

服務業營業場所冷凍冷藏智慧 節能控制技術應用手冊

經濟部能源局 指導

財團法人臺灣綠色生產力基金會 編印

中華民國 111 年 12 月

目錄

目錄.....	i
圖目錄.....	ii
表目錄.....	iv
一、前言.....	1
二、商用冷凍冷藏系統使用現況調查.....	2
2.1 國內能源消耗現況.....	2
2.2 冷凍冷藏設備能源消費.....	3
2.3 營業場所冷凍冷藏設備台數與耗電.....	6
2.4 冷凍冷藏設備能源消費與耗電.....	7
三、商用冷凍冷藏設備之分類.....	9
3.1 冷凍冷藏設備能源消費與耗電.....	9
3.2 冷凍冷藏設備之性能.....	12
3.3 電冰箱之性能指標.....	13
3.4 冷凍冷藏展示櫃之 COP 能源效率標準.....	15
四、商用冷凍冷藏系統故障現況調查.....	17
4.1 冷凍冷藏系統故障概論.....	17
4.2 冷凍冷藏系統常見故障及診斷方法.....	21
4.3 案場現場訪視狀況.....	31
五、商用冷凍冷藏設備節能技術.....	52
六、商用冷凍冷藏設備故障診斷技術.....	61
七、結語.....	74
八、參考文獻.....	75

圖目錄

圖 3-1 一般密閉冷凍櫃【5】	10
圖 3-2 多層開放式展示櫃【5】	11
圖 3-3 玻璃密閉服務型冷凍展示櫃【5】	12
圖 4-1 冷凍系統 AFDD 實施案例(一).....	18
圖 4-2 冷凍系統 AFDD 實施案例(二).....	19
圖 4-3 超市常見故障	21
圖 4-4 超市故障維修費用之排序	22
圖 4-5 氣冷式冷凝冷凍冷藏系統	30
圖 4-6 雙蒸發器氣冷式冷凝冷凍冷藏系統	31
圖 4-7 壓縮機控制機板	32
圖 4-8 冬季之冷凍冷藏功率	33
圖 4-9 櫃門結露	34
圖 4-10 櫃壁結霜	34
圖 4-11 EMS 系統冷凍冷藏櫃之數據	35
圖 4-12 EMS 系統冷凍冷藏櫃之數據	35
圖 4-13 超市冷凍冷藏系統實體圖	37
圖 4-14 便利商店平面圖	38
圖 4-15 數據傳輸架構	39
圖 4-16 雲端數據介面	40
圖 4-17 開放櫃庫溫及壓縮機運轉頻率關係圖	41
圖 4-18 室外冷凝側主機實體圖	41
圖 4-19 蒸發器除霜前後之差異	42
圖 4-20 監控感測器設置位置	42
圖 4-21 量販店壓縮主機實體圖	43

圖 4-22 主機支架銹蝕狀況	44
圖 4-23 量販店開放櫃透明遮簾	45
圖 4-24 量販店開放櫃	45
圖 4-25 量販店監控系統	46
圖 4-26 量販店熱回收系統	47
圖 5-1 浮動蒸發溫度控制技術原理簡介	53
圖 5-2 於便利商店進行壓縮機動態能源需求控制之實施例	54
圖 5-3 浮動蒸發溫度控制程式畫面	54
圖 5-4 實施智慧動態能源之浮動蒸發溫度控制技術之成果	56
圖 5-5 依外氣溫度進行浮動壓力控制之動態能源最佳化調整	57
圖 5-6 一般模式迴路圖	58
圖 5-7 儲冰系統迴路圖	59
圖 5-8 融冰系統迴路圖	60
圖 6-1 決策數圖解	61
圖 6-2 決策樹樹狀圖	62
圖 6-3 5WI 系統故障分析圖	64
圖 6-4 5WI 系統故障分析圖	65
圖 6-5 案場冷凍系統圖	67
圖 6-6 不同冷媒填充量條件之冷藏展示櫃庫溫變化	69
圖 6-7 不同冷媒填充量之運轉參數之紀錄	70
圖 6-8 不同冷媒填充量對應之壓縮機轉速傳立葉轉換結果	71
圖 6-9 資料分析流程	71
圖 6-10 依據手肘法確認受冷媒填充量所影響之 12 個關鍵因子	72
圖 6-11 冷媒填充量辨識之 DNN 深度學習與驗證過程之 100%高準確度結果.....	73

表目錄

表 2.1-1 台灣 2021 年能源消費量分析	2
表 2.1-2 台灣 2021 年電力消費量	3
表 2.2-1 2021 年非製造業能源大用戶主要建築分類能源消費量統計	4
表 2.2-2 非製造業分類電力流向比例統計表	5
表 2.3-1 量販店案例耗電設備之裝置情況	7
表 2.4-1 量販店設備耗電分布統計	8
表 3-1 冷凍冷藏設備之分類	9
表 3-2 冷凍設備冷卻性能分類	13
表 3-3 冷凍設備之測試環境條件	13
表 3-4 電冰箱能源效率分級基準表	14
表 3-5 電冰箱能源因數值標準	15
表 3-6 商業冷凍冷藏展示櫃之系統性能係數 COP 效率標準	16
表 4-1 FDD 特徵矩陣	20
表 4-2 一般常見故障情形及影響	24
表 4-3 可被觸覺發現之一般故障	25
表 4-4 可被聽覺發現之一般故障	25
表 4-5 可被聽覺發現之一般故障	26
表 4-6 冷凍冷藏系統常見故障與解決措施	26
表 4-7 冷凍冷藏系統常見故障與解決措施	27
表 4-8 冷凍冷藏系統常見故障與解決措施	28
表 4-9 冷凍展示櫃裝置量	33
表 4-10 營業場所冷凍冷藏系統節能技術調查	50
表 4-11 各案場之常見設備故障情形	51
表 6-1 故障狀態規則表	63

表 6-2 四種故障規則表	66
---------------------	----

一、前言

空調與冷凍冷藏於便利店及超級市場的耗電量占 50%以上，對於便利商店及超級市場節能之推動極為重要。台灣屬於亞熱帶高溫高濕之海島型氣候特性以及全年無休的營業型態，冷凍冷藏系統受到氣候及尖離峰需求很大的影響，常常造成冷凍冷藏系統較高的耗能及系統失控。全年濕度及戶外氣溫的變動造成冷凍系統的負載以及蒸發器結霜、防汗、防凍需求的變動，將造成系統低效率運轉及冷凍冷藏庫之溫度失控。另一方面，目前之冷凍冷藏系統均仰賴傳統技術師傅的維護，但近年來因需求大增、少子化及節能減碳的趨勢，而有技術人員數量及技術不足的問題。

抽樣調查國內數家量販店冷凍冷藏系統，大多數並未採用相關節能控制設備或系統。以 2020 年批發及零售業為例，全年耗電約 235.2 萬度電，冷凍冷藏設備用電約占總用電 10.2%，根據美國能源部所做之超級市場冷凍冷藏部門之節能潛力分析研究，至少有將近 50%以上之節能潛力空間。量販店之冷凍冷藏食品儲存需求大，藉由集量販店業者已執行之冷凍冷藏節能控制設備、變頻主機、除霧控制及熱回收等節能成功案例，將有助於冷凍冷藏系統節能技術之廣泛提昇與推廣。

有鑑於此，經濟部能源局乃委託財團法人臺灣綠色生產力基金會(以下簡稱本會)，辦理節能技術輔導，由本會委請國內在冷凍冷藏智慧節能控制技術推廣上，有專精之專家學者，即國立臺北科技大學能源與冷凍空調工程系李魁鵬教授及其研究團隊，協助執筆及搜集實際相關的冷凍冷藏智慧節能控制技術資料與分析，加入本會節能技術服務資料，編成此技術手冊，提供給各能源用戶參考，而遺誤掛漏，必所難免，尚請學者先進，賜予指正為禱。

二、商用冷凍冷藏系統使用現況調查

2.1 國內能源消耗現況

目前國際經濟成長能源需求大增，使能源價格大幅波動，依台灣 2021 年能源統計年報分析如下：【1】

- (1) 台灣能源 97.7%仰賴進口，能源供給每年成長，2021 年至 2016 年間能源消費 5 年年平均成長率約 3.2%。如表 2.1-1 所示，2021 年最終能源消費量為 89,361.8 千公秉油當量，較 2020 年，85,451.4 千公秉油當量，成長 4.58%。其中服務業部門占 6.4%降低 0.39%。
- (2) 如表表 2.1-2 所示，台灣 2021 年電力消費量 283,366.1 百萬度，其中服務業部門占 16.07%。

表 2.1-1 台灣 2021 年能源消費量分析

項目	總計	能源部門	工業部門	運輸部門	農業部門	住宅部門	服務業部門	非能源消費
消費量(千公秉油當量)	89,361.8	7,229.2	28,916.7	12,819.8	787.3	7,100.8	5,718.5	26,789.3
百分率	100.00	8.09	32.36	14.35	0.88	7.95	6.4	29.98
與 2020 年比較%	-	-0.18	0.84	-1.47	-0.04	-0.16	-0.39	1.39

資料來源:經濟部能源局台灣能源統計手冊(2021)【1】

表 2.1-2 台灣 2021 年電力消費量

項目	2001 年		2011 年		2021 年	
	百萬度 GWh	%	百萬度 GWh	%	百萬度 GWh	%
消費量	180,494.0	100.00	242,086.3	100.00	283,366.1	100.00
工業部門	88,072.5	48.80	128,883.1	53.24	161,425.4	56.97
運輸部門	448.1	0.25	1,246.3	0.51	1,554.6	0.55
農業部門	2,229.0	1.23	2,726.1	1.13	3,307.3	1.17
服務業部門	36,019.0	19.96	45,769.6	18.91	45,523.2	16.07
住宅部門	35,656.2	19.75	44,418.4	18.35	52,729.5	18.61
能源部門自用	18,069.3	10.01	19,042.7	7.87	18,826.2	6.64

資料來源:經濟部能源局台灣能源統計手冊(2021)【1】

2.2 冷凍冷藏設備能源消費

1. 非製造業中主要建築分類的家數及能源消費

依 1996 年中華民國行業標準分類之非製造業行業別分類包含：營造業、商業、運輸倉儲及通信業、金融保險及不動產業、工商服務業、社會服務及個人服務業、公共行政業等，2021 年統計契約容量在超過 800kW 之能源大用戶共 1,406 家。非製造業中主要建築分類的能源大用戶如表 2.2-1 所示。2021 年能源用戶依主要建築分類統計，其能源消費量以醫院(16.09%)、車站及軌道(13.54%)、學校(12.34%)、百貨公司(10.43%)、辦公大樓(7.71%)、電信網路機房(7.59%)、旅館(5.83%)等七個主要建築分類所耗用能源占比較高。

表 2.2-1 2021 年非製造業能源大用戶主要建築分類能源消費量統計

用戶類別	大用戶家數	電力	合計	占比
		(千度)	(千公秉油當量)	(%)
學校	219	2,031,122	204.17	12.34
辦公大樓	194	1,323,205	127.61	7.71
醫院	155	2,357,678	266.17	16.09
量販店	99	708,499	70.11	4.24
百貨公司	116	1,624,136	172.53	10.43
旅館	92	687,185	96.46	5.83
政府機關	81	378,009	37.89	2.29
車站及軌道	71	2,344,070	224.07	13.54
電信網路機房	48	1,310,827	125.52	7.59
國防機關	44	336,165	34.45	2.08
研究機構	28	539,533	53.63	3.24
展覽館	26	178,580	17.20	1.04
複合式商場	33	252,023	25.79	1.56
汙水處理廠	15	357,230	34.47	2.08
倉儲	26	139,035	15.56	0.94
航空站	9	277,775	26.72	1.62
其他	150	1,082,055	122.09	7.38
合計	1,406	15,927,125	1,654.43	100

資料來源：2021 非製造業能源查核年報【2】。

註：其他建築類型包含：軍事單位、車站、電信公司、商場、實驗室、展覽館、體育場、停車場、

2.非製造業冷凍冷藏設備耗電規模

統計 2021 非製造業能源查核大用戶（用電契約超過 800kW）所填報之冷凍冷藏設備電力流向占比如表 2.2-2。其中冷凍冷藏設備使用量前五名行業為量販店、冷凍冷藏倉儲、旅館、百貨公司、研究機構，可列為冷凍冷藏節能服

務推動之重點行業【2】。其中觀光旅館、學校之冷凍冷藏設備為提供廚房之食材保存使用，百貨公司之冷凍冷藏設備則為位於地下樓層之超級市場使用。

表 2.2-2 非製造業分類電力流向比例統計表

用戶分類	空調 設備	照明 設備	冷凍冷 藏設備	事務 設備	送排風 設備	給水汗水 設備	電梯 設備	其他 設備
學校	59.61	17.83	2.67	7.88	1.78	2.64	3.08	4.51
辦公大樓	56.42	13.34	0.50	9.81	4.05	3.43	7.25	5.20
醫院	57.66	13.81	3.24	4.70	4.19	4.01	5.83	6.56
量販店	50.29	12.02	17.74	2.16	4.38	2.69	6.50	4.22
百貨公司	55.23	15.60	4.98	2.59	6.27	3.22	6.39	5.71
旅館	57.99	11.35	6.15	2.75	5.35	4.07	5.49	6.85
政府機關	54.22	14.10	1.64	10.89	3.75	3.08	5.75	5.93
車站及軌道	24.20	6.15	0.05	0.52	3.07	1.77	4.47	59.76
電信網路機房	31.37	2.77	0.09	3.90	0.44	0.86	0.82	59.75
國防機關	57.04	18.27	3.87	6.76	1.49	1.89	1.36	9.32
研究機構	56.95	8.48	4.69	2.98	3.10	1.90	1.32	20.57
展覽館	61.32	11.35	1.82	3.36	4.27	4.17	3.75	9.95
複合式商場	62.86	10.42	3.98	2.98	6.96	3.76	5.63	3.40
汗水處理廠	4.64	2.95	0.05	0.25	20.27	64.49	0.10	7.25
倉儲	34.86	15.96	9.24	1.90	2.83	1.25	2.48	31.49
航空站	45.46	10.53	0.25	1.02	0.46	15.04	5.72	21.52
其他	31.24	12.44	11.86	2.49	4.85	6.20	2.24	28.66

資料來源：2021 非製造業能源查核年報【2】。

2.3 營業場所冷凍冷藏設備台數與耗電

依量販店節約能源技術手冊【3】取樣六家量販店耗電設備之裝置情況，如表 2.3-1，大致可了解量販店設備裝置種類、型式、規格大小、及數量規模。但也有專賣家庭用品為主之 B&Q 特力屋(如案例編號 3)，則無冷凍冷藏設備。主要耗電設備除了賣場環境空調設備、生鮮食品保存的冷凍冷藏櫃外，大抵以照明設備、熱食區加熱設備等。

1. 空調設備：大致以多台螺旋式及離心式中央空調主機為主，約

400~750RT，每天運轉時間 13 小時。

2. 照明設備：目前量販店賣場及停車場照明大致分三種型式設計

(1) 採用 T5 54W×2、T8 36W×2、T9 40W×2 及 T12 110W×2 吊

掛笠型電子安定器日光燈具。

(2) LED 的 MR-16 及 PAR-38 重點投射照明。

(3) 螢光燈具以頭尾相串聯成為矩陣排列，數量龐大，每天點燈

時間自 9:00 至 22:00，約 13 小時。

3. 冷凍設備：大致以往復式機為主，裝置量約 90hp~150hp，每天運

轉時間 24 小時。

4. 冷藏設備：大致以往復式機為主，裝置量約 80hp~150hp，每天

運轉時間 24 小時。

表 2.3- 1 量販店案例耗電設備之裝置情況

案例 編號	空調	照明	冷凍	冷藏
1	螺旋 200RT*3	賣場 110W 電子式日光燈+170W 複金屬燈為輔。 辦公室 40W*2 電子式日光燈	30hp*3	20hp*4
2	離心 750RT+ 螺旋 400RT	賣場 110W 電子式日光燈	30hp*3	25hp*4
3	螺旋 300RT+ 螺旋 240RT	賣場 400W 複金屬燈	無	無
4	螺旋 250RT*2	賣場辦公室 36W*2 及 36W*2 高 功因日光燈+70W 複金屬燈(或 150W 複金屬燈)	3RT(9.2kW) *4 台	25hp*4 台
5	螺旋 200RT*2	賣場 40W*2 電子式日光燈	30hp*5	30hp*5
6	離心 300RT*2	賣場 400W 複金屬燈+辦公室 40W 電子式日光燈+停車場 250W 複金屬燈。	10hp*2+ 22hp*6	10hp*3+25hp* 1 +5hp*3+7.5hp *1 +3hp*1

註：106 年度取樣的六家量販店耗電設備統計。

2.4 冷凍冷藏設備能源消費與耗電

根據所取樣的六家量販店進行耗能實測，各空調、冷凍冷藏設備及夜間局部照明設備耗電分布，如表 2.4-1。量販店設備用電平均契約容量約 1,221kW，尖峰用電需量約 1,188 kW，其用電分布，空調約占 45%、照明約占 29%、冷

凍冷藏約占 17%、動力其它設備約占 12%，可見空調、照明及冷凍冷藏之耗電為主要之耗能。

表 2.4-1 量販店設備耗電分布統計

案例 編號	能源耗用狀況				電能分布			
	樓地板 面積 m^2	空調面 積 m^2	契約容 量 kW	尖峰須 量 kW	空調%	照明%	冷凍 冷藏%	動力%
1	27,009	6,200	1,500	1,488	48.0	20.6	16.7	14.8
2	16,874	15,186	1,400	1,484	48.0	30.0	13.0	9.0
3	7,769	7,120	726	622	54.9	37.1	0.0	8.0
4	16,423	5,3114	999	1,013	32.2	33.6	16.4	17.7
5	40,195	21,071	950	1,040	36.7	33.0	26.6	3.7
6	33,653	12,420	1,750	1,478	47.7	20.0	13.7	18.6
平均值	23,654	11,219	1,221	1,188	45	29	17	12

註：106 年度取樣的六家量販店耗電設備統計。

三、商用冷凍冷藏設備之分類

3.1 冷凍冷藏設備能源消費與耗電

我國在商業用冷凍、冷藏展示櫃方面之標準為 CNS 10797【4】，冷凍冷藏設備依構造可分為四類，如表 3-1 所示。

表 3-1 冷凍冷藏設備之分類

構造分類	構造
1	開放式組合型展示櫃
2	密閉式組合型展示櫃
3	開放式分離型展示櫃
4	開放式分離型展示櫃

一般而言，開放式展示櫃之耗冷能較大，其因為

(1)需較大量之冷風維持物品溫度。

(2)開口無保溫。

(3)冷風易與室內空氣混合，造成額外之冷凍負荷及結霜問題。

目前國外在開放式展示櫃的研究多在冷風道之設計，除節能之考量外，也避免使冷凍櫃週遭溫度過低而造成之不適感。

各式商業用冷凍、冷藏展示櫃，因不同的產品與顧客服務方式而異，且依產品的需求溫度所訂定，可分為開放式與密閉式，單層與多層式等。而外型主要以不銹鋼材質或在表面處理防銹蝕之動作。圖 3-1 為一般密閉式之冷凍櫃，冷風在內循環，其玻璃門多採用雙層構造以隔熱，可避免結露及減少耗能，所

以玻璃門之隔熱為重要之節能措施。

當室內溫濕度為 24°C ，50%RH 時，其露點溫度為 13°C ，則雙層玻璃門外側表面溫度需高於 13°C ，才不會結露。冷藏展示櫃玻璃門一般設計皆採電熱器加熱以防結露。在超級市場有良好溫濕度控制之環境下，有雙層玻璃之展示櫃的外側易於維持在 13°C 以上的溫度，或可作分段之電熱控制，依實際所需控制電熱量以節約耗電。

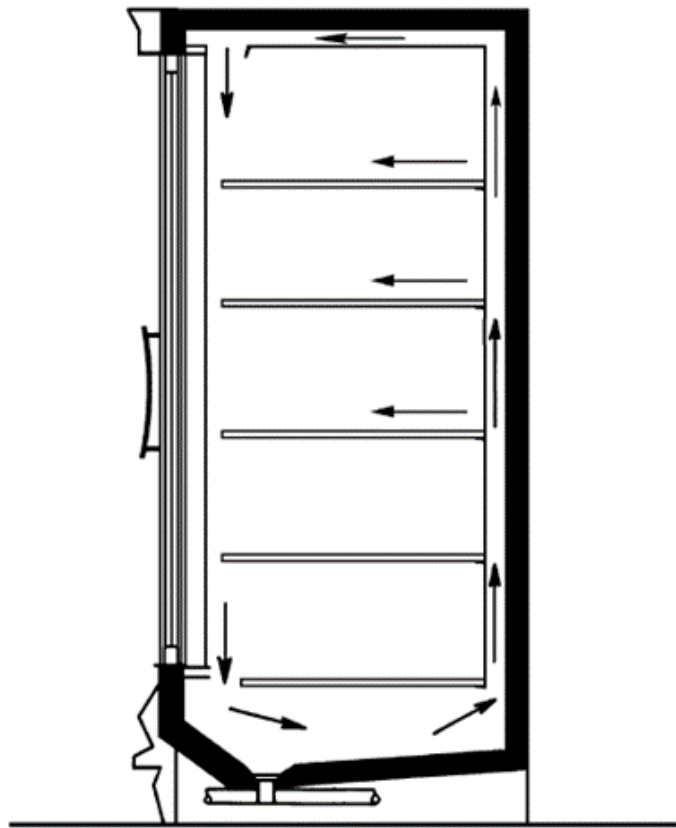


圖 3-1 一般密閉冷凍櫃【5】

圖 3-2 為一般之開放式多層展示櫃，冷風自上而下，如箭頭表框之方向，風道設計不但影響物品之冷藏效果，也會影響室內溫度，因此減少冷風之洩漏為重要之節能設計。再者，不當之物品堆放會嚴重影響氣流，應遵照 load line (負載線) 內置物品之原則，亦應避免阻擋氣流之風口。為獲得較佳之展示，也

有用如圖 3-3 之密閉式展示櫃，圖為玻璃密閉服務型冷凍展示櫃之側面剖視圖。為了節約能源，美國有些開放式展示櫃利用條狀式透明簾防止冷風外洩，但此設計會有降低展示效果之問題，在台灣之應用並不普遍。圖 3-3 之密閉型展示櫃多用於低溫冷凍，因無冷風外洩及熱分層效應，儲存部位較能確保冷凍之效果。

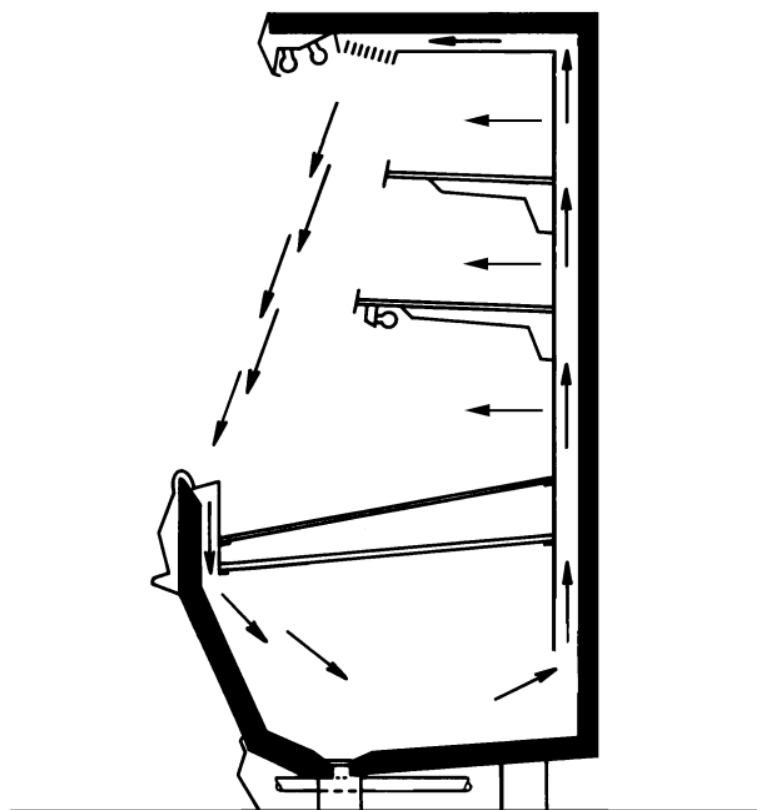


圖 3-2 多層開放式展示櫃【5】

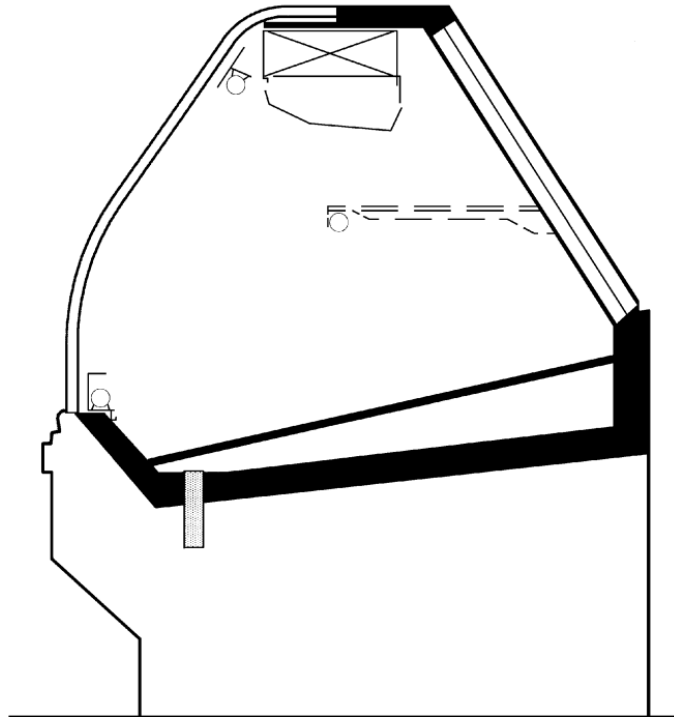


圖 3-3 玻璃密閉服務型冷凍展示櫃【5】

3.2 冷凍冷藏設備之性能

冷凍設備通常依冷卻性能如表 3-2 及保證冷卻性能之環境條件(如表 3-3)予以分類。故可依表 3-3 之分類來評估冷凍冷藏設備之耗能，以作比較。

冷凍冷藏設備之耗能會受環境溫濕度影響，故需設環境條件作為冷卻性能之比較，可分為 A 與 B 類，而各類又有兩種測試之溫濕度條件供選擇。

表 3-2 冷凍設備冷卻性能分類

冷卻性能 分類	調節器置於最不冷 時之冷凍負荷溫度	調節器置於最冷時 之冷凍負荷溫度	冷凍負荷積分 平均溫度	展示櫃內溫度
L(低溫)	-12°C 以下	—	-15°C	-18°C 以下
M(中溫)	7°C 以下	-1°C 以上	—	5°C
H(高溫)	10°C 以下	1°C 以上	—	10°C 以下
S(特殊)	※	※	※	※

註：1、S 類係指依買方用途而設計，不屬於 L.M.H 類。

2、開放式展示櫃在不使用夜間蓋之狀況。

表 3-3 冷凍設備之測試環境條件

保證冷卻性能之環境條件分類	保證冷卻性能之環境條件		
A	溫度°C	15	25
	相對溼度%	75	60
B	溫度°C	15	30
	相對溼度%	75	60

3.3 電冰箱之性能指標

在性能指標方面，冷凍冷藏電冰箱的效率是以能源因數值(E.F.:ENERGY FACTOR)來表示【6】，其單位為公升/度/月，即為每月消耗 1 度電所能使用的冷凍冷藏容積大小，E.F.值愈高，愈為省電。表 3-4 為電冰箱能源效率分級基準。

表 3-4 電冰箱能源效率分級基準表

型 式	等效內容積 (公升)	電冰箱能源因數值基準 (公升/千瓦小時/ 月)	等 級	電冰箱能源 因數值基準
風扇式冷凍 冷藏電冰箱	< 400	$E.F.=V/(0.037V+24.3)$	5 級	< 基準
	≥ 400	$E.F.=V/(0.031V+21.0)$	4 級	$\geq$ 基準 < 基準 107%
直冷式冷凍 冷藏電冰箱	<400	$E.F.=V/(0.033V+19.7)$	3 級	$\geq$ 基準 107% < 基準之 114%
	≥ 400	$E.F.=V/(0.029V+17.0)$	2 級	$\geq$ 基準 114% < 基準之 121%
冷藏式電冰箱		$E.F.=V/(0.033V+15.8)$	1 級	$\geq$ 基準 121%

1.實施日期：民國一十年一月一日。

2.上表所列皆以等效內容積計算之。

3.表中等效內容積 V (公升) = $VR + K \times VF$

VR (公升)：冷藏室有效內容積

VF (公升)：冷凍室有效內容積

以 400 公升的冷凍冷藏電冰箱為例，如表 3-5 選用 EF 值大於 7.5 以上者，才符合省電的最低要求，表 3-2 中之商用冷凍櫃如無電冰箱之 EF 標準，可用相同之指標訂定標準來比較耗能，以不同冷卻性能(表 3-2)及環境條件(表 3-3)分類，作為耗能之比較。

表 3-5 電冰箱能源因數值標準

型 式	容積 (公升)	能源因素 EF 值	等級
風扇式冷凍冷藏電冰箱	500	7.1	8.5 以上
	400	6.3	7.5 以上
	200	4.0	4.6 以上
直冷式冷凍冷藏電冰箱	200	5.0	5.7 以上
冷藏式電冰箱	80	2.5	2.7 以上

3.4 冷凍冷藏展示櫃之 COP 能源效率標準

美國冷凍學會(ARI) 所制定之展示櫃 COP 系統性能係數--Standard 1200-Commercial Refrigerated Display Cases，其建議應達到之標準如表 3-6 所示。表中調整後露點溫度是指以壓縮機吸氣管之壓損調整蒸發器溫度，也就是蒸發溫度（冷媒露點溫度）是以壓縮機吸入口之壓力所對應之冷媒飽和溫度。

表 3-6 商業冷凍冷藏展示櫃之系統性能係數 COP 效率標準

中溫			低溫		
調整後露點溫度		COP	調整後露點溫度		COP
°F	°C		°F	°C	
5	-15	2.89	-36	-37.8	1.61
6	-14.4	2.94	-35	-37.2	1.63
7	-13.9	2.99	-34	-36.7	1.65
8	-13.3	3.04	-33	-36.1	1.68
9	-12.8	3.08	-32	-35.6	1.7
10	-12.2	3.13	-31	-35	1.73
11	-11.7	3.19	-30	-34.4	1.75
12	-11.1	3.24	-29	-33.9	1.78
13	-10.6	3.29	-28	-33.3	1.8
14	-10	3.34	-27	-32.8	1.83
15	-9.4	3.39	-26	-32.2	1.86
16	-8.9	3.46	-25	-31.7	1.88
17	-8.3	3.51	-24	-31.1	1.9
18	-7.8	3.57	-23	-30.6	1.93
19	-7.2	3.63	-22	-30	1.96
20	-6.7	3.69	-21	-29.4	1.99
21	-6.1	3.76	-20	-28.9	2.02
22	-5.6	3.82	-19	-28.3	2.05
23	-5	3.89	-18	-27.8	2.07
24	-4.4	3.95	-17	-27.2	2.11
25	-3.9	4.02	-16	-26.7	2.14
26	-3.3	4.09	-15	-26.1	2.17
27	-2.8	4.16	-14	-25.6	2.2
28	-2.2	4.24			
29	-1.7	4.32			
30	-1.1	4.39			
31	-0.6	4.48			
32	0	4.56			
33	-0.6	4.64			
34	1.1	4.73			
35	1.7	4.81			
註：					
1. 調整後露點溫度是指以壓縮機吸氣管之壓損調整蒸發器溫度，也就是蒸發溫度是以壓縮機吸入口之壓力所對應之冷媒飽和溫度					
2. 來源美國冷凍學會(ARI)-Standard 1200-Commercial Refrigerated Display Cases					

四、商用冷凍冷藏系統故障現況調查

4.1 冷凍冷藏系統故障概論

冷凍循環系統故障診斷，一直為複雜難解之問題，對於各種不同品牌、容量的冷凍系統故障診斷，檢修者除了需具備一定的專業能力外，還必須充分了解整個系統運作，這些人員均需要在專業上長時間的訓練及工作經驗的累積，才能快速地發現故障位置進而維修(林逸群【7】)。另外，由於冷凍系統故障的原因很多，並且監控系統感知器裝設的數量及位置無法巨細靡遺遍布於每一故障可能發生點，因此常利用智慧控制、模糊理論等方法協助診斷故障。

美國超市中各項冷凍循環各項設備，以權重方式衡量冷媒之洩漏、不足及過量相關之故障，在所有故障中排名第 1【8】。且因系統會將冷媒加壓至大氣壓力的數倍之多，極難避免冷媒洩漏到大氣中。經調查，商用冷凍冷藏系統機型，1 年洩漏量依不同機型大約 11%~30%【9】。當環境溫度在 -7°C 至 5.5°C 之間，且 $\text{RH}>60\%$ 時，霜會大量聚積，隨著霜的累積造成鰭片式蒸發器之氣流通道堵塞並導致更高的空氣壓降，同時也會增加系統整體耗功【10】。

另外 Alireza 等人分析了大型超市的維修記錄，該分析表明，蒸發器風扇或其他風扇馬達、電子設備或溫度設置問題分別是冷藏展示櫃中最常見的故障，蒸發器結冰和漏水為次常見的故障，照明故障和除霜問題則是展示櫃中較少見的故障類型【11】。

故障偵測診斷(FDD, Fault Detection Diagnosis)屬工程學中控制及自動化工程裡面的一環，通常在複雜難解的大型系統中，有必要利用計算機輔助之智慧控制等方式，找出故障種類及原因。依相關文獻所整理【12】，如圖 4-1 及圖 4-2 所示，如大型建築物中的智慧系統，涵蓋節能、照明、水管理、空調、監控等領域，運用了高度智慧控制及自我調適型的設計，其中的故障偵測診斷可稱之為 AFDD(Automated Fault Detection Diagnosis)。如在較單純的空調系統中，FDD 分為 A. 狀況型故障(Condition Based)：如閥件故障、風門制動器故障，使系統的某流動無法控制，嚴重性易於評估。B. 行為型故障(Behavior Based)：如壓縮機過熱、散熱短循環、流量過低。大多數是為過低或過高於某標準範圍的狀態，嚴重性不易評估。C. 結果型故障(Outcome Based)：如耗電量增加、COP 降低【13】。

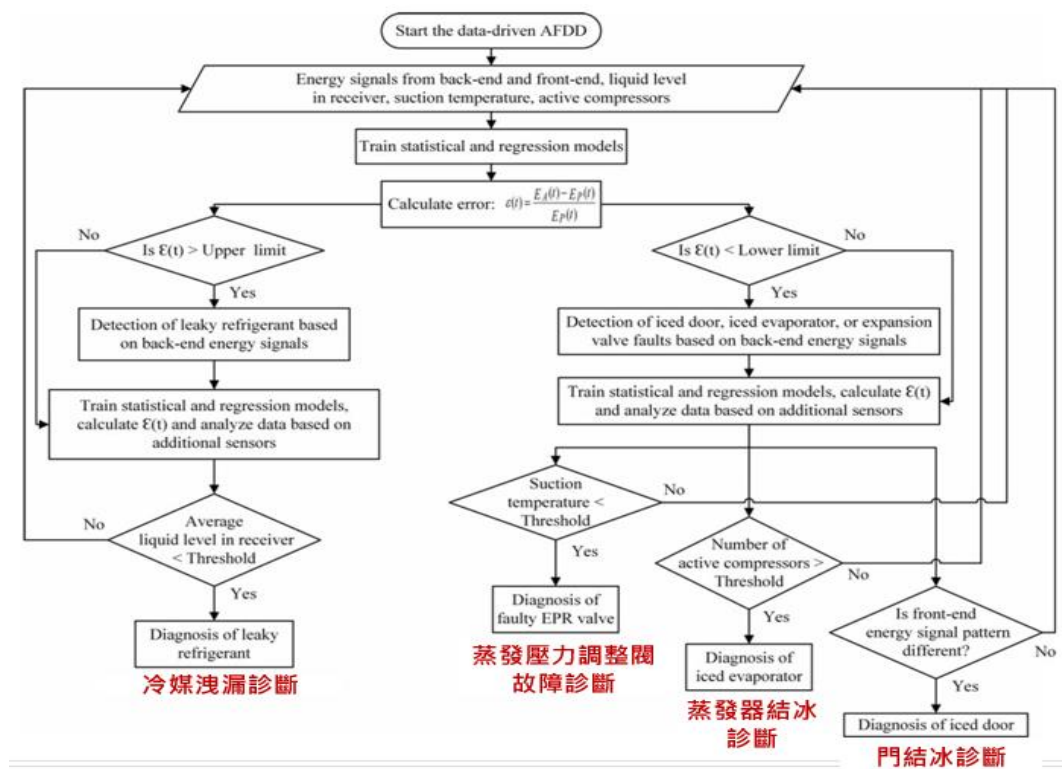


圖 4-1 冷凍系統 AFDD 實施案例(一)

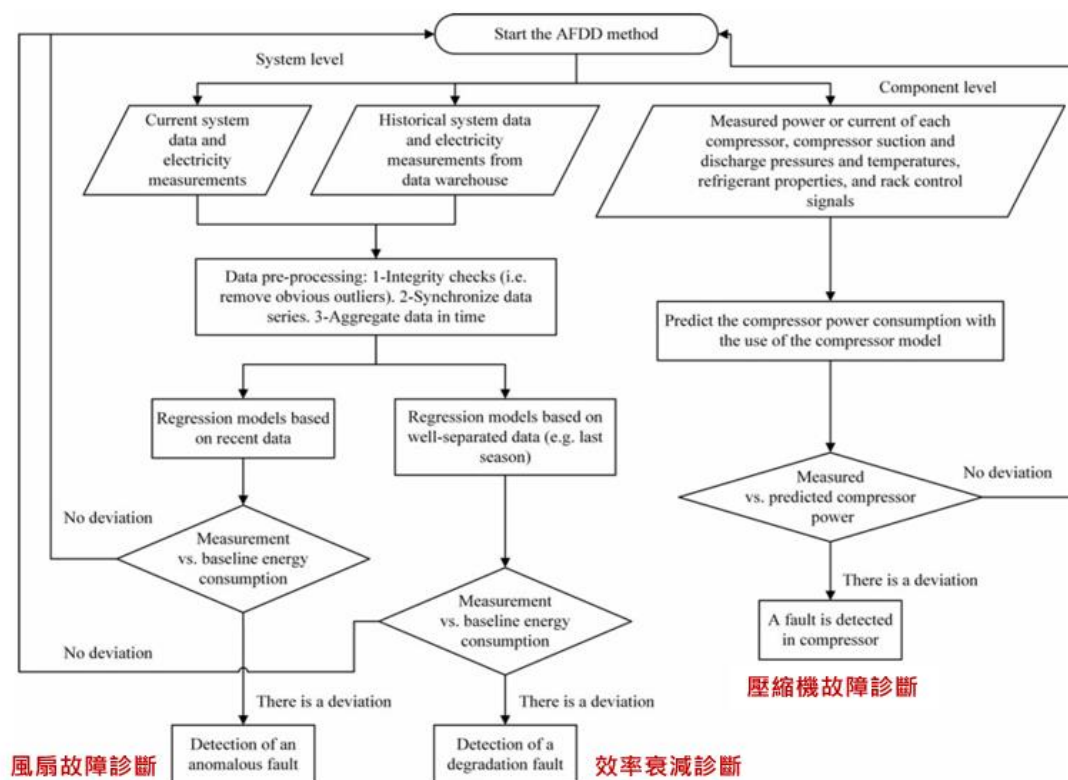


圖 4-2 冷凍系統 AFDD 實施案例(二)

李、郭等人編撰商業冷凍冷藏 Q&A 節能技術手冊(李魁鵬、郭華生【14】，2008)，以問答的方式將商用冷凍進行整體性介紹，包括冷凍冷藏設備結構之介紹、效率標準、相關節能其中節能的技術提到吸氣壓力最佳化的功能，主要是以保證食品品質同時通過最佳化吸氣壓力，並以實際案例進行分析探討，以提供相關節能技術的成效。

台灣大多數賣場及便利商店之冷凍冷藏系統並未採用相關故障診斷設備或系統，為維持便利商店和超市的商品品質，冷凍冷藏設備更必須有能力在 24 小時中不斷持續製冷，由於大多數賣場尚未有完整的故障診斷系統，當冷凍冷藏櫃發生故障時，系統沒有做出精確的判斷或及時的通報，元件會以為系統還在正常運行，而造成運轉效率低下的情形，耗能將會逐漸上升，直至出現重大故障迫使系統停止運轉，期間的耗能將會造成大量的額外支出，因此故障診斷在節能潛力上，有很大的發展空間。除此之外，還會出現賣場人員發現設備故

障時，商品通常早已超過其維持品質的溫度的情況，更可能發生腐敗的現象，不僅有衛生之疑慮，將整個櫃內的商品報廢，也是對於營業成本之一大損失。

針對營業用冷凍冷藏庫，Jian Sun[17]等人選擇了超市製冷系統的四個故障在實驗環境進行測試，並研究它們對系統性能的影響。超市製冷系統的四種故障分別是展示櫃門未關閉、蒸發器結霜、膨脹閥故障和風扇故障。這四種故障是超市製冷系統中最常見的故障，佔導致設備/系統故障的 75%以上。總結這四種故障對製冷系統性能的影響，表 4-1 給出了 FDD 特徵矩陣，實驗結果表示了每個故障在數據上的變動特徵。

表 4-1 FDD 特徵矩陣

故障	展示櫃門 未關	蒸發器結霜	膨脹閥故障	風扇故障
壓縮機入口溫度	降低	-	上升	-
壓縮機出口溫度	上升	-	下降	上升
壓縮機出口壓力	上升	-	-	-
壓縮機功率	上升	-	下降	-
蒸發器出風溫度	-	上升	上升	上升
蒸發器回風溫度	上升	-	上升	-
蒸發器出回風溫差	-	上升	下降	下降
蒸發器趨近溫度	上升	-	上升	-
過熱度	下降	下降	上升	-
冷凝器趨近溫度	下降	-	-	-

4.2 冷凍冷藏系統常見故障及診斷方法

圖 4-3 顯示了哪些故障對冷凍冷藏系統之故障佔最多的比例【8】。根據圖 4-3 中的加權平均值，冷媒填充問題被認為是冷凍冷藏故障中佔比最多故障。冷凍油之問題是導致設備故障的第二常見故障。蒸發器結霜或蒸發器結垢和控制系統問題分別是冷凍冷藏故障中第三和第四常見的故障。

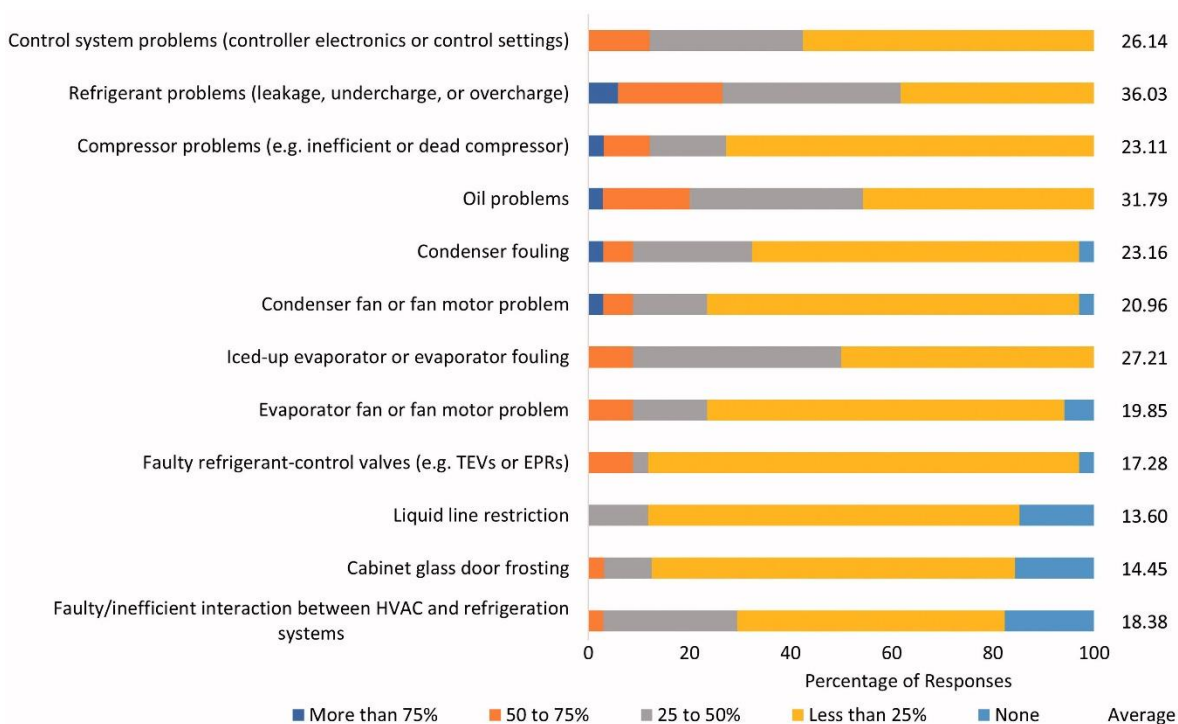


圖 4-3 超市常見故障

圖 4-4 顯示冷媒填充問題被認為是維修成本最高的故障，壓縮機問題是維修成本第二高的故障，機油問題和冷凝器風扇或蒸發器風扇問題排在冷媒填充和壓縮機問題之後的第三和第四位。

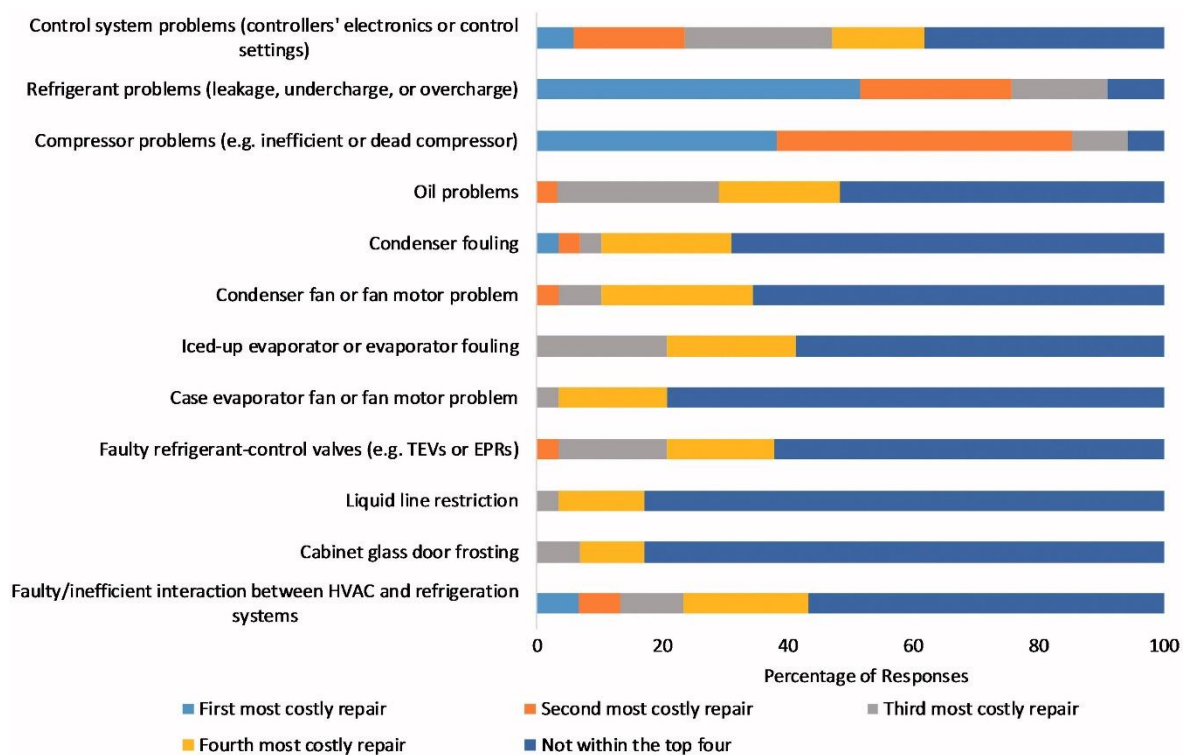


圖 4-4 超市故障維修費用之排序

在故障偵測、故障診斷分類、故障評估後，可得知系統現在的故障情形，藉此來決定該如何進行維修或相對應的處理。而處理方式依嚴重性可分為四種反應程序：容忍故障、儘速修復、變更控制及停止運轉。容忍故障意即系統的故障情形並不嚴重，只要定時維修時加以注意其原因並排除故障狀況即可。若到了變更控制及停止運轉，則表示系統的故障情形非常嚴重，必須立即指排維修員到場處理，否則會對系統或機房造成重大危害。

依據 Danfoss 冷凍空調故障排除技術手冊【15】，其內容涉及小型製冷系統中的常見故障。內容包括故障類型、故障原因、維修措施和對系統運行的影響，技術手冊也適用於更複雜、更大型的系統。

冷凍冷藏系統有許多常見故障，除了使用儀器診斷故障外，也可以通過視覺、聽覺、觸覺等方式，亦可以通過嗅覺來診斷。此技術手冊對於可直接用感官觀察到的故障，給出了可能的症狀和對操作的影響，並對這些故障提出可能的原因以及如何進行維修措施進行說明。

要發現並診斷出系統之故障，以及更正不正確的操作，需要一定的知識和理論。即便是簡單的冷凍冷藏系統，如何正確地診斷出故障原因，取決於維修人員對以下因素的熟悉程度。

- 所有系統零件的組成、操作模式和特性。
- 對於設備測量之技術掌握。
- 冷凍冷藏系統之製冷過程。
- 環境對於系統運行的影響程度。
- 冷凍冷藏設備之控制和保護功能設制。
- 冷凍冷藏之安全規範及法規。

表 4-2~表 4-5 為一般可被感官發覺之故障。

表 4-2 一般常見故障情形及影響

故障情形	對系統之影響
氣冷式冷凝器 a) 污垢堆積，如油脂或灰塵、木屑、樹葉[缺乏維護] b) 風扇停止轉動[馬達故障][馬達保護跳脫] c) 風扇旋轉方向錯誤[安裝錯誤] d) 風扇葉片損壞 e) 鰭片變型[不當使用]	a、b、c、d、e 項造成的故障: -增加冷凝壓力 -減少制冷量 -增加能源消耗 對於氣冷式冷凝器，進氣溫度和冷凝溫度之溫度差應介於 10~20°C 之間，盡量接近 10°C。
水冷式冷凝器 視液鏡液位過低 [系統冷媒不足] [蒸發器冷媒過多] [冷凝器冷媒過多] 視液鏡液位過高 [系統冷媒過多]	對於水冷式冷凝器，冷凝溫度和進水溫度之溫度差應介於 10~20°C 之間，盡量接近 10°C。 液管中有蒸汽/汽泡。 壓縮機吸氣壓力過低。 冷凝壓力過高。 冷凝壓力過高。
二通閥 a) 閥體關閉 b) 閥體部分關閉 冷媒管路 a) 管路太小[尺寸錯誤] b) 管路過長[尺寸錯誤] c) 急彎或變形[安裝錯誤]	低壓保護跳脫系統停止運轉 液管出現氣泡 壓縮機吸氣壓力過低 液管管路壓降過大 液管管路中出現氣體

資料來源: Dandoss 故障排除技術手冊(2002)【15】

表 4-3 可被觸覺發現之一般故障

可被觸覺發現之故障	對系統之影響
電磁閥 溫度低於電磁閥前之管路。[電磁閥部分打開] 溫度與電磁閥前面的管路溫度相同。[電磁閥關閉]	液管中出現氣體 低壓保護啟動，系統停止運轉。 液管中出現氣體
乾燥過濾器 過濾器溫度低於過濾器前的管路。[過濾器入口側部分堵塞]	液管中出現氣體。

資料來源: Dandoss 故障排除技術手冊(2002)【15】

表 4-4 可被聽覺發現之一般故障

可被聽覺發現之故障	對系統之影響
吸入管路中的調節器 蒸發器壓力調節器或其他調節器發出嗚嗚聲。[尺寸錯誤]	系統運轉不穩定
壓縮機 a) 啟動時有敲擊聲[冷凍油沸騰] b) 運轉時有敲擊聲[冷凍油沸騰][部件磨損]	液錘。 壓縮機損壞的風險。
冷藏室 報警系統故障。 [缺乏維護]	可能導致人身傷害。

資料來源: Dandoss 故障排除技術手冊(2002)【15】

表 4-5 可被聽覺發現之一般故障

可被聽覺發現之故障	對系統之影響
冷藏室 肉類冷藏室有異味【空氣濕度太高，因蒸發器太大或負荷太低】	導致食品腐敗浪費。

資料來源: Dandoss 故障排除技術手冊(2002)【15】

表 4-6~表 4-8 為通過儀器才能發現之故障情況，並說明可能造成故障之原因，進一步歸納出解決之辦法。

表 4-6 冷凍冷藏系統常見故障與解決措施

故障	可能原因	解決措施
冷凝壓力過高	a) 空氣或不凝結氣體進入系統 b) 冷凝表面積過小 c) 冷媒填充過量 d) 冷凝壓力調節過高	回收重灌冷凝器冷媒，啟動並運行系統，直到達到運行溫度。如有必要，更換更大熱交換量的冷凝器。回收冷媒直至冷凝壓力正常。視液鏡必須保持滿液。設置正確的壓力。
冷凝壓力過低	a) 空氣溫度太低 b) 冷凝器風量太大	調整冷凝壓力。使用較小之冷凝風扇或使用變頻風扇。
冷凝壓力浮動。	冷凝風扇啟停壓差控制太大，在冷凝器風扇啟動後	將壓差調低或使用閥門調節或使用變頻風扇。

資料來源: Dandoss 故障排除技術手冊(2002)【15】

	的一段時間內，可能會導致液管中形成蒸汽。 冷凝壓力調節閥故障。	將膨脹閥過熱度調高。
--	---	------------

表 4-7 冷凍冷藏系統常見故障與解決措施

故障	可能原因	解決措施
乾燥過濾器結露、結霜。	乾燥過濾器中污漬的部分堵塞	檢查系統中是否有雜質，清理乾淨，更換乾燥過濾器。
膨脹閥前液視鏡中有氣泡。	液體管路壓降過大導致液體過冷不足。 液體過冷度不足，可能因液管周圍溫度過高。 水冷式冷凝器，冷卻水流向錯誤導致過冷度不足。 冷凝壓力太低。 截止閥太小或未全打開。 冷凝壓力調節設置不當或不正確導致冷凝器中積液。 冷凝器風扇的啟停，冷凝器壓力會在風扇啟動後的一段時間內導致液體管路中出現蒸汽。 系統中冷媒不足。	更換合適直徑的管線。 更換導致壓降過大的急彎和元件。 檢查是否有雜質並清除，更換乾燥過濾器。 降低環境溫度或在液體和吸入管線之間安裝熱交換器或隔離液體管線。 重灌系統冷媒。

壓縮機吸入溫度過低	蒸發器冷媒供應不足。 冷媒填充過少。 液管或零件有缺陷。 膨脹閥過熱度過高。	將冷媒填充到正確的液位。 吸入壓力過低 膨脹閥開度過小
壓縮機過冷	膨脹閥安裝不正確，液冷媒從蒸發器流向吸入管路，可能流向壓縮機。	將膨脹閥過熱度調低

表 4-8 冷凍冷藏系統常見故障與解決措施

故障	可能原因	解決措施
壓縮機溫度過高	a) 因蒸發器負荷太大或吸入壓力過高導致壓縮機過載 b) 壓縮機冷卻不良 冷媒過少 蒸發溫度太低 冷凝溫度太高	減少蒸發器負荷或使用較大容量之壓縮機 冷凝器和膨脹閥間的管路損壞 更換膨脹閥 更換蒸發熱交換器
壓縮機啟動時冷凍油沸騰	a) 因環境溫度低，曲軸箱油中的冷媒吸收率高 b) 油分離器再系統停機時混合過多冷媒	再壓縮機曲軸箱內安裝加熱元件。 啟動時油分離器溫度過低，在回油管上安裝加熱元件。 再油分離器後安裝逆止閥
壓縮機運轉時冷凍油沸騰	液冷媒從蒸發器流向壓縮機曲軸箱 浮球閥沒有立刻關閉	將膨脹閥過熱度調高，更換浮球閥或整個油分離器。

壓縮機持續運轉，吸入壓力過低。	低壓停機壓力設定太低，或是控置有故障	參見手冊吸入壓力太低之部分
壓縮機持續運轉，吸入壓力過高。	a) 壓縮機吸入或吐出之閥門過鬆 b) 壓縮機冷凍能力過低	更換閥件 將負載降低，或更換較大容量之壓縮機

資料來源: Dandoss 故障排除技術手冊(2002)【15】

冷凍冷藏系統常見的故障原因主要可分為二大類，一是感測器故障，二是冷凍冷藏系統故障。感測器故障意即感測器元件老化或感測器受到外力因素導致資訊異常，或感測器傳輸資料過程中，發生資料漏失的現象等。而冷凍冷藏系統故障主要可分為三種原因：壓縮機故障、系統故障、控制裝置故障。

1. 壓縮機故障：油泵油壓異常、曲軸箱溫度異常、吸入口溫度過高等。
2. 系統故障：冷凝壓力過高、蒸發壓力過低、冷媒洩漏等。
3. 控制裝置故障：能量調節裝置異常、壓力繼電器異常等。

圖 4-5 及圖 4-6 為不同類型之冷凍冷藏系統【15】，圖中表示其系統元件常發生之故障位置，確認其故障原因為何後，方可確認其故障發生的位置和故障程度為何。

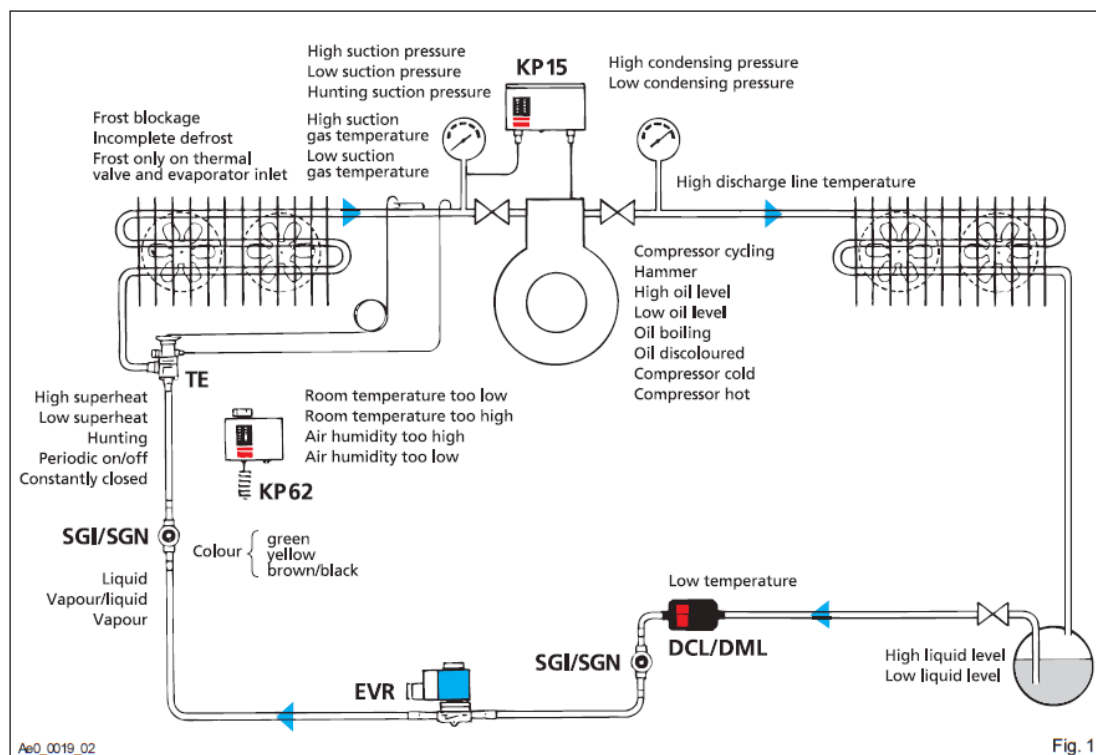


圖 4-5 氣冷式冷凝冷凍冷藏系統

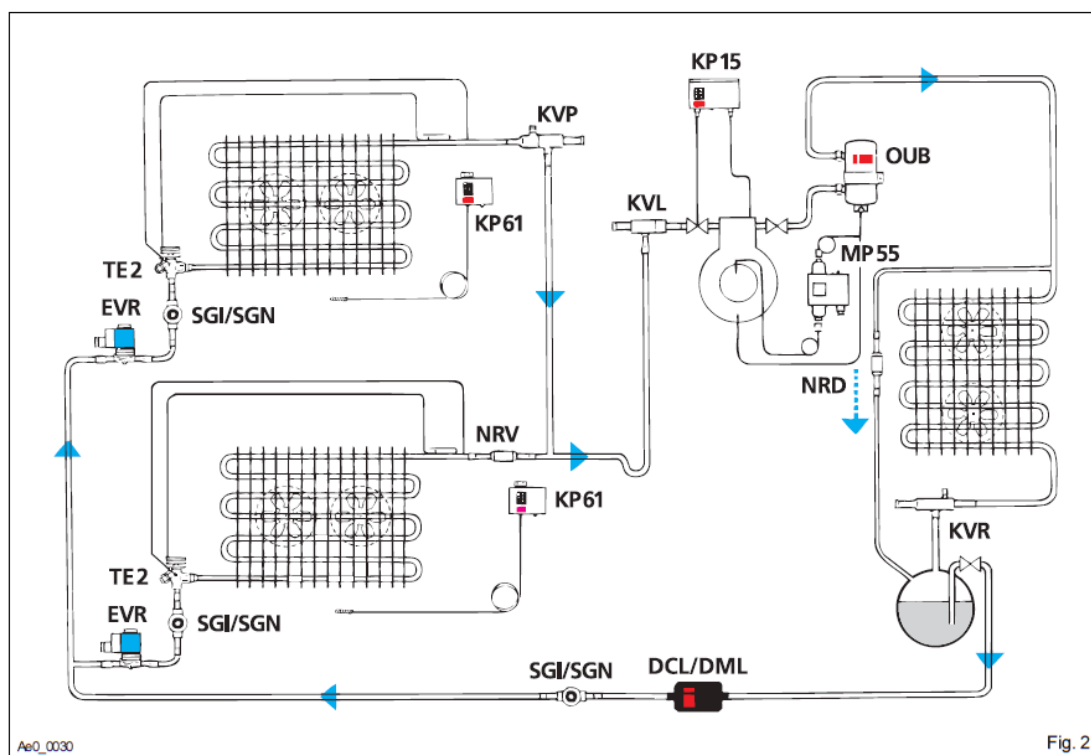


圖 4-6 雙蒸發器氣冷式冷凝冷凍冷藏系統

4.3 案場現場訪視狀況

4.3.1 案例一

案例一為大安區某超市，其販售空間冷凍冷藏系統，可分為兩組獨立水冷式系統，其中一組負責蒸發溫度較高之冷藏展示櫃與冷藏庫，其壓縮機組為 $6\text{kW} \times 2$ 並聯運轉。其另一組系統為水冷式系統，負責溫度較低之冷凍庫與冷凍櫃，其壓縮機為單顆 7.4 kW 。

此案場之壓縮機的加卸載控制方法，皆是將液冷媒注射冷卻系統方式進行控制。冷凝器吐出的部分液態冷媒，經毛細管從渦捲式壓縮機的低壓回管注射冷卻，以液冷媒的潛熱降低吐出冷媒溫度。壓縮機控制機板如圖 4-7 所示。

此案場之壓縮機蒸發壓力及冷凝壓力的設定方式，是利用控制機板以指撥的方式做設定，設定完成後壓縮機即以設定值做為加卸載之基準，此壓縮機本身並不會依據負載側之需求量作為加卸載的依據，而此案場另有設定在夜間時壓縮機之壓力回置的功能，從圖 4-8 觀察到，夜間時段壓縮機最低輸入功率整體下降，從 6kW 降至約 5kW，此為夜間壓力回置之結果，可減少非尖峰時期之耗電量。

此案場之冷藏系統流程，壓縮機將來自於蒸發器低溫低壓之氣態冷媒，壓縮為高溫高壓之氣態冷媒後，吐出至冷凝器進行冷凝，冷凝之後的液態冷媒流入經過高壓受液器，再經過膨脹閥膨脹為低溫低壓液態冷媒，最後進入蒸發器冷卻物品，低溫低壓液態冷媒吸收外界熱量後汽化為低溫蒸氣冷媒，再進入壓縮機進行前述之冷凍循環。



圖 4-7 壓縮機控制機板

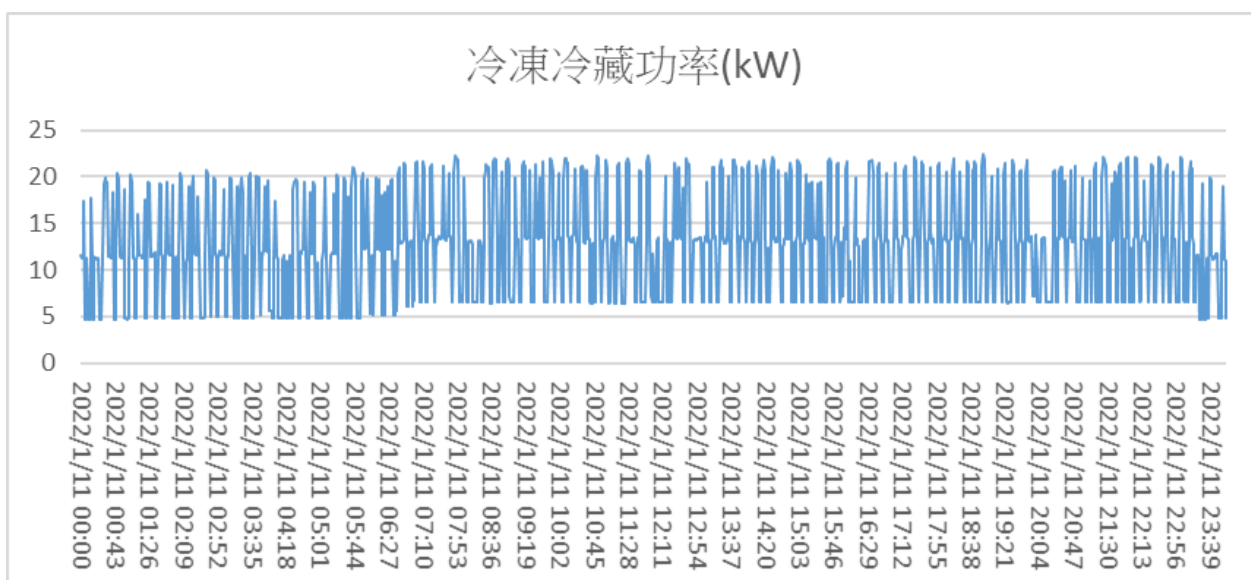


圖 4-8 冬季之冷凍冷藏功率

經訪視案場後，冷凍設備包含了展示櫃、冷凍庫等，詳細調查如表 4-9 所示。

表 4-9 冷凍展示櫃裝置量

	使用型態	溫度範圍℃	數量	除霜時間
展示櫃	日配櫃	2~4	4	4 小時一次 每次 30 分
	肉品櫃	-1~-3	1	
	蔬果櫃	5~7	2	
冷凍庫	冷凍食品	-22~-24	1	6 小時一次 每次 30 分
	冷凍肉品	-22~-24	1	
	冷凍海鮮	-22~-24	1	
	冰淇淋	-22~-24	1	

為維持展示櫃內之商品品質，須將冷卻管排上凝結的霜給去除。結霜會使熱交換器之空氣流道變小，導致熱傳率降低，故冷凍能力、吸氣壓力下降，結霜情形會更加嚴重，嚴重時將造成風扇卡死、損壞，無法保持商品溫度。

此案場在除霜方面使用電熱除霜法，除霜時間如表 4-9 所示，由於使用的是定時定量的方式，在節能方面尚有改善空間，根據文獻回顧可參考加入除霜復歸控制，再回風處加入感溫器，當回風溫度高於一定溫度，即關閉除霜模式回復為製冷模式，可避免除霜之熱量過多，減少回復為製冷模式時的耗能。

此案場之冷凍櫃的櫃壁有常態的結霜，以及櫃門上有結露的情形，其原因可能為真空玻璃有空氣進入、隔熱效能衰減的情形，如圖 4-9、圖 4-10 示。



圖 4-9 櫃門結露



圖 4-10 櫃壁結霜

此案場有裝設 EMS 系統，而針對其 EMS 系統，維護人員表示，主要是用來查看每季賣場總耗電量之使用，對比每年之賣場總耗電量並觀察趨勢是否有太大之差異。此 EMS 系統也包含故障發報功能，實際上使用情形為主機跳脫等重大故障時才會發報。此 EMS 系統數據監控方面，包含如前述之賣場總耗電量，但並未細分成空調、照明、冷凍設備等部分，因此要觀察出各別耗電量上很難執行。冷凍設備之數據方面，僅有各冷藏、冷凍櫃之設定溫度、出風溫度、回風溫度，以及除霜時間數據，尚缺乏主機側之數據資訊以及壓力等數據資訊，EMS 系統之數據介面如圖 4-11、圖 4-12 所示。

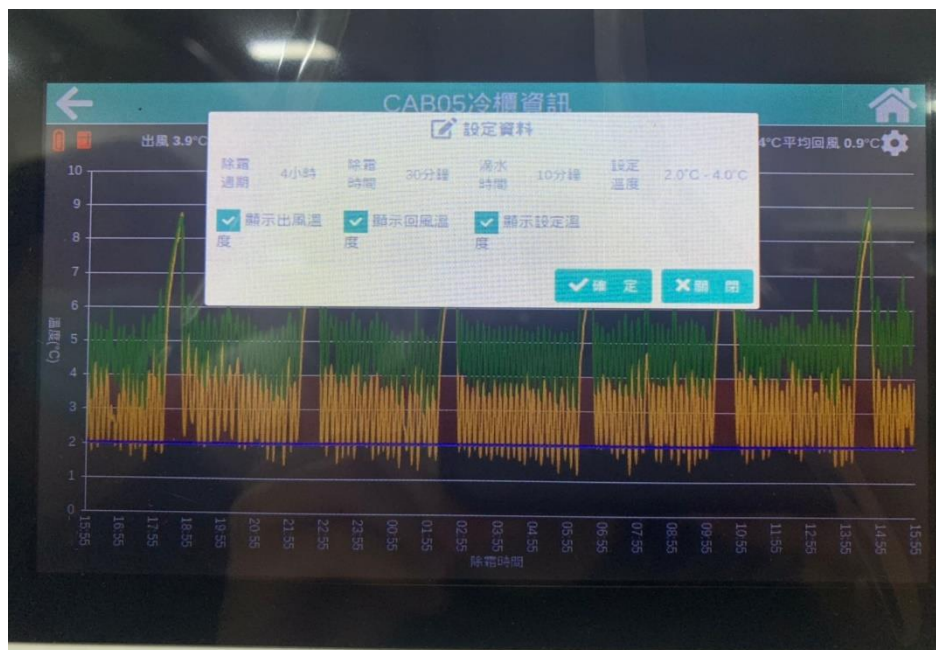


圖 4-11 EMS 系統冷凍冷藏櫃之數據

冷櫃列表									
櫃位	狀態	出風 °C	回風 °C	設定溫 度 °C	節能	警報	水位 (mm)	建議	封 黃 記
CAB03	製冷	5.2	74.07	5	●		0		①
CAB04	製冷	-2	8.02	-3	●		0		①
CAB05	製冷	3.9	6.08	2			0		①
CAB06	製冷	3.2	5.7	3	●		0		①
CAB07	製冷	3.1	3.59	3	●		0		①
CAB08	製冷	1.2	5.26	2			0		①
CAB09	製冷	-22.5	-21.42	-24	●		0		①
CAB10	除霜	-1001	-9.23	-1001			0		①
CAB11	製冷	-21.8	-12.87	-24	●		0		①
CAB12	製冷	-24.4	-16.19	-24	●		0		①
CAB13	製冷	-22.8	-17.87	-24	●		0		①

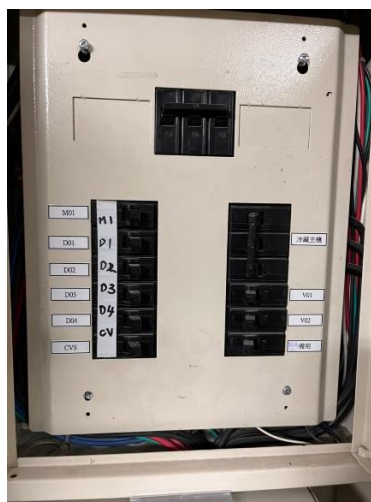
圖 4-12 EMS 系統冷凍冷藏櫃之數據

此案場之冷凍冷藏元件故障訪視部分，根據現場維護人員表示，最常出現之問題為冷媒洩漏，此案場之壓縮主機至冷凍冷藏展示櫃之距離，大約在 30 米以上，管路較長，且為維持賣場視覺上簡潔，其管路大多都被隱藏在夾板中或以輕鋼架吊起，查漏非常不易，此案場大約以三個月為期進行一次冷媒探漏，若有嚴重洩漏，通常都是發現冷凍冷藏庫之冷度不足時，才一一檢視問題所在，最後才發現有漏冷媒之情形，甚至發現即便有漏冷媒，但在洩漏量不大的情況下，便不進行探漏直接進行補冷媒以讓系統能維持最低限度運作，此舉並無法從根本解決系統本身之問題，且會讓系統以低效率的方式運轉，進而帶來高耗電之結果。

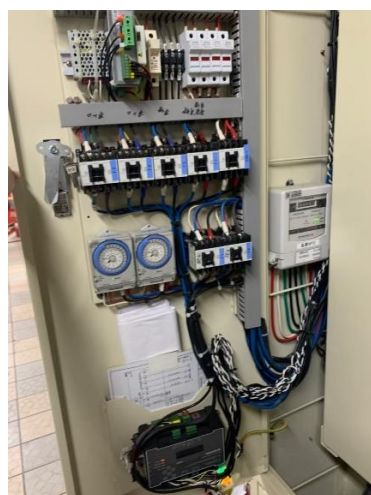
另外維護人員表示，現場之維修費用最貴的故障原件為壓縮機，原因多為設備老舊有換新之必要、散熱不良導致高壓跳脫，以及保養不足或電線短路等問題，壓縮機為冷凍系統之心臟，其成本要來得其他元件高，因此對壓縮機之故障診斷進行精進，可以有效降低其整個系統的維修成本。其故障發生率第二高之元件為蒸發器風扇，原因多為設備老舊需定期更換，風扇為耗損品，因此定期更換是必然的，而維護人員表示需更換情形的情況大多為發現庫溫不足且蒸發器有大量結霜，在沒有立即發現故障的情系統繼續運轉，將會對系統造成損傷，此案場在故障偵測上無法做到立即的發報，尚有改進空間。故障發生率第三高之設備為展示櫃之溫度偵測器的失準，此情況會使得產品無法維持品質，且難以立即發覺。



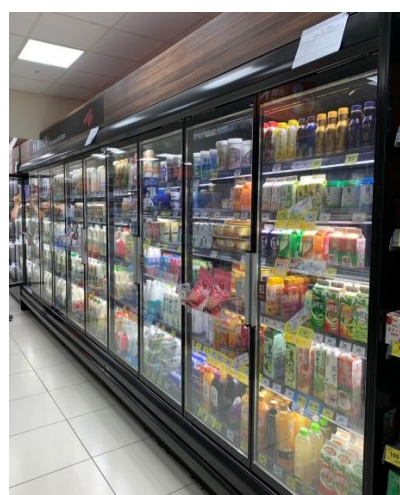
超市冷凍空調機組



冷凍冷藏電力盤



冷凍冷藏控制盤



密閉式展示櫃



開放式展示櫃



開放式展示櫃感溫器

圖 4-13 超市冷凍冷藏系統實體圖

4.3.2 案例二

案場二為位於台北市某家便利商店，其冷凍冷藏展示櫃之設備包含，三尺開放櫃以及六尺開放櫃，其櫃位各有兩個、五門 Walk in 冷藏庫一個、兩門冷凍庫一個、臥式冰櫃一個，另外熟食機器包含，茶葉蛋電鍋、地瓜機、熱狗機、熱水機、咖啡機等。其案場之平面示意圖如圖 4-14 所示。

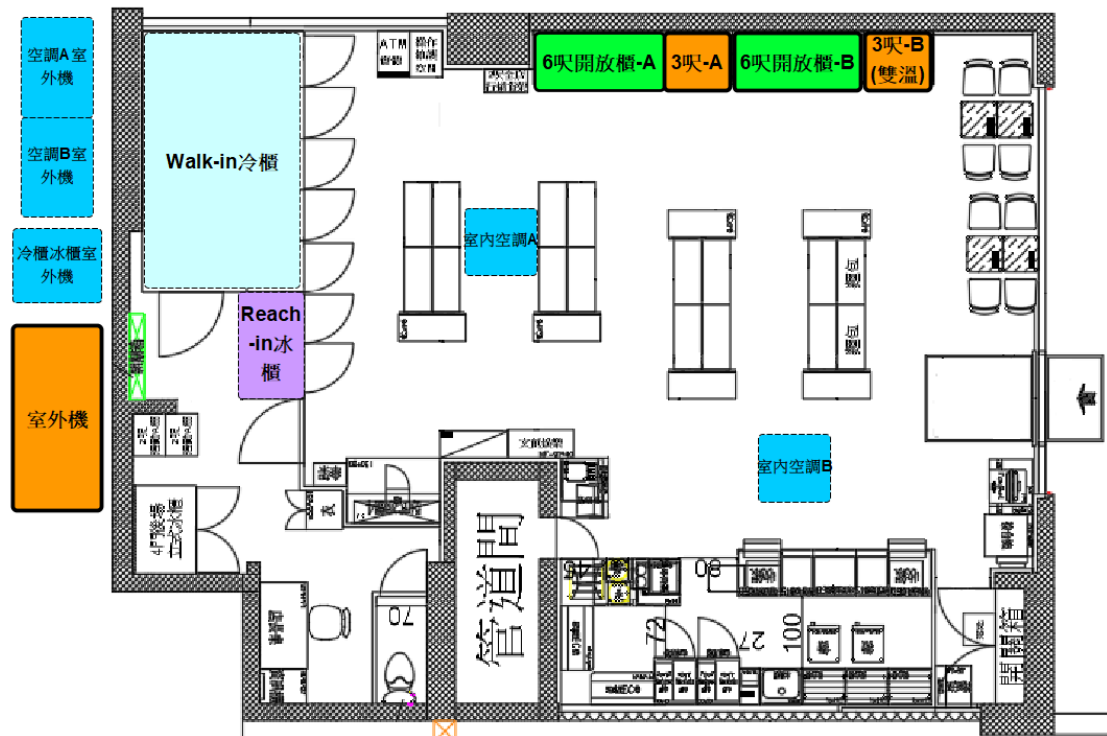


圖 4-14 便利商店平面圖

此案場透過資料收集器作為數據及 PC 間之橋梁，並透過 TCP/IP 傳送訊號，而量測點位包含蒸發器出風口溫濕度、蒸發器回風口溫濕度、庫內溫濕度、壓縮機出口溫度、冷凝器冷媒出口溫度、冷媒系統高低壓力，壓縮機運轉訊號，控制器接收到數據時，將數據傳輸至 PC 端再由 MaraiDB 資料庫紀錄數據，數據傳輸架構如圖 4-15 所示，數據紀錄為 1 分鐘一筆。

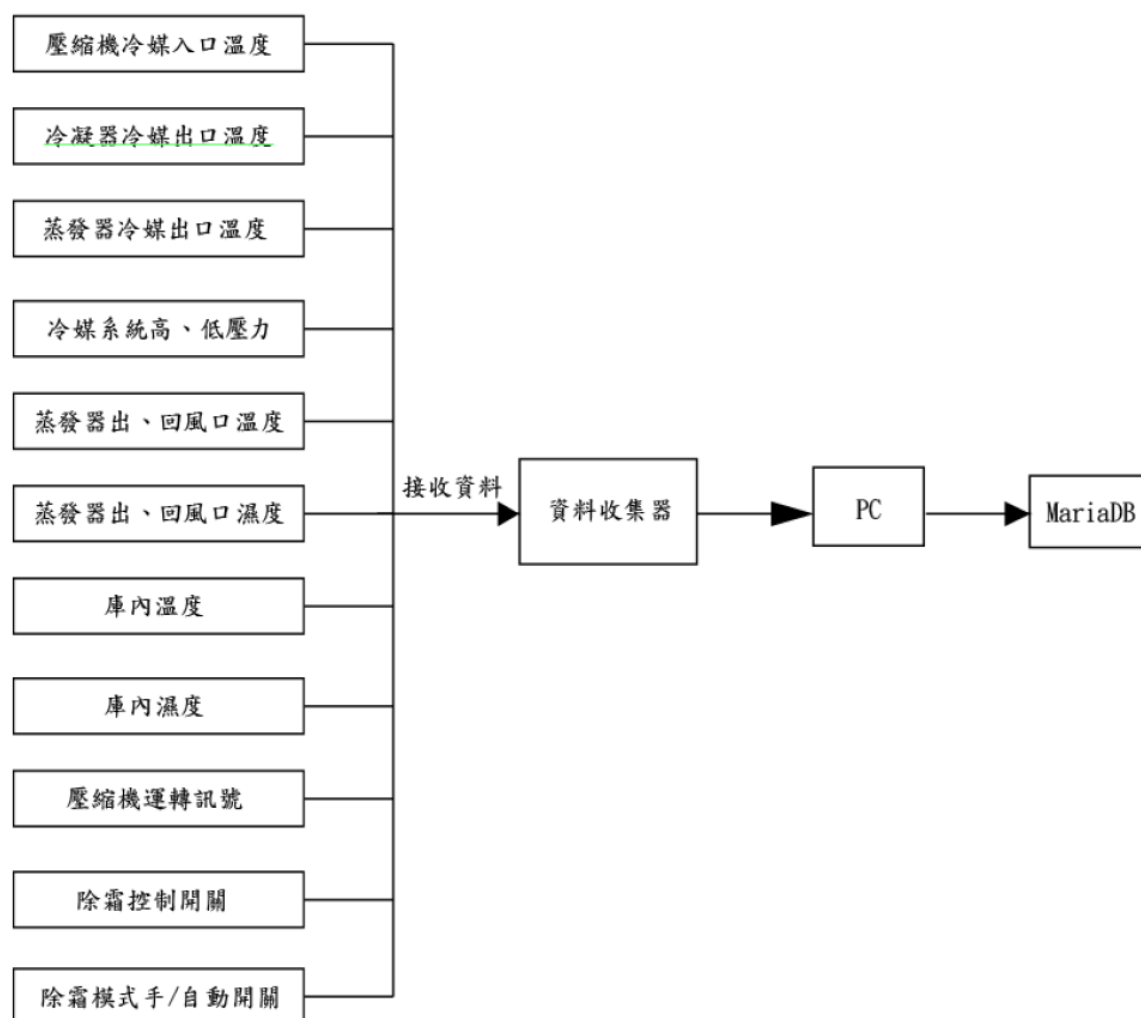


圖 4-15 數據傳輸架構

其數據也會上傳至雲端，即使使用者不在案場，也能夠儲存和檢視當下數據，其雲端數據介面如圖 4-16 所示。透過監測數據來檢核與調適即時冷凍冷藏系統，以實現精準控制溫度、故障診斷與預知、能源利用最佳化。此數據可歸納故障類型，將數據輸入至故障模型進行預測藉以使相關維護保養人員可即時得知該系統之性能狀態。

OS6-A_6呎開放櫃 (2022/6/24 下午 05:29:00)											
● 蒸發器冷媒入口溫度	22.55 °C	● 蒸發器冷媒入口溫度	-1.24 °C	● 蒸發器冷媒出口溫度	3.05 °C	● 冷媒低壓值(蒸發器入口)	3.37 bar	● 冷媒低壓值(蒸發器出口)	3.34 bar		
● 蒸發器出口風口(外右)濕度	88.1 %	● 蒸發器出口風口(內右)溫度	0 °C	● 蒸發器出口風口(內右)濕度	0 %	● 蒸發器回風口(右)溫度	13.7 °C	● 蒸發器回風口(右)濕度	83.5 %		
● 蒸發器出口風口(外左)濕度	88.7 %	● 蒸發器出口風口(內左)溫度	8.6 °C	● 蒸發器出口風口(內左)濕度	83.7 %	● 蒸發器回風口(左)溫度	15.2 °C	● 蒸發器回風口(左)濕度	81.6 %		
● 蒸發器庫溫濕度	83.3 %										
OS3-A_3呎開放櫃 (2022/6/24 下午 05:29:00)											
● 蒸發器冷媒入口溫度	23.22 °C	● 蒸發器冷媒入口溫度	-2.52 °C	● 蒸發器冷媒出口溫度	0.24 °C	● 冷媒低壓值(蒸發器入口)	3.48 bar	● 冷媒低壓值(蒸發器出口)	3.39 bar		
● 蒸發器出口風口(外右)濕度	88 %	● 蒸發器出口風口(內右)溫度	9.6 °C	● 蒸發器出口風口(內右)濕度	79.1 %	● 蒸發器回風口(右)溫度	13.5 °C	● 蒸發器回風口(右)濕度	85.5 %		
● 蒸發器庫溫濕度	94.4 %										
OS6-B_6呎開放櫃 (2022/6/24 下午 05:29:00)											
● 蒸發器冷媒入口溫度	20.21 °C	● 蒸發器冷媒入口溫度	-0.5 °C	● 蒸發器冷媒出口溫度	8.18 °C	● 冷媒低壓值(蒸發器入口)	3.35 bar	● 冷媒低壓值(蒸發器出口)	3.34 bar		
● 蒸發器出口風口(外右)濕度	89.6 %	● 蒸發器出口風口(內右)溫度	92.3 °C	● 蒸發器出口風口(內右)濕度	6.7 %	● 蒸發器回風口(右)溫度	19.7 °C	● 蒸發器回風口(右)濕度	70.8 %		
● 蒸發器出口風口(外左)濕度	85.8 %	● 蒸發器出口風口(內左)溫度	3.6 °C	● 蒸發器出口風口(內左)濕度	91.6 %	● 蒸發器回風口(左)溫度	14.5 °C	● 蒸發器回風口(左)濕度	91.5 %		
● 蒸發器庫溫濕度	87.8 %										
OS3-B_3呎開放櫃(雙溫) (2022/6/24 下午 05:29:00)											
● 蒸發器冷媒入口溫度	19.92 °C	● 蒸發器冷媒入口溫度	-0.91 °C	● 蒸發器冷媒出口溫度	-0.92 °C	● 冷媒低壓值(蒸發器入口)	3.43 bar	● 冷媒低壓值(蒸發器出口)	3.33 bar		
● 蒸發器出口風口(外右)濕度	84 %	● 蒸發器出口風口(內右)溫度	10.5 °C	● 蒸發器出口風口(內右)濕度	84.1 %	● 蒸發器回風口(右)溫度	14.6 °C	● 蒸發器回風口(右)濕度	82.7 %		
● 蒸發器庫溫濕度(上)	78 %	● 蒸發器庫溫濕度(下)	92.7 %	● 蒸發器庫溫濕度(下)	5.5 %						
SW1_5門Walk in 冷藏庫 (2022/6/24 下午 05:29:00)											
● 蒸發器冷媒入口溫度	38.64 °C	● 蒸發器冷媒入口溫度	62.28 °C	● 蒸發器冷媒出口溫度	-6.23 °C	● 冷媒高壓值(蒸發器冷媒入口)	16.98 bar	● 冷媒低壓值(蒸發器冷媒入口)	3.75 bar		
● 冷媒高壓值(蒸發器冷媒出口)	18.17 bar	● 蒸發器出口風口(左)溫度	1.3 °C	● 蒸發器出口風口(左)濕度	82.6 %	● 蒸發器出口風口(右)溫度	9 °C	● 蒸發器出口風口(右)濕度	83.1 %		
● 蒸發器回風口(左)溫度	5.5 °C	● 蒸發器回風口(右)溫度	7.2 °C	● 蒸發器回風口(右)濕度	66.2 %	● 蒸發器庫溫(左)溫度	60.8 °C	● 蒸發器庫溫(左)濕度	4.2 %		

圖 4-16 雲端數據介面

一般常見商用之開放櫃為了減少初置成本，會將壓縮機設置為定頻式壓縮機，定頻式壓縮機將冷媒送到多個開放櫃蒸發器，利用出風溫度設定值判斷開放櫃之二通閥開啟關閉，當整體開放櫃系統負載沒那麼大時，壓縮機停止運轉，當開放櫃溫度上升後壓縮機隨即啟動，如此重複壓縮機頻繁啟停將造成大量的能耗損失，且開放櫃內部溫度之高低起伏幅度大。

此便利商店雖有導入變頻式壓縮主機，但並沒有加以智慧節能控制。本案之高溫冷藏櫃，沒有啟動除霜，壓縮機變頻控制之設定值設定為初始設定條件，室外溫度為 31.2°C，平均高壓 16.20 bar，耗電量為 21.15 kWh，平均庫溫為 4.8°C，庫溫平均差為 1.31°C，整體庫內因啟停頻繁之影響，壓縮機啟動時間短，但皆為高載運轉，導致庫溫震盪劇烈如圖 4-17 所示，也造成壓縮機的負擔，甚至使得用電量提高。

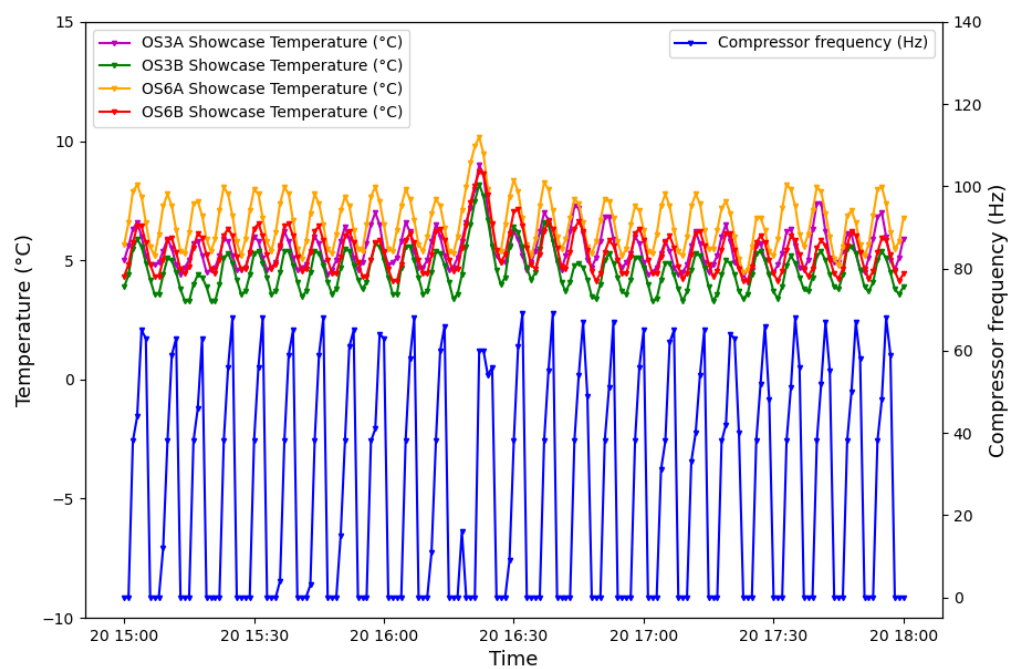


圖 4-17 開放櫃庫溫及壓縮機運轉頻率關係圖



圖 4-18 室外冷凝側主機實體圖

此便利商店之除霜控制，原本設定為每 6 小時除霜一次，除霜時間持續 25 分鐘，除霜期間展示櫃之二通閥將關閉，冷媒停止流入展示櫃蒸發器。過度的除霜控制將導致庫內溫度上升，進而影響儲存物之品質，且當二通閥開啟開始進入製冷模式後，需再移除除霜期間所釋放的熱能，將造成額外之功耗，除霜前後對於蒸發器盤管上之變化如圖 4-19 所示。

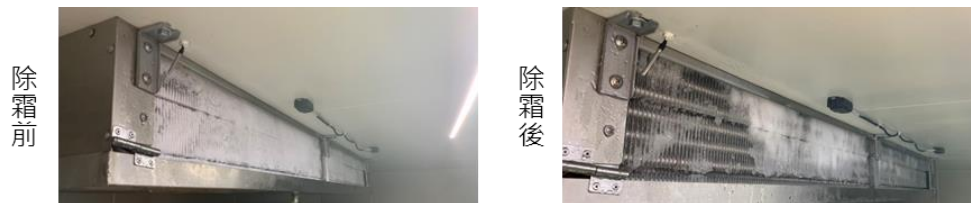


圖 4-19 蒸發器除霜前後之差異

此案場之溫濕度感測器數量佈滿便利商店，開放櫃裡設置的溫濕度計共有 14 支，如圖 4-20，由於開放櫃內部全年低溫，透過空氣線圖可得知，同樣的絕對濕度下，當溫度在低溫時相對濕度較高，透過數據可得知此便利商店開放櫃裡的濕度長期高於 85%，其溫濕度計長期處於高濕度的環境下，時常有失準或接收不到訊號的問題，此便利商店以定期更換感測器的方式確保環境數據收取正常。

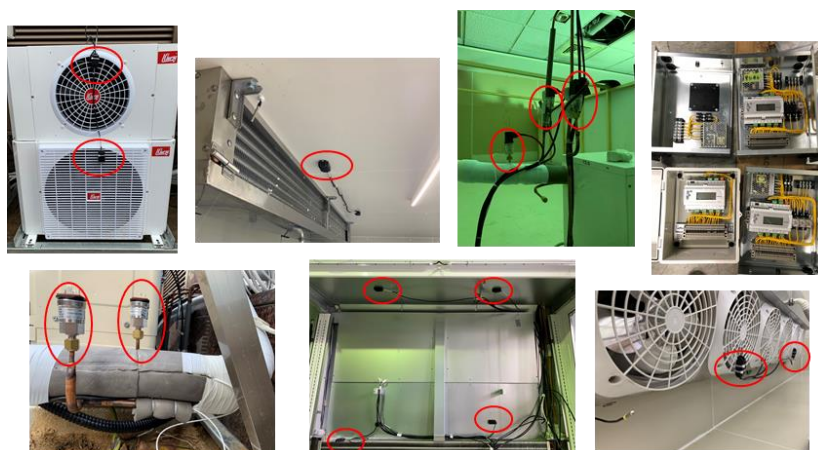


圖 4-20 監控感測器設置位置

此便利商店雖有大量的環境與櫃體之溫濕度計與其他感測器，但其能源管理系統並沒有加入故障發報的功能，與超市和量販店不同，便利商店並沒有常駐的設備維護人員，當店員發現冷凍冷藏系統出現故障時，其故障時間通常已經過許久，店員通知維修廠商再派專人維修，期間的時間成本將會付出許多，此計畫其中一項目標便是在此案場建立故障診斷模型，以提升服務業營業場所自動化診斷效率及能源效率。

4.3.3 案例三

案場三位於台北市某間量販店賣場，其樓層位於地下一樓及二樓的位置，營運至今已有十多年歷史，營業時間為上午 09:00 至上午 00:00 時，本案例冷凍冷藏系統可分為兩組獨立之系統，其中一台負責蒸發溫度較高之冷藏展示櫃與冷凍庫，共有 4 台壓縮機並聯運轉，冷藏系統之總製冷量為 135.1 kW，另一組系統負責溫度較低之冷凍臥櫃與冷凍庫等，冷凍系統之製冷量為 268.4 kW，共有 6 台壓縮機並聯運轉，如圖 4-21 所示。



圖 4-21 量販店壓縮主機實體圖

此案場主機之吸入口側有長期結霜之現象，主機側沒有設計一個良善的排冷凝水方式，冷凝水會從主機吸入口側管路滴下，時間累積久了其主機殼有被冷凝水侵蝕生鏽之現象，其主機之底部支架也有大面積之生鏽如圖 4-22 所示，若過於嚴重支架有坍塌之疑慮，以及主機之壽命也大幅降低。



圖 4-22 主機支架鏽蝕狀況

此案場之壓縮主機為並聯連接，當量販店賣場過了打烊時間後，賣場冷凍冷藏庫之負載量降低，蒸發器所需之冷媒流量需求也降低，壓縮機啟動數量會因此下降，可以做到節省功耗的效果。

開放展示櫃採用二通閥的方式來做製冷的啟停需求，主要設定是利用回風溫度降低至設定溫度時將二通閥關閉，此時開放櫃將不會製冷，除霜控制方面，除了設定固定時間除霜外，也加入溫度控制，當庫內之趨近溫度高於設定之趨近溫度溫度，系統會判定有除霜需求，而進行除霜，當庫內之趨近溫度低於設定值時，展示櫃會再次切換為製冷模式，利用需量除霜方法可以有效地降低耗能運轉。

此賣場中冷凍食品展示櫃需於邊框裝置防汗電熱絲，以防止結露的現象發生，傳統這些電熱裝置是保持通電狀態，但實際是否結露需視該環境露點溫度而定，此案場之防汗控制加裝濕度感測器，同除霜控制一般，適當的控制即可節省不必要的耗能。展示櫃防汗電熱設備占整體展示櫃設備耗電之 13%，產生之顯熱負荷中 60%由展示櫃吸收，約占整體展示櫃熱負荷之 8%，其餘 40%顯熱負荷則散至賣場由空調系統吸收。

此賣場其中一組展示櫃使用透明遮簾來隔絕展示櫃與外氣之熱交換如圖 4-23 所示，而其餘展示櫃沒有適用遮簾如圖 4-24 所示，其周圍溫度比其他展示櫃周圍溫度高，代表遮簾有發揮到，減少展示櫃與周圍環境產生熱交換的效果，進而達到節能，而其缺點為遮簾容易結露，沒有防止結露的方法，以及拿取商品時較為不方便。



圖 4-23 量販店開放櫃透明遮簾



圖 4-24 量販店開放櫃

此賣場節能監控系統，可以幫助食品零售及冷凍行業大幅降低能耗，減少費用，確保食品品質並減少損耗。此系統解決方案，可提升精確之溫度控制，降低能耗，進而降低用戶費用。此賣場之監控系統設備如圖 4-1 所示，其功能包含：

- (1) 壓縮機控制：控制器可以按照負荷變化及壓縮機運行時間均衡原則，自動控制壓縮機的製冷台數；同時，用戶也可以根據需要自行定義運轉台數。
- (2) 歷史記錄安全保護：控制器對於吸氣溫度、排氣溫度及冷凝溫度等的監控，以及油壓、過電流、壓縮機熱保護、液位保護等的反饋信號，可以最大限度的保護機組不受損害。
- (3) 冷凝器控制：根據冷凝壓力控制器冷凝器啟停台數。
 - A. 冷凝壓力浮動：根據室外溫度的變化時時調整冷凝溫度設定，即所謂的冷凝壓力浮動控制，進而大幅度降低能耗。

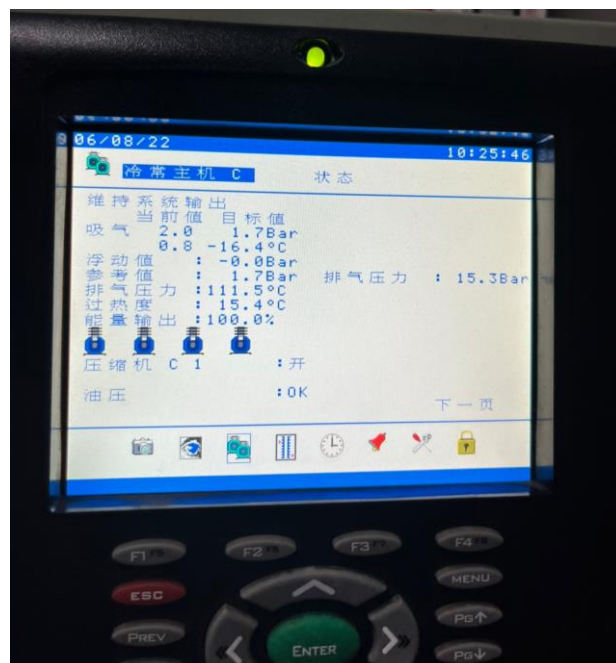


圖 4-25 量販店監控系統

此賣場也有裝設熱回收裝置如圖 4-26 所示，冷凍系統之熱回收設備之控制方法，是藉由熱回收控制閥控制所需之熱回收量，當熱回收需求降低或冷凝壓力太低而可能造成冷凍系統運轉之效能低下時，必須將熱回收控制閥關小或關閉，降低熱回收器之熱回收量。

利用熱回收熱交換器將壓縮機吐出之高溫高壓氣態冷媒之熱量取出，用於空間除濕之再熱或提供為賣場之熱水，供應肉品、烘培及熟食區熱水使用。



圖 4-26 量販店熱回收系統

該賣場每個月都會固定有冷凍冷藏設備之廠商人員來檢修保養，因此較少出現嚴重的故障情形，冷媒管路探漏方面，與前述之超市相同，因冷媒管路需分配到賣場的每個地方，管路非常長也非常難全面探漏。此賣場最常出現故障的情況為電子元件損壞，例如：電子元件收不到訊號等問題，賣場做法為將年限快到期之元件做全面性更換，以避免影響到商品之品質，另外也有零件鬆脫等問題，這些都是設備廠商固定檢修時可以解決的。根據訪談，賣場中維修最貴之項目為壓縮機，壓縮機將冷媒輸出至賣場冷凍冷藏各個櫃位，其容量相當

大，因此單價也較高，賣場壓縮機購入日直至目前還尚未有需更換之情況。

此賣場除了系統展示櫃外，還陳列了多組島型展示櫃，其優點為冷能較不易散失，商品容量也較大；然而其缺點為島櫃維修程序太麻煩，且其散熱之熱能仍留在賣場裡，增加賣場之負荷量，因此賣場正逐漸將島櫃給淘汰掉。

4.3.4 賣場冷凍冷藏展示櫃使用問題之分析與歸納

在前章節之文獻分析，可得知冷凍冷藏櫃之節能技術，正在台灣逐漸投入中，但許多節能技術多由國外研究後再引入台灣，節能效果亦會受到諸多環境因素、氣候因素、設計方法及使用條件而有所差異。因此，本研究藉由現場應用案例之訪視及量測，以了解實務應用狀況。歸納本研究訪視之營業場所冷凍冷藏系統節能技術調查結果，如表 4-10 所示。完全沒有採用之節能技術包含：使用蒸發式冷凝器、機械式過冷卻、熱氣除霜、回氣管熱交換、電子式膨脹閥及賣場濕度控制。其中，近年來在多聯變頻空調系統已經逐漸被採用的電子式膨脹閥，在本次的冷凍冷藏系統調查中卻完全沒有被採用。建議業者可進一步採用電子式的膨脹系統，以過熱度作控制，自動調節冷媒流量，達到最佳節能效果，根據相關研究顯示，節能效果最高可到 30%。根據運行系統的大小不同，通常的投資回收期在 2 年左右。

本計畫團隊現場訪視發現，大多數賣場之冷媒管路有洩漏情況時並不會作全面性探漏，業者考量到人力及時間成本的部分，再加上空間環境的因素，在沒有嚴重洩漏的情況下，多以回補冷媒當作暫時解決問題的方式。

現場三座案場其中兩座之冷凍櫃部分櫃門有結露現象，發現是因為其真空玻璃內有空氣滲入導致，當真空玻璃內部已不是真空狀態，冷凍櫃的冷能會經由空氣熱傳導至環境，對櫃內產生熱負荷影響功耗。

現場之部分冷凍展示櫃內部有大面積之結霜，根據現場設備維護人員之說詞，表示由於每個冷凍櫃之內部設計方式不一樣，以及商品體積大小各有不同，因此很容易出現櫃體層架上有積霜之現象，層架上的結霜會導致櫃體內部空氣流動不良，遠離出風口處之商品較難達到設定溫度。

經由現場之訪視，關於冷凍冷藏櫃在使用上之問題，可以歸納如下：

1. 案場之冷媒管路複雜，非大量之洩漏難以探查
2. 櫃門之真空玻璃失效，熱負荷易傳導至展示櫃內部，增加功耗，且櫃門內部結露難以看清產品樣貌。
3. 冷凍展示櫃內部層板積霜，導致內部空氣流動不均勻。

經由實地訪查量販店、超市、便利商店冷凍冷藏節能改善案例，可了解現市面上已有許多項節能又環保的冷凍冷藏系統設備產品，如變頻冷凍冷藏主機、高效率臥式冷凍櫃、立式展示櫃冷凝熱氣外移、均溫展示櫃、氣簾設計、飲料展示櫃除霧控制器、冷凍櫃除霜、熱回收系統、電子 T-5 螢光燈管、冷凍展示櫃 LED 燈及監控系統等，若冷凍冷藏系統進行整體設備節能改善，則系統有節約電費 20%~30% 的空間【14】。案場之節能技術如表 4-10 所示，常見設備故障情形如表 4-11 所示。

表 4-10 營業場所冷凍冷藏系統節能技術調查

技術類別	節能技術	案場一	案場二	案場三
冷凍主機	變頻壓縮機	無	有	無
	使用蒸發式冷凝器	無	無	無
	浮動式高低壓控制	無	有	有
	熱回收	無	無	有
	機械式過冷卻	無	無	無
	環境過冷卻	無	無	無
	夜間蒸發器壓力重置	有	無	有
冷凍冷藏櫃	熱氣除霜	無	無	無
	電子式膨脹閥	無	無	無
	防汗電熱絲控制	無	無	有
	除霜需量控制	無	無	有
	低溫系統之低壓回氣管 熱交換	無	無	無
	中溫系統之低壓回氣管 熱交換	無	無	無
濕度控制	賣場濕度控制	無	無	無

表 4-11 各案場之常見設備故障情形

順位	最常故障之元件	故障情形
1	冷媒	漏冷媒，嚴重洩漏才探漏，並補充冷媒
2	櫃門	未完全關閉
3	蒸發器風扇	消耗品，發現櫃溫不足才更換
4	溫控器	櫃溫不足才做更換
5	除霜定時器	無作用導致蒸發器結霜
順位	維修費用最高之元件	故障情形
1	壓縮機	老舊、跳高壓、保養不足

五、商用冷凍冷藏設備節能技術

商業冷凍冷藏之主機系統側，也就是包含壓縮機及冷凝器之冷凝機組的節能技術，過去常見之技術包含：

- 浮動式蒸發溫度控制
- 變頻式壓縮機
- 使用蒸發式冷凝器
- 浮動式高壓控制
- 熱回收
- 環境過冷卻
- 機械式過冷卻

商業冷凍冷藏櫃（庫）係用來置放產品及達到低溫保鮮功能之設備，冷凍冷藏櫃（庫）必須由冷凝機組來輔助達成其冷卻功能，其節能技術包含：

- 熱氣除霜
- 防汗電熱控制
- 蒸發器風扇採用 ECM 馬達
- 除霜需量控制
- 高效率照明
- 賣場濕度控制

以上冷凍冷藏設備節能技術之詳細內容可參見「開放式冷凍冷藏展示櫃節能應用手冊」<https://www.ecct.org.tw/?aspxerrorpath=/print/index.htm> 第三及第四章開放式展示櫃冷凝機組及系統側節能技術說明。

5-1. 冷凍冷藏設備之節能技術研究

5-1-1. 浮動蒸發溫度控制技術

展售生鮮之開放櫃容易受到周圍環境及消費行為之影響，因此日、夜、季節之負載變化大，使得冷凍系統溫控不易並造成能源效率不佳。本研究應用便利商店實際案場，藉由 IoT 物聯網技術連接冷凍冷藏機之基板，收集運轉數據，利用智慧演算法，根據不同負載需求狀況及室外溫度動態變化，預測壓縮機最佳運轉條件，達到自動最佳化增發發溫度及動態能源需量控制，並提升冷凍系統之能源效率。浮動蒸發溫度控制技術可達成之動態能源需量控制並節能之原理如圖 5-1 所示。

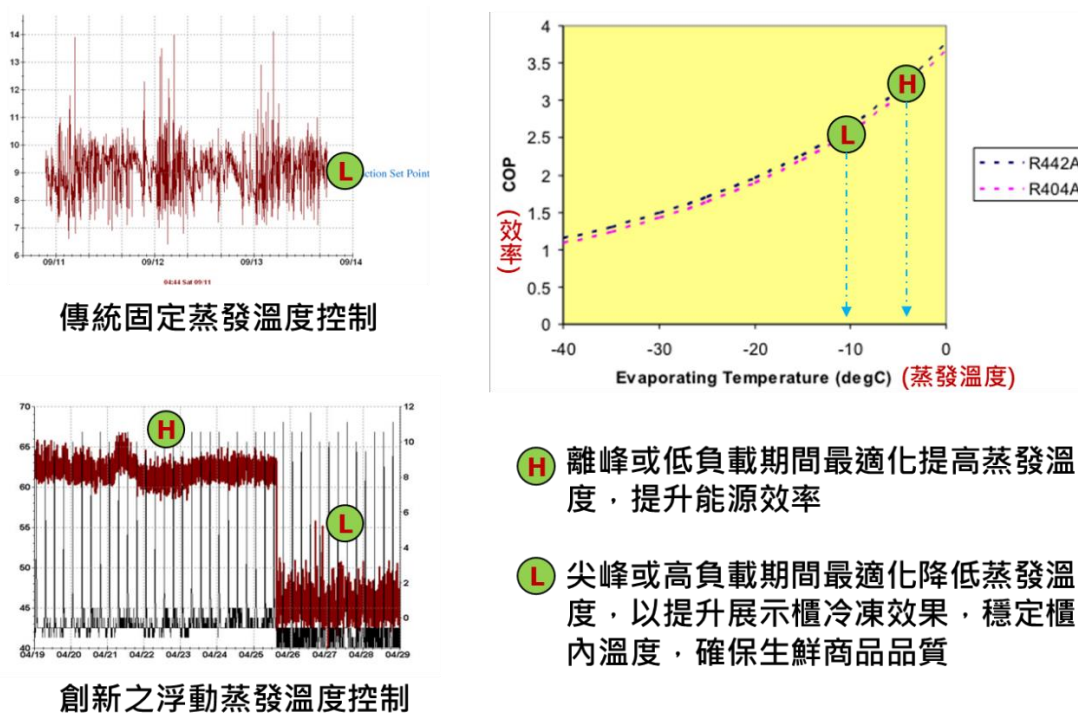


圖 5-1 浮動蒸發溫度控制技術原理簡介

浮動蒸發溫度控制技術可達成之動態能源需求控制並節能之整體技術實施之系統架構如圖 5-2 所示，開發完成之程式畫面如圖 5-3 所示。

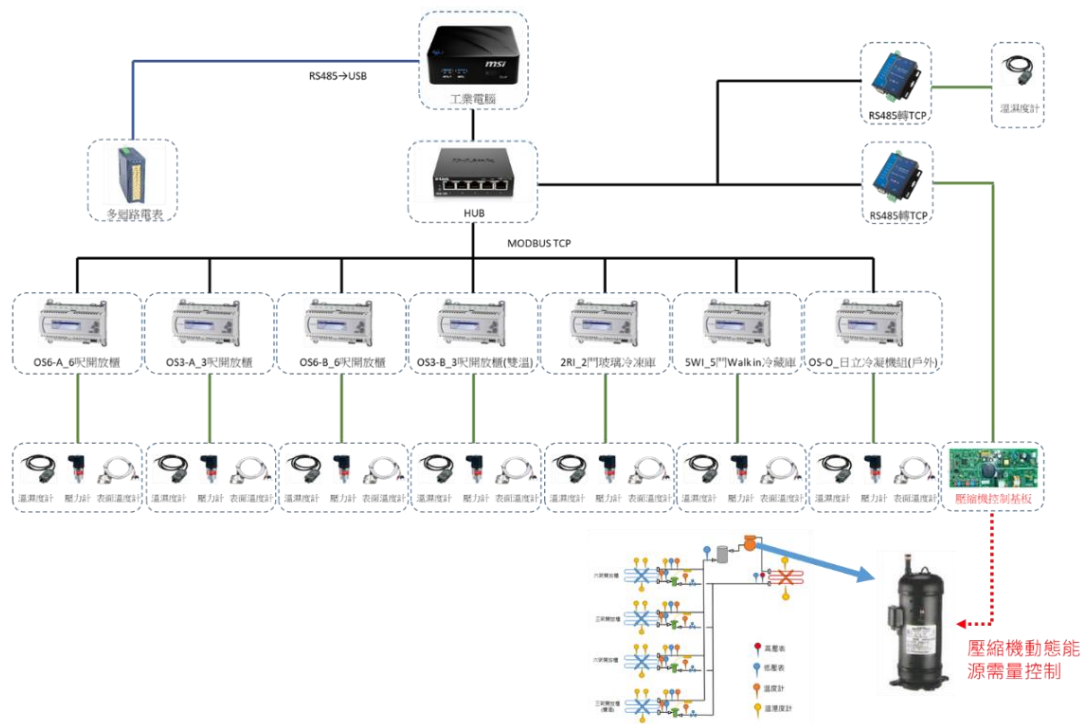


圖 5-2 於便利商店進行壓縮機動態能源需求控制之實施例

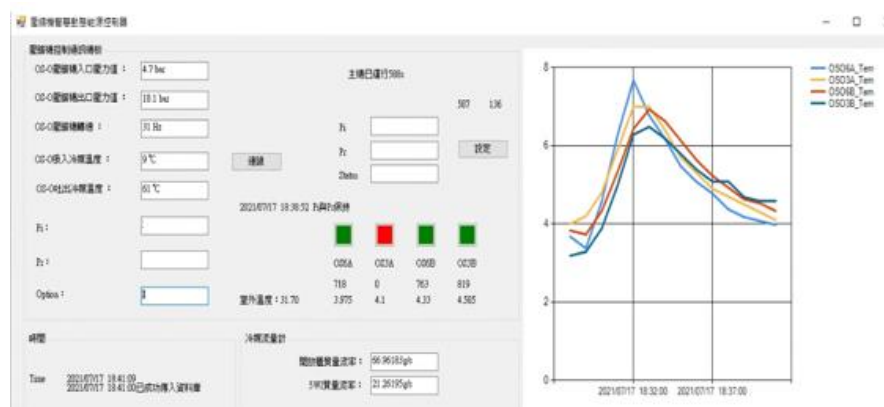


圖 5-3 浮動蒸發溫度控制程式畫面

容積效率 (volumetric efficiency) η_v 是用以評估壓縮機效能的重要參數，其定義為實際進入壓縮機之冷媒體積流率與壓縮機理論排氣量的比值，其方程式定義如式(5.1)：

$$\eta_v = \frac{V_a}{V_d} \quad (5.1)$$

V_a 為實際進入壓縮機之冷媒體積流率， V_d 為壓縮機理論排氣量，容積效率是影響製冷能力及效率的重要參數，若容積效率低，表示實際進入壓縮機的冷媒體積流率少，就會導致製冷能力下降。

影響容積效率的重要因素之一是間隙容積效率 η_{vc} (clearance volumetric efficiency)，間隙容積效率愈高，容積效率就愈大。間隙容積效率與壓縮機之間隙容積百分比 m 、壓縮比 (compression ratio) R 及比熱比值 n (也就是 C_p/C_v) 有關，如(5.2)所示：

$$\eta_{vc} = 100 - m \left[(R)^{1/n} - 1 \right] \quad (5.2)$$

壓縮比 R 愈大，間隙容積效率愈差。壓縮比 R 是絕對排氣壓力與絕對吸氣壓力的比值，其方程式定義如(5.3)：

$$R = \frac{P_d}{P_s} \quad (5.3)$$

P_d 為絕對排氣壓力， P_s 為絕對吸氣壓力，壓縮比過大代表其高壓偏高或是低壓偏低，當冷凝壓力高時，壓縮機增加的壓縮功導致壓縮熱量升高，故排放溫度也提高。導致冷凝壓力升高的原因是冷凝端散熱不良，可能的原因是冷凝器髒污、外氣溫度太高、冷卻水溫度太高等因素，若長期運轉可能導致運轉電流過大，造成壓縮機的損壞或降低壓縮機壽命。當系統負在需求大時，壓縮機需降低蒸發器壓力以降低蒸發溫度，提高冷凍能力，但蒸發壓力低時，壓縮比 R 會變大，容積效率變差，壓縮機的壓縮功也會變大，冷凍效率變差。而導致蒸發壓力降低的原因也可能包含膨脹閥開度過小、蒸發器熱傳效率差、冷

端熱負荷降低等等因素，若控制不良也可能導致液態冷媒跑入壓縮機，造成壓縮機損壞。

此技術經由實際應用之測試後，在相同的狀態下調整壓縮機運轉負載，可發現明顯之差異，較低的蒸發溫度設定值其耗能及庫溫震盪較大，且短時間內重複起停，使壓縮機壽命減少，也導致庫溫不利維持，而在較佳蒸發溫度壓縮機 PID 控制參數設定值時，其耗能及庫溫震盪較小，較無頻繁起停之問題，如圖 5-4 顯示。

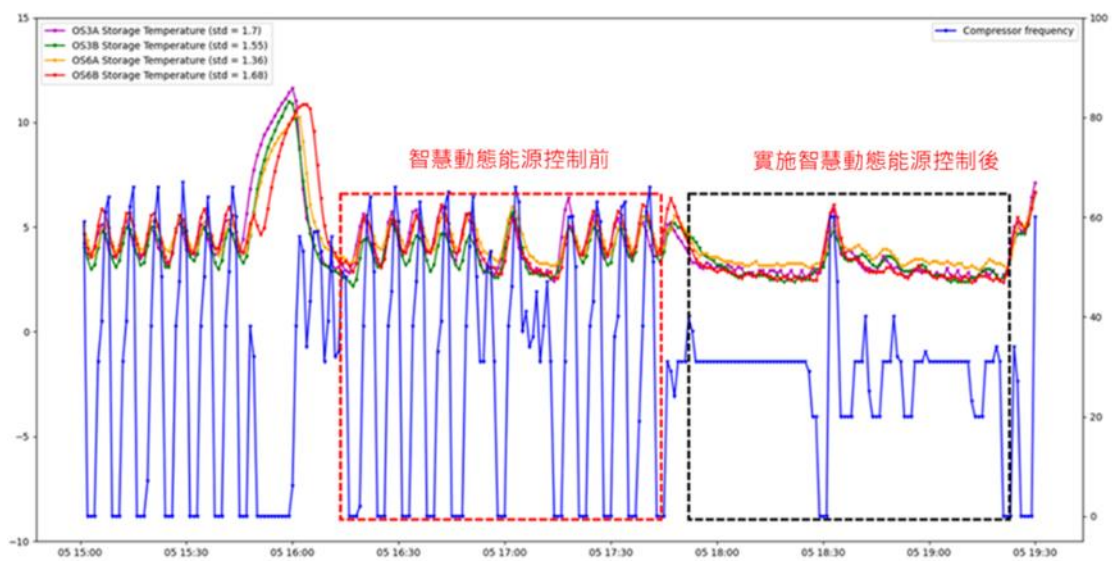


圖 5-4 實施智慧動態能源之浮動蒸發溫度控制技術之成果

針對不同室外溫度設置不同的壓縮機蒸發溫度 PID 控制參數，以測試可達到穩定庫溫控制之最佳運轉模式，由結果可以明顯觀察出，除了能夠有效穩定庫溫控制之外，還可大幅使設備耗能降低，以 33°C 而言，在實施智慧動態能源之浮動蒸發溫度控制技術後，其平均功率為 2.94kW，在實施智慧動態能源之浮動蒸發溫度控制技術前，其平均功率為 4.34kW，整體節能率最高可達 32%，如圖 5-5 所示。

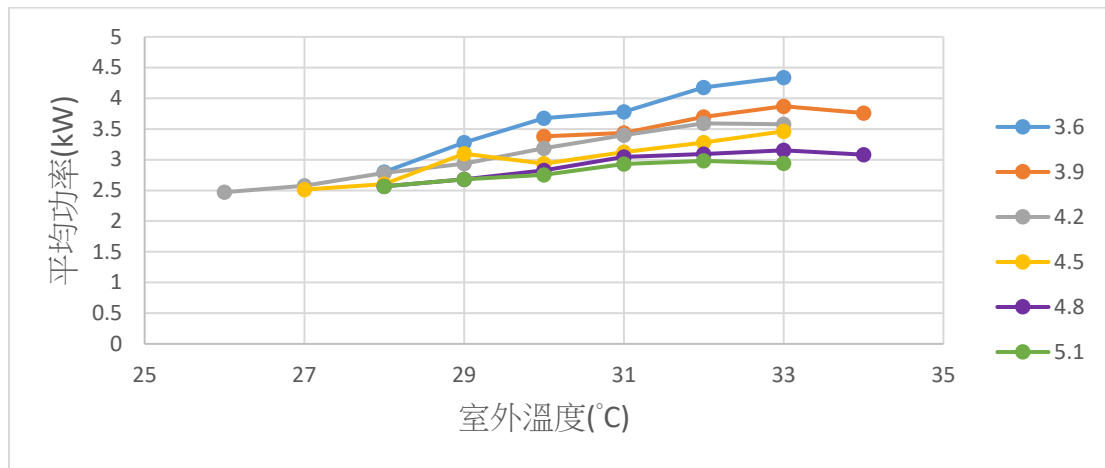


圖 5-5 依外氣溫度進行浮動壓力控制之動態能源最佳化調整

5-1-2. 儲冰系統應用於冷凍與冷藏展示櫃

利用水的相變化，以冰的狀態儲存冷能於儲冰槽裡，於尖峰用電時段使用儲冰槽儲存之冷能降低制冷系統之冷凝溫度，而得以提升系統效率，從而達到減低耗電量【17】。結合儲冰以提升冷凍與冷藏系統運轉效率之方法包含一般模式、儲冰模式及融冰模式，各模式之運轉方法說明如下：

1. 一般模式

儲冰冷藏系統：冷媒由壓縮機至冷凝器進行冷凝後，再經過膨脹閥至展示櫃吸熱後回到壓縮機以維持展示櫃溫度。

冷凍系統：冷媒經板式熱交換器迴路關閉，冷媒由壓縮機至冷凝器後經膨脹閥至冷凍櫃。水泵關閉。

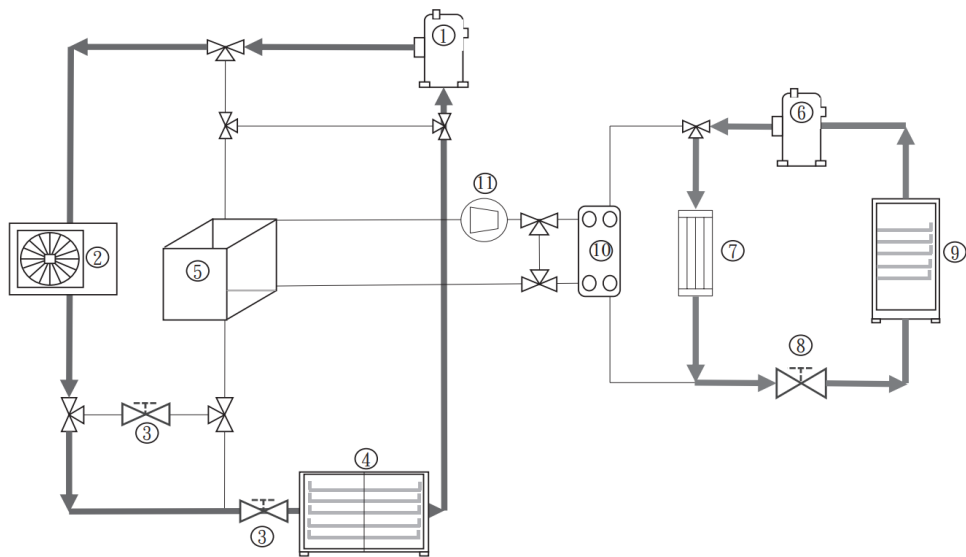


圖 5-6 一般模式迴路圖

2. 儲冰模式

儲冰冷藏系統：冷媒由壓縮機至冷凝器進行冷凝後，再經控制閥分成兩條管路，一條由膨脹閥至展示櫃吸熱後回到壓縮機以維持展示櫃溫度，另一條由膨脹閥至儲冰槽吸熱後回到壓縮機，藉以在儲冰槽內儲存冷能。當展示櫃溫度到達設定溫度時，控制閥會關閉展示櫃的迴路，冷媒迴路變成只從儲冰槽至壓縮機，直到達到儲冰設定溫度。

冷凍系統：冷媒經板式熱交換器迴路關閉，冷媒由壓縮機至冷凝器後經膨脹閥至冷凍櫃。水泵開始啟動，使儲冰槽內的水流動。

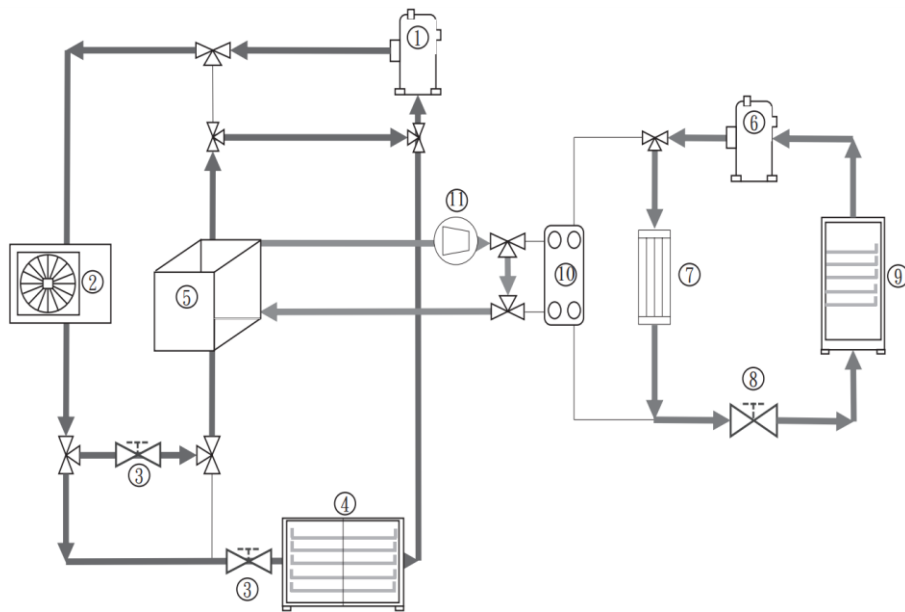


圖 5-7 儲冰系統迴路圖

3. 融冰模式

儲冰冷藏系統：冷媒經冷凝器迴路關閉，冷媒由壓縮機至儲冰槽，由儲冰槽所儲存之冷能進行冷凝，再經膨脹閥至展示櫃吸熱供應負載，直到儲冰槽內溫度達到設定溫度以上後，切換回一般冷藏模式。

冷凍系統：冷媒經冷凝器迴路關閉，冷媒由壓縮機至板式熱交換器進行冷凝，再由膨脹閥至冷凍櫃供應負載。水泵啟動對板式熱交換器與儲冰槽內之冷能進行熱交換。

降低冷凝溫度的方式於冷藏與冷凍系統皆可提升 COP，藉由儲冰系統提高能效，可有效降低冷凝溫度，並降低尖峰用電時段之系統耗能，轉移尖峰用電【17】。

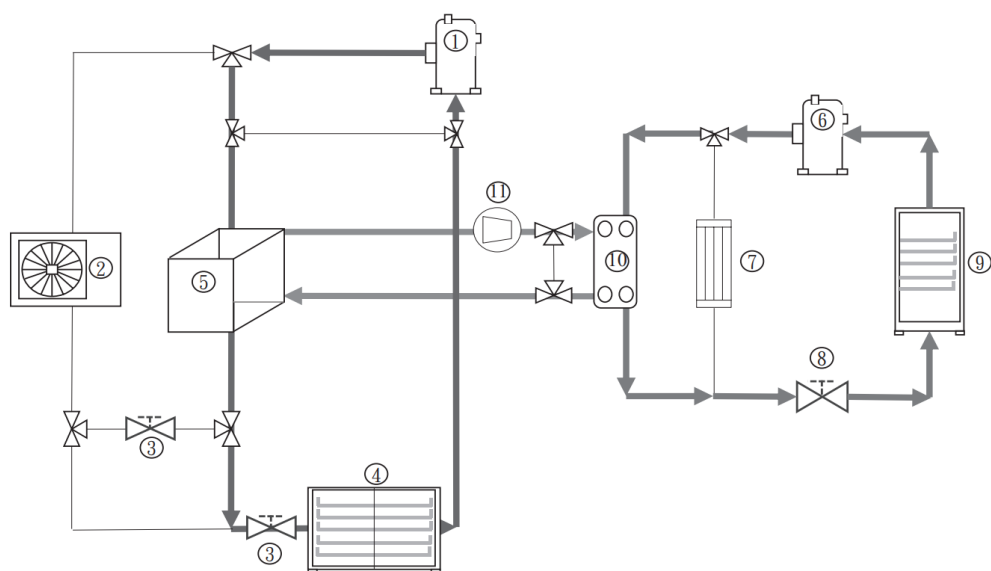


圖 5-8 融冰系統迴路圖

六、商用冷凍冷藏設備故障診斷技術

6-1. 基於決策樹之便利商店冷凍冷藏系統智慧故障診斷

此故障診斷技術使用決策樹模型(Decision Tree)分析工具以進行數值智慧判斷。分類與迴歸樹(CART)演算法，是建構決策樹時最常用的演算法。以 Gini index 最小的屬性當作分割點，在每個節點中，CART 會不斷的向下劃分為兩個子集合，經由反覆的運算建立二元分支樹，直至無法再做切割為止。

決策樹是功能廣泛且使用率高的分類和預測工具(彭世霖【18】，2018)。以樹狀圖為基礎的方法，其使用率高的原因，在於決策樹具有規則，和類神經網路不同。其規則可以用文字來表達，讓人類可以了解或是轉化為 SQL 之類的資料庫語言，讓落在特定類別的資料紀錄可以被搜尋，如圖 6-1 決策數圖解所示。

- 處理分類問題的樹狀結構
- 每個內部節點表示一個評估欄位
- 每個分枝代表一個可能的欄位輸出結果
- 每個樹葉節點代表不同分類的類別標記

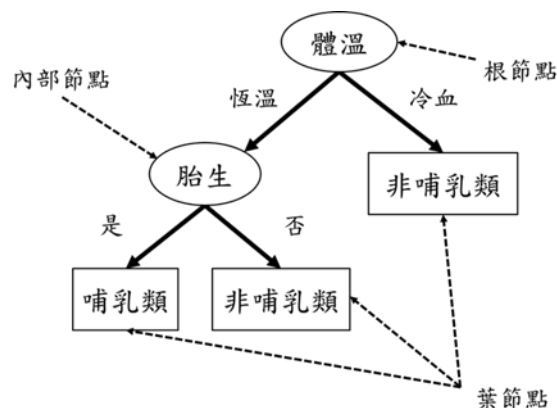


圖 6-1 決策數圖解

本研究針對便利商店常見之高耗能、低效率的異常運轉進行診斷，此異常運轉之故障狀態，包含(1)櫃門未妥善關閉、(2)蒸發器結霜，造成蒸發器熱交換效率變差、低壓變低及壓縮機效率變差、(3)膨脹閥故障冷媒流量不足，造成低壓過低及壓縮機效率變差、(4)膨脹閥故障期間櫃門未關閉，將四種故障狀態分別標記上故障標記值，建模數據以七比三，分為模型訓練資料與測試資料，開始進行演算法前，須先進行預修剪，將決策樹層數設定為四層，最後再利用分類和回歸樹(CART)演算法，找出與四種故障最相關的數據並分類，如圖 6-2、表 6-1，最後利用 9/8、9/9 連續兩天，包含四種故障之數據，做為模型的評估。

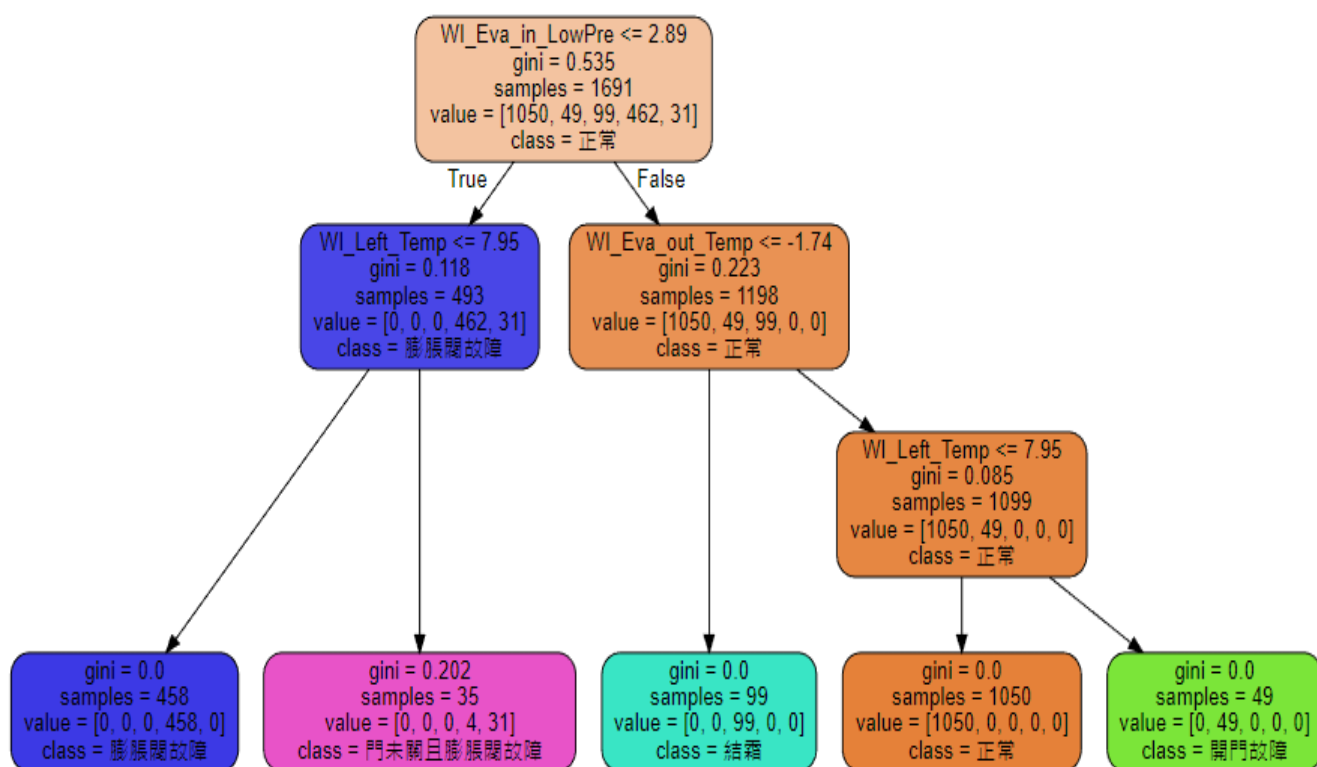


圖 6-2 決策樹樹狀圖

表 6-1 故障狀態規則表

子集合	規則	狀態	資料筆數	正確率
1	蒸發器入口壓力 $\leq 2.89\text{bar}$ 左側庫溫 $\leq 7.95^{\circ}\text{C}$	膨脹閥故障	458	100%
2	蒸發器入口壓力 $\leq 2.89\text{bar}$ 左側庫溫 $\geq 7.95^{\circ}\text{C}$	膨脹閥故障期 間門未關閉	35	88.6%
3	蒸發器入口壓力 $\geq 2.89\text{ bar}$ 蒸發器出口溫度 $\leq -1.74^{\circ}\text{C}$	結霜	99	100%
4	蒸發器入口壓力 $\geq 2.89\text{ bar}$ 蒸發器出口溫度 $\geq -1.74^{\circ}\text{C}$ 左側庫溫 $\leq 7.95^{\circ}\text{C}$	正常	37	100%
5	蒸發器入口壓力 ≥ 2.89 蒸發器出口溫度 $\geq -1.74^{\circ}\text{C}$ 左側庫溫 $\geq 7.95^{\circ}\text{C}$	櫃門未關	49	100%

圖 6-3 為五門 Walk In 冷藏庫 9/8 14:00~17:40 數據之模型預測之結果，紅線為故障預測值，對照副座標，當值顯示 0 為正常狀態，1 為門未關閉之狀況，2 為蒸發器結霜，14:28 出現故障，經查證為店員出入 Walk In 冷藏庫期間未關閉庫門，庫溫有上升情況，14:52 出現長時間故障狀態，原因是此期間為門市固定補貨時間，長時間庫門未關閉，且補貨期間同時進入除霜狀態，使得庫溫急遽上升。由於大量外氣在補貨期間進入庫內，造成庫內濕度上升，16:35 蒸發器開始有結霜，造成熱交換不足，其蒸發器入口壓力、溫度、過熱度有降低的現象，以及出風溫度不變，但其趨近溫度有上升的熱交換不良情況。

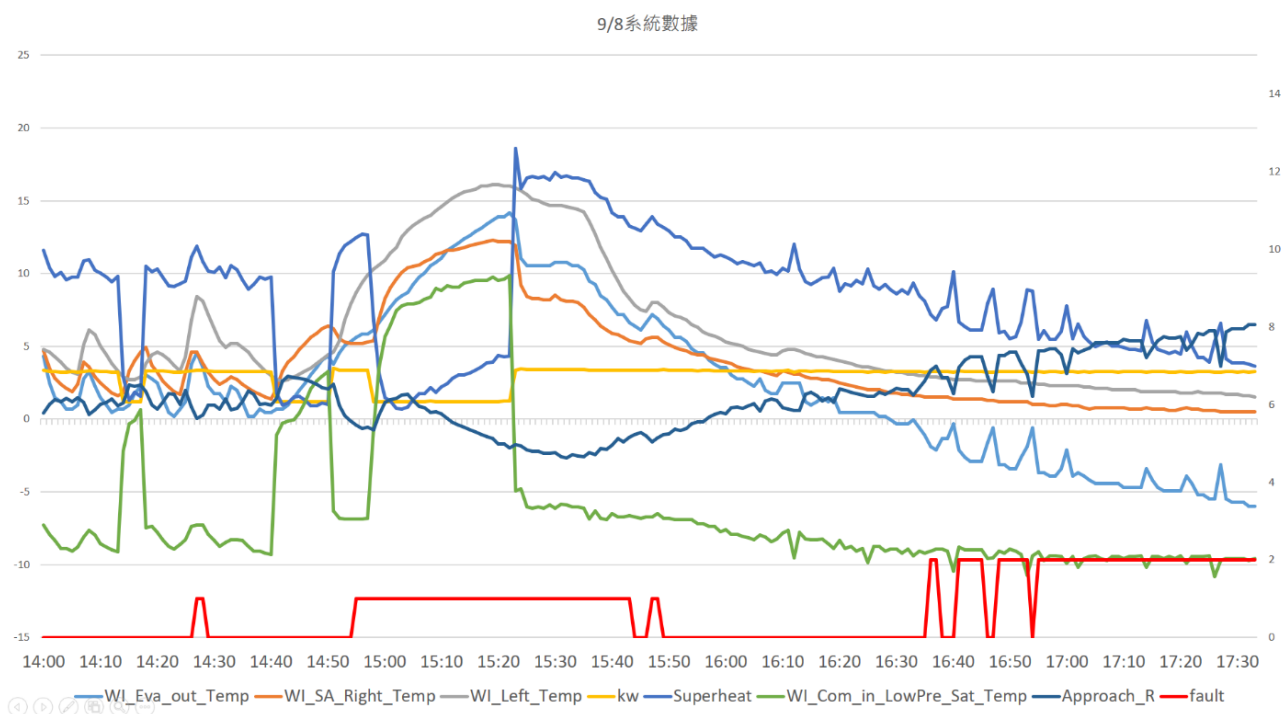


圖 6-3 5WI 系統故障分析圖

圖 6-4 為五門 Walk In 冷藏庫 9/8 22:00~9/9 06:00 數據之模型預測之結果，紅線為故障預測值，對照副座標，當值顯示 0 為正常狀態，3 為膨脹閥故障，4 為膨脹閥故障期間櫃門未關閉，為評估膨脹閥故障預測結果，9/8 22:00 再次將膨脹閥設置為故障狀態，膨脹閥最常見故障為堵塞、閥門卡死關閉等，此時經過膨脹閥進入蒸發器的冷媒量變少，造成低壓壓力降低的情況，且由於冷媒流量不足，冷媒在進入蒸發器前蒸發，造成過熱度上升。

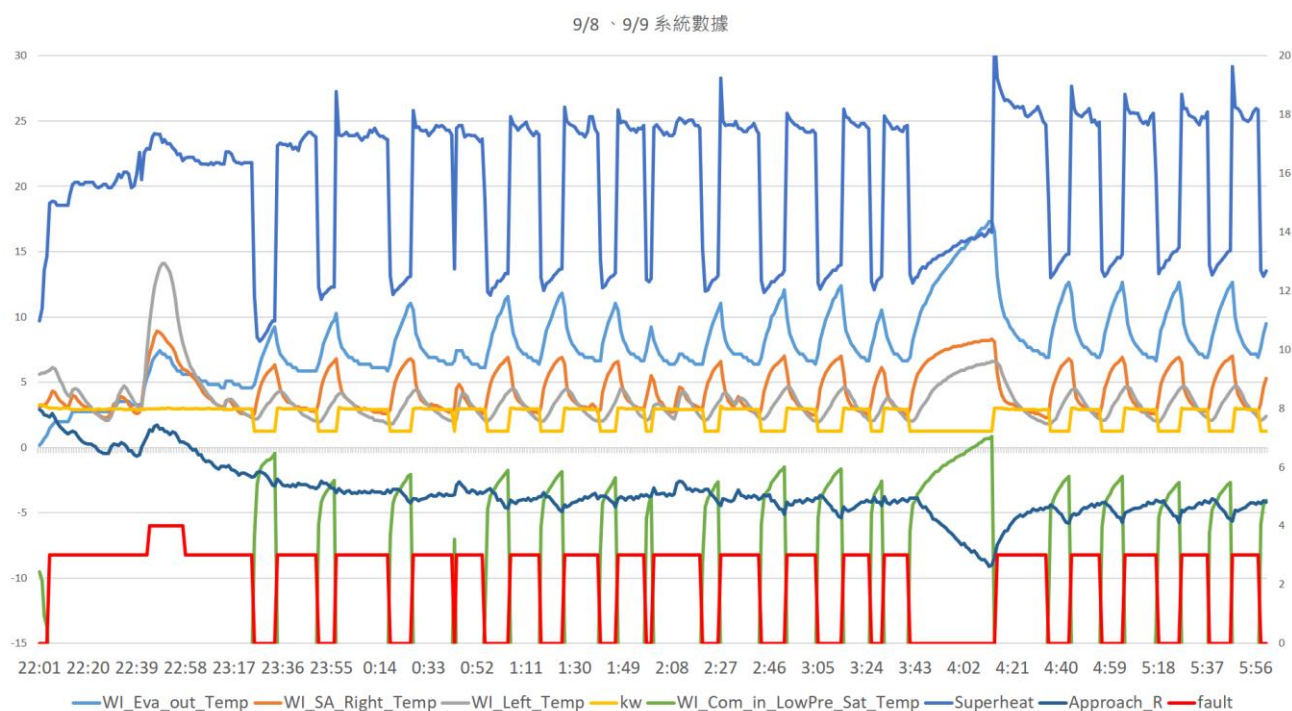


圖 6-4 5WI 系統故障分析圖

總結對於系統能源效率的影響的四種故障分析結果，整理出可適用於同樣 R404A 冷媒系統之泛用參考規則，如表 6-2 所示。雖然不同商家之系統設定條件並不完全相同，此泛用規則及原理亦可以做為建立監控邏輯之參考，並據以依現場條件進行調整。

表 6-2 四種故障規則表

狀態	泛用規則
膨脹閥故障	蒸發壓力 $\leq$ 蒸發壓力設定值-1.168bar_g 庫溫 $\leq$ 庫溫設定值+2.99°C
膨脹閥故障期間 門未關閉	蒸發壓力 $\leq$ 蒸發壓力設定值-1.168bar_g 庫溫 $\geq$ 庫溫設定值+2.99°C
結霜	蒸發壓力 $\geq$ 蒸發壓力設定值-1.168bar_g 蒸發器冷媒出口溫度 $\leq$ (過熱度設定值+壓縮機入口 壓力飽和溫度)-2.56°C
櫃門未關	蒸發壓力 $\geq$ 蒸發壓力設定值-1.168bar_g 蒸發器冷媒出口溫度 $\leq$ (過熱度設定值+壓縮機入口壓力飽和 溫度)-2.56°C 庫溫 $\geq$ 庫溫設定值+2.99°C

6-2. 冷媒洩漏故障檢測技術

此研究系統由一台變頻式室外機連接 4 個大小、規格、設定溫度不同的室內開放櫃(Open Showcase)，如圖 6-5 所示。另外，除了在該冷藏系統各主要元件入口端或出口端，安裝了溫度及壓力之感測器，也在便利商店之室內、室外、電表安裝多個壓力計、溫度計、溫濕度計等感測器，收集共約 161 個值，對於系統填充量進行資料收集。其中便利商店的營運照常進行，室內人員流動及外界氣溫、濕度也不斷變化。但透過多重資料分析的分法，進行特徵的篩選、短時傅立葉的轉換、主頻率的萃取再進行深度學習，欲得到最快速且最正確的填充量的判斷。

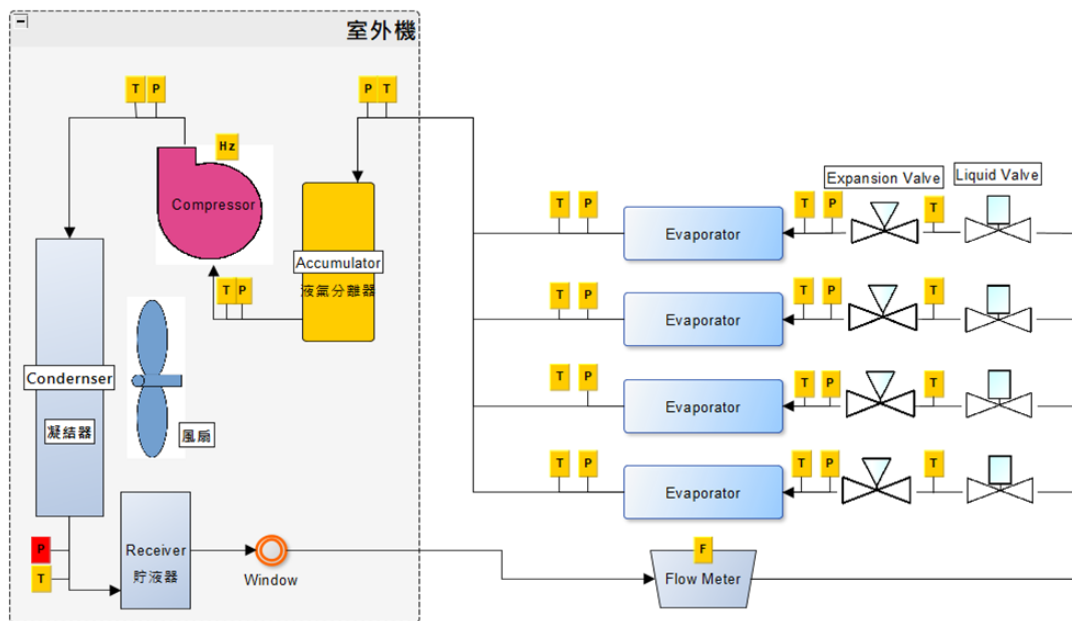


圖 6-5 案場冷凍系統圖

此研究先利用 K-MEANS 法進行分群分析，分群分析的流程，又分做計算距離、分類演算、最佳群數評估等 3 大步驟。最常使用的為歐氏距離，在一個維度為 n 的數據集合中， p 點及 q 點之間的距離其計算方式為(2.3)：

$$D_{(p, q)} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (p_i - q_i)^2} \quad (2.3)$$

此計算方式，與幾何空間中兩點之間的距離相同。在確立了點與點之間的距離後，會再應用各種演算方式，將距離相近的歸類到同一子集合。應用 K-means 進行各冷媒填充量數據的分群判斷時，必須事先指定群數，進行分群測試，再使用輪廓分析法(Silhouette Analysis)計算平均輪廓分數(Silhouette Score)，如所有填充量中分數最高者，則可判定接近其填充最佳值(臨界值)。

此研究並應用短時傅立葉轉換(STFT)，擷取主要頻率及頻率倍數、強度的數據，再利用多層感知器類神經網路，進行深度學習，建立出一種能準確識別系統冷媒填充量多寡之診斷方法。STFT 主要目的並非為了觀察頻譜在時間上的變化，僅是為了搭配機器學習，轉換後的資訊量若僅為單一頻譜，無法進行迭代學習，故為了產生同質但數量多之數據，使用 STFT 轉換為多個時間的頻譜，供機器學習模型之訓練。

短時傅立葉轉換之公式，如式(2.4)所示：

$$X_{STFT}[k] = \sum_{n=0}^{L-1} x[n]w[n-H]e^{-j\omega kn}/L \quad (1)$$

其中 $x[n]$ 為轉換前之資料

L 為取樣範圍，即窗寬度

$w[n-H]$ 為窗函數， n 為取樣窗之中心點， H 為窗之重疊長度

實驗為單一變因，也就是在系統填充了不同量的冷媒。以原廠技術手冊 10 kg 做為 100%基準值，進行一週約 7 天的測量數據，以確保系統操作及數據紀錄無虞。再加以過度填充至 130%、120%、110%以模擬冷媒填充過多之系統狀態，各實驗 48 小時，紀錄其數值。另外再利用冷媒回收方式，使系統填充量

為基準值的 90%、80%、70%、60%、50%等，以模擬不同冷媒洩漏程度之系統狀態。同樣收集 48 小時之數據，如此共 9 種填充量做為分析依據。數據之取樣頻率，為 1 分鐘一筆。

不同冷媒填充量之運轉參數之紀錄，如圖 6-6、圖 6-7 所示，其中最少量之 8kg 冷媒填充模式下，其展示櫃庫溫明顯比其他填充量(10~13kg)來的高，9kg 冷媒填充模式有時之庫溫和 8kg 填充一樣顯示偏高的狀況，但在某些時間卻又明顯比 8kg 低，因此由此判斷冷媒低於原廠建議之標準填充 10kg 時，即出現系統運轉失常之狀況。另一方面，由監測數據也可看出冷凍系統運轉時，各種物理狀態值呈現極大之跳動，但卻有具有某種週期規律之變化。因此，本研究採用傅立葉轉換分析方法，進行各項監測物理參數之標準化與傅立葉轉換，如圖 6-8 所示，然後再利用相關統計及 AI 機器學習方法，找出與冷媒填充量影響運轉之關鍵變數。

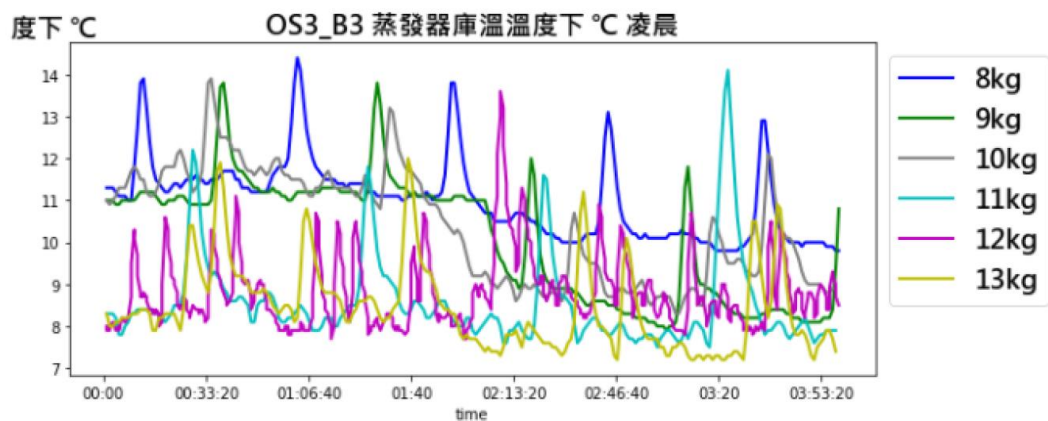


圖 6-6 不同冷媒填充量條件之冷藏展示櫃庫溫變化

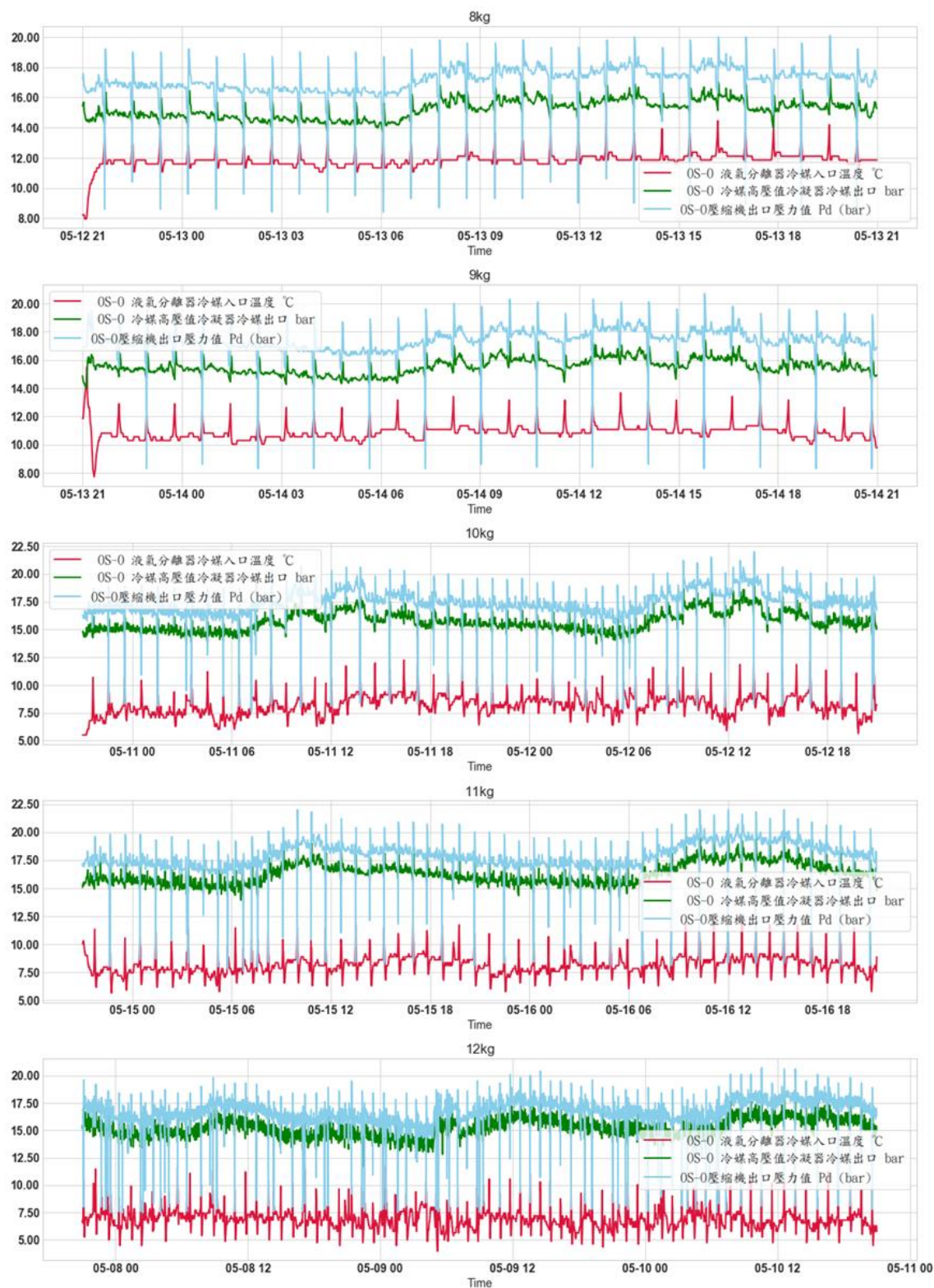


圖 6-7 不同冷媒填充量之運轉參數之紀錄

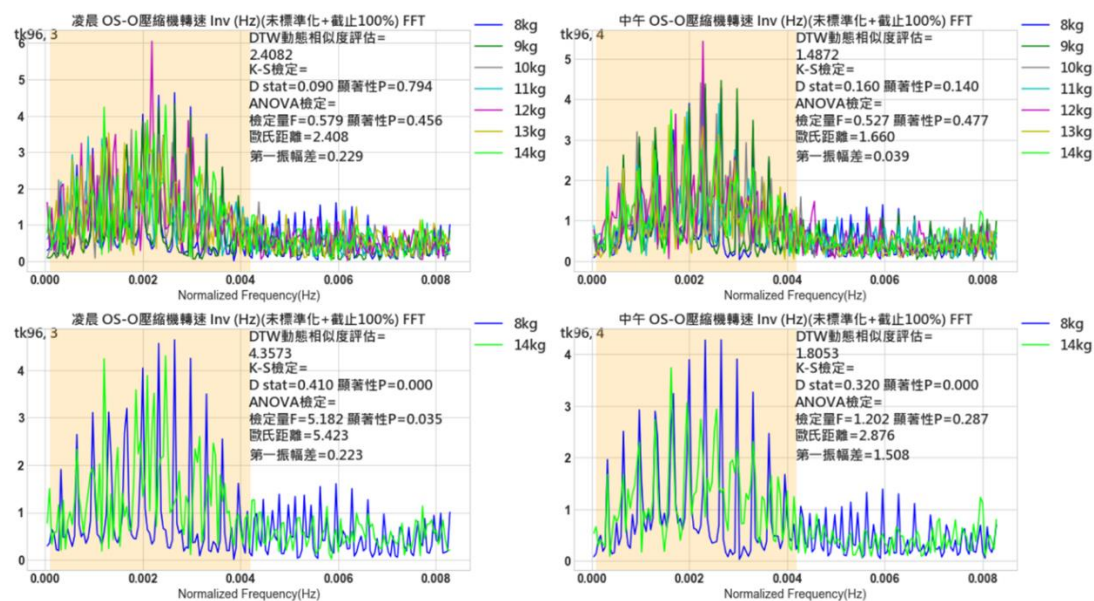


圖 6-8 不同冷媒填充量對應之壓縮機轉速傅立葉轉換結果

依照機器學習的標準流程進行資料之分析，如圖 6-9 所示，首先進行異常值的去除，然後在數據標準化後，進行互相關係數的評估，其評估數據由大到小，依據手肘法，可確認約 12 個關鍵因子為最佳，如圖 6-10 所示。

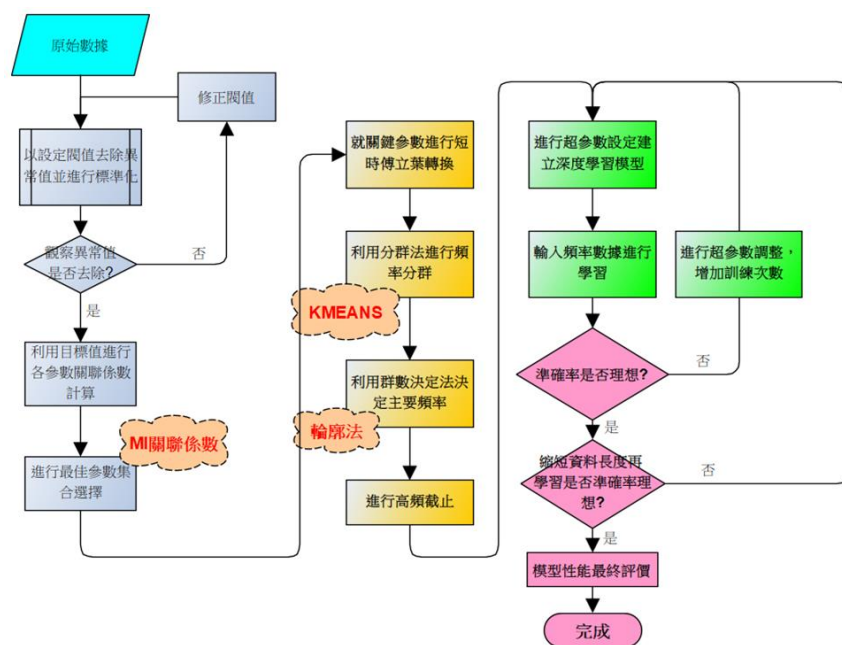


圖 6-9 資料分析流程

No	參數
5	中午OS6_A6 冷媒低壓值蒸發器出口 bar
17	中午OS6_A6 蒸發器回風口左濕度 %
19	中午OS6_A6 蒸發器庫溫濕度 %
21	中午OS3_A3 蒸發器冷媒入口溫度 °C
24	中午OS3_A3 冷媒低壓值蒸發器出口 bar
26	中午OS3_A3 蒸發器出風口外濕度 %
33	中午OS6_B6 膨脹閥冷媒入口溫度 °C
35	中午OS6_B6 蒸發器冷媒出口溫度 °C
36	中午OS6_B6 冷媒低壓值蒸發器入口 bar
55	中午OS3_B3 冷媒低壓值蒸發器入口 bar
70	中午 OS-O 冷媒低壓值液氣分離器冷媒入口 bar
92	中午OS-O壓縮機出口壓力值 Pd (bar)

圖 6-10 依據手肘法確認受冷媒填充量所影響之 12 個關鍵因子

12 個關鍵因子以短時傅立葉的方式，經過 K-MEANS 法，可將此頻譜資料分群，再經輪廓指標法，由 12 個關鍵因子挑選出冷凍主機之 4 個運轉參數，包含液分離器冷媒入口溫度、液氣分離器冷媒入口溫度、壓縮機入口壓力值、冷凝器冷媒出口壓力，以深度學習之 MLP 多層感知器的建立方式，建立一個約 10 層深度，1300 神經元之神經網路。將上述資料輸入後，經 10 周期之循環測試，得到一個充分訓練之模型。以第 2 天的資料，進行交叉驗證，確認模型的判斷能力，其結果如圖 6-11 所示。

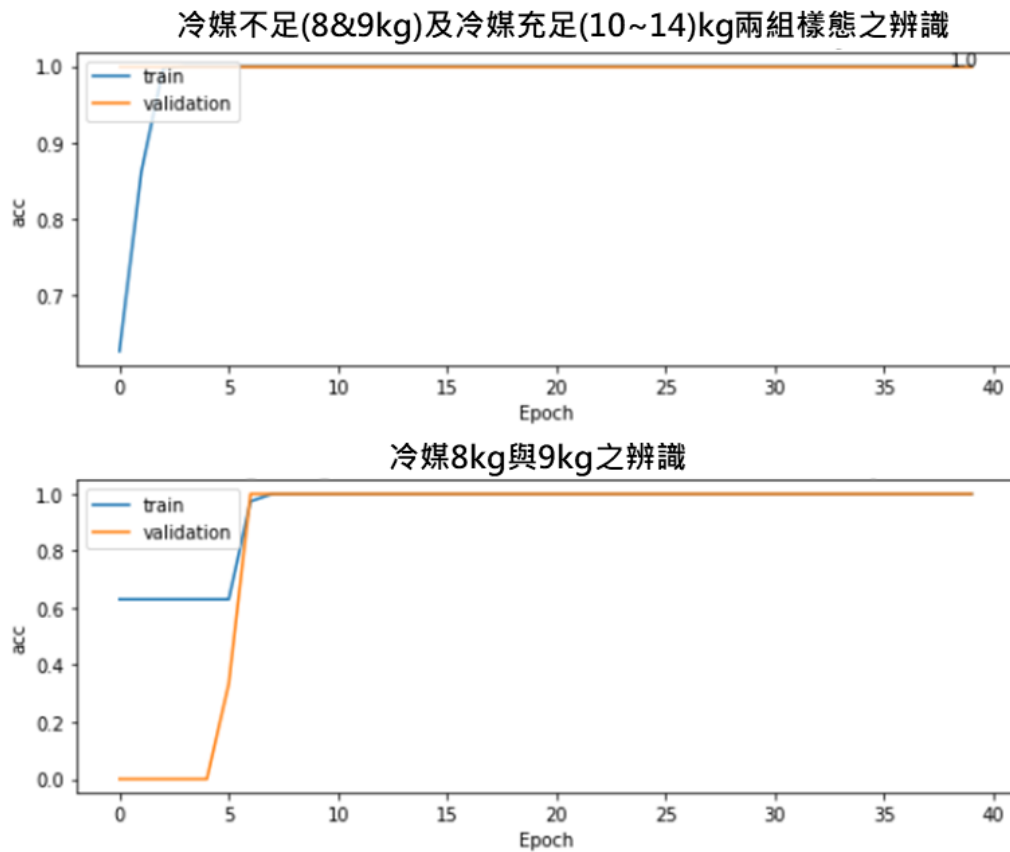


圖 6-11 冷媒填充量辨識之 DNN 深度學習與驗證過程之 100%高準確度結果

由結果顯示，本研究之神經網路 DNN 學習方法，可達到 100%預測低冷媒填充(8kg 及 9kg)之狀態，也就是相對於原廠標準 10kg 冷媒填充量，當冷凍系統有 10%之洩漏量時，本技術即可及時偵測與示警，以避免冷凍冷藏展示櫃庫溫之失溫造成生鮮食品敗壞及壓縮機之故障。相對於一般業界實務上當冷媒洩漏到超過 40%以上程度，才會產生明顯之性能差異而言，本研究開發之 AI 人工智慧高靈敏度之冷媒洩漏偵測診斷技術具有極高之應用價值與發展潛力。

七、結語

本手冊透過實地訪視便利商店、超級市場、量販店開放式展示櫃使用狀況，發現大部分案場之冷凍冷藏系統並沒有實施節能控制，歸納本研究訪視之營業場所冷凍冷藏系統節能技術調查結果，如表 4-10 所示。完全沒有採用之節能技術包含：使用蒸發式冷凝器、機械式過冷卻、熱氣除霜、回氣管熱交換、電子式膨脹閥及賣場濕度控制其中，近年來在多聯變頻空調系統已經逐漸被採用的電子式膨脹閥，在本次的冷凍冷藏系統調查中卻完全沒有被採用。建議業者可進一步採用電子式的膨脹系統，以過熱度作控制，自動調節冷媒流量，達到最佳節能效果，根據相關研究顯示，節能效果最高可到 30%【14】。根據運行系統的大小不同，通常的投資回收期在 2 年左右。近年冷凍冷藏系統之節能手法仍不斷推陳出新。低壓浮動控制之技術，針對不同室外溫度設置不同的壓縮機吸入壓力設定值，以測試可達到穩定庫溫控制之最佳運轉模式，由結果可以明顯觀察出，相對將吸入壓力設定在最佳值，除了能夠有效穩定庫溫控制之外，還可大幅使設備耗能降低

除此之外，本手冊透過實地訪視及文獻調查也整理出各案場最常發生之冷凍冷藏故障，包含冷媒洩漏、櫃門未關閉、蒸發器風扇損壞、感測器損壞等，若以本手冊對於節能技術進一步的研究指出，使用 AI 人工智慧的方式，能夠 100%預測到低冷媒填充之狀態，以及利用深度學習的方式，能夠判斷出冷凍冷藏系統現在是否出現狀況行故障，透過故障診斷的方式讓維修人員能夠及時判斷故障原因，在分秒必爭的搶修過程中及早準備適當的替換零件或工具，能減少賣場因商品濕溫損壞而造成的財物損失。

八、參考文獻

- [1] 經濟部能源局，2021，2021年台灣能源統計手冊
- [2] 經濟部能源局，2021，2021 非製造業能源查核年報，財團法人台灣綠色生產力基金會編撰。
- [3] 經濟部能源局，2018，量販店節約能源技術手冊，財團法人台灣綠色生產力基金會編撰。
- [4] 中國國家標準 CNS 10797，商業冷凍冷藏展示櫃。
- [5] ASHRAE， 2006， ASHRAE Handbook: Refrigeration.
- [6] 經濟部能源局，2014，量販業能源管理系統建置指引，財團法人台灣綠色生產力基金會編撰。
- [7] 林逸群，「應用專家系統於中央空調系統之故障診斷」，碩士論文：國立臺北科技大學， 2012.
- [8] Behfar A.， Yuill D. and Yu Y.， "Supermarket system characteristics and operating faults (RP-1615)， " Science and Technology for the Built Environment， vol. 24， no. 10， p. 1104–1113， 2018 [9] Francis et al.
- [9] Francis C.， Maidment G. and Davies G.， "An Investigation of Refrigerant Leakage in Commercial Refrigeration， " International Journal of Refrigeration， vol. 74， pp. 12-21， 2017.

- [10] AMEEN, F. R.; CONEY, J. E. R.; SHEPPARD, C. G. W. Experimental study of warm-air defrosting of heat-pump evaporators. International journal of refrigeration, 1993, 16.1: 13-18.
- [11] Alireza B. , David Y. and Yuebin Y. , "Supermarket system characteristics and operating faults", Science and Technology for the Built Environment, 24:10, pp.1104-1113, 2018.
- [12] Kim W. and Katipamula S. , "A Review of Fault Detection and Diagnostics Methods for Building Systems , " Science and Technology for the Built Environment, no. 24, pp. 3-21, 2018."
- [13] Frank S. , Lin G. , Jin X. , Singla R. , Farthing A. and Granderson J. , "A Performance Evaluation Framework for Building Fault Detection and Diagnosis Algorithms , " Energy & Buildings, vol. 192, pp. 84-92, 2019.
- [14] 李魁鵬、郭華生, "商業冷凍冷藏 Q&A 節能技術手冊,"2008.
- [15] Danfoss, Fitters Notes System Trouble Shooting – Fault Location, 2002.
- [16] 謝文德, 謝燕廷, 余培煜, 中小型食品零售店冷凍冷藏系統節能案例, 冷凍空調技師期刊第 58 期, pp70-80, 2020.
- [17] 趙允晟, 謝佳興, 蔡明倫, 楊愷祥, 儲冰系統應用於冷凍與冷藏展示櫃之性能分析, 冷凍空調&能源科技期刊 129 期, 2021.
- [18] 彭世霖, 「基於深度學習和決策樹之空調箱故障診斷檢測」, 碩士論文:國立臺北科技大學, 2018.