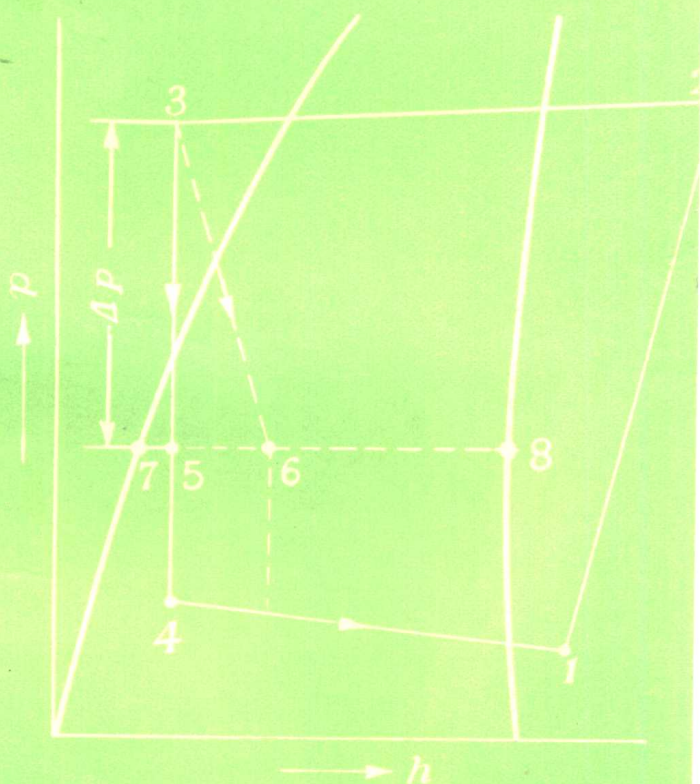


实用制冷技术习题集

〔日〕 宝谷幸男著
冯亦步译



农 业 出 版 社

实用制冷技术习题集

〔日〕宝谷幸男 著
冯亦步 译

农业出版社

冷冻工学实用例题演习

宝谷幸男 著

コロナ社 1976年10月

实用制冷技术习题集

〔日〕宝谷幸男 著

冯亦步 译

农业出版社出版 (北京朝内大街130号)

新华书店北京发行所发行 农业出版社印刷厂印刷

787×1032毫米32开本 7.375印张 163千字

1982年9月第1版 1982年9月北京第1次印刷

印数 1—14,500册

统一书号 15144·638 定价 0.92元

译 者 的 话

本书是日本东京水产大学宝谷幸男教授编著的制冷习题集，是日本标准机械工学习题丛书的第七集。该习题集内容较全面，既有基本理论，又有例题演示，对高等学校和中等专业学校制冷专业的师生及从事制冷技术工作的科技人员都有一定参考价值。因此，在领导和同志们的支持下，于一九七八年底将该书译成中文。原书个别习题计算有误，译出时已作了订正。

承商业部设计院高健同志审阅了译文，并提出宝贵意见。书中插图全部由黑龙江商学院制冷教研室于国圣老师绘制。在此，一并表示深切的谢意。

限于译者的专业知识和外文水平，不妥与错译之处势所难免，恳望读者提出批评教正。

冯亦步

一九八〇年三月于黑龙江商学院制冷教研室

前 言

远在明治初年，制冷装置就已传入我国，当时主要用于制冰及鱼类冷藏。以后，制冷的应用范围逐渐扩大，而今，不仅食品工业应用制冷，在化学工业、土木建筑、空调、服务行业等领域里，制冷技术也是不可缺少的。家用电冰箱及冷却器等民用方面已达到很高的水平；液化天然气的液化（ -161.5°C ）也是人工制冷的内容之一。因此，制冷的温度范围有了显著的扩大，在质和量上都有明显的提高。因此，制冷机的生产，包括辅机在内，在我国现在的机械工业中，占很重要的地位。

随着人民需要的进一步增长，制冷机的生产在今后可望有更进一步的发展。另外，制冷装置作为热泵装置使用，对于当今节约能源，也具有巨大意义的。

如上所述，制冷装置在质和量上都是多种多样的。本习题集是以制冷装置的设计和有效利用方面的实用指南和实际练习为目标而尝试编写的一本有独创性的书。因此，对与制冷技术有关的学生和技术人员，以及准备参加根据《高压气体管理法》而举行的制冷机管理技术人员资格考试或准备取得其它资格的人，本书也是很有裨益的。只是第六章中 6.1、6.2、6.3 的基础知识和与此有关的习题例外，这些习题涉及稍高的知识水平，这一部分可以理解为是设计上的练习。

本书除工程单位制外，也介绍了国际单位制。此外，为

统一物理量的符号，本书第二章中还介绍了国际标准化机构 (ISO) R786 (1968) 所规定的国际制冷用物理量符号并在本书中进行运用。

此外，书中对一些例题、习题的计算结果及其数值，还从实用角度适当地加了一些说明，以求在加深理解的同时，能作为应用上的指南。倘本书能给读者以所得，便是著者极大的慰借。

著 者

一九七六年十月二日

目 录

第一章 制冷装置概述	1
1.1 蒸汽压缩式制冷装置	1
1.2 吸收式制冷装置	4
习题	5
第二章 制冷用物理量单位、符号及换算表	7
2.1 与制冷有关的主要物理量单位	8
2.2 功率的单位	12
2.3 制冷能力	13
2.4 温度和温度差的单位	15
2.5 与热量有关的单位	15
2.6 物理量的符号及其单位	16
习题	21
第三章 蒸汽压缩式理论制冷循环	22
3.1 压—焓图	22
3.2 单级制冷循环	23
3.3 单级热泵循环	26
3.4 两级压缩制冷循环	27
3.5 二元复叠式制冷循环	30
3.6 带中间容器的制冷循环	31
3.7 用温—熵图表示的蒸汽压缩式制冷循环	39
习题	40
第四章 压缩机	43
4.1 往复式压缩机	43
4.2 回转容积式压缩机	55
4.3 离心式压缩机 (涡轮式压缩机)	57
习题	65

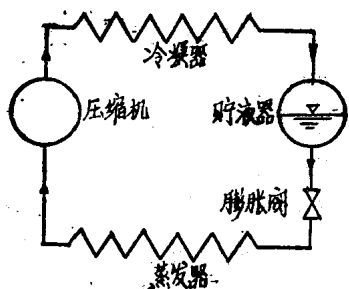
第五章	制冷剂	67
5.1	对制冷剂的要求	67
5.2	氨与氟利昂制冷剂的特性	70
习题		72
第六章	热交换器	74
6.1	热交换	74
6.2	冷凝器	82
6.3	蒸发器	107
习题		121
第七章	实际制冷装置及其制冷循环	125
7.1	带汽液热交换器的制冷装置	125
7.2	用汽液分离器分离出来的液体制冷剂 使高压液体制冷剂再冷却的制冷装置	126
7.3	满液式蒸发器的制冷装置	128
7.4	带有抽油装置的液体制冷剂强制循环式制冷装置	130
习题		132
第八章	控制机构与管路连接	135
8.1	膨胀阀	135
8.2	蒸发压力调整阀	140
8.3	吸入压力调整阀	140
8.4	冷却水量调节阀	141
8.5	电磁阀	142
8.6	压力开关	143
8.7	管路内的压力降	145
8.8	回油管路	149
习题		151
第九章	隔热与防潮	153
9.1	由外部侵入冷库的热量	153
9.2	防潮	158
习题		161
习题解答		163
附录		221

第一章 制冷装置概述

当前使用的制冷装置几乎都是蒸汽压缩式制冷装置，吸收式制冷装置主要用于空调，其余很少一部分则采用其它形式的制冷装置。

1.1 蒸汽压缩式制冷装置

如图1—1所示，由于吸收了低温物体的热量，使蒸发器中的液体制冷剂蒸发，如果用常温的水或空气作为冷凝介质使制冷剂蒸汽冷凝为液体，应将该蒸汽压缩至冷凝压力，用水或空气在冷凝器中将压缩后的制冷剂蒸汽冷凝为液体以后，再将冷凝成的高压液体制冷剂经膨胀阀送往低压蒸发器。我们称这种装置为蒸汽压缩式制冷装置。



因为这种装置是将热量从低温物体移至高温物体，

因此，根据热力学第二定律，必须有补偿能量。我们是用压缩机将补偿能量加给制冷剂的。例如在空调制冷中，所需要的补偿能量大约是制冷剂在蒸发器中所吸收的热量的20%。制冷剂的蒸发温度越低，那么所需要的补偿能量就越多。例如，当

制冷剂在 -15°C 下蒸发时，补偿能量大约是制冷剂所吸收热量的30%。因此，在空调制冷装置的运转中，在平衡状态下于冷凝器中排给冷却水的热量大约是空调房间热负荷的120%，因而需要与之相平衡的冷凝器。

现用压缩机有往复式压缩机、旋转式压缩机、螺杆压缩机等容积式压缩机和回转式的涡轮压缩机，其中往复式压缩机的使用量最多，其次是用于家用冷却器的旋转式压缩机。从制冷能力来看，往复式用于中小容量，旋转式几乎都用于小容量，螺杆式用于中大容量，涡轮式则用于大容量。

当需要 -30°C 以下的蒸发温度时，由于压力比增大，压缩机的工作状况会恶化，同时，使压缩机的排气温度升高，混在排气中的润滑油的质量也会降低，从而影响了压缩机的使用寿命。使润滑油质量降低的温度一般是 120°C 以上。由于这些原因，除特殊情况外，当蒸发温度在 -30°C 以下时，都要采用两级压缩制冷。

图1-2表示了作为两级压缩制冷方式之一的两级压缩一次节流制冷装置。蒸发器中的制冷剂蒸汽被图中的低压级压缩机吸入并被压缩至中间压力。高温的排出气体在称为中间冷却器的冷却器中被冷却之后，在高压级压缩机中被第二次压

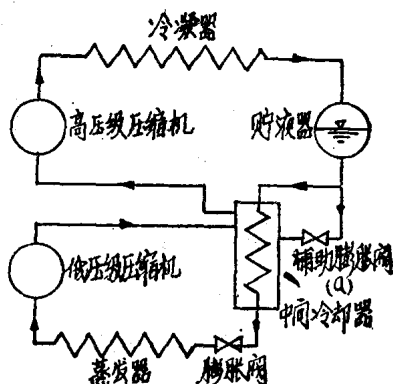


图1-2 两级压缩一次节流制冷装置简图

缩。由旁通支路来自贮液器的液体制冷剂经膨胀阀后，在中间压力下于中间冷却器中蒸发，在冷却低压级压缩机排出气体的同时，又增大了送往蒸发器的液体制冷剂的过冷程度，从而使制冷剂在蒸发器中的制冷效果更大。

在两级压缩制冷中，除上述两级压缩一次节流方式外，也使用两级压缩两次节流方式，将在第三章中予以介绍。

当需要 -70°C 以下的蒸发温度时，即使采用两级压缩方式，压力比仍然过大。为了解决压力比过大的问题，虽然考虑过三级压缩方式，但由于温度很低，致使低压级压缩机吸入气体的比容非常大，用往复式压缩机很难吸入。因此，采用三级压缩方式在实际上是困难的，在这种情况下，一般采用下述二元复叠式制冷装置。

二元复叠式制冷装置是这样一种制冷装置：它所使用的制冷剂即使在低温下也具有较小的比容和一定的压力，若是用常温的水或空气使压缩后的这种制冷剂蒸汽冷凝的话，会使冷凝压力过高，为了避免冷凝压力过高，一般不用常温的水或空气而是采用一般制冷剂的另外一个制冷装置来使之冷凝。图1—3表示了该装置的略图，让低温段制冷装置的冷凝器与采用一般制冷剂的制冷装置的蒸发器进行热交换。

上述二元复叠式制冷装置用于获得 -120°C 以上的低温，在沸点为 -161.5°C 的天然气（甲烷）的液化中，则使用图1—4所示的三元复叠式制冷装置以生产液化天然气。也即用以乙烷作制冷剂的制冷装置的蒸发器来冷却以天然气作制冷剂的制冷装置的冷凝器，再用以丙烷作制冷剂的制冷装置的蒸发器来冷却以乙烷作制冷剂的制冷装置的冷凝器。无论哪一段制冷装置，全都使用大容量的涡轮式压缩机。

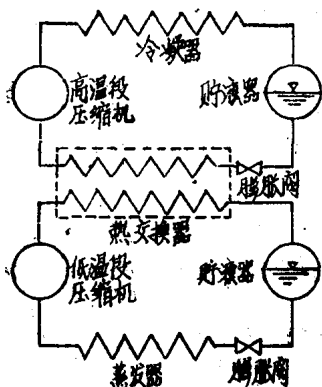


图1—3 二元复叠式制冷装置略图

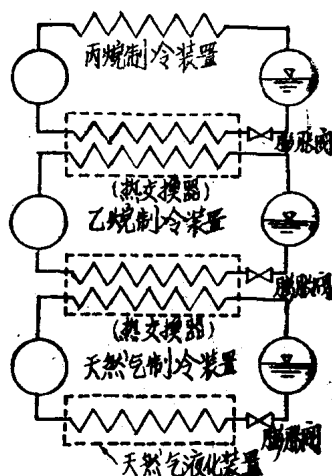


图1—4 液化天然气用三元复叠式制冷装置略图

用三元复叠式制冷装置所能获得的低温是利用蒸汽压缩式制冷装置目前在工业上所能制取的最低温度。

1.2 吸收式制冷装置

在吸收式制冷装置中，给予制冷剂的不是压缩功而是热能。过去使用的吸收式制冷装置用氨作制冷剂。将图1—5中发生器中的浓氨水加热时，便有氨蒸汽蒸发出来，将其在冷凝器中冷凝成液体，再经膨胀阀送往蒸发器，使之进行制冷。在蒸发器中蒸发形成的氨蒸汽在吸收器中被流入吸收器的稀氨水溶液吸收，这些稀氨水溶液是在发生器中被稀释的（见图1—5）。氨蒸汽在吸收器中被吸收时的热量被冷却水带走。最后，再将吸收器中因吸收了氨蒸汽而变浓的氨水用泵送往发

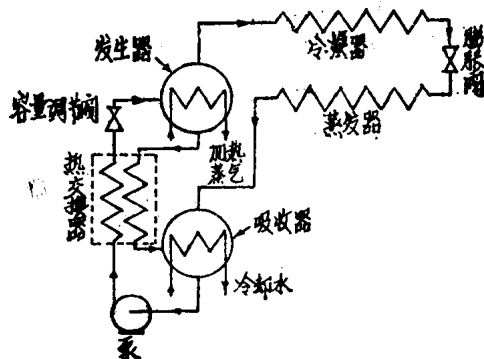


图 1—5 吸收式制冷装置简图

生器。制冷循环就这样反复进行。

虽然吸收式制冷装置早已实用,但与蒸汽压缩式相比较,对同样的制冷能力,吸收式制冷所必需的补偿能量相当大,而且设备尺寸大。因此,由于蒸汽压缩式制冷的迅速发展,吸收式制冷便不太引人注目了。近来以水作制冷剂的溴化锂—水系统的吸收式制冷装置已被用于空调中,从包括初期设备费和运转经费在内的总经费来看,还是很有利用价值的。用于空调时,既不需要高价而大容量的用电设备,同时由于可以将冬季取暖用的锅炉作为夏季空调时的热源使用,因而使锅炉的常年使用成为可能,这是吸收式制冷装置用于空调的优点。

习 题

1. 蒸汽压缩式制冷机的制冷原理是什么?
2. 在空凋制冷机中,使制冷机运转所必须加入的能量大约 是空凋房间所要除去热量的百分之几十?
3. 运转时消耗的能量相当于从低温物体除去热量的 25% 的制冷装

置，其冷凝器中的排热量大约是消耗能量的多少倍？

4. 要想用往复式压缩机获得 -30°C 的低温，除特殊情况外，必需采用两级压缩制冷，其理由是什么？

5. 要想获得 -70°C 的低温，必需采用二元复叠式制冷装置，其理由是什么？

第二章 制冷用物理量单位、

符号及换算表

在国内有关制冷的书籍、文献中,都是采用工程制单位,一些物理量也是采用各自固有的符号,对于使用者特别是初学者来说,这是很烦琐的。

国际标准化机构于1960年决定了国际单位制(SI单位),向单位的国际化迈出了第一步。与此相应,世界各地从1974年进入采用或准备采用国际单位制的阶段。日本在昭和47年(1972年)12月21日的工业技术院标准化会议上通过了改用国际单位制的决议。作为第一阶段,从1974年4月到1977年3月每次重评日本工业标准时,都在非国际单位的数值后面加上换算为国际单位的数值。看来全面改用国际单位只是时间问题了。

另外,国际标准化机构中处理有关制冷规格的ISO/TC86技术委员会做了制冷用物理量符号及单位符号的规格化工作,并于1968年7月国际标准化机构会议上作为“R786制冷单位与符号”定为国际标准化机构的推荐规格。

从世界趋势来看,最近发行的有关制冷的国外图书及研究论文中,采用上述国际标准化机构推荐的物理量符号及单位符号的正在逐渐增多。考虑到世界趋势和开头就叙述过的因符号不统一造成的烦琐,本书全部采用国际标准化机构R786规格,但考虑到长期来的使用习惯,在需要使用“日本

工业标准”单位的地方，都将其与国际单位制并用。另外，这一章还介绍了工程单位制与国际单位制的关系，并附有与制冷有关的常用单位换算表。

2.1 与制冷有关的主要物理量单位

制冷装置是消耗能量、将热量从低温物体移至高温物体的装置。因此，我们最关心的是在一定的温度条件下以最小的代价达到制冷的目的，同时，如何使热量很容易地为传热介质（制冷剂）吸收和放出也是很重要的技术问题。因此，与这些问题有关的单位被经常使用着。

2.1.1 力的单位

在以前的制冷书籍中，一般使用工程单位制，究竟公斤（kg）是表示重量或力还是表示质量，如不预先说明是不容易知道的。在国际单位制中，公斤是质量的单位，表示力或重量时用牛顿（N）。在现行的“日本工业标准”中，用公斤力（kgf）表示力，以便与公斤相区别。

根据牛顿第二定律，力等于质量×加速度。在国际单位制中，

$$1 \text{ 牛顿} = 1 \text{ 公斤} \times 1 \text{ 米/秒}^2$$

$$(1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \times 1 \text{ m/s}^2)$$

因此，

$$1 \text{ 公斤力} = 9.80665 \text{ 牛顿} \approx 9.81 \text{ 牛顿 (大约 } 10 \text{ 牛顿)}.$$

压力P和应力 σ 的单位采用牛顿/米²（称为帕斯卡，简称帕，以Pa表示）或者牛顿/毫米²。它与现在使用的公斤力/厘米²之间的关系是：

$$1 \text{ 公斤力/厘米}^2 = 98066.5 \text{ 帕 (N/m}^2\text{)}$$

$$= 0.0980665 \text{ 牛顿/毫米}^2 \doteq 98100 \text{ 帕}$$

$$= 0.0981 \text{ 兆帕 (MPa)}$$

($g = 9.80665 \text{ 米/秒}^2$ 是国际上公认的标准重力加速度值)

此外, 作为压力单位, 在国际单位制以外, 也使用称为巴 (bar) 的单位:

$$1 \text{ 巴} = 10^5 \text{ 牛顿/米}^2 = 10^5 \text{ 帕}$$

$$= 1.019716 \text{ 公斤力/厘米}^2$$

$$\doteq 1.02 \text{ 公斤力/厘米}^2$$

在制冷装置中, 除小型民用装置外, 都必需装置普尔顿压力表和温度计, 以便了解制冷剂的状态。众所周知, 普尔顿压力表是一种压力测定器, 将欲测定的压力加到压力表的断面为矩形或椭圆形的弯管中, 由于该欲测压力与大气压力的差值使弯管改变弯曲度, 根据弯管的弯曲程度, 即可间接地测知欲测压力的大小。由此测得的压力被称为表压力 (计示压力)。普尔顿管内压力与大气压力相等时, 压力计上的刻度为 0 公斤力/厘米²。因此, 要想由表压力了解真实的绝对压力, 可以利用下述公式:

$$\begin{aligned} \text{绝对压力 (kgf/cm}^2 \cdot \text{abs)} &= \text{表压力 (kgf/cm}^2 \cdot \text{g)} \\ &\quad + \text{大气压 (kgf/cm}^2) \end{aligned}$$

$$(1 \text{ 标准大气压} = 1.033 \text{ kgf/cm}^2)$$

此外, 普尔顿管真空压力表也是测定与大气压差值的压力表。这种压力表的刻度是这样定的: 当管内压力与大气压力相等时, 刻度为 0 cmHg (厘米汞柱), 当管内压力比大气压力低 76 厘米汞柱时, 刻度为 76 厘米汞柱。因此, 要想由普尔顿管真空压力表了解绝对压力, 由于 $1.033 \text{ kgf/cm}^2 \cdot \text{abs}$ 相当于 76 厘米汞柱, 所以: