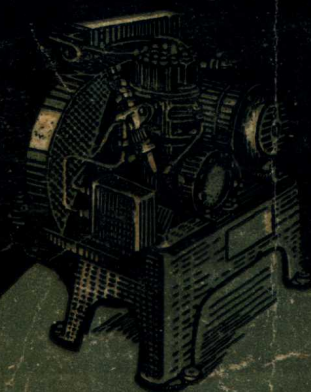


E.B. 伊林 E.B. 馬利金娜

# 制冷机器与设备



# 制冷机器与設備

[苏] E. B. 伊林、E. B. 馬利金娜合著

賀 安 保 譯

輕 工 業 出 版 社

1959年•北京

Е. В. ИЛЬИН, Е. В. МАЛЬГИНА  
ХОЛОДИЛЬНЫЕ МАШИНЫ  
И АППАРАТЫ

ГОСГОРГИЗДАТ, 1954, МОСКВА

本書根据蘇聯國立貿易書籍出版社莫斯科1954年版譯出

制 冷 机 器 与 設 备

(蘇) Е. В. 伊林、Е. В. 馬利金娜合著

賀 安 保 譯

\*

輕工業出版社出版

(北京市馬安門內白銀灣)

北京市書刊出版業營業證出字第009号

輕工業出版社 刷厂印刷

新华書店發行

\*

880×1168<sup>14</sup>/<sub>32</sub>×61<sup>14</sup>/<sub>32</sub> 2冊 72,000字

1958年5月 第1版 1次

1959年6月北京第2次印刷

印數: 3,001—6,000 定价: (16)2.24元

統一書號: 15·42·206

# 制 冷 机 器 与 設 备

〔苏〕E. B. 伊林、E. B. 馬利金娜合著

賀 安 保 譯

輕 工 業 出 版 社

1959年·北京

## 內 容 介 紹

本書為一中等技術學校教科書，內容着重介紹在蘇聯貿易和公共飲食業中最廣泛使用的制冷機器和設備。全書共分十三章，對於制冷機器的熱力學原理及工作過程、制冷劑及冷媒、熱傳導、以及各種有關的機器和設備，如壓縮機、冷凝器、蒸發器、冷風機、制冷設備、各種輔助設備和管閥儀表等均分別加以敘述，除作理論上的闡明外，對於實際應用方面的知識與計算尤為注重，頗切實用。

本書適合於在工業、商業、城市服務業、以及合作社等部門所屬企業中從事制冷技術工作的工程技術人員和技工參考之用，並適合於有關專業院校師生的閱讀。

# 目 录

|                                          |     |
|------------------------------------------|-----|
| 序 .....                                  | 6   |
| 第一章 制冷机的热力学原理及工作过程 .....                 | 8   |
| 第一节 冷却的物理学原理 .....                       | 8   |
| 第二节 加諾逆轉循环 .....                         | 10  |
| 第三节 蒸汽压缩式制冷机的循环 .....                    | 13  |
| 第四节 蒸汽制冷机的理論工作循环的計算 .....                | 19  |
| 第五节 压缩机的实际工作过程 .....                     | 26  |
| 第六节 压缩机的功率及各項工能系数 .....                  | 30  |
| 第七节 产冷量的变化, 比較“正常”的工作条件,<br>产冷量的換算 ..... | 32  |
| 第八节 复式压缩系統 .....                         | 36  |
| 第二章 制冷剂及冷媒 .....                         | 40  |
| 第九节 对制冷剂的要求 .....                        | 41  |
| 第十节 制冷剂的性質 .....                         | 43  |
| 第十一节 冷媒 .....                            | 49  |
| 第三章 制冷机的压缩机 .....                        | 53  |
| 第十二节 活塞式压缩机的分类 .....                     | 53  |
| 第十三节 臥式氨压缩机 .....                        | 57  |
| 第十四节 立式氨压缩机 .....                        | 76  |
| 第十五节 汽缸成角度的压缩机 .....                     | 96  |
| 第十六节 氟利昂压缩机 .....                        | 101 |
| 第十七节 細型及小型制冷机的压缩机 .....                  | 107 |
| 第十八节 活塞式压缩机主要尺寸的計算 .....                 | 121 |
| 第十九节 旋轉式压缩机 .....                        | 123 |
| 第二十节 渦輪压缩机 .....                         | 126 |
| 第四章 制冷裝置設備中的傳热 .....                     | 129 |
| 第二十一节 傳热的基本方程式 .....                     | 130 |
| 第二十二节 光滑管和鱗片管中的傳热 .....                  | 135 |
| 第二十三节 平均溫度差 .....                        | 140 |

|                        |     |
|------------------------|-----|
| 第二十四节 液体、蒸气和气体的散热      | 143 |
| 第五章 冷凝器                | 146 |
| 第二十五节 冷凝器中的傳热          | 147 |
| 第二十六节 冷凝器的結構           | 150 |
| 第二十七节 冷凝器的計算           | 168 |
| 第六章 蒸發器                | 172 |
| 第二十八节 蒸發器中的傳热          | 173 |
| 第二十九节 鹽水蒸發器的結構         | 175 |
| 第三十节 小型制冷机的蒸發器         | 183 |
| 第三十一节 蒸發器的計算           | 186 |
| 第三十二节 冷藏庫庫房盤管          | 188 |
| 第七章 冷風机                | 194 |
| 第三十三节 冷風机的型式及構造        | 194 |
| 第三十四节 冷風机的計算           | 199 |
| 第三十五节 空气調节器            | 207 |
| 第八章 制冰設備               | 209 |
| 第三十六节 生产塊冰的制冰設備        | 209 |
| 第三十七节 生产柱冰的制冰設備        | 216 |
| 第三十八节 蒸發器-制冰机          | 217 |
| 第三十九节 制冰設備的計算          | 219 |
| 第九章 制冷裝置的輔助設備及管閥仪表     | 221 |
| 第四十节 油分离器及集油器          | 221 |
| 第四十一节 貯液桶              | 225 |
| 第四十二节 液体分离器、热交換器及中間冷却器 | 226 |
| 第四十三节 除塵器              | 229 |
| 第四十四节 空气分离器            | 231 |
| 第四十五节 关闭閥門             | 233 |
| 第四十六节 管及其連接            | 240 |
| 第四十七节 压力表              | 244 |
| 第四十八节 鹽水泵              | 245 |
| 第四十九节 鼓風机              | 249 |

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| 第十章 氨系統及鹽水系統                 | 253 |
| 第五十節 直接蒸發式氨制冷裝置系統            | 253 |
| 第五十一節 鹽水系統                   | 257 |
| 第五十二節 除霜及除油                  | 261 |
| 第十一章 制冷組合機及小型制冷裝置            | 265 |
| 第五十三節 壓縮機-冷凝器組合機             | 265 |
| 第五十四節 機器冷卻式冷藏櫃               | 278 |
| 第五十五節 可拆卸的冷藏房                | 288 |
| 第五十六節 冷藏櫃台及陳列窗式櫃台            | 292 |
| 第五十七節 冰淇淋貿易設備                | 295 |
| 第十二章 制冷機的自動化                 | 300 |
| 第五十八節 制冷機自動化的意義              | 300 |
| 第五十九節 自動儀器                   | 301 |
| 第六十節 制冷機自動化的主要系統             | 328 |
| 第十三章 吸收式制冷機                  | 335 |
| 第六十一節 吸收式制冷機的作用原理            | 335 |
| 第六十二節 吸收式機的热力学原理             | 337 |
| 第六十三節 吸收式機的类型                | 339 |
| 附录:                          | 349 |
| 1. 飽和氨氣表                     | 349 |
| 2. 氨的理論單位容積產冷量               | 353 |
| 3. 飽和二氯二氟甲烷 (氟利昂-12) 蒸氣表     | 355 |
| 4. 二氯二氟甲烷 (氟利昂-12) 的單位容積產冷量表 | 360 |
| 5. 氯化鈉鹽水的物理性質                | 361 |
| 6. 氯化鈣鹽水的物理性質                | 362 |
| 7. 在不同濃度和溫度下的氯化鈉鹽水的比重        | 363 |
| 8. 在不同濃度和溫度下的氯化鈣鹽水的比重        | 364 |
| 9. 氨的 T-S 圖                  |     |
| 10. 氟利昂-12 的 T-S 圖           |     |
| 11. 氨的 $\log p-i$ 圖          |     |
| 12. 氟利昂-12 的 $\log p-i$ 圖    |     |
| 参考文献                         | 365 |

## 序

人造冷对苏維埃貿易具有重大的意义。在苏联貿易部所屬各貿易企業中貯藏着肉、魚、乳品和水菓、罐頭、脂肪、飲料以及其它各种易腐食品。

从冷藏庫發出的食品，运到批發站、倉庫、商店和食堂之后，仍旧需要利用人造冷的条件加以保藏。不採用冷藏而要保持易腐食品的質量是完全不可能想象的。小型冷藏裝置——櫃台、冷藏櫃、櫥窗以及庫房已經被广泛地使用在貿易和公共飲食企業中。

在国民經濟的其它許多部門中也需使用人造冷。在化学工業中，生产各种化学用品时要用冷；在採礦業中，挖掘坑井和隧道时要用冷；冶金業中，在低温下試驗各种材料时也要用冷，还有其它等等。

人造冷能促使原材料易于保藏，能改善許多工業部門的技术操作过程，能冷却住宅及工業厂房中的空气。

俄国第一次使用 制冷机 是在 1888 年。开始使用在水运方面，往后才使用到食品企業中。在沙皇俄国，永久性的冷藏庫为数極少。国内沒有制冷机械的制造工業，冷藏事業不甚發達。

仅在偉大的十月社会主义革命以后，制冷工業才得到了广泛的发展。

在我国已經建立了强大的制冷机械制造業的生产技术基础。莫斯科“壓縮机”厂生产大型和中型的制冷机，莫斯科“紅火炬”和“火星”厂生产小型氟利昂制冷机，敖德薩斯大林厂生产产冷量小和产冷量中等的制冷机，雅罗斯拉夫尔汽車修配厂生产 ЯК-10 型氨組合机，哈尔科夫“緬哈諾里特”厂生产小型氟利昂

組合機。在約什卡-奧拉及柳別爾崔等地、貿易設備總局所屬工廠生產冷藏櫃台、櫥窗、冷藏箱、拆卸式冷藏庫房等。斯大林汽車製造廠及莫斯科“瓦斯設備”廠生產家用電氣冰箱。

目前非常重視貿易和公共飲食企業中冷藏設備的裝備問題。

第十九次黨代表大會根據蘇聯 1951~1955 年第五個五年計劃發出指示，要擴展食品商店和公共飲食企業的貿易網，大大增加冷藏庫和倉庫的建築，進一步用冷藏設備裝備食品商店、食堂、飯館、倉庫。貿易業中的機器冷藏裝置的數量在顯著地增加。1948 年貿易網中共有 1,650 台冷藏裝置，而到 1952 年卻達到了 18,000 台。到第五個五年計劃期末，貿易網中將有 40,000 台冷藏裝置。

蘇聯部長會議和蘇聯共產黨中央委員會所作“關於進一步發展蘇維埃貿易的措施”的決議中規定：在 1954~1956 年間要大量增加貿易和公共飲食企業數目，並以冷藏設備裝備這些企業。冷藏庫的容量將增加 575,000 噸。

為蘇維埃貿易培養冷藏事業的專門人材具有重大的意義。

本書系蘇聯貿易及公共飲食業中等技術學校制冷機器與設備一課程的教科書，是根據業經批准的教學大綱編寫的。

在本教科書中，基本上是講解貿易和公共飲食企業中比較廣泛使用的，不大的壓縮式制冷機。關於吸收式制冷機僅作了簡短的說明。

本書一至六章為 E. B. 馬利金娜編寫，七至十三章為 E. B. 伊林編寫。

批評和意見請逕寄莫斯科基洛夫街 47 號，國立貿易出版社。

# 第一章 制冷机的热力学原理 及工作过程

## 第一节 冷却的物理学原理

冷却——意即除去物体的热量。此一过程往往是与温度降低同时發生的。一物体可从另一物体中夺取热量，但該物体的温度須低于被夺去热量物体的温度，因为热仅能从較高温的物体傳导至較低温的物体。因此，自然冷却的程度仅能达到我們周圍介質的温度，例如达到空气或水的温度为止。但是，空气和水的温度是随季节变化的。所以，在冬季时，我們可以將所需冷却的物体自然冷却到較低的温度，而在夏季，冷却达到的極限温度却很高。欲將一物体的温度降低到比周圍介質的温度更低，則只能借助于人工的方法才能达到。利用人工冷却可不受季节的限制，而能达到各种不同温度的冷却程度。

有一項專門技术能保証人工冷却，此即制冷工程，它本身有各种不同的技术上的方式方法，使需要冷却的介質获得低温。

需要冷却的介質可能是易腐食品的冷藏庫，制冰时的水，或是挖掘坑井时含水層的土壤，等等，冷却的方法也各有不同。

制冷工程系利用下列物理过程达到冷却的：

- (1) 熔解：固体变成液态。
- (2) 昇华：固体直接变成气态。
- (3) 沸騰：液体变成气态。

上述各过程均在固定的温度下进行，該固定温度取决于物体的物理性質。經常伴随这些过程而發生的是吸热，凡熔点及

昇华点低的物体均可利用作为制冷技术中的冷却剂。属于此种冷却剂的有熔点为 $0^{\circ}$ 、溶解热为 80 大卡/公斤的冰和冰鹽混合物，后者熔点更低，並取决于鹽水的濃度。昇华点低的物体，当推固体二氧化碳，即所謂“干冰”。此种冰在尋常大气压力之下，于 $-78.9^{\circ}$  时即昇华，此时每一公斤的干冰約需吸收 137 大卡的热量。

上述的冷却剂在吸取被冷却介質的热量时，即改变本身的物态，並失去冷却的能力。

为要不停歇地获取人造冷，利用机器是最普遍和最方便的方法。工質是机器制冷中的低温源泉，借助于制冷机，工質的温度能維持在低的水平。

制冷机中採用的工質（制冷剂）通常是在大气压力之下沸点低的液体，其中最普遍採用的是氨、二氧化硫和氟利昂等。

这些液体在制冷机中改变其本身的物态，同时在沸騰过程中吸取被冷却介質的热量，这样便达到冷却的目的。

將液体的压力降低，能使液体的沸点降低。例如，水在大气压力之下于 $100^{\circ}$  时沸騰，当压力降低到 0.006 絕對压力时，其沸点便降到 $0^{\circ}$ 。氨( $\text{NH}_3$ )在大气压力之下（760 毫米水銀柱），于 $-33.4^{\circ}$  时沸騰，但当压力降低到 0.5 絕對压力时，其沸点相应地降到約 $-46^{\circ}$ 。

此外，也有採用不改变本身物态的工質的，例如，空气即是此种工質之一。空气在吸取被冷却介質的热量时，它本身的温度也昇高。

利用机器进行不停歇的冷却时，被冷却介質（例如冷藏庫內的空气）的热量傳遞至温度較低的工質，然后工質將其所吸收的全部热量再傳遞至温度較高的周圍介質（例如水或空气）。

从热力学得知，欲吸取低温介質的热量，並將它傳遞給温度較高的介質，需要消耗功，此种功亦为傳动制冷机所必需的。

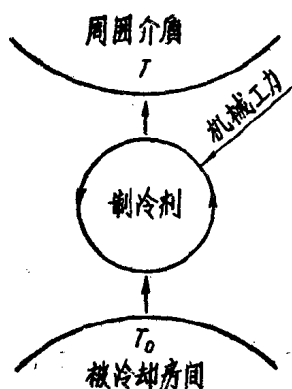


圖 1 制冷机的工作原理略圖

圖 1 系制冷机的工作原理略圖。圖中被冷却的房間为供熱体，它具有溫度  $T_0$ ，較周圍介質的溫度  $T$  为低。較熱的周圍介質为受熱体。

## 第二节 加諾逆轉循环

利用机器进行不停歇的冷却过程，必須使工質（制冷剂）完成制冷循环。圖 2 所示加諾逆轉循环即为此种循环之一種。

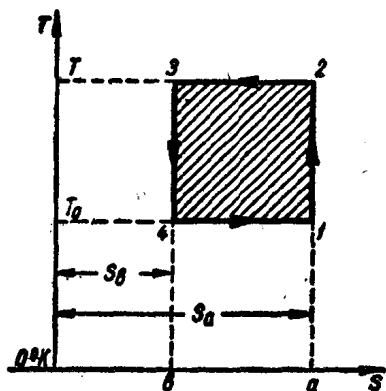


圖 2 加諾逆轉循环

加諾循环由二根等溫綫和二根絕熱綫組成。

在 4~1 等溫过程中，供熱体的热量傳遞給工質，此时供熱体的溫度  $T_0$  不变。在 1~2 工質的絕熱压縮过程中，与周圍介質不發生热的交換，但此时工質的溫度由  $T_0$  昇到  $T$ 。在 2~3 等溫过程中，工質的热量傳遞給受熱体，但溫度穩定不变。在 3~4 絕熱膨脹过程中，工質的溫度由  $T$  降到  $T_0$ 。

加諾循环的条件是要供熱体与工質，及受熱体与工質之間

沒有溫差，也就是說  $T_0$  為工質和供熱體的溫度，而  $T$  為工質和受熱體的溫度。為實現  $4 \sim 1$  和  $2 \sim 3$  吸熱和放熱的等溫過程，應假設有兩個無窮大的物體（供熱體和受熱體）在熱交換過程中它們的溫度不變。

由於加諾逆轉循環的完成，具有  $T_0$  低溫物體的熱量在  $4 \sim 1$  等溫過程中傳遞給工質，因此而達到冷卻的目的（或將物體的溫度保持在穩定的低水平）。在  $2 \sim 3$  過程中，工質的熱量傳遞給具有高溫  $T$  的物體。要實現這種熱量的轉移，必須將具有低溫  $T_0$  的工質改變成具有較高的溫度  $T$ ，這已為循環中的  $1 \sim 2$  絕熱壓縮過程所保證。為要實現絕熱壓縮過程，須消耗壓縮功  $AL_{\text{сж}}$ 。最後在  $3 \sim 4$  絕熱膨脹過程中，工質的溫度由  $T$  降到  $T_0$ ，與此過程同時也產生了有效膨脹功  $AL_{\text{расм}}$  ( $A = \frac{1}{427}$  大卡/公斤·公尺)。壓縮功與膨脹功之差，即為逆轉一周的過程所需消耗的功  $AL$ ：

$$AL = AL_{\text{сж}} - AL_{\text{расм}}$$

這樣，由於完成了逆轉一周的過程，具有低溫  $T_0$  的物體的熱量  $q_0$  被吸走，並傳遞給具有高溫  $T$  的物體。 $AL$  功變成熱，並傳遞給工質。因此，傳遞給高溫物體的熱量不僅是從被冷卻物體中所吸取的熱量  $q_0$ ，同時還有與消耗的  $AL$  功相當的熱量。傳遞給工質的熱量必須等於放出的熱量。因此，熱量平衡方程式的形式為：

$$q_0 + AL = q_k \dots \dots \dots (1)$$

式中  $q_0$  — 工質從被冷卻物體中吸取的熱量，

$AL$  — 工質所吸收消耗的功的熱功當量，

$q_k$  — 工質所放出並為高溫物體所吸收的熱量。

在  $T-S$  (溫熵) 圖中 (圖 2)，熱量  $q_k$  用面積  $a-2-3-b$  來表示。

热量  $q_0$  用面积  $a-1-4-b$  来表示。

用热量表示的完成逆轉循环所消耗的功  $AL$ , 可从热量平衡方程式中求出:

$$AL = q_k - q_0.$$

在  $T-S$  圖中,  $AL$  用斜綫所标面积  $1-2-3-4$  来表示。

制冷循环的效率以工况系数  $\varepsilon$  評定,  $\varepsilon$  等于被冷却物体放出的热量  $q_0$  与所消耗的机械功  $AL$  之比。

$$\varepsilon = \frac{q_0}{AL} \dots\dots\dots (2)$$

在  $T-S$  圖中,  $q_0$  及  $AL$  用面积表示, 对加諾循环而言等于:

$$q_0 = T_0(S_a - S_b)$$

$$AL = (T - T_0)(S_a - S_b)$$

將上二式代入式 (2) 中:

$$\varepsilon = \frac{T_0(S_a - S_b)}{(T - T_0)(S_a - S_b)} = \frac{T_0}{T - T_0} \dots\dots\dots (3)$$

式 (3) 說明: 加諾循环的工况系数与工質的性質無关, 仅取决于温度  $T_0$  和  $T$ , 即被冷却介質的温度  $T_0$  和接收热量的介質温度  $T$ 。

在制冷机的实际工作条件下, 被冷却介質可能是食品的冷藏庫, 也可能是制冰时的水, 等等。而作为接收制冷剂的热量介質, 通常是选用周圍环境中最低廉的物体, 如水或空气。

工况系数  $\varepsilon$  愈高, 則被冷却介質的温度  $T_0$  愈高, 而冷却水或空气的温度  $T$  愈低。  $\varepsilon$  值高証明制冷机的工作經濟。

加諾循环的特点是完成制冷循环所消耗的功的值極小。

在实际情况中, 供热体的温度, 即被冷却介質的温度, 經常是高于工質的温度的。这样, 热在  $4 \sim 1$  的过程中便会自然

地傳遞給工質。受熱體溫度，即水或空氣的溫度，經常是低於工質的溫度的。這樣，熱也就會由工質傳遞給水或空氣（在2~3過程中）。

在有溫差存在時發生的熱交換過程為不可逆過程，而一切不可逆性均引起損失。由於存在有溫差所引起的不可逆損失，就使制冷機中需要補充消耗無益的功。

可是，減少溫度落差必然要增加進行熱交換過程的熱交換器的表面積。因此還應盡量不使熱交換器過份龐大和昂貴。

我們講解了加諾逆轉循環，完成此一循環，必須消耗機械功  $AL$ ，但應當指出，這種逆轉循環也可借從外部加入的熱能而實現。

據此，現有的各種制冷機可以分為兩類。

屬於第一類制冷機的是壓縮式制冷機。根據制冷劑的不同，它們又分為空氣的和蒸氣的兩種型式。目前蒸氣的壓縮式制冷機已被廣泛地採用。這種制冷機中所使用的工質，即制冷劑，為在大气壓力之下沸點低的物質。這種制冷劑在制冷機中進行循環時即改變本身的物態，循序不斷地由液體變成蒸氣，再由蒸氣變為液體。蒸氣制冷機中最普遍採用的制冷劑是氨（ $\text{NH}_3$ ）、二氯二氟化甲烷（氟利昂-12、 $\text{CF}_2\text{Cl}_2$ ）、二氧化硫（ $\text{SO}_2$ ）、氯甲烷（ $\text{CH}_3\text{Cl}$ ）、等。

屬於第二類制冷機的是靠消耗從外部加入的熱能而製冷的，這有吸收式和蒸汽噴射式制冷機。吸收式制冷機中採用的工質為各種不同的混合物，主要是水氨溶液。蒸汽噴射式制冷機中的工質是水蒸汽。

本教科書中將對蒸汽壓縮式制冷機詳加說明，並對吸收式制冷機作簡略說明，至空氣及蒸汽噴射式制冷機則不予介紹。

### 第三節 蒸氣壓縮式制冷機的循環

圖3系由壓縮機、冷凝器、膨脹汽缸和蒸發器所組成的制

冷机原理略圖。該机的全部構件均用管道順序联接。此制冷机是在湿蒸气領域內实现制冷循环的（此种循环如圖 4 所示）。

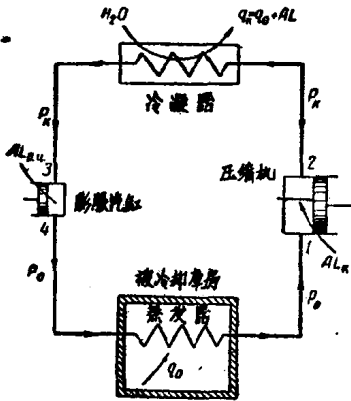


圖 3 制冷机的工作略圖

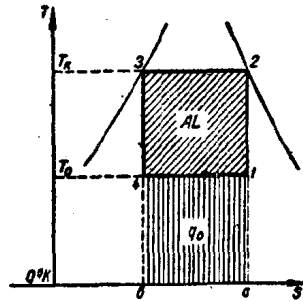


圖 4 在湿蒸气領域中的  
蒸气制冷机循环

压缩机在压力  $P_0$  下，在状态 1（圖 3）时吸入蒸发器中制冷剂的湿蒸气，並絕热压缩至更高压  $P_k$  此时气温亦从  $T_0$  昇高到  $T_k$ 。为要实现压缩过程，压缩机中需消耗功  $AL_k$ 。被压缩的蒸气在干饱和气态下排入冷凝器。制冷剂在冷凝器中被水或空气冷却。这样的結果，制冷剂便由饱和气态变成液态，也就是說在 2~3 过程中冷凝。冷凝过程也正和沸騰过程一样，是在固定温度和固定压力之下进行的。在状态 3 时，液体制冷剂进入膨胀汽缸，並在汽缸中絕热膨胀到状态 4。在 3~4 膨胀过程中，压力由  $P_k$  降落到  $P_0$ ，与此同时，制冷剂的温度亦降落到  $T_0$ 。状态 4 下的低温制冷剂进入蒸发器。制冷剂在蒸发器中吸收被冷却介质的热量，並在固定压力  $P_0$  和固定温度  $T_0$  下沸騰，同时从状态 4 轉入状态 1。在状态 1 下的制冷剂再度被压缩机吸入，如此循环不息。

制冷剂从被冷却介质中吸取的热量决定制冷机的产冷量。在  $T-S$  圖中（圖 4），产冷量用面积  $a-1-4-b$  計算。