

## 以波形分析法 量測地下管線極化電位及管對地電位

黃吉雄\* · 黃基榮\* · 趙憲麟\*\* · 吳建源\*\* · 古永榮\*\* 著

### Determination of the Pipeline Polarization Potential and Pipe-to-Soil Potential by Potential Waveform Analysis

*J. H. Hwang\*, C. J. Hwang\*, C. L. Jau\*\*, C. Y. Wu\*\* and Y. R. Gu\*\**

#### 摘 要

全波(或半波)整流器電輸出每秒有120(或60)次為零。波形分析法即利用整流器此一快速斷電器電象,即可不用將陰極防蝕電源斷電,而取得極化電位。

#### ABSTRACT

The current output of a full-wave (or half-wave) rectifier goes to zero 120 (or 60) times every second. Thereby, the standard rectifier itself acts as a fast interruption circuit. The waveform analysis method is based on this phenomenon.

AD/DA card and microprocessor of computer were used to read potential waveform data and a computer software was used to analyze waveform data. The pipe-to-soil potential and the polarization potential can be fastly obtained by above package.

#### 一、前 言

對地下管線外部腐蝕,一般利用陰極防蝕與塗裝進行複合式防制。陰極防蝕之防蝕效果以NACE RP0169-83<sup>(1)</sup>所提供標準為依據。NACE以飽和硫酸銅電極為參考電極對鐵系管線提出下面五個基準:

- I.  $E_p/s < -850$  mV
- II.  $E_p/s - E_{corr} < -300$  mV
- III.  $E_p - E_{corr} < -100$  mV
- IV. 電流流入

#### V. E-logi 圖轉折點之電位

目前以基準 I 為國內地下管線所最常採用,但此基準含有土壤所造成  $iR$  降,故應用在台灣地下管線可適性堪疑。表 1 是桃園地下管線現場檢測開挖驗證的電位值及結果,所有開挖點其  $E_p/s$  皆符合基準 I 的要求,但是已有孔蝕及塗裝嚴重破損。NACE<sup>(2)</sup>於1992對地下管線基準作了修正,對鐵系管線提出下面三個基準:

- I.  $E_p/s < -850$  mV
- II.  $E_p < -850$  mV
- III.  $E_p - E_{corr} < -100$  mV

\* 工研院工中材料研究所, \*\*中國石油公司台營總處,新竹營業處,桃園廠  
Materials Research Laboratories, I.T.R.I., Hsinchu, Taiwan, R. O. C., \*\*C. P. C., Taiwan, R. O. C.

表 1 地下管線開挖驗證結果

Table 1 Corrosion condition of dug out underground pipeline.

項次	管對地電位	極化電位	開挖結果
1	- 850mV	- 750mV	孔 蝕
2	- 1000mV	- 700mV	孔 蝕
3	- 1200mV	- 800mV	塗裝破損
4	- 1400mV	- 800mV	塗裝破損
5	- 1000mV	- 700mV	混凝土包覆
6	- 1000mV	- 820mV	塗裝良好
7	- 1000mV	- 850mV	塗裝良好
8	- 1700mV	- 1100mV	塗裝良好
9	- 1300mV	- 700mV	塗裝良好

表 1 開挖處以基準 II 極化電位作判定，較以基準 I 管對地電位判定準確性較高。英國<sup>(3)</sup>與德國<sup>(4)</sup>的防蝕基準也以基準 II 作判定。本研究乃利用波形分析法原理，來求取管對地電位及極化電位，而不需要傳統斷電方式。

## 二、原 理

外加電流式陰極防蝕其電源一般採用 60 Hz 交流電，利用整流器進行全波或半波整流，如圖 1 所示。整流器負端接地下管線，正端接陽極床，參考電極置於地表，大地類似電容作用，地下管線類似電容正端，陽極床類似電容負端，因此，整流器電流輸出必須克服電容驅動值，故以地表為參考點時電位波形，如圖 2 所示<sup>(5,6)</sup>

一般電位量測將參考電極置於地表，量測所得電位值為管對地電位，是圖二電位波形的平均

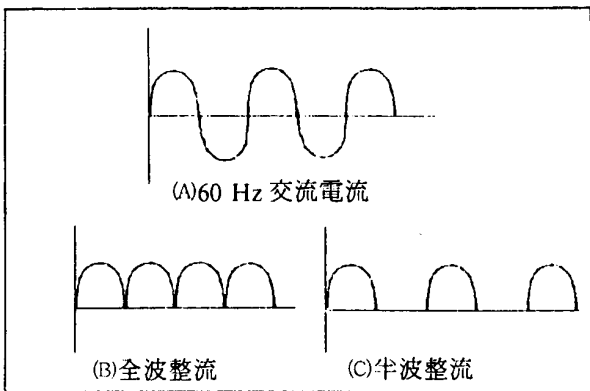


圖 1 整流器全波與半波整流

Fig. 1 Fullwave or halfwave rectifier.

值，在圖二位電位波形最大值處，是整流器需克服電容效應最小電壓，此時整流器電流輸出為零，土壤所造成  $iR$  降為零，此處電位即為極化電位。

## 三、實驗室研究

探討電氣干擾對波形極化電位量測的影響，主要的有(1)同相整流(2)異相整流(3)DC 迷失電流(4)AC 迷失電流(5)陽極向突波 (Anodic Spiking) 等因素<sup>(7-11)</sup>，結果列於表 2。

同相 (異相) 整流，係指兩個陰極防蝕整流器對其電流來源 60Hz AC 交流電之整流，二整流器所整流出來的電流是否為同相而言。因 AC 交流電有三相且對交流電整流時所採方式為單相或三相整流。當採單相整流時，如對 AC 交流電同一相整流時，稱為同相整流，其電位波形如原理圖 2 所示；當對 AC 交流電不同相整流時，其

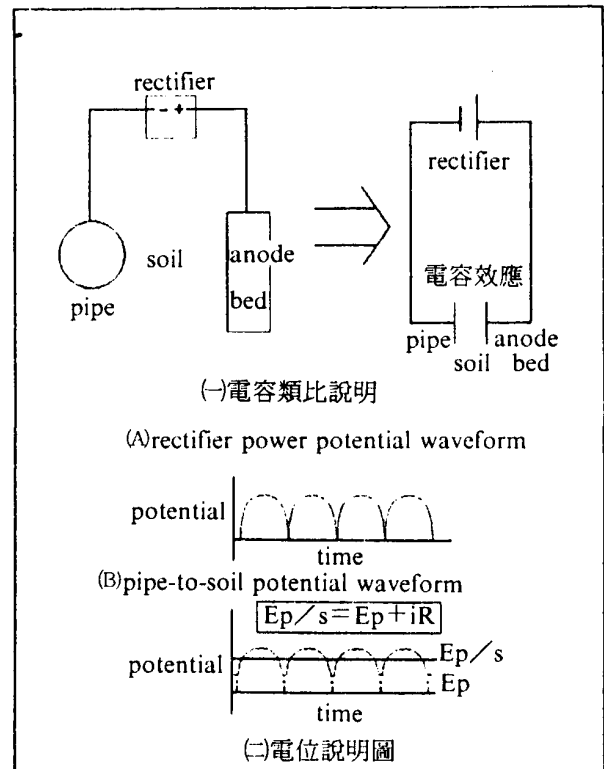
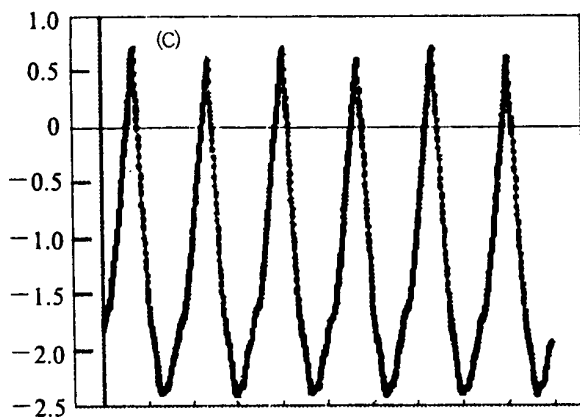
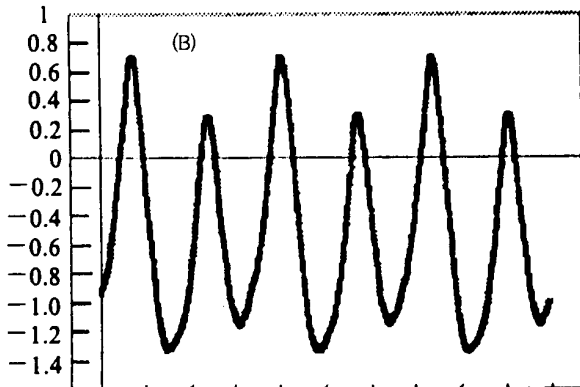
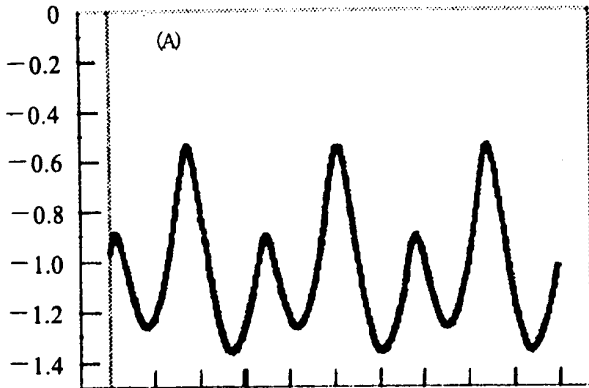


圖 2 波形分析法原理

Fig. 2 Pipe-to-soil potential waveform analysis.

表 2 干擾對極化電位波形的影響  
Table 2 Interference effects on pipe-to-soil potential waveform.

干擾名稱	量測準確性	改善方式	圖例
整流效果 DC 迷失電流	尚 可 不 好	不 用 無	(A)
60 Hz 迷失電流	好	不 用	(B)
60Hz 以上 AC 諧波 Anodic spiking	尚 可 差	濾 波 軟體求取	(C)



電位波形由兩個不同相位電位波形組合，任何時刻電流皆不為零，造成波形呈一大一小狀態，如表 2 圖例(A)。三相整流相位情況與單相整流相同。

DC 迷失電流由於與陰極防蝕電位波形同為 DC 型態，因此對電位波形產生平移現象，波形與原理圖 2 相同。

AC 迷失電流與陰極防蝕 DC 電位波形型態不同，量測所得電位為 AC 迷失電位與陰極防蝕 DC 電位加成，造成電位有浮動情形。研究發現極化電位與 AC 電流之頻率，振幅有關，當頻率為 60 Hz 時，振幅小於 500mV 時極化電位輕微受影響，而其它狀態下極化電位受影響非常大，如表 2 圖例 (B) 所示。

陽極向突波 (Anodic spiking) 產生原因是，地下管線塗裝破損的電容效應及管線的電感效應綜和。當整流器電流輸出為零時，上述電容效應即因整流器電流為零發生放電現象，產生陽極向的電位，其電位波形如表 2 圖例 (C) 所示。

#### 四、現場波形分類

波形分析法是否能在現場應用，取決於現場波形與理論波形相差有多大，以及是否能用軟、硬體方式克服。利用示波器觀察現場波形，利用傳統斷電法求取極化電位作為比較依據，並分析斷電法所得極化電位落在電位波形何處，以利軟體分析判定。

本研究在新竹與桃園兩地，進行現場四十個測試點波形分析與分類，可區分為五種類型：(1) 理論型(2)異相整流型(3)AC 迷失電流干擾型(4)陽極向突波型(5)電位浮動烈，其中以(2)及(3)最多，(4)及(1)其次，(5)最少見。

理論型電位波型如圖 3 所示，雖然波型不像圖 2 那樣完美，但其極化電位仍落在最大值處，可利用軟體程式輕易求得。

異相整流電位波型呈一大一小情況，利用斷

電法所得極化電位分析，發現此值落在較負的尖端處，如圖四所示，此情況可利用軟體分析判定求得。

AC 迷失電失干擾與陽極向突波電位波型，如圖 5 與圖 6 所示。與理論圖 2 相差太遠，必須利用軟、硬體方式克服。AC 迷失電流可利用濾波器過濾，而極化電位根據分析現場數據可利用下列兩條件求得：

I.  $E_{corr} > E_p > E_p/s$

II. 兩次微分值大於0.03之點

極化電位量測系統軟硬體設計

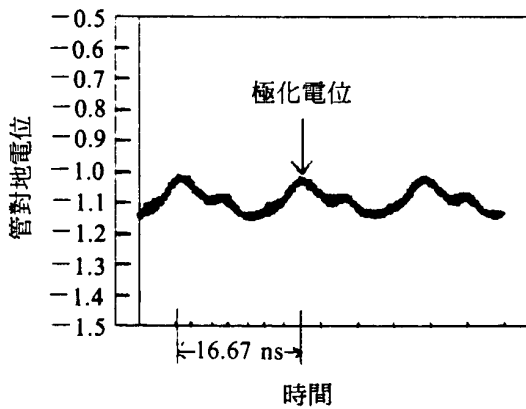


圖 3 理論型電位圖  
Fig. 3 Theoretical pipe to soil potential.

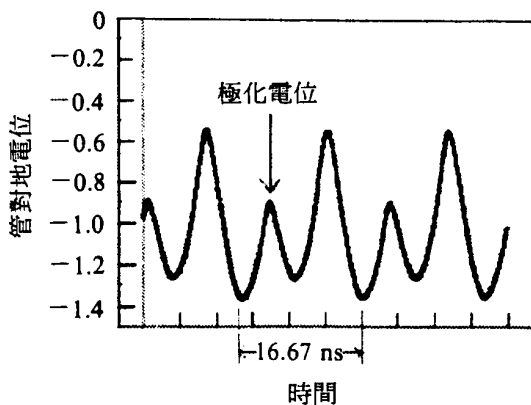


圖 4 異相整流型電位圖  
Fig. 4 Pipe-to-soil potential showing out-of-phase rectifiers condition.

### 1. 硬體設計

首先利用電腦微處理機以 20kHz 取樣速度進行電位波形資料取樣，利用濾波器過濾高頻 AC 電流的干擾，將電位訊號利用 AD/DA 卡轉變成數位訊號，傳入電腦進行存檔。分析求取  $E_p/s$  及  $E_p$ ，並將結果顯示於螢幕上。

### 2. 軟體設計

第一步：判定頻率為 60 或 120 Hz (全波或半波整流) 求一個完整波平均值 (即為管對地電位)

第二步：判定是否有陽極向突波 (anodic spi-

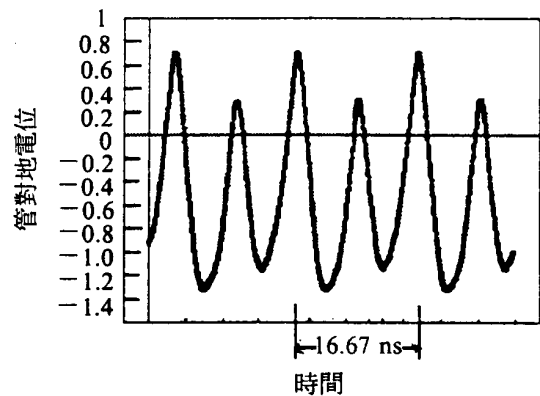


圖 5 AC 迷失電流干擾電位圖

Fig. 5 Pipe-to-soil potential showing AC stray current interference.

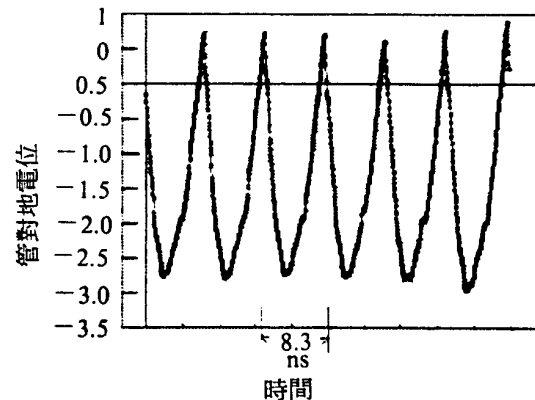


圖 6 陽極向突波電位圖

Fig. 6 Pipe-to-soil potential showing anodic spiking.

king)

第三步：A. 無陽極向突波時

求一個完整波形的極值（即為極化電位）

B. 有陽極向突波時

作兩次微分及  $E_{corr} > E_p > E_p/s$  的分析判定

第四步：顯示及存取  $E_p/s$  及  $E_p$  值

整個流程如圖 7 所示。

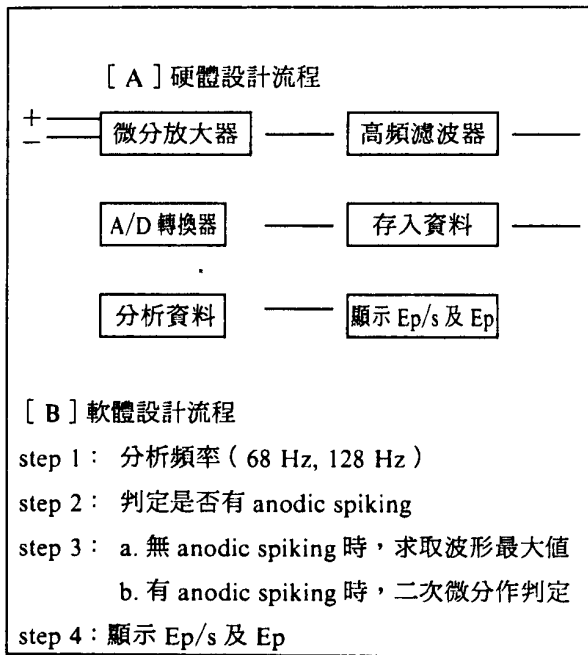


圖 7 波形分析量測系統

Fig. 7 A measurement system of w.r.t pipe to soil potential analysis.

### 五、實驗室測試

將設計系統進行實驗室測試，控制的變因有：(1)同相整流(2)異相整流(3)AC 迷失電流等。主要比較系統所得極化電位與示波器所得極化電位相差少，以便確立軟體邏輯無誤。

表 3 是同相整流情況下，系統量測分析值與示波器所得值之比較。在此符合理論情況下，

誤差幾乎為零。

表 4 是異相整流情況下，系統量測分析值與示波器所得值之比較。在此一大一小電位情況下，誤差亦幾乎為零。

表 5 是 60 Hz AC 迷失電流存在情況下，系統量測分析值與示波器所得值之比較。在無 AC

表 3 同相整流器對極化電位的影響

Table 3 In-phase rectifiers effect on pipe-to-soil potential waveform.

電壓 ( volt )	示波器值 ( mV )	系統量測值 ( mV )	誤差 ( % )
3	- 765	- 767	0.3
4.5	- 840	- 840	0
6	- 1040	- 1040	0
9	- 1280	- 1287	0.5

表 4 異相整流器對極化電位的影響

Table 4 Out-of-phase rectifiers effect on pipe-to-soil potential waveform.

電壓 ( volt )	示波器值 ( mV )	系統量測值 ( mV )	誤差 ( % )
3	- 765	- 760	0.033
4.5	- 1360	- 840	0.04
6	- 3790	- 3800	0.003
9	- 2080	- 2180	0.05

$$\text{誤差 ( \% )} = \frac{\text{示波器值 ( mV )} - \text{系統量測值 ( mV )}}{\text{示波器值 ( mV )}}$$

表 5 單一整流器，60HzAC 迷失電流對極化電位的影響

Table 5 Single rectifier, 60 Hz AC stray current effect on pipe-to-soil potential waveform.

頻率 ( Hz )	peak-to-peak 電壓 ( volt )	系統量測值 ( mV )	誤差 ( % )
60	0.3	-800	3
	0.6	-840	1.8
	2	-960	16.4
	5	-840	1.8
	7	-840	1.8
	10	-840	1.8
	12	-780	5.4

$$\text{誤差 ( \% )} = \frac{\text{系統量測值 ( mV )} - E_p}{E_p} \quad (E_p = -825)$$

迷失電流存在極化電位為-825mV，而當 60 Hz AC 迷失電流存在時，系統量測極化電位準確性與交流電的峰對峰電壓大小有關，一般誤差值大多在5%以下。

### 六、現場測試

現場波形是所有電氣干擾的總和，任何地點情況不盡相同，系統設計是否正確必需符合在任何地點都能求得傳統斷電法相近之值。為確定系統所得極化電位值正確，將所得之極化電位值與目前商業化產品斷法量測值 (Ep, i) 與模擬法 (CPv) 量測值 (Ep, s) 作比較，現場測試地點為新竹與桃園地區地下管線。

表 6 是新竹地區測試結果，此地區電位波形以 AC 迷失電流干擾型及陽極向突波居多，測試結果與斷電法比較誤差在5.2%以下。

表 7 是桃園地區測試結果，此地品電位波形以異相整流型及陽極向突波居多，AC 迷失電流干擾型居次，測試結果與斷電法比較誤差在8.2%以下。

表 6 新竹地下管線極化電位比較值  
Table 6 Comparison of the polarization potentials of pipeline in Hsin-Chu area using different methods.

測試方法	斷電法	模擬法	研究方法	
測試點編號	Ep, i	Ep, s	Ep, w	誤差 (%)
T7	- 850	- 910	-870	2.4
T8	- 890	-1030	-880	1.1
T9	- 880	-1090	-920	4.5
T10	- 890	-1095	-910	2.2
T11	- 880	-1080	-890	1.1
T12	- 825	- 940	-820	0.6
T14	-1000	-1080	-950	5
T15	-1010	-1090	-990	2
T16	-1050	-1130	-995	5.2

### 七、結 論

以電腦微處理機與 AD/DA 卡快速讀取陰

表 7 桃園地下管線極化電位比較值

Table 7 Comparison of the polarization potentials of pipeline in Tao Yuan area using different methods.

測試方法	斷電法	模擬法	研究方法	
測試點編號	Ep, i	Ep, s	Ep, w	誤差 (%)
T4	- 855	- 820	- 830	2.7
T5	- 930	-1000	- 950	2.2
T9	- 960	- 980	- 880	8.2
T10	- 990	-1015	-1000	0.1
T18	- 980	-1060	- 930	5.1
T22	-1035	-1160	-1100	6.3
T23	-1075	-1130	-1075	0
T24	- 920	-1080	- 980	6.5

極防蝕電位波形，利用波形分析法原理，分析判定防蝕電位波形，達到不用斷電即可得到陰極防蝕效果判定的依據，管對地電位 (Ep/s) 及極化電位 (Ep)，與斷電法所得值比較，誤差可在8%以內。

### 參考文獻

- (1)NACE PRO169-83, "Control of External Corrosion on Underground or Submerged Piping System".
- (2)NACE PRO169-92, "Control of External Corrosion on Underground or Submerged Piping System".
- (3)BSI 7361, "Cathodic Protection", 1991.
- (4)DIN 30676, "Design and Application of Cathodic Protection of External Surfaces", 1985.
- (5)T. J. Barlo, N. G. Thompson, and J. H. Payer, Effectiveness of Cathodic Protection-Phase 1, GRI 80/1173, 1983.
- (6)G. T. Ruck, T. J. Barlo, J. R. Brich, N. G. Thompson, and J. H. Payer, Effectiveness of Cathodic Protection-Pase 2, GRI 80/0174, 1983.
- (7)G. T. Ruck, T. J. Barlo, K. J. Walcott, and N. G. Thompson, Effectiveness of Cathodic Protection-Phase 3, GRI Research Project 5082-271-0759, Final Report, 1985.
- (8)G. T. Ruck, K. J. Walcott, N. G. Thompson and G. H. Kock, Effectiveness of Cathodic Protection-

Phase 4, GRI Research Project 5084-271-1009, Final Report, 1986.

(9) T. J. Barlo, R. R. Fessler, Corrosion/83, Paper No. 292, NACE 1983.

(10) H. K. Darvid, Corrosion/90, Paper No. 404, NACE 1990.

(11) D. John, Corrosion/91, Paper No. 539, NACE 1991.

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 (190 × 263)	30,000	15,000	照 定 價 加 一 成		
封 底 面	全 頁 (190 × 263)	40,000	20,000	''		
第 一 特 頁	全 頁 (190 × 263)	30,000	15,000	''		
封 底 裡	全 頁	20,000	10,000	''		
	半 頁	15,000	6,000	''		
後 特 頁	全 頁	20,000	10,000	''		
	半 頁	15,000	6,000	''		
內 頁	全 頁	15,000	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。長期委刊廣告，五折優待。  
2. 非團體會員長期委刊廣告七折優待。