

台灣地區大氣腐蝕環境分類

羅俊雄^{*1}、王佩文²、翁榮洲¹

Classification of Atmospheric Corrosivity in Taiwan

Jiunn-shyong Luo^{*1}, Pei-wen Wang², Jung-Chou Oung¹

摘要

大氣腐蝕環境的區分依據 ISO 9223，可採用試片腐蝕速率量測與環境因子的分類進行。過去各單位研究台灣地區腐蝕環境分類時，均以現場暴露試驗進行，鮮少採用環境因子分類研究；有鑑於現場暴露試驗維護不易，且國內各地區多無十年以上的腐蝕試驗數據，本文將彙集中央氣象局公佈之相對濕度資料、環保署公佈之 SO₂ 濃度與過去各單位調查研究之氯離子濃度數據，進行台灣本島大氣腐蝕環境分類。結果顯示，台灣西部以大甲溪為界，大甲溪以北地區多為 C4 等級，大甲溪以南多為 C3，沿海地區則為 C5 等級。

關鍵詞：大氣腐蝕；環境因子分類；ISO 9223。

ABSTRACT

According to ISO 9223, classification of atmospheric corrosivity can be performed either by corrosion rate measurement or by environmental classification. In the present study, categories of corrosivity of atmosphere in Taiwan are classified based on environmental classification in terms of time of wetness, pollution of airborne salinity and SO₂ guided by ISO 9223. It is found that along west part of Taiwan, northward of Daja creek, corrosiveness category is classified as C4 except Taipei city, which is rated as C3; while at southward of Daja creek, corrosiveness category is classified as C3. For coastal and seashore areas, corrosiveness category is classified as C5.

Keywords: Atmospheric corrosion; Classification of atmospheric corrosivity; ISO 9223.

1. 工業技術研究院工業材料研究所新竹

Materials Research Lab., Industrial Technology Research Institute, Hsinchu

2. 中華顧問工程司港灣部 台北

Harbor & Coastal Engineering Department, China Engineering Consultants, Inc., Taipei

* 連絡作者(rolly@itri.org.tw)

1. 前言

台灣為一海島，四面環海，中央又有中央山脈分隔，高溫、高溼與高鹽份附著的環境，加上台灣工業蓬勃發展造成空氣污染的結果，大氣對金屬腐蝕的影響極巨。歷年來常因引用國外大氣腐蝕數據，且未針對台灣特有的大氣環境研擬適當的防蝕措施，以致結構物之服務壽命未及設計年限就已銹蝕損壞。1971年起，台灣各研究單位如台灣電力公司、工業技術研究院、中華電信研究所、中國鋼鐵公司、台灣大學、成功大學等，均陸續進行現地大氣暴露試驗，即依據 ISO 9223^[1]，以量測試片腐蝕速率的方式進行台灣大氣腐蝕環境分類，然而因現場暴露試驗維護不易與缺乏相關研究經費，以致台灣各地區多無十年以上的腐蝕試驗數據。有鑑於此，本研究將彙集中央氣象局公佈之相對濕度資料、環保署公佈之 SO₂ 濃度與過去各單位調查研究之氯離子濃度數據，進行台灣本島大氣腐蝕環境分類。

2. 分析方法

2.1 ISO 9223環境因子分類

依據 ISO 9223，大氣腐蝕環境的分類可採用試片腐蝕速率量測與環境因子進行區分，若採用環境因子進行分類，選擇的參數則包括濕潤時間 (τ , time of wetness)、空氣中的氯鹽沉積量 (S, pollution by airborne salinity) 與二氧化硫含量 (P, pollution by sulfur-containing substances represented by SO₂)。潤濕時間 (hours) 是指產生大氣腐蝕的電解質膜，以吸附或液態膜型式覆蓋在金屬表面上的時間，若潤濕時間愈長，則腐蝕總量愈大，其計算是以全年中溫度高於 0°C，相對濕度 (relative humidity, RH) 大於 80% 之小時數或百分比計算；海洋腐蝕中的影響因子為暴露環境中的氯鹽沉積量 (mg/(m² · day))，是以 ISO 9225^[2] 之濕燭法 (wet candle method) 測量；而工業環境中空氣的污染量是以二氧化硫含量為指標，以 ISO 9225 規定之採集板 (sulfation plate) 上的

沉積量 (mg/(m² · day) 或空氣中的 SO₂ 含量 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 計算。其中，各參數的量測時間均建議至少為一年以上。表 1 至表 3 分別為 ISO 9223 規範中對濕潤時間、氯鹽沉積量與 SO₂ 沉積量或含量的分類；表 4 則為相對於表 1 至表 3 之分類結果，將大氣腐蝕環境分為 C1, C2, C3, C4 與 C5 五個等級，C1 表示腐蝕性非常低 (very low)，C2 表示腐蝕性低 (low)，C3 表示腐蝕性中等 (medium)，C4 表示腐蝕性高 (high)，C5 表示腐蝕性非常高 (very high)。

2.2 台灣本島環境因子資料

本研究各參數之資料來源如下：

- (1) 濕潤時間：為 1971 至 2000 年間中央氣象局全島各氣象站 (氣象站位置如圖 1 所示) 之相對濕度統計值。
- (2) 氯鹽沉積量：為 1987 至 1992 年間分別由工業技術研究院^[3]、台灣大學^[4]、台灣電力公司或成功大學^[5] 進行大氣暴露試驗時所測得之氯鹽沉積量。
- (3) SO₂ 含量：為 1988 至 2000 年間環保署於各地空氣品質監測站所測得之 SO₂ 在空氣中的含量。

3. 結果與討論

3.1 濕潤時間

大氣腐蝕是一種水膜下的電化學反應，空氣中水分在金屬表面凝聚生成水膜，與空氣中的氧氣是產生大氣腐蝕的基本條件。水膜的形成與大氣中的相對濕度密切相關，相對濕度的定義是指在某一溫度下，空氣中的水蒸氣含量與在該溫度下空氣中所能容納的水蒸氣最大含量之比值。由於不同物質或同一物質的不同表面狀態，對於大氣中水分的吸附能力不同，因此，當空氣中相對濕度到達某一臨界值時，水分將在金屬表面形成水膜，促使電化學反應產生、腐蝕速率增加，此時的相對濕度值稱為金屬腐蝕臨界相對濕度，如鐵的腐蝕臨界相對濕度為 65%。此外，空氣中相對濕度還影響金屬表面水膜

厚度與乾濕交替的頻率；如金屬表面有較薄的水膜存在時，大氣中的氧容易擴散至金屬表面，加速腐蝕；當水膜變厚時，氧的擴散阻力增加，腐蝕速率下降。依據 ISO 9223 之定義，濕潤時間是指產生大氣腐蝕的電解質膜，以吸附或液態膜型式覆蓋於金屬表面上的時間，亦可以全年中溫度高於 0°C，相對濕度大於 80% 之小時數或百分比計算；濕潤時間愈長，腐蝕總量愈大。

圖 2 為台灣本島各地區相對濕度大於 80% 的月數。圖中，除台北市、台中市與台南市外，大部份測站之相對濕度大於 80% 的月數均超過 3.5 個月；因此，各地區濕潤時間 (hours) 的計算是以 RH 大於 80% 的月數與 720 hours/month 之乘積表示。

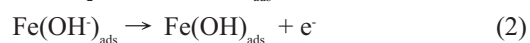
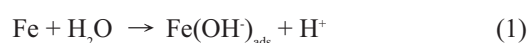
3.2 氯鹽沉積量

環境中相對濕度較低時，金屬表面的氯化物有助於液態膜的生成，且在腐蝕過程中會阻止氧化膜 (oxide films) 的生成，有助於陰極上氧的還原反應；然而當金屬表面已有氧化膜或鈍態膜存在時，氯離子則會破壞鈍態膜，產生孔蝕。大氣中 Cl⁻ 與鐵反應之腐蝕產物為 FeCl₂，但因 FeCl₂ 不是緊密結合的化合物，所以 Cl⁻ 很容易從氯化亞鐵中釋放出來，再與其他的鐵離子作用，進而加速腐蝕反應。

台灣各研究機構過去並未進行長時間的落鹽量調查，以致該參數較為缺乏；今彙整工業技術研究院 (1987.7-1992.6)、台灣大學 (1989.1-1990.1)、台灣電力公司、成功大學 (1998.10-2000.6) 之調查研究資料，如圖 3 所示。

3.3 SO₂ 含量

SO₂ 在水溶液中具有極高的溶解度 (16.2g SO₂ /100g H₂O)，且 SO₂ 與 O₂ 作用形成之 SO₄²⁻ 會再和鐵循環作用，加速腐蝕反應。換句話說，在含 SO₂ 的大氣中，腐蝕反應包括下列步驟：



由於 FeSO₄ 會與 H₂O 作用生成 FeOOH，而釋放出來的 SO₄²⁻ 則再次與 FeOH 作用：



因而加速腐蝕反應。

圖 4 為依據環保署於 1988 至 2000 年間台灣各地空氣品質監測站所測得之 SO₂ 於空氣中濃度 (μg/m³) 之柱狀圖。

3.4 大氣腐蝕環境分類

過去台灣各研究單位進行大氣腐蝕環境分類均以試片腐蝕速率的量測進行區分，表 5 與圖 5 為工業技術研究院^[6] 與台灣大學^[7] 分別於 1993-1994 年與 1989 年針對熱浸鍍鋅試片進行一年暴露試驗所得之腐蝕速率與環境分類結果；其中，C5+ 表示熱浸鍍鋅試片的腐蝕速率大於 ISO 9223 規定 C5 等級腐蝕速率之上限值。顯然的，台灣大氣環境對於鋅金屬的腐蝕性，除奮起湖為 C3 外，各地多為 C4 以上環境，甚至部份地區，包括硫害環境的陽明山與海洋環境的林口電廠、台中港、麥寮等，均為 C5 至 C5+ 的等級。

表 6 為依據環境因子統計數據，將台灣西部地區，如基隆、陽明山、台北市、土城、樹林、林口市、蘆竹、新竹、苗栗、通霄、台中港、台中市、彰化市、崙背、奮起湖、嘉義市、台南市、興達港、高雄市等 19 個位置之濕潤時間、氯鹽沉積量與二氧化硫含量進行分類，並根據表 5 進行台灣西部大氣腐蝕環境分類。由於部分地區無相對的參數數據 (如濕潤時間、氯鹽沉積量或二氧化硫含量)，故未知參數值依地區之地理位置、距海岸線的距離與城市特性，以相臨地區之相對參數數據推估。圖 6 為大氣腐蝕環境分類結果；圖中，濱海區域的台中港為腐蝕最嚴重的 C5，而通霄以北之苗栗、新竹、蘆竹、林口市與基隆為 C4，樹林、土城與陽明山為 C3 或 C4，台北市則為 C3；至於台中市以南，除沿海地區之興達港為 C4 外，其餘地區多為 C3。綜合言之，台灣西部大氣腐蝕環境分類可以大甲溪為界，大甲溪以北地區多為 C4 等級，大甲溪以南多為 C3，沿海地區則為 C5 等級。

比較圖 5 與圖 6，顯示若採用環境因子分類(圖6)，分類的結果與採用試片腐蝕速率之分類(圖5)有些許差異；即針對鋅金屬之大氣腐蝕環境，使用環境因子的分類結果較採用腐蝕速率之分類結果和緩。主要原因是因圖 5 所示的大氣腐蝕環境區分是採用鍍鋅試片，而試片之大氣暴露與腐蝕速率的測量僅為1年期間；由於鋅與大氣接觸，鋅易氧化為氫氧化鋅，氫氧化鋅又易與空氣中的污染物： CO_2 、 SO_x 、 Cl 等氣體反應，在氫氧基與空氣介面間產生鹼性鋅鹽，這些氫氧化鋅與鹼性鋅鹽(俗稱為鋅白)，有保護鋅金屬抗蝕的功能。因此，當鋅白形成後，長期暴露鋅的腐蝕速率會較早期(第一年)暴露時的腐蝕速率為低，故若以第一年的腐蝕速率來推估鋅長期的腐蝕速率，可能會有過於估算的可能。然而，環境因子分類的觀點是綜合長時間環境因子的考量，大氣腐蝕環境分類的結果可用以推估金屬長期的腐蝕速率，因此針對鋅金屬之大氣腐蝕環境而言，使用環境因子分類的等級較採用第一年腐蝕速率之分類等級和緩。但值得注意的是，在同一腐蝕等級的分類中，金屬的腐蝕速率為一範圍，有一最大值與一最小值(如鋅在 C3 等級之腐蝕速率為 $5 < r_{\text{corr}} \leq 15 \text{ g/m}^2/\text{yr}$ ， r_{corr} 為腐蝕速率)；因此藉由金屬所處腐蝕環境之等級推估腐蝕速率，進而計算金屬服務壽命時，必須考慮金屬所在位置距海岸線的距離與是否位於硫害之工業區內；若是，應選擇較大的腐蝕速率進行服務壽年評估。

4. 結論

1. 依據環境因子分類，台灣西部大氣腐蝕環境可以大甲溪為界，大甲溪以北地區多為 C4 等級，大甲溪以南多為 C3，沿海地區則為 C5 等級。
2. 針對鋅金屬的大氣腐蝕環境，使用環境因子分類的等級較採用第一年腐蝕速率之分類等級和緩；且以環境因子分類的結果，可推估金屬長期的腐蝕速率與服務年限。

參考文獻

1. ISO 9223:1992 - Corrosion of metals and alloys- Corrosivity of atmospheres- Classification.
2. ISO 9225:1992 - Corrosion of metals and alloys- Corrosivity of atmospheres- Measurement of pollution.
3. 蔡克群，「台灣地區大氣腐蝕環境分類與金屬材料腐蝕性」，鋼材大氣腐蝕與焊接技術研討會論文集，中華民國防蝕工程學會，台北，1995年，第3-20頁。
4. 鄭福田、莊東漢、杜悅元、林勝南，「台灣地區大氣腐蝕環境因子調查」，材料大氣腐蝕研討會論文集，中華民國防蝕工程學會，台北，1991年，第17頁。
5. 「台南科技工業區結構物腐蝕及防治研究期末報告」，經濟部工業局委託，國立成功大學材料防蝕研究中心執行，2003年，第102-106頁。
6. 楊巨平、陳天賜、陳新北、王燦耀，「台灣區大氣腐蝕調查與評估」，中華民國防蝕工程學會八十四年度年會論文集，台北，1995年，第201頁。
7. 鄭福田、莊東漢、杜悅元、林勝南，「酸雨及大氣對金屬腐蝕之關係研究」，材料大氣腐蝕研討會論文集，中華民國防蝕工程學會，1991年，第101頁。
8. ISO 9226:1992 - Corrosion of metals and alloys- Corrosivity of atmospheres- Determination of corrosion rate of standard specimens for the evaluation of corrosivity.

收到日期：2004年10月27日

修訂日期：2005年3月2日

接受日期：2005年3月8日

台灣地區大氣腐蝕環境分類

表1. ISO 9223 濕潤時間分類。

Table 1 ISO 9223- Classification of time of wetness.

類別	濕潤時間	
	hour/year	%
τ_1	$\tau \leq 10$	$\tau \leq 0.1$
τ_2	$10 < \tau \leq 250$	$0.1 < \tau \leq 3$
τ_3	$250 < \tau \leq 2500$	$3 < \tau \leq 30$
τ_4	$2500 < \tau \leq 5500$	$30 < \tau \leq 60$
τ_5	$5500 < \tau$	$60 < \tau$

(資料來源：ISO 9223)

表2. ISO 9223 氯鹽沉積量分類。

Table 2. ISO 9223- Classification of pollution by airborne salinity represented by chloride.

氯鹽沉積量 mg/m ² /day	類別
$S \leq 3$	S_0
$3 < S \leq 60$	S_1
$60 < S \leq 300$	S_2
$300 < S \leq 1500$	S_3

(資料來源：ISO 9223)

表3. ISO 9223 二氧化硫(SO₂) 含量分類。

Table 3 ISO 9223- Classification of pollution by sulphur-containing substances represented by SO₂.

SO ₂ 沉積量 mg/m ² /day	SO ₂ 濃度 μg/m ²	類別
$P_d \leq 10$	$P_c \leq 12$	P_0
$10 < P_d \leq 35$	$12 < P_c \leq 40$	P_1
$35 < P_d \leq 80$	$40 < P_c \leq 90$	P_2
$80 < P_d \leq 200$	$90 < P_c \leq 250$	P_3

(資料來源：ISO 9223)

表4. ISO 9223- 大氣腐蝕環境分類(以環境因子分類)。

Table 4 ISO 9223- Estimated corrosivity categories of the atmosphere.

Unalloyed carbon steel															
	τ_1			τ_2			τ_3			τ_4			τ_5		
	S_0-S_1	S_2	S_3	S_0-S_1	S_2	S_3	S_0-S_1	S_2	S_3	S_0-S_1	S_2	S_3	S_0-S_1	S_2	S_3
P_0-P_1	1	1	1 or 2	1	2	3 or 4	2 or 3	3 or 4	4	3	4	5	3 or 4	5	5
P_2	1	1	1 or 2	1 or 2	2 or 3	3 or 4	3 or 4	3 or 4	4 or 5	4	4	5	4 or 5	5	5
P_3	1 or 2	1 or 2	2	2	3	4	4	4 or 5	5	5	5	5	5	5	5
Zinc and copper															
	S_0-S_1	S_2	S_3	S_0-S_1	S_2	S_3	S_0-S_1	S_2	S_3	S_0-S_1	S_2	S_3	S_0-S_1	S_2	S_3
P_0-P_1	1	1	1	1	1 or 2	3	3	3	3 or 4	3	4	5	3 or 4	5	5
P_2	1	1	1 or 2	1 or 2	2	3	3	3 or 4	4	3 or 4	4	5	4 or 5	5	5
P_3	1	1 or 2	2	2	3	3 or 4	3	3 or 4	4	4 or 5	5	5	5	5	5
Aluminum															
	S_0-S_1	S_2	S_3	S_0-S_1	S_2	S_3	S_0-S_1	S_2	S_3	S_0-S_1	S_2	S_3	S_0-S_1	S_2	S_3
P_0-P_1	1	2	2	1	2 or 3	4	3	3 or 4	4	3	3 or 4	5	4	5	5
P_2	1	2	2 or 3	1 or 2	E or 4	4	3	4	4 or 5	3 or 4	4	5	4 or 5	5	5
P_3	1	2 or 3	3	3 or 4	4	4	3 or 4	4 or 5	5	4 or 5	5	5	5	5	5

NOTE—Corrosivity is expressed as the numerical part of the corrosivity category code (for example: 1 instead of C1).

(資料來源：ISO 9223)

表5. 以熱浸鍍鋅試片第1年之腐蝕速率進行鋅金屬在台灣之大氣腐蝕環境分類。
Table 5 Locations of test sites, types of atmosphere, corrosion rate of galvanized steel panel in the first year, and category of corrosivity in Taiwan.

地點	距海岸線距離 (m)	環境區分	熱浸鍍鋅試片 第1年之腐蝕速率 (g/m ² /year)	鋅金屬之大氣 腐蝕環境分類
基隆	500	鄉村、海洋	22.3	C4
陽明山	5500	硫害、鄉村	84.7	C5+
林口電廠*	50	海洋、工業	-	C5+
土城	47500	工業	25.1	C4
樹林	40500	工業	23.0	C4
新竹	7300	都市	26.5	C4
竹東	12500	鄉村	22.0	C4
台中港	400	海洋	38.8	C5
麥寮	200	海洋	185.4	C5+
斗南	27000	鄉村	22.5	C4
奮起湖	56000	鄉村	9.4	C3
新營	22000	都市	48.9	C5
興達電廠	100	海洋、工業	30.9	C5
高雄	7000	工業	30.0	C5
小港	600	工業	22.1	C4
枋山	500	鄉村、海洋	17.1	C4
佳洛水	1100	鄉村、海洋	215	C5+
大武	1400	海洋、鄉村	51.9	C5
台東	3000	海洋、都市	47.6	C5
花蓮	1400	海洋	145.1	C5+
宜蘭*	5100	都市	-	C4
頭城	-	鄉村、海洋	23.7	C4
湖西(澎湖)	500	海洋	94.6	C5+

備考：

1. 資料來源：工業技術研究院^[6]，*台灣大學^[7]。
2. 試片：依據ISO 9226^[8]製作之熱浸鍍鋅平板試片。
3. 試片尺寸：150 mm × 100 mm × 5 mm。
4. 暴露時間：1993.08 - 1994.07，* 1989.01-1989.12。

表6. 以環境因子進行鋅金屬在台灣之大氣腐蝕環境分類。
Table 6 Estimated corrosivity categories of the atmosphere for Zinc in Taiwan.

地點	濕潤時間	SO ₂	Cl ⁻	鋅金屬之大氣腐蝕 環境分類
基隆	τ_4	P_1	S_2^*	C4
陽明山	τ_5	P_0	S_1	C3 or C4
台北市	τ_3	P_0	S_2^{**}	C3
土城	τ_3^{***} (近台北市)	P_0	S_2	C3 or C4
樹林	τ_3^{***} (近台北市)	P_0^{***} (近土城)	S_2	C3 or C4
林口市	τ_4^{***} (近淡水)	P_0	S_2^{**}	C4
蘆竹(桃園)	τ_4^{***} (近淡水)	P_1	S_2^{***} (近林口市)	C4
新竹	τ_4	P_0	S_2	C4
苗栗	τ_4^{***} (近新竹)	P_0	S_2^{***} (近通霄)	C4
通霄	τ_4^{***} (近梧棲)	P_1^{***} (電廠附近)	S_2^{**}	C4
台中港	τ_4^{***} (近梧棲)	P_1	S_3	C5
台中市	τ_3	P_0	S_1^{***} (內陸)	C3
彰化市	τ_3^{***} (近台中市)	P_1	S_1^{***} (內陸)	C3
崙背(雲林)	τ_4^{***} (近嘉義市)	P_0	S_1^{***} (內陸)	C3
奮起湖	τ_5	P_0^{***} (鄉村地區)	S_1	C3 or C4
嘉義市	τ_4	P_0	S_1^{***} (內陸)	C3
台南市	τ_3	P_1	S_1^{****}	C3
興達電廠	τ_4^{***} (近高雄)	P_1^{***} (電廠附近)	S_2	C4
高雄市	τ_4	P_1	S_1	C3

資料來源：工業技術研究院^[3] (1987.7-1992.6)；* 台灣電力公司；** 台灣大學^[4] (1989.1-1990.1)；
*** 推測值；**** 成功大學^[5] (1998.10-2000.6)。

台灣地區大氣腐蝕環境分類



圖1 台灣氣象站分佈圖(資料來源：中央氣象局)。
Figure 1 Weather observatories of Central Weather Bureau.

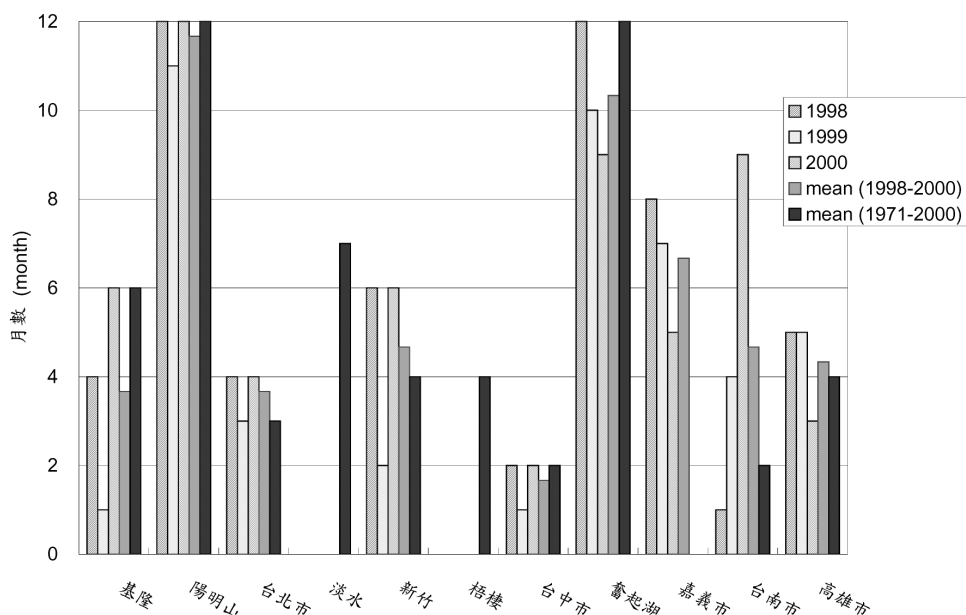


圖2 台灣本島各地區相對濕度大於 80% 的月數(資料來源：中央氣象局)。
Figure 2 Number of month where relative humidity (RH) > 80% in Taiwan at different locations (Data Source: Central Weather Bureau).

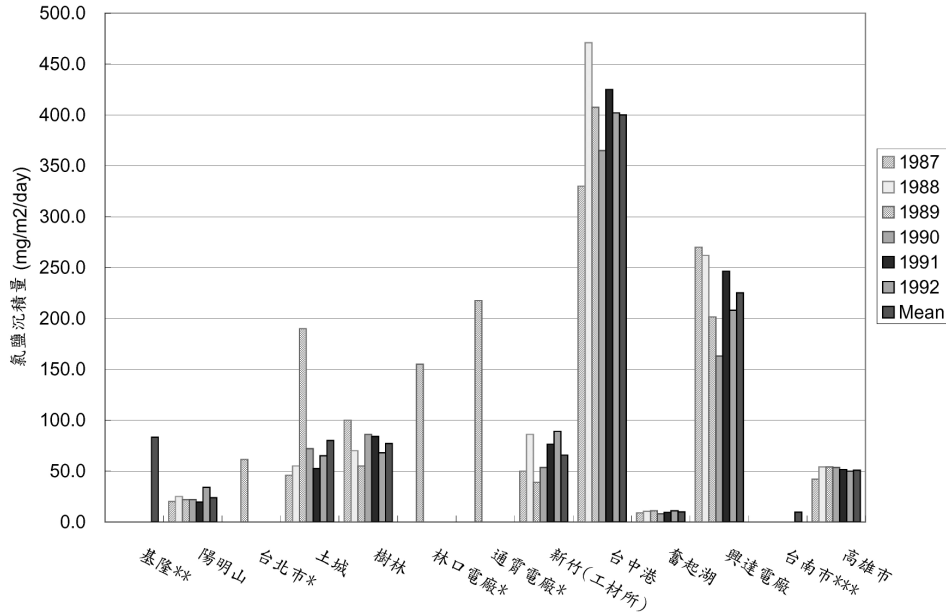


圖3 台灣地區氯鹽沉積量(資料來源：工業技術研究院，*台灣大學，**台灣電力公司，***成功大學)。
 Figure 3 Deposition rate of chloride in Taiwan at different locations (Data Source: Industrial Technology Research Institute, * National Taiwan University, ** Taiwan Power Company, *** National Cheng Kung University).

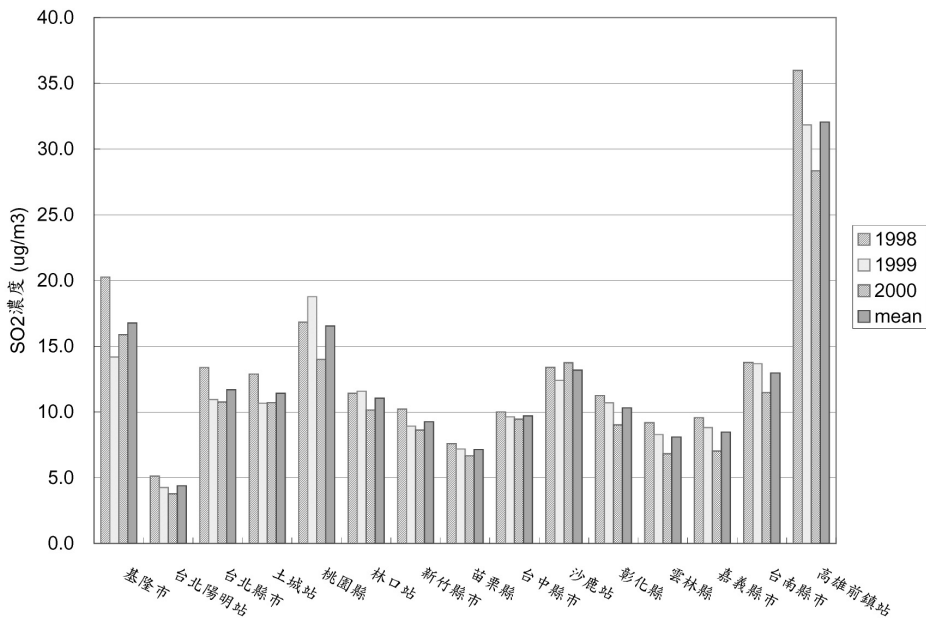


圖4 台灣地區SO₂含量(資料來源：環保署)。
 Figure 4 Concentration of SO₂ in Taiwan at different locations (Data Source: Environmental Protection Administration).

台灣地區大氣腐蝕環境分類

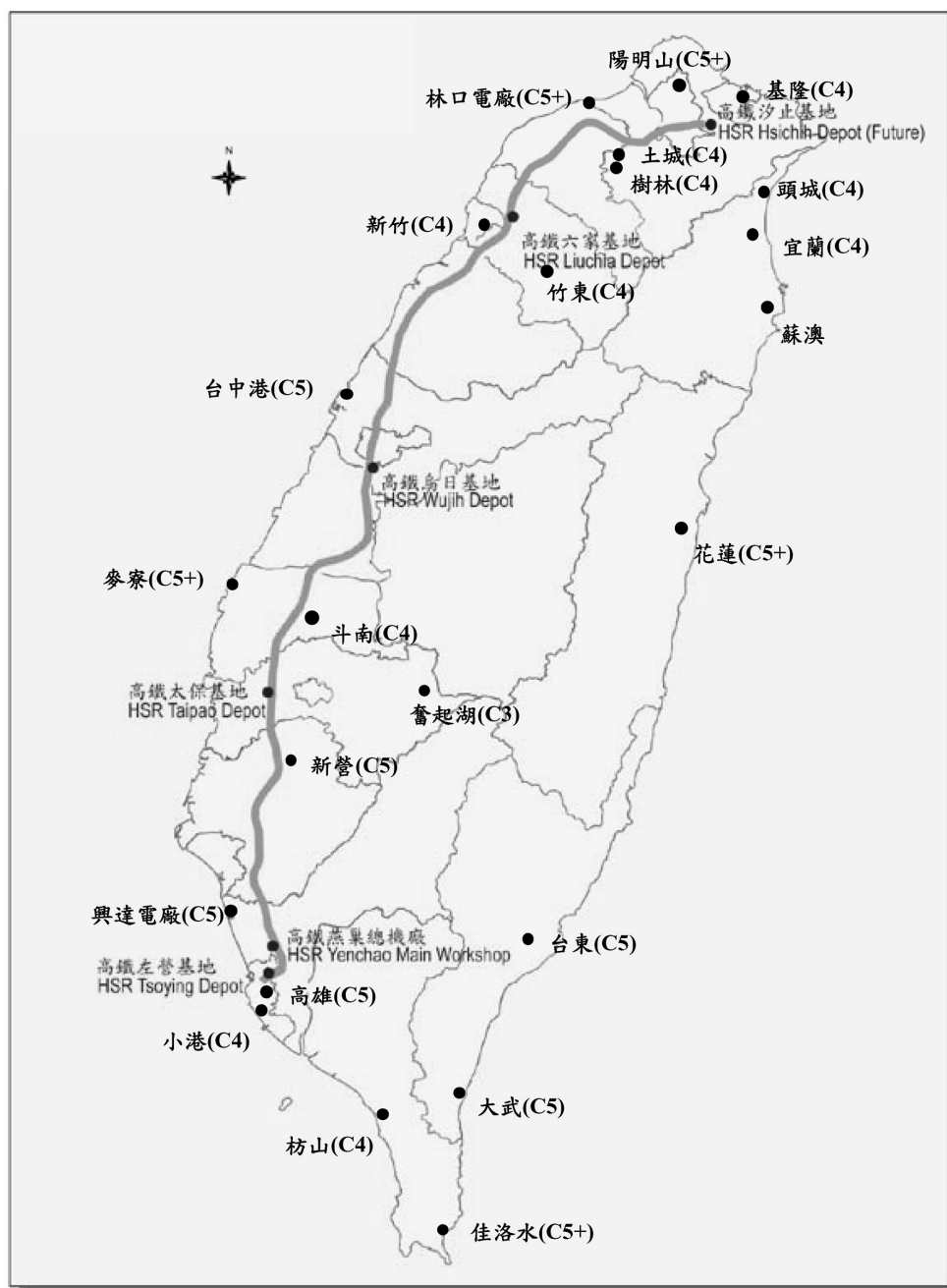


圖5 台灣大氣腐蝕環境分類-以熱浸鍍鋅試片第1年之腐蝕速率進行區分(資料來源：工業技術研究院^[6]，1993-1994；台灣大學^[7]，1989)。

Figure 5 Estimated corrosivity categories of the atmosphere by the corrosion rate of galvanized steel after one year of exposure. (Data from ITRI, 1993-1994; National Taiwan University, 1989)



圖6 台灣大氣腐蝕環境分類 — 以環境因子區分。
Figure 6 Estimated corrosivity categories of the atmosphere by time of wetness, SO_2 , and airborne represented by chloride.