

地下管線陰極防蝕遮蔽效應研究

王瑞坤* • 陳新北*

Shield Effect of Cathodic Protection on Underground Pipeline

R.K. Wang and H.P. Chen

摘 要

一般地下管線之陰極防蝕保護標準，都採用管對地電位更負於-850mV(Cu/CuSO₄)，這種判定方法會受到天候及土壤種類的影響，而造成不同IR降之差異，若以極化電位測量則可以得到較正確的管線電位值。由於目前管線埋設太過擁擠，管線間遮蔽現象相當嚴重，以至防蝕電流無法均勻分佈，若以電位量測法是無法了解的。因此本研究即針對管線間之遮蔽象，設計各種不同遮蔽條件，並配合預先設計之測試管及參考電極，以電流量測法來探討遮蔽現象對陰極防蝕效果的影響。

ABSTRACT

Generally, a pipe-to-soil potential of -850 mV vs. copper-copper sulfate reference electrode (Cu/CuSO₄) or more negative is the most widely used as a criterion for determining the acceptable degree of cathodic protection applied on the underground pipeline. However, geomorphology, weather, and geology may interfere with the above criterion and result in the difference in IR drop. Although the difference in IR drop can be overcome by measurement techniques and deduce a optimized potential (i.e. polarized potential), this potential is actually a mixed potential of all buried pipes in a local area. It seems very difficult to be aware of the potential distribution along the buried pipeline, because of the shield effect resulted from the arrangement and numbers of pipes situated in the same area. The purpose of this study is tried to clarify the effectiveness of cathodic protection under shielded condition. In order to simulate the shielded effect, the tested samples and reference electrodes were designed to locate in a different distance. It is also emphasized to understand the disadvantage of existing buried pipes and to study the improvement method. Due to the lack of consideration of shield effect in the past, it is hope that the experimental results can create a better and more correct design concept of cathodic protection and extend the service life of buried pipes.

*工業材料研究所
Materials Research Laboratories, ITRI.

一、前言

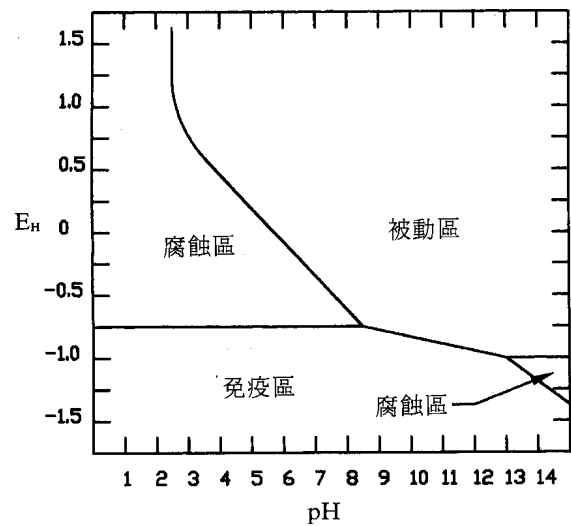
我們知道的地下輸送管線如：瓦斯管、水管、輸油管及其七化學物質輸送管，這些管線輸送的物質都具有很大的潛在危險性，不能讓它洩漏到大地中。但幾十年來地下管線洩漏事件層出不窮，根據資料統計發現，除了少數洩漏事件是由於機械破壞外，其它大部份都是由於管線腐蝕問題所造成的，因此地下管線的防蝕措施就格外重要。一般管線都選擇適當的防蝕包覆，再配合陰極防蝕以達到最佳的效果。但基於方便及節省空間的考量，幾乎所有的管線都沿著幾十條管線，有的地區甚至上下排列好幾層。這種高密度的埋設，若以陰極防蝕的觀點，它們彼此間將造成相互遮蔽的現象，由於國內對於陰極防蝕遮蔽不會做過深入的研究，因此每當已做陰極防蝕之管線發生破損時，就會懷疑陰極防蝕是否有效，因此本研究即針對此問題，利用實驗室縮小模型以自來水模擬土壤，進行各種不同遮蔽試驗，並實際埋設管線比較實驗，並藉此來了解陰極防蝕電流如何達到保護管線。

二、原理

地下管線陰極防蝕原理及目的，主要是針對管線包覆破損區之裸露金屬，施加一直流電源，使該裸露金屬（以下稱接地電極）處於Pourbaix圖形（見圖一）之免疫區內而使金屬達到保護的效果。但是陰極防蝕電流能否有足夠量到達此區域。則端賴整個陰極防蝕系統迴路電阻之大小而定。而迴路電阻大小最具決定性的是包覆破損區裸露金屬對地電阻（以下稱接地電阻）之大小。因此如何減低破損區裸露金屬對地電阻之大小，將是決是陰極防蝕保護效果的關鍵。

具體的接地電阻應包括下列三種電阻之總和：

1. 接地電極及導線之導體電阻。



圖一 Fe-H₂O 之 Pourbaix 圖形
Fig.1 Pourbaix diagram of Fe-H₂O.

2. 接地電極面腐蝕生成物及其相接土壤間之介面電阻。

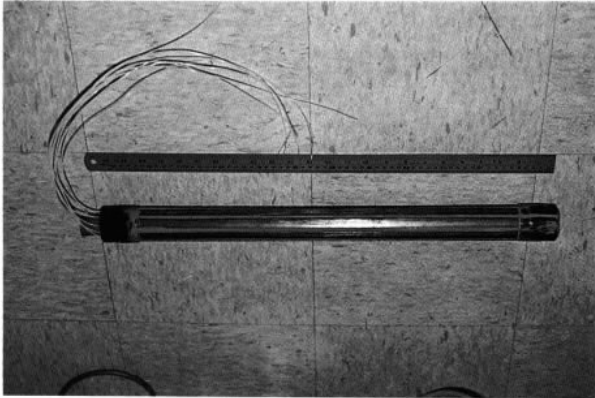
3. 接地電極周圍土壤所呈現之電阻。

在此三項電阻中，第 1 項屬於金屬良導體，因此電阻非常小，不會形成問題。第 2 項牽涉到的因素較複雜，除了土壤中所含之化學物質、含水份，可能影響到金屬表面化學反應生成物之電阻；另外施工時接觸面之緊密性都影響第 2 項之電阻值。第 3 項電阻則與土壤之比電阻係數有關，另外阻擋在接觸電極周圍之管子或石塊亦會影響電阻值的大小，這也就是本實驗所在探討的陰極防蝕遮蔽效應造成原因。

三、實驗方法

(a) 試管是由 1.5 吋鋼管利用放電加工，將其分割成 8 片，每一測試片單獨接出導線，再將 8 組測試片組合成測試管，在實驗時視遮蔽條件，可將管線做防蝕包覆並做人工缺陷。（見照片一）

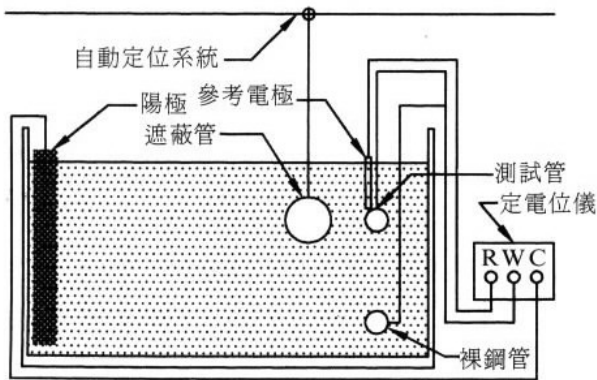
(b) 遮蔽管線則固定於 UT-2000 型 Scanner 上，實驗時可從控制器，輸入指令，控制遮蔽管線移動之方向及速度。（實驗裝置見圖二）



照片一 組合後之測試管
Photo 1 The test tube.



照片二 現場實驗
Photo 2 Field test.



圖二 實驗裝置圖
Fig.2 Schematic experimental setup.

(c)本實驗主要是採用定電流輸出，分別對測試管 $50\text{mA}/\text{m}^2$ ， $45\text{mA}/\text{m}^2$ ， $40\text{mA}/\text{m}^2$ ， $35\text{mA}/\text{m}^2$ ，等 4 種不同電流密度，並調整 $3000\Omega\cdot\text{cm}$ ， $2024\Omega\cdot\text{cm}$ 及 $100\Omega\cdot\text{cm}$ 三種不同比電阻係數之水溶液。並移動遮蔽管線，分別記錄不同遮蔽距離時，測試管線所接受到之電流量再進行分析。

(d)現場試驗站和實際管線之陰極防蝕系統是一樣的（見照片二）。首先將整流器固定輸出電壓，使電流由陽極地床放出，再經由土壤進入已考慮各種不同遮蔽條件之各個測試試

表 1 r_1 與 α 之關係

Table 1 Relationship between r_1 and α .

r_1	$\alpha(\%)$	$\Delta\alpha(\%)$
r	0	
2r	50	50
3r	67	17
4r	75	8
5r	80	5
6r	83	3
7r	86	3
8r	88	2
9r	89	1
10r	90	1
20r	95	

片。本實驗主要是改變陽極位置及不同輸出電壓，記錄各試片之電流量改變，來分析不同條件之遮蔽效應。

四、結果與討論

遮蔽率定義為：

$$100\% \times \left(1 - \frac{\text{不同遮蔽距離包覆破損區之分配電流}}{\text{無遮蔽管時包覆破損區之分配電流}}\right)$$

1. 陰極防蝕之遮蔽現象與包覆破損面積有關，包覆破損面積愈大，開始遮蔽距離較長。包覆破

- 損面積愈小，開始遮蔽距離較短，一般遮蔽物在遠離破損面積最大直徑10倍之距離，則遮蔽效應可以完全忽略。
2. 在遮蔽範圍內，相同的遮蔽距離情況下，比電阻係數愈大的環境，遮蔽率愈大。(見圖三)
 3. 在遮蔽範圍內，相同的遮蔽距離情況下，包覆破損面積愈大，遮蔽率愈大。(見圖四)
 4. 在相同的破損面積，不同電流密度下，相同的遮蔽距離，得到相同的遮蔽率。(見圖五)

5. 第 3 項電阻主要是大地電阻造成的由於通過大地之導電截面積非常大，因此通常均考慮忽略其電阻值。

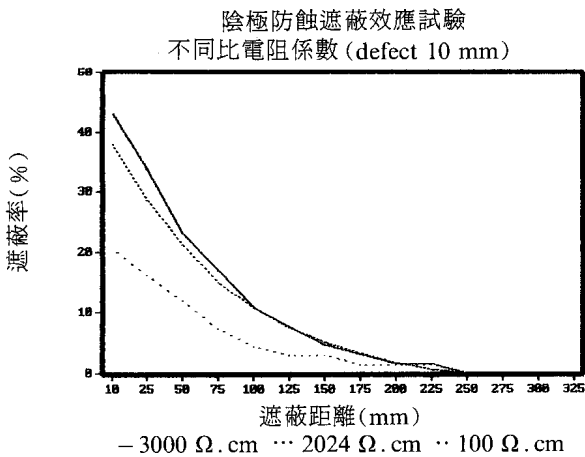
確實在離接地金屬相當遠距離（遮蔽效應以外）處，因電流通過之截面積變得非常大，即使土壤比電阻係數極大，電阻值仍很小。但在接近接地電極附近時，由於截面積不大，電流通路之截面積愈來愈小，故對電流而言，將呈現一定的電阻。這也就是接地金屬之電阻區域。某接地電極之形狀及尺寸若決定則該電極之接地電阻則可以下式表

$$R = \rho \times f = \rho \cdot \ell / s \dots \dots \dots (1)$$

R : 接地電阻(Ω) ; ρ : 大地比電阻率(Ω·cm) ;
 f : 則由電極之形狀和尺寸所決定之函數 [1/L] ;
 ℓ : 長度 ; s : 截面積。

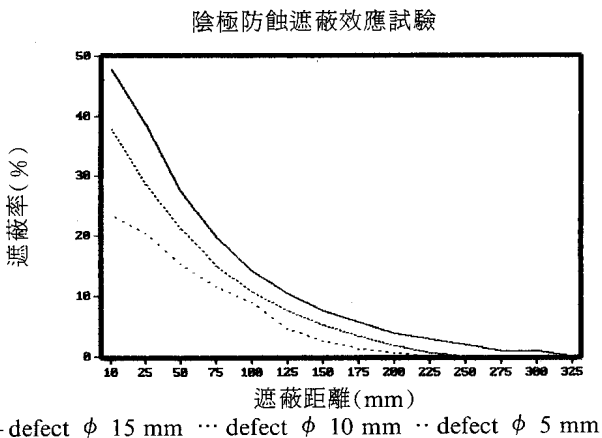
理論上若將接地電極考慮成半球狀之電極（如圖六）所示，若由電極中心算起，距離某厚度dx部位之電阻為dR，大地電阻率為P₁，則dR為

$$dR = \rho \frac{dx}{2\pi x^2} \dots \dots \dots (2)$$



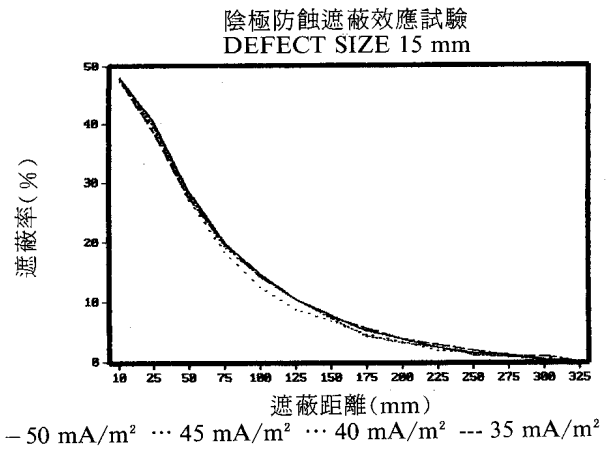
圖三 比電阻係數愈大管線之遮蔽效應愈大

Fig.3 Shielding fractions for various specific resistance coefficients.



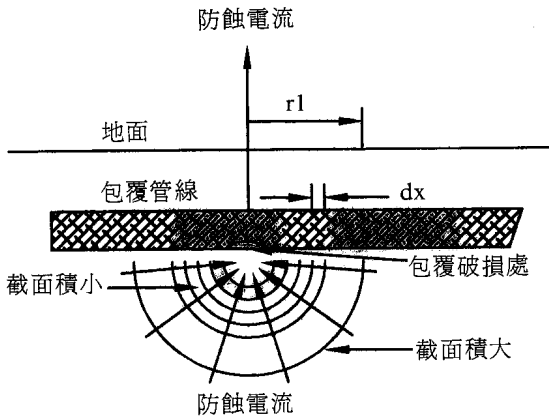
圖四 包覆破損面積愈大遮蔽距離愈大

Fig.4 Shielding fractions for various coating defects.



圖五 在相同的破損面積不同的電流密度下，得到相同的遮蔽率。

Fig.5 Comparison of shielding fractions for different current densities.



圖六 接地金屬之電阻區域

Fig.6 Schematic resistance zone for a grounded metal.

若要求得從電極中心至距離 r_1 處所包含之電阻；則可由 r 至 r_1 加以積分求得，設其電阻值為 R_1 ，則

$$R = \int_r^{r_1} dR = \frac{\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r_1} \right) \dots\dots\dots (3)$$

由於接地電阻係包含由電極起，至無限遠處之全電阻，當 r_1 為無限大時，則 $1/r_1 = 0$ ；故實際之電阻 R 為

$$R = \rho f = \rho \cdot 1/s = \rho \cdot \frac{1}{2\pi r} \dots\dots\dots (4)$$

接地電阻之絕大部分電阻都出現在電極附近之理由，在前面已敘述過。若由半球形電極表面起至距離 r_1 為止，其間所包含之電阻當作 R_1 而由電極表面至無限遠處之全接地電阻當為 R ，且 R_1 與 R 之比為 α ，則

$$\alpha = \frac{R_1}{R} \times 100\% = \left(1 - \frac{r}{r_1}\right) \times 100\% \dots\dots\dots (5)$$

若以 5 式為基礎；則 r_1 與 α 之間，可得如表一之關係，由這些關係我們可以得到一個結論，當遮蔽物（管子或石塊），若不擋在接地電極的電阻區域內，陰極防蝕遮蔽現象就可以避免。從以上的推論得知：陰極防蝕遮蔽距離與包覆破損面積有絕對的關係。也就是當破損面積愈大時開始遮蔽的距離較長，破損面積愈小遮蔽開始的距離較短。

參考文獻

1. H. B. Dwight, "Calculation of Resistance to Ground" Electrical Engineering, No. 12. 1936.
2. 鮮祺振, "腐蝕理論與實驗" 徐氏基金會出版。
3. BRIAN MARTN, "Cathodic Protection Shielding of pipeline"
4. Unz. Materials protection, Vol.4, No. 2. p.34(1965)
5. Martan, B, Materials Performance. Vol.20. No.1. p.52(1981)
6. 川瀨高橋, "ビル接地はどユガ重要ガ" 圖說電氣。
7. 川瀨高橋, "接地設計入門" 1984~1985, 關東電氣協會
8. Herbert H. Uhlig "Corrosion and Corrosion Control"

誌謝

本研究承中油公司高雄煉油廠贊助，並承防蝕課全體同仁協助，在此致最高謝意。由於業務關係不便將結果詳細列出，讀者若對本研究有興趣者，請直接與作者連絡。