



# 「天然氣事業輸儲設備查核與檢測」委辦 計畫(1/2)

## 附件2-6-1 天然氣管線洩漏偵測新技術 評估報告

全程計畫：自 108 年 1 月 1 日至 109 年 12 月 31 日

年度計畫：自 108 年 1 月 1 日至 108 年 12 月 31 日

委辦單位：經濟部能源局

執行單位：財團法人工業技術研究院

## 一、前言

天然氣是含甲烷超過 80%成份的氣態碳氫化合物，其物質安全資料表(MSDS)將其歸類為極度易燃氣體。若發生天然氣洩漏狀況，在火源引燃的情形下會發生劇烈燃燒，如圖 1，對於四週的設備或人員將會造成猛烈的火災危害。在局限空間內若發生天然氣洩漏蓄積，當洩漏天然氣遇火源更可能引起劇烈爆炸造成嚴重傷亡事故。



圖 1 天然氣管線洩漏燃燒(2012 年美國 Sissonville 事件)

因此，「天然氣事業輸儲設備防災相關設施裝置維修辦法」第 2 條規定天然氣事業之輸儲設備，所應裝置之四項防災相關設施中要求其中的監控系統具備漏氣偵測，並具火災偵測功能。

對於天然氣的洩漏偵測方法可分為(1)「移動式儀器偵測」和(2)「遠端智慧即時及監測系統偵測」技術。對於長途輸送管線由於其行經地點之路徑甚長，如何在如此長的管線中偵測出管線內容物的洩漏是一項極具挑戰性的技術。目前長途輸送管線的洩漏偵測系統(Leak Detection System；簡稱 LDS)，已發展出可在管線遠端利用管線輸送時的特性計算其是否發生洩漏狀況，此為智慧即時及監測技術。

對於輸送內容物為液態的液體管線(Liquid Pipeline)，其智慧即時及監測洩漏系統可以利用電腦以其流體性質來計算監控管線測漏的狀況，並可估計管線洩漏量及發生洩漏點的位置。但對於輸送內容物為氣態的氣體管線(Gas Pipeline)則只能做到估計洩漏量的功能，對於洩漏點的位置確認仍有困難。輸送液態內容物的管線之洩漏偵測的技術較為成熟，目前已有相關的國際標準可參考，如美國 API RP 1130[1]。在國際上還有德國的管線洩漏檢測標準可參考，如德國「管線技術規範」(Technical Rules for Pipelines; 簡稱 TRFL[2])。對於氣體管線，其洩漏偵測的技術相較於液體管線較不成熟，仍在發展中。氣體管線洩漏遠端智慧即時及監測系統偵測技術主要有：音洩法(acoustic emission method; 也稱為 AE method)和負壓波法(negative pressure wave method)其偵測的洩漏參數以聲音頻率與壓力降低來判定是否發生管線洩漏狀況。

對於偵測天然氣管線洩漏的偵測移動式儀器，目前已有多種原理與設備可以達成，如雷射瓦斯洩漏偵測儀、紅外線氣體洩漏偵測儀、火焰離子化偵測器(FID)、紅外線熱像儀...等。相對於管線遠端智慧即時及監測系統，此種移動式天然氣洩漏偵測方法是較成熟的技術。

本項工作蒐集國內外天然氣管線洩漏偵測技術、遠端智慧即時及監測系統技術這兩類相關資訊，並分析其工作原理與適用範疇，以作為是否可引進技術應用之參考。

## 二、移動式儀器偵測

### 2.1 紅外線熱像儀

「紅外線熱像儀」，是一種對物體散發出的紅外線進行感光成像的儀器。紅外線攝像儀，依據其感測器使用的波段不同，可分為近紅外線(Near IR)攝像儀(使用波段在  $0.75\mu\text{m}\sim 3\mu\text{m}$ )、中波紅外線(Mid-wave IR, 波段為  $3\mu\text{m}\sim 5\mu\text{m}$ )及長波紅外線(Long-wave IR, 波段為  $7.5\mu\text{m}\sim 13\mu\text{m}$ )熱像儀三種。近紅外線攝像儀拍攝時需要由攝影機主動發射出近紅外光，照射目標物體。中/長波紅外線熱像儀，是透過感測器，被動的接收外界物體所發出的中/長波紅外線能量。因此，儀器完全不需要發射紅外光即可在各種不同光源環境下拍攝，達到遠距離檢測的功能。同時，被拍攝物體的表面溫度，也可以由中/長波紅外線熱像儀所接收到的訊號強度換算出來，故中/長波紅外線影像又被稱作「熱影像」(如圖 2)，其應用範圍，涵蓋了檢測、監控、醫療、軍事等方面。而紅外線熱像儀以其功能分類，又可細分為熱影像(Imaging)系統與熱像測溫(Thermography)系統兩類。熱影像系統所著重的是，在拍攝不同溫度的物體時，熱影像能夠反映出清晰的亮度對比，而測溫系統，除了影像亮度對比需要清晰之外，更進一步要求影像中每個像素所代表的溫度，均能準確檢測(計算)出來。

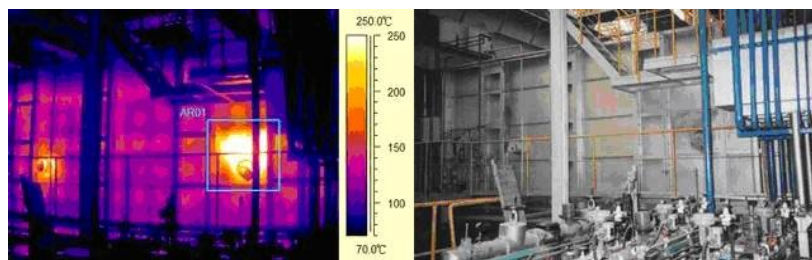


圖 2 紅外線熱影像圖例

所有溫度在絕對溫度 3 度( $-273^{\circ}\text{C}$ )以上的物體，都會不停地發出熱紅外線。因此，熱紅外線(或稱熱輻射)是自然界中存在最為廣泛的輻射。由於洩漏氣體之熱輻射波長不同，經由選擇可辨識天然氣熱輻射波長(由儀

器中的窄紅外光波段濾光片控制接收的紅外線波段)的紅外線熱像儀來進行檢測。例如以色列廠商 OPGAL 公司的紅外線熱像儀 EyeCGas(VOC)，如圖 3，其吸收波譜波段在 3~5 $\mu$ m 可偵測甲烷、乙烯、丙醇、丙醛、丁二烯、丁烯、丙烯、戊烯、苯乙烯、甲苯、乙酸、二甲苯、二甲基苯、異丁烯、異戊二烯、苯、乙苯、環氧乙烷、己烷、甲醇、環氧丙烷、丙烯、乙烷、辛烷、庚烷、異丙醇、MEK 甲基乙基酮、丙烷、丁烷等氣體或其揮發之氣體。

當氣體從輸儲設備洩漏出來，所洩漏之天然氣會從洩漏處噴出或飄動在空氣中，但因天然氣是無色，人眼無法辨識該處已發生天然氣洩漏狀況。但可用紅外線熱像儀對其拍攝，即可立刻從儀器螢幕中看到洩漏氣體移動之紅外線影像，據此判斷該處有氣體洩漏，因此可用來偵測天然氣輸儲設備洩漏情形。

傳統檢測元件氣體洩漏的方式，利用攜帶型儀器逐一對工廠各設備元件進行洩漏檢測，且其測漏儀器需靠近氣體洩漏處，如圖 5。檢測範圍狹小，且檢測速度慢。若使用紅外線熱像儀，可在遠距離就可以全面看到整個廠區的紅外線影像，從影像中檢視出何處有氣體飄移很快可判斷出氣體洩漏處。因此，可不用如傳統的檢測氣體洩漏的方式對所有元件(因不知何處洩漏)近距離逐一檢查。



圖 3 EyeCGas(VOC)紅外線熱像儀

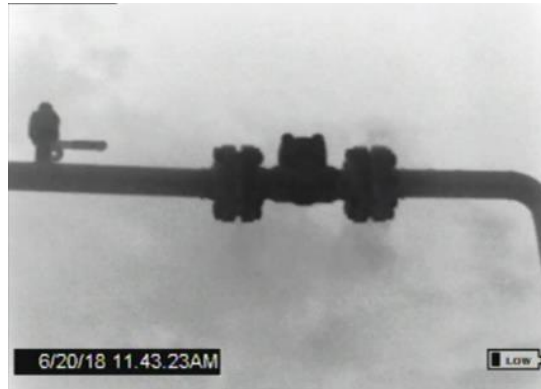


圖 4 紅外線熱像儀所看到之天然氣洩漏之紅外線影像



圖 5 傳統檢測元件氣體洩漏的方式需靠近洩漏處並逐一檢測

## 2.2 可燃性氣體偵測器

「可燃性氣體」泛指一大氣壓下、攝氏十五度時，具有可燃性之氣體。其代表性物質有甲烷、乙烷、丙烷、丁烷、氫氣、乙炔及乙烯氣體。

此類物質大部份為無色無味，在未加嗅劑前的製程中若產生洩漏將無法早期發現，可燃性氣體偵測器(Combustible Gas Indicator)便是偵測可燃性氣體洩漏防範設備與人員安全的第一道防線。

氣體偵測技術從早期之電化學式、半導體式、觸媒燃燒式到現今已普遍使用的紅外線式技術，除了穩定度提升，可靠度增加外，其功能亦增強許多且維護費用也大大的減少了。之後由於長距式氣體偵測器的問世，偵測氣體方式已由單點的偵測擴展為線的偵測，大大提升防護效能。

#### (1)電化學式氣體偵測器：

電化學式偵測器的原理是：當待測氣體通過隔膜溶於電解液中後，會在作用電極(working electrode)表面發生氧化還原反應，同時會有一相對之氧化還原反應發生於對電極(counter electrode)表面，經由量測電流變化或電位變化即可得知氣體濃度。

電化學式多用於毒性氣體偵測器，多用氣體偵測器。電化學式偵測器主要包括三類：定電位電解式(potentiostatic electrolysis)、隔膜離子電極式(membrane type ion-selective electrode)與隔膜加羅瓦尼克電池式(membrane type Galvanic cell)三種，其中以定電位電解式最常見。定電位電解式最常見，可應用於很多種氣體。隔膜離子電極式主要用以測定氨氣，隔膜加羅瓦尼克電池式則用以測定氧氣。

電化學式使用注意事項包括：氣體干擾問題、電解質的毒化與中和、半透膜阻塞、感測元件壽命較短、溫度變化影響、需隨時檢查隔膜、需隨時檢查電解液體積。

#### (2)半導體式氣體偵測器：



半導體式偵測器主要用於可燃性氣體、特殊氣體偵測，其基本原理是使待測氣體吸附在金屬氧化物(半導體)表面上，藉由量測半導體的導電度變化即可得知氣體濃度。可應用於可燃、氧化或還原性氣體上 (CO、乙醇、NH<sub>3</sub>...)，半導體式偵測器原理如下圖。

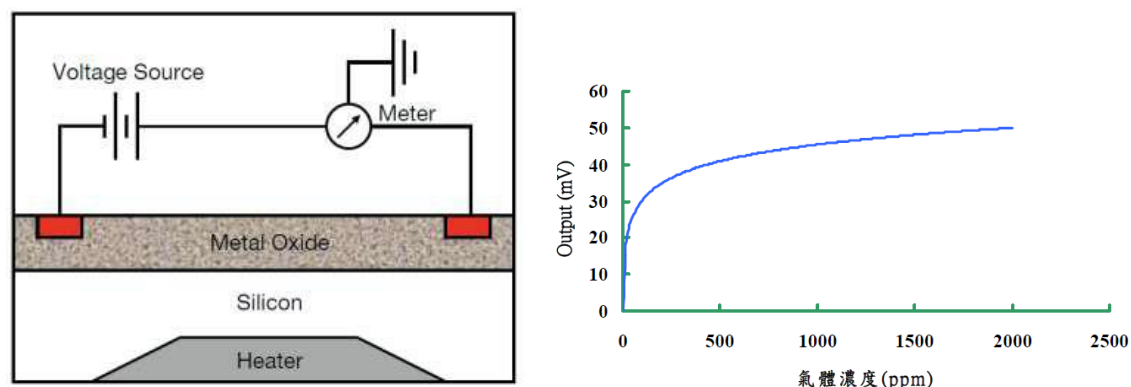


圖 6 半導體式氣體偵測器原理

半導體式偵測器具備高靈敏度、價格低廉可在「無氧」的環境下進行短時間操作等優點。但其主要缺點是選擇性與線性不佳，而且易受外界環境的溫、濕度影響。當溼度超過 70%相對溼度時，半導體式監測器之讀值有偏低之現象。當溫度改變時，其也可能改變監測器的零點(zero point)及靈敏度。





圖 7 可燃性(瓦斯)洩漏氣體偵測器(半導體式)

### (3)觸媒燃燒式氣體偵測器：

觸媒燃燒式仍是目前最普遍使用的可燃性氣體偵測器，主要作為可燃性氣體、多用氣體偵測器。只要可燃的揮發氣體都可以因與偵測器內的觸媒燃燒反應產生熱，感應原件為一觸媒裹覆之加熱線圈，可造成可燃性氣體燃燒釋放出熱，釋放之熱改變線圈之電阻，電阻改變的大小與濃度成正比。使得其內的電抗變化而偵測到可燃性氣體，其原理如圖 8。故碳氫鍵化合物的揮發氣體及氫氣都可使用觸媒燃燒式偵測器來偵測，其使用多以偵測可燃性氣體或碳氫化合物為主。

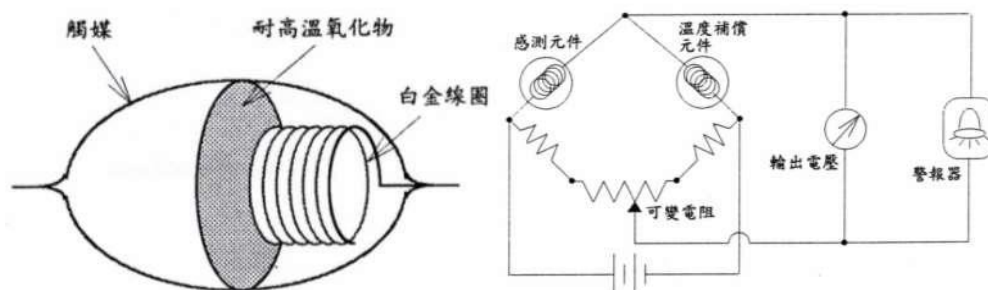


圖 8 觸媒燃燒式氣體偵測器原理

觸媒燃燒式氣體偵測器輸出訊號與氣體濃度間成良好線性關係，精密度高，再現性亦佳，受溫濕度影響小。其缺點則是觸媒氧化劑易被某些氣體(如矽化物、硫化物及氯化物)毒化，此外，較無選擇性，而且在缺氧的狀態下不能使用。其也因觸媒的燃燒消耗使其有其有固定的使用壽命，故每季一定要實施定期校正，且其偵測頭的平均壽命只有二至三年。



圖 9 觸媒燃燒式氣體偵測器外觀

觸媒燃燒式氣體偵測器使用限制包括：不可使用於腐蝕性氣體：(HCl、SO<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>S)、含氮化合物及含氯化合物。不可接觸會對觸媒產生的毒化氣體中含有重金屬、四乙基鉛含有矽化物之滅火劑。對於含氯之碳氫化合物高估了可燃性氣體之濃度、對其他氣體之靈敏度降低。氧氣濃度 10~15%時，讀值偏低；10%以下，無讀值；25%以上，避免使用，以免傷害儀器。

#### (4)紅外線式氣體偵測器：

紅外線式可燃性氣體偵測器主要是利用紅外線光吸收碳氫鍵化合物的光譜，並與不對外的參考光譜進行比較，得到所吸收之氣體濃度。紅外線式可燃性氣體偵測器使用兩個發射源與兩個接收器用於自我補償光束對準、光源強度和元件效率的變化。兩個紅外線光源的透射光束疊加

在內部分光器上。洩漏氣體和參考信號疊加的 50%通過氣體測量路徑並反射回測量偵測器。若有可燃氣體在光束路徑上將降低通過氣體的光束強度而參考光束則不受影響，這兩個訊號之間的差異與測量路徑中氣體濃度成正比。另外 50%的重疊訊號通過分光器並進入補償偵測器。

補償偵測器監控兩個紅外線光源的強度，並自動補償任何長期漂移。平均故障間隔時間可能長達 15 年。由於其壽命長且不需實施定期校正，所以漸有取代觸媒式可燃性氣體偵測器成為市場主流的趨勢。

但因其無法吸收氫氣之光譜且易受水氣之干擾，選用時必須注意偵測對象及屋外環境濕氣。有些此類產品可防水氣干擾，使用時可以多加考量此問題。雖然紅外線式有諸多優點，但以目前而言，其建置費用仍較其它技術為高，且其有無法偵測氫氣的使用限制。因此，在規劃設計時仍需依偵測對象、位置、成本等因素加以考量。

#### (5)長距式氣體偵測器：

長距式氣體偵測器採用紅外線原理，而強化其紅外線光的功率達成長距離偵測的目的，為開放路徑式偵測器(Open-Path Gas Detector)。紅外線開放路徑式偵測器發出一束紅外光，探測沿著光束路徑的任何地方的氣體。這種線性傳感器(非傳統的單點式量測之氣體偵測器)通常可偵測範圍長達數公尺到幾百公尺。廣泛用於石油和石化工業，主要是為了可快速偵測到接近 LEL(通常為體積的百分之幾)濃度的可燃氣體。

長距式氣體偵測器通常在光直線路徑的兩端有單獨的發射器和接收器。有些儀器將發射源和接收器組合，當光束從測量路徑遠端的末端遇到反射器反彈光束即可在接收器收到氣體訊號。對於可攜式長距式氣體偵測器，儀器中則裝有一探測器，使用周圍物體的自然反照率代替反射

器。吸收待檢測氣體(或氣體類別)的特殊紅外線波長。測量路徑中的雨，霧等也會降低接收信號的強度，因此通常會採一個或多個參考波長進行同時測量。然後由測量和參考波長處的信號損失的比率推斷出光束通過路徑所截取的氣體量。通常由微處理器執行計算，微處理器還執行各種檢查以驗證測量並防止誤警報。

測量的氣體量是沿著光束路徑的所有氣體的總和，有時稱為氣體的路徑積分濃度(path-integral concentration)。因此，在許多工業應用中使用的目的是為測量意外洩漏狀況的「氣體全部尺寸的自然偏差量」，而不是任何特定點所達到的「氣體濃度」。紅外線式可燃性氣體偵測器(傳統的單點式量測之氣體偵測器)的測量單位是 ppm(parts-per-million)或%LEL，但開放路徑式偵測器的測量單位是 ppm•m 或 LEL•m。例如，早期在北海(North Sea oil)海上平台通常將火災和氣體安全系統的探測器設置至 5LEL•m 的全程讀數，並分別在 1LELm 和 3LEL•m 觸發低報警和高報警。有報告指出在工業環境中最小造成破壞的氣體雲團其尺寸為 5m，故一般對洩漏氣體雲尺寸的警報設定值為 1m，長距式氣體偵測器製造廠商建議的警戒值如下：低警報 1 LEL•m(100% LEL•1m)，高警報 3 LEL•m(100% LEL•3m)。紅外線式氣體偵測器若要偵測高敏感範圍(highly sensitive range)以 ppm•m 單位顯示偵測結果，若要偵測危害範圍(hazardous range)則以 LEL•m 單位顯示偵測結果。長距式氣體偵測器單一量測值顯示有許多不同組合的物理解釋意義，如表 1。

表 1 長距式氣體偵測器顯示值的組合

G A S C L O U D		C A L C U L A T I O N		
Concentration	Length	Concentration x Length=		Measurement
50 ppm	2 meters	50 x 2	=	100 ppm•meter
10 ppm	10 meters	10 x 10	=	100 ppm•meter
100 ppm	20 meters	100 x 20	=	2000 ppm•meter
10 % LEL	2 meters	.10 x 2	=	.2 LEL•meter
25% LEL	4 meters	.25 x 4	=	1 LEL•meter
100% LEL	1 meter	1 x 1	=	1 LEL•meter

長距式氣體偵測器通常比只能單點檢測的紅外線式氣體偵測器貴上許多。因此，若其使用在只需檢測某些位置的氣體濃度上的應用幾乎沒有競爭優勢。檢測單點位置的紅外線式氣體偵測器可以放置在已知位置來量測最高氣體濃度，這種測量相對來說並不需要很快的量測響應。長距式氣體偵測器非常適合用於戶外情況，因為即使已知可能的氣體洩漏位置，對氣體洩漏後擴散成雲狀或羽流狀的變化狀況也無法在裝置偵測器(設置於單點位置以便量測出洩漏狀況)前就可預測氣體洩漏在戶外擴展演變的狀況，因此使用單點檢測的紅外線式氣體偵測器可能也無法偵測到此氣體洩漏狀態。使用單點檢測紅外線式氣體偵測器做緊密佈置檢測到此種洩漏狀況前，洩漏之氣體就幾乎肯定會進入長距式氣體偵測器所設定的線性光束偵測範圍內了。此外，裝置在戶外位置的單點檢測紅外線式氣體偵測器需要安裝防風雨罩，也會增加不少偵測反應時程。長距式氣體偵測器還可以在需要一整排單點檢測紅外線式氣體偵測器偵測氣體洩漏的狀況下，簡單就可以達到相同的防護覆蓋面積。一個長距式氣體偵測器不僅可以代替多個紅外線式氣體偵測器，而且其安裝、維護、佈線等成本可能也會降低。

目前市面上有可偵測範圍長達 200 米的長距式氣體偵測器產品。因

為長距式氣體偵測器是直線型的偵測範圍，以防災的角度看，長距式氣體偵測技術日漸成熟將對廠區防護有莫大助益。



圖 10 長距式氣體偵測器(左圖發射器，右圖接收器)

近來「東京瓦斯」和「Anritsu」公司聯合發展出了一種可攜長距式甲烷偵測器(Portable Remote Methane Detector；簡稱 PRMD)。據信[3]，這是世界上第一台可從一定距離外偵測天然氣的可攜帶型裝置。在高處或窄處使用傳統偵測瓦斯漏氣的方式需要較長的檢查時間，所以為了克服這些困難，確有遠距偵測設備的需求。東京瓦斯的可攜長距式氣體偵測器近來也逐漸為國內天然氣業者引進使用，如圖 11。



圖 11 可攜式長距式氣體偵測器



表 2 是目前較常用的可燃性氣體偵測器原理的比較表。天然氣場站設備元件常用的可燃性(瓦斯)洩漏氣體偵測器外觀如圖 7。

表 2 常用的可燃性氣體偵測器原理比較[4]

種類	半導體式	觸媒式	紅外線式	長距紅外線式
偵測原理	特定氣體捕捉反應	觸媒燃燒熱反應	光譜吸收比較	光譜吸收比較
偵測氣體	可燃性氣體、毒性氣體	可燃性氣體	碳氫鍵可燃性氣體	碳氫鍵可燃性氣體
穩定度	不佳	良好	良好	良好
可靠度	可	良好	良好	良好
建置價格	中	低	中	很高

依據「天然氣事業輸儲設備防災相關設施裝置維修辦法」第 2 條規定天然氣事業之輸儲設備，所應裝置之四項防災相關設施中要求其中的監控系統具備漏氣偵測，並具火災偵測功能。且「高壓氣體勞工安全規則」第 60 條：可燃性氣體或毒性氣體之製造設備中，有氣體漏洩致積滯之虞之場所，應設可探測該漏洩氣體，且自動發出警報之氣體漏洩檢知警報設備。

因此，對於天然氣輸儲設備場所應依法令設置可燃性氣體偵測器。可燃性氣體偵測器(固定式)之設置可依「高壓氣體勞工安全規則暨相關基準」第 43 章「氣體漏洩檢知警報設備及其設置處所」(詳附錄 1)之規定設置。另外，可燃性氣體偵測器(固定式)的設置亦應考量氣體洩漏擴散方向，氣體洩漏一定是依據氣體比重以擴散方式傳播，其洩漏範圍受洩漏點的壓力及環境風向氣流所影響，所以在考慮能有效偵測洩漏源時，必需瞭解洩漏點壓力的可能釋放情形以及廠區常年風向變化情形，作為設置位置的參考。



## 2.3 火焰離子化偵測器(FID)

火焰離子化偵測器(Flame Ionization Detector; FID) 是一種可以量測氣體中有機樣品濃度的儀器。一般常作為「氣相色譜法」(Gas chromatography；簡寫成 GC，又稱「氣相層析法」)的檢測器。火焰離子化偵測器也可以用於氣體監測或短時排放監測，可做為固定式或是可攜式的量測儀器。

FID 利用氫氣在氧氣(空氣)中燃燒生成火焰產生之高溫，將有機物質樣品(CH 化合物)在  $2000^{\circ}\text{C}$  氫火焰燃燒熱解，使其離子化生成自由離子。由於游離後的物質形成導電之離子，在儀器內外加適當電場形成離子電流，收集於電極產生微電流信號。此電流大小和 C 數目、採樣流量、濃度成正比。隨碳原子濃度變化形成離子電流，經儀器內的電流放大器可使得接收器中的電流訊號增強。而且電流訊號與有機物之碳數成正比關係，FID 可測定其導電度得到有機樣品的濃度值，因此該偵測器非常適合用於具 CH-基之有機物濃度檢測，FID 為最常用之一種。火焰離子化偵測器的作用原理見圖 12。

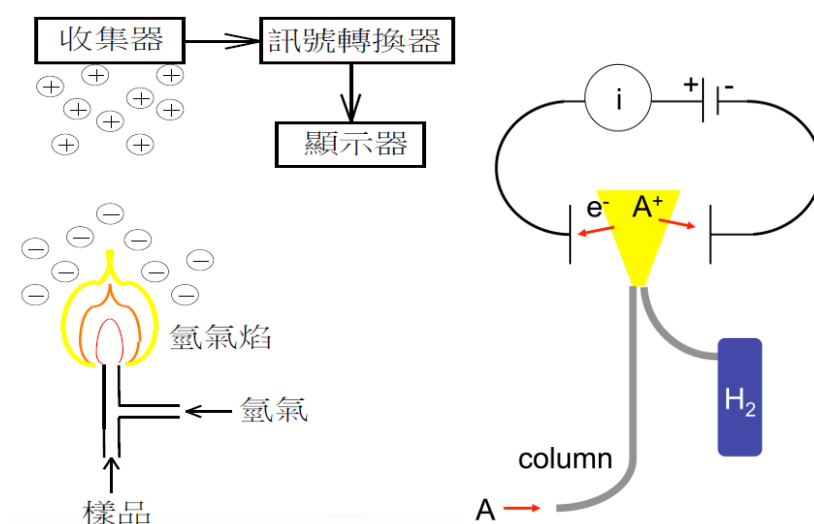


圖 12 火焰離子化偵測器的作用原理

可攜式之 FID 外觀如圖 13，FID 的特性是對飽和碳氫化合物比「光離子化偵測器」Photoionization Detector, 簡稱 PID) 靈敏，飽和碳氫(苯)較靈敏，醇類及氯化物反應較差，無機氣體(氨、氯、氰酸)無反應。其優點為分析範圍較廣( $\text{CH}_4$ : 0.2~50000 ppm)，分析靈敏度高、線性範圍寬，儀器穩定性及再現性高，不受大氣中  $\text{CO}$ 、 $\text{CO}_2$  及  $\text{H}_2\text{O}$  影響。其缺點為對樣品具有破壞性、無選擇性，在缺氧狀況下無法操作(17%可點火，10%自動熄火)。



圖 13 可攜式火焰離子化偵測器外觀

火焰離子化偵測器使用上要注意：(1)檢測時切勿吸收到水蒸氣或水，若吸收到水蒸氣會造成儀器損壞。(2)開啟後先熱機 15 分鐘，並於熱機時間內開啟抽氣幫浦、點燃 FID。(3)偵測中熄火時先靜候 5 分鐘再次點火，如果還是失敗請注意現場氧氣濃度是否充足。

### 三、遠端智慧即時及監測系統偵測

#### 3.1 洩漏偵測系統 LDS

管線洩漏偵測系統 LDS(Leak detection System)可用於監測液體和氣體管線系統是否發生洩漏。檢測方法包括管線建造後的水壓試驗(hydrostatic testing)，和管線使用期間的紅外線(infrared)、雷射技術(laser technology)洩漏檢測。

管線網絡是目前世界上用於石油、天然氣長途輸送的最常用方法，在此種方法下若其滿足安全性、可靠性則其輸送效率將是目前所有原料運送方法中最高的。當長途管線維護得宜，管線可以長期地持續運行而不會洩漏。但由於管線附近的挖掘造成管線破壞卻是管線最會發生洩漏的情形。如果管線的管理與維護保養不當，特別是管線施工接縫處、水分收集的低點、或管線中存在缺陷的位置發生腐蝕問題。這些缺陷可以利過管線之內部檢查找出其問題點，並在管線發生洩漏之前進行改善措施。管線洩漏的其他原因也包括意外事故、土層移動或蓄意破壞。

管線洩漏偵測系統 LDS 的主要目的是協助管線業者在管線發生洩漏時可透過其偵測系統發出洩漏警報和提供洩漏發生位置。以協助管線管理者對此狀況做出正確決策。減少管線停泵時間和相關檢查時間，因此善用管線洩漏檢測系統還可以提高管線的輸送效率和系統可靠性。

依據美國石油協會洩漏偵測的液體管線計算監控規範 API RP 1130，洩漏偵測系統 LDS 可分為內部洩漏偵測系統(internally based LDS)和外部洩漏偵測系統(externally based LDS)。內部洩漏偵測系統使用現場感測器資料監測內部(且或許相關外部)管線參數，不從管線外實際偵測管線內容物洩漏的狀況。此系統實際上未接觸洩漏的內容物，因此內部偵測系統可視為推論系統。內部洩漏偵測系統使用現場儀錶，例如流量、壓力或流體溫度傳感器，來監控管線內部狀況參數的變化。

外部洩漏偵測系統使用感測器直接偵測因洩漏所致管線內容物存在程度或環境物理變化。這些感測器可放置於管線的外表面上或其附近。外部洩漏偵測系統使用另外的現場儀器，例如紅外線輻射計(infrared radiometer)或熱影像儀(thermal camera)、蒸汽傳感器(vapor sensor)、聲音接收器(acoustic microphone)、或光纖電纜(fiber-optic cable)，來監控管線外部狀況參數的變化。內部與外部洩漏偵測系統 LDS 種類見表 3。

表 3 內部與外部洩漏偵測系統 LDS 種類

洩漏偵測系統	洩漏偵測技術
內部洩漏偵測系統	(1)壓力/流量監測(Pressure/flow monitoring) (2)聲壓波(Acoustic pressure waves) (3)平衡法(Balancing method) (4)觀測狀態法(State-observer-based method) (5)統計法(Statistical method) (6)RTTM 法(RTTM method) (7)E-RTTM 法(E-RTTM method)
外部洩漏偵測系統	(1)地上管線之熱分析洩漏檢測儀(Analytic thermal leak detector for above ground pipelines) (2)數位漏油偵測纜線(Digital oil leak detection cable) (3)紅外線管線檢測(Infrared radiometric pipeline testing) (4)音洩偵測器(Acoustic emission detector) (5)蒸汽傳感管(Vapour-sensing tube) (6)光纖式洩漏偵測(Fibre-optic leak detection) (7)管線天橋(Pipeline flyover) (8)生物式洩漏偵測(Biological leak detection)

美國石油協會 API RP 1130 定義了 LDS 的重要規格如下：

- (1)可靠度(Reliability)：用以衡量管線運作中在設計範圍內系統對可能存在洩漏進行準確判斷能力。若一個系統不斷發現洩漏且不產

生錯誤的描述，此一系統被認為具有較高的可靠度。

(2)靈敏度(Sensitivity)：綜合衡量系統可以發現洩漏量大小，以及該洩漏從發生到系統發出警報所需要的時間。

(3)準確性(Accuracy)：一些 LDS 能夠計算洩漏流量和洩漏位置，此洩漏參數估計需具有有效性。

(4)穩定性(Robustness)：用以衡量系統在管線運作狀態的改變、數據的不完整或量測不準等各種情況下持續運作並提供有效資訊的能力。若一個系統在非理想狀態下持續正常運作，便可認為是具穩定性。

必須注意的是可靠度與穩定性之間的差異，可靠度乃是用來衡量特殊運作狀態下的評估性能，而穩定性則是用以衡量在異常狀態下有效運作的能力。

### 3.2 內部洩漏偵測系統

內部洩漏偵測系統使用現場儀錶（例如流量錶，壓力錶和流體溫度錶）來監測與洩漏有關之管線內部參數。因為使用現有的現場儀錶，內部洩漏偵測系統的系統成本和複雜性較低。故內部洩漏偵測系統常用於作為管線洩漏偵測的標準安全配備。

以下介紹主要的內部洩漏偵測系統：

#### (1)壓力/流量監測

洩漏會改變管線的液壓系統，因此會在一段時間後改變壓力或流量讀數。因此，僅在一點處對壓力或流量進行局部監測可以提供簡單的洩

漏監測。由於是在管線現場本地執行相關參數的監測，因此原則上可用採用遙測。但這種方法僅在管線流體處在穩態條件(steady-state condition)下有用，對於氣體管線的洩漏監測能力是有限制的。

## (2)聲壓波

聲壓波法分析洩漏發生時產生的稀疏波。當管壁發生破裂時，流體將以高速射流的形式逸出。這會產生負壓波(negative pressure wave)在管線內的上游與下游兩個方向傳播，可透過檢測和分析其特性來偵測管線洩漏現象。

本方法的操作原理乃基於壓力波的非常重要的特性：該壓力波由管壁引導以聲音速度行進長途距離，壓力波的振幅會隨洩漏尺寸而增加。將來自壓力傳感器的數據以複雜的數學計算法分析其特性，能在幾秒鐘內得到其洩漏位置，且其判斷誤差小於 50m(164 英尺)。根據實驗數據顯示本方法也能夠檢測小於 3mm(0.1 英吋)直徑大小的洩漏。且其運作的誤報率(false alarm rate)是工業等級中最小者，即小於每年一次的誤報率。

但是，本方法不能在管線破裂瞬間後檢測到之後的持續洩漏：在管壁破裂(或斷裂)後，最初破裂產生之壓力波將消退並不再產生之後的壓力波。因此，如果系統未能在破裂之時即檢測到洩漏(例如，因為管線破裂產生之壓力波被泵送壓力或閥切換操作事件所引起的瞬時壓力波遮蔽，讓管線操作人員將 LDS 洩漏壓力波警報誤認為其操作的正常狀況)，之後系統將不會再檢測到後續正在進行的管線持續洩漏狀況。

## (3)平衡法

這種方法乃基於質量守恆原理(principle of conservation of mass)。在

穩定(steady state)狀態下，無洩漏管線之進入質量流量 $\dot{M}_I$ 將與其離開質量流量 $\dot{M}_O$ 平衡；離開質量流量 $\dot{M}_O$ 若有任何下降(質量不平衡 $\dot{M}_I - \dot{M}_O$ )即表示管線有洩漏。平衡法使用流量計量測 $\dot{M}_I$ 、 $\dot{M}_O$ 的值，最後計算其不平衡量，此量即是對真實洩漏流量(leak flow)這個未知數的估計。若監測到有不平衡量，當此不平衡量(通常在多個時段內監控)超越洩漏警報閾值(leak alarm threshold) $\gamma$ ，則系統將會發出管線洩漏警報。

增強版的平衡法還考慮了管線大規模庫存的變化率。增強版的平衡技術法包括體積平衡法(volume balance)、修訂版體積平衡法(modified volume balance)和補償質量平衡法(compensated mass balance)。

#### (4)觀測狀態法

這種方法乃監測管線參數之狀態觀測器(state observers)，此狀態觀測器是根據以狀態空間表示流體之數學模型來設計。此方法可以分為兩類：無限維度觀測器(infinite-dimensional observers)和有限維度觀測器(finite-dimensional observers)。第一種類型基於一對準線性雙曲線型偏微分方程式(quasi-linear hyperbolic partial differential equations)：即動量方程式和連續性方程式，為管線中的流體動力學方程式。有限維度觀測器由總集模型(lumped version)的動量方程式和連續性方程式構成。已有幾種類型的觀測器已用於管線洩漏偵測，例如卡爾曼濾波器(Kalman filters)、高增益觀測器(high gain observer)、順滑模態觀測器(sliding mode observer)和Luenberger 型觀測器(Luenberger-type observer)。



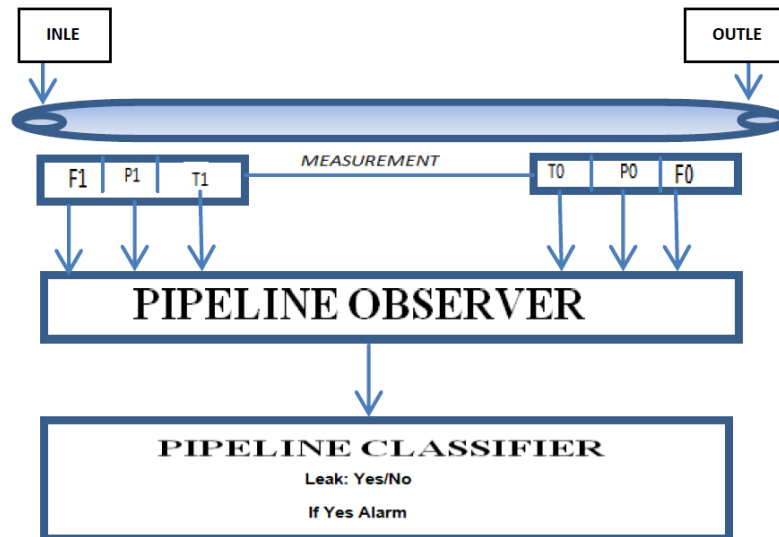


圖 14 觀測狀態法

#### (5) 統計法

LDS 統計法採用統計的方法，例如來自決策理論(decision theory)領域，僅分析一處為置的壓力/流量或不平衡量以檢測洩漏。若某些統計假設成立，就有機會對洩漏決策(leak decision)進行最佳化。常見的方法是使用假設檢驗程序：

假設  $H_0$ ：未洩漏

假設  $H_1$ ：洩漏

這是一個經典的檢測問題，且從統計學中已有各種解決方案。

#### (6) RTTM 法

即時瞬態模型法(Real-Time Transient Model，簡稱 RTTM)簡稱為 RTTM 法。RTTM 法的 LDS 系統利用管線內流量的數學模型，使用基本物理定律如質量守恆、動量守恆、和能量守恆定律。RTTM 法可以看作是增強版平衡法，因為這種方法還加入動量守恆和能量守恆原理。RTTM

法可以在數學算法的協助下即時計算管線中每個位置的質量流量、壓力、密度和溫度。RTTM 法的 LDS 系統可以輕易地建立管線中的穩態和瞬態流模型。使用 RTTM 技術，可以在穩態和瞬態(transient conditions)條件下檢測洩漏。利用適當的功能儀器，將可使用可用的公式在功能上估計管線之洩漏率(leak rate)。

#### (7) E-RTTM 法

E-RTTM 法為擴展即時瞬態模型法(Extended Real-Time Transient Model)的簡稱，使用 RTTM 技術及統計學方法。因此，在穩態和瞬態條件下可以進行高靈敏度洩漏監測，並採用統計學方法來避免誤警報。

對於殘值法(residual method)，一個 RTTM 模塊會分別計算入口處的質量流量 $\dot{M}_I$ 、出口處的質量流量 $\dot{M}_O$ 估計值，適用於入口和出口處的質量流量。這可透過測量入口處的壓力和溫度( $P_I, T_I$ )和出口處的壓力和溫度( $P_O, T_O$ )來完成。將這些估計的質量流量 $\dot{M}_I$ 、 $\dot{M}_O$ 估計值與測量值進行比較，得到殘值 $x = \dot{M}_I - \widehat{\dot{M}}_I$  和  $y = \dot{M}_O - \widehat{\dot{M}}_O$ 。如果管線沒有洩漏，這些殘值將接近於零；否則此殘值將顯示出某些識別特徵。下一步驟，殘值是洩漏特徵分析的主體。此模型利用擷取和比較洩漏識別特徵與數據庫中的識別特徵，即其指紋(fingerprint)，來分析其時間行為。如果擷取的洩漏識別特徵與該指紋匹配，則發佈洩漏警報，其流程如圖 15。

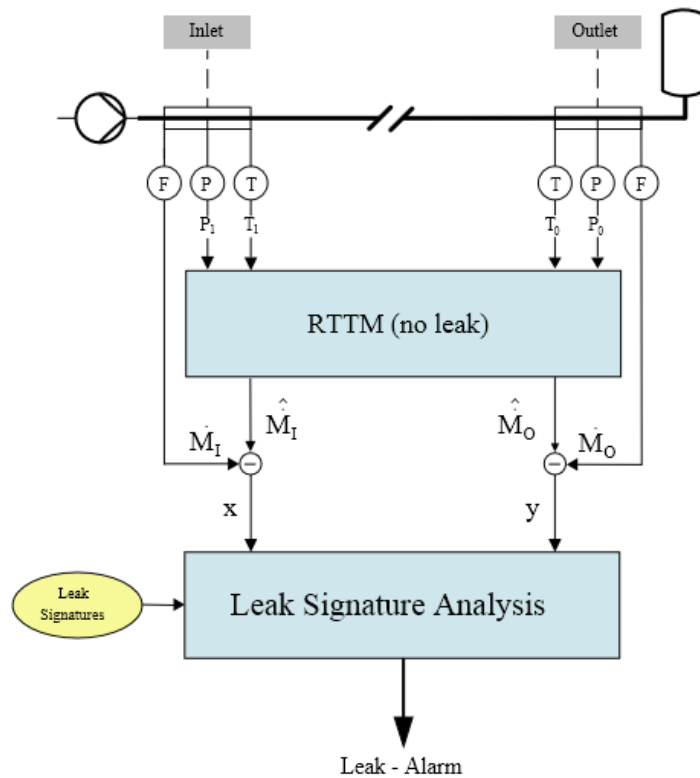


圖 15 擴展即時瞬態模型法 (E-RTTM)之訊號流程圖

上述討論之各種內部洩漏偵測系統方法的關係詳圖 16 之總覽圖。

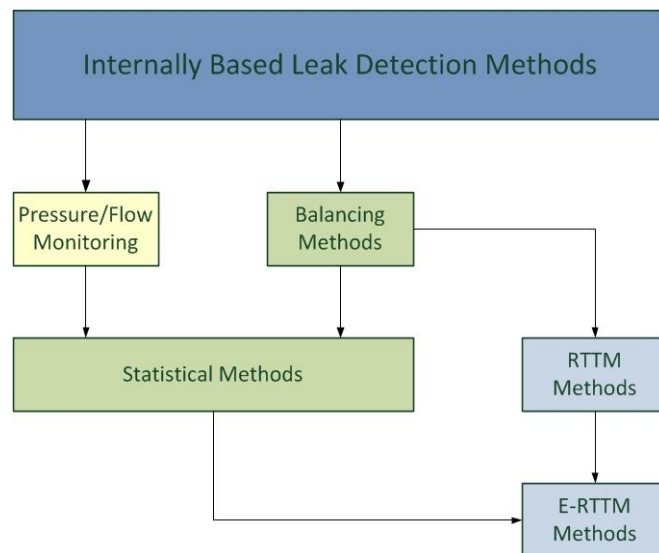


圖 16 各種內部洩漏偵測系統方法的總覽

### 3.3 外部洩漏偵測系統

外部洩漏偵測系統使用現場專用的傳感器。這種洩漏偵測系統非常靈敏和準確，但系統成本和安裝複雜度通常很高。因此，其應用僅限於特殊的高風險地區，例如河流附近或自然保護區。以下也簡單介紹主要的外部洩漏偵測系統：

#### (1) 地上管線之熱分析洩漏檢測儀

對非制冷型微輻射熱紅外線傳感器(uncooled microbolometer infrared sensors)產生之熱影像做視頻分析正在成為一種新的有效洩漏監測方法，可對設備表面漏出的液體、碳氫化合物氣體的液體進行監測並發出警報。從檢測到洩漏至系統發送警報的時間不到 30 秒。該技術適用於地上管線設施，如泵站、煉油廠、儲存場所、礦山、化工廠。因為有超過一半的管線洩漏發生在設施中，故在這一領域需要新的解決方案。

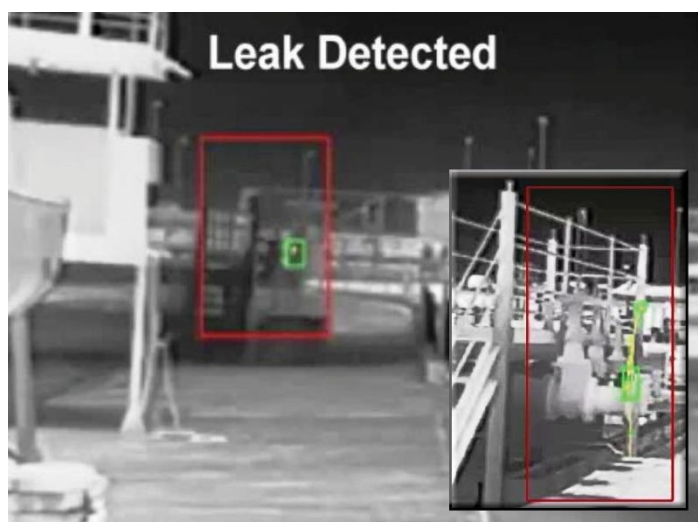


圖 17 具影像分析功能的熱影像儀，可在大雨中檢測出閥門漏油情況

高級的熱影像儀器除可精確測量物體發射紅外線輻射(熱量)並將其

熱輻射程度以影像之色度圖像呈現，且無需環境照明。利用其熱量差異將監測的石油產品（例如：油）與背景物體區分開。若再增加影像分析軟體(通常可以優化得到更好之特定應用或適用於特別之環境)可做到自動現場洩漏分析、驗證和通知，而減少在此方面原來需要的人力。在其所設定監測區域內(可在儀器影像範圍中設定)可立即分析出洩漏的屬性，包括熱溫度、尺寸和洩漏行為(例如：濺出，聚積成池，溢出)。根據設定的偵測參數，若檢測出洩漏發生時，將發出警報訊號並將相關影像傳送於監控室。

最佳檢測距離受相機鏡頭尺寸、分辨率、視野、熱檢測範圍和靈敏度、洩漏尺寸以及其他因素的影響而產生變化。儀器中的過濾層和對環境因素(例如：雪、冰、雨、霧和眩光)的防護設計有助於減少誤警報。此種影像監控可以整合到現有的洩漏檢測與修復(leak detection and repair，簡稱 LDAR)系統中，包括 SCADA 網絡以及其他監控系統。

## (2)數位漏油偵測纜線

數位式感應纜線由半透性編織物構成，內部導體由可滲透的絕緣模製編織物保護。電訊號透過內部導體由纜線連接器中的內建微處理器監控。從管線逸出的流體通過纜線外部可滲透的編織物滲入並與纜線內半滲透導體接觸。這將使微處理器檢測到的電纜的電特性發生變化。微處理器可以沿著其長度將流體洩漏處定位在 1m 誤差的解析度內，並向監控系統或管線操作員發送適當的信號。傳感纜線可以纏繞在管線四周、埋設在管線下面，也可作為管中管配置安裝。

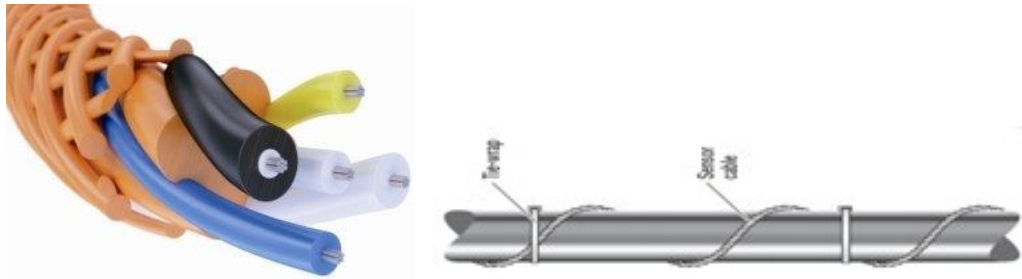


圖 18 碳氫液體洩漏偵測纜線(左圖 French manufacturer TTK 公司產品)

### (3)紅外線管線檢測

管線之紅外線熱顯像檢測的方法已用於偵測地下管線洩漏及其洩漏處定位、侵蝕引起的空洞、管線絕緣惡化和回填不良等方面。管線洩漏導致流體(例如：水)流出，在管線附近形成羽流(plume)。因流體具有不同於乾燥土壤或回填材的熱傳導率，這將在洩漏位置上方產生不同表面溫度。使用高分辨率紅外線輻射計(infrared radiometer)掃描整個區域，並將結果數據顯示為圖像，不同溫度的區域由圖像上的不同色彩表示。本系統僅測量表面能量模式，但地下管線之地面上測量的模式也可以協助顯示管線洩漏和形成的侵蝕空隙的位置，本方法可以偵測到地面以下 30m 深處的問題。

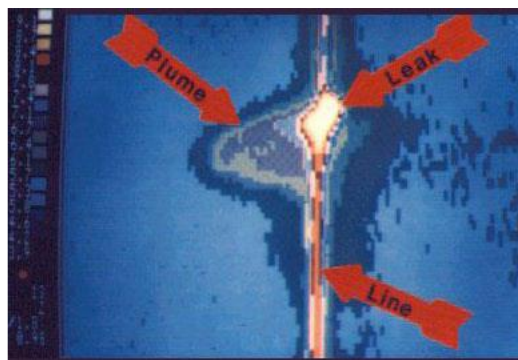


圖 19 地下石油管線的航空溫度圖顯示洩漏引起的地下污染區域

### (4)音洩偵測器

逸出的液體在通過管線的破裂孔會產生聲音信號。固定在管線外部的聲學傳感器(acoustic sensor)在管線未損壞的狀態下從管線運作時的內部噪音建立該管線基線聲紋(acoustic fingerprint)。當管線發生洩漏時，所產生的低頻聲音訊號傳至感測器並分析其聲紋，當此聲紋偏離基線聲紋時系統將發出洩漏警報。利用更好的傳感器佈置、頻帶選擇、時間延遲範圍選擇等，可使接收到的管線洩漏訊號的圖形更清晰也更易於分析。

還有其他方法可以偵測管線洩漏。採用具有濾波器佈置的地表地聲檢知器(Ground geophone)對於精確定位管線洩漏位置非常有用。土壤中洩漏的液體射出流動撞擊土壤或混凝土的內壁，這會產生微弱的噪音。這些噪音當其傳達至地表會事衰減，只能在洩漏處取得最大聲音訊號。加裝放大器和濾波器可獲得更清晰的噪音。進入管線的某些類型氣體在離開管線時會產生一某音頻的聲音。

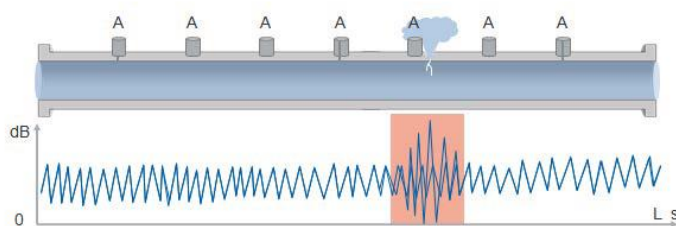


圖 20 音洩偵測法

#### (5) 蒸汽感測管

蒸汽感測管洩漏檢測方法涉及沿管線的整個長度安裝感測管。這種感測管之纜線對特定應用中檢測的物質具有高滲透性。如果發生管線洩漏，則其內容物以蒸氣、氣體或溶於水的形式與感測管接觸。在洩漏的情況下，一些洩漏物質擴散到感測管中。經過一段時間後，感測管內部會產生洩漏物質的準確圖像。為了分析感測管中存在的濃度分佈，系以



恆定的速度推動管中的空氣柱經過檢測單元。感測管末端的探測器單元配有氣體感測器。氣體濃度的每次增加都會發出明顯的「洩漏峰值」訊號。

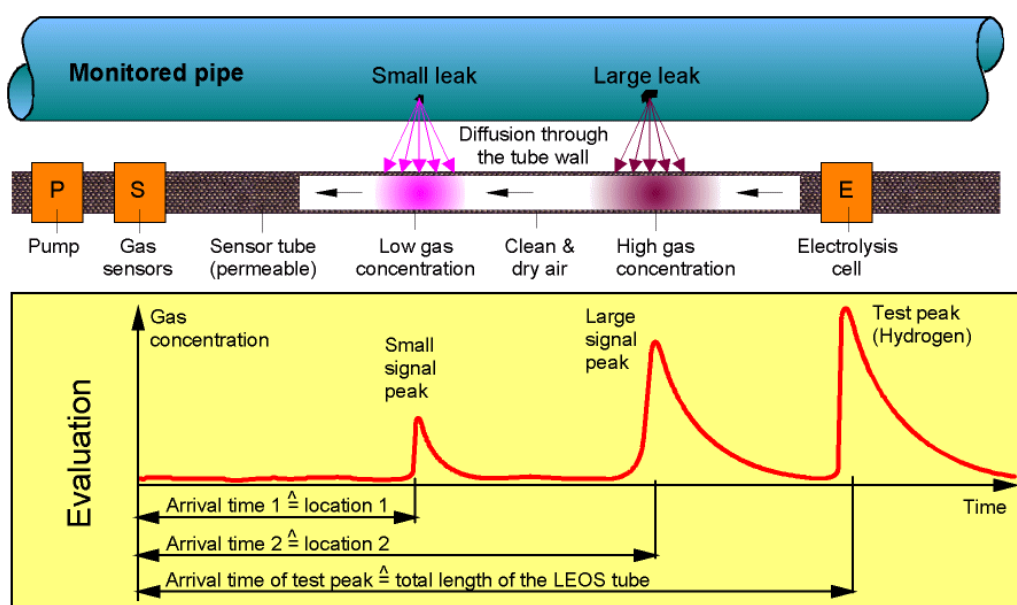


圖 21 蒸汽感測管用於洩漏偵測與洩漏處定位

#### (6)光纖式洩漏偵測

至少有兩種光纖式洩漏偵測技術已正式使用：分佈式溫度感測法（Distributed Temperature Sensing，簡稱 DTS）和分佈式聲學感測法（Distributed Acoustic Sensing，簡稱 DAS）。DTS 方法沿全長管線旁安裝光纖電纜。當管線發生洩漏時，管線內容物會流出與電纜接觸，因而改變光纖電纜溫度和雷射光束脈衝的反射狀況，透過此種訊號而偵測出洩漏。通過測量雷射脈衝發射和偵測到反射間的時間延遲，可以知道管線洩漏位置。這種方法僅在內容物與周圍環境溫度不同時才有效。此外，分佈式溫度感測技術提供了測量管線溫度的技術。掃描整條光纖長度，確定沿光纖(對應管線長度)的溫度分佈，可偵測到管線洩漏狀況。

DAS 方法也沿著監測的管線全長類似地安裝光纖纜線。由管線類內容物洩漏離開管線引起的振動改變雷射光束脈衝的反射狀況，透過此種訊號而偵測出洩漏。通過測量雷射脈衝發射和偵測到反射間的時間延遲，可以知道管線洩漏位置。本技術還可以與分佈式溫度感測法結合，以提供管線的溫度分佈資訊。

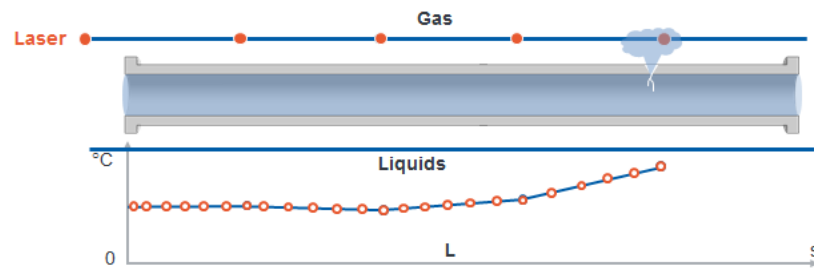


圖 22 光纖式洩漏偵測法

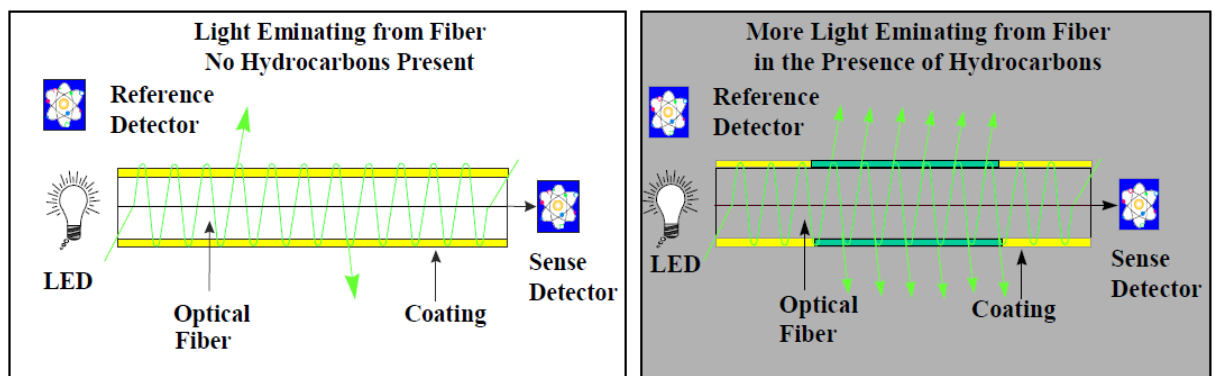


圖 23 光纖式洩漏偵測法原理

## (7)管線天橋

管線的天橋(Flyover)經常用來做為確認洩漏位置或利用其他方法無法識別的小型洩漏的偵測和洩漏定位。通常，通過視頻記錄路徑的天橋，這些視頻可以經過一些圖像濾波處理，例如熱顯像圖。較大的洩漏通常會通過濕地中的「光澤」或洩漏位置附近植物枯黃的區域來識別。

天橋通常是預定的，不建議作為主要的洩漏偵測方法。但其可用於快速確認是否洩漏和其發生的位置。

#### (8)生物式洩漏偵測

洩漏檢測的生物學方法包括使用狗，確定管線洩漏後，由於其體積小而不能找到時，更可利用動物的零敏嗅覺來發現洩漏位置。或者也可利用維護管線路權地面整潔的人員來協助。

有些公司可以提供訓練有素的狗來辨別管線洩漏釋放的氣味。通常，技術人員將流體注入管線中，狗被訓練跟踪氣味。然後，狗會將處理程序指向管線洩漏處。它們經過訓練可找出最強的濃度的地方，因此這些訓練有素的狗精確定位能力通常在 1m 之內。動員團隊通常需要 24 到 48 小時，並且根據該地區的偏遠程度可能需要幾天才能實際找到一洩漏處。

維護管線路權地面整潔的人員，他們也可經過訓練，來協助尋找管線洩漏的跡象。這種方式通常是一個預備的程序，不應做為洩漏偵測的主要方法。

#### 四、分析比較

各種移動式氣體偵測儀器特性的比較詳表 4。各種遠端智慧即時及監測系統偵測技術方面主要的國際標準見表 5，其性能的比較詳表 6。

表 4 各式氣體偵測器比較表[5]

偵測器 項目	FID 偵測器	HIGH DENSITY 偵測器	FLAMMABLE 偵測器	INSPECTION 偵測器	RECOGNIZE 偵測器
偵測氣體	碳氫化合物	空氣以外的 氣體	可燃性氣體	含 CO 的 氣體	碳氫化合物
偵測範圍	0~10000ppm	0 ~ 100%	Methane LEL %	CO 濃度 0.01~0.1%	0~10000ppm
精確度	2 ppm	0.2%	LEL 2%	0.01%	2 ppm
原理	離子導電度 法	熱傳導度法	反應熱法	偵測管比 色法	氣層分析法
優點	。高靈敏度	。測高濃度 。可測 GAS 的濃度分 佈而得到 洩漏點	。反應可燃性 氣體	。不易故 障	。可識別洩 漏的石油 蒸氣
缺點	。受車輛的 排氣影響	。CO <sub>2</sub> 太多 造成指針 逆震動		。比色計 精密度有 缺點	最好與 FID 合併使用
用途	發現洩漏	發現洩漏 濃度測定	發現洩漏	濃度測定	發現洩漏

表 5 洩漏偵測系統 LDS 標準

標準名稱	標準內容	備註
TRFL	Technical Rules for Pipelines	德國管線標準
API 1130	Computational Pipeline Monitoring for Liquids	
API 1149	Pipeline variable uncertainties and their effects on leak detection	
API 1155	Performance criteria for leak detection systems	已被 API 1130 取代
49 CFR 195	Transport of hazardous liquids via pipeline	
CSA Z662	Oil and gas pipelines	加拿大管線法規

表 6 遠端智慧即時及監測系統偵測技術比較表[6]

評估項	靈敏度	準確性	可靠度	穩定性	反應時間	易操作	內容物	成本
Line flow balance	H	M	L	L	M	H	液體、氣體	低
Pressure change	M	M	L	L	M	H	液體、氣體	低
RTTM 法	H	H	M	H	F	L	液體、氣體、多相	高
Acoustic monitoring	M	M	L	L	F	M	液體、氣體	中
Negative pressure wave	H	H	M	L	F	H	液體、氣體	低
Frequency response	H	M	M	L	F	M	液體、氣體	中
Fiber optics	H	H	H	M	F	M	液體、氣體、多相	高

註：L=low、M=medium、H= high、F=fast、多相(multi-phase)。

地下管線之遠端智慧即時及監測系統偵測方面，目前國內法令要求只見於「高雄市既有工業管線管理維護辦法」第十條第一項第一款規定：既有管線所有人應建置管線操作監控系統，並針對管線操作控制程序及操作人員資格擬定操作手冊；其系統軟硬體應包含下列事項：

一、線上即時洩漏監測系統：可同步進行輸送接收端雙向物質輸送狀況之確認。其中液態管線並應具備電腦化測漏功能，以利估計洩漏量及洩漏點位置；氣態管線應具備洩漏量估計功能。

## 五、結語

天然氣是極度易燃氣體，若發生天然氣洩漏，在火源引燃的情形下會發生劇烈燃燒。因此，「天然氣事業輸儲設備防災相關設施裝置維修辦法」規定天然氣事業之輸儲設備，應裝置具備漏氣偵測的監控系統。目前，對於天然氣洩漏偵測的技術方法可分為(1)「移動式儀器偵測」和(2)「遠端智慧即時及監測系統偵測」兩種。

移動式儀器偵測方面主要有：雷射瓦斯洩漏偵測儀、紅外線氣體洩漏偵測儀、火焰離子化偵測器(FID)、紅外線熱像儀、可燃性氣體偵測器、氣體偵測器等儀器。以可燃性氣體偵測器最適合於人員進行巡查時使用，但也可於場站內重要地點設置固定式可燃性氣體偵測器做為氣體洩漏的偵測設備。對於天然氣輸儲設備場所設置之漏氣偵測可依據「高壓氣體勞工安全規則暨相關基準」第 43 章「氣體漏洩檢知警報設備及其設置處所」之規定設置。其與天然氣之漏氣偵測設備設置相關的規定說明如下：

- (1)1.2 條規定：警報設定值應依各該設置處所四周之環境溫度下，屬可燃性氣體者，為其爆炸下限之 1/4 以下之值。
- (2)1.3 條規定：警報之靈敏度，在可燃性氣體為警報設定值之 $\pm 25\%$ 以內。
- (3)3.1.2 條規定：設置於建築物外之壓縮機、泵、反應設備、儲槽及容易漏洩氣體之高壓氣體設備鄰接於其他高壓氣體設備、牆壁及其他構造物或置於坑井之內部時，其有滯留漏洩氣體之處所，以該設備群之四周，每 20m 設一個以上之比例計算所得之數。
- (4)3.4 條規定：檢知警報設備之檢出端之設置高度，應充分考慮各該氣



體之比重、四周之狀況，使用氣體之設備之高度等條件決定。

對於液化天然氣廠這種廠區範圍大又有很多重要天然氣設備的單位最適合使用「長距式氣體偵測器」來偵測設備洩漏的狀況，並對某區域設定警報值以警戒其洩漏狀況。近來由於氣體偵測科技的發展，已有可攜式「長距式氣體偵測器」設備應用於天然氣長途管線的巡管或天然氣站場內協助快速尋找設備的洩漏點，也讓天然氣洩漏檢測的工作更有效率。對於長途天然氣輸氣管線之巡管使用「紅外線式氣體偵測器」或可攜式「長距式氣體偵測器」都是非常適合的。尤其對於場站外的地下閥箱的天然氣洩漏檢測使用「紅外線式氣體偵測器」更可發揮其特點。對於可能發生洩漏處的地下天然氣管線，巡管時也建議使用可攜式「長距式氣體偵測器」可一次掃描較大面積的範圍，較有效率檢測出管線洩漏。

遠端智慧即時及監測系統偵測技術方面主要有：壓力/流量監測、聲壓波、平衡法、觀測狀態法、統計法、RTTM 法、E-RTTM 法、地上管線之熱分析洩漏檢測儀、數位漏油偵測纜線、紅外線管線檢測、音洩偵測器、蒸汽傳感管、光纖式洩漏偵測、管線天橋、生物式洩漏偵測等方法。對於液體管線，其遠端智慧即時及監測系統可以利用電腦以其流體性質來監控管線測漏的狀況，並可估計管線洩漏量及發生洩漏點的位置。但對於氣體管線則目前的技術只能做到估計洩漏量的功能，對於洩漏點的位置確認仍有困難。氣體管線之遠端智慧即時及監測系統偵測技術能力方面，目前的氣體管線洩漏偵測技術對於小量氣體洩漏的偵測能力亦不足(與氣體管線從兩端監控流量與壓力值變化的洩漏偵測能力相當)，故氣體管線洩漏監測在實務應用上仍有待其技術的精進提升。

## 六、參考文獻

- [1] API RP 1130, Computational Pipeline Monitoring for Liquids.
- [2]德國，管線技術規範 TRFL(Technical Rules for Pipelines)
- [3]湯慰祖譯，攜帶型遠隔瓦斯檢知器之介紹，瓦斯春季刊第 67 期，民國 93 年 4 月，第 31-56 頁。
- [4]中油公司出國報告，赴新加坡研習防災監控系統之佈點與規劃技術，2004 年。
- [5] 國立交通大學土木系，期末報告：輸油氣管線結構安全監測系統研發-地下管線監測系統規劃與分析，1999。
- [6] K. Sachedina and A. Mohany," A review of pipeline monitoring and periodic inspection methods," Vol. 2, No 3, September, 2018.pp.187-201.
- [7]K. Sachedina and A. Mohany, "A review of pipeline monitoring and periodic inspection methods," Vol. 2, No 3, September, 2018, pp.187-201.
- [8] *Final Report: Leak Detection Study – DTPH56-11-D-000001*, Final Report No. 12-173, PHMSA, U.S. Department of Transportation, 2012.

## 附錄 1 氣體漏洩檢知警報設備及其設置處所

(摘自：高壓氣體勞工安全規則暨相關基準 第 43 章)

### 43. 氣體漏洩檢知警報設備及其設置處所

規則相關條文第 60 條、第 84 條、第 87 條、第 95 條、第 98 條第 1 款、第 99 條第 1 款、第 110 條第 2 款、第 112 條、第 119 條、第 120 條

#### 1.性能

氣體漏洩檢知警報設備(以下簡稱檢知警報設備)，應能檢知可燃性氣體、氧氣或毒性氣體之漏洩而指示其濃度並發出警報，且具有次列之性能者。

- 1.1 檢知警報設備可利用接觸燃燒方式、隔膜加羅瓦尼克電池方式、半導體方式或其他方式，賴檢知元件之變化為電氣性機構，周圍濃度達到於事前設定之氣體濃度時(以下稱警報設定值)，可即刻發出自動警報者。
- 1.2 警報設定值應依各該設置處所四周之環境溫度下，屬可燃性氣體者，為其爆炸下限之 1/4 以下之值，氧氣為 25%，毒性氣體為容許濃度值(氨、氯及其他類此之毒性氣體中，其試驗用標準氣體之調製困難者，為容許濃度值之二倍之值。以下為 1.6 節中亦同)，以下之任意之值。但設置於室內之氨為 50ppm。
- 1.3 警報之靈敏度，在可燃性氣體為警報設定值之±25%以內，毒性氣體為±30%以內，氧氣為±5%以內。
- 1.4 檢知警報設備自感應至發出信號之遲延(以下稱遲延時間)，以警報器設定值濃度之 1.6 倍濃度時，一般為 30 秒以內。但檢知警報設備因構造上或理論上較此為遲之特定氣體(氨、一氧化碳及其他

類此之氣體)為 60 秒以內。

1.5 檢知警報設備之電源，應具備電壓等之變動在 $\pm 10\%$ 時，亦不降低其警報靈敏度者。

1.6 指示計之刻度範圍，在可燃性氣體為零至爆炸下限值，氧為零至 50%，毒性氣體為零至容許濃度值之三倍，且能於此範圍內明確表示者。

1.7 檢知警報設備於發出警報後，應能隨其環境中氣體濃度之變化連續顯示信號為原則，迨經確認或採取對策後，始停止其警報之性能。

2. 檢知警報設備之構造，依次列規定。

2.1 應具有充分之強度(元件及發信回路應具備耐久力)且容易操作及維護。(元件易於更換者。)

2.2 與氣體接觸部分，應使用耐蝕性材料或經充分防蝕處理之材料；其他部分應有適當之塗飾、鍍飾或良好之修飾者。

2.3 應具備必要之防爆性能。

2.4 自二以上檢測端之警報信號受信者，其受信回路不得因他端既發出信號致其回路亦在動作中而影響其應發出警報時之動作，且能辨別所發出之信號之地點。

2.5 受信回路應具備容易識別其動作狀態者。

2.6 警報應以亮燈或閃爍或同時發出警報聲響者。

3. 設置處所

檢知警報設備之設置，應依次列規定。

3.1 高壓氣體(冷凍用高壓氣除外)製造設備(配管除外，以下於 3.2 節中亦同。)之檢知警報設備之檢知端之設置處所及數目，依次列規定。

- 3.1.1 設置於建築物內之壓縮機、泵、反應設備、儲槽及容易漏洩氣體之高壓氣體設備、冷媒設備(3.1.3 列舉者除外。)場所四周而容易滯留漏洩氣體之處所，應以各該設備等(以下稱設備群。)之四周以每 10m 設置一個以上之比例計算所得之數。
- 3.1.2 設置於建築物外之 3.1.1 列舉之高壓氣體設備鄰接於其他高壓氣體設備、牆壁及其他構造物或置於坑井之內部時，其有滯留漏洩氣體之處所，以該設備群之四周，每 20m 設置一個以上之比例計算所得之數。
- 3.1.3 含有火源之加熱爐等製造設備之四周，且為容易滯留氣體之處所，於其四周以每 20m 設置一個以上之比例計算所得之數。
- 3.1.4 計器室內部應設置一個以上。
- 3.1.5 毒性氣體灌裝用連接口一群之四周設置一個以上。
- 3.2 於儲存場或消費設備(配管除外)之檢知警報設備之檢知端之設置處所及數目，依次列規定。
- 3.2.1 設置於建築物內之減壓設備、儲存設備、消費設備(燃燒器中以母火方式備有連鎖機構而無漏洩氣體之虞者，該燃燒器部分除外。)及設置有容易漏洩氣體之設備之場所四周，且易於滯留氣體之處所，以其設備群之四周，每 10m 設置一個以上之比例計算所得之數。
- 3.2.2 設置於建築物外之 3.2.1 列舉之設備鄰接於其他設備、牆壁及其他構造物，或設置於坑井之內部時，其有滯留漏洩氣體之處所，以該設備群之四周，每 20m 設置一個以上之比例計算所得之數。
- 3.3 冷凍用高壓氣體設備之製造設備
- 3.3.1 設置於建築物內之冷媒設備之壓縮機、泵、冷凝器、高壓承液器、低壓承液器等設備群之設置場所之四周，且有容易滯

留漏洩氣體之處所，以該設備群之四周，每 10m 設置一個以上之比例計算所得之數。但設置於機械室內之設備群之四周為長方形者，以其面積(以下稱設備群面積。)除該機械室之地板面積之值在 1.8 以上時，則以該設備群面積，依次表下欄規定計算其設置數。

設備個數	設備群面積 S(m <sup>2</sup> )
2	$0 < S \leq 30$
3	$30 < S \leq 70$
4	$70 < S \leq 130$
5	$130 < S \leq 200$
6	$200 < S \leq 290$

3.3.2 設置有蒸發器之冷藏庫內之電氣設備適於次列規定時，得省略該冷藏庫內之檢知警報設備之設置。

3.3.2.1 冷凍庫內照明用燈泡而使用玻璃罩或金屬網等覆罩時而使用裸露燈泡者。

3.3.2.2 使用溫度調節器時，其開、關接點非置於冷藏庫內者。例如使用感溫筒式開關，而將其開關部置於冷藏庫外者。

3.3.2.3 冷藏庫內之插座置有覆蓋者。

3.3.2.4 設置於冷藏庫內之電動機及其他電氣機械器具，於其供電電路置有漏電遮斷裝置及過負荷電流保護裝置者。

3.3.2.5 設置於冷藏庫內之電動機(以額定輸出超過 0.2KW 者為限。)置有過負荷電流保護繼電器者。

3.3.2.6 供給冷藏庫內電氣電路之開關設於室外之容易操作之位置者。

3.3.2.7 供給冷藏庫內電氣電路之所有電氣機械器具之鐵台及金屬製外箱，均確實接地者。

3.4 檢知警報設備之檢出端之設置高度，應充分考慮各該氣體之比重、四周之狀況，使用氣體之設備之高度等條件決定。

3.5 發出警報、警報燈之顯示及閃爍處所應置於有關人員常駐，且於發出警報後，可迅即採取必要對策之場所。