

量測工作環境中有毒的揮發性有機化合物（VOCs）

- 多數揮發性有機化合物，以一般可燃性氣體偵測器測得其存在時，常已超過它的曝露限制值。為彌補這個漏洞，選用具有PID探頭（光離子式探頭，photoionization）的偵測器是量測揮發性有機化合物曝露限制值的最佳選擇。
- 揮發性有機化合物（VOCs, Volatile Organic Compounds）其特性為在室溫下容易揮發的有機化合物。常見的VOCs包括溶劑（solvents），油漆稀釋劑（paint thinner），指甲油清洗液（nail polish remover）以及油類產生的蒸氣諸如：汽油（gasoline）、柴油（diesel）、加熱油（heating oil）、煤油（kerosene）及航空煤油（jet fuel）。此外VOCs也包含了許多已知的有毒物質諸如苯（benzene）、丁二烯（butadiene）、己烷（hexane）、甲苯（toluene）、二甲苯（xylene）…等等，當我們愈了解這些常見污染物的毒性，我們就愈小心，降低曝露限制值並採用可偵測VOC曝露限制值的偵測器。具備有PID探頭的偵測器為偵測VOC曝露限制的最佳選擇。
- 職業曝露限制值（OELs, Occupational Exposure Limits）是為避免工作人員露於有害物質造成對健康的傷害而制定的。職業曝露限制值是一個沒有保護裝備的工作人員在執行各種工作時能夠曝露於傳播空氣中的有害物質的最高濃度值。在英國，職業曝露限制值表列於“EH40”最高曝露限制值和職業曝露標準中。“EH40”目前列有約五百種污染物質的曝露限制。這些職業曝露限制規範為強制性。未受保護裝備保護的工作人員不可以曝露於任何表列的污染物質曝露限制以上。雇主必需確認未超過這些曝露限制值。多數場合會以直讀式氣體偵測器來監測以確定職業曝露限制值未超限。
- 氣體偵測器可裝置各種探頭，裝置探頭的種類依要偵測的特定物質或污染物的等級而定。很多有毒污染物可以用專用的電化學式探頭偵測。包括用以偵測以下氣體的電化學式探頭：
 - △ 硫化氫（hydrogen sulfide, H₂S）
 - △ 一氧化碳（carbon monoxide, CO）
 - △ 氯氣（Chlorine, Cl₂）
 - △ 二氧化硫（sulfur dioxide, SO₂）
 - △ 氨氣（ammonia, NH₃）
 - △ 磷（phosphine, PH₃）
 - △ 氫氣（hydrogen, H₂）
 - △ 氰化氫（hydrogen cyanide, HCN）
 - △ 二氧化氮（nitrogen dioxide, NO₂）

- △ 一氧化氮 (nitric oxide, NO)
- △ 二氧化氯 (chlorine dioxide, ClO₂)
- △ 乙烯 (ethylene dioxide,)
- △ 臭氧 (ozone, O₃)
- △ 等等…….

● 雖然某些電化學式探頭對其它種類的氣體會有交叉感應，但其影響不大。要偵測硫化氫時就選用硫化氫探頭，要偵測磷時，就用磷探頭。但是有些氣體市面上並沒有其專用的探頭。

● 最常用來量測可燃性氣體和揮發性有機化合物的技術仍然是觸煤熱珠式可燃性氣體探頭。熱珠式探頭利用探頭內的熱珠遇到氣體產生氧化的原理偵測氣體。氣體氧化造成熱珠的溫度上升，溫升和環境中該氣體的濃度成正比，並用溫升為基礎以顯示氣體濃度值。多數可燃性氣體偵測器的顯示值以爆炸下限百分比 (% LEL) 為單位，滿刻度為0~100% LEL。原則上這類熱珠式可燃性氣體探頭的警報點多設定於氣體濃度達到5%或10% LEL時，最小讀值為1%LEL。這種探頭是通用型探頭，並不能分辨所測的可燃性氣體種類。

● 這種可燃性氣體偵測技術的解析度視用以校正探頭的可燃性氣體濃度而定。舉例如下：如果一個偵測器顯示讀值以 1%LEL為單位並以甲烷校正。甲烷在空氣中的爆炸下限為5%vol，濃度在5%vol以下的甲烷，其甲烷與空氣的比例太低不足以點燃。5%vol的甲烷就等於50,000ppm (parts-per-million百萬分之一) 濃度的甲烷。因為偵測器只能讀到 1%的大數，也就是只能顯示最小為50,000ppm的百分之一，即500ppm。

● 熱珠式可燃性氣體偵測器顯示解析度以±1%LEL為單位，用來偵測氣體或蒸氣的可燃性是很理想的。很多可燃性氣體，如甲烷，並沒有法定的曝露限制。偵測這些氣體用以%LEL為單位顯示氣體讀值的偵測器偵測就夠了。但很多其他可燃性蒸氣則不然。雖然有些VOC 蒸氣具可燃性並很容易用熱珠式探頭來偵測，但它們同時能有曝露限制值需要工作人員在更低濃度時即採取安全措施。

● 己烷 (hexane) 是一個很好的例子。很多國際承認的標準，例如德國MAK標準 (Republic of Germany Maximum Concentration Value, MAK)，美國ACGIH標準 (American Conference of Governmental Industrial Hygienists, ACGIH) 的警報限制值 (Threshold Limit Value, TLV®) 以及美國NIOSH標準 (United States National Institute of Occupational Safety and Health, NIOSH) 的建議曝露限制 (Recommended Exposure Limit, REL) 皆記載己烷的8小時TWA值為50ppm。在英國，己

烷的職業曝露限制值更為保守，它的長時間曝露限制值（Long Term Exposure Limit, LTEL）最高僅達20ppm（8小時TWA）。

- 己烷的爆炸下限是1.1%vol。在空氣中1.1%vol濃度以下的己烷不足以點燃。而最常定的可燃性氣體危險警報點是在5%LEL或10%LEL。假設警報點設於10%LEL，以一個準確校正過的可燃性氣體偵測器來偵測己烷，它會在己烷濃度達1.1%vol的百分之10時發出警報，也就是在0.11%vol時發出警報。因為1% volume等於10,000ppm，則每1% LEL的己烷就等於110ppm，因此警報點設於10%LEL的偵測器會在1,100ppm濃度時發出警報。就算偵測器的警報點設於5% LEL，它也只在濃度達550ppm時才發出警報。
- 使用可燃性氣體偵測器來偵測VOC也會有很多其他的問題。多數熱珠式可燃性氣體探頭要偵測較大的分子結構時其靈敏度都很差，這些較大的分子結構常見於VOC，及閃火點（flash point）在38°C（100°F）以上的燃油或溶劑。就算是經過最恰當校正的偵測器，只要它的讀值解析度是1% LEL，就都無法解決要偵測 1% LEL以下更低濃度的需求。因為單位為% LEL的偵測器對於偵測許多VOC的存在量不適用的，偵測器上讀值為0並不表示危險不存在。
- 在許多情況下，使用熱珠式可燃性氣體探頭來偵測揮發性有機化合物（VOCs）很可能在有毒氣體已超過曝露限制值（OEL, REL或TLV®）許多之後偵測器才發出可燃性氣體濃度超限警報。所以當有毒的揮發性有機化合物（VOCs）存在時，就需要使用另一種偵測技術，可直接以ppm為單位量測VOCs的曝露限制。利用光離子化偵測技術（photo ionization detector, PID）的偵測器現已被廣泛採用於此用途。
- 必需注意的是有毒的揮發性有機化合物可能與其他的可燃性氣體或蒸氣同時存在。雖然觸煤熱珠式探頭在量測有毒的揮發性有機化合物低濃度時有不足之處，但是用以量測甲烷，和其它分子結構較小或較輕的可燃性氣體和蒸氣卻無疑是最廣為採用及最可靠的方法。
- 當更多的關注被投注在有毒的揮發性有機化合物上時，這導致一些針對柴油蒸氣、煤油和汽油而新修正的曝露限制包括TLV值，由於多數國際企業的安全程序都採用最保守的標準，因此這些新公告的TLV值在全球都受到矚目。2002年，柴油蒸氣所採用的TLV值問題特別多，因此很多石油工業，maritime和軍事健康和安安全全監視計畫都修改了2002年所訂的TLV曝露限制值。ACGIH針對總柴油碳氫化合物的曝露限制（TLV）8小時平均值規定為100毫克/立方公尺（mg/m³），大約是15ppm柴油蒸氣。

● 柴油蒸氣的易燃性應為人知但它的毒性卻常被人忽視。柴油為NFPA第二級（Class II）的可燃性液體，爆炸下限為0.6%（6,000ppm）。對柴油蒸氣而言，1%LEL的濃度相當於60ppm。就算偵測器精確的以柴油做校正（有此偵測器其設計要以柴油做校正並不可能），只要讀值為最低的1%LEL也已超出柴油的TLV限制值400%。

● 表一列出十五種常見的VOCs，它們的爆炸下限濃度，閃火點溫度，和曝露限制值（英國的OEL值、NOISH的REL值、和ACGIH的TLV®值），表中也將這些有毒污染物其中的曝露限制值低於5%LEL的氣體以藍色標示出來。

汙染物	爆炸下限 (%vol為單位)	閃煥(°F)	英國 OEL	NIOSH REL	TLV	5% LEL所代 表的PPM值
Acetone	2.5%	-4°F	500PPM TWA:1500 PPM STEL	250 PPM TWA	500PPM TWA:750 PPM STEL	1,250PPM
Butane	1.9%	-76°F	600PPM TWA:750 PPM STEL	800 PPM TWA	1000 PPM TWA	950 PPM
Diesel(No.2) vapour	0.6%	125°F	None Listed	None Listed	15 PPM	300 PPM
Ethanol	3.3%	55°F	1,000 PPM TWA	1000 PPM TWA	1000 PPM TWA	1,650 PPM
Gasoline vapour	1.3%	-50°F	None Listed	None Listed	300PPM TWA:500 PPM STEL	650 PPM TWA 500
Hexane	1.1%	-7°F	20 PPM TWA	50 PPM TWA	50 PPM TWA	550 PPM
Isopropyl alcohol	2.0%	53°F	400PPM TWA:300 PPM STEL	400PPM TWA:300 PPM STEL	200PPM TWA:400 PPM STEL	1000 PPM
Kerosene/ Jet Fuel vapour	0.7%	100 - 162°F	None Listed	100 mg/M3 TWA(approx 14.4 PPM)	200 mg/M3 TWA(approx 29 PPM)	350 PPM
MEK	1.4%	16°F	200 PPM TWA:300 PPM STEL	200 PPM TWA:300 PPM STEL	200 PPM TWA:300 PPM STEL	700 PPM
Pentane	1.5%	-40°F	600 PPM TWA:750 PPM STEL	120 PPM TWA:610 PPM Ceiling	600 PPM TWA	750 PPM
Phenol	1.8%	175°F	2 PPM TWA	5 PPM TWA:15.6 PPM Ceiling	5 PPM TWA	900 PPM
Styrene	0.9%	88°F	100 PPM	50 PPM	20 PPM	450 PPM

			TWA:250 PPM STEL	TWA:100 PPM STEL	TWA:40 PPM STEL	
Toluene	1.1%	40°F	50 PPM TWA:150 PPM STEL	100 PPM TWA:150 PPM STEL	100 PPM TWA:150 PPM STEL	550 PPM
Turpentine	0.8%	95°F	100 PPM TWA:150 PPM STEL	100 PPM TWA	20 PPM TWA	400 PPM
Xylenes(o, M &P isomers	0.9 - 1.1%	81 - 90°F	50 PPM TWA:100 PPM STEL	100 PPM TWA:150 PPM STEL	100 PPM TWA:150 PPM STEL	450 - 550 PPM

- 能在5%LEL或10%LEL的環境中停留多久而不超出8小時的TWA值或STEL值並不在本文的討論範圍內。上表的重點是這15種揮發性有機化合物只有少數的8小時TWA值高於5%LEL，而所有十五種VOC的曝露都低於10%LEL。

- 使用PID偵測器量測VOC。

PID偵測器中有一個燈泡能發出高能量的紫外線光束用以移除中性VOC分子中的一個電子，這個帶電的碎片就稱為離子。PID偵測器收集這個帶電的分子並產生與污染物成正比的電流。從目標分子中移出一個電子所需的能量就稱為離子化電位（IP, ionisation potential）分子結構愈大或分子鍵愈多，其離子化電位愈低。因此，一般而言，分子愈大，愈容易偵測。這與觸煤熱珠式可燃性氣體偵測器探頭的特性相反。

- 含有PID的多探頭偵測器

觸煤熱珠式可燃性氣體探頭和光離子化偵測器代表互補而非互相競爭的偵測技術。觸煤熱珠式探頭用以偵測甲烷、丙醇和其它無法以PID探頭測到的常見可燃性氣體很適合。反過來說，PID能夠偵測較大的VOC和觸煤式探頭無法偵測到的碳氫化合物分子，並可以較低的ppm為單位偵測顯示。

- 在多數情況下，要量測VOC最好的方式是使用多探頭偵測器，能夠偵測到大氣中所有存在的危險物質。使用多探頭偵測器就代表不會有任何危險狀況被意外的忽視。

- 以前PID偵測器多數龐大，無法長期監測或很昂貴。在過去幾年來，這已經大幅改變了。今天，輕巧的多探頭偵測器包含LEL, O2,有毒氣體的電化學式探頭加上小型的PID探頭已廣泛的使用在侷限空間監測計畫上。