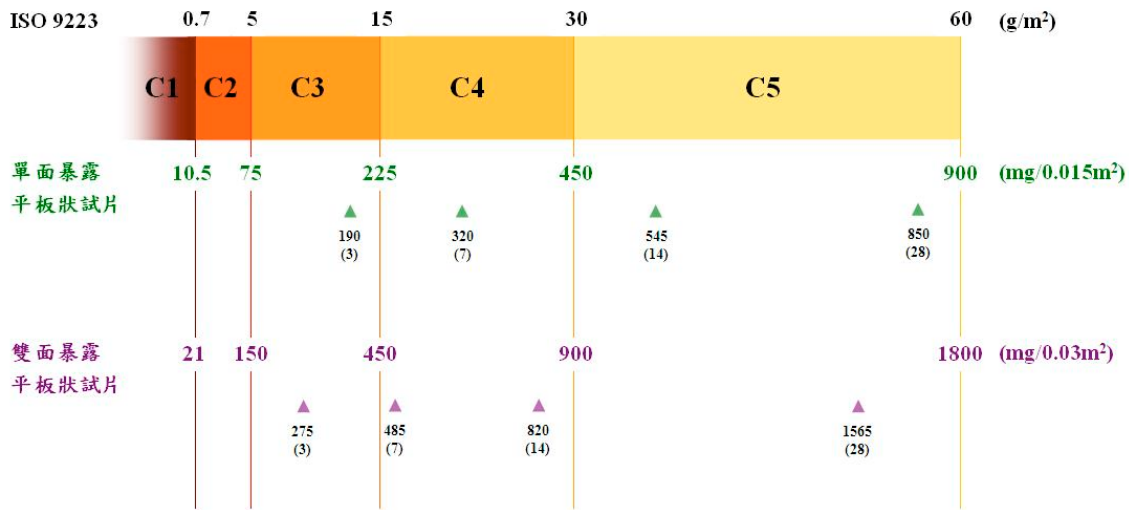


圖 11 以量尺表示平板狀試片與 ISO 9223 腐蝕性等級之對應。

Figure 11 The corrosion rating of plate specimen compared with ISO 9223 as a ruler.

關係，以量尺方式表示如圖 11。其中暴露時間 3 天及 7 天，兩種型式之質量損失皆分別落在 C3 及 C4 之腐蝕性等級，惟雙面暴露 14 天之質量損失仍屬 C4 範圍，而單面暴露則已達到 C5 等級之腐蝕量。

觀察試片之腐蝕速率趨勢如圖 12，單面暴露之腐蝕速率雖較雙面暴露快，但兩者的腐蝕速率皆隨著暴露時間增長而逐漸下降，且至 14 天的暴露期間時趨勢仍極為一致。但至 28 天的暴露期間時，單面暴露試片的腐蝕速率還是持續下降，雙面暴露試片卻趨於平穩，此乃因為試片正面腐蝕速率緩降，而試片背面受鹽霧腐蝕的面積漸增，兩相作用之下使腐蝕速率於試驗時間增長時趨於平穩。

### 3.3 討論

圖 13 同時以量尺方式比較三種型式試片之腐蝕質量損失，其中以暴露面積最小的螺旋狀試片腐蝕速率最快，僅約 18 個小時的暴露時間即以達到 C4

範圍的質量損失，而面積最大的雙面暴露平板試片則需時約 7 天方可達到相同成果。此一結果並非代表使用較小暴露面積之試片，即可於較快的試驗時間下達到預期的實驗成果，同時必須考慮試片形狀、置放方式等其它因素造成的影響。

在鹽霧試驗機中，螺旋狀試片受制於試片形狀及垂直懸吊的影響，因此表面呈現氯鹽凝結的現象，且腐蝕的主要區域僅發生於試片上側。氯鹽凝結披覆於試片表面，其濃度將大幅超出原先實驗設定的 5 wt% 鹽水濃度，加劇試片之腐蝕，導致高估腐蝕速率。再者，試片面積小且實際受鹽霧腐蝕的面積極為不均，容易提高計算誤差。因此螺旋狀試片的實驗結果，若欲利用於鹽霧加速試驗與大氣暴露第一年的質量損失相對應，較不具意義。

雙面暴露試片之面積較大，理論上應可降低計算質量損失與腐蝕速率所產生之誤差，但是試片背面僅部份受到鹽霧腐蝕，且腐蝕面積隨著暴露時間

表 5. 單面暴露平板狀試片之質量損失與腐蝕速率。

Table 5 The weight loss and corrosion rate of one-sided exposure specimen.

試驗時間(天)	3	7	14	28
Δm (mg)	190	320	545	850
Rcorr (μm/y)	215.84	155.80	132.67	103.46

表 6. 雙面暴露平板狀試片之質量損失與腐蝕速率。

Table 6 The weight loss and corrosion rate of two-sided exposure specimen.

試驗時間(天)	3	7	14	28
Δm (mg)	275	485	820	1565
Rcorr (μm/y)	156.20	118.06	99.81	95.24



增長而增加，因此若以雙面暴露之面積進行腐蝕速率估算，將低估其腐蝕速率。但若以大氣暴露之觀點，試片放置於戶外亦會因風向之影響，即迎風與背風之差異，導致試片兩面腐蝕程度不一。此外，由於 ASTM B117 對於試驗材料之類型及試驗結果之判斷準則並未規定，僅表示因經由產品技術規格或買賣雙方協商確定。故雙面暴露試片的實驗結果，若欲利用於鹽霧加速試驗與大氣暴露第一年的質量損失對應，仍可供參考。

相較於上述兩種試片，單面暴露試片因為背面塗覆保護蠟，且試片擺放與垂直方向呈 15°角，因此無腐蝕面積不一及氯鹽於表面凝結等問題，故其腐蝕速率的估算值，較適合做為鋅金屬於 ASTM B117 試驗之試片。

#### 4. 結論

1. 螺旋狀試片於中性鹽霧加速腐蝕試驗，受制於試片形狀及垂直懸吊的影響，因此其實驗結果若欲利用與大氣暴露第一年的質量損失相對應，較不具意義。
2. 雙面暴露試片於中性鹽霧加速腐蝕試驗，由於試片背面僅部份受到鹽霧腐蝕，將低估其腐蝕速率。

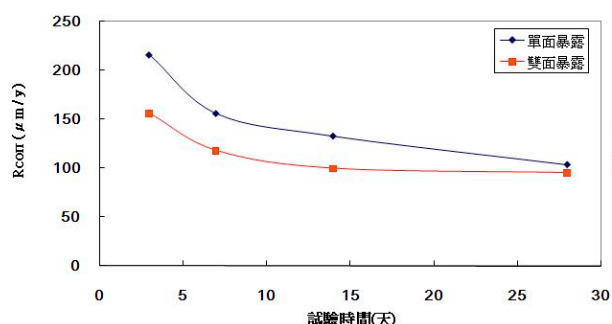


圖 12 平板狀試片腐蝕速率趨勢。

Figure 12 The trend chart of corrosion rate of plate specimen.

3. 單面暴露試片於中性鹽霧加速腐蝕試驗，由於背面塗覆保護蠟且試片擺放與垂直面呈 15°角，因此無腐蝕面積不一及氯鹽於表面凝結等問題，其腐蝕速率的估算值較適合做為鋅金屬於 ASTM B117 試驗之試片。
4. 試片形狀以及氯鹽在長時間鹽霧試驗的凝結，均會嚴重影響試驗結果，因此無法以一個簡單的關係式，來呈現鹽霧試驗時間與實地應用耐久性之關係。

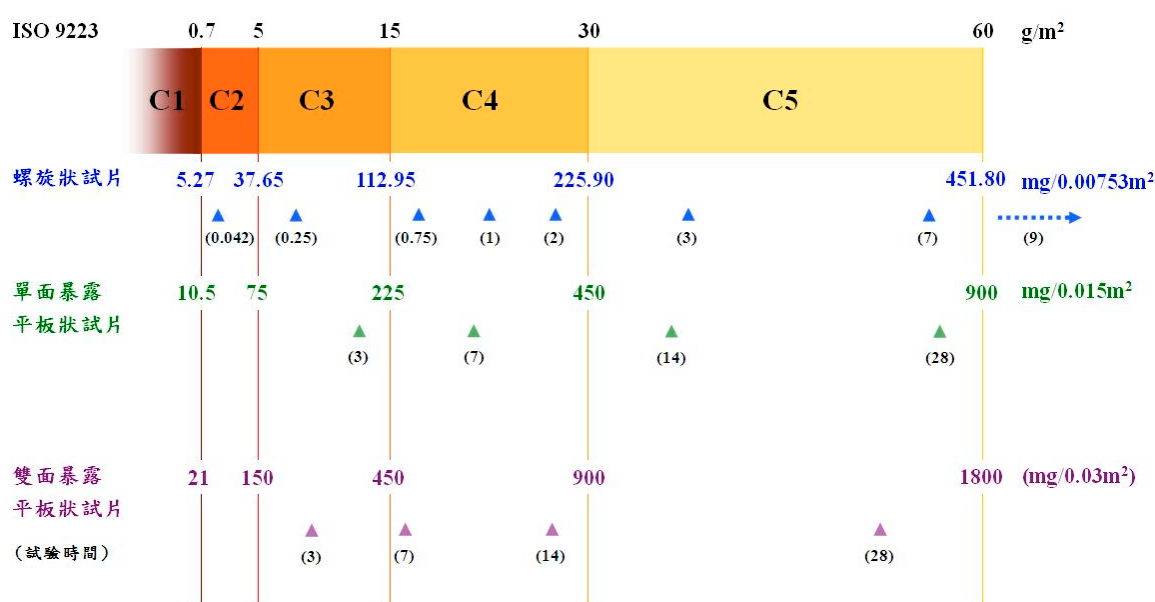


圖 13 以量尺表示螺旋狀試片與平板狀試片質量損失之差異。

Figure 13 Show the weight loss difference between helix and plate specimen as a ruler.

## 參考文獻

1. IZA, Zinc Uses from [http://www.zinc.org/basics/zinc\\_uses](http://www.zinc.org/basics/zinc_uses).
2. ASTM B117 - 09 Standard Practice for Operating Salt Spray (Fog) Apparatus.
3. 中華民國國家標準 CNS 13753：金屬及金合之腐蝕 - 大氣腐蝕性(測定標準試片之腐蝕速率以評估腐蝕性)，2005。
4. ASTM G 50 – 10: Standard Practice for Conducting Atmospheric Corrosion Tests on Metals, 2010.
5. Q-Lab Corporation, Introduction to Cyclic Corrosion Testing from <http://www.q-lab.com>.
6. 中華民國國家標準 CNS 14122：金屬及金合之腐蝕 - 大氣腐蝕-試片腐蝕生成物清除法，1998。

收到日期：2014 年 7 月 30 日

修訂日期：2015 年 7 月 4 日

接受日期：2015 年 8 月 20 日