

106-025-7925

MOTC-IOT-105-H1DA002a

金屬材料腐蝕環境調查研究 (2/2)



交通部運輸研究所
中華民國 106 年 4 月

106-025-7925

MOTC-IOT-105-H1DA002a

金屬材料腐蝕環境調查研究(2/2)

著 者：羅建明、陳桂清、柯正龍

交通部運輸研究所
中華民國 106 年 4 月

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

金屬材料腐蝕環境調查研究. (2/2) / 羅建明,
陳桂清, 柯正龍著. -- 初版. -- 臺北市 : 交
通部運研所, 民 106. 04
面 ; 公分
ISBN 978-986-05-2242-6(平裝)

1. 港埠管理 2. 資料庫管理

557

106005002

金屬材料腐蝕環境調查研究(2/2)

著 者：羅建明、陳桂清、柯正龍
出版機關：交通部運輸研究所
地 址：10548 臺北市敦化北路 240 號
網 址：www.ihmt.gov.tw (中文版>中心出版品)
電 話：(04)26587186
出版年月：中華民國 106 年 4 月
印 刷 者：
版(刷)次冊數：初版一刷 60 冊
本書同時登載於交通部運輸研究所港灣技術研究中心網站
定 價：200 元
展 售 處：
交通部運輸研究所運輸資訊組•電話：(02)23496880
國家書店松江門市：10485 臺北市中山區松江路 209 號 1F•電話：(02) 25180207
五南文化廣場：40042 臺中市中山路 6 號•電話：(04)22260330

GPN : 1010600503 ISBN : 978-986-05-2242-6(平裝)

著作財產權人：中華民國(代表機關：交通部運輸研究所)

本著作保留所有權利，欲利用本著作全部或部份內容者，須徵求交通部運輸
研究所書面授權。

106

金屬材料腐蝕環境調查研究(2)

交通部運輸研究所

GPN : 1010600503

定價 200 元

交通部運輸研究所自行研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：金屬材料腐蝕環境調查研究 (2/2)			
國際標準書號 ISBN978-986-05-2242-6 (平裝)	政府出版品統一編號 1010600503	運輸研究所出版品編號 106-025-7925	計畫編號 105-H1DA002a
本所主辦單位：港灣技術研究中心 主管：邱永芳 計畫主持人：羅建明 研究人員：陳桂清、柯正龍 參與人員：陳亭廷、陳義松、李春榮、何木火、白廷羿、王欣郁 魏瓊蓉、林隆貞、黃如蜜 聯絡電話：04-26587110 傳真號碼：04-26564418			研究期間 自 105 年 1 月 至 105 年 12 月
關鍵詞：金屬腐蝕、腐蝕因子、腐蝕環境			
<p>摘要：</p> <p>臺灣地處亞熱帶，屬高溫、高濕、高鹽的海島型氣候，金屬構件甚易腐蝕。為此，有必要建置屬於本土的大氣與水下腐蝕環境資料及腐蝕因子之資料庫，以利日後結構物於防蝕設計與維護管理的依據。</p> <p>本研究主要工作項目包括：(1)研析國內外參考文獻與國內氣象資料，(2)依據中國國家標準 CNS，就金屬及合金之大氣腐蝕性污染測定方法，進行臺灣全島之大氣腐蝕劣化因子調查，(3)標準試片製作與現地暴露試驗之腐蝕速率量測，(4)水下金屬材料腐蝕暴露試驗，(5)建置大氣腐蝕環境分類資料庫。</p> <p>自 2015.09 至 2016.12 大氣腐蝕調查結果發現，垂直海岸試驗線之氯鹽沉積速率以桃園、基隆、臺塑六輕等試驗線的氯鹽較高。二氧化硫沉積速率以官田工業區、臨海工業區、臺中火力電廠、關連工業區較高。金屬垂直海岸試驗線比較，碳鋼與鋅以基隆試驗線、桃園試驗線、臺塑六輕試驗線、臺中港試驗線腐蝕速率較其他地區高。銅與鋁的腐蝕速率以臺塑六輕試驗線、桃園試驗線較高。在特定測站比較，碳鋼、鋅、銅、鋁四種金屬皆以大潭火力發電廠、觀音工業區、臺中火力發電廠、通霄火力發電廠、彰濱工業區、臺塑六輕之腐蝕速率相對較高。針對氯鹽沉積速率、二氧化硫沉積速率及四種金屬腐蝕速率以秋季與冬季調查期間較其他季節影響較大。</p> <p>研究成果效益及應用單位：提供工務單位瞭解構造物所處之腐蝕環境趨勢與防蝕策略，大氣腐蝕環境分類資訊系統可提供中華民國防蝕工程學會、台灣電力、台塑企業、中國鋼鐵、公路總局、國道新建工程局、經濟部工業局、台灣高鐵等產官學界參考應用。</p>			
出版日期 106 年 4 月	頁數 203	定價 200	本出版品取得方式 凡屬機密性出版品均不對外公開。普通性出版品，公營、公益機關團體及學校可函洽本所免費贈閱；私人及私營機關團體可按定價價購。
<p>機密等級：</p> <p><input type="checkbox"/> 密 <input type="checkbox"/> 機密 <input type="checkbox"/> 極機密 <input type="checkbox"/> 絶對機密 (解密條件：<input type="checkbox"/> 年 月 日解密，<input type="checkbox"/> 公布後解密，<input type="checkbox"/> 附件抽存後解密， <input type="checkbox"/> 工作完成或會議終了時解密，<input type="checkbox"/> 另行檢討後辦理解密) <input checked="" type="checkbox"/> 普通</p>			
備註：本研究之結論與建議不代表交通部之意見。			

PUBLICATION ABSTRACTS OF RESEARCH PROJECTS
INSTITUTE OF TRANSPORTATION
MINISTRY OF TRANSPORTATION AND COMMUNICATIONS

TITLE: Metal corrosion and its corrosive environmental investigation

ISBN(OR ISSN) 978-986-05-2242-6 (pbk)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1010600503	IOT SERIAL NUMBER 106-025-7925	PROJECT NUMBER 105-H1DA002a
DIVISION: Harbor & Marine Technology Center DIVISION DIRECTOR: Chiu, Yung-Fang PRINCIPAL INVESTIGATOR: Chien-Ming Lo COMMON INVESTIGATOR: Kuei-Ching Cheng,Jeng-Long Ko PROJECT STAFF: Ting-Ting Chen, Yi-Song Chen, Chun-Rong Li, Mu-Huo Ho, Ting-Yi Bai, Xing-Yu Wang, Chiung Rung-Wei, LungChen-Lin,Ju Mi-Huang PHONE:0426587110 FAX:04-26564418			PROJECT PERIOD FROM January 2016 To December 2016

KEY WORDS: METAL CORROSION, CORROSION FACTORS, CORROSION ENVIRONMENTS

Taiwan is an island and locates at sub-tropic climates with high temperature, high humidity and salinity that are easily corrosive for metal material. Therefore, it is necessary to establish a local fundamental atmospheric and underwater corrosion database, in order to guide structures in anti-corrosion design and maintenance management.

In the study, jobs were included 1) collecting related references and yearly meteorological data, 2) field investigation of metals atmospheric corrosion by CNS standard, 3) metal samples preparation and corrosion rate measurements, 4) underwater metal exposure test, and 5) establishing an information system for atmospheric corrosion and its classified environments.

Collected from Sep. 2015 till Dec. 2016, chloride deposited rates at vertical seashore test lines shown that Taoyuan, Keelung, Formosa Plastics Group's sixth naphtha's, were higher than other sites. Sulfur Dioxide depositions at Guan-Tian Industrial Park, Lin-Hai Industrial Park, Taichung Power Plant, Related Industrial Park, were higher than others. Metal corrosion rates compared at vertical seashore test lines shown that Carbon steel and Zinc at Keelung, Taoyuan, Formosa Plastics Group's sixth naphtha's, Taichung Harbor were higher. And Copper and Aluminum at Taoyuan and Formosa Plastics Group's sixth naphtha's had higher. At specific test stations, four kind of metals at Tai-Tam Power Plant, Guan-yin Industrial Park, Taichung Power Plant, Tunghsiao Power Plant, Changhua Coastal Industrial Park, Formosa Plastics Group's sixth naphtha's were obtained higher corrosion rates than other sites. As seasonal comparison, higher chloride and sulfur dioxide deposited rates, and metal corrosion rates were collected in Fall and Winter.

Benefits and its application: Results could be offered to maintenance units to realize structures corrosive environmental tendency and its prevention strategy. The atmospheric corrosion and classified environmental information system could be applied in industry, public policy, academic research, such as, The Corrosion Engineering Association of the Republic of China, Taiwan Power Company, Formosa Plastics Group's, China Steel Corporation, Directorate General of Highways, National Expressway Engineering Bureau, Taiwan High Speed Rail.

DATE OF PUBLICATION April 2017	NUMBER OF PAGES 203	PRICE 200	CLASSIFICATION		
			<input type="checkbox"/> RESTRICTED	<input type="checkbox"/> CONFIDENTIAL	
		<input type="checkbox"/> SECRET	<input type="checkbox"/> TOP SECRET		
		<input checked="" type="checkbox"/> UNCLASSIFIED			

The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.

金屬材料腐蝕環境調查研究 (2/2)

目 錄

中文摘要	I
英文摘要	II
表目錄	VI
圖目錄	VIII
第一章 前言	1-1
1.1 計畫目的	1-1
1.2 計畫之重要性	1-1
1.2.1 大氣腐蝕	1-1
1.2.2 水下腐蝕	1-2
1.3 國內腐蝕研究概況	1-2
1.3.1 大氣腐蝕研究概況	1-2
1.3.2 水下腐蝕研究概況	1-4
1.4 計畫工作項目	1-14
1.5 預期效益及其應用	1-15
第二章 文獻回顧	2-1
2.1 大氣腐蝕測試規範	2-1
2.1.1 國外 ISO 大氣腐蝕環境分類	2-1
2.1.2 國外 CLIMATE TEST 大氣腐蝕環境分類	2-2
2.1.3 中華民國國家標準 CNS 規範	2-4
2.2 大氣腐蝕因子介紹	2-4

2.3 影響大氣腐蝕的因素	2-7
2.4 鋼材在海水之腐蝕	2-9
2.4.1 鋼材之腐蝕機理	2-9
2.5 影響鋼板樁腐蝕之因子	2-10
2.5.1 曝露區域	2-10
2.5.2 海水的性質	2-12
第三章 研究方法及進行步驟.....	3-1
3.1 國內外大氣腐蝕文獻蒐集整理分析	3-1
3.2 大氣腐蝕因子調查建置	3-2
3.2.1 氯鹽沉積速率調查	3-2
3.2.2 氯鹽沉積速率試驗點	3-3
3.2.3 氯鹽沉積速率計算	3-10
3.3 二氧化硫沉積速率調查	3-12
3.3.1 調查試驗點	3-12
3.3.2 二氧化硫沉積速率計算	3-17
3.4 現地暴露試驗	3-19
3.4.1 螺旋狀試片	3-19
3.4.2 現地暴露試驗計算	3-24
3.4.3 試片腐蝕生成物清除與測試	3-24
3.5 腐蝕因子環境分類	3-27
第四章 大氣腐蝕因子與現地暴露試驗.....	4-1
4.1 氯鹽沉積速率調查結果	4-1
4.1.1 氯鹽沉積速率季節性之比較	4-2

4.1.2 氯鹽沉積速率與垂直海岸線之關係	4-2
4.2 二氧化硫沉積速率調查結果	4-8
4.2.1 二氧化硫沉積速率季節性之比較	4-9
4.3 濕潤時間百分比	4-14
4.4 現地暴露試驗結果	4-20
4.4.1 各金屬腐蝕速率季節性之比較	4-33
第五章 金屬材料水下腐蝕調查研究.....	5-1
5.1 研究方法與規劃	5-1
5.2 各港區海水下金屬曝露試驗	5-2
5.3 試片腐蝕速率分析方法	5-20
5.3.1 試片定期採樣之處理分析方法	5-20
5.3.2 試片腐蝕分析步驟	5-20
5.3.3 腐蝕速率計算	5-21
5.4 海水水質分析	5-22
第六章 結論	6-1
6.1 結論	6-1
6.2 研究成果之效益	6-2
6.3 提供單位應用情形	6-2
參考文獻	參-1
附錄一 期末審查意見及辦理情形說明表.....	附錄 1-1
附錄二 水下金屬腐蝕檢量線.....	附錄 2-1

表 目 錄

表 1-1	臺灣地區大氣腐蝕試驗相關研究歷程	1-6
表 1-2	臺灣地區水下腐蝕試驗相關研究歷程	1-9
表 3-1	氯鹽沉積速率調查試驗點規畫分類表	3-5
表 3-2	氯鹽沉積採集器安裝與採樣時間紀錄表	3-7
表 3-3	二氧化硫沉積速率調查試驗點分佈表	3-14
表 3-4	二氧化硫沉積採集器安裝與採樣時間紀錄表	3-15
表 3-5	金屬試樣安裝與採樣時間紀錄表	3-21
表 3-6	化學清洗法使用藥品及條件	3-26
表 3-7	濕潤環境分類表.....	3-28
表 3-8	氯鹽腐蝕環境等級分類表	3-28
表 3-9	二氧化硫腐蝕環境等級分類表	3-28
表 3-10	金屬大氣腐蝕環境分類表(以環境因子分類).....	3-29
表 3-11	大氣腐蝕環境分類—以各種標準金屬最初第一年之腐蝕速率 區分	3-30
表 4-1	氯鹽沉積速率表.....	4-3
表 4-2	二氧化硫沉積速率表	4-10
表 4-3	特定試驗之二氧化硫沉積速率計算結果	4-11
表 4-4	各試驗點濕潤時間百分比調查表	4-15
表 4-5	碳鋼金屬之腐蝕速率表	4-21
表 4-6	鋅金屬之腐蝕速率表	4-24
表 4-7	銅金屬之腐蝕速率表	4-27
表 4-9	鋁金屬之腐蝕速率表	4-30

表 5-1	各港區水下金屬腐蝕試片尺寸與安裝試驗期程(1/4)	5-3
表 5-2	各港區水下金屬腐蝕試片尺寸與安裝試驗期程(2/4)	5-4
表 5-3	各港區水下金屬腐蝕試片尺寸與安裝試驗期程(3/4)	5-5
表 5-4	各港區水下金屬腐蝕試片尺寸與安裝試驗期程(4/4)	5-6
表 5-5	臺中港 1 號碼頭水質量測分析結果(104 年).....	5-24
表 5-6	臺中港 1 號碼頭水質量測分析結果(105 年).....	5-24
表 5-7	離島港區水質量測分析結果(104 年).....	5-25
表 5-8	離島港區水質量測分析結果(105 年).....	5-26
表 5-9	臺北港區水質量測分析結果(105 年).....	5-27
表 5-10	基隆港區水質量測分析結果(105 年).....	5-28
表 5-11	花蓮港區水質量測分析結果(105 年).....	5-30
表 5-12	蘇澳港區水質量測分析結果(105 年).....	5-31
表 5-13	高雄港區水質量測分析結果(105 年).....	5-33
表 5-14	安平港區水質量測分析結果(105 年)	5-35
表 5-15	布袋港水質量測分析結果(105 年).....	5-36
表 5-16	馬祖福澳港水質量測分析結果(105 年).....	5-36
表 5-17	澎湖港水質量測分析結果(105 年).....	5-36

圖 目 錄

圖 2.1 ISO 大氣腐蝕環境分類	2-2
圖 2.2 CLIMATE TEST 大氣腐蝕測試	2-3
圖 2.3 水溶液系統之腐蝕程序示意圖	2-9
圖 2.4 鋼板樁曝露區域與腐蝕速率之關係	2-11
圖 2.5 海水之含鹽量與溶氧量、pH 值、溫度、水深之關係	2-13
圖 2.6 鋼材腐蝕速率與 pH 值之關係	2-14
圖 2.7 鋼材之腐蝕速率與溶氧量之關係	2-15
圖 2.8 鋼材腐蝕速率與海水流速之關係	2-16
圖 2.9 碼頭鋼板樁遭受迷失電流之情形	2-17
圖 3.1 大氣腐蝕研究作業流程圖	3-1
圖 3.2 氯鹽沉積速率調查位置	3-9
圖 3.3 濕燭法燭心構造示意圖	3-10
圖 3.4 濕燭法裝置構造圖	3-10
圖 3.5 二氧化硫沉積速率調查位置圖	3-13
圖 3.6 二氧化硫沉積量採集裝置	3-17
圖 3.7 現地暴露試驗(碳鋼、鋅、鋁、銅螺旋狀試片)試驗點分佈圖	3-20
圖 3.8 螺旋狀試片構造圖(CNS 13753)	3-23
圖 3.9 腐蝕生成物清除法作業流程圖	3-25
圖 4.1 2015.10-2015.12 氯鹽沉積速率($\text{mg}/\text{m}^2/\text{day}$)	4-5
圖 4.2 2016.01-2016.03 氯鹽沉積速率($\text{mg}/\text{m}^2/\text{day}$)	4-5
圖 4.3 2016.04-2016.06 氯鹽沉積速率	4-6

圖 4.4	2016.07-2016.09 氯鹽沉積速率	4-6
圖 4.5	四次調查之垂直海岸試驗線氯鹽沉積速率	4-7
圖 4.6	2015.10-2015.12 二氧化硫沉積速率	4-12
圖 4.7	2016.01-2016.03 二氧化硫沉積速率	4-12
圖 4.8	2016.04-2016.06 二氧化硫沉積速率	4-13
圖 4.9	2016.07-2016.09 二氧化硫沉積速率	4-13
圖 4.10	2015.10-2015.12 濕潤時間百分比	4-18
圖 4.11	2016.01-2016.03 濕潤時間百分比	4-18
圖 4.12	2016.04-2016.06 濕潤時間百分比	4-19
圖 4.13	2016.07-2016.09 濕潤時間百分比	4-19
圖 4.14	2015.10-2015.12 碳鋼腐蝕速率	4-35
圖 4.15	2016.01-2016.03 碳鋼腐蝕速率	4-35
圖 4.16	2016.04-2016.06 碳鋼腐蝕速率	4-36
圖 4.17	2016.07-2016.09 碳鋼腐蝕速率	4-36
圖 4.18	2015.10-2015.12 鋅腐蝕速率	4-37
圖 4.19	2016.01-2016.03 鋅腐蝕速率	4-37
圖 4.20	2016.04-2016.06 鋅腐蝕速率	4-38
圖 4.21	2016.07-2016.09 鋅腐蝕速率	4-38
圖 4.22	2015.10-2015.12 銅腐蝕速率	4-39
圖 4.23	2016.01-2016.03 銅腐蝕速率	4-39
圖 4.24	2016.04-2016.06 銅腐蝕速率	4-40
圖 4.25	2016.07-2016.09 銅腐蝕速率	4-40
圖 4.26	2015.10-2015.12 鋁腐蝕速率	4-41

圖 4.27	2016.01-2016.03 鋁腐蝕速率	4-41
圖 4.28	2016.04-2016.06 鋁腐蝕速率	4-42
圖 4.29	2016.76-2016.09 鋁腐蝕速率	4-42
圖 4.30	垂直海岸試驗線碳鋼金屬平均腐蝕速率比較.....	4-43
圖 4.31	垂直海岸試驗線鋅金屬平均腐蝕速率比較.....	4-43
圖 4.32	垂直海岸試驗線銅金屬平均腐蝕速率比較.....	4-44
圖 4.33	垂直海岸試驗線鋁金屬平均腐蝕速率比較.....	4-44
圖 4.34	特定測站碳鋼金屬腐蝕速率比較圖	4-45
圖 4.35	特定測站鋅金屬腐蝕速率比較圖	4-45
圖 4.36	特定測站銅金屬腐蝕速率比較圖	4-46
圖 4.37	特定測站鋁金屬腐蝕速率比較圖	4-46
圖 5.1	水下腐蝕研究方法與規劃	5-1
圖 5.2	水下金屬腐蝕試驗架示意圖	5-7
圖 5.3	基隆港水下金屬曝露試驗架安裝	5-8
圖 5.4	臺北港水下金屬曝露試驗架安裝	5-9
圖 5.5	蘇澳港水下金屬曝露試驗架安裝	5-10
圖 5.6	花蓮港水下金屬曝露試驗架安裝	5-11
圖 5.7	布袋港水下金屬曝露試驗架安裝	5-12
圖 5.8	安平港水下金屬曝露試驗架安裝	5-13
圖 5.9	高雄港 #10 水下金屬曝露試驗架安裝	5-14
圖 5.10	高雄港 #41 水下金屬曝露試驗架安裝	5-15
圖 5.11	高雄港 #75 水下金屬曝露試驗架安裝	5-16
圖 5.12	澎湖龍門港水下金屬曝露試驗架安裝	5-17

圖 5.13	馬祖福澳港水下金屬曝露試驗架安裝.....	5-18
圖 5.14	港研中心循環水槽水下金屬曝露試驗架安裝.....	5-19
圖 5.15	水下金屬腐蝕生成物清除作業流程圖.....	5-20

第一章 前言

1.1 計畫目的

本研究計畫的主要目的為進行臺灣全島區域金屬材料在大氣與海水下腐蝕因子之調查與水下試驗研究，為建立完整的腐蝕因子資料庫，完成臺灣大氣腐蝕環境分類與水下金屬腐蝕資料庫建置，以利日後新建與既有金屬或鋼筋混凝土結構物之防蝕設計與維護管理的依據。

1.2 計畫之重要性

1.2.1 大氣腐蝕

臺灣為一海島，四面環海，高溫、高濕與高鹽份的環境，加上空氣污染的結果，腐蝕環境嚴重。歷年來公共工程建設常引用國外大氣腐蝕數據進行腐蝕速率評估與防蝕設計，結果常有未及設計年限就已鏽蝕損壞的情形；有鑑於此，大氣腐蝕因子的調查與掌握對金屬與鋼筋混凝土結構物耐久性防蝕設計的影響，有其重要性。

然而臺灣缺乏完整的本土化大氣腐蝕因子資料庫。自 1971 年起，國內各研究單位曾陸續以試片腐蝕速率的量測方式進行臺灣大氣腐蝕環境分類，然而因試驗場址維護不易，各地區鮮少有持續 10 年以上的腐蝕數據，且大部份的研究亦止於 1995 年。隨著氣候變遷與工業的發展，為達到結構物耐久性防蝕設計的目的，目前若仍引用過去腐蝕因子之調查數據，腐蝕速率的估算恐會產生過與不及的虞慮；有鑑於此，本所乃自 2007 年起至今規劃「臺灣地區大氣腐蝕劣化因子調查研究」計畫，擬長期針對臺灣全島區域進行大氣腐蝕劣化因子調查，完成臺灣大氣腐蝕環境的分類工作，並根據調查結果建立大氣腐蝕環境分類資料庫，規劃一適合國內環境需求的大氣腐蝕劣化因子查詢系統，以為日後新建與既有金屬及鋼筋混凝土結構物之防蝕設計與維護管理的依據。

1.2.2 水下腐蝕

台灣為四面環海，沿海除了有海港碼頭、防波堤等港工設施外，鑽油平台、跨海大橋等皆處於海洋環境中。而一遇颱風來襲則造成重大損失，如民國八十三年提姆、道格颱風過境，造成花蓮港、蘇澳港、龍洞遊艇港及高雄港等各港口，多處港工設施之破壞、沈陷等重大損害。顯示出相當部分的港工設施，已面臨或提早到達設計之年限，究其原因，各港工結構面臨險惡之海洋環境而被腐蝕、侵襲，造成材料之彈性疲乏，強度損失，以致使用年限大為縮短應為重要因素之一。

港工結構所使用的材料，除了石料之外、主要為鋼構材料及混凝土或鋼筋混凝土材料為主。其中鋼構材料如鋼版樁、鋼管樁及配合使用之拉繩鋼纜等各型鋼料，材質均有不同。其腐蝕之現象，由於在不同海域環境、季節、深度會產生不同腐蝕速率。根據本所過去所做相關研究報告中，在台灣各大港口中，使用鋼構材料的碼頭大多為鋼版樁式。發現其鋼版樁有嚴重破損、穿孔之腐蝕現象，以致部分碼頭壁後砂石掏空，岸肩沈陷，嚴重影響碼頭之結構安全。如蘇澳港之駁船碼頭，鋼版板樁年腐蝕率超過 0.2mm/yr ，其他各港口亦有類似現象。隨著時空、氣候變遷，為達到結構物耐久性與防蝕設計須求，若仍引用過時且不完整之調查數據，對結構物之耐久性與腐蝕速率的估算恐會產生過與不及的虞慮；臺灣近 10 年來並無任何單位進行完整性全島區域之水下腐蝕因子之調查與研究，因此延續過去相關研究，進行水下環境腐蝕因子及金屬材料水下長期曝放試驗與資料庫建置計畫，作為新建與既有結構物耐久性與防蝕設計及維護管理之參考。

1.3 國內腐蝕研究概況

1.3.1 大氣腐蝕研究概況

臺灣地區從事大氣腐蝕試驗的眾多研究單位中以臺灣電力公司最早，自 1971 年起先後於金山、鹽寮、七美風力發電廠址等地進行二年期的金屬材料及塗料塗裝耐蝕性基本資料調查。金屬工業研究所(目前

已併入工業技術研究院)在 1971 年左右亦曾在彰濱一帶從事塗裝耐蝕性暴露試驗調查。工業技術研究院工業材料研究所自 1983 年起與臺電公司合作在林口、澎湖、陽明山、大屯山及其它多處地點從事 1~5 年不等的金屬材料及塗裝系統之暴露試驗。臺灣大學自 1987 年起與臺灣電力公司合作探討腐蝕因子與金屬腐蝕率之關係。中華電信研究所在 1984 年曾進行為期二年之暴露試驗，探討保安盒外殼中密度聚丁烯、及鍍鋅、鍍鋁、55% 鍍鋁鋅鋼絞線的耐久性及耐蝕性。中國鋼鐵公司約自 1990 年起配合鋼材開發需求，開始從事較有系統之鋼鐵材料大氣耐蝕性試驗，數據累積已有 10 年以上。中山科學研究院於 1987~1990 年在臺北市各區利用 A.C.I、M.C.I、I.C.I 等三種腐蝕指標試驗裝置，廣泛調查臺北市各地大氣腐蝕類性變化。綜合言之，1990 年以前各單位從事現地大氣腐蝕暴露試驗的研究頗多，可惜無系統性的調查，數據多為定性或半定量且較無長期試驗數據，以致在試驗結果上整合困難，難以轉化成基本資料。

2001 年，工業技術研究院材料與化工研究所受內政部營建署委託執行「臺灣地區結構物腐蝕潛勢分區研擬」計畫，主要工作內容為協助規劃全國大氣腐蝕試驗(含試驗項目、試驗場址選擇等)，惟一年後因經費問題而未執行相關試驗工作。2004 至 2005 年，工研院材化所協助臺灣高鐵公司進行高鐵沿線大氣腐蝕調查工作，評估熱浸鍍鋅鋼材與軌道碳鋼扣件之大氣腐蝕狀況並進行服務壽命計算；有別於現地大氣腐蝕暴露試驗，工研院材化所於計畫執行期間首次採用 ISO 9223^[1]環境因子分類方法，依據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沉積速率，進行臺灣本島大氣腐蝕環境分類，並比較過去現地暴露試驗之結果。惟估算時使用之氣象與空氣污染資料僅止於 2000 年，且無 SO₂與氯鹽沉積量之實際量測數據，因此多數地區僅推估出一概括性的大氣腐蝕環境分類。因此本所於 2007 年 3 月至 2009 年 10 月委託工研院材化所執行「臺灣地區大氣腐蝕劣化因子調查研究」，針對臺灣全島地區進行大氣腐蝕劣化因子調查，目前建置氯鹽沉積量調查 61 個試驗點，二氧化硫沉積量調查 50 個試驗點，現地暴露試驗調查 88 個試驗點，進行試驗取樣與分

析工作。

並於 2009 年 7 月持續執行「大氣腐蝕因子調查及腐蝕環境分類之研究」。相關國內大氣腐蝕研究歷程如表 1-1 所示。

1.3.2 水下腐蝕研究概況

自 1986 年第 3 屆全國科技會議之決議，將腐蝕防蝕工程技術之研究列為國家重點科技，並整體規劃國內相關技術研究能力，以達到更有效處理國內所遭遇到之間題，因此本所港灣研究中心與工業技術研究院工材所，中鋼公司及中華民國防蝕工程學會等單位，自 1986 年 7 月至 1991 年 6 月共同合作研究台灣海域腐蝕特性防蝕設計材料選用及開發特性^[1]，各發揮所長共同尋求有效發展防蝕材料與方法。在海洋結構物與鋼筋混凝土材料於各海域腐蝕特性研究，陰極防蝕工程開發設計、防蝕塗料材料、表面被覆構件之腐蝕偵測技術及各種金屬如碳鋼、不鏽鋼、鋁合金等水下腐蝕速率比較，並邀請相關國內外學者專家來講述防蝕技術及推廣教育工作並協調各施工單位，擬定長期合作計畫。另外自 1986 年 7 月至 1991 年 6 月，針對港灣 R.C 結構物之耐久性^[2-3]提供良好之設計與施工規範，提出港灣鋼筋混凝土結構物耐久性研究計劃，並對各港之 RC 結構物之腐蝕特性作一通盤性之了解，並提供防蝕良策以為進行維修工作之參考，作為日後建港之參考。於 1988 年展開澎湖跨海大橋腐蝕問題研究調查^[4]，剖析跨海大橋腐蝕原因，建立腐蝕調查及研究之邏輯，以澎湖跨海大橋中間段在改建路堤工程未完工前，原橋樑應作修補工作之建議並提供新建工程防蝕對策。提供國內交通橋樑及主要公共措施定期腐蝕調查與安全評估偵測之參考。從早期的調查研究發現，各港口鋼板樁碼頭腐蝕況狀差異極大，因此於 1989 年 7 月至 1994 年 6 月進行港灣鋼結構物耐久性研究^[5-8]，了解港灣鋼結構物能在設計使用年限內安全發揮功能，建立定期檢查制度及優先考慮裝設適當之防蝕措施。通盤了解及建立現有各港口鋼結構物耐久性之完整資料，以利日後新建鋼結構或維修現有鋼結構物之規範。但由於海洋結構物修理較為困難，修理後常感效果不彰，經常需要再作重覆之修理，浪費人力、物力，於 1992 年 7 月至 1993 年 6

月進行港灣鋼筋混凝土結構物修理系統評估研究^[9]，各大港口鋼筋混凝土結構物之現況作一調查，並對其修理方法作一通盤瞭解並檢討優劣點。在 1995 年 6 月至 1996 年 7 月港灣構造物腐蝕機理與維修防制之研究^[10]為延續港灣鋼結構物之耐久性研究進行高雄港與基隆港之鋼板(管)樁腐蝕調查，探討水文及污損生物對陰極保護、防污塗料、混凝土、不鏽鋼、裸鋼等材料腐蝕之影響。1996 年 6 月至 2001 年 7 月現有結構物安全評估及維護研究^[11-17]，調查基隆港、蘇澳港、高雄港區內港工結構材料之海生物附著種類，並檢討其對港灣常用材料如碳鋼及混凝土等之腐蝕及海生物附著影響以及探討添加飛灰之混凝土與安裝犧牲陽極材料對於防制海生物附著或材料腐蝕之效果。計畫中建立 R.C. 結構物劣化非破壞性檢測技術、電化學維修技術工法、港區內水文與海生物附著對結構體(鋼構物)腐蝕之相互關係，並制定完成港灣結構物陰極防蝕準則草案之訂定(R.C.結構物部份)，建立完善之維護制度，提供各港務局使用。2001 年 1 月至 2001 年 12 月碼頭鋼板樁現況調查與腐蝕防治研究^[18]，進行基隆、花蓮、台中、高雄、蘇澳等五大港口之碼頭鋼板（管）樁調查，藉由對碼頭鋼板（管）樁腐蝕現況之長期監測，得以提供相關之本土資訊，作為設計及維護參考，並整理歸納影響鋼板（管）樁腐蝕之因子探討適用於本島碼頭鋼板（管）樁腐蝕防治方法。

相關國內水下研究歷程與研討會主題內容如表 1-2 所示。

表 1-1 臺灣地區大氣腐蝕試驗相關研究歷程

研究單位	研究方向	測試地點	研究期間
臺灣電力公司	Carbon steel, Stainless steel, Galvanized steel, Al, Al alloy, Cu, Cu alloy	金山 (核一廠)	1971.12-1974.7
		澎湖	1984.9-1985.8
		土城	1984.7-1986.6
		林口發電廠	1988.5-1990.4
	Thermal spray of Zn, Al, Cu, Zn/Al, Cu/Zn on carbon steel	澎湖, 陽明山, 林口發電廠	1989.1-1990.12
工業技術研究院	Carbon steel with and without painting	林口發電廠	1983.7-1987.6
		澎湖	1984.7-1987.6
		金山- 汐止	1984.7-1985.6
	Carbon steel and weathering steel with and without painting	臺西	1984.11-1987.6
	Carbon steel, 304, 316 Stainless steel, Cu, Al, Zn, and thermal spray of Al, 5/95 Al/Zn on carbon steel	陽明山	1986.7-1987.6
	Carbon steel, Stainless steel, Weathering steel, Galvanized steel, Al alloy, Cu alloy, etc.	陽明山, 頭城, 樹林, 新竹, 臺中港, 奮起湖, 興達電廠, 高雄, 花蓮, 澎湖	1987.7-1992.6
	Carbon steel, Zn, Al, Cu (ISO 9226)	竹東, 小港, 佳洛水, 麥寮, 枋山, 斗南, 臺東, 大武, 新營, 土城, 以及 1987 至 1992 之測試地點	1992.7-1995.6
	依據 ISO 9223 環境因子分類方法，使用中央氣象局公佈之相對濕度資料、環保署公佈之 SO ₂ 濃度與過去各單位調查研究之氯離子沉積速率數據，進行臺灣本島大氣腐蝕環境分類		2004-2005
	執行交通部運研所港灣技術研究中心委託「臺灣地區大氣腐蝕劣化因子調查研究」計畫		2007.3-2009.10

研究單位	研究方向	測試地點	研究期間
中華電信研究所	Galvanized steel wire (Class A, B, C), Al-coated steel wire	澎湖, 基隆, 北投, 高雄, 屏東, 臺東	1984-1986
臺灣大學	SS41, Zn and Zn/Al galvanized steel, 304 Stainless steel, Cu, 953 Cu alloy, Al, 356 Al alloy	蘇澳港, 臺北市, 頭城, 宜蘭, 高雄, 臺中港, 林口發電廠, 興達電廠, 通霄發電廠	1987.5-1990.1
成功大學	SS440, Weathering steel, 304, 430 Stainless steel, Zn and Zn/Al galvanized steel, Cu and Cu alloy	臺南市, 安平工業區	1998.4-2001.4
中國鋼鐵公司	Carbon steel, Weathering steel	中山大學, 中鋼, 新竹	1990.8-present
	Carbon steel, Weathering steel, Galvanized steel	中山大學, 中鋼, 新竹, 樹林, 林口電廠	1993.12-present
交通部運研所港 灣技術研究中心	大氣腐蝕因子調查及腐蝕環境分類之研究(1/4)	氯鹽沉積量調查 61 個試驗點, 二氧化硫沉積量調查 51 個試驗點, 現地暴露試驗調查 87 個試驗點	2010.07- 2011.12
	大氣腐蝕因子調查及腐蝕環境分類之研究(2/4)	氯鹽沉積量調查 61 個試驗點, 二氧化硫沉積量調查 51 個試驗點, 現地暴露試驗調查 87 個試驗點	2012.01-2012.12
	大氣腐蝕因子調查及腐蝕環境分類之研究(3/4)	氯鹽沉積量調查 60 個試驗點, 二氧化硫沉積量調查 49 個試驗點, 現地暴露試驗調查 87 個試驗點	2013.01-2013.12
	大氣腐蝕因子調查及腐蝕環境分類之研究(4/4)	氯鹽沉積量調查 61 個試驗點, 二氧化硫沉積量調查 50 個試驗點, 現地暴露試驗調查 88 個試驗點	2014.01-2014.12
交通部運研所港 灣技術研究中心	金屬材料腐蝕環境調查研究(1/2)	氯鹽沉積量調查 61 個試驗點, 二氧化硫沉積量調查 50 個試驗點, 現地暴露試驗調查 88 個試驗點	2015.01-2015.12

交通部運研所港 灣技術研究中心	金屬材料腐蝕環境調查研究(2/2)	氯鹽沉積量調查 61 個試驗點，二 氧化硫沉積量調查 50 個試驗點，現地 暴露試驗調查 90 個試驗點	2016.01-2016.12
--------------------	-------------------	------------------------------------------------------------	-----------------

表 1-2 臺灣地區水下腐蝕試驗相關研究歷程

研究單位	研究方向	研究說明	研究期間
台灣省政府交通處 港灣技術研究所 中國鋼鐵公司 工業技術研究所 工材所	台灣海域腐蝕特性防蝕設計材料選用及開發特性	海洋結構物與鋼筋混凝土材料於各海域腐蝕特性研究，陰極防蝕工程開發設計、防蝕塗料材料、表面被覆構件之腐蝕偵測技術及各種金屬如碳鋼、不鏽鋼、鋁合金等水下腐蝕速率比較，並邀請相關國內外學者專家來講述防蝕技術及推廣教育工作並協調各施工單位，擬定長期合作計畫。	1986.07-1991.06
台灣省政府交通處 港灣技術研究所	港灣 R.C 結構物之耐久性研究	針對港灣 R.C 結構物之耐久性提供良好之設計與施工規範，提出港灣鋼筋混凝土結構物耐久性研究計劃，並對各港之 RC 結構物之腐蝕特性作一通盤性之了解。	1986.07-1991.06
台灣省政府交通處 港灣技術研究所	澎湖跨海大橋腐蝕問題研究調查	1986 年中美聯合防蝕研討會會議結論中指出我國交通橋樑及主要公共措施應定期舉行腐蝕調查及安全性評估。會後行政院科技顧問組即指示進行初步調查研究。成果如下： 1 充份了解澎湖跨海大橋腐蝕惡化現象之機理，作為新建工程設計及施工人員應注意防範事項及使用者之維修參考，以提高施工技術及工程品質，減少因腐蝕所造成之損失。	1987.01-1987.12

		<p>2 增進對鋼筋混凝土等營建材料耐久性之認知，俾提供國內各單位作更進一步相關研究之基礎與方向。</p> <p>3 · 使用之調查方法及研究方法，可作為鋼筋混凝土偵測之參考，以求事先加以防範，以減少修護或重建之浪費。</p> <p>4 提供修補及防蝕對策，以延續橋樑之服務效能。</p>	
台灣省政府交通處 港灣技術研究所	港灣鋼結構物耐久性研究	<p>了解港灣鋼結構物能在設計使用年限內安全發揮功能，建立定期檢查制度及優先考慮裝設適當之防蝕措施。</p> <p>建立現有各港口鋼結構物耐久性之完整資料，以利日後新建鋼結構或維修現有鋼結構物之規範。</p>	1989.07-1994.06
台灣省政府交通處 港灣技術研究所	港灣 R.C 結構物修理系統評估研究	<p>各大港口 R.C 結構物之現況作一調查，並對其修理方法通盤瞭解並檢討優劣點。</p>	1992.07-1993.06
台灣省政府交通處 港灣技術研究所 海洋大學	港灣構造物腐蝕機理與維修防制之研究	<p>延續港灣鋼結構物之耐久性研究進行高雄港與基隆港之鋼板(管)樁腐蝕調查，探討水文及污損生物對陰極保護、防污塗料、混凝土、不鏽鋼、裸鋼等材料腐蝕之影響。</p>	1995.06-1996.07
台灣省政府交通處 港灣技術研究所	水文及污損生物對材料腐蝕之探討研究	<p>本研究在基隆港東 2、西 21、西 22、西 26、西 27 號碼頭現場擺放試架觀察海生物種類，探討材料 (Alsi11015 碳鋼、Alsi304 不鏽鋼，防止海生物附著油漆塗</p>	1995.01- 1995.12

		<p>料，犧牲陽極），水深（低潮位線上 1 公尺及低潮位線下 1.0, 3.0, 5.0 公尺）與水文及污損生物之關係。</p> <p>經過三及六個月之現場浸漬後，發現</p> <p>(1) 犧牲陽極及防污塗料均能使鋼料防蝕，裸鋼之腐蝕速率則因水深而異，不鏽鋼易因海生物附著而產生孔蝕，且易在海水中造成間隙腐蝕。(2) 海生物種類因不同碼頭而異，(3) 西 21、22、26、27 號碼頭，第二次附著生物採樣所採獲種類，均較第一次採樣之種類多。(4) 東 2 碼頭的兩次附著生物採樣，採獲種類與優勢種則沒有明顯的變化。(5) 防污塗料之試片上，附著生物之種類與數量都遠多於其他材料試片；且優勢種都為線蟲與苔蘚蟲。(6) 陰極防蝕、不鏽鋼、混凝土與裸鋼等四種試片之附著生物種類皆無明顯不同。(7) 四種深度的附著生物種類與數量也有所不同，以中間兩層深度之種類與數量較多。</p>	
交通部運研所 港灣技術研究中心	現有結構物安全評估及維護研究	調查基隆港、蘇澳港、高雄港區內港工結構材料之海生物附著種類，並檢討其對港灣常用材料如碳鋼及混凝土等之腐蝕及海生物附著影響以及探討添加飛灰之混凝土與安裝犧牲陽極材料對於防制海生物附著或材料腐蝕之效果。計畫中	1996.06-2001.07

		建立 R. C. 結構物劣化非破壞性檢測技術、電化學維修技術工法、港區內水文、海生物附著對結構體(鋼構物)腐蝕之相互關係，並制定完成港灣結構物陰極防蝕準則草案之訂定(R. C. 結構物部份)，建立完善之維護制度，提供各港務局使用。	
交通部運研所港灣 技術研究中心 中山大學	高雄港港工結構材腐蝕與海生物附著研究	調查高雄港區內港工結構材料之海生物附著種類，並檢討其對港灣常用材料如碳鋼及混凝土等之腐蝕及附著影響，以及探討添加飛灰之混凝土與安裝犧牲陽極材料對於防制海生物附著或材料腐蝕之效果。	2000.01- 2000.12
交通部運研所 港灣技術研究中心	碼頭鋼板樁現況調查與腐蝕防治研究	進行基隆、花蓮、台中、高雄、蘇澳等五大港口之碼頭鋼板（管）樁調查，藉由對碼頭鋼板（管）樁腐蝕現況之長期監測，得以提供相關之本土資訊，作為設計及維護參考，並整理歸納影響鋼板（管）樁腐蝕之因子探討適用於本島碼頭鋼板（管）樁腐蝕防治方法。	2001.01-2001.12
交通部運研所 港灣技術研究中心	金屬材料腐蝕環境調查研究(1/2) 金屬材料水下腐蝕調查研究(2/2)	建立臺灣地區長期金屬材料水下腐蝕資料庫，以作為新建及既有結構物耐久性與防蝕設計及維護管理之參考需要，安裝水下金屬曝露試驗架於基隆港、蘇澳港、花蓮港、臺中港、高雄港、安平港、	2015.01-2016.12

		布袋港、馬祖福澳港、金門水頭與料羅港區、澎湖龍門尖山港等國內商港，藉此了解在不同環境、金屬材料、海洋生物附著、海水水質等對港區金屬材料腐蝕之長期研究。	
--	--	-----------------------------------------------------------------------------	--

1.4 計畫工作項目

1. 國內外大氣與水下腐蝕文獻蒐集整理分析。

2. 大氣腐蝕因子調查建置：

調查範圍涵蓋臺灣全島區域之試驗場址(點)選定及相關試樣擺放；包含垂直海岸線與平行海岸線之調查規劃，調查區域的選擇須有腐蝕環境分類之代表性(如海洋區、工業區、城市區、鄉村區、鐵公路沿線等)，最終可繪製各腐蝕因子之等位圖。

3. 大氣腐蝕因子調查項目：

包括氣象資料相對濕度、氯鹽(Cl^-)與二氧化硫(SO_2)沉積量之調查，藉以分析季節與區域之關聯性。目前已建置氯鹽沉積量調查 61 個試驗點，二氧化硫沉積量調查 50 個試驗點。

4. 大氣現地暴露試驗：

針對碳鋼、鋅、鋁、銅四種金屬，選擇適當位置進行現地暴露試驗，建立腐蝕速率與大氣腐蝕因子之資料庫，目前已建置 90 個試驗點。

5. 大氣資料蒐集與分析：

完成氯鹽沉積速率、二氧化硫沉積量與金屬現地暴露試驗四次現地取樣及試驗調查分析工作並繪製等位圖。

6. 水下金屬材料腐蝕暴露試驗：

針對港工結構材金屬材料，選擇適當位置建立臺灣地區長期水下腐蝕資料庫，目前已完成建置基隆港、蘇澳港、花蓮港、臺中港、高雄港、安平港、布袋港、馬祖福澳港、金門水頭與料羅港區、澎湖龍門港等國內商港水下試驗架與試片安裝。

7. 水質調查與分析：

於基隆港、蘇澳港、花蓮港、臺中港、高雄港、安平港、布袋港、馬祖福澳港、金門水頭與料羅港區、澎湖龍門港等商港碼頭進

行海水成分中導電度、溶氧量、酸鹼度、溫度、氯鹽、硫酸鹽之水質環境因子等項目現場調查與試驗分析工作。

6. 研究成果：

本研究為 2 年期計畫，今年為第二年計畫，大氣腐蝕研究自 2015.09~2016.09 試驗期間共 4 次採樣，依一年期及各季試驗點所調查之氯鹽沉積速率、二氧化硫沉積量等劣化因子及金屬腐蝕數據整理歸納繪製比較圖。水下腐蝕方面完成基隆港、花蓮港、蘇澳港、高雄港、安平港、布袋港、馬祖福澳港、澎湖龍門港建置水下試驗架與試片安裝。

1.5 預期效益及其應用

1. 瞭解國內金屬材料與環境因子之關聯性並建立金屬於大氣與水下腐蝕速率資料庫。
2. 建立臺灣地區構造物腐蝕環境潛勢分析之完整數據資料庫，提供產官學界辦理構造物耐久性與防蝕設計之參據。
3. 研究成果可應用於後續相關研究及研擬臺灣地區防蝕手冊參酌。

第二章 文獻回顧

2.1 大氣腐蝕測試規範

2.1.1 國外 ISO 大氣腐蝕環境分類

大氣腐蝕測試工作有系統之進行，最早可溯及美國 ASTM 的 D-1 及 A-1 兩委員會自 1906 年起分別測試塗料塗裝及金屬被覆之鋼鐵產品，自此開始美國便陸續展開數個二十年計畫分別測試當時最新產品的大氣腐蝕耐蝕性及耐久性。國際標準化組織-ISO 於 1985 年起於全球 13 國 47 處地點進行大氣腐蝕暴露試驗，根據這試驗工作成果，於 1992 年發佈 ISO 9223^[19] (大氣腐蝕性分類)、ISO 9224^[20] (各腐蝕環境中腐蝕率指標值)、ISO 9225^[21] (污染量量測方法)、及 ISO 9226^[22] (標準試片腐蝕率量測方法)四項標準規範，根據這四項規範，只要在欲工作地點從事一年期之標準試片腐蝕率量測或潤濕時間量測及總污染量量測，根據量測結果，即可定義該處的腐蝕環境區分，再根據對照表即可得到該腐蝕環境區分之腐蝕率指標值。換句話說，ISO 9223 大氣腐蝕性分類標準是根據金屬標準試片在某環境中進行自然暴露試驗所得之腐蝕速率，或綜合某環境中大氣污染物濃度和金屬表面潤濕時間而進行分類，其中，潤濕時間(τ , Time of Wetness)是以全年中溫度高於 0 °C，相對濕度大於 80% 之小時數或百分比來區分，環境中大氣污染物濃度的嚴重性則是以 SO₂ 沉積速率或濃度與氯化物(海鹽)沉積速率分別進行區分，之後，將環境之腐蝕性依污染量或最初第一年之腐蝕率大小，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)。整體流程如圖 2.1 所示。

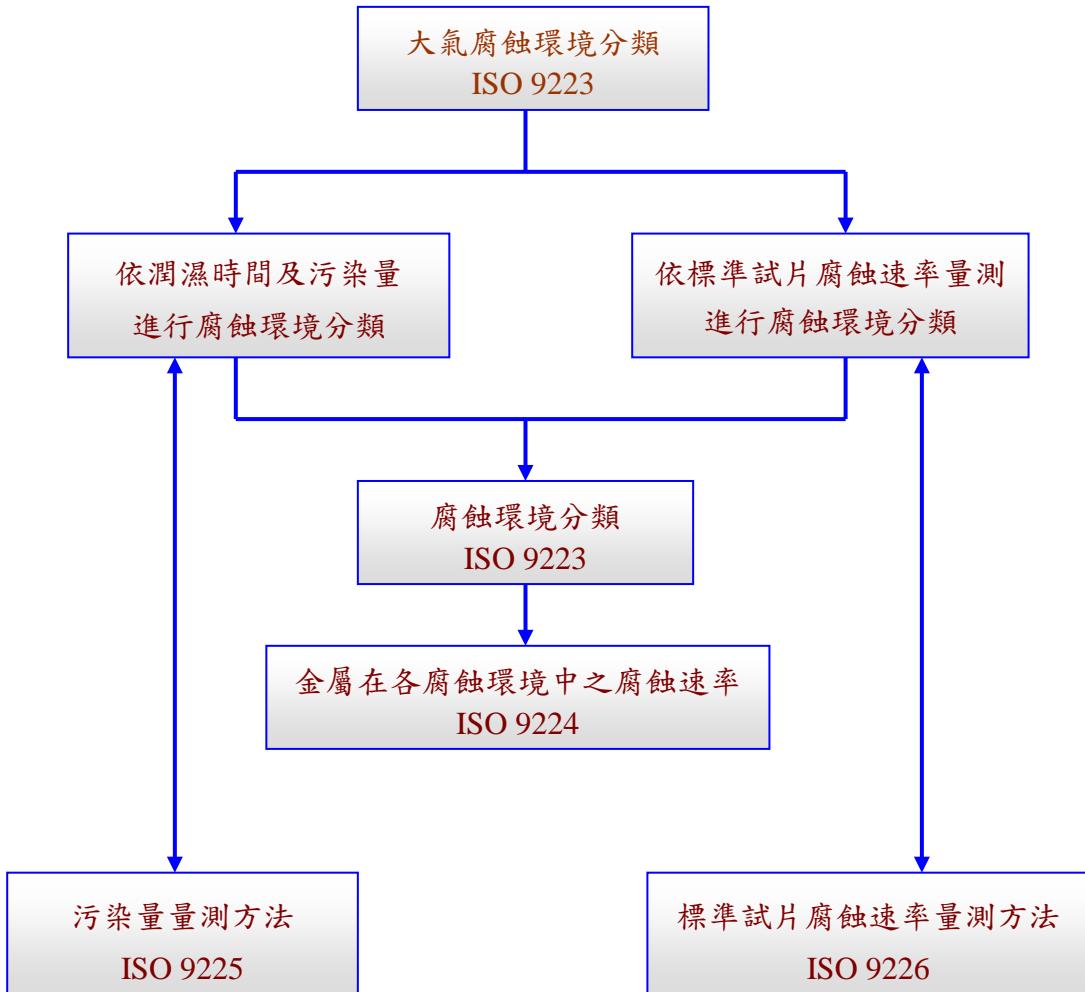


圖 2.1 ISO 大氣腐蝕環境分類

2.1.2 國外 CLIMATE TEST 大氣腐蝕環境分類

依據 ISO 9226 量測大氣腐蝕速率有兩種方式，板狀試片與螺旋狀金屬試片，板狀試片是傳統的量測方式，而螺旋狀試片 - CLIMAT TEST 則是源自貝爾實驗室(原名為 “Wire-on Bolt Test”)，其目的為用以研究偶合金屬在戶外環境的腐蝕行為，ASTM G116-93^[23]規範為標準測試方式。CLIMAT 是取 Classify Industrial and Marine Atmospheres 的字首，而其測試試片是由兩種不同異金屬(Bi-metallic)所組成，即將細金屬線纏繞在螺桿上產生腐蝕電池，並暴露在大氣環境中約 3-6 個月後，再以細金屬線的重量損失率來評估當地的大氣腐蝕行為。通常金屬線是使

用鋁線(AA-1050)纏繞在螺桿上，或者纏繞成螺旋狀，製作規格是螺旋狀直徑為 2.5cm、鋁線直徑 0.89mm、長度約 90cm、螺桿長度 10cm、直徑 1.27cm、螺牙規格 1/2 UNC。由於鋁線與銅桿在工業性大氣腐蝕環境中有較高的靈敏度，因此取 Al-Cu 組合為工業性環境腐蝕指標，簡稱 I.C.I. (Industrial Corrosivity Indices)。在海洋性大氣腐蝕環境中則以鋁線繞在鐵桿的靈敏度較高，取 Al-Fe 組合作為海洋性環境腐蝕指標 M.C.I. (Marine Corrosivity Indices)，另外 Al 線纏繞成螺旋狀(Al-Coil)及 Al 線繞在塑膠螺桿(Al-Plastic)定為 Al 線在大氣環境的腐蝕指標 (Al-A.C.I.)。每一測試裝置是由 Al-Fe、Al-Coil、Al-Plastic、Al-Cu 等四個不同組合單元所組成，並且均固定在一方形塑膠板上，如圖 2.2 所示；再依據腐蝕指標的高低，將大氣環境區分為腐蝕性"可忽略 (Negligible)"，"輕微(Moderate)"，"輕微嚴重(Moderate Severe)"，"嚴重(Severe)"，與"較嚴重(Very Severe)"等五級。

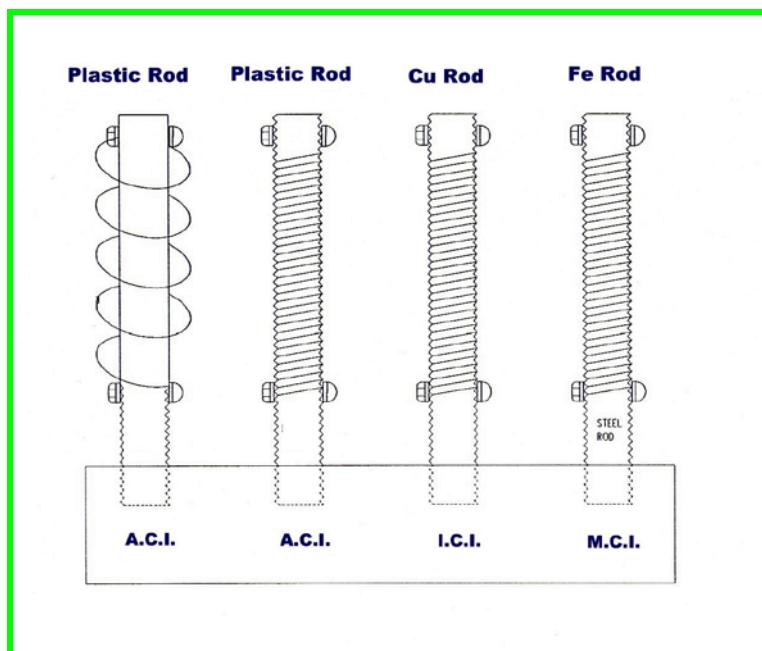


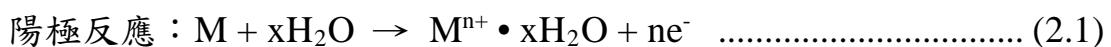
圖 2.2 CLIMATE TEST 大氣腐蝕測試

2.1.3 中華民國國家標準 CNS 規範

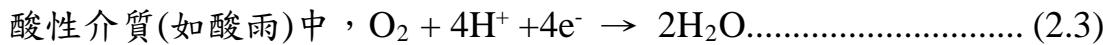
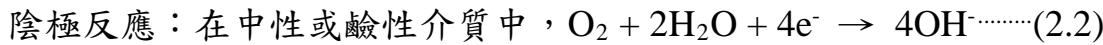
有鑑於大氣腐蝕測試的重要，經濟部標準檢驗局於民國 83 年起依據國際標準化組織-ISO 規範(ISO 9223、ISO9224、ISO 9225、ISO 9226、ISO8565^[24])，制定一系列之「金屬及合金之腐蝕-大氣腐蝕性」國家標準 CNS 規範，包括 CNS13401^[25]金屬及合金之腐蝕-大氣腐蝕性之分類，CNS13753^[26]金屬及合金之腐蝕-大氣腐蝕性(測定標準試片之腐蝕速率以評估腐蝕性)，CNS13754^[27]金屬及合金之腐蝕-大氣腐蝕性(污染之測定)，CNS14122^[28]金屬及合金之腐蝕-大氣腐蝕-試片腐蝕生成物清除法，CNS14123^[29]金屬及合金之腐蝕-大氣腐蝕測試(現場測試之一般要求)等五項規範。其中針對大氣腐蝕劣化因子所須的環境資料，於 CNS14123 中規定，須具備氣溫($^{\circ}\text{C}$)、相對濕度(%)、降雨量(mm/day)、日照輻射的時間及強度、二氧化硫沉積量(CNS 13754， $\text{mg}/\text{m}^2/\text{day}$ or $\mu\text{g}/\text{m}^3$)、與只適用於海邊測試場地之氯鹽沉積速率(CNS 13754， $\text{mg}/\text{m}^2/\text{day}$)等參數；其他因素，如降雨時間、濕潤時間、風速及風向、雨水 pH 值、氣體量及特殊的污染物等，皆可依測試條件的要求而加以蒐集量測。此外，在進行戶外暴露實驗時，因開始暴露的季節不同會造成腐蝕速率的不同，所以 CNS14123 中建議，長期或短期的暴露測試應在腐蝕速率最高的時期(如春、秋季)開始進行。

2.2 大氣腐蝕因子介紹

大氣腐蝕依腐蝕反應可分為化學與電化學反應。在乾燥無水的大氣環境中，金屬表面因氧化、硫化而造成變色或失去金屬光澤等，是為化學腐蝕，而其它劣化行為，則多為電化學反應。即金屬表面為薄層電解液下的腐蝕過程，電解液薄膜是由空氣中的水分於金屬表面吸附、凝聚、及溶有空氣中污染物質所形成，陽極反應為金屬的溶解和水化反應，陰極反應為氧的還原反應，其反應過程如下：



式中，M 代表金屬， M^{n+} 為 n 價金屬離子， $M^{n+} \cdot xH_2O$ 為金屬離子化水合物。



由於水、氧在水膜間的擴散率、大氣中的氯離子含量、以及空氣中的污染物質如 SO_2 、灰塵等，均會影響金屬在大氣中的腐蝕速率，這些腐蝕因子在金屬大氣腐蝕過程中所扮演的角色如下^[30]：

1. 水

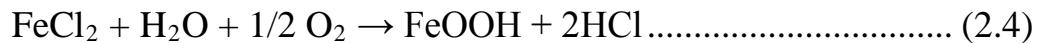
水是引起大氣腐蝕最重要的因素。經驗顯示，唯有當大氣的相對濕度高於某一臨界值時，大氣腐蝕才會發生；因此大氣腐蝕也是一種電化學腐蝕，在特別乾燥地區，大氣腐蝕幾乎不會發生，但在熱帶潮濕地區，腐蝕速率相對較高。大氣腐蝕中，水是以液狀薄膜附著於金屬表面，水固化成冰時，大氣腐蝕便停止。由於雨水、霧氣等是液膜的主要來源，但雨水扮演的角色較複雜，它可能會帶來高溶解度物質而加速腐蝕速率，但也可能沖走一些附著的腐蝕性物質而抑制腐蝕；同時，它亦可能沖走一些具有保護作用的腐蝕生成物，進而加速腐蝕。由霧氣所生成的液膜雖薄，但因氧氣及其他腐蝕性物質的飽和性，反而具有較強的腐蝕性。

2. 氧

當金屬發生大氣腐蝕時，表面液膜很薄，氧氣容易到達陰極表面，且氧的平衡電位較氫為正，所以，金屬在有氧存在的溶液中，首先發生的反應為氧的還原反應。此外，在大氣腐蝕的條件下，氧通過液膜到達金屬表面的速度很快，所以液膜愈薄，擴散速度愈快，陰極氧的還原反應將促使陽極反應繼續進行；但當液膜未形成時，氧的陰極還原反應將無法進行。

3. 氯離子

氯化物在金屬表面上有助於在較低的相對濕度形成液膜，其在腐蝕過程中會阻止氧化膜(oxide films)的形成，進而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，氯離子會破壞鈍態膜，造成孔蝕。 Cl^- 與鐵的作用較特別，由於 FeCl_2 不是緊密結合之化合物，所以 Cl^- 很容易從氯化亞鐵中釋放出來，再與其他金屬作用，進而加速腐蝕反應。過程如下：

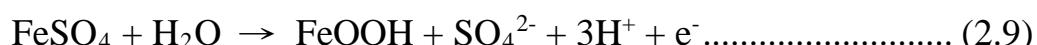


4. 空氣中的污染物質 SO_2

SO_2 在水溶液中具有極高的溶解度(16.2g SO_2 /100g H_2O)，且 SO_2 與 O_2 作用形成 SO_4^{2-} 再和鐵循環作用，將會加速腐蝕反應。Florianovich 等人指出^[31]，在固定電極電位時，陽極溶解溶解電流是 $[\text{OH}^-]$ 與 $[\text{SO}_4^{2-}]$ 的共同函數，在含 SO_2 的大氣中，腐蝕反應步驟如下：



由於 FeSO_4 會與 H_2O 作用生成 FeOOH ，而釋放出來的 SO_4^{2-} 則再一次與 FeOH 作用：



因而加速腐蝕反應。

5. 灰塵

不同地區的灰塵有不同的成份，在鄉村地區通常是來自地表的有

機或無機物質，而在都市或工業地區則含有高濃度的工業污染物質及水溶性無機物質，如 SO_2 , NO_2 等。灰塵將有助於液膜在較低相對濕度下於金屬表面生成。

2.3 影響大氣腐蝕的因素

1. 大氣的相對濕度

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，與空氣中氧氣通過水膜進入金屬表面，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%^[32]。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。

2. 表面潤濕時間

依國際標準 ISO 9223 的定義，表面潤濕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在金屬表面上的時間；潤濕時間愈長，腐蝕總量愈大。而金屬表面的潤濕，則是由露水、雨水、高濕度水分凝聚、甚至溶化的雪水所引起。

3. 日照時間

日照的紫外光會促使高分子材料及塗層老化，因此日照時間對於高分子材料及塗層，關係較為密切；但對金屬材料而言，日照時間長，將使金屬表面水膜消失，降低表面潤濕時間，腐蝕總量減少。

4. 氣溫

溫度的變化能影響金屬表面水蒸氣的凝聚、水膜中各腐蝕氣體和鹽類的溶解度、水膜電阻、以及腐蝕過程中陰、陽極的反應速度。一般而言，當相對濕度低於金屬臨界相對濕度時，溫度對大氣腐蝕的影響很小，即無論氣溫多高，因環境乾燥，金屬腐蝕輕微；但當相對濕度達到金屬臨界相對濕度時，溫度每升高 10°C ，反應速率增加為原來之 2 倍。

5. 降雨

降雨對大氣腐蝕有兩種影響，一方面因降雨增加，大氣中的相對濕度增加，延長了金屬表面的潤濕時間，同時也因降雨的沖刷，破壞了金屬表面腐蝕產物的保護性，加速大氣腐蝕；但另一方面，因降雨沖洗掉金屬表面的污染物與灰塵，減少了液膜的腐蝕性，減緩大氣腐蝕。此外，工業大氣中的雨水溶解了空氣中的污染物，如 SO_2 、 Cl^- 等，亦加速大氣腐蝕的產生。

6. 風速與風向

風速對表面液膜的乾濕交替頻率有一定的影響，在風沙環境中，風速過大對金屬表面會有磨耗作用。而在污染源的環境中(如工廠的排煙、海邊的鹽粒子)，風向會影響污染物的傳播，直接關係到大氣腐蝕速率。

7. 降塵

固體塵粒對腐蝕的影響可分為 3 類：(1)塵粒本身具有可溶性與腐蝕性，當溶解於液膜中時，成為腐蝕性介質，(2)塵粒本身無腐蝕性，亦不溶解(如碳粒)，但它能吸附腐蝕物質，當溶解於液膜中時，加速腐蝕反應，(3) 嘉粒本身無腐蝕性與吸附性(如沙粒)，但落在金屬表面，可能使沙粒與金屬表面間形成縫隙，易於水分凝聚，產生局部腐蝕。

2.4 鋼材在海水之腐蝕

2.4.1 鋼材之腐蝕機理

金屬發生腐蝕為一自然的反應程序，大多數的金屬材料曝露於宇宙大氣環境下，都會自然發生物質退化，逐漸被腐蝕的現象，尤其是在酸、鹼或海水等環境下，腐蝕更趨嚴重。腐蝕是電化學反應之行為，其間涉及電子的轉移，如金屬由原子狀態因放出電子而變成金屬離子，或金屬離子因獲得電子而成為金屬，因而構成氧化(陽極)及還原(陰極)反應之發生。因此，任何腐蝕的發生，必須具有陽極反應和陰極反應以及能使電子或離子流動轉移之導電途徑(亦即電解質)，形成一封閉的導電迴路，如圖 2.3 所示。

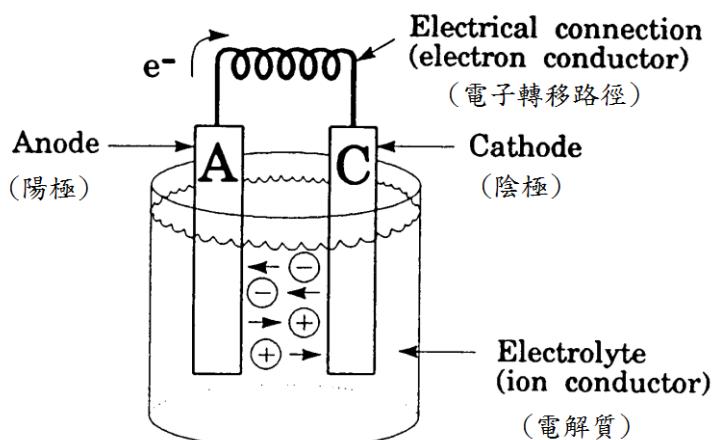
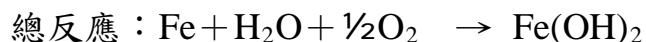
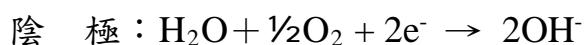
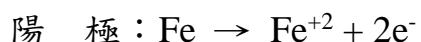
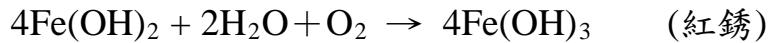


圖 2.3 水溶液系統之腐蝕程序示意圖

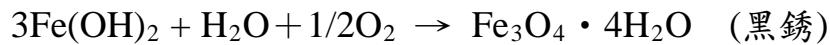
海水中之鋼材如鋼板樁之表面，因同時具有許多高活性區域(陽極反應)與鈍化區域(陰極反應)所形成之許多小腐蝕電池(corrosion cell)系統，導致鋼材發生表面腐蝕現象。鋼材在海水中發生腐蝕之電化學反應程序如下：



總反應式中之 Fe(OH)_2 繼續反應，生成 Fe(OH)_3 或 $\text{Fe}_3\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 產物，其化學反應式如下：



或



2.5 影響鋼板樁腐蝕之因子

2.5.1 曝露區域

從許多調查研究發現，由於彼此接觸(曝露)環境不同，海洋結構物腐蝕的部位及速率有很明顯的差異，其腐蝕形態不同。因此為方便區分與探討，特將海洋環境區分成五個曝露區域，各區域與腐蝕速率之關係如圖 2.4 所示。

1. 大氣帶

這部份之鋼結構物不接觸海水，表面完全曝露接觸大氣中之各種介質，諸如氣體、日照……等大自然介質，由於海洋大氣中含有較高濃度之海鹽粒子，加上濕度大、日照、溫度之變化，致使碳鋼材料外表很容易受到侵蝕，其腐蝕速率為一般內陸地區大氣腐蝕的 2~5 倍。

2. 飛沫帶

自平均高潮位以上至海面大氣帶下端，屬於海洋大氣與海水交界面，鋼板樁曝露於此範圍內時，由於不斷反覆地受到海浪的潑濺以及日曬乾燥，產生乾濕循環作用，致使附著鋼材表面之鹽份及氧氣濃度不斷增濃，腐蝕最為嚴重，腐蝕速率很大，為五個曝露區域中，腐蝕最嚴重的部位。一般低碳鋼如沒有任何防蝕處理時，其腐蝕速率可達 $0.5\sim1.0\text{mm/yr.}$ ，約為海中帶(海水全浸區)的 5~10 倍。

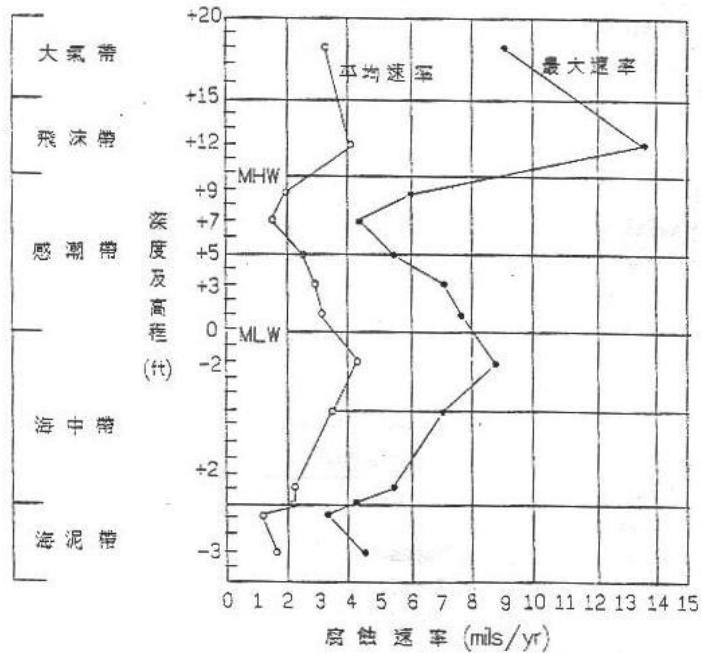


圖 2.4 鋼板樁曝露區域與腐蝕速率之關係

3. 感潮(潮汐)帶

此區域介於高低潮位之間，由於受到海水漲退潮之變化，鋼板樁表面週期性的接觸海水浸泡及曝露於大氣中，猶如進行乾濕循環作用。由於空氣與海水波浪之交夾作用，致使海水中之溶氧濃度高，因而在感潮帶下方緊鄰海中帶之部份，恰可形成一個氧氣濃淡電池作用之現象。因此溶氧量高之感潮帶中之鋼板，可視為一陰極反應面積，腐蝕速率低，而低潮位下約 1 米處(亦即海中帶部份)，因溶氧量低，故可將海中帶內之鋼板當成陽極反應部位，因此腐蝕量較大。由於受到氧氣濃淡電池作用，感潮帶中之腐蝕速率為五個曝露區域中最低者。

4. 海中帶

自低潮位下端至海泥(床)帶間，在此範圍內整個結構體完全浸泡於海水中。此區域之上端邊緣與最低潮位緊鄰的部位，因氧氣濃淡電池之作用，曝露於海中帶之鋼板可視為一陽極反應區域，因此海中帶上端部位之鋼板腐蝕速率很大，極需做適當的防蝕保護措

施。在此區域中，海生物之附著、海流之衝擊、水溫及溶氧量等因素，亦會影響腐蝕速率。海水中鋼鐵之腐蝕速率一般為 $0.1\sim0.2\text{mm/yr.}$ 。

5. 海泥(床)帶

鋼板(管)樁埋入於海底土層之部份，由於與海水接觸面較小，鋼材之腐蝕速率相對很小。但是在污染的海域中，如有硫化氫(H_2S)或海泥中有硫酸還原細菌存在的話，則鋼材的腐蝕性會增加，腐蝕速率變大。

2.5.2 海水的性質

海水是一個極複雜的水溶液，為大自然環境下一個包容性非常大的緩衝溶液，碼頭鋼板(管)樁絕大部份(約 80%)都浸泡於海水溶液下，其間金屬材料發生腐蝕之變化很大，因此有關海水之化性、物性及相關影響因素都必須深入探討之。

1. 含鹽量

海水與其它水溶液最大的不同點，即海水含有很高的鹽份(以氯離子濃度或鹽度表示之)，亦是鋼鐵材料最易發生電化學腐蝕反應之環境。在廣闊的大海中，海水中大約含有 3.5%(重量百分比)之氯化鈉(NaCl)或鹽度(Salinity)約介於 32~36 之間。在封閉的海灣水域，由於蒸發作用致使海水鹽度較高，例如紅海其鹽度約為 41，而在有河川流入之海口附近，因受陸地淡水溪流之稀釋，則鹽度較低。

海水中之 Cl^- 能穿透破壞鋼鐵表面之鈍化性質或阻止鈍態保護膜之生成，因而使鋼鐵表面發生腐蝕。據美國海軍研究人員 Reinhart 在太平洋海域所做試驗發現^[33]，海水含鹽量之多寡與溶氧量、pH 值、溫度、水深等均有相互關係，如圖 2.5 所示。

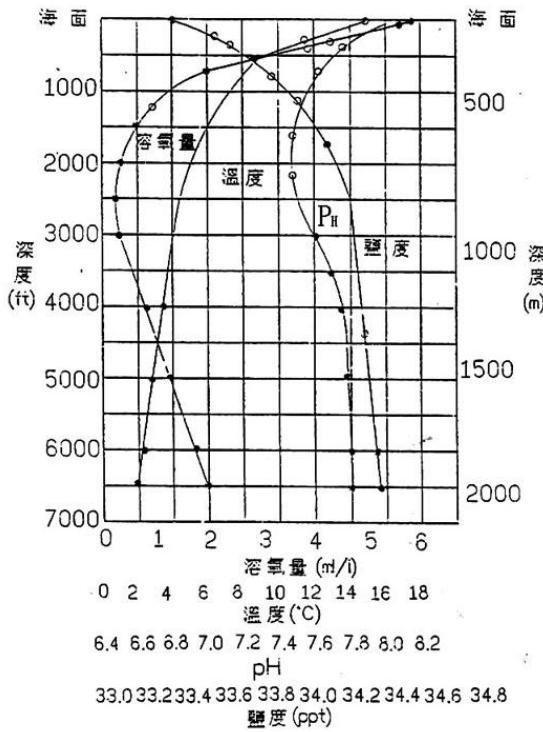


圖 2.5 海水之含鹽量與溶氧量、pH 值、溫度、水深之關係

2. 溫度

海水之表面溫度，通常受到地球上緯度之影響而有所變化。其變化範圍從極地-2°C 至赤道 35°C 之間。溫度之變化，對海水之化性、物性及海洋（微）生物滋長等都有相當密切關係。因此從金屬材料腐蝕反應觀點下，海水溫度之變化就變成一個極複雜的變數。一般而言，溫度是影響動力學上之反應速率及質量傳送。在動力學理論控制下，溫度每上升 10°K，腐蝕速率則增加一倍。當海水溫度升高時，致使鋼材變成較不貴重電位之金屬，此時鋼材之腐蝕電位開始移向電位更負之方向，亦即鋼材更容易進行腐蝕反應。港灣結構物等開放系統，隨溫度上升，溶氧量減少，鋼鐵之腐蝕速率變大，而如海水管線等密閉系統，雖然沒有溶氧量減少之發生，腐蝕速率仍隨溫度之上升而遞增。

3. pH 值

海水通常為一含鹼性之水溶液，海水之 pH 值是表示海水中多種基本離子與大氣層中之二氧化碳(CO_2)進入海水之量，達成平衡狀況之數值。一般海水之 pH 值正常情況下是介於 8.1 至 8.3 之間。但在停滯不流動之港灣海域中或是海水中之有機物體分解，一方面消耗海水中之溶氧量，一方面受到厭氧細菌作用產生大量之 H_2S 下，亦可能使海水變成較酸性，海水之 pH 值降低至 7.0 以下。但在較接近海水表面之部位，當海水中之植物進行光合作用時，將會消耗海水中之 CO_2 量，此時海水之 pH 值可能增高而超過 9.0 以上。又 pH 值之變化隨著海水之深度、溫度、溶氧量…等因素之不同而異，如圖 2.6 所示^[34]。

一般金屬材料在水溶液之腐蝕反應速率與 pH 值有密切關係^[17]，但是當 pH 值介於 4~10 之間時，金屬維持一定腐蝕速率如圖 2.6 所示，而僅與氧氣擴散至金屬表面之速率有關。

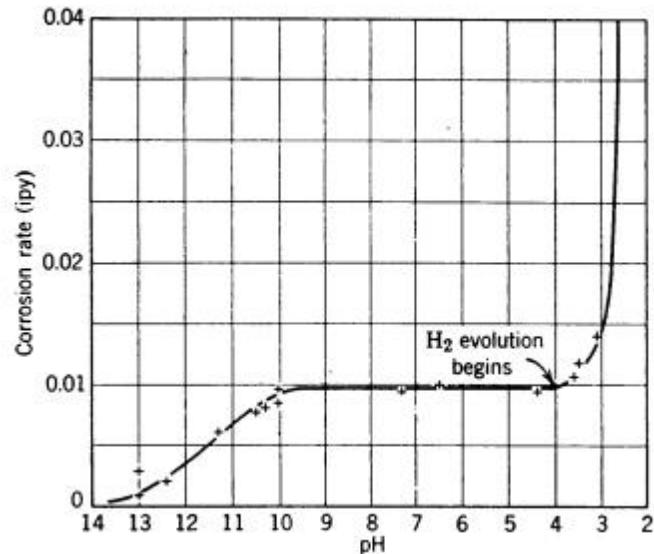


圖 2.6 鋼材腐蝕速率與 pH 值之關係

通常鋼材在海水中極易發生腐蝕，金屬表面生成一層阻礙氧氣擴散之 $\text{Fe}(\text{OH})_2$ 膜，隨著腐蝕之進行，此膜不斷的更新滋長，並與鹼性海水接觸，因此鋼鐵表面之 pH 值約為 9.5。當海水 pH 值低於

4 時，鋼材表面之 Fe(OH)_2 鈍態保護膜被溶解，鋼鐵表面之 pH 值降低。鋼材之次表面層不斷地析出且更能直接與海水接觸，腐蝕速率增大約等於氫氣生成與氧氣去極化作用所產生之腐蝕速率。而 pH 值大於 10 時，增加環境之鹼性，亦增加鋼鐵表面之 pH 值，因此鋼鐵表面之鈍態保護膜不易溶解，腐蝕速率大幅降低。

4. 溶氧量

氧是海水中金屬發生腐蝕最主要的催化劑。主要原因乃是鋼材腐蝕電化學反應過程中，氧在陰極半反應部份中與水作用生成 OH^- ， OH^- 再與陽極半反應部份中溶解出之 Fe^{+2} 作用，形成 Fe(OH)_2 之腐蝕生成物，如果氧氣供應充足時，則 Fe(OH)_2 繼續繁衍生成各種不同之鐵鏽生成物。海水中鋼鐵之腐蝕速率依其表面之溶氧量而定，若海水之溶氧量增加時，則接觸鋼鐵表面之氧量增加，其腐蝕速率增大，相對關係如圖 2.7 所示^[35]。在正常的大氣壓下，海水之溶氧量與溫度及鹽度維持一平衡關係。

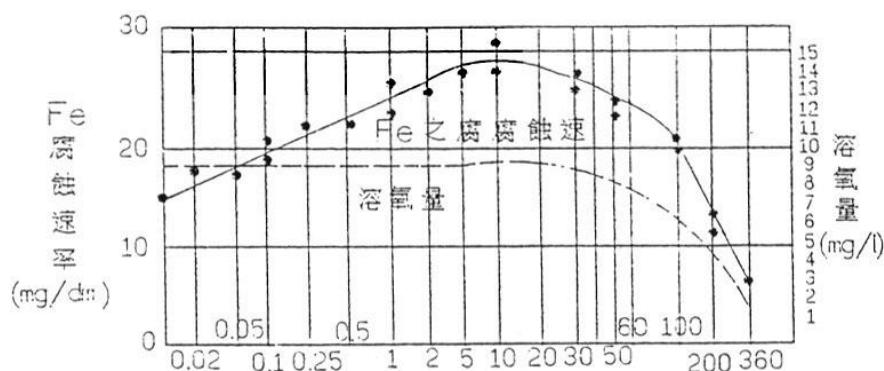


圖 2.7 鋼材之腐蝕速率與溶氧量之關係

溶氧量亦隨海水深度而有所差異，主要受到海中植物進行光合作用或有機生物體之分解作用，而致使溶氧量有所消長。在深海處溶氧量低，對大多數之金屬而言，其腐蝕速率相對亦低。溶氧量亦受海水流速之增大而增濃，但受某些好氧細菌之作用(消耗)而降低濃度。

5. 導電度(conductivity)

海水之導電度是決定金屬腐蝕量多寡之一個重要因素，尤其是在有伽侖尼偶合作用(Galvanic coupling)及金屬表面局部有間隙存在的地方。從腐蝕工程師之觀點來看，海水與其它水溶液比較時，最主要的特徵是海水具有很高的比導電度，約比一般水溶液高 250 倍以上。海水之高比導電度容易造成金屬表面大面積的發生腐蝕反應，尤其是金屬表面之陽極面積小而陰極面積大時，腐蝕更是嚴重，最後形成局部孔蝕或間隙腐蝕。導電度之倒數謂之比電阻(resistivity)，為陰極防蝕設計上，陽極材料放電(消耗)大小之主要影響因子之一。

6. 深度

海水深度對金屬腐蝕之影響，現有公開的研究調查資料並不多。美國海軍試驗站研究人員於 1966 年，曾在太平洋的試驗站做深海腐蝕試驗，結果顯示：腐蝕速率隨著深度之增加而呈遞減趨勢，但亦有例外。如深至海床泥土時，若有硫化合物存在時，更能助長厭氧性之硫酸還原菌之滋長，最後更可能加速金屬之腐蝕反應速率。

7. 流速

海水流速對金屬腐蝕速率有多方面的影響，它不但能增加較易到達接觸金屬表面之溶氧量，又能因海流衝擊之機械效應，去除金屬表面鈍態保護膜，更促使氧氣較易對金屬表面進行擴散及濃度極化，造成金屬發生腐蝕^[36]。圖 2.8 為腐蝕速率與海水流速之關係。

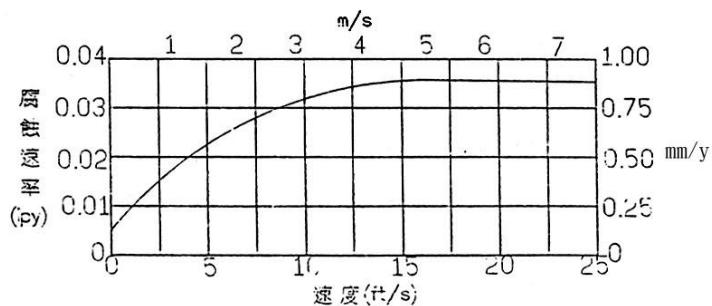


圖 2.8 鋼材腐蝕速率與海水流速之關係

8. 迷失電流

迷失電流乃指不沿正規路徑，而走其它路徑流通之電流謂之。一旦這種迷失電流進入金屬結構物時，在離開結構物之處，會發生電蝕現象並加速腐蝕速率。海洋結構物諸如碼頭鋼板樁、油井平臺，船舶停泊港口卸貨或進行電焊維修工程時或安裝防蝕系統(外加電流)時，其供電設備，諸如發電機，直流電源供應器等，可能發生斷路或漏電，這些電流可能經由船殼或直接流入海水中，由於海水是良好之電解質，更容易將這些電流傳導至鋼板樁等金屬結構物，迷失電流一旦進入結構物，則會加速腐蝕速率，碼頭鋼板樁遭受迷失電流襲擊的過程如圖 2.9 所示^[37]。通常一片金屬表面，在陽極部位(金屬溶解釋出離子)由於受到迷失電流的影響，所造成腐蝕量可由法拉第定律計算出。例如一安培直流電之迷失電流，流經鋼鐵結構物至海水中，每年將可腐蝕掉結構物約 9.1kg 之鋼鐵。

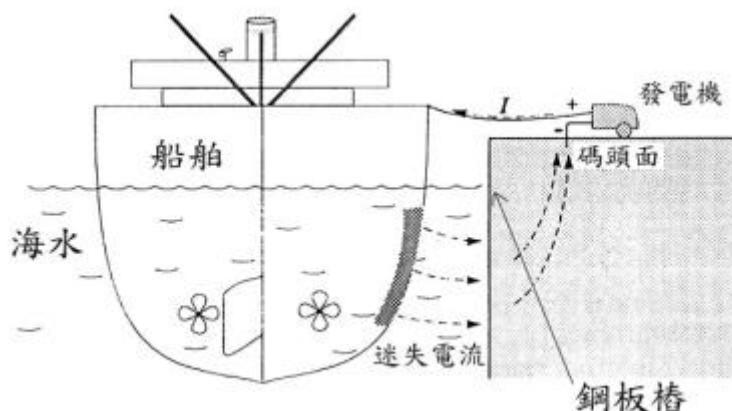


圖 2.9 碼頭鋼板樁遭受迷失電流之情形

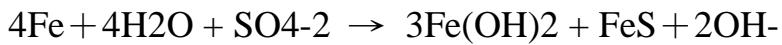
9. 海生物附著

海生物附著對鋼鐵之腐蝕，並不是一般腐蝕型態之一。它是一種因海生物有機體附著，致使金屬劣化。海水中包含有許多各種不同的有機生物體等，這些有機生物體有微污生物諸如細菌等，及巨污生物諸如海藻、滕壺、貝類等。海洋結構物浸泡海水中常受到海生物附著所困擾^[38]。由於海生物所排放之黏液(slime)容易附著於結構物表面上，接著形成生物黏液膜，萌芽的固著微生物體持久大量

的附著，最後繁殖形成巨大的附著生物體，造成結構體局部的腐蝕劣化及荷重增加。海生物之種類及繁殖受到海水深度、溫度、光度及滋養等因素影響，同時亦因季節、潮汐等變化而異。海生物附著於鋼板樁，其發生腐蝕行為之過程，有下列幾種方式：

- (1)直接對陰極或陽極產生去極化作用，影響腐蝕之特性或加速腐蝕速率。
- (2)由於生物新陳代謝作用或分泌物釋出有機酸液，製造具腐蝕性之環境，鋼材更易與酸性反應，造成嚴重局部孔蝕。
- (3)破壞金屬表面鈍態保護膜。
- (4)形成金屬表面有氧氣濃淡電池作用。
- (5)在金屬表面附近因有硫化物生成，使硫酸還原菌更具腐蝕侵蝕。

硫酸還原菌對鋼材之腐蝕機理如下：(厭氧性細菌)



第三章 研究方法及進行步驟

本計畫主要工作項目為大氣環境腐蝕因子調查與腐蝕環境分類資料庫的建立，研究流程如圖 3.1 所示。

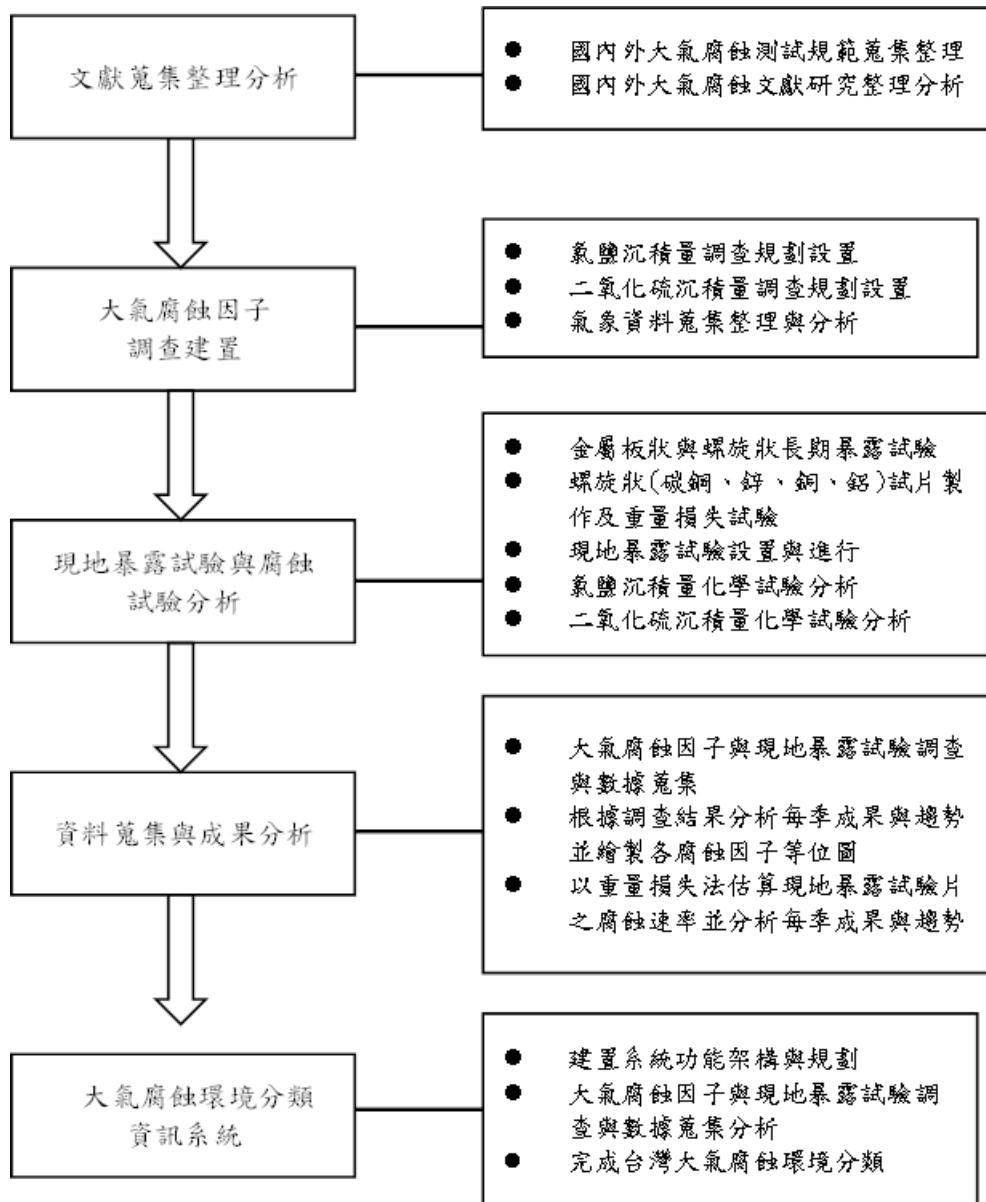


圖 3.1 大氣腐蝕研究作業流程圖

3.1 國內外大氣腐蝕文獻蒐集整理分析

本年度將國內外大氣腐蝕測試之相關規範與文獻，包括 ISO、

ASTM、CNS 等，整理分析相關要點與腐蝕速率估算方式。此外，針對國內各研究單位過去執行之大氣腐蝕調查數據進行分析，比較臺灣過去與目前大氣腐蝕因子與腐蝕速率變化的趨勢，獲得適用於本土環境大氣腐蝕防蝕應用之依據。

3.2 大氣腐蝕因子調查建置

大氣腐蝕因子調查項目包括相對濕度、氯鹽(Cl⁻)與二氧化硫(SO₂)沉積量之調查。相對濕度屬於氣象因子數據，由中央氣象局與相關研究單位之調查資料蒐集分析。

3.2.1 氯鹽沉積速率調查

本研究試驗場址(點)的選定包含垂直海岸線與平行海岸線之規劃，且具有腐蝕環境分類之代表性(如海洋區、工業區、城市區、鄉村區、鐵公路沿線等)，選擇方式如下：

1. 以中央氣象局設有氣象站之附近區域為佳，如此可取得最接近、最相似的氣象變化資料。
2. 足以代表本島特殊氣候的不同類型氣候區，如鹽害區、受季風影響最嚴重的氣候區、交通頻繁之都市地區、工業區、或鹽害與硫害較為輕微但相對濕度與溫度變化較大的山地氣候區等。
3. 本島工程建設較多、人口與橋梁數量較為密集的地區，如西部路廊。
4. 濱海氣候區。

為選擇長期、固定及安全的試驗場址，本計畫協調交通部港務局、交通部公路總局、交通部鐵路管理局、行政院海岸巡防署海岸巡防總局、經濟部工業局工業區服務中心、內政部營建署國家公園管理處、臺灣高速鐵路股份有限公司、臺北自來水事業處、臺灣電力公司、臺灣中油公司、中鋼公司、臺塑石化股份有限公司與學校，於各機關所屬單位內設置大氣腐蝕試驗裝置，合計共有 88 個試驗點。其中，氯鹽沉積量調查

有 61 個試驗點，二氧化硫沉積量調查有 50 個試驗點，現地暴露試驗調查共有 88 個試驗點，各試驗點所在位置之經緯度、高程與距海岸線的距離如附件一所示；表中，Cl 表示氯鹽沉積量調查位置，SO₂表示二氧化硫沉積量調查位置，Exp. 則表示現地暴露試驗調查之位置。

3.2.2 氯鹽沉積速率試驗點

本研究以垂直海岸線落鹽量之調查，自距離海岸線 3 km 為邊界，即垂直海岸線試驗點的佈設以離海岸線距離，朝內陸沿一條直線設置，每條測線以離海岸線算起，分別約於臨海、100m、300m、1 km、3 km 之距離處設置試驗點。全島共規劃 8 條調查路線，設置站址共 41 處，如下：

- (1) 東北季風海域(基隆)：基隆試驗線，包括碧砂安檢所 1 處、海洋大學 1 處共 2 處。
- (2) 西北季風海域(桃園)：桃園試驗線，包括大潭電廠 2 處與觀音工業區 1 處，共 3 處。
- (3) 中部地區海域(臺中)：臺中港試驗線，包括臺中港區內 1 處、港研中心 1 處與市區民宅 1 處，共 3 處。
- (4) 中部工業區海域(雲林)：臺塑六輕麥寮工業區試驗線，包括六輕工業區內 5 處。
- (5) 西南部地區海域(高雄)：高雄港試驗線，包括高雄港區內 4 處與過港隧道管理中心 1 處，共 5 處。
- (6) 南部地區海域(恆春)：核三廠試驗線，包括核三廠區內 4 處共 4 處。
- (7) 東北部地區海域(宜蘭)：蘇澳港試驗線，包括蘇澳港區內 2 處、蘇澳市區民宅 1 處與龍德工業區 1 處，共 3 處。
- (8) 東部地區海域(花蓮)：花蓮港試驗線，包括花蓮港區內 2 處、市區加油站 1 處共 3 處。
- (9) 外島地區：金門水頭商港 1 處，澎湖馬公市 1 處，馬祖福澳港 1 處

共 3 處。

另外為使試驗點之數據可作內插推算，於上述調查路線之垂直方向，即沿臺灣南北向再規劃西部二條、東部一條試驗線。臺灣西部之試驗線一為西部濱海沿線，另一則為臺灣高鐵沿線；西部濱海沿線試驗點包括：臺北港監測站、桃園永安安檢所、新竹漁港安檢所、臺電通霄電廠、苗栗外埔安檢所、臺中五甲安檢所、臺電臺中電廠、彰濱工業區、彰化王功安檢所、嘉義東石安檢所、臺南成大安南校區水工試驗所、高雄興達火力電廠、中鋼公司，共 13 個試驗點；高鐵沿線車站試驗點則包括高鐵臺中站、嘉義站、左營站，共 3 個試驗點。臺灣東部濱海公路沿線之試驗點包括：宜蘭梗枋安檢所、宜蘭南澳安檢所、花蓮太魯閣國家公園管理處、花蓮欒仔樹安檢所、花蓮石梯安檢所、臺東東河金樽安檢所、臺東富崗伽蘭安檢所、臺東尚武安檢所，共 8 個試驗點。

在對照組方面，選擇臺灣距離海岸線較遠之山區或公路佈設試驗點，規劃之試驗點包括臺北市陽明山國家公園管理處、北橫公路(公路總局第一區養護工程處復興工務段)、阿里山(公路總局第五區養護工程處阿里山工務段)等 3 個試驗點。此外，都會地區於臺北市設置 1 個試驗點及外島地區金門水頭商港 1 個試驗點與今年新設置馬祖福澳港與澎湖馬公市(公路總局第三區養護工程處澎湖工務段)等 2 個試驗點。

綜言之，氣鹽沉積速率的調查位置共有 61 個試驗點，相關涵蓋區域與試驗點所屬環境分類如表 3-1 所示，分佈如圖 3.2 所示。圖 3.2 中，紅色字樣表示垂直海岸線規劃的調查路線共 33 個試驗點，藍色字樣為 24 個平行海岸線之試驗點，綠色字樣則表示 6 個參考對照試驗點；各試驗點之安裝與四次採樣時間如表 3-2 所示。

表 3-1 氯鹽沉積速率調查試驗點規劃分類表

	試驗線(點)規劃	所在地區	環境分類
垂 直 海 岸 線 之 試 驗 線	基隆試驗線	基隆市	海洋環境、鄉村環境
	桃園試驗線(大潭電廠)	桃園市觀音區	海洋環境、鄉村環境
	臺中港試驗線	臺中市梧棲區、沙鹿區	海洋環境、鄉村環境
	臺塑六輕試驗線	雲林縣麥寮鄉	海洋環境、工業環境
	高雄港試驗線	高雄市	海洋環境、都市環境
	核三廠試驗線	屏東縣恆春鎮	海洋環境、鄉村環境
	蘇澳港試驗線	宜蘭縣蘇澳鎮	海洋環境、鄉村環境
	花蓮港試驗線	花蓮市、花蓮縣吉安鄉	海洋環境、鄉村環境
	臺東成功漁港試驗線	臺東縣成功鎮	海洋環境、鄉村環境
西 部 濱 海 沿 線 規 劃 試 驗 點	樹林工業區	新北市樹林工業區	工業環境
	臺北港監測站	新北市淡水區	都市環境
	陽明山硫磺區	臺北市北投區	都市環境
	竹南工業區	苗栗縣竹南鎮	工業環境
	頭份工業區	苗栗縣頭份鎮	工業環境
	工研院	新竹縣	都市環境
	新竹工業區	新竹縣湖口鄉	工業環境
	觀音工業區(服務中心)	桃園市觀音區	工業環境
	新竹漁港	新竹縣	海洋環境、鄉村環境
	永安安檢所	桃園市新屋區	鄉村環境
	平鎮工業區	桃園市平鎮區	工業環境
	臺電通霄電廠	苗栗縣霄電鎮	海洋環境、工業環境
	苗栗外埔安檢所	苗栗縣後龍鎮	海洋環境
	臺中五甲安檢所	臺中市大安區	海洋環境、鄉村環境
	臺電臺中電廠	臺中市	海洋環境、工業環境
	福興工業區	彰化縣福興鄉	海洋環境、工業環境
	南崗工業區	南投縣	工業環境
	大里工業區	臺中市大里工業區	工業環境
	臺中工業區	臺中市	都市環境
	關聯工業區	臺中市梧棲區	海洋環境、鄉村環境
	彰濱工業區	彰化縣	海洋環境、工業環境
	彰化王功安檢所	彰化縣芳苑鄉	海洋環境

試驗線(點)規劃		涵蓋地區	環境分類
西部濱海沿線規劃試驗點	嘉義東石安檢所	嘉義縣東石鄉	海洋環境
	朴子工業區	嘉義縣朴子工業區	工業環境
	斗六工業區	雲林縣斗六市	工業環境
	臺南水工試驗所	臺南市安南區	海洋環境、鄉村環境
	安平工業區	臺南市安平工業區	工業環境
	官田工業區	臺南市官田區	工業環境
	高雄縣興達火力電廠	高雄市永安區	海洋環境、工業環境
	中鋼公司	高雄市小港區	工業環境
	林園工業區	高雄市林園區	工業環境
	鳳山工業區	高雄市鳳山區	工業環境
	大發工業區	高雄市大寮區	工業環境
	高雄煉油廠	高雄市楠梓區	工業環境
	永安工業區	高雄市岡山區	工業環境
	屏東工業區	屏東市	工業環境
	臺中站	臺中市烏日區	都市環境
東部濱海沿線規劃試驗點	嘉義站	嘉義縣太保市	鄉村環境
	左營站	高雄市	都市環境
	和平工業區	花蓮縣秀林鄉	海洋環境
	宜蘭梗枋安檢所	宜蘭縣頭城鎮	海洋環境
	美崙工業區	花蓮市	海洋環境
	宜蘭南澳安檢所	宜蘭縣蘇澳鎮	海洋環境
	花蓮太魯閣國家公園管理處	花蓮縣秀林鄉	鄉村環境
	花蓮欒仔樹安檢所	花蓮市	海洋環境
	花蓮石梯檢所	花蓮縣豐濱鄉	海洋環境
	臺東金樽安檢所	臺東縣東河鄉	海洋環境
對照組試驗點	臺東伽蘭安檢所	臺東市	海洋環境
	臺東尚武安檢所	臺東縣大武鄉	海洋環境
	臺北市陽明山國家公園管理處	臺北市	鄉村環境
	公路總局第一區養護工程處復興工務段	新北市復興區	鄉村環境
	臺北自來水事業處	臺北市	都市環境
金門水頭商港		金門縣	海洋環境
馬祖福澳港		連江縣	海洋環境

	公路總局第三區養護工程處澎湖工務段	澎湖縣	海洋環境
--	-------------------	-----	------

表 3-2 氯鹽沉積採集器安裝與採樣時間紀錄表

項次	試驗地點	安裝日期	第一次採樣	第二次採樣	第三次採樣	第四次採樣
1	基隆試驗線 0m	2015/9/8	2015/12/8	2016/3/8	2016/6/14	2016/9/6
2	基隆試驗線 100m	2015/9/8	2015/12/8	2016/3/8	2016/6/14	2016/9/6
3	梗枋安檢所	2015/9/17	2015/12/17	2016/3/17	2016/7/4	2016/9/22
4	龍德工業區	2015/9/17	2015/12/17	2016/3/17	2016/7/4	2016/9/22
5	蘇澳港試驗線 0m	2015/9/17	2015/12/17	2016/3/17	2016/7/4	2016/9/22
6	蘇澳港試驗線 100m	2015/9/17	2015/12/17	2016/3/17	2016/7/4	2016/9/22
7	蘇澳港試驗線 300m	2015/9/17	2015/12/17	2016/3/17	2016/7/4	2016/9/22
8	南澳安檢所(朝陽)	2015/9/17	2015/12/17	2016/3/17	2016/7/4	2016/9/22
9	太魯閣國家公園	2015/9/17	2015/12/17	2016/3/17	2016/6/23	2016/9/22
10	花蓮港試驗線 0m	2015/9/16	2015/12/16	2016/3/16	2016/6/22	2016/9/21
11	花蓮港試驗線 100m	2015/9/16	2015/12/16	2016/3/16	2016/6/22	2016/9/21
12	花蓮港試驗線 500m	2015/9/16	2015/12/16	2016/3/16	2016/6/22	2016/9/21
13	橄仔樹安檢所	2015/9/16	2015/12/16	2016/3/16	2016/6/22	2016/9/21
14	石梯安檢所	2015/9/16	2015/12/16	2016/3/16	2016/6/22	2016/9/21
15	成功試驗線 0m	2015/9/16	2015/12/16	2016/3/16	2016/6/22	2016/9/21
16	金樽安檢所	2015/9/16	2015/12/16	2016/3/16	2016/6/22	2016/9/21
17	伽蘭安檢所	2015/9/16	2015/12/16	2016/3/16	2016/6/22	2016/9/21
18	尚武安檢所	2015/9/15	2015/12/15	2016/3/15	2016/6/21	2016/9/20
19	核三廠試驗線 0m	2015/9/15	2015/12/15	2016/3/15	2016/6/21	2016/9/20
20	核三廠試驗線 100m	2015/9/15	2015/12/15	2016/3/15	2016/6/21	2016/9/20
21	核三廠試驗線 300m	2015/9/15	2015/12/15	2016/3/15	2016/6/21	2016/9/20
22	核三廠試驗線 1Km	2015/9/15	2015/12/15	2016/3/15	2016/6/21	2016/9/20
23	中鋼公司	2015/9/22	2015/12/22	2016/3/22	2016/6/29	2016/10/6
24	高雄港試驗線 0m	2015/9/22	2015/12/22	2016/3/22	2016/6/29	2016/10/6
25	高雄港試驗線 50m	2015/9/22	2015/12/22	2016/3/22	2016/6/29	2016/10/6
26	高雄港試驗線 300m	2015/9/22	2015/12/22	2016/3/22	2016/6/29	2016/10/6
27	高雄港試驗線 500m	2015/9/22	2015/12/22	2016/3/22	2016/6/29	2016/10/6
28	高雄港試驗線 800m	2015/9/22	2015/12/22	2016/3/22	2016/6/29	2016/10/6
29	高鐵左營站	2015/10/2	2015/12/25	2016/3/25	2016/6/17	2016/9/29
30	興達火力電廠	2015/9/23	2015/12/23	2016/3/23	2016/6/28	2016/10/5

項次	試驗地點	安裝日期	第一次採樣	第二次採樣	第三次採樣	第四次採樣
31	成大水工所	2015/9/21	2015/12/23	2016/3/21	2016/6/27	2016/10/5
32	東石安檢所	2015/9/21	2015/12/21	2016/3/21	2016/6/27	2016/10/5
33	高鐵嘉義站	2015/10/2	2015/12/25	2016/3/25	2016/6/17	2016/9/29
34	臺塑六輕試驗線 0m	2015/9/21	2015/12/21	2016/3/21	2016/6/27	2016/9/26
35	臺塑六輕試驗線 300m	2015/9/21	2015/12/21	2016/3/21	2016/6/27	2016/9/26
36	臺塑六輕試驗線 800m	2015/9/21	2015/12/21	2016/3/21	2016/6/27	2016/9/26
37	臺塑六輕試驗線 2Km	2015/9/21	2015/12/21	2016/3/21	2016/6/27	2016/9/26
38	臺塑六輕試驗線 3Km	2015/9/21	2015/12/21	2016/3/21	2016/6/27	2016/9/26
39	王功安檢所	2015/10/5	2015/12/28	2016/3/28	2016/6/1	2016/8/29
40	彰濱工業區	2015/10/5	2015/12/28	2016/3/28	2016/6/1	2016/8/29
41	高鐵臺中站	2015/10/2	2015/12/25	2016/3/25	2016/6/17	2016/9/29
42	臺中火力電廠	2015/10/5	2015/12/28	2016/3/28	2016/6/1	2016/8/29
43	臺中港試驗線 0m	2015/10/1	2015/12/28	2016/3/28	2016/6/1	2016/8/31
44	臺中港試驗線 300m	2015/9/21	2015/12/21	2016/3/21	2016/5/21	2016/9/21
45	臺中港試驗線 2Km	2015/10/1	2015/12/22	2016/3/30	2016/6/3	2016/8/29
46	五甲安檢所	2015/9/30	2015/12/29	2016/3/29	2016/6/2	2016/8/30
47	通霄火力電廠	2015/9/30	2015/12/29	2016/3/29	2016/6/2	2016/8/30
48	外埔安檢所	2015/9/30	2015/12/29	2016/3/29	2016/6/2	2016/8/30
49	平鎮工業區	2015/9/7	2015/12/7	2016/3/7	2016/6/13	2016/9/5
50	桃園試驗線 100m	2015/9/9	2015/12/9	2016/3/9	2016/6/15	2016/9/7
51	桃園試驗線 500m	2015/9/9	2015/12/9	2016/3/9	2016/6/15	2016/9/7
52	桃園試驗線 2Km	2015/9/9	2015/12/9	2016/3/9	2016/6/15	2016/9/7
53	臺北市區	2015/9/8	2015/12/8	2016/3/8	2016/6/14	2016/9/6
54	陽明山國家公園	2015/9/8	2015/12/8	2016/3/8	2016/6/14	2016/9/6
55	北橫巴陵	2015/9/7	2015/12/7	2016/3/7	2016/6/13	2016/9/5
56	阿里山	2015/9/14	2015/12/14	2016/3/14	2016/6/20	2016/9/19
57	東北角風景管理處	2015/9/17	2015/12/17	2016/3/8	2016/7/4	2016/9/22
58	臺北港監測站	2015/9/8	2015/12/9	2016/3/8	2016/6/14	2016/9/6
59	永安安檢所	2015/9/9	2015/12/9	2016/3/9	2016/6/15	2016/9/7
60	新竹漁港	2015/9/30	2015/12/29	2016/3/29	2016/6/2	2016/9/7
61	金門水頭商港	2015/9/9	2015/11/16	2016/3/29	2016/6/14	2016/9/26
62	澎湖馬公市區					2016/8/16
63	馬祖福澳港					2016/8/16

註：澎湖馬公、馬祖福澳港為新增試驗點



圖 3.2 氯鹽沉積速率調查位置

3.2.3 氯鹽沉積速率計算

本計畫參考 CNS 13754^[2] (ISO 9225^[3]) 金屬及合金之腐蝕-大氣腐蝕性(污染之測定)規範，安裝氯鹽採集裝置。氯鹽沉積量採集裝置是以濕燭法進行(如圖 3.3 及圖 3.4)，其原理為使用一個濕纖維織物表面，在已知面積的條件下暴露一段時間，再以化學分析法測定其氯鹽沉積量。計算所得之氯鹽沉積率，以 mg/m²/day 表示。

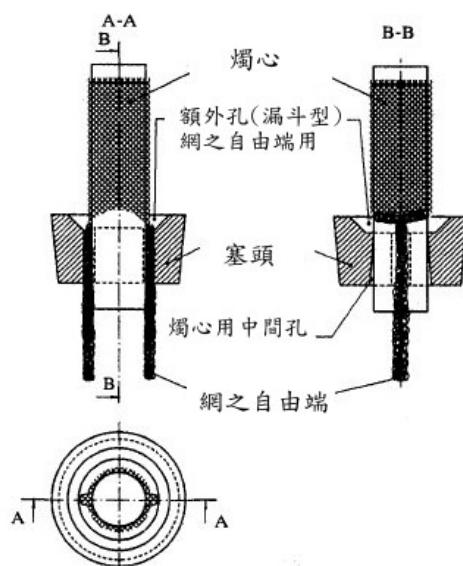
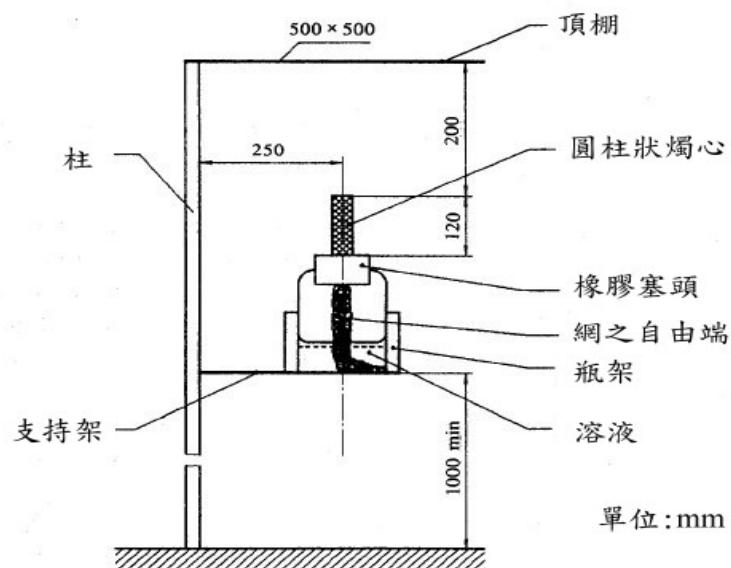


圖 3.3 濕燭法燭心構造示意圖 (CNS 13754)



各試驗點暴露後回收的紗布以定量的去離子水(約 50 ml)沖洗，再依環保署水中陰離子檢測方法—離子層析法(NIEA W415.52B)之離子層析儀測定水中之氯離子含量。氯鹽之沉積速率， $R(Cl^-)$ ($mg/m^2/day$)，依下式計算：

式中， $R(Cl^-)$ = 氯化物沉積速率($mg/m^2/day$)

m =試樣溶液之氯離子總質量(mg)

A=暴露網表面積(m²)

t =暴露時間，天(day)

3.3 二氧化硫沉積速率調查

3.3.1 調查試驗點

大氣中廢氣的污染程度決定了當地大氣的腐蝕性，若排放的廢氣中含有大量的 SO_2 與 H_2S ，這些氣體在大氣中會形成酸雨，且當這些硫化物溶於水以水膜形式存在時，將會形成強腐蝕介質，加速金屬腐蝕。一般在石化廠、煉鋼廠、火力電廠等工業區與都市地區，大氣中均可能存在相當程度的硫化物；因此本研究針對二氧化硫沉積速率調查試驗點的佈設，主要以都市地區、工業地區、石化與火力電廠附近為主，並設置對照組，建置如下：

- (1) 都市地區：臺北市，選取交通頻繁處，共 1 個試驗點。
- (2) 工業地區：於表 3-3 中各工業區服務中心，共 31 個試驗點。
- (3) 石化與火力電廠：高雄煉油廠、林園煉油廠、大潭 0m、大潭 300m、通霄、臺中、興達、核能三廠，共有 8 個試驗點。
- (4) 臺灣西部南北縱向：高鐵沿線車站，地點包括高鐵臺中站、嘉義站、左營站，共有 3 個試驗點。
- (5) 離島地區：金門金城鎮(水頭商港)1 個試驗點與今年新設置澎湖馬公市(公路總局第三區養護工程處澎湖工務段)1 個試驗點及馬祖南竿鄉(福澳港)1 個試驗點。
- (6) 對照組：選擇臺灣距離海岸線較遠之山區或公路佈設試驗點，包括臺北市陽明山國家公園管理處、太魯閣國家公園管理處、北橫公路(公路總局第一區養護工程處復興工務段)、阿里山(公路總局第五區養護工程處阿里山工務段)與在硫礦區陽明山淨水站 1 個試驗點共 5 個試驗點。

二氧化硫沉積速率調查位置共有 50 個試驗點(如圖 3.5 所示)，包括都市地區 1 個試驗點，全臺工業區 31 個試驗點，石化與火力電廠 8 個試驗點，高鐵沿線 3 個試驗點，6 個參考對照試驗點與硫礦溫泉區 1 個試驗點。採樣調查時間如表 3-4 所示。

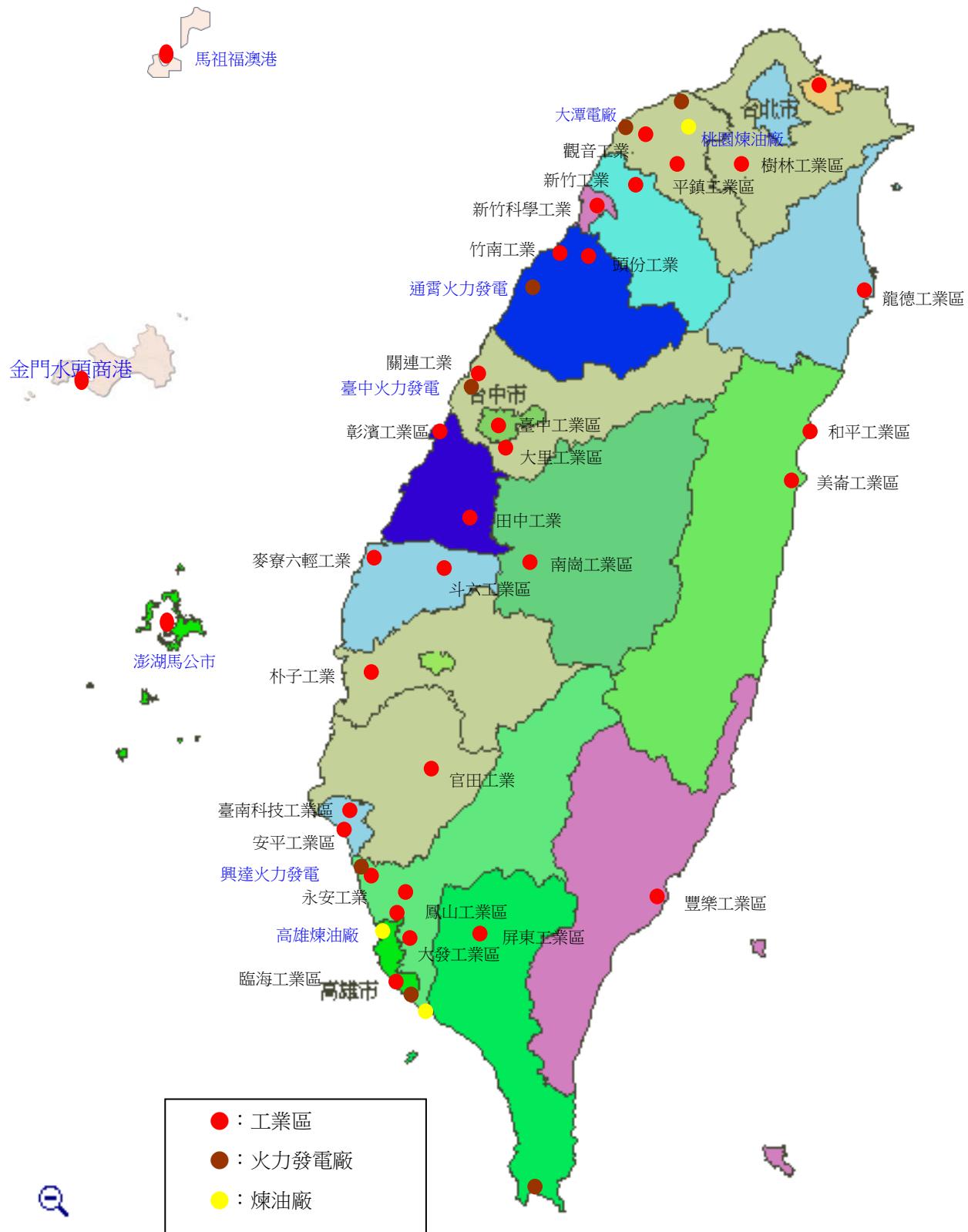


圖 3.5 二氧化硫沉積速率調查位置圖(工業區與石化、火力電廠)

表 3-3 二氧化硫沉積速率調查試驗點分佈表

縣(市)	環境分類(工業區、石化區、火力發電廠)
基隆市	基隆試驗線 3Km
新北市	樹林工業區、陽明山國家公園、陽明山硫礦區、臺北市區、臺北港監測站
桃園縣	觀音工業區、平鎮工業區、桃園試驗線 0m(大潭電廠)、桃園試驗線 300m(大潭電廠)、桃園試驗線 1Km、北橫巴陵
新竹縣	新竹工業區
新竹市	工業技術研究院
苗栗縣	頭份工業區、竹南工業區
臺中市	大里工業區、臺中港關連工業區
臺中市	臺中工業區、高鐵臺中站、臺中火力電廠、臺中港試驗線 100m、通霄火力電廠
南投縣	南崗工業區
彰化縣	彰濱工業區、田中工業區
雲林縣	臺塑六輕工業園區、斗六工業區
嘉義縣	朴子工業區、高鐵嘉義站、阿里山
臺南縣	官田工業區
臺南市	安平工業區、興達火力電廠、成大水工所、
高雄市	仁大工業區、永安工業區、鳳山工業區、大發工業區、中油林園廠、中鋼公司、高鐵左營站、高雄煉油廠、
屏東縣	屏東工業區
宜蘭縣	龍德工業區、東北角風景區
花蓮縣	和平工業區、太魯閣國家公園、
花蓮市	美崙工業區
臺東市	豐樂工業區
金門縣	金門水頭商港
澎湖縣	澎湖馬公市

表 3-4 二氧化硫沉積採集器安裝與採樣時間紀錄表

項次	試驗地點	安裝日期	第一次採樣	第二次採樣	第三次採樣	第四次採樣
1	基隆試驗線 1Km	2015/9/8	2015/12/8	2016/3/8	2016/6/14	2016/9/6
2	龍德工業區	2015/9/17	2015/12/17	2016/3/17	2016/7/4	2016/9/22
3	和平工業區	2015/9/17	2015/12/17	2016/3/17	2016/6/23	2016/9/22
4	太魯閣國家公園	2015/9/17	2015/12/17	2016/3/17	2016/6/23	2016/9/22
5	美崙工業區	2015/9/16	2015/12/16	2016/3/16	2016/6/22	2016/9/21
6	豐樂工業區	2015/9/15	2015/12/15	2016/3/15	2016/6/21	2016/9/20
7	屏東工業區	2015/9/22	2015/12/22	2016/3/22	2016/6/28	2016/10/6
8	中油林園廠	2015/9/22	2015/12/22	2016/3/22	2016/6/28	2016/10/6
9	中鋼公司	2015/9/22	2015/12/22	2016/3/22	2016/6/29	2016/10/6
10	鳳山工業區	2015/9/22	2015/12/22	2016/3/22	2016/6/29	2016/10/7
11	大發工業區	2015/9/22	2015/12/22	2016/3/22	2016/6/28	2016/10/6
12	高鐵左營站	2015/10/2	2015/12/25	2016/3/25	2016/6/17	2016/9/29
13	高雄煉油廠	2015/9/23	2015/12/23	2016/3/23	2016/6/28	2016/10/6
14	永安工業區	2015/9/23	2015/12/23	2016/3/23	2016/6/28	2016/10/5
15	興達火力電廠	2015/9/23	2015/12/23	2016/3/23	2016/6/28	2016/10/5
16	安平工業區	2015/9/21	2015/12/23	2016/3/21	2016/6/27	2016/10/5
17	成大水工所	2015/9/21	2015/12/23	2016/3/21	2016/6/27	2016/10/5
18	官田工業區	2015/9/14	2015/12/14	2016/3/14	2016/6/20	2016/9/19
19	朴子工業區	2015/9/21	2015/12/21	2016/3/21	2016/6/27	2016/10/5
20	高鐵嘉義站	2015/10/2	2015/12/25	2016/3/25	2016/6/17	2016/9/29
21	斗六工業區	2015/10/5	2015/12/30	2016/3/28	2016/6/20	2016/9/19
22	彰濱工業區	2015/10/5	2015/12/28	2016/3/28	2016/6/1	2016/8/29
23	田中工業區	2015/10/5	2015/12/28	2016/3/28	2016/6/1	2016/8/29
24	南崙工業區	2015/10/1	2015/12/30	2016/3/30	2016/6/3	2016/8/31
25	大里工業區	2015/10/1	2015/12/30	2016/3/30	2016/6/3	2016/8/31
26	高鐵臺中站	2015/10/2	2015/12/25	2016/3/25	2016/6/17	2016/9/29
27	臺中工業區	2015/10/1	2015/12/30	2016/3/30	2016/6/3	2016/8/31
28	臺中港關連工業區	2015/10/1	2015/12/28	2016/3/30	2016/6/3	2016/8/29
29	臺中火力電廠	2015/10/5	2015/12/28	2016/3/28	2016/6/1	2016/8/29

項次	試驗地點	安裝日期	第一次採樣	第二次採樣	第三次採樣	第四次採樣
30	臺中港試驗線 300m	2015/9/21	2015/12/21	2016/3/21	2016/5/21	2016/9/21
31	通霄火力電廠	2015/9/30	2015/12/29	2016/3/29	2016/6/2	2016/8/30
32	竹南工業區	2015/9/30	2015/12/29	2016/3/29	2016/6/2	2016/8/30
33	頭份工業區	2015/9/30	2015/12/29	2016/3/29	2016/6/2	2016/8/30
34	工研院	2015/9/30	2015/12/29	2016/3/29	2016/6/2	2016/8/30
35	新竹工業區	2015/9/10	2015/12/10	2016/3/29	2016/6/16	2016/9/7
36	平鎮工業區	2015/9/7	2015/12/7	2016/3/7	2016/6/13	2016/9/5
37	桃園試驗線 100m	2015/9/9	2015/12/9	2016/3/9	2016/6/15	2016/9/7
38	桃園試驗線 500m	2015/9/9	2015/12/9	2016/3/9	2016/6/15	2016/9/7
39	桃園試驗線 2Km	2015/9/9	2015/12/9	2016/3/9	2016/6/15	2016/9/7
40	樹林工業區	2015/9/8	2015/12/8	2016/3/7	2016/6/13	2016/9/5
41	臺北市區	2015/9/8	2015/12/8	2016/3/8	2016/6/14	2016/9/6
42	陽明山國家公園	2015/9/8	2015/12/8	2016/3/8	2016/6/14	2016/9/6
43	陽明山硫磺區	2015/9/8	2015/12/8	2016/3/8	2016/6/14	2016/9/6
44	北橫巴陵	2015/9/7	2015/12/7	2016/3/7	2016/6/13	2016/9/5
45	阿里山	2015/9/14	2015/12/14	2016/3/14	2016/6/20	2016/9/19
46	平鎮工業區(中心)	2015/9/17	2015/12/7	2016/3/7	2016/6/13	2016/9/5
47	觀音工業區(中心)	2015/9/7	2015/12/9	2016/3/9	2016/6/15	2016/9/7
48	東北角風景區	2015/9/9	2015/12/17	2016/3/8	2016/7/4	2016/9/22
49	永安安檢所	2015/9/9	2015/12/9	2016/3/9	2016/6/15	2016/9/7
50	金門水頭商港	2015/9/9	2015/11/16	2016/3/29	2016/6/14	2016/9/26
51	澎湖馬公市區					2016/8/16
52	馬祖福澳港					2016/8/16

註：澎湖馬公、媽祖福澳港為新增試驗點

3.3.2 二氧化硫沉積速率計算

本計畫參考 CNS 13754^[2]金屬及合金之腐蝕-大氣腐蝕性(污染之測定)規範，二氧化硫沉積量採集裝置是以二氧化硫在二氧化鉛硫酸化平板之沉積速率測定(如圖 3.6)，其原理為大氣中二氧化硫與二氧化鉛會反應形成硫酸鉛，暴露一段時間後回收該平板，並針對平板上的附著物進行硫酸鹽分析以測定二氧化硫之含量，二氧化硫的沉積量以 mg/m²/day 表示。

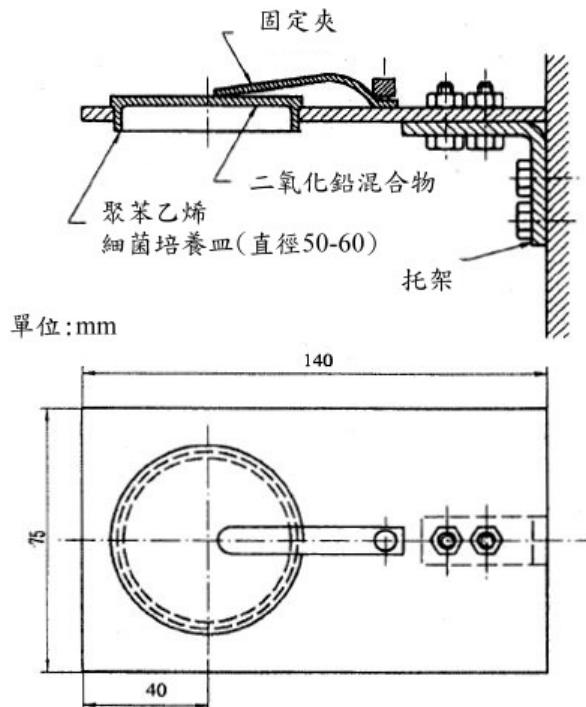


圖 3.6 二氧化硫沉積量採集裝置 (CNS 13754)

各試驗點暴露後回收的硫酸化平板依環保署水中陰離子檢測方法-離子層析法(NIEA W415.52B)測定，即使用碳酸鈉溶液先移出並溶解硫酸化平板之內容物，然後以離子層析儀檢測硫酸鹽含量。二氧化硫之沉積速率之計算如下：

$$R(SO_2) = \frac{(m_1 - m_0) \times 16.67}{A \times t \times 1000} \dots \dots \dots \quad (3.2)$$

式中， $R(SO_2) =$ 二氧化硫沉積速率($mg/m^2/day$)

m_0 =空白平板(未暴露)測試之硫酸鹽質量(μg)

m_1 =每一平板之硫酸鹽質量(μg)

A =平板面積(m^2)

t =暴露時間，天(day)

3.4 現地暴露試驗

現地暴露試驗試驗點建置的數量以涵蓋氯鹽沉積量與二氧化硫沉積量調查位置之 75% 為原則，全國合計共有 90 個試驗點。即在氯鹽沉積量調查路線上，9 條垂直海岸線試驗點的佈設以距海岸線約臨海、300m、1 km、3 km 之距離處設置，配合 20 個平行海岸線之臨海試驗點(西部濱海與東部濱海沿線之港口或安檢所)，3 個高鐵沿線試驗點與 6 個參考對照試驗點，共 61 個試驗場址。在二氧化硫沉積量調查位置上，包括工業區所在各縣市各一個試驗點，共 22 個試驗點，都市地區 3 個試驗點，石化與火力電廠 11 個試驗點，高鐵沿線 3 個試驗點，硫礦區 2 個試驗點，離島地區 2 個試驗點與 4 個參考對照試驗點，共 50 個試驗場址。其中，若氯鹽沉積量與二氧化硫沉積量調查位置相同時，僅在該試驗點設立一組試片(包括碳鋼、鋅、鋁、銅四種金屬)裝置。調查位置共 90 個場址，分佈如圖 3.7 所示；各次試體之安裝與採樣時間如表 3-5 所示。

3.4.1 螺旋狀試片

本研究針對碳鋼、鋅、銅、鋁四種金屬，選擇適當位置進行現地暴露試驗並以重量損失法計算其腐蝕速率。試片製作的方式參考 CNS 13753^[5] (ISO 9226^[6]) 大氣腐蝕性測定標準試片製作，採用螺旋狀標準試片(如圖 3.8)，試片的材料如下：1)碳鋼：非合金碳鋼(Cu=0.03~0.10%，P<0.07%)，2)鋅：98.5% 以上之純度，3)銅：99.5% 以上之純度，4)鋁：99.5% 以上之純度；將以上金屬之線材，線材直徑 2~3 mm，碳鋼線材直徑為 2.65mm，鋅線材直徑為 2.35mm，銅線材直徑為 3.0mm，鋁線材直徑為 2.4mm 剪取約 1000 mm 長度，纏繞在直徑為 24 mm 的圓棒上，製成螺旋狀試片。現地暴露試驗調查 90 個試驗點。

本年度持續現地採樣與試驗調查，取樣頻率為每季一次，每次取樣後更換新試片；測試回收後的樣本則進行腐蝕速率分析，以探討季節與區域之大氣腐蝕速率變化。

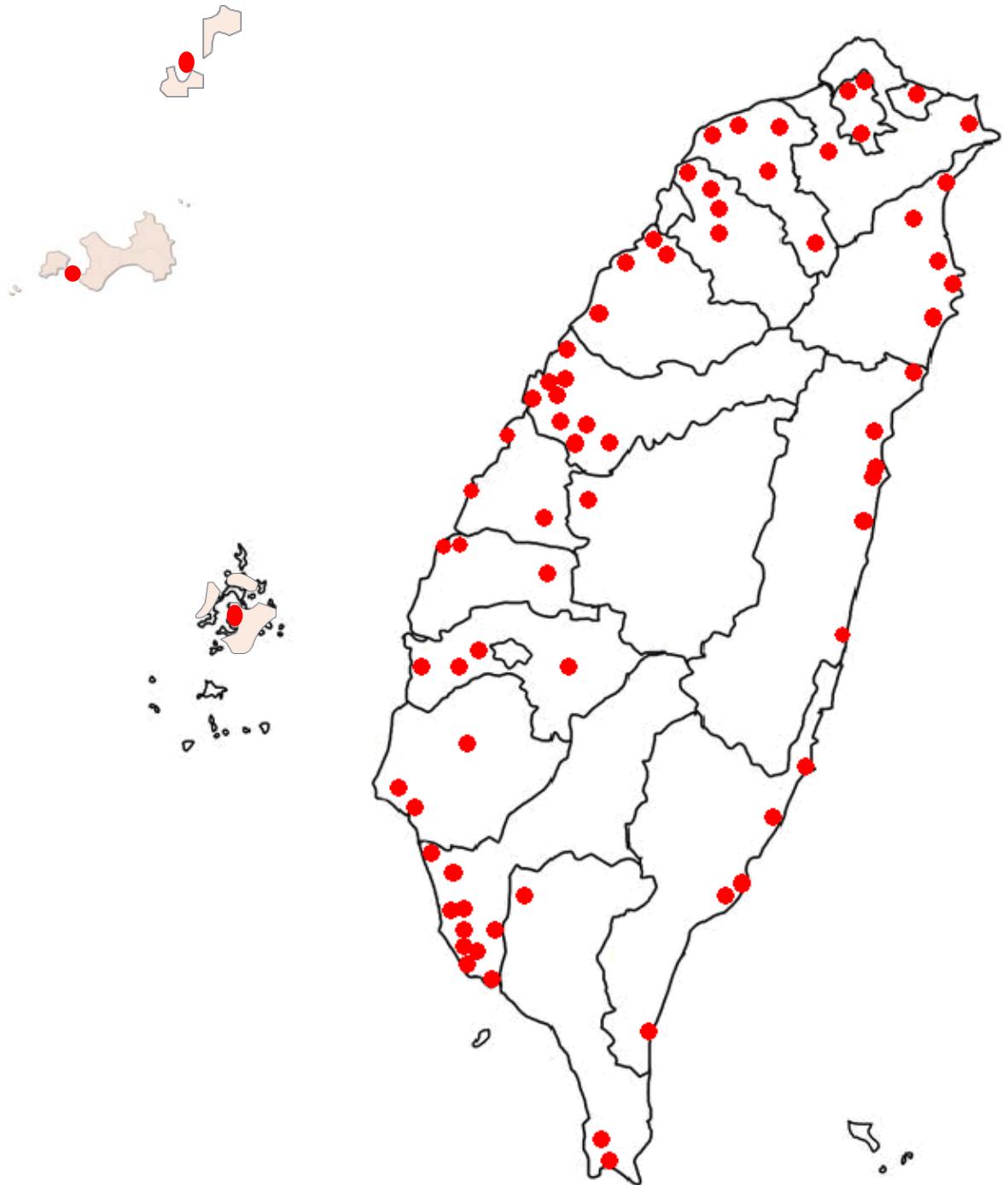


圖 3.7 現地暴露試驗(碳鋼、鋅、鋁、銅螺旋狀試片)試驗點分佈圖

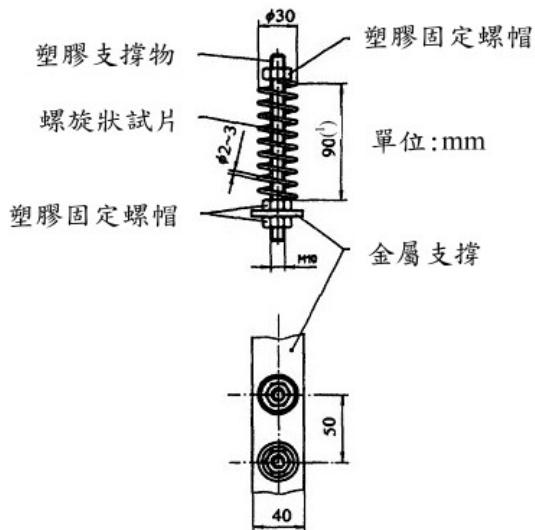
表 3-5 金屬試樣安裝與採樣時間紀錄表

項次	試驗地點	安裝日期	第一次取樣	第二次取樣	第三次取樣	第四次取樣
1	基隆試驗線 0m	2015/9/8	2015/12/8	2016/3/8	2016/6/14	2016/9/6
2	基隆試驗線 100m	2015/9/8	2015/12/8	2016/3/8	2016/6/14	2016/9/6
3	基隆試驗線 1Km	2015/9/8	2015/12/8	2016/3/8	2016/6/14	2016/9/6
4	梗枋安檢所	2015/9/17	2015/12/17	2016/3/17	2016/7/4	2016/9/22
5	龍德工業區	2015/9/17	2015/12/17	2016/3/17	2016/7/4	2016/9/22
6	蘇澳港試驗線 0m	2015/9/17	2015/12/17	2016/3/17	2016/7/4	2016/9/22
7	蘇澳港試驗線 100m	2015/9/17	2015/12/17	2016/3/17	2016/7/4	2016/9/22
8	蘇澳港試驗線 300m	2015/9/17	2015/12/17	2016/3/17	2016/7/4	2016/9/22
9	南澳安檢所	2015/9/17	2015/12/17	2016/3/17	2016/7/4	2016/9/22
10	和平工業區	2015/9/17	2015/12/17	2016/3/17	2016/6/23	2016/9/22
11	太魯閣國家公園	2015/9/17	2015/12/17	2016/3/17	2016/6/23	2016/9/22
12	美崙工業區	2015/9/16	2015/12/16	2016/3/16	2016/6/22	2016/9/21
13	花蓮港試驗線 0m	2015/9/16	2015/12/16	2016/3/16	2016/6/22	2016/9/21
14	花蓮港試驗線 100m	2015/9/16	2015/12/16	2016/3/16	2016/6/22	2016/9/21
15	花蓮港試驗線 500m	2015/9/16	2015/12/16	2016/3/16	2016/6/22	2016/9/21
16	欒仔樹安檢所	2015/9/16	2015/12/16	2016/3/16	2016/6/22	2016/9/21
17	石梯安檢所	2015/9/16	2015/12/16	2016/3/16	2016/6/22	2016/9/21
18	成功安檢所	2015/9/16	2015/12/16	2016/3/16	2016/6/22	2016/9/21
19	金樽安檢所	2015/9/16	2015/12/16	2016/3/16	2016/6/22	2016/9/21
20	伽蘭安檢所	2015/9/16	2015/12/16	2016/3/16	2016/6/22	2016/9/21
21	豐樂工業區	2015/9/15	2015/12/15	2016/3/15	2016/6/21	2016/9/20
22	尚武安檢所	2015/9/15	2015/12/15	2016/3/15	2016/6/21	2016/9/20
23	核三廠試驗線 0m	2015/9/15	2015/12/15	2016/3/15	2016/6/21	2016/9/20
24	核三廠試驗線 100m	2015/9/15	2015/12/15	2016/3/15	2016/6/21	2016/9/20
25	核三廠試驗線 300m	2015/9/15	2015/12/15	2016/3/15	2016/6/21	2016/9/20
26	核三廠試驗線 1Km	2015/9/15	2015/12/15	2016/3/15	2016/6/21	2016/9/20
27	屏東工業區	2015/9/22	2015/12/22	2016/3/22	2016/6/28	2016/10/6
28	中油林園廠	2015/9/22	2015/12/22	2016/3/22	2016/6/28	2016/10/6
29	中鋼公司	2015/9/22	2015/12/22	2016/3/22	2016/6/29	2016/10/6
30	鳳山工業區	2015/9/22	2015/12/22	2016/3/22	2016/6/29	2016/10/7
31	大發工業區	2015/9/22	2015/12/22	2016/3/22	2016/6/28	2016/10/6
32	高雄港試驗線 0m	2015/9/22	2015/12/22	2016/3/22	2016/6/29	2016/10/6
33	高雄港試驗線 50m	2015/9/22	2015/12/22	2016/3/22	2016/6/29	2016/10/6
34	高雄港試驗線 300m	2015/9/22	2015/12/22	2016/3/22	2016/6/29	2016/10/6
35	高雄港試驗線 500m	2015/9/22	2015/12/22	2016/3/22	2016/6/29	2016/10/6
36	高雄港試驗線 800m	2015/9/22	2015/12/22	2016/3/22	2016/6/29	2016/10/6

項次	試驗地點	安裝日期	第一次取樣	第二次取樣	第三次取樣	第四次取樣
37	高鐵左營站	2015/10/2	2015/12/25	2016/3/25	2016/6/17	2016/9/29
38	高雄煉油廠	2015/9/23	2015/12/23	2016/3/23	2016/6/28	2016/10/6
39	永安工業區	2015/9/23	2015/12/23	2016/3/23	2016/6/28	2016/10/5
40	興達火力電廠	2015/9/23	2015/12/23	2016/3/23	2016/6/28	2016/10/5
41	安平工業區	2015/9/21	2015/12/23	2016/3/21	2016/6/27	2016/10/5
42	成大水工所	2015/9/21	2015/12/23	2016/3/21	2016/6/27	2016/10/5
43	官田工業區	2015/9/14	2015/12/14	2016/3/14	2016/6/20	2016/9/19
44	東石安檢所	2015/9/21	2015/12/21	2016/3/21	2016/6/27	2016/10/5
45	朴子工業區	2015/9/21	2015/12/21	2016/3/21	2016/6/27	2016/10/5
46	高鐵嘉義站	2015/10/2	2015/12/25	2016/3/25	2016/6/17	2016/9/29
47	斗六工業區	2015/10/5	2015/12/30	2016/3/28	2016/6/20	2016/9/19
48	臺塑六輕試驗線 0m	2015/9/21	2015/12/21	2016/3/21	2016/6/27	2016/9/26
49	六輕試驗線 300m	2015/9/21	2015/12/21	2016/3/21	2016/6/27	2016/9/26
50	六輕試驗線 800m	2015/9/21	2015/12/21	2016/3/21	2016/6/27	2016/9/26
51	六輕試驗線 2Km	2015/9/21	2015/12/21	2016/3/21	2016/6/27	2016/9/26
52	六輕試驗線 3Km	2015/9/21	2015/12/21	2016/3/21	2016/6/27	2016/9/26
53	王功安檢所	2015/10/5	2015/12/28	2016/3/28	2016/6/1	2016/8/29
54	彰濱工業區	2015/10/5	2015/12/28	2016/3/28	2016/6/1	2016/8/29
55	田中工業區(福興)	2015/10/5	2015/12/28	2016/3/28	2016/6/1	2016/8/29
56	南崙工業區	2015/10/1	2015/12/30	2016/3/30	2016/6/3	2016/8/31
57	大里工業區	2015/10/1	2015/12/30	2016/3/30	2016/6/3	2016/8/31
58	高鐵台中站	2015/10/2	2015/12/25	2016/3/25	2016/6/17	2016/9/29
59	臺中工業區	2015/10/1	2015/12/30	2016/3/30	2016/6/3	2016/8/31
60	關連工業區	2015/10/1	2015/12/28	2016/3/30	2016/6/3	2016/8/29
61	臺中火力電廠	2015/10/5	2015/12/28	2016/3/28	2016/6/1	2016/8/29
62	臺中港試驗線 0m	2015/10/1	2015/12/28	2016/3/28	2016/6/1	2016/8/31
63	臺中港試驗線 300m	2015/9/21	2015/12/21	2016/3/21	2016/5/21	2016/9/21
64	臺中港試驗線 2Km	2015/10/1	2015/12/22	2016/3/30	2016/6/3	2016/8/29
65	五甲安檢所	2015/9/30	2015/12/29	2016/3/29	2016/6/2	2016/8/30
66	通霄火力電廠	2015/9/30	2015/12/29	2016/3/29	2016/6/2	2016/8/30
67	外埔安檢所	2015/9/30	2015/12/29	2016/3/29	2016/6/2	2016/8/30
68	竹南工業區	2015/9/30	2015/12/29	2016/3/29	2016/6/2	2016/8/30
69	頭份工業區	2015/9/30	2015/12/29	2016/3/29	2016/6/2	2016/8/30
70	工研院	2015/9/30	2015/12/29	2016/3/29	2016/6/2	2016/8/30
71	新竹工業區	2015/9/10	2015/12/10	2016/3/29	2016/6/16	2016/9/7
72	平鎮工業區	2015/9/7	2015/12/7	2016/3/7	2016/6/13	2016/9/5
73	桃園試驗線 100m	2015/9/9	2015/12/9	2016/3/9	2016/6/15	2016/9/7

項次	試驗地點	安裝日期	第一次取樣	第二次取樣	第三次取樣	第四次取樣
74	桃園試驗線 500m	2015/9/9	2015/12/9	2016/3/9	2016/6/15	2016/9/7
75	桃園試驗線 2km	2015/9/9	2015/12/9	2016/3/9	2016/6/15	2016/9/7
76	樹林工業區(服務中心)	2015/9/8	2015/12/8	2016/3/7	2016/6/13	2016/9/5
77	臺北市	2015/9/8	2015/12/8	2016/3/8	2016/6/14	2016/9/6
78	陽明山國家公園	2015/9/8	2015/12/8	2016/3/8	2016/6/14	2016/9/6
79	陽明山硫磺區	2015/9/8	2015/12/8	2016/3/8	2016/6/14	2016/9/6
80	北橫巴陵	2015/9/7	2015/12/7	2016/3/7	2016/6/13	2016/9/5
81	阿里山	2015/9/14	2015/12/14	2016/3/14	2016/6/20	2016/9/19
82	東北角風景管理處	2015/9/17	2015/12/17	2016/3/8	2016/7/4	2016/9/22
83	臺北港監測站	2015/9/8	2015/12/9	2016/3/8	2016/6/14	2016/9/6
84	平鎮工業區(服務中心)	2015/9/7	2015/12/7	2016/3/7	2016/6/13	2016/9/5
85	觀音工業區(服務中心)	2015/9/9	2015/12/9	2016/3/9	2016/6/15	2016/9/7
86	永安安檢所	2015/9/9	2015/12/9	2016/3/9	2016/6/15	2016/9/7
87	新竹漁港	2015/9/30	2015/12/29	2016/3/29	2016/6/2	2016/9/7
88	金門水頭商港	2015/9/9	2015/11/16	2016/3/29	2016/6/14	2016/9/26
89	高雄港#39				2016/6/29	2016/10/6
90	高雄港#75				2016/6/29	2016/10/6
91	澎湖馬公市區					2016/8/16
92	馬祖福澳港					2016/8/16

註：高雄港#39、高雄港#75、澎湖馬公、媽祖福澳港為新增試驗點



註1 線材兩端插入支撐物間之距離

圖 3.8 螺旋狀試片構造圖(CNS 13753)

3.4.2 現地暴露試驗計算

將各試驗點測試後每季回收的試片進行腐蝕速率量測。碳鋼、鋅、鋁、銅四種螺旋狀金屬試片之大氣腐蝕速率量測，依照 CNS14122^[8](ISO 8407^[9])金屬及合金之腐蝕-大氣腐蝕-試片腐蝕生成物清除法，以適當的清洗方式除去試片表面腐蝕生成物，量測其重量損失，並依金屬材料的暴露時間，計算其大氣腐蝕速率。螺旋狀金屬試片之腐蝕速率單位以 $\mu\text{m}/\text{y}$ 表示，計算公式依據 CNS 13753 規範，如下：

式中， R_{corr} =腐蝕速率($\mu\text{m}/\text{y}$)

Δm =質量損失(mg)

d=線材直徑(mm)

m =試片原始質量(g)

t=暴露時間，年(y)

3.4.3 試片腐蝕生成物清除與測試

碳鋼、鋅、鋁、銅四種螺旋狀金屬線材之大氣腐蝕速率量測，依照 CNS14122 金屬及合金之腐蝕-大氣腐蝕-試片腐蝕生成物清除法，以適當的清洗方式除去試片表面腐蝕生成物，量測其重量損失，並依金屬材料的暴露時間，計算其大氣腐蝕速率。為確保除去腐蝕生成物的化學清洗方法不會損壞底材金屬，先依照 CNS14122 規範，使用腐蝕試片進行重複清洗，以制定檢量標準，作業流程如圖 3.9 所示。針對不同金屬，化學清洗法使用的化學藥品及各項條件如表 3-6 所示。

大氣腐蝕試片- 腐蝕生成物清除法作業流程

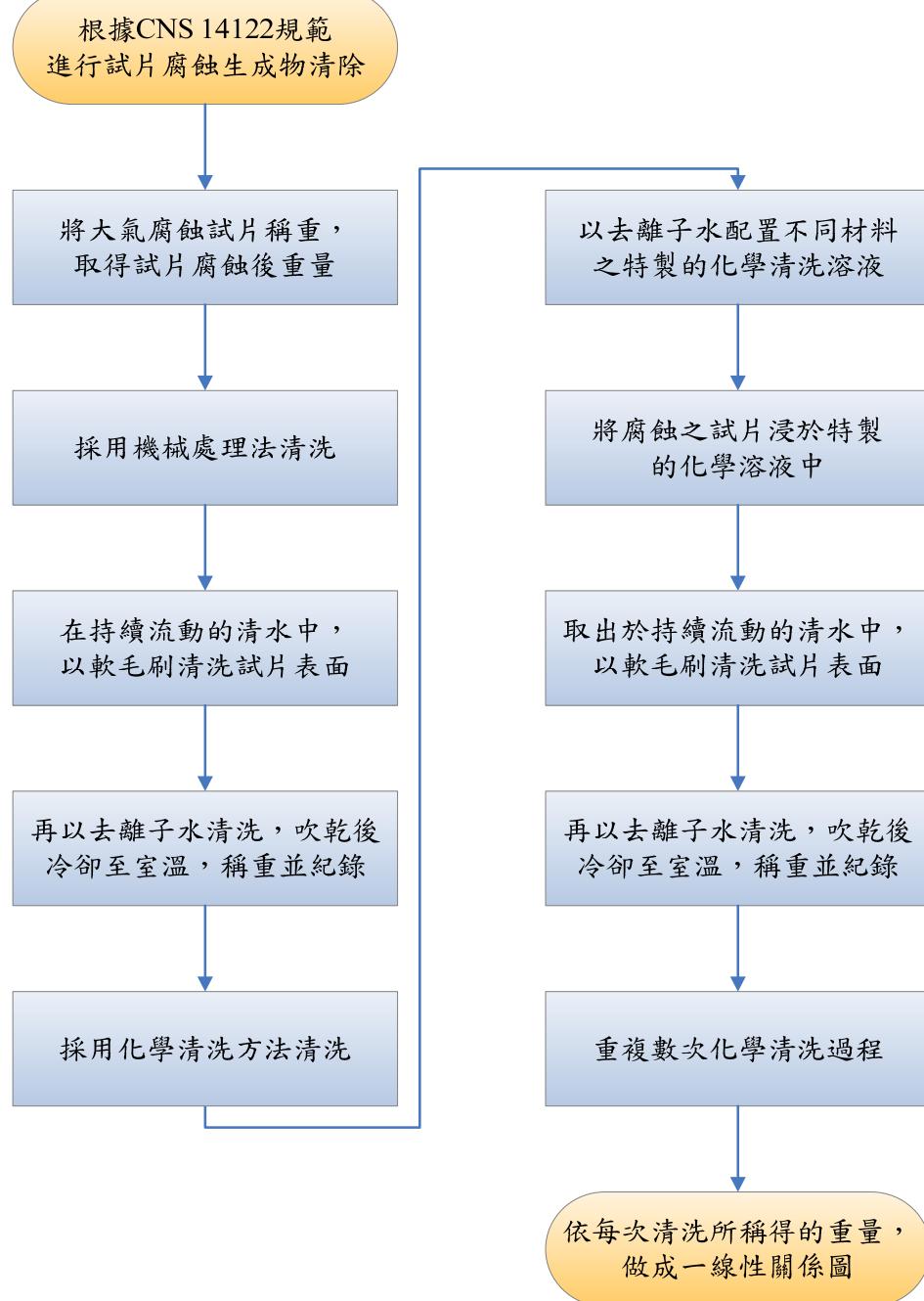


圖 3.9 腐蝕生成物清除法作業流程圖

表 3-6 化學清洗法使用藥品及條件

材料	化學藥品	時間 (min)	溫度 (°C)	備註
碳鋼	以 500mL HCl ($\rho=1.19\text{g/mL}$) 與 3.5g 六亞甲四胺 (Hexamethylene tetramine)，加入蒸餾水配成 1000mL	10	室溫 (23.5)	—
鋅	100g 氯化銨 (NH_4Cl)，加入蒸餾水配成 1000mL	2~5	70	—
銅	以 100mL 硫酸(H_2SO_4 , $\rho=1.84\text{ g/mL}$)，加蒸餾水至 1000mL	1~3	室溫 (23.5)	在處理之前，先移除表面的塊狀腐蝕生成物，可使銅的二次沉積產物量減到最少
鋁	硝酸 (HNO_3 , $\rho=1.42\text{ g/mL}$)	1~5	室溫 (23.5)	去除額外之沉積物及塊狀之腐蝕生成物，以免造成基底金屬過度流失

各個試片浸泡之時間，碳鋼線材試片為 10 分鐘，鋅線材試片為 4 分鐘，銅線材試片為 2 分鐘，鋁線材試片為 6 分鐘。

3.5 腐蝕因子環境分類

表 3-7 至表 3-9 分別為 CNS 13401 (ISO 9223) 規範中對濕潤時間、氯鹽沉積速率與 SO₂ 沉積速率或濃度的分類；表 3-10 則為相對於表 3-7 至表 3-9 之分類結果。參考 CNS 13401 (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)、空氣中的氯鹽沉積速率(S)與二氧化硫沉積量(P)。其中，濕潤時間是以全年中溫度高於 0 °C，相對濕度大於 80% 之小時數或百分比計算，氯鹽沉積速率(mg/m²/day)是以 CNS 13754 (ISO 9225) 濕燭法測量，二氧化硫沉積量則是以 CNS 13754 (ISO 9225) 規定之二氧化鉛硫酸化平板量測的沉積速率(mg/m²/day)測定或是空氣中的 SO₂ 濃量(μg/m³) 計算；其中，各參數的量測時間均至少為一年以上。依據 CNS 與 ISO 規範，若要以腐蝕因子進行大氣腐蝕環境分類，濕潤時間、氯鹽與二氧化硫的沉積速率至少應經過一年以上的連續量測，若測點所在位置無實測的腐蝕因子數據，則以鄰近的腐蝕因子資料推估，選用測點的名稱如表中括號內所示，

表 3-11 為各種標準金屬最初第一年之腐蝕速率區金屬的腐蝕速率在初期暴露時最大，隨後會逐漸下降而最終到達一穩定值；表中除鋁金屬外，碳鋼、鋅、銅金屬的腐蝕速率單位均可以 μm/yr 表示；主要原因是因碳鋼、鋅、銅金屬在大氣環境中的腐蝕現象為均勻腐蝕，但鋁金屬則為局部腐蝕，所以鋼、鋅、銅金屬的腐蝕速率可以 μm/yr 表示，但鋁的腐蝕速率須以 g/m²/yr 表示。

上述分別將大氣腐蝕環境區分為 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)。

表 3-7 濕潤環境分類表

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

資料來源：CNS 13401- ISO 9223

表 3-8 氯鹽腐蝕環境等級分類表

氯鹽沉積速率 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：CNS 13401- ISO 9223

表 3-9 二氧化硫腐蝕環境等級分類表

SO ₂ 沉積速率 mg/m ² /day	SO ₂ 濃度 $\mu\text{g}/\text{m}^2$	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：CNS 13401- ISO 9223

表 3-10 金屬大氣腐蝕環境分類表 (以環境因子分類)

碳鋼															
濕潤 氯鹽 二氧化硫	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
鋅與銅															
濕潤 氯鹽 二氧化硫	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	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
鋁															
濕潤 氯鹽 二氧化硫	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	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	3 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

註：依濕潤時間(τ)、氯鹽沉積速率(S)與二氧化硫沉積量(P)三者環境因子等級分類，將金屬腐蝕性環境分類數值區分為 1、2、3、4、5 五個等級。如 1 表示 C1 依序類推。

資料來源：CNS 13401- ISO 9223

表 3-11 大氣腐蝕環境分類-以各種標準金屬最初第一年之腐蝕速率區分

腐蝕性 分類	腐蝕速率 (γ_{corr})				
	單位	碳 鋼	鋅	銅	鋁
C1	g/m ² /yr $\mu\text{m}/\text{yr}$	$\gamma_{corr} \leq 10$ $\gamma_{corr} \leq 1.3$	$\gamma_{corr} \leq 0.7$ $\gamma_{corr} \leq 0.1$	$\gamma_{corr} \leq 0.9$ $\gamma_{corr} \leq 0.1$	可忽視 —
C2	g/ m ² /yr $\mu\text{m}/\text{yr}$	$10 < \gamma_{corr} \leq 200$ $1.3 < \gamma_{corr} \leq 25$	$0.7 < \gamma_{corr} \leq 5$ $0.1 < \gamma_{corr} \leq 0.7$	$0.9 < \gamma_{corr} \leq 5$ $0.1 < \gamma_{corr} \leq 0.6$	$\gamma_{corr} \leq 0.6$ —
C3	g/ m ² /yr $\mu\text{m}/\text{yr}$	$200 < \gamma_{corr} \leq 400$ $25 < \gamma_{corr} \leq 50$	$5 < \gamma_{corr} \leq 15$ $0.7 < \gamma_{corr} \leq 2.1$	$5 < \gamma_{corr} \leq 12$ $0.6 < \gamma_{corr} \leq 1.3$	$0.6 < \gamma_{corr} \leq 2$ —
C4	g/ m ² /yr $\mu\text{m}/\text{yr}$	$400 < \gamma_{corr} \leq 650$ $50 < \gamma_{corr} \leq 80$	$15 < \gamma_{corr} \leq 30$ $2.1 < \gamma_{corr} \leq 4.2$	$12 < \gamma_{corr} \leq 25$ $1.3 < \gamma_{corr} \leq 2.8$	$2 < \gamma_{corr} \leq 5$ —
C5	g/ m ² /yr $\mu\text{m}/\text{yr}$	$650 < \gamma_{corr} \leq 1500$ $80 < \gamma_{corr} \leq 200$	$30 < \gamma_{corr} \leq 60$ $4.2 < \gamma_{corr} \leq 8.4$	$25 < \gamma_{corr} \leq 50$ $2.8 < \gamma_{corr} \leq 5.6$	$5 < \gamma_{corr} \leq 10$ —

資料來源：CNS 13401 (ISO 9223)

第四章 大氣腐蝕因子與現地暴露試驗

4.1 氯鹽沉積速率調查結果

各試驗點四次採樣之氯鹽沉積速率計算結果如表 4-1。四次採樣的調查期間分別為 2015.10-2015.12(秋季)，2016.01-2016.03(冬季)，2016.04-2016.06(春季)，2016.07-2016.09(夏季)。

一般而言，2015.10-2015.12 秋季期間，氯鹽沉積速率介於 $0.7 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ (北橫巴陵)至 $187.0 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ (外埔安檢所)之間，而較高的沉積速率發生在外埔安檢所、蘇澳港試驗線 100m、橄仔樹安檢所、梗枋安檢所、臺塑六輕試驗線 0m、臺塑六輕試驗線 300m，各測點所測得的氯鹽沉積速率均大於 $50 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ 。在高雄港試驗線 0m、南澳安檢所、陽明山國家公園、平鎮工業區(力鋼)、阿里山、高雄港試驗線 800m 與北橫巴陵氯鹽沉積速率都低於 $1.5 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ 。

2016.01-2016.03 冬季期間之氯鹽沉積速率介於 $0.4 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ (阿里山)至 $91.9 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ (橄仔樹安檢所)之間，較高的沉積速率發生在橄仔樹安檢所、外埔安檢所、臺塑六輕試驗線 0m，各測點所測得的氯鹽沉積速率均大於 $50 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ 。在阿里山、北橫巴陵、太魯閣國家公園、陽明山國家公園、臺北市區、興達火力電廠、高鐵左營站、高鐵台中站、東北角、高雄港試驗線 50m、龍德工業區、平鎮工業區(力鋼)等站都低於 $2.0 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ 。

2016.04-2016.06 春季期間之氯鹽沉積速率介於 $0.5 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ (北橫巴陵)至 $139.6 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ (花蓮港試驗線 0m)之間，較高的沉積速率發生在花蓮港試驗線 0m，其餘依序為外埔安檢所、橄仔樹安檢所、新竹漁港、蘇澳港試驗線 100m、蘇澳港試驗線 300m、花蓮港試驗線 100m，各測點所測得的氯鹽沉積速率均大於 $30 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ 。至於氯鹽沉積速率較小有太魯閣國家公園、平鎮工業區(力鋼)、阿里山和北橫巴陵都低於 $1.0 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ 。

2016.07-2016.09 夏季期間之氯鹽沉積速率介於 $0.4 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ (高

鐵臺中站)至 $142.8 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ (蘇澳港試驗線 100m)之間，蘇澳港試驗線 100m、核三廠試驗線 0m、花蓮港試驗線 0m、橄仔樹安檢所大於 $60 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ ，其次為外埔安檢所、高雄港試驗線 50m、尚武安檢所、核三廠試驗線 100m、成功安檢所、伽蘭安檢所、臺塑六輕試驗線 800m、基隆試驗線 100m、核三廠試驗線 1Km、臺塑六輕試驗線 2Km 等氯鹽沉積速率大於 $20\text{mg}/\text{m}^2/\text{day}$ 。至於氯鹽沉積速率較小有高鐵臺中站、北橫巴陵、高鐵左營站、阿里山、太魯閣國家公園、臺北市區、陽明山國家公園、平鎮工業區(力鋼)低於 $1.0 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ 。

4.1.1 氯鹽沉積速率季節性之比較

本研究四次採樣調查的期間分別為 2015.10-2015.12(秋季)，2016.01-2016.03(冬季)，2016.04-2016.06(春季)，2016.07-2016.09(夏季)。如圖 4.1 至圖 4.4 為四次採樣期間內之氯鹽沉積速率等位圖，可看出臺灣全島的氯鹽沉積速率四季中以秋季較為嚴重。圖中，紅色部份表示氯鹽沉積速率大於 $10\text{mg}/\text{m}^2/\text{day}$ 的區域。根據四次採樣調查結果，而西部海岸一年期氯鹽沉積速率以外埔安檢所為 $270.5\text{mg}/\text{m}^2/\text{day}$ 最高、臺塑六輕試驗線 100m 為 $99.7\text{mg}/\text{m}^2/\text{day}$ 、彰濱工業區達 $105.4 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ 。自桃園試驗線一直到嘉義縣東石鄉，氯鹽沉積速率約在 $1.2\sim 270.5\text{mg}/\text{m}^2/\text{day}$ 之間；臺灣東部海岸以梗枋安檢所較高為 $177.3 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ ，自梗枋至尚武試驗點氯鹽沉積速率介於 $0.3\sim 177.3\text{mg}/\text{m}^2/\text{day}$ 之間。北部海岸以基隆試驗線 100m 為 $27.4 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ 較高，南部海岸以核三廠試驗線 0m $19.5 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ 較高。

4.1.2 氯鹽沉積速率與垂直海岸線之關係

在垂直海岸的試驗線，如圖 4.5 為四次調查之垂直海岸試驗線於距海岸 0m、100m、300m、1Km、3Km 等之平均氯鹽沉積速率；調查結果發現，以東部蘇澳港試驗線、花蓮港試驗線、西部臺塑六輕試驗線與北部基隆港試驗線的氯鹽沉積速率較高。

表 4-1 氯鹽沉積速率表

單位 : mg/m²/day

項次	試驗地點	試驗期間			
		2015.10- 2015.12	2016.01- 2016.03	2016.04- 2016.06	2016.07- 2016.09
1	基隆試驗線 0m	27.1	16.4	20.5	7.2
2	基隆試驗線 100m	43.9	27.5	22.0	23.3
3	梗枋安檢所	61.6	32.4	28.8	10.3
4	龍德工業區	5.8	1.8	2.0	3.6
5	蘇澳港試驗線 0m	43.9	42.8	18.6	8.5
6	蘇澳港試驗線 100m	108.3	47.7	43.3	142.8
7	蘇澳港試驗線 300m	48.3	13.0	31.9	8.4
8	南澳安檢所	1.4	11.1	3.9	10.7
9	太魯閣國家公園	2.3	0.7	0.7	0.7
10	花蓮港試驗線 0m	48.1	22.3	139.6	80.2
11	花蓮港試驗線 100m	31.8	13.6	31.1	-
12	花蓮港試驗線 500m	18.9	20.0	11.8	9.1
13	欒仔樹安檢所	102.0	91.9	71.6	73.3
14	石梯安檢所	18.0	23.5	8.8	15.2
15	成功安檢所	45.9	26.6	24.5	34.1
16	金樽安檢所	34.7	11.7	17.8	17.7
17	伽蘭安檢所	17.6	7.6	10.9	33.9
18	尚武安檢所	31.6	20.0	9.9	45.8
19	核三廠試驗線 0m	10.1	8.0	5.6	111.0
20	核三廠試驗線 100m	7.6	6.9	5.1	41.0
21	核三廠試驗線 300m	10.2	7.1	6.1	1.3
22	核三廠試驗線 1Km	7.5	3.3	2.3	21.4
23	臨海工業區	2.1	3.8	4.4	15.5
24	高雄港試驗線 0m	1.5	5.5	10.7	17.3
25	高雄港試驗線 50m	3.1	1.6	3.4	48.4
26	高雄港試驗線 300m	3.5	4.1	3.3	6.0
27	高雄港試驗線 500m	2.9	3.0	2.8	13.0
28	高雄港試驗線 800m	1.1	2.5	1.8	1.9
29	高鐵左營站	2.0	1.6	1.5	0.6

項次	試驗地點	試驗期間	2015.10- 2015.12	2016.01- 2016.03	2016.04- 2016.06	2016.07- 2016.09
30	興達火力電廠		4.0	1.5	3.1	3.2
31	成大水工所		2.2	2.1	2.4	1.7
32	東石安檢所		14.4	6.0	13.7	18.0
33	高鐵嘉義站		2.5	2.1	2.8	1.7
34	臺塑六輕試驗線 0m		59.4	53.5	18.3	18.4
35	臺塑六輕試驗線 300m		51.5	33.8	26.1	15.2
36	臺塑六輕試驗線 800m		33.4	35.5	22.3	25.1
37	臺塑六輕試驗線 2Km		21.9	17.9	13.3	20.6
38	臺塑六輕試驗線 3Km		6.5	12.1	6.2	3.2
39	王功安檢所		20.5	23.8	19.0	13.6
40	彰濱工業區		31.8	27.2	21.6	13.8
41	高鐵臺中站		-	1.9	3.0	0.4
42	臺中火力電廠		9.8	11.6	4.3	4.8
43	臺中港試驗線 0m		13.7	8.2	7.0	3.8
44	臺中港試驗線 300m		16.5	2.6	7.6	2.4
45	臺中港試驗線 2Km		5.7	5.3	1.5	1.6
46	五甲安檢所		17.3	18.4	9.8	10.1
47	通霄火力電廠		20.5	20.1	16.6	17.2
48	外埔安檢所		187.0	90.1	72.2	57.2
49	平鎮工業區(力鋼)		1.3	2.0	0.9	1.0
50	桃園試驗線 100m		24.3	22.3	1.4	12.0
51	桃園試驗線 500m		34.2	16.2	5.0	6.5
52	桃園試驗線 2Km		9.6	5.3	2.8	6.8
53	臺北市區		1.8	1.4	1.1	0.8
54	陽明山國家公園		1.3	2.0	1.2	0.9
55	北橫巴陵		0.7	0.4	0.5	0.5
56	阿里山		1.2	0.4	1.0	0.7
57	東北角		12.2	1.6	5.3	3.6
58	臺北港監測站		9.3	6.1	1.3	4.0
59	永安安檢所		9.0	10.2	2.7	2.1
60	新竹漁港		39.1	35.8	45.4	-
61	金門水頭商港		6.9	3.9	3.3	8.0

註：- 表示試體遺失

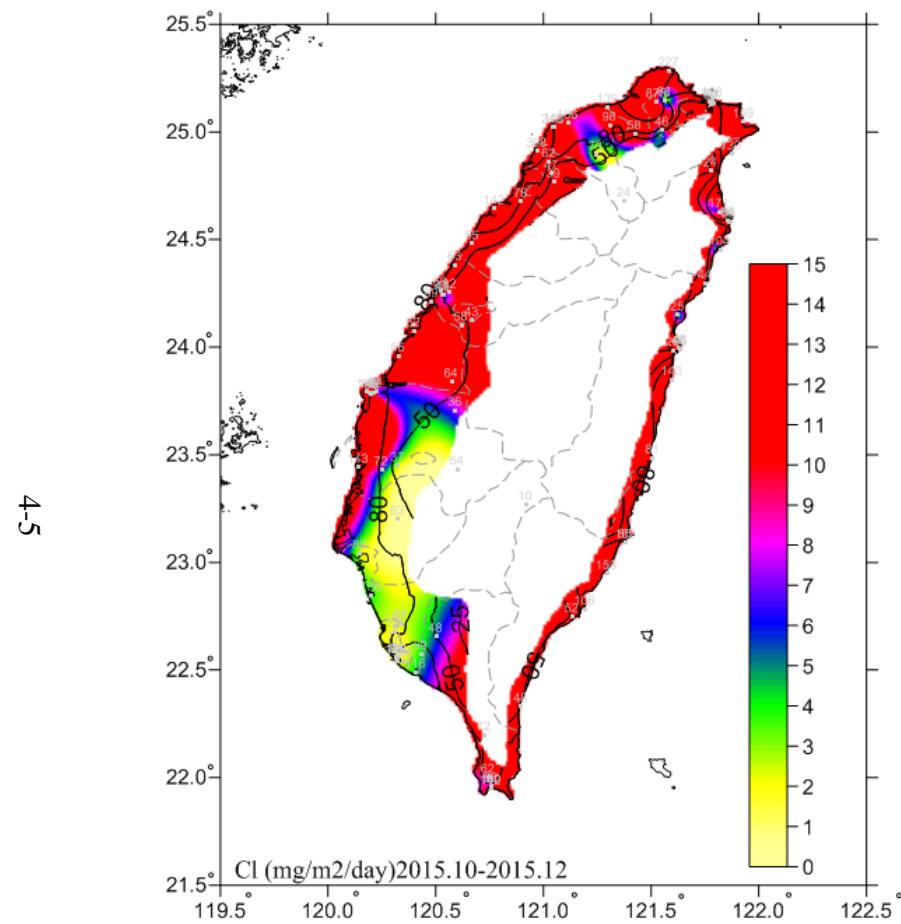


圖 4.1 2015.10-2015.12 氯鹽沉積速率(mg/m²/day)

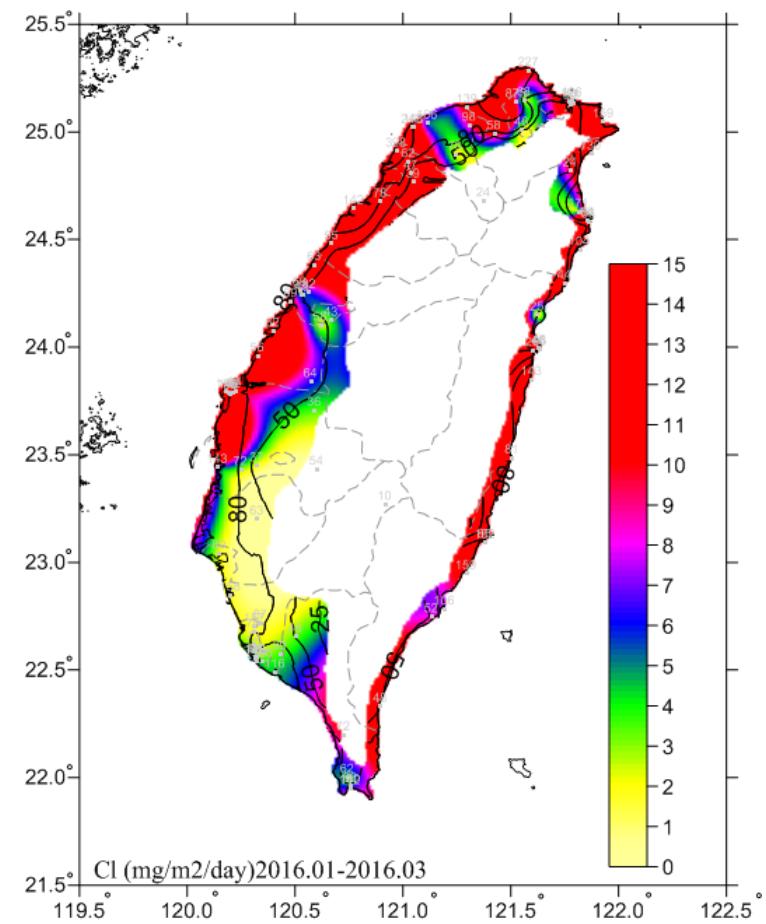


圖 4.2 2016.01-2016.03 氯鹽沉積速率(mg/m²/day)

46

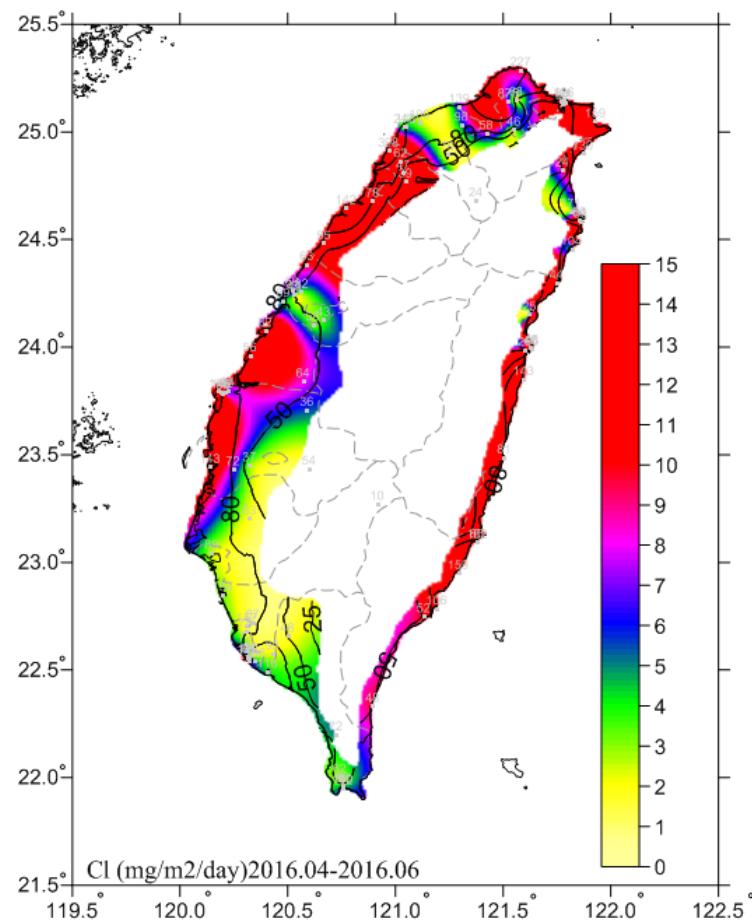


圖 4.3 2016.04-2016.06 氯鹽沉積速率

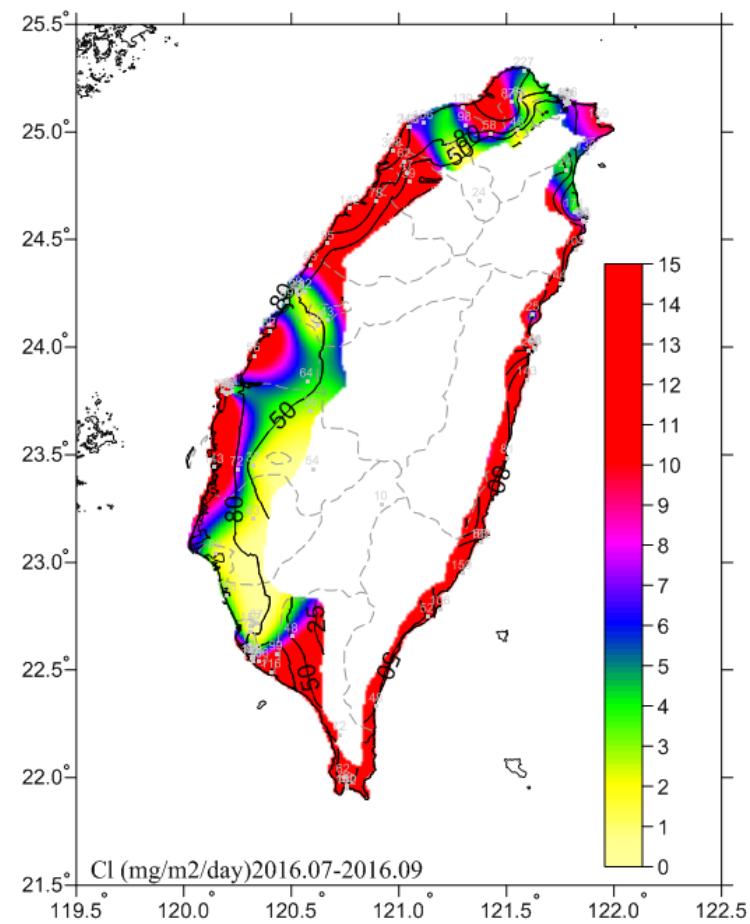
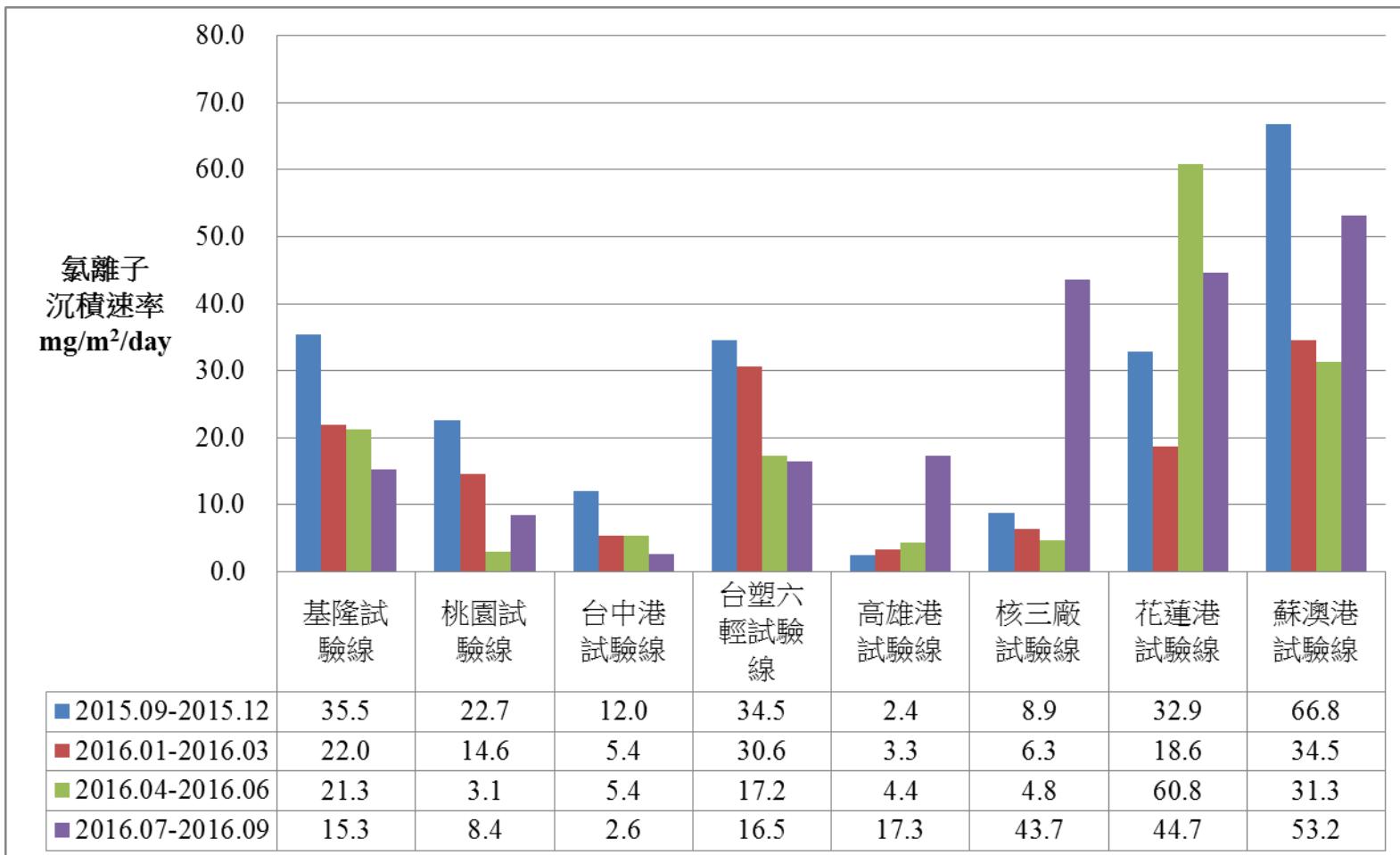


圖 4.4 2016.07-2016.09 氯鹽沉積速率



註 1：氯離子沉積速率為各試驗線測站平均值

圖 4.5 四次調查之垂直海岸試驗線氯鹽沉積速率

4.2 二氧化硫沉積速率調查結果

表 4-2 為各試驗位址二氧化硫沉積速率計算結果。四次採樣調查的時間與氯鹽沉積速率調查的時間相同，分別為為 2015.10-2015.12 (秋季), 2016.01-2016.03(冬季), 2016.04-2016.06 (春季), 2016.07-2016.09(夏季)。

第一次調查期間 2015.10-2015.12 (秋季)，陽明山硫礦區的二氧化硫沉積速率最大 $821.2 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ ，其餘介於阿里山 $23.8 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ 至 $399.0 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ 官田工業區之間。較高的沉積速率發生在官田工業區、桃園試驗線 100m、東北角風景區、臨海工業區、陽明山國家公園，其值均大於 CNS 13401 (ISO 9223) 的最高分類標準 P3, $200 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ 。高鐵沿線二氧化硫沉積速率的分布以嘉義站最高 $80.7 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ 、左營站次之 $75.0 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ 、台中站最低為 $52.4 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ 。東部海岸因無石化工業區或電廠的設立，二氧化硫沉積速率僅介於 $28.8 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ 太魯閣國家公園與 $274.7 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ 東北角風景區。

第二次調查 2016.01-2016.03 (冬季)，二氧化硫沉積速率以陽明山硫礦區的二氧化硫沉積速率最高為 $3329 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ ，其餘介於 $13.1 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ 北橫巴陵至 $389.0 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ 臺中火力電廠之間。其次較高的沉積速率發生在官田工業區 $316.5 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ 、龍德工業區 $270.8 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ 、東北角風景區 $250.3 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ 等其值均大於 $200 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ 。高鐵沿線二氧化硫沉積速率的分布以嘉義站最高 $73.4 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ 、左營站次之 $68.3 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ 、最低為台中站 $49.5 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ 。

第三次調查 2016.04-2016.06 (春季)，二氧化硫沉積速率陽明山硫礦區的二氧化硫沉積速率最高為 $2426.7 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ ，其餘介於 $13.5 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ 阿里山至 $532.4 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ 臨海工業區之間。依序較高的沉積速率發生在陽明山國家公園、龍德工業區、桃園試驗線 100m 其值均大於 CNS 13401 (ISO 9223) 的最高分類標準 P3, $200 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ 。高鐵沿線二氧化硫沉積速率的分布以左營站較高 $65.1 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ 、臺中站

44.6 mg/m²/day、最低為嘉義站 33.5 mg/m²/day。

第四次調查期間 2016.07-2016.09(夏季)，二氧化硫沉積速率以陽明山硫礦區最高，約為 755.9 mg/m²/day，其餘介於 8.5 mg/m²/day 屏東工業區至 189.5 mg/m²/day 臺中火力電廠之間。依序較高的沉積速率發生在 189.5 mg/m²/day 臺中火力電廠、關連工業區 132.7 mg/m²/day、陽明山國家公園 118.4 mg/m²/day、桃園試驗線 2Km 113.5 mg/m²/day。高鐵沿線二氧化硫沉積速率的分佈由大到小依序為臺中站、左營站、嘉義站，分別為 85.4、63.5、43.5 mg/m²/day。

各石化廠與火力電廠、高鐵沿線、都市地區以及重要工業區之二氧化硫沉積速率彙整如表 4-3 所示。

4.2.1 二氧化硫沉積速率季節性之比較

如圖 4.6 至圖 4.9 為四次採樣期間內之二氧化硫沉積速率等位圖，圖中，黃色表示二氧化硫沉積速率為 0~10 mg/m²/day 的區域，綠色表示沉積速率為 10~35 mg/m²/day 的區域，藍色表示沉積速率為 35~80 mg/m²/day 的區域，粉紅色表示 80~200 mg/m²/day 的區域，紅色則為大於 200 mg/m²/day 的區域。

四次調查的結果分佈情形除了陽明山硫礦區。在西海岸秋季(2015.10-2015.12)以官田工業區、桃園試驗線 100m、臨海工業區，冬季(2016.01-2016.03)期間，以臺中火力電廠、官田工業區，春季(2016.04-2016.06)期間以臨海工業區，夏季(2016.07-2016.09)以臺中火力電廠、關連工業區沉積速率相較其他季節有顯著增加的趨勢。東海岸以東北角風景區、龍德工業區沉積速率較高。

表 4-2 二氧化硫沉積速率表

單位 : mg/m²/day

項次	試驗地點 試驗期間	2015.10-	2016.01-	2016.04-	2016.07-
		2015.12	2016.03	2016.06	2016.09
1	基隆試驗線 1Km	38.1	43.1	36.0	40.6
2	龍德工業區	-	270.8	284.2	-
3	和平工業區	50.7	31.6	29.1	17.4
4	太魯閣國家公園	28.8	17.5	21.0	30.4
5	美崙工業區	29.3	35.4	26.9	23.7
6	豐樂工業區	32.5	66.4	34.6	39.7
7	屏東工業區	46.2	49.0	27.4	8.5
8	中油林園廠	153.7	117.1	91.4	46.1
9	臨海工業區	252.6	-	532.4	103.7
10	鳳山工業區	134.0	87.4	80.5	63.6
11	大發工業區	191.0	150.3	74.6	95.2
12	高鐵左營站	75.0	68.3	65.1	63.5
13	高雄煉油廠	67.2	71.4	31.0	16.5
14	永安工業區	115.2	113.4	94.1	-
15	興達火力電廠	124.8	84.6	64.5	31.8
16	安平工業區	122.7	66.7	68.2	19.2
17	成大水工所	73.3	64.4	45.9	15.8
18	官田工業區	399.0	316.5	144.9	74.8
19	朴子工業區	99.5	108.7	107.4	67.7
20	高鐵嘉義站	80.7	73.4	33.5	43.5
21	斗六工業區	70.4	62.2	53.7	51.0
22	彰濱工業區	187.9	72.1	88.2	93.7
23	田中工業區	77.9	51.8	57.9	54.0
24	南崙工業區	54.7	62.1	75.8	50.8
25	大里工業區	47.4	36.4	41.7	37.6
26	高鐵臺中站	52.4	49.5	44.6	85.4
27	臺中工業區	60.2	53.9	42.4	50.0
28	關連工業區	-	129.2	154.3	132.7
29	臺中火力電廠	159.5	389.0	142.4	189.5
30	臺中港試驗線 300m	78.3	74.9	83.2	92.9
31	通霄火力電廠	144.3	64.0	55.3	41.3
32	竹南工業區	147.4	142.6	141.0	92.5
33	頭份工業區	66.4	64.2	91.8	78.8
34	工研院	45.7	-	32.4	31.2

項次	試驗地點	試驗期間		2015.10-2015.12	2016.01-2016.03	2016.04-2016.06	2016.07-2016.09
		2015.10	2015.12	2016.01	2016.03	2016.04	2016.06
35	新竹工業區	63.0		39.2		65.2	60.1
36	平鎮工業區	80.5		84.7		46.0	33.4
37	桃園試驗線 100m	319.8		136.3		201.4	74.3
38	桃園試驗線 500m	111.8		65.0		61.7	83.1
39	桃園試驗線 2Km	95.6		93.2		110.8	113.5
40	樹林工業區	175.5		103.9		107.7	43.0
41	臺北市區	34.1		40.5		37.8	26.9
42	陽明山國家公園	230.9		182.7		392.2	118.4
43	陽明山硫礦區	821.2		3329.2		2426.7	755.9
44	北橫巴陵	24.9		13.1		15.3	21.8
45	阿里山	23.8		26.1		13.5	14.6
46	平鎮工業區(中心)	41.5		29.0		23.1	57.6
47	觀音工業區(中心)	79.3		88.5		77.8	105.6
48	東北角風景區	274.7		250.3		138.4	35.4
49	永安安檢所	150.0		104.2		42.6	58.0
50	金門水頭商港	92.7		106.6		82.8	23.5

註：- 表示試片遺失

表 4-3 特定試驗點之二氧化硫沉積速率表

試驗地點	試驗期間	2015.10-2015.12	2016.01-2016.03	2016.04-2016.06	2016.07-2016.09
高鐵臺中站		52.4	49.5	44.6	85.4
高鐵嘉義站		80.7	73.4	33.5	43.5
高鐵左營站		75.0	68.3	65.1	63.5
高雄煉油廠		67.2	71.4	31.0	16.5
中油林園廠		153.7	117.1	91.4	46.1
大潭火力電廠		111.8	65.0	61.7	83.1
通霄火力電廠		144.3	64.0	55.3	41.3
臺中火力電廠		159.5	389.0	142.4	189.5
興達火力電廠		124.8	84.6	64.5	31.8
觀音工業區		79.3	88.5	77.8	105.6
彰濱工業區		187.9	72.1	88.2	93.7
大發工業區		191.0	150.3	74.6	95.2
臨海工業區		252.6	-	532.4	103.7
龍德工業區		-	270.8	284.2	-
臺北市區		34.1	40.5	37.8	26.9

4-12

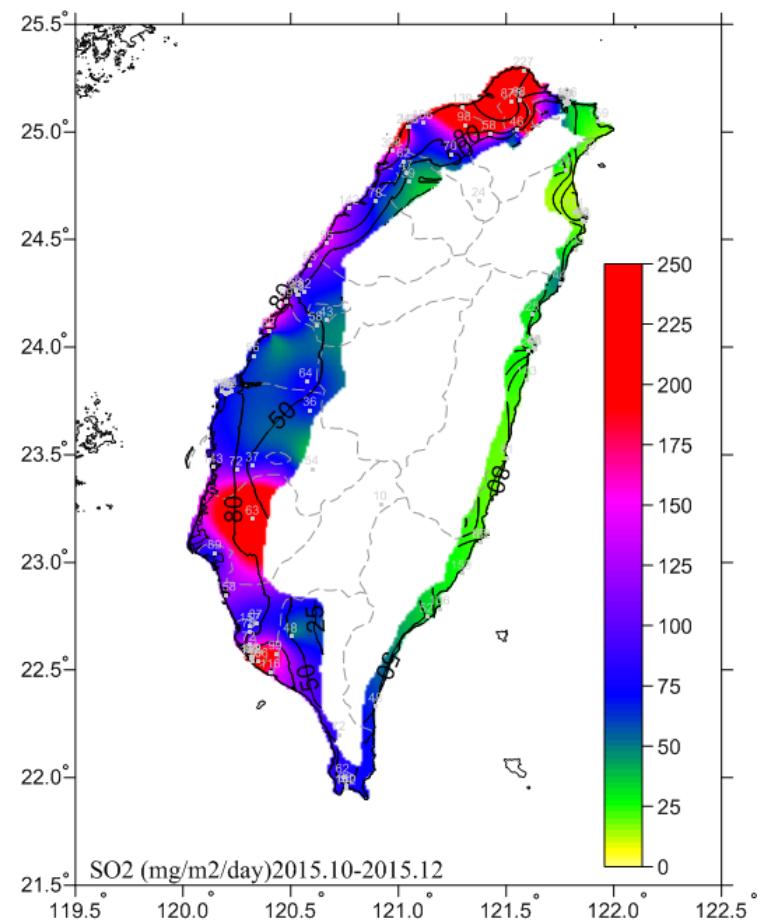


圖 4.6 2015.10-2015.12 二氧化硫沉積速率

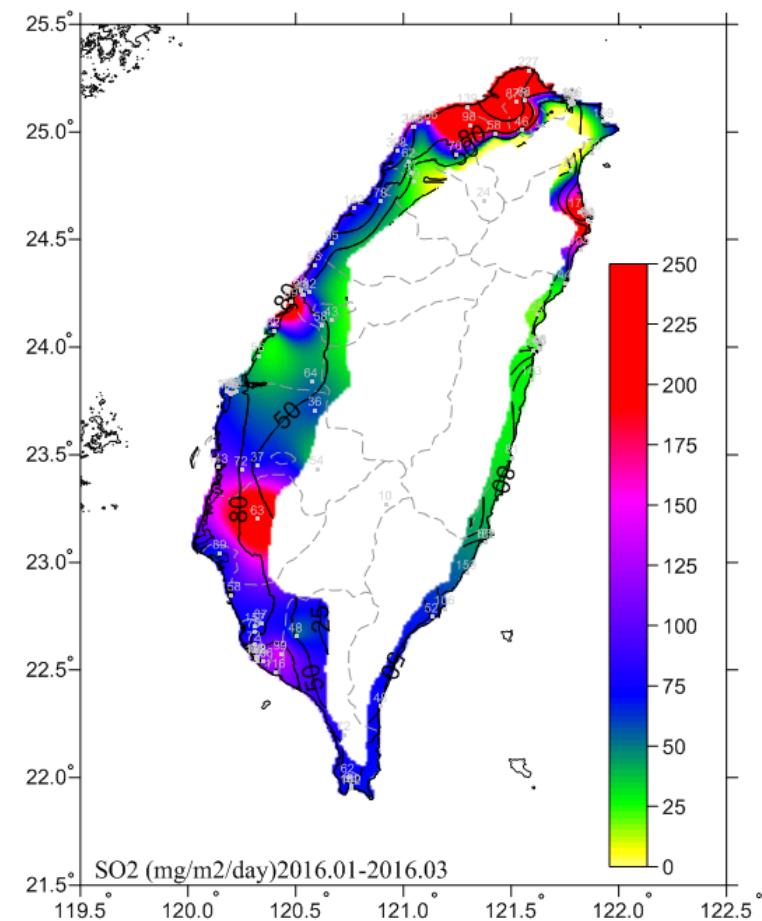


圖 4.7 2016.01-2016.03 二氧化硫沉積速率

4-13

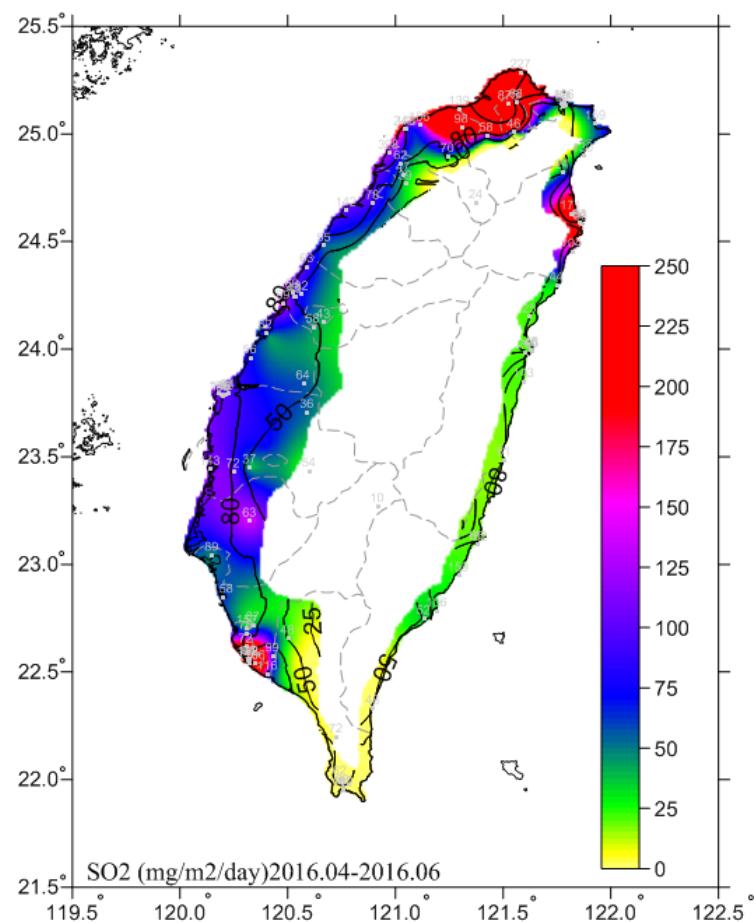


圖 4.8 2016.04-2016.06 二氧化硫沉積速率

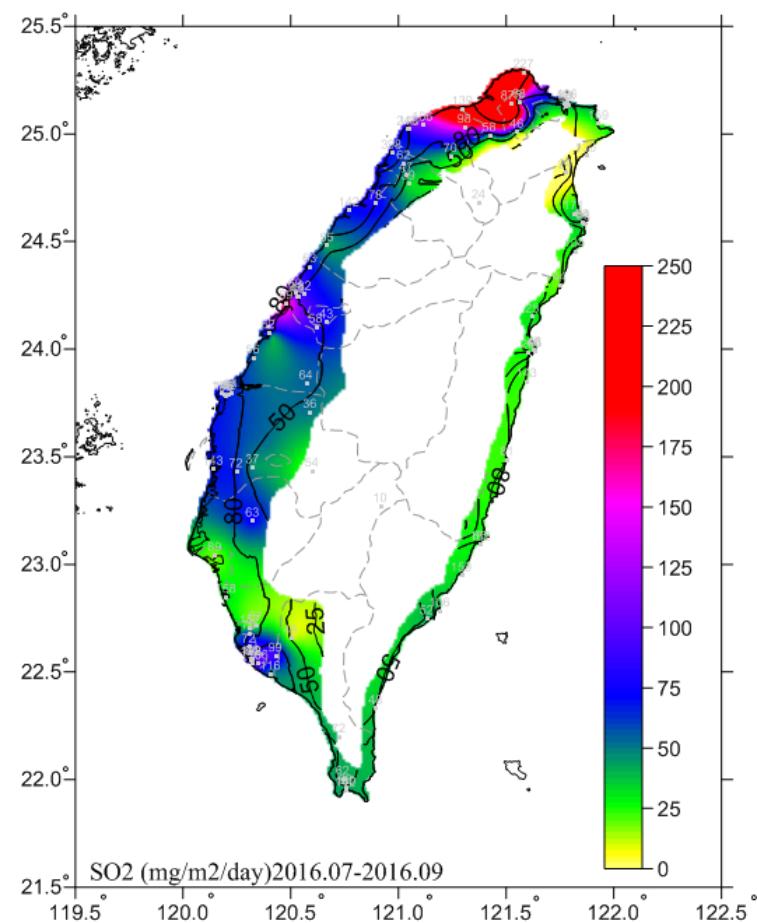


圖 4.9 2016.07-2016.09 二氧化硫沉積速率

4.3 濕潤時間百分比

表 4-4 為各測點四次調查期間，其計算方法為利用中央氣象局氣象站逐時記錄之相對濕度資料，統計試體暴露期間內相對濕度大於 80%的小時數，再除以總暴露時間(小時數)。若測點所在位置無氣象站，則以鄰近的氣象站資料推估，選用氣象站的名稱如表中括號內所示。圖 4.10 與圖 4.13 分別為四次採樣期間內之濕潤時間百分比等位圖。

第一次調查期間 2015.10-2015.12(秋季)，濕潤時間百分比(%)介於陽明山國家公園 64.7% 及金門水頭商港 11.6% 之間，其餘介於 55.9% 至 14.6% 之間，依序分別為龍德工業區、蘇澳港試驗線、南澳安檢所、東北角風景管理處、斗六工業區、朴子工業區、高鐵嘉義站、台塑六輕試驗線等地區。

第二次調查期間 2016.01-2016.03 (冬季)，濕潤時間百分比介於陽明山國家公園 78.8% 及核三廠試驗線 19.8% 之間，其餘介於 61.6% 至 21.4% 之間。依序分別為斗六工業區、臺中港試驗線 300m、高鐵嘉義站、竹南工業區、頭份工業區、工研院、新竹漁港等。

第三次調查期間 2016.04-2016.06 (春季)，濕潤時間百分比介於陽明山國家公園 80.0% 及高雄港試驗線周邊 28.8% 之間，其餘依序介於 72.2% 至 29.1% 之間分別為金門水頭商港、基隆試驗線、和平工業區、太魯閣國家公園、美崙工業區、花蓮港試驗線、橄仔樹安檢所、石梯安檢所等。

第四次調查期間 2016.07-2016.09(夏季)，濕潤時間百分比介於阿里山 81.9% 及臺北市區 15.8% 之間，其餘依序於 63.2% 至 16.1% 之間則有金門水頭商港、陽明山、核三廠試驗線、朴子工業區、高鐵嘉義站、斗六工業區、台塑六輕試驗線、美崙工業區、花蓮港試驗線。

表 4-4 各試驗點濕潤時間百分比調查表

單位：%

項 次	試驗期間 試驗地點	2015.10- 2015.12	2016.01- 2016.03	2016.04- 2016.06	2016.07- 2016.09
1	基隆試驗線 0m	42.6	51.6	67.0	33.9
2	基隆試驗線 100m	42.6	51.6	67.0	33.9
3	基隆試驗線 1Km	42.7	51.6	67.0	33.9
4	梗枋安檢所	47.6	54.9	60.6	35.9
5	龍德工業區	55.9	53.5	56.4	38.8
6	蘇澳港試驗線 0m	55.9	53.5	56.4	38.8
7	蘇澳港試驗線 100m	55.9	53.5	56.4	38.8
8	蘇澳港試驗線 300m	55.9	53.5	56.4	38.8
9	南澳安檢所	55.9	53.5	56.4	38.8
10	和平工業區	47.0	48.9	65.1	54.1
11	太魯閣國家公園	47.0	48.9	65.1	54.1
12	美崙工業區	47.0	48.0	65.0	54.7
13	花蓮港試驗線 0m	47.0	48.0	65.0	54.7
14	花蓮港試驗線 100m	47.0	48.0	65.0	54.7
15	花蓮港試驗線 500m	47.0	48.0	65.0	54.7
16	橄仔樹安檢所	47.0	48.0	65.0	54.7
17	石梯安檢所	47.0	48.0	65.0	54.7
18	成功試驗線 0m	44.4	36.6	62.3	46.7
19	金樽安檢所	44.4	36.6	62.3	46.7
20	伽蘭安檢所	40.9	39.2	54.7	40.1
21	豐樂工業區	40.9	38.9	54.7	40.4
22	尚武安檢所	40.9	21.4	39.0	37.0
23	核三廠試驗線 0m	20.1	19.8	45.4	58.2
24	核三廠試驗線 100m	20.1	19.8	45.4	58.2
25	核三廠試驗線 300m	20.1	19.8	45.4	58.2
26	核三廠試驗線 1Km	20.1	19.8	45.4	58.2
27	屏東工業區	16.3	22.1	29.1	37.8
28	中油林園廠	16.3	22.1	29.1	37.8
29	臨海工業區	16.3	22.1	28.8	38.1
30	鳳山工業區	16.3	22.1	28.8	38.5

項 次	試驗地點	試驗期間			
		2015.10- 2015.12	2016.01- 2016.03	2016.04- 2016.06	2016.07- 2016.09
31	大發工業區	16.3	22.1	29.1	37.8
32	高雄港試驗線 0m	16.3	22.1	28.8	38.1
33	高雄港試驗線 50m	16.3	22.1	28.8	38.1
34	高雄港試驗線 300m	16.3	22.1	28.8	38.1
35	高雄港試驗線 500m	16.3	22.1	28.8	38.1
36	高雄港試驗線 800m	16.3	22.1	28.8	38.1
37	高鐵左營站	16.3	24.3	29.8	35.2
38	高雄煉油廠	16.3	22.6	29.1	37.8
39	永安工業區	16.3	22.6	29.1	37.7
40	興達火力電廠	16.3	22.6	29.1	37.7
41	安平工業區	36.3	46.4	38.7	34.9
42	成大水工所	36.3	46.4	38.7	34.9
43	官田工業區	34.1	43.3	42.9	32.3
44	東石安檢所	42.0	50.1	40.1	42.6
45	朴子工業區	48.2	59.1	57.3	56.0
46	高鐵嘉義站	48.2	60.7	55.5	55.4
47	斗六工業區	51.0	61.6	55.5	55.2
48	台塑六輕試驗線 0m	48.2	59.1	57.3	55.0
49	台塑六輕試驗線 300m	48.2	59.1	57.3	55.0
50	台塑六輕試驗線 800m	48.2	59.1	57.3	55.0
51	台塑六輕試驗線 2Km	48.2	59.1	57.3	55.0
52	台塑六輕試驗線 3Km	48.2	59.1	57.3	55.0
53	王功安檢所	46.7	58.9	56.7	29.3
54	彰濱工業區	46.7	58.9	56.7	29.3
55	田中工業區	15.7	41.5	32.2	35.4
56	南崗工業區	14.6	41.5	33.0	35.6
57	大里工業區	14.6	41.5	33.0	35.6
58	高鐵臺中站	15.0	42.7	35.3	35.2
59	臺中工業區	14.6	41.5	33.0	35.6
60	關連工業區	38.5	57.6	57.8	29.4
61	臺中火力電廠	40.4	58.9	56.7	29.3
62	臺中港試驗線 0m	38.5	58.9	56.7	28.6
63	臺中港試驗線 300m	37.3	61.0	59.4	33.2

項 次	試驗地點	試驗期間			
		2015.10- 2015.12	2016.01- 2016.03	2016.04- 2016.06	2016.07- 2016.09
64	臺中港試驗線 2Km	41.4	58.6	57.8	29.4
65	五甲安檢所	37.7	58.9	57.1	29.0
66	通霄火力電廠	37.7	58.9	57.1	29.0
67	外埔安檢所	37.7	58.9	57.1	29.0
68	竹南工業區	31.3	60.0	38.5	25.3
69	頭份工業區	31.3	60.0	38.5	25.3
70	工研院	31.3	60.0	38.5	25.3
71	新竹工業區	30.9	59.2	37.2	24.5
72	平鎮工業區	25.5	55.4	46.2	24.0
73	桃園試驗線 100m	25.5	57.0	45.2	24.2
74	桃園試驗線 500m	25.5	52.5	59.3	24.3
75	桃園試驗線 2Km	25.5	52.5	59.3	24.3
76	樹林工業區(服務中心)	37.0	58.9	31.8	16.1
77	臺北市區	37.0	58.5	32.3	15.8
78	陽明山國家公園	64.7	78.8	80.0	62.2
79	陽明山硫磺區	64.7	78.8	80.0	62.2
80	北橫巴陵	37.0	58.8	31.8	16.1
81	阿里山	41.2	47.8	57.5	81.9
82	東北角風景管理處	51.6	51.6	60.6	49.1
83	臺北港監測站	26.4	52.0	60.0	24.7
84	平鎮工業區(服務中心)	25.1	55.4	46.2	24.0
85	觀音工業區(服務中心)	25.1	52.5	59.3	24.3
86	永安安檢所	25.1	52.5	59.3	24.3
87	新竹漁港	31.3	60.0	38.5	26.0
88	金門水頭商港	11.6	31.8	72.2	63.2
89	高雄港#39				38.1
90	高雄港#75				38.1
91	馬祖				24.6
92	澎湖				19.5

註：高雄港#39、高雄港#75、馬祖、澎湖為新增試驗點

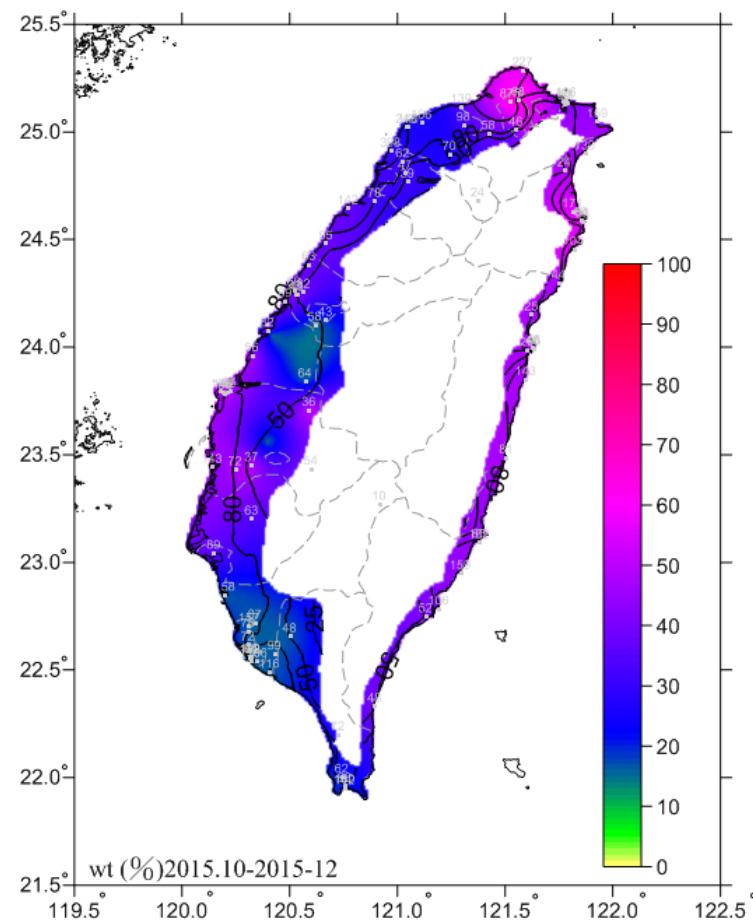


圖 4.10 2015.10-2015.12 濕潤時間百分比

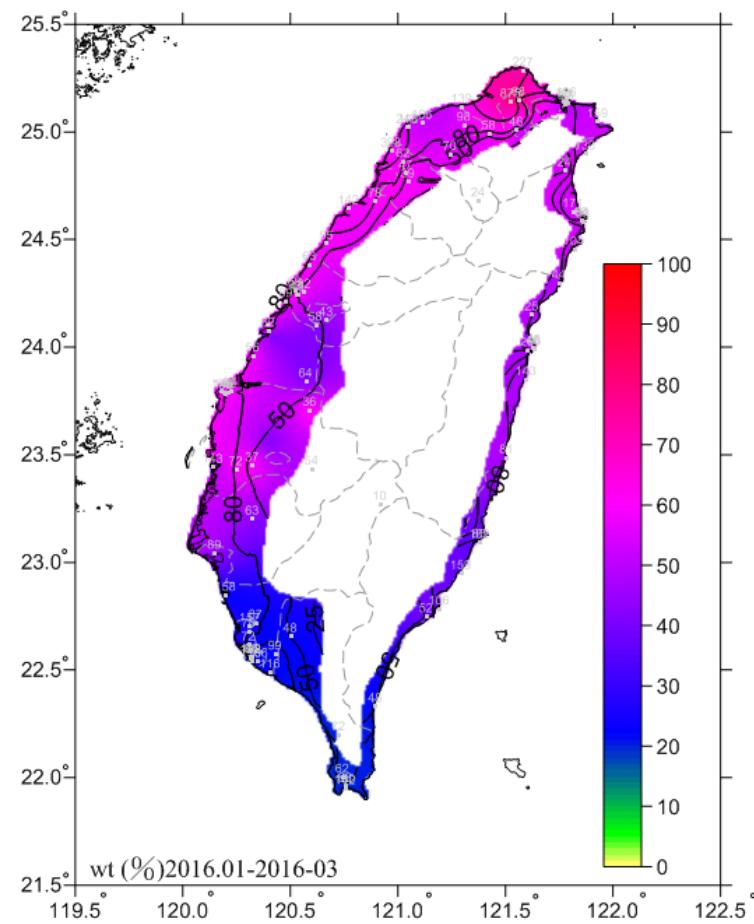


圖 4.11 2016.01-2016.03 濕潤時間百分比

4-19

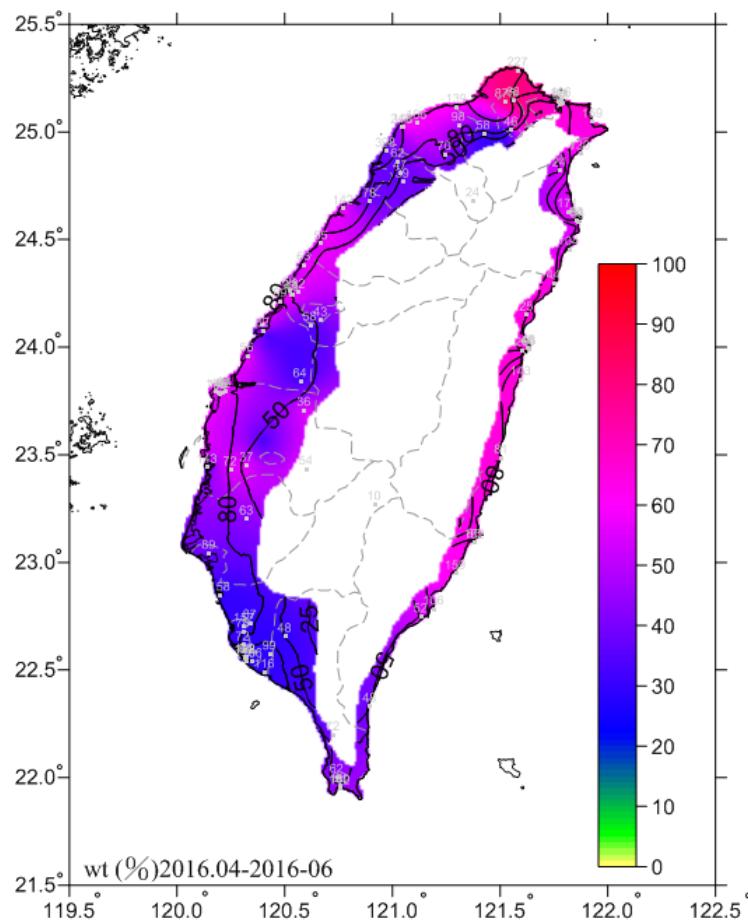


圖 4.12 2016.04-2016.06 濕潤時間百分比

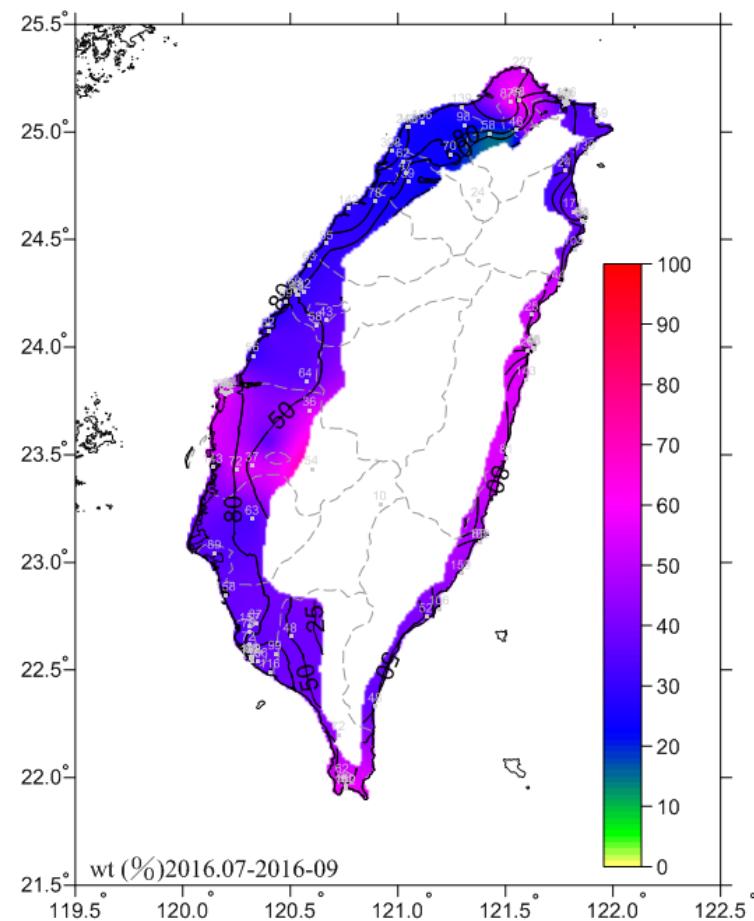


圖 4.13 2016.07-2016.09 濕潤時間百分比

4.4 現地暴露試驗結果

今彙整四次採樣之各金屬之腐蝕速率計算結果，如表 4-5 至表 4-8 所示。

第一次調查期間 2015.10-2015.12，秋季期間，碳鋼金屬大氣腐蝕速率介於 $21.4 \mu\text{m}/\text{yr}$ (北橫巴陵)至 $532.2 \mu\text{m}/\text{yr}$ (陽明山硫礦區)之間；其他依序以 $490.5 \mu\text{m}/\text{yr}$ (台塑六輕試驗線 300m)、及 $458.8 \mu\text{m}/\text{yr}$ (台塑六輕試驗線 2Km)、 $457.9 \mu\text{m}/\text{yr}$ (台塑六輕試驗線 0m)試片腐蝕速率較大。針對鋅金屬介於 $5.7 \mu\text{m}/\text{yr}$ (高鐵臺中站)至 $74.9 \mu\text{m}/\text{yr}$ (台塑六輕試驗線 0m)之間；銅金屬介於 $4.5 \mu\text{m}/\text{yr}$ (大里工業區)至 $79.1 \mu\text{m}/\text{yr}$ (陽明山硫礦區)之間；而鋁金屬則介於 $1.3 \text{ g/m}^2/\text{yr}$ (阿里山)至 $66.3 \text{ g/m}^2/\text{yr}$ (台塑六輕試驗線 300m)之間。

第二次調查期間 2016.01-2016.03，冬季期間，碳鋼金屬大氣腐蝕速率介於 $19.3 \mu\text{m}/\text{yr}$ (北橫巴陵)至 $580.3 \mu\text{m}/\text{yr}$ (基隆港試驗線 100m)之間；鋅金屬介於 $1.6 \mu\text{m}/\text{yr}$ (臺北港監測站)至 $21.5 \mu\text{m}/\text{yr}$ (彰濱工業區)之間；銅金屬介於 $1.9 \mu\text{m}/\text{yr}$ (臺中工業區)至 $91.0 \mu\text{m}/\text{yr}$ (陽明山硫礦區)之間；而鋁金屬則介於 $1.6 \text{ g/m}^2/\text{yr}$ (高鐵左營站)至 $50.8 \text{ g/m}^2/\text{yr}$ (台塑六輕試驗線 300m)之間。

第三次調查期間 2016.04-2016.06，春季期間，碳鋼金屬大氣腐蝕速率介於 $17.7 \mu\text{m}/\text{yr}$ (阿里山)至 $881.7 \mu\text{m}/\text{yr}$ (陽明山硫礦區)之間；鋅金屬介於 $4.3 \mu\text{m}/\text{yr}$ (豐樂工業區)至 $30.3 \mu\text{m}/\text{yr}$ (桃園試驗線 100m)之間；銅金屬介於 $1.0 \mu\text{m}/\text{yr}$ (北橫巴陵)至 $118.8 \mu\text{m}/\text{yr}$ (陽明山硫礦區)之間；而鋁金屬則介於 $0.2 \text{ g/m}^2/\text{yr}$ (阿里山)至 $46.6 \text{ g/m}^2/\text{yr}$ (陽明山硫礦區)之間。

第四次調查期間 2016.07-2016.09，夏季期間，碳鋼金屬大氣腐蝕速率介於 $13.7 \mu\text{m}/\text{yr}$ (北橫巴陵)至 $860.7 \mu\text{m}/\text{yr}$ (陽明山硫礦區)之間；鋅金屬介於 $1.5 \text{ m}/\text{yr}$ (台北市區)至 $51.3 \mu\text{m}/\text{yr}$ (陽明山硫礦區)之間；銅金屬介於 $0.9 \mu\text{m}/\text{yr}$ (北橫巴陵)至 $98.6 \mu\text{m}/\text{yr}$ (陽明山硫礦區)之間；而鋁金屬則介於 $0.1 \text{ g/m}^2/\text{yr}$ (高雄煉油廠)至 $34.4 \text{ g/m}^2/\text{yr}$ (陽明山硫礦區)之間。

表 4-5 碳鋼金屬之腐蝕速率表

單位 : $\mu\text{m}/\text{yr}$

項次	試驗地點	試驗期間	2015.10- 2015.12	2016.01- 2016.03	2016.04- 2016.06	2016.07- 2016.09
1	基隆港試驗線 0m		227.4	254.5	249.6	82.2
2	基隆港試驗線 100m		417.2	580.3	364.9	140.7
3	基隆港試驗線 1Km		172.3	225.2	180.5	88.4
4	梗枋安檢所		285.2	180.5	128.3	176.2
5	龍德工業區		208.5	179.9	137.8	145.9
6	蘇澳港試驗線 0m		152.1	117.7	84.7	89.0
7	蘇澳港試驗線 100m		292.7	118.4	93.3	155.2
8	蘇澳港試驗線 300m		175.6	121.9	77.6	75.8
9	南澳安檢所		200.5	129.2	83.8	191.7
10	和平工業區		79.9	57.4	63.2	60.6
11	太魯閣國家公園管理處		77.3	57.4	56.1	59.8
12	美崙工業區		159.7	206.5	96.3	63.9
13	花蓮港試驗線 0m		259.1	350.4	199.5	169.1
14	花蓮港試驗線 100m		127.1	162.6	98.4	80.7
15	花蓮港試驗線 500m		117.2	143.1	84.4	80.6
16	橄仔樹安檢所		200.1	282.2	212.5	160.9
17	石梯安檢所		148.4	155.2	138.9	112.6
18	新港安檢所(成功)		233.5	-	128.2	158.6
19	金樽安檢所(東河)		158.2	161.0	133.3	172.8
20	伽蘭安檢所(富岡)		190.5	133.0	111.3	147.0
21	豐樂工業區		59.5	64.8	54.7	82.8
22	尚武安檢所		194.9	182.9	79.6	97.0
23	核三廠試驗線 0m		103.3	114.2	71.6	-
24	核三廠試驗線 100m		80.6	107.2	62.9	-
25	核三廠試驗線 300m		115.0	130.9	70.5	102.1
26	核三廠試驗線 1Km		73.1	86.3	60.8	104.6
27	屏東工業區		52.7	44.0	39.8	64.2
28	中油林園廠		84.7	74.3	85.4	129.3
29	臨海工業區		110.9	92.9	93.4	136.0
30	鳳山工業區		80.3	61.4	63.4	99.9
31	大發工業區		111.7	70.1	79.8	120.0
32	高雄港試驗線 0m		90.0	87.7	109.6	151.7

項次	試驗地點	試驗期間			
		2015.10-2015.12	2016.01-2016.03	2016.04-2016.06	2016.07-2016.09
33	高雄港試驗線 50m	86.7	119.7	101.9	126.8
34	高雄港試驗線 300m	115.4	134.4	100.5	138.7
35	高雄港試驗線 500m	101.3	82.8	75.1	114.3
36	高雄港試驗線 800m	72.0	64.2	70.8	107.0
37	高鐵左營站	61.8	75.1	61.6	73.9
38	高雄煉油廠	87.5	54.5	58.2	77.0
39	永安工業區	116.7	87.3	90.1	98.6
40	興達火力電廠	143.3	106.0	102.8	135.4
41	安平工業區	109.2	90.3	76.9	100.4
42	成大水工所	100.7	86.2	57.5	84.5
43	官田工業區	117.1	131.0	140.5	62.3
44	東石安檢所	140.8	180.4	108.5	122.1
45	朴子工業區	122.5	208.3	114.8	112.3
46	高鐵嘉義站	78.7	107.6	54.4	60.7
47	斗六工業區	50.6	70.3	49.8	38.9
48	台塑六輕試驗線 0m	457.9	414.1	217.7	198.4
49	台塑六輕試驗線 300m	490.5	506.2	199.0	186.4
50	台塑六輕試驗線 800m	379.3	374.5	163.2	158.4
51	台塑六輕試驗線 2Km	458.8	254.5	152.8	145.6
52	台塑六輕試驗線 3Km	253.6	183.8	113.8	113.7
53	王功安檢所	439.7	493.9	302.0	174.4
54	彰濱工業區	372.4	387.8	165.6	109.4
55	田中工業區	68.7	65.8	78.1	58.9
56	南崙工業區	59.3	60.8	62.5	62.1
57	大里工業區	47.8	50.6	40.6	42.9
58	高鐵臺中站	61.6	83.9	45.5	47.9
59	臺中工業區	106.4	97.6	-	80.7
60	關聯工業區	-	152.8	141.9	82.9
61	臺中火力電廠	216.0	305.2	146.9	123.9
62	臺中港試驗線 0m	151.1	192.4	103.1	88.9
63	臺中港試驗線 300m	257.7	-	109.1	71.1
64	臺中港試驗線 2Km	139.7	142.6	120.5	64.2
65	五甲安檢所	293.8	-	156.3	106.2
66	通霄火力電廠	239.0	233.0	153.2	101.3
67	外埔安檢所	346.7	532.4	203.3	147.9
68	竹南工業區	138.7	167.4	127.4	84.6

項次	試驗地點	試驗期間			
		2015.10-2015.12	2016.01-2016.03	2016.04-2016.06	2016.07-2016.09
69	頭份工業區	90.6	111.0	77.9	57.0
70	工研院	88.3	93.1	67.2	47.4
71	新竹工業區	97.3	119.2	81.6	53.4
72	平鎮工業區	132.7	161.9	100.5	71.7
73	桃園試驗線 100m	408.3	531.3	364.1	246.8
74	桃園試驗線 500m	212.7	332.1	203.8	350.4
75	桃園試驗線 2Km	227.2	347.4	171.9	113.9
76	樹林工業區(服務中心)	68.7	109.7	142.9	67.4
77	臺北市	114.8	136.5	-	50.6
78	陽明山國家公園管理處	232.1	211.2	231.9	104.2
79	陽明山硫礦區	532.2	394.6	881.7	860.7
80	北橫巴陵	21.4	19.3	22.0	13.7
81	阿里山	40.2	52.2	17.7	25.5
82	東北角風景管理處	350.8	306.9	125.0	143.5
83	臺北港監測站	106.4	220.2	150.6	46.9
84	平鎮工業區(服務中心)	129.9	230.1	105.2	106.8
85	觀音工業區(服務中心)	258.4	319.2	164.5	91.8
86	永安安檢所	224.6	395.3	242.9	187.2
87	新竹漁港	334.3	467.5	357.9	-
88	金門水頭商港	142.3	88.0	168.4	123.9
89	高雄港#39				118.8
90	高雄港#75				133.2

註 1： - 表示試片遺失

註 2： 高雄港#39、高雄港#75 為新增試驗點

表 4-6 鋅金屬之腐蝕速率表

單位 : $\mu\text{m/yr}$

項次	試驗地點	試驗期間	2015.10- 2015.12	2016.01- 2016.03	2016.04- 2016.06	2016.07- 2016.09
1	基隆港試驗線 0m		30.9	19.7	12.7	11.8
2	基隆港試驗線 100m		36.9	14.0	8.3	9.2
3	基隆港試驗線 1Km		33.9	10.7	15.2	9.4
4	梗枋安檢所		33.2	13.8	10.0	11.1
5	龍德工業區		18.3	7.3	7.1	8.0
6	蘇澳港試驗線 0m		21.2	8.7	6.2	8.5
7	蘇澳港試驗線 100m		24.6	8.2	4.7	11.3
8	蘇澳港試驗線 300m		15.8	9.2	6.4	12.8
9	南澳安檢所		14.2	7.7	9.0	11.4
10	和平工業區		20.4	4.6	8.8	6.9
11	太魯閣國家公園管理處		16.4	6.7	6.2	7.6
12	美崙工業區		12.1	8.1	6.4	7.4
13	花蓮港試驗線 0m		26.6	16.6	10.9	9.6
14	花蓮港試驗線 100m		27.0	9.2	7.2	9.9
15	花蓮港試驗線 500m		23.2	12.0	9.9	11.6
16	橄仔樹安檢所		37.8	12.9	13.6	10.9
17	石梯安檢所		29.2	6.8	7.0	11.2
18	新港安檢所(成功)		23.2	9.0	10.6	14.4
19	金樽安檢所(東河)		28.0	13.5	12.7	15.4
20	伽蘭安檢所(富岡)		41.8	14.7	11.1	10.6
21	豐樂工業區		21.4	5.9	4.3	8.3
22	尚武安檢所		17.6	16.2	6.8	7.6
23	核三廠試驗線 0m		16.5	13.0	5.8	8.8
24	核三廠試驗線 100m		14.1	11.1	4.4	13.8
25	核三廠試驗線 300m		19.5	12.3	7.4	8.6
26	核三廠試驗線 1Km		21.9	8.3	6.2	8.8
27	屏東工業區		11.7	5.6	4.7	7.2
28	中油林園廠		15.5	6.2	5.4	10.3
29	臨海工業區		14.2	7.5	6.4	6.1
30	鳳山工業區		14.4	4.0	5.4	6.7
31	大發工業區		14.0	4.0	5.5	6.7
32	高雄港試驗線 0m		15.9	6.7	4.8	18.8
33	高雄港試驗線 50m		24.0	5.7	5.9	10.5

項次	試驗地點	試驗期間	2015.10- 2015.12	2016.01- 2016.03	2016.04- 2016.06	2016.07- 2016.09
34	高雄港試驗線 300m		21.1	7.8	6.9	6.2
35	高雄港試驗線 500m		13.8	5.4	5.9	9.2
36	高雄港試驗線 800m		17.7	6.6	8.2	6.7
37	高鐵左營站		28.2	6.3	6.3	4.9
38	高雄煉油廠		18.8	6.4	7.7	8.3
39	永安工業區		20.8	6.0	8.5	8.4
40	興達火力電廠		21.0	8.5	8.2	6.7
41	安平工業區		14.9	11.3	7.3	13.1
42	成大水工所		24.0	7.1	7.8	5.5
43	官田工業區		23.9	9.4	8.7	9.3
44	東石安檢所		25.0	11.5	6.2	11.6
45	朴子工業區		21.1	8.7	11.5	9.1
46	高鐵嘉義站		8.7	10.5	5.8	7.8
47	斗六工業區		24.4	7.7	7.1	4.2
48	台塑六輕試驗線 0m		74.9	7.8	11.7	12.8
49	台塑六輕試驗線 300m		29.9	11.0	10.9	9.7
50	台塑六輕試驗線 800m		65.4	18.6	9.1	8.2
51	台塑六輕試驗線 2Km		27.2	15.3	10.2	7.3
52	台塑六輕試驗線 3Km		38.8	6.6	10.1	7.4
53	王功安檢所		55.6	20.1	15.4	5.2
54	彰濱工業區		46.2	21.5	7.8	8.3
55	田中工業區		37.1	6.9	-	5.0
56	南崗工業區		11.8	7.4	8.7	6.9
57	大里工業區		12.6	7.9	8.9	7.0
58	高鐵臺中站		5.7	8.9	6.6	5.9
59	臺中工業區		8.3	8.8	10.2	6.0
60	關聯工業區		-	11.6	6.4	5.7
61	臺中火力電廠		29.9	10.8	6.5	12.5
62	臺中港試驗線 0m		36.9	17.3	20.2	7.3
63	臺中港試驗線 300m		22.4	11.3	10.3	8.0
64	臺中港試驗線 2Km		31.6	8.5	9.3	10.1
65	五甲安檢所		37.4	11.1	10.5	10.5
66	通霄火力電廠		34.3	11.0	13.1	13.8
67	外埔安檢所		27.7	19.3	16.1	19.3
68	竹南工業區		14.6	8.0	9.4	7.6

項次	試驗地點	試驗期間	2015.10- 2015.12	2016.01- 2016.03	2016.04- 2016.06	2016.07- 2016.09
69	頭份工業區		19.7	10.6	8.1	7.7
70	工研院		13.1	6.4	9.1	9.1
71	新竹工業區		13.2	6.5	9.3	7.5
72	平鎮工業區		9.4	7.3	9.3	8.6
73	桃園試驗線 100m		48.4	18.2	30.3	49.6
74	桃園試驗線 500m		20.1	15.3	14.0	18.1
75	桃園試驗線 2Km		24.4	15.2	9.6	8.9
76	樹林工業區(服務中心)		9.8	3.3	7.8	19.0
77	臺北市		27.2	11.3	12.6	1.5
78	陽明山國家公園管理處		37.0	11.6	13.2	7.3
79	陽明山硫礦區		33.6	12.4	19.7	51.3
80	北橫巴陵		15.4	7.0	6.5	11.1
81	阿里山		20.4	10.2	11.9	7.6
82	東北角風景管理處		28.8	10.2	11.2	10.3
83	臺北港監測站		12.6	1.6	9.6	10.0
84	平鎮工業區(服務中心)		16.3	11.2	8.2	6.6
85	觀音工業區(服務中心)		20.1	11.6	10.4	7.1
86	永安安檢所		27.0	16.5	17.4	26.6
87	新竹漁港		30.3	16.1	26.5	-
88	金門水頭商港		54.8	2.0	8.8	8.3
89	高雄港#39					5.4
90	高雄港#75					8.3

註 1： - 表示試片遺失

註 2： 高雄港#39、高雄港#75 為新增試驗點

表 4-7 銅金屬之腐蝕速率表

單位 : $\mu\text{m}/\text{yr}$

項次	試驗地點	試驗期間	2015.10- 2015.12	2016.01- 2016.03	2016.04- 2016.06	2016.07- 2016.09
1	基隆港試驗線 0m		19.7	8.7	6.5	6.3
2	基隆港試驗線 100m		25.6	15.6	9.3	9.6
3	基隆港試驗線 1Km		15.1	7.1	4.3	4.9
4	梗枋安檢所		20.1	12.3	15.1	11.7
5	龍德工業區		19.0	14.3	17.6	15.0
6	蘇澳港試驗線 0m		10.7	8.1	6.5	5.6
7	蘇澳港試驗線 100m		21.7	9.4	10.4	-
8	蘇澳港試驗線 300m		9.6	3.4	2.5	2.5
9	南澳安檢所		10.8	7.5	9.0	20.0
10	和平工業區		7.5	3.2	3.2	3.8
11	太魯閣國家公園管理處		7.1	2.6	4.2	4.2
12	美崙工業區		13.4	11.8	6.7	3.1
13	花蓮港試驗線 0m		21.7	23.1	14.7	13.6
14	花蓮港試驗線 100m		10.5	11.0	6.7	6.2
15	花蓮港試驗線 500m		11.2	10.9	6.5	5.6
16	橄仔樹安檢所		17.9	17.5	12.8	18.8
17	石梯安檢所		13.2	10.5	9.0	10.3
18	新港安檢所(成功)		15.9	15.1	15.5	12.9
19	金樽安檢所(東河)		19.2	11.6	15.2	13.2
20	伽蘭安檢所(富岡)		26.9	21.8	27.0	20.5
21	豐樂工業區		6.3	3.1	3.2	3.8
22	尚武安檢所		14.9	13.9	9.7	6.9
23	核三廠試驗線 0m		15.0	18.3	7.8	-
24	核三廠試驗線 100m		12.8	13.3	6.8	9.2
25	核三廠試驗線 300m		12.0	13.6	6.7	7.2
26	核三廠試驗線 1Km		14.6	14.2	5.3	7.8
27	屏東工業區		7.6	2.9	3.5	3.6
28	中油林園廠		8.4	7.3	8.5	6.5
29	臨海工業區		8.5	5.7	6.3	9.5
30	鳳山工業區		9.8	2.8	3.9	4.1
31	大發工業區		9.9	4.0	8.9	7.9
32	高雄港試驗線 0m		9.0	3.8	4.1	5.2
33	高雄港試驗線 50m		10.0	5.9	3.5	5.5

項次	試驗地點	試驗期間		2016.04-	2016.07-
		2015.10- 2015.12	2016.01- 2016.03	2016.06	2016.09
34	高雄港試驗線 300m	14.7	7.2	7.8	6.6
35	高雄港試驗線 500m	10.1	2.7	3.9	4.1
36	高雄港試驗線 800m	8.3	2.2	3.0	4.1
37	高鐵左營站	8.6	2.8	4.1	4.0
38	高雄煉油廠	8.5	3.3	4.3	4.2
39	永安工業區	10.6	4.5	7.2	5.8
40	興達火力電廠	16.3	6.7	9.6	12.3
41	安平工業區	13.3	5.1	7.8	6.3
42	成大水工所	13.9	4.6	5.2	6.2
43	官田工業區	20.9	10.5	7.4	5.9
44	東石安檢所	16.3	8.8	8.8	11.2
45	朴子工業區	14.6	8.0	5.3	5.2
46	高鐵嘉義站	9.9	7.5	4.2	4.5
47	斗六工業區	11.8	2.3	3.3	2.8
48	台塑六輕試驗線 0m	32.2	22.7	12.4	16.7
49	台塑六輕試驗線 300m	48.8	26.6	15.6	20.2
50	台塑六輕試驗線 800m	27.1	17.2	11.2	14.2
51	台塑六輕試驗線 2Km	31.2	18.6	10.3	11.3
52	台塑六輕試驗線 3Km	21.1	13.4	11.1	12.7
53	王功安檢所	50.7	24.1	27.2	16.1
54	彰濱工業區	31.8	13.4	9.8	6.9
55	田中工業區	14.1	3.4	3.7	4.4
56	南崗工業區	4.7	2.5	3.0	2.9
57	大里工業區	4.5	2.4	2.8	1.9
58	高鐵臺中站	-	4.2	3.3	4.4
59	臺中工業區	9.2	1.9	4.5	3.6
60	關聯工業區	-	6.0	5.3	3.1
61	臺中火力電廠	26.5	-	6.9	9.2
62	臺中港試驗線 0m	18.6	8.7	6.4	5.8
63	臺中港試驗線 300m	20.4	-	5.2	5.3
64	臺中港試驗線 2Km	24.2	18.8	5.8	4.6
65	五甲安檢所	32.2	15.7	10.0	9.9
66	通霄火力電廠	29.6	9.3	12.4	21.8
67	外埔安檢所	33.0	15.2	13.2	16.4
68	竹南工業區	9.8	5.4	6.7	5.4

項次	試驗地點	試驗期間		2016.04- 2016.06	2016.07- 2016.09
		2015.10- 2015.12	2016.01- 2016.03		
69	頭份工業區	14.6	5.2	3.6	3.5
70	工研院	10.5	4.9	5.4	4.4
71	新竹工業區	10.5	4.4	4.4	3.7
72	平鎮工業區	7.1	5.6	3.2	3.5
73	桃園試驗線 100m	34.2	23.0	15.1	25.7
74	桃園試驗線 500m	18.1	13.0	8.8	21.1
75	桃園試驗線 2Km	16.4	9.4	6.0	5.0
76	樹林工業區(服務中心)	9.7	2.3	2.7	3.1
77	臺北市	13.7	5.8	4.0	3.8
78	陽明山國家公園管理處	37.8	14.9	27.8	24.2
79	陽明山硫礦區	79.1	91.0	118.8	98.6
80	北橫巴陵	5.0	2.1	1.0	0.9
81	阿里山	11.6	3.2	2.3	1.8
82	東北角風景管理處	15.6	11.5	8.2	13.7
83	臺北港監測站	12.6	7.4	3.6	3.2
84	平鎮工業區(服務中心)	14.1	7.7	5.1	3.6
85	觀音工業區(服務中心)	10.8	10.4	6.0	4.7
86	永安安檢所	19.1	20.7	11.1	25.6
87	新竹漁港	32.1	16.3	17.0	-
88	金門水頭商港	14.4	-	8.3	4.7
89	高雄港#39				49.7
90	高雄港#75				4.2

註 1： - 表示試片遺失

註 2：高雄港#39、高雄港#75 為新增試驗點

表 4-8 鋁金屬之腐蝕速率表

單位 : g/m²/yr

項次	試驗地點	試驗期間	2015.10- 2015.12	2016.01- 2016.03	2016.04- 2016.06	2016.07- 2016.09
1	基隆港試驗線 0m		13.4	22.8	7.3	7.1
2	基隆港試驗線 100m		22.0	26.6	13.8	17.1
3	基隆港試驗線 1Km		6.7	9.0	4.0	5.8
4	梗枋安檢所		12.8	12.1	7.4	9.0
5	龍德工業區		11.0	10.3	5.2	11.1
6	蘇澳港試驗線 0m		6.6	10.4	5.6	4.3
7	蘇澳港試驗線 100m		18.5	10.9	6.2	9.6
8	蘇澳港試驗線 300m		3.4	4.8	2.2	5.0
9	南澳安檢所		5.6	8.4	4.3	3.8
10	和平工業區		2.6	4.3	1.1	1.4
11	太魯閣國家公園管理處		1.5	4.1	3.0	1.8
12	美崙工業區		7.2	8.7	4.8	2.0
13	花蓮港試驗線 0m		16.6	19.1	14.2	12.1
14	花蓮港試驗線 100m		8.7	15.0	4.0	7.1
15	花蓮港試驗線 500m		6.2	11.9	5.7	3.1
16	橄仔樹安檢所		8.8	17.2	6.2	10.0
17	石梯安檢所		6.1	10.8	4.4	5.4
18	新港安檢所(成功)		13.0	11.4	11.7	9.6
19	金樽安檢所(東河)		13.8	7.3	10.0	9.8
20	伽蘭安檢所(富岡)		16.8	15.4	6.1	10.2
21	豐樂工業區		2.9	3.7	2.7	4.9
22	尚武安檢所		10.2	8.9	6.0	6.7
23	核三廠試驗線 0m		6.0	7.9	3.8	7.8
24	核三廠試驗線 100m		5.4	5.9	3.0	1.9
25	核三廠試驗線 300m		7.1	7.1	5.2	5.8
26	核三廠試驗線 1Km		4.8	5.5	5.3	5.9
27	屏東工業區		3.2	3.0	1.8	3.8
28	中油林園廠		7.6	5.1	5.2	5.9
29	臨海工業區		12.6	7.9	7.4	7.6
30	鳳山工業區		7.4	3.2	3.0	6.1
31	大發工業區		5.1	2.3	3.1	5.6
32	高雄港試驗線 0m		3.4	4.0	3.6	6.3
33	高雄港試驗線 50m		5.5	5.7	2.9	10.5

項次	試驗地點	試驗期間	2015.10- 2015.12	2016.01- 2016.03	2016.04- 2016.06	2016.07- 2016.09
34	高雄港試驗線 300m		10.9	6.1	7.4	8.3
35	高雄港試驗線 500m		5.3	2.5	3.1	6.0
36	高雄港試驗線 800m		1.9	1.9	2.7	4.4
37	高鐵左營站		3.3	1.6	3.1	2.2
38	高雄煉油廠		4.3	3.2	2.0	0.1
39	永安工業區		8.1	5.5	5.2	6.4
40	興達火力電廠		12.5	7.0	8.1	9.9
41	安平工業區		10.0	5.9	3.5	-
42	成大水工所		7.4	5.1	2.0	1.7
43	官田工業區		3.7	3.8	2.1	5.5
44	東石安檢所		14.0	6.6	8.6	7.7
45	朴子工業區		8.5	12.5	2.7	4.8
46	高鐵嘉義站		6.9	5.5	1.4	3.6
47	斗六工業區		3.4	5.3	2.1	4.8
48	台塑六輕試驗線 0m		30.5	21.3	17.7	22.7
49	台塑六輕試驗線 300m		66.3	50.8	38.9	28.8
50	台塑六輕試驗線 800m		43.8	30.9	17.8	13.3
51	台塑六輕試驗線 2Km		57.2	50.4	14.0	13.5
52	台塑六輕試驗線 3Km		24.2	16.7	4.7	8.3
53	王功安檢所		53.4	42.8	17.5	14.5
54	彰濱工業區		25.5	21.9	11.2	7.7
55	田中工業區		5.1	3.2	2.8	3.6
56	南崗工業區		3.4	3.2	3.5	1.9
57	大里工業區		-	2.7	1.9	3.4
58	高鐵臺中站		5.5	4.3	1.8	4.6
59	臺中工業區		9.5	5.9	5.3	2.9
60	關聯工業區		-	14.8	6.4	3.1
61	臺中火力電廠		35.8	30.8	20.6	9.4
62	臺中港試驗線 0m		-	37.4	28.2	25.5
63	臺中港試驗線 300m		22.7	-	7.1	6.6
64	臺中港試驗線 2Km		18.2	8.3	5.6	5.8
65	五甲安檢所		22.0	19.7	20.9	10.8
66	通霄火力電廠		17.4	13.5	19.7	13.2
67	外埔安檢所		29.3	10.3	27.0	15.3
68	竹南工業區		17.7	14.8	8.6	5.0

項次	試驗地點	試驗期間	2015.10- 2015.12	2016.01- 2016.03	2016.04- 2016.06	2016.07- 2016.09
69	頭份工業區		6.8	6.2	2.1	4.2
70	工研院		5.6	5.1	5.0	4.8
71	新竹工業區		4.9	5.1	3.6	4.4
72	平鎮工業區		-	11.7	4.2	5.7
73	桃園試驗線 100m		35.7	34.2	41.9	27.1
74	桃園試驗線 500m		22.4	17.3	17.6	17.3
75	桃園試驗線 2Km		27.5	25.6	16.4	6.8
76	樹林工業區(服務中心)		6.5	11.0	3.9	5.1
77	臺北市		7.0	10.0	4.6	4.4
78	陽明山國家公園管理處		6.0	4.8	3.9	6.3
79	陽明山硫磺區		27.8	30.5	46.6	34.4
80	北橫巴陵		1.4	2.1	3.0	4.8
81	阿里山		1.3	2.3	0.2	3.2
82	東北角風景管理處		10.6	8.8	3.1	8.1
83	臺北港監測站		5.3	7.8	4.5	4.8
84	平鎮工業區(服務中心)		9.1	14.8	6.8	7.0
85	觀音工業區(服務中心)		34.9	30.8	-	7.8
86	永安安檢所		16.4	-	17.9	32.3
87	新竹漁港		30.7	25.4	28.7	-
88	金門水頭商港		13.3	-	7.8	8.6
89	高雄港#39					4.2
90	高雄港#75					-

註 1： - 表示試片遺失

註 2： 高雄港#39、高雄港#75 為新增試驗點

4.4.1 各金屬腐蝕速率季節性之比較

本研究四次採樣調查的期間相當於臺灣氣候之秋季(2015.10-2015.12)、冬季(2016.01-2016.03)、春季(2016.04-2016.06)，夏季(2016.07-2016.09)期間。

(如圖 4.14 至圖 4.17)為碳鋼金屬四次調查期間之腐蝕速率等位圖。圖中，黃色表示碳鋼腐蝕速率為 $1.3\sim25 \mu\text{m}/\text{yr}$ 的區域，綠色表示腐蝕速率介於 $25\sim50 \mu\text{m}/\text{yr}$ 的區域，藍色表示腐蝕速率為 $50\sim80 \mu\text{m}/\text{yr}$ 的區域，粉紅色表示 $80\sim200 \mu\text{m}/\text{yr}$ 的區域，紅色則為腐蝕速率大於 $200 \mu\text{m}/\text{yr}$ 的區域。

(如圖 4.18 至圖 4.21)為鋅金屬四次調查期間之腐蝕速率等位圖。圖中，黃色表示鋅腐蝕速率為 $0.1\sim0.7 \mu\text{m}/\text{yr}$ 的區域，綠色表示腐蝕速率介於 $0.7\sim2.1 \mu\text{m}/\text{yr}$ 的區域，藍色表示腐蝕速率為 $2.1\sim4.2 \mu\text{m}/\text{yr}$ 的區域，粉紅色表示 $4.2\sim8.4 \mu\text{m}/\text{yr}$ 的區域，紅色則為腐蝕速率大於 $8.4 \mu\text{m}/\text{yr}$ 的區域。

(如圖 4.22 至圖 4.25)為銅金屬四次調查期間腐蝕速率等位圖。圖中，黃色表示銅腐蝕速率為 $0.1\sim0.6 \mu\text{m}/\text{yr}$ 的區域，綠色表示腐蝕速率介於 $0.6\sim1.3 \mu\text{m}/\text{yr}$ 的區域，藍色表示腐蝕速率為 $1.3\sim2.8 \mu\text{m}/\text{yr}$ 的區域，粉紅色表示 $2.8\sim5.6 \mu\text{m}/\text{yr}$ 的區域，紅色則為腐蝕速率大於 $5.6 \mu\text{m}/\text{yr}$ 的區域。

(如圖 4.26 至圖 4.29)為鋁金屬四次調查期間腐蝕速率等位圖。圖中，黃色表示鋁腐蝕速率小於 $0.6 \text{ g}/\text{m}^2/\text{yr}$ 的區域，綠色表示腐蝕速率介於 $0.6\sim2 \text{ g}/\text{m}^2/\text{yr}$ 的區域，藍色表示腐蝕速率為 $2\sim5 \text{ g}/\text{m}^2/\text{yr}$ 的區域，粉紅色表示 $5\sim10 \text{ g}/\text{m}^2/\text{yr}$ 的區域，紅色則為腐蝕速率大於 $10 \text{ g}/\text{m}^2/\text{yr}$ 的區域。

(如圖 4.30 至圖 4.33)分別為碳鋼、鋅、銅、鋁金屬於垂直海岸試驗線 0m、100 m、300m、1 Km 與 3Km 腐蝕速率平均值之比較。針對碳鋼金屬(圖 4.30)基隆試驗線、桃園試驗線、台塑六輕試驗線、腐蝕速率均較其他地區高，在高雄港、核三廠試驗線腐蝕速率相對其他地

區低。至於鋅金屬(圖 4.31)以台塑六輕試驗線、基隆試驗線、桃園試驗線、臺中港試驗線、腐蝕速率較大，在高雄港試驗線則腐蝕速率相對較低。而針對銅金屬，銅的腐蝕速率以台塑六輕試驗線、桃園試驗線較為嚴重(圖 4.32)。而針對鋁金屬，鋁的腐蝕速率以桃園試驗線、台塑六輕試驗線、臺中港試驗線，較為嚴重(圖 4.33)。

(如圖 4.34 至圖 4.37)石化廠、火力電廠、工業區、高鐵沿線與都市地區等特定測站各金屬之腐蝕速率比較。在碳鋼金屬以大潭火力發電廠、臺中火力發電廠、台塑六輕、彰濱工業區、觀音工業區、通霄火力為高，鋅金屬以臺中火力發電廠、大潭火力發電廠、通霄火力電廠、台塑六輕、臺北市區為高，銅金屬以彰濱工業區、台塑六輕、大潭火力發電廠、通霄火力電廠、臺中火力發電廠為高，針對鋁金屬以觀音工業區、臺中火力發電廠、大潭火力發電廠、台塑六輕、彰濱工業區、腐蝕速率相對較高。

4-35

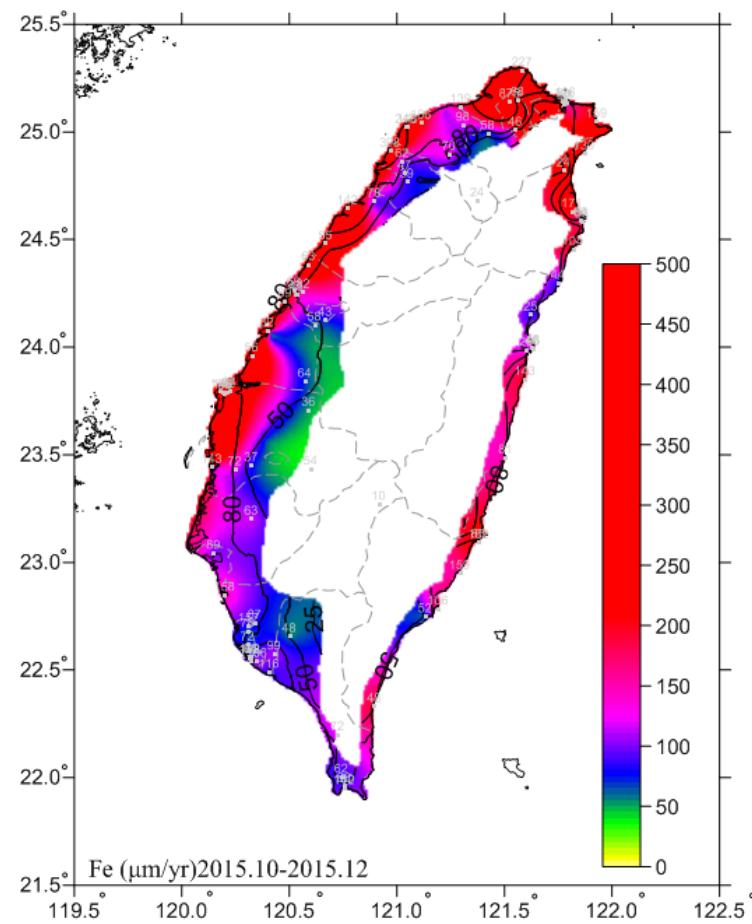


圖 4.14 2015.10-2015.12 碳鋼腐蝕速率

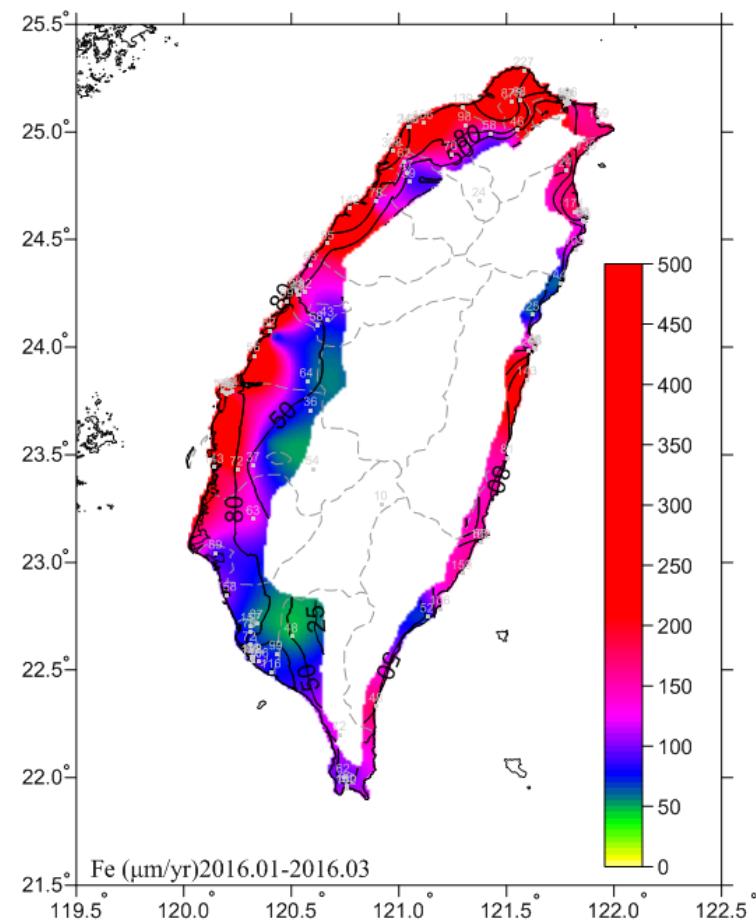


圖 4.15 2016.01-2016.03 碳鋼腐蝕速率

4-36

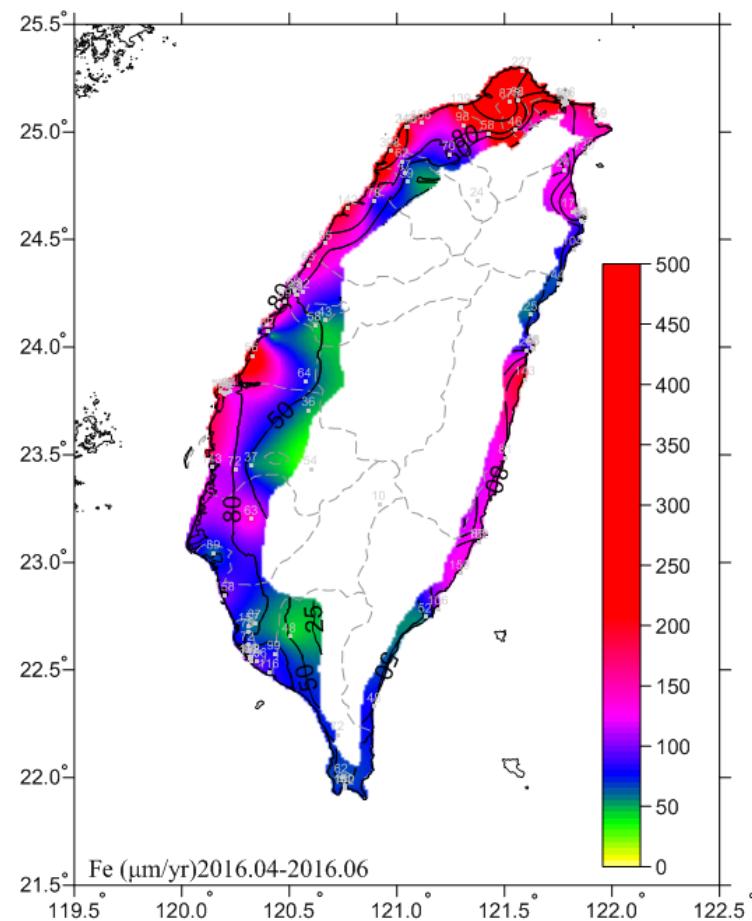


圖 4.16 2016.04-2016.06 碳鋼腐蝕速率

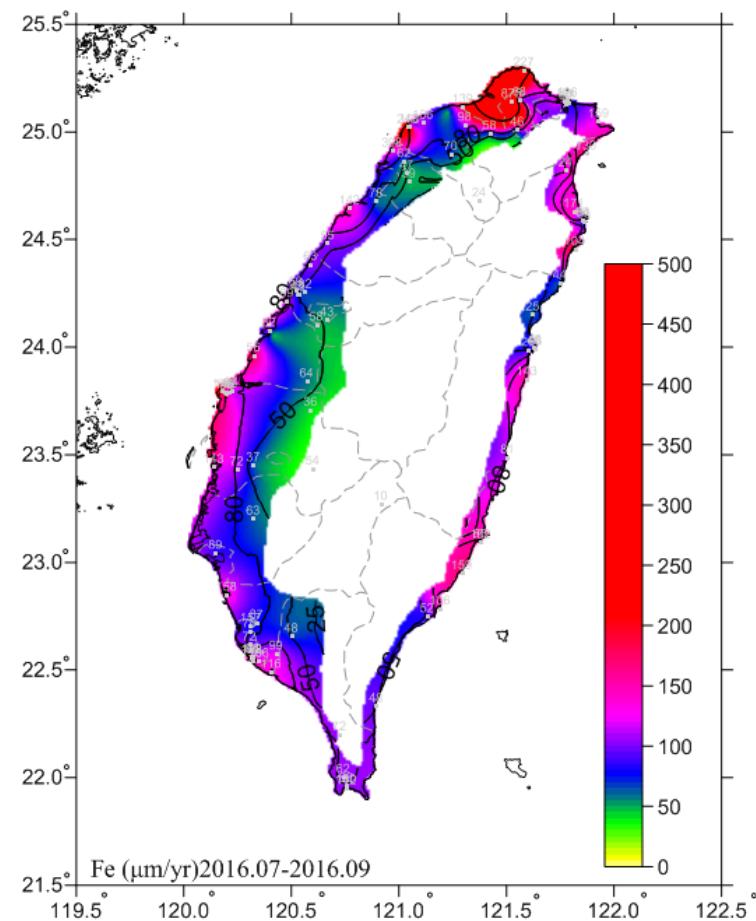


圖 4.17 2016.07-2016.09 碳鋼腐蝕速率

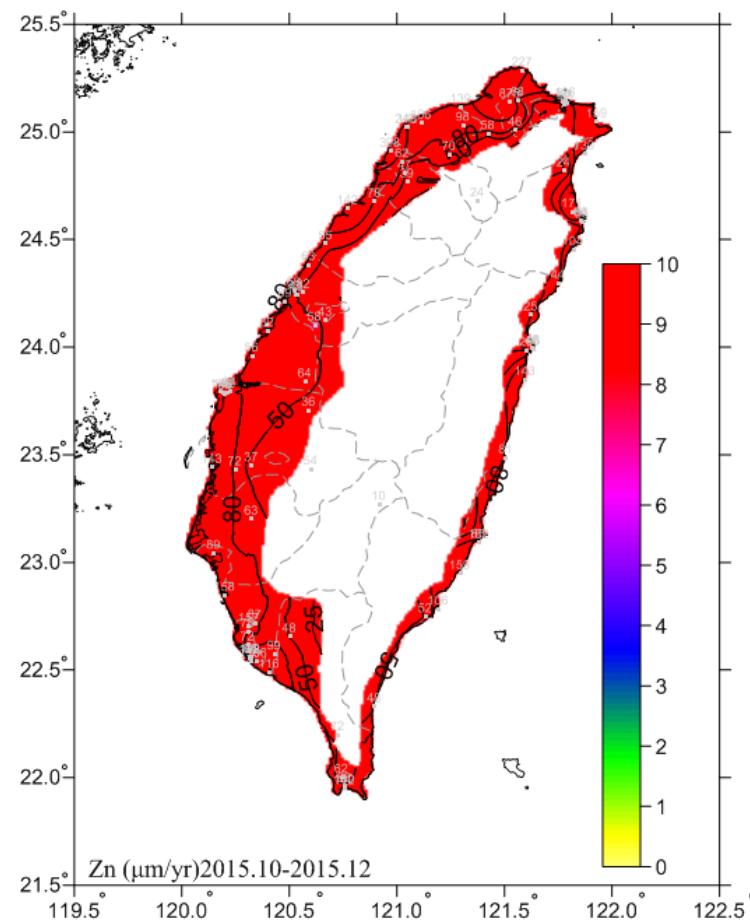


圖 4.18 2015.10-2015.12 鋅腐蝕速率

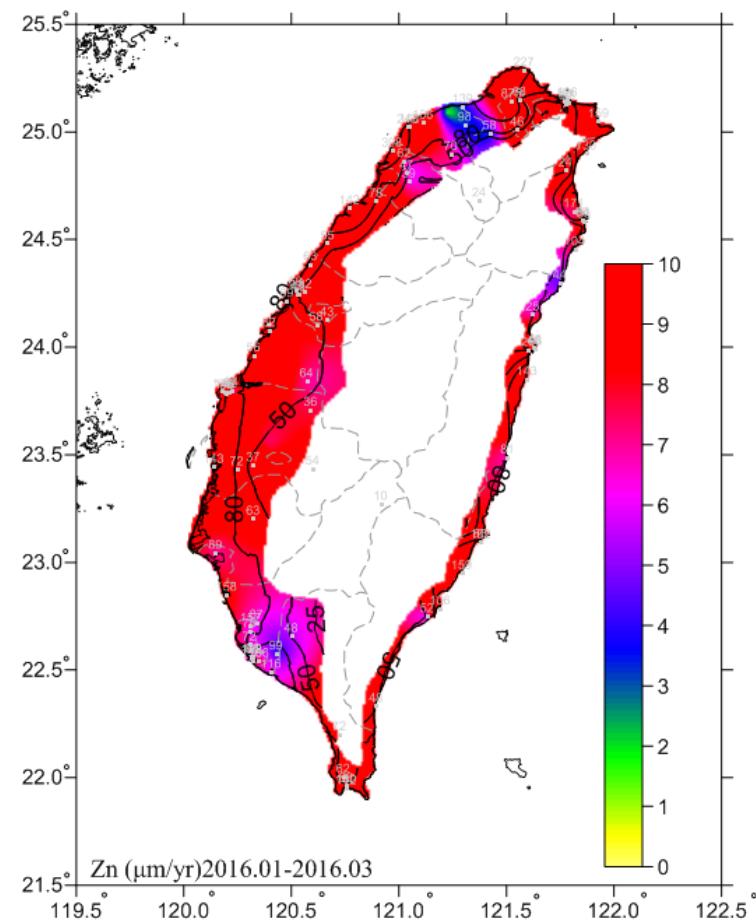


圖 4.19 2016.01-2016.03 鋅腐蝕速率

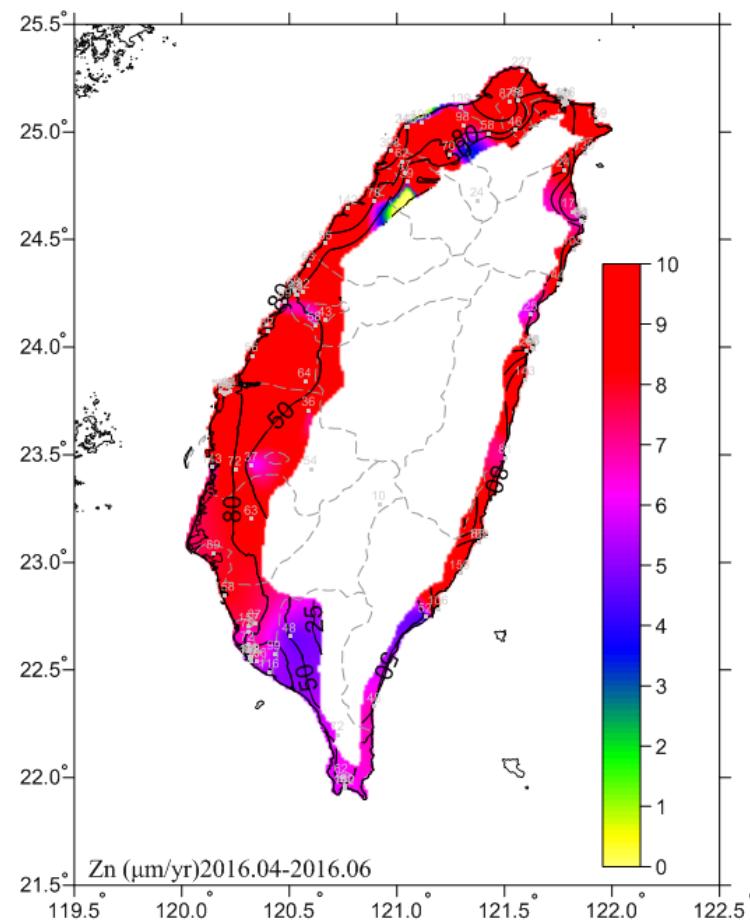


圖 4.20 2016.04-2016.06 鋅腐蝕速率

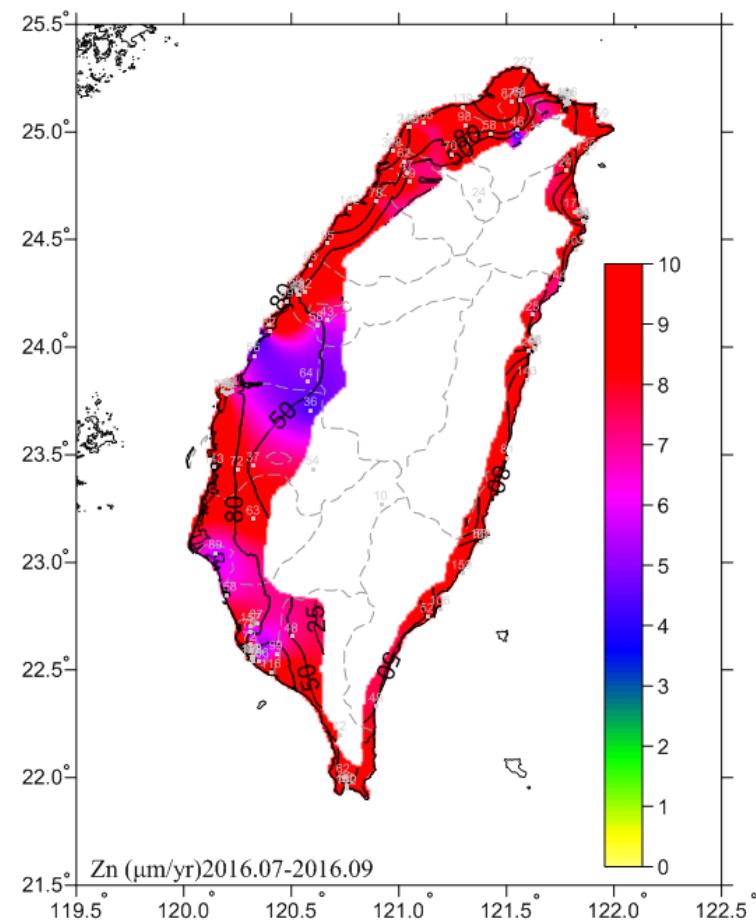
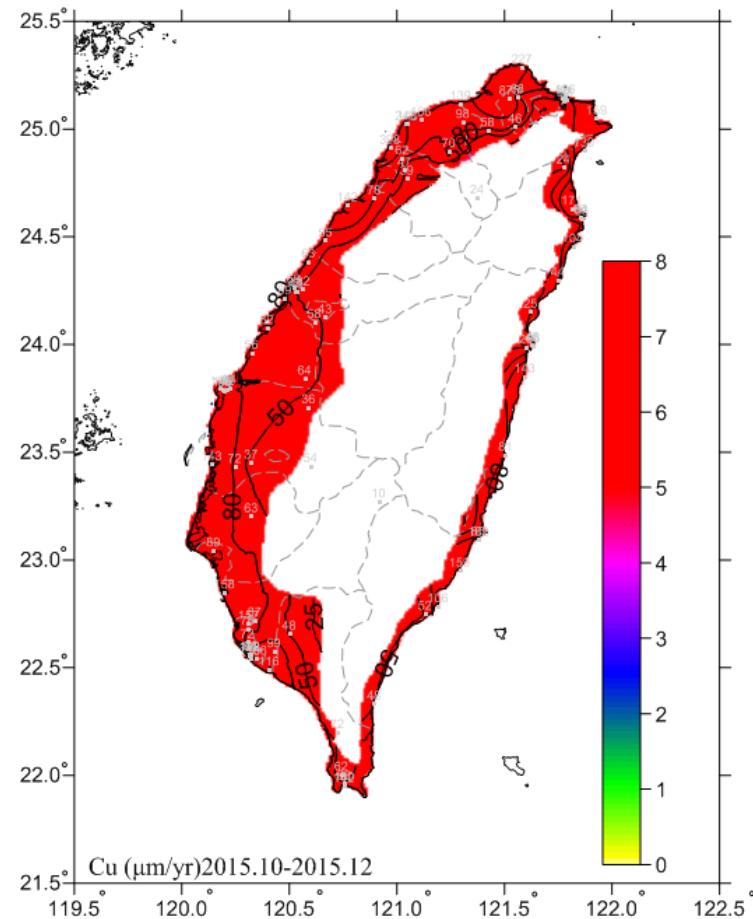


圖 4.21 2016.07-2016.09 鋅腐蝕速率

4-39



4-40

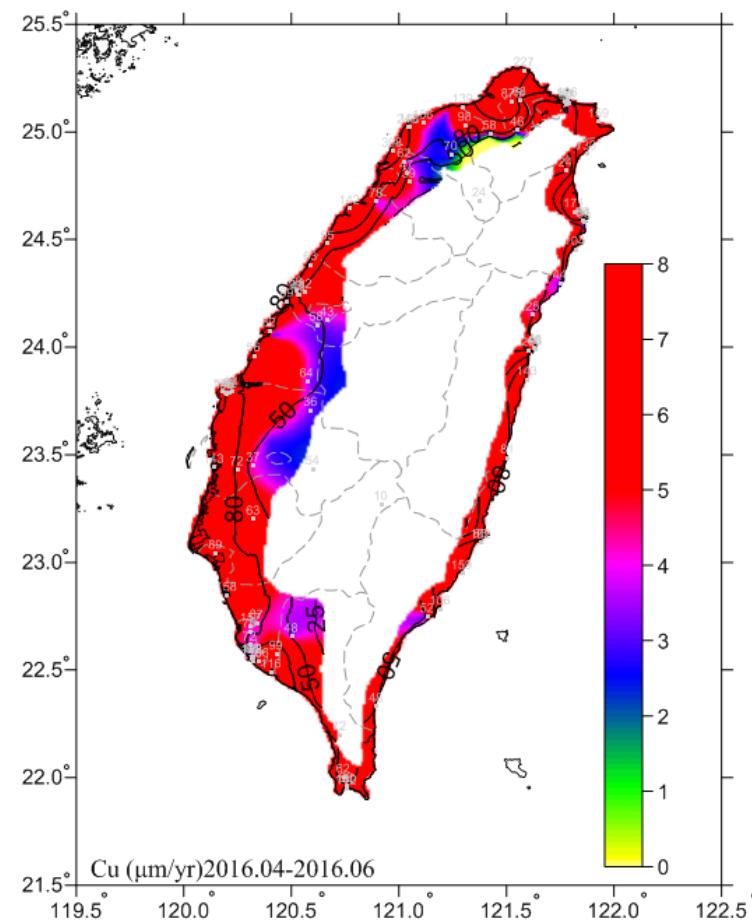
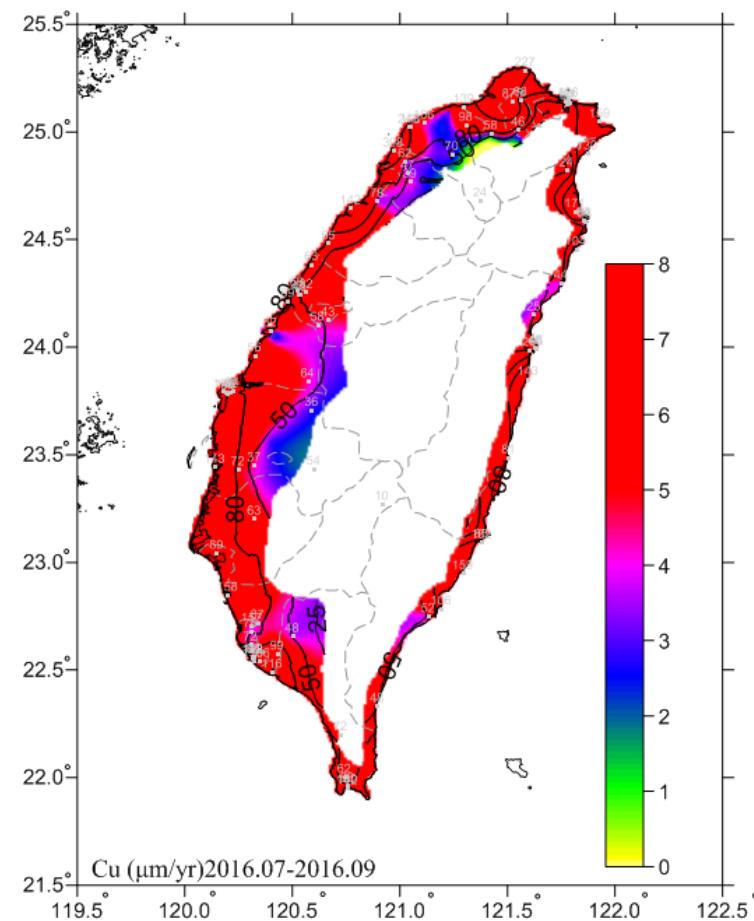


圖 4.24 2016.04-2016.06 銅腐蝕速率



4-41

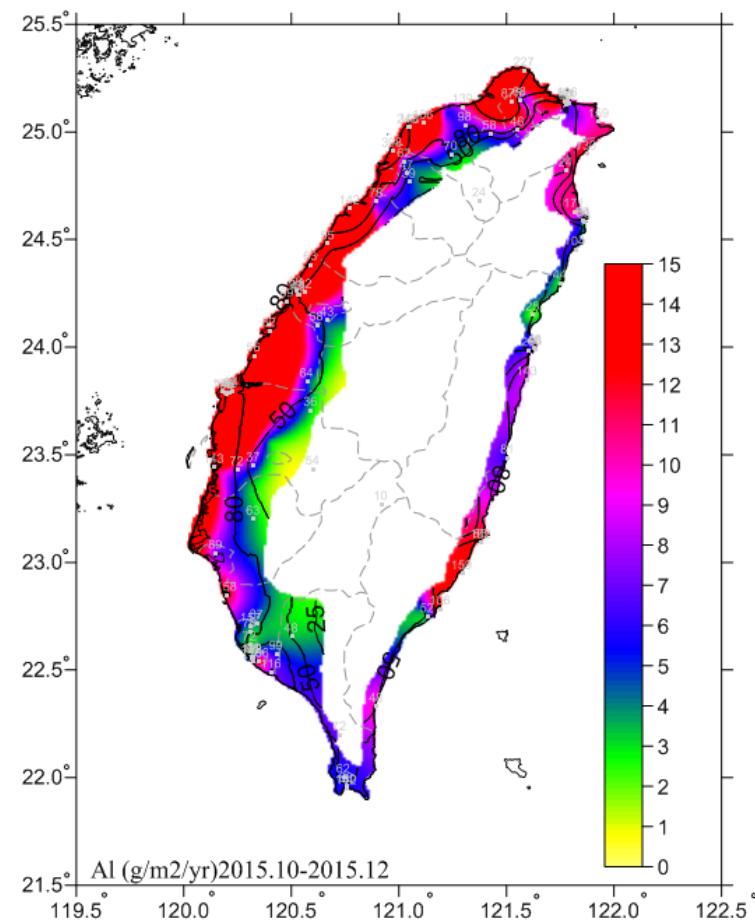


圖 4.26 2015.10-2015.12 鋁腐蝕速率

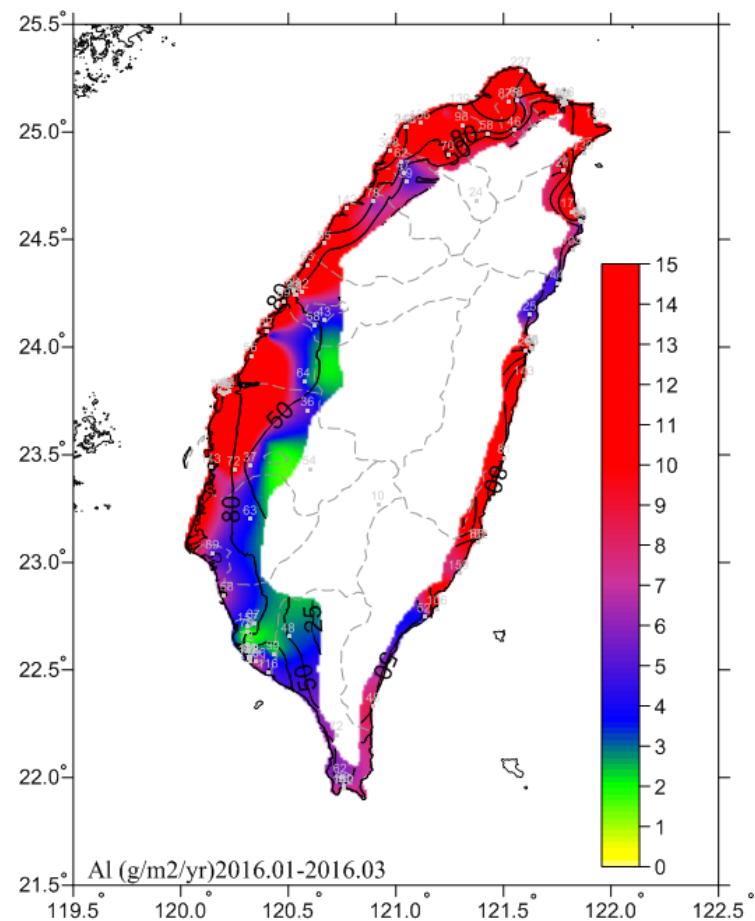


圖 4.27 2016.01-2016.03 鋁腐蝕速率

4-42

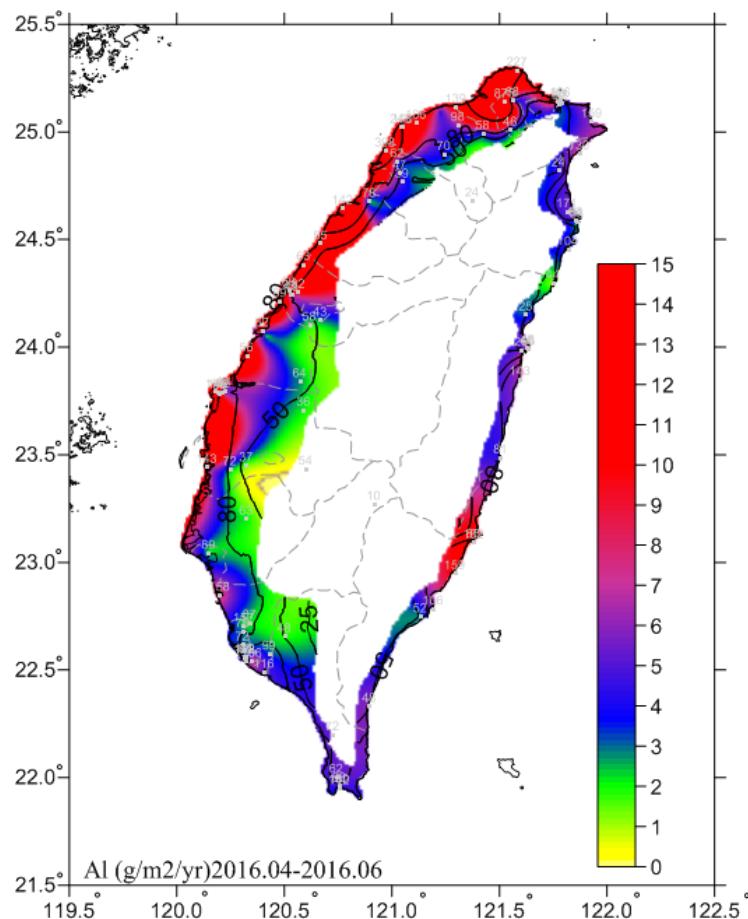


圖 4.28 2016.04-2016.06 鋁腐蝕速率

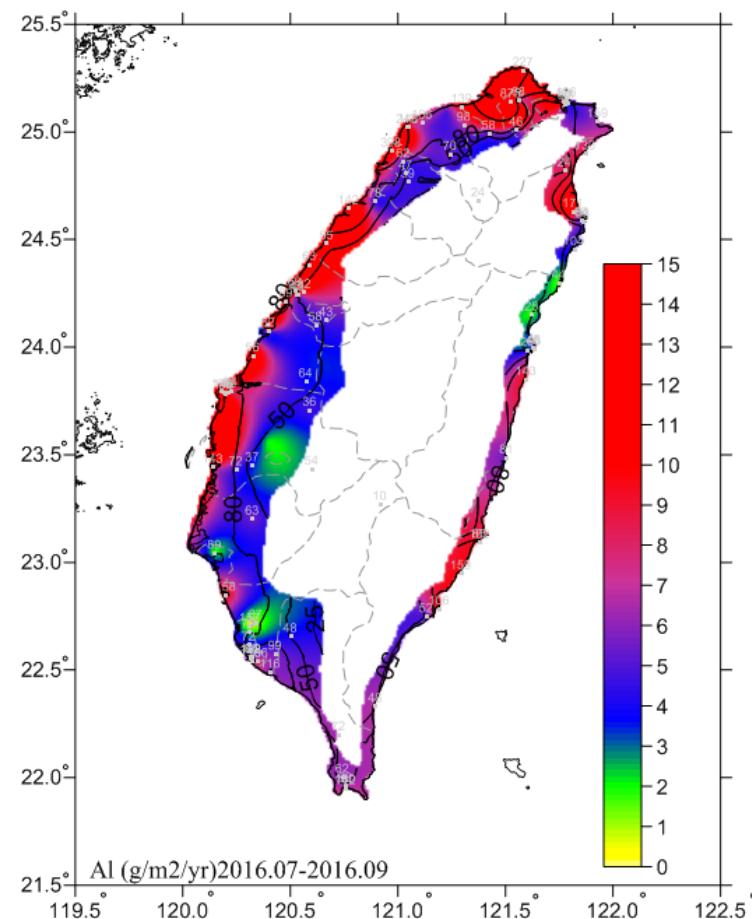
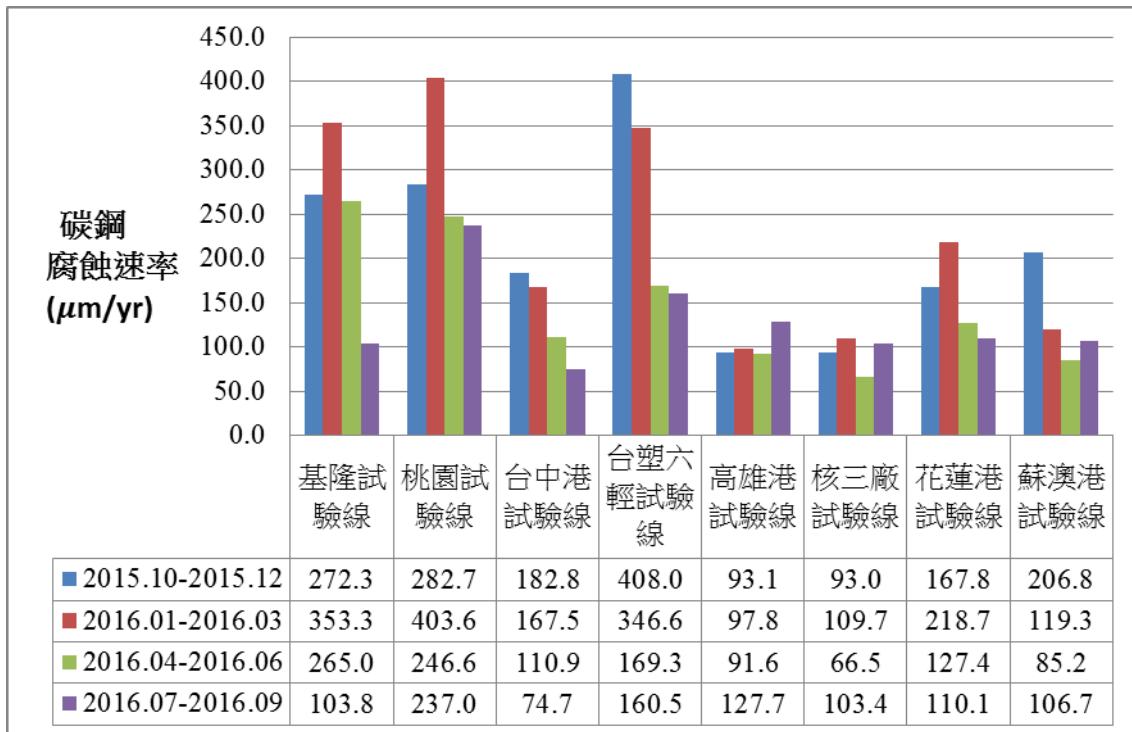
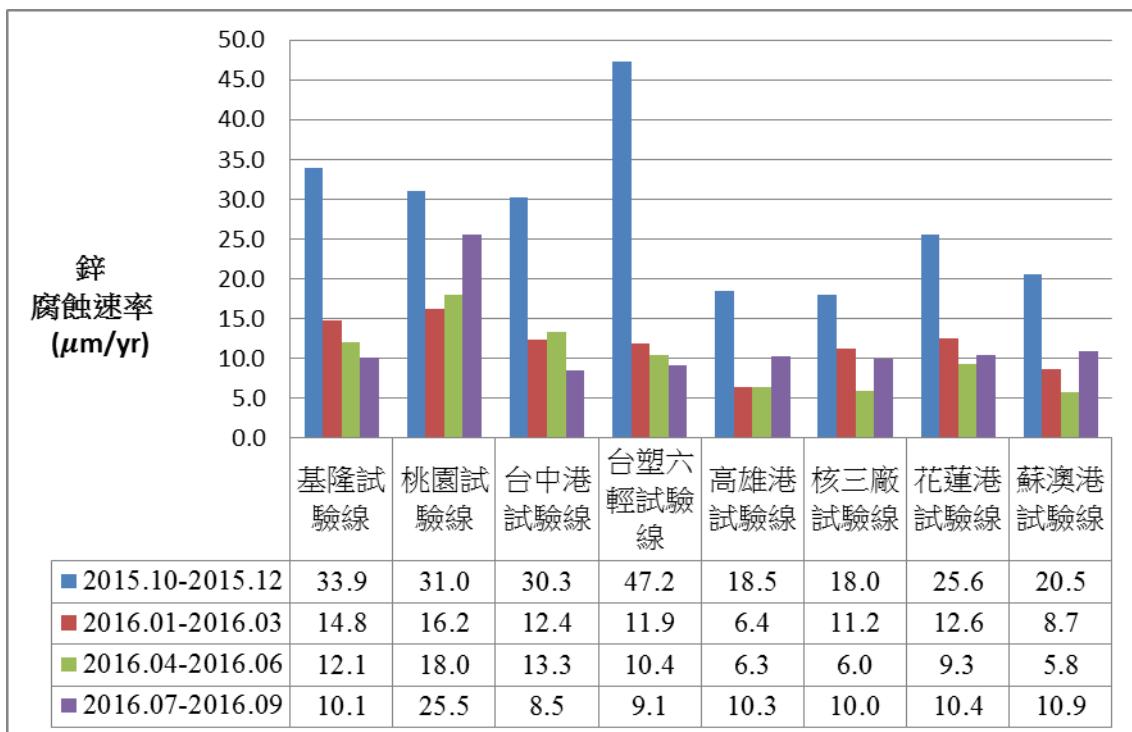


圖 4.29 2016.07-2016.09 鋁腐蝕速率



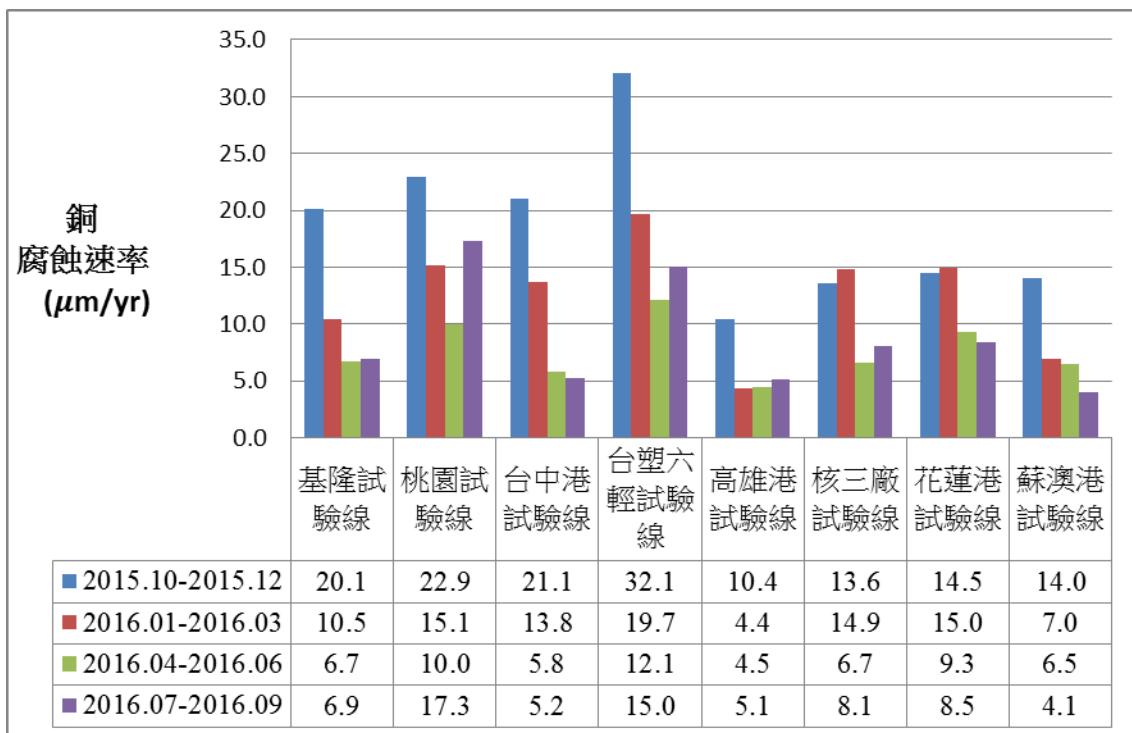
註：腐蝕速率為試驗線測站平均值

圖 4.30 垂直海岸試驗線碳鋼金屬腐蝕速率比較圖



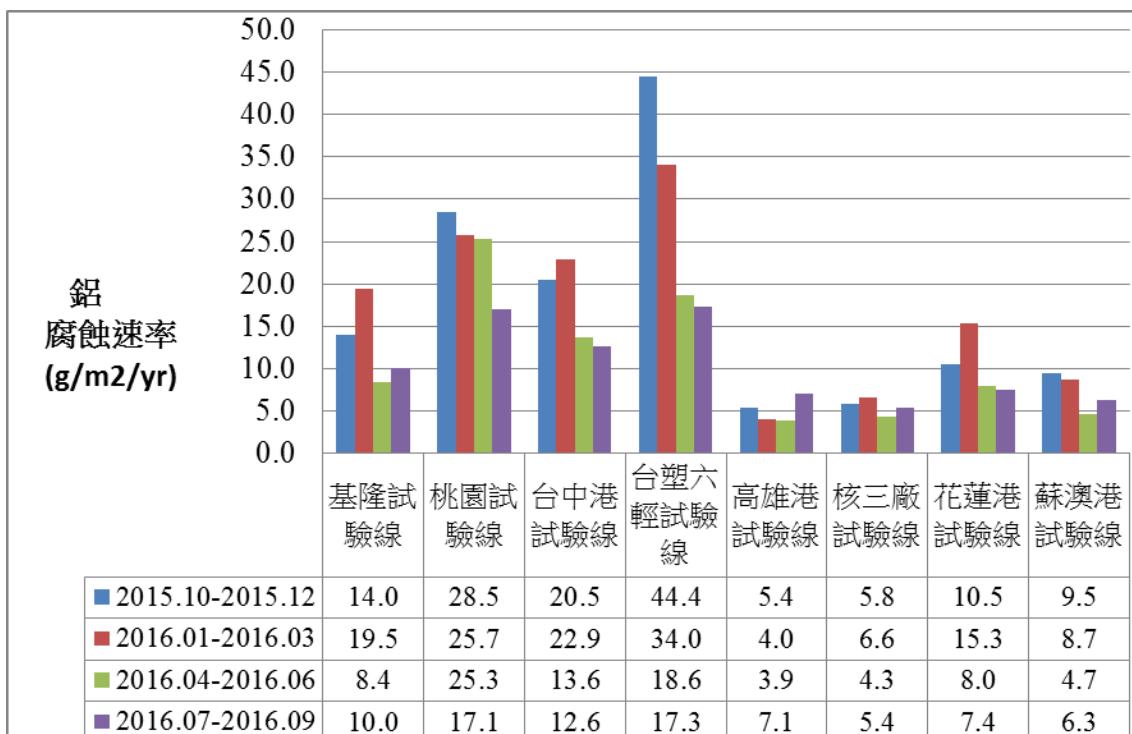
註：腐蝕速率為試驗線測站平均值

圖 4.31 垂直海岸試驗線鋅金屬腐蝕速率比較圖



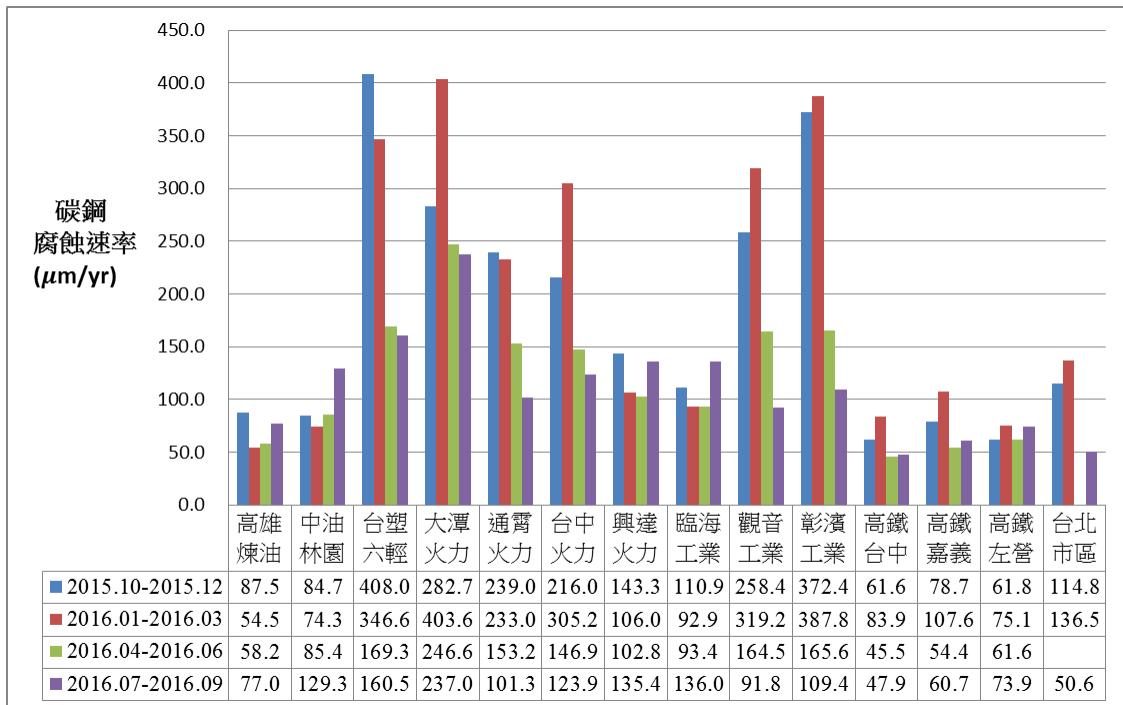
註：腐蝕速率為試驗線測站平均值

圖 4.32 垂直海岸試驗線銅金屬腐蝕速率比較圖



註：腐蝕速率為試驗線測站平均值

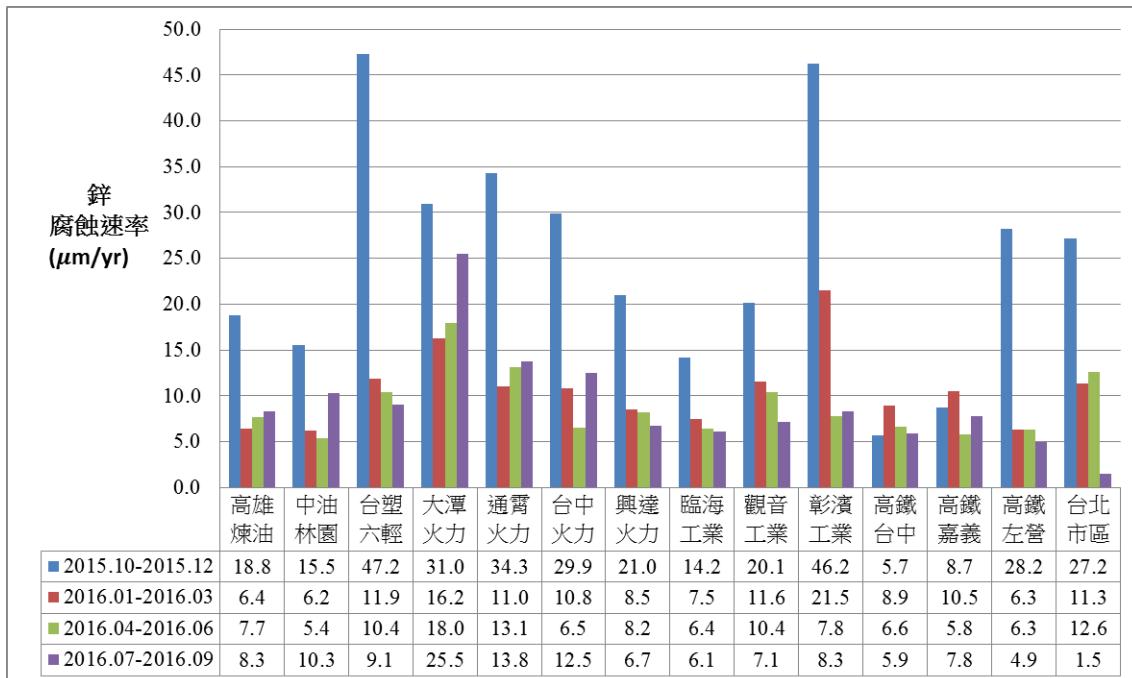
圖 4.33 垂直海岸試驗線鋁金屬腐蝕速率比較圖



註 1：台塑六輕、大潭火力腐蝕速率為測站平均值

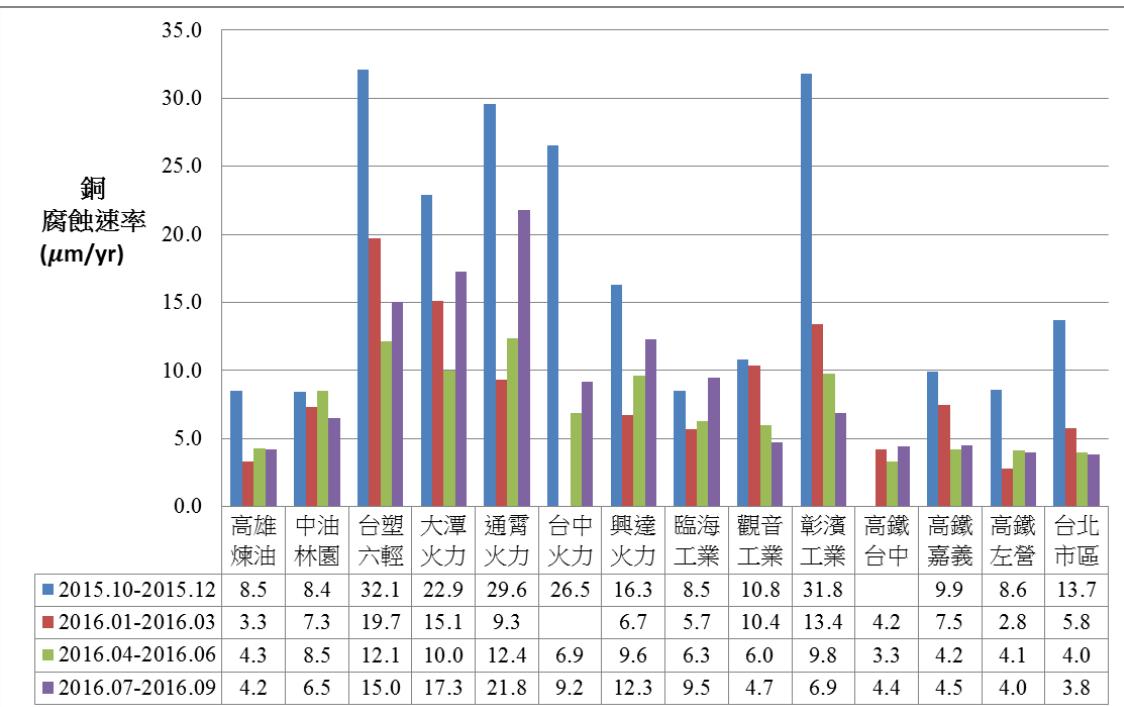
註 2：空白處為試片遺失

圖 4.34 特定測站碳鋼金屬腐蝕速率比較圖



註 1：台塑六輕、大潭火力腐蝕速率為測站平均值

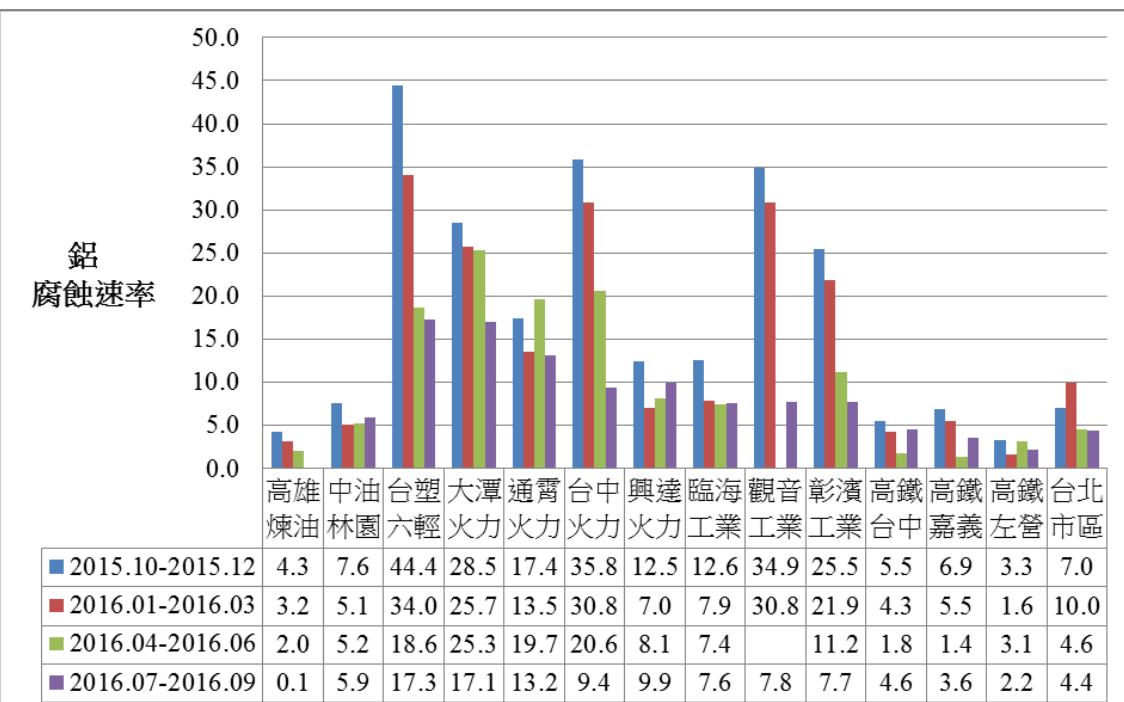
圖 4.35 特定測站鋅金屬腐蝕速率比較圖



註 1：台塑六輕、大潭火力腐蝕速率為測站平均值

註 2：空白處為試片遺失

圖 4.36 特定測站銅金屬腐蝕速率比較圖



註 1：台塑六輕、大潭火力腐蝕速率為測站平均值

註 2：空白處為試片遺失

圖 4.37 特定測站鋁金屬腐蝕速率比較圖

第五章 金屬材料水下腐蝕調查研究

持續建立臺灣地區長期金屬材料水下腐蝕資料庫，以作為新建及既有結構物耐久性與防蝕設計及維護管理之參考需要，今年擬安裝水下金屬曝露試驗架於基隆港、蘇澳港、花蓮港、高雄港、安平港、布袋港、馬祖福澳港、澎湖龍門港等國內商港，藉此了解港區在不同環境、金屬材料、海洋生物附著、海水水質等對金屬材料腐蝕之長期研究。先前已完成建置佈放於臺中港與金門港區，今將研究方法、規畫、試片設計、與試驗期程如圖 5.1 分述：

5.1 研究方法與規劃

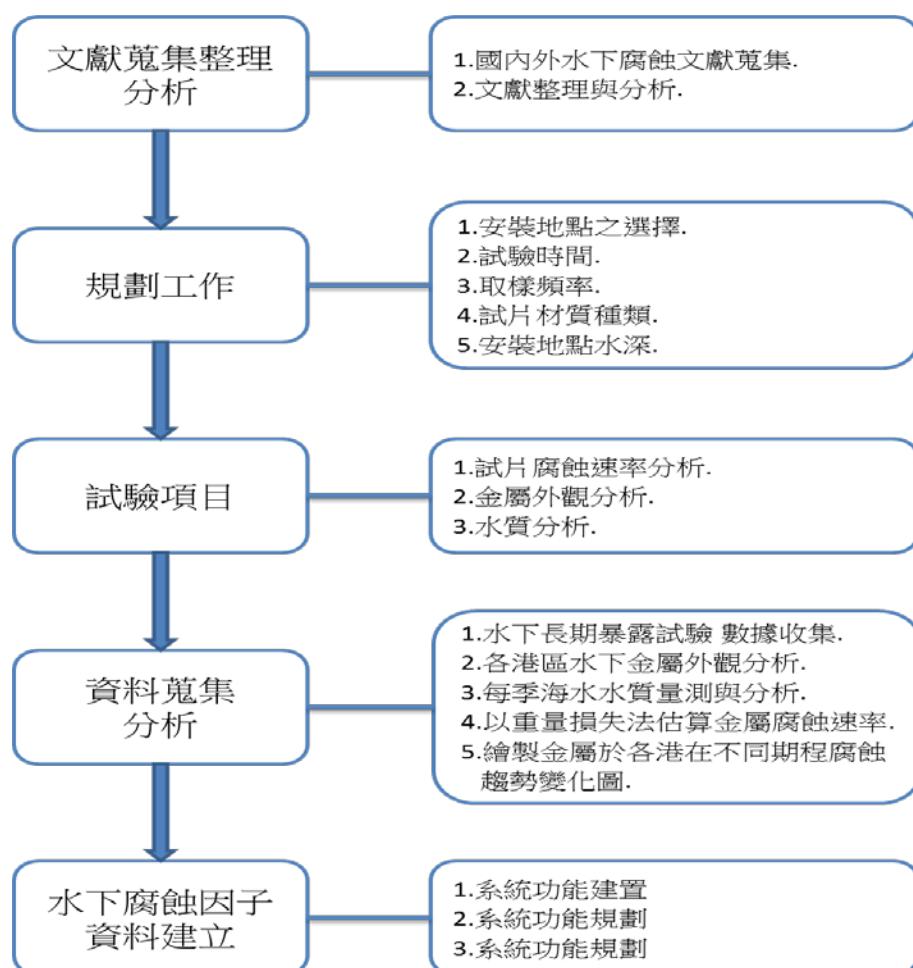


圖 5.1 水下腐蝕研究方法與規劃

5.2 各港區海水下金屬曝露試驗

試片設計、屬性與安裝與試驗期程如表 5-2 所示，試片大小，試片架之設計，試片架之安放工作以及各階段分批取樣時程，詳述如後：

- 1.材質型式：試片採用港工結構材使用之試片，分三種型式為鋸接結構用鋼(SM490A)、不鏽鋼(SS316L)、一般碳鋼(SS400)。
- 2.試片之大小：為適合海中附生物之附著。軋鋼材質料試片大小均為 15cm×10cm，厚度則分別為鋸接結構用鋼(SM490A)1.0cm、不鏽鋼(SS316L)1.0cm、一般碳鋼(SS400)1.0cm。
- 3.試片架設計：為配合當地港工結構之條件，設計須考慮穩定性、試片置放及取樣難易程度等每一試片皆有兩只通孔，使用不鏽鋼螺栓及螺帽，固定於承載試片主架上，螺栓與螺帽使用絕緣材質墊片，以防止電化學腐蝕效應。
- 4.試片架的曝露位置：安放於各港區碼頭岸壁分別於飛沫帶、潮汐帶、水中帶 3 個位置，每層架置 45 個試片，共 135 片如圖 5.4 所示，以膨脹螺絲接合施作於混凝土牆面固定。
- 5.現場施放地點調查及試片架安裝：試片架之安裝經於各港區實地勘察，經協調各港務公司選定港區船隻進出較不妨礙之碼頭為安裝地點，試片架現場安裝時配合潛水人員施工完成，現場安裝如圖 5.5 至圖 5.11 所示。
- 6.試驗期程：依實際需求規劃或 10 年期。
- 7.取樣頻率：第 1、2、5、8、10 年期等。

表5-1 各港區水下金屬腐蝕試片尺寸與安裝試驗期程(1/4)

放置地點	放置位置	試片材質	試片大小	安裝時間	試驗期程
基隆港區 西33B碼頭	飛沫帶	SM490A	15×10×1.0(cm)	2016/09/26	1、2、5、 8、10年 等5個期程
		SS316L			
		SS400			
	潮汐帶	SM490A			
		SS316L			
		SS400			
	水中帶	SM490A			
		SS316L			
		SS400			
蘇澳港區 公務船渠	飛沫帶	SM490A	15×10×1.0(cm)	2016/06/23	1、2、5、 8、10年 等5個期程
		SS316L			
		SS400			
	潮汐帶	SM490A			
		SS316L			
		SS400			
	水中帶	SM490A			
		SS316L			
		SS400			
花蓮港區 西防波堤 燈塔	飛沫帶	SM490A	15×10×1.0(cm)	2015/10/03	1、2、5、 8、10年 等5個期程
		SS316L			
		SS400			
	潮汐帶	SM490A			
		SS316L			
		SS400			
	水中帶	SM490A			
		SS316L			
		SS400			

表 5-2 各港區水下金屬腐蝕試片尺寸與安裝試驗期程(2/4)

放置地點	放置位置	試片材質	試片大小	安裝時間	試驗期程
臺北港區 北#2碼頭	飛沫帶	SM490A	15×10×1.0(cm)	2016/09/26	1、2、5、 8、10年 等5個期程
		SS316L			
		SS400			
	潮汐帶	SM490A			
		SS316L			
		SS400			
	水中帶	SM490A			
		SS316L			
		SS400			
布袋港區 東#3碼頭	飛沫帶	SM490A	15×10×1.0(cm)	2016/09/05	1、2、5、 8、10年 等5個期程
		SS316L			
		SS400			
	潮汐帶	SM490A			
		SS316L			
		SS400			
	水中帶	SM490A			
		SS316L			
		SS400			
安平港區 #7碼頭	飛沫帶	SM490A	15×10×1.0(cm)	2016/09/06	1、2、5、 8、10年 等5個期程
		SS316L			
		SS400			
	潮汐帶	SM490A			
		SS316L			
		SS400			
	水中帶	SM490A			
		SS316L			
		SS400			

表 5-3 各港區水下金屬腐蝕試片尺寸與安裝試驗期程(3/4)

放置地點	放置位置	試片材質	試片大小	安裝時間	試驗期程
高雄港區 #10碼頭	飛沫帶	SM490A	15×10×1.0(cm)	2016/09/08	1、2、5、 8、10年 等5個期程
		SS316L			
		SS400			
	潮汐帶	SM490A			
		SS316L			
		SS400			
	水中帶	SM490A			
		SS316L			
		SS400			
高雄港區 #41碼頭	潮汐帶	SM490A	15×10×1.0(cm)	2016/09/07	1、2、5、 8、10年 等5個期程
		SS316L			
		SS400			
	水中帶	SM490A			
		SS316L			
		SS400			
高雄港區 #75碼頭	飛沫帶	SM490A	15×10×1.0(cm)	2016/09/07	1、2、5、 8、10年 等5個期程
		SS316L			
		SS400			
	潮汐帶	SM490A			
		SS316L			
		SS400			
	水中帶	SM490A			
		SS316L			
		SS400			

表 5-4 各港區水下金屬腐蝕試片尺寸與安裝試驗期程(4/4)

放置地點	放置位置	試片材質	試片大小	安裝時間	試驗期程
澎湖龍門港 #9碼頭	飛沫帶	SM490A	15×10×1.0(cm)	2016/09/12	1、2、5、 8、10年 等5個期程
		SS316L			
		SS400			
	潮汐帶	SM490A			
		SS316L			
		SS400			
	水中帶	SM490A			
		SS316L			
		SS400			
馬祖福澳港 浮動碼頭	飛沫帶	SM490A	15×10×1.0(cm)	2016/09/07	1、2、5、 8、10年 等5個期程
		SS316L			
		SS400			
	潮汐帶	SM490A			
		SS316L			
		SS400			
	水中帶	SM490A			
		SS316L			
		SS400			
港研中心 循環水槽	潮汐帶	SM490A	15×10×1.0(cm)	2016/09/22	1、2、5、 8、10年 等5個期程
		SS316L			
		SS400			

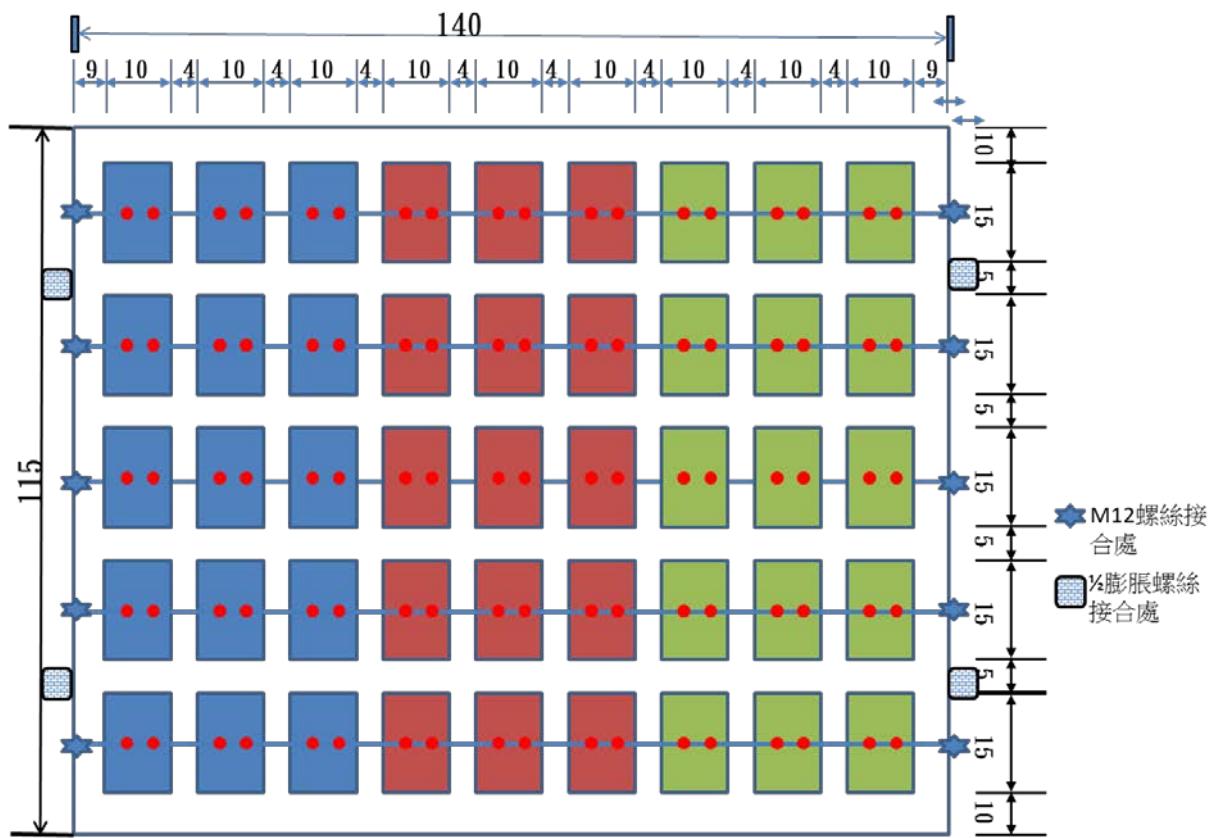


圖5.2.水下金屬腐蝕試驗架示意圖

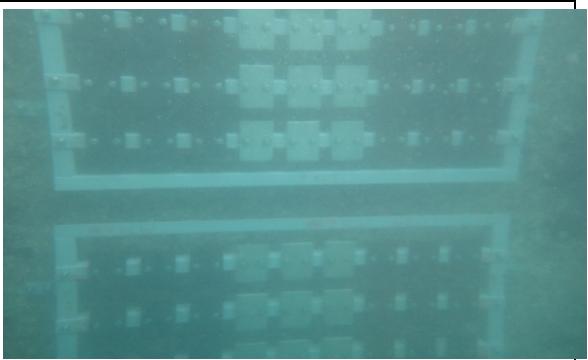
	
水下金屬腐蝕試驗架吊掛	潛水員固定飛沫帶試驗架
	
車用吊桿吊放金屬腐蝕試驗架	金屬腐蝕試驗架微調安裝位置
	
水下帶試驗架氣動鑽安裝	潮汐帶試驗架安裝完成
	
水下帶試驗架安裝完成	基隆港試驗架安裝完成

圖5.3 基隆港水下金屬曝露試驗架安裝

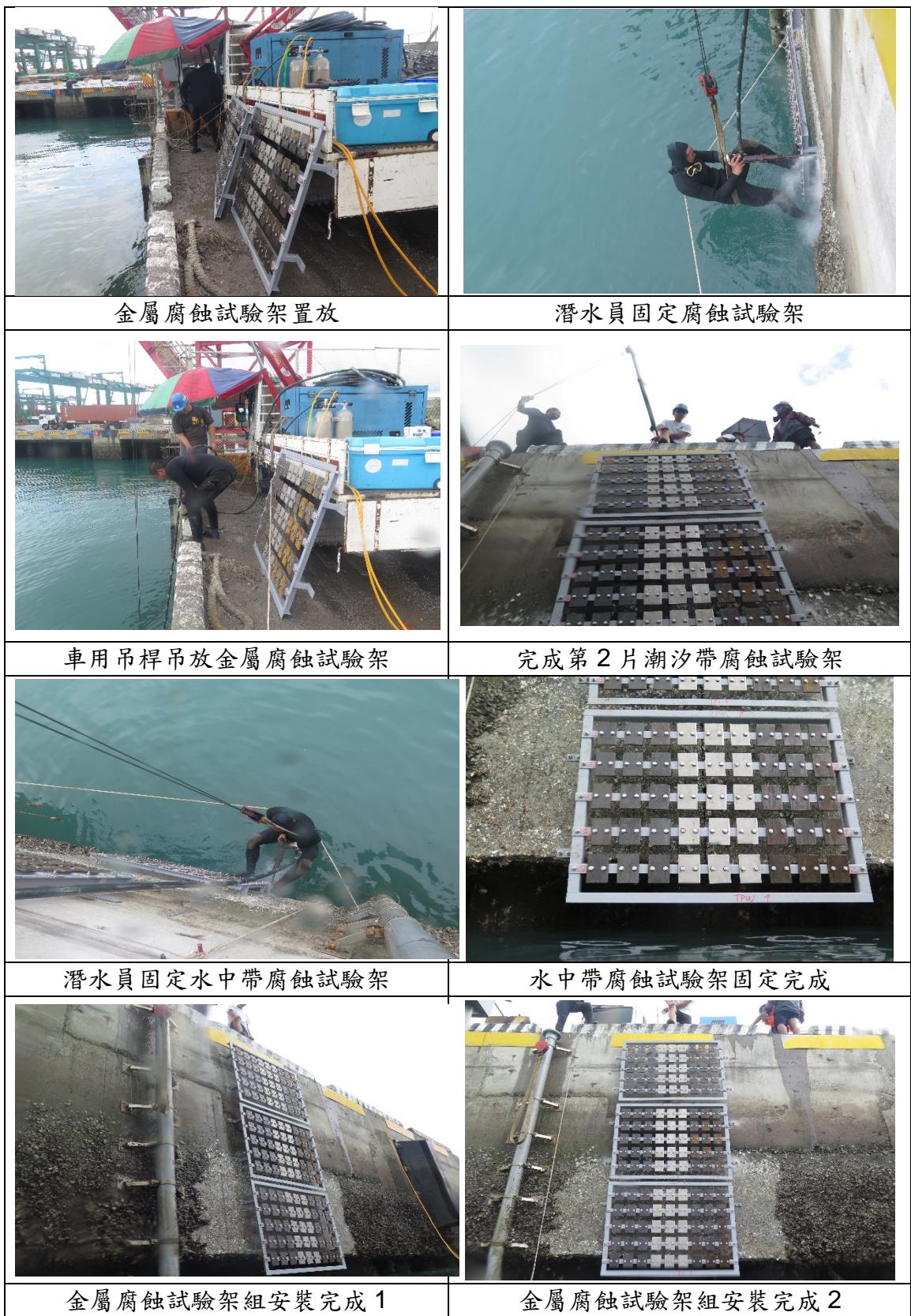


圖 5.4 臺北港水下金屬曝露試驗架安裝

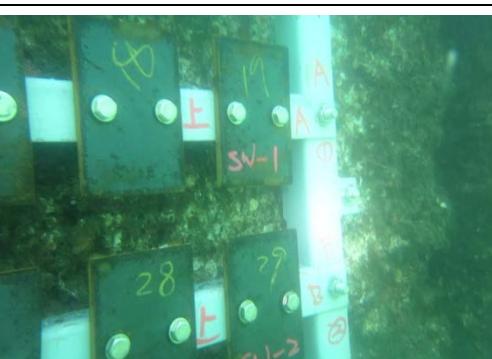
	
金屬腐蝕試驗架置放	金屬腐蝕試驗架編號確認
	
金屬腐蝕試驗架安裝	腐蝕試驗架吊放
	
飛沫帶金屬試片架安裝	飛沫帶金屬試片架安裝完成
	
潮汐帶金屬試片架安裝完成	水中帶金屬試片架安裝完成

圖 5.5 蘇澳港水下金屬曝露試驗架安裝



圖 5.6 花蓮港水下金屬曝露試驗架安裝

	
腐蝕試驗架試片位置查核	潛水員固定腐蝕試驗架
	
金屬腐蝕試驗架固定	腐蝕試驗架吊掛
	
潛水員固定腐蝕試驗架	潛水員固定腐蝕試驗架
	
金屬腐蝕試驗架組安裝完成	金屬腐蝕試驗架組安裝完成

圖 5.7 布袋港水下金屬曝露試驗架安裝

	
安平港水下金屬腐蝕試驗架	潛水員固定飛沫帶試驗架
	
車用吊桿吊放金屬腐蝕試驗架	金屬腐蝕試驗架微調安裝位置
	
飛沫帶試驗架安裝	飛沫帶試驗架安裝完成
	
潮間帶試驗架安裝完成	水中帶試驗架安裝完成

圖 5.8 安平港水下金屬曝露試驗架安裝

	
高雄港#10 金屬腐蝕試驗架	金屬腐蝕試驗架安裝
	
金屬腐蝕試驗架安裝	水下帶試驗架安裝完成
	
飛沫帶試驗架組裝完成	潮汐帶試驗架安裝完成
	
水中帶試驗架安裝完成	花蓮港試驗架安裝完成

圖 5.9 高雄港 #10 水下金屬曝露試驗架安裝

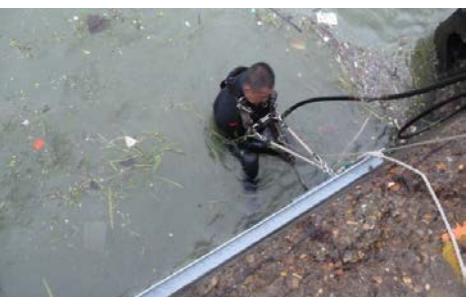
	
高雄港#41 金屬腐蝕試驗架	金屬腐蝕試驗架安裝
	
金屬腐蝕試驗架安裝	水下帶試驗架安裝完成
	
飛沫帶試驗架組裝完成	潮汐帶試驗架安裝完成
	
潮汐帶試驗架安裝完成	高雄港#40 試驗架安裝完成

圖 5.10 高雄港 #41 水下金屬曝露試驗架安裝

	
高雄港#75 金屬腐蝕試驗架	金屬腐蝕試驗架安裝
	
金屬腐蝕試驗架安裝	水下帶試驗架安裝完成
	
飛沫帶試驗架組裝完成	潮汐帶試驗架安裝完成
	
水中帶試驗架安裝完成	高雄港#75 試驗架安裝完成

圖 5.11 高雄港 #75 水下金屬曝露試驗架安裝

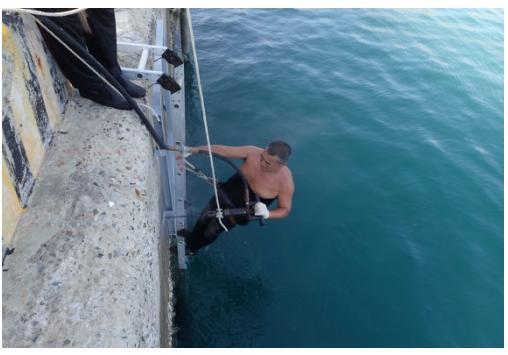
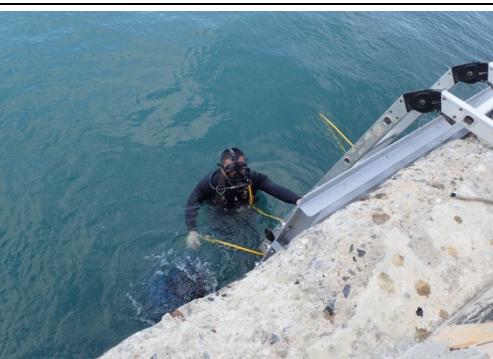
	
金屬腐蝕試驗架排列檢視	金屬腐蝕試驗架安裝
	
金屬腐蝕試驗架安裝	試驗架安裝
	
飛沫帶試驗架組裝完成	潮汐帶試驗架安裝完成
	
水中帶試驗架安裝完成	試驗架安裝完成

圖 5.12 澎湖龍門尖山港水下金屬曝露試驗架安裝



圖 5.13 馬祖福澳港水下金屬曝露試驗架安裝

	
金屬腐蝕試驗架排列檢視	金屬腐蝕試驗架吊掛
	
試驗架安裝	試驗架安裝
	
試驗架組裝完成	試驗架安裝完成

圖 5.14 港研中心循環水槽水下金屬曝露試驗架安裝

5.3 試片腐蝕速率分析方法

5.3.1 試片定期採樣之處理分析方法

依規劃時間至安裝現場請潛水人員將試片取出，將樣品收集分類及拍照後，帶回實驗室作進一步海生物清除與腐蝕清洗分析。

5.3.2 試片腐蝕分析步驟

採樣後試片於實驗室中進行腐蝕分析作業流程如圖 5.15，先將附著海生物刮去處理後，依據 NACE Standard TM-01-69 方法，以濃鹽酸 + 40 g/l SnCl₂ 溶液，在室溫下浸泡試片，達到除鏽效果，並稱重以量測其平均腐蝕速率（重量損失法）。將試驗點曝放後取回之試片進行腐蝕速率量測。為確保除去腐蝕生成物的化學清洗方法不會損壞底材金屬，先使用腐蝕試片進行重複清洗，以制定檢量線（俟重複清洗後之試片淨重達到一穩定值）。

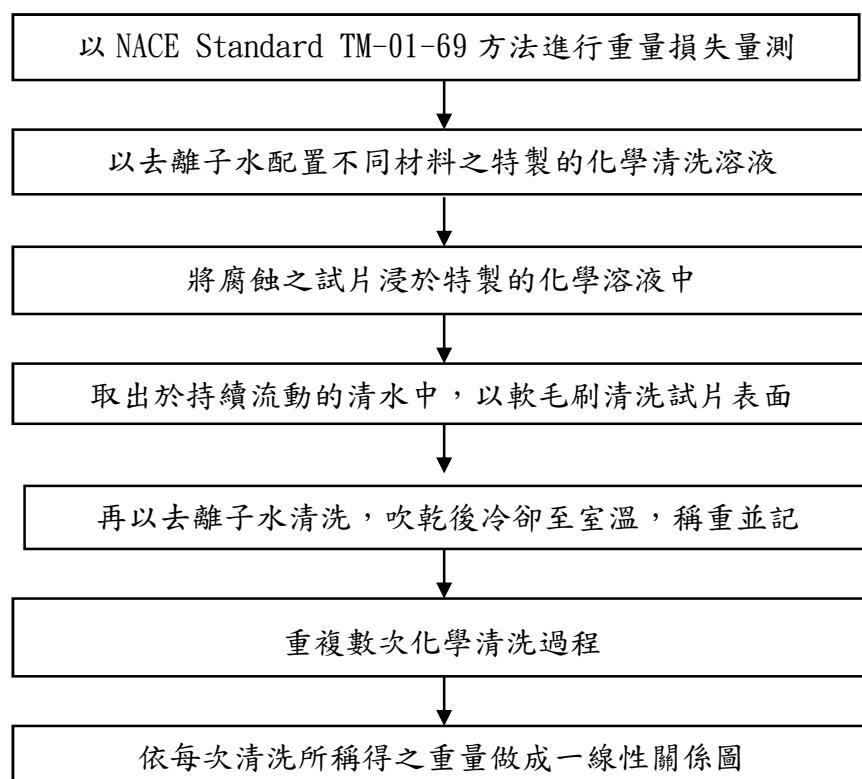


圖 5.15 水下金屬腐蝕生成物清除作業流程圖

5.3.3 腐蝕速率計算

板狀試片的腐蝕速率(R_{corr})單位以 $\mu\text{m}/\text{yr}$ 表示，計算公式如下：

式中， Δm =質量損失(g)

A=試片曝露面積(m²)

t =曝露時間，年(year)

ρ =金屬材料之密度 (g/cm³)

5.4 海水水質分析

為了解金屬材料於海水中之變化，於每季進行全島商港海水水質取樣，利用水質檢測儀器測定鹽度、水溫、pH 值、溶氧量、導電度等，並使用離子分析儀分析海水中 Cl^- 及 SO_4^{2-} 含量。

臺中港 1 號碼頭數據在 104 年如表 5-15 及 105 年如表 5-16 所示，104 年其分析結果範圍如下，鹽度 29.7~30.6，導電度 42.4~52.9 (ms/cm)，溫度 19.4~30.7($^{\circ}\text{C}$)，溶氧量 7.41~9.44(mg/l)，PH 值 7.27~7.92，氯離子 15761~18282(mg/L)，硫酸根離子 1960~2148(mg/L)。105 年其分析結果範圍如下，鹽度 21.7~30.8，導電度 43.2~53.6 (ms/cm)，溫度 21.0~30.0($^{\circ}\text{C}$)，溶氧量 7.18~8.85(mg/l)，PH 值 7.01~7.78，氯離子 13496~20268(mg/L)，硫酸根離子 1527~2214(mg/L)。

金門港區數據在 104 年如表 5-17 及 105 年如表 5-18 所示，104 年其分析結果範圍如下，鹽度 27.9~30.4，導電度 42.6~49.3(ms/cm)，溫度 23.6~28.1($^{\circ}\text{C}$)，溶氧量 7.36~11.06(mg/l)，PH 值 7.38~7.70，氯離子 12448~18426(mg/L)，硫酸根離子 1621~2374(mg/L)。105 年其分析結果範圍如下，鹽度 25.3~30.6，導電度 32.5~49.4(ms/cm)，溫度 14.8~30.6($^{\circ}\text{C}$)，溶氧量 5.81~10.01(mg/l)，PH 值 7.49~8.25，氯離子 14151~17717(mg/L)，硫酸根離子 1724~2179(mg/L)。

臺北港區數據在 105 年如表 5-19 所示，其分析結果範圍如下，鹽度 27.9~32.1，導電度 40.1~46.1 (ms/cm)，溫度 17.8~28.4 ($^{\circ}\text{C}$)，溶氧量 5.66~ 11.42(mg/l)，PH 值 7.66~8.10，氯離子 15616~18392 (mg/L)，硫酸根離子 1728~4296 (mg/L)。

基隆港區數據在 105 年如表 5-20 所示，其分析結果範圍如下，鹽度 27.3~31.7，導電度 40.9~47.9 (ms/cm)，溫度 18.9~27.3 ($^{\circ}\text{C}$)，溶氧量 3.22~ 9.06(mg/l)，PH 值 7.54~8.05，氯離子 13802~18571 (mg/L)，硫酸根離子 1759~2428 (mg/L)。

花蓮港區數據在 105 年如表 5-21 所示，其分析結果範圍如下，鹽度 24.8~39.4，導電度 36.9~47.0 (ms/cm)，溫度 21.8~29.2 (°C)，溶氧量 6.29~8.98 (mg/l)，PH 值 6.73~8.16，氯離子 12562~19307 (mg/L)，硫酸根離子 1550~2064(mg/L)。

蘇澳港區數據在 105 年如表 5-22 所示，其分析結果範圍如下，鹽度 28.1~31.9，導電度 42.3~48.1 (ms/cm)，溫度 20.6~28.3 (°C)，溶氧量 6.20~8.55 (mg/l)，PH 值 7.53~8.35，氯離子 15182~20821 (mg/L)，硫酸根離子 1827~2334(mg/L)。

高雄港區數據在 105 年如表 5-23 所示，其分析結果範圍如下，鹽度 24.8~31.9，導電度 25.4~50.8 (ms/cm)，溫度 25.5~33.3 (°C)，溶氧量 4.60~8.15 (mg/l)，PH 值 7.52~8.31，氯離子 12820~20251 (mg/L)，硫酸根離子 1518~2337 (mg/L)。

安平港區數據在 105 年如表 5-24 所示，其分析結果範圍如下，鹽度 23.6~31.3，導電度 37.7~47.1 (ms/cm)，溫度 22.0~32.0 (°C)，溶氧量 4.59~8.92 (mg/l)，PH 值 7.43~8.33，氯離子 12814~20349 (mg/L)，硫酸根離子 1553~2439 (mg/L)。

於 105 年第三季開始新增布袋、馬祖、澎湖港區海水檢測，布袋港區數據如表 5-24 所示，馬祖港區數據如表 5-24 所示，澎湖港區數據如表 5-24 所示。

表 5-5 臺中港 1 號碼頭水質量測分析結果(104 年)

取樣日期	水深(m)	鹽度(0/00)	導電度(ms/cm)	溫度(°C)	溶氧量(mg/L)	PH 值(-)	氯離子(mg/L)	硫酸根離子(mg/L)
6/23	0	30.6	52.4	30.7	8.55	7.85	15761	1960
	3	31.0	52.9	30.5	8.55	7.92	16384	2039
	6	30.9	52.8	30.7	7.93	7.86	17950	2148
10/1	0	29.7	49.5	30.2	7.41	7.61	18282	2018
	3	29.9	49.3	28.7	7.61	7.74	18123	1985
	6	30.2	49.6	28.4	7.75	7.73	17812	2011
12/28	0	31.1	42.5	19.4	9.44	7.27	17350	2137
	3	31.1	42.5	19.4	9.3	7.53	17495	2066
	6	31.0	42.4	19.4	9.36	7.49	17534	2090

表 5-6 臺中港 1 號碼頭水質量測分析結果(105 年)

取樣日期	水深(m)	鹽度(0/00)	導電度(ms/cm)	溫度(°C)	溶氧量(mg/L)	PH 值(-)	氯離子(mg/L)	硫酸根離子(mg/L)
3/28	0	21.7	44.9	21	8.77	7.69	19055	2108
	3	30.8	43.2	20.6	8.84	7.01	13496	1527
	6	32.0	44.6	20.4	8.85	7.55	18998	2171
6/1	0	31.6	53.4	29.8	8.49	7.27	20268	2214
	3	31.7	53.6	30.0	8.38	7.46	17889	2037
	6	31.5	53.1	29.9	8.18	7.46	17770	2050
8/31	0	31.4	52.4	29.4	7.95	7.78	16779	2013
	3	31.4	52.3	29.3	7.56	7.65	16875	2034
	6	31.5	52.3	29.2	7.18	-	-	-

註： - 為樣品遺失，故無資料

表 5-7 金門港區水質量測分析結果(104 年)

取樣日期	地點	水深(m)	鹽度(0/00)	導電度(ms/cm)	溫度(°C)	溶氧量(mg/L)	PH 值	氯離子(mg/L)	硫酸根離子(mg/L)
6/3	水頭港	0	28.8	46.2	26.9	8.10	7.60	16127	1999
		3	28.6	46.2	27.2	8.25	7.67	15877	1969
6/2	料羅港	0	29.8	48.7	27.1	10.28	7.63	16951	2175
		3	29.7	47.2	26.9	10.01	7.53	17004	2068
		6	29.9	47.3	26.4	9.15	7.60	12448	1621
6/3	九宮港	0	28.7	46.0	26.7	8.24	7.64	15782	1995
		3	28.7	46.0	26.8	8.24	7.59	15737	1986
9/9	水頭港	0	29.2	46.7	26.6	7.97	7.60	18105	2061
		3	29.3	47.6	26.7	7.90	7.70	17757	2021
		4	29.3	47.0	26.8	7.92	7.44	15036	1711
9/8	料羅港	0	30.1	49.3	28.1	10.47	7.68	16339	1836
		3	30.0	48.9	27.9	11.06	7.69	18426	2087
		5	30.4	48.6	27.0	8.03	7.38	18294	1969
9/9	九宮港	0	29.1	47.2	27.6	7.73	7.54	18162	1996
		3	29.1	47.1	27.4	7.51	7.55	17817	2055
		5	29.1	46.9	27.2	7.36	7.48	18464	2374
11/16	水頭港	0	28.0	43.0	24.7	8.30	7.65	14748	1826
		3	28.1	42.7	23.9	8.31	7.68	15828	1918
	料羅港	0	28.6	43.2	23.8	8.20	7.68	13938	1681
		3	28.4	42.9	23.6	8.46	7.68	15425	1930
		6	28.4	42.8	23.6	8.63	7.46	15733	1892
	九宮港	0	27.9	42.7	24.3	8.06	7.69	15411	1867
		3	27.9	42.6	24.1	8.25	7.69	16063	1859
		6	28.0	42.6	23.9	8.16	7.69	14998	1824

表 5-8 金門港區水質量測分析結果(105 年)

取樣 日期	地 點	水深 (m)	鹽度 (0/00)	導電度 (ms/cm)	溫度 (°C)	溶氧量 (mg/L)	PH 值	氯離子 (mg/L)	硫酸根離子 (mg/L)
3/30	水頭港	0	25.3	32.5	15.6	9.61	7.49	15232	1730
		3	25.8	32.8	15.2	9.78	7.63	15757	1816
		6	25.8	32.8	15.3	9.68	7.54	15771	1828
	料羅港	0	27.6	36.2	16.8	10.01	7.63	16253	1882
		3	27.7	34.8	15.0	9.76	7.68	17073	1995
		6	27.8	34.9	14.8	9.90	7.62	16177	1902
	九宮港	0	25.8	33.2	15.8	9.63	7.59	16845	1952
		3	25.8	32.9	15.4	9.64	7.56	14736	1747
6/14	水頭港	0	28.3	44.0	27.7	6.64	8.16	15811	2179
		3	28.2	43.9	27.1	6.86	8.23	15688	1858
		6	28.6	44.5	26.4	5.89	8.20	15928	1868
	料羅港	0	30.0	46.3	26.0	6.45	8.22	17088	2020
		3	30.3	46.7	25.5	5.81	8.24	17717	-
		6	30.6	47.1	25.5	6.09	8.25	17167	1991
	九宮港	0	28.4	44.2	26.9	6.30	8.20	15803	1860
		3	28.4	44.2	26.7	6.34	8.22	15564	1839
9/19	水頭港	0	28.1	46.6	28.6	6.76	7.52	14320	1747
		3	28.0	46.2	28.2	6.66	7.78	14221	1730
		6	28.2	46.3	28.0	6.70	7.70	14151	1724
	料羅港	0	28.7	49.4	30.6	7.06	7.79	15805	1849
		3	28.9	48.5	29.3	7.32	7.81	15161	1879
		6	28.9	48.1	28.8	6.92	7.82	15095	1835
	九宮港	0	27.4	46.6	29.6	7.09	7.85	14408	1750
		3	27.6	46.2	28.8	6.92	7.83	14743	1791

註： - 為樣品遺失，故無資料

表 5-9 臺北港區水質量測分析結果(105 年)

取樣日期	地點	水深(m)	鹽度(0/00)	導電度(ms/cm)	溫度(°C)	溶氧量(mg/L)	pH 值	氯離子(mg/L)	硫酸根離子(mg/L)
3/8	臺北港 E1	0	28.9	40.7	20.4	10.43	7.66	17607	1981
		3	29.7	40.5	19	10.76	7.68	17430	1970
		6	30.3	40.5	18.2	9.33	7.75	18392	2071
	臺北港 E3	0	30.0	40.7	18.4	11.42	7.67	17343	1972
		3	30.1	40.1	18.1	9.93	7.75	17431	2031
		6	30.4	40.2	17.8	10.85	7.81	18016	2308
6/14	臺北港 E1	0	28.0	44.1	26.7	6.58	7.94	17149	3195
		3	29.3	45.6	27.3	6.53	7.96	16415	2393
		6	29.6	45.9	27.6	6.62	7.97	17346	4258
	臺北港 E3	0	27.9	43.7	27.2	6.73	7.97	15616	1806
		3	29.3	45.4	27.4	6.55	7.95	15849	1728
		6	29.7	45.9	27.6	6.56	7.95	17497	4296
9/6	臺北港 E1	0	31.9	45.5	24.5	6.62	8.07	16180	1940
		3	32.1	46.0	27.9	5.94	8.09	16906	2006
		6	31.9	45.7	28.4	5.82	8.09	16314	1962
	臺北港 E3	0	31.7	45.6	27.5	6.48	8.10	16390	1926
		3	31.7	45.6	28.4	5.99	8.08	16054	1892
		6	32.0	46.1	28.4	5.66	8.07	16835	2019

表 5-10 基隆港區水質量測分析結果(105 年)

取樣 日期	地 點	水深 (m)	鹽度 (0/00)	導電度 (ms/cm)	溫度 (°C)	溶氧量 (mg/L)	PH 值	氯離子 (mg/L)	硫酸根離子 (mg/L)
3/8	基 隆 港 E5	0	30.3	41.7	19.5	7.72	7.60	17152	1964
		3	30.3	41.9	19.8	7.78	7.64	17293	2004
		6	30.8	42.0	19.2	7.87	7.54	17687	1974
	基 隆 港 E2	0	29.7	41.3	19.9	7.70	7.60	16969	1925
		3	30.8	41.9	19.1	8.62	7.70	17886	2055
		6	31.0	42.0	18.9	8.46	7.73	17860	2034
	基 隆 港 W5	0	30.2	41.5	19.5	7.76	7.64	18571	2107
		3	30.5	41.8	19.3	8.24	7.69	18132	2121
		6	30.7	41.8	19.2	8.66	7.73	17948	2050
	基 隆 港 W2	0	29.8	40.9	19.3	8.28	7.63	18119	2093
		3	30.5	41.8	19.1	9.06	7.67	17664	1982
		6	30.8	41.8	18.9	8.57	7.68	18162	2019
6/14	基 隆 港 E5	0	30.8	47.5	25.4	6.15	7.80	16412	2210
		3	30.9	47.7	25.5	4.48	7.94	17865	2047
		6	31.1	47.9	25.5	4.52	7.96	13802	2162
	基 隆 港 E2	0	30.3	47.0	25.4	4.50	7.87	16945	2044
		3	30.3	46.9	25.4	4.34	7.92	17214	1982
		6	30.9	47.7	25.5	4.49	7.93	16760	1941
	基 隆 港 W5	0	29.2	45.2	25.7	5.01	7.83	16726	1920
		3	30.9	47.5	25.4	5.30	7.91	17577	2109
		4.3	31.2	47.9	25.5	5.51	7.95	17557	2428

取樣 日期	地 點	水深 (m)	鹽度 (0/00)	導電度 (ms/cm)	溫度 (°C)	溶氧量 (mg/L)	PH 值	氯離子 (mg/L)	硫酸根離子 (mg/L)
9/6	基 隆 港 W2	0	27.3	42.5	25.5	3.85	7.76	15031	1759
		3	30.8	47.3	25.3	4.75	7.87	18186	2080
		6	-	-	25.5	5.30	7.92	-	-
9/6	基 隆 港 E5	0	30.4	43.9	27.3	3.22	7.72	15756	1903
		3	31.1	44.9	27.1	4.29	7.94	15772	1877
		6	31.5	45.4	26.9	4.85	8.00	16681	1976
	基 隆 港 E2	0	30.2	43.7	26.9	3.45	7.65	16189	1921
		3	31.3	45.2	26.9	4.14	7.94	16182	1989
		6	31.6	45.5	26.7	4.85	8.00	16703	1995
	基 隆 港 W5	0	29.5	42.8	26.2	4.33	7.80	14898	1772
		3	30.6	44.1	26.8	4.40	7.92	15786	1901
		6	31.6	45.5	26.9	5.05	8.03	16409	2009
	基 隆 港 W2	0	30.7	44.4	26.9	4.31	7.87	16017	1908
		3	31.4	45.5	27.0	4.38	8.00	16218	1985
		6	31.7	45.7	26.9	5.01	8.05	16566	1922

註： - 為電極異常，故無資料

表 5-11 花蓮港區水質量測分析結果(105 年)

取樣 日期	地點	水深 (m)	鹽度 (0/00)	導電度 (ms/cm)	溫度 (°C)	溶氧量 (mg/L)	PH 值	氯離子 (mg/L)	硫酸根 離子 (mg/L)
3/16	花蓮港 4#	0	27.7	40.2	21.8	8.90	7.45	17815	1978
		3	39.4	42.6	21.8	8.74	7.45	16859	1952
		6	30.8	44.4	21.8	8.49	7.59	18446	2035
	花蓮港 23#	0	28.3	42.1	23.0	8.83	6.73	16361	1922
		3	30.3	44.5	22.7	8.76	7.07	17637	2064
		6	31.2	45.8	22.8	8.76	7.84	18251	2014
	花蓮港 航道 150#	0	28.4	41.5	22.2	8.96	7.71	16463	1865
		3	28.9	42.1	22.0	8.98	7.67	16927	1904
		6	30.5	44.1	22.0	8.69	7.63	17811	1997
7/4	花蓮港 4#	0	29.9	45.4	29.1	7.14	7.97	17850	1792
		3	30.3	46.0	28.6	7.36	8.04	17579	2023
		6	30.4	46.1	27.9	6.95	8.01	19307	2055
	花蓮港 23#	0	29.5	44.9	27.8	6.63	7.92	16696	1928
		3	29.9	45.4	27.6	6.94	8.01	17698	2054
		6	31.1	47.0	27.3	6.93	8.01	18004	2063
	花蓮港 航道 150#	0	27.4	42.0	29.1	7.02	7.75	15344	1792
		3	29.6	45.1	29.2	6.80	7.76	17566	2023
		6	30.3	46.0	28.0	6.29	7.83	17770	2055
9/21	花蓮港 4#	0	27.1	40.1	26.0	7.20	7.96	13696	1669
		3	29.1	42.9	26.3	6.90	8.15	15012	1810
		6	29.7	43.7	26.6	6.70	8.15	15208	1882
	花蓮港 23#	0	24.8	36.9	25.5	7.35	8.13	12562	1557
		3	28.8	42.4	25.9	7.10	8.16	14521	1803
		6	29.8	43.8	26.1	7.50	8.05	15243	1829
	花蓮港 航道 150#	0	26.2	38.9	26.1	7.10	8.15	12684	1550
		3	29.6	43.5	26.2	6.90	8.14	15220	1845
		6	30.1	44.1	26.6	6.80	8.16	15339	1880

表 5-12 蘇澳港區水質量測分析結果(105 年)

取樣 日期	地點	水深 (m)	鹽度 (0/00)	導電度 (ms/cm)	溫度 (°C)	溶氧量 (mg/L)	pH 值	氯離子 (mg/L)	硫酸根 離子 (mg/L)
3/17	蘇澳港 駁船	0	30.3	43.0	21.0	-	7.53	18218	2123
		3	31.3	44.2	20.9	-	7.65	17830	2050
		6	30.8	43.5	20.9	-	7.69	17787	2029
	蘇澳港 7#	0	29.7	42.3	21.1	-	7.60	16744	1944
		3	31.2	44.1	20.9	-	7.69	17797	2005
		6	31.7	44.6	20.8	-	7.68	18592	2080
	蘇澳港 10#	0	30.5	43.0	20.8	-	7.66	17840	2032
		3	31.4	44.0	20.6	-	7.73	18942	2137
		6	31.7	44.4	20.6	-	7.74	19131	2114
	蘇澳港 13#	0	30.3	43.3	21.8	8.51	7.63	17173	1953
		3	31.5	44.3	21.0	8.31	7.69	18434	2107
		6	31.8	44.6	20.8	-	7.64	19969	2209
6/22	蘇澳港 駁船	0	28.1	42.9	28.0	8.02	8.13	15619	1834
		3	29.4	44.9	27.9	8.36	8.16	17772	2037
		6	29.7	45.2	27.4	7.53	8.11	17602	2011
	蘇澳港 7#	0	30.3	45.9	27.4	8.49	8.35	18091	2092
		3	30.6	46.3	28.0	8.55	8.29	17995	2050
		6	31.1	47.1	27.7	7.99	8.21	18723	2142
	蘇澳港 10#	0	30.2	45.8	28.0	7.37	7.95	20120	2273
		3	30.3	46.0	28.3	7.27	8.18	18725	2162
		6	31.6	47.8	27.8	6.90	8.20	18890	2147
	蘇澳港 13#	0	30.7	46.5	27.6	7.02	8.12	20821	2334
		3	31.0	47.0	27.3	6.72	8.20	17726	2044
		6	31.9	48.1	26.8	6.53	8.21	17962	2073

取樣 日期	地點	水深 (m)	鹽度 (0/00)	導電度 (ms/cm)	溫度 (°C)	溶氧量 (mg/L)	PH 值	氯離子 (mg/L)	硫酸根 離子 (mg/L)
9/22	蘇澳港 駁船	0	29.4	42.8	25.8	7.40	7.93	15182	1842
		3	29.9	43.2	25.9	7.20	8.08	15752	1910
		6	29.9	43.0	25.7	6.90	8.02	15399	1853
	蘇澳港 7#	0	29.3	42.5	25.7	7.20	7.99	15391	1827
		3	30.8	44.5	25.7	6.80	8.10	16110	1921
		6	30.6	44.3	25.5	6.70	8.07	15626	1877
	蘇澳港 10#	0	30.0	43.4	24.5	6.60	7.89	15921	1895
		3	30.3	44.0	25.5	6.20	8.00	15827	1936
		6	30.9	45.0	25.5	6.20	8.01	16263	1904
	蘇澳港 13#	0	29.9	43.7	25.4	6.90	7.98	15796	1868
		3	30.0	43.9	25.5	6.50	8.00	15272	1862
		6	30.3	44.4	25.5	6.50	7.89	15670	1893

註： - 為電極異常，故無資料

表 5-13 高雄港區水質量測分析結果(105 年)

取樣日期	地點	水深(m)	鹽度(0/00)	導電度(ms/cm)	溫度(°C)	溶氧量(mg/L)	PH 值	氯離子(mg/L)	硫酸根離子(mg/L)
3/23	高雄港 10#	0	31.9	49.7	25.9	7.68	7.65	18814	2101
		3	31.8	49.8	26.1	7.45	7.72	18273	2094
		6	31.9	49.8	26	7.66	7.73	18419	2114
	高雄港 33#	0	31.8	50.8	27.2	7.57	7.67	17964	2309
		3	31.8	50.8	27.2	7.57	7.74	19353	2170
		6	31.8	50.6	27.1	7.70	7.73	18379	2148
	高雄港 51#	0	31.0	48.7	26.2	7.57	7.69	18273	2168
		3	31.3	48.7	25.8	7.85	7.71	18414	2085
		6	31.4	48.6	25.6	7.84	7.74	18434	2112
	高雄港 68#	0	31.2	49.3	26.4	7.87	7.67	18222	2105
		3	31.6	49.2	25.5	7.60	7.68	19014	2158
		6	31.9	49.2	25.4	7.71	7.74	18568	2140
	高雄港 118#	0	31.0	49.0	26.1	7.19	7.52	18701	2090
		3	31.3	48.7	25.7	6.98	7.68	20181	2337
		6	31.7	48.8	25.2	7.83	7.72	20251	2295
6/27	高雄港 10#	0	30.6	47.9	33.3	8.15	8.19	18106	2116
		3	30.7	48.2	31.8	7.99	8.23	17496	2056
		6	30.5	48.2	31.4	7.94	8.27	18448	2139
	高雄港 33#	0	30.6	48.5	30.8	5.86	8.10	17441	2005
		3	30.6	48.6	31.1	5.83	8.21	17742	2068
		6	30.6	48.4	31.0	5.98	8.25	18034	2108
	高雄港 51#	0	29.8	47.2	32.0	6.00	8.15	17547	2104
		3	29.9	47.3	30.4	6.23	8.21	16977	2015
		6	30.0	47.4	30.0	6.13	8.24	18265	2093
	高雄港 68#	0	30.8	48.4	29.7	6.21	8.30	18171	2106
		3	30.7	48.4	29.5	6.23	8.30	17365	1994
		6	30.8	48.5	29.5	6.25	8.30	17466	2021

取樣 日期	地點	水深 (m)	鹽度 (0/00)	導電度 (ms/cm)	溫度 (°C)	溶氧量 (mg/L)	PH 值	氯離子 (mg/L)	硫酸根 離子 (mg/L)
	高雄港 118#	0	30.7	48.4	28.5	7.94	8.30	17782	2041
		3	30.7	48.3	29.7	7.91	8.31	12820	1518
		6	30.8	48.5	29.6	7.83	8.30	17821	2024
10/6	高雄港 10#	0	-	25.4	26.3	5.60	7.80	12876	1624
		3	26.1	38.6	28.0	4.60	7.80	14982	1851
		6	28.3	41.5	28.6	4.81	7.96	14825	1839
	高雄港 39#	0	28.6	41.8	27.8	6.20	7.90	-	-
		3	29.0	42.6	28.0	5.83	8.02	13296	1642
		6	29.3	42.8	28.1	5.76	8.05	14545	1795
	高雄港 75#	0	24.8	36.7	29.5	4.76	7.87	14591	1778
		3	26.9	31.6	29.0	4.91	7.88	14467	1727
		6	28.4	41.6	29.5	5.04	7.91	14604	1744

註： - 為電極異常，故無資料

表 5-14 安平港區水質量測分析結果(105 年)

取樣 日期	地點	水深 (m)	鹽度 (0/00)	導電度 (ms/cm)	溫度 (°C)	溶氧量 (mg/L)	PH 值	氯離子 (mg/L)	硫酸根 離子 (mg/L)
3/21	安平 3#	0	30.8	44.2	22.0	8.92	7.55	17959	2010
		3	30.3	45.5	22.4	8.70	7.63	17669	2042
		6	31.2	45.8	22.4	8.67	7.67	18244	2066
	安平 4#	0	30.5	44.5	22.3	8.13	7.75	20349	2439
		3	30.4	44.4	22.4	8.69	7.58	18179	2063
		6	31.3	45.8	22.5	8.17	7.62	18651	2150
6/27	安平 3#	0	23.6	37.7	32.0	5.42	8.11	12814	1553
		3	27.5	43.3	31.6	5.28	8.33	15183	1769
		6	28.9	45.4	30.7	5.27	8.31	15939	1850
	安平 4#	0	26.9	42.5	31.4	4.59	8.11	15135	1730
		3	29.0	45.5	31.9	4.99	8.32	16245	1854
		6	30.1	47.1	31.1	4.72	8.24	16931	1974
9/8	安平 7#	3	29.4	43.3	22.7	-	7.43	15153	1888
		6	29.5	43.2	22.7	-	7.45	15757	1947

註： - 為電極異常，故無資料

表 5-15 布袋港水質量測分析結果(105 年)

取樣 日期	水深 (m)	鹽度 (0/00)	導電度 (ms/cm)	溫度 (°C)	溶氧量 (mg/L)	PH 值 (-)	氯離子 (mg/L)	硫酸根離子 (mg/L)
9/5	0	25.7	38.4	30.4	-	8.24	13698	1763
	3	28.5	42.2	29.4	-	8.24	15547	1968

註： - 為電極異常，故無資料

表 5-16 馬祖福澳港水質量測分析結果(105 年)

取樣 日期	水深 (m)	鹽度 (0/00)	導電度 (ms/cm)	溫度 (°C)	溶氧量 (mg/L)	PH 值 (-)	氯離子 (mg/L)	硫酸根離子 (mg/L)
8/16	0	31.2	51.5	29.0	6.65	7.63	16429	1971
	3	31.1	51.8	29.5	6.90	7.70	16441	1986
	6	31.2	51.6	28.9	7.19	7.76	16214	1961

表 5-17 澎湖港水質量測分析結果(105 年)

取樣 日期	水深 (m)	鹽度 (0/00)	導電度 (ms/cm)	溫度 (°C)	溶氧量 (mg/L)	PH 值 (-)	氯離子 (mg/L)	硫酸根離子 (mg/L)
8/16	0	31.9	46.9	23.2	-	7.88	16493	2002
	3	31.8	46.9	23.2	-	7.71	16029	1936

註： - 為電極異常，故無資料

第六章 結 論

臺灣為一海島，四面環海，高溫、高濕與高鹽份的環境，腐蝕環境嚴重。歷年來公共工程建設常引用國外腐蝕數據進行腐蝕速率評估與防蝕設計，結果常有未及設計年限就已鎊蝕損壞的情形；有鑑於此，腐蝕因子的調查與掌握對金屬與鋼筋混凝土結構物耐久性防蝕設計的影響，有其重要性。

本計畫目標包括：1.臺灣全島之大氣腐蝕因子調查，2. 大氣腐蝕標準試片製作與現地暴露試驗之腐蝕速率量測，3.水下金屬材料腐蝕長期暴露試驗，4.建立大氣與水下腐蝕因子資料庫，5.研究成果分析比較，6.完成臺灣大氣腐蝕環境分類之工作。

在此目標下，本計畫蒐集大氣氣象資料、氯離子、二氧化硫沉積量等腐蝕劣化因子、金屬標準試片腐蝕速率及大氣腐蝕環境分類資料之分析圖表，建置於臺灣腐蝕環境分類資訊系統，提供工程單位做為材料設計選用及防救災決策支援使用。

6.1 結 論

1. 在氯鹽沉積速率調查結果發現，垂直海岸試驗線之平均氯鹽沉積速率以東部蘇澳港試驗線、花蓮港試驗線、西部臺塑六輕試驗線與北部基隆港試驗線的氯鹽沉積速率較高。
2. 二氧化硫沉積速率四次調查的結果分佈情形，在西海岸秋季以官田工業區、桃園試驗線 100m、臨海工業區，冬季期間，以臺中火力電廠、官田工業區，春季以臨海工業區，夏季以臺中火力電廠、關連工業區沉積速率相較其他季節有顯著增加的趨勢。東部以東北角風景區、龍德工業區沉積速率較高。
3. 濕潤時間調查結果於秋季介於陽明山國家公園 64.7% 及金門水頭商港 11.6% 之間，夏季介於陽明山國家公園 78.8% 及核三廠試驗線 19.8% 之間，春季介於陽明山國家公園 80.0% 及高雄港試驗線周邊

28.8%之間，夏季介於阿里山 81.9%及臺北市區 15.8%之間。

4. 在垂直試驗線比較，碳鋼金屬與鋅金屬以基隆試驗線、桃園試驗線、臺塑六輕試驗線、臺中港試驗線腐蝕速率較其他地區高。銅與鋁金屬的腐蝕速率以臺塑六輕試驗線、桃園試驗線較為嚴重。
5. 在特定測站比較，碳鋼、鋅、銅、鋁四種金屬皆以大潭火力發電廠、觀音工業區、臺中火力發電廠、通霄火力發電廠、彰濱工業區、臺塑六輕腐蝕速率相對較高。
6. 季節性之比較中，針對對氯鹽沉積速率、二氧化硫沉積速率及四種金屬腐蝕速率以秋季與冬季調查期間較其他季節影響較大。

6.2 研究成果之效益

1. 學術效益，發表國內研討會 1 篇、年報 1 冊共 2 篇：
 - (1)2016 年發行交通部運輸研究所專刊，出版 2015 年「臺灣大氣腐蝕劣化因子調查資料年報」1 冊。
2. 社會環境安全影響：本計畫建立臺灣大氣腐蝕環境分類資訊系統，目前全島建置 90 個金屬暴露試驗點與水下金屬長期腐蝕試驗，藉由環境因子調查，了解金屬構造物劣化情形及探討其發生機理，並依腐蝕環境分類特性，選用適當之維修材料與工法。以提升我國之整體防災能力及環境之安全與資源之永續利用。
3. 資料庫建置效益：逐年完成臺灣地區構造物腐蝕環境分類數據資料庫的建立且發行臺灣大氣腐蝕劣化因子調查資料年報提供工程單位瞭解金屬構造物在臺灣各腐蝕環境中的耐久性與其防蝕控制之須要可作為港灣地區之地震災前預防、災時應變計畫與決策之參考依據。

6.3 提供單位應用情形

1. 本計畫建置「臺灣腐蝕環境分類資訊系統」網站並出版年報，提供公營事業單位營運安全防護採用。

2. 完成國內大氣腐蝕環境分類提供產官學研各界參考應用。如：中華民國防蝕工程學會、台塑企業、中國鋼鐵、公路總局、國道新建工程局、經濟部工業局、臺灣高鐵、臺灣世曦工程顧問公司、中興工程顧問公司等。

參考文獻

1. 林維明、饒正等「台灣海域之腐蝕特性防蝕設計及材料選用與開發」，港灣技術研究所研究報告，1991。
2. 林維明、饒正「基隆港碼頭鋼板樁腐蝕調查研究」，港灣技術研究所專刊第 59 號，1990。
3. 饒正、林維明、陳桂清，「港灣 R.C 結構物修理系統評估研究」，港灣技術研究所研究報告，1994。
4. 林維明、饒正「澎湖跨海大橋腐蝕調查研究」，港灣技術研究所專刊第 41 號，1987。
5. 林維明、饒正等「港灣鋼構造物耐久性研究第一年報告」，港灣技術研究所，1990。
6. 饒正、柯正龍等「港灣鋼構造物耐久性研究第二年報告」，港灣技術研究所，1991。
7. 陳桂清、饒正、柯正龍等「港灣鋼構造物耐久性研究第三年報告」，港灣技術研究所，1992。
8. 陳桂清、饒正、柯正龍「港灣鋼構造物耐久性研究第四年報告」，1993。
9. 饒正、柯正龍等「港灣鋼筋混凝土結構物耐久性研究」，港灣技術研究所研究報告，1991。
10. 饒正、林維明，「港灣構造物腐蝕機理與維修防制之研究」，港灣技術研究所研究報告，1996。
11. 饒正、陳桂清、柯正龍、羅建明，「現有結構物安全評估及維護研究(一)」港灣技術研究所，1997。
12. 陳桂清、饒正、張道光、羅建明，「現有結構物安全評估及維護研究(二)」港灣技術研究所，1998。

13. 饒正、李賢華、宋克義、羅俊雄，「現有結構物安全評估及維護研究(三)」港灣技術研究所，1999。
14. 饒正、陳桂清、李釗、李賢華，「現有結構物安全評估及維護研究(四)」交通部運輸研究所，2000。
15. 饒正、柯正龍，「水文及污損生物對材料腐蝕之探討研究」，港灣技術研究所研究報告，1995。
16. 饒正、陳桂清、李賢華、羅俊雄，「高雄港工結構材料海生物附著與對策研究」，港灣技術研究所，1997。
17. 饒正、陳桂清、李賢華、羅俊雄，「高雄港港工結構腐蝕與海生物附著研究」，港灣技術研究所，1999。
18. 饒正、陳桂清、柯正龍、張道光，「碼頭鋼板樁現況調查與腐蝕防治研究」，交通部運輸研究所，2002。
19. ISO 9223/1992: Corrosion of metals and alloys - Corrosivity of atmospheres - Classification.
20. ISO 9224/1992: Corrosion of metals and alloys - Corrosivity of atmospheres –Guiding values for the corrosivity categories.
21. ISO 9225/1992: Corrosion of metals and alloys - Corrosivity of atmospheres - Measurement of pollution.
22. ISO 9226/1992: Corrosion of metals and alloys - Corrosivity of atmospheres - Determination of corrosion rate of standard specimens for the evaluation of corrosivity.
23. ASTM G116: Standard Practice for Conducting Wire-on-Bolt Test for Atmospheric Galvanic Corrosion, 1999.
24. ISO 8565/1992: Metals and alloys - Atmospheric corrosion testing - General requirements for field tests.
25. 中華民國國家標準 CNS 13401 金屬及合金之腐蝕-大氣腐蝕性之分類，民國 83 年 6 月。
26. 中華民國國家標準 CNS 13753 金屬及合金之腐蝕-大氣腐蝕性(測

定標準試片之腐蝕速率以評估腐蝕性)，民國 94 年 4 月。

27. 中華民國國家標準 CNS 13754 金屬及合金之腐蝕-大氣腐蝕性(污染之測定)，民國 85 年 7 月。
28. 中華民國國家標準 CNS 14122 金屬及合金之腐蝕-大氣腐蝕 - 試片腐蝕生成物清除法，民國 87 年 3 月。
29. 中華民國國家標準 CNS14123 金屬及合金之腐蝕-大氣腐蝕測試(現場測試之一般要求)，民國 95 年 10 月。
30. Metals Handbook- Corrosion, Metals Handbook Ninth Ed., Vol. 13, ASM International, Ohio, 1988.
31. I. Odnevall and C. Laygraf, "Atmospheric corrosion", ASTM STP 1239, W.W. Kirk and Herbert, H. Lawson, Eds., Philadelphia, 1995.
32. "Outdoor atmospheric corrosion", ASTM STP 1421, H.E. Townsend Ed., West Conshohocken, PA, 2002.
33. K.O.Gray "Enviroment of Deep Ocean Test Site, U.S.Navel Civil Engineering Laboratory, Technical Note ,N-657",p41, 1965 。
34. W.Whitman, R.Russll, V.Altieri, "Industrial Engineering Chemistry", Vol.16, P665, 1924 。
35. F.W. Fink, "Corrosion of Metals in Seawater", U.S. Department of the Interior, Office of Saline Water, Research and Development Progress Report, No.46. 1960 。
36. Uhlig H. H., "The Corrosion Handbook," (La Que), John Wiley and Sons, Inc., New York, P.387-388, 1948.
37. Samuel A. Bradford H.H. "Corrosion Control", Van Nostrand Reinhold, New York, U.S.A. 1993 。
38. LaQue, F. L., Marine Corrosion cause and Prevention, John Wiley& Sons, New York, 1975.

附錄一

期末審查意見及辦理情形說明表

期末審查意見及辦理情形說明表

審查委員	審查意見	處理情形
中央大學 李釗教授	<p>1.本研究藉實際佈放陸上和水下金屬材料試體，長期調查環境有關腐蝕條件，與材料腐蝕行為，預期研究成果在學術上可建立各腐蝕條件和腐蝕行為的關係，實務上可提供防蝕工程設計的參數，由於國內欠缺相關本土化的資料，因此顯得本研究的意義更形重要。</p> <p>2.本研究陸上和水下試驗點的規劃，可充分合理代表各地區的特性，在選點時充分利用各地公務單位的資源，使各試體比較有機會做長期置放。</p> <p>3.各地陸上和水中環境和水質條件的監測項目能掌握重點，每次定量量測是人力和知識密集的工作。</p> <p>4.陸上腐蝕調查已有初步成果，水下腐蝕行為有水質調查的結果，此類的研究工作在初期工作辛苦，但成果有限，需假以時日進行長期的觀察，始會有較有效的成果。</p> <p>5.水中腐蝕行為調查的量測時間，原則上初期可間隔較短的時間，待晚期腐蝕穩定</p>	<p>謝謝委員指教。</p> <p>謝謝委員指教。</p> <p>謝謝委員指教。</p> <p>謝謝委員指教。將於未來研究參酌</p> <p>謝謝委員指教，將於未來研究參酌</p>

審查委員	審查意見	處理情形
	<p>後，則可間隔較長的時間，本研究目前規劃量測腐蝕行為在1、2、5、8、10年，建議最後一次觀察量測可視當時情形再延長時間，不必受限10年的時限。</p>	
<p>健行科技大學 許書王教授</p>	<p>1. 資料完整，具分析討論價值，結果應可供有關單位參用。</p> <p>2. 有關大氣腐蝕環境分類，是否考慮納入相關章節中討論，並於結論中參酌提出供作應用。</p> <p>3. P4-2 4.1.2 所提平均氯鹽沉積速率，較高之試驗線部分，所引用之圖4.5，內文與圖4.5趨勢是否一致，請再酌。</p> <p>4. P4-45 圖4.34、圖4.35之註2所提「空白處為遺失」是否改為「空白處為試片遺失」較妥。</p> <p>5. 本報告若有以色彩區分之圖表，請以彩色作為最後定稿之印製方式。</p>	<p>謝謝委員指教。</p> <p>遵照辦理。</p> <p>已遵照辦理修訂。</p> <p>已遵照辦理修訂。</p> <p>已遵照辦理修訂。</p>
<p>中原大學 王韒蒨教授</p>	<p>1. 由近年的文獻來看，有關金屬材料腐蝕環境調查研究，主要還是要靠運輸研究所的貢獻，所以本研究成果對國內而言是極重要，未來可朝向過去腐蝕環境與調查現況比</p>	<p>謝謝委員指教。</p>

審查委員	審查意見	處理情形
	<p>較，可提供更有意義的資訊。本研究是一個很棒又極具挑戰的研究，值得肯定。</p> <p>2.若能比較過去腐蝕環境與現況調查，也將可提供環境變遷的影響情況，這非本次研究主題，而且很多數值尚未達試驗時間，令人期待未來可朝此部分發展。</p> <p>3.後續研究可進行 Chap4 的結果與表 3-10、表 3-11，應可分析及印證環境與腐蝕速率之關係。另可進行每季回收、每年回收、四季平均之試驗結果有何差別，有否高值或低值現象。</p>	<p>謝謝委員指教。</p> <p>遵照辦理。</p>
<p>中華民國 鍍鋅協會 蔡文達秘書長</p>	<p>1.CNS13401 經根據 ISO9223 1992 年版製訂，但 ISO9223 標準已有 2012 年版，在環境分類已有不同，建議可考慮參考，並建議標準另著手修訂。</p> <p>2.本計畫可與其同放置點平板之長期試驗做比對。</p> <p>3.從網頁歷年資料與本計畫比較，有跳動與較嚴重現象，建議加以了解。</p> <p>4.秋冬季節之腐蝕較嚴重之觀念，應加以推廣讓相關單位了解，以防止工程維修在秋冬施工之不正確觀念。</p>	<p>謝謝委員指教，將於未來研究參酌。</p> <p>已遵照辦理修訂。</p> <p>遵照辦理。</p> <p>謝謝委員指教。</p>

審查委員	審查意見	處理情形
	5.研究深具價值及工程參考。圖文文獻出處，需標示清楚。	謝謝委員指教。
林雅雯研究員	1.圖 4.14～圖 4.29 請用彩色印刷。 2..P4-3 表 4-1 氯鹽沉積速率及 P4-21 碳鋼金屬之腐蝕速率，試驗線不同距海距離，同時期的量測似乎有些數據並沒有距海較遠速率較低，建議說明。	謝謝委員指教。 已遵照辦理說明。

附錄二

期末報告簡報資料

105年度自辦計畫期末審查簡報

金屬材料腐蝕環境 調查研究 (2/2)

報告人：羅建明

中華民國 106 年 2 月 15 日



<http://www.ihmt.gov.tw>

交通部運輸研究所港灣技術研究中心

簡報大綱

1. 研究目的
2. 研究方法與規畫
3. 大氣腐蝕因子與現地暴露試驗
4. 金屬材料水下腐蝕調查研究
5. 臺灣腐蝕環境分類資訊系統
6. 結語

1. 研究目的

- 建立金屬於**大氣與水下腐蝕速率資料庫**，瞭解國內金屬材料與環境因子之**關聯性**
- 建立**臺灣地區構造物腐蝕環境潛勢分析**資料庫，提供產官學界辦理構造物耐久性與設計之參據。
- 研擬**臺灣地區防蝕手冊**參酌。

 港灣技術研究中心
Harbor and Marine Technology Center

金屬腐蝕

◆ 定義：金屬腐蝕就是金屬表面受化學或電化學之作用，其一部份，或全部受氧化而生成非金屬性化合物。

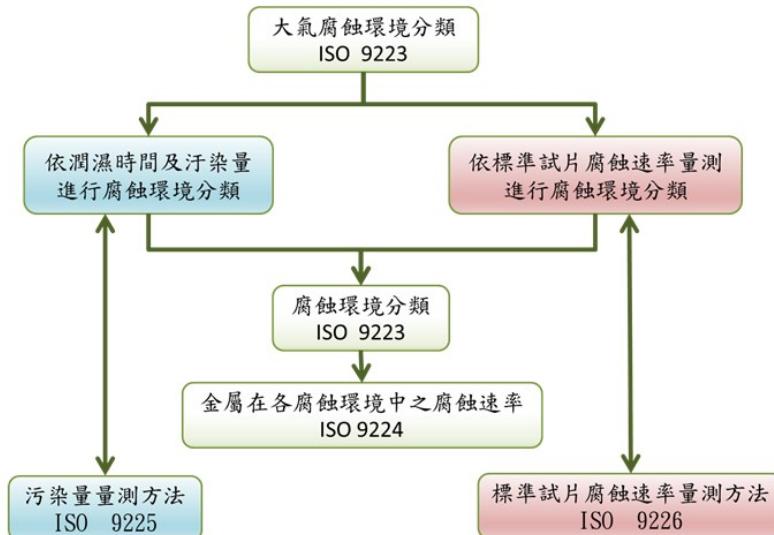
◆ 發生氧化反應： $M + ne^- \rightarrow M^{n+}$



◆ 發生環境：**大氣腐蝕**、**土壤腐蝕**
水下腐蝕、**化學物質腐蝕**
細菌腐蝕等。

 港灣技術研究中心
Harbor and Marine Technology Center

2 研究方法_試驗規範



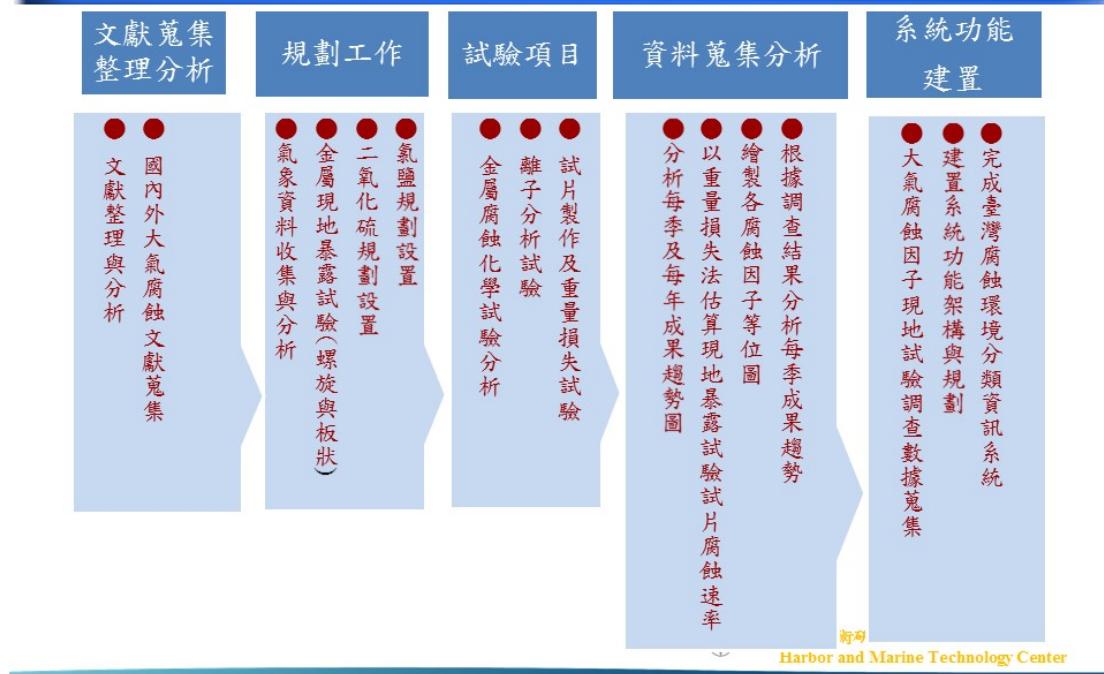
金屬材料大氣腐蝕環境分類表 -依金屬腐蝕速率

腐蝕環境分類	腐蝕速率單位	碳 鋼	鋅	銅	鋁
C1	g/m ² /yr μm/yr	$\gamma_{corr} \leq 10$ $\gamma_{corr} \leq 1.3$	$\gamma_{corr} \leq 0.7$ $\gamma_{corr} \leq 0.1$	$\gamma_{corr} \leq 0.9$ $\gamma_{corr} \leq 0.1$	可忽視 —
C2	g/ m ² /yr μm/yr	$10 < \gamma_{corr} \leq 200$ $1.3 < \gamma_{corr} \leq 25$	$0.7 < \gamma_{corr} \leq 5$ $0.1 < \gamma_{corr} \leq 0.7$	$0.9 < \gamma_{corr} \leq 5$ $0.1 < \gamma_{corr} \leq 0.6$	$\gamma_{corr} \leq 0.6$ —
C3	g/ m ² /yr μm/yr	$200 < \gamma_{corr} \leq 400$ $25 < \gamma_{corr} \leq 50$	$5 < \gamma_{corr} \leq 15$ $0.7 < \gamma_{corr} \leq 2.1$	$5 < \gamma_{corr} \leq 12$ $0.6 < \gamma_{corr} \leq 1.3$	$0.6 < \gamma_{corr} \leq 2$ —
C4	g/ m ² /yr μm/yr	$400 < \gamma_{corr} \leq 650$ $50 < \gamma_{corr} \leq 80$	$15 < \gamma_{corr} \leq 30$ $2.1 < \gamma_{corr} \leq 4.2$	$12 < \gamma_{corr} \leq 25$ $1.3 < \gamma_{corr} \leq 2.8$	$2 < \gamma_{corr} \leq 5$ —
C5	g/ m ² /yr μm/yr	$650 < \gamma_{corr} \leq 1500$ $80 < \gamma_{corr} \leq 200$	$30 < \gamma_{corr} \leq 1500$ $4.2 < \gamma_{corr} \leq 8.4$	$25 < \gamma_{corr} \leq 50$ $2.8 < \gamma_{corr} \leq 5.6$	$5 < \gamma_{corr} \leq 10$ —

- 大氣腐蝕環境分類-以各種標準金屬最初第一年之腐蝕速率區分
- 金屬腐蝕性環境分類數值區分為1、2、3、4、5五個等級。如1表示C1依序類推。

資料來源：CNS 13401, ISO 9223

2. 研究方法與規畫 大氣腐蝕試驗規畫



臺灣大氣腐蝕因子與現地暴露試驗



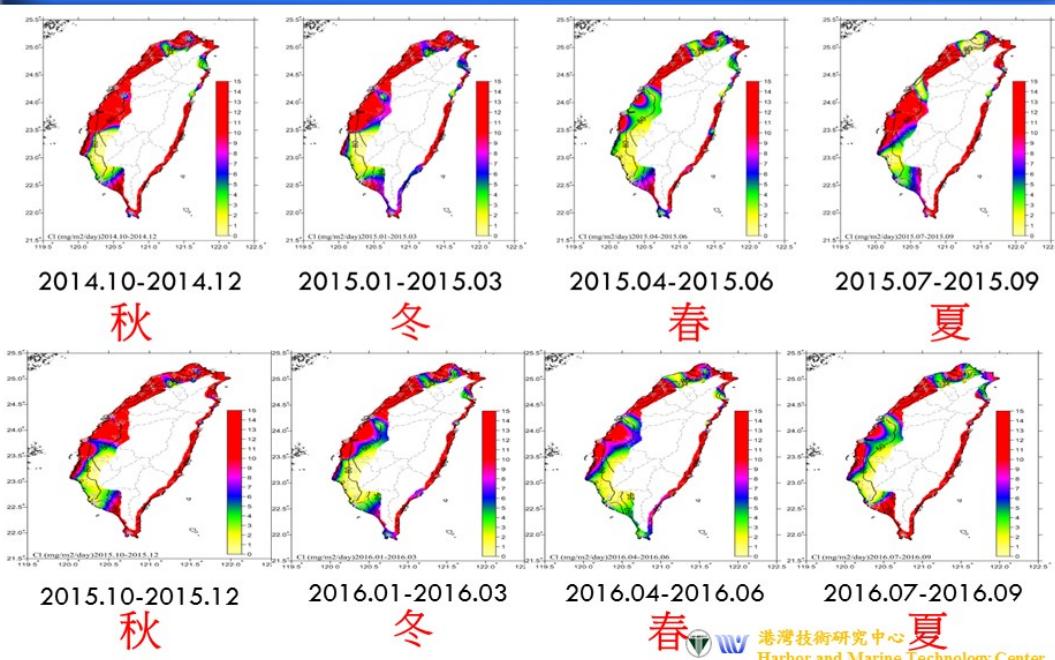
2014.10_2016.09

垂直海岸試驗線 氯鹽沉積速率

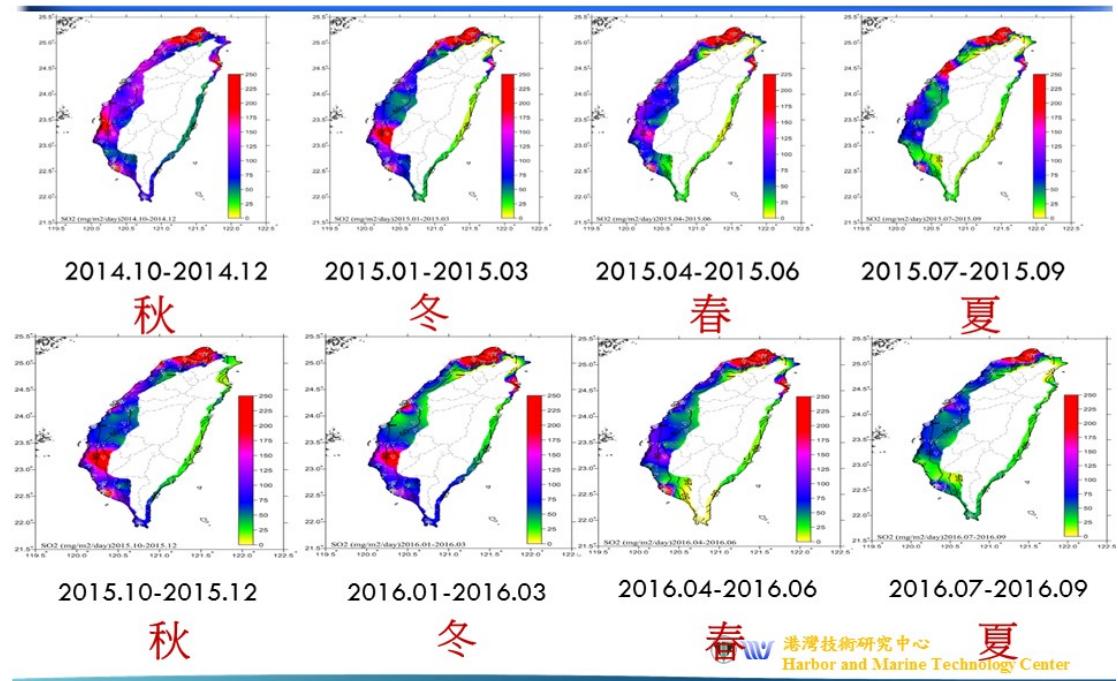


港灣技術研究中心
Harbor and Marine Technology Center

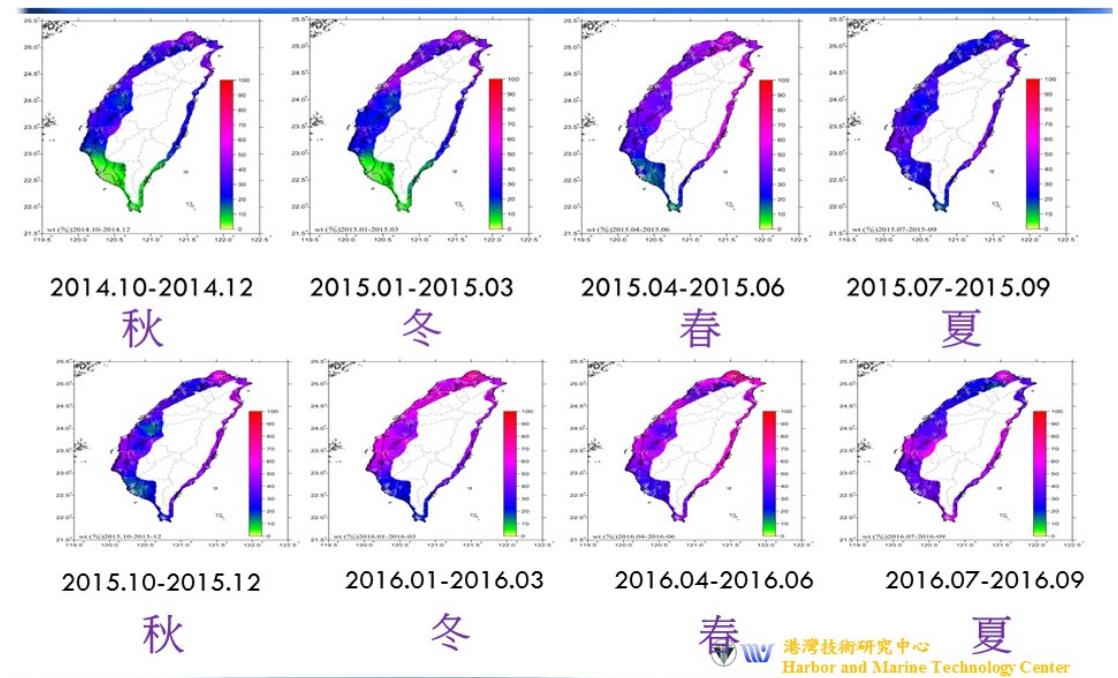
2014.10_2016.09 氯鹽沉積速率



2014.10_2016.09 二氧化硫沉積速率

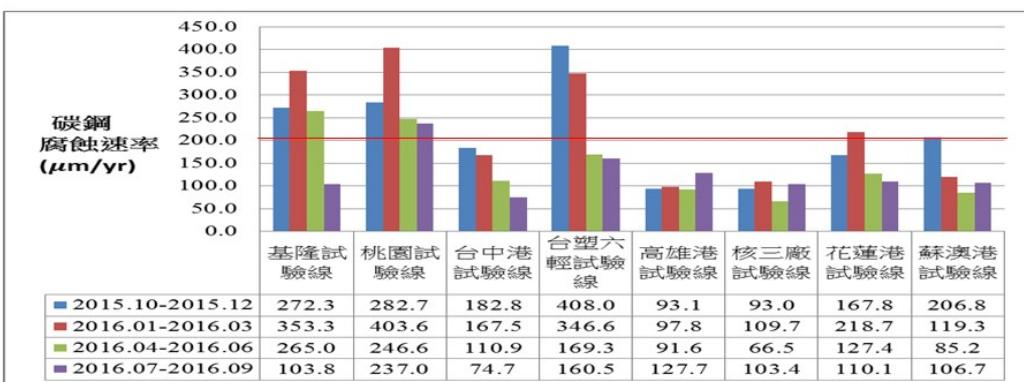
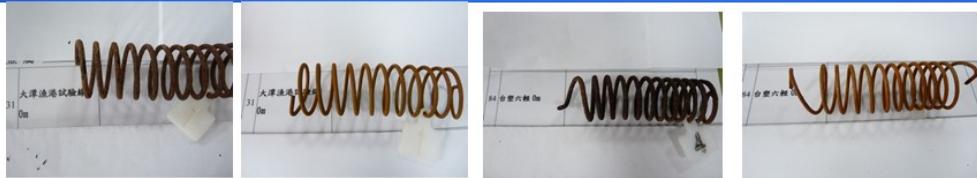


2014.10_2016.09 濕潤時間沉積速率



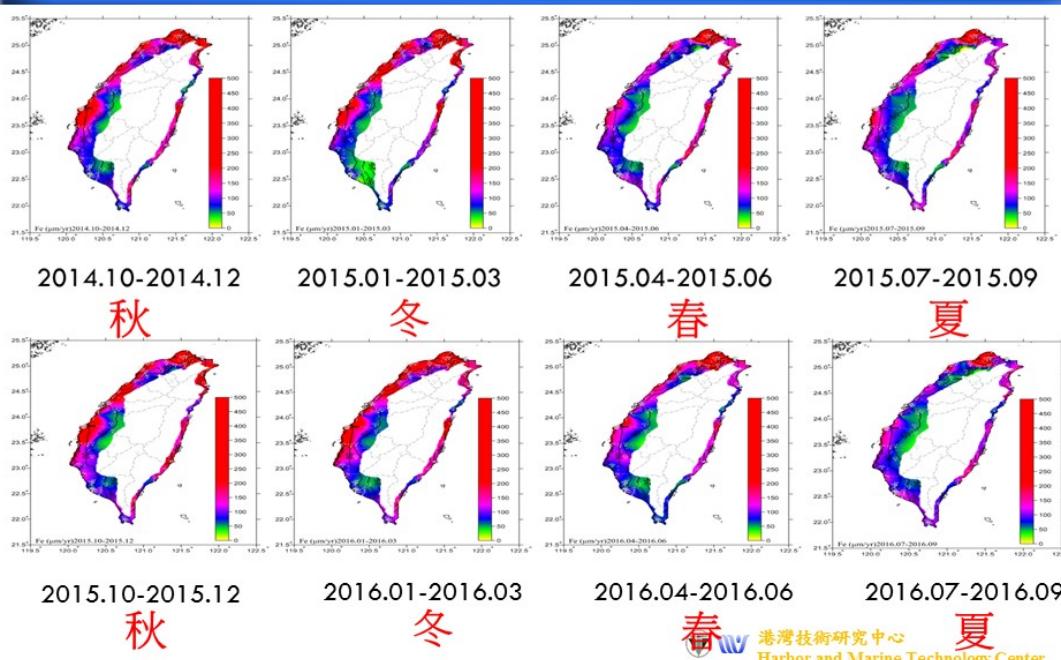
垂直海岸試驗線

碳鋼腐蝕速率比較圖

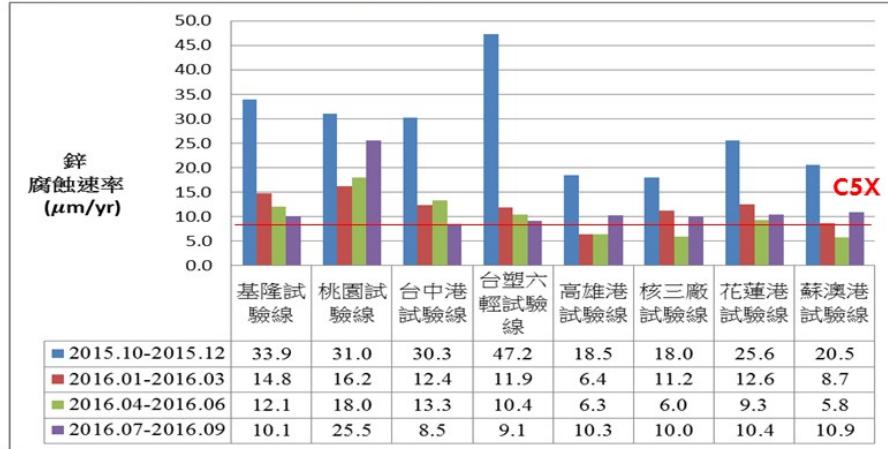


港灣技術研究中心
Harbor and Marine Technology Center

2014.10_2016.09 碳鋼腐蝕速率

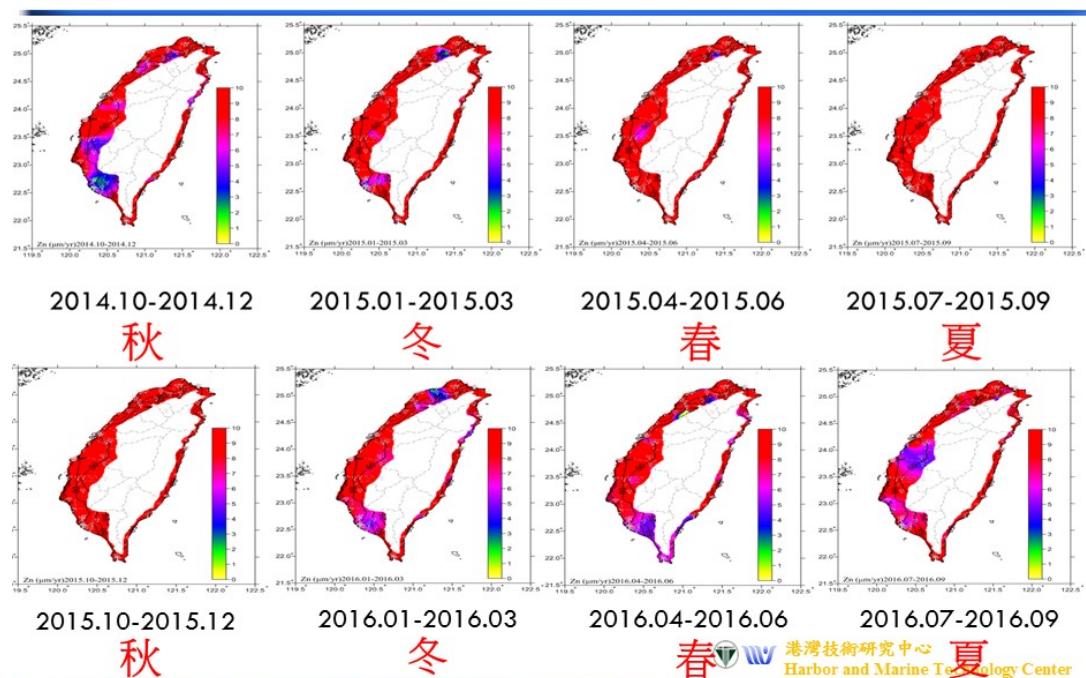


垂直海岸試驗線 鋅腐蝕速率比較圖

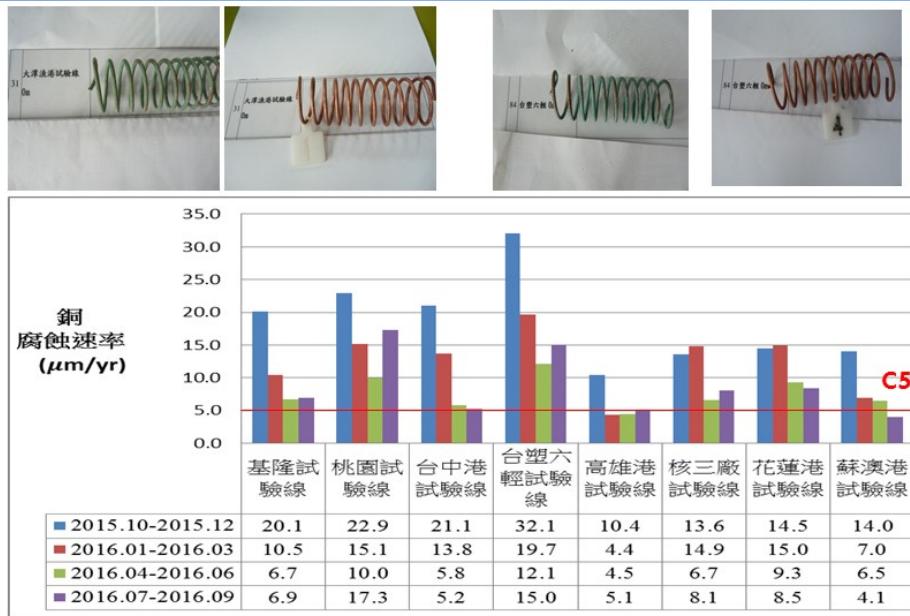


港灣技術研究中心
Harbor and Marine Technology Center

2014.10_2016.09 鋅腐蝕速率

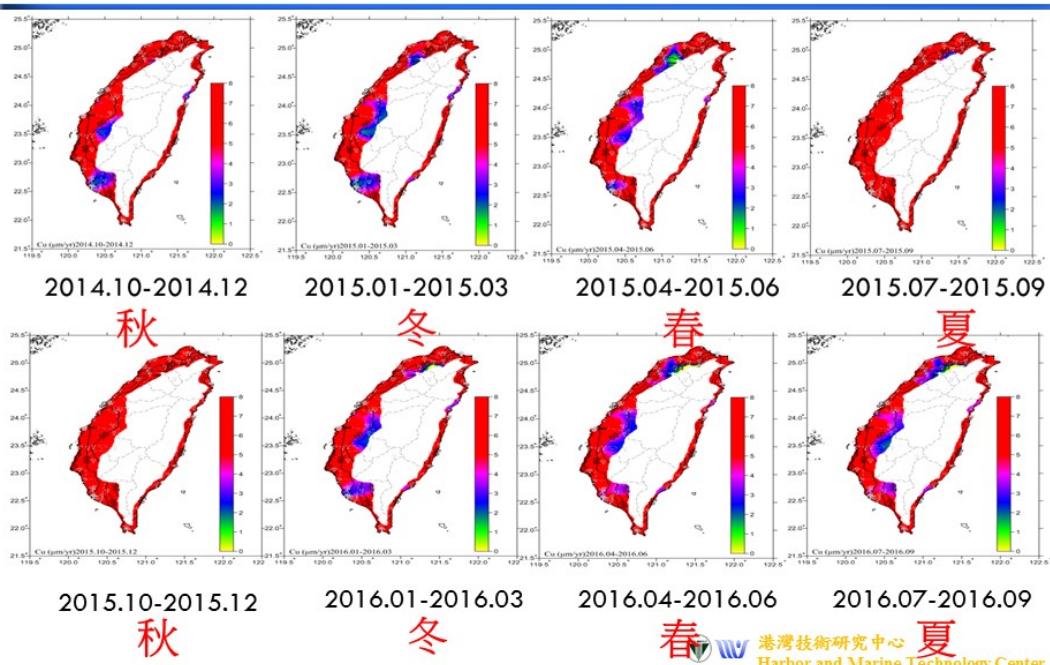


垂直海岸試驗線 銅腐蝕速率比較圖



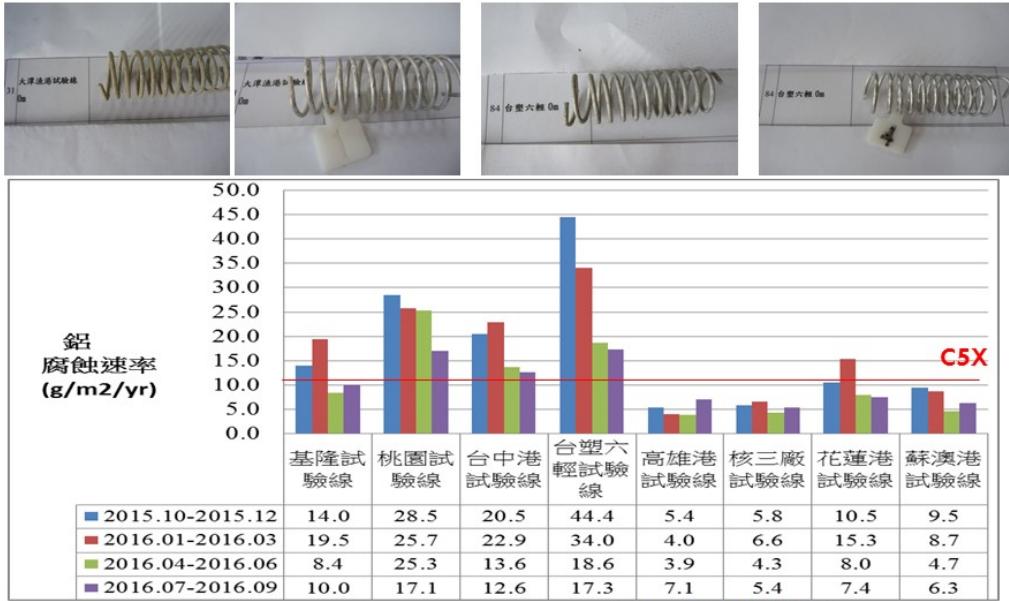
港灣技術研究中心
Harbor and Marine Technology Center

2014.10_2016.09 銅腐蝕速率



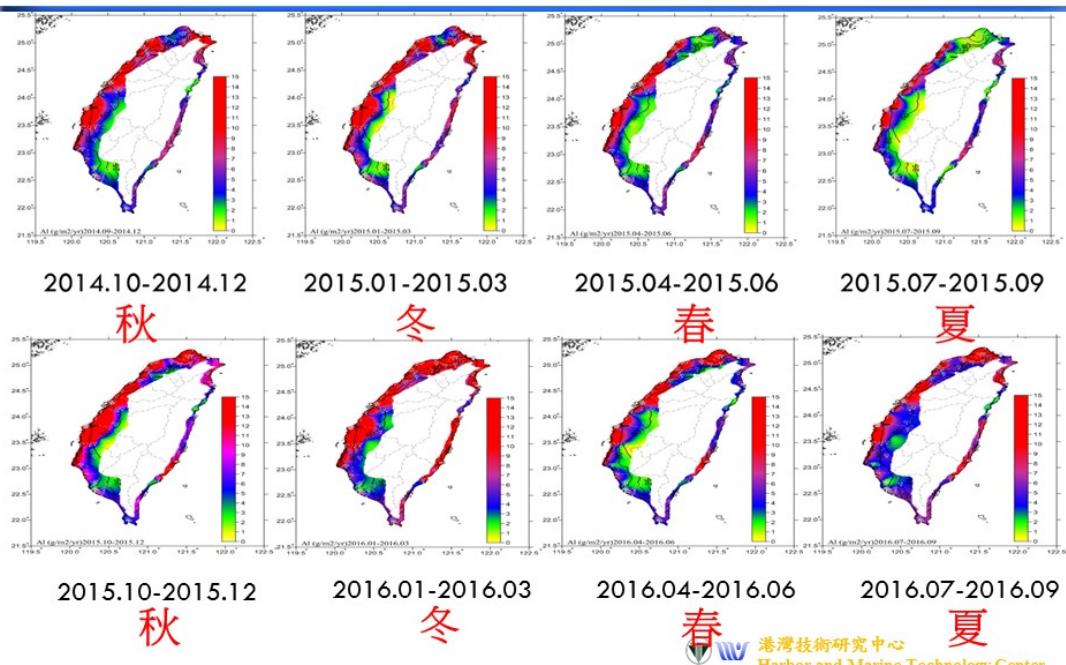
港灣技術研究中心
Harbor and Marine Technology Center

垂直海岸試驗線 鋁腐蝕速率比較圖

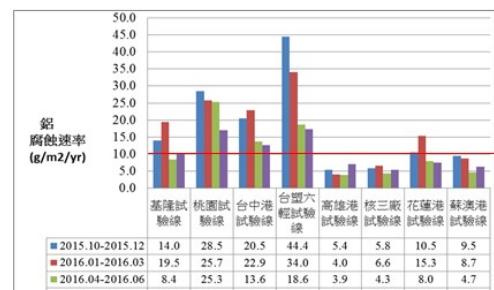
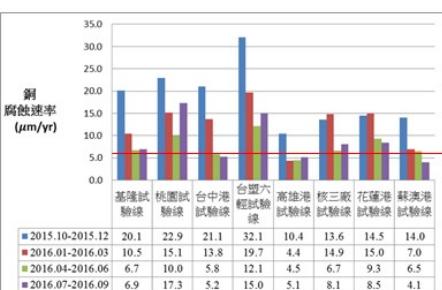
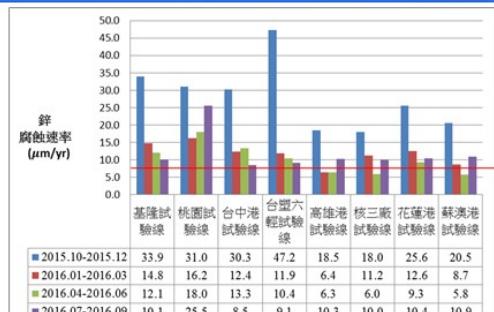


港灣技術研究中心
Harbor and Marine Technology Center

2014.10_2016.09 鋁腐蝕速率

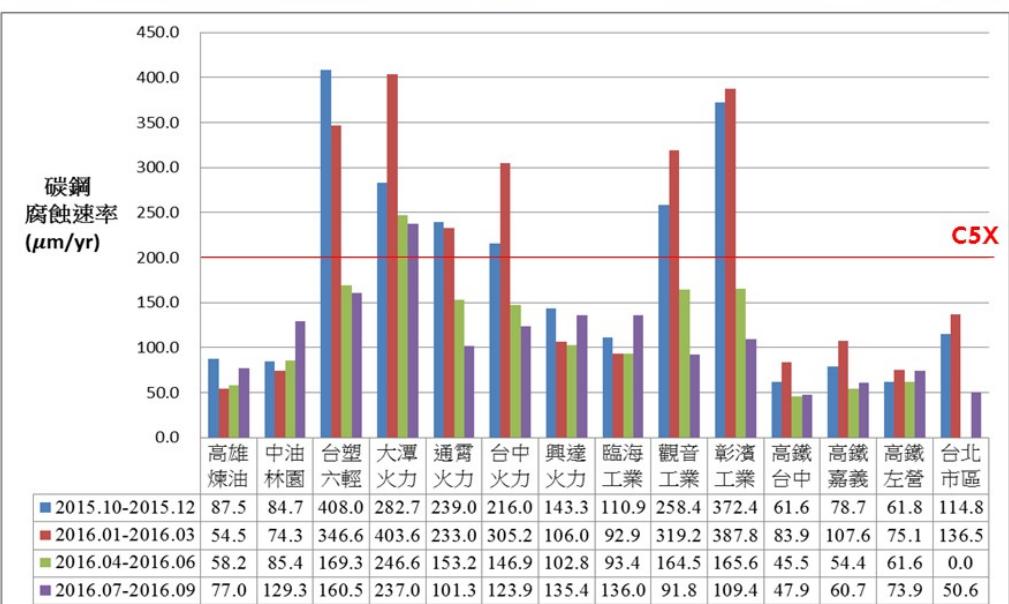


垂直海岸試驗線金屬腐蝕速率比較圖



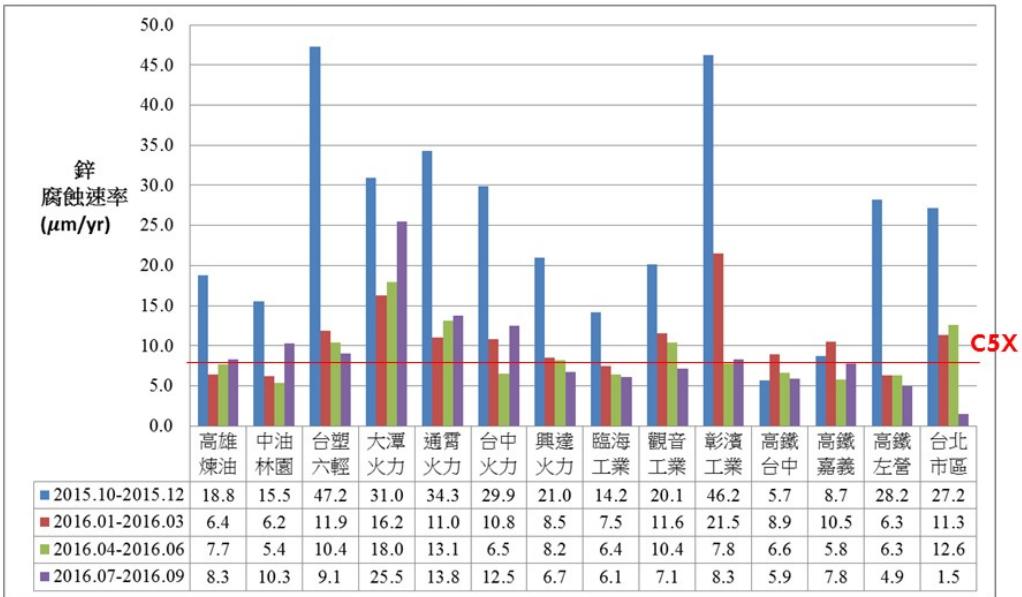
港灣技術研究中心
Harbor and Marine Technology Center

特定測站 碳鋼腐蝕速率比較圖



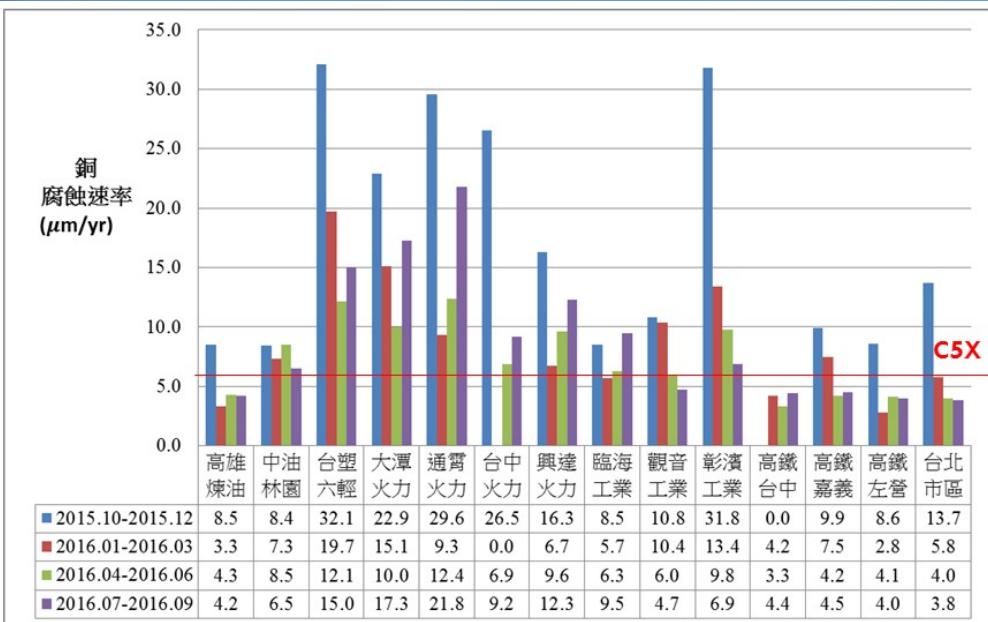
C5X
港灣技術研究中心
Harbor and Marine Technology Center

特定測站 鋅腐蝕速率比較圖



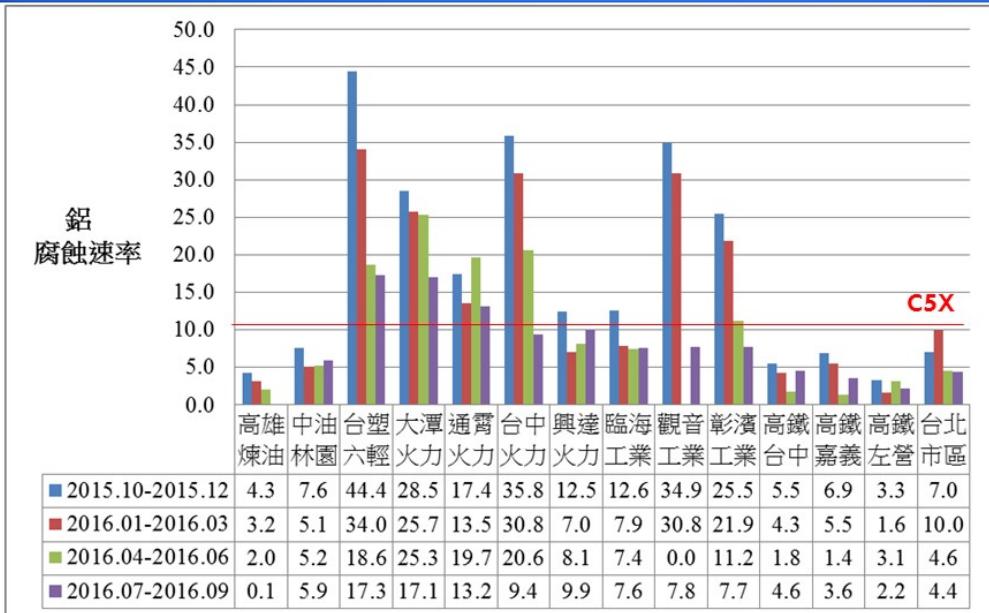
港灣技術研究中心
Harbor and Marine Technology Center

特定測站 銅腐蝕速率比較圖



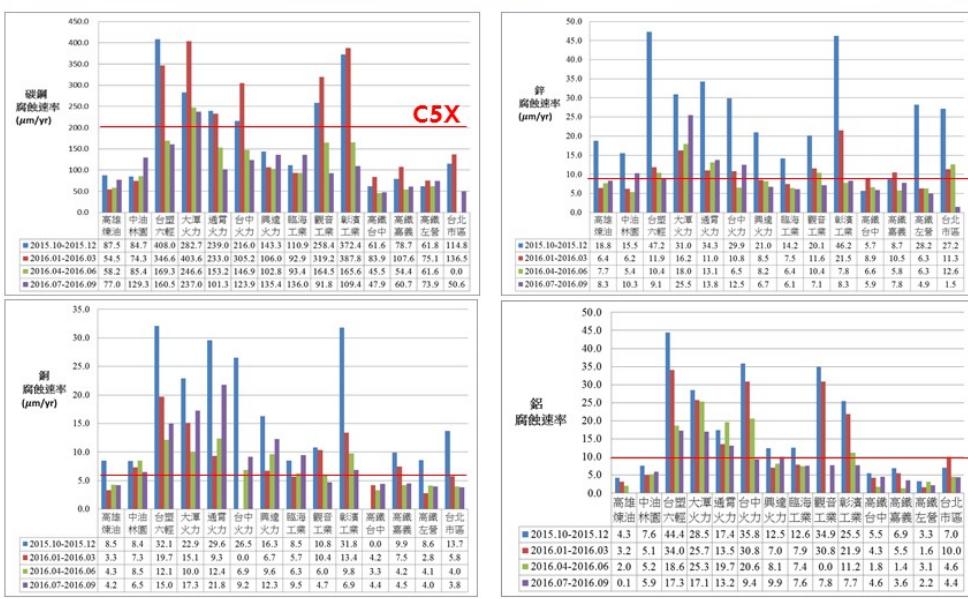
港灣技術研究中心
Harbor and Marine Technology Center

特定測站 鋁腐蝕速率比較圖



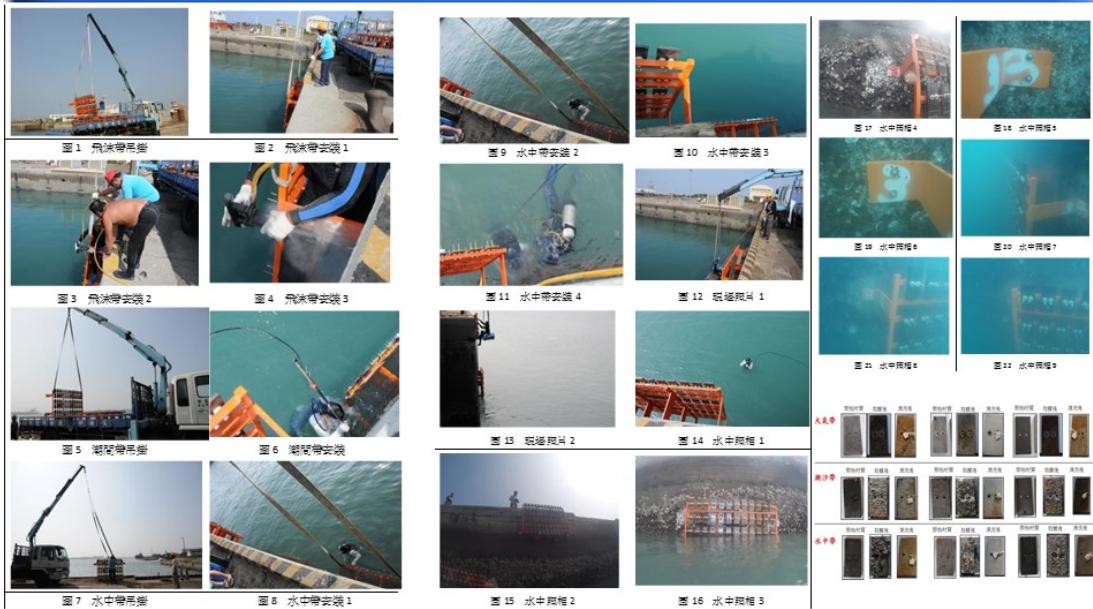
港灣技術研究中心
Harbor and Marine Technology Center

特定測站金屬腐蝕速率比較圖



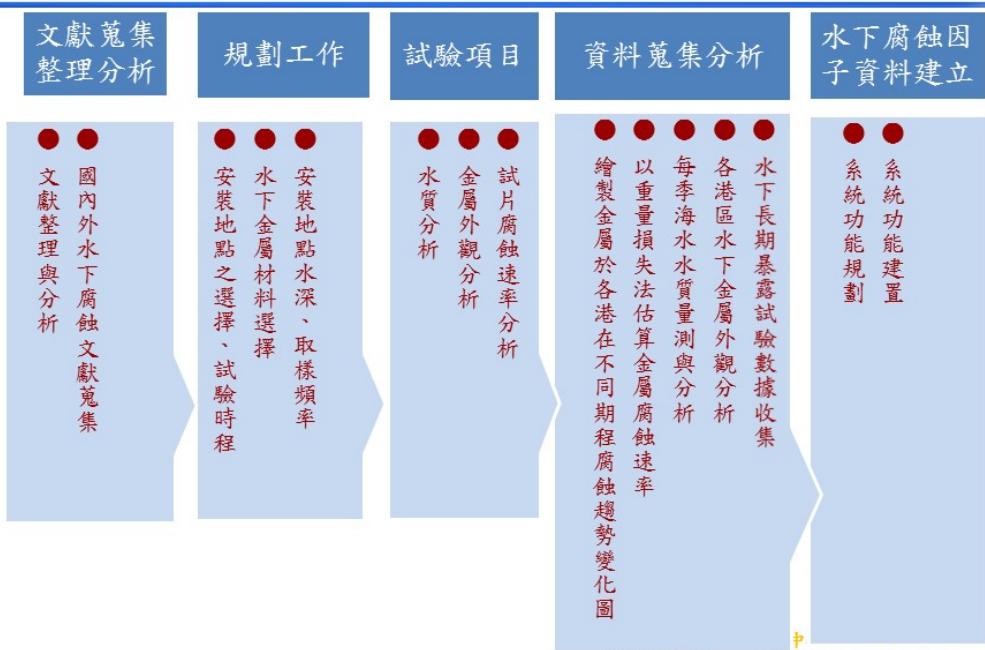
港灣技術研究中心
Harbor and Marine Technology Center

4. 水下腐蝕



 港灣技術研究中心
Harbor and Marine Technology Center

水下腐蝕試驗規畫



Harbor and Marine Technology Center

臺灣地區水下腐蝕試驗相關研究歷程

研究單位	研究方向	研究期間
交通處港灣技術研究所 中國鋼鐵公司,工研院工材所	台灣海域腐蝕特性防蝕設計材料選用及開發特性	1986.07-1991.06
交通處港灣技術研究所	港灣R.C結構物之耐久性研究	1986.07-1991.06
交通處港灣技術研究所	澎湖跨海大橋腐蝕問題研究調查	1987.01-1987.12
交通處港灣技術研究所	港灣鋼結構物耐久性研究	1989.07-1994.06
交通處港灣技術研究所	港灣R.C結構物修理系統評估研究	1992.07-1993.06
交通處港灣技術研究所 海洋大學	港灣構造物腐蝕機理與維修防制之研究	1995.06-1996.07
交通處港灣技術研究所	水文及污損生物對材料腐蝕之探討研究	1995.01- 1995.12
交通部運研所港灣技術研究中心	現有結構物安全評估及維護研究	1996.06-2001.07
交通部運研所港灣技術研究中心 中山大學	高雄港港工結構材腐蝕與海生物附著研究	2000.01- 2000.12
交通部運研所港灣技術研究中心	碼頭鋼板樁現況調查與腐蝕防治研究	2001.01-2001.12

 港灣技術研究中心
 Harbor and Marine Technology Center

臺灣水下腐蝕試驗站

水下腐蝕調查試驗站(12處)		放置地點	放置位置	試片材質	試片大小	安裝時間	試驗期間
 <p>●：水下腐蝕試驗站(12處)</p> <ul style="list-style-type: none"> 基隆港區 西33B碼頭 臺中港 高鐵南港站 高鐵左營站 高鐵板橋站 高鐵新竹站 高鐵台中站 高鐵新竹站 高鐵板橋站 高鐵南港站 高鐵左營站 高鐵台中站 	基隆港區 西33B碼頭	飛沫帶	SM490A	15×10×1.0(cm)	2016/09/26	1、2、5、 8、10年 等5個期 程	
			SS316L				
			SS400				
		潮汐帶	SM490A				
			SS316L				
			SS400				
		水中帶	SM490A				
			SS316L				
			SS400				
	基澳港區 公務船渠	飛沫帶	SM490A	15×10×1.0(cm)	2016/06/23	1、2、5、 8、10年 等5個期 程	
			SS316L				
			SS400				
		潮汐帶	SM490A				
			SS316L				
			SS400				
		水中帶	SM490A				
			SS316L				
			SS400				

 港灣技術研究中心
 Harbor and Marine Technology Center

水下金屬曝露試驗 時程表 (安裝、取樣)

	基隆港	台北港	台中港	布袋港	安平港	高雄港	花蓮港	蘇澳港	澎湖	金門	馬祖
取樣時間 安裝日期	105. 09.26	105. 09.26	103. 10.28	105. 09.05	105. 09.06	105. 09.08	105. 10.03	105. 06.23	105. 09.12	104. 11.26	105. 08.15
104			104.11.10 (第1年取)								
105			(第2年取)							107.1.18 (第1年取)	
106	(第1年樣)	(第1年取)		(第1年取)	(第1年取)	(第1年取)	(第1年取)	(第1年取)	(第1年取)	(第2年取)	(第1年取)
107	(第2年取)	(第2年取)		(第2年取)	(第2年取)	(第2年取)	(第2年取)	(第2年取)	(第2年取)		(第2年取)
108			(第5年取)								
109										(第5年取)	
110	(第3年取)	(第3年取)		(第3年取)	(第3年取)	(第3年取)	(第3年取)	(第3年取)	(第3年取)		(第3年取)
111			(第8年取)								
112										(第8年取)	
113	(第8年取)	(第8年取)	(第10年取)	(第8年取)	(第8年取)	(第8年取)	(第8年取)	(第8年取)	(第8年取)		(第8年取)
114										(第10年取樣)	
115	(第10年取)	(第10年取)		(第10年取)	(第10年取)	(第10年取)	(第10年取)	(第10年取)	(第10年取)		(第10年取)

水下金屬曝露試驗架安裝 (臺中港)

放置地點	放置位置	試片材質	試片大小	安裝時間	試驗期程	
臺中港 #1碼頭西側	大氣帶	SM490A	20cmx10cm , 厚度為1.2cm	2014/10/28	1、2、3、5、 8、10年等6 個期程	
		SS316L				
		SS400				
	潮汐帶	SM490A	20cmx10cm , 厚度為2.0cm			
		SS316L				
		SS400				
	水中帶	SM490A	20cmx10cm , 厚度為1.0cm			
		SS316L				
		SS400				

符號說明: * 6處夾具位置 — 3cm方形鋼條

1. 試驗架吊掛

2. 試驗架吊掛

3. 海生物刮除

4. 試片安裝固定

5. 試驗架潛視圖

6 大氣帶

7. 潮汐帶

8. 水中帶

水下金屬曝露試驗架安裝 (金門料羅港與水頭商港)

放置地點	放置位置	試片材質	試片大小	安裝時間	試驗期程
金門 料羅港區	潮汐帶	SM490A	15cmx10cm，厚度為1.0cm	2015/11/16	1、2、5、8、10年等5個期程
		SS316L			
		SS400			
金門 水頭商港	潮汐帶	SM490A	15cmx10cm，厚度為1.0cm	2015/11/16	1、2、5、8、10年等5個期程
		SS316L			
		SS400			
	水中帶	SM490A	15mx10cm，厚度為1.0cm		
		SS316L			
	SS400				

1. 金屬試片分離

2. 組裝完成

3. 依取樣時間分批序組裝

4. 試驗件海上繫運分批用繩

5. 試驗架吊掛

6. 安裝位置清潔生物剝除

7. 試驗件動鑽孔固定

8. 潮汐帶安裝完工圖

港灣技術研究中心
Harbor and Marine Technology Center

水下金屬曝露試驗架安裝 (基隆港 臺北港)



港灣技術研究中心
Harbor and Marine Technology Center

水下金屬曝露試驗架安裝 (蘇澳港 花蓮港)



蘇澳港 公務船渠



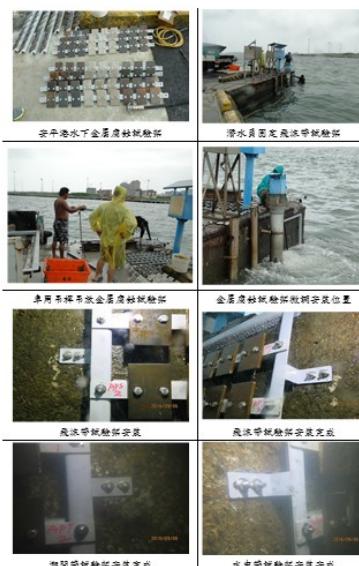
花蓮港西防波堤燈塔旁

港灣技術研究中心
Harbor and Marine Technology Center

水下金屬曝露試驗架安裝 (布袋港 安平港)



布袋港



安平港
港灣技術研究中心
Harbor and Marine Technology Center

水下金屬曝露試驗架安裝 (高雄港 #10 #40 #75)



 港灣技術研究中心
Harbor and Marine Technology Center

水下金屬曝露試驗架安裝 (馬祖福澳港 澎湖龍門港)



 港灣技術研究中心
Harbor and Marine Technology Center

水下金屬曝露試驗架安裝 (港研中心)



金屬局性試驗架排列檢視



金屬局性試驗架吊掛



試驗架安裝



試驗架安裝



試驗架安裝完成

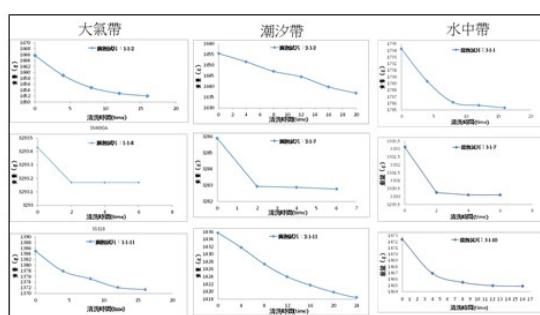
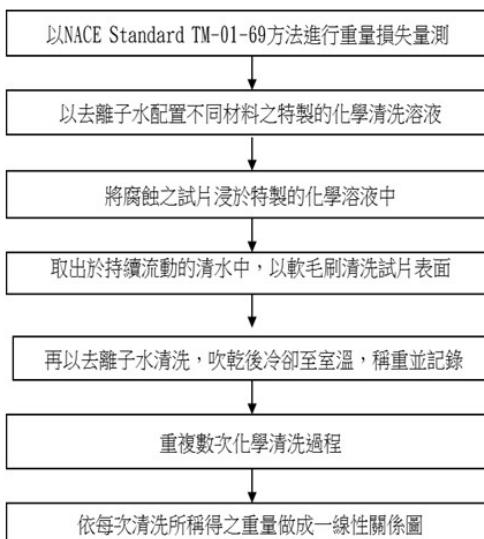


試驗架安裝完成

港研中心 試驗水槽

港灣技術研究中心
Harbor and Marine Technology Center

水下金屬腐蝕生成物清除作業流程圖



港檢量線
Harbor and Marine Technology Center

臺中港區大氣帶金屬試驗分析結果(1年期)

曝放地點	SM490A		SS316L		SS400		
	各試片腐蝕速率 ($\mu\text{m}/\text{yr}$)	平均腐蝕速率 ($\mu\text{m}/\text{yr}$)	各試片腐蝕速率 ($\mu\text{m}/\text{yr}$)	平均腐蝕速率 ($\mu\text{m}/\text{yr}$)	各試片腐蝕速率 ($\mu\text{m}/\text{yr}$)	平均腐蝕速率 ($\mu\text{m}/\text{yr}$)	
臺中港 #1碼頭西側	460.7	497.3	0.3		466.5		
	494.9						
	486.1		0	0.6	430.3	436.8	
	532.2						
	510.9		0.8		413.6		
	499.1						
SM 490A		SS 316L		SS 400			
大氣帶							
原始材質		取樣後		清洗後			
							
							
							

 港灣技術研究中心
Harbor and Marine Technology Center

臺中港區潮汐帶金屬試驗分析結果(1年期)

曝放地點	SM 490A		SS 316L		SS 400		
	各試片腐蝕速率 ($\mu\text{m}/\text{yr}$)	平均腐蝕速率 ($\mu\text{m}/\text{yr}$)	各試片腐蝕速率 ($\mu\text{m}/\text{yr}$)	平均腐蝕速率 ($\mu\text{m}/\text{yr}$)	各試片腐蝕速率 ($\mu\text{m}/\text{yr}$)	平均腐蝕速率 ($\mu\text{m}/\text{yr}$)	
臺中港 #1碼頭西側	454.4	444.6	0		366.4		
	439.2						
	436.3		0	0	296.6	339.2	
	458.0						
	448.3		0		354.5		
	431.1						
SM 490A		SS 316L		SS 400			
潮汐帶		原始材質		取樣後		清洗後	
							
							
							

 港灣技術研究中心
Harbor and Marine Technology Center

臺中港區水中帶金屬試驗分析結果(1年期)

曝放地點	SM490A		SS316L		SS400	
	各試片 腐蝕速率 ($\mu\text{m}/\text{yr}$)	平均 腐蝕速率 ($\mu\text{m}/\text{yr}$)	各試片腐 蝕速率 ($\mu\text{m}/\text{yr}$)	平均 腐蝕速率 ($\mu\text{m}/\text{yr}$)	各試片腐蝕 速率 ($\mu\text{m}/\text{yr}$)	平均 腐蝕速率 ($\mu\text{m}/\text{yr}$)
臺中港 #1碼頭西側	188.3		0		179.3	
	174.3					
	175.7	186.7	17.3	10.7	172.0	171.8
	136.6					
	200.7		4.0		164.2	
	244.5					



港灣技術研究中心
Harbor and Marine Technology Center

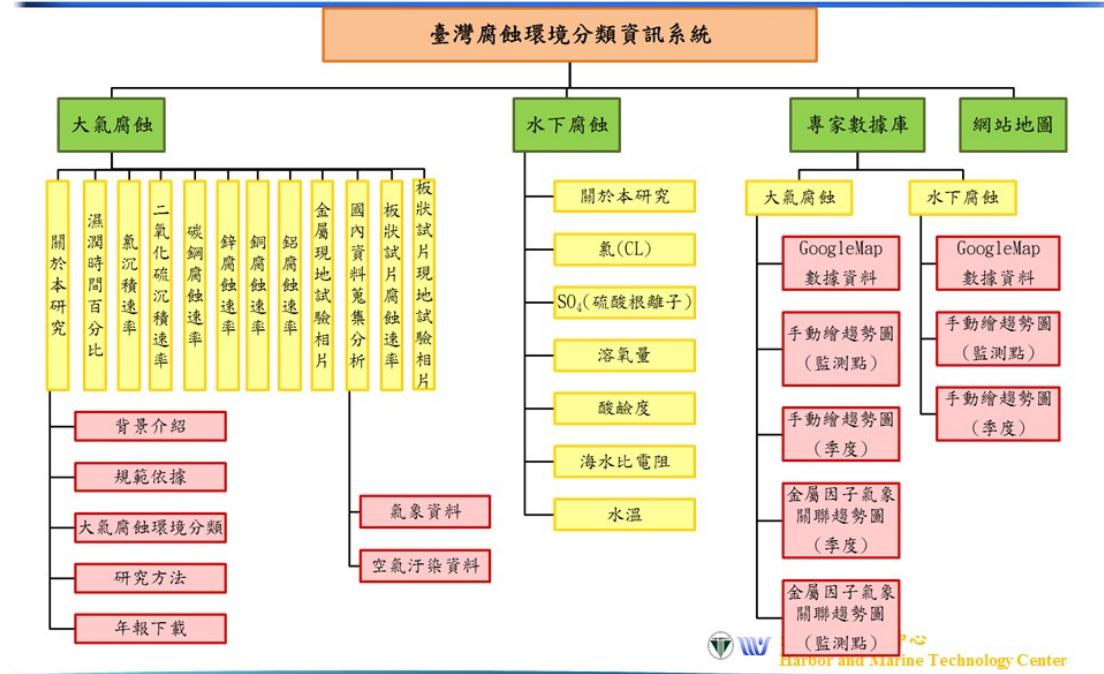
臺中港區水下金屬試驗分析結果(1年期)

	SM 490A			SS 316L			SS 400		
	原始材質	取樣後	清洗後	原始材質	取樣後	清洗後	原始材質	取樣後	清洗後
大氣帶									
潮汐帶									
水中帶									

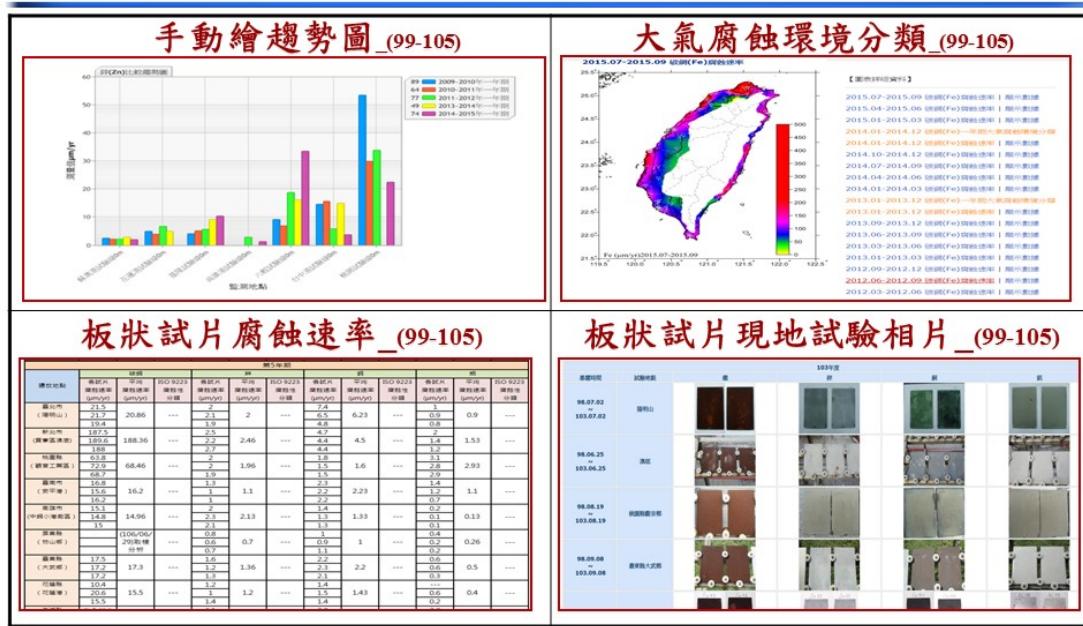
港灣技術研究中心
Harbor and Marine Technology Center

5. 臺灣腐蝕環境分類資訊系統

<http://163.29.73.11:8080/index.asp>



5. 臺灣腐蝕環境分類資訊系統



6. 結語

1. 氯鹽沉積速率調查結果發現，垂直海岸試驗線之平均氯鹽沉積速率以東部蘇澳港試驗線、花蓮港試驗線、西部臺塑六輕試驗線與北部基隆港試驗線的氯鹽沉積速率較高。
2. 二氧化硫沉積速率四次調查的結果分佈情形，在西海岸秋季以官田工業區、桃園試驗線100m、臨海工業區，冬季期間，以臺中火力電廠、官田工業區，春季以臨海工業區，夏季以臺中火力電廠、關連工業區沉積速率相較其他季節有顯著增加的趨勢。東部以東北角風景區、龍德工業區沉積速率較高。

6. 結語

3. 濕潤時間調查結果於秋季介於陽明山國家公園64.7%及金門水頭商港11.6%之間，冬季介於陽明山國家公園78.8%及核三廠試驗線19.8%之間，春季介於陽明山國家公園80.0%及高雄港試驗線周邊28.8%之間，夏季介於阿里山81.9%及臺北市區15.8%之間。
4. 在垂直試驗線比較，碳鋼金屬與鋅金屬以基隆試驗線、桃園試驗線、臺塑六輕試驗線、臺中港試驗線腐蝕速率較其他地區高。銅與鋁金屬的腐蝕速率以臺塑六輕試驗線、桃園試驗線較為嚴重。

6. 結語

5. 在特定測站比較，碳鋼、鋅、銅、鋁四種金屬皆以大潭火力發電廠、觀音工業區、臺中火力發電廠、通霄火力發電廠、彰濱工業區、臺塑六輕腐蝕速率相對較高。
6. 季節性之比較中，針對對氯鹽沉積速率、二氧化硫沉積速率及四種金屬腐蝕速率以秋季與冬季調查期間較其他季節影響較大。

推動效益

落實運用於防蝕設計與維護

參用單位：

部屬各工程機關、工程顧問公司、石化鋼鐵業、防蝕業界、學術研究單位、日商三菱重工等產官學研界約百單位。

教育訓練及推廣：

1. 自99年起辦理教育訓練並持續辦理。
2. 100年至105年在中華民國防蝕工程學會舉辦之年會和國際會議上，更進一步推廣至產官學研。

簡報結束

恭請指正

