

# 瓦斯管埋設環境與腐蝕之原因

李肇祁譯

## (1) 前言

保護瓦斯管使不被腐蝕之作業是從事於瓦斯事業工作人員之最重要任務之一。此項作業不但使瓦斯供應能安全順利進行，對於瓦斯管之維護管理上所佔成本要如何節省亦有很密切關係。

此外還有效利用寶貴之資源立場而言，對埋在地下之鋼管腐蝕問題亦是最近為多方所關心的。近年來對防蝕技術之重要性一般都已有相當之認識，且已開發成功多種防蝕科技，充份發揮其功能。

不過對於腐蝕之過程應有正確之了解，始能建立準確之防蝕措施。關於這一點目前我們所付出之努力似乎尚不十分充足。本報告是對現狀腐蝕原因與環境因素之關係加以說明，並對埋設環境之實情作調查結果之報告以供讀者參加。

## (2) 土壤腐蝕的原理

埋在地下瓦斯管之腐蝕大都由電化學反應之結果所引起的。能夠產生電化學腐蝕之條件是瓦斯管必須浸沒在電解質中（土壤亦可視為電解質）。由於陽極及陰極有電位差的存在，電流由陰極部位經金屬體至陽極部位，再通過電解質回歸至陰極部位，因此腐蝕電流則不斷地流通。此情形如圖 1 所示，就是腐蝕反應是陽極反應和陰極反應兩者同時進行，並非鐵之溶解反應（陽極反應）單獨存在。可是這陽極部位因實際上有發生腐蝕，用目視很容易辨認出來，但陰極部位要特別指明非常困難，這就是造成作腐蝕研究

較為困難的原因之一，亦是對腐蝕現象往往會造成誤會的原因。

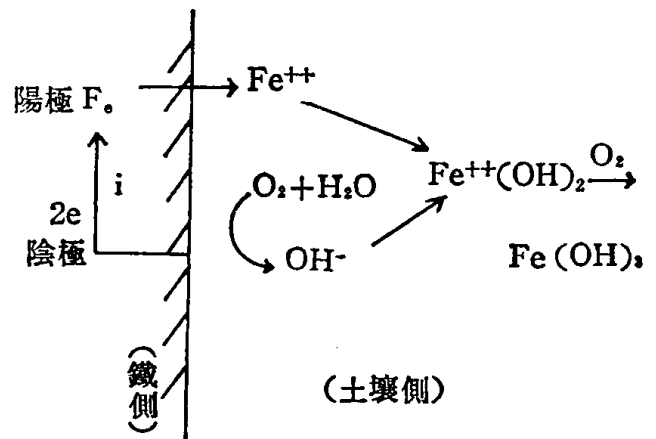


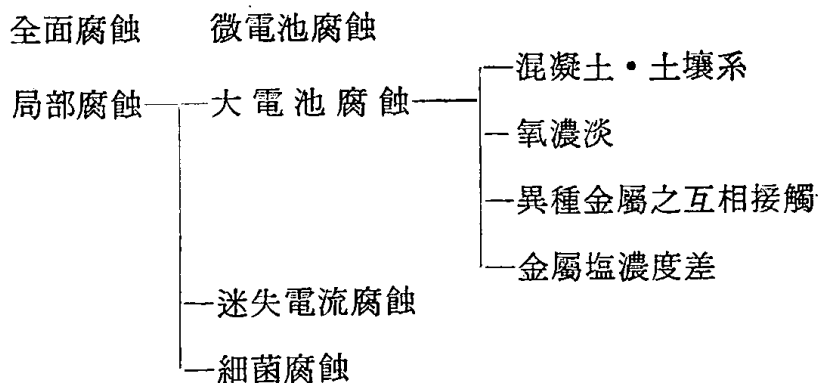
圖 1 腐蝕之機構

舉一譬喻來說明：

假設公寓之二樓水龍頭與水管（鐵）脫落，任由自來水一直放流。在這種狀態下，不久一樓天花板可能有水滴漏出，此比喻可與腐蝕現象相做。即水龍頭等於陰極部位而天花板滴漏部份等於陽極部位，水流可視作腐蝕電流。在此情況下，如果只顧治標僅調查出漏水位置，而用防水劑來封閉漏水隙縫，其後果如何呢？漏水位置只會搬移至別處，漏水情況仍然存在，於事無補。最好的辦法就是把水龍頭裝妥才會有效。對於腐蝕之防止同樣必須先查明腐蝕真正原因而切斷其根源才是治本之法。

腐蝕現象如表一所示大致可分為微電池腐蝕及大電池腐蝕二種。

表-1 土壤腐蝕之種類



微電池腐蝕係指陽極與陰極鄰接存在且互相更換其位置之腐蝕型態，其蝕腐係全面性而腐蝕速度可用測定其極化電阻法容易判斷。按以往經驗大約在 0.1mm/y 以下。

大電池腐蝕則陽極部位與陰極部位之位置固定而腐蝕則集中在陽極部之型態。其速度有時會超過 1mm/y。因此瓦斯管有腐蝕問題發生時應考慮有某種大電池作用存在。

大電池腐蝕型態之陽極部位與陰極部位通常相距在較遠處，而要追蹤特定之陰極部位，一般甚為困難。但真正要達成防蝕目的，亦得要克服困難去追究大電池之實情。

### (3)大電池之種類及作用因素

有大電池作用存在即有腐蝕電流在流通。此腐蝕電流量與鐵之溶解量即腐蝕量之間有化學量之比例關係。1mA 電流量流通一年就有約 9 公克之鐵會腐蝕掉。設腐蝕電流為  $I_{corr}$ ，腐蝕電池電動勢為  $E$ ，極化值為  $E_p$ ，電阻為  $R$ ，則  $I_{corr}$  得由下列公式算出。

$I_{corr} = [E - E_p] / R$  公式中  $E$  愈大或  $E_p$ 、 $R$  愈小腐蝕程度愈厲害。產生此電動勢  $E$  即是大電池作用。與埋設瓦斯管腐蝕有密切關連之大電池作用有三種。(一)混凝土與鋼鐵間(即 C-S 系)大電池，(二)氧氣濃淡電池，(三)不同金屬接觸系電池。

所謂極化係指對該電極因電流之進出所引起之電位變化。可分為(1)濃度極化及(2)活性極化二種。

電阻方面有(1)土壤本身之電阻(2)在金屬表面生成之不動態皮膜之電阻及(3)因施予包覆油漆加工之電阻等。

### (1) C-S 系大電池：

如圖 2 所示埋在混凝土中之鐵件與埋在一般土壤中鐵件之間所存在之腐蝕電位差而構成腐蝕電池。結果如圖 3 所示埋在混凝土中之鐵管成爲陰極而使土壤中之鐵管受到腐蝕。

圖 2 pH 與鐵之腐蝕電位

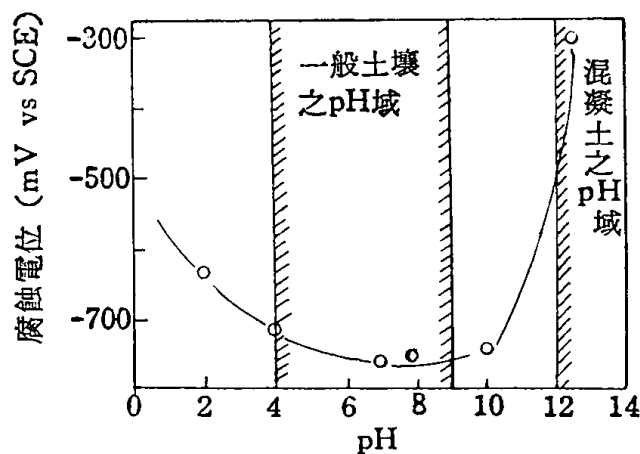
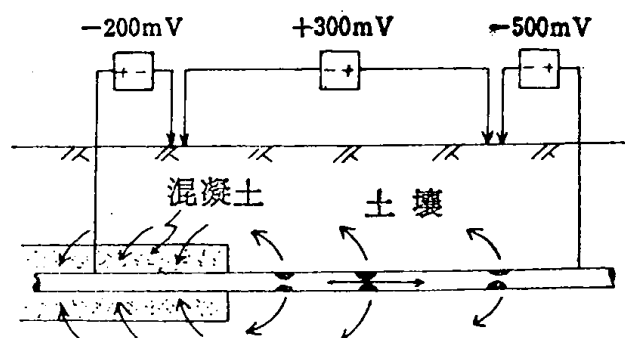


圖 3 C-S系大電池



(2) 氧氣濃淡電池：

氧電極之反應及電位由下列公式表示之。

$$E_{O_2} = E^0 + \frac{RT}{F} \log_e \frac{P_{O_2}^{\frac{1}{4}}}{[OH^-]} = 0.401 + 0.5921 \log_e \frac{P_{O_2}^{\frac{1}{4}}}{[OH^-]}$$

$E_{O_2}$ ：氧電極之單極電位， $E^0$ ：氧電極之標準單位， $R$ ：氣體常數， $T$ ：絕對溫度， $F$ ：Farady常數， $P_{O_2}$ ：氧分壓， $[OH^-]$ ：氫氧離子活量。

因此氧氣分壓如有差異即產生電位差，氧分壓高的一方成為陰極，低方成為陽極構成氧濃淡電池。

就實際埋設地下瓦斯管而言氧電極是成為陰極而陽極是將  $Fe^+$  離子溶出之瓦斯管，如此構成之氧濃淡電池產生之電動勢會比上列公式所算出值要高，有時達到 0.5V 以上。

氧濃淡電池所引起之腐蝕是發生在通氣性不良環境即粘土質土壤或地下水位較高地方。常常有人誤會粘土或地下水具有腐蝕性，事實上粘土本身之腐蝕性並不大，而是由於形成大的氧濃淡電池之陽極部位所導致。

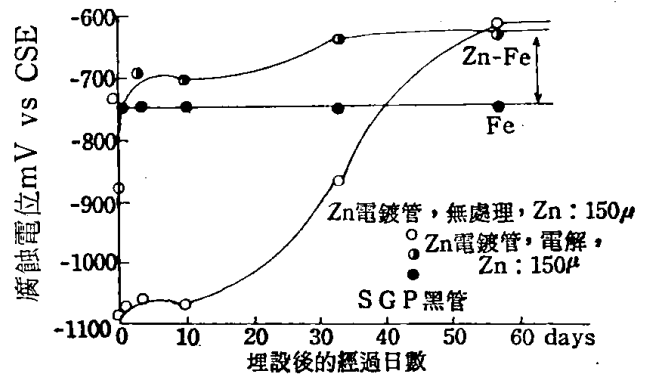
(3) 不同金屬接觸之電池現象。

係因金屬本身間之電位差所引起之電池作用，最典型者就是市面上出售之碳精電極與鋅製成之乾電池。鐵和鎂相連接則鐵會被保護不腐蝕。相反鐵和銅連接則鐵會被腐蝕。

一般防蝕方案常被採用者有使用熱浸法鍍鋅。這是利用鋅本身有不易生成微電池腐蝕之特性；以及鋅之自然電位較鐵為卑所以能保護鐵。但如圖 4 所表示一旦表面鍍鋅層消失時鋅—鐵合金層會露出，反而變成較鐵為貴電位。經驗上得知有車螺牙部位因露顯出鐵管本質就構成不同金屬接觸電池作用而促進腐蝕。所以一味地相信鍍鋅有防蝕效果

是危險的。

圖 4 Fe與Zn-Fe合金層之腐蝕電位 (300Ω-cm之Silt)



(4) 影響腐蝕速度之其他因素：

如前面所述腐蝕量是與腐蝕電流成比例，但真正腐蝕之問題不在於全部腐蝕量而是腐蝕之速度。腐蝕速度是以每一單位面積之腐蝕量計量。亦即與每一單位面積之腐蝕電流（即腐蝕電流密度）成比例。

圖 5 表示 C—S 系大電池之腐蝕電流密度與陰極／陽極之面積比之關係。由此可見隨面積比之增加其腐蝕電流密度亦有隨之增加之趨勢。換言之，如果陰極面積不一定而陽極面積愈小則腐蝕速度愈大。此事實不僅在 C—S 系大電池可發現，其他大電池腐蝕亦有同樣效果發生。

對陰極部位不採取妥善措施，只對陽極部位使用防蝕膠帶纏繞，如果繞捲施工不良則造成陽極部位面積變小反而加速這一部位之腐蝕速度，這一點特別要注意。

將上述腐蝕主因與作用因素之關係列表如附表 2。

圖 5 陰極/陽極面積比 (陰極為 $1,025\text{cm}^2$ ) 電流密度

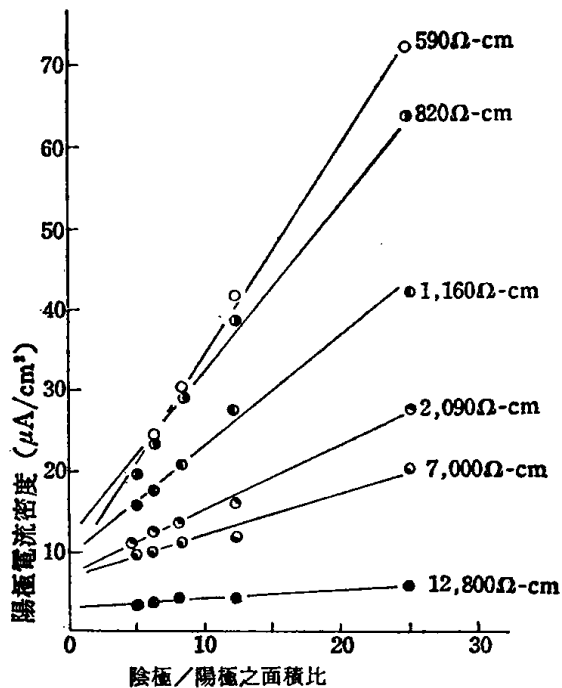


表 2 之各種主因及作用因素如果同時存在，則要做防蝕措施非常困難，相反地如果能找出某一特殊原因對症下藥，或許能找出一有效防蝕方案。

由表 2 及表 3 對比，表 3 所列項目是針對極化及電阻之作用因素乃至微電池腐蝕因素所做。亦即僅對陽極部位之腐蝕性評估，大電池腐蝕評估法中所強調之陽極與陰極之互相作用並未包含在內。

#### (4) 埋設環境調查結果

由以上所述，與腐蝕有關連之各種主因及因素中要尋找其特殊有關因素為目的，曾實施埋設環境之調查。

以埋設後經過 25 年之瓦斯管為對象，任意抽取 11 路線就下列項目做調查。

表-2 各種腐蝕主因與作用因素之關係

主因	腐蝕電池電動勢	極化	電阻	
種類	1. C-S 系大電池 2. 氧濃淡電池 (通氣性差異) 3. 不同金屬接觸電池 4. 迷失電流	1. 濃度極化 2. 活性化極化	1. 土壤電阻 2. 不動態皮膜 3. 油漆包覆	
作用因素	金屬之自然電位 純鎂 鋅 鋁 軟鋼 軟鋼 (表面生銹) 鑄鐵 錫 銅 埋在混凝土中之軟鋼 鈦 高矽鑄鐵 鎳 不銹鋼 碳精 (中性溶液·飽和硫酸銅溶液)	V. -1.75 -1.1 -0.8 -0.5~-0.8 -0.2~-0.5 -0.5 -0.5 -0.2 -0.2 -0.2 -0.2 -0.25~+0.1 +0.1 +0.3 —	Cl <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> pH (4 以下) 有機物, 全酸度 CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> , HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 硫酸還原菌 通氣性=粘土 — — — — — — — — —	含水量 同填土之夯實度 溶存金屬鹽 比電阻 細菌 粘土之膨脹收縮 施工不良 油漆包覆之耐久性 不均勻下沉 — — — — — — — —

表-3 在西德對土壤的腐蝕性評價方式

表 3 西德瓦斯自來水協會規格 (DVGW GWg)

項 目	測 定 值	評 分	項 目	測 定 值	評 分
土 壤 種 類	C 石灰質 Calcareous	+2	含 水 率	20%以下	0
	CM泥灰狀石灰岩	+2		20%以上	-1
	SM砂狀泥灰土 (不形成層狀)	+2	pH	6 以上	0
	S 砂	+2		6 以下	-2
	L Loam	0	Redox 電 位	+400mV 以上	+2
	SL砂質 Loam(75%)	0		+200~+400	0
	LM泥灰 Loam	0		0~+200	-2
	SA砂質粘土(75%以下)	0		0 以下	-4
	A 粘土	-2	硫化物及硫化氫	沒有	0
	AM泥灰粘土	-2		痕跡	-2
	H 腐植物土	-2		有	-4
	T 泥炭	-4	碳酸鹽含有率	5%以上	+2
	LS重質 Loam	-4		1~5%	+1
SA泥沼澤土壤	-4	1 以下		0	
埋設處地下水值	N 沒有	0	氯 離 子	100mg/kg以下	0
	P 有	-1		100mg/kg以上	-1
土 壤 條 件	V 會變動	-2	硫 酸 離 子	100mg/kg以下	0
	SN 既有土	0		200~500mg/kg	-1
	Sr 回填土(海邊)	-2		500~1,000mg/kg	-2
	Si 回填同一土壤	0		1,000以上	-3
比 電 阻	S2 回填不同土壤	-3	煤 渣 焦 炭	無	0
	10,000Ωcm以上	0		有	-4
	10,000~5,000Ωcm以上	-1			
	5,000~2,300Ωcm以上	-2			
	2,300~1,000Ωcm以上	-3			
1,000Ωcm以下	-4				

上述評分之合計在零以上者此土壤無腐蝕性，0~-4分呈微腐蝕性，-5~-10分有腐蝕性，-10分以上者腐蝕性甚激烈。

(1)比電阻，pH，細粒含量比，極化以及電阻有關之作用因素與腐蝕量之相關分析。

(2)以極化為基礎之土壤腐蝕性評價指數——即 Corrosion Point 法與 Putman 法之實用性評估。

(3)由大電池為主因之 Long Line Current 之實情與腐蝕之關連性調查。

詳細調查項目與作業流程如附表 4，圖 6~圖12及表 5 表示上述調查之結果。圖 6~圖 8 是土壤分析結果，這大致上與大阪近郊之一般分佈情況一致。表 5 是各種作用因素與最大孔蝕深度之單相關分析結果，每一因素之相關係數均顯示不高，可見由個別因素來作土壤腐蝕性之定量推定似有困難。

表-4 腐蝕之調查內容及作業流程

	第一 天	第 二 天	第 三 天	搬 運	室 內 試 驗
內 容	柏油路面 鑽孔 (約 200 點) • 地表面電位分佈之測定 (約200處) • 建物排列地形觀察	挖洞試驗 (7~8個地方) • 管內電流測定 • Redox電位測定 • 復極測定 • 土壤pH測定 土壤採取	全面挖洞 (挖出管子) 管子編號 • 埋設深度之測定 • 地下水之測定 土壤採取		調查管子 去除塗裝 (Shot Blast) 測定孔蝕  土壤分析 比電阻 pH[Cl <sup>-</sup> ] [SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ] [A <sup>-</sup> ] 細粉分, 含水率 Putman法

表-5 單相關解析結果

土壤因子 Xi	比電阻 ρ	最小比電阻 ρ <sub>min</sub>	抽出水比電阻 ρ <sub>EXT</sub>	細粒分含有率	含水率	[SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ]
最大孔蝕深度之單相關係數 X <sub>0</sub>	-0.220	-0.277	-0.267	0.288	0.187	0.230

土壤因子 Xi	[Cl <sup>-</sup> ]	pH	埋設深度(m)	Redox電位	復極率	Putman電流值
最大孔蝕深度之單相關係數 X <sub>0</sub>	0.013	0.111	-0.249	-0.115	0.184	0.175

圖 6 土壤最小比電阻之分布

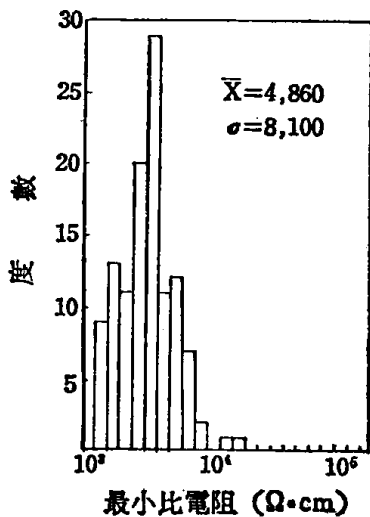


圖 7 pH之分布

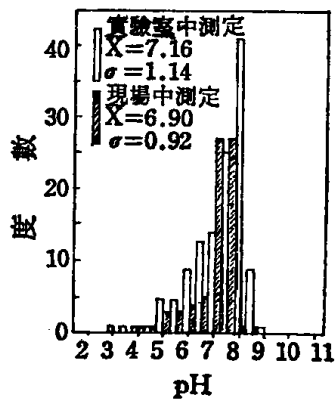


圖 8 細粒分 (74μ以下) 含有率之分布

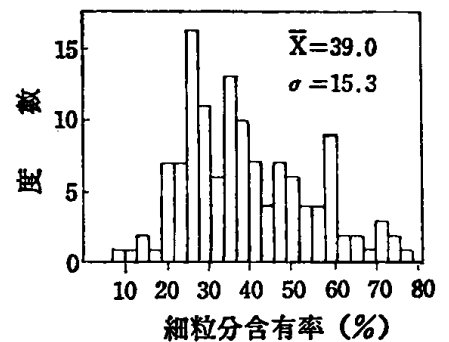


圖9 地表面電位分布與孔蝕深度分布例

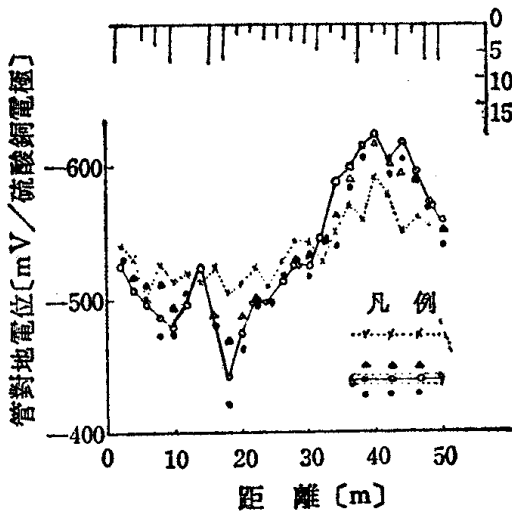


圖10 管內電流之分布

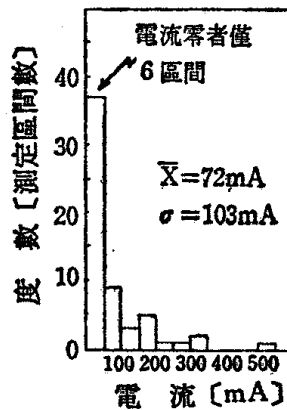


圖11 管內電流記錄例

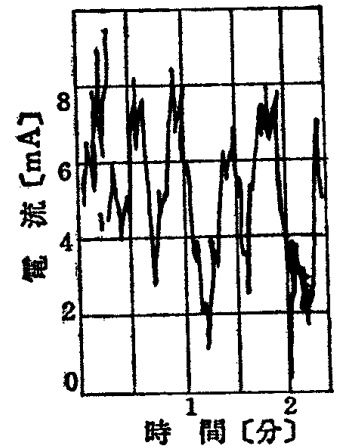


圖9~圖12是關於 Long Line Current 之調查結果。圖9顯示在18m附近有最陰極化部份而在40m附近則有最陽極化部份，這表示長達20公尺範圍內已經有構成大電池。圖10是表示很多管線，都有測出管內電流。其中如圖11之例子則應視為不一定全是因大電池之原因亦有，無論如何，在圖12所示，Long Line Current流出管外之電流量較少之管線，其腐蝕速度亦僅0.05mm/yr.程度，可是流出電流量愈多，腐蝕速度亦增加2~3倍。可見流出電流量之大小影響管線全體之腐蝕甚大。

表6是將上述結果綜合歸納製成。由此可見流出電流量對腐蝕之影響最大，謹此提供所得資料供大家研究參考。

表-6 綜合歸納調查結果

圖12 路線單位流出電流之最大孔速度

