

開放式冷凍冷藏展示櫃 節能應用手冊

經濟部能源局指導

財團法人台灣綠色生產力基金會編印

目錄

目錄.....	i
圖目錄.....	ii
表目錄.....	v
一、前言.....	1
二、開放式展示櫃介紹及使用現況調查.....	2
2.1 食品冷凍冷藏儲存概論.....	2
2.2 開放式展示櫃介紹.....	3
2.3 開放式展示櫃節能技術調查.....	16
2.4 模擬案場現場訪視狀況.....	24
2.5 開放式展示櫃之現況使用問題.....	33
三、開放式展示櫃冷凝機組節能技術.....	37
四、開放式展示櫃系統側節能技術.....	49
五、開放式展示櫃氣簾節能設計.....	56
六、開放式展示櫃氣簾節能改善效益評估.....	60
6.1 模擬分析結果.....	60
6.2 出風風速對於開放式展示櫃之影響與分析.....	68
6.3 出風拋射角度對於開放式展示櫃之影響與分析.....	73
6.4 節能效益評估.....	77
七、結語.....	78
八、參考文獻.....	79

圖目錄

圖 2.1 食品的保存期限與溫度之關係.....	2
圖 2.2 立式展示櫃.....	4
圖 2.3 臥式展示櫃.....	4
圖 2.4 貨架式展示冷藏櫃.....	5
圖 2.5 可進出式密閉式展示櫃.....	5
圖 2.6 推車式貨架之後補式展示櫃.....	6
圖 2.7 多層式農產品冷藏櫃.....	7
圖 2.8 單層開放式冷凍食品展示櫃.....	8
圖 2.9 單層島式展示櫃.....	9
圖 2.10 立式展示櫃.....	9
圖 2.11 有玻璃門的冰箱.....	10
圖 2.12 單層肉品展示櫃.....	13
圖 2.13 多層肉品展示櫃.....	13
圖 2.14 密閉式展示櫃.....	14
圖 2.15 商用冷凍冷藏設備能源使用占比.....	16
圖 2.16 商用冷凍冷藏系統能源使用占比.....	17
圖 2.17 開放式冷凍冷藏櫃外觀及量測結果.....	18
圖 2.18 密閉式冷凍冷藏櫃外觀及量測結果.....	18
圖 2.19 某超級市場之 5~8 月賣場環境相對溫濕度監測統計.....	22
圖 2.20 量測之點位位置標示圖.....	25
圖 2.21 案場一開放式展示櫃量測.....	26
圖 2.22 案場一室內環境量測.....	26
圖 2.23 案場二 8 呎開放式展示櫃.....	28
圖 2.24 案場二 6 呎開放式展示櫃.....	28

圖 2.25 案場二開放式展示櫃量測.....	29
圖 2.26 案場二室內環境量測.....	29
圖 2.27 案場三 8 呎開放式展示櫃.....	31
圖 2.28 案場三 4 呎開放式展示櫃.....	31
圖 2.29 案場三開放式展示櫃量測.....	32
圖 2.30 案場三室內環境量測.....	32
圖 2.31 開放式展示櫃櫃內溫度變化圖.....	34
圖 2.32 相對濕度與開放櫃平均電功率回歸分析.....	35
圖 3.1 冷凍系統流程圖.....	38
圖 3.2 冷凍冷藏主機之熱回收控制閥及供應熱水使用.....	40
圖 3.3 機械式過冷卻.....	42
圖 3.4 壓縮機回氣側之液氣冷媒熱交換器之節能技術.....	42
圖 3.5 開放式展示櫃系統圖.....	45
圖 3.6 開放式展示櫃系統溫度變化圖(2021/7/12).....	46
圖 3.7 開放式展示櫃系統溫度變化圖(2021/7/6).....	46
圖 4.1 商業冷凍冷藏系統流程圖.....	49
圖 4.2 冷凍系統耗能與濕度之變化.....	53
圖 4.3 開放式冷藏設備之負荷隨溫濕度之變化.....	53
圖 4.4 外氣預冷熱回收再熱法控制相對濕度.....	54
圖 4.5 化學除濕法控制相對濕度.....	54
圖 4.6 熱管及熱回收再熱法控制相對濕度.....	55
圖 5.1 不同開放櫃出風口內部角度之影響.....	56
圖 5.2 各幾何尺寸之定義.....	57
圖 5.3 不同 H/b 比下的溫度分佈.....	58
圖 5.4 不同 D_h/b 比下的溫度分佈.....	59
圖 5.5 不同 D_h/b 比下顯熱負荷.....	59

圖 6.1 案場二 8 呎開放式展示櫃各高度層之溫度場分佈	62
圖 6.2 案場二 8 呎開放式展示櫃之溫度場	63
圖 6.3 開放式展示櫃幾何特徵示意圖	64
圖 6.4 案場二 8 呎開放式展示櫃之速度場	65
圖 6.5 案場二 8 呎開放式展示櫃之濕度場	66
圖 6.6 案場二 8 呎開放式展示櫃流線圖與向量圖	67
圖 6.7 不同出風風速下各高度層之溫度場分佈	70
圖 6.8 不同出風風速下開放式展示櫃之溫度場	71
圖 6.9 不同出風風速下開放式展示櫃之速度場	72
圖 6.10 不同出風拋射角度 (β) 下各高度層之溫度場分佈	74
圖 6.11 不同出風拋射角度 (β) 下開放式展示櫃之溫度場分佈	75
圖 6.12 不同出風拋射角度 (β) 下開放式展示櫃之速度場分佈	76

表目錄

表 2.1 數種產品在冷凍冷藏庫之最佳建議保存溫度.....	3
表 2.2 展示櫃之建議出風溫度.....	15
表 2.3 美國能源部商用製冷設備標準(DOE, USA).....	15
表 2.4 商業冷凍冷藏設備提升性能技術.....	19
表 2.5 環境溫濕度差異對冷凍冷藏展示櫃產生負載變化.....	23
表 2.6 案場一開放式展示櫃出風回風量測數值.....	25
表 2.7 案場二開放式展示櫃出風回風量測數值.....	27
表 2.8 案場三開放式展示櫃出風回風量測數值.....	30
表 2.9 室外溫度 29.5°C—30.5°C 時耗電量比較表.....	35
表 3.1 美國超級市場冷凍冷藏部門之節能潛力分析(DOE, USA).....	38
表 3.2 壓縮機標準規格表.....	44
表 3.3 既有模式與自動控制模式比較表.....	47
表 6.1 案場二 8 呎開放式展示櫃模擬與量測濕度數值驗證比對.....	61
表 6.2 不同出風風速下環境溫度 ΔQ 比較.....	68
表 6.3 不同出風風速下各層貨架之最高溫度比較.....	69
表 6.4 不同出風拋射角度 (β) 滲透熱負荷 ΔQ	73
表 6.5 不同出風風速節能率計算.....	77
表 6.6 不同出風拋射角度 (β) 節能率計算.....	77

一、前言

隨著人民生活水準提高，近年來大型量販店、連鎖超市及便利商店等賣場數量快速增加，其中商店內大約一半的生鮮食品都放在開放式冷凍冷藏展示櫃中，以利於有效地利用商店中可用的有限空間及吸引顧客方便購買。由於生鮮產品大量仰賴開放式冷凍冷藏展示櫃來保持物品之新鮮度，並且需 24 小時全年維持一定的溫度條件，若賣場環境之相對濕度太高或開放式冷凍冷藏展示櫃之氣流封閉不佳，則冷凍系統蒸發器將結霜嚴重，致使熱傳效率降低，除霜次數增加，以及冷凍開放式展示櫃之防汗防凍之加熱電絲耗電增大，而造成冷凍冷藏設備的耗能量日益增加。

雖然開放式冷凍冷藏展示櫃設計了空氣簾以降低來自於環境的熱負荷及維持食品的保存條件，但有時因空氣簾設計或使用不當，使得周圍環境溫暖潮濕的空氣滲透至櫃內，導致機櫃內的溫度不均勻性與失控；或是空氣簾的風量過大，造成大量的冷能損失及賣場環境溫度過低，以至於增加賣場之耗能。因此，一般而言，空調與冷凍冷藏在整個便利商店以及超級市場之耗電量占 50% 以上。

有鑑於此，經濟部能源局乃委託財團法人台灣綠色生產力基金會(以下簡稱本會)，辦理開放式冷凍冷藏展示櫃節能技術推廣工作，並由本會委請國內在冷凍冷藏系統及開放式展示櫃節能服務推廣上，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副教授及其研究團隊，協助執筆及搜集實際相關的節能技術資料與分析，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、開放式展示櫃介紹及使用現況調查

2.1 食品冷凍冷藏儲存概論

大部分的食品在低溫保存下，其保存期限可延長，如圖 2.1 所示，可看出各類食品的保存期限與溫度之關係。當保存溫度降低時，所有貨品保存期限因此而增加，但是某些貨品，例如香蕉，其最佳保存溫度高於其凍結溫度。大部分的肉品、魚、水果及蔬菜，其保存期限可因儲存在低溫條件下而增加。有些食品儲存在非凍結條件且很少是被凍結的，例如蘋果、番茄、香蕉、萵苣、甘藍菜、洋蔥及馬鈴薯等葉菜、水果、根莖類蔬菜。從保存期限及經濟面的考慮觀點而言，數種產品在冷凍冷藏庫之最佳建議保存溫度如表 2.1 所示。由於水果當中含有的水份是一種混合糖及其他物質的水溶液，其凝固點低於 0°C ，因此有些水果可以儲存在稍低於 0°C 之溫度而不會凍結。某些肉類或禽肉產品當儲存在 -1°C 低溫條件時，可維持較佳品質且不會凍結。

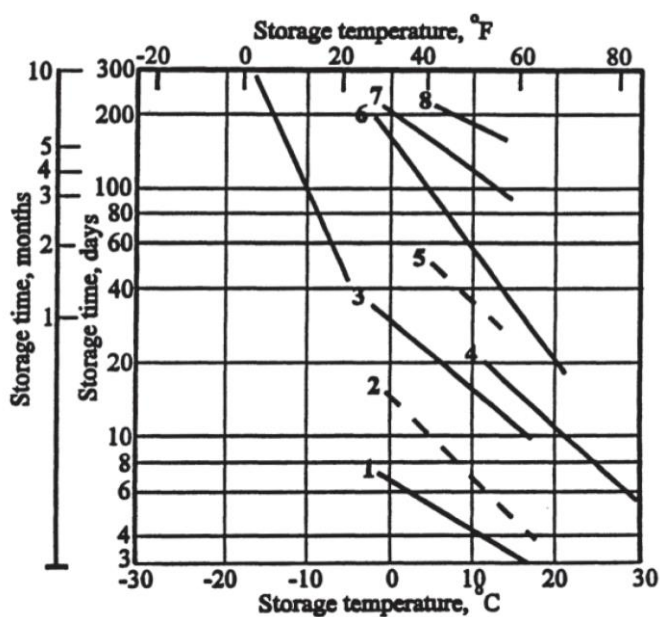


圖 2.1 食品的保存期限與溫度之關係[1]

表 2.1 數種產品在冷凍冷藏庫之最佳建議保存溫度[1]

產品	儲存溫度 [°C]
蘋果	-1~-0.5
鱈梨	4~13
香蕉	13~14
甘藍菜	0
乳酪	0~1
萵苣	0~1
洋梨	-2~0
禽肉	-1~2
草莓	-0.5~0
番茄	3~4

2.2 開放式展示櫃介紹

市面上展示櫃主要有兩種類型：

1. 開放式展示櫃：並無玻璃門阻隔櫃內外空間，通常利用櫃內上方空氣簾阻隔空氣滲透，補貨時大多從前方放入新貨品。雖容易因外界影響使熱負荷較高，但消費者購買產品比較方便，有助於銷售。
2. 封閉式展示櫃：有玻璃門阻隔櫃內外空間，補貨時有部分為後補式，從後方放入新貨品。櫃內比較不受外界影響，較為節能，但取貨比較不方便，可能影響消費者購買行為。

若依櫃體形式亦可分為兩類：

1. 立式展示櫃(圖 2.2)：可有效利用商店中有限空間，提高空間的利用率，最為常見，各類型營業場所皆適用，通常依靠牆壁裝設。
2. 臥式展示櫃(圖 2.3)：占較大空間，櫃內冷空氣不易外洩，容量較立式大但相對拿取貨品的方便性較低，可放置於賣場中間。



圖 2.2 立式展示櫃



圖 2.3 臥式展示櫃

若依櫃體之食品儲存與展示功能，可有以下之幾種分類：

乳製品展示

乳製品包含的項目常具有顯著的銷售量，例如鮮奶、奶油和雞蛋，也包括無數的小件物品，如新鮮的奶酪、特殊的冷凍糕點，和其他易腐敗的生鮮食品。可用的展示設備包括以下：

1. 貨架式展示冷藏櫃（圖 2.4）：沒有後門之靠牆式展示櫃。

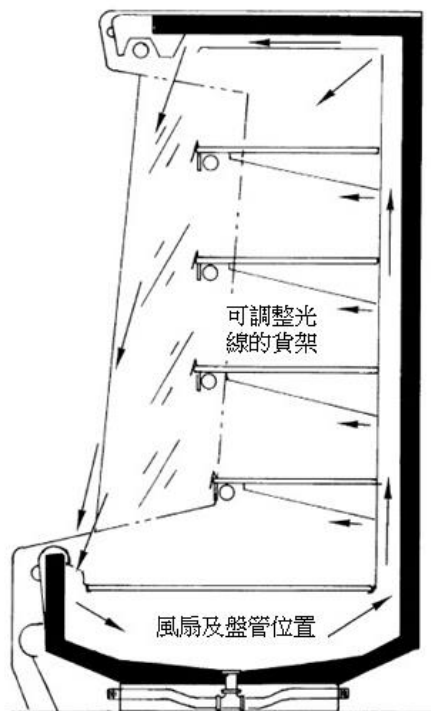


圖 2.4 貨架式展示冷藏櫃

2. 可進出式密閉式展示櫃(圖 2.5)：門後可以進行後補服務之展示櫃，須考慮後勤服務的開口對周圍製冷效果的影響。

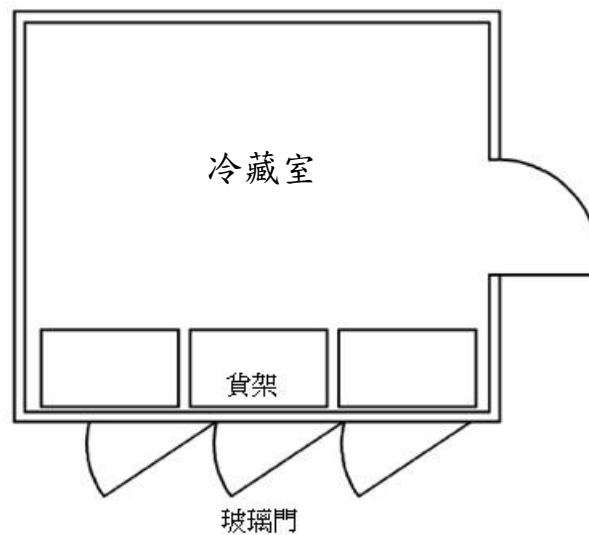


圖 2.5 可進出式密閉式展示櫃

3. 各種其他特殊展示裝置，包括單層島式陳列台，其中一些是一體型的系統，可適用在季節食品或生鮮食品。
4. 可置放傳統的貨架、托盤或以推車的形式進出展示櫃及儲藏庫（圖 2.6），這種冰箱可以是前端進貨或後端進貨。

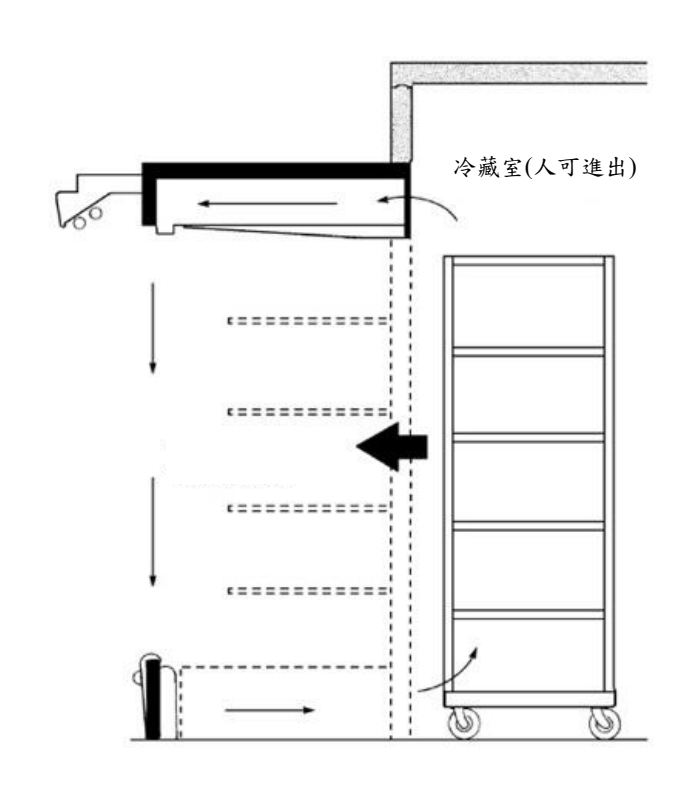


圖 2.6 推車式貨架之後補式展示櫃

產品展示

有包裝和無包裝的產品往往是混雜存放在同一個展示冰箱，在理想的狀態下，無包裝的產品應以低速冷空氣進行冷卻。通常也會對葉菜類蔬菜灑水，可採用手動操作的噴霧軟管或自動噴霧系統以保持其脆度和新鮮度。包裝是為了防止空氣進入有包裝的產品，但包裝材會降低熱交換效果，所以需要較高風速的冷空氣流過包裝的表面。為了同時展示包裝和無包裝的農產品，通常是存放在一個可適合兩種類型產品冷藏設備。有此功能的壓縮機設備如下：

1. 寬或窄的單層或上方無玻璃拉門的低溫開放式展示櫃。
 2. 兩層或三層立式展示櫃，類似於在圖 2.7 中，裡面通常會展示多種產品。
 3. 由於農產品的不同販售方式的考量，有時也會採用非冷藏式展示櫃，並且若是屬於同類型的產品，通常會和冷藏展示櫃連續排列在一起。
- 農產品冷藏櫃設備通常可針對販售方式來進行設計各種和搭配其他的配件，包括分隔架、加濕用的噴霧器、保溫簾幕、掛架、平滑鏡面和其他展示的棚架及器具。

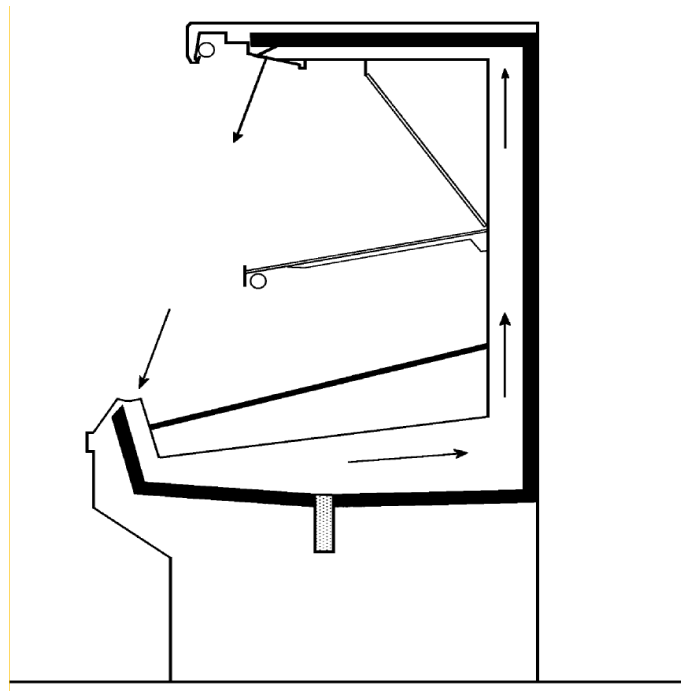


圖 2.7 多層式農產品冷藏櫃

冷凍食品和冰品的展示

為了針對各種不同需求及有效率的展示冷凍食品，已有許多種的展示櫃被設計出來及被廣泛使用，例如：

1. 單層開放式冷凍食品展示櫃（圖 2.8）。相關的冷凍食品可以陳列在這種冰箱內。這類冰箱的配置是專為陳列新鮮的冷凍肉類，而也有類似的冰箱來陳列冰品。這些冰箱有的有玻璃拉門，有的則沒有玻璃拉門。

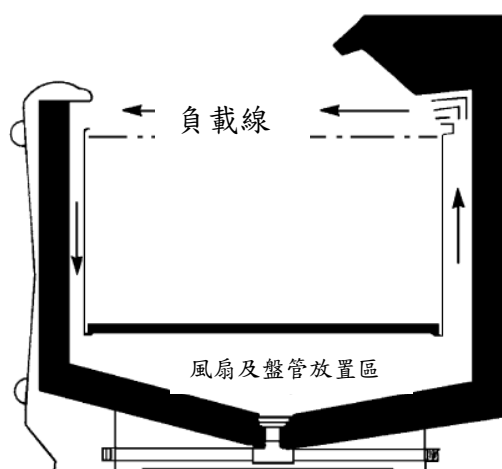


圖 2.8 單層開放式冷凍食品展示櫃

2. 單層島式展示櫃（圖 2.9）。這是從前項單層開放式冷凍食品展示櫃改裝而成的，其寬度介於單層開放式冷凍食品展示櫃一倍寬度及兩倍寬度之間。這種冰箱可以讓顧客更容易挑選商品，以增加商品的銷售量。

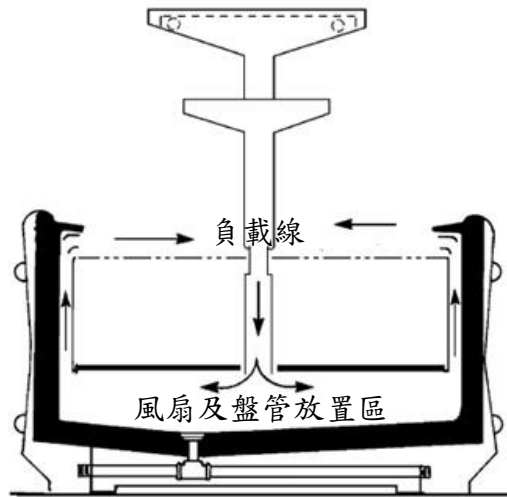


圖 2.9 單層島式展示櫃

3. 立式展示櫃的商品陳列架可以有兩到六個，並與許多不同的製冷系統配置進行搭配設計（圖 2.10）。當立式展示櫃用於陳列冷凍食品和冰品時，其構造比一般單層開放式冷凍食品展示櫃的設計和結構更為複雜。因為它屬於寬且垂直的展示櫃，很容易受到店裡周圍環境條件的影響。一般來說，這類的展示櫃需要有兩個或三個氣簾，以保持產品的溫度和保存期限。

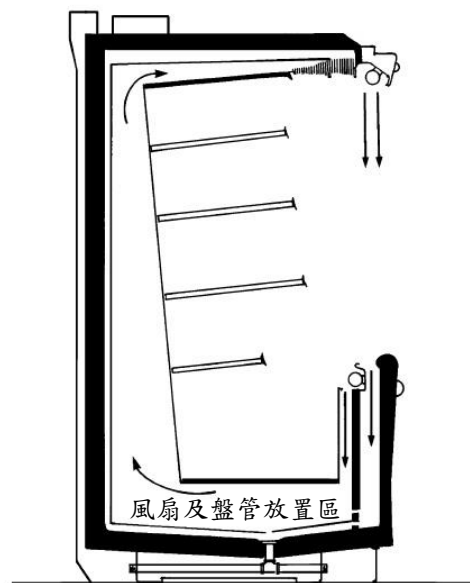


圖 2.10 立式展示櫃

4. 有玻璃門的冰箱，通常是屬於連續排列的設計（圖 2.11）。這種冰箱可以在最小佔地面積達到最高庫存量，而它的缺點是在補貨時因需要開關門，所以需要大量的勞力。這種冰箱內部的深度通常是 600 毫米左右，所以需要更加重視後面的產品。雖然這種冰箱的耗能比立式展示櫃冰箱在運作時還低，但還是需要去比較初置成本及運轉成本。

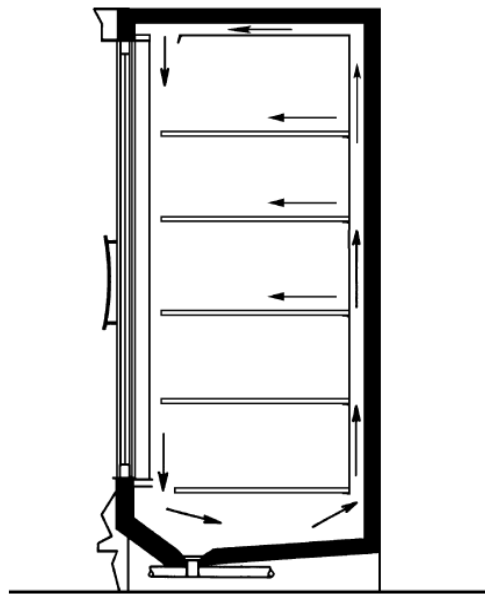


圖 2.11 有玻璃門的冰箱

5. 駐點式的櫃檯式展示櫃，為了因應各式促銷方案，通常是可獨立且可以快速地从非凍結溫度改變至凍結溫度以下，以快速替換兩種不同類型的陳列產品（例如，鮮蘆筍或冰淇淋）。
6. 上述的冰箱若應用在陳列冰品時，通常要針對除霜加熱器或其他必要事項進行變更設計。由於冰箱的溫度需達到 -18°C （產品溫度）甚至更低，因此需要特別關注在風道和貨品區結冰及結霜的問題。運用產品交替擺設和頻繁的進取貨，可以減少結霜的積累。

肉品展示

有包裝的肉品越來越流行，因此大多數肉類會以包裝形式出售。有些產品在儲存場所時是已經切割且包裝好。控制溫度、時間和運送過程中的衛生是很重要的。肉品表面的溫度高於4.4°C會縮短肉品的食用度及增加變色率。

開放式展示櫃的設計，無論是單層開放式冷凍食品展示櫃或立式展示櫃所陳列的肉品皆是有限的。理想的情況下，盡可能不凍結肉，溫度保持最小的波動（除霜除外），以確保盡可能最冷的穩定的內部和表面的肉溫度。

在所有的過程中，衛生是最重要的。在相同的條件下，好的衛生條件可以延長肉品在展示櫃上兩倍的販售期限。衛生條件包括需控制肉品減少暴露在4.4°C以上的時間。如果肉在放置到展示櫃上之前，是經過衛生的方式處理，則稍高的保存溫度是可以被容忍的。但若肉品在處理過程當中，其肉的表面遭到髒的刀子或鋸子等等的污染，就算是被保存在最佳的溫度狀態，都無法避免肉品提前腐敗及變色。因此，肉類加工時，肉類包裝區的製冷及衛生的重要性，不容忽視。

與發霉和天然的化學變化一樣，細菌也會使肉質變色。藉由良好的衛生和製冷控制，可讓商店內的肉品保存時間多一個星期或甚至更久。細菌群體聚集在肉類的表面最多，是因為肉的表面比內部溫暖。雖然冷氣流經過肉的表面，但表面溫度還是會受到以下因素而增加，造成細菌生長：

- 紅外線燈
- 從天花板表面所產生的紅外線
- 高堆疊的肉類產品

- 缺乏冷氣流冷卻
- 冷氣流受到外界干擾

這些因素處理不當，肉的表面溫度往往會高於食品處理法規所允許。在每一個細節處都需要非常謹慎，以及在冷藏櫃中裝貨時，都須保持肉品的表面溫度低於 4.4°C。然而，這些所必要執行的工作，都將獲得極為出色的保鮮，提高了產品的完整性，更高的銷量，和減少廢料或變質。在除霜時肉品表面溫度會上升，但測試研究以相同樣本的肉，經過正常除霜控制的過程，和在除霜時將肉品從冷藏櫃中移走，兩者比較起來，其品質沒有太大差異。雖然冷凍冷藏櫃除霜特性各不相同，由類似這樣的測試，驗證除霜方法在相關條件下是否會影響保鮮期。

自助式肉品冷藏櫃

自助式肉類商品通常是以包裝形式陳列，展示櫃陳列方式有下列所述之種類可供選擇：

- 單層夾板型(如圖 2.12)
- 多層夾板型(如圖 2.13)
- 其他如玻璃櫥窗型

上述的冷藏櫃皆可因商品需求配合而增設照明、夾層及其他配件；儲物櫃型則極少應用於自助式肉品冷藏櫃。

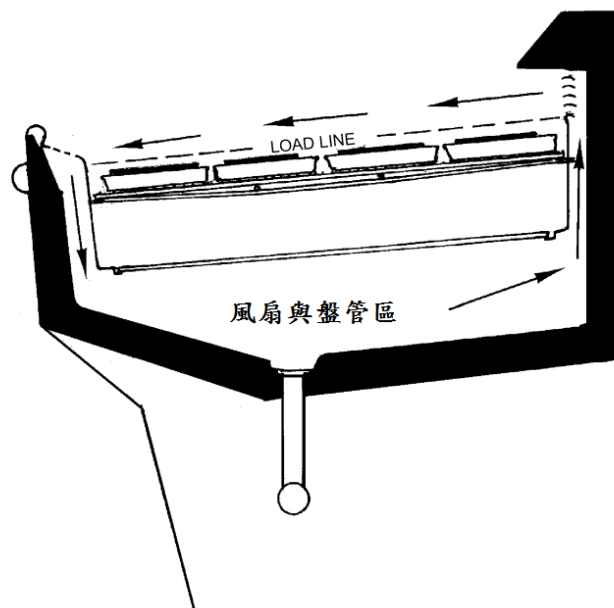


圖 2.12 單層肉品展示櫃

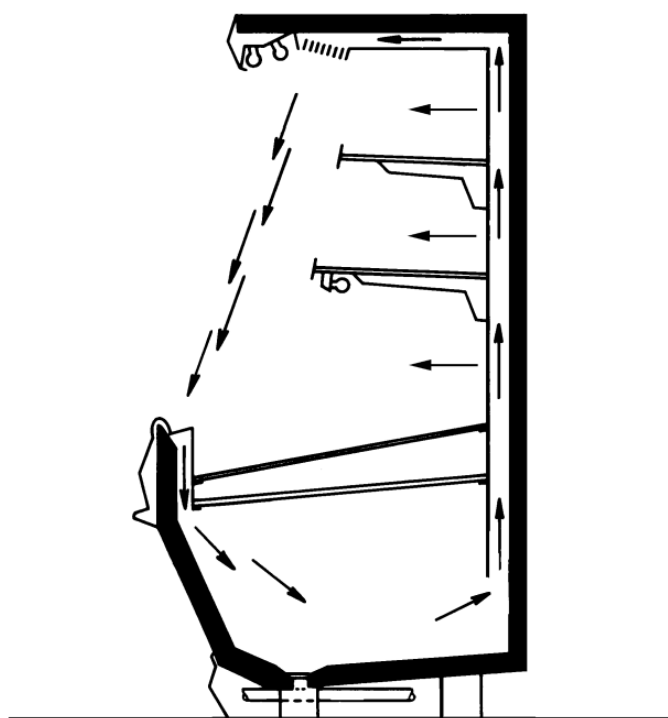


圖 2.13 多層肉品展示櫃

密閉式肉品或熟食冷藏櫃

其常應用於展示大量且未包裝之肉品，一般由下述商品分類作為密閉式冷藏櫃之使用時機：

- 新鮮肉品(如圖 2.14)
- 熟肉及燻肉或其他加工肉品
- 魚肉及雞肉

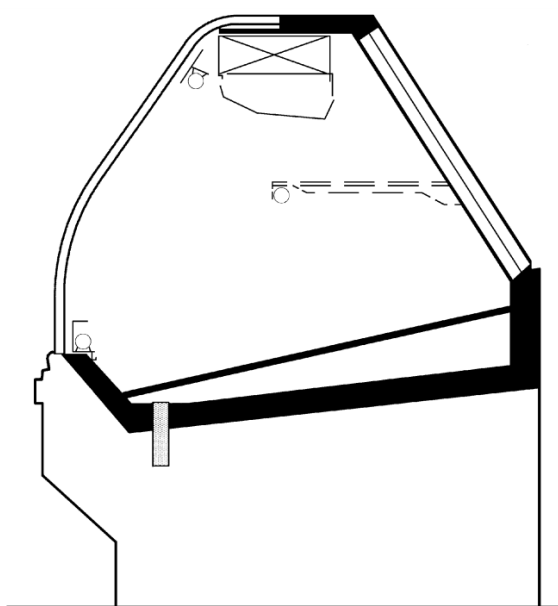


圖 2.14 密閉式展示櫃

密閉式肉品展示櫃有多種配置，製冷形式可採重力自然對流式或強制對流冷卻盤管。一般商品展示多以自然對流式冷卻盤管形式；強制對流冷卻盤管結合各種加濕系統亦為常見之設計。展示冷藏櫃通常具有滑門，而滑門在尖峰時段則可移除不用，但將造成內部展示商品的溫度及濕度受到影響，因此並不建議如此作法。表 2.2 則為前述介紹的各類型展示櫃在零售市場之建議出風溫度。

表 2.2 展示櫃之建議出風溫度[2]

食品種類	展示櫃類型	建議最低溫度 [°C]	建議最高溫度 [°C]
乳製品	多層貨架式	1.1	3.3
農產品	單層式	1.7	3.3
	多層貨架式	1.7	3.3
未包裝肉品 (密閉式展示)	展示區	2.2	3.3
燻製熟食	多層貨架式	0	2.2
有包裝肉品 (開放式展示)	單層式	-4.5	-3.3
	多層貨架式	-4.5	-3.3
冷凍食品	單層式	-	-25
	多層貨架式	-	-23
	後補式玻璃門	-	-20
冰淇淋	單層式	-	-31
	多層貨架式	-	-25

美國聯邦標準規定了冷藏展示櫃的最低能效水平，定義了展示櫃依據櫃體型式、種類、工作溫度及總展示面積 TDA(平方英尺)，每天每單位耗電 (kWh) 的能源效率，如表 2.3 所示。

表 2.3 美國能源部商用製冷設備標準(DOE, USA)[3]

商業用展示櫃	櫃體形式	種類	工作溫度	每日最大能耗 kWh/day
	開放式	立式	≥0°C(中溫)	0.82×TDA+4.07
			<0°C(低溫)	2.27×TDA+6.85
		半立式	≥0°C(中溫)	0.83×TDA+3.18
			<0°C(低溫)	2.27×TDA+6.85
		臥式	≥0°C(中溫)	0.35×TDA+2.88
			<0°C(低溫)	0.57×TDA+6.88
	封閉式	立式	≥0°C(中溫)	0.22×TDA+1.95
			<0°C(低溫)	0.56×TDA+2.61
		臥式	≥0°C(中溫)	0.16×TDA+0.13
			<0°C(低溫)	0.34×TDA+0.26

2.3 開放式展示櫃節能技術調查

近年來積極推廣冷凍冷藏系統節能技術及相關節能技術手冊之出版之下，連鎖量販店、超市及便利商店對於冷凍冷藏系統設備已漸次採行相關節能技術。在實務上可從冷媒系統主要元件及控制器來著手，例如：安裝高效率電子膨脹閥、安裝液氣熱交換器(熱回收裝置可提升冷媒過冷度)、賣場環境溫濕度控制及有效改善除霜時庫體溫升等問題。對於冷凍冷藏設備之節能技術，統計本會歷年輔導能源用戶之冷凍冷藏系統的節能潛力約為 10~15%，另根據美國 APS 商業中心針對商用冷凍冷藏設備用電調查[4]，能源使用量以展示櫃 34%為最高，其次為後補式展示櫃(Walk-in) 18%、自動販賣機 13%及製冰機 10%居次，系統部份則以壓縮機耗電量約占 46%最高，其中展示櫃節能潛力最高約占 50%，如圖 2.15-2.16 所示。

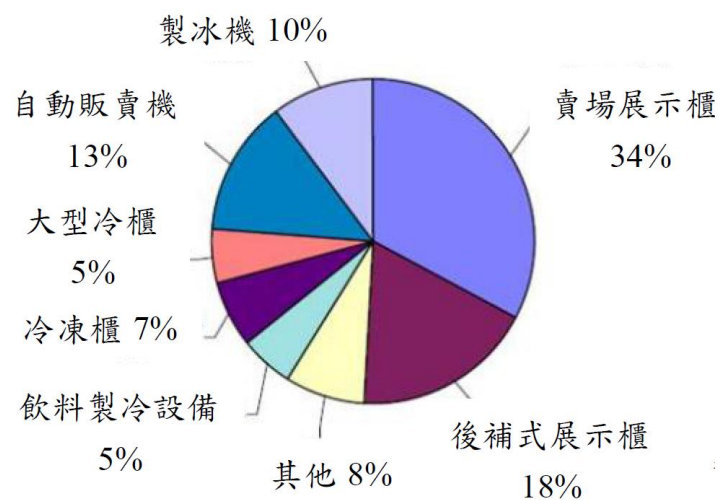


圖 2.15 商用冷凍冷藏設備能源使用占比[4]

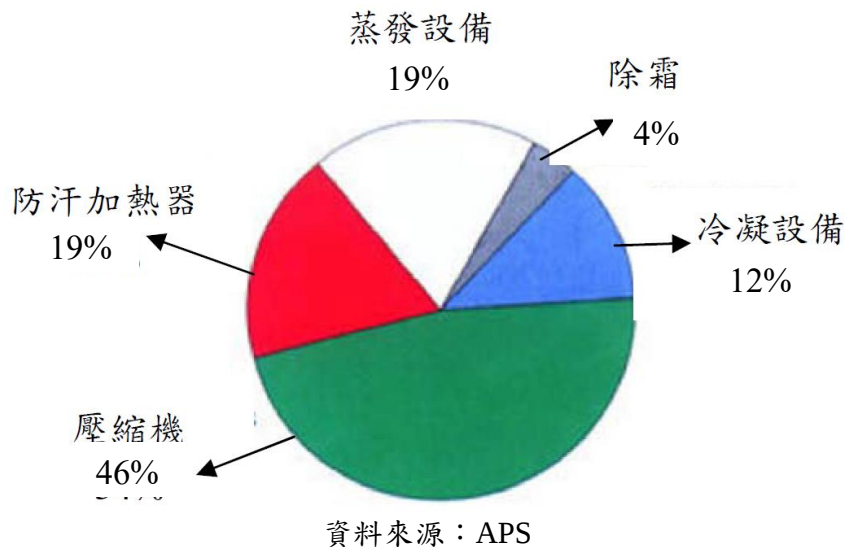


圖 2.16 商用冷凍冷藏系統能源使用占比[4]

開放式展示櫃具有良好展示效果及消費者易取得商品之優點，並刺激消費者之購買慾望，但在能源消耗方面，根據 ASHRAE Journal September 2010 文獻指出[5]，開放式展示櫃與密閉式展示櫃耗能比較，開放式展示櫃較為耗能，冷能外洩是造成賣場冷凍冷藏區溫度過低的主因，若開放式展示櫃採用密閉玻璃門，櫃內冷能負荷將可減少 68%，壓縮機耗電約可降低 87%，因此對於開放式展示櫃改為密閉式展示櫃以提升系統效能有其必要性，由實際量測結果發現，如圖 2.17 為開放式展示櫃能源耗用情形，由數據顯示開放櫃壓縮機用電量較大，約占整體用電量 80%，且容易受外在環境影響。而圖 2.18 為密閉式展示櫃量測結果，發現密閉式展示櫃冷凍負荷大幅降低，使得壓縮機耗能較少且呈現穩定狀態。

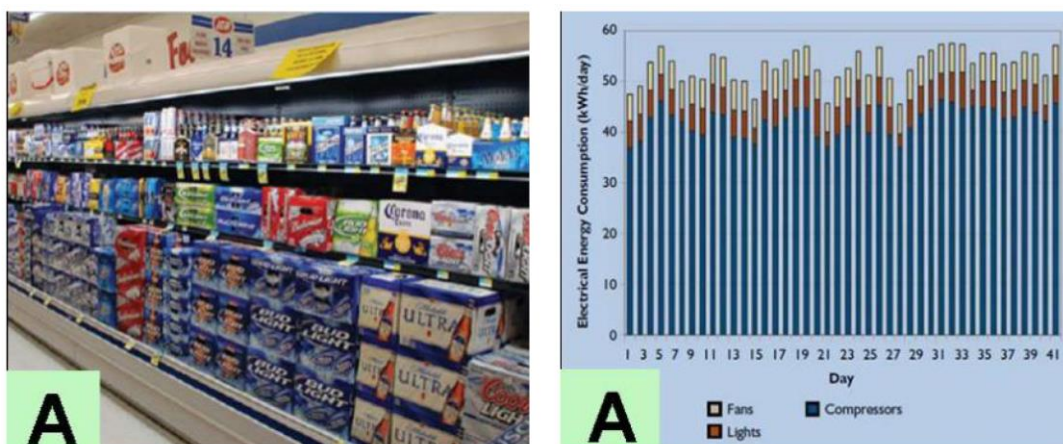


圖 2.17 開放式冷凍冷藏櫃外觀及量測結果[5]

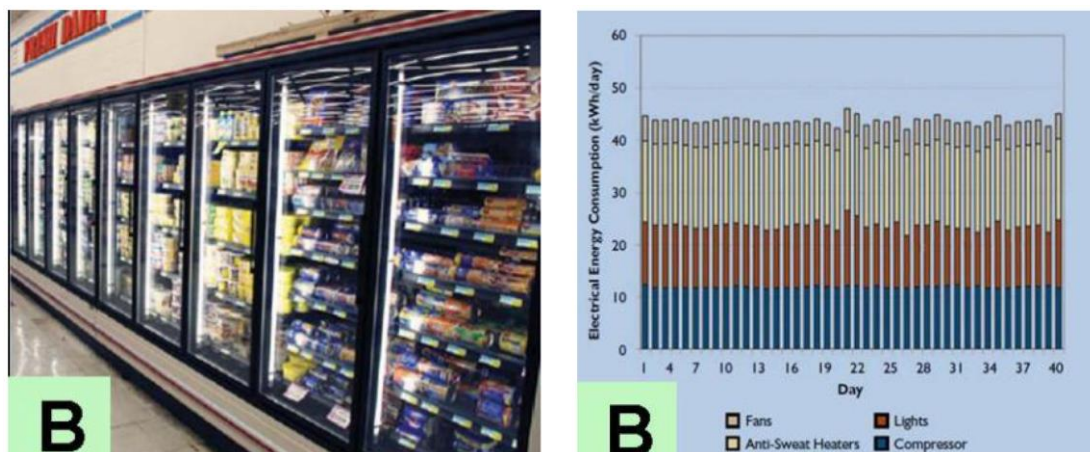


圖 2.18 密閉式冷凍冷藏櫃外觀及量測結果[5]

而美國能源署(U.S. Department of Energy,DOE) [6]與 2010 年能源與環境國際期刊(International Journal of Energy and Environment) [7]針對冷凍冷藏相關設備提出節能措施及節能潛力，包含對於蒸發器及冷凝器採用高效率風扇馬達、冷凍冷藏主機採用高效率變頻式壓縮機、智慧型能源管理控制及除霜控制、熱回收、開放式冷藏櫃防止外洩等。由相關文獻資料歸納出冷凍冷藏設備可提升性能改善之技術如表 2.4 所示。

目前多數賣場已執行的節能措施可分為，大型賣場臥式冷凍櫃採用加蓋式臥櫃、後補式冷凍冷藏櫃(Walk-In)及開放式展示櫃照明採用 LED 燈具、冷凍冷藏主機冷卻水塔增設變頻控制器及熱回收裝置。而小型賣場展示櫃玻璃門增設除霧控制裝置、部份便利商店則導入奈米鍍膜無電熱絲冰箱玻璃門，並於新門市或老舊主機汰換時，採用高效率變頻式冷凍冷藏主機，將散熱器遷移至室外以增加散熱效率，除霜方式仍以停機除霜及電熱除霜為主要除霜方法。

表 2.4 商業冷凍冷藏設備提升性能技術[6]

改善項目	節能改善措施	改善項目	節能改善措施
冷媒	採用符合環境標準之冷媒	冷凍主機	使用高效率壓縮機
冷凍冷藏櫃	採用節能燈管		採用蒸發式冷凝器
	需量除霜控制		冷媒系統控制最佳化
	防汗電熱絲控制		高效率電子膨脹閥控制
	蒸發器無刷直流馬達風扇控制		蒸發壓力調節閥控制
	夜間系統回置		環境過冷卻控制
	低溫系統之低壓回氣管熱交換		多溫冷媒系統控制
	中溫系統之低壓回氣管熱交換		機械式過冷卻控制
環境溫度	環境溫濕度最佳控制		冷媒系統配管最佳化
冷凍庫體	高密度保溫庫體		熱能回收裝置
	幾何庫體之最佳化		浮動式低壓控制

零售食品店中大約一半的食品都放在開放式展示櫃中(Laguerre, Hoang, Osswald, & Flick, 2012[8])，對於冷藏產品，通常選擇垂直多層展示櫃，因為可以有效地利用商店中可用的有限空間，儘管空氣簾設計良好，但溫暖潮濕的空氣滲透不可避免地導致機櫃內的溫度不均勻性；然而，使用帶門的展示櫃可以限制滲透，但產品銷售可能減少。在英格蘭的超市進行客戶訪談的結果顯示，接受調查的客戶中有一半的消費者更願意從沒

有門的櫥櫃購買產品 (Trader, 2013[9])；相反，(Fricke & Becker, 2010[10]) 表明封閉展示櫃的使用對美國的產品銷售沒有影響。

根據本團隊之相關研究的耗能監測結果顯示，超級市場與便利商店之全年冷凍冷藏設備耗電最高可佔總用電分別為 70%與 46%以上。相關文獻亦顯示(謝文德等, 2004[11])，一般便利商店設備電力容量約 30kW，其中招牌照明約占 8%、室內照明約占 13.3%、空調冷氣約占 32.9%、冷凍冷藏約占 24.5%、加熱設備約占 19.3%、其他設備約占 1.9%，所以空調與冷凍冷藏設備在整體便利商店的耗電量約佔 50%以上，因此如何提升空調與冷凍冷藏的能源使用效率，對於便利商店節能之推動極為重要。

目前市售之開放式冷藏展示櫃溫度多半設為 3°C~8°C，隨各營業場所不同需求可設不同溫度，但大多展示櫃型號，並無特別標示展示櫃空氣簾出風風速、角度，且無法設定或判斷其展示櫃空氣簾是否能有效隔絕櫃內外空氣，達到節能效果。相關研究指出，展示櫃隨著環境溫度和濕度的增加，或氣簾出口溫度的增加，負載也會增加；氣簾出口處的湍流強度越高，將帶來更高的滲透，湍流強度和滲透之間的關係幾乎是線性的(Amin, Dabiri, & Navaz, 2012[12])。新型開放式展示櫃與傳統開放式展示櫃相比，由於引導帶和冷架創新，更有效的氣簾和更低的回風溫度進入蒸發器盤管，使新型開放式展示櫃較傳統節能 (Tsamos et al., 2019[13])。

如前文所述，商店相對濕度對開放式展示櫃的性能有所影響，發現室外氣候條件會影響超市的室內條件，夏季開放式展示櫃消耗的總電能增加了 55%，這種變化主要是由環境溫濕度的變化引起的(Axell, & Lindberg, 2005[14])。根據相關研究結果亦顯示，當商店相對濕度降低 5%時，展示櫃的總能量需求減少了 10%，因此有機會可以實現整個商店總能耗降低

5% (Howell, 1999[15])。環境氣候對總傳熱率和滲透率亦產生很大影響。當濕度從 35% 上升到 60% 時，潛熱傳遞率增加了 42%。另一份研究則指出，當展示櫃出風速度增加 0.15m/s 時，食物溫度會降低 0.2°C ~1.1°C；當環境濕度增加 20%，食物溫度上升約 0.9°C (Chang et al., 2013[16])。

關於提高空氣簾性能來提高開放式冷藏展示櫃效率的研究都限於個案，針對可能影響與外部空氣夾帶和滲透到系統相關的滲透的重要變量進行研究。研究指出一些主要變量最能影響滲透率，其中包含 H(開放式冷藏展示櫃開口高度)、W(出回風口寬度)、 α (出風與回風相對水平偏移角度)、 β (出風拋射角度)、 $\dot{m}_{BP}$ (穿孔背板出風質量流率)、 $\dot{m}_{tot}$ (整體出風質量流率) 等變量 (Mazyar et al., 2011[17])。

由於濕度對潛熱傳遞速率有直接影響，在計算熱夾帶因子時應考慮濕度的影響 (Gaspar, Carrilho Gonçalves, & Pitarma, 2011[18])。相關實驗研究指出，穿孔背板上孔的比例對開放式展示櫃性能的影響。孔的佈置和數量對排出氣流速率產生顯著影響。文獻指出供氣管道的氣流流量為 70%，穿孔背板的氣流流量為 30%，可使機櫃性能良好 (Gray et al., 2008[19])。開放式展示櫃的最佳回風管道寬度為 70cm (對於 300cm 高的展示櫃，出風速度為 0.9m/s)，一般來說寬度對櫃體性能的影響相對較小；但是過大的寬度會導致性能下降 (Hammond, 2011[20])。

根據國外之相關研究顯示，超市之環境條件在 21°C DB，65%RH 之下，耗能會比 55%RH 時多出 13%，如表 2.5 所示。因此歐美先進國家之超級市場或量販店之空調系統多設有濕度控制、外氣預處理及熱回收設備以降低建築耗能。反觀國內，根據過去實際之監測結果，超級市場在夏季時 5~8 月賣場平均相對濕度可高達 70%，如圖 2.19 (李魁鵬，2003[21])

所示。以臺灣屬於亞熱帶高溫高濕之海島型氣候特性及超級市場與量販店建築目前現況而言，控制冷凍冷藏食品賣場濕度以及結合開放式展示櫃節能控制之節能潛力保守估計將高達約 30%以上。

若開放式展示櫃及賣場環境濕度兩者結合同時控制，則節能潛力勢必更高，其原因是若賣場環境之相對濕度太高則冷凍系統蒸發器將結霜嚴重、熱傳效率差、除霜次數增加、以及冷凍冷藏展示櫃之防汗與防凍之加熱電絲耗電大，因此相對濕度對於超級市場與量販店建築總耗能具有另一層的關鍵性影響。再者，食品外包裝也容易因高濕度結露，而影響外觀及其產品形象。

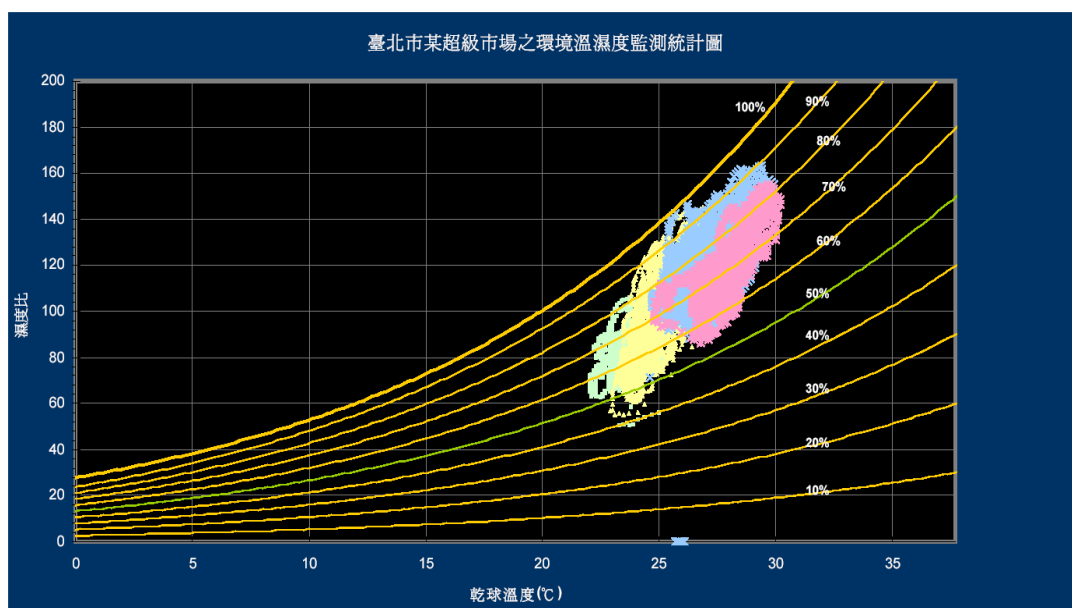


圖 2.19 某超級市場之 5~8 月賣場環境相對溫濕度監測統計[21]

表 2.5 環境溫濕度差異對冷凍冷藏展示櫃產生負載變化[22]

型式	21°C乾球溫度						26°C乾球溫度		
	相對濕度%						相對濕度%		
	30	40	55	60	65	70	50	55	65
多層牛乳製品	0.90	0.95	1.00	1.08	1.13	1.18	0.99	1.08	1.18
多層低溫	0.90	0.95	1.00	1.08	1.13	1.18	0.99	1.08	1.18
單層低溫	0.90	0.95	1.00	1.08	1.13	1.15	0.99	1.05	1.15

綜合以上文獻分析，可確認開放式展示櫃在適當之使用條件下具有顯著之節能成效，但以下因素會影響開放式展示櫃阻隔外氣滲透之效率：

1. 商場環境的溫度與濕度會影響展示櫃的耗能，若溫度及濕度過高，將會提升熱傳率及潛熱傳遞率，且商場內展示櫃耗能具有相當大的比重，故控制環境的溫度與濕度可顯著降低展示櫃的總能量
2. 開放式展示櫃的空氣簾對其性能具有重大的影響，當展示櫃出風風速度太低時，空氣射流無法到達回風口，導致展示櫃無法將櫃內外空氣阻隔開來，將使環境較高溫度之空氣導入回風口，導致展示櫃系統更多的能耗。
3. 展示櫃 α (出風與回風相對水平偏移角度)及 β (出風拋射角度)等幾何變量對滲透率影響至關重要，適當的設計可更好地將氣流導向回流通道，增強氣簾的完整性。

開放式冷凍冷藏展示櫃之節能效果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，使得使用者對於開放式展示櫃節能技術應用產生疑慮。有鑒於此，本研究進行開放式展示櫃現場實證案例之研究，調查我國營業場所開放式展示櫃能源使用情形，藉由本土商店現場調查及計算流體力學之模擬方法，探討其冷能外洩問題，研提開放式展示櫃節能設計之建議方案及效益分析，以推廣相關節能技術及觀念

2.4 模擬案場現場訪視狀況

本手冊透過現場實地訪視不同商業類型之營業場所，依營業場所大小類型及販售型態分為便利商店、超級市場及量販店。

案場一為臺北市中正區某便利商店，模擬範圍為商品販售的空間，不包括倉庫與員工辦公室，當天室內溫度控制在 22°C 上下，該超商長寬高分別為 14.8m、9m、3m，室內有兩台 6 呎開放式開放式展示櫃、兩台 3 呎開放式開放式展示櫃，開放式展示櫃全年運轉。下圖 2.20 為量測之點位位置標示圖，A~D 點位為開放式展示櫃之出回風溫度與風速，E~L 點位為空間之溫度，量測高度分別為距離地面 0.5、1.0、1.5、2.0m 之情形，其量測相關數值如表 2.6 所示。

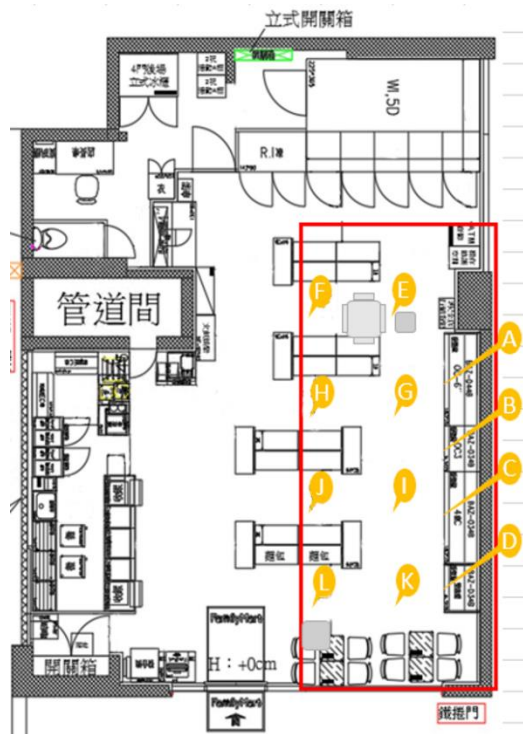


圖 2.20 量測之點位位置標示圖

表 2.6 案場一開放式展示櫃出風回風量測數值

名稱	位置	平均風速 m/s	平均溫度℃
6 呎開放式冰櫃 A	出風	0.83	8.3
	回風	3.48	13.0
	穿孔背板出風	2.38	4.2
3 呎開放式冰櫃 A	出風	0.91	6.1
	回風	1.86	12.0
	穿孔背板出風	2.45	3.8
6 呎開放式冰櫃 B	出風	0.96	6.8
	回風	3.96	9.9
	穿孔背板出風	2.63	9.2
3 呎開放式冰櫃 B	出風	0.28	9.2
	回風	1.17	11.9
	穿孔背板出風	3.59	11.5



圖 2.21 案場一開放式展示櫃量測



圖 2.22 案場一室內環境量測

案場二為臺北市士林區某超級市場，為著重了解開放櫃空氣簾對於環境周遭影響，模擬範圍為具代表性之開放櫃及其周圍區域，當天室內溫度控制在 22°C 上下，在此案場挑選兩座開放櫃進行模擬，分別為販售生鮮肉品的 8 呎開放式展示櫃及冷飲的 6 呎開放式展示櫃，8 呎開放式展示櫃模擬範圍大小長寬高分別為 8m、6m、3m，6 呎開放式展示櫃模擬範圍大小長寬高分別為 7.4m、6m、3m，開放式展示櫃全年運轉。量測點位每間隔一呎量測一組出回風溫度與風速，環境空間之溫度量測高度分別為距離地面 0.5、1.0、1.5、2.0m，其量測相關數值如表 2.7 所示。

表 2.7 案場二開放式展示櫃出風回風量測數值

名稱	位置	平均風速 m/s	平均溫度°C
8 呎開放式展示櫃	出風	1.17	3.8
	回風	2.28	8.9
	穿孔背板出風	0.74	4.0
6 呎開放式展示櫃	出風	0.89	8.4
	回風	4.56	12.5
	穿孔背板出風	0.60	6.5



圖 2.23 案場二 8 呎開放式展示櫃

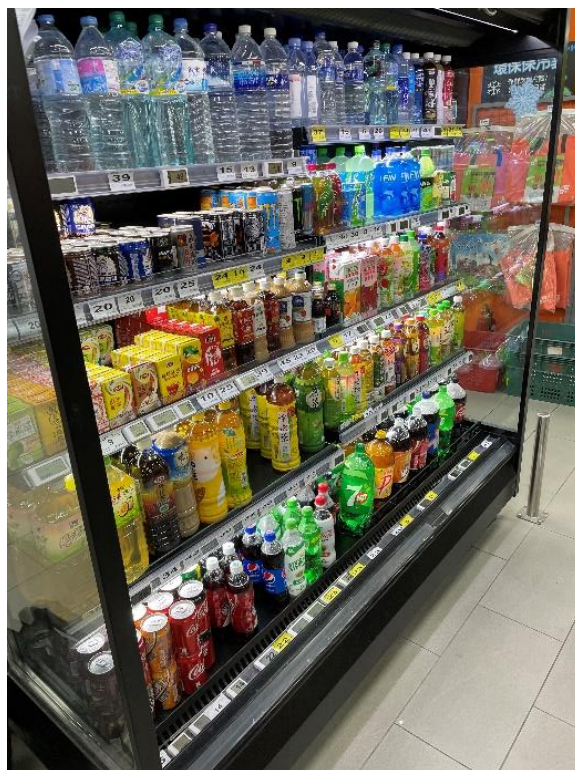


圖 2.24 案場二 6 呎開放式展示櫃



圖 2.25 案場二開放式展示櫃量測



圖 2.26 案場二室內環境量測

案場三為新北市樹林區某量販店，為著重了解開放櫃空氣簾對於環境周遭影響，模擬範圍為具代表性之開放櫃及其周圍區域，當天室內溫度控制在 23°C 上下，在此案場挑選兩座開放櫃進行模擬，分別為販售生鮮蔬菜的 8 呎開放式展示櫃及高單價有機蔬菜的 4 呎開放式展示櫃，8 呎開放式展示櫃模擬範圍大小長寬高分別為 8m、6m、3m，4 呎開放式展示櫃模擬範圍大小長寬高分別為 6m、6m、3m，開放式展示櫃全年時間運轉。量測點位每間隔一呎量測一組出回風溫度與風速，環境空間之溫度量測高度分別為距離地面 0.5、1.0、1.5、2.0m，其量測相關數值如表 2.8 所示。

表 2.8 案場三開放式展示櫃出風回風量測數值

名稱	位置	平均風速 m/s	平均溫度°C
8 呎開放式冰櫃	出風	0.93	1.9
	回風	1.76	9.5
	穿孔背板出風	1.94	5.3
4 呎開放式冰櫃	外側出風	1.09	11.2
	內側出風	2.49	0.9
	回風	1.97	10.1
	穿孔背板出風	0.71	3.9



圖 2.27 案場三 8 呎開放式展示櫃



圖 2.28 案場三 4 呎開放式展示櫃



圖 2.29 案場三開放式展示櫃量測



圖 2.30 案場三室內環境量測

2.5 開放式展示櫃之現況使用問題

根據文獻回顧，可確認開放式展示櫃在適當之使用條件下具有顯著之節能成效，但開放式展示櫃之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，本手冊藉由現場應用案場之訪視及量測，以了解實務應用狀況。

現場量測發現開放式展示櫃的風機輪葉是安裝在櫃體中間的回風處後端，導致開放式展示櫃的中央的出風風速較為強勁，左右兩側風速則相對較弱，造成出風的不均勻性，使開放式展示櫃的射流結構不完整，容易因商場環境流場等因素影響破壞開放式展示櫃氣流，造成環境空氣由下半部滲透至櫃內。

實際參訪進行量測時也發現某些商家會將過多商品陳列於開放式展示櫃，甚至有商品或價格標示牌遮蔽部分回風通道的狀況，這可能使氣流流經回風通道時受到阻擋。或是某因為空間格局關係，開放式展示櫃的位置太過於靠近門口或發熱機組，與賣場之間潛熱、顯熱對流上升，導致開放式展示櫃熱負荷提升。

也因此能發現大部分開放式展示櫃回風溫度明顯高於出風溫度，除受到環境溫度影響造成熱交換外，代表有相當程度因出風角度、氣流封閉效果不佳造成冷氣流外洩，使環境空氣具一定比例進入回風通道，會造成低溫之開放式展示櫃增加額外的冷卻負荷，並且也會引入賣場較潮濕的空氣而造成開放式展示櫃容易結霜，增加額外的除霜耗能。

另外現場量測時發現一案場依賴開放式展示櫃冷能外洩維持商店內環境溫度，並無額外使用空調，但因空調 COP 通常高於開放式展示櫃 COP，因此會額外產生不必要的耗能

開放式展示櫃內容易因壓縮機頻繁啟動與停機，導致櫃內溫度頻繁震盪，由圖 2.31 可看出當壓縮機停機會使櫃內溫度顯著上升，震盪幅度約為 2°C ，且實際量測結果顯示震盪幅度可能更大。

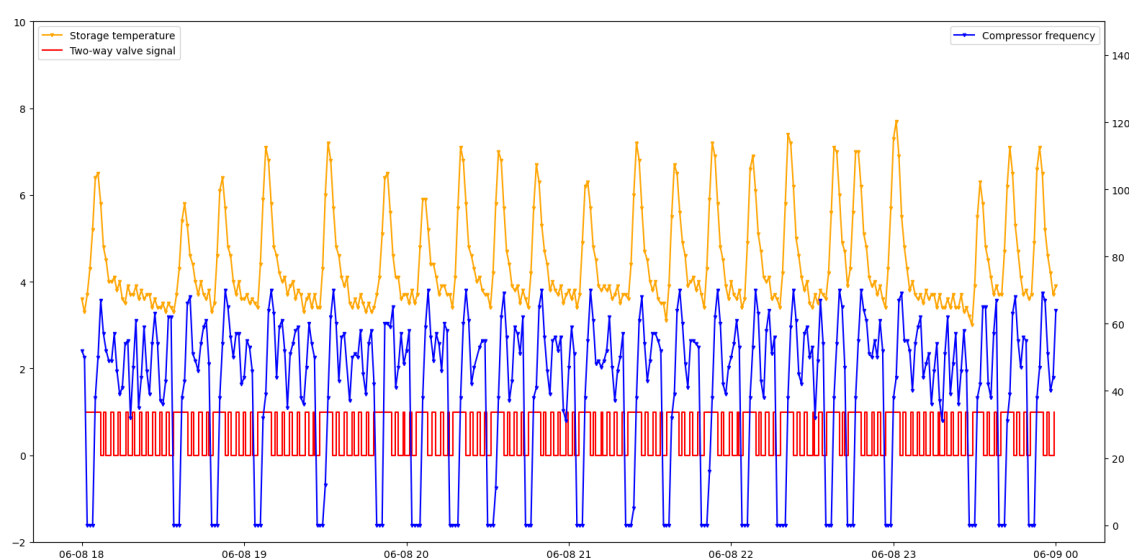


圖 2.31 開放式展示櫃櫃內溫度變化圖

前面章節提到當商店相對濕度降低 5% 時，開放式展示櫃的總能量需求減少了 10%，因此可以實現整個商店總能耗降低 5%，經過本計畫團隊現場量測結果如圖 2.32 及表 2.9 所示，當相對濕度為 75% 時耗電量為 2.904kW，當相對濕度為 70% 時耗電量下降為 2.560kW，展示櫃的總能量需求減少了 11.85%。

表 2.9 室外溫度 29.5℃—30.5℃時耗電量比較表

濕度(%)	回歸(耗電量 kW)	與濕度 75%相比節省耗能
70	2.560	11.85%
71	2.628	9.48%
72	2.697	7.11%
73	2.766	4.74%
74	2.835	2.37%
75	2.904	0.00%

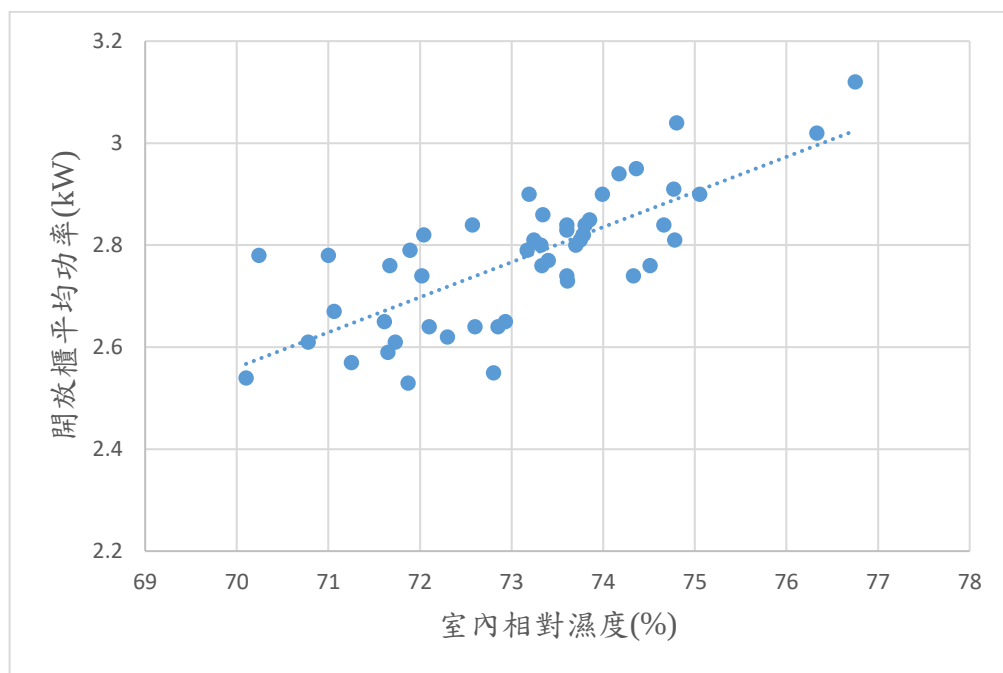


圖 2.32 相對濕度與開放櫃平均電功率回歸分析

另外根據參訪調查廠商對開放式展示櫃進行維護保養的頻率，冷凝器一年約維護保養 3 次、蒸發器集水盤一年清潔 2 次，以此延長開放式展示櫃使用年限。

經由現場之訪視與量測，關於開放式展示櫃在使用上或安裝上之問題，可以歸納如下：

1. 開放式展示櫃風機本身的結構問題，造成出風的不均勻性。
2. 開放式展示櫃安裝位置過於靠近門口，使開放式展示櫃受到環境之熱負荷影響，而未達到該有之效果。
3. 開放式展示櫃內因定頻壓縮機，舊控制邏輯會使壓縮機頻繁啟停，溫度震盪幅度大，造成效能降低。
4. 商場環境濕度缺乏控制，濕度無法降低，總能耗相對較高。
5. 開放式展示櫃空氣簾之射流速度及角度需依據賣場流場特徵進行調整，以達理想的封閉效果，但目前市售產品並未有角度之可調變

三、開放式展示櫃冷凝機組節能技術

開放式展示櫃及其之節能技術之探討，根據美國研究報告指出，若應用目前已商業化之成熟技術進行超級市場冷凍冷藏部門耗電之節能改善則有如表 3.1 所示較為保守之節能潛力與回收年限預估值：

除了表 3.1 所示之技術外，尚包含採用電子式膨脹閥、展示櫃加蓋等方法。由表 3.1 冷凍冷藏部門之節能潛力以賣場環境濕度等節能控制為較高。另一方面，若冷凍冷藏櫃及賣場環境濕度兩者結合同時控制，則節能潛力勢必更高，而開放展示櫃空氣簾阻隔性能影響賣場溫濕度侵入展示櫃造成熱負荷之多寡及能耗。由表 3.1 可知賣場之溫濕度對於展示櫃之耗能影響很大，所以節能潛力相當高，其主要原因之一即在於展示櫃有大量的熱負荷來自於周圍環境之顯熱即潛熱之侵入。

基本之冷凍系統流程，如圖 3.1 所示，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吐出至冷凝器進行冷凝，冷凝之後的液冷媒經過高壓受液器再進入膨脹閥膨脹為低溫低壓液態冷媒，最後進入蒸發器冷卻產品，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，其節能技術包含(李魁鵬，2011[23])：

表 3.1 美國超級市場冷凍冷藏部門之節能潛力分析(DOE, USA)

節能技術	冷凍耗電節省百分比(%)	回收年限
高效率壓縮機	12.0	0.4
使用蒸發式冷凝器	3.1	N/A
浮動式高壓控制	3.1	2.5
熱回收	依應用而定	2.5
機械式過冷卻	1.4	4.9
環境過冷卻	0.5	11.0
高效率照明(新研究數據)	4.4	1.0
熱氣除霜	3.1	1.4
防汗電熱絲控制	5.7	1.6
蒸發器無刷直流馬達風扇控制	8.2	1.6
除霜控制	1.3	3.0
低溫系統之低壓回氣管熱交換	2.4	4.1
中溫系統之低壓回氣管熱交換	1.8	14.0
賣場濕度控制 (ASHRAE-HB)	13/10%RH 降低	N/A

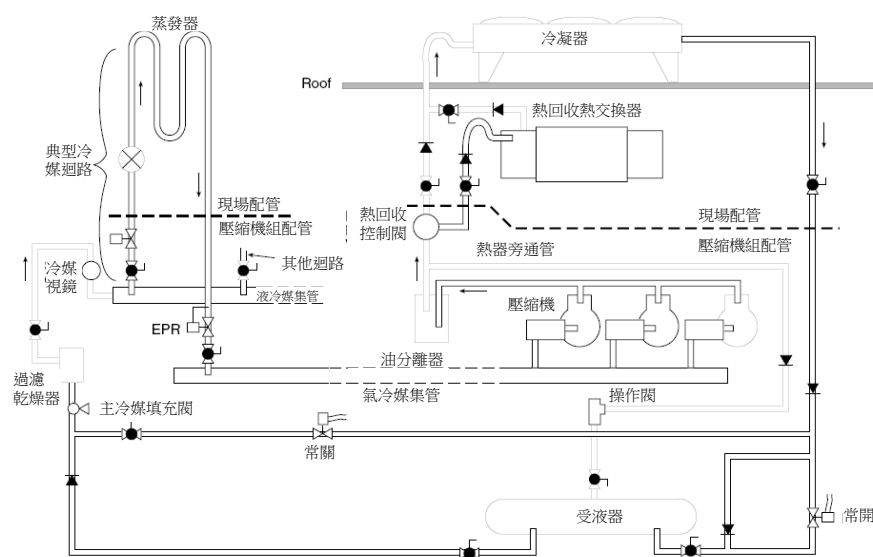


圖 3.1 冷凍系統流程圖

使用變頻式壓縮機

一般商業之冷凍冷藏系統大多採用直膨式系統，壓縮機之功能在於控制冷凍冷藏系統蒸發器之運轉壓力，並且提供系統源源不絕之冷媒循環量產生製冷功能。因系統蒸發器之熱負荷會受到冷卻空間使用強度或使用情形而變動，例如冷凍冷藏櫃之開啟頻率、賣場空間溫濕度變化或建築熱外殼構造負荷，故壓縮機必須隨時進行容量調節以匹配蒸發器之負載，避免冷凍冷藏櫃溫度過高或過低。傳統壓縮機之卸載通常有熱氣旁通法、壓縮機蒸氣吸入口節流閥控制、壓縮機起停控制等方法。

其中熱氣旁通法是將壓縮機壓縮吐出之熱氣再旁通回壓縮機吸入口，以降低壓縮機對於蒸發器之排氣容量，避免蒸發器之溫度過低而造成庫溫失控，損傷產品。壓縮機蒸氣吸入口節流閥之控制功能在於增加壓縮機之吸入口冷媒壓損，避免蒸發器之蒸發器壓力過低，降低壓縮機對於蒸發器之製冷效果。上述熱氣旁通法及壓縮機蒸氣吸入口節流閥控制都是以降低壓縮機運轉效率之方法而達到庫溫控制之目的，因此不具有節能之功效；而壓縮機起停控制則常因系統負載很難達到理想匹配條件，因此壓縮機起停頻繁或是藉由設定較低蒸發壓力或較高蒸發壓力來避免壓縮機起停頻繁而降低系統之穩定性與壽命。但過高之蒸發壓力將造成庫溫過高，產品品質降低，因此常常必須設定較低蒸發壓力，如此將造成壓縮機效率降低、冷凍冷藏庫負載增加、結霜情形嚴重等耗能之狀況。

變頻式壓縮機可藉由變頻器適當控制壓縮機之排氣容量，精準匹配蒸發器負載，避免壓縮機起停頻繁以及庫溫過低之現象，而達成節能之目的，其投資回收年限約在 2~5 年。

浮動式高壓控制

傳統上，冷凍系統之冷凝器高壓側都控制在一定之壓力水準，以避免傳統感溫式膨脹閥兩端之高低壓力差不足，造成冷媒流量減少，影響冷凍能

力。但是當冷凝壓力太高時，則造成壓縮機運轉效率變差。然而，目前已商業化之電子式膨脹閥因為可進行較為彈性之閥開口控制，可適應較為寬廣之壓力變化，若搭配採用浮動式高壓控制方法，則可依外界氣候條件適當重置冷凝壓力控制值，當散熱條件好時，降低冷凝壓力，以提升壓縮機效率。另外需注意的是，浮動式高壓控制方法相當複雜，必須充分進行系統運作條件之了解與判斷，以避免高壓過低而造成冷媒流量不足、油壓不足或熱氣除霜之能量供給不足等問題。進行浮動式高壓控制方法之施作後，也必須進行系統測試、調整等性能驗證程序，方可確保該節能技術之可靠性。

熱回收

冷凍系統之熱回收技術施作方法，可參考圖 3.2 所示，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，再利用在空間除濕之再熱或提供為賣場之熱水加熱之需求。該系統之控制方法，是藉由圖 3.2 所示之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可靠性時，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。如圖 3.2 所示為實際施作之圖例。

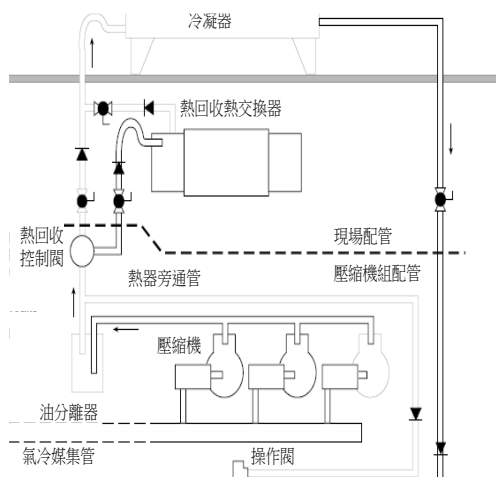


圖 3.2 冷凍冷藏主機之熱回收控制閥及供應熱水使用

環境過冷卻

藉由冷凝器之加大設計或額外再增加過冷卻之熱交換器，即可利用大氣環境來冷卻高壓高溫汽態冷媒，使之凝結為過冷狀態之液態冷媒。過冷狀態液態冷媒可降低其在管路流動中所產生之閃氣量，降低冷媒在進入膨脹閥之前因汽化而產生之冷媒流量不穩定現象及膨脹閥控制問題；另一方面，過冷液態冷媒之焓值及膨脹後所含之蒸氣量低於未過冷之飽和液態冷媒，因此其在進入蒸發器時，單位質量可產生較大之冷卻能力與較高之熱傳效率，進而降低壓縮機所需處理之冷媒質量流率，節省壓縮機耗電。

需注意的是，由於降低冷凝器壓力之節能效果大於過冷卻效果，除非因液冷媒管路壓力損失過大造成閃氣增加而需過冷卻之外，在應用環境過冷卻方法之前，應該優先處理冷凝器高壓過高之問題，只有當冷凝器壓力控制已經達到最低下限值時，再利用環境過冷卻技術才比較有意義。因此，過冷卻之節能效果主要是在大氣環境溫度較低的時候才比較會產生節能效果。

機械式過冷卻

和利用大氣環境過冷之原理相同，採用機械式過冷卻，可增加單位質量較大之冷卻能力以及降低液態冷媒在管路流動中所產生之閃氣量。如圖 3.3 所示之機械式過冷卻技術係利用部分分路之冷媒膨脹來冷卻主要供給蒸發器之液態冷媒，經過膨脹與熱交換之分路冷媒汽化後利用壓縮機將其由中間壓力壓縮至高壓共通管路，而達到節能之效果。機械式過冷卻所需額外增加之壓縮機耗電必須納入總節能計算之減項，但是儘管如此，因為中間段壓縮功率低於低壓段之壓縮功率，良好設計與經過妥當之試車調整的機械式過冷卻還是具有其節能成效。不過，其總體投資之經濟效益還須依個案詳細評估後，才有明確之結果判斷。

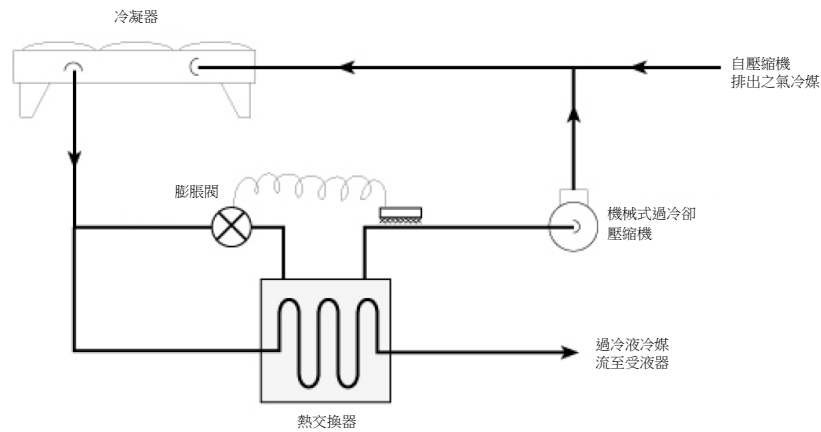


圖 3.3 機械式過冷卻

設置壓縮機回氣側之液氣冷媒熱交換器(LSHX)

本項節能技術如圖 3.4 所示，設置壓縮機回氣側之液氣冷媒熱交換器，使蒸發器出口冷媒在進入壓縮機回氣口前先與冷凝出口的液冷媒進行熱交換，如此可讓液冷媒進一步過冷，且使回氣冷媒過熱度增加，且因回氣冷媒管與周圍環境溫差變小，而降低回氣冷媒在管路上之無效熱得。因為回氣冷媒之熱焓值變高，因此壓縮機之負載也會增加。本項技術之節能潛力依冷媒類型和運轉壓力條件不同而異，也有可能因為熱交換器之額外壓損而抵消所獲得之節能成效，因此應用前必須先進行審慎評估，低溫回氣側之液氣冷媒熱交換器投資回收年限約在 3 年。

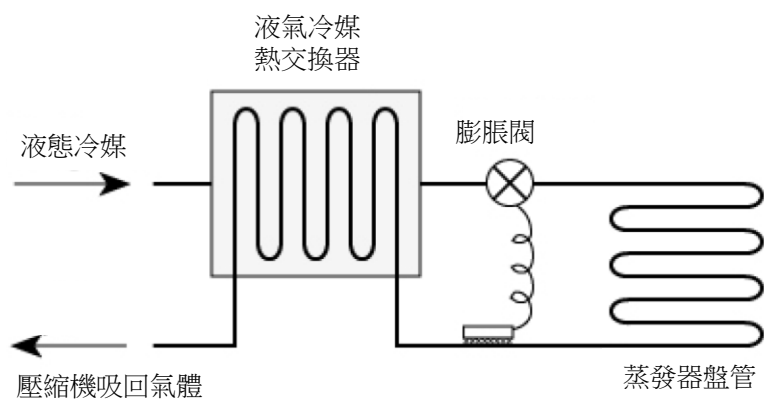


圖 3.4 壓縮機回氣側之液氣冷媒熱交換器之節能技術

壓縮機回氣側之液氣冷媒熱交換器之節能技術

採用高性能之保溫材料或增加保溫厚度，可降低冷凍冷藏庫之熱量，節省耗電。但對於開放展示櫃而言，因其主要之熱得是來自於引入周圍濕熱氣流以及周圍環境輻射熱，因此增加隔熱保溫性能對其節能成效較小一些。

壓縮機回氣側之分流

開放式展示櫃儲存和銷售的類型很廣。不同的產品溫度導致所需的蒸發溫度範圍很廣。因此可將具有相似蒸發壓力的蒸發器分組並分配專用壓縮機來提高壓縮機效率，例如當所有壓縮機在一個低到足以滿足所有中低溫蒸發器的單一吸入壓力下並行運行。更高效的系統將為低溫蒸發器和中溫蒸發器配備獨立的壓縮機組。理論上，透過額外增加的回氣管可減少壓縮機的升頻，系統的效率也就會提高。然而在實際過程中增加過多的回氣管可能較不切實際，所以建議在飽和吸入溫度 (SST) 比最高飽和蒸發器溫度 (SET) 約低 2.8°C 以上時再額外增加回氣管。低溫系統實際應用上則通常會有兩個回氣管，中溫系統約有三個回氣管。基於系統的狀態，在不同的溫度中還是需要有足夠的負載使分流合理，系統設計人員應合理判斷對於分流的好處及其必要性。

壓縮機啟停模式分析

本手冊對於開放式展示櫃壓縮機啟停模式進行分析，研究場域包含兩個六呎開放櫃及兩個三呎開放櫃，共四處蒸發器，而室外機為共用一個冷凝器，散熱方式為氣冷式，其基礎控制方式為溫度控制，當庫溫達到其設定溫度後，會關閉該迴路之二通閥，使得低溫冷媒不會進入該蒸發盤管，不讓已到達指定溫度之開放櫃繼續降溫，而當大部分的開放櫃都已到達需求，大多數的二通閥皆會在關閉狀態，使得蒸發器低壓降低及壓縮機停機。

當製冷需求出現後，壓縮機重新啟動。本手冊研究之整體開放式展示櫃之系統架構圖如圖 3.5 所示。

本次使用之冷凍機組為渦卷式變頻壓縮機的機型，工作冷媒使用 R404A，主要供應給四台開放櫃冷藏之需求，其相關規格如表 3.2 所示。

表 3.2 壓縮機標準規格表

電源	—	AC·3Φ 220V 60Hz
運轉頻率範圍	Hz	20 ~ 70
壓縮機機型	—	渦卷式壓縮機
運轉電流	A	16.3
消耗電力	kW	5.0
冷媒	—	R404A

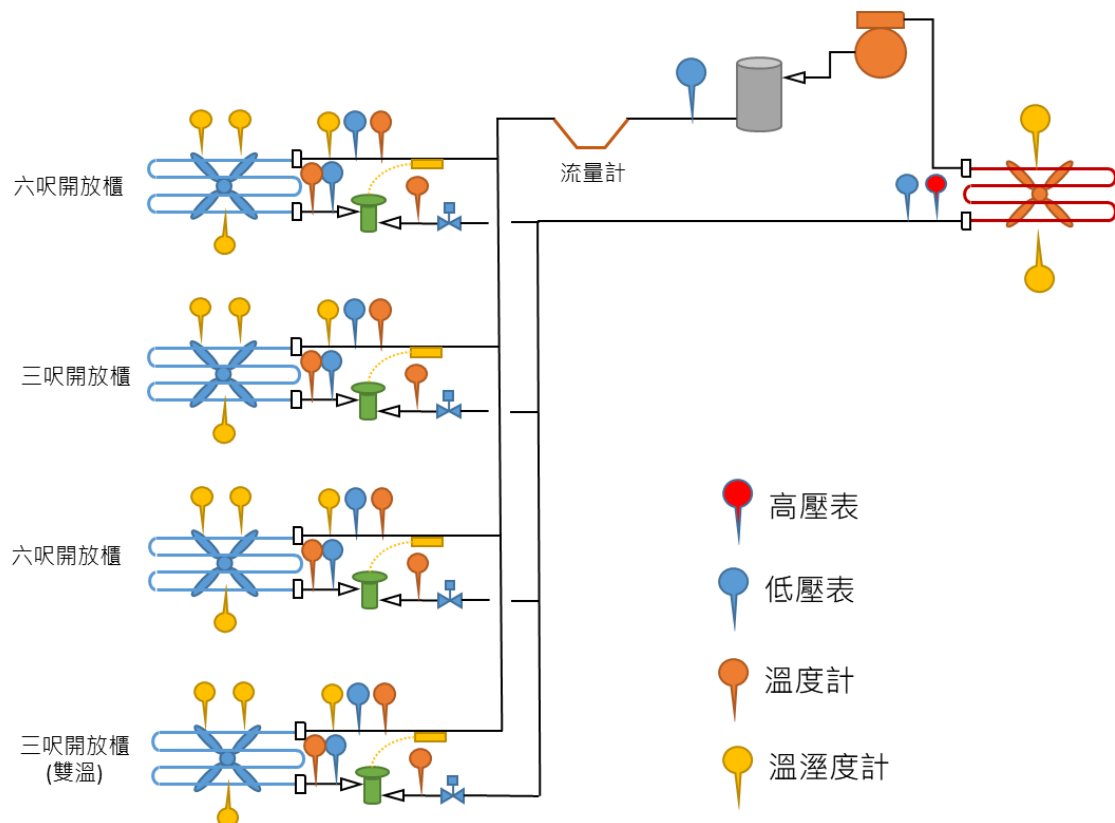


圖 3.5 開放式展示櫃系統圖

圖 3.6 為 2021/07/12 00:00—06:00 實驗研究結果之數據，本案屬高溫冷藏櫃，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 21.15Wh，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。

圖 3.7 為 2021/07/06 00:00—06:00 之數據，控制由自動控制程式依據庫溫及戶外溫度變化，設定及修正壓縮機 PID 控制參數，室外溫度為 31.3°C ，平均高壓 16.23 bar，耗電量為 16.75kWh，平均庫溫為 3.9°C ，庫溫平均差為 0.61°C ，整體將庫內溫度控制在 4°C 以下，除壓縮機停機導致之庫溫回升，其餘皆能穩定控制庫溫，並且達到最佳 20% 之節能效果，優化控制之平均庫溫比既有模式低 0.9°C ，且庫溫更穩定。

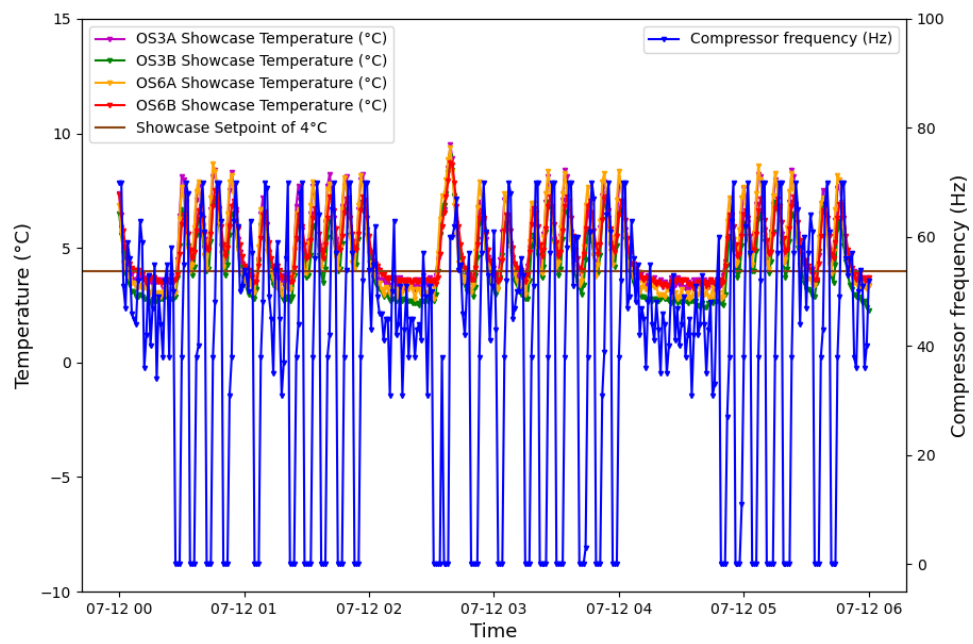


圖 3.6 開放式展示櫃系統溫度變化圖(2021/7/12)

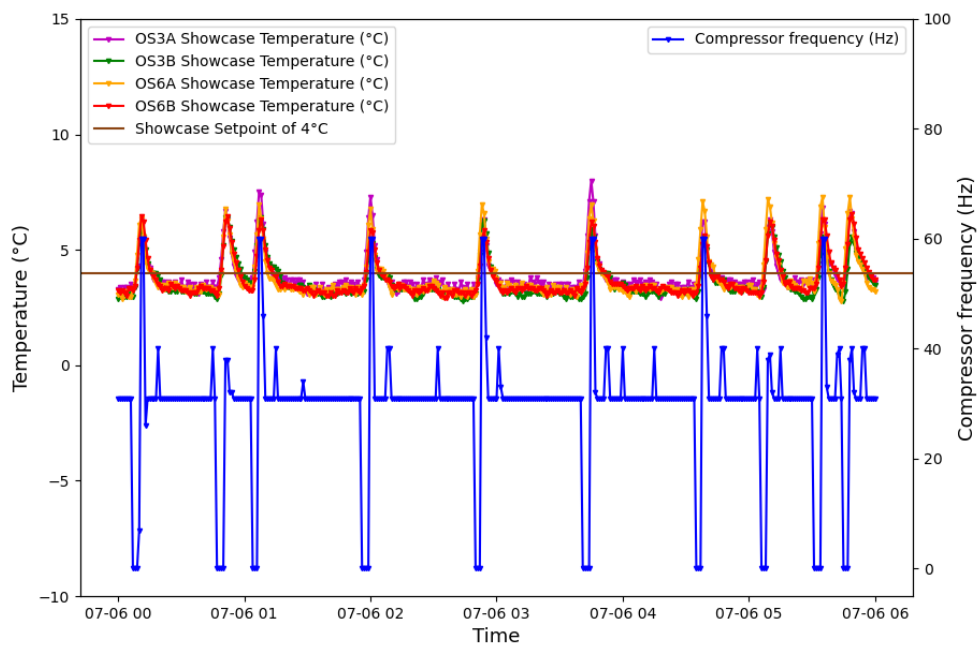


圖 3.7 開放式展示櫃系統溫度變化圖(2021/7/6)

表 3.3 既有模式與自動控制模式比較表

實驗結果	既有模式	優化控制
平均室外溫度 (°C)	31.2	31.3
平均室內溫度 (°C)	25.3	25.5
平均耗電量 (kWh)	21.15	16.75
平均庫溫 (°C)	4.8	3.9
庫溫平均差 (°C)	1.3	0.6
節能率	20.80%	

壓縮機組分級與變量控制

可變容積式壓縮機可以線性改變容量。理想情況下，使用可變容積式壓縮機應使同一尺寸回氣管上的所有其他壓縮機只能在同一模式下運行。

如果可變容積式壓縮機過小或過大而無法在回氣管的負載條件下完全達到線性變化，則應利用其他不可變容積式壓縮機提供額外的卸載，使容積步進運行小於 100%。如果此種方式的卸載仍不允許線性變容量，則需提供具線性變容量能力的第二台壓縮機，調整回氣管上壓縮機的數量或尺寸。

分流組間的負載轉移是另一種容量控制方法，此方法可以幫助壓縮機分級。然而，為了改善壓縮機分級，當每個回氣管可線性變容量時，負載轉移是不必要的。儘管當今製冷系統的設計通常為多個不同壓縮機並行負載，但還有更高效的其他選項，由於線性變容量可應用於一台大型壓縮機，這樣可將壓縮機的數量減少，為大多數循環泵系統設計中應用的概念。其中往復式壓縮機以在低速運行時保持效率而著稱，進而延長了壓縮機的使用壽命。

使用變頻冷凝器風扇

開放式展示櫃的冷凝器風扇也可透過不同控制手段達到節能。冷凝器風扇建議將以變速控制替代以往的定時循環開啟模式，並且保持穩定的冷凝溫度，即是有效的節能手法。當只有一個風扇循環做動或關閉時，系統管路壓力會大幅波動，使膨脹閥、溫度和整體系統較不穩定。所以變頻控制仍需考慮基本的穩定性。根據冷凝器的類型、製造商的偏好和控制系統功能，有多種設計選項，包括：

- 風扇可控制到低轉速（例如 10%–15%），在達到低轉速後，使用單個變頻驅動器（VFD）對所有風扇進行風扇循環
- 如果風扇非週期關閉，在可以使用風扇後能儘快重新開啟並匹配所需的速度以避免壓力不連續和波動。
- 低轉速運行甚至完全關閉風扇時，仍需止回閥來保持壓力

四、開放式展示櫃系統側節能技術

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，如圖 4.1 所示之冷凍冷藏櫃（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：

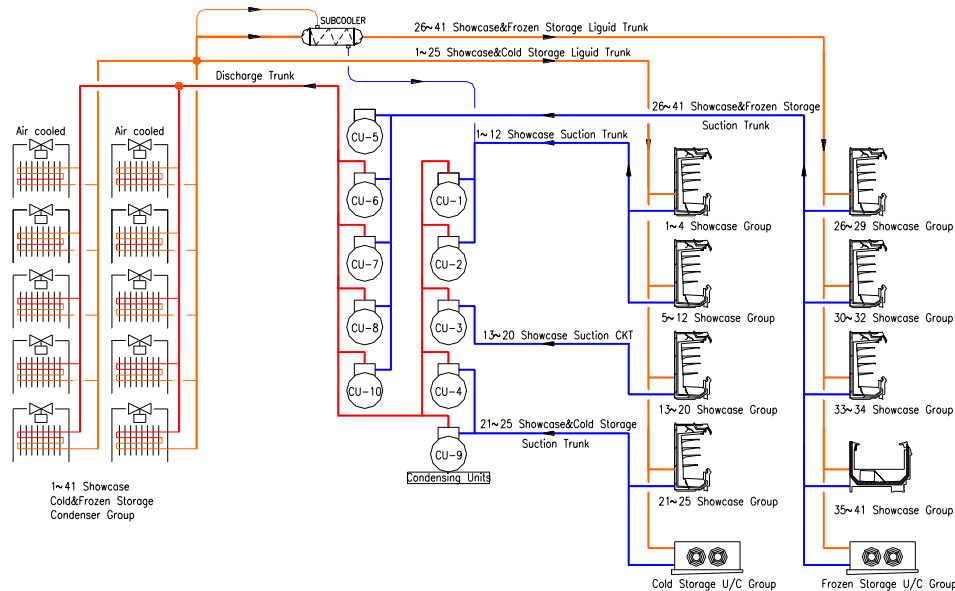


圖 4.1 商業冷凍冷藏系統流程圖

熱氣除霜

冷凍冷藏庫之低溫蒸發器的冷卻管排會將空氣中之水分子凝結出來並且附著在冷卻管排上，若管排表面溫度低於 0°C ，則凝結水會進一步在管排上結霜或結冰，造成冷卻管排之熱傳效率降低，並且阻礙氣流流通。且隨著霜厚度的增加，空氣流道變窄風量變少，因熱傳率降低蒸發器負荷降低，故冷凍能力、吸氣壓力會下降，結霜情形將更嚴重，如此惡性循環，嚴重時將造成風扇卡死、損壞，無法保持食品溫度並且使冷凍系統效能降低。

開放型展示櫃蒸發器結霜來源的水蒸汽，可能來自因洩漏氣流引入之潛熱負荷，或冷凍冷藏食品等，結霜的程度會因運轉參數而不同，主要可分為：循環氣流參數（溫度、濕度、流速、壓力等）、蒸發器盤管之冷卻

參數（溫度、形狀、尺寸、粗糙度、濕潤度）以及除霜之時間參數等。為了解決蒸發器冷卻管排之結霜或結冰所造成之冷卻效率降低的問題，通常會採用以下方式進行除霜之處理：停機除霜法(或稱為自然除霜法)、電熱除霜法、熱氣除霜法、灑水除霜法及不凍液除霜法，其各有不同之適用條件、場合與優缺點。在商用展示櫃系統而言以停機、電熱及熱氣除霜法較適用，其中又以停機及電熱除霜法佔大多數。電熱除霜法應用在較低溫、結霜狀況較明顯之冷凍冷藏櫃，蒸發溫度較高之冷凍冷藏櫃常採用停機除霜法。

除霜控制的精神在於當需除霜時才啟動除霜設備，傳統的定時啟動定時停止的控制，除霜時間的設定必須克服最大結霜量的時間，如此，不需長時間除霜的季節如冬季等，則視同一種多餘的耗能。為了解決蒸發器冷卻管排之結霜或結冰所造成之冷卻效率降低的問題，以及降低電熱除霜之耗電，建議採用熱氣除霜法。

熱氣除霜法係將壓縮機吐出之高溫氣態冷媒導入蒸發器，加熱管排將蒸發器表面的霜融化掉。相對於電熱除霜而言，因熱氣除霜法係利用系統原來就要在冷凝器散熱之高溫冷媒來提供除霜熱量來源，因此不需額外之耗電，大大節省運轉電費，投資回收年限約為 1.5~3 年。

防汗電熱控制

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處露點溫度而定，如同除霜控制一般，存在需量問題，適當的控制即可節省不必要的耗能。展示櫃防汗電熱設備佔整體展示櫃設備容量之 13%，產生之顯熱負荷由展示櫃吸收 60%約佔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。

防汗電熱控制之方法係由展示櫃周圍之露點溫度感測器來決定防汗電

熱啟動之時機，當展示櫃周圍之露點溫度高於展示櫃之表面溫度時，即需啟動防汗電熱，以避免展示櫃邊框或櫃體結露；相反地，當展示櫃周圍之露點溫度低於展示櫃之表面溫度時，即需關閉防汗電熱，以節省耗電，投資回收年限約為 1~3 年。

蒸發器風扇採用 ECM 馬達

ECM 馬達 (Electronically Commutated Motor) 為高效率之直流無刷馬達，普遍應用在具需轉速控制之電子產品，其效率遠比一般小馬力的傳統馬達還高，特別是在低轉速運轉時，因此蒸發器之小馬力風扇採用 ECM 馬達，並且搭配變頻控制將可獲得很好之節能效果，其投資回收年限約在 1~3 年。

除霜控制

傳統之除霜控制皆為定時啟動以及定時關閉，除霜時間的設定必須克服最大結霜量的時間，如此，不需長時間除霜的季節如冬季等，則視同一種多餘的耗能。因此，建議應採用需量控制方法，藉由蒸發器氣流速度降低或結霜厚度之偵測以判斷需啟動除霜時間，並且根據盤管溫度上升之偵測以控制除霜完成時間點，如此將可獲得節能之成效以及避免除霜過度或不足所造成之能源浪費或產品品質降低，其投資回收年限約在 3 年。

高效率照明

在很多冷凍冷藏展示櫃總用電當中，燈光照明也佔相當高之比重，例如開放式展示櫃及密閉型手取式冷藏櫃 (Reach-In Refrigerator)。建議採用高效率之燈管及電子式安定器，以降低照明用電及對冷凍庫所產生之熱負荷。

賣場濕度控制

冷凍設備之耗能與蒸發器之結霜有關係，尤其是開放式或常開關之冷藏設備，結霜會影響設備之效率。如室內濕度較高會使冷凍櫃之蒸發器結霜情況較嚴重，隨之增加冷凍系統之耗能。圖 4.2 為美國 ASHRAE 手冊中之比較圖[22]，兩條曲線代表不同溫度之冷凍系統，在不同絕對濕度 (absolute humidity) 下之電力負載比(percent load)，當濕度降低時耗電之差異可達 30%。再者不同溫濕度會有不同之冷凍負荷，ASHRAE 也提供了開放式冷藏設備之設計參考，如圖 4.3。高溫高濕之環境會造成較大之負荷，如 27°C 及 60% 相對濕度下，冷凍系統負荷會比原設計值(27°C 及 50% 相對濕度)高出 10% 左右，故其之使用應限於 60% 以下之相對濕度及約 29°C 以下之溫度。

透過除濕保持賣場內較低之相對濕度可降低冷凍冷藏展示櫃之耗能，但可能造成賣場出風溫度過低的狀況，對此以外氣獨立系統(DOAS)之概念，控制外氣濕度並搭配冷凍冷藏系統之熱回收，利用開放式展示櫃冷凝器廢熱對賣場出風進行再熱。一般而言濕度節能控制之方法可分為外氣預冷熱回收再熱法、化學除濕法及熱管外氣預冷及再熱法，其系統設計分別如圖 4.4-4.6 所示。傳統上臺灣之超級市場設計，均未考慮賣場環境濕度控制，就臺灣之熱濕氣候而言，經本研究分析，在賣場溫度 25°C 的控制條件下，以固體吸附除濕及利用冷凍系統熱回收再生固體吸附輪之方法，最佳相對濕度控制點為 60% 時，其建築節能達 19.22%。

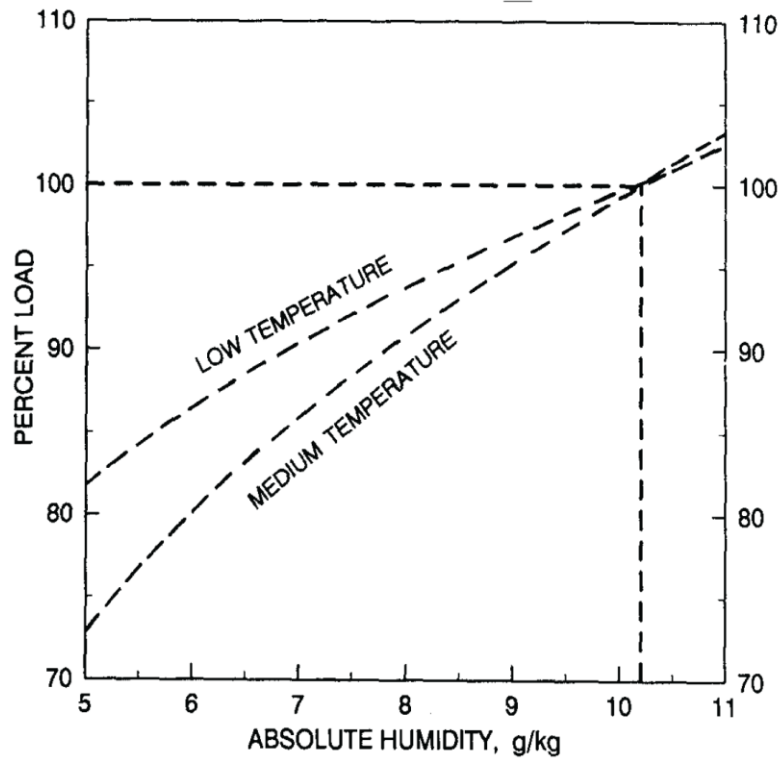


圖 4.2 冷凍系統耗能與濕度之變化

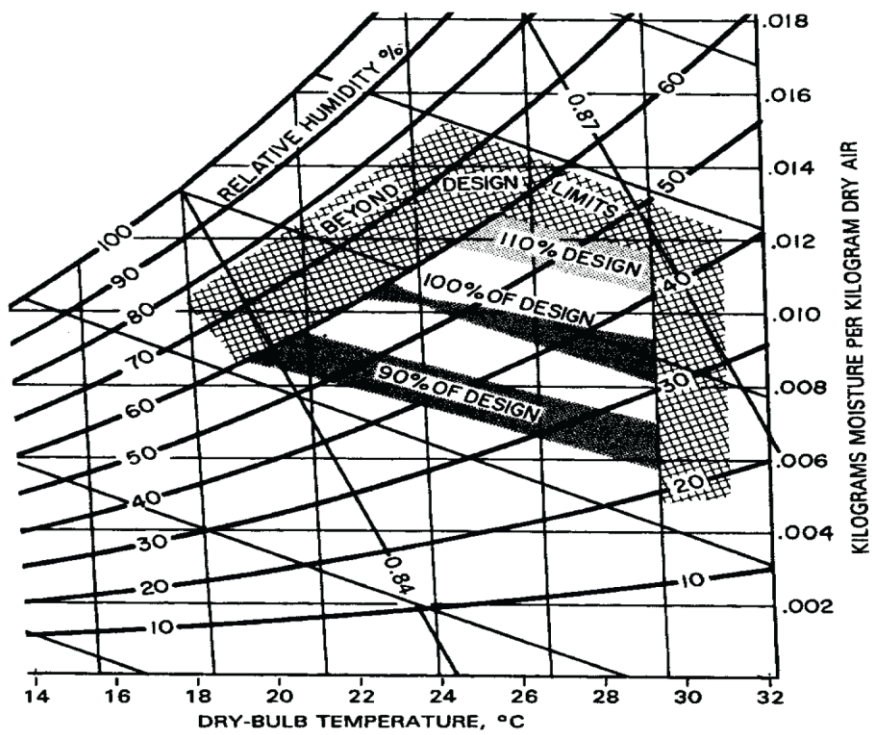


圖 4.3 開放式冷藏設備之負荷隨溫濕度之變化

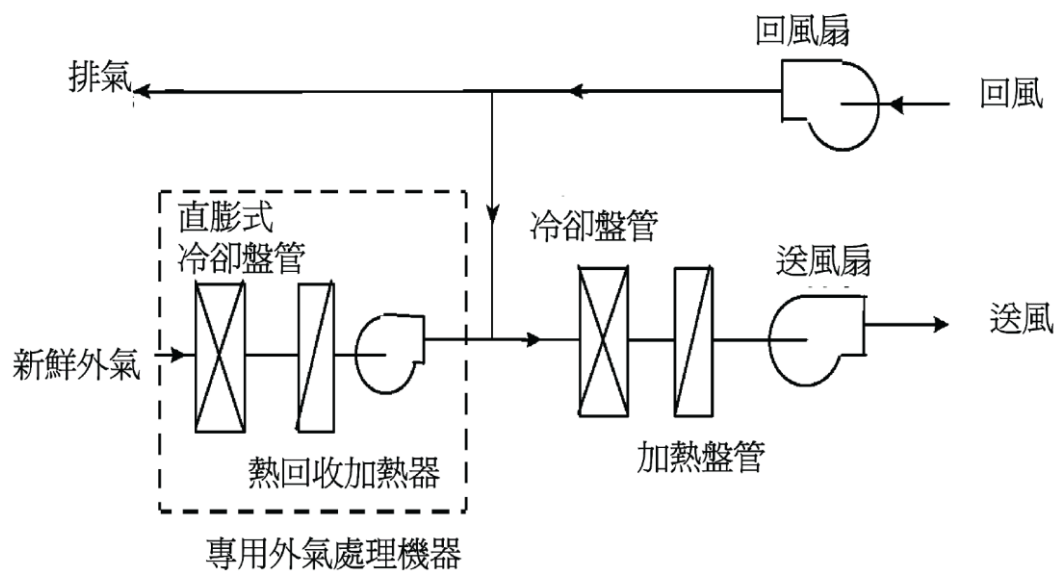
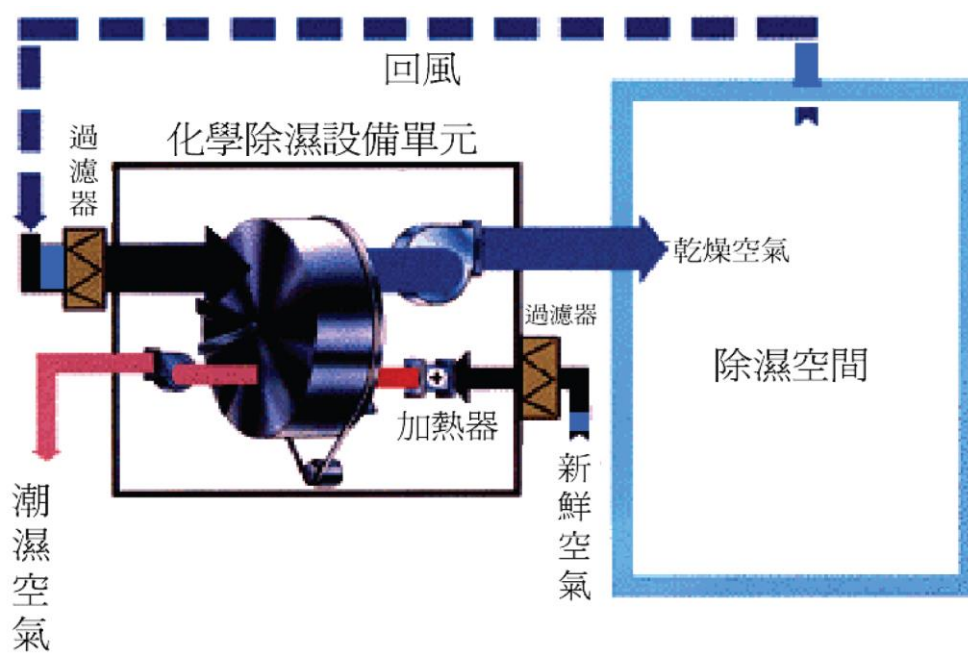


圖 4.4 外氣預冷熱回收再熱法控制相對濕度



資料來源: www.munters.com

圖 4.5 化學除濕法控制相對濕度

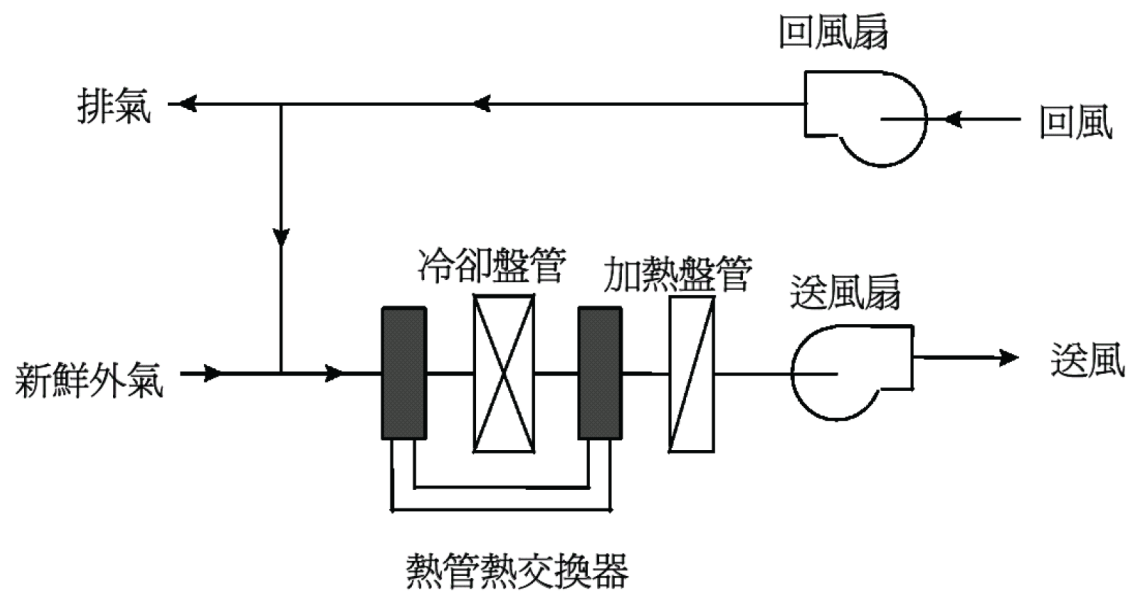


圖 4.6 熱管及熱回收再熱法控制相對濕度

五、開放式展示櫃氣簾節能設計

根據文獻(Mazyar et al., 2015[24])出風口內部設計對滲透率也具有一定的影響，其出風口幾何形狀更改為 20° 傾斜表面，結果顯示因出風口上方冠層中的傾斜表面角度而發生變化，結果表明湍流強度降低了大約 30%。若將角度增加為 57° 的傾斜表面，並再加寬其出風通道，如圖 5.1 所示，這種幾何形狀在出口處的相應速度與之前情況相比有所改進。事實上在所有湍流水平下 20° 傾斜噴嘴會增加氣簾夾帶率， 57° 傾斜噴嘴產生較少的夾帶率，為避免過多環境空氣夾帶入開放式展示櫃回風口， 57° 傾斜噴嘴為較佳選擇。

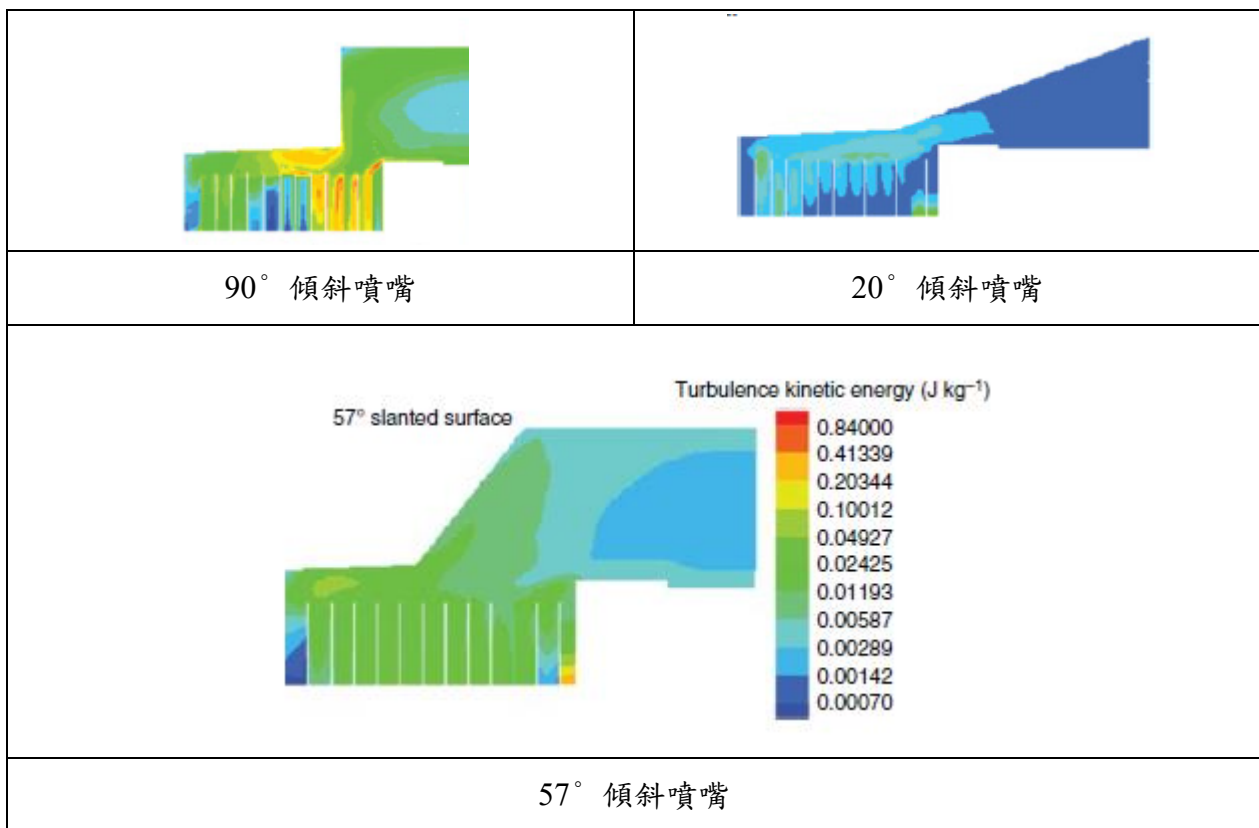


圖 5.1 不同開放櫃出風口內部角度之影響

Yun-GuangChen[25]研究開放式展示櫃不同幾何尺寸對於空氣簾的影響，由於空氣簾受強制對流和自然對流的影響。因此空氣簾須有足夠動量來維持氣簾兩側的壓差，如果初始動量不足克服壓差，空氣簾射流會受到破壞，導致開放式展示櫃隔絕效果不佳，櫃內溫度升高。

其中開放式展示櫃開口高度(H)與出風口寬度(b)的比值是影響氣簾性能的重要因素。在比較 H/b 比值為 10、15 和 20 的三種典型尺寸發現，如 5.3 所示，當 H/b 比為 20 時，無量綱溫度(Θ)在 y/H 比值為 0.1 時有明顯變化，表示開放式展示櫃的底部溫度無法透過空氣簾隔絕溫度，其餘 H/b 比櫃內外溫度有明顯區隔，因此寬度較厚的空氣簾表現出良好的保溫性能。

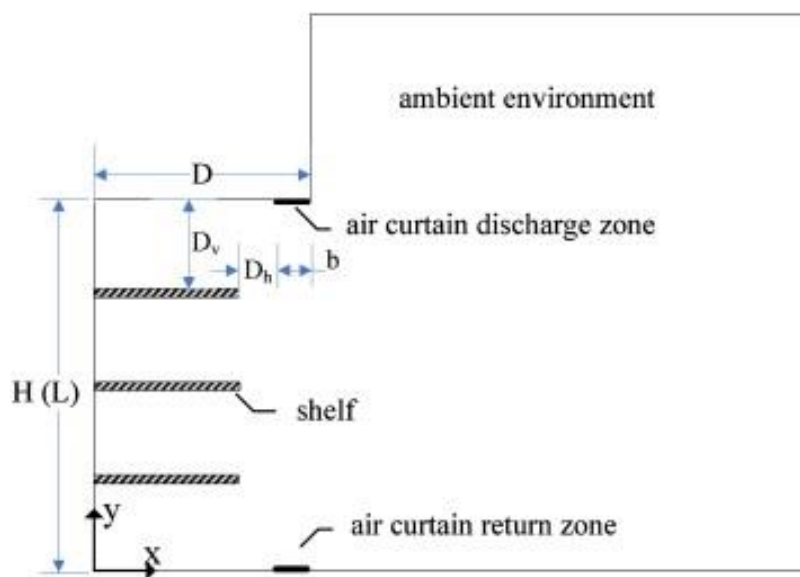
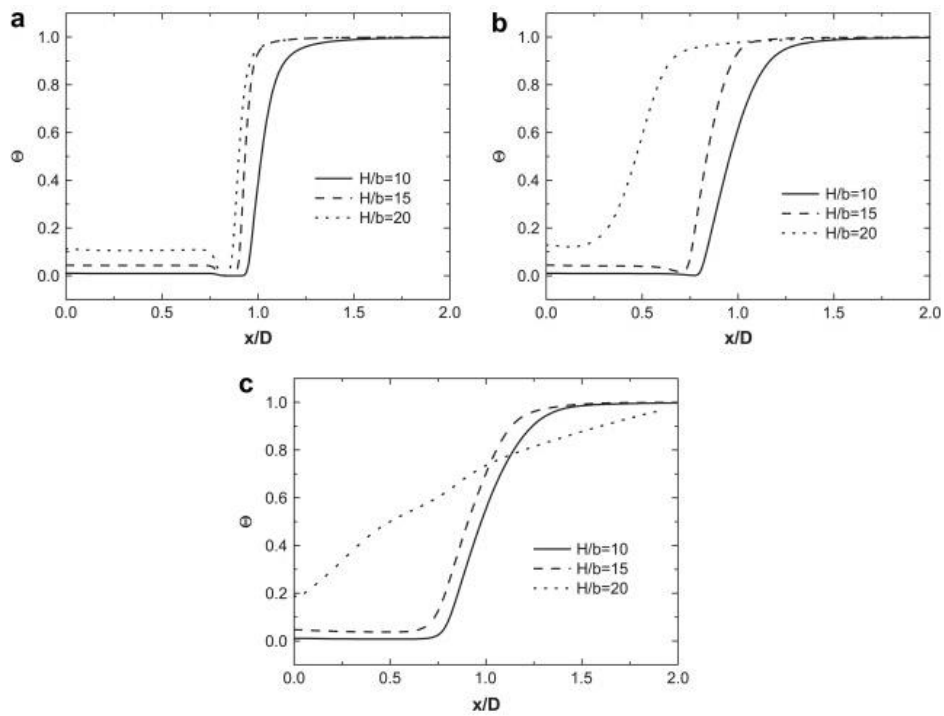


圖 5.2 各幾何尺寸之定義



(a) $y/H = 0.9$; (b) $y/H = 0.5$; (c) $y/H = 0.1$ 。

圖 5.3 不同 H/b 比下的溫度分佈

當 D_h (出風口與層架的水平距離) / b 比值發生變化時，如圖 5.4、圖 5.5 所示，不同 D_h/b 比值下溫度幾乎沒有變化，而無量綱顯熱負荷則有顯著差異。當 D_h/b 比值在 0.5 以下時，無量綱顯熱負荷較小。表示 D_h 對空氣簾的夾帶率影響很大，因此無量綱顯熱負荷變化大。因此開放式展示櫃機型幾何尺寸的挑選上，建議挑選 H/W 比值低於 15、 D_h/b 比值 0~0.5 之間的範圍內。

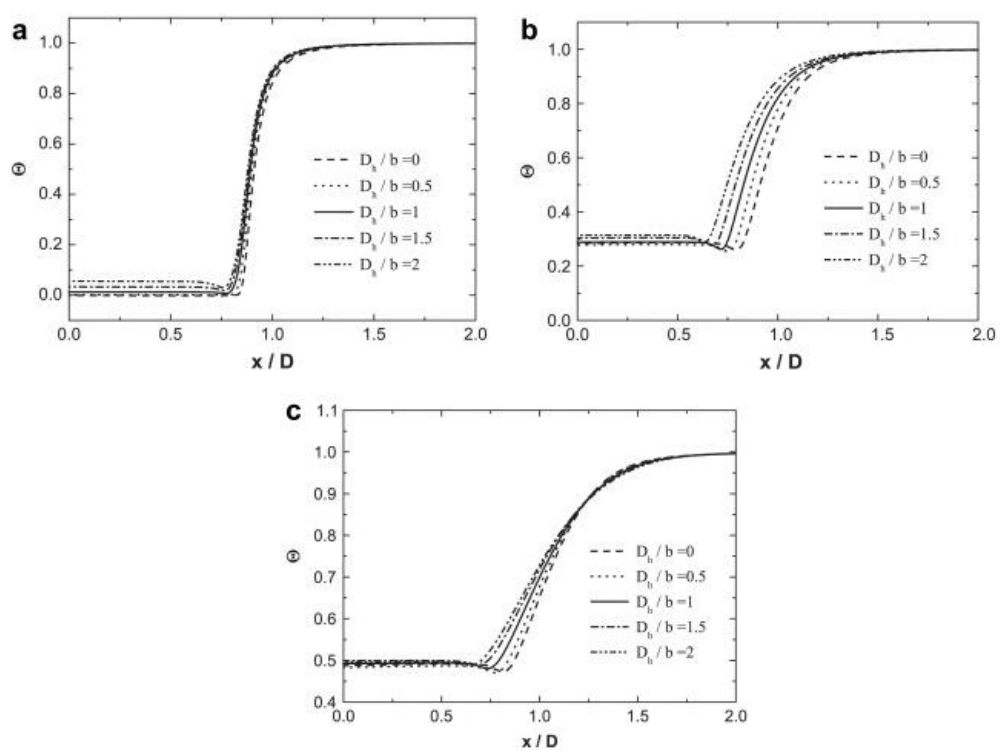


圖 5.4 不同 D_h/b 比下的溫度分佈

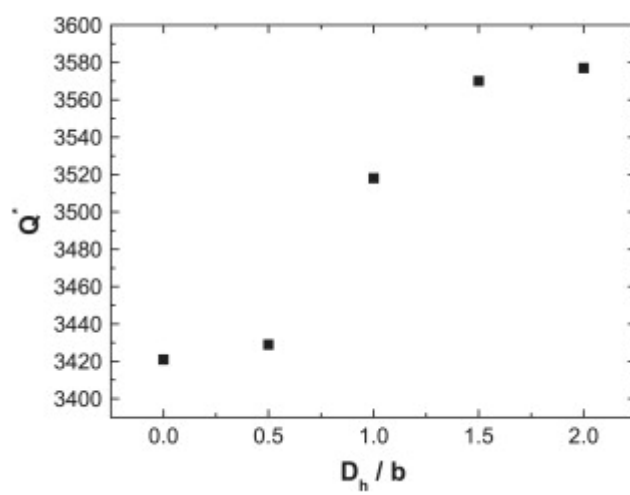


圖 5.5 不同 D_h/b 比下顯熱負荷

六、開放式展示櫃氣簾節能改善效益評估

由於展示櫃出風角度過大、出風風速過低，容易造成射流受到環境擠壓，氣簾之阻隔效能降低，嚴重更可能影響開放展示櫃內部商品保存條件。所以適當的展示櫃出風角度與風速有助於減少因空氣內外的混合所造的滲透熱負荷 ΔQ 增加。因此本手冊針對某些營業場所之開放式展示櫃之溫度場與速度場進行模擬解析，以探討最佳之出風角度與出風風速，以及其節能效益。

本手冊採用計算流體力學(Computational Fluid Dynamics, CFD)程式分析以進行數值計算，幾何建模、網格配置、求解溫度與氣流場等。空間幾何構型利用繪圖軟體建置該案場模型，組合成三維數位模型與欲解析之流體區域。數值計算方式則是利用有限控制體積(Finite Control Volume)法離散守恆方程式，進而取代統御方程式以產生代數方程式。

6.1 模擬分析結果

針對前文所提之訪視案場二的賣場空間及實際之訪視與量測資料，進行開放式展示櫃應用狀況進行氣流模擬分析。案場二為士林區某超級市場第一組販售生鮮肉品的 8 呎開放式展示櫃之模擬結果，如下圖 6.1 所示為各層高度之溫度場分佈，在忽略室內空調情況下，一樣可以看到越接近開放式展示櫃區域溫度越低且底層空間較上半部空間溫度低。各模擬之結果與驗證點位，模擬與量測數據驗證比對如表 6.1 所示，驗證之點位誤差百分比皆在 5% 以內，代表此模擬模型之結果是可靠的。

表 6.1 案場二 8 呎開放式展示櫃模擬與量測濕度數值驗證比對

名稱	位置	相對濕度%		誤差百分比
		量測	模擬	
8 呎開放式冰櫃	出風	82.29	82.66	-0.45%
	回風	79.14	80.10	1.21%
	穿孔背板出風	80.90	77.48	-4.23%
	櫃內空間	76.70	77.43	-0.95%
	環境空間	59.21	56.99	3.76%

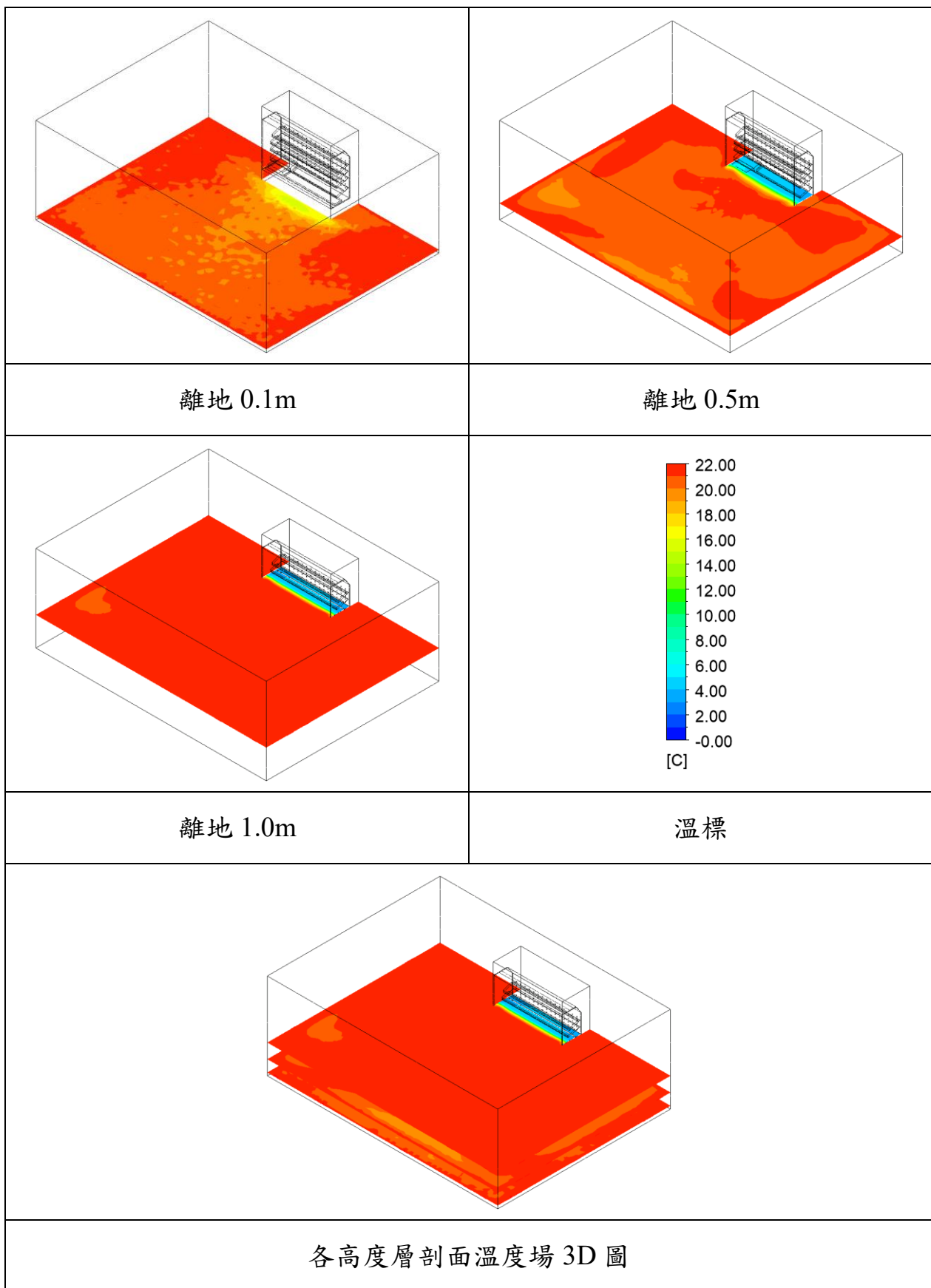


圖 6.1 案場二 8 呎開放式展示櫃各高度層之溫度場分佈

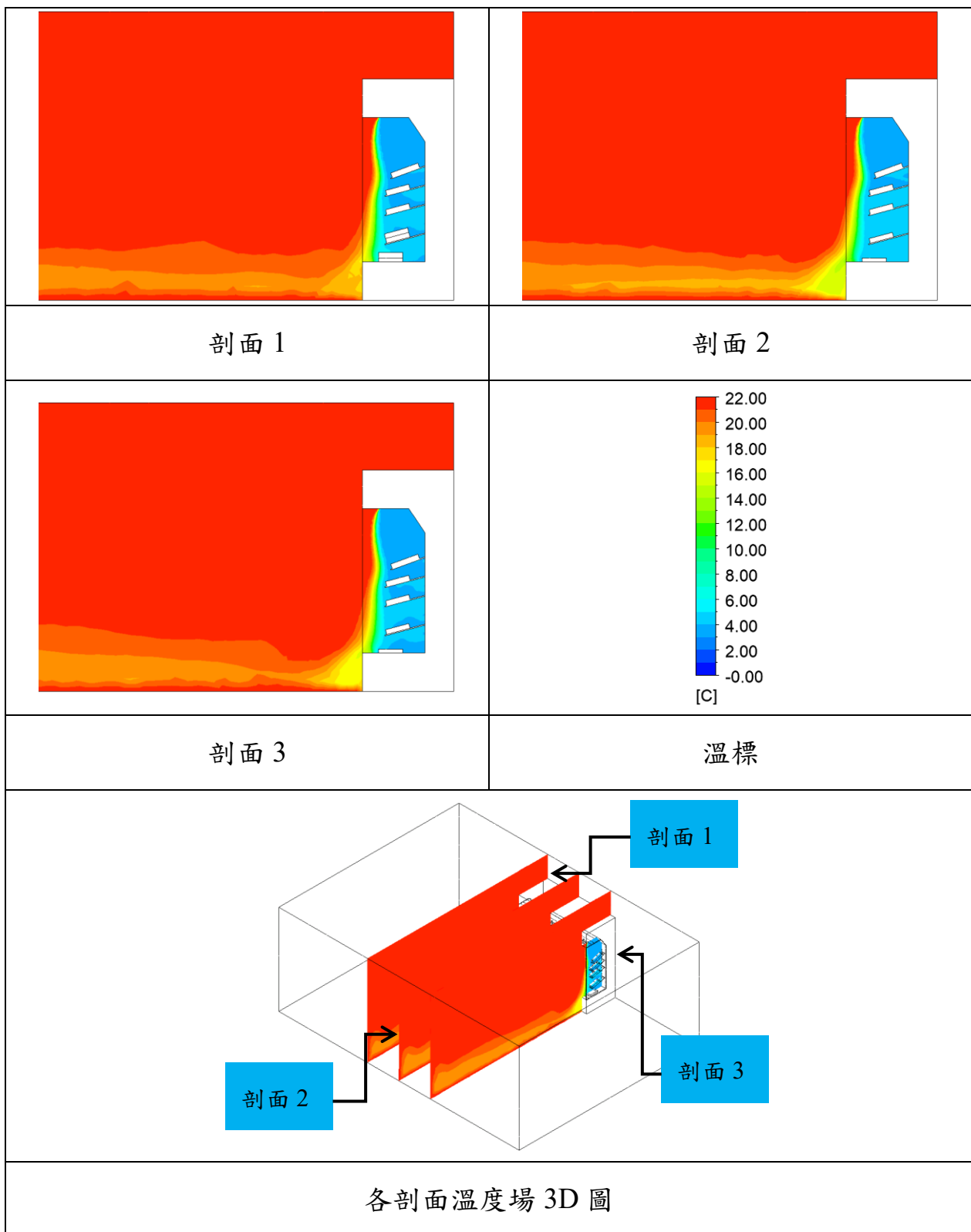


圖 6.2 案場二 8 呎開放式展示櫃之溫度場

圖 6.4 為各剖面之速度場分佈，由剖面可以發現展示櫃出風的射流有部分向外擴散流撞擊地面，其原因可能因此展示櫃型號較老舊，其出 β （出風拋射角度）角度不適當，造成展示櫃冷空氣洩漏，導致能耗浪費， β （出風拋射角度）角度示意圖如下圖 6.3 所示。

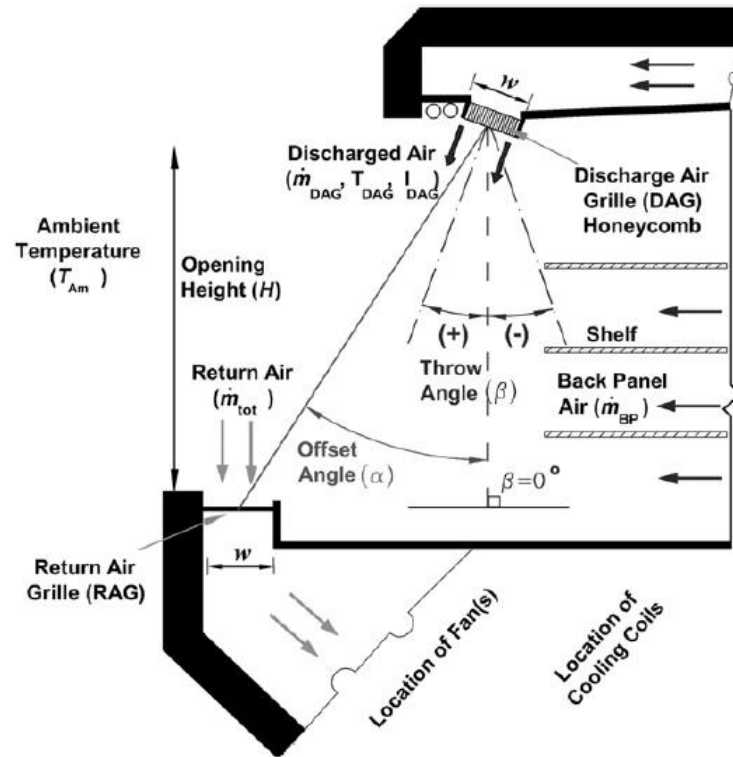


圖 6.3 開放式展示櫃幾何特徵示意圖[17]

圖 6.5 為各剖面之濕度場分佈，由剖面可看到商場環境濕度約為 60%。由於溫度越低，飽和水蒸汽壓隨之降低，因此開放式展示櫃周圍及底層空間，受到冷空氣洩漏影響導致濕度較高。

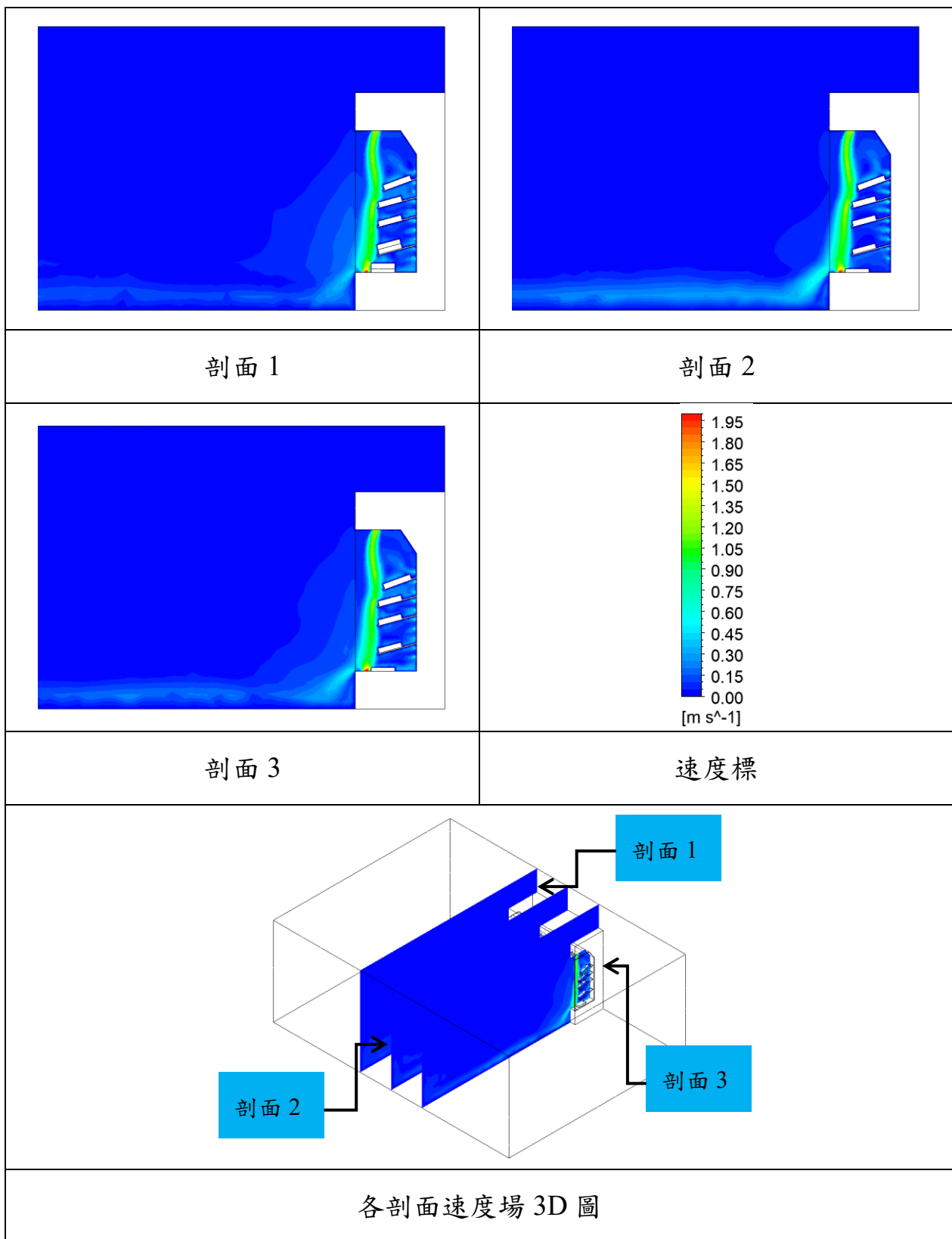


圖 6.4 案場二 8 呎開放式展示櫃之速度場

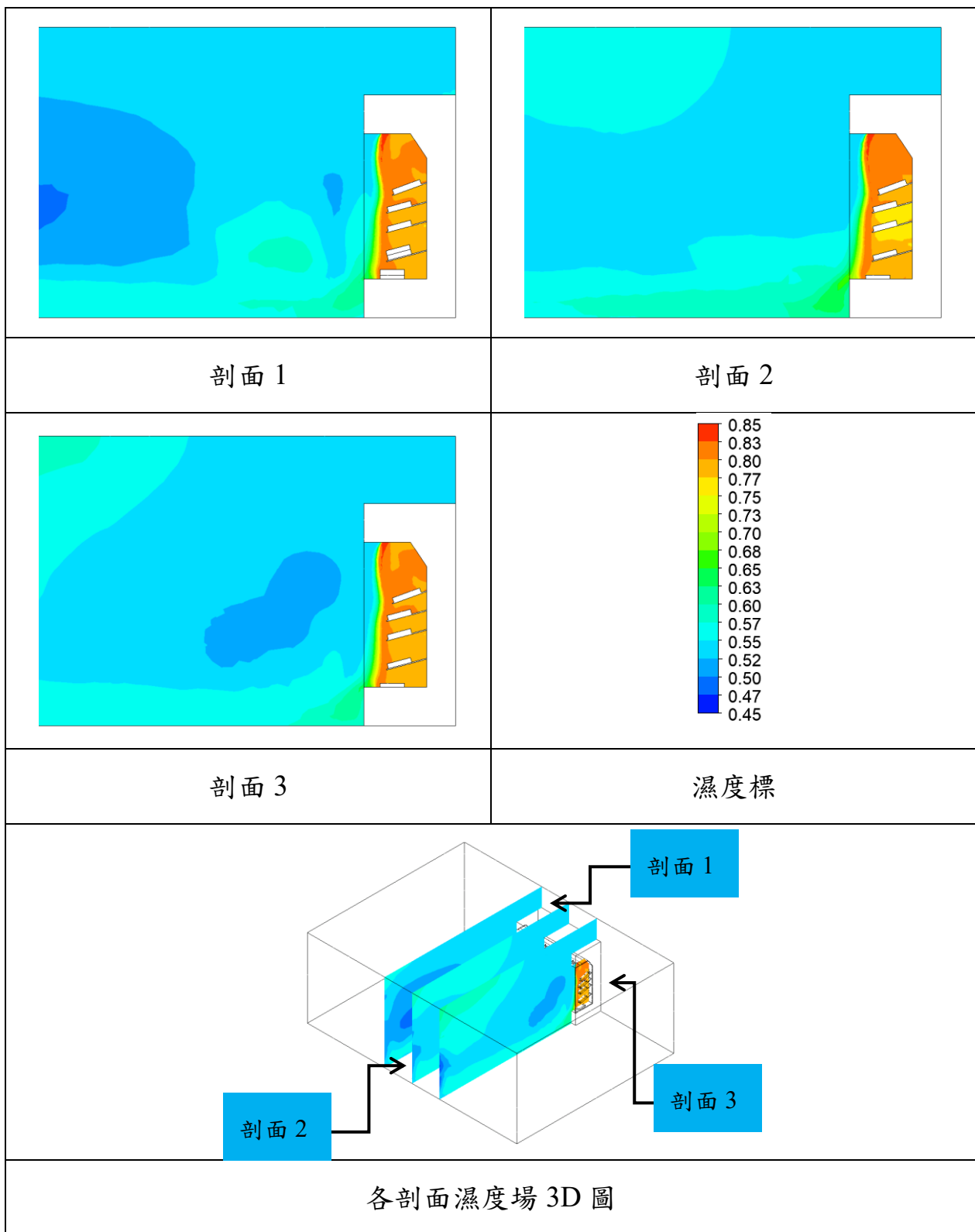


圖 6.5 案場二 8 呎開放式展示櫃之濕度場

圖 6.6 為回風流線圖與向量圖，可以看到有部分環境空氣被回風，若此比例過大，將會提升回風的溫度，使環境熱負荷帶入展示櫃，展示櫃為維持商品溫度，導致不必要的耗能。

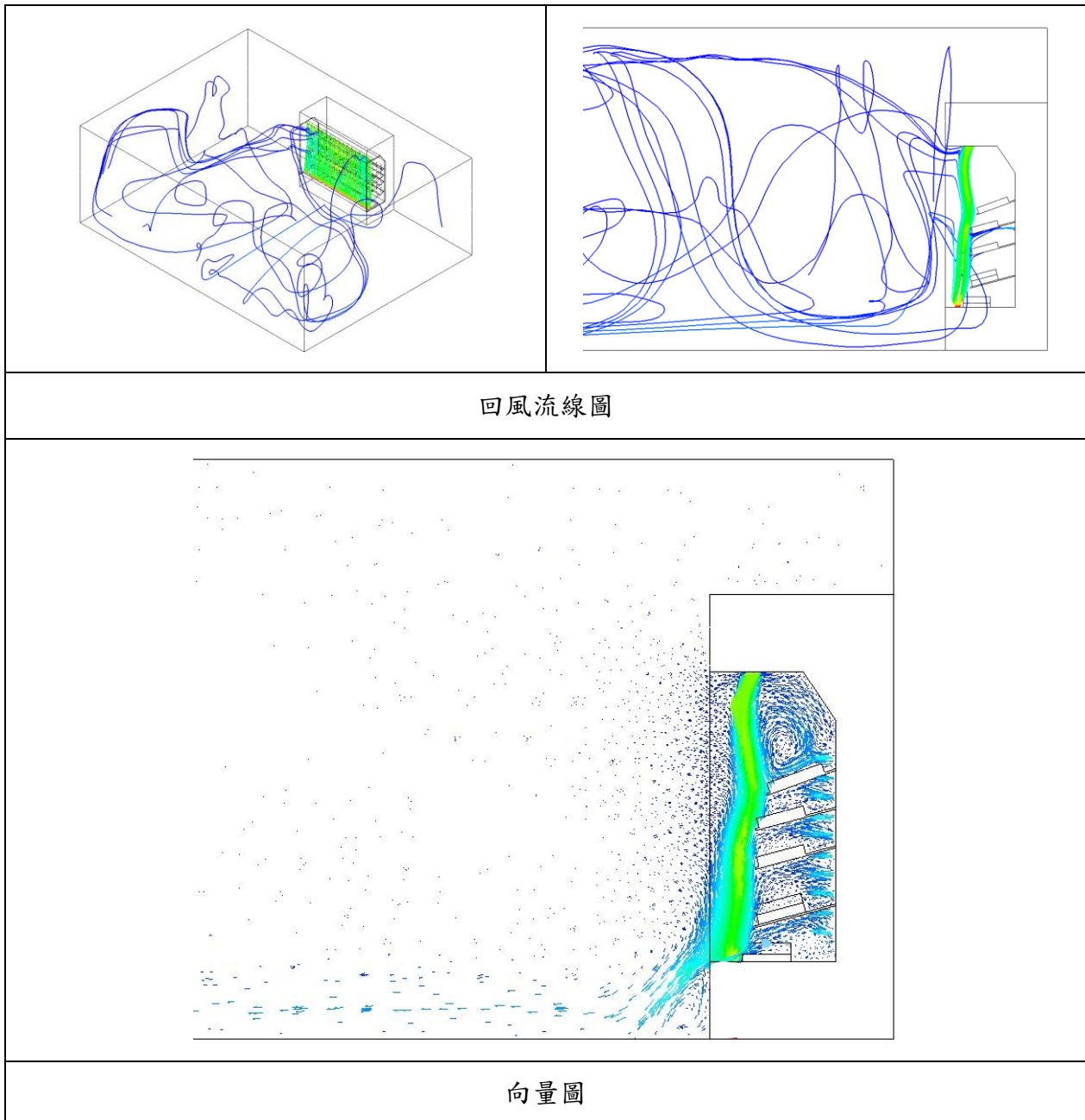


圖 6.6 案場二 8 呎開放式展示櫃流線圖與向量圖

6.2 出風風速對於開放式展示櫃之影響與分析

由於出風風速過大可能會導致冷能外洩，而過小則可能因而無法達到理想的封閉效果，因此過大或過小的出風風速皆非最佳設計。

從 8 呎開放式展示櫃的模擬結果可看出其空氣簾射流外洩較為明顯，因此針對案場二 8 呎開放式展示櫃為模型，整體出風(出風&背板出風) 質量流率與回風質量流率保持平衡下模擬不同出風風速，在無室外流場下空氣簾射流情況，觀察其最佳出風風速。

其數值比較如表 6.2 所示，利用焓值與質量流率的乘積計算出傳熱 Q ，並計算整體出風與回風的差值，得到滲透熱負荷 ΔQ ，當 ΔQ 越小時代表蒸發器熱負荷越小，屬於較節能之狀況

表 6.2 不同出風風速下環境溫度 ΔQ 比較

出風焓值 kJ/kg	出風風速 m/s	出風質量流率 kg/s	出風傳熱 Q kJ/s	背板出風焓值 kJ/kg	背板出風風速 m/s	背板出風質量流率 kg/s	背板出風傳熱 Q kJ/s
14.0509	1.0	0.2735	3.8432	14.2752	0.793	0.0862	1.2299
	0.7	0.1915	2.6902		0.555	0.0603	0.8609
	0.6	0.1641	2.3059		0.476	0.0517	0.7380
	0.5	0.1368	1.9216		0.397	0.0431	0.6150
	0.4	0.1094	1.5373		0.317	0.0345	0.4920
	0.3	0.0821	1.1530		0.238	0.0258	0.3690
	0.1	0.0274	0.3843		0.079	0.0086	0.1230

回風溫度 ℃	回風濕度 %	回風焓值 kJ/kg	回風風速 m/s	回風質量流率 kg/s	回風傳熱 Q kJ/s	ΔQ kJ/s
10.34	80.94	26.2973	2.428	0.3597	9.4585	5.62
10.72	78.78	26.6589	1.700	0.2518	6.7120	4.02
11.06	77.06	26.9990	1.457	0.2158	5.8265	3.52
11.44	75.49	27.4580	1.214	0.1798	4.9380	3.02
12.17	73.80	28.6209	0.971	0.1439	4.1177	2.58
13.58	71.52	31.1029	0.728	0.1079	3.3561	2.20
17.08	70.14	38.7073	0.243	0.0360	1.3922	1.01

雖依據前段敘述可看出當出風風速減小時 ΔQ 隨之減小，但如圖 6.8 及圖 6.9 中所示，空氣簾受到環境影響有被向內推擠之現象，且當出風風速低於 0.4 m/s 時開放櫃最外側商品因受到環境溫度影響，溫度有明顯升高的趨勢。

表 6.3 整體出風(出風&背板出風)質量流率與回風質量流率保持平衡下模擬不同出風風速，在無室外流場下空氣簾射流情況，觀察其最佳出風風速。

發現出風風速 0.4 m/s 時最底部兩層貨架溫度分別為 7.60°C、8.55°C，因為模擬數值高於 GHP 食品良好衛生規範肉品冷藏溫度建議的 0~7°C，恐有滋生細菌之疑慮，在無展示櫃周圍氣流干擾的狀況下建議出風風速應不低於 0.5 m/s，若因應不同展示櫃周圍氣流干擾的狀況，則可透過量測貨架溫度調整出風風速，以維持商品之建議溫度，找出最佳出風風速。

表 6.3 不同出風風速下各層貨架之最高溫度比較

層架位置	0.5m/s	0.4m/s
	°C	
第一層	6.61	6.47
第二層	5.02	6.24
第三層	4.86	5.78
第四層	6.16	7.60
第五層	6.93	8.55

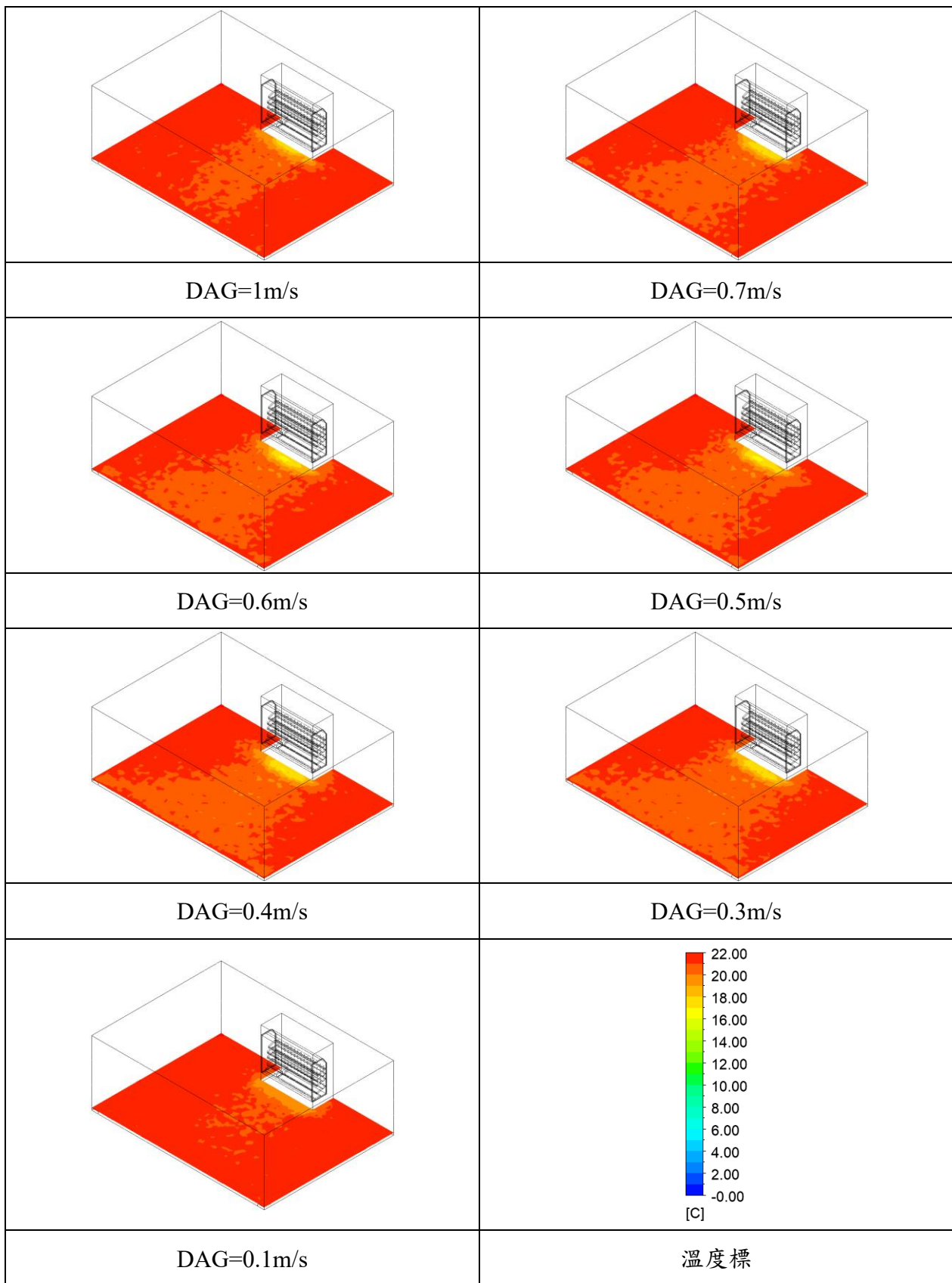


圖 6.7 不同出風風速下各高度層之溫度場分佈

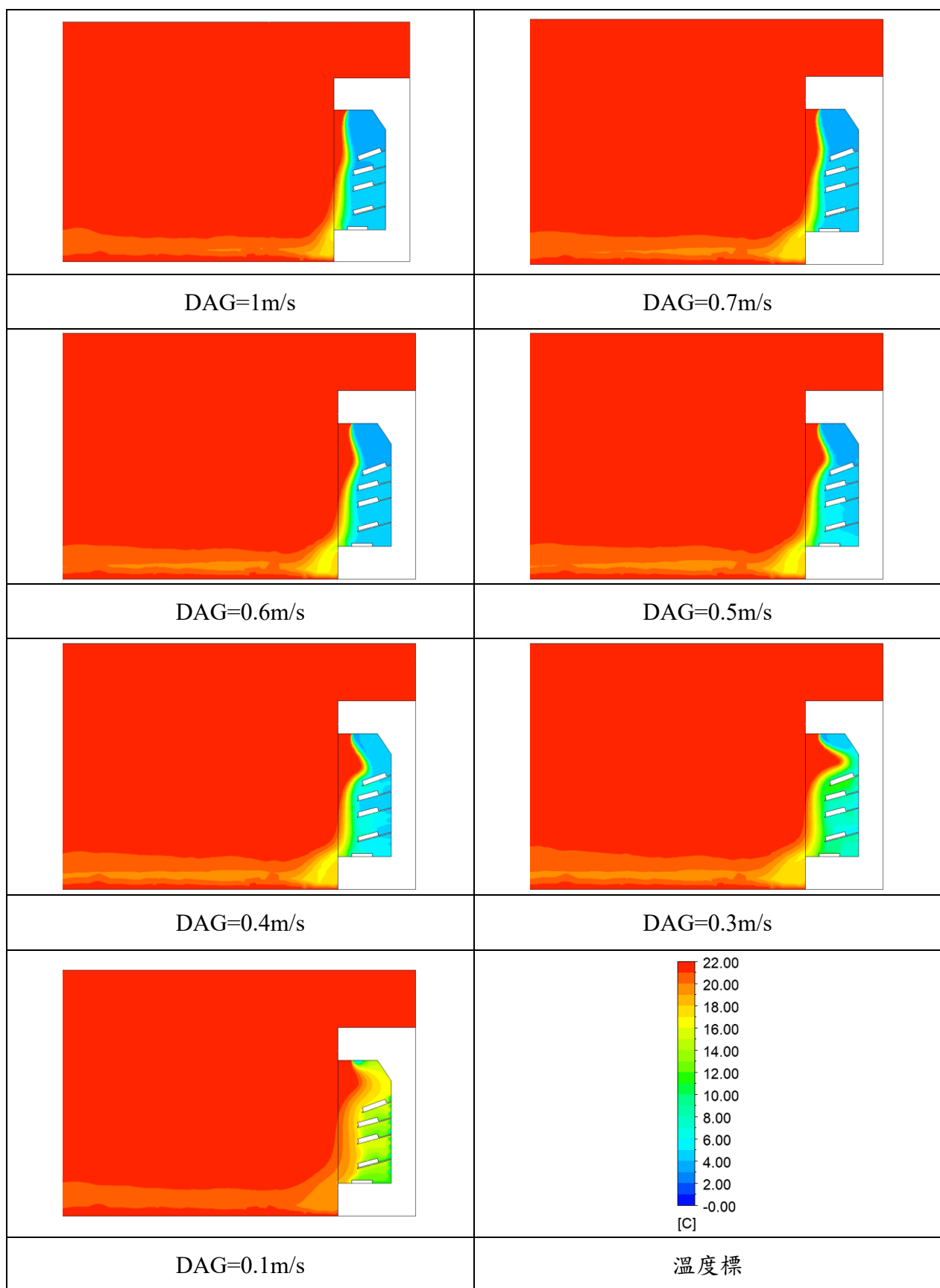


圖 6.8 不同出風風速下開放式展示櫃之溫度場

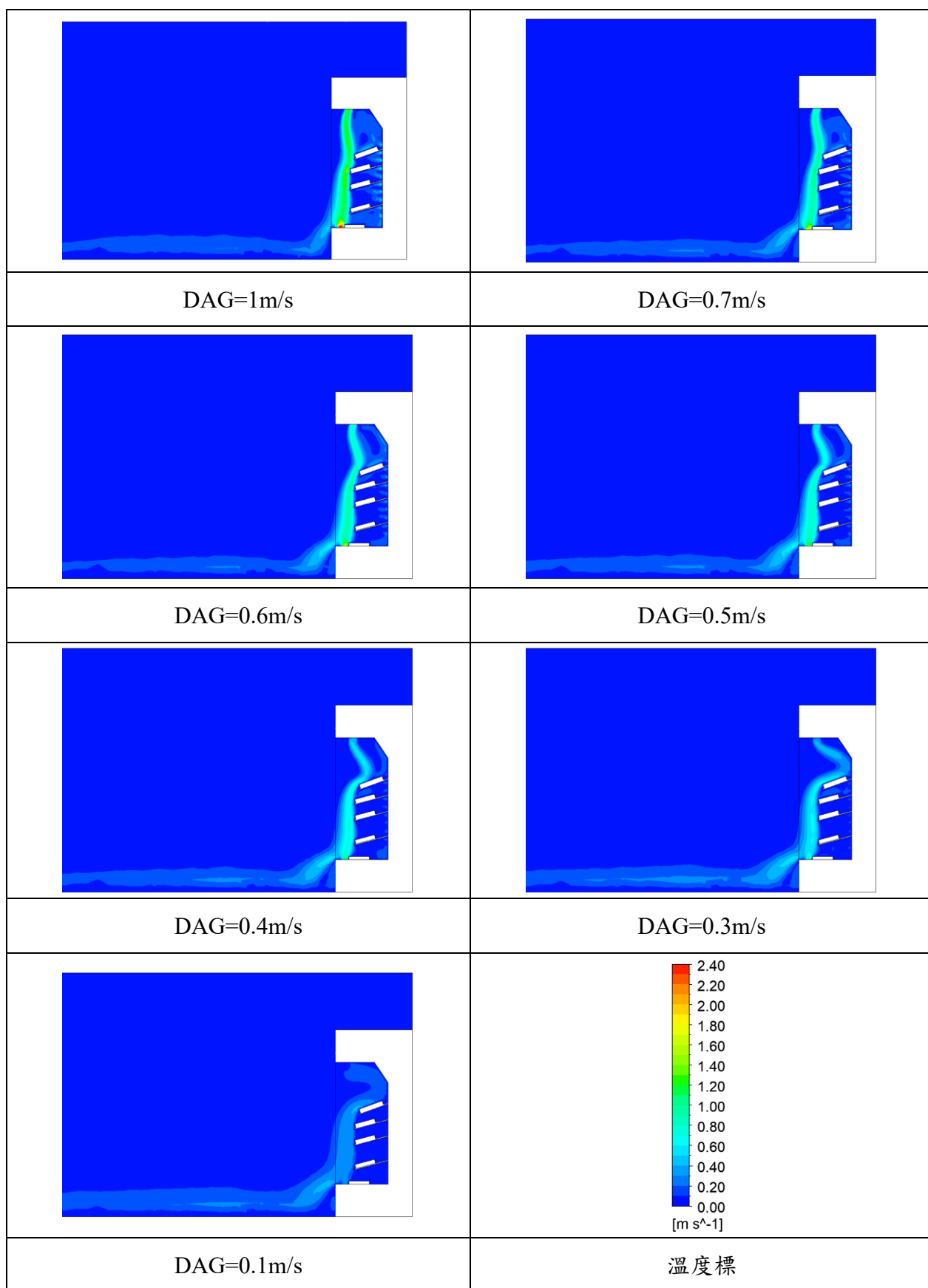


圖 6.9 不同出風風速下開放式展示櫃之速度場

6.3 出風拋射角度對於開放式展示櫃之影響與分析

由於出風拋射角度 (β) 的大小會影響展示櫃空氣簾的封閉效果，本研究以案場二 8 呎開放式展示櫃為模型，在整體出風(出風&背板出風) 質量流率與回風質量流率保持平衡下模擬不同出風拋射角度 (β)，針對無室外流場下空氣簾射流情況，找出其最佳出風拋射角度 (β)。

由圖 6.11 及圖 6.12 中所示，可看到不同出風拋射角度 (β) 空氣簾皆維持良好的狀態，出風射流未明顯有被突破的狀況。

表 6.4 計算出不同出風拋射角度 (β) 之滲透熱負荷 ΔQ ，可看出出風拋射角度 (β) 在 0° 下其滲透熱負荷 ΔQ 為 2.9022kJ/s，屬於各組模擬中最低值，代表其蒸發器熱負荷最小，為較節能之狀況，因此建議開放式展示櫃之出風拋射角度 (β) 應 0° 。

表 6.4 不同出風拋射角度 (β) 滲透熱負荷 ΔQ

出風角度	出風焓值	出風質量流率	出風傳熱Q	背板出風焓值	背板出風質量流率	背板出風傳熱Q
β	kJ/kg	kg/s	kJ/s	kJ/kg	kg/s	kJ/s
-15	14.0509	0.3188	4.4800	14.2752	0.1004	1.4337
0						
15						
25						
35						
45						
55						

出風角度	回風溫度	回風濕度	回風焓值	回風風速	回風質量流率	回風傳熱Q	ΔQ
β	$^\circ\text{C}$	%	kJ/kg	m/s	kg/s	kJ/s	kJ/s
-15	8.54	76.69	21.8890	2.28	0.4088	8.9493	3.0355
0	8.30	77.40	21.5469		0.4092	8.8160	2.9022
15	8.37	77.80	21.7467		0.4090	8.8954	2.9816
25	8.67	77.31	22.2413		0.4087	9.0890	3.1752
35	8.85	77.96	22.7232		0.4084	9.2795	3.3658
45	9.35	77.48	23.6151		0.4077	9.6281	3.7144
55	10.20	75.75	24.9844		0.4066	10.1591	4.2453

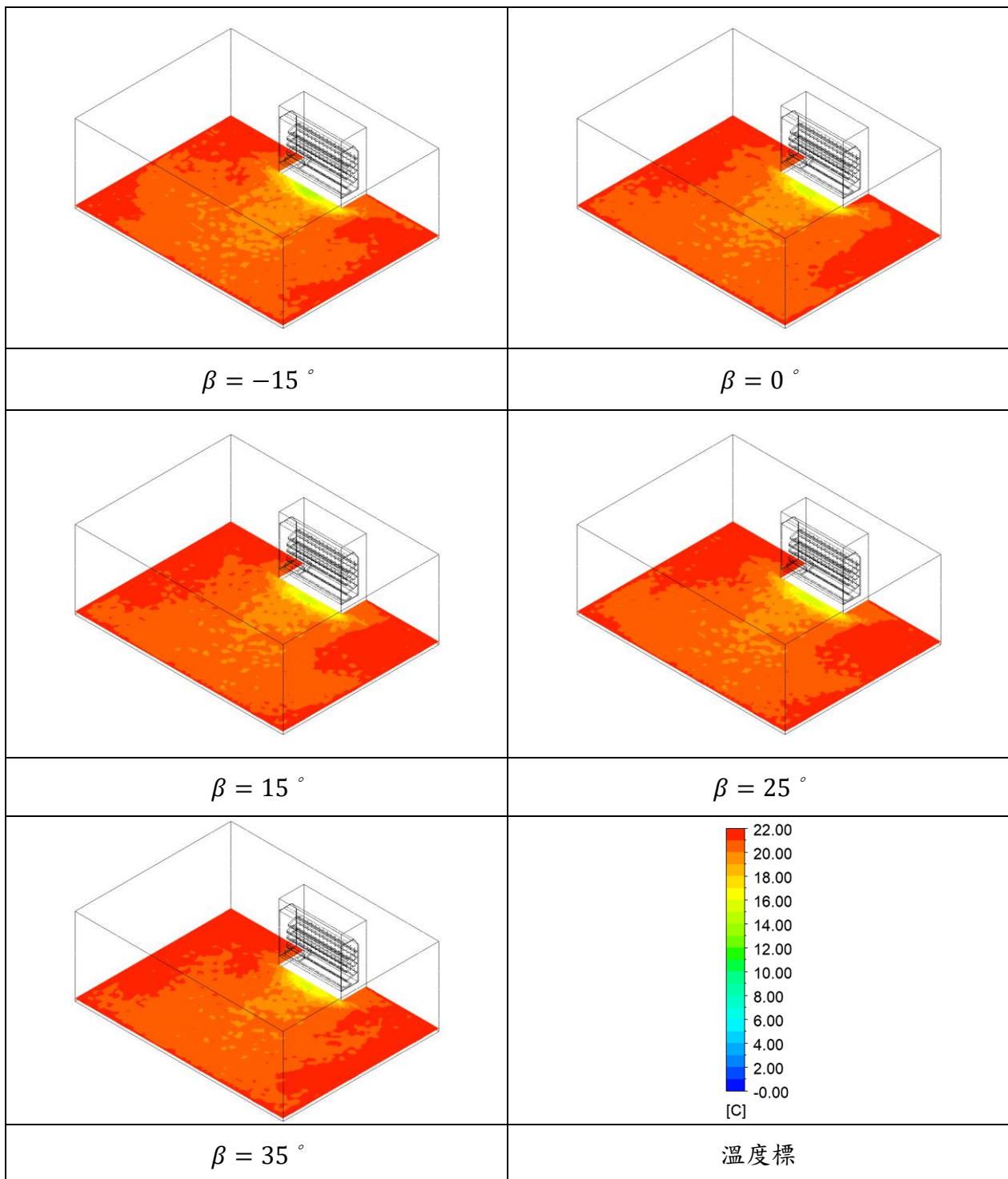


圖 6.10 不同出風拋射角度 (β) 下各高度層之溫度場分佈

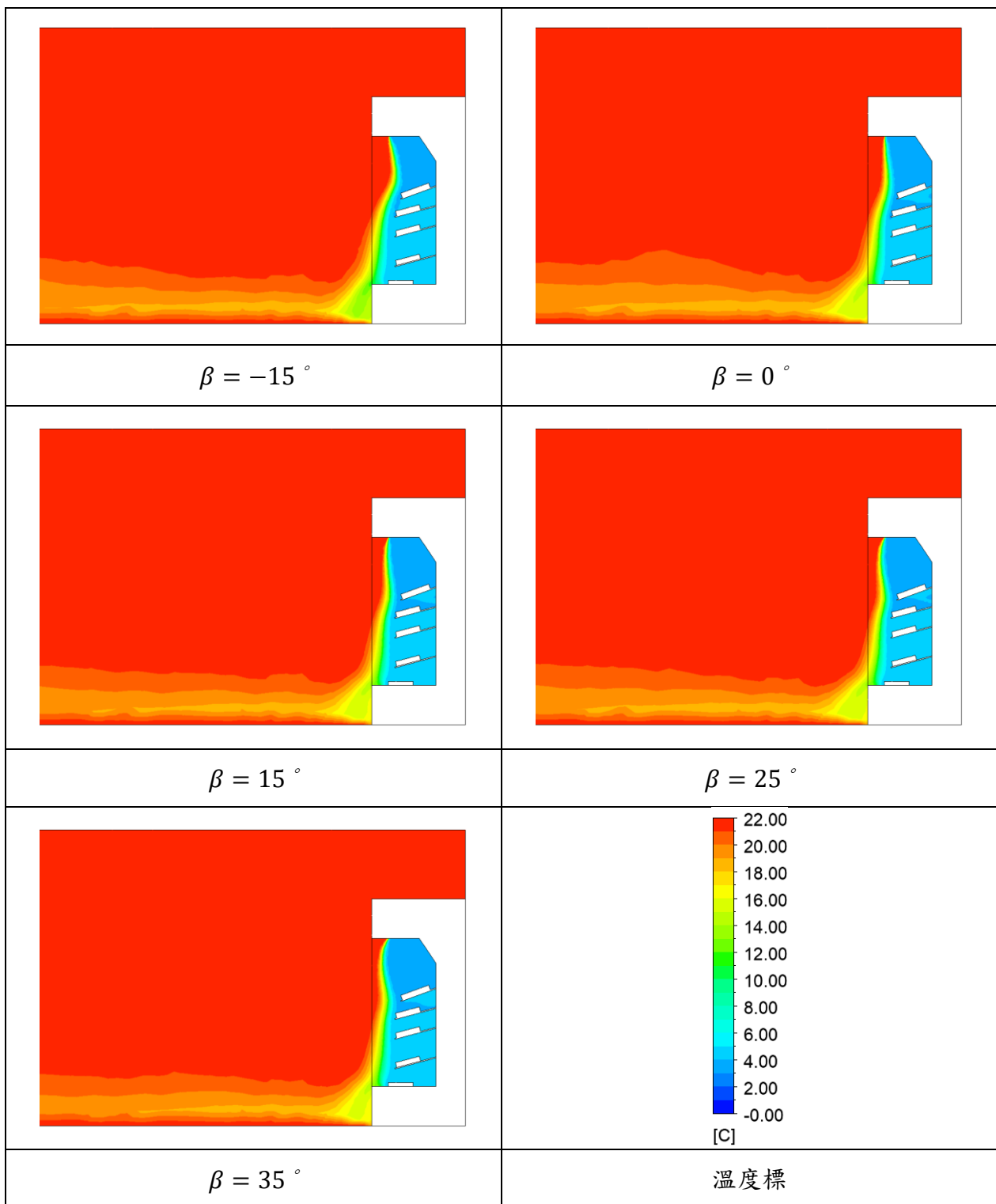


圖 6.11 不同出風拋射角度 (β) 下開放式展示櫃之溫度場分佈

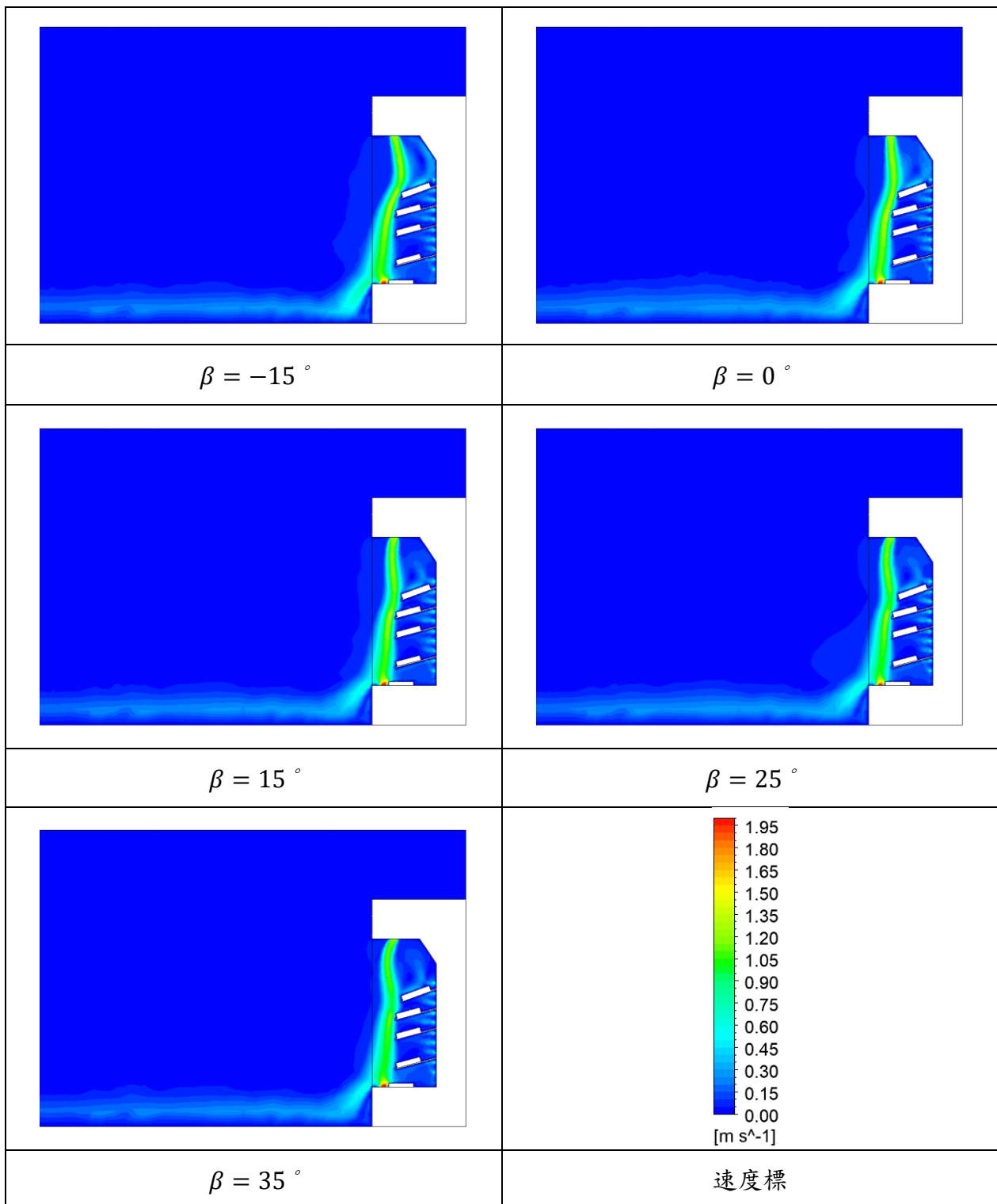


圖 6.12 不同出風拋射角度 (β) 下開放式展示櫃之速度場分佈

6.4 節能效益評估

由前述章節所述，對出風風速與出風拋射角度 (β) 兩種情況分析，找出最節能之方案，除了前述章節圖說內整體溫度、相對濕度，及風場情形等趨勢，為了量化使展示櫃空氣簾達到效益，我們將最佳方案與原案例的滲透熱負荷 ΔQ 進行比較，對於店家使用空調設備之耗電量作為節能效益之評估。

根據現場量測及模擬數據所得出，案場二 8 呎開放式展示櫃為案例 (BaseCase)，其出風風速為 1.17 m/s，依據前章節結果發現出風風速為 0.5 m/s 時 (Case01) 不但能維持空氣簾的完整性並能維持櫃內商品的溫度，所以將兩案例比較後發現整體節能率達 53.07%。

表 6.5 不同出風風速節能率計算

CASE	出風質量流率	出風焓值	背板出風質量流率	背板出風焓值	回風質量流率	回風焓值	ΔQ	節能率
	kg/s	kJ/kg	kg/s	kJ/kg	kg/s	kJ/kg	kW	
BaseCASE (出風風速=1.17m/s)	0.3188	14.0509	0.1004	14.2752	0.4193	26.0164	6.43	-
Case01 (出風風速=0.5m/s)	0.1368		0.0431		0.1798	27.4580	3.02	53.07%

出風拋射角度 (β) 部分，案場二 8 呎開放式展示櫃為案例 (BaseCase)，其出風拋射角度 (β) = 25°，依據前章節結果發現 β = 0° (Case02) 滲透熱負荷 ΔQ 較低，將兩案例比較後發現整體節能率達 8.60%

表 6.6 不同出風拋射角度 (β) 節能率計算

CASE	出風質量流率	出風焓值	背板出風質量流率	背板出風焓值	回風質量流率	回風焓值	ΔQ	節能率
	kg/s	kJ/kg	kg/s	kJ/kg	kg/s	kJ/kg	kW	
BaseCASE (DAG=25°)	0.3188	14.0509	0.1004	14.2752	0.4087	22.2413	3.18	-
Case02 (DAG=0°)					0.4092	21.5469	2.90	8.60%

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，發現大部分開放式展示櫃皆有出風的不均勻、安裝位置不理想、壓縮機頻繁啟停、並未有出風角度之可調變功能等問題。我們進一步透過實驗及建立 CFD 數值模型，針對在不同風速下及出風角度條件下，探討何者為最適合條件，根據案場二 8 呎開放式展示櫃為模型，應以維保持空氣簾封閉，且維持適當的商品保存條件為目的，在無展示櫃周圍氣流干擾的狀況下建議出風風速應減少至 0.5m/s 、 $\beta = 0^\circ$ 時維持整體空氣簾封閉效果最佳，且滲透熱負荷 ΔQ 最小，屬於較適合之出風拋射角度 (β)。展示櫃機型幾何尺寸的挑選上，建議挑選 H/W 比值低於 15、 D_H/b 比值 $0\sim 0.5$ 之間的範圍，有利於提升氣簾性能。

除此之外，透過實地訪視及文獻調查也整理出各項節能手法及技術，冷凍冷凝機組可導入以下節能技術：高效率壓縮機、使用蒸發式冷凝器、浮動式壓力控制、熱回收、機械式過冷卻或環境過冷卻等技術。冷凍冷藏櫃則可導入以下節能技術：電子式膨脹閥、高效率照明、熱氣除霜、防汗電熱絲控制、蒸發器無刷直流馬達風扇控制、除霜控制、賣場濕度控制等技術。

開放式展示櫃因受到賣場熱負荷變動極大的影響，造成壓縮機起停頻繁，建議導入壓縮機變頻最適化控制技術。若以本手冊對於節能技術進一步的研究指出，節能效果最佳可達到 20%，改善後庫溫更穩定且比既有模式低 0.9°C 。冷凝器風扇建議挑選具變頻低轉速控制之功能，在達到低轉速後，使用單個變頻驅動器 (VFD) 對所有風扇進行風扇循環。另外相對濕度對於總耗能也有極大的影響，相對濕度從 75% 降為 70% 時，展示櫃的總能量需求減少了 11.85%。因此建議透過除濕或控制進入的外氣配合冷凍冷藏系統之熱回收保持賣場內相對濕度。

八、參考文獻

- [1] Wilbert, F., Stoecker, (1998). Industrial Refrigeration Handbook.
- [2] ASHRAE, (2010) *ASHRAE Handbook: Refrigeration*, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, .
- [3] Advanced Energy Design Guide for Grocery Stores, 2015
- [4] APS Business Center, (2010). Refrigeration Applications and Energy Savings Potential.
- [5] Brian, A. F. (2010). Doored Display Cases They Save Energy, Don't Lose Sales, *ASHRAE Journal September* , pp.18–26.
- [6] U.S. Department of Energy, (1996). Energy Savings Potential for Commercial Refrigeration Equipment.
- [7] Garcia, J. M., & Coelho, L. (2010) “Energy efficiency strategies in refrigeration system of large supermarkets, *International Journal of Energy and Environment*, vol.4, pp.64-70.
- [8] Laguerre, O., Hoang, M. H., Osswald V., & Flick, D. (2012). Experimental study of heat transfer and air flow in a refrigerated display cabinet. *Journal of Food Engineering*, 113(2), 310–321.
- [9] GroceryTrader. (2013, APR 8). The case for glass doors on refrigerated display cabinets is closed.
<https://grocerytrader.co.uk/the-case-for-glass-doors-on-refrigerated-display-cabinets-is-closed/>
- [10] Fricke, B., & Becker, B. (2010). Energy Use of Doored and Open Vertical Refrigerated Display Cases. *Refrigeration And Air Conditioning*, 1–8.
Retrieved

- [11] 謝文德、王榆鑫、郭鴻森、李基禎 (2004)。自動門氣簾設置對便利店之整體節能效益研究。 *冷凍與空調期刊*，25 期，45-51。
- [12] Amin M., Dabiri D., & Navaz, H. K. (2012). Effects of secondary variables on infiltration rate of open refrigerated vertical display cases with single-band air curtain. *Applied Thermal Engineering*, 35, 120–126.
- [13] Tsamos, K. M., Mroue, H., Sun, J., Tassou, S. A., Nicholls, N., & Smith, G. (2019). Energy Savings Potential in Using Cold-shelves Innovation for Multi-deck Open Front Refrigerated Cabinets. *Energy Procedia*, 161, 292–299.
- [14] Axell & Lindberg, (2005). Field measurements in supermarkets
- [15] Howell R., L., Riiska, D., & Bondoc, M. R. (1999). Potential savings in display case energy with reduced supermarket relative humidity.
- [16] Chang, C., Wu, X., Lu, Y., Ma, Q., & Zhang, W. (2013) Numerical simulation on the food package temperature in refrigerated display cabinet influenced by indoor environment. *Advances in Mechanical Engineering*, pp. 708-785
- [17] Amin M., Dabiri D., & Navaz, H. K. (2011). Comprehensive study on the effects of fluid dynamics of air curtain and geometry, on infiltration rate of open refrigerated cavities. *Applied Thermal Engineering*, 31(14):3055-3065.
- [18] Gaspar, P. D., Carrilho Gonçalves, L. C., & Pitarma, R. A. (2011). Experimental analysis of the thermal entrainment factor of air curtains in vertical open display cabinets for different ambient air conditions. *Applied Thermal Engineering*, 31(5), 961–969.
- [19] Gray, I., Luscombe, P., McLean, L., Sarathy, C. S. P., Sheahan, P., & Srinivasan, K. (2008). Improvement of air distribution in refrigerated vertical open front remote supermarket display cases. *International Journal of Refrigeration*, 31(5), 902–910.

- [20] Hammond, (2011). Investigation of return air grille width on the efficiency of recirculated air curtains
- [21] 李魁鵬 (2003)。冷凍系統對百貨類建築耗能之影響性研究。國科會報告。
- [22] ASHRAE, (2006), *ASHRAE Handbook: Refrigeration*.
- [23] 李魁鵬 (2011)。冷凍冷藏節能應用技術手冊。經濟部能源局、財團法人臺灣綠色生產力基金會。
- [24] Navaz, H. K., Amin M., Faramarzi, R., Kehtarnavaz, N., Kamensky, K., & Nowakowski, A., (2015). Airflow Optimization in Retail Cabinets and the Use of CFD Modelling to Design Cabinets. *Sustainable Retail Refrigeration*.
- [25] Chen, Y. G., Parametric evaluation of refrigerated air curtains for thermal insulation. *International Journal of Thermal Sciences* 48(10):1988-1996.