

雜散電流監測方法比較

羅俊雄

Comparison of Stray Current Monitoring Systems

Jiunn-Shyong Luo

摘 要

由捷運系統產生的雜散電流對地下金屬結構物有相當程度之負面影響，其監測方法有地表電位梯度監測與結構物的對地電位量測兩種。地表電位梯度監測又分為雙電極法與多電極法，而結構物的對地電位量測則是使用銅/硫酸銅參考電極與電位記錄器來擷取資料。本文討論監測方法之應用比較，結果顯示：地表電位梯度監測之多電極法可以正確且定性地判斷地表雜散電流方向；而結構物的對地電位變化監測則可以直接瞭解結構物是否有受雜散電流腐蝕之影響。

關鍵詞：雜散電流；雜散電流腐蝕；捷運系統；電位監測。

ABSTRACT

Stray current has been recognized as a serious problem for underground structures when rail mass transit systems operating. To monitor stray current, measuring systems such as earth surface potential gradient and structure-to-earth potential have been applied. The dual-electrode method and the multi-electrode technique were performed for earth surface potential gradient measurements. Underground structure-to-soil potential monitoring was conducted by using a Cu/CuSO₄ reference electrode associated with a computerized data logger to collect data. This paper presents a comparison of these two methods applied in Taipei mass rail transit systems. The results indicated that potential gradient measurements conducted by multi-electrode technique can qualitatively detect the moving direction of stray current in case of stray current occurred. For structure-to-earth potential measurements, it will give possible corrosion areas of structures due to stray current.

Keywords: Stray current; Stray current corrosion; Mass transit systems; Potential monitoring.

1. 前言

雜散電流(Stray current)是指電流流動路徑並非原先規劃的電路迴路，或是，大地中任何外來之電流^[1]。假若這類電流進入地下金屬結構物，則電流將沿著金屬傳遞，當電流離開金屬再度進入土壤或水中時，在電流離開的金屬表面常有腐蝕發生，這現象就稱為雜散電流腐蝕(stray current corrosion)^[2]。持續 1 安培的直流洩漏電流，只需 40 天就會使鋼鐵結構物產生 1 公斤的損耗，而由直流電(DC)所造成的腐蝕又較交流電(AC)所造成的損害為大；文獻^[3]指出，金屬如鋼、鉛和銅在一般環境中，60 週期交流電所造成的損害，僅為相等電量直流電損害的百分之一或更小。因此，要了解雜散電流腐蝕，雜散電流的來源必需加以確定，而雜散電流的監測更是重要。

由於雜散電流有動態(dynamic)與穩定態(static)兩種；動態雜散電流的發生與時間因素有關(如有軌電車系統的運轉、休息時間)，而穩定態雜散電流的發生與時間因素無關(如由其他金屬結構物陰極保護系統所造成持續性的雜散電流)。傳統上，動態雜散電流的監測，是採用長時間量測地表或結構物的電位變化；而穩定態雜散電流的監測，則是將可疑雜散電流來源的陰極防蝕系統利用開關方式，調查結構物的電位變化。本文將利用電位量測的方式針對雜散電流進行現場監測，以瞭解監測方法的適用性與有效性。

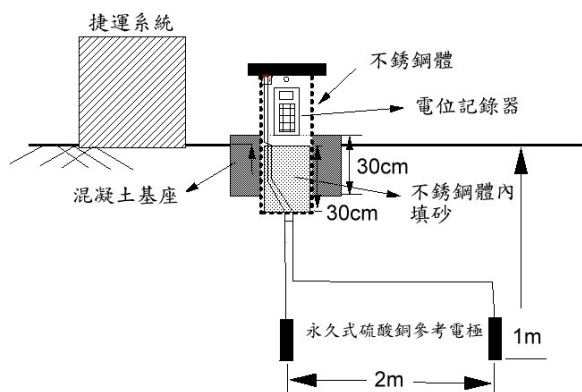


圖 1 雙極法示意圖。

Figure 1 Illustration of dual-electrode method for earth surface potential gradient measurements.

2. 試驗步驟

本研究的主要目的為比較雜散電流的監測方法，施行方式為在加油站內進行地表電位梯度監測與結構物的對地電位量測，而地表電位梯度監測又分採雙電極法與多電極法進行。試驗步驟概述如下：

2.1 雙電極法

雙電極法是利用 2 支永久式硫酸銅參考電極，相距 2 公尺，埋設於一公尺深之土壤中(如圖 1 所示)，量測垂直或平行方向之地表電位變化。資料取回後，利用電腦整理，繪製電位梯度變化之時間序列圖。

2.2 多電極法

多電極法是利用多支永久式硫酸銅參考電極埋設於一公尺深之土壤中，其中一支參考電極安裝於中心做為基準點，而其他參考電極則平均分佈於基準電極四週，電極間距為 2 公尺；電極安裝完成後，將引線引至測試箱中並接上多頻道記錄器，每秒記錄一次，進行長時間電位監測。舉例而言，圖 2 為 9 支參考電極以矩形方式平均分佈，監測時以左上角之硫酸銅參考電極編號為 R1，依順時鐘方向續編為 R1 至 R8，中央之參考電極為 R9，同步記錄周圍各參考電極對 R9 之電位變化；即 R9 接於電位計之負端，而其餘 8 支參考電極則分別接於電位計之正端。資料取回後，利用電腦整理，繪製電位梯度變化之時間序列圖以及電場強度之等電位圖。

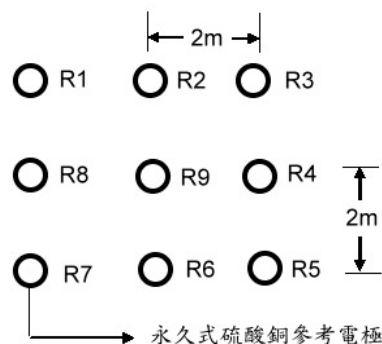


圖 2 多極法示意圖。

Figure 2 Illustration of multi-electrode method for earth surface potential gradient measurements.

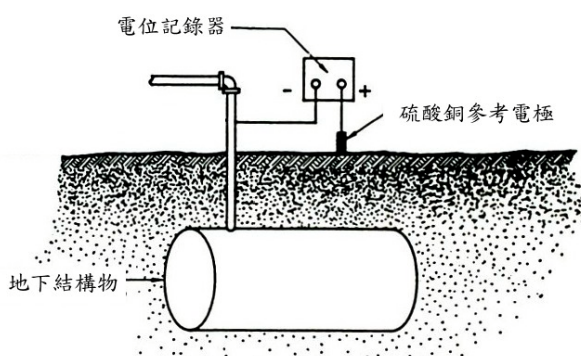


圖 3 結構物對地電位示意圖。
Figure 3 Illustration of structure-to-earth potential measurements.

2.3 地下結構物的對地電位監測

監測方式是將永久式硫酸銅參考電極埋設在欲測結構物的旁邊，利用電位記錄器每秒記錄結構物對硫酸銅參考電極的電位；量測時，槽體引線接於電位計的正端，硫酸銅參考電極則接於電位計的負端(圖 3)。資料取回後，利用電腦分析，整理成結構物電位變化的時間序列圖。

3. 結果與討論

3.1 雙電極法

圖 4 為 A 日 13:40 至 14:40 利用雙電極法量測加油站之地表電位梯度變化(ΔV , mV/m)時間序列圖；在量測時間內兩參考電極間之電位梯度變化極小，在 0 ~ 1 mV/m 之間。假設兩參考電極間的土壤為均質土壤，即土壤的比電阻值一定，則當有雜散電流流過量測區域時，地表電位梯度應有變化；圖 4 中兩參考電極間電位梯度隨時間之變化極小，顯示加油站在量測時間內幾乎無雜散電流干擾。但在 B 日量測時，兩參考電極間之電位梯度變化如圖 5 所見，隨時間有顯著的增加，且最高可達 70 mV/m，顯示該加油站受雜散電流的干擾變大。

然而在此加油站的其他位置埋設兩參考電極，於上述試驗時間進行同步量測時，如圖 6 及圖 7 所示，發現兩次量測結果，該地點之電位梯度均無明顯變化。與先前另一地點量測結果相較，顯示量測地點的選定會影響監測的結果；即雙電極法之監測僅為點、線、面中”線”方向的監測，無法確知地表雜散電流的方向，且若位置選擇不當，將無法正確判斷雜散電流干擾狀況；施工簡單顯然為其優點。

3.2 多電極法

圖 8 為 A 日 13:40 至 14:40 使用多電極法量測加油站之地表電位梯度變化(ΔV , mV/m)時間序列

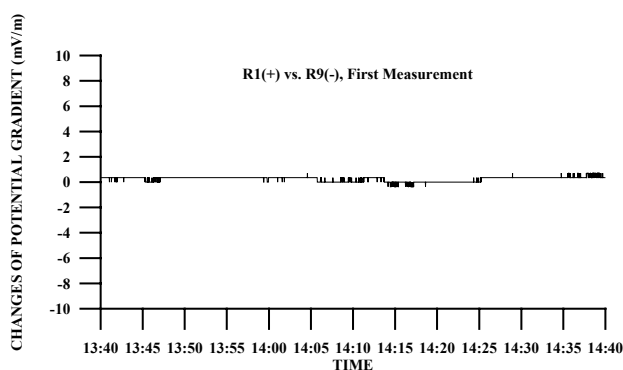


圖 4 A 日測時利用雙電極法量測之地表電位梯度變化時間序列圖(位置一)。

Figure 4 Changes of potential gradient measured by the dual-electrode method in location 1 at date A.

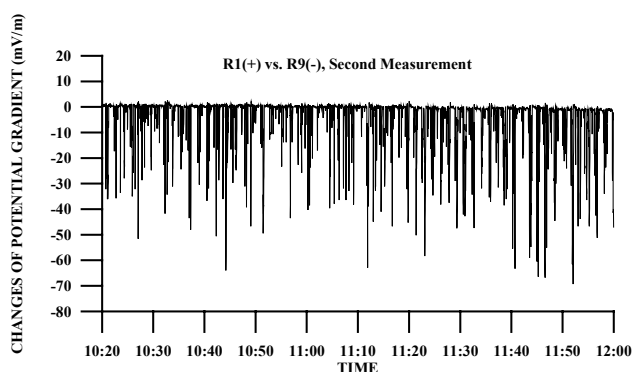


圖 5 B 日量測時利用雙電極法量測之地表電位梯度變化時間序列圖(位置一)。

Figure 5 Changes of potential gradient measured by the dual-electrode method in location 1 as stray currents occurred during date B.

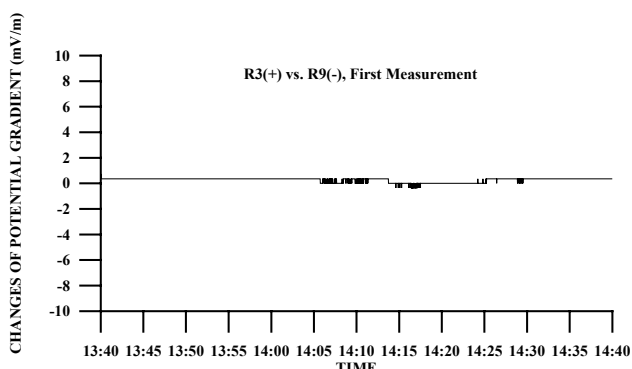


圖 6 A 日測時利用雙電極法量測之地表電位梯度變化時間序列圖(位置二)。

Figure 6 Changes of potential gradient measured by the dual-electrode method in location 2 at date A.

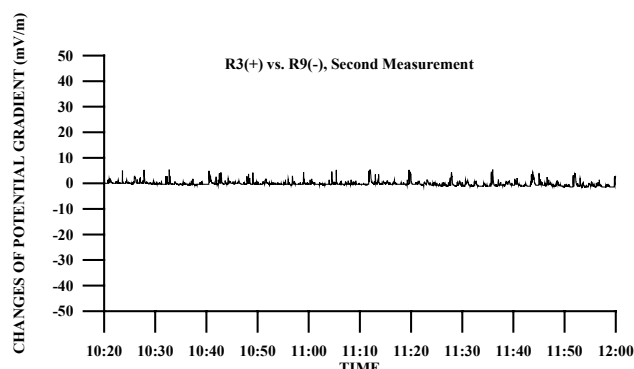


圖 7 B 日量測時利用雙電極法量測之地表電位梯度變化時間序列圖(位置二)。

Figure 7 Changes of potential gradient measured by the dual-electrode method in location 2 as stray currents occurred during date B.

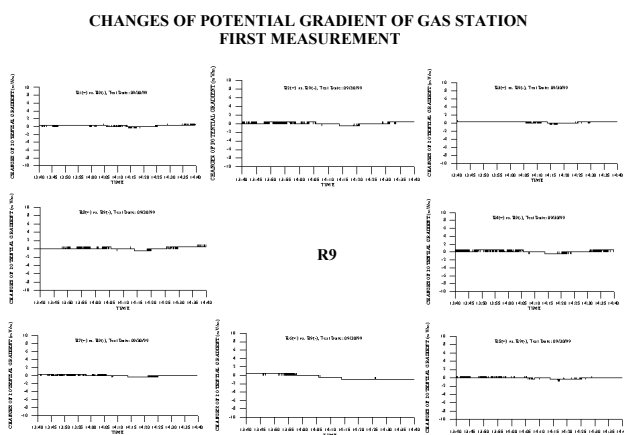


圖 8 A 日量測時利用多電極法之地表電位梯度變化時間序列圖。

Figure 8 Changes of potential gradient measured by the multi-electrode method at date A.

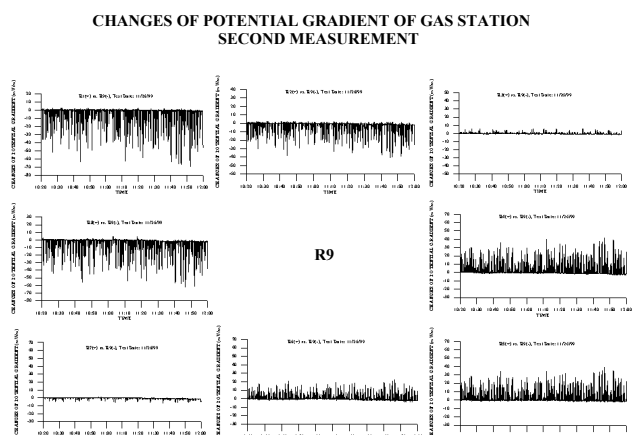


圖 9 B 日量測時利用多電極法之地表電位梯度變化時間序列圖。

Figure 9 Changes of potential gradient measured by the multi-electrode method as stray currents occurred during date B.

圖；各組兩參考電極間之電位梯度變化極小，均在 0 ~ 1 mV/m 之間。但在 B 日量測時，如圖 9 所示，各組參考電極間之電位梯度變化有顯著的增加，顯示該站受雜散電流的干擾變大。圖 10 為 A 日與 B 日量測時某一瞬間之 3-D 表面電位分佈圖與 2-D 平面等位圖；A 日量測時 R2 所在位置地表電位約為 100 mV 左右，但 B 日量測時該點地表電位升至 340 mV，說明了兩次量測之地表電位有明顯的變化。圖 11 為 B 日量測時某一瞬間(11:52:05)之地表淨電位變化

圖；圖中電位的大小由參考電極 R5 的位置向 R1 遞減，顯示雜散電流的流向在該區為由右下方向左上方流過。與雙電極法相較，多電極法的監測不僅可以了解參考電極涵蓋“面”的電位變化，也可以正確判斷在監測範圍內地表雜散電流方向；但其缺點為施工較雙電極法複雜，且可能無法直接判斷鄰近結構物受雜散電流干擾時電流是由結構體流進亦或流出。

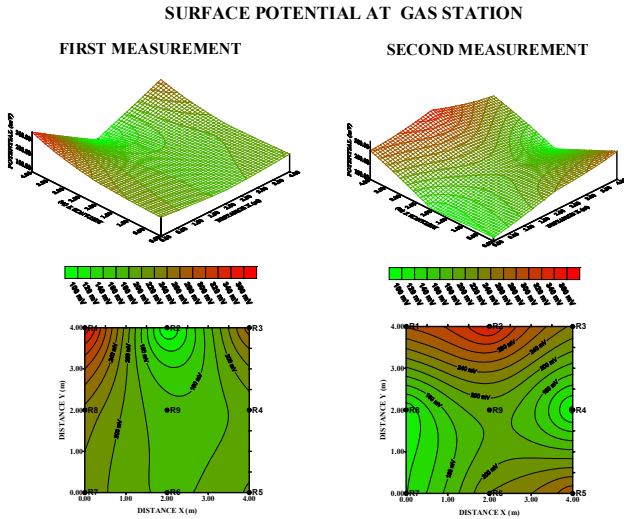


圖 10 A 日與 B 日量測時地表電位之 2-D 及 3-D 分布圖。

Figure 10 2-D and 3-D surface potential plots in the survey area at date A and date B.

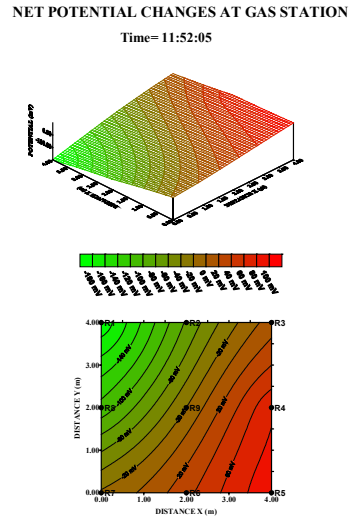


圖 11 B 日量測時地表電位之 2-D 及 3-D 淨電位變化圖。

Figure 11 2-D and 3-D plots for net changes of the surface potential at one specific time of date B.

3.3 地下結構物的對地電位監測

圖 12 與圖 13 為 A 日與 B 日量測油槽對地電位時間序列圖。A 日量測時油槽電位並不會因記錄時間的不同而有所變化，但 B 日量測時油槽對地電位瞬間變化極大，變化量最大達 160 mV 左右，顯示槽體有受雜散電流干擾。此外，由於油槽對地電位的量測是利用高阻抗的電位計進行監測，且槽體引線接於電位計的正端，硫酸銅參考電極接於電位

計的負端，因此當槽體電位變化往正值方向移動($\Delta V > 0$)時，即表示有電流由正極流向負極，也就是有電流由槽體流出至大地，如此將有電蝕現象產生，槽體銹蝕；然而當槽體電位變化往負值方向移動($\Delta V < 0$)時，即表示有電流由負極流向正極，也就是有電流由大地流入槽體，如此將不會對槽體產生電蝕問題。如圖 13 所見，在 B 日量測時該站油槽對地電位瞬間變化均是往正值方向移動($\Delta V > 0$)，可推測槽體

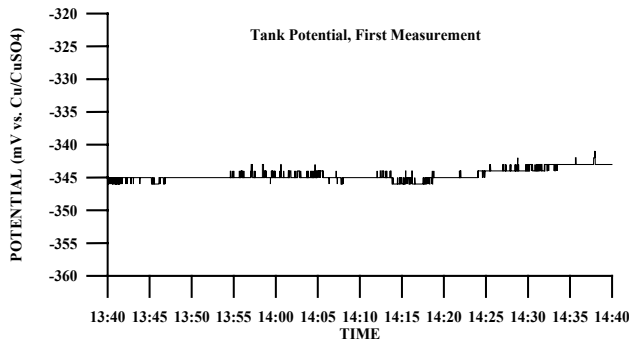


圖 12 A 日量測時油槽對地電位時間序列圖。
Figure 12 Tank-to-soil potential versus time plots for an underground oil tank at date A.

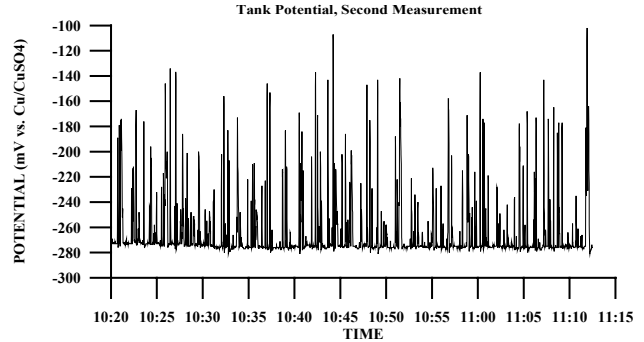


圖 13 B 日量測時油槽對地電位時間序列圖。
Figure 13 Tank-to-soil potential versus time plots for an underground oil tank as stray currents occurred during date B.

有受雜散電流干擾，槽體可能會因此發生電蝕現象。換句話說，地下結構物的對地電位的監測可以直接了解結構物是否有受雜散電流干擾，並由電位變化的方向判斷雜散電流是由結構體流進亦或流出，推論結構物遭受雜散電流腐蝕的可能性。然而本方法之量測引線須與待測物體作良好的導線連接，若此待測體是油槽或是油氣管時，施工時將較具危險性。

4. 監測方法比較

綜合以上比較，結構物的對地電位監測為一簡單又直接的雜散電流監測方式；但為瞭解雜散電流源的方向，則必需配合多電極法進行監測。在空間較小的地方，可考慮使用雙電極法，選擇適當地點，分別將兩組電極擺設在垂直與平行的方向，量測地表電位變化。在空間較大的監測地點，可考慮使用多電極法，電極埋設位置與電極間的距離可依欲測範圍而定，即監測範圍可以為一固定較小的空間(如加油站內某個小區域)或是涵蓋整個監測範圍(如整個加油站)。此外，為瞭解雜散電流的流動方向，應選擇適量的參考電極，即參考電極使用的數目愈多，雜散電流的流向愈能準確推斷。

5. 結論

1. 利用電位量測的方式進行雜散電流監測，方法有地表電位梯度監測與地下結構物的對地電位變化監測；而地表電位梯度監測又可分為雙電極法與多電極法。

2. 雙電極法的優點為施工簡單，缺點為無法確知地表雜散電流的方向。
3. 多電極法的優點為可以正確判斷地表雜散電流方向，但缺點為施工較雙電極法複雜。
4. 結構物的對地電位變化監測可以直接了解結構物是否有受雜散電流干擾，並由電位變化的方向判斷雜散電流是由結構體流進亦或流出，但其缺點為施工時有時會較具危險性。

參考文獻

1. R. S. Treseder, R. Baboian, and C. G. Munger, NACE Corrosion Engineer's Reference Book, 2nd Ed., NACE International, Houston, TX, 1991.
2. H. H. Ulich and R. W. Revie, Corrosion and Corrosion Control, 3rd Ed., John Wiley & Sons, pp. 215, 1991.
3. M. J. Szeliga, Rail Transit Stray Current Control, Then and Now, Presented at CORROSION/93, paper no.592, and published in Materials Performance, June, 1993.

收到日期：2005年2月15日

修訂日期：2006年7月31日

接受日期：2006年9月1日