

# 外海構造物的陰極防蝕之電流分析

樊其芬譯

## (一) 陰極防蝕之重要性

曾經用幾億的費用在外海的建築物上，所以對外海平台之防蝕是很重要的。要減少維持費及再建築費也就是減少腐蝕的全部費用。如果陰極防蝕失敗，達到臨界腐蝕即腐蝕侵入未保護之金屬，腐蝕會在很短時間內發生。雖然陰極防蝕已有效地實施很多年，失敗亦屬常事，大部份陰極防蝕制度失敗，並不包含整個的失敗，部份防蝕失敗係因為有限的陽極輸出電流不足，不能達到防蝕作用，是普遍失敗的原因。

## (二) 陰極防蝕的基礎

陰極防蝕的有效方法，有外加電流法及流電陽極法，前者是使用不溶解的陽極，後者是使用犧牲陽極，陽極電流流向被保護的構造物上，即被保護的構造物的陰極地方。當陽極正電流經過電解質（海水）流到被保護的構造物上，電動勢即發生改變（移動），此電動勢改變稱為極化。陰極部份被陽極的電位極化，被保護的構造物的腐蝕就有效地停止。其簡單的構造如第一圖所示，陰極

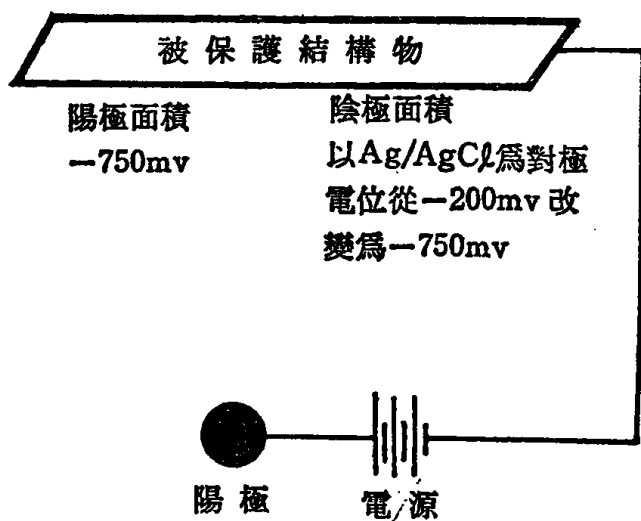


圖 1 陰極防蝕代表圖

部份的電位可從 $-200\text{mv}$ 改變為 $-750\text{mv}$ （以 $\text{Ag}/\text{AgCl}_{(s)}$ 電極為基準），並表示有陰極防蝕作用。

在一定環境中造成極化所需電流稱為電流必需量，一般以安培/單位濕面積表示。但是電流必需量並不是一定的，而是根據場所及時間而異。電流的必需量完全依陰極極化曲線（ $E-\log i$ ）的斜率而定。陰極極化效果之電流必需量已在第二圖上表明之。

有幾個因素用來幫助陰極反應（即反應物與生成物的置換），並降低陰極極化的斜率，因較小的陰極極化斜率，需要大的電流必需量，如含氧高的，水流動，低PH值，意外金屬接觸，及高溫（含氧量固定時）都是提高電流必需量的普通原因。溫度對陰極防蝕的電流必需量的影響，由於降低溫度會增加氧在海水中之溶解度，所以溫度對陰極防蝕的效果並不明顯。在一定環境中外海構造物之電流必需量如表 1 所示，可以估計之。電流必需量的試驗，係以強迫通過一定試驗電流，同時測量電位的改變，在任何情況下，此項系統還可加以擴大及調整。

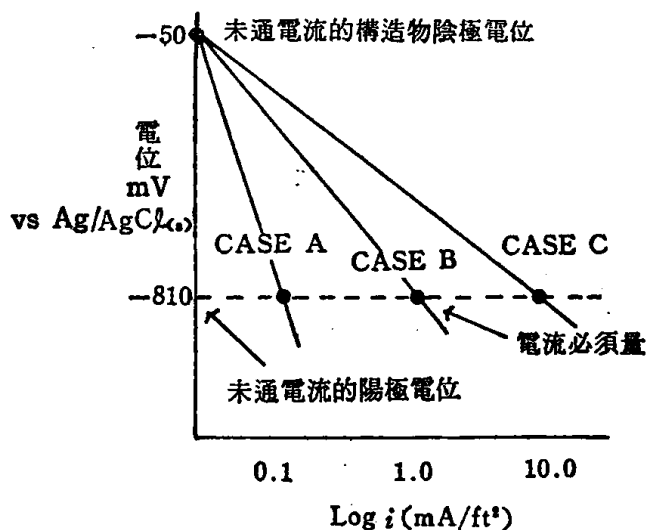


圖 2 由  $E-\log i$  得電流必須量

表 1

典型外海結構物電流必需量

墨西哥灣	5-6mA/ft <sup>2</sup>
美國西海岸	7-8
庫克港口	35-40
北海	8-15
波斯灣	7-10
印度尼西亞	5-6

表 2

電流分佈對電流必需量的影響

真實電流必需量	=	3mA/ft <sup>2</sup>
面積的25%		3mA/ft <sup>2</sup>
面積的25%		4mA/ft <sup>2</sup>
面積的25%		5mA/ft <sup>2</sup>
面積的25%		6mA/ft <sup>2</sup>
實際平均電流必需量	=	4.5mA/ft <sup>2</sup>

(三)電流分佈的影響

陰極防蝕的極化，只是在正常電流流過電解質與被保護構造物之間，才會發生。電流分佈是指構造物各部份獲得的相關電流。在均勻環境中理想的電流分佈要在每處皆獲得相似的電流，如第3圖所示。

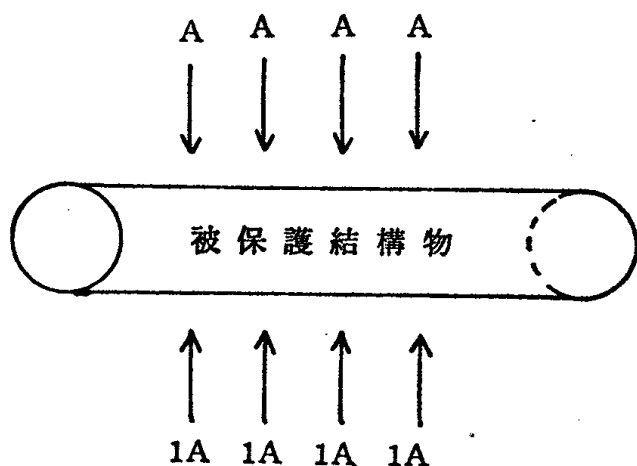


圖 3 理想電流分佈圖

在不均勻的電流分佈下，會產生在局部的過保護。因小的區域一定要保護，別的區域就會發生過保護。一個陰極防蝕系統常用一個平均電流必需量來設計。一個不均勻電流分佈，會產生高於正常平均電流必需量。第二表顯示一個高電流必需量實例的計算高度過保護，大概會損害表面塗料並發生脆裂。

(四)不良電流分佈的原因

一個陰極防蝕系統代表許多數量的平行電流流動路徑。每一個電流流動路徑，其電流流動(以及陰極防蝕之層面)一定要合乎歐姆定律，低電阻或高電位差之路徑需更多電流。一個不均勻電流分佈可能由於電解質電阻的變化及電位差的變化(陰極防蝕的陽極與構造物之電位差)及構造物弧度的變化。

(五)路徑長度 (陽極——構造物) 之變化

不均勻電流分佈最普通的原因，係陽極放置的位置。距離(因此會增加電阻)即陽極與構造物之間的距離，在第一條路徑比第二條路徑短很多，如第四圖所示，有更多的電流經過第一條路徑，因那邊的電阻較低。構造物最近陽極部份比別的區域會得到更多的保護。如第五圖所示，在外加電流法中水路徑之長度，對於測得防蝕電位差亦會有不同影響。電位差值係用 Ag/AgCl(s) 為基準電極測得之。第六圖表示在墨西哥灣間，在一個外加電流於保護套 (Jacket) 中電流因路徑變化之影響。

金屬表面有小洞及弧度半徑小的表面上，對流過電流就會產生大的電阻，電流會集中在這些形狀上面，產生一個大的電位梯度，這區域難以防蝕，如同對距離陽極遠的區

域。電位梯度對電流分佈的影響，如第七圖所示。

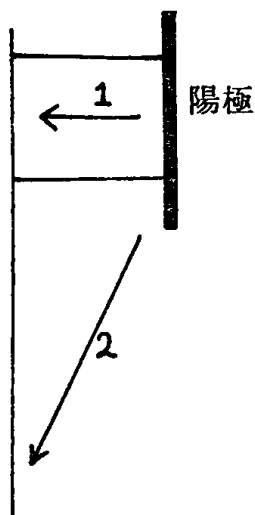


圖 4 不同路徑長度對電流分佈的影響

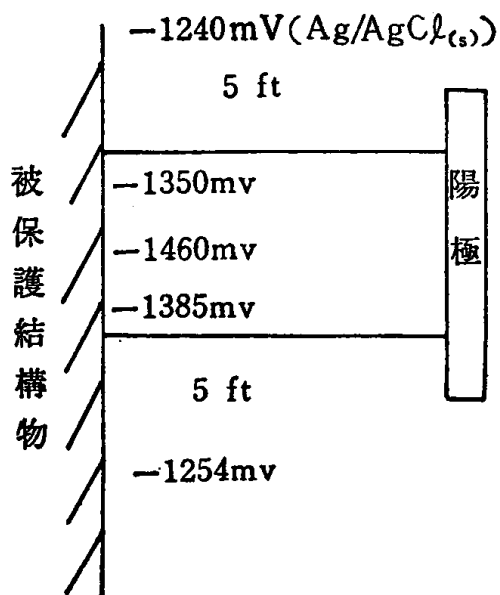


圖 5 接近外加電流的陽極結構物的防蝕電位

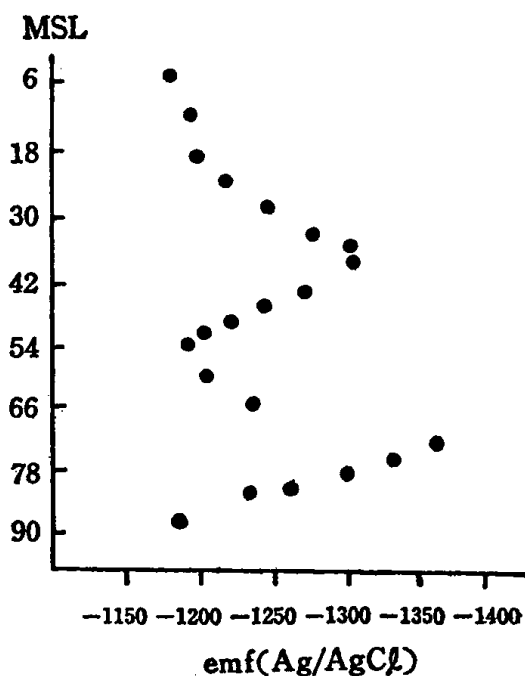


圖 6 路徑長度變化影響電流的分佈

有三種方法可以用在減少電解質（海水）路徑的變化。第一用許多小的陽極來代替較大的陽極，這樣可以減少使用一個陽極流到最大距離的電流量，如此解決的方法對採用流電陽極比外加電流法更經濟，此法可以

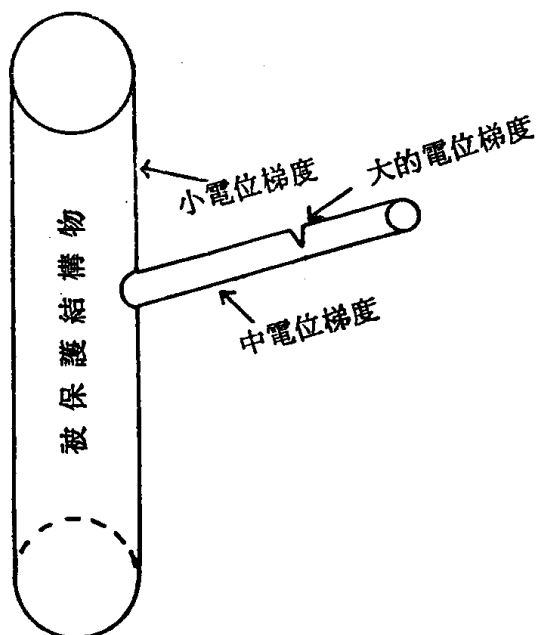


圖 7 外形對電流分佈的影響

第八圖表示之。流到遠處電流之投射並不是一定值。如果電流必需量低時（即陡坡的極化斜率）及電流流到的距離遠時，電流可以射到極大的距離。陽極與陽極距離普通是四〇呎如第九圖所示，爲了由減少陽極距離所

得到之更為均勻之典型電位之前剖面圖。這些數據是取自墨西哥灣外海平台上，使用流電陽極法之結果，若使用陽極數量太多常會增加安置費用。

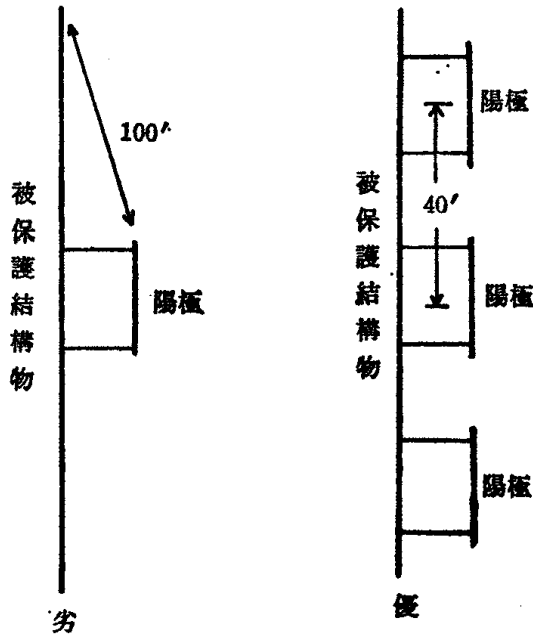


圖 8 多陽極對電流分佈的影響

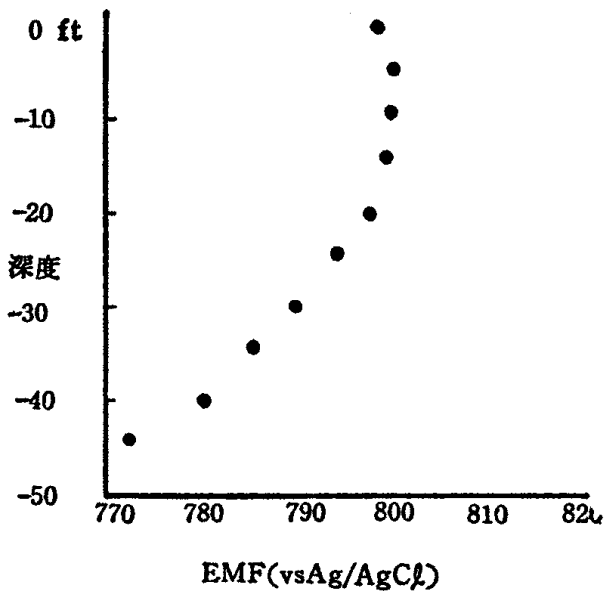


圖 9 減少陽極的距離促進電流分佈

第二，路徑長度變化之影響，可將陽極放置在距離結構物很遠的地方而減少之。如機械遠離法是最常使用的。在最特殊情形下，陽極可從被保護的結構中移開，這種方式的限制處是可能會使陽極及支持物受到機械

上之損害。這種方式在第十圖中表示之，陰極防蝕中最大電位差的梯度發生在陽極附近及少許的構造物周圍，若將陽極搬移到某一距離，可得到最好的電流分佈。如果這種情況存在，陽極就可稱為遠的。如第十一圖所示，此二種電極遠的與近的設計所產生之電位差梯度不同，陽極電流輸出最少的是遠處的設計。陽極與結構物需要分開之距離並不是一定的，而是隨電阻之增加而增加。十八吋是一般陽極流電系統最典型之距離，四八吋是外加電流法最典型距離。

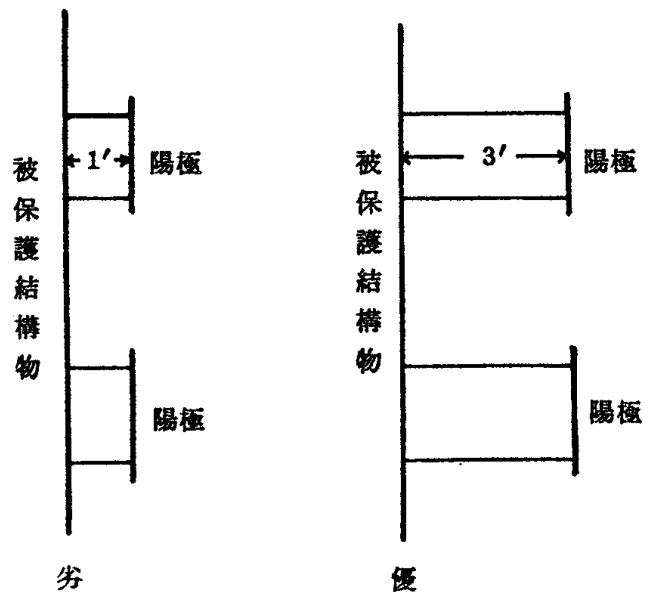


圖 10 增加遠距離促進電流分佈

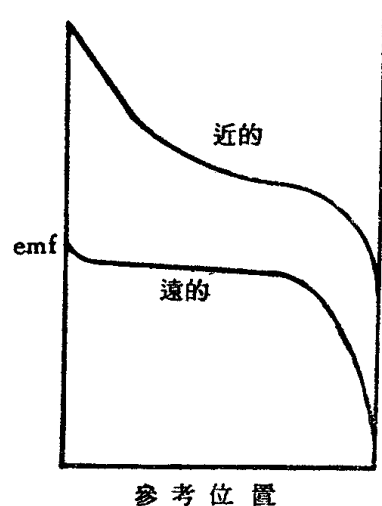


圖 11 設計遠的電位梯度

第三，減少不均勻電流分佈是用電雙層的保護套，電雙層的保護套的存在可以調整較短電解質路徑而增加電流流動的電阻。在第十二圖表示電雙層的保護套的效果，電雙層的保護套，是最常用於外加電流系統中。保護套恆放置在陽極與構造物之間，亦可以置於陽極或構造物上，而遮住高電流流過地方。保護套的失敗，往往因為所產生的高電位梯度之鬆開而引起。保護套失敗的結果是很可怕的，因保護套的失敗將會增加整個電流流動。不用說，保護層的安裝或修理亦是非常困難的。

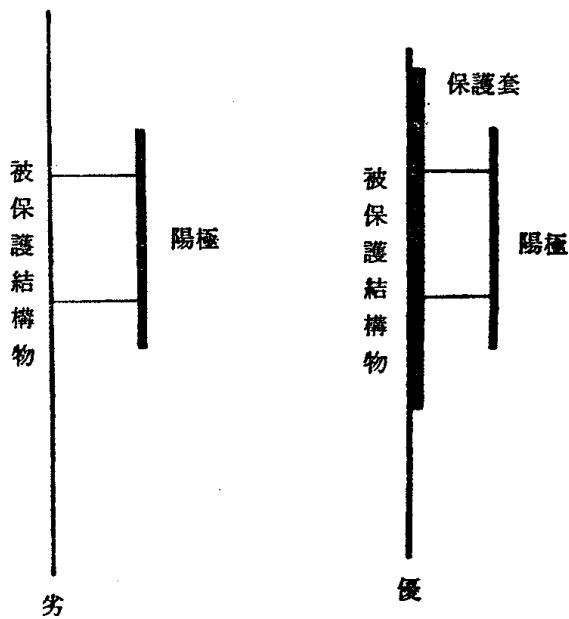


圖12 電雙層保護套促進電流分佈

另外第二條路徑長度的變化亦會影響電流分佈，常發生在陰極防蝕系統中的金屬路徑。金屬路徑電阻之變化是外海構造物如管線上常遇到的問題，如第十三圖所示保護構造的區域接近陽極排流點 (drain point) 會有更多保護。在第十四圖包含許多數據是有關中東外海管道的缺點。金屬路徑之排流點是需要加以改變電流分佈，如  $I R$  有很顯著之降低時，這樣會使更多的地床或陽極變成簡單的金屬連接點。

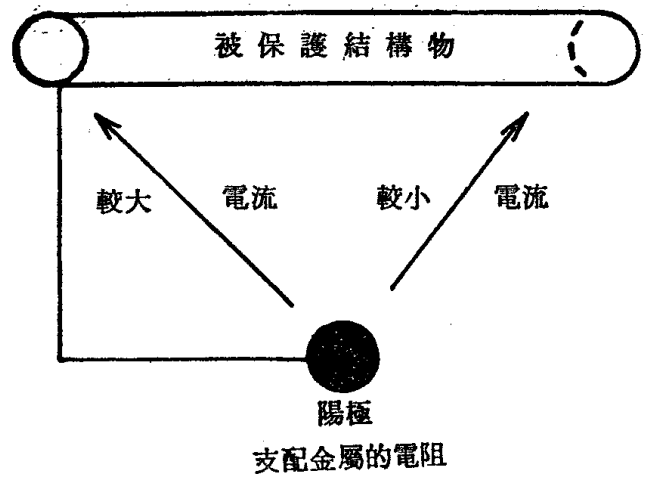


圖13 金屬的電阻路徑對電流分佈的影響

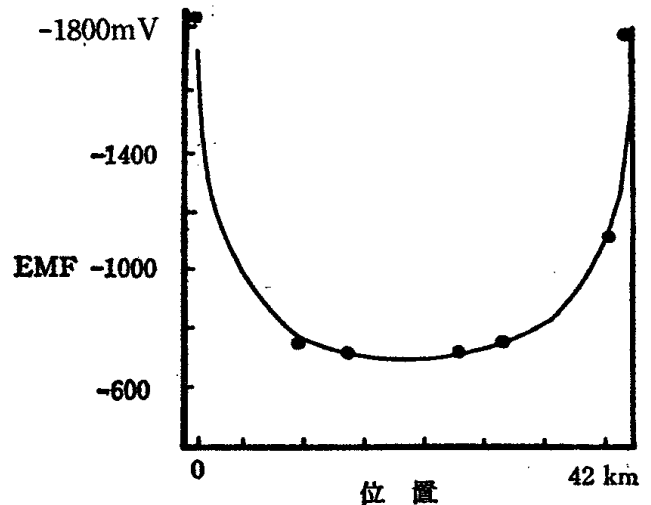


圖14 不同的電阻對電流分佈的影響

#### (六) 電阻率的變化

由於電解質電阻改變，普通都會影響電流的分佈，在低電阻的環境中部份的保護建築物需接受更多的電流，才能保護得更好，普通電阻會改變的原因，如清水流失、水蒸發、有泥巴的水及溫度的變化都是。在第三表表示一個因海水電阻的改變，如同深度的函數的典型變化。更顯著的變化發生在清水流盡時，電阻如加倍即大概亦引起電流加倍，此情形可以在第十五圖中表示之。要在高

電阻環境中減少整個電流流動，去保護構造物是很困難的，在第十六圖中數據表示典型的外海被保護構造物上的電位變化，那種事實可能部份由於電阻的變化，而要解決電解質電阻的變化問題一般在高電阻地方放置一個陽極並且接近被保護結構物，使電流平均流過。

表 3  
典型海水電阻隨水深而改變值

0 ft	33.4 ppt
-100	33.6
-250	33.8
-500	34.0

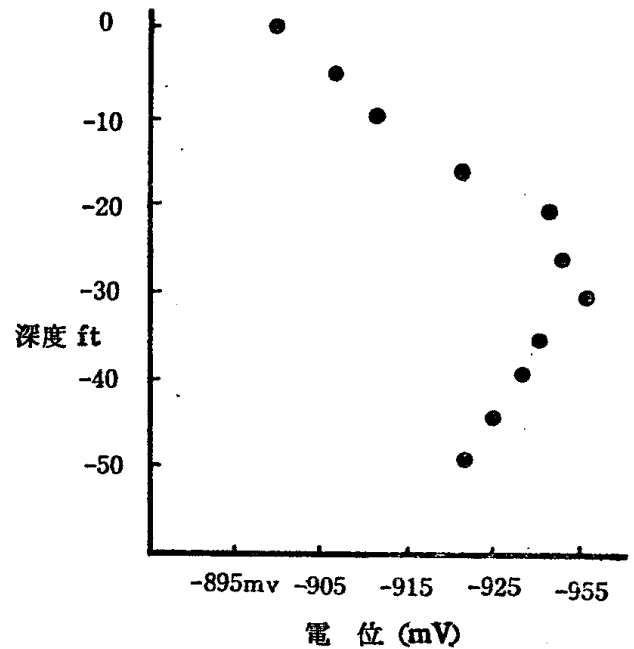


圖16 水的深度對電位的影響

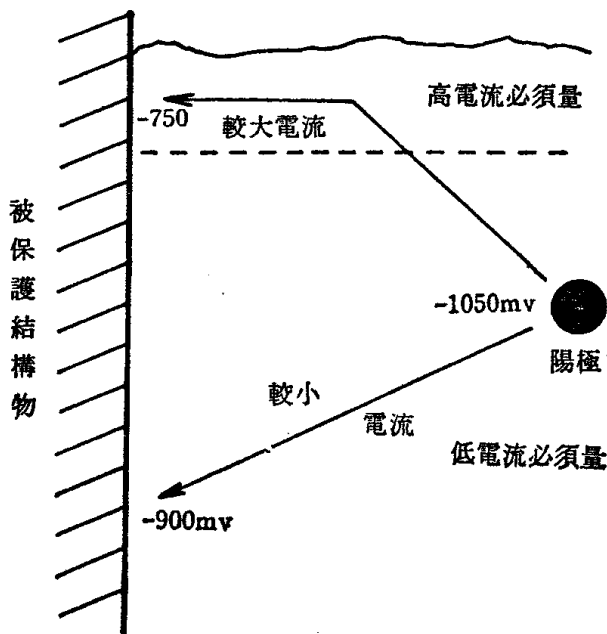


圖15 電阻對被保護結構物的影響

### (七) 電流必需量的變化

在外海被保護的結構物上，各種不同地方常常會有電流必需量的變化。如在裸露的地方，構造物的形狀，水波的移動，溫度及含氧量之變化常是電流必需量最普通的變化

原因。如果所用電流必需量高過正常必需量的構造物極化作用比較小。使陽極與構造物之間發生大的電位差，這種高電位差會產生更大的電流到這地方，而抵消高的電流必需量的效果。在第十七圖上在構造物與陰極防蝕的陽極間，在高電流必需量的區域，其電位差為 $1050 - 750 = 300\text{mV}$ 。在低電阻的區域其驅動力(陽極到構造物之間電位差)為 $150\text{mV}$ ，在最接近的估計下高電流必需量的區域結果需要二倍的電流流動。此點在第十七圖上表示出，在變化電流的流動時，就要改變電流必需量。此種情況可取用流電陽極法可自動控制。不幸的，這樣結果會產生比正常高的陽極消耗量。一個陽極設計二十年的壽命(構造物為 $-900\text{mV}$ 及陰極防蝕用陽極為 $-1050\text{mV}$ )，結果如使構造物維持為 $-750\text{mV}$ ，大概只能有十年的消耗壽命。用較大的電流流動會產生一個大的 $I R$ 降及較差的保護作用，同時在水表面層上含氧量高部份保護作用較差。

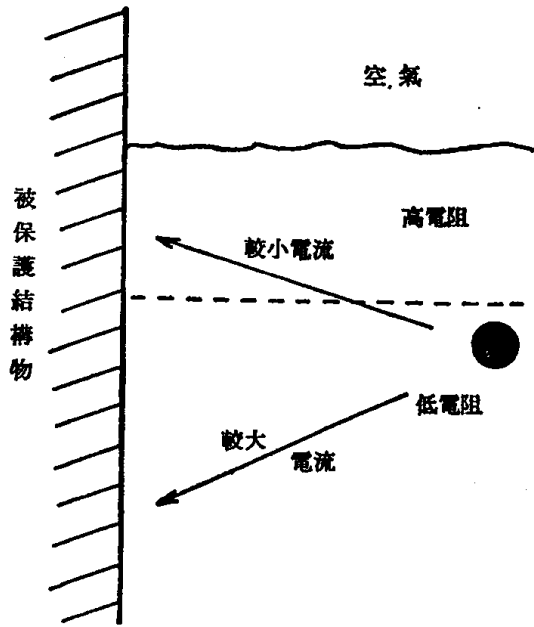


圖17 構造物與陽極間電流必須量的不同對電位的影響

(八) 結論：

有效的陰極防蝕，需要在電解質及構造物之間每個地方，完全根據電流流過這地方及局部地方的電流必需量。一個不均勻的電流常常會流到被保護構造物的不同部位，因電解質的電阻，陽極到構造物的路徑長度，金屬路徑的長度不同等變化，電流必需量亦會變化，電流分佈可以用陽極的數目及放置位置以及保護套來控制。不良電流分佈常常會引起不適合的保護及增加陰極防蝕的費用。

本文譯自 CORROSION/77 PAPER  
No.31 By Frank E. Rizzo. Eric Bauer.