

冷凍系統設計概述

原文刊載於一丞通訊 VOL.10 1997.1.

1. 前言

冷凍工程在台灣已經發展了不算長的時間，早期的設計大多是依樣畫葫蘆，老師傅怎麼教，就怎麼安裝，很少去研究為什麼。再加上冷凍工程基本上獨一性較高，每一次的設計條件可能都不相同，因此無法像空調工程有一個放諸四海皆準的準則，也就因為這個原因較少人願意投入冷凍工程的研究。

但隨著工商業的發展迅速，因此冷凍工程開始受到大家的注意，也比較有人願意投入。本期將以概述性的方式，針對在冷凍系統設計上較容易忽略的地方為各位介紹。為節省篇幅，有關於冷凍負載的計算請參閱本公司出版的「氣冷式冷凍冷藏系統技術手冊」，在此不多作贅述。本文主要的焦點集中於小型系統上。

2. 從哪裡開始？

進行冷凍系統的規劃設計時，我們必須要知道從哪裡開始。以往老師傅的經驗，當接到一個案子時，很快就可以判斷這個需要用多大的壓縮機，然後再由壓縮機來選擇相關元件。而許多的人從老師傅那裡只學到片面的判斷方式，因此就常發現為什麼相同的馬力的壓縮機，卻有著截然不同的結果。

其實開始要進行冷凍系統的規劃設計時，要先由冰什麼，怎麼冰，冰多少開始進行。由於各種物品對於溫度、濕度條件的要求都不相同，所以首先要先了解我們要冰什麼，這樣才有辦法根據物品的熱物性資料來進行系統設計。就如蔬菜水果，明明香蕉與蘋果兩種水果的儲存條件不相同，卻把儲存蘋果條件運用在儲存香蕉，溫帶水果與熱帶水果原本就是生長在差異性相當大的環境，儲存溫度適於溫帶水果者，對於熱帶水果將很容易造成凍傷。當了解這個冷凍系統所要儲存的物品以及進入這個冷凍系統的狀態以後，接著就要知道冷凍系統要對儲存物品進行什麼樣的處理，是要進行冷藏、冷凍儲存、凍結亦或是降溫？而處理量又是多少，這些資料都是我們必須要了解的。因為不一樣的系統功能所設計出來的負載、熱傳機構會有很大的差異。表一可以簡單的告訴我們一個冷凍系統的設計起源應該收集哪些資料。

搜集了相關的資料以後，通常就可以開始計算冷凍負載。有關於冷凍負載的計算在此不多加贅述，請讀者自行參考相關的資料。本文著重於如何進行壓縮機的選用、冷凝器、蒸發器的搭配。

表一 設計起源

開始資訊	衍生出所要找設計資料	影響設計部分
*物品種類與進入冷凍庫狀態	➡ 1. 熱物性（比熱、凍結潛熱、呼吸熱、含水率）	1. 熱負載的計算 2. 壓縮機能力
*物品所要進行的處理（降溫、凍結、急速凍結）	➡ 1. 包裝方式與物品尺寸 2. 相關的儲存條件	1. 凍結時間、凍結方式、庫內熱傳機構設計、蒸發器形式選用 2. 庫內溫度與蒸發溫度的差值，蒸發器大小的決定
*物品數量	➡	1. 冷凍空間的大小 2. 熱負載與凍結時間 3. 壓縮機能力

3. 元件選用

當計算完成冷凍負載後，必須要決定壓縮機每天的運轉時間，壓縮機的運轉時間與系統設計有極大的關係，如果使用於低溫結霜的狀況時，就必須要考慮除霜時間，適當的加大壓縮機能力。一般壓縮機的運轉時間建議如表二所示。

表二 壓縮機建議運轉時間表

應用場合	壓縮機每日建議運轉時間
冷藏狀況 (蒸發溫度不低於-1℃)	18~20 小時
冷凍狀況	16~18 小時
高濕度狀況	12 小時以內
負載資料未明時	16~18 小時

當然以上狀況只是一個粗略的建議值，因壓縮機的運轉時間長短除了與應用的場合有關外，還必須要考慮到庫溫與蒸發溫度的差值（TD），開門的次數、進入庫內物品的含水量等等因素。TD 越大，結霜的機率也就越大；在冷凍的狀態時，開門次數越多，如果外氣適屬於高濕度的狀態時，當然越容易結霜；而如果入庫物品的含水量高，如凍結新鮮的魚貝類，當然庫內結霜的機率也就相對提高。因此壓縮機的運轉時間必須要根據應用的狀況仔細考慮。但是如果對於狀況掌握並不是十分清楚時，建議使用 16~18 小時的運轉時間，利用壓縮機本身來提供充裕的安全係數。

當壓縮機的運轉時間決定以後，將計算出來的（負載×24÷每天壓縮機運轉時間）即為壓縮機的能力值。

除了決定壓縮機的運轉時間外，庫內空氣與冷媒蒸發溫度差（TD）的決定，也是相當重要的因素。溫度差的決定與冷凍庫的使用狀況、使用溫度、濕度要求都有極大的關係，表三為日本冷凍協會所提供的保存物品種類與 TD 的關係。

表三 保存物品與 TD 的關係

冰存物品種類	相對濕度條件	建議 TD 值
種子，藥品，茶，燻製魚類	50~60% (具有再熱器的條件下)	12~15°C
牛奶，乳酪製品，果汁，飲料，包裝之冷凍食品	65~70%	10°C
水果，蛋，肉類，魚類	80%	5~7°C
蔬菜，鮮花	90%	5°C

由表三可以大致獲得所需要 TD 值。但是在選擇 TD 時還必須要注意到一點，例如表三中所列的牛奶，乳酪製品，果汁，飲料，包裝之冷凍食品條件是 TD 為 10°C，由於該密封包裝類食品不會有濕度的要求，TD 可以適度的加大，但是在 TD 加大的狀況又有一個能源上以及結霜上必須要考量的地方。在上述條件如果是冷藏時，庫溫設定通常為 5°C 左右，若採用 10°C TD 的設計方式，蒸發溫度就會在 -5°C。而蒸發溫度是 -5°C 時，在蒸發器的管路上就有結霜的機率。在台灣高溼的狀況下，採用 10°C 以上的 TD 設計，結霜狀況就相當嚴重，有時甚至必須要採用除霜裝置來將霜除去。

高 TD 的設計方式對於系統而言，可以節省地方是蒸發器的尺寸，由於溫度差越大，熱傳驅動力越強，因此如在相同的條件下，傳熱面積可以縮小，降低蒸發器的尺寸。但是高 TD 的設計方式，在庫內溫度要求一定時，反推到壓縮機，則必須要採取低蒸發溫度。而一但採用低蒸發溫度時，相對的壓縮機性能就會下降（蒸發溫度越低，壓縮機效率越差）。因此反應出來的壓縮機耗電也會比較高。如果是在商業冷藏展示櫃使用高 TD 的設計方式，由於展示櫃空間小，如蒸發器吹出的冷風溫度過低，冷風直接吹向玻璃門，容易造成玻璃門的結露現象，必須要再增加除露電熱。其實如果展示櫃的使用環境具有空調，適當降低 TD，使出風溫度不至於過低，則可避免玻璃門結露的現象，節省了除霧電熱的耗電。

雖然 TD 降低，蒸發器必須要加大才能獲得所需要的能力，但是這些投資很快會從日後電費的節省中回收。而從能源節約以及壓縮機有效率運轉的觀點上著眼，冷藏狀態採用低 TD 的設計方式，不但可以降低壓縮機的耗電，而且也可以維持壓縮機在較好的狀態運轉，延長壓縮機的壽命。

有關於 TD 的設計，在蒸發器選用上也有必須要注意的地方。特別是美國與日本的蒸發器，在能力的標示上會發生與 TD 有十分密切的關係，詳細的資料請參考本公司出版的「氣冷式冷凍冷藏技術手冊」第四章蒸發器的說明。

由負載與運轉時間可以獲得壓縮機的能力，由 TD 可以決定出壓縮機的蒸發溫度。接著必須要考慮要採用哪一種方式的冷凝器。水冷式系統可以獲得較低的冷凝溫度，因此壓縮機的效率較高，但系統較為複雜；而使用氣冷式系統，冷凝溫度較高，壓縮機效率較低，但系統簡單，對小系統而言，整體的耗電有時甚至會低於水冷式系統。【詳細資料請參見本通訊第 4 期 1996 年 7 月出版】

冷凝系統一但決定後，即可獲得所需要的冷凝溫度。然後將蒸發溫度、冷凝溫度、

所需的壓縮機能力組合起來，即可由壓縮機型錄找到所需要的壓縮機。當然決定壓縮機時，也必須要考慮到可使用電壓的問題。

而蒸發器的選用部分，必須根據所使用的環境以及條件來進行。負載與 TD 決定以後，大致就已經決定了蒸發器使用的幾個基本條件。而此時必須要考慮到結霜的問題。如果結霜量大的應用場合時，鰭片間距必須要加大，以避免霜形成過快，造成蒸發器的回風部分很快被霜堵住，造成蒸發器無法發揮功效。

而在冷藏系統部分，由於蒸發溫度有時候在控制上產生飄移或是庫內溫度感測點位置不正確時，往往會發生低於 0°C 以下的蒸發溫度，容易於鰭片表面形成結霜或結露的現象，造成蒸發器的能力下降，而如此一來更容易發生結霜或結露嚴重的情形。在商業系統上除非確保所在外氣條件的濕度較低(65~70%)，為避免結霜或結露情形發生時，導致蒸發器性能下降時，鰭片的間距最好適當加大，避免霜形成連接，導致惡性循環造成蒸發器性能不佳。因此在商業系統的冷藏用途最好選用鰭片間距在 3.63mm 的蒸發器，避免蒸發器效能無法發揮而壓縮機卻持續運轉，致使能源浪費。

當然，如果應用於急速凍結或凍結的情形時，結霜情形嚴重時更必須要採用鰭片間距大的蒸發器，以免霜連結形成冰，導致電熱無法將冰融解造成系統的故障。

如果在結霜情形較嚴重的場合時，最好選擇較小的 TD 值，若庫內空氣與冷媒溫度差越大時，越容易製造結霜的機會。因此如果在選擇蒸發器時，最好能適當加大蒸發器的傳熱面積，降低 TD 值，以免結霜情形嚴重。一般人經常會將壓縮機選大，蒸發器選小，以為只要壓縮機能力夠大就可以應付系統的需求了，但這卻是一個嚴重的錯誤。由於系統的控制動作全在於庫溫上，庫溫已經是一個系統設計的先天條件，再加上負載一定之下，一個傳熱面積小的蒸發器，在熱傳係數的提升上製造完成幾乎已經固定在某一範圍，很難再進行太大的提升，為了要達到熱傳的需求，只有拉大 TD 值才能應付所求。(熱交換器的熱傳量 = 熱傳係數 × 傳熱面積 × TD)

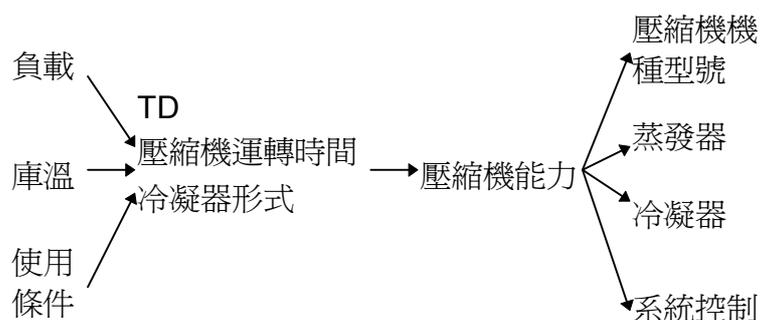
而庫溫無法升高的情況下，要拉大 TD 只有降低蒸發溫度才有辦法達到。如此一來便容易造成前面所提到的，壓縮機在效率差的狀態下運轉。因此為提高系統的性能，壓縮機的能力選擇適當，蒸發器的傳熱面積加大，將可以使系統在最有效的狀態下運轉。

蒸發器的選用還必須要注意到系統的運轉模式，如果屬於凍結狀況，就要考慮採用高風速的蒸發器或是增加額外的風扇，提高庫內的熱傳；如果是屬於高溼度的蔬果花卉保鮮條件，就必須要考慮採用低風速的蒸發器，避免蔬果花卉受到強風的吹拂，而發生損壞的現象。

冷凝器的選擇上必須要注意到壓縮熱的排放，一般在冷藏應用上，壓縮機的壓縮熱約為負載的 30% 左右，因此冷凝器的能力以壓縮機能力乘以 1.3 即為所需要的冷凝器能力。但是在低溫系統時，還必須要考慮到由初溫下降時，負載量大時的散熱。因此如果在低溫系統使用時，初溫部分可以利用加大冷凝器的方式或是利用控制閥來解決這部份的問題。

如果是氣冷式冷凝器，由於外界溫度的變化相當大，適當的加大冷凝器並於系統上安裝冷凝壓力控制，可以使系統獲得較為穩定的控制。氣冷式系統受大氣條件的影響相當大，如果採用氣冷式冷凝器的設計方式，必須要注意安裝環境的四周條件，如果外界的氣溫過高，就必須要注意到冷凝溫度的變化，以及壓縮機能力在當時的冷凝溫度下是否還能夠達到要求。

綜合以上的程序，我們可以將整個元件選用的過程如圖一所示。



圖一 元件選用流程

4. 結語

冷凍系統設計涉及的範圍相當廣，除了系統、控制等冷凍工程本身的知識外，還包含了食品保存等相關知識的應用。

本文試圖將冷凍系統的設計流程做一個簡單的概述，提供一個思考模式，希望能提供使用者亦或是設備製造者，在使用或設計製造過程中，能將經驗累積與整理，以系統化的邏輯思考，彙整成自己的資料。冷凍工程的設計是相當複雜，如果從事實際設計製造的前輩，能將寶貴的資料流傳下來，相信對國內的冷凍技術必能有所助益。🌱