

天然氣長途輸氣管線的陰極防蝕工程

羅天生* 論著

一、腐蝕所造成的損失

民國78年8月參加中華民國防蝕工程學會年會時，參觀由工業技術研究院工業材料研究所主辦的腐蝕防治主題館，引述美國國會委託美國國家標準局(NBS)所做的統計，美國每年因腐蝕造成的損失，約占美國國民生產毛額(GNP)的4.2%。民國77年我國的GNP為34,234億元新台幣，若以4.2%推算就有1,400億元的腐蝕損失。這些損失包括腐蝕損害的替換費用，腐蝕損壞所造成的停工費用，及防止腐蝕的維修費用等。NBS分析發現，這些損失中的五分之一即280億元新台幣，是可以利用目前已知的腐蝕防治方法加以避免，因此我們對於防蝕技術之研究與應用，應加予重視，以維護有限的資源。

二、腐蝕防治的由來與發展

為防止金屬受自然環境之腐蝕，在1924年英國人就開始使用鋅板保護木造船底的銅製設備，由於此時防蝕技術不發達，使用的例子較少，直到民國19年，美國地下管路的腐蝕問題日趨嚴重，才投入大量人力、物力去研究。第二次世界大戰以後，電化學的基礎科學飛躍進步，才奠定了陰極防蝕技術在保護金屬方面的穩定地位。在國內方面，中華民國防蝕工程學會於民國73年成立，致力推展防蝕工作，目前發行「防蝕會訊(月刊)」及「防蝕工程(季刊)」兩種刊物。中油公司和台電公司與工業材料研究所合作，進行多項腐蝕防治研究計劃；中鼎工程公司參與防蝕工程之研究與設計也有多年的經驗。中國石油公司天然氣長途輸氣管的陰極防蝕工程(以下簡稱本工程)由中鼎工程公司負責設計與監造；工量企業公司擔負責任施工。本工程之規模遼闊，施工

* 中鼎工程公司建造工程部

時間長達3、4年之久，在台灣的防蝕工程史上佔有重要的地位。

三、陰極防蝕的原理

我們將一鐵片置於水溶液或土壤中，經過一段時間後，通常會因化學作用而產生銹垢，這種現象稱為腐蝕。陰極防蝕就是利用電化學原理，以減緩金屬物體腐蝕的一種防蝕方法。

陰極防蝕依照外部電源供應種類之不同，可以區分為外加電流法或稱整流地床法，和犧牲陽極法或稱流電陽極法兩種，外加電流法是連接一直流電源供應器，以一陽極如高矽鑄鐵供應保護電流于被保護之金屬物體；犧牲陽極法則是一活性更大之金屬如鎂、鋅或鋁，供應保護電流于被保護之金屬物體，以達到保護的效果。

使用方法的選擇須視經濟價值及技術考慮因素而定，每種方法均有長處及短處，現分別說明如下：

3.1 外加電流法的長處

- a. 適用於腐蝕範圍較大之環境
- b. 防蝕裝置之使用壽命較長
- c. 電壓與電流可配合需要，作適當的調整

3.2 外加電流法的短處

- a. 地床使用的地權取得不易
- b. 安裝成本和維護費用較高
- c. 易于擾外部其他管線之防蝕效果

3.3 犧牲陽極法的長處

- a. 不需要外部供應電力裝置
- b. 安裝費及維護費用較低
- c. 外部其他設備所引起的干擾很少

3.4 犧牲陽極的短處

- a. 驅動電位低，不適用於比電阻高之環境
- b. 小型陽極消耗較速，須要較常換補
- c. 防蝕電流調整困難

四、天然氣長途輸氣管線的陰極防蝕工程

天然氣長途輸氣管線(以下簡稱氣管)之陰極防蝕,因氣管所經路段之地質狀況及周圍環境之不同,分別使用「外加電流法」與「犧牲陽極法」兩種。氣管全線長約330公里,其中260公里屬一般狀況之路徑,使用「外加電流法」,每10~15公里裝設一處地床,共設地床21處。其餘路徑長約70公里屬氣管與電化鐵路平行、氣管與高壓電力輸電線平行,以及地形為岩石山丘等特殊地區都使用「犧牲陽極法」。

4.1 外加電流法

外加電流法是將直流電源裝置的正極連接地床中之電極,稱為陽極;負極連接到氣管,稱為陰極。施加電壓,即產生防蝕電流,從地床之電極(陽極)經土壤或水中流入氣管之表面(陰極),再回到直流電源裝置的負極。如此將氣管陰極化可抑制埋設地下氣管之腐蝕電流輸出,以達成防止腐蝕效果。本方法共設置地床、直流電源及電極材料等裝置。

a. 地床

電極埋設於地床中,有兩種型式,一為傳統淺井式地床,此地床深度通常較淺;二為深井式地床。本工程採用深井式地床,除鳳山及台中西屯之地床其深度為150公尺之外,其他19處地床都屬65公尺深。首先鑽孔25公分直徑之深井,然後將內裝高矽鑄鐵陽極之15公分口徑鋼套管,吊進深井中,而在鋼套管外圍與深井中間,填入「回填料」,使鋼套管與井壁土壤有良好之接觸,減低電路阻抗。不論150公尺或65公尺之地床均裝設24個高矽鑄鐵陽極,每3個串聯成一組,分為8組,與陽極分流箱之接線端子台連結。

b. 直流電源裝置

直流電源可用直流發電機、蓄電池或有變壓器的整流器等3種直流電源裝置。本工程使用第3種方式,即地床用之電源接自台灣電力公司之低壓配電線,經過整流器,將交流電源變為直流電源,並設可調整分路電阻之陽極分流箱,使每個陽極組有均勻的電流輸出。

c. 電極材料及引線

電極材料一般使用不易消耗的矽鑄鐵、磁性氧化鐵、鋁合金或鍍白金等材料。目前世界各國普遍使用高矽鑄鐵,因其適用於土壤。本工程選擇進口的高矽鑄鐵作陽極。陽極之引線使用8mm²(斷面積表之)耐腐蝕之電纜,可抵抗地床中之腐蝕氣體,而陽極與陽極分流箱間,使用8mm² PEX-PVC線連接;先用銅質壓線端子裝接,再以3M牌自動融膠帶及RAYCHEM牌熱縮型膠帶包覆之。

4.2 犧牲陽極法

犧牲陽極法是在地下氣管旁埋設陽極,用絕緣電線將氣管與陽極二者相連結,使它成為電池型態而產生防蝕電流,以抑制由地下氣管流出之腐蝕電流來達成防蝕效果。因為此陽極埋入地下與氣管連結後,會逐漸消耗,故稱為犧牲陽極法。

a. 陽極之種類

犧牲陽極法所用之金屬陽極有鎂、鋅、鋁等合金。本案使用鎂陽極,因其自然電極電位在可用陽極中最低,且單位面積所發生之電流最大。在約70公里長之犧牲陽極地區,受週圍環境或地質不同之影響,各區段使用鎂陽極之重量有9磅、17磅及24磅3種。

b. 鎂陽極之安裝

在地下氣管每隔25公尺埋設鎂陽極一個,鎂陽極與鎂陽極之間使用耐腐蝕絕緣電線連接,每5個鎂陽極結成一組,而將其引線延長到測試站。引線以PVC管保護,測試站每隔250公尺設立一個,即每一個測試站含有10個鎂陽極。

4.3 過河川之陰極防蝕

本工程之氣管貫穿台灣西部全長330公里,其中經過河川之路徑共17處,為了加強氣管之強度,凡經過河川路徑之地下氣管都施以鋼筋水泥包覆(R.C. COATING)保護。由於鋼筋水泥包覆的氣管,其週圍不能與土壤接觸,無法使用傳統的方法測量氣管的防蝕電位,而須埋設特殊的參考電極。依照東京瓦斯公司對多種不同金屬在鹼性環境中之電位變化進行實驗結果,顯示鉛參考電極最為穩定。

a. 鉛參考電極之數量

在17處的河川中,依其河川寬度之大小,分

別埋設鉛參考電極 1 套、2 套、3 套及 4 套等 4 種，全線共需 48 套鉛參考電極。埋設 2 套以上鉛參考電極之河川，須在兩岸裝設測試站以供測試電位。

b. 鉛參考電極之安裝及配線

鉛參考電極頭部接線部位之保護帽須予保留，不可摘除；但在尾部臨時性之保護帽則應於埋設前拆除。鉛參考電極埋設時必須緊靠於氣管之表面，用 PVC 膠帶固定，然後以混泥土覆蓋之，施工時特別留意，不可損害鉛參考電極及引線

。從鉛參考電極至測試站之引線，使用交連 PE 電纜 (XLPE CABLE, 特性較一般電纜為佳)，除參考電極廠商所附之引線與自備之引線可做銜接外，其他部份不得有「接續點」存在。

4.4 測試站

a. 測試站的種類與功能

測試站共有 6 種，其中 TYPE 1~4 使用於外加電流法，如圖 1 所示；TYPE A、B 使用於犧牲陽極法，如圖 2 所示。分述如下：

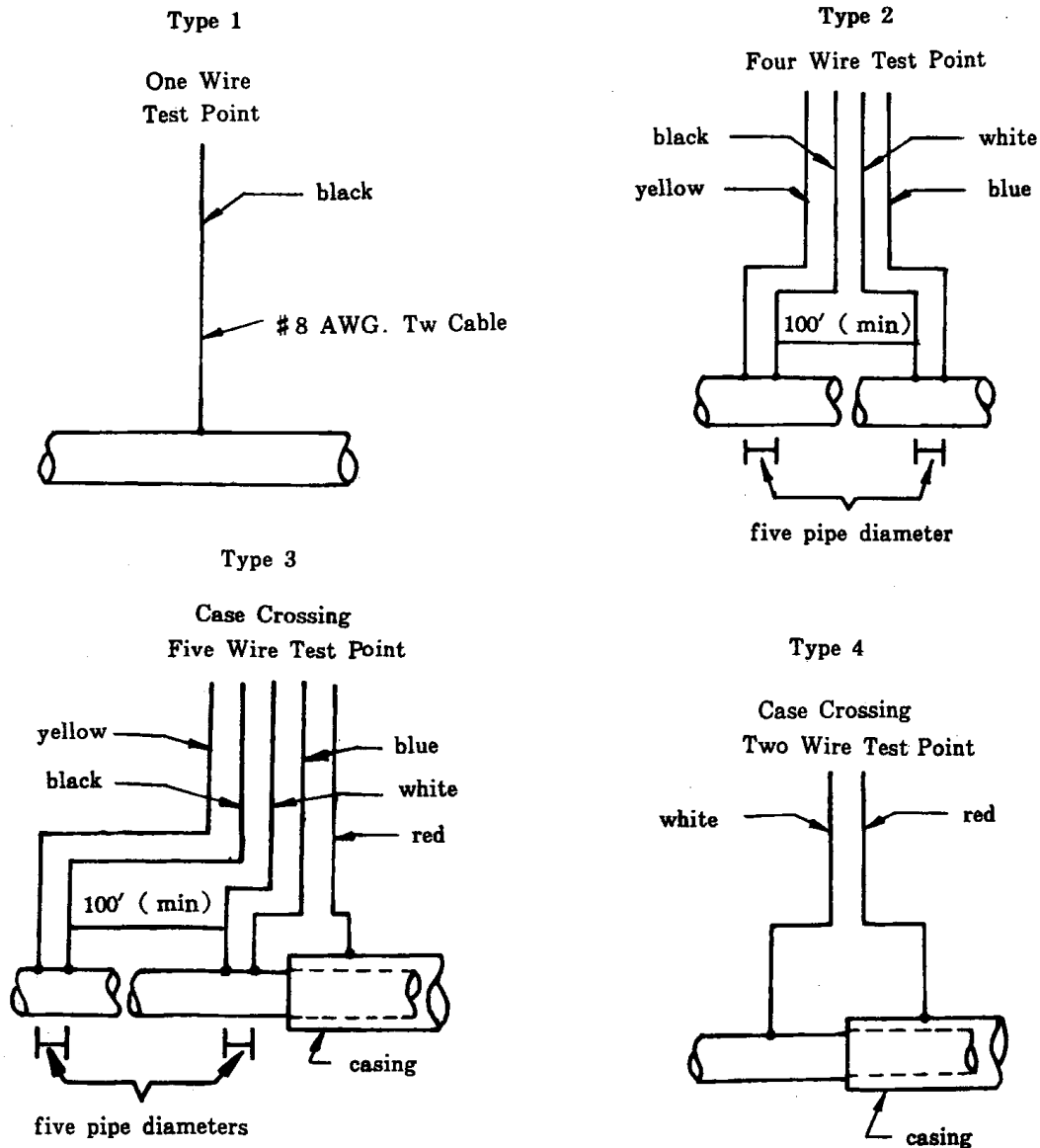


圖 1 外加電流法之測試站的接線測試示意圖

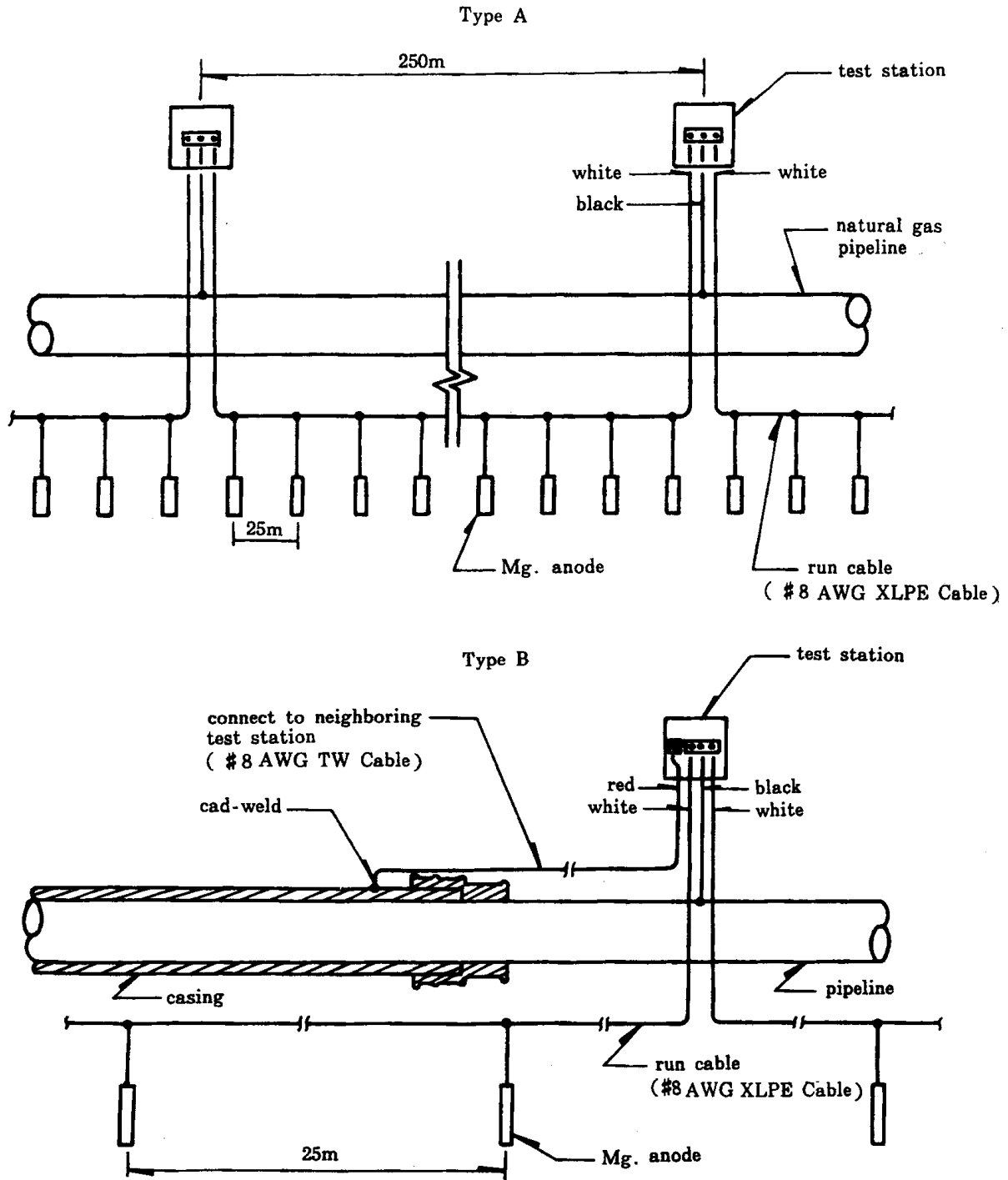


圖 2 犧牲陽極法之測試站的接線測試示意圖

①TYPE 1
自氣管焊接一條測試引線至測試站，可測試氣管之電位。

②TYPE 2

自氣管焊接 4 條測試引線至測試站，除有 TYPE 1 之功能外，尚可測試防蝕電流之流向與大小。

③TYPE 3

自氣管焊接 4 條及自套管焊接 1 條共有 5 條測試引線，除有 TYPE 2 之功能外，還可測試氣管與套管間之絕緣阻抗。

④TYPE 4

自氣管焊接與套管分別焊接 1 條測試引線，除有 TYPE 1 之功能外，還可測試氣管與套管間之絕緣阻抗。

⑤TYPE A

自氣管焊接 1 條測試引線及鎂陽極兩組之引線，可測試氣管及鎂陽極之電位。

⑥TYPE B

除照 TYPE A 之接線外，再自套管焊接 1 條線，可加測氣管與套管間之絕緣阻抗。

b. 測試站之安裝法

測試站之安裝地點可參考陰極防蝕配置圖，須注意不得破壞鄰近的其他設備，及妨礙道路交通安全與觀瞻。所有引線接到接線端子台後，須加以絕緣及防水處理，保護管的出線口須要灌充樹脂 (SEAL COMPOUND) 以防水浸入。測試站使用鋼筋水泥箱，外加鑄鐵蓋，箱內附 3" PVC 管，管周圍鑽小孔，管內回填原土以提供測試參考電極接觸之用，回填之原土不能含有石塊，且必須加以夯實，以保持原有土壤之水密性。

五、本工程的施工監造心得

本工程的天然氣長途輸氣管線，自台灣北部至南部，經由道路、河川、稻田、魚池及山丘等各種地形，綿延 330 公里，由於用地取得不易，工期一再拖延，並增加業主及承包商許多額外開支，嗣後承辦類似工程時，宜留意用地取得問題。

因用地取得不易，被迫更改氣管所要經過之路徑，致使變更設計時有所聞，有些路徑已是第 2 次變更設計，同時由於既設氣管上層之土地改變用途如原為稻田欲變更為池塘，河川堤坊之重建，鐵路之鋪設雙軌等突發事件，必須將既設氣管降低「高程」，或遷移，而增加不少重建工程費，提供給規劃、設計及施工此類工程時參考。

工程完了後，地主（氣管經過之地主）不滿意復舊工作，常寄發「陳情書」要求額外補償費，由此發生連鎖反應，而影響後續工作，如何做好復舊工作，亦是不可輕忽的問題。

監造工作除了品質要符合設計標準及控制施工進度外，宜重視「溝通與協調」。監造期間接觸的單位多，人員複雜，學養不一，若溝通協調不佳，容易發生不愉快事情，亦會耽誤工程進度，影響工程品質，而且主動積極地作溝通協調，比事後處理，效果更佳。