

地下金屬建築腐蝕情形之測量

康寶煌

金屬在土壤或水中腐蝕，幾全為局部電池作用，可用電氣方法以測定，為弱電流，故美國各城市防腐協會 (City Corrosion Committee)，大半由電話局之防腐工程師主其事，此會為擁有地下建築各公司之聯合諮詢機構，與防腐工程師會性質不同，後者為一學術性之自由團體。

茲先說明美國壳牌油管公司之防腐工作，俾讀者知電氣測量之準確及重要，該公司於一九三三至一九三四年之間，測驗油管二千二百英里，計開掘地面一千八百餘處，取驗土壤，審察管面腐蝕情形，測量土壤電阻及管上電流，在此次全面審察中，記錄漏油之所在點，經證明其中百分之八十以上之漏油點，僅用電氣測量已能斷定其所在，亦即在一九三四年間，電氣測量之可靠性，已在百分之八十以上。以後電氣測量之技術進步，至一九四五年再行全面審察，則證明百分之一百之漏油點，可用電氣測量以斷定，以後即不再行開掘。此報告經美國防腐工程師會予以審定發表之後，各有關公司即全部採用電氣測量法，以陰極防腐法為防腐之基本方法。

測量之目的為確定地下建築物腐蝕點之所在，亦即測定電流自地下建築物流出至大地之點，電流在土壤內分佈甚廣，不易量到，但電流流經之處，必有電

位差，在地面上畫出電位等高曲線 (Contour)，即可斷定腐蝕之所在，亦即電流自地下建築物流出之點。
測量之實施，僅在人孔內管孔內或地面上行之，不用開掘或鑽孔。

一、測量用儀器

測量用儀器，大半為電氣工程師所習用，較為特殊者，有下列數種：

Weston Model 622 高阻電壓表

0—20/10/2/1/0.2 伏

Weston Model 622 千分電壓表

0—100/102/1/0.2/0.1 伏

0—20/10/2/1 千分伏

Simpson 電壓電流電阻表

0—5000/1000/250/50/10/2.5 伏 (交流流)

0—20,000,000/200,000/2,000 歐姆

0—10安/500/100/10 千分安/100

自動電壓記錄表，每伏 200,000 歐姆

5—0—5 千分伏

25—0—25 千分伏

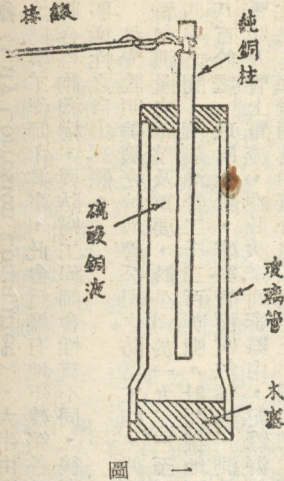
100—0—100 千分伏

500—0—500	千伏
2.5—0—2.5	伏
10—0—10	伏
50—0—50	伏
100—0—100	伏

CIS單棒式土壤阻力表，連同測棒

八吋高硫酸銅半電池或氯化鉛半電池

何謂半電池，此處必須加以說明，最簡單而可以自製之半電池，爲一不碎玻璃管，如圖一，中插一純銅棒，管底爲木塞，管頂亦用木塞蓋緊，管內注滿硫



酸銅，液體滲入管底木塞中，木塞常濕，成爲良導體，故如在馬路面上潑以水，置半電池於其上，即可量度地面電位差。電流經過銅棒及硫酸銅液，不起極化作用，使用電表量度之時間雖稍長，讀得之電位差其值不變。半電池置馬路面上，與電表之一端相連，半

電池與路面接觸處包含阻力，故必須使用高電阻電壓表，則所讀得之電位差，不致因此阻力而失去準確性。

高阻電壓表之內阻爲每伏 200,000 歐姆，倍爾實驗室所用者，其內阻高達每伏一百萬歐姆。

硫酸銅半電池與鉛板之間，產生約 0.54 伏之電勢，使用半電池以量度地面電位差時，必須加以校正。

硫酸銅溶液濃度不同，銅棒之純潔度不同，則所產生之電勢，可不相同，故必須在使用之前，量度其電勢而予以記錄。

氯化鉛半電池與電纜鉛皮之間，其相對電勢約爲零，在使用時或有些微之差異，必要時可加以校正。

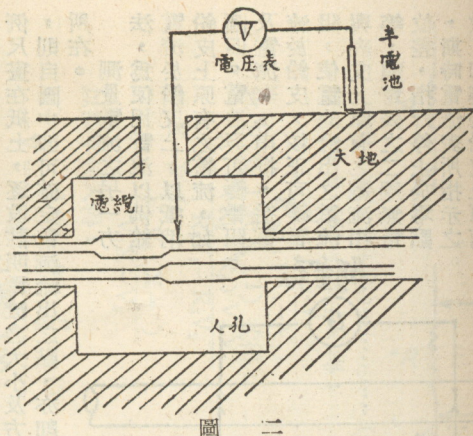
電壓表之一端接電纜鉛皮，另一端接半電池銅棒，置半電池於地面，地面潑有水，則電表所量得者共四部份，(一)電纜鉛皮與土壤間所產生局部電池之電勢 E_1 ，(二)接近電纜之土壤與接觸半電池之土壤間之電位差 R_1 ，(三)接觸半電池之土壤與半電池電液間之電位差，(四)電液與銅棒間之電勢，如將半電池自甲點移至乙點，作二度之測量，則(一)項之 E_1 不變，(二)項隨土壤之性質及二點間之距離而變，(三)項及(四)項不變，以 V 代表(三)(四)二項，以 V' 代表電壓表所讀得者，則：

$$V_1 = E - I_1 R_1 - K$$

$$V_2 = E - I_2 R_2 - K$$

$$V_1 - V_2 = I_2 R_2 - I_1 R_1$$

二次測得電位差之差額，即為二點間電位之差，不受 π 及 π' 之影響。



圖二

真空管電壓表或電位表 (Potential Meter)，亦可代替高內阻電壓表使用。

二、測量方法

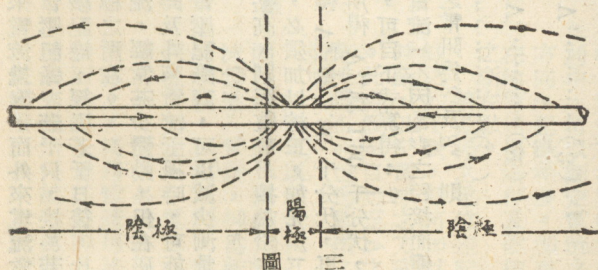
測量之方法有三，電流自金屬腐蝕之處流出，入於土壤，在土壤內分佈甚廣，不易量到，但如地下建管為電纜或油管，則電流在電纜皮上或油管上流過時

，集中一處，可以量到，事實上不能將電纜皮或油管切斷，電纜或油管有均一之直徑，亦即每單位長度內有一定之電阻，則測量每單位長度之電位差，即可算出電流，並可斷定電流自電纜流出至於土壤，抑自土壤流入電纜鉛皮。

如使用半電池作接觸點，測量電纜皮及土壤間之電位差，亦可確定陽極之所在，土壤電阻高於鉛皮甚多，故電流流經土壤，電位降落甚速，易於量得電位差，電流之方向，亦易於確定。

土壤電阻因土壤中所含化學物之性質及份量而定，測量沿電纜埋設處土壤之電距，如高低變化甚多，則可斷定電纜必有腐蝕。

以上所述均為電氣測量方法，使用任何一法即可斷定腐蝕點之所在，如三法兼用，互相參證，則可得極準確之判斷，以下各節，詳細說明各種測



圖三

量方法。

① 電 流 測 量

電流測量僅能在已經接續之電纜上行之，測量之目的為斷定電流離開電纜之點，在每一孔中每隔三尺之處，以電壓表之二端藉觸針與電纜皮接觸，記錄其電位差，並算出電流之大小將電纜之佈放情形用比例尺畫在紙上，逐段註明電流之大小及方向，如圖三，則自圖中即可確定電流流出之點，亦即陽極腐蝕之所在。

測量電流之另一方面

為使用電池以供給電流於鉛皮上，以抵消鉛皮上原有之電流，如圖四。電池與可變電阻及電流表串接，送電流於鉛皮，校正可變電阻，使電池流出之電流與表皮上原有之電流相等，顯電表之二端無電位差，指針停止於零點，斯時電流表所指示之數，即等於鉛皮上原有電流之數。

如電纜皮上電流非

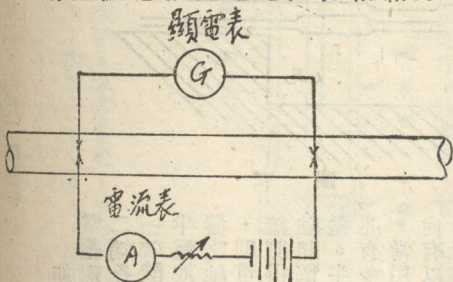


圖 四

僅來自局部電池，倘有外來電流攪入，而外來電流常在變動，則必須使用自動電壓記錄表若干只，接於若干點，每日二十四小時連續記錄，經過若干日後，比較各表之記錄，而斷定陽極之所在。

局部電池所產生之電流，經常甚少變動，但在磁暴 (Magnetic Storm) 時及外來電流干擾時，可能影響記錄，故如使用自動電壓記錄表，可以減少測量上之困難。

如所用電壓表內阻不甚高，則因電表跨接於鉛皮之上而影響於電流之分佈，必須加以校正，如先用二個千分伏之刻度測量，所得 V_2 為 1.86 千分伏，再用五個千分伏之刻度測量，所得 V_5 為 1.90 千分伏，則其真實電位差為千分伏，可自下式算得：

此處必須假定鉛皮上電流 I 不因電表之跨接而變，鉛皮之電阻為 R ，電表之電阻為 R_2 及 R_5 ，則

$$V = IR \dots \dots \dots (1)$$

$$\frac{R R_2}{R + R_2} I = V_2 \dots \dots \dots (2)$$

$$\frac{R R_5}{R + R_5} I = V_5 \dots \dots \dots (3)$$

(2) ÷ (3) 式得：

$$\frac{R_2(R + R_5)}{R_5(R + R_2)} = \frac{V_2}{V_5}$$

$$R = \frac{R_2 R_5 (V_2 - V_5)}{R_5 V_5 - R_2 V_2}$$

自 (2) 及 (3) 式得：

$$\frac{R R_2}{R + R_2} I = V_2 (R + R_2) \dots \dots \dots (4)$$

局部電池所產生之電流，流經土壤，使土壤之電位有差別，土壤電阻遠較鉛皮電阻為高，故局部電池所產生之電勢，幾全部消耗於土壤中。電位差測量，

② 電位差測量

$$V = \frac{1.86 \cdot 1.90 \left(\frac{5}{2} - 1 \right)}{\frac{5}{2} \cdot 1.86 - 1.90} = 1.93 \text{ 千分伏}$$

以數字代入得：

$$V = \frac{1.86 \cdot 1.90 \left(\frac{5}{2} - 1 \right)}{\frac{5}{2} \cdot 1.86 - 1.90}$$

將 R 及 I 代入 (1) 式得：

$$V = \frac{R_2 V_5 - R_5 V_2}{(R_2 - R_5) \frac{V_2 V_5}{R_2 V_5 - R_5 V_2}}$$

自 (4) 及 (5) 式消去 R 得：

$$I = \frac{R_2 R_5 (V_5 - V_2)}{(R_5 - R_2) V_2 V_5}$$

$$R R_5 I = V_5 (R + R_5) \dots \dots \dots (5)$$

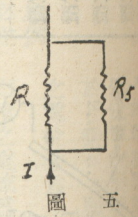
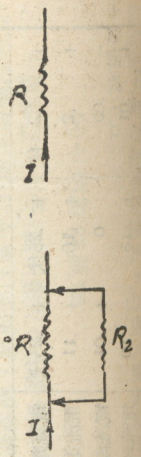


圖 五

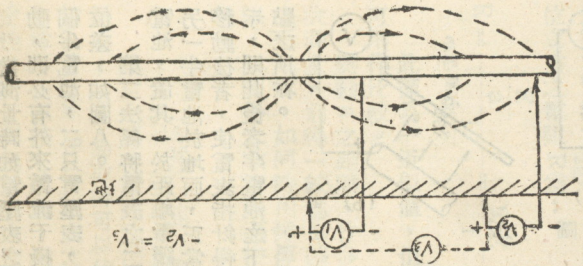


圖 六

有二法：

第一將電表之一端接電纜鉛皮，另一端利用半電池與地面接觸，將半電池在地面移動，假定第一次位置接近局部電池陽極，第二次位置接近陰極，則自二次記錄之差別中，可以斷定電流之方向，記錄稍多，即可在地面繪出陽極及陰極之所在點。

將量得之電位差記錄之如下表，即可加以判斷，以定電流之方向。此處假定自 D 至 A 之電流為正，D 為電纜之切面。此法可以測量入孔間任何一點，以斷定電流為進入電纜，抑為離開電纜，如為離開，即腐蝕之所在，半電池 A、B、C 三位置，必須在一直線上，橫跨電纜馬路表面為石子為洋灰抑為柏油，與所得結果無關，只需潑以水，以減少

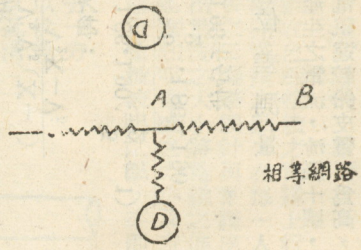
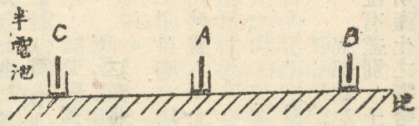


圖 七

部電池之陽極，因電流流過，起極化作用，使陽極之面積逐漸縮小，電流在較小之面積中流出，電位降落較速，距離陽極較遠，則電位降落較緩。

電位與 A 點		電位與 B 及 C 點		電流方向
+	2 伏	+	2.25 伏	
-	.05	+	.10	電流進入電纜
+	2	+	.11	電流離開電纜
-	.01	-	.10	電流跨過電纜

電阻，電壓表必須有每伏二十萬歐以上之電阻，可為真空管電壓表，或滑線電位表。

當測量時如電壓表之指針常在擺動，則必有外來電流干擾，可改用三個半電池，二只電壓表，同時讀出電位差，如圖八。

第二法係將電表之二端各接一半電池，置其一於距離電纜較遠之處，另一半電池於地面，正當電纜之上，移動後者，使電表指針得到最大之指示，則此後者半電池之下，必為腐蝕點之所在。

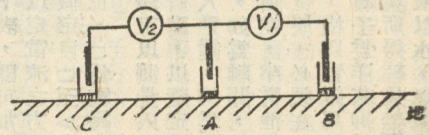
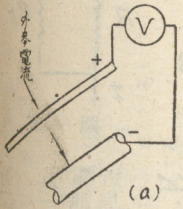
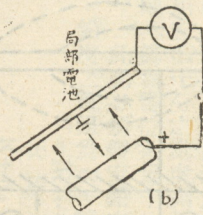


圖 八



(a) 圖 九



(b) 圖 九

如已經使用陰極防腐法，已將負電壓加於電纜鉛皮之上，則使用以上二法所測得電纜之電位，均為負值。

以電壓表之二端與二地下建築物相接，以測量其電位差，如電流係自外流來，則電流流經電位較高之建築，以入於電位較低之建築，如圖九(a)。如電流發生於建築物本身之局部電池，則電流自腐蝕之點流出以入於

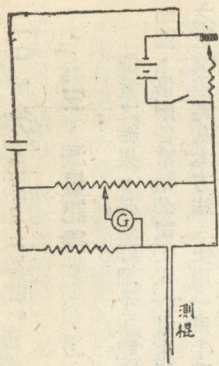
他建築，再自他建築流出，以返於腐蝕建築物之本身，如圖九（b）。

③土壤電阻測量

土壤電阻之大小，與土壤所含化學成分，成反比例，所含化學成分多，則土壤之電阻低，電纜腐蝕，必在土壤電阻低落之處進行，如每立方公分之土壤電阻在一千歐姆以下，必有腐蝕，在一萬歐姆以上，則不易發生，阻力不同之土壤相接，電纜穿越其間，必起腐蝕。

測量土壤電阻，必須在電纜埋深之處行之，土壤電阻測量表為一特別設計之交流韋司登橋，如圖十，測棍之尖端與棍桿絕緣，挿測棍入土壤中，至電纜埋深之處，平衡電橋，至聽筒G中無聲為止，即可讀得每立方公分土壤之電阻。

如地面有柏油或混凝土，測棍不能插入，則可用邁格表（Megger）四極法以測量之，在地面沿一直線置四個半電池 A、B、C、D，距離相等，B及C接電壓表



圖十

或邁格表之電壓線捲，A及D接電流表或邁格表之電流線捲，如圖十一，假定A、B、C、D之距離各等於a。

約等於電纜之埋深度，假定電流所穿過之切面等於 $2a$ 乘 a ，則每單位長度之電位差為 $\frac{E}{a}$ ，每單位

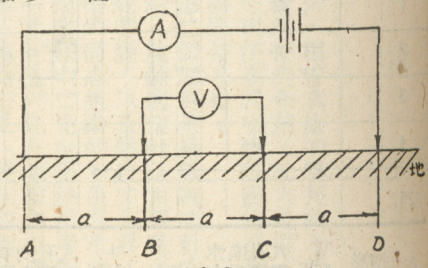
面積之電流為 $\frac{I}{2a^2}$ ，每單位立方之電阻 R 為 \dots

$$R = \frac{E}{a} \cdot \frac{I}{2a^2} = \frac{2aE}{I}$$

此僅為一近似值，但可用作比較。變動 a 之距離，作多次測量，則得一較為準確之平均值。如同時用挿棒式土壤電阻表以測量土壤電阻，以讀得之數字與邁格表比較，則可得邁格表之常數。

④其他測量

分析土壤，而設法消除其腐蝕成分，現代已不再採用，因不易取得可以代表全面之泥土，氫離子（Hydrogen Ion）密度之研究，因其隨季節而變，難於尋得一正確之結論，細菌腐蝕之研究，目前僅能作定性分析，與氫離子之密度有關，凡有砒根細菌之處



圖十一

PH 值必在 6.5 及 6.8 之間。

三、測量記錄

測量之結果，必須詳細予以記錄，並附以縮尺平面圖，倍爾各電話公司，以測量電纜與沿電纜土壤間之電位差為基本方法（使用一只半電池），以測量電纜上面土壤，與附近土壤間電位差為輔助方法（使用二只半電池），土壤電阻測量，則偶一行之，以資參證。下附倍爾電話系統所用測量記錄表格式，在已經使用多時之電纜上，每六個月測量一次，以視有無變化，及有無調準陰極防腐電壓之必要。

電纜鉛皮上電流測量，僅能在人孔中及隧道內（如紐約支加哥等城，電纜有懸於隧道壁上者）行之。在新設電纜已經接續之後，未加陰極防腐裝置之前，必須實行全面測量，已經加有防腐裝置之後，再行全面測量，以資比較而察看防腐裝置之成效。

倍爾防腐測量記錄表格式如後。

電纜防腐測量記錄表

頁

經常或特別測量		城市		記錄人		年	月	日					
測量地點	時間	鉛皮電流 (電位差 千分伏)	與電纜鉛皮間電位差								電纜數	人孔情形	註
			大地		鐵軌		水管		煤氣 油管				
			+	-	+	-	+	-	+	-			
1													
2													
3													
4													
25													

人孔情形 W 人孔有水 J 人孔內有廢電纜 NB 電纜皮未連續
 UW 電纜浸在水內 NR 電纜未置架上 BB 連續線已斷