

投稿類別：工程技術類

篇名：

探究「環保冷媒」之內涵與發展歷程

作者：

蔡其宏。高雄市立瑞祥高級中學。高二1班

指導老師：

顏燦榮

壹●前言

一、研究動機：

炎炎夏日中，家中汽車的冷氣不冷了，父母親將汽車開至維修廠檢視，原來是汽車上的冷媒有部分逸失，遂請修理汽車師父來灌「環保冷媒」。另一方面，與父母親逛大賣場，發現在家電部門處，冷氣機與電冰箱也充斥著「環保冷媒」的字樣。

「環保」兩字在中學的地理、地球科學、化學課本中都有專門的章節提到，同時書本上也提及與環境議題有關事件，包括臭氧層破洞、溫室效應與節能減碳，不禁讓我想到這「環保冷媒」是真的環保嗎？假使是的話，又是在哪些方面上的環保呢？

二、研究方法與架構：

本小論文希望以了解「環保冷媒」之內涵及發展歷程為宗旨，故正文將以此架構撰寫，當中包括

1. 「冷凍」與「空調」之意義
2. 理想冷媒之特性
3. 「環保冷媒」發展歷程
4. 政府對「非環保冷媒」之管制回收措施

貳●正文

一、「冷凍」與「空調」之意義

「冷凍」(Refrigeration)意味著係將目標物質或環境空間之熱氣加以移除或排除，因而促使其溫度降低，最終達到所欲求的目標溫度；一般而言，「冷凍」大多係針對食品之冷藏保存，故目標溫度多接近冰點或遠低於冰點。「空調」(Air Conditioning)係藉由空氣調節設備系統，以控制目標環境空間內之空氣狀態，最終達到所欲求的環境空氣品質，包括溫度、濕度、氣流分佈及清淨程度；一般而言，「空調」大多係針對室內空間之溫度與濕度調控（許祺清、陳聰明，2006），故以降低環境空間溫度為目地之「空調」可包含於「冷凍」範疇。

欲產生冷凍效果之方法可分為自然、非機械與機械壓縮式之冷凍方法（施宜輝，2004）。不過目前於商業市場之應用皆是使用機械壓縮式冷凍系統，即以機械能(能量來自於電力)來使冷媒產生高低壓與氣液態之變化，經由蒸發器(吸收環境空間之熱氣，使冷媒從低壓液體變成低壓低溫氣體)、壓縮機(使低壓低溫冷媒氣體變成高壓高溫氣體狀態)、冷凝器(使低壓低溫冷媒氣體經由冷凝動作，變成高壓液體狀態，同時將其所吸收的熱氣排散出)與膨脹閥(使高壓冷媒液體變成低壓液體狀態)四大主要元件之動作功能，以達成降低溫度的效果（簡詔群、簡子傑，2009）。故冷媒(Refrigerant)實為冷凍空調系統中之工作流體物質，其功能係利用其本身氣液形態的物理相變，並在系統中不斷地循環運作，從而達到移除目標空間之熱量。

二、理想冷媒之特性

從上述可知，理想的冷媒除了價格低廉且取得容易外，尚須符合以下的物化功能特性與環

境安全特性 (許祺清、陳聰明, 2006; 簡詔群、簡子傑, 2009; Hundry et al., 2008; Mohanraj et al., 2009; Dincer and Kanoglu, 2010) :

(一) 物理特性

蒸發溫度要低	: 可以達到低溫之冷卻效果。
凝固點要低	: 在低溫時不容易凝固。
臨界溫度要高	: 可用空氣和水做為冷凝劑。
密度要大, 比容要小	: 比容小, 壓縮機體積小。
蒸發潛熱要大	: 每一公斤冷媒吸熱量大, 故系統循環量可以減小。
運轉壓力要低	: 系統壓力低, 壓縮機負載電流小, 但希望高於大氣壓力。
壓縮比要低	: 即高低壓差不要太大, 可以達到省電效果。
液體比熱要大	: 可以減少系統冷媒量。
電介強度要大	: 即絕緣耐力要高。
氣態時, 流速要低	: 可以減少噪音。
冰點要低	: 在低溫之下還可以保持冷媒快速流動。
洩漏時容易察覺	: 例如氨(注意: 氨氣具有毒性), 稍微有一點洩漏就可以馬上處理。
流動性要大	: 表面張力小, 熱傳導效果大。
若與水混合影響小	: 與少許水份混合時不會變質。
潤滑性佳	: 粘度要小, 與冷凍油容易分離, 不生變化。

(二) 化學特性

無腐蝕性	: 對金屬材質不起任何化學作用, 才可經久耐用。
化學性安定	: 冷媒在冷凍系統中循環, 不發生變質而溶解, 始終保持穩定。
無燃燒及爆炸性	: 壓縮機成高壓, 不能因高壓劇烈膨脹或燃燒而爆炸。
無刺激性及毒性	: 對人類及動植物皆無害, 或任何刺激性。
粘滯性低	: 減少活動阻力, 增加壓縮容積效率。
對襯墊或軸封不腐損	: 冷媒不可侵蝕襯墊或軸封。
比熱(液體)值要大	: 比熱值大, 系統冷媒可以減少。

(三) 環境特性

1. 不會破壞臭氧層

臭氧層位處於大氣圈之平流層(海平面以上約 12-30 公里處)。由於這種反覆不斷的臭氧生成和消失, 故能使臭氧含量維持在一定的動態平衡, 而臭氧層具有吸收太陽光中大部分的有害輻射線(尤其是紫外線), 因而屏蔽地球表面的生物, 不受紫外線侵害之功能。然而此種均衡狀態受到二十世紀中期以後人類大量使用於冷媒(及其他工業與民生應用)之合成化學物質, 例如氟氯碳化物 (Chlorofluorocarbons, CFC) 等破壞臭氧層物質 (Ozone-depleting Substances, ODS), 其中以 CFC-11 (R-11; 化學式 CCl_3F) 與 CFC-12 (R-12; 化學式 CCl_2F_2) 消費量最大。雖然 CFC 比空氣重, 但這些具有特殊性質之化合物若排放至大氣環境中, 極不易被分解破壞; 換言之, CFC 在大氣中具有相當長的存留時間(幾十年以上), 最終它們會到達平流層。當 CFC

到達平流層之後，在紫外線的照射下，它們會分解並釋放出會與臭氧作用的氯原子自由基，如此便造成臭氧濃度不斷降低，因而產生臭氧層破洞。

在評估冷媒替代品的適用性時，應優先考慮其臭氧層破壞潛勢 (Ozone Depletion Potential, ODP)。ODP 係指一個化學物質相對於 CFC-11 破壞臭氧的相對大小比例值，目前國際上皆將 CFC-11 的 ODP 值訂為 1.0 做為基準 (UNEP, 2002)。CFC 或其他 CFC 替代品(或環保冷媒)的 ODP 值約從 0.0 至 1.0 不等，ODP 值越高，代表對臭氧層破壞力就越大。而目前常見的 CFC 冷媒替代品為氫氟氯碳化物 (Hydrochlorofluorocarbons, HCFC)，例如 HCFC-22 (R-22；化學式 CHClF_2) 的 ODP 值為 0.055，雖然已經很低，但仍對臭氧具有破壞力，因此僅屬於過渡性替代產品，未來仍將陸續遭到管制，甚至禁用。至於新一代的冷媒替代品，例如氫氟碳化物 (Hydrofluorocarbons, HFC)，因為不含有氯原子，故不屬於破壞臭氧層物質，但它們尚具有甚高的溫室效應潛勢，未來極可能會陸續遭到管制與禁用。

2. 溫室效應低

地球之所以是目前宇宙星球中一個適合人類與其他生物生存的地方，最主要的原因是係於大氣圈中所含有的氣體(例如，二氧化碳、水蒸氣等)所形成的「溫室效應」(Greenhouse Effect)，而具有吸收這些長波輻射的氣體則稱為「溫室氣體」(Greenhouse Gases, GHG)；換言之，地球表面上的大氣系統可容許太陽的短波輻射(即太陽光照射)進來(或通過)，同時阻止地面長波輻射散設出去至外太空，因而促使地球系統溫度升高，並最終維持在一定的溫度動態平衡狀態下。但自從工業革命以後，人類經濟活動的快速成長，所製造之化學品及產生之空氣污染，正以空前未有之速度，改變大氣結構。其中特別是化石燃料燃燒後所產生之 CO_2 氣體，以及冷凍空調、高科技與民生工業所使用的大量冷媒等含氟合成化學物質排放進入大氣後，吸收地表之長波輻射，造成了人為性的「溫室效應」，使地表溫度逐漸增加，因而產生對地球環境生態與氣象水文之莫大衝擊。

由於每一種溫室氣體造成的暖化效應並不相同，為了方便比較起見，國際間目前慣用以全球暖化潛勢(Global Warming Potential, GWP) 代表該氣體相對於二氧化碳 (即設 CO_2 的 GWP = 1)之相對暖化強度是多少。GWP 值越高，即意味著該氣體對「溫室效應」所造成的危害越高。下表為「京都議定書」(Kyoto Protocol) 所規範的溫室氣體 GWP 值 (IPCC, 2007)

溫室氣體	二氧化碳	甲烷	氧化亞氮	氫氟碳化物	全氟碳化物	六氟化硫
GWP	1	25	298	124~14800	7390~12200	22800

3. 光化學反應潛勢低

任何人為或合成的揮發性有機化合物 (Volatile Organic Compounds, VOC)，若排放或逸散至大氣環境中，皆會參與光化學反應，導致大氣中臭氧(O_3)濃度升高及產生高氧化性污染物等有害物質，而經由光化學反應所產生光化學煙霧也將會降低能見度。故 VOC 對於生物及環境皆具有很大的負面影響。

如前所述，含氟合成物環保冷媒，例如 HCFC 與 HFC，亦屬 VOC；至於近年來替代 HFC 之環保冷媒，例如氫氟醚化物(Hydrofluoroethers, HFE) (Brivens and Minor, 1998) 與氫氟烯化物

(Hydrofluoro-olefins, HFO) (Brown, 2009), 以及回歸使用天然冷媒(Natural refrigerants)之脂肪族烷類或烯類, 皆屬於 VOC。在評估冷媒替代品的適用性時, 也應考量其光化學臭氧生成潛勢(Photochemical Ozone Potential, PCOP)。PCOP 係指一個 VOC 化學物質相對於乙烯生成光化學臭氧的相對大小比例值, 目前國際上皆將乙烯的 PCOP 值訂 100 為基準 (Hayman and Derwent, 1997)。

三、「環保冷媒」發展歷程

現代化的合成冷媒始於 1930 年代左右所發明的 CFC (李慶昌, 2005)。但自從全球各國於 1987 年簽訂「蒙特婁議定書」, 開始全面限期禁用 CFC 冷媒以來, 各工業化國家便積極尋找足以替代 CFC 冷媒技術 (Calm, 2008; Restrepo et al., 2008; Shah, 2009), 故第一代所謂的「環保冷媒」為破壞臭氧層能力低之氫氟氯碳化物 (HCFC), 作為過渡性替代品; 目前尚在商業化使用之 HCFC 冷媒為 HCFC-22、HCFC-123、HCFC-124、HCFC-141b 與 HCFC-142b, 表 1 為這些 HCFC 冷媒之主要特性 (簡詔群、簡子傑, 2009; IPCC, 2007; Hundry et al., 2008)。隨後, 1997 年的「京都議定書」所引發的自願性溫室氣體削減目標, 更加速 HCFC 的更替, 進入所謂的第二代「環保冷媒」, 尋求一些全球暖化潛勢值較低之氫氟碳化物 (HFC); 目前尚在商業化使用之 HFC 冷媒為 HFC-134a、HFC-32、HFC-125 與 HFC-143a, 表 2 為這些 HFC 冷媒(包括 HFC 混合冷媒)之主要特性 (簡詔群、簡子傑, 2009; IPCC, 2007; Hundry et al., 2008)。但由於「京都議定書」中將 HFC 列為應受管制的溫室氣體, 因此將來有可能擬定管制時程, 則廠商將會有改用 HFC 之外冷媒技術的壓力, 故在這同時, 冷媒製造商開始研發量產所謂的第三代「環保冷媒」, 包括氫氟醚化物/氫氟烯化物(HFE/HFO); 目前已商業化使用之 HFE/HFO 冷媒為 HFE-7000、HFE-7100、HFE-7200、HFO-1234yz 與 HFO-1234ze, 表 3 為這些 HFE/HFO 冷媒之主要特性 (IPCC, 2007; Brown, 2009)。另一方面, 天然冷媒與碳氫化合物(HC)也成為被考慮的對象, 成為第四代「環保冷媒」, 其中二氧化碳(CO₂)是最被看好的天然冷媒, 至於具有環保優勢的 HC 技術, 應是一個未來必行的趨勢; 目前被看好之天然冷媒/ HC 冷媒為氨(NH₃)、二氧化碳 (CO₂)、丙烷、丙烯、丁烷與異丁烷, 表 4 為這些天然冷媒/ HC 冷媒之主要特性 (簡詔群、簡子傑, 2009; Hayman and Derwent, 1997; Hundry et al., 2008)。圖 1 為一百多年來的冷媒發展歷程 (Hundry et al., 2008), 可窺知冷媒發展似乎回到最早發展的物質, 即天然冷媒→CFC 冷媒→HCFC 冷媒→HFC 冷媒→HFE/HFO 冷媒→天然冷媒/HC 冷媒。

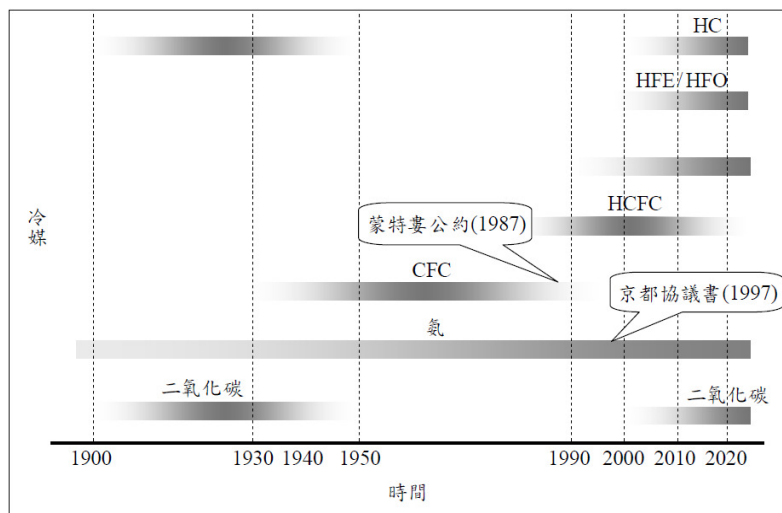


圖 1 冷媒發展歷程圖

表 1. 第一代環保冷媒氫氟氯碳化物(HCFC)之主要特性

特性	HCFC-22	HCFC-123	HCFC-124	HCFC-141b	HCFC-142b
化學式	CHClF ₂	CHCl ₂ CF ₃	CHClF ₂ CF ₃	CH ₃ CCl ₂ F	CH ₃ CClF ₂
沸點 (°C)	- 40.8	27.8	- 12.0	32.1	- 9.1
臨界溫度 (°C)	96.2	183.7	122.3	204.4	137.1
大氣存留時間 (年)	12	1.3	5.8	9.3	17.9
全球暖化潛勢 (GWP)	1810	77	609	725	2310
臭氧層破壞潛勢 (ODP)	0.055	0.02	0.022	0.11	0.065
光化學臭氧生成潛勢 (POCP)	0.1	0.3	0.1	0.1	0.1
氣爆濃度範圍 (vol%)	None	None	None	7.3-18.3	None
暴露濃度標準或建議值 (ppm)	1000	50	--	500	--

表 2. 第二代環保冷媒氫氟碳化物(HFC)之主要特性

特性	HFC-134a	R-404A	R-407C	R-410A	R-507
化學式 (組成份/重量百分比)	CH ₂ FCF ₃	HFC-125/ HFC-134a/ HFC-143a (44/4/52%)	HFC-32/ HFC-125/ HFC-134a (23/25/52%)	HFC-32/ HFC-125 (50/50%)	HFC-125/ HFC-134a (50/50%)
沸點 (°C)	- 26.1	- 46.5	- 43.6	- 51.5	- 47.1
臨界溫度 (°C)	101.1	72.1	87.3	72.5	70.9
大氣存留時間 (年)	14	29/14/52	4.9/29/14	4.9/29	29/14
全球暖化潛勢 (GWP)	1,430	3,260	1,530	1,730	3,300
臭氧層破壞潛勢 (ODP)	0	0	0	0	0
光化學臭氧生成潛勢 (POCP)	0.1	0.004	0.12	0.14	0.054
氣爆濃度範圍 (vol%)	None	None	None	None	None
暴露濃度標準或建議值 (ppm)	1000	1000	1000	1000	1000

表 3. 第三代環保冷媒氫氟醚化物/氫氟烯化物(HFE/HFO)之主要特性

特性	HFE-7000	HFE-7100	HFE-7200	HFO-1234yf	HFO-1234ze
化學式	C ₃ F ₇ OCH ₃	C ₄ F ₉ OCH ₃	C ₄ F ₉ OC ₂ H ₅	CH ₂ CF ₂ CF ₃	CH ₂ CF ₂ CF ₃
沸點 (°C)	- 33.3	- 78.4	- 42.1	- 47.6	- 0.5
臨界溫度 (°C)	132.3	31.0	96.7	91.1	152.0
大氣存留時間 (年)	5.2	3.8	0.8	0.03	0.03
全球暖化潛勢 (GWP)	575	297	59	4	6
臭氧層破壞潛勢 (ODP)	0	0	0	0	0
光化學臭氧生成潛勢 (POCP)	< 1.0	< 1.0	< 1.0	7.0	6.4
氣爆濃度範圍 (vol%)	None	None	2.4 – 12.4	6.2-12.3	None
暴露濃度標準或建議值 (ppm)	75 ^e	750 ^e	200 ^e	400 ^f	1000 ^f

表 4. 第四代環保冷媒(天然冷媒/HC 冷媒)之主要特性

特性	氨	二氧化碳	丙烷	丙烯	正丁烷	異丁烷
冷媒代碼	R-717	R-744	R-290	R-1270	R-600	R-600a
化學式	NH ₃	CO ₂	C ₃ H ₈	C ₃ H ₆	C ₄ H ₁₀	C ₄ H ₁₀
沸點 (°C)	- 33.3	- 78.4	- 42.1	- 47.6	- 0.5	- 11.8
臨界溫度 (°C)	132.3	31.0	96.7	91.1	152.0	134.7
全球暖化潛勢 (GWP)	0	1	20	3	20	20
臭氧層破壞潛勢 (ODP)	0	0	0	0	0	0
光化學臭氧生成潛勢 (POCP)	0	0	17.6	112.3	35.2	30.7
氣爆濃度範圍 (vol%)	16-250	None	2.1-9.5	2.0-11.1	1.8-8.4	1.9-8.5
暴露濃度標準或建議值 (ppm)	25	5000	1000	500	1000	1000

自 1996 年全面禁用 CFC 冷媒後，則由完全無臭氧層破壞能力之 HFC 冷媒所取代，但目前常用的 HFC-134a 冷媒具有極高的溫室效應 (GWP = 1430)。故很明顯地，HFC 冷媒並非最佳之長期性替代冷媒。而天然冷媒如氨、碳氫化合物(HC)、二氧化碳、水及空氣等的臭氧層破壞能力指數為零且對地球之溫室效應亦極低，因此可視為長期性之替代冷媒。因此，天然冷媒(除氨氣以外)再度從"冷凍庫"拿出來，目前使用天然冷媒中以 CO₂ 與 HC 最被看好，雖然前者也是一種溫室氣體，但相對於 HFC 之全球暖化潛勢值，CO₂ 顯然遠低於 HFC；後者之全球暖化潛勢值也相當低，但具有可燃性，使用時須特別注意其密閉性，避免洩露或外洩。事實上，HC 冷媒 (異丁烷)已商業化於冰箱使用上，故冰箱各個電氣裝置如開關、電線接點、壓縮機繼電器、壓縮機過載保護裝置及電容器須採封閉式，以防止因冷媒的洩漏而引起的氣爆。

四、政府對非「環保冷媒」之管制回收措施

由以上所述，爲了面對並處理部份冷媒所引起的環境議題，我國先從「蒙特婁議定書」所產生的一些管制措施開始，於「空氣污染防治法」之法源下，明訂「中央主管機關得禁止或限制國際環保公約管制易致空氣污染物質及利用該物質製造或填充產品之製造、輸入、輸出、販賣或使用」，正式授予行政院環境保護署及其他中央目的事業主管機關來訂定相關管理辦法之法源依據。近年來，由於「京都議定書」所規範的溫室氣體排放削減，也成爲政府對冷媒管制回收之重要目標。根據環境保護署官方網站資料 (環境保護署，2011)，其中相關於冷媒管制回收之重要法規演進如下。

● 1993 年 10 月 21 日

公告車輛冷氣冷媒灌充或冷氣系統拆解、換裝作業之空氣污染行爲，未使用合於規定冷媒回收設備回收後交付再精製或未使用回用設備而進行車輛冷氣之冷媒灌充或冷氣系統拆解、換裝業者，爲空氣污染行爲，自 1994 年 1 月 1 日起，依空氣污染防治法第 39 條規定處罰之。

● 1993 年 10 月 12 日

公告「蒙特婁議定書」部份列管化學品爲易致空氣污染物質，並自 1994 年 1 月 1 日起，未經主管機關許可者，不得販賣，以及訂定販賣許可證之作業申請。

● 1994 年 1 月 28 日

公告「國產車及國外進口車應全面改用非氟氯碳化物冷媒系統」，並自 1994 年 7 月 1 日起實施。

● 1995 年 7 月 13 日

(經濟部工業局)公告國內產製電冰箱與國外進口電冰箱應全面改用非 CFC 冷媒系統，並於 1996 年 1 月 1 日起實施。

● 2002 年 6 月 5 日

公告「廢電子電器物品回收貯存清除處理方法及設施標準」(2007 年 2 月 16 日廢止，並 2007 年 2 月 16 日訂定「廢電子電器暨廢資訊物品回收貯存清除處理方法及設施標準」)，規定處理含冷媒 (CFC、HCFC 或 HFC 等)或潤滑油之廢電子電器物品時，應先抽取冷媒及潤滑油，將其冷凍系統之壓力降至 102 mmHg 以下，取出壓縮機後，始可進行後續處理作業，同時若處理含冷媒之發泡隔熱材料和設備時，其冷媒必須進行回收。

● 2002 年 10 月 30 日

公告「廢機動車輛回收貯存清除處理方法及設施標準」(2008 年 1 月 4 日最新修訂)，規定

從事廢機動車輛回收拆解者應具備冷媒回收機，其應具備氟氯碳化物冷媒（CFC）及氫氟碳化物冷媒（HFC）之專用回收接頭與專用貯存鋼瓶，並於鋼瓶外明確標示其種類。

● 2003 年 1 月 3 日

公告國際環保公約管制之易致空氣污染物質，包括 CFC 與 HCFC。

● 2003 年 1 月 15 日

發布「氟氯烴消費量管理辦法」(2009 年 8 月 5 日最新修訂)，公告氟氯烴(HCFC)消費量之基準量為 638.156 ODP 公噸，而其消費量之管制時程及年度上限值如下：

- 自 2004 年 1 月 1 日起，每年不得超過基準量之 65%，即 414.801 ODP 公噸。
 - 自 2010 年 1 月 1 日起，每年不得超過基準量之 25%，即 159.539 ODP 公噸。
 - 自 2015 年 1 月 1 日起，每年不得超過基準量之 10%，即 63.816 ODP 公噸。
 - 自 2020 年 1 月 1 日起，每年不得超過基準量之 0.5%，即 3.191 ODP 公噸。
- (僅限供使用中之冷凍空調設備維修所需。)
- 自 2020 年 1 月 1 日起，氟氯烴消費量為零。

此外，R-22 作為冷媒用途者之禁用時程如下：

- 自 2010 年 1 月 1 日起，停止 7.1 kW 以下窗型空調(含分離式)新生產設備填充之冷媒核配。
- 自 2011 年 1 月 1 日起，禁止使用於 7.1 kW 以下窗型空調(含分離式)新生產設備冷媒之填充。

● 2007 年 5 月 4 日

發布「蒙特婁議定書列管化學物質管理辦法」，公告 CFC 之消費量自 1996 年 1 月 1 日起削減為零，以及回收、回用、再精製，以及販賣許可之作業申請。

參●結論

在經過閱讀、消化、整理大量各種相關資料後，我對「環保冷媒」有以下體認與發現：

一、儘管有不同世代的「環保冷媒」相繼問世，但要尋求一個理想中的環保冷媒時，往往會有一些優劣比較之下的矛盾。茲以較新的第四代環保冷媒為例：碳氫化合物(HC)冷媒有許多環保優勢，但若其使用不當，可能造成氣爆性，以及增加光化學性之臭氧生成；天然冷媒方面，如 CO₂ 冷媒也具有許多的環保優勢，然而其冷凍工程效能也許僅為目前最為常用冷媒 R-134a 的 2/3，因此若要提升 CO₂ 冷凍系統的效能值，則需要設計效率較高的壓縮機才能達成。

二、多樣化的冷媒日新月異，因此中央主管機關環保署也替我們逐步控管了許多較不環保的冷媒，包括 CFC 與 HCFC。但在業者的魚目混珠下，仍可能偷偷地進口、使用舊式冷媒，這時候除了政府相關機關加強查緝外，身為消費者的我們也應了解相關常識，斷然拒用那些產品，如此才能以政府及民間的雙重力量下，杜絕非「環保冷媒」於市面上販售。

綜觀這些新一代的「環保冷媒」，必須考量環境衝擊、工程效能、經濟成本與安全衛生等多方面因素，取得一個最佳的平衡點，因而在實際上會出現許多較難解決的問題。故就本小論文所述來看，也許根本沒有真正符合理想的「環保冷媒」吧！此一名詞可能只是一種商業宣傳的口號。要真正達到節能減碳之目的，還是儘量減少使用機械壓縮式之冷凍空調方法，以「天然的冷氣」為佳。

肆●引註資料

- 施宜輝 (2004)。廠務空調系統冰水主機水側溫度節能實務分析。中原大學機械工程學系：碩士論文。
- 李慶昌 (2005)。氟氯烷與海龍的命名。科學月刊，36(4)，268-269。
- 許祺清、陳聰明 (2006)。冷凍空調原理 I。台北縣：弘揚。
- 簡詔群、簡子傑 (2009)。冷凍空調學科寶典。台北市：文笙。
- 環境保護署。2011年9月13日，取自 <http://ivy5.epa.gov.tw/epalaw/index.aspx>。
- Brivens, D. B., & Minor, B. H. (1998). Fluoroethers and other next generation fluids. *International Journal of Refrigeration*, 21, 567-576.
- Brown, J. S. (2009). HFOs new, low global warming potential refrigerants. *ASHRAE Journal*, 51, 22-29.
- Calm, J. M. (2008). The next generation of refrigerants – Historical review, considerations, and outlook. *International Journal of Refrigeration*, 31, 1123-1133.
- Dincer, I., & Kanoglu, M. (2010). *Refrigeration Systems and Applications* (2nd ed.). New York: John Wiley & Sons.
- Hayman, G. D., Derwent, R. G. (1997). Atmospheric chemical reactivity and ozone-forming potentials of potential CFC replacements. *Environmental Science & Technology*, 31, 327-336.
- Hundy, G. F., Trott, A.R., & Welch, T. C. (2008). *Refrigeration and Air-Conditioning* (4th ed.), Amsterdam: Elsevier.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2007). *Climate Change 2007- the Physical Science Basis*. Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Mohanraj, M., Jayaraj, S., & Muraleedharan, C. (2009). Environment friendly alternatives to halogenated refrigerants- a review. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 3, 108-119.
- Restrepo, G., Weckert, M., Bruggemann, R., Gerstmann, S., & Frank, H. (2008). Ranking of refrigerants. *Environmental Science & Technology*, 42, 2925-2930.
- Shah, R. (2009). Automotive air-conditioning systems- historical developments, the state of technology, and future trends. *Heat Transfer Engineering*, 30, 720-735.
- United Nations Environment Programme (UNEP). (2002). *Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2002*. Geneva: United Nations Environment Programme.