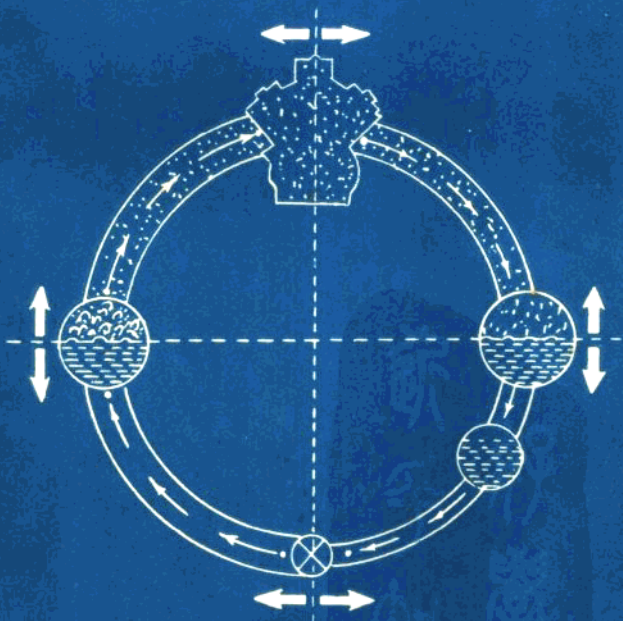


# 冷凍工程

下 冊

王 文 博 編 著



大中國圖書公司印行

# 冷 凍 工 程

(下 冊)

王 文 博 編著

大中國圖書公司印行



**版權所有・翻印必究**

編著者：王 文 博  
發行人：薛 瑜  
出版者：大中國圖書公司

台北市重慶南路一段66號

電話：3111487 郵撥：2619號

登記證：局版台業字第0653號

中華民國六十九年一月再版

**基本定價三元五角**

編號：599

## 編輯大意

隨着社會安定繁榮，生活水準提高，冷凍工程近數年來已廣泛的應用到日常生活與科學工業裡，並已逐漸形成一項必需品。唯目前在國內此項新興事業僅祇進行在要與有的過程，但瞻望未來，冷凍工業之發展，除滿足於需求外，更應發展到好與精的階段。因此，為奠定良好的基礎，一本冷凍基本之教材，實為當前之急務。

目前冷凍工程課程，部份採用原文版，部份為原文譯版，所用書籍，有的過於淺近，內容不够充實，學生獲益不多，有的又太過於高深或為專論，各項題材不易使學生融會貫通。尤以近幾年來，冷凍科學的發展，突飛猛進，與各種工業及日常生活均發生密切的連繫，本書之作以針對當前發展與需求之趨勢，遵照教育部頒佈冷凍工程課程標準的內容為藍本，蒐集歐、美、日冷凍工程的教材資料，並依據筆者十年來教書及工程實務的經驗，悉心編撰，精簡增減，由淺而深，將冷凍工程之基礎知識與理論作有系統的介紹。

冷凍工程係以物理學及熱力學為基礎，再綜合機械、電機、自動控制等原理而成的學科。本書分上下二冊，上冊主要介紹冷凍的基礎知識、定義、基本概念與原理、循環系統及其分類組成與結構等，下冊則注重於冷劑、鹽水系統、家用商用冷凍系統、冷凍工業、食品冷

藏、冷凍等之實際工程應用及深入理論的研討。書內各章體材由淺入深，前後呼應，備有例題、習題、圖解及照片，將理論與實務並重，俾讀者易於瞭解，透切問題真諦，使其學習倍增興趣。

本書不但適用於高級工業職業學校電工、電器科及大專院校有關科系採用教本，且適於冷凍專業人員進修或參考之讀物。若採用為教本，因各科系每週教學時數之不同，施教老師可酌予刪減。書中謬誤及疏漏之處，尚祈不吝指教，以匡不逮良深翹企。

王 文 博 謹識

民國六十一年九月

於臺北工專電機科冷凍組

# 冷 凍 工 程

## 下 冊 目 錄

### 第九章 冷 劑

|     |                       |    |
|-----|-----------------------|----|
| 9-1 | 冷劑之意義                 | 1  |
| 9-2 | 冷劑性質之基本要求——冷劑應具備之基本特性 | 2  |
| 9-3 | 冷劑之物理特性               | 3  |
| 9-4 | 冷劑之化學及熱力學特性           | 4  |
| 9-5 | 冷劑之分類                 | 5  |
| 1.  | 依化合物的組成               | 5  |
| 2.  | 依安全性區分                | 12 |
| 3.  | 依具毒性區分                | 12 |
| 9-6 | 常用冷劑之特性               | 12 |
| 1.  | R-729空氣               | 12 |
| 2.  | R-718水                | 13 |
| 3.  | R-764二氧化硫             | 13 |
| 4.  | R-744二氧化碳             | 14 |
| 5.  | R-717氨                | 14 |
| 6.  | R-40氯甲烷               | 15 |
| 7.  | 氟氯烷系——冷媒 (Freon)      | 16 |
| 8.  | R-11 (F-11)冷媒         | 17 |

|                        |    |
|------------------------|----|
| 9. R-12 (F-12)冷媒12     | 17 |
| 10. R-13 (F-13)冷媒13    | 18 |
| 11. R-21 (F-21)冷媒21    | 18 |
| 12. R-22 (F-22)冷媒22    | 19 |
| 13. R-113 (F-113)冷媒113 | 19 |
| 14. R-114 (F-114)冷媒114 | 19 |
| 15. R-500 (F-500)冷媒500 | 20 |
| 16. R-502 (F-502)冷媒502 | 20 |
| 17. R-503 (F-503)冷媒503 | 20 |
| 18. R-504 (F-504)冷媒504 | 21 |
| 19. 其他冷劑               | 21 |
| 9-7 壓力溫度曲線之應用          | 21 |
| 9-8 冷劑之選擇              | 37 |
| 9-9 密封型壓縮機所用之冷劑        | 39 |
| 9-10 冷劑之更換             | 40 |
| 1. R-40之冷凍系統可用R-12更換   | 40 |
| 2. R-22之冷凍系統可用R-502更換  | 40 |
| 3. R-12之冷凍系統可用R-22更換   | 41 |
| 4. R-21與R-114可相互更換使用   | 41 |
| 5. R-12與R-500可相互更換使用   | 41 |
| 9-11 冷劑之充灌量            | 41 |
| 習題                     | 44 |

## 第十章 冷凍液

|             |    |
|-------------|----|
| 10-1 二次冷劑   | 45 |
| 10-2 冷凍液之意義 | 46 |

| 目 錄                    | 3  |
|------------------------|----|
| 10-3 冷凍液之性質            | 47 |
| 10-4 冷凍液應具備之基本特性       | 50 |
| 10-5 冷凍液之種類            | 51 |
| 1. 無機鹽之水溶液             | 51 |
| 2. 液態之化合物              | 51 |
| 3. 氟氯之炭氫或炭鹵化合物         | 51 |
| 10-6 氯化鈉冷凍液            | 52 |
| 10-7 氯化鈣冷凍液            | 57 |
| 10-8 氯化鎂冷凍液            | 61 |
| 10-9 丙稀乙醇              | 62 |
| 10-10 冷凍液之腐蝕性          | 65 |
| 1. 腐蝕抑制劑之應用            | 66 |
| 2. 對防止接觸空氣之腐蝕性         | 67 |
| 3. 金屬材料適當地選擇而減少冷凍液之腐蝕性 | 68 |
| 10-11 冷凍液的試驗—pH 量度     | 68 |
| 10-12 冷凍液之比熱與黏滯性       | 69 |
| 10-13 冷凍液之選擇           | 70 |
| 10-14 冷凍液負荷            | 70 |
| 習題                     | 72 |

## 第十一章 冷凍油

|                 |    |
|-----------------|----|
| 11-1 冷凍油之功用     | 73 |
| 11-2 冷凍油之分類     | 73 |
| 11-3 冷凍油性質之基本要求 | 74 |
| 11-4 冷凍油之特性     | 75 |
| 11-4-1 粘滯度      | 76 |



|                    |    |
|--------------------|----|
| 11-4-2 流動點.....    | 78 |
| 11-4-3 碳化性.....    | 79 |
| 11-4-4 膿度.....     | 80 |
| 11-4-5 中和性.....    | 81 |
| 11-4-6 抗電絕緣性.....  | 81 |
| 11-4-7 引火點及燃點..... | 82 |
| 11-4-8 氧化穩定性.....  | 83 |
| 11-4-9 腐蝕性.....    | 84 |
| 11-4-10 水份含量.....  | 84 |
| 11-4-11 顏色.....    | 85 |
| 11-5 冷凍油之規格.....   | 86 |
| 習題.....            | 86 |

## 第十二章 冷却水塔

|                     |     |
|---------------------|-----|
| 12-1 水之冷却方法.....    | 88  |
| 12-2 冷却水塔.....      | 89  |
| 12-3 冷却水塔之種類.....   | 89  |
| 12-3-1 自然通風型.....   | 90  |
| 12-3-2 強迫通風型.....   | 92  |
| 12-4 冷却水塔之負載.....   | 96  |
| 12-5 冷却水塔之效率.....   | 99  |
| 12-6 冷却水塔之構造.....   | 100 |
| 12-7 冷却水塔規範之選擇..... | 105 |
| 12-8 噴水池.....       | 106 |
| 12-9 池面冷却法.....     | 107 |
| 12-10 水質之處理.....    | 108 |

|         |     |
|---------|-----|
| 習題..... | 108 |
|---------|-----|

### 第十三章 冷凍循環應用線圖

|                            |     |
|----------------------------|-----|
| 13-1 冷凍循環應用線圖.....         | 109 |
| 13-2 空氣性質圖.....            | 110 |
| 13-3 空氣性質圖之結構.....         | 110 |
| 13-4 空氣性質圖之使用.....         | 112 |
| 13-5 冷凍循環裡空氣處理過程之分析.....   | 115 |
| 13-5-1 純減熱過程.....          | 116 |
| 13-5-2 蒸發性冷卻過程.....        | 117 |
| 13-5-3 純增濕過程.....          | 118 |
| 13-5-4 加熱增濕過程.....         | 118 |
| 13-5-5 純加熱過程.....          | 118 |
| 13-5-6 化學減濕過程.....         | 119 |
| 13-5-7 純減濕過程.....          | 120 |
| 13-5-8 減熱減濕過程.....         | 121 |
| 13-5-9 結 論.....            | 121 |
| 13-6 空氣混合性質之分析.....        | 122 |
| 13-7 空氣體積計算.....           | 124 |
| 13-8 冷劑特性曲線圖.....          | 126 |
| 13-9 壓力——焓線圖.....          | 126 |
| 13-10 壓力——焓線圖之結構.....      | 127 |
| 13-11 壓力——焓線圖之使用法.....     | 129 |
| 13-12 壓力——焓線圖上冷凍循環之分析..... | 131 |
| 13-12-1 理論冷凍循環之分析.....     | 131 |
| 13-12-2 實際冷凍循環之分析.....     | 139 |

|                    |     |
|--------------------|-----|
| 13-13 溫度——焓線圖      | 141 |
| 13-13-1 溫焓圖之結構     | 141 |
| 13-13-2 溫焓圖之冷凍循環分析 | 142 |
| 13-14 壓力——容積線圖     | 144 |
| 13-14-1 壓容圖之結構     | 144 |
| 13-14-2 壓容圖之冷凍循環分析 | 146 |
| 習題                 | 148 |

## 第十四章 食品冷凍的基礎知識

|                  |     |
|------------------|-----|
| 14-1 食品冷凍的目的     | 150 |
| 14-2 食品一般的分類     | 151 |
| 1. 依新鮮程度分類       | 151 |
| 2. 依營養價值分類       | 151 |
| 14-3 食品冷凍之條件     | 152 |
| 1. 冷凍食品貯存的方法     | 152 |
| 2. 食品冷凍的方法       | 152 |
| 3. 在冷凍過程中食品之分類   | 154 |
| 4. 溫度條件          | 154 |
| 5. 濕度條件          | 158 |
| 6. 味道之控制         | 158 |
| 7. 殺菌與衛生         | 159 |
| 8. 包裝            | 160 |
| 9. 搬運裝載與貯存       | 160 |
| 14-4 冷凍食品可能產生的變化 | 160 |
| 14-4-1 物理性之變化    | 160 |
| 14-4-2 化學性的變化    | 163 |

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| 目 錄                     | 7   |
| 14-4-3 內部水份的變化          | 166 |
| 14-5 食品冷凍的一般程序          | 169 |
| 14-5-1 農產物的冷凍           | 169 |
| 14-5-2 畜產物的冷凍           | 175 |
| 14-5-3 水產物的冷凍           | 181 |
| 14-5-4 半調理、調理食品的冷凍      | 184 |
| 14-6 冷凍食品之解凍            | 184 |
| 14-6-1 解凍的方法            | 184 |
| 14-6-2 解凍之基本原則          | 186 |
| 14-6-3 在空氣中或液體內解凍時應注意事項 | 186 |
| 14-6-4 正常貯存期間發生部份解凍之處置  | 186 |
| 14-7 冷凍設備之標準冷凍噸         | 187 |
| 習題                      | 192 |

## 第十五章 食品冷凍系統

|                  |     |
|------------------|-----|
| 15-1 食品冷凍系統必備的條件 | 194 |
| 15-2 食品冷凍系統的種類   | 195 |
| 15-3 低速冷凍系統      | 195 |
| 15-4 快速冷凍系統      | 199 |
| 15-5 沉浸式快速冷凍系統   | 200 |
| 15-6 強力送風式快速冷凍系統 | 202 |
| 15-6-1 自動環動冷凍系統  | 202 |
| 15-6-2 帶式冷凍系統    | 205 |
| 15-6-3 浮流式冷凍系統   | 205 |
| 15-7 間接接觸快速冷凍系統  | 212 |
| 15-7-1 凍結板的種類    | 213 |

|                            |     |
|----------------------------|-----|
| 15-7-2 間接接觸快速冷凍系統的範例·····  | 215 |
| 15-7-3 間接接觸快速冷凍系統之優劣點····· | 218 |
| 習題·····                    | 218 |

## 第十六章 超低溫冷凍系統

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| 16-1 超低溫冷凍的意義·····       | 219 |
| 16-2 一氧化二氮之冷凍·····       | 220 |
| 16-3 液態氮之冷凍·····         | 220 |
| 16-3-1 沉浸式之冷凍系統·····     | 221 |
| 16-3-2 噴霧式的冷凍系統·····     | 223 |
| 16-3-3 蒸發為極冷之氣態循環使用····· | 225 |
| 16-4 液氮消耗量之計算·····       | 225 |
| 16-5 二氧化碳之冷凍·····        | 228 |
| 16-5-1 液態噴霧式冷凍系統·····    | 229 |
| 16-5-2 固態乾冰之冷凍·····      | 229 |
| 習題·····                  | 231 |

## 附 錄

|                                        |     |
|----------------------------------------|-----|
| 附表 1. 冷劑 R-702 氫之飽和液態氣態性質表·····        | 233 |
| 附表 2. 冷劑 R-702 氫在不同壓力狀況下之液態氣態性質表·····  | 234 |
| 附表 3. 冷劑 R-729 空氣之飽和液態氣態性質表·····       | 236 |
| 附表 4. 冷劑 R-729 空氣在不同壓力狀況下之液態氣態性質表····· | 236 |
| 附表 5. 冷劑 R-732 氧之飽和液態氣態性質表·····        | 237 |
| 附表 6. 冷劑 R-732 氧在不同壓力狀況下之液態氣態性質表·····  | 238 |

|                      |     |
|----------------------|-----|
| 附表 7. 冷凍油規格          | 239 |
| 附表 8. 冷凍油規格          | 239 |
| 附表 9. 冷凍油規格          | 240 |
| 附表10. 一般塑膠型冷却水塔性能係數表 | 241 |
| 附表11. 一般塑膠型冷却水塔標準尺寸  | 242 |
| 附表12. 一般金屬型冷却水塔性能係數表 | 244 |
| 附表13. 乾冰性質表          | 245 |
| 附表14. 常用固體性質表        | 246 |
| 附表15. 混合空氣與飽和水蒸氣之性質表 | 248 |
| 參考書籍                 | 250 |

# 冷 凍 工 程

## 下 冊

### 第九章 冷 劑

#### 9-1 冷劑之意義 (The Meaning of Refrigerant)

冷劑 (Refrigerant) 又稱為冷凍劑，為一種極容易從液體蒸發成氣體而又極容易從氣體冷凝成液體的物質。它在冷凍循環系統中，利用它極易蒸發又極易冷凝相態變化之特性，不斷地循環，產生熱能傳遞的功用，以達到冷凍的目的。

當物質的相態（形態）改變時，含熱量隨之而變，故必發生熱能的傳遞；冷劑即利用其相態的變化，在蒸發器 (Evaporator) 中由液體蒸發成氣體，吸收冷凍空間裡的熱量；在冷凝器 (Condenser) 中，又由氣體冷凝成液體，放出熱量；因此把熱量從低溫的冷凍空間移至高溫的室外空間，而達成「製冷」的作用。故冷劑可謂『冷』的媒介物，在冷凍循環系統裡，僅作氣、液體間相態之物理變化，並無化學變化，若系統最初在按裝時處理完淨，運轉中亦無洩漏，混入空氣或其他雜物，它即可永久不斷地進行冷凍循環之功用，並不會改變任何性質，故無須加添或更換。

## 9-2 冷劑性質之基本要求——冷劑應具備之基本特性 (Requirements for Refrigerant)

冷凍循環系統主要係應用在對人之舒適性及供人食用之食物或對人有用之物質之冷凍、冷藏與冷却用途，而冷劑係冷凍系統中主要製冷的循環媒質，故冷劑除應具備對不同應用之冷凍循環所欲達成的目的產生應有之冷凍效果外，尚應具備「安全」性質，因系統之按裝、操作、保養、維護、運轉……等，均避免不了人及食物或有用物質與冷劑之接觸可能性，故安全性質如無毒性，無爆炸性，無可燃性為冷劑之首要基本要求；另冷劑對金屬之腐蝕性，直接影響系統設備之壽命，再冷劑與油之溶解性、安定性，冷劑之潛熱值，蒸發與凝結壓力差……等物理、化學及熱力學性質，都形成冷劑之基本要求特性。

總括而言，冷劑應具備之基本特性如下：

1. 無毒性。
2. 無燃性。
3. 無爆炸性。
4. 無腐蝕性。
5. 無刺激性（不能忍受）氣味。
6. 洩漏易於偵察及檢視。
7. 壓縮過程中，仍保持穩定氣態。
8. 化學性質安定。
9. 具有潤滑性，但不與潤滑油作用且與潤滑油易於分離。
10. 潛熱值 (Latent Heat) 大。
11. 運轉壓力低，但希望高於大氣壓力；冷凝與蒸發壓力差愈小愈好。
12. 比容小。



13. 抗電性要大（尤以半密閉或密閉型壓縮機之要件）。

14. 粘滯性（Viscosity）低。

15. 價廉。

以上所列，為理想冷劑應具有的基本特性，目前所用冷劑種類繁多，但尚未發現出一種理想之冷劑，故選用時仍各視其冷凍目的而選取較適當之冷劑，故祈盼來者能充分努力，研究發明出理想之冷劑，則對冷凍將有最高的貢獻。現僅將冷劑所應具備之特性，分別概述於後。

### 9-3 冷劑之物理特性（Physical Characteristics）

1. 臨界溫度（Critical Temperature）高，即冷凝溫度（Condensing Temperature）高——故常溫的水或空氣即可做冷凝器之冷卻介質，而達到冷凝散熱的作用。

2. 在大氣壓力下，沸點（Boiling Point）低，即蒸發溫度（Evaporative Temperature）低——冷凍空間可達到較低的溫度，並可獲得較大的冷溫溫度應用範圍。

3. 冰點（Freezing Point）低——避免在蒸發器內凍結而影響正常的循環。

4. 蒸發潛熱量高——即每磅冷劑能吸收的熱量大，產生較高的冷凍效果；並單位能量所須壓縮的體積較小，成本低，佔空間少。

5. 運轉壓力低，但希望僅高於大氣壓力——如是壓縮機及管路材料強度可以選用較小，非但節省材料，且設備重量亦輕，並減少冷劑洩漏及外界水氣之侵入。

6. 高低壓力差小，即壓縮比（Compression Ratio）低，亦即蒸發壓力宜高冷凝壓力宜低——則所需馬力小，輸入功較小，耗電力小。