



公用天然氣管網風險評估

天然氣管網之管線維修、檢測、汰換

工業技術研究院/材料與化工研究所

報告人：李信賢

聯絡電話：(03)591-4117

e-mail:David_Lee@itri.org.tw

111年11月28日



天然氣管網之管線 維修、檢測、汰換

- 天然氣管線之維修、檢測與汰換主要參考：
 - 美國聯邦法規49 CFR PART 192
 - 美國「氣體管線技術委員會」GPTC Z380.1建議指引

1 天然氣管網之檢測

❖ 管網完整性(完整率)檢測

- 主要為「洩漏巡檢」(即檢測出已發生洩漏的狀況)，以此檢測結果瞭解管網的狀況，於洩漏檢測後再對洩漏處進行修理或汰換。
- 再配合管網風險評估結果得到那些為可能會發生問題的管網高風險「危害群」。並對其擬定檢測項目，例如：管線包覆完整性檢查、管線壁厚減薄量測、鑄鐵管石墨腐蝕狀況檢測…等。對此高風險「危害群」進行部份開挖檢查來驗證管網高風險「危害群」目前的局部狀況。
- 「洩漏巡檢」或開挖檢查可將檢測發現之管線/設備故障或洩漏狀況紀錄於本指引之附錄2「公用天然氣管線洩漏事件記錄表」，做為管網管理及管網風險評估的參考資料。

❖ 管網檢測的主要作法如下：

- (1)定期「洩漏巡檢」：管線巡查、加重嗅劑查漏、瓦斯偵測器人手孔查漏。
- (2)輔助測漏：以雷射瓦斯偵測器查漏。
- (3)鑽孔測漏(適用於地下管)。
- (4)氣泡洩漏檢測法(泡沫查漏)：適用於跨越水溝管線、地上管線。
- (5)氣密測試：適用於集合式住宅共用表外管。

2天然氣管網之維修與汰換(1/5)

❖ A. 金屬管(鑄鐵管除外)的修理與汰換

- (1) 均勻腐蝕：除鑄鐵管或球墨鑄鐵管外之金屬管的均勻腐蝕(general corrosion)，其剩餘壁厚小於管線承受「最大允許操作壓力」MAOP(Maximum Allowable Operating Pressure)要求者，或剩餘壁厚小於公稱壁厚30%者，則該管段必須汰換。但是，若利用可靠的工程測試和分析方法來證明所使用的修復方案可永久恢復管線的適用性，將可採用此方案來修復已腐蝕的管段。對於相當靠近之成群的點蝕群，其對管線整體的強度影響可視為均勻腐蝕狀況來考量。
- (2) 局部腐蝕點蝕：除鑄鐵或球墨鑄鐵管外之金屬管，其可能導致洩漏的局部腐蝕之點蝕處都必須修理或汰換。
- (3) 當檢查發現點蝕可能導致洩漏時，業者應考慮以下事項：
 - (a) 檢查腐蝕歷史和洩漏記錄，查看本次檢查的其它附加資料是否可以決定可同時一起汰換的管段有那些。
 - (b) 在點蝕處裝設洩漏夾(leak clamp)。
 - (c) 對於開挖檢查處的管線做清潔和重新塗層/包覆。

2天然氣管網之維修與汰換(2/5)

❖ B. 鑄鐵管的修理與汰換(1/2)

■ (1) 石墨腐蝕：

- (a) 均勻石墨腐蝕：若鑄鐵管或球墨鑄鐵管發現均勻石墨腐蝕，其程度可能導致斷裂或洩漏時，則必須汰換此段之鑄鐵管或球墨鑄鐵管。
- (b) 局部石墨腐蝕：若鑄鐵管或球墨鑄鐵管發現局部石墨腐蝕，其程度可能導致洩漏時，則此狀況的管段必須修理或汰換，或採用足以防止或阻止洩漏的內部密封方法來密封。
- (c) 當檢查發現均勻石墨腐蝕或局部石墨腐蝕已經發展到可能導致破裂或洩漏的程度時，業者應對此類管線進行額外的開挖檢查來確定石墨腐蝕的範圍。

■ (2) 修理：可使用修復夾(clamp)或套筒(sleeve)修復管線，修復夾或套筒應將石墨腐蝕區域覆蓋，且修復夾或套筒的末端應延伸到完好無石墨腐蝕的管體部位。

■ (3) 汰換：若石墨腐蝕的管子無法修復，則應汰換該管段。石墨腐蝕之鑄鐵管在以下情況下也應考慮汰換。

- (a) 於鄰近建築物、下水道、人孔、或其它導管，或在車輛交通繁忙的區域，管線檢查發現石墨腐蝕或軟化狀況者。
- (b) 管線石墨腐蝕和破裂記錄發現有集中於某區域或不穩定土壤地區者。
- (c) 於開挖時發現管線有石墨腐蝕狀況。

2天然氣管網之維修與汰換(3/5)

❖ B. 鑄鐵管的修理與汰換(2/2)

- (4)可考慮汰換的鑄鐵管或球墨鑄鐵管：業者應依據管線的維護和洩漏歷史，以及當前情況來考量鑄鐵管/球墨鑄鐵管的汰換。此類管線汰換時，業者應再考慮以下因素：
 - (a)工程建設施工影響：例如：於都市更新、重大拆遷、爆破等工程的地區。
 - (b)主要街道/公路之改建及鋪路的影響。
 - (c)可能因振動、土壤沉降或增加的表面負載而產生不利影響的施工活動。
 - (d)埋設深度、交通頻繁負荷、鋪路狀況和有害的環境因素(例如：沼澤地、煤渣回填、高 pH 值土壤和可能導致應力集中的潛在樹根生長處)。
 - (e)有雜散電流或其他因素可引起活性腐蝕的區域。
 - (f)設計、管線埋設、操作方法和操作條件，包括操作壓力和管線尺寸承受預期外部應力的能力。較小管徑的鑄鐵管由於其較低的抗彎強度而更容易發生損壞。
 - (g)鑄鐵管線埋深與地下水位以及水可能進入管網系統的關係。
 - (h)製造年份、管線類型以及石墨腐蝕降低管線強度和壽命的程度。隨著時間的改變，鑄鐵管使用不同的工藝製造，並且具有各種壁厚公差。因此，導致公稱壁厚相同的兩根管子其實際壁厚可能因製造工藝和公差不同而有所不同。實際壁厚較小的管線承受外部負荷的能力可能明顯較低。
 - (i)當鑄鐵管段曝露、開挖或因其他開挖而受到干擾時，考慮將其汰換為適當支撐的鋼管或PE管段。鑄鐵管承受外部負荷的能力隨著管徑變小而降低。

2天然氣管網之維修與汰換(4/5)

❖ C. PE管或PVC管的修理與汰換(1/2)

- 1. 切割成圓柱體並將損壞的管段汰換。
- 2. 使用適當設計的螺栓固定式鞍座(bolt-on type saddle)、洩漏夾(leak clamp)或套筒。
- 3. 安裝符合ASTM D2513要求的修復套筒(repair sleeve)。
- 4. 任何會影響塑膠管線使用性能的缺陷或損壞都必須修理或去除，其作業須遵守以下規定：
 - (1)人員資格：應由具合格證明資格的人員進行修復。
 - (2)標準修復程序：擬定標準修復程序，並依此程序先對材料樣品進行修理，並根據既定的測試方法對這些修復的樣品進行破壞性測試得到合格之標準程序，測試方法的範例可參考ASTM D2513。管線修復應依以上合格之標準修復程序進行。
 - (3)管材製造商的建議：
 - (a)要決定所採取的維修方法時，考慮塑膠管製造商的建議。
 - (b)在擬定合格之標準修復程序時，請諮詢管件製造商。
 - (c)確保將進行的修理與管件製造商的建議一致。

2天然氣管網之維修與汰換(5/5)

❖ C. PE管或PVC管的修理與汰換(2/2)

■ (4) 套筒(Sleeve)和補丁(Patch)

■ (a) 材料

- (i) 補丁或套筒的壁厚至少應等於管線的壁厚。
- (ii) 如果修復是採熱融方式，補丁或套管最好是使用相同的類型和等級材料。
- (iii) 如果修復使用溶劑膠結(solvent cement)材料，補丁或套筒基本上應使用相同的類型和等級材料。

■ (b) 特殊考慮

- (i) 如果使用補丁或全環套筒(full-encirclement sleeve)，它應延伸到損壞區域以外夠遠的地方，以確保結構完整性。
- (ii) 如果使用全環對開套筒(full-encirclement split sleeve)，縱向接合線應盡可能遠離缺陷，但在任何情況下都不應近於1/2英寸(13mm)。



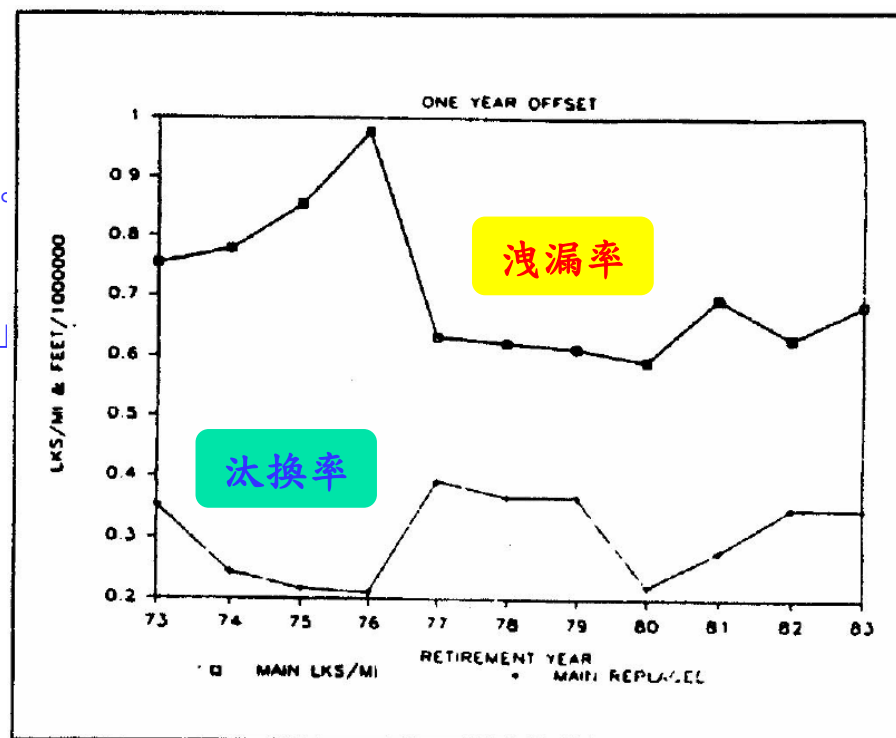
天然氣管網之管線汰換原則

管線汰換原則(1/6)

- ❖ 管線汰換原則：應考量輸氣管線危害中(A)與時間有關的危害及(B)穩定存在的危害，而(C)與時間無關的危害因屬隨機發生的危害故無需列入考量。
- ❖ 裸鋼管與鑄鐵管：美國已列為需分年進行汰換之高風險管材，國內業者應注意管網系統中此類管材的狀況，以評估是否列入汰換。
- ❖ 管網高風險或老舊管線進行汰換：
 - 考慮管線「汰換率」($\text{汰換率} = \text{管線汰換長度} / \text{管線總公里數}$)
 - 考慮「洩漏率」($\text{本支管洩漏率} = \text{本支管洩漏數} / \text{本支管總公里數}$ ， $\text{表外管洩漏率} = \text{表外管洩漏數} / \text{表外管線總數量}$)
 - 考量「汰換率」時對應的「洩漏率」只需將8大危害的(1)腐蝕，及(2)材料、銲接或其他連接故障，這兩項列入「洩漏率」計算。
- ❖ 若管線「汰換率」太低可能無法遏止管線「洩漏率」的增加，因此當管線之「洩漏率」有增加趨勢時應適當提高管線的「汰換率」以降低管線的洩漏率
- ❖ 比較好的管線「汰換率」是使管線「洩漏率」保持相當穩定且有下降的趨勢。

管線汰換原則(2/6)

- ❖ 可將每年本支管之管線「汰換率」(應區分「已經發生洩漏處」汰換的管線長度與「未發生洩漏前」即汰換的管線長度)與「洩漏率」變化進行比對，研判管線「汰換率」是否足夠。
- ❖ 依據國際自來水協會IWA建議不使自來水管網系統惡化的「管線年汰換率」(annual pipeline replacement rate)為1.5%。
 - 因天然氣管網與自來水管網使用的某些管線材質雖然類似但等級不同，故僅提供IWA「管線年汰換率」的建議給公用天然氣業者作為參考。
- ❖ 考量管線汰換可從管網風險評估或監控洩漏統計數據中發現高風險管線者優先進行汰換規劃。



(上折線圖)年洩漏率(洩漏數LKS/公里數)與(下折線圖)管線年汰換率之對照狀況

管線汰換原則(3/6)

❖ 公用天然氣事業應定期進行管線設備完整性評估及管網風險評估，達高風險管線設備應訂定分年汰換計畫，分年汰換計畫應併入年度輸氣管線維修檢測汰換計畫，報經直轄市、縣（市）主管機關轉請中央主管機關備查。並依下列汰換原則辦理：

- 1. 管線巡查或施工開挖發現可能導致洩漏之腐蝕或已發生漏氣者。
- 2. 配合主管機關或其他單位工程必須遷移天然氣管線者。
- 3. 對於學校、醫院、車站及加油(氣)站等周邊100公尺內老舊管線列為優先汰換。
- 4. 通報漏氣熱點：本支管及表外管同一段管線腐蝕漏氣頻率較高者，漏氣頻率較高者包括：
 - (1) 同一地點1年內報修3次。
 - (2) 1年內同一地下表外管線設備於100公尺距離內有2處腐蝕漏氣者。或最近三年內同一地下表外管線設備於100公尺距離內有3處腐蝕漏氣者。
 - (3) 1年內同一地上表外管線設備於20公尺距離內2處腐蝕漏氣或腐蝕嚴重者。

管線汰換原則(4/6)

- 5. 屬於通報漏氣熱點，應自接獲通報日起於三個月內進行年度汰換。管線應自漏氣點向外延伸進行汰換，汰換總長不得小於漏氣點二倍間距，並應於漏氣點鄰近分歧管進行至少四處探漏。但汰換長度因現有管線長度未達兩倍間距時，應以現有長度整段汰換。
- 6. 如果開挖檢查發現鑄鐵管石墨腐蝕超出開挖範圍，則應更換整管段鑄鐵管。
- 7. 汰換中壓鑄鐵管時一併汰換同路徑且同氣源之低壓鑄鐵管，橫向分歧低壓鑄鐵管除經風險評估毋須立即汰換，否則應一併汰換。
- 8. 低壓鑄鐵管本管發生漏氣機率較高者，列入年度汰換計畫(道路交叉口處)。
- 9. 支管採用鍍鋅鋼管PVC膠帶防蝕包紮，編列預算逐年汰換。
- 10. 明管管齡30年以上有腐蝕之管線或埋於地下管齡超過25年之鍍鋅鋼管且未使用防蝕包覆者。
- 11. PVC管線，編列預算逐年汰換。
- 12. 管網風險評估之A. 腐蝕危害，及E. 材料、銲接或其他連接故障，之風險分析結果為高風險者，可考慮以管線汰換作為強化措施。
- 13. 每年從監控洩漏統計數據，發現高風險危害管線類別者，可考慮以管線汰換作為強化措施。



管線汰換原則(5/6)

XX瓦斯公司漏氣填報資料(空白統計表).xlsx - Excel

檔案 常用 插入 版面配置 公式 資料 校閱 檢視 Acrobat 告訴我您想要執行的動作... 登入 共用

	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	行政區	施工地點	X	Y	管線設置年度	管線材質	明/暗管	漏氣原因	處理結果
2									
3									
4									
5									

可用Excel收集與統計洩漏數據

	C	O	P	Q	R	S	T	U
1	行政區	管線編號	管線類型	災害等級	供氣影響	洩漏元件	洩漏時管齡(年)	管線或管件材料種類
2								
3								
4								

	C	V	W	X	Y	Z	AA	AB
	行政區	管件包覆	管徑	管壁原始厚度(mm)	管壓(kg/cm ²)	特殊管材或管件問題	管線是否有陰極保護	管線位於特殊位

管線汰換原則(6/6)

- ❖ **舉例**：假設某天然氣業者近4年多「公用天然氣管線洩漏事件記錄表」之洩漏統計數據顯示：
 - (1)全部天然氣管網洩漏數分佈：主要洩漏之管材為鍍鋅鋼管佔94%，其次為鑄鐵管佔5%，再次為PE被覆鋼管佔0.5%，最少者為PE管佔0.4%。
 - (2)鍍鋅鋼管之洩漏：明管洩漏佔鍍鋅鋼管洩漏之29%，暗管洩漏佔鍍鋅鋼管洩漏之70%。
 - (3)鍍鋅鋼管之洩漏以腐蝕為主要原因：明管腐蝕佔鍍鋅鋼管明管洩漏49%，暗管腐蝕佔鍍鋅鋼管暗管洩漏91%。
 - (4)鍍鋅鋼管之腐蝕洩漏以管齡介於30~40年者最多：30~40年管齡明管腐蝕洩漏佔全鍍鋅鋼管明管腐蝕洩漏之87%，30~40年管齡暗管腐蝕洩漏佔全鍍鋅鋼管暗管腐蝕洩漏之88%。
- ❖ 從以上統計數據，業者可考慮對管齡超過30年之鍍鋅鋼管進行汰換以降低鍍鋅鋼管的洩漏數量。



8大危害
不用全計算

上頁舉例：如何劃分危害群

群別	管網危害狀況資料收集結果	危害辨識	危害群
P1群	近4年管齡30~40年之地下 鍍鋅鋼管腐蝕 洩漏件數很多，且本群洩漏佔全部 $94\% \times 70\% \times 91\% \times 88\% = 52.7\%$ 。	外部腐蝕洩漏很多	危害群成立 →列入管網風險評估
P2群	近4年管齡30~40年 以外 之地下 鍍鋅鋼管腐蝕 洩漏件數不少、且本群洩漏佔全部 $94\% \times 70\% \times 91\% \times 12\% = 7.19\%$ 。	外部腐蝕洩漏不少	危害群成立 →列入管網風險評估
P3群	近4年 鍍鋅鋼管(明管)腐蝕 洩漏件數很多，且本群洩漏佔全部 $94\% \times 29\% \times 49\% \times 87\% = 11.62\%$ 。	大氣腐蝕洩漏很多	危害群成立 →列入管網風險評估
P4群	近4年 地上管線(除腐蝕外) 洩漏件數不少。若有不同明管之明管洩漏狀況，可再行 細分(不同管材)危害群 。	明管其它洩漏不少	危害群成立 →列入管網風險評估
P5群	近4年 鑄鐵管腐蝕 洩漏件數不少，且本群洩漏佔全部 $<5\%$ 。	鑄鐵管腐蝕洩漏不少	危害群成立 →列入管網風險評估
P6群	近4年地下 PE被覆鋼管 外部 腐蝕 洩漏件數佔全部 $<0.5\%$ 。	PE管腐蝕洩漏	危害群成立 →列入管網風險評估
P7群	近4年地下 PE管 洩漏件數佔全部 $<0.4\%$ 。	PE管開挖或其它洩漏	危害群成立 →列入管網風險評估
P8群	近4年 開挖損傷 洩漏件數不少(依據統計資料顯示： 地下管線腐蝕以外之洩漏皆為開挖損傷造成)。	開挖損傷洩漏	危害群成立 →列入管網風險評估
P9群	A地區：臨近 鐵路地區(<150m) 之鑄鐵管。	可能雜散電流潛在危害	危害群成立(可能有?) →列入管網風險評估