

電力接地網對鐵件腐蝕的影響

顏世雄

一、緒言：

從雷擊以及其他的異常電壓保護的立場上，筆者常常提到應將鄰近的導體，例如鐵管、鋼管等與接地網連接，但由於接地網是銅導體網，接地棒也是銅棒，由於電位作用對鐵管等造成腐蝕。如讀者注意觀察時，台灣北部的幾處變電所鐵架底部都有鐵銹。看不到的自來水管、瓦斯管、鋼筋等都有影響。則電力系統的保護和材料的腐蝕防蝕互相抵觸，早期〔1〕對此有所檢討。對某些資料對專攻防蝕者或太淺易，但某些資料對電機工程師却必須認識，在此提出檢討以利供電設備之維護。

除台電公司的開關場外一些大樓，以及地下鐵路設備等恐也必須面臨同一問題待解決。

二、簡介腐蝕：

腐蝕是一種電化過程 (Electro - Chemical Process)，腐蝕的進行需要下列 4 條件：

(1) 陽極 (Anode)

各種金屬可以排成一活性系列 (Galvanic Series)，例如鐵對氫的電位是 + 0.04 V，而銅則為 - 0.34 V，故鐵與銅相比，鐵的電位高成爲陽極，陽極能釋出金屬離子於電解液中，鐵就會腐蝕。

(2) 電解液 (Electrolyte)

不純的水，離子經由水由陽極達到陰極。

(3) 陰極 (Cathode)

電解液裡的正離子到達陰極，於是使陰極帶正電，陽極帶負電。

(4) 兩極間的導線

正負離子經此導線而中和。

電解液中電流由陽極到陰極。導線中負離子 (電子) 亦由陽極達到陰極，電流則由陰極流到陽極。正離子的離去，將消耗金屬，而陰極接收陽極來的正離子，故金屬不會耗損，則陽極腐蝕。

接地銅網與埋在地下的鐵件相連，含水土壤成爲電解液，因此構成如前述的腐蝕的條件。鐵件將成陽極而腐蝕。常見的開關場鐵架底部的銹是由此而生的。雨水是電解液，南部地區雨水較少，腐蝕現象較少見。

腐蝕電流的大小必然與兩金屬面的電位差成正比，與土壤的電阻值成反比。土壤的電阻值除與距離、面積之外，影響最大的就是土壤的電阻率。則：

(1) 陽極對陰極面積之比

陽極的腐蝕是由電流密度決定，而非由電流總值來決定。兩極相對面積影響電流密度。爲避免局部腐蝕，通常陽極相對陰極的面積要大，也則如兩電極間的電位差已定，土壤電阻已定的條件下，某程度面積的鐵件與大接地網連接是最不智的。茲有三種情況可能發生，檢討如下：

(a) 陽極面積比陰極面積大

腐蝕電流一產生，將使陰極極化 (Polarization) 因爲自電解液來的正離子要堆積在陰極的靠近陽極的一半面，陰極附近電位達到幾等於開路狀態的陽極電位，因而阻止腐蝕電流。極化愈快，腐蝕電流也愈低。如陽極面積不變，則陽極電流密度與陰極面積成比例。如陽極面積愈小，則極化愈快，腐蝕作用降低，稱此爲陰極控制 (Cathodic Control)。

(b) 陰極面積比陽極面積大

陰極的電位幾不改變。陽極也會有極化作用，則負離子將堆積在陽極的面向陰極的一面。陽極極化致使其電位幾達到與陰極的開路電位相等。因而阻止腐蝕電流。陽極面積愈大，雖腐蝕電流會較大一些，然而因面積的增大，致使電流密度不一定增大，腐蝕作用也不一定增加，稱此爲陽極控制 (Anodic Control)。

(c)兩極面積差不多

此種情形常見於一般工業用戶，電力系統的開關場也許也是屬於此類接地。兩極均產生極化。通常為達到低接地電阻值，於是使用較大的銅接地電阻網，再接上鐵件後對此鐵件將構成腐蝕。於此情況下如陰極面積增加，腐蝕電流也會增加。

如欲克服上述困難，往往將鐵件加以油漆，然而如油漆不完全，或油漆有局部脫落處，該處電流密度增加，將使該處產生局部的快速腐蝕。稱此為混合控制 (Mixed Control)。

(2)兩電極間的電阻值

兩電極間土壤的電阻值為土壤的電阻率以及兩電極面積，兩電極間距離的函數。通常兩電極間的土壤電阻率低而距離近者較電阻率高距離遠者的腐蝕來得厲害，但却不呈線性的改變 (Not Clear - Cut and Linear)。

接地的目的在使接地電阻值要低到某一特定的要求值，故電阻率高的地點的接地網的面積也大。

(3)電性接觸 (Electrical Continuity)

地下鐵件除非有良好的焊接連到接地網，否則陽極對陰極的面積不算大。

三、接地的目的：

以往提到接地的目的只是保護人員以及設備的安全，但目前許多控制、儀測及電腦系統的干擾對策也是接地的主要目的之一。因此接地之後概略可以舉出接地有如下的一些功能。則：

- (1)正常狀態下維持交流或直流電力系統的各元件等電位。
- (2)減低大地與建築物架構間的電位差，以減少靜電電荷的累積。
- (3)提供電擊電流導向大地的路徑。
- (4)當電力系統發生故障時能提供低阻抗的路徑通到大地，以使保護設備動作，隔離故障。
- (5)減少對通訊、控制、儀測、電腦等系統的干擾。

為發揮如上述功能，通常要將設備機殼以及建築鋼筋架構以及金屬管路都接到接地網系統。

設計接地系統時，電阻值是重要考慮因素之一。當電力系統遭受雷擊或有接地故障時，異常電流與接地電阻使各點電位上升，可能危及人員與設備的安全。目前大略都是算電位上升值與接地電阻值成比例。因此都考慮如何來降低接地電阻值。此觀念是否正確，要不要修正在此不做討論。因此實地佈設接地系統之前應先估計接地電阻值。接地電阻值乃依埋在地下電極的尺度、幾何形狀、材料、連接用導線以及埋設地點的土壤的電阻率來決定。傳統的接地方法是在各處理下銅接地棒與/或銅線，然後再將各接地導體連接成一網路獲得較低的接地電阻值。〔2〕

此接地系統必須與下列物件、系統連接，則：

- (1)大部份的建築物架構。
- (2)地下及建築物架構附近的導體管道系統。
- (3)主要機器設備的機殼。
- (4)配電盤的接地棒。

如有地下水或雨水時，構成了前述的腐蝕4條件。接地電阻值視設備而不定，可能要求到1Ω以下，某些設備不需要如此低，一般說不會高於25Ω。事實上這些電阻值，如何計算、如何測試以及測試值可信度多少都須深入檢討的。

如圖1所示，接地電阻由三部份合成。

- (1)電極和連接到電極導體的電阻，通常這些電阻值很低，可忽略之。
- (2)電極與附近土壤間的接觸電阻，當然與接觸面積有關，但通常對接地網而言，除非電極塗有油漆或附近土壤不緊密外，此值也不致太高。即是電極生銹，因鏽加地下水水份後尚不會比土壤電阻高。
- (3)附近土壤的電阻

以圖1的接地棒為例，打入電阻率均勻的土壤中，電流向四周流出。假設接地棒由多層殼 (Shell) 包圍，則愈靠近電極的殼的

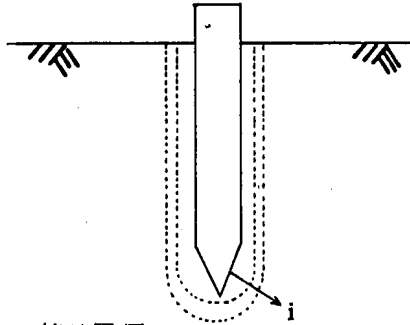


圖1. 接地電極

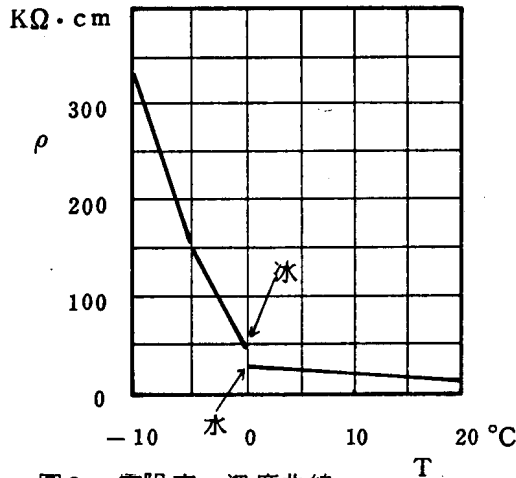


圖2. 電阻率-溫度曲線

面積愈小，故顯出較高的電阻，愈外側的電阻愈低。到最後各層間的電阻值的變化將漸近為0。通常此部份電阻影響整體接地電阻值最鉅。土壤電阻受下列各因素的影響而變化。

- (a) 土壤的種類：不同土壤的電阻率必然不同。
- (b) 濕度與所含鹽份：在土壤中的導電性物質是電解液，因此所含水份及鹽份將影響土壤的電阻率。表1.及表2.為例。
- (c) 溫度：水的電阻率會隨溫度的變化而改變，因此土壤的電阻率也隨溫度的變化而變。圖2.為其一例。
- (d) 季節：季節變化影響以上所述各因素，因此季節變化，土壤的電阻率也隨著變化。

四. 接地電阻值的估計：

市面上有不少種類的所謂接地電阻計，並也常常聽到測得接地電阻值多少Ω這一句話，其實接地電阻不容易測試，〔3〕裡有詳細的說明，但可使用下列公式估計。如測試方法不正確，恐測試值不如由公式算出的計算值了。

水份 (重量百分比)	電阻率	
	表面土	沙質沃土
0 %	$1000 \times 10^6 \Omega\text{-cm}$	$1000 \times 10^6 \Omega\text{-cm}$
2.5	250,000	150,000
5	165,000	43,000
10	53,000	18,500
15	1,000	10,500
20	12,000	6,300
30	6,400	4,200

表1. 水份對電阻率的影響

鹽份 對水份重量百分比	電阻率
0 %	$10,700 \Omega\text{-cm}$
0.1	1,800
1.0	460
5	190
10	130
20	100

表2. 鹽份對電阻率的影響

接地網的接地電阻值計算基本公式為〔1〕

$$L \cdot W = \frac{0.196}{R^2} \rho^2 \quad (1)$$

- 式中：L—接地網長m
- W—接地網寬m
- ρ —土壤電阻率Ω-m
- R—接地電阻值Ω

為避免電流密度過高，宜以導體環繞整個區域一周，為減少末端的電流梯度太高，連接導體也應與接地網導體平行排列，並且最好間隔不超過15m，接地網也應和建築物或機器設備成列以便連接，接地銅棒應置於建築物之每一角落，其間隔要在30m以內。

當然也需要根據電力系統的電抗值估計最大故障電流，且要考慮將來的成長（建議至少75%）。根據接地電阻值再修整系統的阻抗

。這一部份是依據〔1〕的建議，是針對工廠接地系統的做法，台電公司的接地網恐考慮因素有些不同。

為控制電位梯度的需要上可依據下式計算導線的最短長度，〔1〕〔4〕

$$L = \frac{0.999 K \rho I \sqrt{t}}{165 + 0.25 \rho_s} \quad (2)$$

式中：L—埋在地下導線的總長度 m

K—不同接地網接地電流依不均勻的程度的修正係數，通常K值是 1.25
 $< K < 1.5$

I—總地電流 A

t—電流衝擊的時間 sec，通常如 0.5 sec

ρ —土壤的電阻率 $\Omega \cdot m$

ρ_s —表面物質的電阻率 $\Omega \cdot m$

計算總長度L之後尚需與上述條件比較修正之。其次再根據下式計算接地導體的最小尺度以免導體過熱，甚之燒熔。

$$I = \frac{A \sqrt{\log \left(\frac{T_m - T_a}{234 + T_a} + 1 \right)}}{33 S} \quad A(3)$$

式中：I—故障電流 A

A—導體截面積 Circular mil

T_m —容許的最高溫度 $^{\circ}C$

T_a —周圍溫度 $^{\circ}C$

S—故障維持時間 sec

(3)式是根據導線的溫升計算的，但也需要根據機械強度來考慮線徑，如此則主要接地環路的導體至少需要 4 / 0 以上的導線。

Schwarg 根據下式求接地網的接地電阻

$$R = \frac{\rho}{\pi L} \left(\ln \frac{2L}{a_1} + K_1 \frac{L}{\sqrt{A}} - K_2 \right) \Omega(4)$$

式中： ρ —土壤的電阻率 $\Omega \cdot m$

L—導體的總長度 cm

$a_1 = \sqrt{a \cdot 2z}$ 或地面上的導體半徑 cm

Z—埋下地下部份深度 cm

2a—導體直徑 cm

A—導體所覆蓋的面積 cm^2

K_1, K_2 —係數，為面積、長與寬之比的函數。對正方形而言 $K_1 \cong 1.4$
 $K_2 \cong 5.6$ ，變化不大。

接地棒組的接地電阻為：

$$R = \frac{\rho}{2\pi n L_1} \left[\ln \left(\frac{4L_1}{b} \right) - 1 + \frac{2K_1 L_1}{\sqrt{A}} (\sqrt{n} - 1) \right] \Omega \quad (5)$$

式中：L₁—每根接地棒的長度 cm

2b—接地棒的直徑 cm

n—在區域A內的總接地棒數

如使用接地棒與接地網時，其綜合的接地電阻為：

$$R = \frac{R_{11} \cdot R_{22} - R_{12}^2}{R_{11} + R_{22} - 2R_{12}} \Omega \quad (6)$$

式中：R₁₂ = R₂₁

$$= \frac{\rho}{\pi L} \left[\ln \left(\frac{2L}{L_1} \right) + K_1 \frac{L}{\sqrt{A}} - K_2 + 1 \right]$$

R₁₁—接地網的接地電阻

R₂₂—接地棒的接地電阻

五地下系統的腐蝕問題

地下鐵件在其表面的腐蝕電流密度 (mA/cm²) 和該點的腐蝕進行速率兩者之間是成比例的，然而幾m外的土壤中則兩者之間只有一粗略的關係存在而已。

雖欲直接測腐蝕電流很困難，但測量距離鐵件不遠處的土壤中的電流較簡單，而此值尚可做為鐵件表面電流大小的參考依據。通常測土壤的電壓降換算為此電流值。

接地網系統通常使用銅導體。銅不僅導電率高，也不易被其他金屬腐蝕，然而反過來說，銅却會腐蝕地下的其他金屬。

其實其他金屬也可取代銅做電極的，但必須考慮到如下各點：

- (1) 在最嚴重的故障電流，維持故障的期間內，該導體不得熔化以及劣化。
- (2) 足夠的機械強度。
- (3) 足夠導電性避免危險性的電壓上升。

使用鋼導體做接地電極的工廠經陰極保護措施後亦可正常地工作的。鋼筋水泥建築物也可將鋼筋做為接地網的一部份的。如使用銅做為接地導體時，為防止腐蝕，應將可能腐蝕的金屬表面加絕緣，或儘量使其他鐵件與銅導體正交，且在交叉處附近使用非金屬構件或採用陰極保護。

(1) 的作者提出地下管道在地上部份以絕緣環隔離絕緣，再將地上部份連至接地，如此可大大降低地下部份管道的腐蝕。

六 結 言

工廠設備鐵件，開關場鐵件需要接地，接至接地銅電極或銅接地網。但如此則促進鐵件的腐蝕。對此現象在台灣北部地區因多雨，已有多處出現此現象，但似不太嚴重，故也就未被重視，但既然是腐蝕，畢竟腐蝕進行是一損失。在國外 IEEE 這類權威性雜誌也有報告，因此吾人也應該針對此事實謀求對策。本文報告若能引起各界興趣是幸。

一般對腐蝕都有瞭解，可是較少知道接地系統是地下鐵件的原因，腐蝕取決於接地系統和地下金屬構件間的電阻，相對面積比以及接地系統和金屬構件間的電位差，若於設計時能注意這些點，則可降低腐蝕，針對已有接地系統與地下鐵構造物，也可做某些程度的改善，本文的目的也在引起讀者關心，以降低損失。

參 考 資 料

1. "Corrosion and Grounding Systems"
Sundar Rajan, Srinivasal Venugopal
IEEE Vol. IA-13 No.4 1977.
2. "接地網系統之計算機輔助設計與分析"
周至如、葉勝年及顏世雄指導國立台灣工業技術學院75年碩士學位論文。
3. "接地系統測試概說"
黃文獻，台電工程月刊，No.499
4. IEEE std.80 "IEEE Guide for Safety in Substation Grounding" 1976.