

冷媒爆炸特性測試

Test of Refrigerant Explosive Characteristics



勞動部勞動及職業安全衛生研究所

INSTITUTE OF LABOR, OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH, MINISTRY OF LABOR



地址：新北市汐止區橫科路407巷99號
電話：(02) 26607600
傳真：(02) 26607732
網址：<http://www.ilosh.gov.tw>

ISBN 978-986-04-4582-4



9 789860 445824

GPN:1010400728

定價：新台幣140元

冷媒爆炸特性測試

Test of Refrigerant Explosive Characteristics

冷媒爆炸特性測試

Test of Refrigerant Explosive Characteristics

研究主持人：吳鴻鈞、徐啟銘

計畫主辦單位：勞動部勞動及職業安全衛生研究所

研究日期：中華民國 103 年 4 月至 103 年 12 月

本研究報告公開予各單位參考
惟不代表勞動部政策立場

勞動部勞動及職業安全衛生研究所

中華民國 104 年 4 月

摘要

空調冷凍設備在現代社會中使用非常廣泛，如冷氣、冰箱等，早期冷媒多為氟氯碳化物，因被科學家發現會破壞臭氧層而遭禁用。取而代之為環保冷媒，環保冷媒多為碳氫鹵化物，雖然冷媒在常溫常壓下性質穩定不易起火燃燒，但在不同的環境條件下，如：溫度及加壓情況下仍有燃燒爆炸之危險性。

本研究挑選數種環保冷媒 R-22, R-134a, R-141b, R-410a 及 R-600 在不同溫度下對環保冷媒之可燃性或爆炸性之影響。研究結果顯示，R-141b 與 R-600a 之環保冷媒在常溫、常壓下具有爆炸特性。在 30 °C 時，R-600a 爆炸界限為 1.5–9 vol.%，R-141b 則為 30–41 vol.%。然而，R-600a 爆炸上限會隨著溫度提高而提高，溫度從 30 °C 提昇至 120 °C，爆炸上限從 9 vol.% 提昇至 10 vol.%；在不同壓力情況方面，R-600a 之爆炸界限也會隨著壓力提高而提高，爆炸下限會從 1.5 vol.% 提昇至 2 vol.%，爆炸上限從 9 vol.% 提昇至 10 vol.%。此外，R-22, R-134a, 及 R-410a 在常溫、常壓下並無爆炸現象。但 R-22 在加壓情況下則出現爆炸現象，在 1.5 bara 爆炸界限為 20–35 vol.%，在 2 bara 爆炸界限為 1–50 vol.%。

相關實驗所獲得之參數可用於提供 R-22, R-134a, R-141b, R-410a 及 R-600 等冷媒使用上或操作上的參考依據，以避免不可預期之職災狀況發生。

關鍵詞: 碳氫鹵化物、溫度、加壓、燃燒爆炸、爆炸界限

Abstract

Refrigeration and air conditioning equipment such as air conditioners and refrigerators are widely used home appliances. In the past, refrigerants were mainly chlorofluocarbons (CFC's), which were found to be harmful to the ozonosphere and were banned. Today, environmental refrigerants, hydrofluorocarbons (HFC's), replaced the use CFC's, as they proved to be very stable under normal temperature or pressure. However stable, they still possess hazardous explosive characteristics given different environmental conditions, such as temperature and pressure.

This study investigates the flammable characteristics of R-22, R-134a, R-141b, R-410a, and R-600a environmental refrigerants, with focus on the effects of their flammability or explosivity at different temperatures and pressures. Experimental results indicate that environmental refrigerants of R-141b and R-600a contain explosive property under normal pressure. The explosion limits of R-600a are between 1.5 to 9 vol.% at 30° Celsius, while the explosion limits of R-141b are between 30 to 41 vol.% at 30° Celsius. However, the upper explosion limit of R-600a increases from 9 to 10 vol.% when temperature is increased from 30 to 120° Celsius. The explosion limits also rise with increasing pressure when initial pressure is raised from 1 to 2 bara; the lower explosion limits of R-600a rise from 1.5 to 2 vol.%, and the upper explosion limits rise from 9 to 10 vol.%. Though R-22, R-134a, and R-410a do not present explosive phenomenon at normal pressure and temperature, R-22 exhibits explosive phenomenon when pressure is increased to 1.5 and 2 bara, its explosion limits then reach 20 to 35 vol.% and 1 to 50 vol.%, respectively.

Explosive behaviors of refrigerants found in this research provide related parameters for operating or maintenance work that can prevent disasters when using R-22, R-134a, R-141b, R-410a, and R-600a.

Keywords: hydrofluorocarbons (HFC's), hazardous explosive characteristics, temperature, pressure, explosion limits

目錄

摘要.....	i
Abstract	ii
目錄.....	iii
圖目錄.....	iv
表目錄.....	vi
第一章 計畫概述.....	1
第一節 前言.....	1
第二節 目的.....	2
第二章 國內外冷媒儲藏其相關安全規範.....	3
第一節 冷媒充填前置作業.....	3
第二節 相關安全措施.....	14
第三章 針對冷媒燃燒爆炸產生之災害提出防止對策.....	16
第一節 實驗材料.....	16
第二節 實驗儀器.....	17
第三節 實驗方法.....	19
第四節 實驗結果.....	27
第四章 工作場所現場訪視.....	41
第五章 結論與建議.....	45
第一節 結論.....	45
第二節 建議.....	45
誌謝.....	47
參考文獻.....	48

圖目錄

圖 1 冷媒回收機示意圖	5
圖 2 可重複充填鋼瓶與一次用鋼瓶對照圖	5
圖 3 抽真空示意圖	7
圖 4 液體充填冷媒示意圖 [7]	8
圖 5 氣體充填冷媒示意圖 [7]	9
圖 6 檢視窗觀察法示意圖 [7]	10
圖 7 火焰探漏器 [7]	11
圖 8 電子探漏器 [7]	11
圖 9 電冰箱冷媒系統示意圖 [8]	13
圖 10 電冰箱冷媒充填配管狀態 [8]	14
圖 11 氮氣充灌示意圖 [8]	14
圖 12 一般環保冷媒種類	16
圖 13 實驗裝置示意圖	18
圖 14 20 升爆炸鋼球實體圖	19
圖 15 實驗流程圖	24
圖 16 理想氣體方程式試算表	25
圖 17 不同體積濃度 R-134a 爆炸昇壓速率	30
圖 18 不同溫度 R-141b 爆炸界限	31
圖 19 不同體積濃度 R-410a 爆炸昇壓速率 (常溫、常壓)	32
圖 20 不同體積濃度 R-410a 爆炸昇壓速率 (常溫、1.5 bara)	33
圖 21 不同體積濃度 R-410a 爆炸昇壓速率 (常溫、2.0 bara)	34
圖 22 R-410a 於 1.5 bara 下燃燒爆炸測試原始數據截圖	35
圖 23 R-410a 於 2.0 bara 下燃燒爆炸測試原始數據截圖	35
圖 24 不同溫度 R-600a 爆炸界限	36
圖 25 不同壓力 R-600a 爆炸界限 (常溫)	37
圖 26 R-600a 於 1.5 bara 下燃燒爆炸測試原始數據截圖	38

圖 27 R-600a 於 2.0 bara 下燃燒爆炸測試原始數據截圖	38
圖 28 不同壓力 R-22 爆炸界限 (常溫)	39
圖 29 R-22 於 1.5 bara 下燃燒爆炸測試原始數據截圖	40
圖 30 R-22 於 2.0 bara 下燃燒爆炸測試原始數據截圖	40
圖 31 拆解廢棄冷氣及電冰箱工作平台	42
圖 32 拆解廢棄冷氣及電冰箱工作平台側面圖	42
圖 33 現場工作人員拆解廢棄電冰箱冷媒系統示意圖	43
圖 34 冷媒回收機及冷媒回收鋼瓶	43
圖 35 廢棄冰箱破碎機	44

表目錄

表 1 冷媒爆炸國內災例整理	2
表 2 媒種類與回收機停機壓力及再啟動壓力對照表	4
表 3 實驗用藥品與氣體鋼瓶資料	16
表 4 冷媒種類爆炸特性參數整理	21
表 5 冷媒種類比熱與燃燒熱參數整理	21
表 6 冷媒種類不同溫度燃燒界限整理	22
表 7 判定是否產生爆炸現象的準則 [14]	26
表 8 常溫常壓下不同環保冷媒燃燒爆炸特性參數實驗結果	29

第一章 計畫概述

第一節 前言

冷媒在冷凍空調設備上的應用相當廣泛，如今現代人類能食用新鮮的食材與享有良好的生活環境，冷凍空調設備在背後扮演了重要的功臣，而冷媒是冷凍空調技術中不可或缺的元素。早期的冷媒為氟氯碳化物 (CFC-11, CFC-12, CFC-113, CFC-114, CFC-115) 因被科學家發現會破壞臭氧層且可在臭氧層長時間停留，於是在 1989 年蒙特婁議定書生效後即被禁用[1]，改用零臭氧消耗潛能 (Ozone depletion potential, ODP)、可接受的全球暖化潛能 (Global warming potential, GWP) 及高性能係數 (Coefficient of performance, COP) 之環保冷媒 [2]。

現今環保冷媒廣泛運用在汽車、冰箱、冷氣機、除濕機以及飲水機等民生常用之器具、交通工具上。環保冷媒可略分為兩類：HCs (Hydrocarbons) 與 HFCs (Hydrofluorocarbons)，HCs 為碳氫冷媒，如 R-290, R600, 及 R-600a；HFCs 為氫氟烴冷媒，如 R-134a, R-125, 及 R-152a [2]，然而從分子結構上看，環保冷媒無論是 HCs 或 HFCs 皆具有 C 與 H 原子，因此環保冷媒可能有燃燒爆炸之危險性。

冷媒爆炸相關災例時有所聞，以下為近年冷媒爆炸災例簡述並整理於表 1：

2012 年 9 月 28 日，位於台北市中山區緯○科技有限公司沈姓業者在進行冷氣機冷媒洩漏測試時，將空氣灌入冷氣機後加壓測漏，待找到冷媒洩漏點後進行焊補作業時發生爆炸，爆炸原因可能為尚未將加壓空氣完全洩壓完畢即進行焊補，導致銅管處與冷氣散熱片爆炸並炸傷沈姓業者 [3]；2013 年 7 月，位於台南一間幼稚園一名冰箱維修工人在幼兒園廚房進行冰箱充罐冷媒作業，疑似操作不當，冰箱整個炸開，維修工人送醫後因傷重不幸往生 [4]。2013 年 9 月 12 日，位於台北市博愛路的國防部忠愛營區，晚間工人在進行冷媒充灌的過程中不慎起火爆炸，造成 6 人送醫急救，起火

原因疑為管件內高壓 R-22 冷媒洩漏再與空氣混合後接觸到電氣箱內電氣火花而造成爆炸，爆炸同時噴濺到礦物油而加熱燃燒，致使溫度升高 [5]。

由以上災例可看出在冷媒充填作業具有危險性，容易因為焊接作業或是冷媒充灌管線安置錯誤而造成爆炸之危險，因此本研究先針對冷媒填充作業技術資料及相關安全措施之文獻蒐集，以瞭解在冷媒填充作業為何會引起爆炸之風險因子，接著使用 20 升爆炸鋼球量測數種環保冷媒 (R-22, R-134, R-141b, R-410a, 及 R-600a) 不同環境條件下 (不同溫度及壓力) 之燃燒爆炸特性，最後則進行冷媒作業環境現場實地訪視與輔導，使相關業者瞭解環保冷媒之燃燒爆炸危險性並加以防範。

表 1 冷媒爆炸國內災例整理

日期	地點	死亡	受傷
9/28/2012	台北市	N/A	1
7/2012	台南縣	1	N/A
9/12/2013	台北市	2	4

第二節 目的

本研究透過運用 20 升爆炸鋼球 (20-L apparatus) 針對市售之環保冷媒 (R-22, R-134a, R-141b, R-410a, 及 R-600a) 進行不同環境條件下燃燒爆炸特性試驗，包括常溫、常壓下不同溫度、及常溫加壓環境下等不同環境條件，以獲得上述環保冷媒之燃燒爆炸特性參數，如爆炸上限 (Upper explosion limit, UEL)、爆炸下限 (Lower explosion limit, LEL)、最大爆炸壓力 (Maximum explosion pressure, P_{max}) 及最大爆炸壓力上昇速率 (Rate of maximum explosion pressure rise, $(dP dt^{-1})_{max}$) 等燃燒爆炸特性參數。透過燃燒爆炸特性參數的取得，可提供給冷媒儲存、運輸及相關冷凍空調設備安裝、維修技術人員參考，降低不可預期之職災發生之風險。

第二章 國內外冷媒儲藏其相關安全規範

第一節 冷媒充填前置作業

在進行冷媒充填作業前，須將空調冷凍設備內之舊冷媒進行回收，以下為冷媒回收標準作業程序 [6]:

- 一、回收機將回收系統壓力抽至停機設定值時，回收程序初步完成。冷媒系統有時會因回收機功能或工作閥安裝位置，致使只能回收氣態冷媒，系統內壓力會因冷媒相態改變產生降溫及降壓現象，因此在回收過程中應適當的加熱被回收系統，以提高回收效率與避免損壞系統。
- 二、回收完成時應稍候一段時間，觀察系統壓力有無上升，確定系統內已無冷媒繼續蒸發。當系統壓力達到再啟動值時，回收機將會再次運轉至壓力達停機值為止。表 1 為冷媒種類與回收機停機壓力及再啟動壓力對照表，圖 1 為冷媒回收機示意圖。
- 三、而在進行冷媒回收作業時，應使用可再次充填之鋼瓶，避免使用市售之一次使用的冷媒鋼瓶進行回收，因一次用之鋼瓶裝有逆止閥，無法使冷媒進入，會造成回收機高壓過高。
- 四、將冷媒回收進鋼瓶時，鋼瓶液態充填量應小於 80%，以免發生液壓過高而爆炸，圖 2 為可重複充填鋼瓶與一次用鋼瓶對照圖 [6]。

表 2 媒種類與回收機停機壓力及再啟動壓力對照表

冷媒種類	R-11	R-123	R-12	R-134a	R-22	R-407C	R-410A	R-408	R-404A	R-500
回收機停機壓力 (mmHg 錶壓)	-600	-600	-200	-200	-200	-600	-600	-600	-600	-200
回收機再啟動壓力 (kg/cm ² 錶壓)	-100 mm Hg	-100 mmHg	0.6	0.6	0.6	0.3	0.3	0.3	0.3	0.6

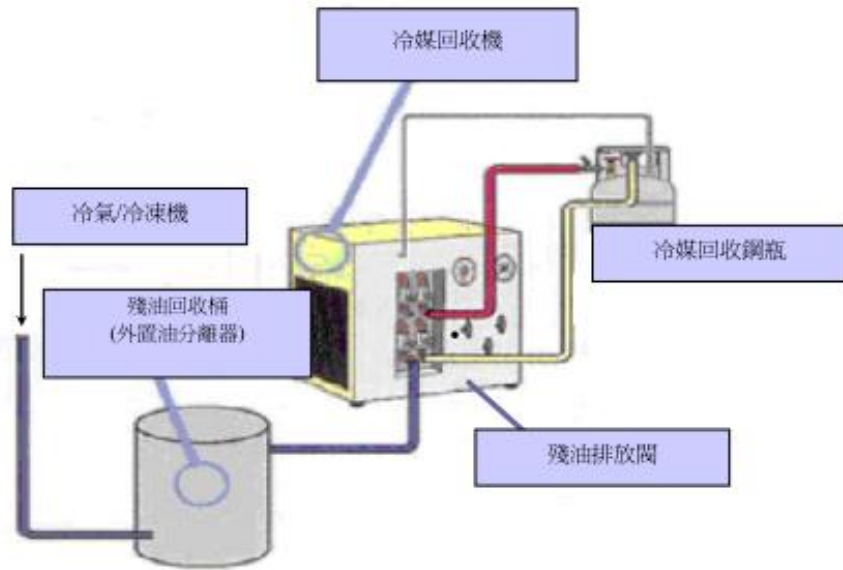


圖 1 冷媒回收機示意圖



可重複充填鋼瓶



一次用鋼瓶

圖 2 可重複充填鋼瓶與一次用鋼瓶對照圖

一、冷媒填充方式依充填之機器種類而有所不同，不過冷媒填充技術皆大同小異，本文將冷媒 填充技術區分為: 1. 汽車冷媒填充技術；2. 家用小型冷凍空調系統冷媒 填充技術 [7, 8]：

(一)汽車冷媒填充技術 [7]

1. 當新裝冷媒或冷媒系統檢修完畢在充填冷媒前，必須先抽真空，運用高性能真

空泵將冷媒系統內的空氣抽除，防止系統殘留水分，以下為抽真空步驟:

- (1) 關閉複合錶的高壓 (Hi) 與低壓 (Lo) 控制閥。
- (2) 充填管 (紅) 接壓縮機高壓側工作閥。
- (3) 充填管 (藍) 接壓縮機低壓側工作閥。
- (4) 複合錶 (歧管壓力錶) 的中央充填管 (黃) 接至真空泵。
- (5) 打開複合錶的高壓控制閥 (Hi)、低壓控制閥 (Lo)，必須注意複合錶的高壓錶上沒有真空刻度時，不可打開高壓控制閥。
- (6) 打開真空泵開關，開始抽真空，約 15 分鐘。
- (7) 抽至低壓錶的真空到達 750 mmHg 以上時，先關閉高、低壓控制閥，在關閉真空泵。
- (8) 完成抽真空程序後，必須進行氣密試驗，在複合錶高低壓控制閥均關閉之狀態下，放置 5 分鐘以上，確認壓力錶的指針是否上升，如壓力錶指針上升 (真空度降低)，表示冷氣系統洩漏，需做檢修。圖 3 為抽真空示意圖 [7]。

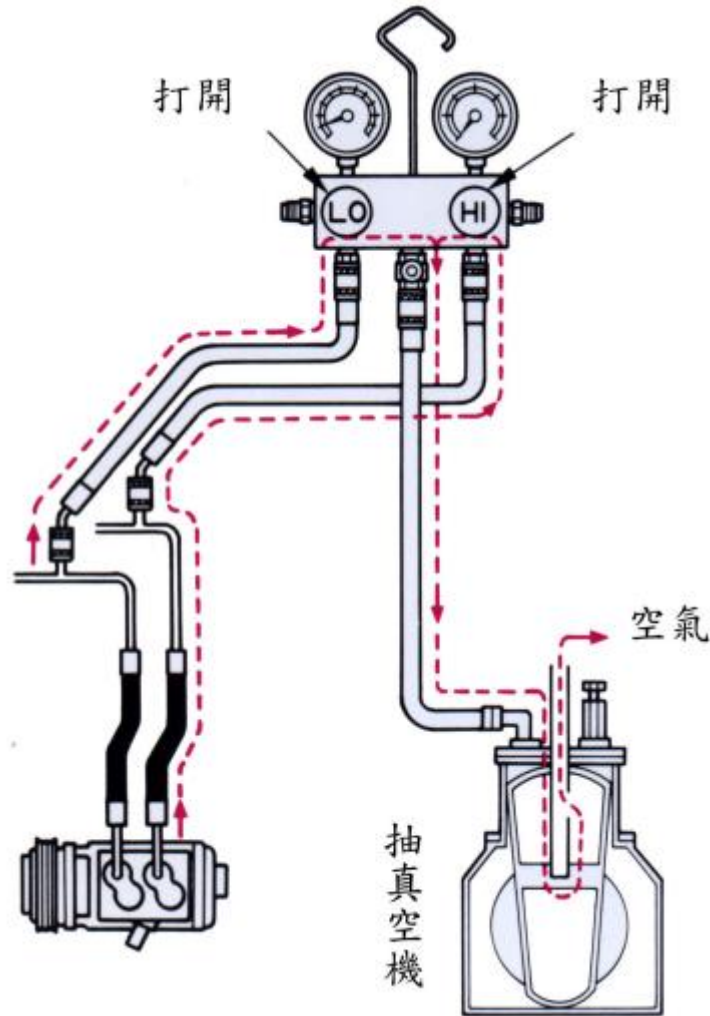


圖 3 抽真空示意圖

2. 充填冷媒方式依液態冷媒與氣態冷媒略有不同，氣態冷媒從高壓側、低壓側都可充填，而液態冷媒只能從高壓側充填，以下為充填冷媒方式 [7]:

(1) 從高壓側 (液態) 充填

- a. 將複合錶中央充填管從真空泵上拆除，裝於冷媒罐上 (此時高、低壓控制閥均在關閉狀態)。
- b. 打開冷媒罐控制閥，再旋鬆複合錶側中央充填管的固定螺帽 (如錶上有放氣塞可直接使用)，利用冷媒壓力將充填管內空氣排除，聽到噓噓聲時冷媒及空氣一同送出，再將固定螺帽旋緊。
- c. 打開高壓控制閥，將冷媒罐倒置於磅秤上，充填入廠家規定冷媒量，如無法衝入

適當的冷媒量，則需使用氣態充填補足。

- d. 進行冷媒充填時，壓縮機禁止運轉，因壓縮機運轉時會造成冷媒逆流，會造成冷媒罐與填充管破裂，非常危險。
- e. 複合錶之低壓控制閥不可打開，打開時易造成壓縮機吸入液態冷媒而壓縮，損壞氣閥。
- f. 關閉高壓控制閥與冷媒控制閥
- g. 檢查高低壓錶之壓力是否合乎廠家規定值，圖 4 為液體充填冷媒示意圖 [7]。

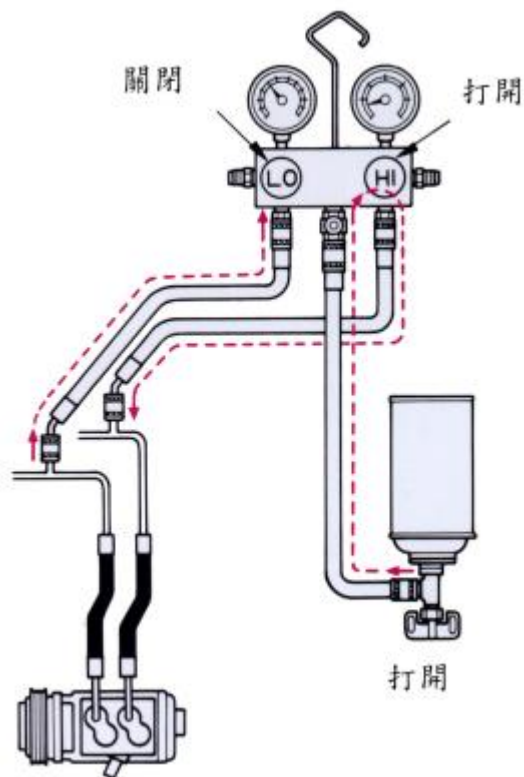


圖 4 液體充填冷媒示意圖 [7]

(2) 從低壓側 (氣態) 充填 [7]

- a. 將複合錶中央充填管從真空泵上拆除，裝於冷媒罐上，此時高、低壓控制閥均再關閉狀態。
- b. 打開冷媒罐控制閥，再旋鬆複合錶側中央充填管的固定螺帽，利用冷媒壓力將充填管內空氣排除，聽到噓噓聲時冷媒與空氣一起送出，再將固定螺帽旋緊。

- c. 打開高低壓控制閥，使氣態冷媒充填入冷氣系統，待充入適當冷媒後，關閉高低壓控制閥。
- d. 打開複合錶的低壓控制閥與冷媒罐控制閥，充填冷媒至儲液筒檢視窗的氣泡消失為止。
- e. 關閉低壓控制閥及冷媒罐控制閥。
- f. 檢查高低壓錶的壓力是否合乎廠家規定值。
- g. 使用冷媒探漏器檢查冷媒是否洩漏，圖 5 為氣體充填冷媒示意圖 [7]。

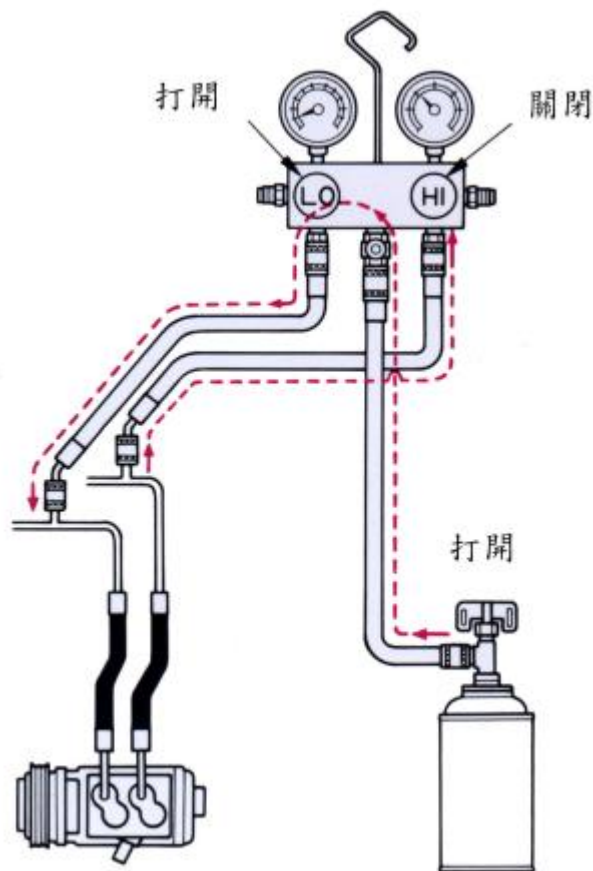


圖 5 氣體充填冷媒示意圖 [7]

- 3. 當冷媒充填完畢之後，應進行測漏 [7]
 - (1) 若為填充汽車冷媒，可利用檢視窗觀察法，藉由觀察檢視窗內的情形，來判斷冷媒存量，圖 6 為檢視窗觀察法示意圖。
 - (2) 填充汽車冷媒完畢後，可運用火焰探漏器檢查。首先清潔可能洩漏的部分，接

著發動引擎使冷氣運轉高壓側壓力升高後熄火，檢查高壓側，待兩側壓力平衡後，檢查低壓側，再來調整控制閥將反應板燒紅，並調整火焰長度高於反應板約 25 mm，移動樣品收集管在系統組件或接頭之下方（因冷媒較空氣重），最後觀察火焰之顏色來判斷：無洩漏淡藍色，少量漏氣淡綠色，中度漏氣藍色，大量漏氣為紫色，圖 7 為火焰探漏器。

- (3) 運用電子探漏器試漏，將探漏器吸入口接觸可能洩漏地方停留 2-3 秒，若有蜂鳴聲響，表示洩漏，圖 8 為電子探漏器。
- (4) 運用肥皂水探漏，將肥皂水塗抹於可能洩漏之地方，若有洩漏則會有氣泡產生。
- (5) 冷媒液染色法，可先將冷媒染色液加入冷媒中，接頭若有洩漏則可看到染色液顏色痕跡 [7]。

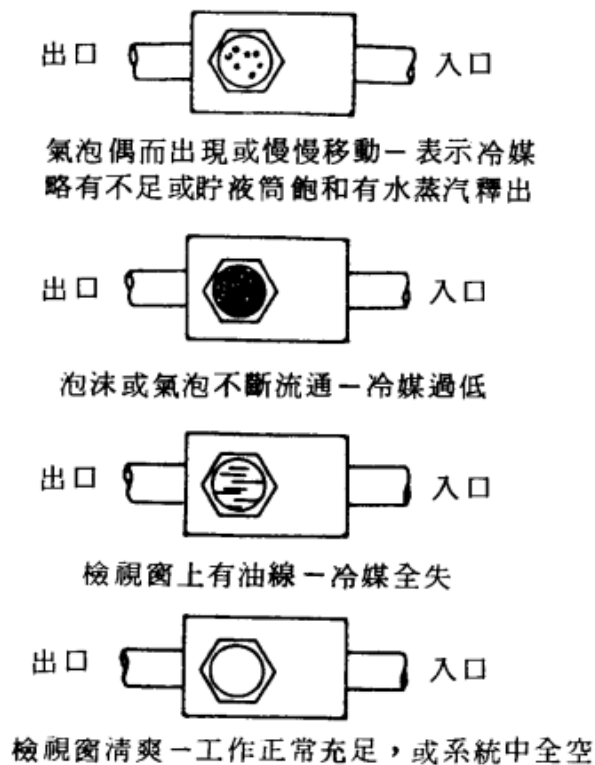


圖 6 檢視窗觀察法示意圖 [7]

丙烷火焰探漏器

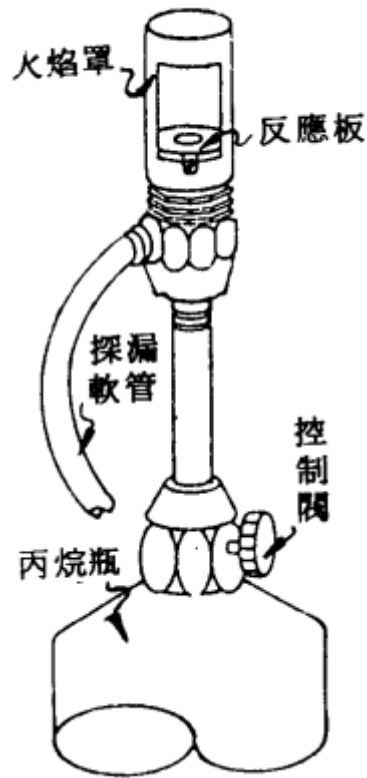


圖 7 火焰探漏器 [7]

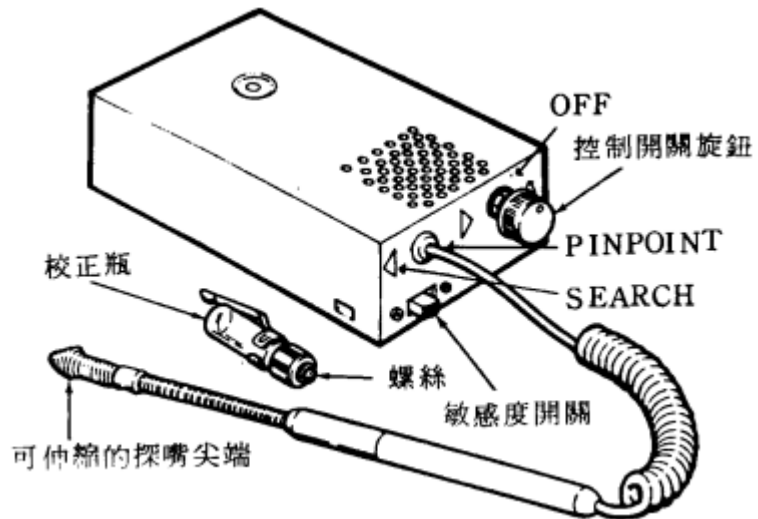


圖 8 電子探漏器 [7]

二、小型冷凍空調系統

小型冷凍空調系統包含：電冰箱、窗型冷氣機、氣冷分離式冷氣機、除濕機及飲水機，而這些小型冷凍空調設備冷媒填充技術大同小異，以下小型冷凍空調系統冷媒填充技術以電冰箱作為範例 [8]，圖 9 為電冰箱示意圖

(一)電冰箱填充冷媒時應注意：

1. 配管焊接時以氮氣充吹，防止氧化膜阻塞毛細管。
2. 針對改善真空度之對策，將複合壓力錶組之真空泵用螺栓設備處追加氣門以防止不凝縮氣體空氣侵入。
3. 壓縮機所填充冷媒用之工具與乾燥器必須專用，工具包含：快速接頭、真空泵、壓力計導管、氣門類、充灌筒等，新品須以酒精洗淨，禁止使用油品；乾燥器從包裝解開到焊接、抽真空必須在 15 分鐘內處理完畢，圖 10 為電冰箱冷媒充填配管狀態。
4. 焊接時清潔劑禁止使用，使用水溶性之清潔劑焊接系統，會有水分進入系統內之虞慮，為避免飲水中之氟氯素進入冷凍系統內，所以禁止使用。
5. 管路焊接時使用充氮氣焊接，為避免毛細管因管內氧化垢阻塞，所以焊接時須以氮氣吹充（充氮焊接）。
6. 注意真空度要求，冷凍系統中之空氣（尤其是氧氣存在時）會使酯類油氧化，氧化後之油與金屬產生化學反應變成氟化金屬，是造成毛細管阻塞原因之一 [8]。

(二)充氮氣焊接之順序 [8]

1. 取壓縮機、乾燥器。
2. 將壓縮機固定於基板上。
3. 將乾燥器、毛細管連接部位以外其他配管全部連接。
4. 壓縮機之充灌管接氮氣筒、壓力約 800 kPa (約 8 kg/cm²) 管內氮氣流量充 3-5 秒，氮氣充法如圖 11。

5. 將乾燥器、毛細管連接部位以外其它配管全部焊接。
6. 將乾燥器、毛細管連接部配管焊接
7. 將壓縮機之充灌管接氮氣，壓力約 1,000 kPa (約 10 kg/cm²) 並用肥皂水測漏，若發現漏氣，漏氣部位之肥皂水須擦乾淨再把氮氣降低，防止水分侵入配管內 [8]。

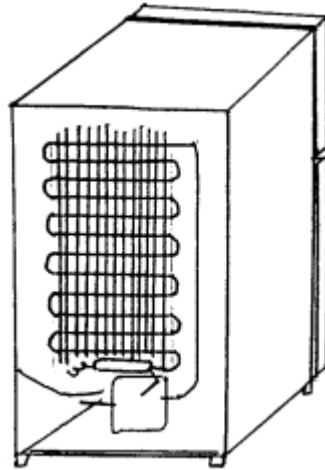


圖 9 電冰箱冷媒系統示意圖 [8]

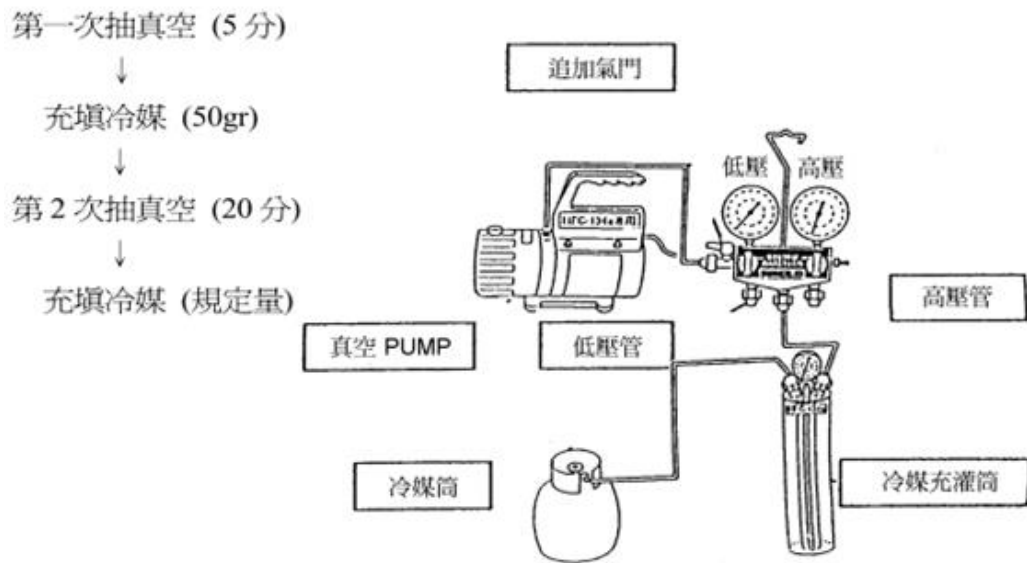


圖 10 電冰箱冷媒充填配管狀態 [8]

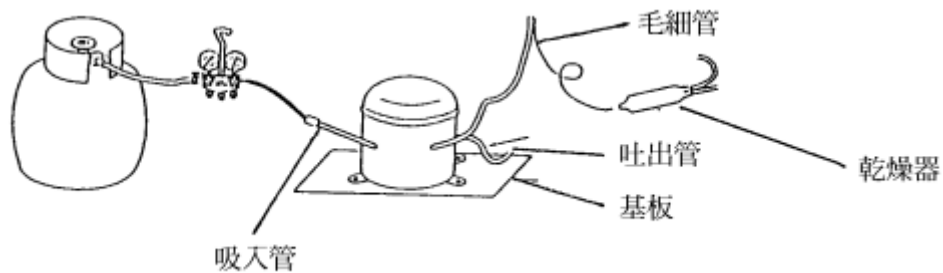


圖 11 氮氣充灌示意圖 [8]

第二節 相關安全措施

一、 進行冷媒填充作業時，須保持工作區域通風良好

在常溫常壓下，冷媒氣體分子量較空氣平均分子量重，可排除室內空氣而以引起窒息，保持通風可稀釋冷媒並防止吸入冷媒與火焰接觸時所產生之有毒氣體。

二、 從事冷氣系統或接近冷氣系統工作時，要戴護目鏡

因冷媒蒸發速度很快，一旦接觸會遭到凍傷，若不小心接觸到眼睛，會遭受嚴重傷害。

三、 準備冷水與稀硼酸水在手邊，若冷媒接觸到眼睛，請勿揉眼，應立即大量冷水沖

洗眼睛，使溫度升高，接著用大量的硼酸水沖洗，沖洗後並立即就醫。

四、避免皮膚接觸到冷媒

若皮膚接觸到冷媒，依冷媒接觸到眼睛緊急處理辦法進行處理。

五、避免把冷媒排放在工作區域內與有火源的地方。

六、搬運冷媒桶 (或小罐) 時避免強烈震動。

七、冷媒儲存環境避免火源與熱源

假如過度受熱 (如強烈陽光直射)，冷媒鋼瓶的安全塞有可能被吹掉，因此保險螺帽應經常蓋好。若工作中冷媒桶需要加熱，應使用溫水或溫濕布，絕不可使用火炬、瓦斯爐、蒸氣清洗機等加熱，且冷媒桶絕對不可加熱至 52 °C (125 °F) 以上。

八、避免把冷媒桶完全灌滿，要留有冷媒受熱膨脹之空間，以避免爆炸之危險。

九、避免冷媒氣體在狹窄空間作業，當冷媒氣體外洩時會造成空間中氧氣濃度降低，最壞之狀況會因缺氧而造成死亡。

十、更換壓縮機冷媒時，務必使用冷媒回收設備

(一) 有壓縮機吐出管逆止閥 (或關斷閥) 液管關斷閥之系統，可先進行冷媒泵集 (非維修冷凝器時)

(二) 大型冷媒系統可先使用冷媒液泵，將液態冷媒泵出至冷媒儲槽，再使用冷媒回收機進行液/氣態冷媒回收

(三) 冷媒回收期間，水冷式熱交換器之水測循環務必開啟，以免熱傳管因水凍結而破管 [6-10]。

第三章 針對冷媒燃燒爆炸產生之災害提出防止對策

第一節 實驗材料

本研究運用 20 升爆炸鋼球 (20-L apparatus) 對市售常見之不同環保冷媒 (R-134a, R-141b, R410a, R-600, 及 R-22), 如圖 12 所示, 而本研究所使用到之藥品與氣體濃度如表 3。

表 3 實驗用藥品與氣體鋼瓶資料

氣體名稱	供應商	濃度
R-134a (F ₃ CCH ₂ F)	呈州冷凍材料行	99.9 mass%
R-141b (CH ₃ CCl ₂ F)	呈州冷凍材料行	99.9 mass%
R-410a (50% CH ₂ F ₂ /50% CHF ₂ CF ₃)	華陞冷凍材料行	99.9 mass%
R-600a (C ₄ H ₁₀)	華陞冷凍材料行	99.9 mass%
R-22 (CHClF ₂)	華陞冷凍材料行	99.9 mass%
空氣 (Air)	冷研科技股份有限公司	壓縮空氣



圖 12 一般環保冷媒種類
左上至右下依序為 R-134a, R-141b, R-410a, R-600a, 及 R-22

第二節 實驗儀器

本研究選用 20 升爆炸鋼球量測環保冷媒燃燒爆炸特性，以下為 20 升爆炸鋼球介紹：

20 升爆炸鋼球在國際上具有公信力，此儀器主要遵循美國材料與測試協會 (American Society for Testing and Materials, ASTM) 與德國工程師協會 (Verein Deutscher Ingenieure, VDI) 所制訂之規範。

測定燃燒爆炸界限之儀器尚有 1 公升、5 公升以及本實驗所使用之 20 公升為主，早期亦有體積較龐大的 1 m³ 的量測裝置；1 公升儀器為圓柱體，只能使用在測定爆炸界限，且最大爆炸壓力的測定尚無法規認可，並不如我們使用的 20 公升爆炸鋼球所求的參數；5 公升的測試儀器雖符合 NFPA 68 規定與 20 公升同樣為圓球狀，且將其容積提昇到 5 公升，但其裝置為玻璃材質，僅適用於常壓下，容易有裝置破裂的風險，且較無法模擬在工廠內的實際製程條件；此外 1 m³ 的裝置由於體積過大與成本過高兩項缺點在一般實驗室使用上仍有眾多困難，因此採用 20 升爆炸鋼球為主要裝置，不但耐溫或耐壓方面表現都較佳。

20 升爆炸鋼球國外多用於粉塵爆炸量測，但可進行改良，改良後也可用來量測可燃性氣體或揮發性液體之燃燒爆炸參數。本研究儀器設備包含以下 4 個系統：

- 一、溫度系統：恆溫油浴槽利用真空泵將熱煤油導進鋼球之夾層內，鋼球有一 1.5 公升之內襯緣壁可使熱煤油上下循環對流，可使鋼球加熱提昇溫度並維持在實驗所需之溫度，且可移除爆炸瞬間所產生之熱量，可使實驗結果更準確。所使用的熱煤油為 Therminol 66 (簡稱 T-66)，其操作溫度範圍為 0–345 °C 且具有低黏度，優點為熱傳導係數高、熱穩定性良好以及有效防止產生碳化物，因此適用於密閉式間接加熱系統，而熱煤油輸出的管線材質為不鏽鋼管。
- 二、壓力系統：鋼球材質為不鏽鋼，可承受最大爆炸壓力為 24.5 bara，而鋼球內部裝

設有 2 支可承受 39 bara 之壓力計，可用來量測爆炸瞬間所產生之爆炸壓力。

三、點火系統: 點火系統選用 KESP 320，點火方式為使用 KSEP 6.0f 軟體操作點火步驟使鐵釘尖端放電點火，點火能量為 10 J。

四、數據傳輸系統: 搭配原廠 KSEP 320 點火器控制鐵釘尖端放電點火，並透過 KSEP 332 壓力傳輸器將量測到的壓力數據傳回電腦，最後再使用 KSEP 6.0f 軟體進行數據計算。控制系統與裝置配置圖如下圖 13 所示，20 升爆炸鋼球如圖 14 所示。

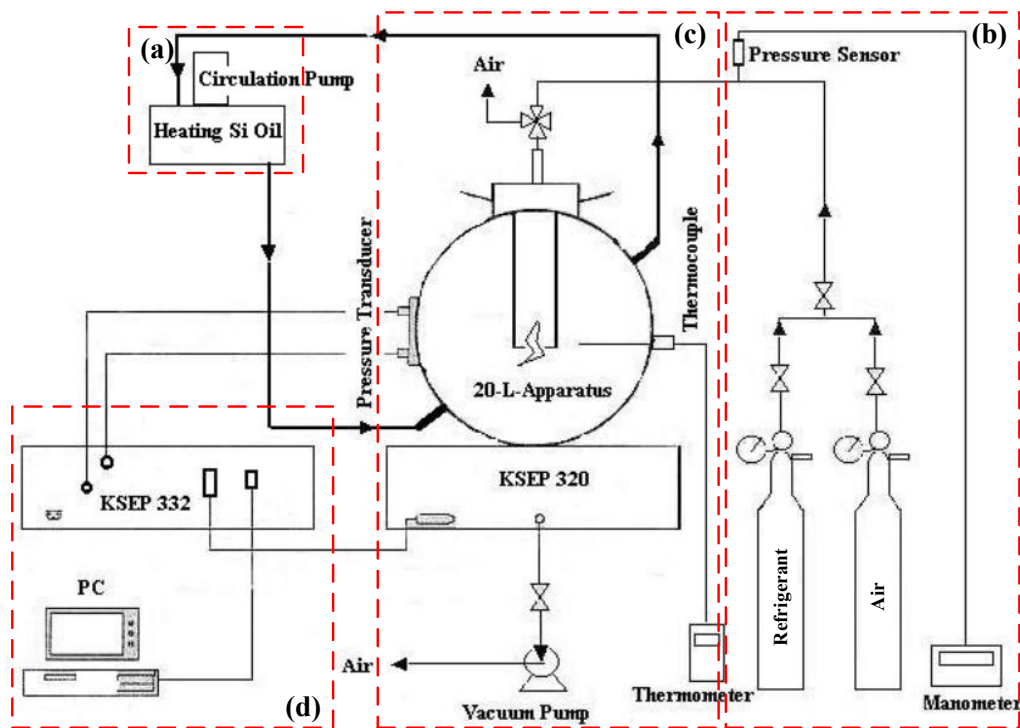


圖 13 實驗裝置示意圖

(1) 溫度系統 (2) 壓力系統 (3) 點火系統; 與 (4) 數據傳輸系統



圖 14 20 升爆炸鋼球實體圖

第三節 實驗方法

一、環保冷媒爆炸上下限參數

首先查閱 R-134a, R-141b, R410a, R-600, 及 R-22 等 5 種環保冷媒安全資料表，確認此 5 種冷媒是否有燃燒爆炸特性，另外，對於物質安全資料表上無燃燒爆炸特性之環保冷媒，則運用理論燃燒爆炸上下限公式 [11] 進行計算，理論燃燒上下限公式如下：



$$z = m + \frac{x}{4} - \frac{y}{2} \quad (2)$$

$$LEL = \frac{0.55(100)}{4.76m + 1.19x - 2.38y + 1} \quad (3)$$

$$UEL = \frac{3.50(100)}{4.76m + 1.19x - 2.38y + 1} \quad (4)$$

表 4 為物質安全資料表所提供之燃燒爆炸特性參數與理論燃燒爆炸上下限參數，以便對實驗實際值做對照。

而日本 Kondo 學者在 2012 年也針對環保冷媒之燃燒界限進行相關研究，在該文獻中運用 White's rule 進行環保冷媒在不同溫度下之理論燃燒界限進行推導而得出下列公式 [12]:

$$L = L_{25} - \frac{100C_{p,L}}{Q} (t - 25) \quad (5)$$

$$U = U_{25} \left[1 + \frac{100C_{p,L}}{L_{25} \cdot Q} (t - 25) \right] \quad (6)$$

其中，L 為燃燒下限，L₂₅ 為在 25 °C 下燃燒界限 (vol.%)，C_{p,L} 為燃料氣體之比熱 (J K⁻¹ mole⁻¹)，Q 為燃料氣體之燃燒熱 (kJ mole⁻¹)，而本研究則運用上述之公式進行環保冷媒不同溫度之理論燃燒界限之計算，本研究所使用之環保冷媒比熱與燃燒熱總結於表 5，而公式計算結果如表 6，而該公式計算不同溫度理論燃燒界限之限制為該物質在常溫 (25 °C) 時須有燃燒界限，對於物質安全資料表上無載明燃燒界限之 R-410a 與 R-22 則不能透過該公式估算不同溫度之燃燒界限。

表 4 冷媒種類爆炸特性參數整理

冷媒種類	分子式	燃燒爆炸界限 (vol.%)	
		物質安全資料表	理論燃燒爆炸公式
R-134a	F ₃ CCH ₂ F	<i>LEL</i> : None	<i>LEL</i> : 4.3
		<i>UEL</i> : None	<i>UEL</i> : 27.1
R-141b	C ₂ H ₃ Cl ₂ F	<i>LEL</i> : 7.4	<i>LEL</i> : 3.9
		<i>UEL</i> : 15.5	<i>UEL</i> : 24.8
R-410a	50 mass%		
	CH ₂ F ₂	<i>LEL</i> : None	<i>LEL</i> : 6.8
	50 mass%	<i>UEL</i> : None	<i>UEL</i> : 43
R-600a	CHF ₂ CF ₃		
	C ₄ H ₁₀	<i>LEL</i> : 1.8	<i>LEL</i> : 1.7
		<i>UEL</i> : 8.4	<i>UEL</i> : 11
R-22	CHClF ₂	<i>LEL</i> : None	<i>LEL</i> : 4.7
		<i>UEL</i> : None	<i>UEL</i> : 30

表 5 冷媒種類比熱與燃燒熱參數整理

冷媒種類	C _{p,L} (kJ K ⁻¹ mole ⁻¹)	Q (kJ mole ⁻¹)
R-134a	0.078	864
R-141b	0.140	917.4
R-410a	0.061	-
R-600a	0.097	2856.6
R-22	0.057	190.234

表 6 冷媒種類不同溫度燃燒界限整理

冷媒種類	燃燒界限 (vol.%)			
	30 °C	60 °C	90 °C	120 °C
R-134a	7.32–18.01	7.05–18.65	6.77–19.3	6.50–19.94
R-141b	7.32–15.66	6.88–16.62	6.42–17.57	5.98–18.53
R-410a	N/A	N/A	N/A	N/A
R-600a	1.78–8.48	1.68–8.96	1.57–9.43	1.48–9.92
R-22	N/A	N/A	N/A	N/A

二、環保冷媒燃燒爆炸上下限實驗方法

本實驗依照 ASTM 所訂定 E681-09 [13] 針對化學品 (蒸氣與氣體) 易燃性濃度界限之方法進行實驗。實驗所需求之燃料/空氣比例藉由分壓方法獲得，實驗進行時，先打開真空抽氣泵將鋼球內之氣壓抽至 0.132 bar，接著將閥打開使冷媒鋼瓶內冷媒氣體抽取進鋼球內至實驗所需求之體積分壓，再將空氣鋼瓶內之空氣抽取進鋼球使鋼球內部總壓力為 1 bara，最後靜置 1 分鐘使鋼球內部之氣體均勻混合後再進行點火，實驗相關流程如圖 15，而燃料體積所需之分壓則利用理想氣體方程式進行計算，圖 16 為理想氣體方程式試算表。

$$PV = nRT \quad (7)$$

P: 氣體所需分壓 (atm)

V: 20 升爆炸鋼球體積 (20 L)

n: 氣體莫耳數 (mole)

R: 理想氣體常數 ($0.082 \text{ atm L mole}^{-1} \text{ K}^{-1}$)

T: 實驗所需之溫度 (K)

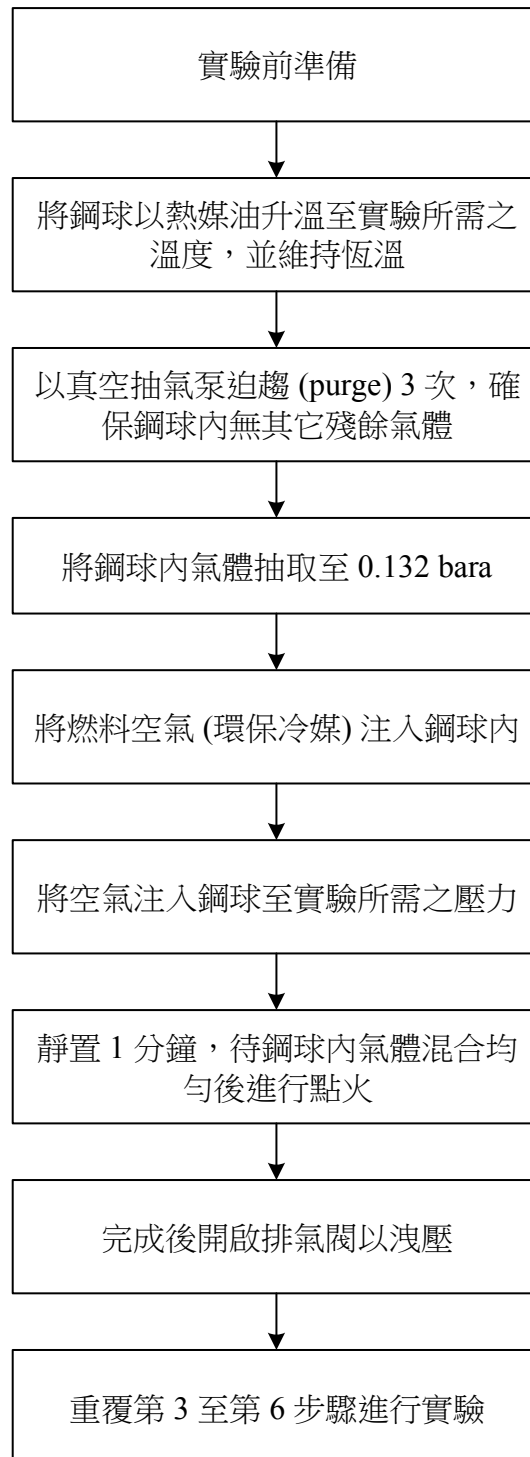


圖 15 實驗流程圖

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1		PV=NRT												
2		P (Torr)	P (atm)	V (L)	N (mole)	R ((atm*L/ T (K)	T (C)	vol. (%)						
3	氣體分壓	145.92	0.192	20	0.157145	0.082	298	25	12.8					
4	氣體總壓	1140	1.5	20	1.227697	0.082	298							
5														
6														
7														
8														
9														
10														
11														
12														

圖 16 理想氣體方程式試算表

其中 vol.% 為燃料氣體體積分率，輸入實驗所需之體積分率後求燃料氣體之莫耳數，計算方法為 $n_{\text{fuel gas}} = \text{vol.}\% / 100 * n_{\text{total gas}}$ ，最後再換算燃料氣體所需分壓 $P = nRT/V$

三、燃燒爆炸現象判定

燃燒爆炸參數主要以 *UEL* 與 *LEL* 為主要參數，測定方法如下：

先以冷媒安全資料表上提供之數值或冷媒理論燃燒爆炸上下限數值進行點火測試，若觀察無引爆現象，則開始以大範圍測試，依照安全資料表上提供之爆炸上限或冷媒理論燃燒爆炸上限之數值以每次增加或減少 0.1–0.5 vol.% 進行測試，尋找爆炸上限數值，當發現連續三次以上均無法引爆則往下一個能夠引爆之值，直至引爆為止，而產生引爆現象之上一個點則為 *UEL*；而測試 *LEL* 方法亦同。表 7 為判定是否產生爆炸現象之準則。

表 7 判定是否產生爆炸現象的準則 [14]

IE*=10 J	爆炸過壓 (P_{ex})	正確爆炸過壓 (P_m)	現象判定
爆炸上下限測試	< 0.1 bar	< 0.1 bar	無引爆現象
	\geq 0.1 bar	\geq 0.1 bar	有引爆現象

IE* 為點火能量

第四節 實驗結果

以下分別敘述 R-134a, R-141b, R410a, R-600, 及 R-22 等 5 種環保冷媒實際燃燒爆炸特性參數之實驗結果，實驗結果總結於表 8。

一、R-134a

R-134a 在物質安全資料表上並無記載燃燒爆炸上下限，而經理論燃燒爆炸公式計算之結果 *LEL* 為 4.3 vol.% *UEL* 為 27.1 vol.%，運用 20 升爆炸鋼球於常溫常壓下進行測試，而實驗值也顯示 R-134a 在常溫常壓下並無爆炸現象，圖 17 為 R-134a 爆炸昇壓曲線，由圖可看出即使在理論燃燒爆炸範圍內 (4.3–27.1 vol.%) 並無爆炸現象，而持續增加樣品濃度達 80% 也無爆炸現象產生。

二、R-141b

R-141b 在物質安全資料表上所記載燃燒爆炸上下限為 7.4–15.5 vol.%，運用 20 升爆炸鋼球進行測試後發現物質安全資料表之數值與實驗值有所不同，爆炸上下限實驗值為 30–41 vol.%，圖 18 為 R-141b 不同溫度 (30, 60, 及 90 °C) 下之爆炸界限，由圖中可看出 R-141b 在不同溫度下 *UEL* 維持在 41 vol.%，至於 *LEL* 則有些許變動。

三、R-410a

R-410a 同樣在物質安全資料表上並無記載燃燒爆炸上下限，而經理論燃燒爆炸公式計算之結果 *LEL* 為 6.8 vol.% *UEL* 為 43 vol.%，運用 20 升爆炸鋼球於常溫常壓下進行測試，而實驗值也顯示 R-410a 在常溫常壓下並無爆炸現象，圖 19 為 R-410a 爆炸昇壓曲線，由圖可看出即使在理論燃燒爆炸範圍內 (6.8–43 vol.%) 並無爆炸現象，將樣品濃度提升至 50 vol.% 及 80 vol.% 也無爆炸現象產生。圖 20 及圖 21 為 R-410a 在常溫、不同壓力下 (1.5 與 2.0 bara) 之爆炸升壓速率圖，從圖中可看出 R-410a 在加壓環境下雖然也無爆炸現象產生 (並無明顯之爆炸波)，但相對於常溫、常壓而言，在加壓環境下爆炸升壓速率圖形較常溫、常壓下小波

鋒多且凌亂，小波峰峰值也較常溫、常壓下為略高，顯示 R-410a 在加壓環境下燃燒現象較常溫常壓下劇烈。

四、R-600a

R-600a 為異丁烷 (Isobutane) 於物質安全資料表上記載之燃燒爆炸上下限為 1.8–8.4 vol.%，而經 20 升爆炸鋼球實際測試後，實驗值為 1.5–9 vol.%，顯示實驗值與物質安全資料表上所提供之燃燒爆炸特性參數相近，圖 22 為不同溫度 (30, 60, 90, 及 120 °C) R-600a 爆炸特性曲線，由圖 23 可明顯的看出隨著溫度升高 *UEL* 也隨著升高，從 9 vol.% 上昇至 10 vol.%，而 *LEL* 則維持在 1.5 vol.%。圖 7 為不同壓力環境 (1, 1.5, 及 2 bara) R-600a 冷媒爆炸界限，由圖中可看出 *LEL* 與 *UEL* 皆會隨著壓力增加而上昇，從常壓加壓至 2 bara，*LEL* 由 1.5 上升至 2 vol.%，*UEL* 則從 9 上昇至 10 vol.%。

五、R-22

R-22 在物質安全資料表上也無記載燃燒爆炸上下限，而經理論燃燒爆炸公式計算之結果 *LEL* 為 4.7 vol.% *UEL* 為 30 vol.%，經 20 升爆炸鋼球於常溫常壓下進行測試，而實驗值也顯示 R-22 在常溫常壓下並無爆炸現象，與物質安全資料表及相關文獻相符。圖 24 為 R-22 在不同壓力環境 (1, 1.5, 及 2 bara) 下 R-22 冷媒爆炸界限，由圖可看出 R-22 在常溫、常壓下無爆炸現象，但隨著壓力提升至 1.5 及 2 bara 則出現了爆炸現象，R-22 冷媒在 1.5 bara 爆炸界限為 20–35 vol.%，當壓力提昇至 2 bara 爆炸界限則為 1–50 vol.%，爆炸區域擴大許多，這可能原因為在壓力較高情況下，R-22 冷媒分子更易燃燒甚至於爆炸。

表 8 常溫常壓下不同環保冷媒燃燒爆炸特性參數實驗結果

冷媒種類	燃燒爆炸特性參數		
	爆炸界限 (vol.%)	最大爆炸壓力 (bar)	爆炸壓力上昇速率 (bar/ms)
R-134a	N/A	N/A	N/A
R-141b	<i>LEL: 30</i> <i>UEL: 41</i>	5	1148
R-410a	N/A	N/A	N/A
R-600a	<i>LEL: 1.5</i> <i>UEL: 9</i>	8	142
R-22	N/A	N/A	N/A

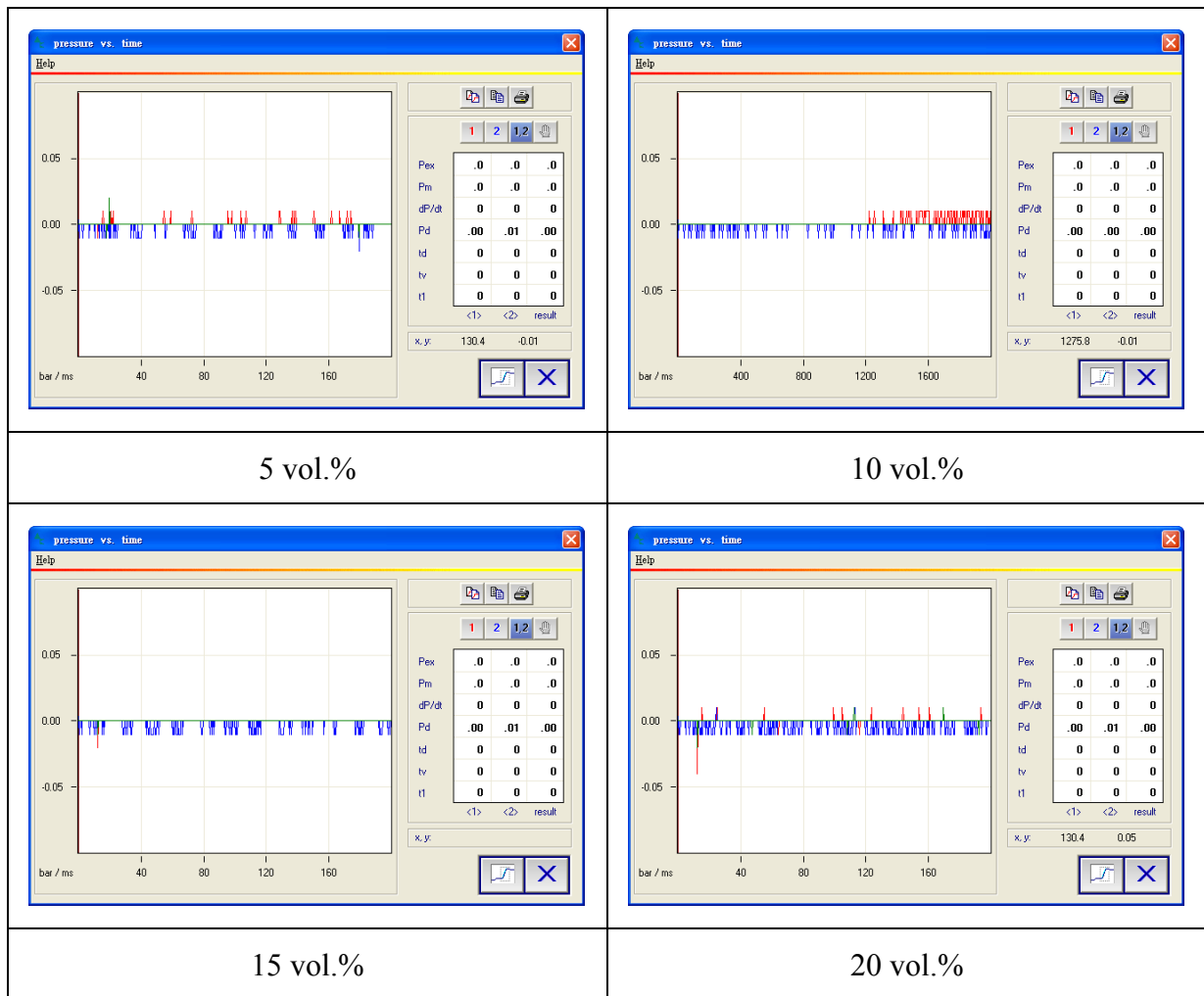


圖 17 不同體積濃度 R-134a 爆炸昇壓速率

圖中 x 軸代表時間，單位為毫秒 (ms)，y 軸為爆炸壓力，單位為巴 (bara)，圖中紅色與藍色曲線為樣品經點火爆炸後運用 KSEP 6.0f 軟體進行數據計算，右方表格第一列為紅色曲線數據，第二列為藍色曲線數據，第三列為總結紅色數據與藍色數據之結果，因此觀察樣品是否有產生燃燒爆炸現象則看第三列，第三列中 P_{ex} 與 P_m 之數值需 ≥ 0.1 才可判定為有產生爆炸現象。

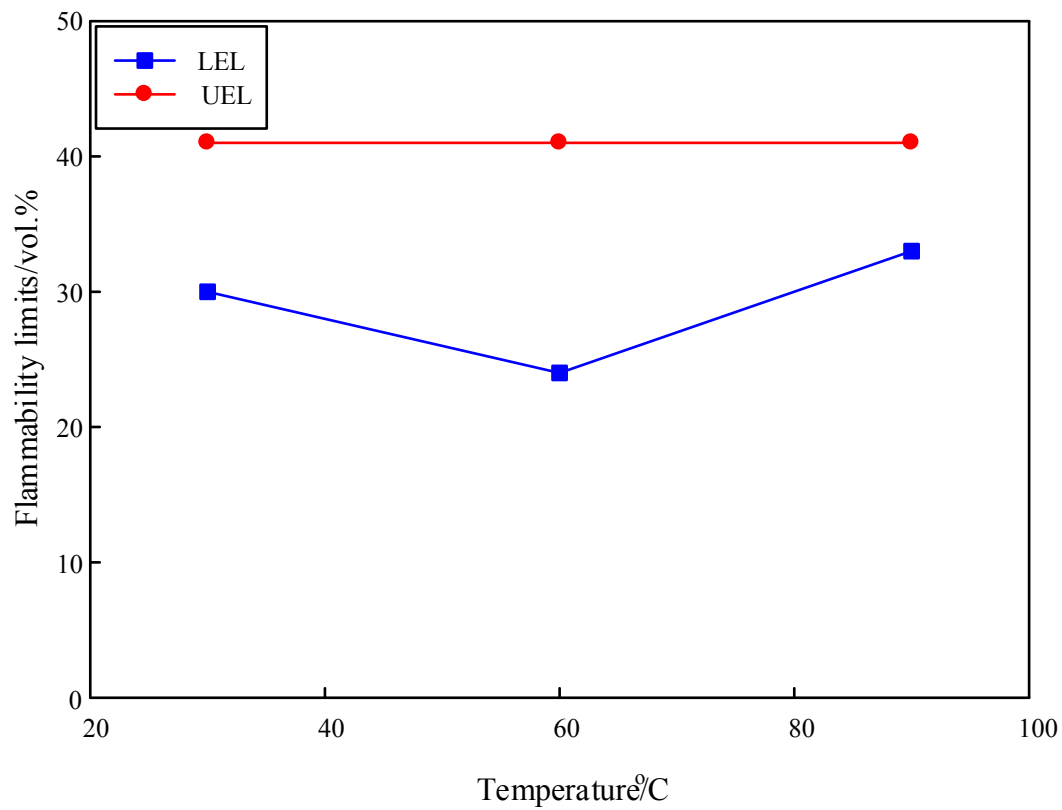


圖 18 不同溫度 R-141b 爆炸界限

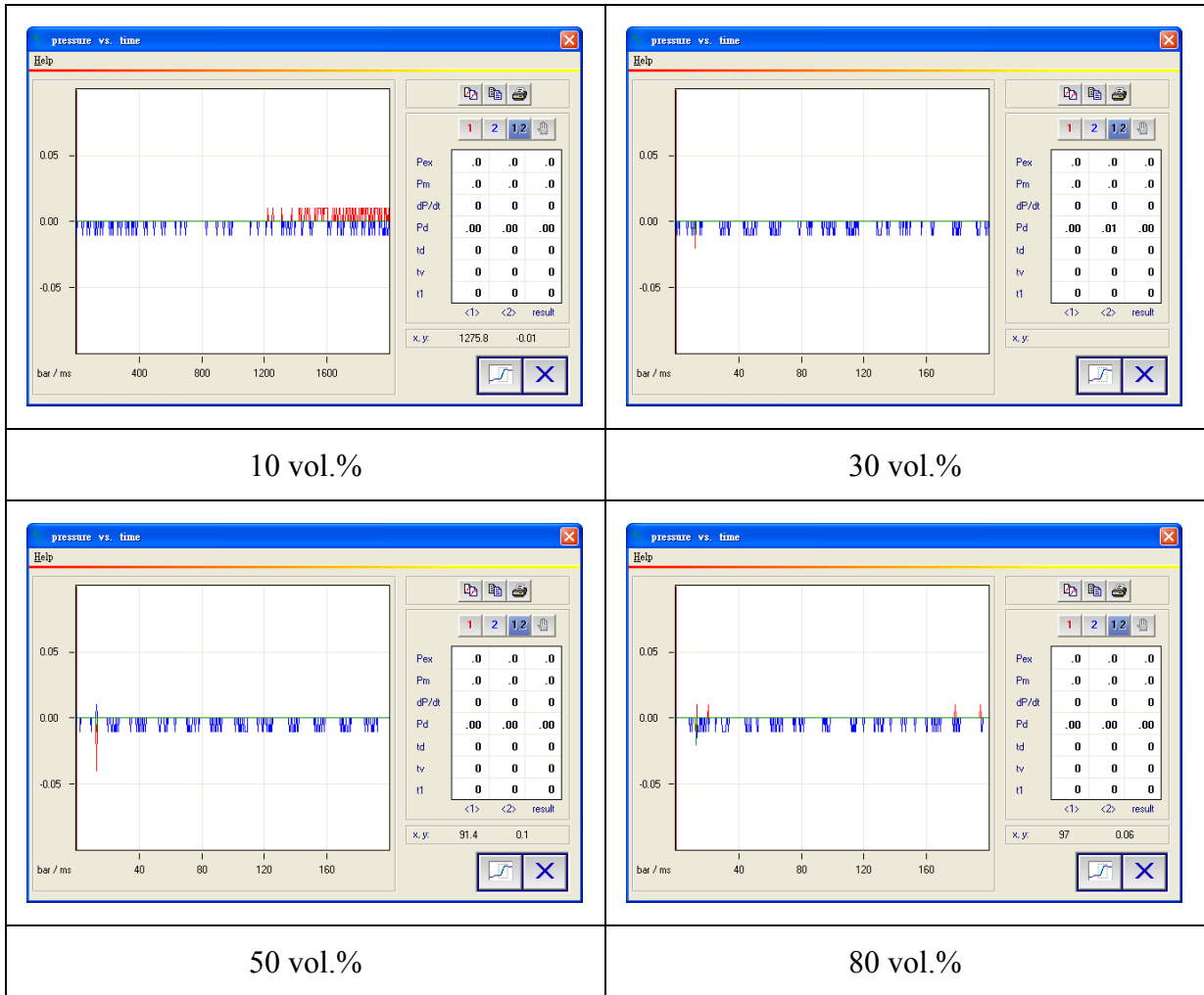


圖 19 不同體積濃度 R-410a 爆炸昇壓速率 (常溫、常壓)

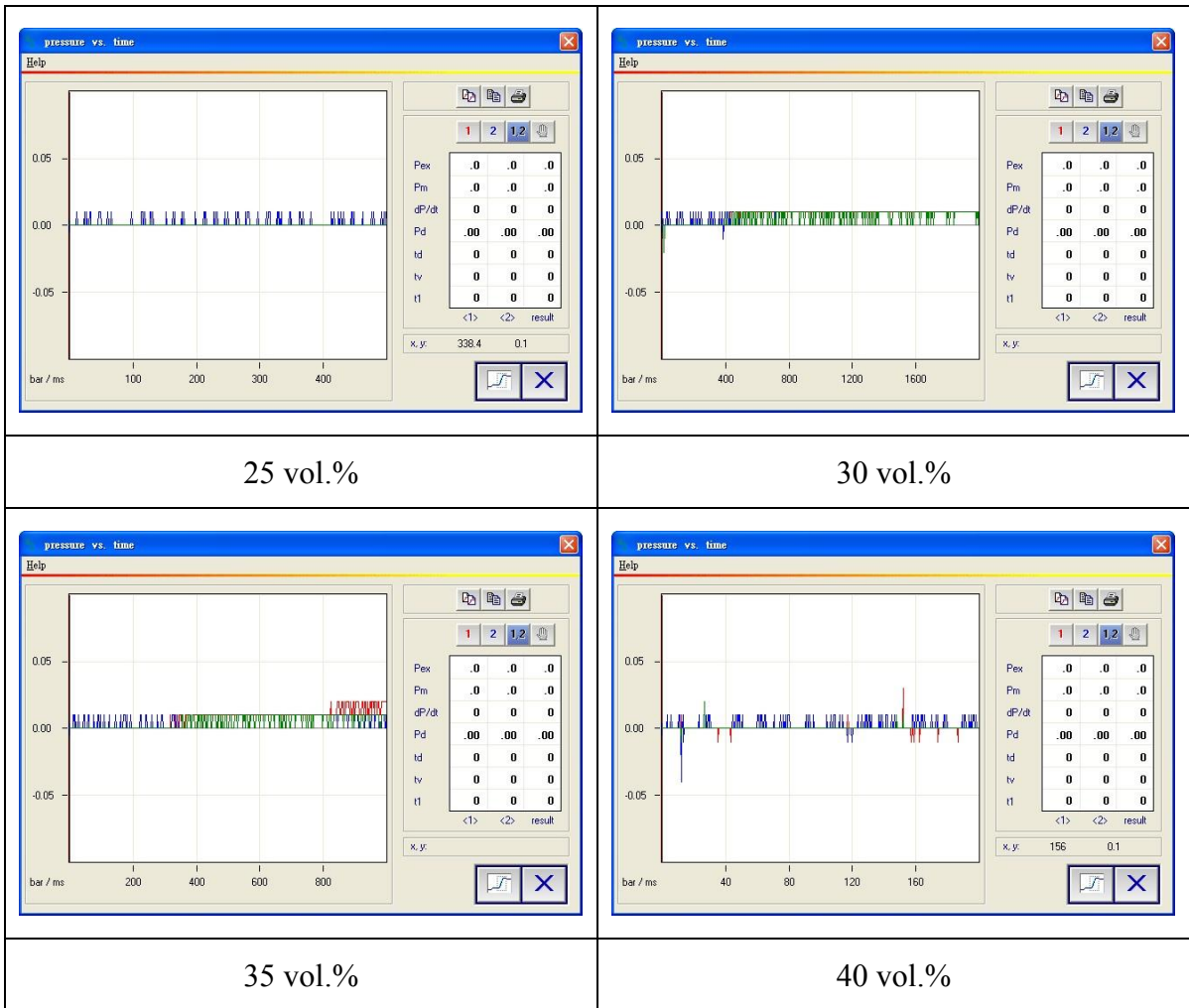


圖 20 不同體積濃度 R-410a 爆炸昇壓速率 (常溫、1.5 bara)

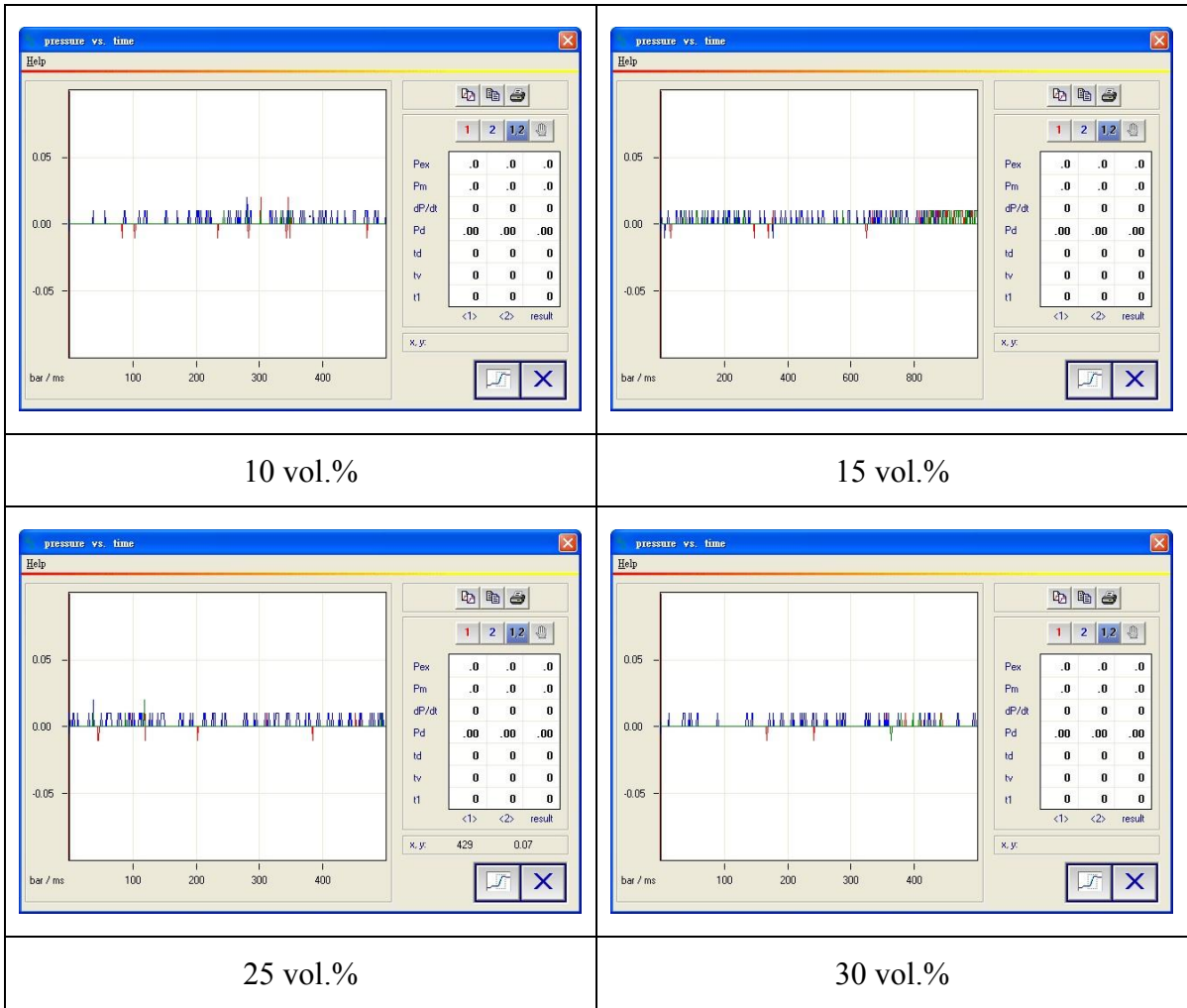


圖 21 不同體積濃度 R-410a 爆炸昇壓速率 (常溫、2.0 bara)

KSEP 6.0 f

File Report Tools Help Exit

20141210-r410a-1.5atm Gas, Solvent

test	conc.	Pm	dP/dt	t1	tv	IE	O2
1	20.0	.0	0	0	0	10J	
2	20.0	.0	0	0	0	10J	
3	20.0	.0	0	0	0	10J	
4	10.0	.0	0	0	0	10J	
5	10.0	.0	0	0	0	10J	
6	5.0	.0	0	0	0	10J	
7	5.0	.0	0	0	0	10J	
8	25.0	.0	0	0	0	10J	
9	25.0	.0	0	0	0	10J	
10	30.0	.0	0	0	0	10J	
11	30.0	.0	0	0	0	10J	
12	35.0	.0	0	0	0	10J	
13	35.0	.0	0	0	0	10J	
14	35.0	.0	0	0	0	10J	

[series] vol% bar bar/s ms ms J %

K332-9717

圖 22 R-410a 於 1.5 bara 下燃燒爆炸測試原始數據截圖

KSEP 6.0 f

File Report Tools Help Exit

20141210-r410a-2atm Gas, Solvent

test	conc.	Pm	dP/dt	t1	tv	IE	O2
1	20.0	.0	0	0	0	10J	
2	20.0	.0	0	0	0	10J	
3	25.0	.0	0	0	0	10J	
4	25.0	.0	0	0	0	10J	
5	15.0	.0	0	0	0	10J	
6	15.0	.0	0	0	0	10J	
7	30.0	.0	0	0	0	10J	
8	30.0	.0	0	0	0	10J	
9	30.0	.0	0	0	0	10J	
10	10.0	.0	0	0	0	10J	
11	10.0	.0	0	0	0	10J	
12	10.0	.0	0	0	0	10J	

[series] vol% bar bar/s ms ms J %

K332-9717

圖 23 R-410a 於 2.0 bara 下燃燒爆炸測試原始數據截圖

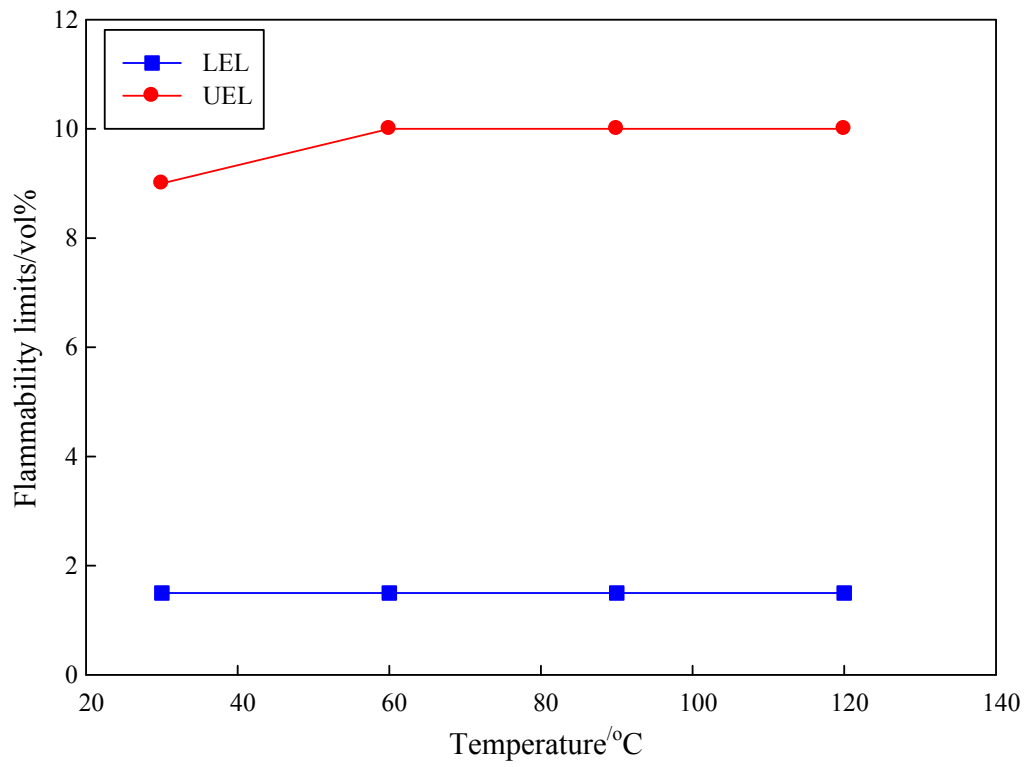


圖 24 不同溫度 R-600a 爆炸界限

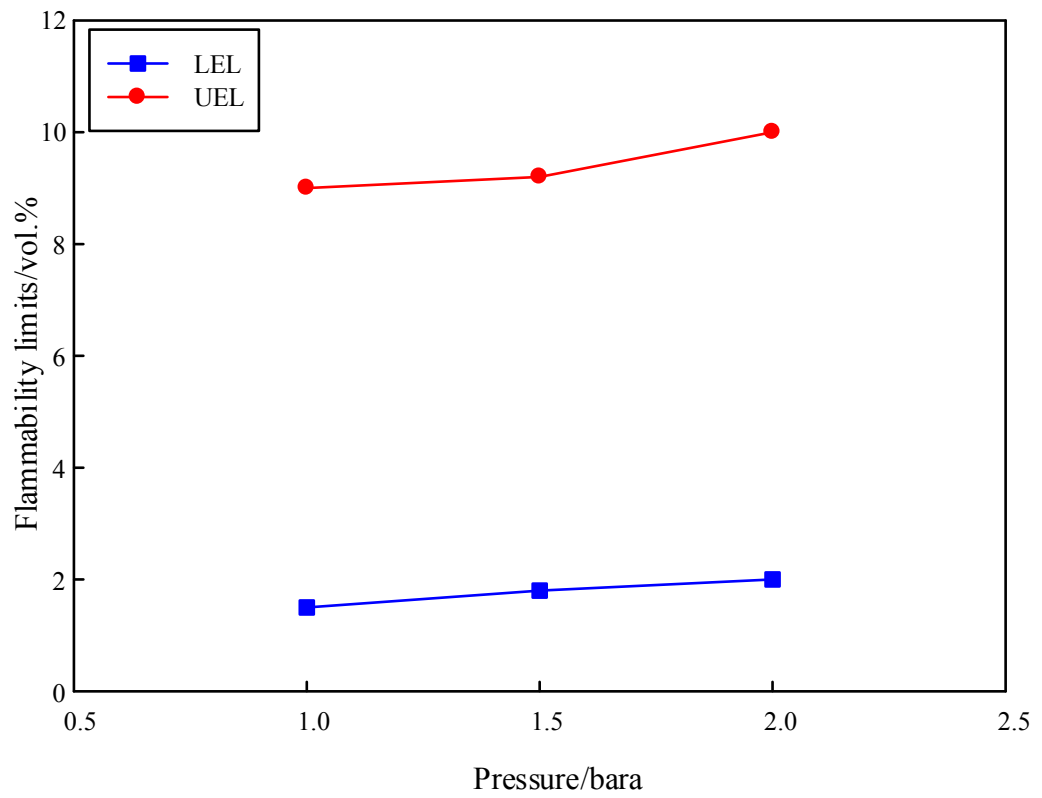


圖 25 不同壓力 R-600a 爆炸界限 (常溫)

KSEP 6.0 f

File Report Tools Help Exit

20141202-r600a-1.5atm Gas, Solvent

test	conc.	Pm	dP/dt	t1	tv	IE	O2
16	1.9	.0	0	0	0	10J	
17	1.9	.0	0	0	0	10J	
18	1.9	.0	0	0	0	10J	
19	2.0	2.9	8	1464	0	10J	
20	3.0	6.5	88	240	0	10J	
21	4.0	7.9	290	125	0	10J	
22	5.0	7.4	190	184	0	10J	
23	6.0	5.0	54	484	0	10J	
24	7.0	3.1	3	1756	0	10J	
25	8.0	.4	1	969	0	10J	
26	9.0	.1	-1	1050	0	10J	
27	10.0	.0	0	0	0	10J	
28	9.5	.0	0	0	0	10J	
29	4.0	7.9	334	122	0	10J	

[series] vol% bar bar/s ms ms J %

K332-9717

圖 26 R-600a 於 1.5 bara 下燃燒爆炸測試原始數據截圖

KSEP 6.0 f

File Report Tools Help Exit

20141202-r600a-2atm Gas, Solvent

test	conc.	Pm	dP/dt	t1	tv	IE	O2
14	2.0	.0	0	0	0	10J	
15	4.0	11.7	675	419	0	10J	
16	2.0	.0	0	0	0	10J	
17	2.5	13.0	970	445	0	10J	
18	2.1	.1	0	1981	0	10J	
19	3.0	11.2	904	804	0	10J	
20	4.0	.0	0	0	0	10J	
21	10.0	.0	0	0	0	10J	
22	9.5	.0	0	0	0	10J	
23	9.5	.6	2	1142	0	10J	
24	9.5	.1	2	1813	0	10J	
25	9.5	.3	2	1008	0	10J	
26	9.5	.0	0	0	0	10J	

[series] vol% bar bar/s ms ms J %

K332-9717

圖 27 R-600a 於 2.0 bara 下燃燒爆炸測試原始數據截圖

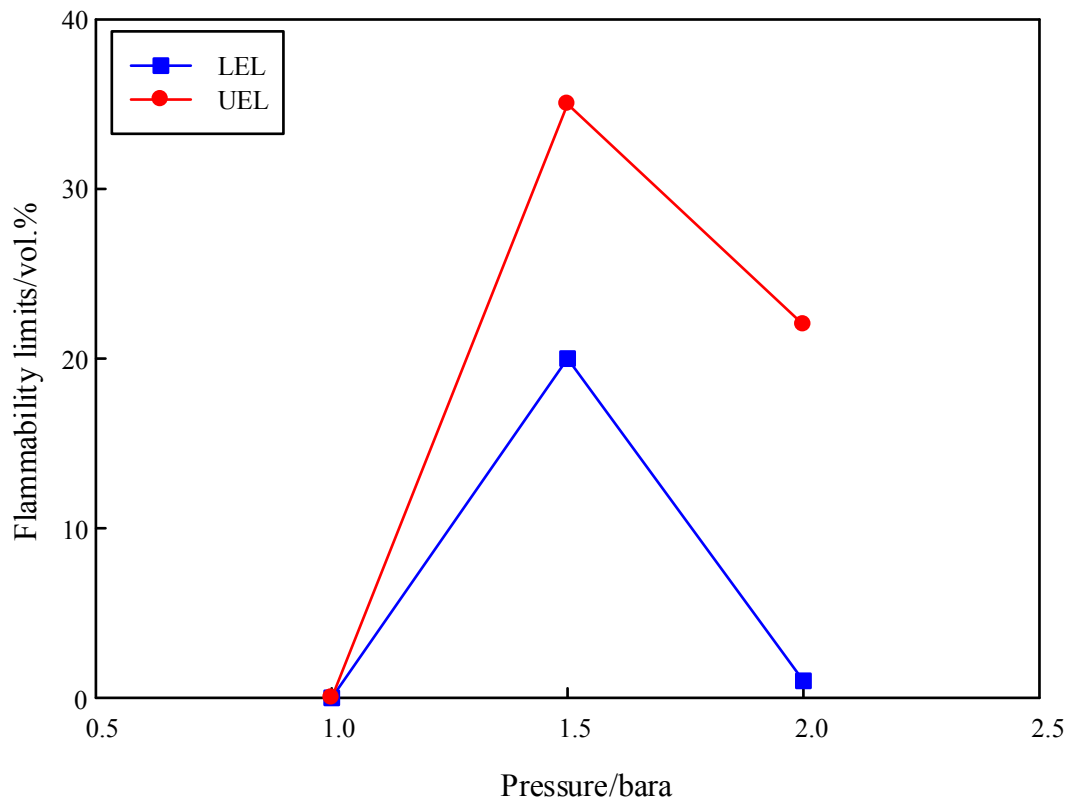


圖 28 不同壓力 R-22 爆炸界限 (常溫)

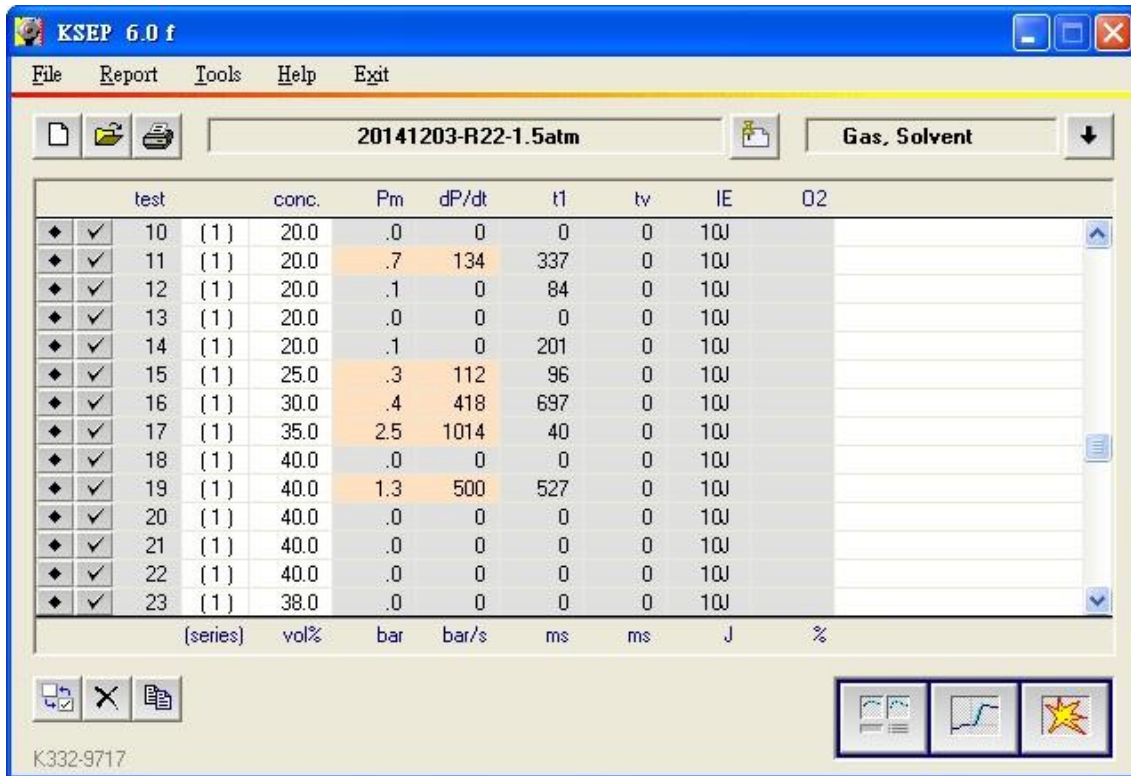


圖 29 R-22 於 1.5 bara 下燃燒爆炸測試原始數據截圖

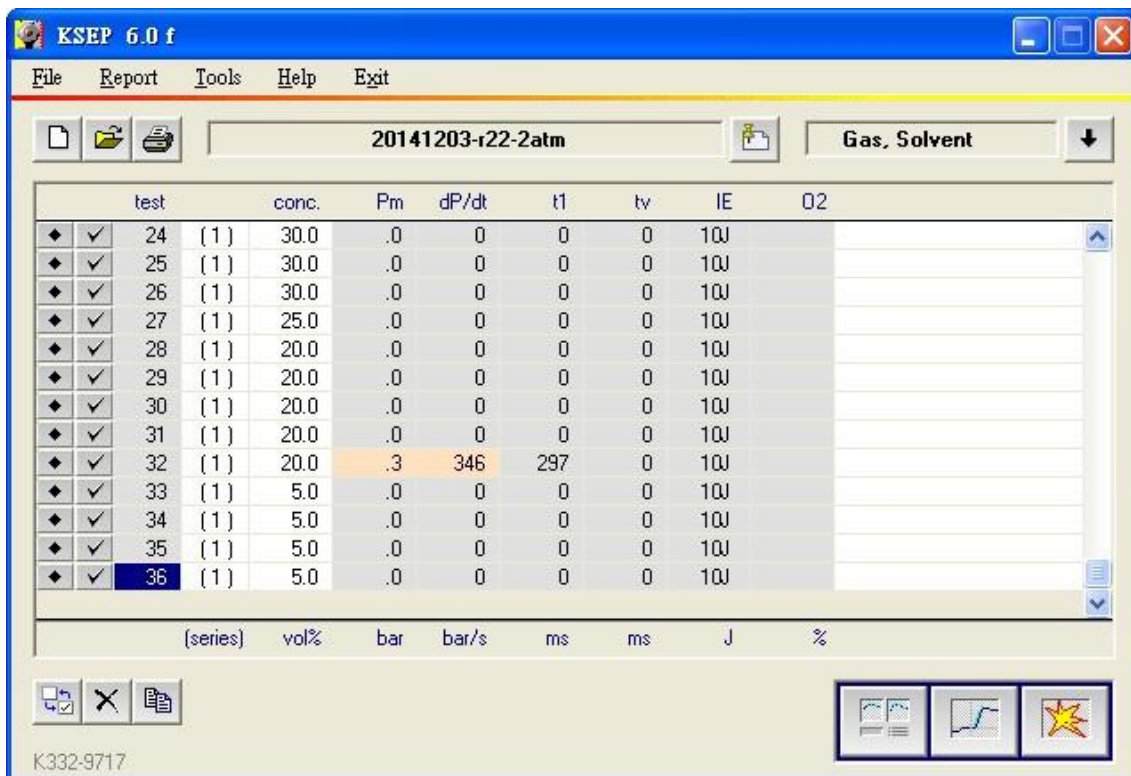


圖 30 R-22 於 2.0 bara 下燃燒爆炸測試原始數據截圖

第四章 工作場所現場訪視

關於冷媒作業環境現場實地訪視之場所位於雲林縣莿桐鄉一家廢家電、廢資訊處理工廠，該工廠主要進行廢棄冷氣、電冰箱拆解與分類回收。而此次現場實地訪視於中華民國 103 年 8 月 8 日計畫主持人偕同行政院環境保護署回收基管會同仁一同進行視察。

圖 25 及圖 26 為拆解廢棄冷氣及電冰箱工作平台及其側面圖，廢棄冷氣及電冰箱會先在此平台上將電冰箱內部及外部可拆解之部分進行拆解。圖 27 為現場工作人員拆解廢棄電冰箱冷媒系統示意圖，現場操作人員會先利用工具剪開冷媒系統之銅管並抽取冷媒，該工具需插電使用以利剪、切、割冷媒系統銅管，圖 28 為冷媒回收系統，工作人員將冷媒系統銅管切開後則接上冷媒回收系統，將壓縮機內冷媒抽取出來，而抽取出來之冷媒則回收進圖 12 之橘色鋼瓶中，而根據現場工作人員表示，抽取出來之冷媒並無依何種冷媒進行分裝儲存，不論為何種冷媒皆回收進橘色鋼瓶中，因此鋼瓶中混有所有種類之冷媒。

最後，將已初步拆解及將壓縮機拆解後之廢棄電冰箱送進圖 29 之破碎機中進行破碎，根據現場工作人員表示，該破碎機運作狀況有如碎紙機，可將廢棄冰箱完整切割、碾碎，而廢棄電冰箱中用來絕熱之泡棉冷媒因無法抽取冷媒則隨著廢棄冰箱一同進行破碎，破碎後依重量及磁選機進行篩選，可大致分成塑膠、金屬、泡棉。根據現場操作人員表示，破碎機在進行破碎時，為避免因切割時所產生之高熱，會不時噴液態氮進行冷卻，且設有過熱警示系統及監視器以便監看破碎機內之情形。

經此次廢棄冷媒作業環境現場實地訪視後，拆解廢棄冷氣、電冰箱之冷媒系統應建立標準程序，使相關操作人員可依循。拆解廢棄冷氣、電冰箱時冷媒系統應避免使用需插電之工具，確實做好冷媒回收程序及冷媒分類工作，並在廢棄電冰箱置入破碎機前確認冷媒系統是否有拆除完成，而廢氣冷媒儲存鋼瓶之存放地點應遠離高溫及會產生火源之環境。另外，廢棄電冰箱裡之泡棉若可拆除，則在廢棄電冰箱置入破碎機

前進行拆除，因泡棉屬易燃性物質，在破碎廢棄電冰箱時會產生高溫及火花，易發生燃燒之危險，應盡量避免泡棉進入破碎機中。

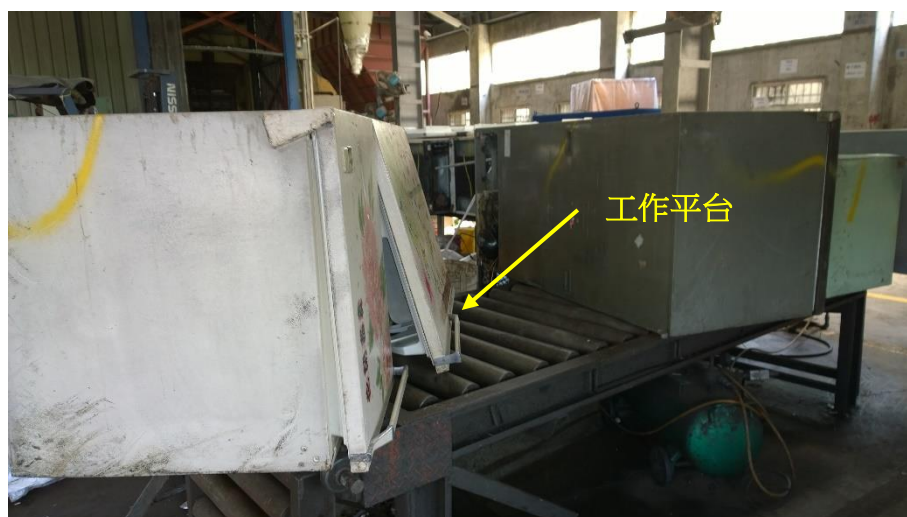


圖 31 拆解廢棄冷氣及電冰箱工作平台



圖 32 拆解廢棄冷氣及電冰箱工作平台側面圖

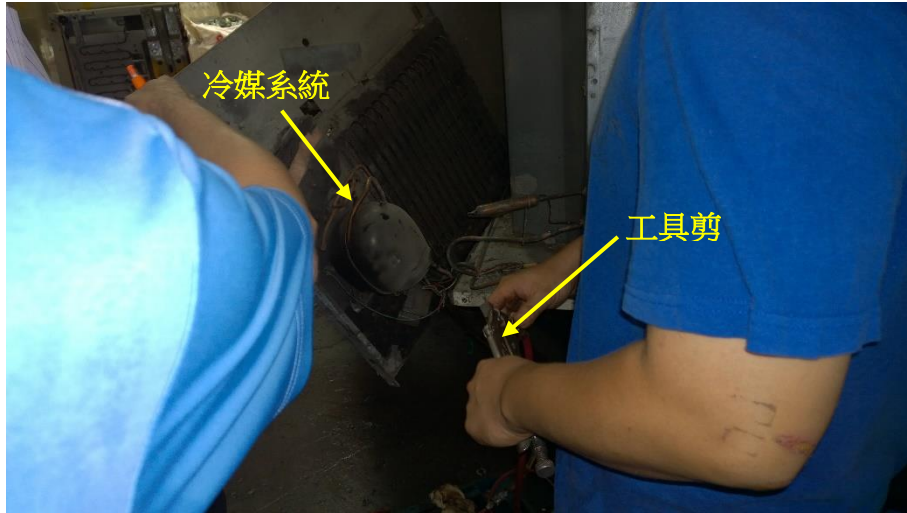


圖 33 現場工作人員拆解廢棄電冰箱冷媒系統示意圖



圖 34 冷媒回收機及冷媒回收鋼瓶



圖 35 廢棄冰箱破碎機

第五章 結論與建議

第一節 結論

- 一、目前的實驗結果指出，環保冷媒僅有 R-141b 與 R-600a 在常溫、常壓下具有爆炸特性。
- 二、R-141b 爆炸上下限為 30–41 vol.%，在不同溫度 (30, 60, 及 90 °C) 爆炸界限方面，R-141b 之 UEL 維持在約 41 vol.%，LEL 則有小幅度變化。
- 三、R-600a 在常溫常壓下爆炸上下限為 1.5–9 vol.%，在不同溫度 (30, 60, 90, 及 120 °C) 爆炸界限方面，R-600a 之 LEL 維持在 1.5 vol.%，UEL 則隨著溫度上昇而提高至 10 vol.%。
- 四、在不同壓力 (1, 1.5, 2 bara) 方面，R-600a 爆炸界限都會隨著壓力提昇而提高，在 1.5 與 2 bara R-600a 之爆炸界限分別為 1.8–9.2 vol.% 及 2–10 vol.%。
- 五、R-22, R-134a, 及 R-410a 在常溫、常壓下不具有爆炸反應。
- 六、R-22 在加壓情況下出現爆炸現象，在 1.5 與 2 bara R-22 之爆炸界限分別為 20–35 vol.% 及 1–50 vol.%，爆炸區域隨著壓力上升而變寬。因此，R-22 冷媒在加壓情況下具有爆炸之危險性。
- 七、由實驗結果可得知，R-22 冷媒在加壓情況下確實有爆炸現象產生，與 2013 年國防部忠愛營區發生之 R-22 冷媒在未洩壓完全則進行充填作業而發生爆炸意外相符合，該災例是在壓力為 $6 \text{ kg}_f\text{cm}^2$ 發生爆炸事故，而本研究將壓力提升至 1.5 bara R-22 冷媒即有爆炸現象產生。

第二節 建議

- 一、透過此研究可瞭解到 R-22 環保冷媒雖然在常溫、常壓下性質穩定，但在加壓情況下則具有爆炸之危險性。
- 二、在進行冷媒充填、維護作業時，必須按照標準程序洩壓完整後再進行充填及焊接

管線作業，並避免在存有火源環境下進行作業，如此一來可降低職災發生之風險。

誌謝

本研究計畫參與人員除本所吳研究員鴻鈞，另包括國立雲林科技大學徐啟銘教授等人，謹此敬表謝忱。

參考文獻

- [1] Protocol, M., Montreal protocol on substances that deplete the ozone layer. Washington, DC: US Government Printing Office ; 1987. 26.
- [2] Zhao, Y., L. Bin, and Z. Haibo, Experimental study of the inert effect of R134a and R227ea on explosion limits of the flammable refrigerants. *Experimental Thermal and Fluid Science* ; 2004. 28(6): p. 557-563.
- [3] 張景閔：中山北路冷氣維修爆炸職災案。臺北市勞動檢查處；2012。
- [4] 王紹宇：幼稚園氣爆 工人被炸傷送醫不治。中時電子報；2013。
- [5] 唐筱恬、林宜慧：國防部灌冷媒爆炸 2死4傷。中時電子報；2013。
- [6] 劉中哲：空調機與冷凍冷藏設備冷媒系統管理與維護重點。工業技術研究院；2010。
- [7] 謝嘉聰：汽車電機／電子控制能力本位訓練教材使用空調維修工具與探漏器。行政院勞工委員會職業訓練局；2001。
- [8] 黃俊山：家用冷凍空調能力本位訓練教材電冰箱冷媒系統－系統處理標準步驟。行政院勞工委員會職業訓練局；2001。
- [9] 許守平：冷凍空調原理與工程。全華科技圖書股份有限公司；2006。
- [10] 陳永銘：冷凍空調工程實務。五周出版社；1976。
- [11] ICrowl, D.A. and J.F. Louvar: *Chemical process safety: fundamentals with applications* ; 2012 ; Pearson Education.
- [12] Kondo, S., K. Takizawa, and K. Tokuhashi: Effects of temperature and humidity on the flammability limits of several 2L refrigerants. *Journal of Fluorine Chemistry* ; 2012. 144: p. 130-136.
- [13] E681-09, A: Standard Test Method for Concentration Limits of Flammability of Chemicals (Vapors and Gases). 2009. American Society for Testing and Materials West Conshohocken, PA.
- [14] Kühner: Operating instructions for the 20-L-Apparatus. Switzerland ; 2010.

冷媒爆炸特性測試

(編、譯)者：吳鴻鈞、徐啟銘

出版機關：勞動部勞動及職業安全衛生研究所

22143 新北市汐止區橫科路 407 巷 99 號

電話：02-26607600 <http://www.ilosh.gov.tw/>

出版年月：中華民國 104 年 4 月

版(刷)次：1 版 1 刷

定價：140 元

展售處：

五南文化廣場

台中市區中山路 6 號

電話：04-22260330

國家書店松江門市

台北市松江路 209 號 1 樓

電話:02-25180207

- 本書同時登載於本所網站之「出版中心」，網址為：
<http://www.ilosh.gov.tw/wSite/np?ctNode=273&mp=11>
- 授權部分引用及教學目的使用之公開播放與口述，並請注意需註明資料來源；有關重製、公開傳輸、全文引用、編輯改作、具有營利目的公開播放行為需取得本所同意或書面授權。

GPN: 1010400728

ISBN: 978-986-04-4582-4