

地下管線防蝕效率檢測

林秉賢* 邱德俊 許峰彰

台灣中油股份有限公司煉製研究所

60051 嘉義市民生南路 217 號

摘 要

陰極防蝕為地下管線最主要之防蝕方法，外加電流式陰極防蝕方法為利用整流站將交流電源整流成直流電後，提供保護電流至各地下管線以提升管線電位，進而達到防蝕的效果。然而各輸送管線進入下游廠區前皆需設置絕緣法蘭，其功能在於預防外部防蝕保護電流進入廠區內，降低管線保護之效能。絕緣法蘭兩側會搭配一組鋅地電池一起使用，其目的在於預防管路遭受雷擊產生高電壓突波的機會而使絕緣法蘭發生損害之可能。

A 公司供應下游廠商各種生產原料，包括甲烷、乙烷、乙烯、丙烯、丁二烯、苯、一氧化碳、合成氣、氫氣及燃料油等，A 公司輸送至下游端之地下管線以陰極防蝕系統保護，避免管線遭到腐蝕損害。

然而 A 公司部分整流站在檢測後發現效率不佳且管線電位低於防蝕電位標準值，並且 A 公司之各下游公司則因管路換修或絕緣法蘭處未定期檢測其功能導致各絕緣法蘭處絕緣情況不明。因此，藉由各整流站性能及有效防蝕區域範圍評估、陰極防蝕保護電流流動情形以及下游廠區內絕緣法蘭與鋅地電池功能性檢測等技術，評估須改善之設備。

關鍵詞：陰極防蝕、檢測技術

一、前言

地下管線乃是流體在遠距離輸送上最方便也最為安全的方法，然而管線長時間埋設於土壤之中，受土壤環境或外在干擾源的影響使得管線產生腐蝕的現象，因此管線外壁通常會塗裝一層包覆，其目的在於阻隔外部腐蝕因子以降低管線腐蝕的速率，包覆程度的好壞亦直接影響到管線耐腐蝕的程度，包覆破損或剝落可能會大大降低管線可使用的年限。因此，第二層管線保護的方式為採用陰極防蝕方法，其為地下管線最主要之防蝕保護方法，其作用為彌補管線包覆的不足，使管線裸露的部份可以得到保護的效果，因此在完全無包覆的狀態下，良好的陰極防蝕系統亦可以保護管線免於腐蝕的損害，進而延長管線可使用的年限。

外加電流式陰極防蝕方法為利用整流站將交流電源整流成直流電後，提供保護電流至各地下管線以提升管線電位，進而達到防蝕的效果。然而各輸送管線進入下游廠區前皆需設置絕緣法蘭，其功能在於預防外部防蝕保護電流進入廠區內，降低管線保護之效能。絕緣法蘭兩側會搭配一組鋅地電池一起使用，其目的在於預防管路遭受雷擊或有異常突波電流使法蘭兩端產生高電壓差的機會而使絕緣法蘭發生損害之可能。

一套良好的陰極防蝕系統建置完成後，定期的維護與功能性檢測是讓此一系統可以長久運作的必要工作，因此管線測試點電位的量測以及整流器功能的檢查是判斷整個陰極防蝕系統是否正常運作最基本也最直接的方式，然而當從這些定期的檢測事宜中發現異常的結果時，如何運用各種已知的陰極防蝕檢測技術找出問題發生的原因即是本篇論文所要探討的主題。

二、長途管線陰極防蝕系統配置

如圖 1 所示之長途管線陰極防蝕系統配置圖，為保護範圍較大之管線或數量較多之管群，長途管線通常採取外加電流法作為陰極防蝕保護方式，防蝕系統中大部份會採用深井地床的方式埋設，其管線保

護範圍可達 5~10 km。整流站將台電之交流電源轉變為直流電源後，由正極發出直流電源至陽極地床，依陽極地床之特性可將防蝕電流經由土壤平均地傳送到地下管線藉以達到防蝕的效果，最後電流再經由陰極接線端回到整流器之負極以完成整個電流之迴路。而管線上每隔一段距離通常會設有測試點，測試點的目的是用來提供管線防蝕監測，以及利用此點來判斷陰極防蝕的效果，避免管路發生腐蝕破裂之意外，因此其在陰極防蝕工程中是一個很重要的設施，測試點的設置地點和構造以讓防蝕工程人員容易操作最為重要。

陰極防蝕管線系統幾乎都需要裝設絕緣法蘭。就輸送管線而言，管線必須與泵浦或終端設備間作電的絕緣。在有複雜的上下游管線系統的集管區有時尚需將整個管線分做好幾個子系統，因為當某個區段發生故障，或是與其他結構物接觸時，可使故障侷限在某個系統。尤其是當管路位於磁場或直流電轉換雜散電流干擾的地區，用絕緣法蘭將管線分成更小的系統，更有助於雜散電流的控制。

若管線有遭受雷擊等高電壓突波的機會而使絕緣連接頭發生損害之可能者，即需裝設鋅接地電池⁽¹⁾⁽²⁾此一保護設備。當管線裝設的位置適與一高壓輸電線路相接近且平行，就有發生此事故的可能。因當輸電線路遭受雷擊時，會使管路上感應一極高電壓。若此一高壓加於絕緣連接頭的兩側時，將使連接頭間的絕緣墊片遭受破壞。因此鋅接地電池為一種保護方法，除了可保護連接頭不致受高壓破壞外，對絕緣連接頭一側未受保護的管路有陰極防蝕的作用。裝設情況極為良好的接地電池，其兩極間的電阻約為 0.2 至 0.5 歐姆(視回填材料而定)。當有高壓突擊波來臨時，電池則可導電而放電，當有雷電故障電流流過時，跨越連接頭兩端的電壓降將限制於每 1000 安培為 200 至 500 伏特之間。

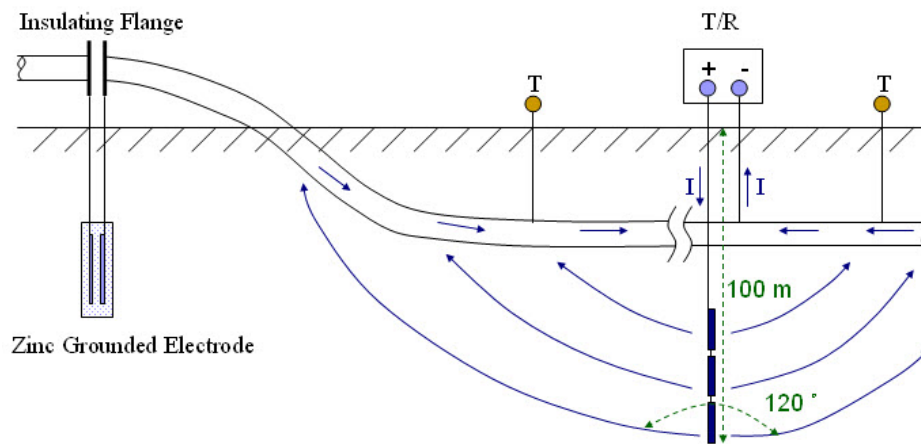


圖 1 長途管線陰極防蝕系統

三、地下管線陰極防蝕系統的檢測

(一) 檢測標準

根據美國腐蝕工程師協會制定之 Standard SP-0169-07，陰極保護的設計標準為(參考圖 2)：

1. 對鋼鐵而言，利用飽和硫酸銅參考電極量測之電位必須小於 -850 mV 。相對的，對飽和氯化銀參考電極(Ag/AgCl)則需小於 -780 mV ，對於高純度鋅參考電極(99.99 %)需大於 250 mV 。
2. 施加陰極防蝕後，結構物之量測電位需比原腐蝕電位更負(active) 300 mV 以上。
3. 結構物施行陰極防蝕措施後將其斷電，量測斷電瞬間的電位，其電位需比原腐蝕電位更負(negative) 100 mV 以上。

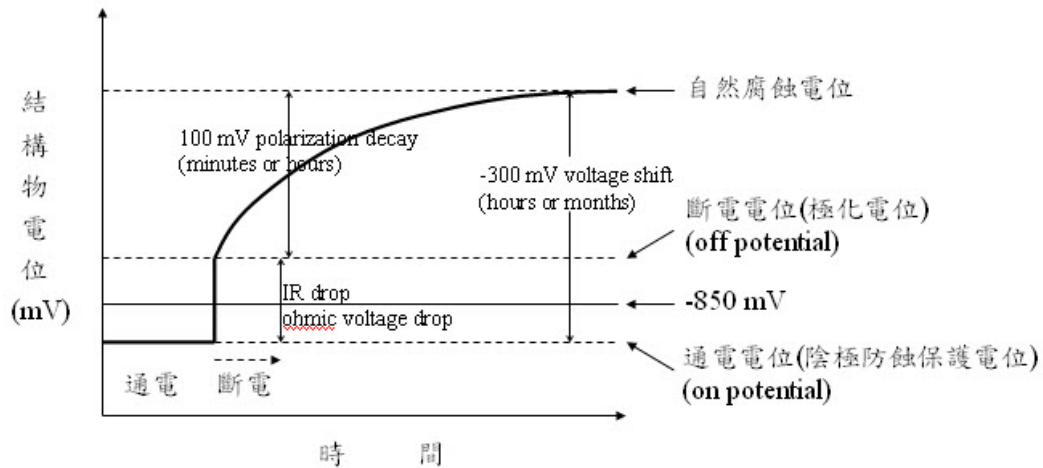


圖 2 陰極防蝕保護斷電前後，結構物電位變化圖

(二) 管線說明

A 公司供應下游廠商各種生產原料，包括甲烷、乙烷、乙烯、丙烯、丁二烯、苯、一氧化碳、合成氣、氫氣及燃料油等，A 公司輸送至下游端之地下管線以陰極防蝕系統保護，避免管線遭到腐蝕損害。在例行性的檢測過程中發現部分整流站效率不佳且管線電位低於標準值，因此針對 A 公司與下游端之間之地下管線，利用已知檢測技術找出陰極防蝕系統故障產生之處，並針對問題點加以改善。

(三) 檢測程序

1. 整流站性能評估

A 公司至各下游廠商之地下管線如圖 3 所示，以 E 公司位於鳳楠公路上之大門為中心，半徑為 1.4 公里之區域內所設置之地下管線測試點(編號 1~13)及整流器(LT-4、LT-5、LT-6、LT-7、LT-AD1、LT-AD2 及 LT-AD3)位置如圖 4 所示：

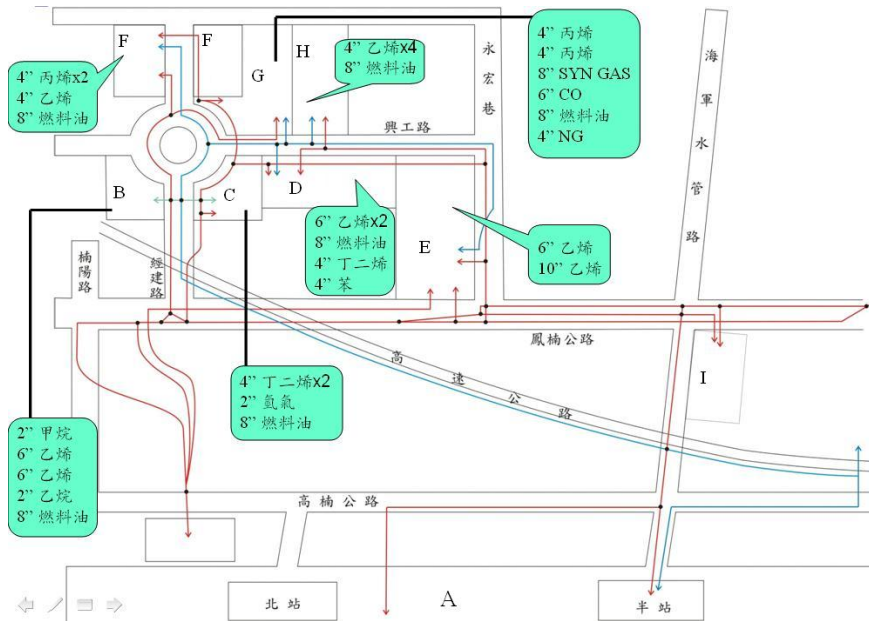


圖 3 A 公司至各下游廠商之地下管線圖

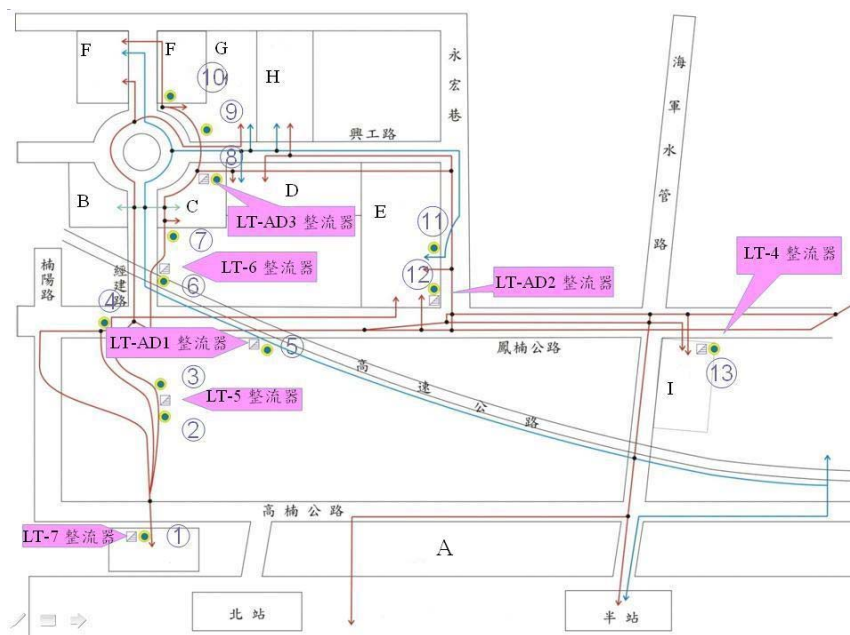


圖 4 陰極防蝕系統整流站及測試點配置圖

首先，針對所有整流器作性能評估以了解陰極防蝕系統地床及整流器之狀況，所得結果如表 1 所示，依檢測結果所示，LT-4 整流站因陽極地床至整流器之導線已斷線，故量測之陽極接地阻抗非常大，因

此此整流站已不具有陰極防蝕電流輸出之效果。LT-7、LT-AD1 與 LT-AD2 三處整流器因陽極接地阻抗皆有過大之情形(大於 1 Ω)，初步推測可能影響其陰極防蝕保護效果。LT-5、LT-6 與 LT-AD3 三處整流器陽極地床狀況良好(接地阻抗皆小於 1 Ω)，然而其直流電流輸出分別為 33、17.1 及 30 安培，顯現此三個整流器對整個防蝕系統而言貢獻很大。

T/R	DCA	DCV	陽極 接地阻抗(Ω)	陰極 接地阻抗(Ω)	附註
LT-4	0	0.78	斷線	1.1	地面接線箱內empty
LT-5	33	6.15	0.5	1.2	
LT-6	17.7	5.25	0.3	0.5	
LT-7	6.1	57.3	8.5	0.9	
LT-AD1	1.23	50.5	7.2	3.7	直流輸出不穩定
LT-AD2	2	11	4.3	0	
LT-AD3	30	11.3	0.4	0.35	

表 1 整流器性能評估表

2. 整流站有效防蝕區域範圍評估

為了解個別整流器之防蝕保護範圍大小，事先在各個測試點裝設電位記錄器，並依序控制各個整流站之斷送電，藉由電位記錄值可得知每個整流站對此測試點之影響大小，以九號測試點為例，所記錄之電位變化如圖 5 所示，由圖中之電位變化及時間可知：LT-5、LT-6 及 LT-AD3 三處整流站對此測試點有影響及其大小。若針對某一整流站，將附近有影響之測點記錄其電位變化情形，並以極化電位變化在 100 mV 以上作為有效影響變化值，依此可在地圖上作出個別整流站之陰極防蝕有效影響範圍圖，如此，所得之 LT-5、LT-6、LT-7、LT-AD1、LT-AD2 及 LT-AD3 有效防蝕範圍如圖 6、7、8、9、10 及 11 所示，如圖，LT-7、LT-AD1 與 LT-AD2 三處整流站對附近測點影響很小，以致於無法畫出其有效防蝕區域，且此三處整流器陽極地床接地阻抗過大，因此判斷其地床狀況不良以致於陰極防蝕效果不彰。LT-5、LT-6

及 LT-AD3 防蝕保護範圍直徑分別為 1.2、0.4 及 1.2 公里，但在直流電流輸出分別為 33、17.7 及 30 安培的情況下，其保護區域皆過小，因此懷疑其電流可能經由地下管線搭接或進入下游廠商內致使防蝕電流有所損耗。

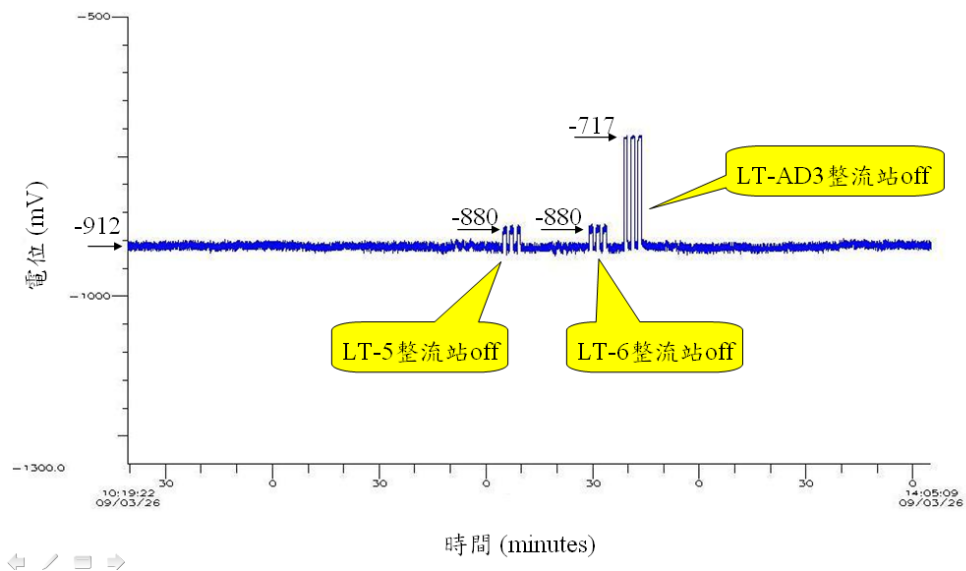


圖 5 電位記錄器記錄測試點電位(第九測試點)

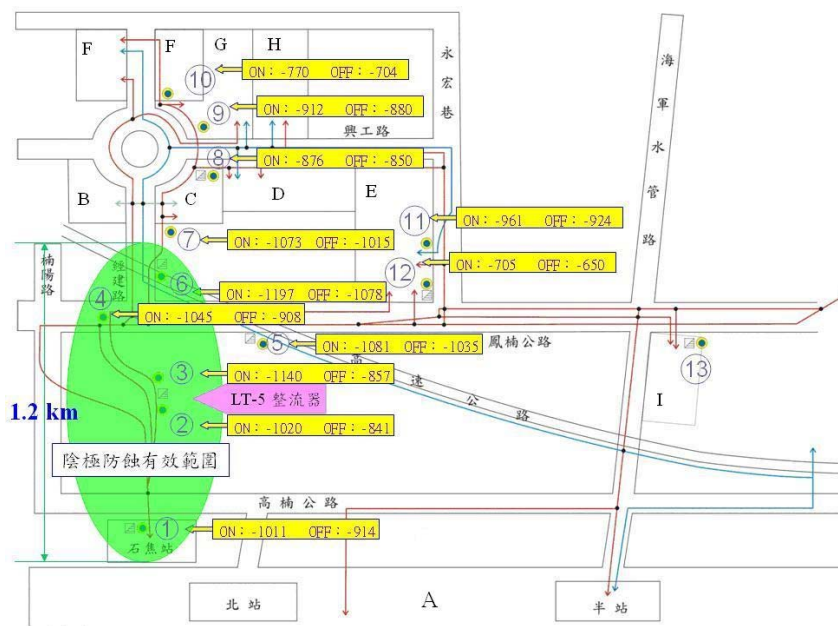


圖 6 LT-5 整流站效能分佈圖

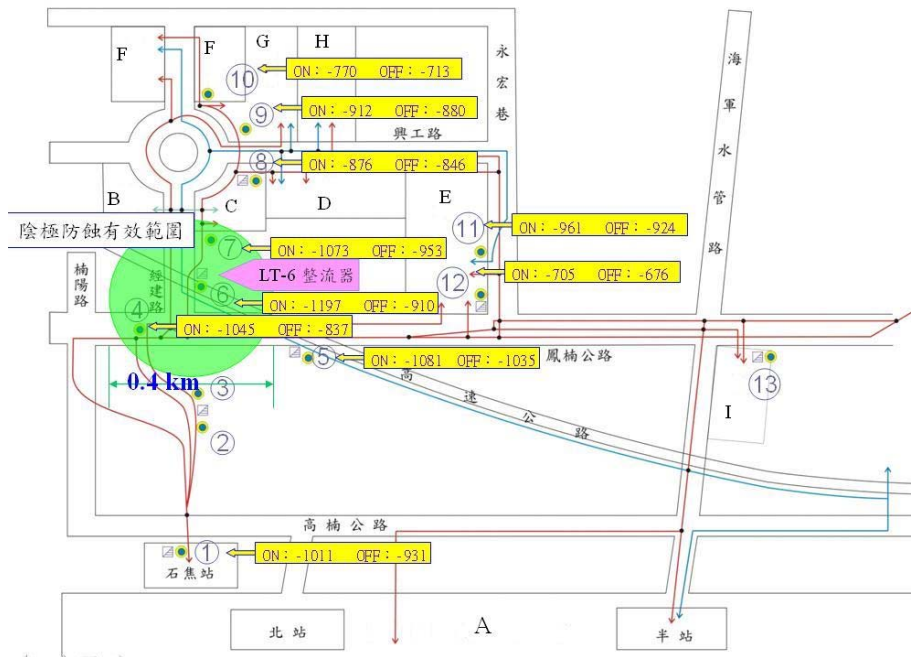


圖 7 LT-6 整流站效能分佈圖

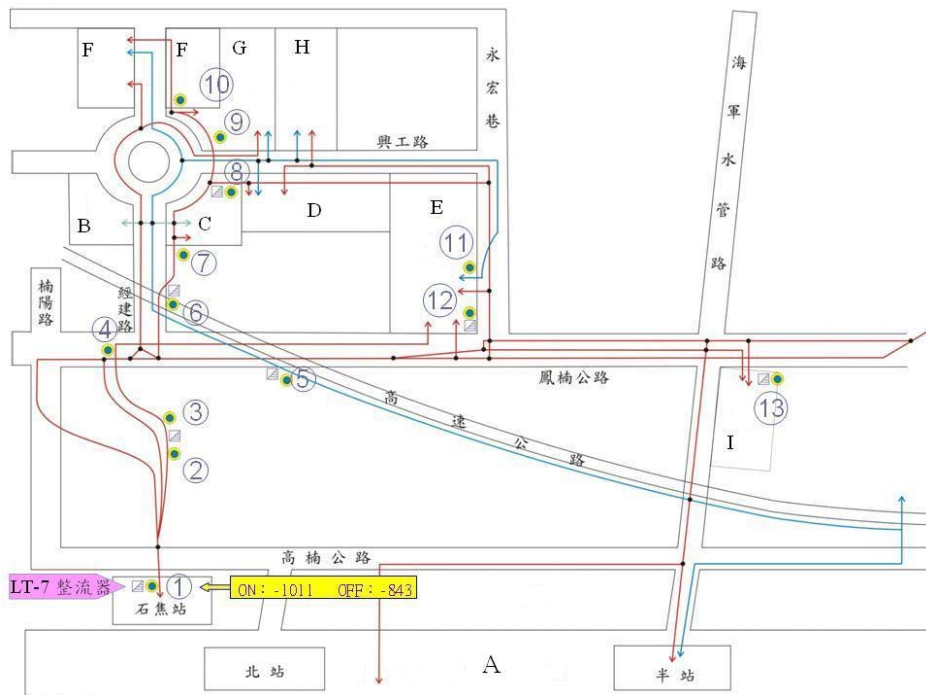


圖 8 LT-7 整流站效能分佈圖

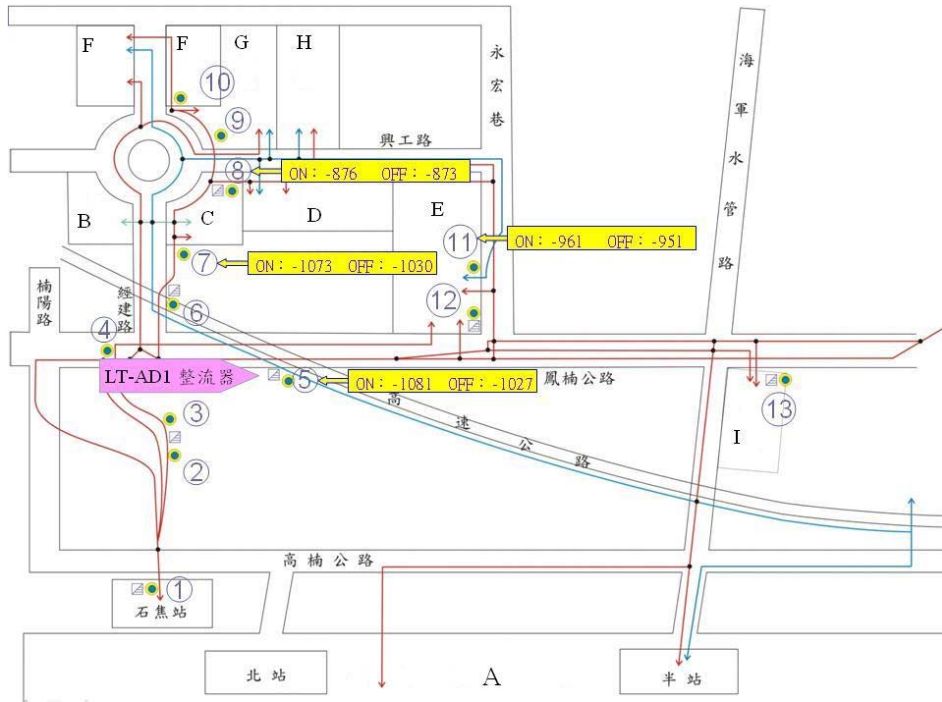


圖 9 LT-AD1 整流站效能分佈圖

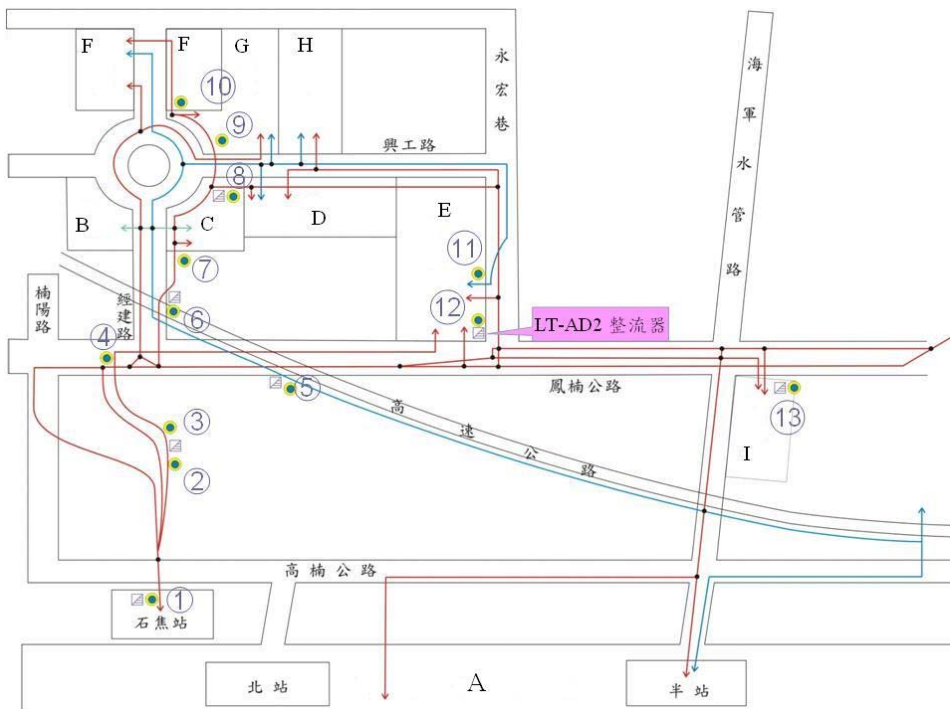


圖 10 LT-AD2 整流站效能分佈圖

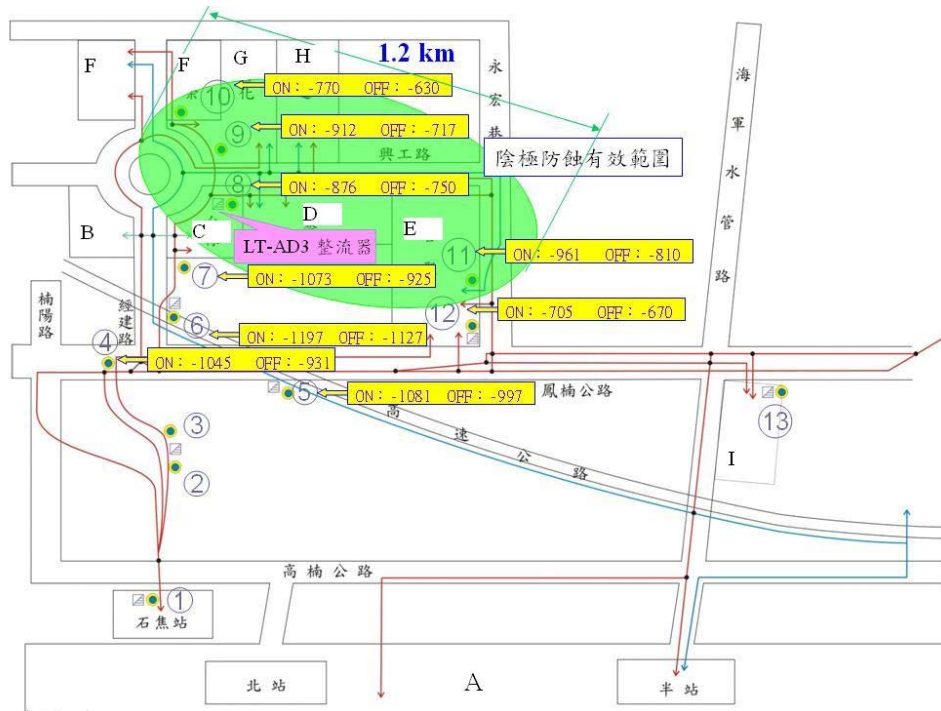


圖 11 LT-AD3 整流站效能分佈圖

3. 陰極防蝕電流檢測

為釐清由整流器正極端發射出之陰極防蝕保護電流其路徑與大小，以檢測保護電流是否在保護範圍內，因此，以 PCM 管線定位器於 LT-AD3 整流器陽極排流點發射 3 安培電流，並以訊號接收器於管線正上方可感應出回到陰極接線箱之電流大小及方向，所得結果如圖 12 所示：

由檢測結果可知，於下游廠區外有接受到由廠內流出之電流，推測陰極防蝕保護電流有可能部分進入下游廠區內，其結果顯示，絕緣法蘭處可能出現絕緣不良之情形。

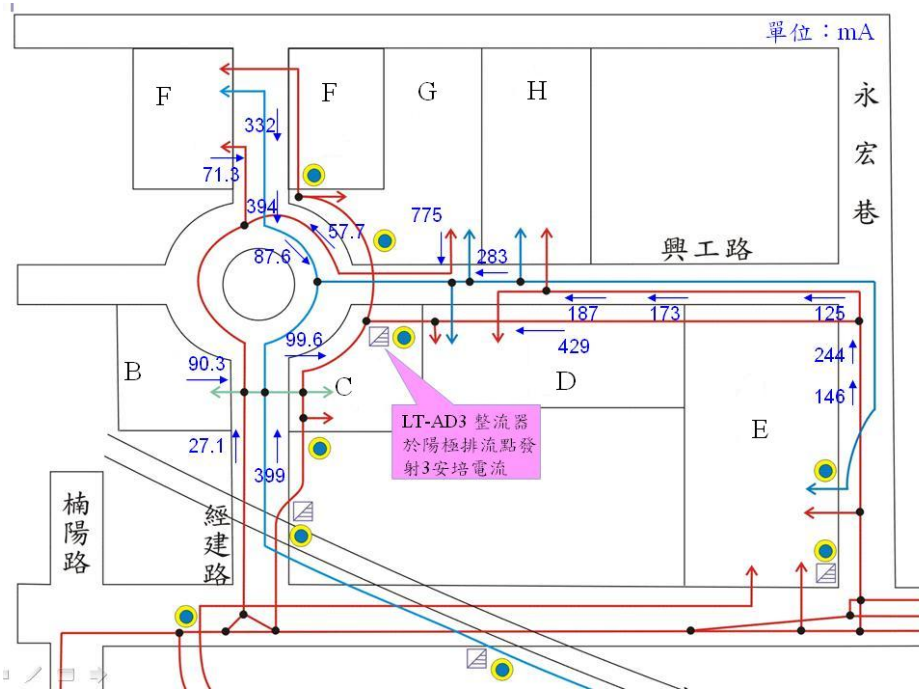


圖 12 管線地表電流檢測

4. 絕緣法蘭與鋅地電池功能檢測

針對所有下游廠區內絕緣法蘭與其鋅地電池處作功能檢測，並針對絕緣不良處以管夾(Clamp)量測經過法蘭之電流大小及方向，由此可知外部陰極防蝕系統所損失之電流，所量測出有問題之管路包括：G 公司之 8 吋 SYN GAS、6 吋 CO 管、8 吋水管、4 吋及 2 吋 NG 管；B 公司之 6 吋乙烯管；E 公司之 6 吋及 10 吋乙烯管，所得結果如圖 13、14、15、16 及 17 所示。

由圖 13 所示，因 8 吋 SYN GAS 與 6 吋 CO 管共用一組鋅地電極的緣故，雖然所量測出之絕緣法蘭絕緣狀況良好，因而電流不致於流入廠內側，但也另外提供一路徑使得 3.4 安培電流由 SYN GAS 管到 CO 管，因此建議需另設獨立之鋅地電極以防電流之流失，另外在 8 吋水管上亦量測到由廠內側流出 3.8 安培電流，因此仍要根據廠內配管圖才能尋找出水管與外部陰極防蝕保護區域搭接之處，此外，如圖 14 所示，4 吋 NG 管輸送至廠外的 2 吋旁分管路，因為絕緣法蘭處絕緣不良致使 1.65 安培之電流流出，亦使得陰極防蝕系統之電流有所

損耗。

如圖 15 所示，B 公司之 6 吋乙烯管因管路上並沒有作絕緣處理以致於有 2 安培之防蝕電流流入廠內，影響陰極防蝕系統效率，建議及早作絕緣法蘭處理並增設鋅地電極以防雷擊產生高電壓致使意外發生。如圖 16 及 17 所示，E 公司之 10 吋乙烯管因絕緣不良，因此在管線上量測到有 1.08 安培電流通過，另外 6 吋乙烯管則因為由高廠管線進入廠區內並無裝設絕緣法蘭致使共有 6.8 安培電流流通，此電流量嚴重影響整個陰極防蝕系統之效能，因此建議應立即作更新。



圖 13 G 公司之 8 吋 SYN GAS、6 吋 CO 管及 8 吋水管



圖 14 G 公司之 4 吋及 2 吋 NG 管

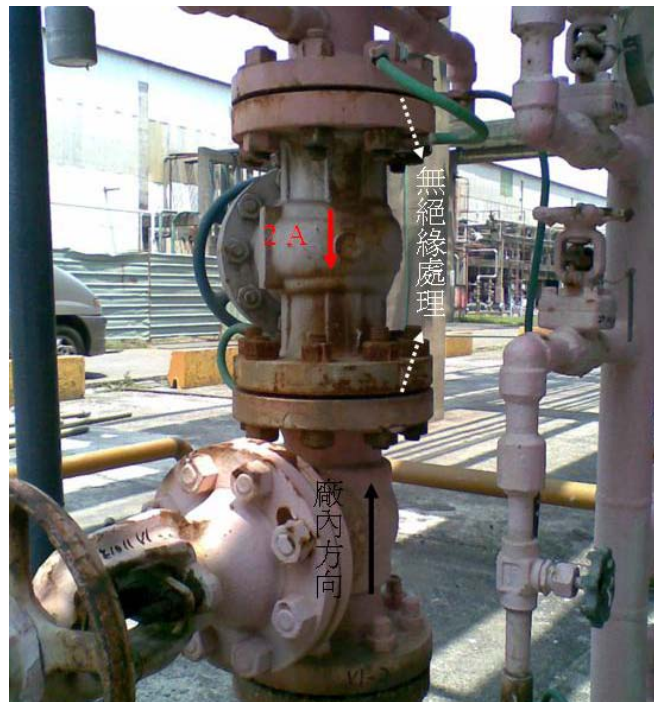


圖 15 B 公司之 6 吋乙烯管



圖 16 E 公司之 10 吋乙烯管



圖 17 E 公司之 6 吋乙烯管

5. 流失之陰極防蝕電流量測

為了解各流入廠區內電流其來源，因此針對各問題點作更深入之探討，將共六處整流器作 ON/OFF 操作，並測量進入各廠內之電流變化量，所得結果如表 2 所示，其中可看出 LT-5、LT-6 及 LT-AD3 三處整流器之貢獻比例較大，亦與其電流輸出量較大的結果呈現出合理之趨勢。然而除 G 公司 6 吋 CO 管外，其餘管路仍有大部分電流來源未知，懷疑有外部系統之干擾，因此仍待繼續追蹤處理。

進入廠商內電流 位置及大小(A)			各整流站進入廠商內電流之大小(A)						
廠商	管路	電流量	LT-5	LT-6	LT-7	LT-AD1	LT-AD2	LT-AD3	Total
G	6" CO	3.35	0.5	0.9	0	0	0.35	1.55	3.3
	8" 水管	3.8	0.66	0.95	0.2	0.1	0.14	0.94	2.99
	4" NG	1.65	0.14	0	0.12	0	0	0	0.26
B	6" 乙烯	2	0.3	0.35	0	0	0.1	0.48	1.23
E	10" 乙烯	1.08	0.07	0	0	0	0	0.03	0.1
	6" 乙烯	6.8	1.5	1.02	0.2	0	0	0.7	3.42

表 2 下游廠商內電流分析表

(四) 檢測結果

綜合以上之檢測分析結果，目前可執行之改善方式為：針對 A 公司而言，因 LT-4 整流站陽極地床連接線已斷，防蝕功能喪失，建議更換，而 LT-7、LT-AD1 及 LT-AD2 陽極地床阻抗過大以致於防蝕效能不佳，建議更新。針對下游廠商而言，因 G、B 及 E 三家公司皆有外部防蝕電流流入其廠內，建議各家廠商就絕緣法蘭處作檢修更換。

四、 結論

由於地下管線數量可能非常龐大，因此在管線之間與外在環境間的交互影響之下，其陰極防蝕系統亦隨之顯得非常複雜，如何運用現有之陰極防蝕相關知識及技術找出問題發生點並加以克服為從事陰極防蝕工作者的一大挑戰。

五、 參考文獻

- (1) NACE Standard RP-286, The Electrical Isolation of Cathodically Protected Pipelines, 1986.
- (2) Zinc Anode Grounding Cell, Kbasco Service Incorporated.