

# 國際玻璃門冷凍櫃資料蒐集與國產產品問題分析

## Data Collection of International Glass-door Freezer and Problem Clarification of Domestic Products

摘要：

本研究先盤點歐洲、美國、日本、澳洲與中國合計 13,546 筆玻璃門冷凍櫃資訊，並分析其冷卻形式、隔熱材厚度、回風距離、冷媒使用及能效資料，作為未來發展高性能冷櫃之參考。此外，也將分析現有國產玻璃門冷凍櫃，透過實際櫃內氣流場狀況量測、CNS 標準溫度表現測量、以及蒸發器結霜情形可視化，釐清冷櫃常見問題。

關鍵字：玻璃門冷凍展示櫃、隔熱材、冷媒、能源效率、氣流短循環

Abstract

This study first reveals 13,546 glass door refrigerated freezer information in total from EU, American, Japan, Australia, and China. The cooling form of evaporator, insulation material thickness, return air distance, refrigerant usage and energy efficiency data are analyzed as a reference for the future development of high-performance freezers. In addition, the existing domestic glass-door freezers will be analyzed as well, and the common problems in freezers will be clarified through a series of experiments, i.e., the air flow field construction, the temperature measurement with CNS standard, and the frost visualization inside evaporator.

Keywords : glass-door freezer, insulation material, refrigerant, energy efficiency, air flow short circulation

## 一、前言

隨著國人生活型態轉變，國內食品零售業近年店數與總耗電量迅速增長，其中商用冷櫃為耗電占比最高之設備。既有商用冷櫃硬體設計長年被國內製造商所忽略，因此能源效率與溫度表現皆不良。表現低落的商用冷櫃不僅可能造成食安問題，更無法達到 CNS 測試標準[1]中的溫度要求。為此，本研究首先蒐集國際玻璃門冷凍櫃之能效數據，且整理各冷櫃於各方面之設計趨勢，再透過實際國內冷櫃量測，釐清現有常見之冷櫃痛點，共同作為未來發展高性能冷櫃設計之參考。

## 二、研究方法

本研究研析國際各大廠之玻璃門冷凍櫃，透過兩個面向進行分析：首先為性能分析方面，因為歐盟、美國、中國與日本等主要國家中，中國與日本使用之測試標準與我國不同，其能效數值難以比對參考；中國能效登錄網站資料十分不齊全，且缺乏抽測機制，能效登錄數據可信度極低；歐盟之能效登錄網站資料最為齊全，且使用之測試標準與我國相同，因此本研究僅針對歐盟之資料研析。其次，櫃體幾何分析方面，共盤點歐洲、美國、日本、澳洲與中國各廠商合計 125 台玻璃門冷櫃之資訊：歐洲冷櫃製造商林立，本研究於歐洲 top ten 產品資料平台蒐集知名大廠之設計數據，包含 AHT、Costan、Docriluc、Fogal、JBG-2、Liebherr、Pastrofrigor、True 等 8 間廠商；美國則蒐集前三大製造商 Carrier、Hussmann、Hill Pheonix 之數據；而日本以曾參與日本 Top-runner 制定之廠商進行搜尋，三電、東芝、中野、松下、福島、富士、Hoshizaki、三菱等 8 間廠商數據；澳洲則為跨國冷櫃大廠 Arneg、EPTA 及 Tasselli、Bonnet Neve 等 4 間廠商；而中國產品則於中國能效登錄網站上，蒐集青島海爾開利、上海通用富士、愛普塔青島等 3 間廠商數據。

完成國際冷櫃分析後，也將分析國產品冷櫃，透過實際櫃內氣流場狀況

量測、CNS 標準溫度表現測量、以及蒸發器結霜情形可視化，將現有冷櫃常見問題進行釐清，也供未來進行系統性且科學化方式改善之參考。

### 三、案例說明

#### 1. 國際冷櫃資訊揭漏

##### (1) 能效比較

於 European Product Registry for Energy Labelling 網站上搜尋玻璃門冷凍櫃(櫃體分類代碼 VF4)，共得出 14,630 筆能效登錄數據，其能效等級分布如圖 1 所示。目前歐盟玻璃門冷凍櫃性能共分為 A 至 G 七個等級，每個等級之間的能源效率大約差距 15%。大宗產品能效落在 D 至 F 等級之間，而幾乎所有產品溫度等級都是 L1(-18°C~-15°C)。值得注意的是，歐盟於 2023/9/1 已將最低能效要求提升至 F 等級，因此 G 等級之產品已禁止於市面上販售，不久後將從網站上撤銷 G 等級。

Class	Entries	%
A	3	0,0
B	170	1,2
C	777	5,3
D	3 207	21,9
E	3 966	27,1
F	3 505	24,0
G	3 002	20,5

圖 1 歐盟玻璃門冷凍櫃能效等級

##### (2) 櫃體形式比較

國內外玻璃門冷凍櫃大宗使用吸頂式(圖 2(a))與開放式加門(圖 3)之設計，歐洲與澳洲的開放式加門與吸頂式種類參半，而美國則大多習慣採用開放式

冷櫃加裝玻璃門，僅極少數使用吸頂式。中國產品因多與國外廠商合資，冷櫃採用形式依照背後合作企業。日本多習慣使用吸頂式冷凍櫃。

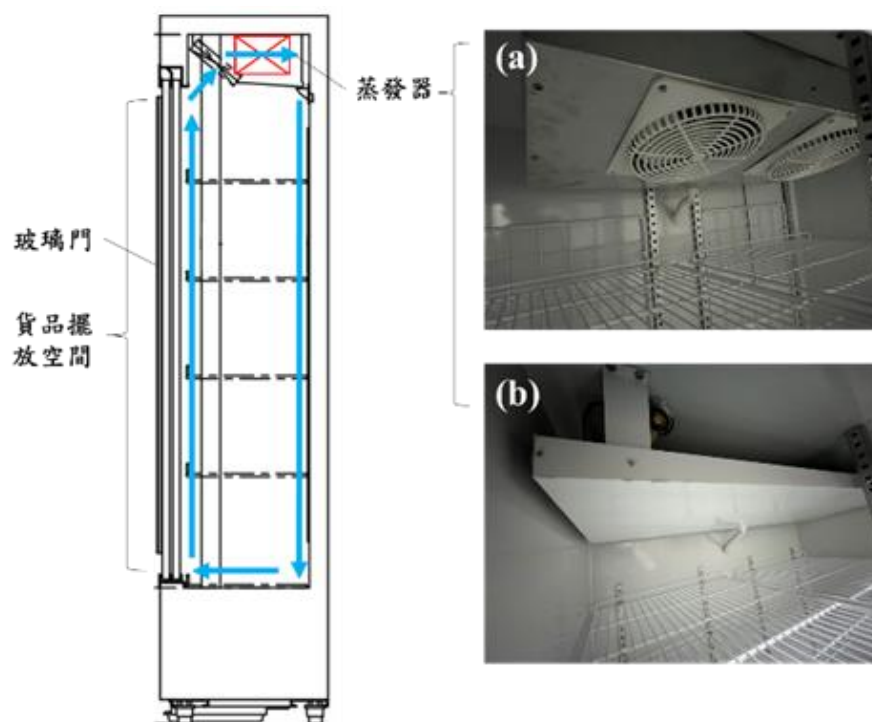


圖 2 玻璃門展示櫃 (a)吸頂式 (b)泰勒式

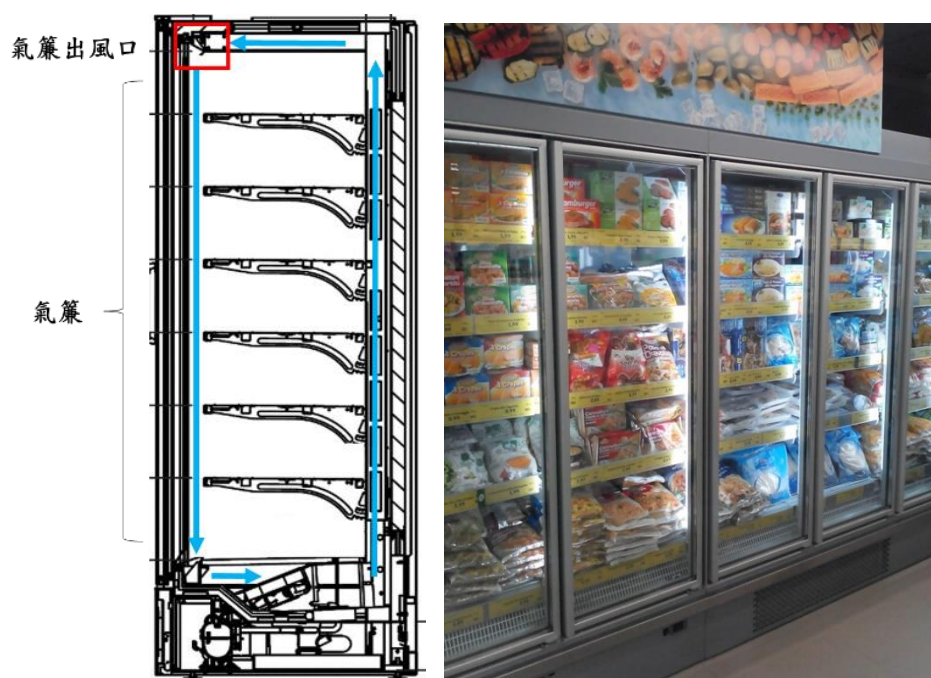


圖 3 玻璃門展示櫃-開放式加門

### (3) 隔熱材厚度比較

玻璃門冷凍櫃之熱負載中經由熱傳導占 15%，增加隔熱材厚度可以有效降低熱負載，避免冷櫃箱體結露同時減少箱體電熱所需耗電。圖 4 顯示各國冷櫃使用隔熱材厚度，可細分為背部隔熱材厚度與上方(頂部)隔熱材厚度，若機組為內藏式，則冷凝器與壓縮機機組多直接安裝於櫃體頂部，故上方隔熱材厚度略大於背部隔熱材厚度。國際上冷櫃隔熱材厚度整體多落在 50–60 mm 區間，玻璃門冷凍櫃隔熱材平均厚度相較冷藏溫域增加約 10mm。若細分成個國家別來看，歐洲與中國將隔熱材設計最厚，多為 60–70mm；澳洲則設計最薄，背部隔熱材厚度多落在 40–50mm，上方厚度則僅 30–40 mm。

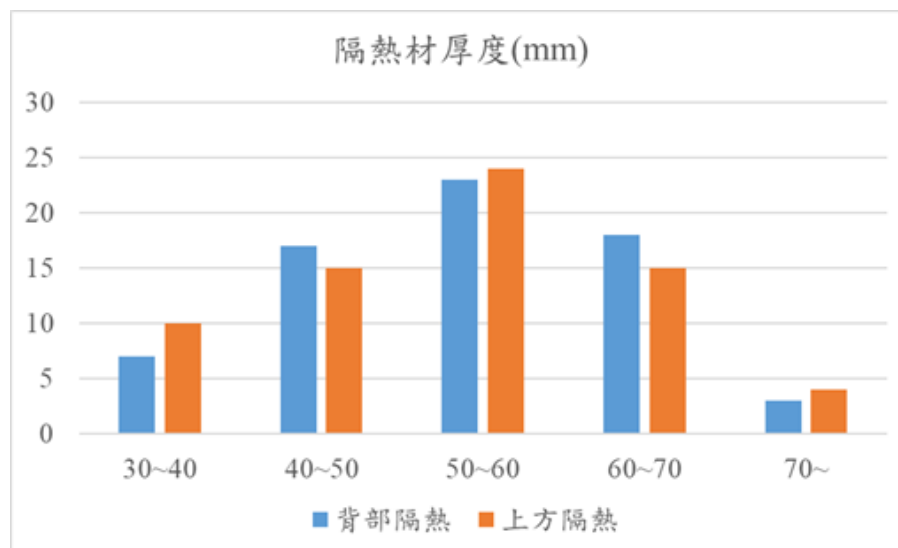


圖 4 各國冷櫃使用隔熱材厚度

### (4) 冷媒使用

歐盟 2015 年即發布 F-Gas 法規，逐年減少 HFC 冷媒的使用，目前歐洲玻璃門冷凍櫃已經是內藏型使用 R290、分離型使用 R744 等自然冷媒。美國各州採納美國國家環境保護局(United States Environmental Protection Agency, EPA)對於高 GWP 冷媒限制使用的建議，各州均推出法令進行冷媒淘汰管制，同樣以 R290 作為內藏式使用、R744 為分離式使用。澳洲目前處於過渡階段，R290、R744 等自然冷媒與 R404A 等 HFC 冷媒各有使用。日本目標於 2036

年前能將 HFC 冷媒的生產量減少 85%，然而現階段各廠商仍繼續使用 HFC 冷媒如 R404A 或 R134a，僅部分已使用更為環保之 HFO 冷媒如 R448A。自然冷媒方面鮮少有 R290 之應用，目前推出補助措施政策強力推廣 R744 環保冷媒。

## 2. 國產品冷櫃問題分析

### (1) 氣流場量測分析

冷櫃內部垂直方向氣流風速量測結果如圖 5，氣流剛從蒸發器出風時具有 3.5--4.5 m/s 的速度，隨著層數增加氣流速度逐漸衰減，至最下層時左右側氣流甚至不到 1 m/s，代表櫃體的流場無法讓氣流穩定流至最下層，可能與蒸發器出風氣流直接撞擊背板導致損失動能有關。值得注意的是，該玻璃門冷凍櫃採用雙風扇設計，因此左中右側的氣流流速差異不會太大，但若是其他採用單風扇設計之櫃體，可能會出現左中右側氣流不均勻之問題。

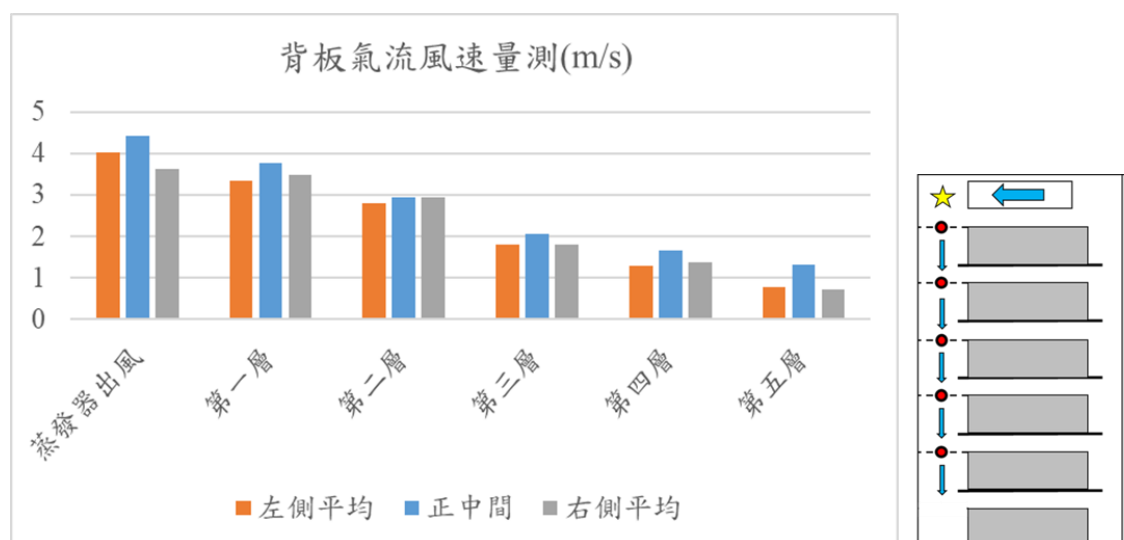


圖 5 各層氣流垂直風速量測結果

圖 6 為各層氣流水平風速量測結果，層數增加風速遞減的現象更為嚴重，僅在第一層層板位置有較高的風速，於第二至五層層板位置則明顯大幅下降，甚至於第四層中間位置，幾乎量不到水平方向的風速。可見氣流多數只於第



一層層板形成短循環後便回到蒸發器入口，各層氣流分布相當不均勻。

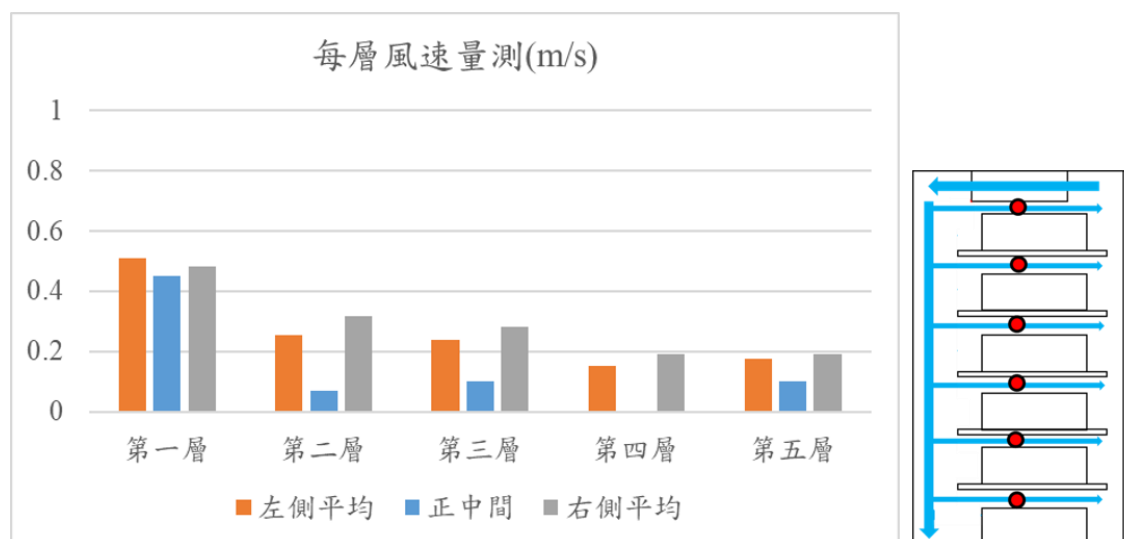


圖 6 各層氣流水平風速量測結果

## (2) 溫度性能量測

冷櫃將於 TAF 認證測試實驗室(編號 3791)依照國家商用展示櫃測試標準 CNS10798 執行測試，環境為氣候類別 3(溫度 25 °C、相對濕度 60%)。測試期間共 24 小時，包含 12 小時週期開關門狀態與 12 小時關門狀態。測試結果如圖 7 所示，最暖試驗包之最高溫度為-16.0 °C，可以發現最暖試驗包一進入週期開關門期間便上升 4 °C，除霜期間也會上升 3 °C。開關門期間的溫升表示每次玻璃門開啟時，都有相當程度的外氣侵入櫃內。另一方面，除霜期間的溫升也代表電熱棒之餘熱易影響櫃內溫度，並同時增加壓縮機運轉之負載。

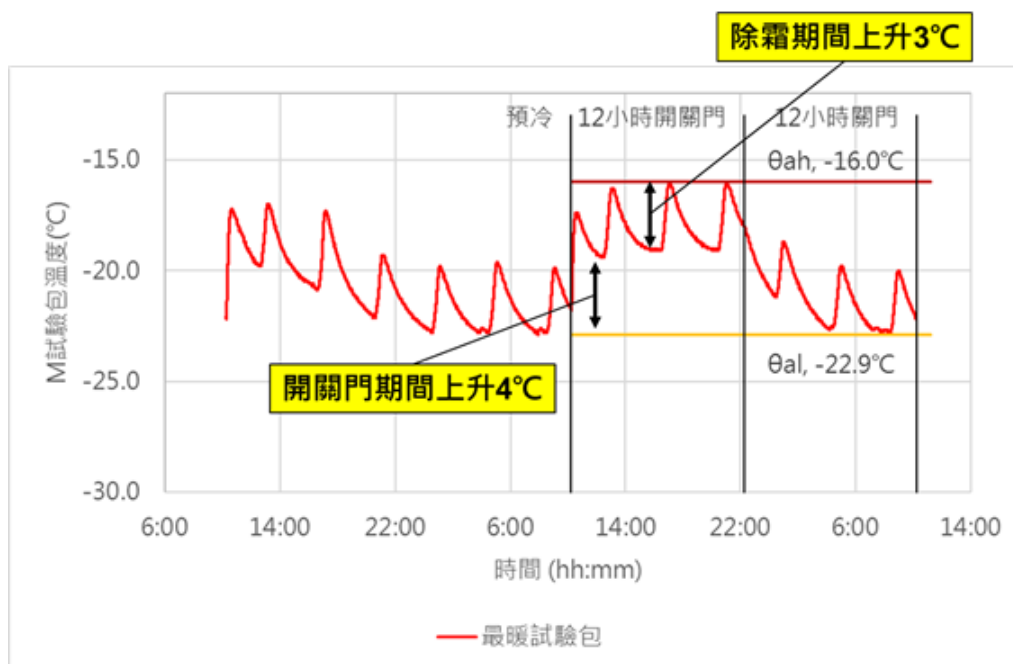


圖 7 試驗包溫度量測結果

### (3) 蒸發器結霜情形

透過架設蒸發器可視化系統，可觀測實際結霜情形如圖 8 所示，可明顯發現蒸發器結霜位置有所不同。於不凍液入口位置(出風口)盤管溫度較低，若在較低濕度的空氣條件下，此處的結霜情況較為嚴重；反之，若空氣濕度高，霜則容易生成於前方的不凍液出口位置(入風口)。傳統定時定功率的除霜方式明顯無法有效應對實際結霜情形，仍有相當大的改善空間。

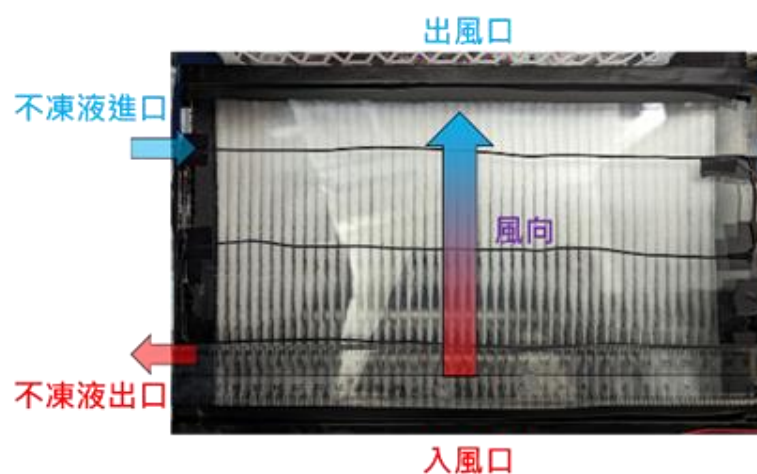


圖 8 蒸發器結霜情形



## 四、結論

本研究針對國際各大廠之玻璃門冷凍櫃資訊揭露，以及國內冷櫃實際量測，其結論如下：

1. 櫃體隔熱材厚度多落在 50–60 mm 區間，歐洲與中國之隔熱材設計最厚，多為 60–70 mm，而澳洲產品本身隔熱材厚度設計最薄(可低至 30 mm)。
2. 對於吸頂式之冷風機，選配風扇時需考量冷空氣之回風距離，否則易造成短循環問題。
3. 各國因能效管制多年，玻璃門冷凍櫃產品能效與溫度表現均符合要求，平均能效對應於歐盟 D 級能效，即 TEC/TDA 於 10–15 kWh/24h m<sup>2</sup> 此區間。
4. 冷媒使用方面，因各國落實法規的管制，已邁向全自然冷媒的使用，歐美幾乎採用 R290 與 R744，但國內在落實上仍有一段距離。
5. 因選配風扇揚程與櫃體尺寸不搭，冷櫃內部上下高度氣流量差異大，容易發生氣流短循環問題；貨品擺放區間之試驗包溫升源自於開關門期間外部熱空氣入侵與除霜期間，電熱棒之餘熱影響；蒸發器內部盤管、鰭片之結霜位置各處有所不同，傳統定時定功率的除霜方式明顯無法有效應對實際結霜情形。

## 五、參考文獻

- [1] CNS 10798，冷凍冷藏展示櫃—分類、要求及試驗條件，2014