93-72-7105
MOTC-IOT-92-H1BB02-2

港灣構造物陰極防蝕準則（草案）

交 通 部 運 輸 研 究 所
中華民國防蝕工程學會
合 作 辦 理
中 華 民 國 九 十 三 年 四 月

93-72-7105
MOTC-IOT-92-H1BB02-2

港灣構造物陰極防蝕準則（草案）

著　　者：陳桂清、饒　正、柯正龍、羅俊雄、翁榮洲
王瑞坤、張英傑、劉益雄、江淑慈

交 通 部 運 輸 研 究 所
中華民國防蝕工程學會
合 作 辦 理

中華民國九十三年四月

港灣構造物陰極防蝕準則（草案）

著　　者：陳桂清、饒　正、柯正龍、羅俊雄、翁榮洲、王瑞坤、
　　張英傑、劉益雄、江淑慈
出版機關：交通部運輸研究所
地　　址：台北市敦化北路 240 號
網　　址：www.iot.gov.tw/chinese/lib/lib.htm
電　　話：(02)23496789
出版年月：中華民國九十三年四月
印 刷 者：
版(刷)次冊數：初版一刷 190 冊
本書同時登載於交通部運輸研究所網站
定　　價：　　元
展 售 處：
交通部運輸研究所運輸資訊組•電話：(02)23496880
三民書局重南店：台北市重慶南路一段 61 號 4 樓•電話：(02)23617511
三民書局復北店：台北市復興北路 386 號 4 樓•電話：(02)25006600
國家書坊台視總店：台北市八德路三段 10 號 B1•電話：(02)25787542
五南文化廣場：台中市中山路 6 號.電話：(04)22260330
新進圖書廣場：彰化市中正路二段 5 號•電話：(04)7252792
青年書局：高雄市青年一路 141 號 3 樓•電話：(07)3324910

GPN：1009301437

港灣構造物陰極防蝕準則（草案）

交通部運輸研究所

GPN：1009301437
定價　　元

交通部運輸研究所合作研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：港灣構造物陰極防蝕準則(草案)

國際標準書號（或叢刊號）	政府出版品統一編號	運輸研究所出版品編號	計畫編號
	1009301437	93-72-7105	92-H1BB02-2

主辦單位：港研究中心 主管：邱永芳 計畫主持人：陳桂清 研究人員：陳桂清、饒　正 、柯正龍 聯絡電話：04-26587118 傳真號碼：04-26564418	合作研究單位：中華民國防蝕工程學會 計畫主持人：羅俊雄 研究人員：羅俊雄、翁榮洲、王瑞坤、張英傑 劉益雄、江淑慈 地址：台北市基隆路一段 147 巷 14 號 1F 聯絡電話：(02) 2756-7098 傳真號碼：(02) 8787-8784	研究期間 自 92 年 04 月 至 92 年 10 月

關鍵詞：港灣設施、腐蝕防治、陰極防蝕、防蝕準則

摘要：

港灣構造物(設施)依建造材料區分，大致可分成鋼鐵(材)構造物與(鋼筋)混凝土構造物兩大類，由於常年處於海洋惡劣環境下，各類構造物極易發生腐蝕、劣化、損壞，對設施之耐久性與結構安全日益受到重視。陰極防蝕理論之發展與應用已有百餘年歷史，被公認為最有效解決鋼材腐蝕之方法。基於國內防蝕工程實務之需求，特訂定適合本土化(國)之陰極防蝕準則(草案)，以提升構造物之年限與安全。

出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
93 年 4 月	116		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。

機密等級：

□限閱 □機密 □極機密 □絕對機密

（解密【限】條件：□　年　月　日解密，□公布後解密，□附件抽存後解密，□工作完成或會議終了時解密，□另行檢討後辦理解密）

■普通

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: Guidelines for Cathodic Protection Applying on Harbor Facilities (DRAFT)

ISBN(OR ISSN)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER	IOT SERIAL NUMBER	PROJECT NUMBER
	1009301437	93-72-7105	92-H1BB02-2

DIVISION: Harbor & Marine Technology Center
DIVISION DIRECTOR: Yung-Fang Chiu
PRINCIPAL INVESTIGATOR: Chen Kuei-Ching
PROJECT STAFF: Chen Kuei-Ching, Rau-cheng, Ko Jeng-Long
PHONE: (04) 04-26587118
FAX:

PROJECT PERIOD
FROM 04/2003
TO 10/2003

RESEARCH AGENCY:The Corrosion Engineering Association of the Republic of China
PRINCIPAL INVESTIGATOR: Jiunn-shyong Luo
PROJECT STAFF: Jiunn-shyong Luo, Jung-Chou Oung, Rey-Kuen Wang, Yin-Jang Chang, Yi-shyong Liu, Shu-tzu Chiang
ADDRESS: 14, 1F, Lane 147, Keelung Rd., Sec. 1, Taipei, Taiwan, R.O.C.
PHONE: (02) 2756-7098

KEY WORDS: Harbor facilities, Anti-corrosion, Cathodic protection, Protection guideline

ABSTRACT:

Based on constructing materials, harbor facilities are generally classified as steel-structured and reinforced concrete. Due to exposure to marine aggressive environment all year long, facilities are easily corroded, deteriorated and damaged. Their deterioration and safety have been much concerned than ever. Cathodic protection concept has been used and developed for over a hundred years and was recognized as having the greatest metal corrosive resistance. Based on engineering physical anti-corrosion demand, Cathodic protection guidelines have been issued for domestic situations to enhance the durability and safety of facilities

DATE OF PUBLICATION	NUMBER OF PAGES	PRICE	CLASSIFICATION
April 2004	116		☐SECRET ☐CONFIDENTIAL ▒UNCLASSIFIED

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

港灣構造物陰極防蝕準則(草案)

目 錄

鋼筋混凝土構造物篇

中文摘要.....I
英文摘要.....II
第一章 總則..... 1
1.1 適用範圍..... 1
1.2 內容概要..... 1
1.3 參考規範..... 3
第二章 陰極防蝕設計前之調查評估..... 5
2.1 前言..... 5
2.2 構造物背景資料收集..... 5
2.3 目視檢測..... 5
2.4 保護層測量..... 5
2.5 剝落層位置調查..... 5
2.6 鋼筋導電性測試..... 6
2.7 腐蝕電位量測..... 6
2.8 混凝土電阻係數..... 7
2.9 報告..... 7
第三章 陰極防蝕系統設計需求..... 9
3.1 陰極防蝕系統選擇..... 9
3.2 陰極防蝕系統功能需求..... 10
3.3 電流分佈原則..... 11
3.4 外加電流式陰極防蝕系統之餘裕度..... 11
3.5 陰極防蝕系統監測設計..... 12
第四章 材料及裝置..... 13

4.1 混凝土修補及舖面材料 13
4.2 陽極材料 14
4.3 交流電源 16
4.4 整流器 16
4.5 導線 17
4.6 數位伏特計 18
4.7 參考電極 18
第五章 系統安裝 21
5.1 系統安裝總則 21
5.2 既有構造物劣化調查 23
5.3 鋼筋電連通性測試 23
5.4 既有構造物混凝土表面準備 23
5.5 負極、監測電極的安裝 24
5.6 混凝土修補 25
5.7 陽極安裝 25
5.8 配電安裝 27
第六章 試車運轉及驗收 29
6.1 運轉前系統確認與測試 29
6.2 系統試運轉 29
6.3 性能驗收 30
6.4 書面資料 30
第七章 系統操作與維護 33
7.1 檢測項目 33
7.2 系統運作中檢查 33
7.3 性能檢測 33
7.4 系統再確認 35
7.5 書面資料 35

鋼構造物篇

第一章 總則 37
1.1 適用範圍 37
1.2 內容概要 37
第二章 基本原則 39
2.1 一般 39
2.2 陰極防蝕工法種類 39
2.3 陰極防蝕系統選擇 42
2.4 防蝕電位 42
2.5 塗裝被覆鋼構造物防蝕電位 45
2.6 裸鋼防蝕電流密度 45
2.7 塗裝被覆鋼構造物防蝕電流密度 47
2.8 參考規範與標準 48
第三章 陰極防蝕系統設計 53
3.1 陰極防蝕系統選擇 53
3.2 犧牲陽極式 55
3.3 外加電流式 68
第四章 材料及裝置 73
4.1 犧牲陽極式 73
4.2 外加電流式 75
4.3 數位伏特計 78
4.4 參考電極 78
第五章 系統安裝 79
5.1 犧牲陽極式 79
5.2 外加電流式 82
5.3 完工檢查 84

第六章 系統驗收 87
6.1 防蝕性能驗收 87
6.2 書面資料 87
第七章 系統維護及管理 91
7.1 一般 91
7.2 檢查頻率 91
7.3 一般檢查 91
7.4 詳細檢查 91
7.5 防蝕性能標準 93
7.6 防蝕效能評估 93
7.7 書面資料 94
附錄一、鋼板(管)樁碼頭陰極防蝕工程案例 95

鋼筋混凝土構造物篇

第一章　總則

1.1 適用範圍

本準則僅適用於鋼筋混凝土構造物需陰極保護者，不包括預力混凝土構造物及金屬構造物。本準則適用於鋼筋混凝土構造物之陰極防蝕工程設計、安裝、驗收、系統操作與維護管理。

1.2 內容概要

本準則提供執行鋼筋混凝土構造物陰極防蝕工程所需之各項要求及必要遵守規定。

解說：本章根據圖 1.1 執行一般鋼筋混凝土構造物之陰極防蝕工程，主要工作項目包括環境調查評估(第二章)、陰極防蝕系統設計(第三章)、材料及裝置(第四章)、系統安裝(第五章)、運轉試車(第六章)、及系統操作與維護(第七章)等。

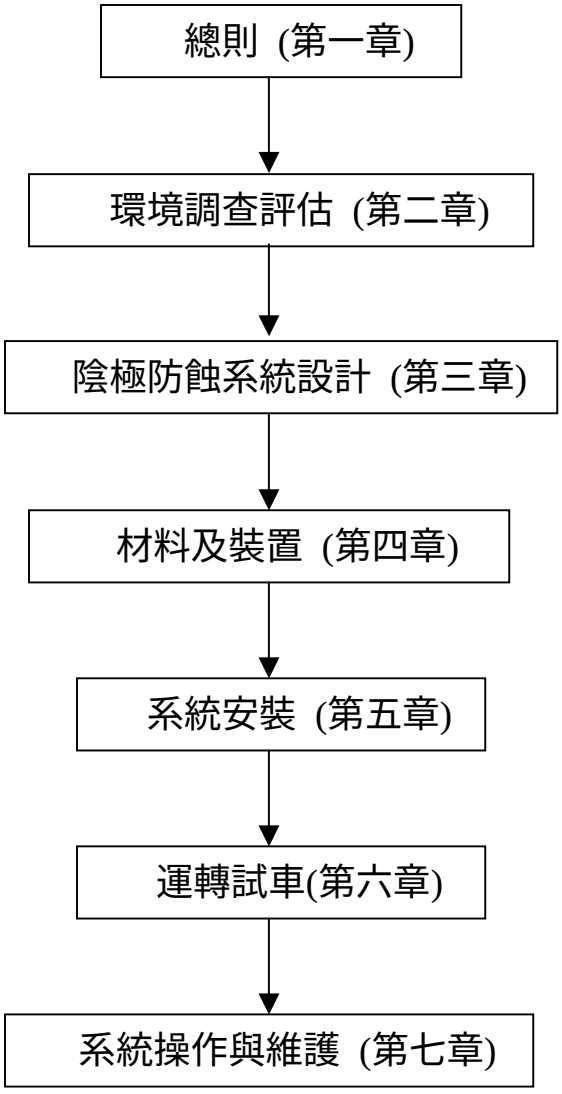


圖 1.1 鋼筋混凝土構造物之陰極防蝕工程執行流程圖

1.3 參考規範

本準則所參考之相關規範及標準包括

(1) “陰極防蝕用鎂合金犧牲陽極”，CNS-13518，H3163，1995/4，中華民國/經濟部標準檢驗局

(2) ”陰極防蝕用鋅合金犧牲陽極”，CNS-13519，H3164，1995/4，中華民國/經濟部標準檢驗局

(3) “陰極防蝕用鋁合金犧牲陽極”，CNS-13520，H3165，1995/4，中華民國/經濟部標準檢驗局

(4) “陰極防蝕犧牲陽極性能檢驗法”，CNS-13521，H2118，1995/4，中華民國/經濟部標準檢驗局

(5) “海洋混凝土構造物之防蝕指針(案)”，1990/3，日本/日本混凝土工學協會

(6) ”鋼筋混凝土建築物之耐久性調查診斷及補修指針(案)、同解說”，1997，日本/日本建築學會

(7) RP0290-90, “Standard Recommended Practice for Cathodic Protection of Reinforcing Steel in Atmospherically Exposed Concrete Structures”, 1990, National Association of Corrosion Engineers, U.S.A.

(8) Model Specification for the Cathodic Protection of Reinforced Concrete, Concrete Society Technology Report No.37, The Concrete Society, 1991, U.K.

第二章 陰極防蝕設計前之調查評估

2.1 前言

鋼筋混凝土構造物若使用陰極防蝕技術作為保固方法，應進行下列調查。

2.2 構造物背景資料收集

應收集並詳閱所有圖面、規格、和測試結果，以評估鋼筋的位置、數量、和電連通性，以及混凝土的品質、成份。現有資料的蒐集和確認應執行現地和實驗室檢測。

2.3 目視檢測

應進行目測資料收集，以確定缺陷的類型和程度，以及任何將影響陰極防蝕應用的特點。先前修補的區域亦應查明。混凝土裂縫若非鋼筋腐蝕所造成的，則應確定其發生原因。若構造物損壞徵兆明顯，應進行結構安全性評估。

2.4 保護層測量

混凝土保護層和鋼筋位置應加以測定或確認，以評估厚度不同保護層內鋼筋流過電流的大小。若鋼筋外側有陰極保護系之統網狀或板狀陽極，陽極與鋼筋間可能出現的短路情行應先查明。

2.5 剝落層位置調查

需進行陰極保護的區域，應檢查混凝土保護層剝落的情況。

解說：保護層的厚度可以磁漏法探測，剝落狀況以目視或敲槌回音方式調查；若剝落層較厚，則利用超音波或溫度紀錄法定位尋找。

2.6 鋼筋電連通性測試

先檢查鋼筋配置圖，確認鋼筋間的電連通性，然後再量測構造物鋼筋間的電阻以驗證。建議每一區域應執行數次鋼筋電連通性測試，且所有必須修補的暴露鋼筋，應檢查彼此和其他測試位置間的電連通性。

解說：測試所需的次數與構造物的大小和複雜性有關，且在現場測試前很難決定。建議每 10 m^2 混凝土表面應進行一次測試，且每一構造物至少須 4 次鋼筋電連通性測試，以確認鋼筋間的電阻值低於 1 ohm。

2.7 腐蝕電位量測

使用參考電極及高阻抗電位計來進行鋼筋電位量測，並將鋼筋可能腐蝕的區域紀錄於工程圖上。量測時使用的參考電極應為穩定、泛用、且方便取得之電極，而電位計應為高阻抗之儀器。電位量測時參考電極與混凝土間的接觸必須良好，任何塗膜或表面沈積物必須清除，並取適當距離量測一電位值，並利用電位資料繪出等電位圖。

解說：一般而言，鋼筋腐蝕電位量測時使用的參考電極為銀/氯化銀參考電極，而使用的電位計阻抗則須高於 100 Mega-ohm。電位量測間隔距離為 1~2 m。腐蝕電位量測時必須注意剝落層區域的量測值，因剝落層區域的鋼筋電位較負，與其它區域鋼筋的腐蝕電位有顯著差別。

2.8 混凝土電阻係數

混凝土電阻係數量測是利用 Wenner 四極法於現場量測。

解說：測量電極的間隔通常為 10~75 mm，而一般混凝土電阻係數通常介於 5,000~50,000 ohm-cm。任何修補區域的電阻係數應接近於原來混凝土的電阻係數。

2.9 報告

上述所有測試結果均應詳細記錄，並轉送工程設計師參考。

第三章 陰極防蝕系統設計需求

3.1 陰極防蝕系統選擇

系統設計時應依構造物所處環境，選擇適當之陰極防蝕系統。

解說：港灣構造物所處海洋環境極複雜，相關材料的使用會影響陰極防蝕系統功能。常使用之陰極防蝕系統如表 3.1 所示。

表 3.1 鋼筋混凝土陰極防蝕系統選擇

環境	環境分析	陰極防蝕系統選擇
大氣帶	構造物完全曝露於大氣中之各種介質，如氣體、日照….等；構造物多處於較乾燥的環境中	1. 鈦網陽極–外覆混凝土 2. 鋅熔射(適用於潮濕環境) 3. 鋅板導電凝膠(適用於乾燥環境)
潮間帶	範圍不僅包含高、低潮位間的潮汐帶，更包括平均高潮位以上至海面大氣帶下端之飛沫帶區域；構造物受乾濕循環交替作用	1. 鈦網陽極–外覆保護夾層 2. 鋅熔射(僅適用於飛沫帶) 3. 鋅網–外覆保護夾層方式
水下帶	混凝土構造物長期浸泡在海水中	1. 鋅、鋁塊犧牲陽極式防蝕系統 1. 鈦網陽極–外覆保護夾層 2. 鋅網–外覆保護夾層

3.2 陰極防蝕系統功能需求

陰極防蝕系統除特別要求外，應可提供鋼筋單位表面積所需的防蝕電流密度 10~20 mA/m^2，並提供足夠之電流量使被保護之構造物滿足「100 mV 電位衰減量」準則。

解說：防蝕電流密度需求視構造物之特性與腐蝕性質而定。針對埋設或水中構造物，鋼筋表面積電流密度為 5 mA/m^2，而針對地上構造物則為 10~20 mA/m^2。「100 mV 電位衰減量」為當陰極防蝕系統到達穩定保護電位時進行斷電，量測瞬間斷電後的電位與斷電 4~24 小時後的電位，其差值必需在 100 mV 以上(即斷電 4 至 24 小時鋼筋電位去極化量>100 mV)，方可確定陰極防蝕已達設計預期效果(參考 NACE Standard RP290-90)。但某些陰極防蝕系統之 100 mV 電位衰減量必須數天甚至數月始可達到，如已受防蝕保護達數月之久(或呈水飽和狀態)之構造物，電位衰減測量期間應超過 24 小時以上。

3.3 電流分佈原則

外加電流式陰極防蝕系統電流分佈，依下列準則以確保電流分佈均勻。

(1) 陽極系統應區分為若干個獨立的陽極區，且每一陽極區應有個別控的變壓整流器輸出供電。每一陽極區的陽極應提供均勻的電流分佈，使此區域的鋼筋獲得適當的陰極保護。

(2) 陽極應裝設如下：

i. 陽極不得與混凝土結構內或結構表面之任何金屬元件接觸(包括鋼筋和非接受陰極保護的金屬元件)，以防止系統短路。

ii. 陽極與所有金屬元件必須保持適當距離，且每一陽極區域必須相互獨立。

解說：陽極材料安裝時需與任何金屬元件保持至少 15 mm 以上的距離。而陽極區域的劃分是以混凝土面積 1000 m^2 或總供給電流量 2~5 Amp 來劃分。

3.4 陰極防蝕系統之餘裕度

(1) 外加電流式陰極保護系統的整流器和線路的電流容量，應依據鋼筋面積和所需保護電流密度來決定。整流器的輸出容量應高於原設計輸出值。

(2) 構造物的每區域必須有數個適當負極接點，並應平均分佈於區域內。

解說：通常整流器輸出容量應至少為原設計輸出值的 150%。負極接點數為 3 點，其中兩點作為負極排流點，一點作為電位測量點。

3.5 陰極防蝕系統監測

系統監測應使用預埋式參考電極或攜帶式參考電極進行，並記錄整流器的輸出電壓與電流值，瞭解系統運轉狀況。

第四章 材料及裝置

4.1 混凝土修補及舖面材料

4.1.1 材料類型

材料應配合陰極防蝕需要，並驗證其適用性。修補和舖面使用材料應使用膠結材料，但若膠結材料主要成份為樹脂，如環氧樹脂、聚酯、或亞克力樹脂等，則此膠結材料不得使用。

針對本節的用途，修補及舖面材料可分為三類：

(1) 噴塗材料

(2) 現場澆注混凝土

(3) 鏝抹砂漿及膠結砂漿

噴塗材料、現場澆注混凝土、及鏝抹式砂漿等均可於現場拌合。若使用具專屬權的材料系統，施工單位必須嚴格遵照合約指示使用。

4.1.2 材料性質

修補材料必須採用適當的施工方法，不得因熱效應或收縮效應而造成過度裂縫。

解說：修補材料須注意其與原混凝土間可能產生的收縮問題，若因熱或收縮效應產生過度裂縫，則過度裂縫之定義為裂縫寬度超過 0.3 mm 者。修補材料的電阻特性必須相容於原混凝土並適合陰極防蝕系統要求。

4.1.3 構成材料選用

混凝土修補及舖面使用材料，如水泥種類、水泥替代物、骨材、填隙料、摻料、水灰比，與混凝土中的氯離子含量、鹼性離子含量及硫含量等的檢測，均應符合中華民國國家標準；若無國家標準規定，則參考 ASTM, NACE Standard, British Standard 之規範 。

4.1.4 測試

修補或舖面材料應滿足前節所述之多項要求，並提出測試報告。

解說：修補或舖面材料的抗壓強度於 28 日後應為 40 N/mm^2 左右。修補或舖面材料與原混凝土間的結合強度將會影響陰極防蝕效果，故建議使用適當試驗方法(如拉拔試驗等)，進行新舊混凝土間結合強度評估。

4.2 陽極材料

陽極材料種類甚多，不論是外加電流式或犧牲陽極式的陰極保護系統，均有不同陽極材料可以選用。陽極材料的選擇應考慮構造物的特性、環境的適用性、與所需使用壽命等因素，以期達到預期保護之功能。

解說：

1. 鈦網陽極

鈦陽極基材為 Titanium, Grade 1 per ASTM B265，外覆貴重金屬或其他金屬氧化物(Mixed Metal Oxide, MMO)，物理性質具延展性。其製成形狀有管狀、網狀、或條狀，對鋼筋混凝土而言，使用之陽極為網狀(鈦網)或條狀(鈦條)。鈦網網目在 30 x 70 mm 至 100 x

200 mm 之間，且根據實驗室的加速試驗，鈦網表面電流密度為 200 mA/m^2 時，鈦網陽極壽命約為 10-50 年，壽命的長短由金屬氧化物被覆層之厚度與消耗率而定。換句話說，陽極系統實際的壽命，取決於陽極與混凝土界面間的劣化程度，而此劣化現象的產生，是因陽極過度放電時產生的酸性產物與混凝土反應，促使混凝土劣化。因此，美國聯邦高速公路局(FHWA)及英國 Concrete Society 建議，陽極的最大電流密度應在 110 mA/m^2 以下。再者，鈦網的型式與尺寸會影響鈦網陽極提供電流密度的大小，其值約在 10-50 mA/m^2 之間。鈦陽極的安裝是以塑膠釘固定陽極於混凝土表面，且為了防止電流供應不均，鈦陽極上方需噴塗 10-15 mm 以上的保護層(混凝土)。

2. 鋅網

   使用鋅網材料成份為 ASTM B6/B69。

3. 鋅熔射

   鋅熔射所使用的陽極材料為純鋅，依 ASTM B8331 或 ANSI/AWS 5.33 之規定。噴塗厚度依照 FDOT 建議為 0.38~0.5 mm，英國 Concrete Society 建議為 0.2 mm。

4. 其他陽極材料系統

   使用他種類陽極材料或新開發之陽極材料前，材料供應商應提供實驗室和現場試驗數據予工程師參考，業主並可針對新型陽極的使用，考量現場小型結構物試驗。

4.3 交流電源

採用外加電流式陰極保護系統時，現場若有 AC 供電電源，則應提供單相 110/220 volt 或三相 220/480 volt 的電壓，且交流頻率為 60 Hz。交流電源線路應符合配電規則。

解說：有關電源供應的責任範圍與線路配置，應符合國內電力相關法規規定。交流電源之相位和電壓等條件，應視電源取得之方便性、安全性、與可靠性而定。

4.4 整流器

4.4.1 概要

整流器的總輸出電流值和電壓量應滿足陰極防蝕系統所需的電流量；且整流器運轉時，必須可在最大輸出的情況下持續操作。

解說：電流容量為所需的電流量加上 20%~50%的餘裕度；而電壓量則由傳導導線尺寸大小與陽極類型而定，一般為 5~48 Volts。

4.4.2 電氣箱

整流器應裝設在可耐天候的電氣箱內，以防止灰塵、水分、及鹽分入侵。電氣箱應設於安全地方，並配置輕便鎖。所有整流器電氣箱可共用一鑰匙開啟。

4.4.3 控制和連接

每一台整流器的輸出應包括下列元件：

(1) 輸出控制分設 AC 側開關及 DC 側開關，且設置 AC 電源供應“on”指示燈、DC 電力輸出“on”指示燈。

(2) 主電源應配置適當的漏電斷路器，以提供短路和過熱保護。

(3) 每一輸入和輸出單應元配置電流表和電壓表，並裝設熔絲斷路器保護。各熔絲應標明電路名稱與額定容量，並貼上標籤。

解說：有鑑於陰極防蝕系統接線錯誤將會造成鋼筋的嚴重腐蝕，因此，整流器正負端應指定並採用不同尺寸的接線端子，以防止接線錯誤。端子應清晰標示“＋陽極”和“－鋼筋”。

4.4.4 電子元件

所有電子元件均應鍍錫或在試車後以防水矽膠包覆。整流器在滿載情況下須可連續操作。整流器之 AC 側須加裝避雷保護裝置，而 DC 側則須加裝漣波濾波器。

4.4.5 整流器檢測

整流器的各項要求於出廠前必須依照合約規定，在滿載狀況下進行測試，並於現場裝設後檢測其漣波率，以驗證整流器功能符合要求。

4.5 導線

4.5.1 概要

所有導線應為銅導體，蕊線以絕緣包覆，並以顏色和編號區別。

4.5.2 DC 導線

DC 導線為整流器正端至陽極與整流器負端至鋼筋間的導線。視通過電流大小，選用適當截面積的銅導線；不論導線為單蕊或多蕊，均須絕緣，並以顏色區分正電導線和負電導線。

解說：導線尺寸通常介於 2.5~16 mm^2，其絕緣包覆為 PVC、HDPE、XLPE 或其他材質。

4.5.3 參考電極導線

連接至參考電極的導線應符合第 4.5.1 節和第 4.5.2 節的規定，且導線顏色應與正負導線顏色不同。

解說：參考電極用的銅導線通常為 2.5 mm^2，在某些情況則可使用較粗的導線。若有受電磁干擾的可能，如高電壓 AC 電纜，則應使用隔離線路。

4.5.4 導線保護

非埋設的導線應裝設於導管內，或採取其他適當的保護措施。導管採用 PVC 管或金屬管。進出導管的線路最終需由接線箱連接。

4.6 數位伏特計

陰極保護系統之防蝕效果需使用數位伏特計與參考電極來量測鋼筋電位。

解說：使用的數位伏特計(DVM)，輸入阻抗值至少為 100 Mega-ohm，解析度至少為 1 mV。

4.7 參考電極

4.7.1 概要

參考電極應具有出廠証明，詳列參考電極類型、理論電位、和相對於其它標準電極之測試電位。

4.7.2 預埋式參考電極

預埋式參考電極的數量和位置必須考慮測試環境的代表性，並採特別設計，使其適於長期埋設在混凝土中。埋設參考電極之導線應依照第 4.5.3 節的規定，並具足夠長度以延伸至接線箱，接線箱外不得有導線續接的情況。

解說：預埋式參考電極常採用銀/氯化銀參考電極。埋設位置距離混凝土修補區域大約 0.5~1.0 m。

4.7.3 攜帶式參考電極

攜帶式參考電極用於混凝土表面鋼筋電位量測。量測時使用潮濕海棉置於混凝土上，再將參考電極置於海棉上，以量測鋼筋電位。

解說：攜帶式參考電極通常採用銀/氯化銀參考電極，但其他類型之參考電極如銅/硫酸銅參考電極亦可使用。

第五章 系統安裝

5.1 系統安裝總則

陰極防蝕系統的施工根據構造物特性區分為既有構造物與新建構造物二種工作流程。

解說：既有構造物陰極防蝕系統安裝工作流程如圖 5.1 所示，包括：既有構造物劣化調查(第 5.2 節)、鋼筋導電性測試(第 5.3 節)、既有構造物混凝土表面準備(第 5.4 節)、負極接點與參考電極安裝(第 5.5 節)、混凝土修補(第 5.6 節)、陽極安裝(第 5.7 節)、及配電安裝(第 5.8 節)等。新建構造物陰極防蝕系統之安裝工作流程如圖 5.2 所示，包括：鋼筋導電性測試(第 5.3 節)、負極接點與參考電極安裝(第 5.5 節)、陽極安裝(第 5.7 節)、及配電安裝(第 5.8 節)等。

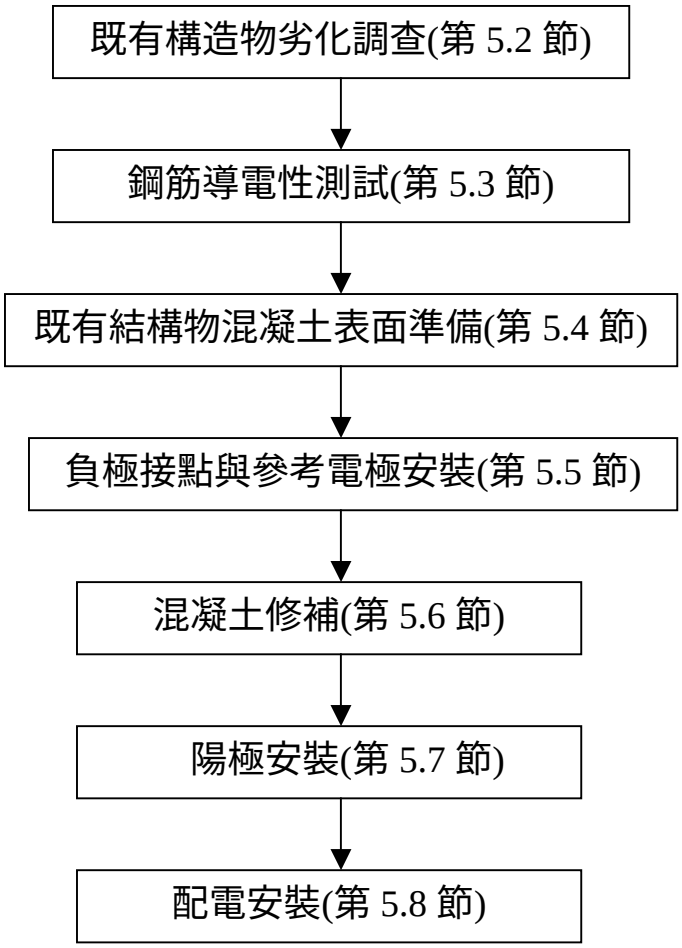


圖 5.1 既有構造物之系統安裝工作流程

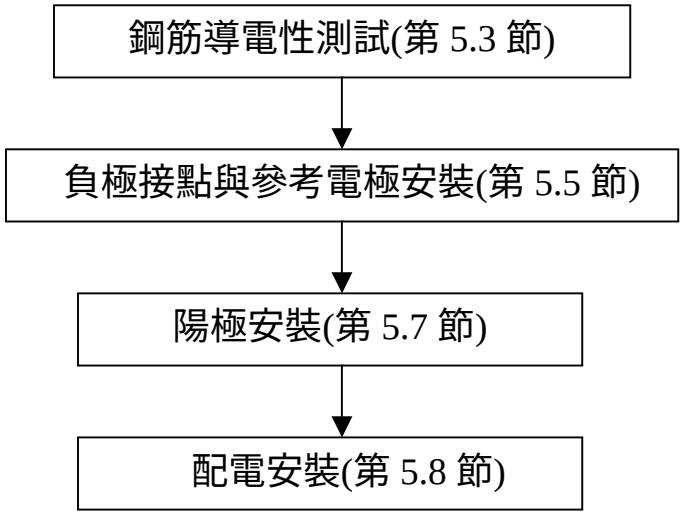


圖 5.2 新建構造物之系統安裝工作流程

5.2 既有構造物劣化調查

構造物的表面應進行目測或回音等適當的測試方法調查，以確定剝落層、蜂巢腐蝕位置、與先前修補的區域。混凝土剝落層區域應予敲開鑿除，以評估鋼筋斷面損失量及剝落層的厚度；此外，先前修補區域和此區域內的鋼筋斷面損失，亦應詳細記錄。

5.3 鋼筋電連通性測試

陰極防蝕施工前需先確認構造物鋼筋的電連通性。檢測鋼筋電連通性不良的區域，並進行鋼筋間電阻量測，以確保鋼筋之電連通性。若發現電連通性不良的地方，應予改善。

解說：鋼筋間電連通性的確認為量測鋼筋間的電阻，且電阻值不得超過 1 ohm。

5.4 既有構造物混凝土表面準備

剝落層或蜂巢狀混凝土，以及電阻係數過高的修補材料應予敲開、清除。若蜂巢狀混凝土深入範圍超越主鋼筋，則鑿除深度應至主鋼筋後之適當距離。此外，應以敲錘回音測試法或其他方法來確保所有剝落層均已清除。若修補至構造物底層，或修補區域過大，則必須檢測新舊混凝土間的接合性。混凝土表面若有與鋼筋接觸的任何繫網、釘子或其他鐵製元件，應予切開，並與鋼筋保持一定距離。

解說：鑿除深度不應超過主鋼筋後 30 mm。若需修補至結構件底層，修補區域約 10%的面積應切開，並鑿至鋼筋後 15 mm 深度。若混凝土表面出現可能與鋼筋接觸的繫網、釘子或其他鐵製元件，應予切開，並與鋼筋保持至少 10 mm 的距離。

5.5 負極接點與參考電極的安裝

5.5.1 負極接點的安裝

鋼筋接點安裝前，應先將接點處之鋼筋完全除銹；安裝後，接點處與其附近的鋼筋應以非導電性環氧樹脂塗敷，待環氧樹脂硬化後，方可進行後續工作。每一陽極區，鋼筋的負極排流點不得少於兩個。負極(鋼筋)接點的安裝可採用下列其中一種方法：

(1) 鑽攻(drilling and taping)
(2) 壓接(clamping)
(3) 熱劑銲(thermit welding)
(4) 銷硬銲(pin brazing)(亦即拉弧硬銲 drawn arc brazing)
(5) 銲接(welding)
(6) 硬銲(brazing)

5.5.2 金屬固定件

混凝土內的任何金屬固定件應與鋼筋電連通。若使用導線(cables)提供電連通，應符合第 4.5.2 節之要求，並採黑色包覆。

5.5.3 參考電極安裝

參考電極應按圖示位置安裝。若參考電極設置區域需作混凝土修補，參考電極可在修補前安裝，此時參考電極應使用適當的塑膠夾具固定並與鋼筋平行，但不相接觸。參考電極位置距鋼筋應不超過某一特定距離。

若參考電極所在位置不需任何修補，參考電極的裝設應開挖一孔洞，然後將參考電極置於孔洞內，與鋼筋相距適當距離；完成後該孔洞應利用水泥拌漿填補。若安裝供性能評估和驗收試驗的參考電極，其距修補區域通常不低於某一距離。

解說：混凝土修補區域參考電極的安裝，參考電極與鋼筋間的距離應小於 40 mm。若參考電極所處位置不需任何修補，參考電極與鋼筋間的距離通常為 5~40 mm。此外，為提供性能評估與驗收試驗，則參考電極的安裝應距修補區域 500~1000 mm。參考電極安裝時應注意防止電極周圍形成氣袋，且參考電極應儘量靠近混凝土內的鋼筋。

5.6 混凝土修補

原修補區域的混凝土電阻係數應先利用 Wenner 四極法或類似裝置於現場量測。欲修補的混凝土表面，則使用壓縮空氣或其他適當方法(如噴砂方式)清除灰塵及附著於混凝土表面之碎物和污染物質 (如油污、髒物)。壓縮空氣不得含有油污、可溶性鹽份或其他有害物質。鬆落骨材亦應清除，清除後混凝土表面以水清洗，乾燥後方可進行修補作業。混凝土修補後需要足夠的保護層厚度以防止陽極安裝時與鋼筋接觸，造成短路。

解說：修補材料的電阻係數應低於 20,000 ohm，或與現有混凝土的電阻係數相當。

5.7 陽極安裝

所有陽極系統的安裝工作必須符合各陽極系統之特定規格要求。

解說：陽極系統安裝時，導電性塗料或被覆(overlay)必須無污染與雜質。若使用導電性塗料，陽極及混凝土表面須要乾燥；若使用被覆水泥，混凝土表面的粗糙度和潮溼程度，將視使用的被覆材料而定。

1. 導電性塗料

構造物表面應以噴砂或其它適當方法處理，除去油污、油脂、污物、水氣、和粗糙的聚集物；噴砂後混凝土表面應保持乾燥，避免後續污染。鋼筋與導電性塗料間的接觸，將會導致系統短路、失效，或造成混凝土內其他部位鋼筋的局部腐蝕。

2. 常溫電弧鋅熔射

常溫電弧鋅熔射必須以適當的工法施工，平均膜厚需達適當要求，並應採用核准程序量測。熔射層厚度量測可依 ASTM E367 以磁性測定法測量。檢測時應 50 平方公尺取 25 點作厚度量測，每點量測 5 次，取其平均值判定是否合乎標準。

3. 鈦網陽極

鈦網陽極安裝時必須清除混凝土表面殘餘汙漬或雜物，且鈦網必須完全平貼固定於乾淨混凝土表面。鈦網安裝之方法為混凝土鑽孔後，以適當的塑膠釘固定之。塑膠釘間距約為 30 cm，以鈦網完全平貼於混凝土表面為原則。鈦網搭接方式為以長 10 cm 之鈦條，於鈦網上每隔 30 cm 位置，點焊搭接，每股鈦網至少需點焊三點。鈦條基本陽極需直接接至整流器正極接出位置，不可中途續接。

5.8 配電安裝

5.8.1 導線安裝

所有導線包括 AC 電源線、DC 電源線、參考電極導線等，應置於導管內，且導線接續僅限於接線箱內接續，線路長度須適當配置。若發現導線絕緣損壞或線路打結，應立即更換。陰極防蝕系統測試前，所有 DC 線路和儀錶線路應進行電連通和極性(polarity)測試，避免線路接錯或短路。配線施工應依照國內電工法規規定和標準裝設。

5.8.2 整流器安裝

整流器應裝設於圖示位置的電氣箱內。整流器的所有金屬零件，應使用連接器(connector)與現有接地系統相連接，或依照國內電工法規規定和標準，設計獨立的接地系統。

第六章 試車運轉及驗收

6.1 運轉前系統確認與測試

系統運轉前應先進行測試，以確保所有構件安裝、連結迴路均已正確的配線、連接、和標示；並檢測各迴路之電連通性。在外加電流式陰極防蝕系統中，設定整流器輸出值為設計保護電流量之 20%，使用適當的伏特計和參考電極，量測鋼筋電位變化方向，以確定 DC 輸出的正確極性。

6.2 系統試運轉

完成第 6.1 節程序，並且陽極系統滿足最低養護期後，陰極防蝕系統方可通電。即犧牲陽極系統進行正、負極導線連接，而外加電流系統則進行整流器輸出調整。其通電程序應針對各陽極區域分別執行，使用每一陽極區域中預埋的參考電極或攜帶式的參考電極，量測鋼筋保護電位。外加電流系統採電流逐漸增加方式，使鋼筋保護電位達-750 mV(相對於銀/氯化銀參考電極)，或電位變化量達 300 mV 以上。到達保護標準後，系統應按此輸出維持運轉一段時間；若無法維持此防蝕電位，則須再調整整流器輸出，以達保護電位標準。值得注意的，於電位量測前 24 小時內，不得進行整流器輸出調整。

解說：鋼筋電位到達保護標準後，系統應按此水準維持運轉至少 7 日以上，一般為 14~28 天。若進行系統性能測試如「100 mV 電位衰減量」，則在前次電流調整後 7 天進行。

6.3 性能驗收

陰極防蝕系統完成第 6.2 節之試運轉要求，並達到第 3.2 節所述之系統功能後，於一定時間內必須進行性能驗收。驗收時必須使用核准且經校正過的儀器，量測記錄整流器的輸出電流、輸出電壓，鋼筋的保護電位等。

解說：外加電流式陰極防蝕系統之性能驗收通常為系統完成試運轉後 7~10 天期間進行，而犧牲陽極式陰極防蝕系統的性能驗收時間，則可能在系統完成試運轉數個月之後。

6.4 書面資料

陰極防蝕系統驗收完成之後，必須保存設計、安裝、試運轉、操作、和維護手冊資料等相關紀錄和文件。

解說：本準則建議系統設計、安裝、試運轉、操作、和維護手冊需包含以下資料。

1. 設計和安裝
    - 參考電極的位置、方位與可能偵測深度
    - 監測設備
    - 陽極材料和被覆種類
    - 陽極區域/陽極安裝
    - 陽極和負極連接系統
    - 導線、導管與接線箱
    - 鋼筋的電連通性測試
    - 鋼筋電通性與連接方法
    - 陽極安裝前混凝土的表面準備，包括殘留金屬或外露金屬的處理

- 電源、接地、與固定方式
- 陽極系統、被覆厚度、電阻、強度、黏性試驗結果
- 施工日期和時間(說明安裝問題和解決方法)
- 整流器之電壓與電流的最大容許值

2. 系統試運轉
   - 程序說明
   - 校正、驗證試驗的程序和結果
   - 極化前狀況
   - 電位量測結果，含讀取時間和天候條件，包括：
     - 極化前狀況
     - 「通電」電位
     - 瞬間「斷電」電位
     - 4 小時極化衰減量
     - 24 小時極化衰減量
   - 結果分析、操作功能調整(即電力輸出與保護電位達成)

3. 操作和維護手冊

   手冊應包含系統操作所需的資料。包括：詳細圖說、電路圖、使用材料性能資料、試驗結果數據、與操作程序等：

   A 節－操作

   - 系統說明、裝設時間、作用原理
   - 電源系統之詳細資料、額定值、固定構件、保護系統、接地、控制等

- 系統操作方法、調整時機、控制功能、操作限度、關閉和重新通電程序
- 監控－執行量測的步驟、位置、接點、監測結果之判斷依樣
- 系統監控－建議試驗方案、完成標準試驗之步驟檢查表、需保存之記錄清單

B 節－維護

- 所有設備安裝的技術資料
- 日常維護和操作的指引，包括故障檢查步驟、診斷、整流指引和接線圖
- 製造商詳細資料和備用品清單
- 陽極維護和局部修補指引
- 陽極更新程序，包括使用材料與工具資料

第七章 系統操作與維護

7.1 檢測項目

系統應進行的項檢測工作包括：運轉中檢查、性能檢測、及系統再確認。在系統供電運轉時，至少每月進行一次檢查。而性能檢測之頻率則為前兩年每季一次，之後，每半年進行一次檢查；檢測範圍包括所有陰極保護設備與紀錄量測結果。系統再確認之執行頻率為每年至少一次，確認項目包括系統設備的再校準，資料的再確認，以及系統未來運轉建議。

7.2 系統運轉中檢查

運轉中之檢查為電源於「開啟」的狀態下，紀錄量測每一陽極區域的 DC 供電電流和鋼筋的保護電壓。若系統運轉出現問題，如供電不良等，則須立即改善修護。

7.3 性能檢測

性能檢測項目包括：防蝕構件的目視檢查、陽極系統檢查、裝設線路、電源、性能量測等。

7.3.1 防蝕構件的目視檢查

利用近距離目視檢查，注意構造物是否有任何損壞、腐蝕或變化的位置及其程度。

7.3.2 陽極系統檢查

所有陽極區域均須進行全面目視檢查，且根據不同陽極系統的特性，選用適當的方法進行檢查。

7.3.3 裝設線路

目視檢查所有外露線路(即陽極供電、鋼筋接線和監測設備)的固定與絕緣狀況。

7.3.4 電源

進行電源供電情況檢查，注意所有輸入和輸出電線的完整性，以及所有控制系統的設定和運作。

7.3.5 性能量測

應量測記錄下列性能數據：每一陽極區域的整流器 DC 輸出電壓值、輸出電流值、及鋼筋保護電位值。

量測鋼筋保護電位時，應使用第 4.7 節指定之預埋式參考電極或攜帶式參考電極，在下列條件下進行：

(1) 陰極防蝕電流在通電狀況；

(2) 陰極防蝕電流在瞬間斷電狀況；

(3) 切斷陰極防蝕電流，量測去極化 4 至 24 小時後之電位。

解說：量測瞬間斷電電位和去極化電位時，必須中斷整流器之 DC 輸出迴路。即當陰極防蝕系統到達穩定保護電位時進行斷電，量測鋼筋瞬間斷電後的電位與斷電 4~24 小時後的電位，其差值必需在 100 mV 以上(即斷電 4 至 24 小時鋼筋電位去極化量>100 mV)，方可確定陰極防蝕已達設計預期效果。

7.4 系統再確認

系統再確認項目應包括：第 7.3 節所述性能監測之全部項目、預埋式參考電極功能試驗、操作資料/建議確認等。

7.4.1 再確認第 7.3 節所述之性能監測所有項目。

7.4.2 預埋式參考電極功能試驗

於陰極防蝕系統為關閉狀態下，進行所有預埋式參考電極應與外接標準參考電極之比較，量測並記錄電位，以確認所有預埋式參考電極的準確性。

7.4.3 操作資料之建議與確認

檢查操作資料，確認系統性能評估、防蝕可能效益、與系統未來運轉的建議。

建議事項包括下列：系統維護或改良的要求，系統操作和監測準則，監測的頻率與範圍。

7.5 書面資料

運轉檢查、性能監測和系統確認等應建立書面資料，並作為更新操作和維護手冊(第 6.4 節)的一部份。

鋼構造物篇

第一章　總則

1.1 適用範圍

本準則適用於港灣鋼構造物在海水中與海底土中之陰極防蝕工程之設計、安裝、驗收、系統操作與維護管理。

解說：

1. “海水中”係指平均低潮位以下至海床間的區域。

2. 鋼構造物在水下進行陰極防蝕保護時，亦可參考本準則之規定。

3. 本準則與陸上鋼構造物之陰極防蝕設計、安裝、驗收、系統操作與維護管理不同，使用時必須注意。

1.2 內容概要

本準則提供執行港灣鋼構造物陰極防蝕工程所須之各項要求及必要遵守規定。

解說：本準則根據圖 1.1 執行一般港灣鋼構造物之陰極防蝕工程，主要工作項目包括總則(第一章)、基本原則(第二章)、陰極防蝕系統設計(第三章)、材料及裝置(第四章)、系統安裝(第五章)、系統驗收(第六章)及系統維護與管理(第七章)等。

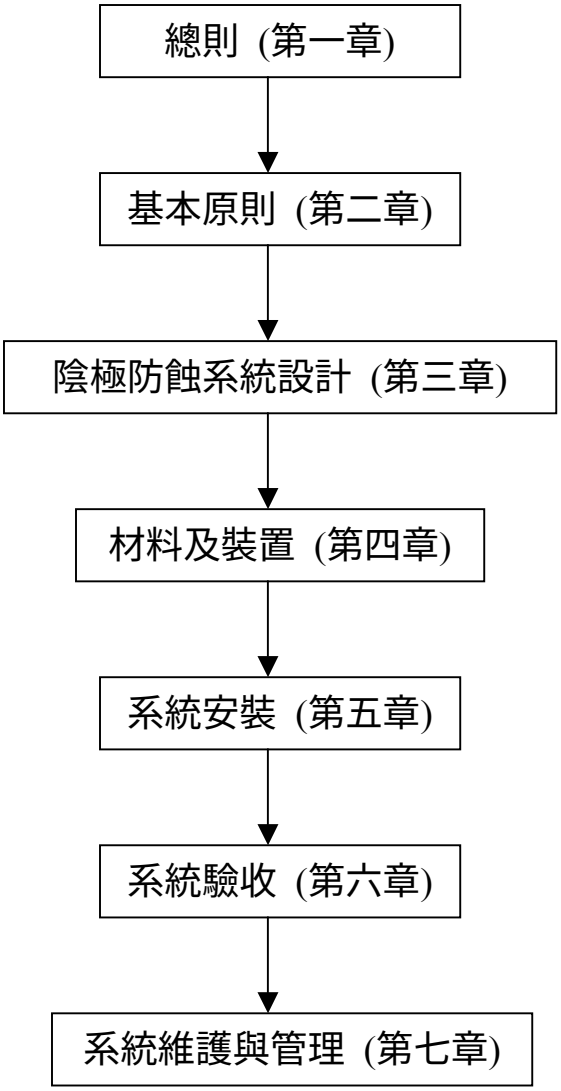


圖 1.1 港灣鋼構造物陰極防蝕工程準則內容

第二章　基本原則

2.1 一般

陰極防蝕工法使用時不限於新建或既有構造物，對於海水中及海底土中的港灣鋼構造物皆有良好的防蝕效果。

2.2 陰極防蝕工法種類

(1) 犧牲陽極法。

(2) 外加電流法。

解說：

1. 犧牲陽極法主要是利用電位較負的金屬(如鎂、鋁、鋅等合金)為陽極，與被保護鋼構造物(陰極)在介質(如海水、海底土等)中形成一電化學電池；由於異類金屬相接觸，活性較大(active)之金屬(陽極)會在反應中被消耗，而活性較小(noble)的鋼鐵(陰極)則會被保護。以碼頭鋼板(管)樁之防蝕為例，如圖 2.2.1 所示。

2. 外加電流式陰極防蝕系統主要是利用一外部直流電源供應器來提供陰極與陽極間的電位差。陽極必須接於直流供應器之「+」端，而被保護金屬則接於直流供應器的「-」端。以碼頭鋼板(管)樁為例，電流從陽極經過海水或海底土到達鋼板(管)樁表面，然後經導線回到電源，如此鋼板(管)樁便受到保護，如圖 2.2.2 所示。

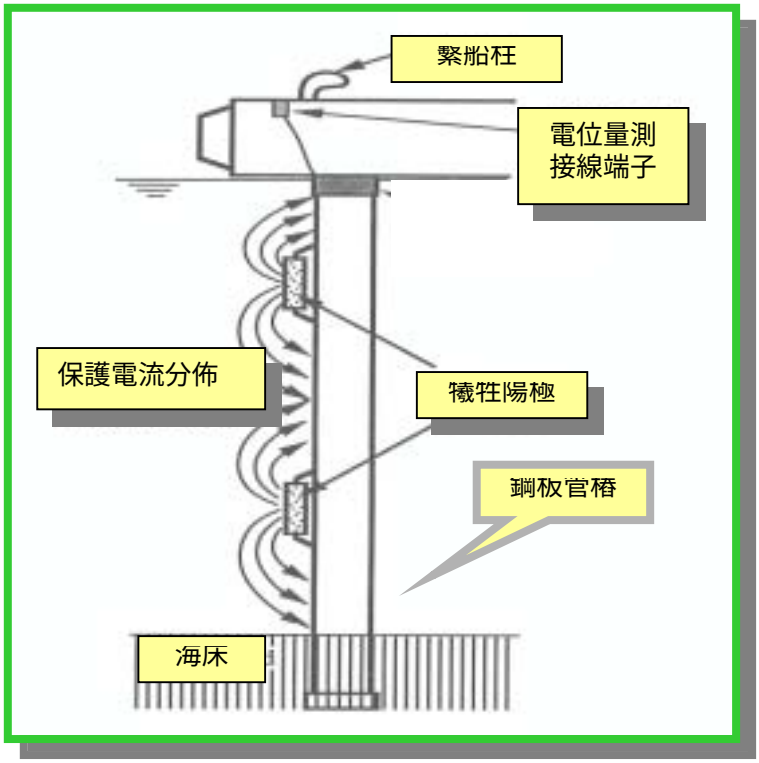


圖 2.2.1 碼頭鋼板(管)樁犧牲陽極法示意圖

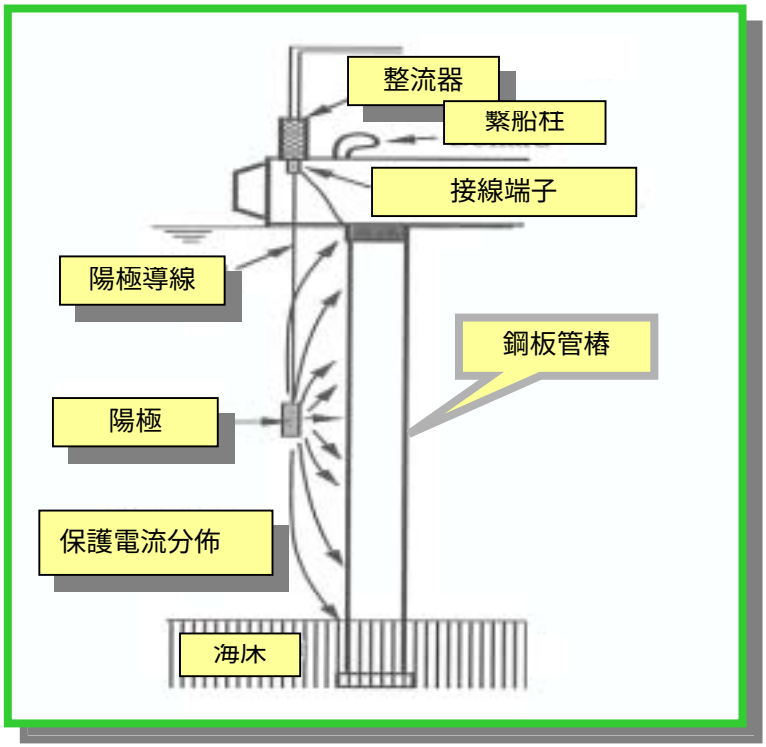


圖 2.2.2 碼頭鋼板(管)樁外加電流法示意圖

3. 犧牲陽極式與外加電流式陰極保護的特性比較如表 2.2.1 所示。

表 2.2.1 犧牲陽極式與外加電流式陰極保護的特性比較

方 式	優 點	缺 點
犧牲陽極方式	1. 裝置簡單、維護需求少。 2. 長期運轉成本較低。 3. 陽極壽命可依防蝕設計決定。 4. 適合小規模獨立性之構造物。 5. 適合於無電源的場所。	1. 提供之驅動電壓及保護電流有限。
外加電流方式	1. 輸出電壓可自由調節。 2. 在河海水交會處或水流速度較大的環境，可有效提供防蝕電流。 3. 適用於比電阻較高的環境。	1. 可能會造成雜散電流腐蝕。

2.3 陰極防蝕系統選擇

陰極防蝕系統的選用，須考慮下列因素：

(1) 保護系統的可靠性。

(2) 對相鄰構造物的影響(雜散電流)。

(3) 保護電流需求量。

(4) 構造物結構的複雜性。

(5) 環境條件。

解說：陰極防蝕系統選定須考慮被保護構造物的尺寸、結構與環境。對於港口碼頭設施，過去多採用外加電流式的陰極保護，但 1980 年代至今，因犧牲陽極材料不斷開發且防蝕性能提高，目前多採用犧牲陽極式陰極保護；但在水質變化較大的河口或是流速較大的區域，外加電流式的陰極保護系統宜併入考慮。

2.4 防蝕電位

港灣鋼構造物陰極防蝕電位之標準值，以海水氯化銀(Ag/AgCl/seawater)參考電極量測時，為-800 mV 或更”負”。

解說：

1. 在陰極保護下，海水中鋼構造物的電位值會隨保護電流的流入而往負值方向移動，與其自然電位值相比較，其值較負。若鋼鐵腐蝕反應停止，則此時之電位稱之為防蝕電位。

2. 氯化銀(Ag/AgCl)參考電極有兩種，若電極中的電解液為海水，是為海水氯化銀(Ag/AgCl/seawater)參考電極；若電解液為飽和 KCl 溶液，則為飽和氯化銀(Ag/AgCl/sat’d KCl)參考電極。

3. 在含氧(aerobic)的環境中，浸漬於海水中鋼構造物的防蝕電位，以

海水氯化銀參考電極(Ag/AgCl/seawater)量測，電位值須達到-800 mV 以下，方被判定達到陰極保護標準。在厭氧(anaerobic)環境中(如海底泥中)，鋼構造物的防蝕電位應達到-900 mV 以下(vs. Ag/AgCl/seawater)。但最大防蝕電位不宜超過-1100 mV (vs. Ag/AgCl/seawater)，如表 2.4.1 所示。

表 2.4.1 含氧環境與厭氧環境之防蝕電位標準

鋼鐵材料	最小防蝕電位 mV vs. Ag/AgCl/seawater	最大防蝕電位 mV vs. Ag/AgCl/seawater
含氧環境	-800	-1100
厭氧環境	-900	-1100

4. 參考電極的選用應選擇在環境變化的情況下亦能維持穩定量測狀態的電極。海水中使用的參考電極為海水氯化銀電極(Ag/AgCl/seawater)與飽和甘汞電極(SCE)，而土壤或氯離子含量較低的混凝土中，則多採用飽和硫酸銅電極($Cu/CuSO_4$)。防蝕電位值依量測時使用的參考電極而異，表 2.4.2 為鋼構造物在海水中利用不同參考電極量測時之標準防蝕電位。各種參考電極的電位換算如表 2.4.3 所示。

表 2.4.2 海水中鋼構造物之防蝕保護電位標準

防蝕電位	參考電極
-780 mV vs. SCE	飽和甘汞電極
-800 mV vs. Ag/AgCl/seawater	海水氯化銀電極
-750 mV vs. Ag/AgCl/sat'd KCl	飽和氯化銀電極
-850 mV vs. $Cu/CuSO_4$	飽和硫酸銅電極

表 2.4.3 參考電極電位換算

參考電極種類	E_{25} (mV vs. S.H.E., at 25°C)	溫度係數	標準防蝕電位 (mV)	對硫酸銅電極基準的換算法
海水氯化銀電極 Ag/AgCl	250	-	-800	加-50 mV
飽和甘汞電極 Hg/Hg_2Cl_2	241	-0.76 mV/°C	-780	加-70 mV
飽和硫酸銅電極 $Cu/CuSO_4$	316	+0.90mV/°C	-850	
鋅電極 Zn	約-800	-	+250	加-1100 mV

5. 陰極防蝕效果判定的標準如表 2.4.2 所示，若鋼構造物之電位值較標準防蝕電位值為"負"時，鋼構造物是為保護狀態，若電位值比標準防蝕電位值"正"時，則表示保護不足或防蝕效果不佳。以海水氯化銀參考電極為例，若鋼構造物之電位值較-800 mV 為"負"，鋼構造物為保護狀態，但若值較-800 mV 為"正"， 則表示保護不足或防蝕效果不佳，判定案例如圖 2.4.1 所示。

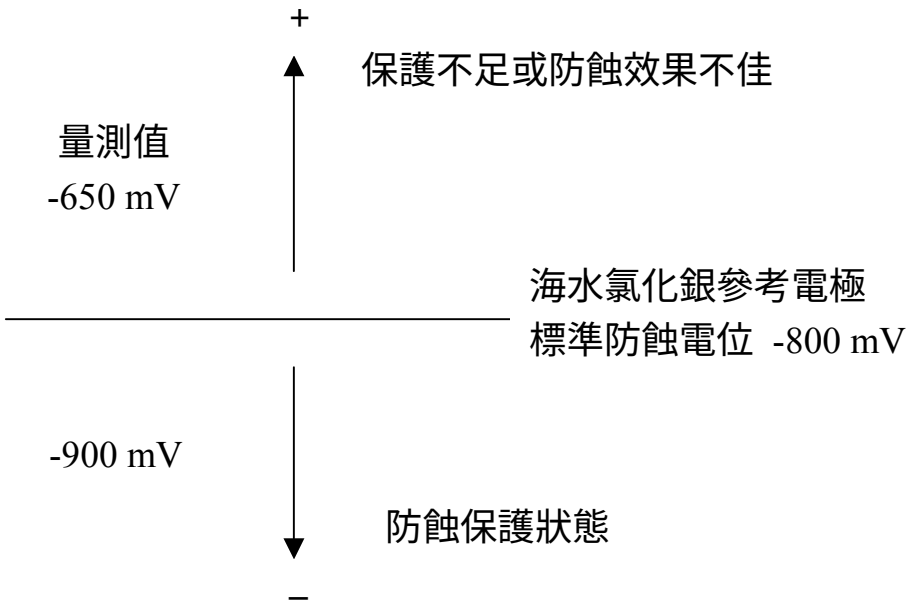


圖 2.4.1 陰極防蝕效果判定

2.5 塗裝被覆鋼構造物防蝕電位

塗裝被覆鋼構造物的防蝕電位應控制在-800 mV ~ -1100 mV (vs. Ag/AgCl/seawater)。

解說：港灣鋼構造物若採用塗裝與陰極防蝕並用的防蝕工法，為防止過大的保護電流導致塗膜劣化或剝離，防蝕電位應控制在-800 ~ -1100 mV (vs. Ag/AgCl/seawater)之間，並選用具有耐陰極剝離及耐久性的塗裝系統。

2.6 裸鋼防蝕電流密度

裸鋼防蝕電流密度的選用因鋼構造物所處的環境而異。

解說：

1. 裸鋼陰極防蝕電流密度的選用宜參考下列標準。

環境			陰極防蝕
			初期防蝕電流密度(mA/m^2)
一般海域	港灣	海水中	100
		石礫中	50
		海底土中	20
	外海	海水中	150
		石礫中	75
		海底土中	30
特殊海域	污染	海水中	150
		石礫中	75
		海底土中	30
	流速	1 m/s	160
		2 m/s	230
		3 m/s	270

2. 防蝕電流密度為鋼構造物達到防蝕電位標準或電位更”負”時，每單位面積所需的保護電流。

3. 防蝕電流密度的選用因鋼構造物所處環境的不同而有所差異；根據海象調查結果及海域腐蝕因子分析來決定防蝕電流密度，進而計算出犧牲陽極的放電量與整流器的容量。影響鋼材腐蝕特性的環境因子有波浪、潮汐、海流、海水比電阻、pH 值、水溫、溶氧量、含鹽量(氯離子濃度)、懸浮泥沙、海生物與污染程度等。

4. 海水的化學成份、溶氧量或 pH 值會受到河川或其他排水之影響。因此，在水質變化較大或硫化物濃度較高的海域，使用陰極防蝕工法須注意防蝕電流密度選用、保護電流分布與陽極配置。在厭氧性硫酸還原菌存在的環境裏，因硫化物的影響，鋼構造物會產生局部腐蝕，在此條件下，須增加防蝕電流密度。

5. 污染海域係指河川或各種排水流入海水處。參考日本建設省土木研究所「海域中土木鋼構造物之電氣防蝕設計指針(案)·同解說」，以 $[NH_4^+ (ppm) + 1/Cl^- (\%)]$之計算值為污染指標，當污染指標值大於 0.8 時為污染海域。

6. 海水中，鋼構造物所需的防蝕電流密度隨海水流速及溶氧量增加而增大。陰極防蝕初期電流密度依 2.6 節選用。

7. 石礫堆積的狀況對防蝕效果及陽極壽命有很大的影響。在大石塊堆積的地方，間隙大，須要較大的防蝕電流密度。

8. 海水中，裸鋼鋼構造物在陰極保護下所需的防蝕電流密度隨時間

的增加而下降，最終趨於一定值，此時之電流密度稱為穩定電流密度。主要是因在海水中進行陰極保護時，鋼鐵與海水界面間海水的 pH 值會上升，以致構造物表面有碳酸鈣與氫氧化鎂的沉積物產生，此沉積物稱為鈣質沉積(calcareous deposits)。鈣質沉積可形成擴散障礙，阻止海水中的溶氧進入金屬表面，降低陰極保護所需之防蝕電流密度。穩定的防蝕電流密度約為初期防蝕電流密度之 50 %。

2.7 塗裝被覆鋼構造物防蝕電流密度

塗裝被覆鋼構造物陰極防蝕初期防蝕電流密度的選用，應考慮塗裝被覆的破損率，標準如下：

塗裝= $20 + i \times B$ mA/m^2

混凝土= $10 + i \times B$ mA/m^2

有機被覆= $i \times B$ mA/m^2

i：防蝕電流密度值，依 2.6 節裸鋼鋼構造物所在環境選用

B：破損率 $= \dfrac{\text{塗裝或被覆破損面積}}{\text{全部面積}}$

解說：用於塗裝被覆鋼構造物之電流密度須考慮被覆層之破損面積；被覆層破損的原因可能為塗膜的劣化或外力的破壞。

2.8 參考規範與標準

本準則參考之相關標準及規範包括：

(1) “陰極防蝕用鎂合金犧牲陽極”，CNS-13518，H3163，1995/4，中華民國/經濟部標準檢驗局。

(2) ”陰極防蝕用鋅合金犧牲陽極”，CNS-13519，H3164，1995/4，中華民國/經濟部標準檢驗局。

(3) “陰極防蝕用鋁合金犧牲陽極”，CNS-13520，H3165，1995/4，中華民國/經濟部標準檢驗局。

(4) “陰極防蝕犧牲陽極性能檢驗法”，CNS-13521，H2118，1995/4，中華民國/經濟部標準檢驗局。

(5) “港灣設施之技術基準·同解說(改訂版)”，日本運輸省港灣局監修，日本港灣協會，1989/2。

(6) “海域中土木鋼構造物之電氣防蝕設計指針(案)·同解說”，日本建設省土木研究所，1991/3。

(7) “Cathodic Protection Design”，DNV RP-B401，Det norske Veritas，1993。

(8) “Cathodic Protection, Part1. Code of Practice for Land and Marine Applications”，BSI-BS 7361，British Standard，1991。

(9) “Corrosion Control of Steel Fixed Offshore Platforms Associated with Petroleum Production”，NACE-RP0176，NACE International，1994。

(10) 陰極防蝕工程手冊，化學工業出版社，中國大陸，1998。

解說：國外陰極防蝕相關規範之比較如下。

<table>
<tr><td>名 稱

(制定機關)</td><td>運輸省港灣局監修
港灣設施之技術基準·同解說(改訂版) (1989.2)

((社)日本港灣協會)</td><td>海域中土木鋼構造物之電氣防蝕設計指針(案)·同解說(1991.3)

(日本建設省土木研究所)</td><td>RP B401 (1993)
Cathodic Protection Design

(DNV)</td><td>BS 7361
Part 1: 1991
Cathodic Protection

(BSI)</td><td>RP0176-94(Rev'd Mar. 1994)
Corrosion Control of Steel Fixed Offshore Platforms Associated with Petroleum Production (NACE Int'l)</td></tr>
<tr><td>防蝕電位</td><td>參考電極防蝕電位(單位：mV)
飽和甘汞電極 (SCE)
-770
海水氯化銀參考電極 (Ag/AgCl [sw])
-780
飽和硫酸銅參考電極 ($Cu/CuSO_4$)
-850</td><td>環境防蝕電位(SCE)
單位：mV
清淨海域 -770
污染海域 -900
高流速海域 -770

與塗裝並用之防蝕電位(SCE)
-770 ~ -1050</td><td>環境防蝕電位(Ag/AgCl[sw])
單位：V
含氧性環境 -0.80 以下
厭氧性環境 -0.90 以下</td><td>環境參考電極防蝕電位
單位：V
含氧性環境
$Cu/CuSO_4$ -0.80 以下
Ag/AgCl [sw] -0.80 以下
Ag/AgCl [sat'd KCl] -0.75 以下
Zn +0.25 以下

厭氧性環境
$Cu/CuSO_4$ -0.95 以下
Ag/AgCl [sw] -0.90 以下
Ag/AgCl [sat'd KCl] -0.85 以下
Zn +0.15 以下</td><td>防蝕基準(Ag/AgCl [sw])
防蝕電位 -0.80 V 以下
與自然腐蝕電位相較，往負的方向位移 300 mV 以上

參考電極防蝕電位(單位: V)
$Cu/CuSO_4$ -0.85 以下
SCE -0.78 以下
Zn +0.25 以下
Ag/AgCl [sat'd KCl] -0.75 以下</td></tr>
<tr><td>防蝕電流密度</td><td><u>裸鋼初期防蝕電流密度</u>
海水中 100 mA/m^2
石礫中 50 mA/m^2
海底土中 20 mA/m^2
陸土中 10 mA/m^2

<u>包覆塗裝初期防蝕電流密度</u>
塗裝 20+100S mA/m^2
混凝土 10+100S mA/m^2
有機被覆 100S mA/m^2

S:破損率=$\frac{\text{塗裝或被覆破損面積}}{\text{全部面積}}$</td><td colspan="4">防蝕電流密度(mA/m^2)
<table><tr><th colspan="3" rowspan="2">環 境</th><th colspan="2">陰極防蝕</th><th>複合陰極防蝕</th></tr><tr><th>初期電流密度</th><th>穩定電流密度</th><th>防蝕電流密度</th></tr><tr><td rowspan="6">一般海域
特殊海域</td><td rowspan="2">港灣</td><td>海水中</td><td>100</td><td>50</td><td rowspan="6">為左邊之值乘以 P, P 為塗膜破損或劣化時之裸鋼露出率，約為 0.1 ~ 0.25</td></tr><tr><td>海底土中</td><td>20</td><td>10</td></tr><tr><td rowspan="2">外海</td><td>海水中</td><td>100 x F</td><td>50 x F</td></tr><tr><td>海底土中</td><td>20 x F</td><td>10 x F</td></tr><tr><td rowspan="2">污染</td><td>海水中</td><td>100 x K</td><td>50 x K</td></tr><tr><td>海底土中</td><td>20 x K</td><td>10 x K</td></tr><tr><td rowspan="3">流速</td><td>1 m/s</td><td>160</td><td>80</td></tr><tr><td>2 m/s</td><td>230</td><td>115</td></tr><tr><td>3 m/s</td><td>270</td><td>135</td></tr></table>F 為波浪海流影響因素，約為 1.0 ~ 1.5
K 為污染程度，約為 1.2 ~ 1.5</td><td colspan="2">典型海域的設計基準
<table><tr><th rowspan="2">海域</th><th rowspan="2">比電阻 (Ω.cm)</th><th rowspan="2">溫度 (oC)</th><th colspan="3">防蝕電流密度 (mA/m^2)</th></tr><tr><th>初期</th><th>平均</th><th>穩定</th></tr><tr><td>墨西哥灣</td><td>20</td><td>22</td><td>110</td><td>55</td><td>75</td></tr><tr><td>美國西岸</td><td>24</td><td>15</td><td>150</td><td>90</td><td>100</td></tr><tr><td>庫克灣</td><td>50</td><td>2</td><td>430</td><td>380</td><td>380</td></tr><tr><td>北海北部</td><td>26 ~ 33</td><td>0~ 12</td><td>180</td><td>90</td><td>120</td></tr><tr><td>北海南部</td><td>26 ~ 33</td><td>0~ 12</td><td>150</td><td>90</td><td>100</td></tr><tr><td>秘魯灣</td><td>15</td><td>30</td><td>130</td><td>65</td><td>90</td></tr><tr><td>澳洲</td><td>23 ~ 30</td><td>12~ 18</td><td>130</td><td>90</td><td>90</td></tr><tr><td>巴西</td><td>20</td><td>15~ 20</td><td>180</td><td>65</td><td>90</td></tr><tr><td>非洲西岸</td><td>20 ~ 30</td><td>5~ 21</td><td>130</td><td>65</td><td>90</td></tr><tr><td>印尼</td><td>19</td><td>24</td><td>110</td><td>55</td><td>75</td></tr></table></td></tr>
</table>

<table>
<tr><td>名 稱

(制定機關)</td><td>運輸省港灣局監修
港灣設施之技術基準·同解說(改訂版) (1989.2)

((社)日本港灣協會)</td><td>海域中土木鋼構造物之電氣防蝕設計指針(案)·同解說(1991.3)

(日本建設省土木研究所)</td><td>RP B401 (1993)
Cathodic Protection Design

(DNV)</td><td>BS 7361
Part 1: 1991
Cathodic Protection

(BSI)</td><td>RP0176-94(Rev'd Mar. 1994)
Corrosion Control of Steel Fixed Offshore Platforms Associated with Petroleum Production (NACE Int'l)</td></tr>
<tr><td>防蝕電流密度</td><td></td><td>
<table>
<tr><td rowspan="2">水深
(m)</td><td colspan="5">防蝕電流密度(A/m²)</td></tr>
<tr><td></td><td>熱帶
(>20°C)</td><td>亞熱帶
(12~20 C)</td><td>溫帶
(7~12°C)</td><td>北極
(<7°C)</td></tr>
<tr><td rowspan="3">0~30</td><td>初期</td><td>0.15</td><td>0.17</td><td>0.20</td><td>0.25</td></tr>
<tr><td>平均</td><td>0.07</td><td>0.08</td><td>0.10</td><td>0.12</td></tr>
<tr><td>穩定</td><td>0.09</td><td>0.11</td><td>0.13</td><td>0.17</td></tr>
<tr><td rowspan="3">> 30</td><td>初期</td><td>0.13</td><td>0.15</td><td>0.18</td><td>0.22</td></tr>
<tr><td>平均</td><td>0.06</td><td>0.07</td><td>0.08</td><td>0.10</td></tr>
<tr><td>穩定</td><td>0.08</td><td>0.09</td><td>0.11</td><td>0.13</td></tr>
</table>
溫度為年平均之水表面溫度

塗膜損壞率 fc [損壞係數 x 100 (%)]
fc (平均)= K1 + K2 x 設計耐用年數/2
fc (最終)= K1 + K2 x 設計耐用年數

塗膜損壞係數
<table>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">分類
水深
(m)</td><td colspan="4">塗裝種類</td></tr>
<tr><td>I</td><td>II</td><td>III</td><td>IV</td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td>Primer 1 層
DFT= 50 μm</td><td>Primer 1 層+
至少
中/上塗 1 層
DFT min.=
150~250μm</td><td>Primer 1 層+
至少
2 層中/上塗
DFT min.=
300μm</td><td>Primer 1 層+
至少
中/上塗 3 層
DFT min.=
450μm</td></tr>
<tr><td></td><td>K1</td><td>0.10</td><td>0.05</td><td>0.02</td><td>0.02</td></tr>
<tr><td>0~30</td><td>K2</td><td>0.10</td><td>0.03</td><td>0.015</td><td>0.012</td></tr>
<tr><td>> 30</td><td>K3</td><td>0.05</td><td>0.02</td><td>0.012</td><td>0.012</td></tr>
</table>
DFT:乾膜厚度</td><td>防蝕電流密度

<u>海水中</u>
(25Ω.cm)
初期= 100 mA/m²
穩定=30 ~ 70 mA/m²

<u>海底土中</u>
10 ~ 30 mA/m²

<u>塗裝初期</u>
(如 tar epoxy,厚度 =0.2 mm)
5 mA/m²</td><td></td></tr>
</table>

名稱 (制定機關)	運輸省港灣局監修 港灣設施之技術基準·同解說 (改訂版) (1989.2) ((社)日本港灣協會)	海域中土木鋼構造物之電氣防蝕設計指針(案)·同解說 (1991.3) (日本建設省土木研究所)	RP B401 (1993) Cathodic Protection Design (DNV)	BS 7361 Part 1: 1991 Cathodic Protection (BSI)	RP0176-94(Rev'd Mar. 1994) Corrosion Control of Steel Fixed Offshore Platforms Associated with Petroleum Production (NACE Int'l)

犧牲陽極 — 電位、有效電流量及消耗量

特性		Al-Zn-In		純鋅、鋅合金
比重		2.6 ~ 2.8		7.14
開路陽極電位 (V vs. SCE)		1.08		1.03
對鐵的有效電位 (V)		0.25		0.20
理論發生電量 (A·h/g)		2.87		0.82
海水中 1 mA/cm^2	電流效率 (%)	80	90	95
	實際發生電量 (A·h/g)	2.30	2.60	0.78
	消耗量 (kg/A·yr)	3.8	3.4	11.8
土中 0.03 mA/cm^2	電流效率 (%)	65*		65
	實際發生電量 (A·h/g)	1.86*		0.53

* 依陽極組成成份而有所變異

特性		純鎂、Mg-Mn	Mg-6Al-3Zn
比重		1.74	1.77
開路陽極電位 (V vs. SCE)		1.56	1.48
對鐵的有效電位 (V)		0.75	0.65
理論發生電量 (A·h/g)		2.20	2.21
海水中 1 mA/cm^2	電流效率 (%)	50	55
	實際發生電量 (A·h/g)	1.10	1.22
	消耗量 (kg/A·yr)	8.0	7.2
土中 0.03 mA/cm^2	電流效率 (%)	40	50
	實際發生電量 (A·h/g)	0.88	1.11

海水中

特性	鋁合金	鋅合金	Mg 合金
開路電位 (V vs. SCE)	-1.08 ~ -1.15	-1.10	-1.50
陽極效率 (%)	80 ~ 95	95	50
發生電量 (A·h/kg)	2300 ~ 2750	780	1100

海水中

陽極材料	陽極電位 (V)	有效電量 (A·h/kg)
Al-Base	-1.05	2000 2500 max.
Zn-Base	-1.00	700 750 max.

陽極電位 (vs. Ag/AgCl [sw])

海底土中

陽極材料	陽極電位 (V)	有效電量 (A·h/kg)
Al-Base Zn-Base	-0.95 -0.95	無規定

陽極設計利用率

陽極形狀	陽極利用率
Long slender Stand-off	0.90
Long[1] flush-mounted	0.85
Short[2] flush-mounted	0.80
Bracelet half-shell type	0.80
Bracelet Segmented type	0.75

1)陽極長度≥ 4 x 厚度
2)陽極長度< 4 x 厚度

清淨海水中

陽極材料	陽極電位 Volts	消耗量 kg/A·yr
Mg-Al-Zn	-1.5 ~ -1.7	8
Zn-Al-Cd	-1.05	12
Zn-Hg	-1.05	12
Al-Zn	-0.97	4 ~ 8
Al-Zn-Sn	-1.1~ -1.15	4 ~ 9
Al-Zn-Hg	-1.05	約 3.5

電位 (vs. Ag/AgCl [sw])

海水中

陽極材料	陽極電位 Volts	有效電量 A·h/kg	消耗量 kg/A·yr
Al-Zn-Hg	-1.0 ~ -1.05	2760 ~ 2840	3.2 ~3.1
Al-Zn-In	-1.05 ~ -1.10	2290 ~ 2600	3.8 ~ 3.4
Al-Zn-Sn	-1.05 ~ -1.10	930 ~ 2600	9.5 ~ 3.4
Zn(MIL-A-1800lj)	-1.0 ~ -1.05	770 ~ 820	11.2 ~ 10.7
Mg(H-1 Alloy)	-1.0 ~ -1.05 -1.4 ~ -1.6	1100	8.0

第三章　陰極防蝕系統設計

3.1 陰極防蝕系統選擇

陰極防蝕工法有犧牲陽極式與外加電流式。針對防蝕效果考量，只要能維持防蝕電位，任何一種工法皆可採用。

解說：

1. 港灣鋼構造物陰極防蝕工法多採用犧牲陽極方式，但在河川或各種排水流入海水或是流速較大的環境，宜考慮使用外加電流方式。

2. 陰極防蝕系統選擇流程如圖 3.1.1 所示。

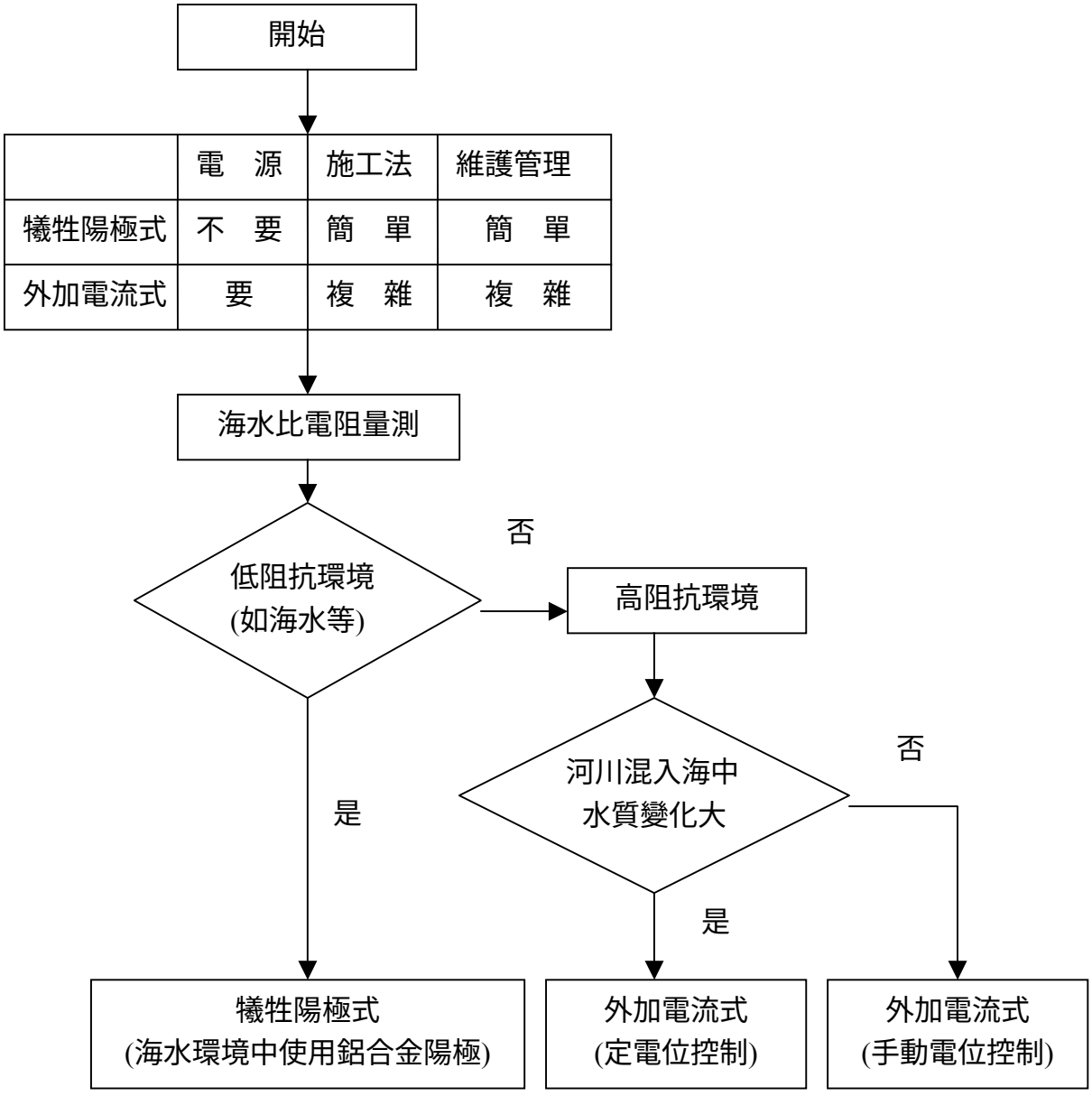


圖 3.1.1　陰極防蝕系統選擇流程圖

3.2 犧牲陽極式

3.2.1 設計基本方針

設計時須考慮下列事項，以確保防蝕電位。

(1) 環境條件、被保護構造物表面狀態及防蝕電流密度。

(2) 調查被保護構造物所在環境的海水比電阻值。

(3) 陽極材料與性能。

(4) 陽極配置。

(5) 維護管理。

解說：

1. 防蝕電流密度的選定須考慮被保護構造物所處環境並依據 2.6 節與 2.7 節決定之。海水比電阻將會影響犧牲陽極的放電量，設計前必須進行現地調查。

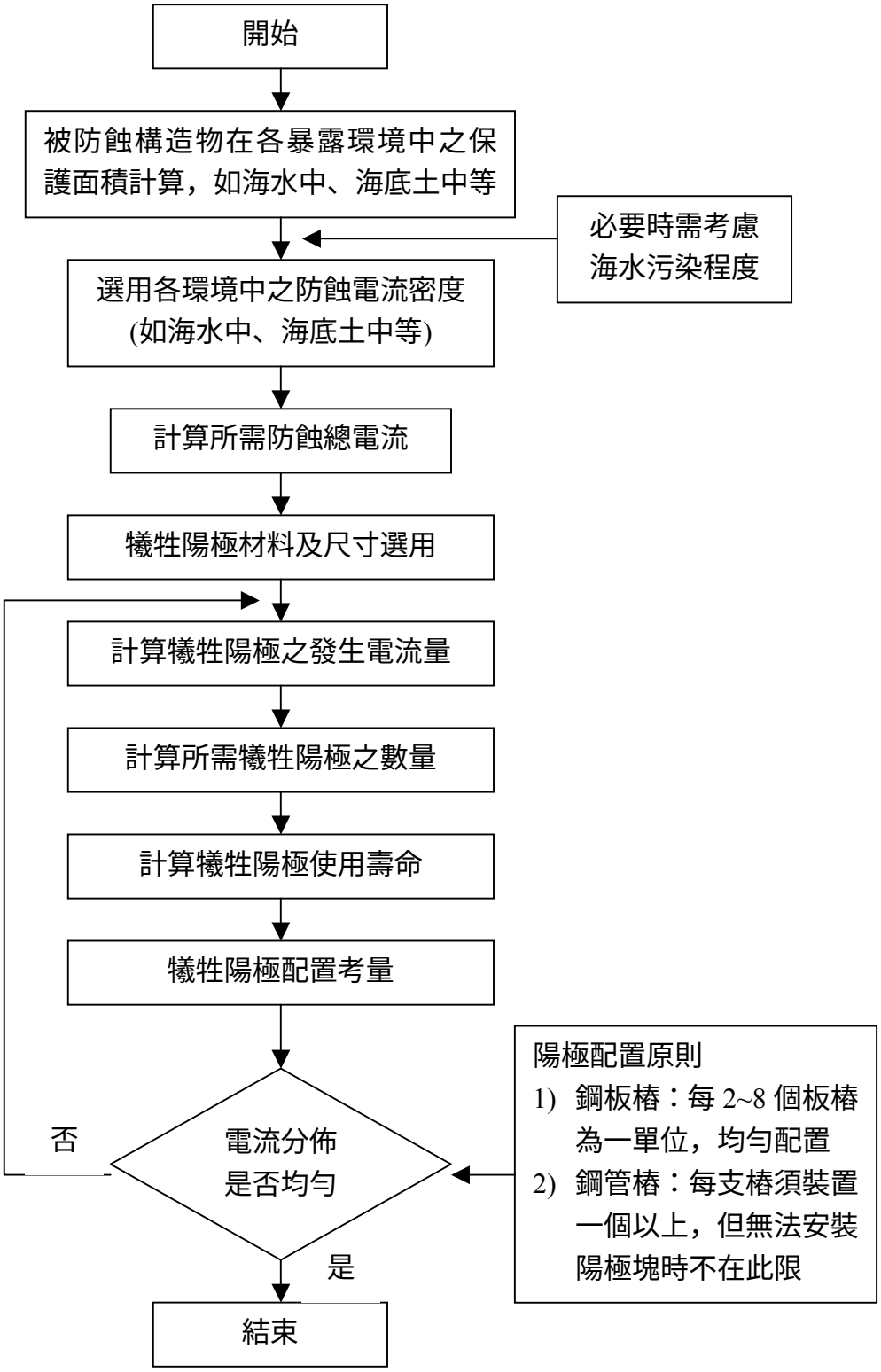
2. 犧牲陽極材料有鋁合金、鋅合金、鎂合金等陽極材料，選用標準以陽極特性及適合環境考慮。鋁合金陽極單位質量的發生電量大，有優越的經濟性，適用於海水、海底土中。鋅合金陽極，電流效率高、消耗率低，適用於溫水及海水等環境。鎂合金陽適用於高阻抗的環境，在海水中消耗速率快，若需使用，須特別考慮陽極使用年限。

3. 犧牲陽極應均勻的佈置於被保護結構設施上，且第一塊犧牲陽極頂端應低於平均低潮位下 30 cm。對鋼板樁而言，原則上以每 2~8 支板樁為一單位，配置在鋼板樁凸部；若不得已需安裝在凹部，則電位分布不均的問題宜加注意。對鋼管樁而言，每支樁須裝置一塊以上；但無法安裝陽極塊時不在此限，在此條件下，各鋼管樁之間須使用適當尺寸的鋼條或導線相連接，使被保護體電連通。

4. 鋼板樁間的縫隙，不須使用導線使之電連通，因縫隙間的海水會使陰極防蝕迴路導通。犧牲陽極式的陰極保護，驅動電壓低，迴路電阻大(鋼板樁與鋼板樁間接觸不完全)，以致迴路之電流小，無雜散電流腐蝕之虞。

5. 固定位置之電位測試端子配置，以 50 m ~ 100 m 間隔為原則。若鋼管樁相互間無電連通，則固定位置電位端子所測得之電位，為端子焊接之單樁電位。

3.2.2 設計流程


開始
被防蝕構造物在各暴露環境中之保護面積計算，如海水中、海底土中等
必要時需考慮海水污染程度
選用各環境中之防蝕電流密度(如海水中、海底土中等)
計算所需防蝕總電流
犧牲陽極材料及尺寸選用
計算犧牲陽極之發生電流量
計算所需犧牲陽極之數量
計算犧牲陽極使用壽命
犧牲陽極配置考量
電流分佈是否均勻
否
是
陽極配置原則
1) 鋼板樁：每 2~8 個板樁為一單位，均勻配置
2) 鋼管樁：每支樁須裝置一個以上，但無法安裝陽極塊時不在此限
結束

3.2.3 保護面積計算

港灣設施保護面積包括海水中面積與海底土中面積。

解說：

1. 浸漬於海水中鋼構造物的長度原則上是以平均低潮位(M.L.W.L.)以下至海床間的區域計算。但若考慮水深測量的誤差，必要時可以平均潮位(M.W.L.)以下至海底土間的區域計算。示意圖如圖3.2.3.1 所示。

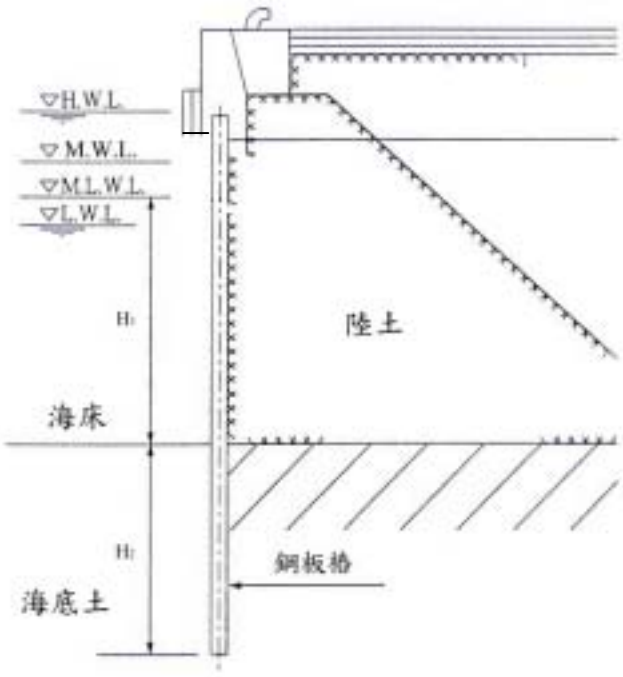


圖 3.2.3.1 海水中鋼板樁長度計算示意圖

2. 依鋼樁的型式，計算保護面積：

(1) 鋼板樁

海水中面積 $A_{s1} = n \times L \times H_1$

式中， A_{s1}=鋼板樁海水中面積，m^2

L=鋼板樁岸壁長度，m

H_1=海水中長度，m

n=鋼板樁周邊係數(依鋼板樁型式而異，如表 3.2.3.1 所示)

海底土中面積 $A_{s2}= n \times L \times H_2$

式中， A_{s2}=鋼板樁海土中面積，m^2

L=鋼板樁岸壁長度，m

H_2=海底土中長度，m

n=鋼板樁周邊係數

(2) 鋼管樁

海水中面積 $A_{p1}= \pi D \times H_1 \times N$

式中， A_{p1}=鋼板管海水中面積，m^2

D=鋼管樁直徑，m

H_1=海水中長度，m

N=鋼管樁支數

海底土中面積 $A_{p2}=\pi D \times H_2 \times N$

式中， A_{p2}=鋼板樁海土中面積，m^2

D=鋼管樁直徑，m

H_2=海底土中長度，m

N=鋼管樁支數

表 3.2.3.1　日本各類鋼板樁周邊係數(依鋼板樁型式而異)

種　　類			係數	種　　類			係數
U型鋼板樁	YSP-I	I	1.25	Z型鋼板樁	YSPZ-14	Z14	1.6
	YSP-II　NKSP-II	II	1.35		YSPZ-25　FSPZ-25 NKSPZ-25　KSPZ-25	Z25	1.8
	YSP-III　NKSP-III	III	1.45				
	YSP-IV　NKSP-IV	IV	1.6		YSPZ-32　FSPZ-32 NKSPZ-32　KSPZ-32	Z32	1.85
	YSP-V	V	1.65				
	YSP-U_5　NKSP-U_5	U_5	1.3		YSPZ-38　FSPZ-38 NKSPZ-38　KSPZ-38	Z38	1.9
	YSP-U_9　NKSP-U_9	U_9	1.4				
	YSP-U_{15}　NKSP-U_{15}	U_{15}	1.55		YSPZ-45　FSPZ-45 NKSPZ-45　KSPZ-45	Z45	1.95
	YSP-U_{23}　NKSP-U_{23}	U_{23}	1.7				
U型鋼板樁	FSP-II　NKSP-$II_{(L)}$ KSP-II　SKSP-II	II	1.55	H型鋼板樁	YSP-B66 YSP-B74 KSP-H		1.2
	FSP-III　NKSP-$III_{(L)}$ KSP-III　SKSP-III	III	1.65	直線型鋼板樁	YSP-F　FSP-F KSP-F		1.1
	FSP-IV　NKSP-IV (L) KSP-IV　SKSP- IV	IV	1.85		YSP-F_A　FSP- F_A KSP- F_A	F_A	1.1
	FSP-I_A　NKSP- I_A KSP- I_A　SKSP- I_A	I_A	1.4		YSP- F_x　KSP- F_x	F_x	1.1
	FSP-II_A　NKSP-II_A KSP-II_A　SKSP-II_A	II_A	1.6	鋼管板			1.57
	FSP-III_A　NKSP-III_A KSP-III_A　SKSP-III_A	IV_A	1.7				
	FSP-IV_A　NKSP-IV_A KSP- IV_A　SKSP- IV_A	IV_A	1.8				
	FSP-V_L　NKSP-V_L KSP-V_L　SKSP-V_L	V_L	1.7				
	FSP-VI_L　NKSP-VI_L KSP-VI_L　SKSP-VI_L	VI_L	1.75				

資料來源：「海域中土木鋼構造物之電氣防蝕設計指針(案)·同解說」， 日本建設省土木研究所，1991。

3.2.4 防蝕電流計算

$$I = \sum_i i_i \times A_i$$

式中， I=所需防蝕總電流，mA

i_i=各環境採用之防蝕電流密度(初期防蝕電流密度)，mA/m^2

A_i=海水中與海底土中之保護構造物面積，m^2

解說：

1. 防蝕電流密度的選用因構造物所在的環境而不同，依據 2.6 節與 2.7 節決定。

(1) 裸鋼

環　境			陰極防蝕
			初期防蝕電流密度(mA/m^2)
一般海域	港灣	海水中	100
		石礫中	50
		海底土中	20
	外海	海水中	150
		石礫中	75
		海底土中	30
特殊海域	污染	海水中	150
		石礫中	75
		海底土中	30
	流速	1 m/s	160
		2 m/s	230
		3 m/s	270

(2) 塗裝被覆鋼構造物

塗裝= 20 + i x B mA/m^2

混凝土= 10 + i x B mA/m^2

有機被覆= i x B mA/m^2

i：防蝕電流密度值，依 2.6 節裸鋼鋼構造物所在環境選用

B : 破損率 $= \dfrac{\text{塗裝或被覆破損面積}}{\text{全部面積}}$

3.2.5 犧牲陽極發生電流量計算

為確保選用之犧牲陽極可有效供給陰極防蝕所需之保護電流，犧牲陽極之發生電流量必須計算。

$$I_g = \frac{E}{R_a} \times 1000$$

式中， I_g=每塊犧牲陽極的發生電流，mA

E=有效電位差(驅動電壓)，V，鋅合金陽極為 0.2 V，鋁合金陽極為 0.25 V

R_a=犧牲陽極對海水的電阻，Ω

解說：犧牲陽極對海水電阻之計算，依犧牲陽極的形狀，如下：

(1) 長條棒狀陽極[1](與被保護構造物表面距離 ≥ 30 cm，且 L ≥ 4r)

$$R_a = \frac{\rho}{2\pi L}\left(\ln\frac{4L}{r} - 1\right)$$

式中， R_a=犧牲陽極對海水的電阻，Ω

ρ=海水比電阻，Ω·cm，視海域而定

L=陽極長度，cm

r=陽極半徑(或陽極等效半徑)，cm

若陽極非圓柱體，則陽極等效半徑 r

$$r = \sqrt{\frac{C}{\pi}}$$

C=陽極的斷面面積，cm^2

(2) 長條棒狀陽極[2] (與被保護構造物表面距離 $\geq$ 30 cm，且 L < $4r$)

$$\mathrm{Ra} = \frac{\rho}{2 \times L}\left\{\ln\left[\frac{2L}{r}\left(1+\sqrt{1+\left(\frac{r}{2L}\right)^2}\right)\right]+\frac{r}{2L}-\sqrt{1+\left(\frac{r}{2L}\right)^2}\right\}$$

式中， R_a=犧牲陽極對海水的電阻，Ω

ρ=海水比電阻，Ω·cm

L=陽極長度，cm

r=陽極半徑(或陽極等效半徑)，cm

若陽極非圓柱體，則陽極等效半徑 r

$$r = \sqrt{\frac{C}{\pi}}$$

C=陽極斷面面積，cm^2

(3) 板狀陽極[2]

$$R_a = \frac{\rho}{2S}$$

式中， R_a=犧牲陽極對海水的電阻，Ω

ρ=海水比電阻，Ω·cm

S=陽極長度與寬度的平均值，cm

(4) 其他形狀之陽極[2]

$$R_a = \frac{0.315\rho}{\sqrt{A}}$$

式中， R_a=犧牲陽極對海水的電阻，Ω

ρ=海水比電阻，Ω·cm

A=陽極的表面積，cm^2

註：

[1] Dwight, H.B., “Calculation of Resistance to Ground”, Electrical Engineering 55, 12 (1936): pp. 1319-1328.

[2] McCoy, J.E., “Corrosion Control by Cathodic Protection”, Transactions of the Institute of Marine Engineering, 82, No. 6, June, 1970, pp. 82-86.

3.2.6 犧牲陽極用量計算

浸入海水中(或海土中)所需犧牲陽極的塊數

$$N_i = \frac{i_i \times A_i}{I_g}$$

式中， N_i=浸入海水中(或海土中)被保護部位所需犧牲陽極的塊數

i_i=各環境採用之防蝕電流密度(初始極化防蝕電流密度)，mA/m^2

A_i=海水中(或海土中)之保護構造物面積，m^2

I_g=每塊犧牲陽極的發生電流，mA

所需犧牲陽極總塊數

$$N = (\sum N_i) \times (1 + \text{餘裕係數})$$

解說：餘裕係數為 10% ~ 20%。

3.2.7 陽極壽命計算

$$L = \frac{N \times W \times u}{Q \times I_{avg}}$$

式中，L=陽極使用壽命，year (yr)

N=被保護設施所需陽極總塊數

W=每塊陽極原始重量，kg

Q=陽極消耗量，kg/A·yr

I_{avg}=構造物在保護期間內之平均保護電流，A ；通常約為極化保護電流密度計算出總電流之 0.5 ~ 0.55 倍，在污染海域中約為 0.67 倍

u=陽極利用率，長條棒狀陽極為 0.90 ~ 0.95，鐲式(Bracelet)陽極為 0.75 ~ 0.80，其他形狀為 0.75 ~ 0.90

3.2.8 犧牲陽極配置考量

犧牲陽極應均勻的佈置於被保護結構設施上，且第一塊犧牲陽極頂端應低於平均低潮位下 30 cm。對鋼板樁而言，原則上以每 2~8 支板樁為一單位，配置均勻。對鋼管樁而言，每支樁須裝置一塊以上；但無法安裝陽極塊時不在此限，在此條件下，各鋼管樁之間須使用適當尺寸的鋼條或導線相連接，使被保護體電連通。

3.3 外加電流式

3.3.1 設計基本方針

設計時須考慮下列事項，以確保防蝕電位。

(1) 環境條件、被保護構造物表面狀態及防蝕電流密度。

(2) 陽極材料與性能。

(3) 陽極配置。

(4) 配線安裝須符合國內電力相關法規。

(5) 電源電壓。

(6) 被保護構造物的電連通性。

(7) 雜散電流腐蝕之影響。

解說：

1. 防蝕電流密度的選用須考慮被保護構造物所處環境並依據 2.6 節與 2.7 節決定。

2. 外加電流式陰極保護所使用的陽極材料與犧牲陽極式不同，多採用不溶性或消耗率低的合金金屬。在海水中，使用鈦鍍白金(platinized titanium)或鈦基材外覆金屬氧化物(titanium coated with the mixture of noble and non-noble metal oxides)等陽極。

3. 陽極配置間隔以被保護構造物能獲得均等電位分布為原則。

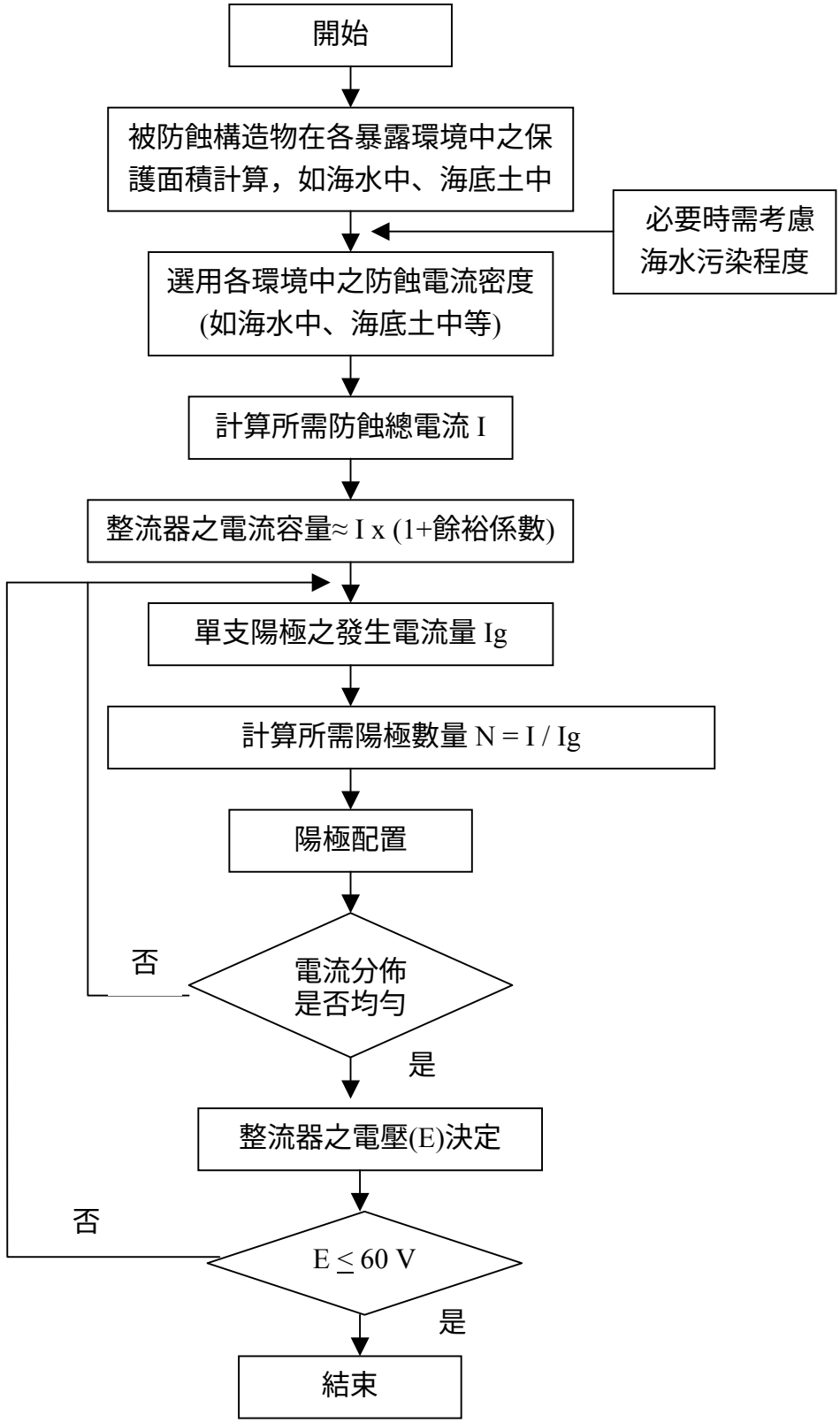
4. 直流電源之電源電壓應在 60 V 以下。使用設備若有 CNS 規範者必須符合 CNS 規範性能。

5. 雜散電流是指電流流動路徑並非原先規劃的電路迴路。假若陽極與被防保護構造物間有其他金屬結構時，電流將沿該金屬傳遞，當電流離開金屬再度進入海水中時，在電流離開的金屬表面會有

局部腐蝕產生，這現象稱為雜散電流腐蝕。在外加電流式陰極保護下，電路迴路的電流較犧牲陽極式大且迴路電壓高，在鋼板樁或鋼管樁間接觸不完全的狀態下，可能會發生雜散電流腐蝕。為防止雜散電流腐蝕，鋼板樁或鋼管樁間須使用適當尺寸的鋼條或導線相連接，使被保護體電連通。

6. 固定位置之電位測試端子配置，以 50 m ~ 100 m 間隔為原則，並考慮維護管理之便易性。

3.3.2 設計流程


開始
被防蝕構造物在各暴露環境中之保護面積計算，如海水中、海底土中
必要時需考慮海水污染程度
選用各環境中之防蝕電流密度(如海水中、海底土中等)
計算所需防蝕總電流 I
整流器之電流容量≈ I x (1+餘裕係數)
單支陽極之發生電流量 Ig
計算所需陽極數量 N = I / Ig
陽極配置
否
電流分佈是否均勻
是
整流器之電壓(E)決定
否
E ≤ 60 V
是
結束

3.3.3 保護面積計算

港灣設施保護面積包括海水中面積與海底土中面積。

解說：與 3.2.3 節相同。

3.3.4 防蝕電流計算

$$I = \sum_i i_i \times A_i$$

式中， I=所需防蝕總電流，mA

i_i=各環境採用之防蝕電流密度(初始防蝕電流密度)，mA/m^2

A_i=海水與或海土中之保護構造物面積，m^2

解說：與 3.2.4 節相同。

3.3.5 整流器之電流容量

整流器之電流容量= I x (1+餘裕係數)。

解說：餘裕係數為 10% ~ 20%。

3.3.6 陽極之發生電流量

參考由原廠提出之陽極性能技術資料。

3.3.7 單一整流器設計輸出電壓計算

$$E = E_a + E_c + E_w + e \quad \leq 60$$

式中， E=單一整流器輸出最低電壓，V

E_a=陽極對海水電阻產生之電壓降(=所需防蝕總電流 x 陽極對海水電阻)，V

E_c=被保護構造物電壓降，V，(在海水中 E_c=0)

E_w=迴路導線之電壓降，V

e=水的分解電壓，V，(在海水中 e = 2.0 V)

3.3.7 整流器之電壓容量

$$E_{out} = E \times (1 + \text{餘裕係數})$$

式中， E_{out} =單一整流器設計輸出電壓，V

E=單一整流器輸出最低電壓，V

x=餘裕係數

解說：餘裕係數為 10% ~ 20%。

第四章　材料及裝置

4.1 犧牲陽極式

4.1.1 陽極材料要求

(1) 具有相當的活性，且穩定之金屬材料。

(2) 放電時陽極極化小，鈍化不會產生；溶解均勻，反應產物易脫落。

(3) 必須具有較高的電流效率，即實際發生電量與理論發生電量的百分比數要大。

(4) 電化學當量高，即單位重量的放電量大。

(5) 腐蝕產物無毒性，不污染環境。

解說：國外犧牲陽極使用材料，如 2.8 節解說所示。

4.1.2 陽極性能檢驗

依據 CNS 13521「陰極防蝕用犧牲陽極性能檢驗法」之步驟，採集工程現址的水表海水，進行犧牲陽極性能檢驗，項目包括：

(1) 實際發生電量(A·h/kg)

(2) 電流效率(%)

(3) 消耗率(kg/A·yr)

(4) 陽極開路與閉路電位

解說：犧牲陽極的防蝕性能(依陽極材料組成成份而異)，取決於陽極自身的發生電量(A·h/kg)，而發生電量又可分為理論與實際發生電量，當實際發生電量與理論發生電量的百分比數大時，表示電流效率良好。依據 CNS 13521，檢驗項目：

1. 實際發生電量 $(\text{A.h/kg}) = \dfrac{\text{電量計所得之電量 (A.h)}}{\text{陽極減少之重量 (g)}} \times 1000$

2. 電流效率 (%) $= \dfrac{\text{電量計所得之電量 (A.h)} \times 100\%}{\text{陽極減少之重量 (g)} \times \text{理論發生電量 (A.h/kg)}}$

3. 消耗率 (kg/A.yr) $= \dfrac{1}{\text{實際發生電量 (A.h/kg)}} \times 365 \times 24\,(\text{h/yr})$

4. 陽極開路電位即犧牲陽極在電解液中之自然腐蝕電位。閉路電位亦稱為工作電位，為犧牲陽極在電解液中與金屬構造物聯結時之犧牲陽極電位。

4.1.3 陽極電流效率

依據 CNS 13521 檢驗，鋁合金之犧牲陽極電流效率至少須達到90%之標準。

解說：鋁合金陽極塊之陽極性能宜參考下列標準。

項　　目	標　　準
陽極開路電位(-V)	(S.C.E.) ≧ 1.10 $Cu/CuSO_4$ ≧ 1.15 Ag/AgCl/Seawater ≧ 1.10
有效電壓 (V)	≧0.25
理論發生電量 (A.h/kg)	2900± 2%
電流效率 (%)	> 90
有效電量 (A.h/kg)	> 2600
消耗率 (kg/A.yr)	< 3.40

4.2 外加電流式

4.2.1 陽極材料

應選擇消耗率低且具耐久性之合金金屬。

解說：外加電流式陽極材料之消耗率與工作電流密度依材料組成而異，摘錄日本「港灣鋼構造物防蝕、補修手冊(改訂版)」所列，如表 4.2.1 所示。

表 4.2.1 外加電流式陽極材料性能

種　　類	消耗率 kg/A·yr	工作電流密度 mA/m^2		
		海　水	淡　水	土　壤
高矽鐵(Fe-14.5% Si)	0.25 ~ 1.0	-	26	11
高矽鉻鐵(Fe-14.5% Si-4.5% Cr)	0.25 ~ 1.0	26	26	11
鉛合金(Pb-2% Ag)	0.01	500	不適	不適
鉛合金(Pb-6% Sb-1% Ag)	0.09	200	不適	不適
鍍鈦白金(Pt coated Ti)	1.0 E-6	400		
鍍鈮白金(Pt coated Nb)	1.0 E-6	400		80
鍍鉭白金(Pt coated Ta)	1.0 E-6	400		
黑鉛	0.1 ~ 1.0	10 ~ 30	8	8 ~ 11
氧化鐵	0.005 ~ 0.06	＜120	＜120	＜60
碳鋼	5.8 ~ 9.1	無限制	無限制	5
鈦為基材外覆金屬氧化物	0.06	600		

資料來源：日本「港灣鋼構造物防蝕、補修手冊(改訂版)」，1997

4.2.2 交流電源

採用外加電流式陰極保護系統時，現場若有 AC 供電電源，則應提供單相 110/220 volt 或三相 220/480 volt 的電壓, 且交流頻率為 60 Hz。交流電源線路應符合配電規則。

解說：有關電源供應的責任範圍與線路配置，應符合國內電力相關法

規規定。交流電源之相位和電壓等條件，應視電源取得之方便性、安全性、與可靠性而定。

4.2.3 整流器

採用外加電流式陰極保護系統時，整流器的總輸出電流值和電壓量應滿足陰極防蝕系統所須的電流量；且整流器運轉時，必須可在最大輸出的情況下持續操作。

解說：

1. 電氣箱：

整流器應裝設在可耐天候的電氣箱內，以防止灰塵、水分、及鹽分入侵。電氣箱應設於安全地方，並配置輕便鎖。所有整流器電氣箱可共用一鑰匙開啟。

2. 控制和連接：

每一台整流器的輸出應包括下列元件：

(1) 輸出控制分設 AC 側開關及 DC 側開關，且設置 AC 電源供應“on”指示燈、DC 電力輸出“on”指示燈。

(2) 主電源應配置適當的漏電斷路器，以提供短路和過熱保護。

(3) 每一輸入和輸出單元應配置電流表和電壓表，並裝設熔絲斷路器保護。各熔絲應標明電路名稱與額定容量，並貼上標籤。

有鑑於陰極防蝕系統接線錯誤將會造成鋼構造物的嚴重腐蝕，因此，整流器正負端應指定並採用不同尺寸的接線端子，以防止接線錯誤。端子應清晰標示“＋陽極”和“－鋼構造物”。

3. 電子元件

所有電子元件均應鍍錫或在試車後以防水矽膠包覆。整流器在滿

載情況下須可連續操作。整流器之 AC 側須加裝避雷保護裝置，而 DC 側則須加裝漣波濾波器。

4. 整流器檢測

整流器的各項要求於出廠前必須依照合約規定，在滿載狀況下進行測試，並於現場裝設後檢測其漣波率，以驗證整流器功能符合要求。

4.2.4 導線 所有導線應為銅導體，蕊線以絕緣包覆，並以顏色和編號區別。

解說：

1. DC 導線

DC 導線為整流器正端至陽極與整流器負端至鋼構造物間的導線。視通過電流大小，選用適當截面積的銅導線；不論導線為單蕊或多蕊，均須絕緣，並以顏色區分正電導線和負電導線。導線尺寸通常介於 2.5 ~ 16 mm^2，其絕緣包覆為 PVC、HDPE、XLPE 或其他材質。

2. 參考電極導線

參考電極使用的導線應符合第 4.2.4 節的規定。

3. 導線保護

導線應裝設於導管內，或採取其他適當的保護措施。導管採用 PVC 管或鋼套管。進出導管的線路最終須由接線箱連接。

4.3 數位伏特計

陰極保護系統之防蝕效果須使用數位伏特計與參考電極來量測鋼構造物電位。

解說：使用的數位伏特計(DVM)，輸入阻抗值至少為 1 Mega-ohm，解析度至少為 1 mV。

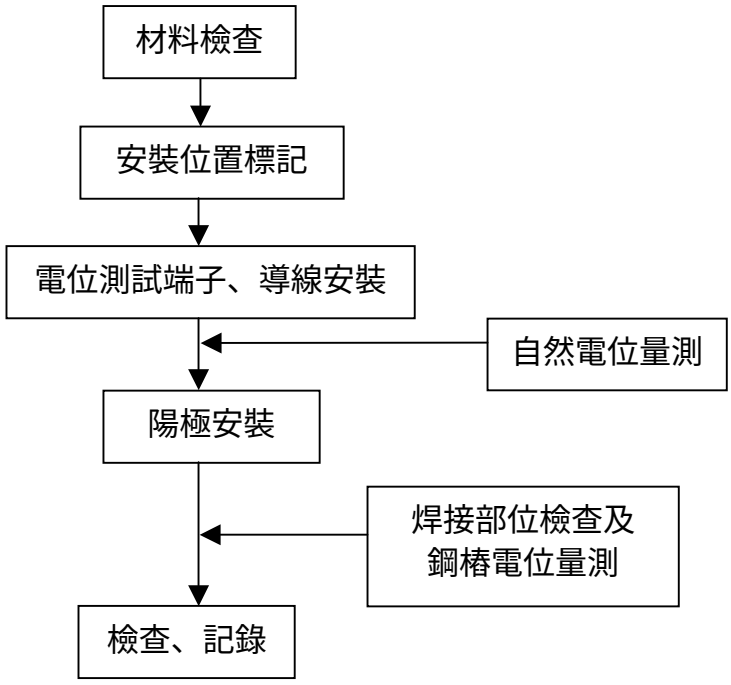
4.4 參考電極

參考電極通常採用海水氯化銀(Ag/AgCl/seawater)參考電極，應具有出廠証明，詳列參考電極類型、理論電位、和相對於其它標準電極之測試電位。

第五章　系統安裝

5.1 犧牲陽極式

犧牲陽極可採用水中焊接法或螺栓固定法安裝。施工步驟如下：



5.1.1 材料檢查

施工前須進行材料數量確認，尺寸、質量之抽樣檢查。

解說：施工前進行之檢查作業包括材料數量確認，尺寸、質量抽樣檢查；各陽極的形狀尺寸容許範圍在± 5%以內、質量容許範圍在2%以內。抽檢數量宜為 50%。

5.1.2 安裝位置標記

依照圖面設計，於鋼構造物上標示陽極與電位測試端子安裝位置。

解說：

1. 犧牲陽極應均勻的佈置於被保護結構設施上，且第一塊犧牲陽極頂端應低於平均低潮位下 30 cm。對鋼板樁而言，原則上以每 2~8 支板樁為一單位，配置在鋼板樁凸部；若不得已需安裝在凹部，則電位分布不均的問題應加注意。對鋼管樁而言，每支樁須裝置一塊以上；但無法安裝陽極塊時不在此限，在此條件下，各鋼管樁之間須使用適當尺寸的鋼條或導線相連接，使被保護體電連通。

2. 固定位置電位測試端子配置，以 50 m ~ 100 m 間隔為原則。

5.1.3 電位測試導線安裝

將導線焊接至鋼構造物上，並在焊接處加以密封防水。

5.1.4 陽極安裝

在標示的位置安裝陽極。安裝時，以起重機或人力方式將犧牲陽極吊至設計水深，以水中焊接或螺栓固定方式將陽極固定於鋼構造物上。焊接前須將焊接處表面的海生物與浮銹去除，焊接後須將殘渣去除，目視檢查焊接狀況並照相確認之。

5.1.5 電位量測

將鋼構造物的電位測試導線接於電位計”＋”端，海水氯化銀(Ag/AgCl/seawater)參考電極接於電位計”－”端，量測電位。

解說：如圖 5.1.5 所示。

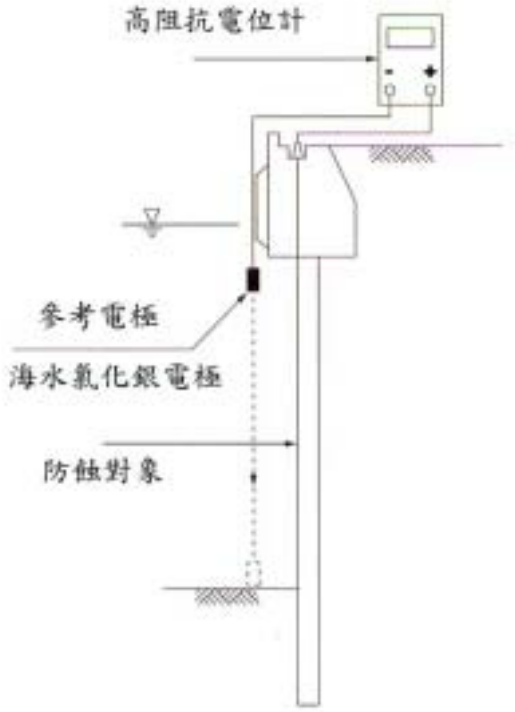
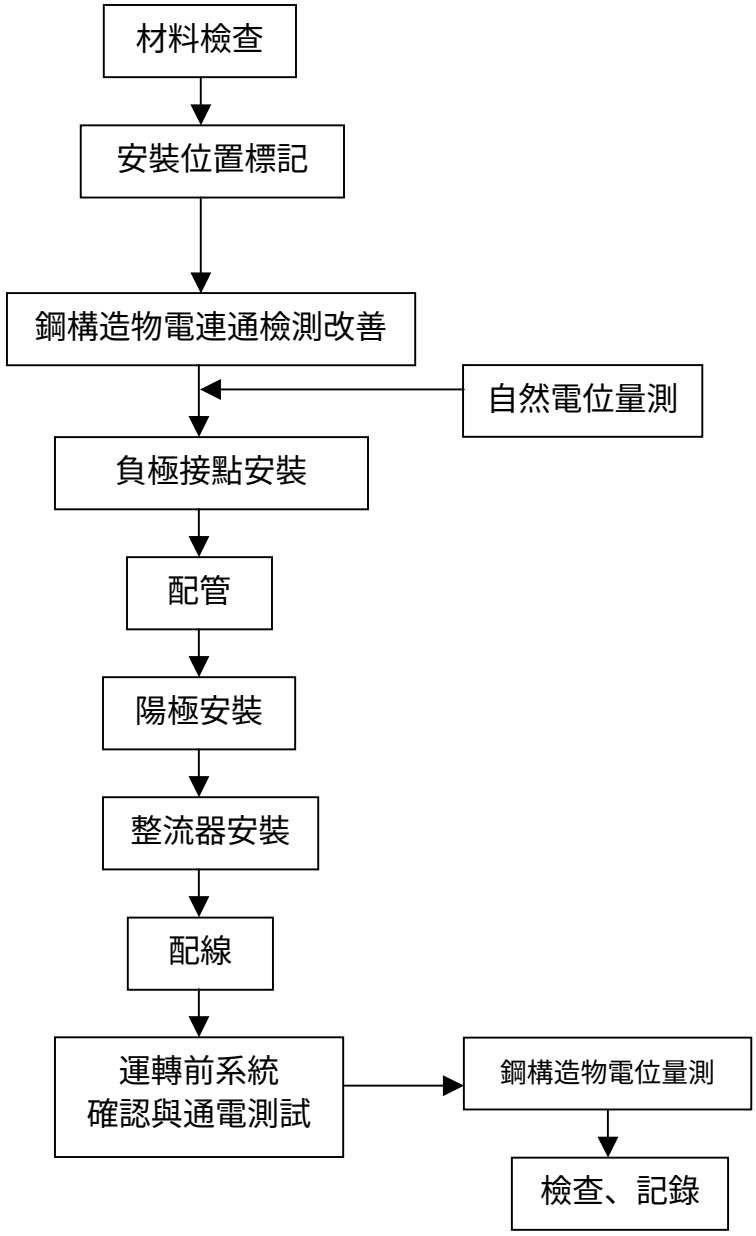


圖 5.1.5 電位量測示意圖

5.2 外加電流式

5.2.1 施工步驟：



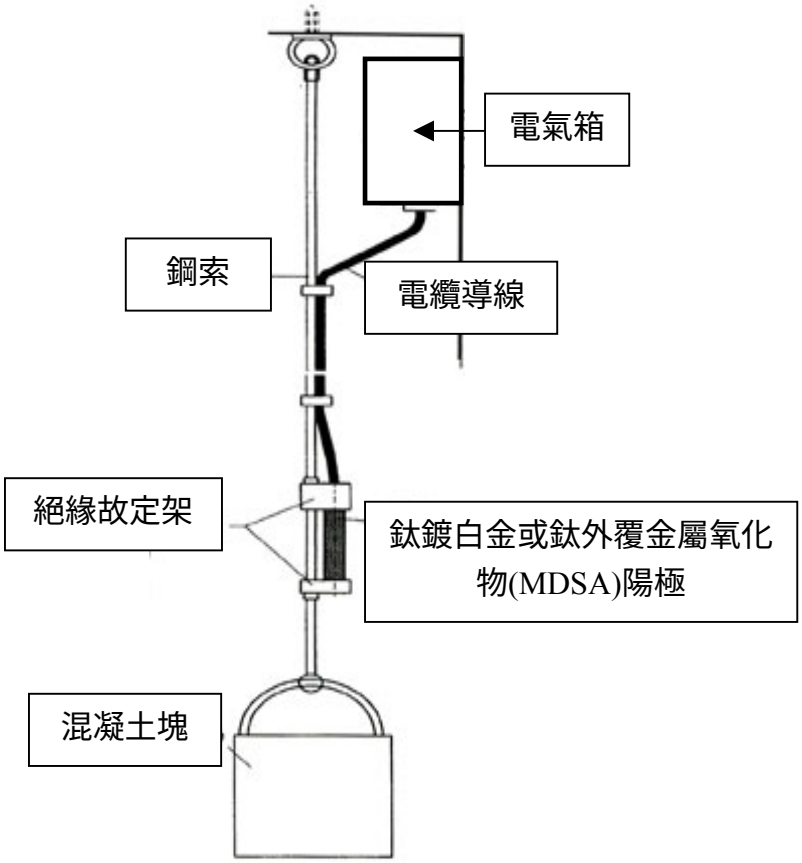
5.2.2 材料檢查

施工前須進行材料數量確認，尺寸、質量之抽樣檢查。

5.2.3 鋼構造物電連通改善

鋼板樁或鋼管樁間須使用適當尺寸的鋼條或導線相連接，使被保護體電連通，即電阻值低於 1 ohm。

5.2.4 陽極安裝



解說：陽極與被保護構造物間距離至少相距 1.5 m 以上；當其間距離增加，雖然保護電位可均勻分布，但亦會造成電纜壓降的增加，且容易對相鄰構造物產生雜散電流干擾。

5.2.5 負極排流及電位測試導線安裝

依照圖面設計位置，將負極排流及電位測試導線焊接於鋼構造物上，並在焊接處加以密封防水。

5.2.6 整流器安裝

整流器應裝設於圖示位置的電氣箱內。整流器的所有金屬零件，應使用連接器與現有接地系統相連接，或依照國內電工法規規定和標準，設計獨立的接地系統。

5.2.7 導線安裝

所有導線包括 AC 電源線、DC 電源線等，應置於導管內，且導線接續僅限於接線箱內接續，線路長度須適當配置。若發現導線絕緣損壞或線路打結，應立即更換。陰極防蝕系統測試前，所有 DC 線路和儀錶線路應進行電連通和極性(polarity)測試，避免線路接錯或短路。配線施工應依照國內電工法規規定和標準裝設。

5.2.8 運轉前系統確認與通電測試

系統運轉前應先進行測試，以確保所有構件安裝、連結迴路均已正確的配線、連接、和標示；並檢測各迴路之電連通性。通電測試應設定整流器輸出值為設計保護電流量之 20%，使用適當的伏特計和參考電極，量測鋼構造物電位變化方向，以確定 DC 輸出的正確極性。

5.3 完工檢查

完工時，除了對工程紀錄照片等進行檢查外，亦須進行構造物的防蝕電位量測。

解說：

1. 確認是否依據設計圖施工。
2. 確認被保護構造物防蝕電位值是否為-800 mV (vs. Ag/AgCl/seawater)或更”負”。

第六章　系統驗收

6.1 防蝕性能驗收

被保護構造物之防蝕電位值，須達到-800 mV (vs. Ag/AgCl/seawater)或更”負”之標準。

6.2 書面資料

陰極防蝕系統驗收完成後，必須保存設計、安裝、操作、和維護手冊資料等相關紀錄和文件。

6.2.1 犧牲陽極式

犧牲陽極式陰極防蝕系統驗收完成後，須保存相關紀錄和文件。

解說：本準則建議系統設計、安裝、操作、和維護手冊需包含以下資料。

1. 設計和安裝
   - 陽極材料
   - 陽極安裝
   - 導線、導管
   - 被保護構造物電通性與連接方法
   - 犧牲陽極塊、負極接點與電位量測端子位置
   - 施工日期和時間(說明安裝問題和解決方法)

2. 操作和維護手冊

手冊應包含系統操作所需的資料。包括：詳細圖說、使用材料性能資料、檢測結果數據等：

A 節－操作

- 系統說明、裝設時間、作用原理
- 防蝕電位標準
- 執行檢測的步驟、位置、接點、監測結果之判斷
- 系統監控－檢測步驟之檢查表與保存之記錄清單

B 節－維護

- 所有設備安裝的技術資料
- 日常維護和操作的指引，包括檢查步驟、診斷與接線圖
- 陽極製造商詳細資料和備用品清單
- 陽極更新程序，包括使用材料與工具資料

6.2.2 外加電流式

外加電流式陰極防蝕系統驗收完成後，須保存相關紀錄和文件。

解說：本準則建議系統設計、安裝、操作、和維護手冊需包含以下資料。

1. 設計和安裝
   - 陽極材料
   - 陽極安裝
   - 導線、導管與接線箱
   - 被保護構造物電通性與連接方法
   - 負極接點與電位量測端子位置
   - 電源、接地、與固定方式

- 施工日期和時間(說明安裝問題和解決方法)
- 整流器之電壓與電流的最大容許值

2. 操作和維護手冊

手冊應包含系統操作所需的資料。包括：詳細圖說、電路圖、使用材料性能資料、試驗結果數據、與操作程序等：

A 節－操作

- 系統說明、裝設時間、作用原理
- 防蝕電位標準
- 電源系統之詳細資料、額定值、固定構件、保護系統、接地、控制等
- 系統操作方法、調整時機、控制功能、操作限度、關閉和重新通電程序
- 執行量測的步驟、位置、接點、監測結果之判斷
- 系統監控－建議試驗方案、完成標準試驗之步驟檢查表、需保存之記錄清單

B 節－維護

- 所有設備安裝的技術資料
- 日常維護和操作的指引，包括故障檢查步驟、診斷、整流指引和接線圖
- 製造商詳細資料和備用品清單
- 陽極更新程序，包括使用材料與工具資料

第七章　系統維護及管理

7.1 一般

陰極防蝕的維護管理應依據維護管理計畫確實執行。

7.2 檢查頻率

維護管理分為一般檢查與詳細檢查。一般檢查的項目為電位量測；詳細檢查為目視檢測、電位量測與陽極調查。一般檢查之頻率為完工驗收後第一年每季一次，之後，每年進行一次檢查；詳細檢查為每五年一次。

解說：依檢查頻率進行維護管理，但當一般檢查發生問題時須立即進行詳細檢查。

7.3 一般檢查

7.3.1 電位量測

一般檢查的電位量測為沿碼頭法線方向，以 50 m ~ 100 m 間隔，使用海水氯化銀參考電極與電位計，沿構造物深度方向以 1 m 或適當的間隔進行電位量測。若碼頭上已設置固定電位測試端子，則於端子位置進行量測。

7.4 詳細檢查

7.4.1 目視檢測

派遣潛水夫於水下進行近距離目視檢查，注意構造物與犧牲陽極塊是否有任何損壞、腐蝕或變化的位置及其程度。

7.4.2 電位量測

以檢測率 20%以上為目標，沿碼頭法線方向每 3 m ~ 5 m 進行被保護構造物之電位量測，在棧橋式碼頭之鋼管樁則以前列樁為檢測對象。構造物深度方向，以 1 m 或適當的間隔進行電位量測。

7.4.3 犧牲陽極調查

犧牲陽極調查是針對陽極安裝情形與陽極消耗量等相關事項進行調查。陽極安裝情形係指陽極安裝數量的確認，陽極消耗量則是選擇陽極數量之 5 % ~10 %進行調查，由潛水夫水下量測陽極尺寸，或切斷陽極蕊心移至陸地上秤重，計算陽極消耗量及剩餘使用年限。秤重完成後，再將陽極安裝回原位置。

解說：陽極尺寸與陽極秤重時，陽極表面附著的海生物與腐蝕產物須先清除，陽極消耗量及壽命之計算如下。

1. 依據剩餘陽極形狀尺寸(如圖 7.4.3.1 所示)之計算法：

$$\text{陽極剩餘重量} = \left[(D/4)^2 \cdot l - \text{蕊心體積}\right] \times \text{陽極密度}$$

式中，

D：平均周長 $= (D_1 + D_2 + D_3) / 3$

D_1，D_3：距離蕊心端約 10 cm 之剩餘陽極周長

D_2：剩餘陽極中央周長

l：剩餘陽極長度

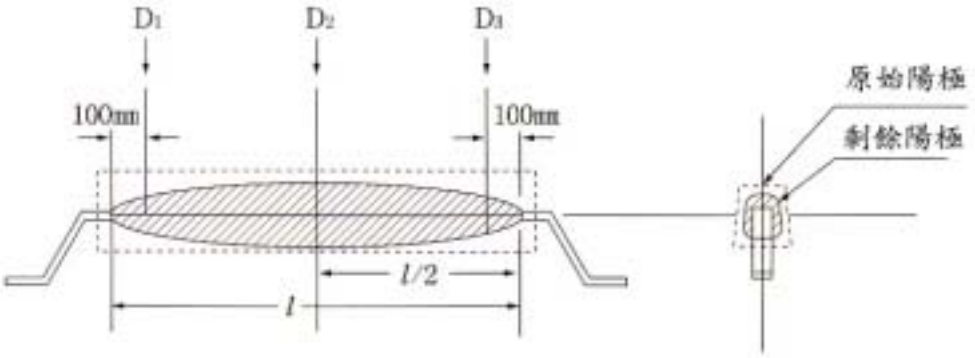


圖 7.4.3.1 剩餘陽極形狀尺寸計算

2. 陽極秤重：切斷蕊心焊接處並打撈至陸地上後秤量，扣除陽極內蕊心金屬的重量，即得陽極剩餘重量。

3. 陽極壽命計算

$$\text{陽極年平均消耗量} = \frac{\text{陽極初期重量} - \text{陽極剩餘重量}}{\text{經過年數}}$$

$$\text{推估剩餘使用年限} = \frac{\text{陽極剩餘重量}}{\text{陽極年平均消耗量}}$$

7.5 防蝕性能標準

被保護構造物之防蝕電位值，至少須達到-800 mV (vs. Ag/AgCl/seawater)之標準。

7.6 防蝕效能評估

依據電位量測及陽極調查結果進行陰極防蝕效能評估。

解說：電位測定結果如在防蝕保護電位-800 mV (vs. Ag/AgCl/seawater) 以下或更”負”，則被保護構造物維持防蝕狀況；若電位在-800 mV 以上或更”正”時，則其部份保護不足，須做詳細檢查。可參考前次檢查結果探究原因，制訂對策與未來運轉建議。

7.7 書面資料

設計、安裝、操作、和維護手冊資料等相關紀錄和文件依 6.2.1 與 6.2.2 節建立、記錄，並妥善保管。

附錄一、

鋼板(管)樁碼頭陰極防蝕工程案例

案例一：日本 A 港，水深-10.0 m 之鋼板樁碼頭陰極防蝕[1]

1. 岸壁構造及環境
   (1) 碼頭岸壁為鋼板樁結構，鋼板樁在碼頭底板下端(+2.0 m)至-1.0m 間以 PU (polyurethane)塗料塗裝。
   (2) 平均水面+2.54 m。
   (3) 海域無污染。

2. 防蝕對象
   (1) 鋼板樁：型式為 SP-VIL，長度= 24.5 m。
   (2) 碼頭岸壁長度：180 m。
   (3) 水深：-10.0 m。

3. 設計條件
   (1) 陰極防蝕範圍：平均低潮位(M.L.W.L.) +1.3m 以下至海床間。
   (2) 鋼板樁 PU (polyurethane)塗裝範圍為-1.0 ~ +2.0 m 之間，但在鋼板樁接合部位未塗裝部份的面積，約佔 10%。
   (3) 防蝕電流密度選用：海水中= 100 mA/m^2，海土中= 20 mA/m^2。
   (4) 陰極防蝕方式：犧牲陽極法。
   (5) 陰極防蝕設計年限：20 年。
   (6) 海水比電阻：30 Ω·cm。

4. 防蝕面積
   海水中(PU 塗裝部份)：(1.0m + 1.3m) x 180m x 1.75 x 0.1= 72.5 m^2
   海水中(裸鋼部份)：(10.0m - 1.0m) x 180m x 1.75= 2835.0 m^2
   海底土中：(22.5m – 10.0m) x 180m x 1.75= 3937.5 m^2

5. 所需防蝕總電流

海水中：(72.5 m^2 + 2835.0 m^2) x 100 mA/m^2 = 290.8 A

海底土中：3937.5 m^2 x 20 mA/m^2 = 78.8 A

合計= 369.6 A

6. 陽極選用

(1) 陽極材料：鋁合金陽極。

(2) 尺寸：(150 + 175) x 170 x 1380 mm。

(3) 含蕊心之陽極重量：109.5 kg ± 2%，淨重：102.3 kg ± 2%。

(4) 電流量：30.3 A·yr。

(5) 初期發生電流：3.0 A/塊。

(6) 耐用年數：20 年。

7. 陽極數量

(1) 需要數量= 369.6 A / 3.0 A = 123.2 塊

(2) 以 3 個水深配置(如圖 1 所示)，分別為-2.0 m，-4.5 m，-7.0 m，配置個數如下：

水深-2.0 m = 46 塊

水深-4.5 m = 33 塊

水深-7.0 m = 46 塊

合計= 125 塊

註：

[1] 海域中土木鋼構造物之電氣防蝕設計指針(案) ·同解說，日本建設省土木研究所，1991.

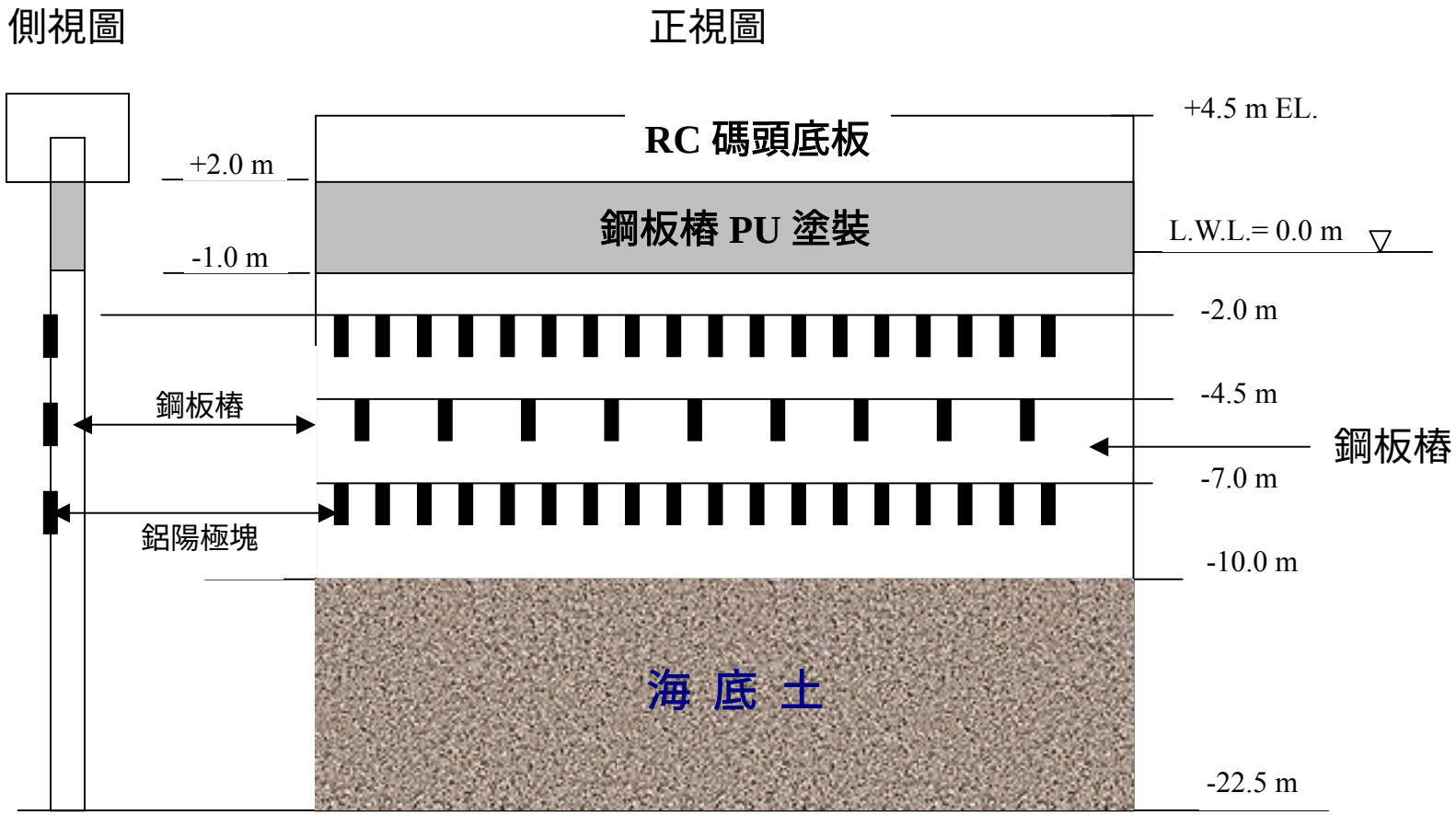


圖 1.　鋼板樁犧牲陽極配置示意圖

案例二：日本 B 港，水深-13.0 m 之鋼管樁棧橋碼頭陰極防蝕[1]

1. 岸壁構造及環境
   (1) 碼頭為鋼管樁棧橋式碼頭，岸壁為鋼板樁式護岸。
   (2) 鋼管樁在混凝土底板下端(+2.0 m)至-1.0m 間，鋼板樁在底板下端(+1.0 m)至-1.0m 間，以 PE (polyethane)或 PU (polyurethane)塗料塗裝。
   (3) 平均水面+1.4 m。
   (4) 海域為污染環境。

2. 防蝕對象
   (1) 鋼管樁：900Φ x 12t，長度= 35.0 m；該棧橋式碼頭共分為 10 區，每區 15 支鋼管樁，共 150 支。
   (2) 鋼板樁：型式為 SP-VL，長度= 22.0 m；碼頭岸壁長度以每 20 m 為一區，共分為 10 區。
   (3) 碼頭岸壁長度：200 m。
   (4) 水深：-13.0 m。

3. 設計條件
   (1) 陰極防蝕範圍：鋼管樁為-1.0 m 以下，鋼板樁為平均低潮位(M.L.W.L.) +0.7 m 以下至海床間。
   (2) 塗裝範圍：
   鋼管樁為-1.0 ~ +2.0 m 之間。
   鋼板樁為-1.0 ~ +1.0 m 之間，但在鋼板樁接合部位未塗裝部份的面積，約佔 10%。
   (3) 防蝕電流密度選用：
   海水中= 130 mA/m^2

石礫中= 65 mA/m^2

海土中= 30 mA/m^2

(4) 陰極防蝕方式：犧牲陽極法。

(5) 陰極防蝕設計年限：20 年。

(6) 海水比電阻：35 Ω·cm。

4. 防蝕面積

(1) 被保護構造物共分 10 區，其中每一區之防蝕面積

海水中：

第一列鋼管樁：0.9 m x π x 12.0 m x 5 支= 169.6 m^2

第二列鋼管樁：0.9 m x π x 9.0 m x 5 支= 127.2 m^2

第一列鋼管樁：0.9 m x π x 6.0 m x 5 支= 84.8 m^2

合計= 381.6 m^2

鋼板樁(塗裝部份)：20.0 m x 2.0 m x 1.7 x 0.1= 6.8 m^2

鋼板樁(裸鋼部份)：20.0 m x 4.0 m x 1.7= 136 m^2

合計= 142.8 m^2

石礫中：

鋼管樁：0.9 m x π x 1.0 m x 5 支= 42.4 m^2

鋼板樁：20.0 m x 1.0 m x 1.7= 34.0 m^2

海底土中：

第一列鋼管樁：0.9 m x π x 17.5 m x 5 支= 247.4 m^2

第二列鋼管樁：0.9 m x π x 20.5 m x 5 支= 289.8 m^2

第一列鋼管樁：0.9 m x π x 23.5 m x 5 支= 332.2 m^2

合計= 869.4 m^2

鋼板樁：20.0 m x 14.5 m x 1.7= 493.0 m^2

(2) 防蝕總面積(10 區)

鋼管樁：

海水中= 381.6 m^2 x 10= 3816.0 m^2

石礫中= 42.4 m^2 x 10= 424.0 m^2

海底土中= 869.4 m^2 x 10= 8694.0 m^2

合計= 12934.0 m^2

鋼板樁：

海水中= 142.8 m^2 x 10= 1428.0 m^2

石礫中= 34.0 m^2 x 10= 340.0 m^2

海底土中= 493.0 m^2 x 10= 4930.0 m^2

合計= 6698.0 m^2

5. 所需防蝕總電流

(1) 被保護構造物共分 10 區，其中每一區所需之防蝕電流

鋼管樁：

海水中= 381.6 m^2 x 130 mA/m^2= 49.6 A

石礫中= 42.4 m^2 x 65 mA/m^2= 2.8 A

海底土中= 869.4 m^2 x 30 mA/m^2= 26.1 A

合計= 78.5 A

鋼板樁：

海水中= 142.8 m^2 x 130 mA/m^2= 18.6 A

石礫中= 34.0 m^2 x 65 mA/m^2= 2.2 A

海底土中= 493.0 m^2 x 30 mA/m^2= 14.8 A

合計= 35.6 A

(2) 所需之防蝕總電流(10 區)

鋼管樁= 78.5 A x 10 = 785.0 A

鋼板樁= 35.6 A x 10 = 356.0 A

合計= 1141.0 A

6. 陽極選用

(1) 陽極材料：鋁合金陽極。

(2) 尺寸：(130 + 175) x 150 x 1990 mm。

(3) 含蕊心重量：130.0 kg ± 2%，淨重：122.1 kg ± 2%。

(4) 電流量：36.2 A·yr。

(5) 初期發生電流：3.5 A/塊。

(6) 耐用年數：20 年。

7. 陽極數量

(1) 每區間需要數量

鋼管樁= 78.5 A/區間 ÷ 3.5 A/塊 ≈ 23 塊/區間

鋼板樁= 35.6 A/區間 ÷ 3.5 A/塊 ≈ 10 塊/區間

(2) 總共需要數量

鋼管樁= 23 塊 x 10= 230 塊

鋼板樁= 10 塊 x 10= 100 塊

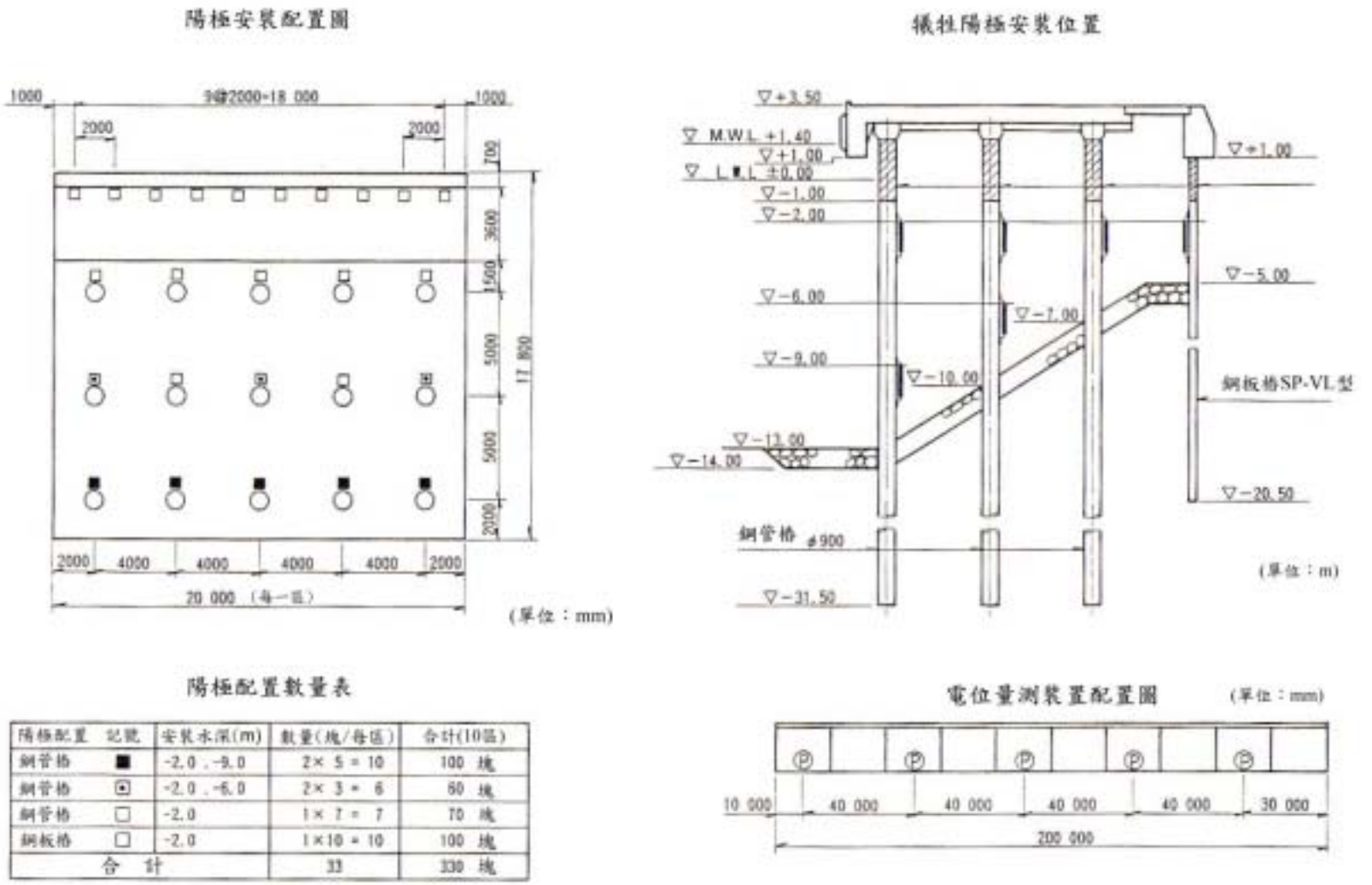
合計= 330 塊

(3) 每一區以 3 個水深配置(如圖 2 所示)，分別為-2.0 m，-6.0 m，-9.0 m，配置個數如下。

水深	鋼管樁	鋼板樁
-2.0 m	15 塊	10 塊
-6.0 m	3 塊	-
-9.0 m	5 塊	-
合計	23 塊	10 塊

註：

[1] 海域中土木鋼構造物之電氣防蝕設計指針(案) ·同解說，日本建設省土木研究所，1991.



陽極配置	記號	安裝水深(m)	數量(塊/每區)	合計(10區)
鋼管樁	■	-2.0 , -9.0	2× 5 = 10	100 塊
鋼管樁	⊙	-2.0 , -6.0	2× 3 = 6	60 塊
鋼管樁	□	-2.0	1× 7 = 7	70 塊
鋼板樁	□	-2.0	1×10 = 10	100 塊
合 計			33	330 塊

圖 2.　鋼管(板)樁犧牲陽極配置示意圖