

Chapter

# 2

## 液化石油氣與液化 天然氣之特性

- 2-1 液化石油氣之組成
- 2-2 液化石油氣的一般性質
- 2-3 液化石油氣之燃燒性質
- 2-4 液化天然氣
- 2-5 液化天然氣之特性

## 2-1 液化石油氣之組成

所謂液化石油氣，其英文名稱為“Liquid Petroleum Gas” 係石油氣液化後所得之產品，通常取英文名詞中之三個字首“LPG”為簡稱。中文俗稱“液化瓦斯”，主要成分乃石油中所含的丙烷、丁烷之類比較容易液化的液化氣體製成的；對象由丙烷與丁烷等之碳氫化合物，俗稱為烴，而若其組成中碳原子數少於 5 者稱之為低級碳氫化合物或稱低烴類。

甲烷( $\text{CH}_4$ )、乙烷( $\text{C}_2\text{H}_6$ )、丙烷( $\text{C}_3\text{H}_8$ )、丁烷( $\text{C}_4\text{H}_{10}$ )等，其分子式概屬於  $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$  型( $n$  為碳原子數目)，稱為烷系碳氫化合物或石腊烴。

乙烯( $\text{C}_2\text{H}_4$ )、丙烯( $\text{C}_3\text{H}_6$ )、丁烯( $\text{C}_4\text{H}_8$ )等，其分子式概屬於  $\text{C}_n\text{H}_{2n}$  型，稱為烯系碳氫化合物或稱烯烴。

液化石油氣(LPG)中所含之碳氫化合物以石腊烴為主，但仍含有少量之低級烯烴(碳原子量少於 5 的烯烴)，因此液化石油氣可說是低級碳氫化合物的混合氣體。

一般高壓氣體依其狀態可概分為三種，即壓縮氣體、溶解氣體及液化氣體等。

1. 壓縮氣體是指將氣體壓縮，而壓縮後在常溫下仍為氣體，如氬氣、氧氣、氮氣等，其在容器內之壓力通常約為  $150\text{kg/cm}^2$  。
2. 溶解氣體是指在容器內先填入多孔性質的固體，再注入溶劑，最後才把氣體以高壓灌入溶解而成；如乙炔氣，因若單獨將乙炔氣加以壓縮，則有分解爆炸之危險，故通常以丙酮為溶劑，使成溶解氣體狀態存在容器內。
3. 液化氣體是指如丙烷、丁烷、丙烯、丁烯氯氣、二氧化碳等氣體，在常溫常壓下為氣體狀態，但經壓縮後則易變成液態，故能以液態保存在容器內，容器內之壓力則隨所裝氣體之種類及溫度條件而異。

目前台灣的液化石油氣(LPG)，都為中國石油公司所供應，有的從苗栗、新竹一帶盛產的天然氣中分離而得，內含丙烷、丁烷各佔約 50%；另外就是靠由高雄煉油廠在原油提煉過程中之油氣製成，其丙烷與丁烷之比例約為 30% 與 70%，並滲有少量之其他烯烴或烷烴。

### 4. LPG 之分類

依據美國 ASTM 的分類方法，可分為 4 大類：

#### (1) 商用丙烷(Commercial propane)

供寒帶地區對燃料成分要求較嚴之地區，以及對燃料要求較嚴格之引擎使用。

#### (2) 商用混合丙丁烷(Commercial PB mixture)

為一般狀況所使用。

- (3) 商用丁烷(Commercial butane)  
為非寒帶地區所使用。
- (4) 特殊規格丙烷(Special-duty propane)  
供給對燃料要求非常嚴格之引擎所使用。

## 2-2 液化石油氣的一般性質

如前所述，液化石油氣(LPG)為丙烷、丁烷、丙烯、丁烯等多種低碳系烴類氣體的混合氣，其通性如下。

1. LPG 在常溫常壓下為氣體，但加壓則可成液態存在，可貯存在密閉鋼筒中，使運送作業及使用上均極為方便。
2. 氣態時之比重約為空氣之 1.5 倍，較空氣重故洩漏時，會滯留在低下處，容易造成窒息、火災等傷害事故。
3. 理論上欲完全燃燒，丙烷與空氣之混合比約為 1：24，丁烷則達 1：31，故其燃燒之空氣供給量需求大。

除上述之通性外，我們亦可由下列數端來了解 LPG 之一般性質。

### 2-2-1 LPG 氣體之密度

一單位體積之氣體所含的質量，稱為氣體密度(density)以  $g/\ell$  表之，氣態丙烷( $C_3H_8$ )在標準狀態下( $0^\circ C$ ， $1atm$ )，其密度約為  $2g/\ell$ ，氣態丁烷( $C_4H_{10}$ )約為  $2.59g/\ell$ 。

算法如下：

$$C_3H_8 \rightarrow \text{分子量 } 12 \times 3 + 8 = 44 \text{ 即一摩爾為 } 44g$$

因一摩爾氣體在標準狀態下( $0^\circ C$ ， $1atm$ )，其體積為  $22.4\ell$ 。

$$\text{故 } C_3H_8 \text{ 丙烷之氣體密度} = 44g \div 22.4\ell$$

$$\doteq 1.96(g/\ell)$$

$$C_4H_{10} \text{ 丁烷之氣體密度} = (12 \times 4 + 10)g \div 22.4\ell$$

$$\doteq 2.59(g/\ell)$$

### 2-2-2 LPG 氣體之比重

氣體的質量在標準狀態下( $0^{\circ}\text{C}$ ， $1\text{atm}$ )與同體積之空氣質量比，稱為氣體比重。在標準狀態下，一摩爾之空氣( $22.4\ell$ )的質量約為 29 克，故丙烷之氣態比重為  $44 \text{ 克} / 29 \text{ 克} = 1.52$ ，丁烷之氣態比重為  $58 \text{ 克} / 29 \text{ 克} = 2.0$ 。

空氣質量的算法：因空氣中之組成分子

氮( $\text{N}_2$ )之體積比約為 78%( $\text{N}_2$ 分子量為 28)

氧( $\text{O}_2$ )之體積比約為 21%( $\text{O}_2$ 分子量為 32)

氬( $\text{Ar}$ )之體積比約為 1%( $\text{Ar}$ 分子量為 40)

故一摩爾( $22.4\ell$ )空氣之質量：

$$28 \times 78\% + 32 \times 21\% + 40 \times 1\% = 28.96 \text{ (g)}$$

氯化丙烷(或丁烷)的重量為空氣%的 1.52(或 2.0)倍。比空氣重，故外洩時易沈降不易擴散，且易生火災。而液化丙烷(或丁烷)的重量為水的 0.51(或 0.58)倍，比水及汽油輕。

1 公升的液化丙烷重量約 0.5 公斤(即 1 公斤液化丙烷容量約 2 公升)，而 1 公升液化丁烷重量約 0.6 公斤(即 1 公升液化丁烷容量約 1.7 公升)。

### 2-2-3 LPG 液體之密度

液態 LPG 與一般物質類似，溫度上升時會膨脹，體積增大；溫度下降時即收縮，體積變小，一般我們把  $15^{\circ}\text{C}$  時之液態丙烷單位體積定為 100%，則其溫度與體積之變化如表 2-1 所示。

表 2-1

溫度 $^{\circ}\text{C}$	-20	0	10	15	20	30	40	50	60
液態丙烷體積 變化比例%	91.4	96.2	98.7	100	101.7	104.9	109.1	113.8	119.3

所以其液態密度(單位體積之質量)隨溫度而變，溫度愈高，密度愈小；溫度愈低，密度愈大，如表 2-2 所示。

表 2-2

		丙烷	丁烷
常溫加壓下液體密度(kg/ℓ)	0°C	0.5282	0.6011
	15°C	0.5077	0.5844
	20°C	0.5005	0.5788

#### ● 2-2-4 LPG 液體之比重

液體比重與氣體比重算法不同，它是指液體之質量與同體積 4°C 之純水質量的比值，例如 4°C 的純水 1ℓ 之質量為 1kg(密度為 1)；15°C 之液化丙烷 1ℓ 之質量為 0.5077kg(密度為 0.5077)因此 15°C 時之液化丙烷比重為：

$$0.5077\text{kg} / 1\text{kg} = 0.5077$$

一般比重適為密度之倒數，故其比重如表 2-3 所示。

表 2-3

		丙烷	丁烷
常溫加壓下之液體比重	0°C	0.5282	0.6011
	15°C	0.5077	0.5844
	20°C	0.5005	0.5788

#### ● 2-2-5 挥發點(沸點)

隨溫度上升，分子之活動增加，若溫度上升至某一點時，液體之分子由液態變成氣態，而從液面或內部向空間逃逸的現象，稱為蒸發或沸騰，此時之溫度即稱為揮發點或沸點，一般揮發點受物質成份及壓力影響，液面壓力大則沸點增高，壓力低則沸點降低。故高山上煮飯或蛋不易熟。一般在一大氣壓下丙烷之沸點為  $-42.07^{\circ}\text{C}$ ，正丁烷為  $-0.50^{\circ}\text{C}$ 。

#### ● 2-2-6 LPG 之蒸氣壓

如圖 2-1 所示，容器內之 LPG 液體，當溫度保持一定時，一部份之 LPG 液體蒸發成氣態充塞於容器之上方空間，由於不斷蒸發，故氣態分子愈來愈多，最後使 LPG 之液面上形成如圖所示之一般 LPG 蒸氣壓，如容器是密閉且溫度維持一定，則最後此 LPG 蒸氣

## 油氣雙燃料車 – LPG 引擎

壓將達一定值，即此時由液態蒸發成氣態之 LPG 分子速率，與由氣態之 LPG 分子落回液態的速率相等，俗稱氣液飽和平衡狀態。此時之 LPG 蒸氣壓稱飽和蒸氣壓，如圖 2-1 所示。

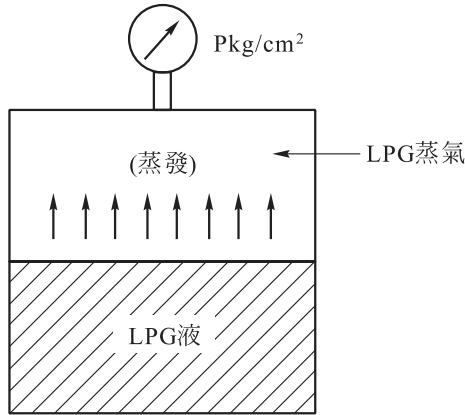


圖 2-1

液化石油氣(LPG)之蒸氣壓，受 LPG 之組成(丙烷、丁烷等混合比例)及溫度而定，和液量多寡無關，即若組成和溫度一定，則不管液量如何變化，其容器內蒸氣壓均一定，如表 2-4 所示為不同成分之飽和蒸氣壓。

表 2-4

溫度°C		0	10	20	30	40
飽和蒸氣壓 kg/cm <sup>2</sup>	丙烷	3.9	5.4	7.4	9.5	12.7
	丁烷	0	0.4	1.1	1.8	2.8

丙烷與丁烷各種不同混合比例下之飽和蒸氣壓如圖 2-2 所示。

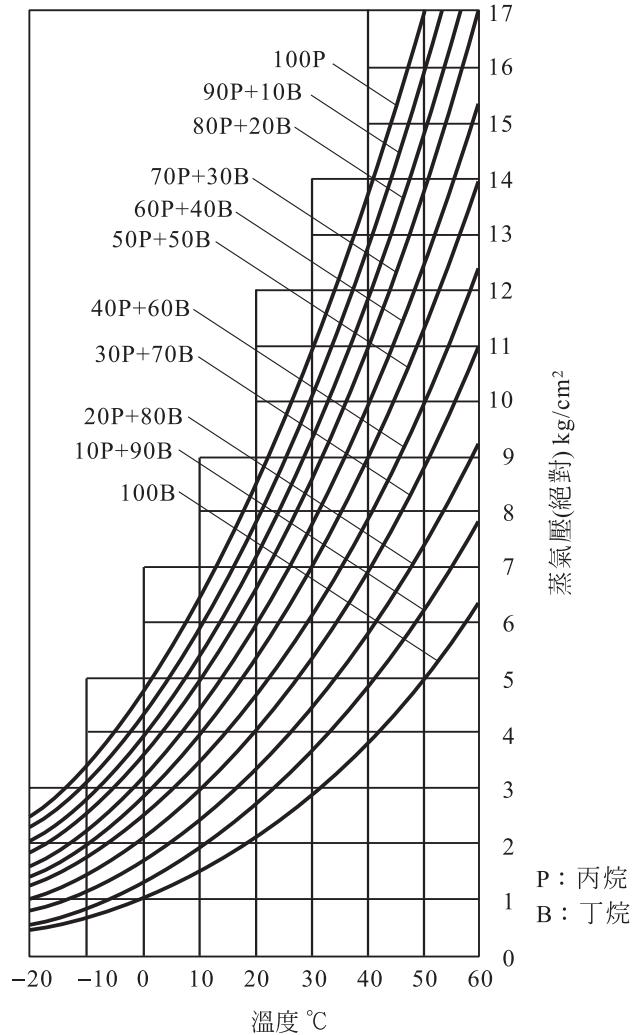


圖 2-2 丙烷與丁烷混合氣之飽和蒸氣壓

由上可知當容器內之蒸氣壓低於飽和蒸氣壓時，即表示容器內已無液態之 LPG，如丙烷在 20°C 時，容器內之壓力為 6.5kg/cm<sup>2</sup> 時，即表示容器內已無液態之丙烷了，表 2-5 為低碳及碳氫化合物之物理化學性質。



## 2-3 液化石油氣之燃燒性質

### 1. 著火溫度

可燃性物質在空氣中徐徐地加熱下，達到某一溫度以上，即使附近沒有火種也會自然開始燃燒的最低溫度稱之為著火溫度(或稱著火點)。

丙烷的著火溫度為 $481^{\circ}\text{C}$ ，丁烷是 $441^{\circ}\text{C}$ ，汽油的著火溫度為 $210\sim 300^{\circ}\text{C}$ ，故丙烷比汽油安全性高。但其燃燒範圍的下限很低，一旦洩漏出來即成高危險具爆炸性之混合氣體，且會沿地面廣泛地擴散開來，引火之危險性較汽油還大，因而在處理 LPG 時應特別注意煙火。

### 2. 閃火點

將汽油及酒精之類容易揮發的物質加熱至某一溫度以上時，若有火種接近其蒸氣時，即會引火開始燃燒之引火最低溫度稱之為閃火點或稱引火點。

液化石油氣當其完全燃燒時，會生成二氧化碳( $\text{CO}_2$ )與水蒸氣( $\text{H}_2\text{O}$ )。但如果空氣之供給量少時，液化石油氣就無法完全氧化，致發生不完全燃燒而生成一氧化碳( $\text{CO}$ )、氫氣( $\text{H}_2$ )、碳( $\text{C}$ )等物質。

### 3. 沸點

丙烷是 $-42.07^{\circ}\text{C}$ ，丁烷是 $-0.5^{\circ}\text{C}$ ，常溫下均為氣體。汽油沸點是 $25\sim 232^{\circ}\text{C}$ ，常溫下為液體。

### 4. 蒸發潛熱

LPG 在氣化時，須吸收周圍大量熱氣，此稱為蒸發潛熱或氣化潛熱。

- (1) 丙烷蒸發潛熱  $101.8\text{kcal/kg}$ ，丁烷蒸發潛熱  $92.09\text{kcal/kg}$ 。
- (2) LPG 汽車雖使用氣化器將 LPG 氣化，但可能因蒸發潛熱而使氣化器冷卻凍結乃致破損，所以必須使用汽車水箱(radiator)之溫水環繞氣化器之內部，以預防氣化器凍結。
- (3) 萬一 LPG 汽車發生火災事故時，瓦斯容器因受熱使內部之 LPG 氣化，當蒸氣壓約達  $24\text{kg/cm}^2$  以上時，安全閥會自動打開，使氣化後之 LPG 排出車體外，當瓦斯容器之蒸氣壓下降至  $16\text{kg/cm}^2$  以下時，安全閥即再自動關閉，瓦斯容器內之 LPG 即再開始氣化，而在氣化時即因蒸發潛熱使瓦斯容器冷卻，如此利用瓦斯容器內之自動調壓及冷卻作用，瓦斯容器會保持在一定壓力、溫度以下，故瓦斯容器不會爆發破裂。

### 5. 蒸氣壓

將 LPG 放進密閉容器，部份會蒸發變成氣體，而產生壓力，當達某一定壓力時，蒸發會自然停止，容器內之壓力即安定下來，此時之壓力稱之為蒸氣壓。

- (1) 在 20°C 時丙烷蒸氣壓是 8.0kg/cm<sup>2</sup>，丁烷是 2.0kg/cm<sup>2</sup>，汽油是 0，故 LPG 被稱為高壓瓦斯。
- (2) 不論容器內液狀瓦斯量為多少，蒸氣壓均為一定，兩種以上之 LPG 混合時，亦依其瓦斯之混合比例與溫度顯示出一定值。

### 6. 發熱量

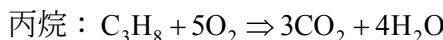
- (1) 平均每重量之發熱量：丙烷是 12,034kcal/kg，丁烷是 11,832kcal/kg，汽油是 11,200kcal/kg。
- (2) 平均每公升之發熱量：丙烷是 6,113kcal/ℓ，丁烷是 6,909kcal/ℓ，汽油是 7,390kcal/ℓ，LPG 之發熱量僅為汽油之 80~90%，但日本已開發出 LPG 專用引擎及燃料裝置，可彌補上述缺點。

### 7. 燃燒範圍(空氣中重量百分比)

- (1) 丙烷是 2.37~9.50，丁烷是 1.86~8.41，汽油是 1.5~7.6。
- (2) 燃燒範圍愈廣愈易燃燒，故 LPG 較汽油燃燒範圍大。

### 8. 完全燃燒所需空氣量(空氣中氧佔 21%)

- (1) 丙烷是 15.71kg/kg，丁烷是 15.49kg/kg，汽油是 14.7kg/kg。
- (2) 完全燃燒之方程式：



丙烷 1m<sup>3</sup> 完全燃燒約需 24m<sup>3</sup> 之空氣

丁烷 1m<sup>3</sup> 完全燃燒約需 31m<sup>3</sup> 之空氣

故 LPG 可完全燃燒成 CO<sub>2</sub> 和水，對空氣不會造成污染。

### 9. 辛烷值

丙烷是 125，丁烷是 91，較汽油還高，故 LPG 車可使用較高壓縮比之引擎，通常壓縮比在 10 : 1 左右。

## ● 2-3-1 日本車用液化石油氣之品質規格

日本工業規格(JIS K2240-1987)對 LPG 之品質作如下規定：

表 2-5 日本 LPG 之工業規格

項目 種類		組成(mole%)				硫含量 (%)	蒸氣壓 MPa(kgf/cm <sup>2</sup> )	密度 (15°C) g/cm <sup>3</sup>	主要 用途
種類		乙烷 + 乙烯	丙烷 + 丙烯	丁烷 + 丁烯	丁二烯				
1 種	1 號	—	80 以上	20 以下	0.5 以下	0.015 以下	1.53(15.6)以下	0.50~0.62	家庭用燃料及 業務用燃料
	2 號	5 以下	60 以上 80 以下	40 以下					
	3 號	—	60 以下 (不含 60)	30 以上					
2 種	1 號	—	90 以上	10 以下	※(1)	0.02 以下	1.55(15.8)以下	0.50~0.62	工業用燃料、 原料及汽車用 燃料
	2 號	—	50 以上 90 以下	50 以下			1.55(15.8)以下		
	3 號	—	50 以下	50 以上 90 以下			1.25(12.7)以下		
	4 號	—	10 以下	90 以上			0.52(5.3)以下		

※(1)：使用於汽車用、工業用等時，應注意丁二烯含量，以免發生問題，最好是不要有丁二烯。

### 2-3-2 LPG 使用於汽車之特徵

#### 1. 被使用於汽車之優點

##### (1) 起動性好

目前市面販賣之 LPG 係由丙烷(propane C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>)及丁烷(putane C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>)混合之液化氣。丙烷之沸點為 -40 °C，丁烷則為 -0.5 °C，其揮發性好，故流動性甚佳，即在嚴苛寒帶地區已不使用阻風裝置亦能容易發動引擎。

##### (2) 辛烷值高

丙烷之辛烷值為 125，丁烷則為 91，故可以直接使用於現今之最高壓縮比(10.5 : 1)之引擎。在一般引擎上，將點火角度提前至相當位置時，則可節省其燃料消耗量。

##### (3) 不污染潤滑油

LPG 在引擎內燃燒，不會引起機油污損，能維持機油及引擎之清潔。所以一般未加添加劑之普通級機油亦可以使用。因為燃燒時不產生碳渣(sludge)，故機

油濾清器芯子(oil filter element)之使用壽命可延長數倍。引擎之腐蝕磨耗亦顯著地減少，即可延長引擎壽命至 3~4 倍。

(4) 火星塞之持久性

由於火星塞不會受燃料中之鉛的傷害、機油之污損，所以形成半永久性產品。

(5) 可節省供油泵及化油器裝置

由於 LPG 燃料裝置，係將容器中之 LPG 予以減壓後引導於進氣歧管，進入引擎內燃燒(以進氣歧管內與空氣混合成可燃氣體)，故不但不需要化油器，亦不需供油泵，當然必須有其必要的蒸發器(vaporizer)。

(6) 排氣公害

因都能完全燃燒，故排氣中含有害氣體或污染物質較少。

2. 未被普遍使用之原因

(1) 蒸發器

至目前為止小型蒸發器之性能尚未達理想階段，其加溫裝置在日本規定應使用 40°C 溫水，但在汽車而言頗為困難。

目前部份 LPG 產品不太純淨尚含有殘留焦油，會影響蒸發性能。

(2) 單位容積之熱量較少

因單位容積之發熱量較少，輸出馬力較小，故僅適用於轎車及小型貨車行駛於平坦道路。高負載之重車及行駛於山區道路者不適使用。

(3) 加氣站不足

加氣較困難，尤其長途行駛時，必須中途有加氣站，否則便利性不足，汽油車使用者興趣缺缺。

## 2-4 液化天然氣

### 2-4-1 天然氣之成分

天然氣(natural gas)簡稱 NG，是指深藏於地層，而以碳氫化合物為主要成份之可燃性氣體，而其中含量最多者為甲烷( $\text{CH}_4$ )，此外尚含有少量的乙烷( $\text{C}_2\text{H}_6$ )、丙烷( $\text{C}_3\text{H}_8$ )、丁烷( $\text{C}_4\text{H}_{10}$ )、戊烷( $\text{C}_5\text{H}_{12}$ )等，以及少量的不燃性氣體，如氮氣( $\text{N}_2$ )、二氧化碳( $\text{CO}_2$ )、硫化氫( $\text{H}_2\text{S}$ )等。

天然氣之組成依產地而有所差別，即使在同一產地、同一口氣井，其成份亦隨著地層深度的不同而有所差異，如表 2-6 所示為各國天然氣之成份。

表 2-6 世界各地天然氣成份

			台灣	台灣	阿拉斯加	汶萊	阿爾及利亞	美國
			錦水	八掌溪				德州
組成 (體積%)	甲烷	CH <sub>4</sub>	87.06	94.81	99.34	90.7	79.5	71.50
	乙烷	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	4.29	2.64	0.11	4.8	7.5	7.00
	丙烷	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	0.74	0.48	—	2.5	2.5	4.40
	異丁烷	iC <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0.10	0.15	—	1.4	5.0	0.30
	正丁烷	nC <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0.13	0.08	—			0.70
	戊烷	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0.08	0.03	—	0.1	—	0.02
	己烷	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	0.02	0.14	—	—	—	—
	二氧化碳	CO <sub>2</sub>	6.34	0.62	0.02	0.5	—	—
	氮	N <sub>2</sub>	0.70	1.05	0.52	—	5.5	15.50
	氧	O <sub>2</sub>			0.11	—	—	—
	氦	He	—	—	—	—	—	0.58
	硫化氫	H <sub>2</sub> S	—	—	1ppm	—	—	—
合計			100	100	100	100	100	100
比重(空氣=1)			0.650	0.590	0.556	0.628	0.709	0.727
發熱量(Kcal/Nm <sup>3</sup> )			9,219	9,755	9,456	10,476	10,923	9,315

## 2-4-2 液化天然氣之成分

液化天然氣(liquified natural gas)，簡稱為 LNG。此乃將天然氣低溫液化，體積可縮為六百分之一，以利於儲存及運輸，此種超低溫液體(-160 °C)即為 LNG。

但天然氣在液化前必須先除去水份、二氧化碳、硫化氫等雜質，以避免在低溫時雜質凝固而堵塞了設備，因此 LNG 亦稱為乾淨的能源，LNG 之成份大部份和 NG 之成份相同，如表 2-7 所示為世界各地之 LNG 成份。

表 2-7 世界各地 LNG 成份分析(1980 年)

產地	美國阿拉斯加 Kenai	汶萊 Lumut	阿布達比 Das	印尼 Badak	印尼 Arun
氮(mol%)	0.12	0.02	0.05	0.04	0.06
甲烷	99.81	89.83	82.07	89.91	86.96
乙烷	0.07	5.89	15.86	5.44	8.40
丙烷	0	2.92	1.89	3.16	3.66
異丁烷	0	0.56	0.06	0.67	0.53
正丁烷	0	0.74	0.07	0.75	0.39
戊烷以上	0	0.04	0	0.03	0
平均分子量	16.067	18.286	18.859	18.312	18.642
總發熱量 kcal/Nm <sup>3</sup>	9,491	10,617	10,921	10,639	10,805
氣體比重	0.554	—	—	0.647	—
液體密度 kg/l	0.415	—	—	0.465	—

## 2-5 液化天然氣之特性

### 2-5-1 比重

天然氣與空氣相比較時，其比重約在 0.58~0.79 之間而空氣之比重為 1.00，純甲烷之比重為 0.555，亦即是天然氣較同體積之空氣為輕，如表 2-8 為天然氣中各成分之氣體加重。

### 2-5-2 沸點蒸氣壓

液體之蒸氣壓隨溫度之增加而昇高，如圖 2-3 所示為天然氣中各成份之蒸氣壓與溫度之關係。

表 2-8 天然氣成份及其物理性質

物性 \ 成份	甲烷	乙烷	丙烷	異丁烷	正丁烷	二氧化碳	硫化氫
分子式	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S
分子量	16.04	30.07	44.09	58.12	58.12	44.01	34.08
分子容	22.36	22.16	21.82	21.77	21.49	22.26	22.14
融點°C(latm)	-182.6	-172.0	-187.1	-145.0	-135.0	-56.6	-85.5
沸點°C(latm)	-161.4	-88.6	-42.2	-10.0	-0.6	-78.3	-60.3
液體比重(60/60°F)	0.300	0.378	0.512	0.562	0.581	0.816	0.790
氣體比重(空氣=1)	0.555	1.049	1.522	2.007	2.010	1.529	1.176
臨界溫度°C	-82.5	32.3	96.8	135.0	152.0	31.1	100.4
臨界壓力 atm	47.4	50.45	44.5	38.3	37.2	73.5	91.8
蒸發潛熱 kcal/kg	121.9	116.9	101.8	87.56	92.09	137.8	131.1
融解潛熱 kcal/kg	14.0	22.2	19.1	—	18.0	45.3	—
空氣混合上限%	5.0	2.9	2.1	1.8	1.8	—	4.30
爆發限界下限%	15.0	13.0	9.5	8.4	8.4	—	45.50
總發熱量 kcal/Nm <sup>3</sup>	9,520	16,820	24,320	31,530	32,010	—	—
kcal/kg	13,270	12,400	12,030	11,810	11,840	—	—
有效發熱量 kcal/Nm <sup>3</sup>	8,550	15,370	22,350	29,050	29,510	—	—
氣體比熱 kcal/kg	11,950	11,350	11,080	10,900	10,930	—	—
Cp(kcal/kg)	0.2928	0.2279	0.2158	0.2151	0.2205	0.1106	0.141
Cv(kcal/kg)	0.223	0.191	0.191	0.196	0.202	0.095	0.107
Cp/Cv	1.308	1.193	1.133	1.097	1.094	1.164	1.32
液體比熱 kcal/kg	—	—	0.297 (6.1°C)	0.298 (-10 °C)	0.304 (-17.8 °C)	—	—
蒸氣壓 kg/cm <sup>3</sup> (37.7°C)	—	54.8	13.4	5.1	3.6	—	39.1
燃燒必要空氣量 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>	9.53	16.67	23.82	30.97	30.97	—	—

註：有效發熱量亦稱淨發熱量。

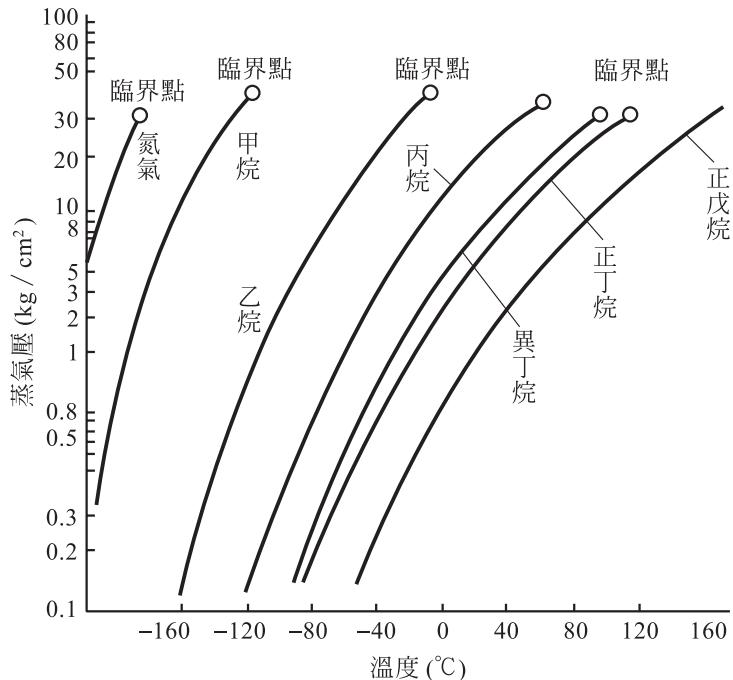


圖 2-3

### 2-5-3 液化之溫度與壓力

甲烷的臨界溫度為  $-82.5^{\circ}\text{C}$ ，臨界壓力為  $47.4\text{atm}$ ，通常甲烷須冷至  $-82.5^{\circ}\text{C}$  以下並壓縮至  $47.4\text{atm}$  以上時才能液化，若在常壓( $1\text{atm}$ )下，須冷至其沸點( $-162^{\circ}\text{C}$ )以下，才能液化。

### 2-5-4 著火溫度

著火溫度是指物質在空氣中或氧氣中受到加熱起火燃燒之最低溫度，如表 2-9 所示為碳氫化合物之著火溫度。

以 LNG 主成份(甲烷)和 LPG 成份(丙烷、丁烷)相比較，甲烷的著火溫度比丙烷、丁烷為高，亦即是較不易起火，同時 LNG 氣體比重較空氣小，不會有滯留於低處之危險，因此一般而言 LNG 較 LPG 為安全。

### 2-5-5 燃燒速度

燃燒是一種發熱反應。於此將各種可燃氣體之燃燒速度列於表 2-10。

表 2-9

	甲烷	乙烷	丙烷	丁烷	戊烷	己烷
著火溫度(°C)	595	515	470	462	365	285
引火點(°C)	—	—	—	—	—	-40
燃燒界限下限(Vol%)	5.0	2.9	2.1	1.8	1.8	1.4
燃燒界限上限(Vol%)	15.0	13.0	9.5	8.4	8.4	8.3
蒸氣密度(空氣=1.0)	0.55	1.04	1.52	2.01	2.01	2.49
總發熱量(kcal/Nm <sup>3</sup> )	9,497	16,638	23,679	30,595	30,684	37,714
淨發熱量(kcal/Nm <sup>3</sup> )	8,551	15,217	21,786	28,229	28,316	34,873

表 2-10 可燃氣體之燃燒速度

混合氣體	燃燒速度	混合比例
甲烷—空氣	33.8cm／秒	9.96%
乙烷—空氣	40.1	6.28
丙烷—空氣	39.0	4.54
丁烷—空氣	37.9	3.52
戊烷—空氣	38.5	2.92
氫—空氣	27.0	43.00
甲烷—氧氣	330	33.0
丙烷—氧氣	360	15.1
氫—氧氣	890	70.0

一般可燃性氣體之火焰速度達每秒 800~2,000 公尺時稱之為爆轟，如在密閉之容器內，爆轟產生強烈的衝擊波，對周圍會產生很大的破壞力量。

### ● 2-5-6 發熱量

發熱量又稱之熱值，天然氣發熱量之高低，視其組成而定，又天然氣之發熱量有總發熱量(gross heating value)與淨發熱量(net heating value)之分。

## 油氣雙燃料車 – LPG 引擎

總發熱量是指天然氣燃燒後，所生成之水蒸氣全部凝結為液態水時所產生之全部熱量。而淨發熱量乃指燃燒後所生產之水蒸氣仍舊為氣態時所產生熱量，也就是說，總發熱量是淨發熱量加水蒸氣凝結時所放出熱量的和。

$$\text{總發熱量(GHV)} = \text{淨發熱量(NHV)} + \text{水蒸氣凝結所放出之熱量}$$