

陰極防蝕測試中如何使用基準電極

陳幸男譯

一、基準電極的種類：

到目前為止，曾使用過好多種基準電極量測電位，包括下列幾種：

1. 氯化銀電極 ($\text{Ag}/\text{AgCl}_{(s)}$)
2. 氯化鉛電極
3. 甘汞電極 ($\text{Hg}/\text{Hg}_2\text{Cl}_2$)
4. 純鋅電極 (用於水下結構物)
5. 鋼棒電極 (很少用)
6. 氫電極 (實驗室內)
7. 硫酸銅電極 ($\text{Cu}/\text{CuSO}_4_{(s)}$ ，永置式)
8. 硫酸銅電極 ($\text{Cu}/\text{CuSO}_4_{(s)}$ ，便携式)

在土壤環境，最普遍使用的是硫酸銅基準電極。在陰極防蝕系統的測試及其他應用中，率皆以之為「標準」。

至於在海水環境，最常用的則為氯化銀電極。

氯化鉛電極，係早期做為鉛覆電纜的電位測試使用，最近已極少使用。

甘汞電極 (Calomel) 多用於實驗室，但在現場作業的使用亦很普遍，僅次於硫酸銅電極。

純鋅電極是水下結構物電位測試的實用電極。

鋼棒電極，曾有某些調查人員使用過。就像其他非常用電極，其結果需要適當換算才能了解。

二、為何使用基準電極：

以硫酸銅電極為例來說明使用基準電極的觀念。當待測結構物及基準電極間接上電壓錶後，觀測者所讀到的係兩個數值的混合讀數——以硫酸銅溶液為介質的銅棒與土壤

的電位，以及結構物與土壤間的電位。

兩數值中任一個都是構成全電池的一部份。我們主要關注到結構物與其土壤環境間的電位差。此電位差並非陰極防蝕實際施用的總值，卻是做為陰極防蝕存在程度的指示。這樣的指示，係由於極化而生；當陽極與陰極間沒有電位上的差異時，即謂達到陰極防蝕。

「半電池」 (Half-Cell) 這種說法，亦係參照實際上基準電極的數值約為 0.5 V 而來。將電錶⊕端引線接於電極棒導線端，⊖端引線接於電極與土壤的接觸端，即可量出約為 0.52~0.54 V 的數值。

三、發展沿革：

硫酸銅半電池基準電極，係由陰極防蝕工業界許多創始成員所致力發展出並予以使用，實在很難以指明，究係何人將此觀念予以引介。而且，防蝕工程人員亦提供過許多寶貴資料，所以無法指明始創者實無足為異。總之，開始使用這種電極是基於迫切的需要而來。

硫酸銅基準電極，約於一九四〇年開始使用。使用者中較著名的如 Dr. Scott Ewing, Dr. Gordon N Scott, Kirk H. Logan Dr. Kenneth Compton 以及 Hugo Wahlquist 等人，皆曾投注許多時間及精力，以發展這種用途廣泛的工具。伊州貝爾實驗室的 Harry Kroon，早於一九四三年即製作出自用的硫酸銅電極，將之用於電纜的測試。

四、現場測試：

硫酸銅半電池已被證實為適於現場使用的實用性電極。在各種情況的土壤環境下，

這種半電池電位都近乎定值。

基準電極於測試時所應擺設的位置，是一個紛擾的話題。但是，在觀測一正常結構物／土壤的電位時，將基準電極逕置於埋設結構體的正上方，則殆無異議。這種「近置」電極的置放理由極為明顯。因為電池效應（Galvanic Cell）的腐蝕，通常係由於電位差存在，而有電流向結構體／土壤間界面構成的線路流通。所以應將電極擺設在該一位置，才能提供真實的數值。

有時，電極放置的位置，發生難以決定的情形：如爲了要決定犧牲陽極的埋設位置，就應採用對結構體「遙置」的位置佈放基準電極；但在判定是否達到陰極防蝕條件時，勢非採用「近置」基準電極不可。即在設計程序亦極關切陰極防蝕成效的情況下就感到兩難。這種兩難的情況，所幸尚非絕對性的，或應予以爭論。如將具有包覆的結構物上，絕緣包覆體的阻抗佔了所有線路阻抗的大部份這點予以考慮的話，電極放置在何處，根本就無足輕重。至於裸埋或包覆不良的結構物，前述的理論就都不正確。所以，爲獲取正確而可信的結果，實際上的結論，爲電極應儘可能靠近結構物來量測電位。

此外，尚有兩個普遍被接受爲陰極防蝕臨界標準電位值，亦指明支持「近置」基準電極的決定。該兩種臨界電位標準值，原係經由實驗驗證而來。其一爲 -0.85V （ Cu/CuSO_4 基準）或更負值；另者爲自靜態電位向負極偏移至少 0.3V 。這兩種驗證值，在現場實用中，已被驗證確有助於消除或大幅度的減輕腐蝕。這兩種臨界保護電位的標準，都是使用「近置」基準電極。

「近置」意爲逕置於結構物上。事實上，自理論觀點，電極應放置得愈靠近結構物。而達到結構物與土壤間的界面上最好。在現場，這點實在無法做到。而且，這時所得

到的讀數過度的局部化，亦不免受到非議。此外經驗上採用的一 0.85V 標準數值，僅係將電極逕置於結構物上方。

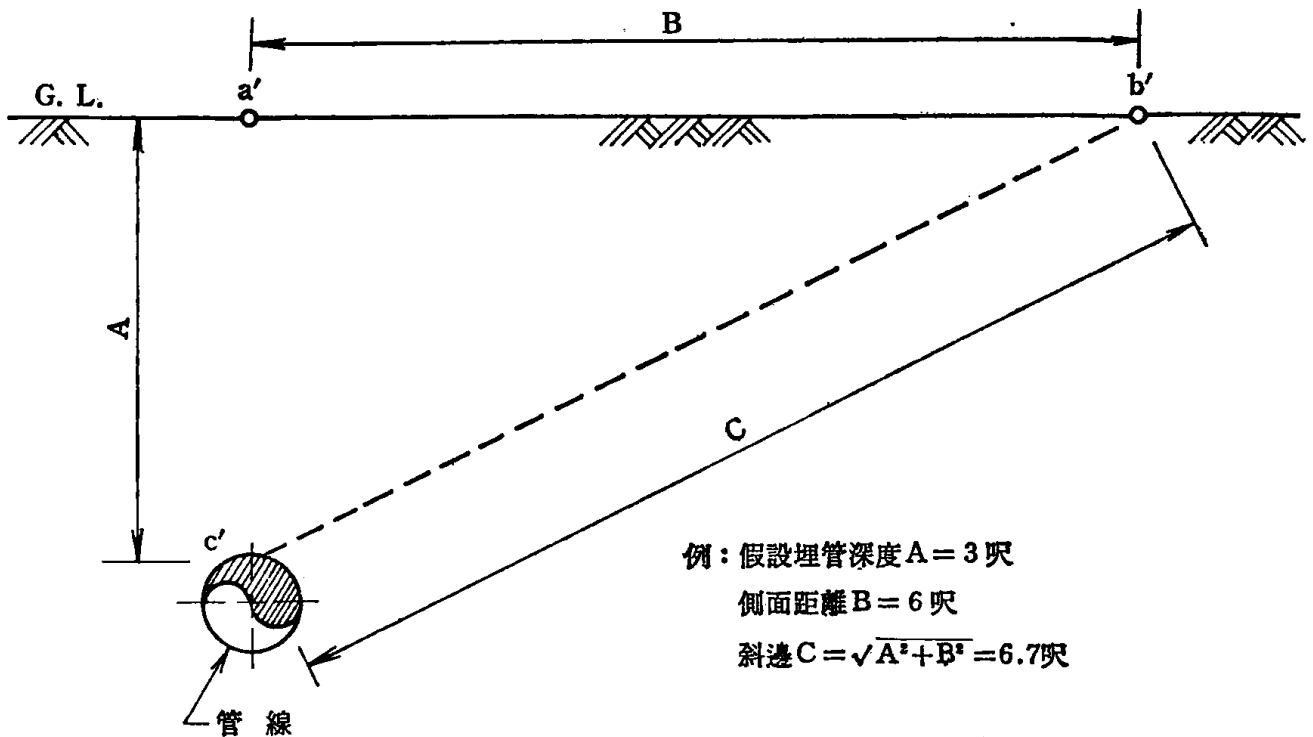
現場作業時，採用「近置」基準電極方式，可減少量測時間的損耗，最爲實用。

「遙置」電極方式，自過去十年以來，已漸少使用於現場測試作業。雖然尚有不少理由支持「遙置」方式，但是仍不免滋生「到底要多遠才算是遙置？」的問題。

遙置電極的第一個理由，如前所述係爲了設計上的目的。將一電極以固定間隔，例如10呎，自結構物向外移，讀取每一個量測值。理論上，電位讀數應愈向負值「上升」，但達到某一距離以後，讀數將不再上升而保持一定，則該一位置稱爲「遙距接地」（Remote Earth），該點即論爲結構物適用的「地床」所在位置，最能滿足電流分布且最具效率。

另一個理由，則係爲決定結構物對土壤間介面上具最少 IR 壓降的真實電位值。首先，觀察結構物上電位的方向予以記錄，其次定出結構物在地面下的深度，再選定自第一個已精確量度距離的讀取點，位置儘可能爲管線在地面下深度的兩倍，做爲遙置基準電極處，如下所圖示。

有一種所謂「電池閉路電位調查」(Close Cell Potential Survey) 係沿管線或電纜線，每相隔一固定距離來讀取電位值的方式；即爲遙置電極量測電位的應用。例如選定的間隔爲10呎，則在線上某一部份的沿線讀數可能爲 -985 ， $-980-975$ ， -970 。再往下一點可能爲 -850 ，則該一測點稱之爲「邊」(Side)。此時自該點向垂直於管線的兩方向，仍每間隔10呎距離置放電極。如此一遠距讀數比線上的讀數更多負值，即指明電流流向管線或電纜線；如遠距讀數比線上讀數爲少負值 (Less Negative)，即爲電流



例：假設埋管深度 $A = 3$ 呎
 側面距離 $B = 6$ 呎
 斜邊 $C = \sqrt{A^2 + B^2} = 6.7$ 呎

a' 點電位 $V_{a'} = -900\text{mV}$

b' 點電位 $V_{b'} = -930\text{mV}$

* 則單位長度 (呎) 電位變化為 $\Delta V = \frac{930 - 900}{6.7} = 4.48 \text{ mV/ft}$

a' 點至 c' 點的 IR 電位降 $\Delta V_{a' c'} = 3 \times 4.48 = 13\text{mV}$

$\therefore V_{c'} = -900 + 13 = -887\text{mV}$

是則，具 IR 壓降補償的結構物/土壤間介面電位，約在 $-885 \sim -890\text{mV}$ 間

註：* 假設土壤電阻係數均勻

附圖 遙置電極測量的應用

自管線流出，該一地點更為陰極化。電位上「沉降」(Drops) (少負值) 的情況，沿管線路徑偶會發生，但通常會在往後一兩個間隔讀數又回復到前面的電位水準。完成整個調查，並將所有的讀數描繪在圖紙後，所有的斷折點——較少負值的位置就清晰的標示出來。

目前已有一種調查方法，利用微處理機與數據集中系統，將數據記錄於磁帶，由計算繪圖儀處理磁帶資料，再以每小時 12 哩的處理描繪速率，將包括所有關係管線、距離

長度等繪出數據剖面圖。

五、新的優點：

不論是「胖」「瘦」「長」「短」，各種形狀尺寸的硫酸銅基準電極都有。大部份都是便攜式電極，而且都有可交換的新式多孔性陶磁栓塞。以往常用的栓塞係取自 Ponderosa Pine，目前可能不易得到。但 Collins 仍在供應木質栓塞。

近年來出現於市場上的新儀錶，無論是數值型或指針式，都傾向於使用硫酸銅基準

電極。在電位計內部阻抗至少為 159KΩ/V 靈敏度以上配合使用已極為方便。目前已有 10MΩ 級的電位計上市。這種高輸入阻抗電錶，具多方面的好處。當觀查一個電位讀數時，電流係自半電池經過儀錶而至待測結構物上形成迴路，高輸入阻抗電錶限制流通的電流，可避免半電池極化，而且讀數亦更為精確。

目前，已有永置性 Cu/CuSO₄ 基準電極可利用於安裝在結構物所在，表面覆蓋水泥或柏油。亦可裝置於大型儲槽（新建）地板的中央部位。這種基準電極被設計為一旦安裝即留置不再移動，其導線及結構物引出測試線都延伸到測試箱內，日後讀取電位值時不必另備基準電極。這種永置式基準電極，堅固而可靠，但於儲存狀態，因具有相當大的惰性，故於取用安裝前應將之浸泡水中，俾使 CuSO₄ 具有活性。

六、其他基準電極：

近乎純鋅的基準電極，具有很特殊而實際的用途。當量測水下結構物的電位時，可將「鋅基準電極」沉降入水，一直到達待測結構物正上方，此時所觀察的讀數可予接受。通常係將讀數換算為易於了解的硫酸銅或氯化銀基準電極讀數。本案例中使用鋅棒代替通用的半電池的理由，係因為水壓隨深度而增加，半電池的水壓效應，會導致半電池污染，致讀數產生誤差。

自一九六〇年以來，裝設永置性測試站愈益普遍，皆使用埋設型的鋅基準電極。理論上，永置性測試站內裝的電壓錶，可加以校調至猶如 Cu/CuSO₄ 所得讀數，不用再經過換算。但是，由於鋅電極在土壤環境下，表面會積氧，使得這種理論不切實際。而且在實際的應用中，儀錶每個月至少要校正一次，所以這種永置式並無優點可言。永置式

測試錶，如配合改用永置型 Cu/CuSO₄ 基準電極來使用，效率當會更高。

把鋼棒做為電位測試用的基準電極，依於一九四〇至一九五〇年間，曾有少數幾家管線調查公司採用過。經過驗證成果並不可靠。在每一次測量後，鋼棒隨即極化，其後續使用前，需將鋼棒予以清洗並打亮。而且，每次測量都要插入到相同深度；由不同的人員使用取獲的讀數；除非使用同材質的鋼棒，否則即無法相比較。此外，由於個人的習慣不一，對於 Cu/CuSO₄ 的換算因素，在每個案例也完全不同。

七、維護：

硫酸銅基準電極，由於具有在各種類型土壤中都很穩定的特性，而實用於大部份的電位測量工作。又由於各部份零件重組簡易，故日益普遍化。但是在使用時，應注意下列事項：

1. 僅可使用蒸餾水充注以免受到污染使讀數不確。2. 電位讀數會受溫度影響。每升高 1° F 電位增加 0.0005 V。

3. 曾有報告，強烈陽光照射硫酸銅溶液，會改變讀數。為免除這種可能性可使用封閉套筒。

4. 管內銅棒應保持具相當亮度的潔淨情況。僅使用蒸餾水不混雜其他種的水可維持較久的使用時間。

5. 較北方冬天時溶液會凍結，可加入一種特殊的抗凍劑，在零下 10° F 以上都可保護電極不凍結。如果自一測點至下一測點間，電極係置於車上，則更低的溫度亦可獲得滿意的成果。該種抗凍劑約可使用一年。

6. 在鹽水環境中，切勿使用硫酸銅電極。鹽分會污染硫酸銅離子。

7. 氯化銀基準電極勿使用於清水中。在該環境下，電極栓塞端會迅速積存污染物質

為電位測試的標準。

八、結論：

下表為最近常用的基準電極之最適環境及比較硫酸銅電極基準時之換算因素：

基準電極	適用環境	換算Cu/CuSO _{4(s)} 值
Ag/AgCl _(s) (0.1NKCl)	塩水	加 -0.010V
飽和甘汞	實驗室中	加 -0.072V
高純度鋅	水下結構	加 -1.10V

硫酸銅基準電極，係陰極防蝕工業中，現場作業最普遍使用的電極。全世界都以之

其他類型的電極，具有其特殊而實際的應用範疇。仍儘可能使用最廣汎使用，最易於了解的硫酸銅基準電極讀數。

硫酸銅基準電極，在推展陰極防蝕工業上具有很大的貢獻。更由於它所具有的穩定性、可靠性、實用性及再現性、威信將繼續被使用下去。

譯自：Pipeline & Gas Journal March 1979 By G. L. Quincy (HAROC Corp.)

譯者：陳幸男現就任工量公司工程師

廣告價目表

版面位置	長 × 寬 (mm) (直 式)	價 目		色 紙 黑 字
		彩 色	黑 白	
封面裡	全頁(210×297)	20,000	15,000	照定價加一成
封底面	全頁(210×297)	40,000	20,000	"
第一特頁	全頁(210×297)	30,000	15,000	"
封底裏	全 頁	20,000	10,000	"
	半 頁	15,000	6,000	"
後特頁	全 頁	20,000	10,000	"
	半 頁	16,000	6,000	"
內 頁	全 頁	16,000	6,000	"
	半 頁	14,000	5,000	"

說明：1.本會團體會員委刊廣告，按上表七折優待。

2.長期委刊廣告，五折優待。