

流電陽極法鋁合金陽極水中電焊作業概述

任炳根

一、前言

海洋資源的開發與海運的發展，依靠許多技術問題的順利解決，其中之一就是海面下鋼結構的腐蝕控制。目前海上鋼結構設施，有港口貨物處理設施，如碼頭防波堤巨型油輪、錨、浮筒、軍艦、船舶。以及海底資源開發設備，如鑽探駁船、鑽探工作臺及設備、海底管路、海底隧道以及將來可能建造出無數的海底儲油桶、海底發電廠、海底操作中心，海底農場等。上述諸設備的腐蝕控制，將是最重要的問題之一。

二、水中實施的保護

大部份海上設施位於腐蝕環境中，可分為五區：1.海洋大氣區。2.海水噴濺區。3.海潮區。4.海水浸泡區。5.海泥區。因此其腐蝕環境更複雜，腐蝕率比在一般腐蝕環境中更大。放在每一區域中必須採取最適當的腐蝕控制方法，以克服嚴重的腐蝕環境。

海水噴濺區曝露於大氣的部份，通常塗以油漆或噴漿保護層。防銹漆以含鋅無機油漆為底漆，以環氧樹脂漆(Epoxy base paint)或煤焦油環氧樹脂漆(Coal Tar Epoxy base paint)為面漆，其效果頗為顯著。

海潮區在平均水平線上，因此此區浸泡在海水的時間短，可用與海水噴濺區相同的方法保護。平均水平面以下範圍則以陰極防蝕法保護。

海水浸泡區及海泥區內，雖然新製使用時可暫時以油漆保護，一旦油漆剝落就很難重新油漆，因此都使用陰極防蝕法保護。實際上世界先進國家自一九五〇以來，使用該

法保護港口設施、船舶軍艦及海底結構已有顯著的效果。

三、陰極防蝕系統的優點

利用電化學原理的陰極防蝕系統，主要分為外加電流法及流電陽極法又稱犧牲陽極法。無論採用何種方法，只要適當的設計、施工，必可達到最佳效益。陰極防蝕系統的優點主要如下：

- 1.無論新造或舊有設備皆可應用。
- 2.使用時不必特別修整設備結構，更改設計或中止運轉中的設備。
- 3.保護效果高於九〇%，不必考慮腐蝕公差，亦不必使用高品質的防蝕材料。
- 4.防蝕效果可很簡單地由試驗其電化學性能來確定。
- 5.可避免停止運轉，以更換結構及由於腐蝕引起意外事故而導致製造或使用廠商的損失。
- 6.由於防蝕效果顯著，成本亦就相對的降低。

四、陰極防蝕系統犧牲陽極概述

防蝕用的犧牲陽極必須具備下列性能：

- 1.陽極在長時間放出電流時，陽極電位須經常保持一定值。
- 2.陽極如發生電流變化，對陽極電容量(Electric Capacity)之變化愈少愈好。
- 3.陽極之電位負值愈大愈佳。
- 4.陽極效率要大，效率大即陽極消耗量少。

由於防蝕陽極材料種類繁多，不勝枚舉如鋁合金、鋅合金、鎂合金、鉛銀合金、鈦

一白金膜及鍍一白金膜電極、高矽鑄鐵、含鉻高矽鑄鐵及石墨等。其中前三種材料為流電陽極法所採用的電極，其一般特性詳情如表一。檢討防蝕陽極必備之性能，再核對表

表 一

陽 極 材 料	鋁合金	鎂合金	鋅合金
電流效率% (約)	90	50	95
有效電流容量 A · Hr/kg	2,600	1,100	780
開路電壓 (-V)	-1.1	-1.5	-1.0

一得知，鋁合金不但為流電陽極法保護系統的理想材料，且具有下列優點：

1. 重量輕、易於安裝。
2. 有效電流容量最高。
3. 單位電流時間的費用最低。
4. 電極極化趨勢很小。
5. 壽命長且輸出電流穩定。
6. 沒有過保護的開路電位。
7. 消耗均勻。
8. 優良的自調性能。
9. 低量的氫氣產生。

五、鋁合金陽極的固定方法

水中結構體採用安裝鋁合金陽極的流電陽極法陰極防蝕系統，已成為世界性的潮流。在水中安裝陽極的方法，依過去的經驗已發展出各式各樣的方法。其中在港灣設施中

以水中電焊將鋁合金陽極直接固定的方式，為最為牢靠而實用的方式。在本地區的工程經驗，（如深澳港、大林埔、高雄港、蘇澳港及基隆港等）亦多採用水中電焊安裝。

六、水中電焊法

水中電焊可分為乾式與濕式兩種，乾式即使用隔離艙將焊接部位與水隔離，再注入壓縮空氣於艙內，使電焊如同陸上作業；而濕式即電焊部位完全直接浸泡在水中焊接。由於乾式水中電焊，所需的設備及施工費用很高，一般都採用濕式水中電焊。水中電焊顧名思義，即電焊工必須在水中做焊接工作，所以電焊工及有關工作人員，必須具有熟練的潛水能力方能勝任此工作。

水中電焊與陸上電焊並無二樣，其不同點僅握柄 (Holder) 及電焊條 (Electrode) 加上絕緣防水被覆。水中電焊原則上電焊條與焊接物間距3mm，傾斜度60°，電焊工每日焊接時間不得超過四小時。以10mm厚之母材大約焊接3000mm的長度，但是氣候、水深、水溫、水之能見度都會影響工作效率。

水中電焊的品質較陸上電焊的差，同直徑的電焊條水中電焊較陸上電焊所需的電流約高二〇%（詳表二），水中電焊因急速冷卻，焊接物之強度亦比陸上電焊的約低二〇%（詳表三），其延展性亦約低五%。

表 二

電焊條直徑 φ mm	焊接姿勢及電流(A)(DC)			
	水 平 焊	直焊(由下而上)	直焊(由上而下)	仰 焊
4	180~200	180~200	200~240	170~190
3.2	140~180	120~160	160~200	—
2.6	90~130	90~120	95~130	90~110

註：如為交流焊接，電流增加10%

表 三

方 法	拉力強度 (h bar)	降伏強度 (h bar)	面彎角度 (degrees°)
水中電焊	46	42	50
陸上電焊	57	49	180

七、電焊設備(Welding Equipment)

1. 電焊機 (Welding Machine)

水中用電焊機仍然安置於陸地上，唯採用引擎驅動直流電焊機 (300A 以上)，最好能裝置自動減速設備，於停止焊接時，自動減速至慢車 (idle Speed)。一般水中電焊多採用正極性法 (Straight Polarity)，即電焊條接於負極 (Negative)。

電焊機容量依電焊作業之水深而定，在水深六〇公尺內 DC-300A 即足夠使用，若水深大於六〇公尺，則需使用 DC-350A~400A 電容量之電焊機。若使用交流電焊機，則電容量至少應增加一〇%，用以彌補因每秒熄滅一二〇次之電弧所增加電流。

2. 握柄 (Holder)

握柄本體採用絕緣材料 (如塑膠、木頭等)，接頭 (Joint) 部份防止電解腐蝕 (Electrolytic Corrosion)，使用銅合金 (Copper Alloy)。

3. 電纜 (Welding Cable)

水中電焊移動比在陸地上多，工作亦困難，一般使用耐酸鹼、柔軟性高之電焊電纜，且絕緣保護層應完整無破損，以防發生漏電而有電擊危險。

4. 電焊條 (Electrode)

電焊條與焊接物之材質必須符合，電焊條外面再加防水保護層而且可長時間浸泡在水中。防水保護層可使用 PVC 膠帶、油紙帶、膠漆等，儘可能使用 Sealac 30-L2093

或 Ucilon。將賽璐珞 (Celluloid) 溶於丙酮 (Acetone) (一公斤對十六公升)，亦可製成良好的防水混合劑。

所有焊條應浸泡兩層防水保護，如為單層僅可於短時間內使用。電焊工每次下水時，所攜帶電焊條數量應以不逾三〇分鐘之作業用量為宜，逾時未用應送回烘烤。

5. 潛水裝備 (Diving Equipment)

潛水夫、電焊工必須備有齊全之潛水裝備，諸如潛水衣、潛水鏡、氧氣瓶、橡皮管、空氣壓縮機等，下水前應詳加檢查各項裝備。電焊工使用之目鏡，在清澈的水中可使用 No. 6或No. 8之防護目鏡。

6. 零星工具 (Miscellaneous Tool)

水中電焊用零星工具大致與陸上電焊同，如鋼絲刷、電焊用鐵鎚、剗刀、安全開關 (容量至少200A 以上)。另水中手電筒，水底照相機及水中閉路電視機等，必要時應預備之。

八、注意事項

鋁合金陽極水中電焊除前列各項裝備之準備外，尚須注意下列事項：

1. 電焊因受潮汐波浪之影響，應設法穩定在工作場所。

2. 岸上人員與水中人員應經常保持連繫，水中人員工作時間不可過於冗長。

3. 在陸上先做好鋁合金陽極之編號，以利於水中照相，作為完工品質檢查之依據。

4. 吊裝鋁合金陽極時，水中工作人員不可滯留於正下方，以免發生意外。

5. 固定鋁合金陽極時，先將焊接位置清除乾淨，完成焊接前準備。

6. 水中電焊時，岸上觀護者依電焊工的信號 (預先協調的信號)，開關電焊機或調整電流大小。

7. 水中電焊移動性大，電纜加掛浮球 (

約每米一個)，以利電焊工移位及焊接。

8.水中電焊施工時間較長，以空氣壓縮機供應所需空氣較經濟，但岸上人員需經常注意空氣管的順暢。

9.水中電焊強度試驗，如使用4mm ϕ 焊條水平焊時，焊接長度1公分之拉力強度達約1800公斤，通常計算其強度的安全因素取用值為6，如前述之安全強度即為300公斤。通常作業中，焊道應有二道以上，單一道的作業極不可靠，所有水中電焊作業僅限於填角焊。

九、結 論

鋁合金陽極水中電焊為施工過程重要的一環，其品質好壞直接影響鋁合金陽極的防

蝕效果，由於水中電焊的失敗率極高，氣孔及夾渣高達50%以上，故電焊工應經過長期的嚴格訓練方能勝任此工作。

為達到鋁合金陽極的預期防蝕效果，必須先做好施工前的準備工作，經過周密的研究規劃，各裝備的詳細檢查及良好的水中電焊。施工中注意各工作人員的安全，諸如信號的傳遞、空氣管的順暢等。施工後藉水中照相控制其品質，則鋁合金陽極即可發揮其應有的防蝕效果。

參考資料：1.Handbook of ocean and
under Water engineering
2.中川會社ALAP水中溶接安裝
3.工量技資C-002