

中等水产学校交流讲义

制冷技术

山东省烟台水产学校主编

加工专业用

农业出版社

中等水产学校交流讲义

制 冷 技 术

山东省烟台水产学校主编

加工专业用

农 业 出 版 社

主 編 山东省烟台水产学校 余根法
协 編 山东省烟台水产学校 張言怡
审查单位 水产部中等水产专业学校教材工作组

中等水产学校交流讲义
制 冷 技 术
山东省烟台水产学校主編

农 业 出 版 社 出 版

北 京 老 錢 局 一 号

(北京市书刊出版业营业许可证出字第106号)

新华书店上海发行所发行 各地新华书店經售

上海市印刷五厂印刷裝訂

統一书号 K15141·335

1962年5月上海制型

1963年1月初版

1965年5月上海第五次印刷

印数 6,801—12,800册

开本 787×1092毫米

三十二分之一

字数 188千字

印张 七又十六分之十五

插頁 一

定价 (科四) 七 角

目 录

第一章 概論	1
§ 1-1 冷却的物理学意义和本課程的任务	1
§ 1-2 制冷的办法	1
§ 1-3 冷在国民經济各部門中的应用	5
第二章 制冷技术的理論基础	9
§ 2-1 理想气体与实际气体	9
§ 2-2 气体的热力参数	11
§ 2-3 理想气体的特性方程式	14
§ 2-4 热力学第一定律	15
§ 2-5 热力学第二定律	16
§ 2-6 焓和熵的概念	17
§ 2-7 傳热及热交换的方式	20
§ 2-8 通过平壁的穩定傳热	21
§ 2-9 通过圆壁的穩定傳热	23
第三章 蒸汽压缩式制冷循环的工作和計算	25
§ 3-1 制冷剂的狀態变化在 $\log P-i$ 图上的表示	25
§ 3-2 单級氨压缩的理論制冷循环和計算	27
§ 3-3 单級氨压缩的实际制冷循环和計算	32
§ 3-4 氨压缩机的制冷功能計算	37
§ 3-5 双級氨压缩制冷循环系統	44
第四章 制冷剂与冷媒	49
§ 4-1 制冷剂	49

§ 4-2 冷媒	60
第五章 压缩机	65
§ 5-1 立式氨压缩机的工作原理和构造	65
§ 5-2 卧式压缩机的工作原理和构造	87
§ 5-3 汽缸成角度的压缩机	91
§ 5-4 氟利昂压缩机	93
§ 5-5 双级氨压缩机	95
第六章 制冷的管路系统及其设备	100
§ 6-1 高压管路系统及其设备	100
§ 6-2 低压管路系统及其设备	122
§ 6-3 其他设备	143
第七章 冷库	155
§ 7-1 冷库的基本型式	155
§ 7-2 冷库的布置	156
§ 7-3 冷库的隔热材料及其制品	159
§ 7-4 冷库的主要隔热结构	166
§ 7-5 冷库隔热材料的计算	171
§ 7-6 冷库的热量计算	177
§ 7-7 冷库内制冷系统的型式选择	189
§ 7-8 冷风机的型式及构造	201
第八章 块冰的生产	207
§ 8-1 块冰的生产方法和设备	207
§ 8-2 块冰的种类	210
§ 8-3 贮冰库和制冰间的管理	213
§ 8-4 制冰厂的计算	214
第九章 制冷机器与设备的使用技术	223
§ 9-1 制冷机器与设备的操作	223
§ 9-2 制冷机器与设备的检修	239

第一章 概 論

§ 1-1 冷却的物理学意义和本課程的任务

冷却就是除去物体的热量。这一过程往往和溫度的降低同时发生。一物体可从另一物体夺取热量，但該物体的溫度必須低于被夺去热量的物体的溫度，因为热只能从溫度較高的物体傳导到溫度較低的物体。因此，自然冷却的程度只能使被冷却物体的溫度达到周圍介质的溫度，例如达到空气或水的溫度为止。空气和水的溫度是随季节而变化的，所以在冬季可以将物体自然冷却到較低的溫度，而在夏天，冷却达到的极限溫度就較高。要想把一物体的溫度降低到比它周圍介质的溫度更低，只有借助于人工的方法才能达到。人工冷却不受季节的限制，能够达到各种不同的冷却程度。

制冷技术就是研究人工冷却的科学。其研究范围包括：制冷过程；制冷过程的热力学原理和傳热学原理；制冷机器与設備的构造、性能、操作与維修等技术。

§ 1-2 制冷的的方法

一、制冷原理

制冷技术系根据以下原理：

(一)融解 固体吸热后变为液体叫融解。例如冰(应用最广)

在融化时,每公斤可吸收 80 仟卡的潜热;

(二) **升华** 即从固体直接变成气体。制冷中已经应用的主要是固体二氧化碳,即所谓“干冰”。这种冰在通常大气压力下的升华温度为 -78.9°C , 此时每公斤干冰约需吸收 137 仟卡的热量;

(三) **沸腾** 液体达到沸点之后即沸腾, 这时液体逐渐变成气体。制冷中应用最广的是氨和氟利昂-12, 前者在 1 大气压力之下的沸点是 -33.4°C , 在 -40°C 时每公斤氨沸腾需吸收 327.26 仟卡的热量; 氟利昂-12 在 1 大气压力下的沸点是 -29.8°C , 在 -30°C 时每公斤氟利昂-12 在沸腾时吸收的热量为 39.99 仟卡。

利用水分在高度真空条件下汽化吸热以达到制冷目的的方法, 目前也有应用。

二、制冷方法

在实际制冷生产中, 主要是根据液体变成气体时吸热的原理, 方式有以下三种:

(一) 蒸汽压缩式制冷

蒸汽压缩式制冷的系统, 主要由压缩机、冷凝器、调节阀和蒸发器组成。目前我国应用最广的压缩机是活塞式压缩机, 其系统如图 1 所示。在图中, 氨在蒸发器中沸腾吸热, 使库房降温。为了继续利用氨的沸腾吸热效应, 必须由压缩机和冷凝器将气体氨重新凝结成液体。压缩机的功用在于增加气体的压力(温度也同时升高)。冷凝器可使高温高压的气体在同

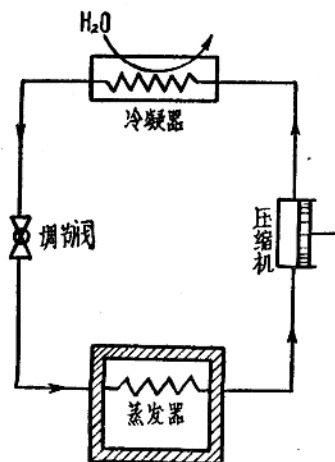


图 1 蒸汽压缩式制冷原理图

压力下冷却，并凝結成液体。調节閥能使高压液体降压到蒸发器中压力，并調节供液量。

(二)吸收式制冷 吸收式制冷与压缩式制冷不同，它需要消耗热能才能工作。

吸收式制冷机(图2)由发生器、冷凝器、蒸发器和吸收器构成。只有抽汲溶液的泵才需消耗机械能。

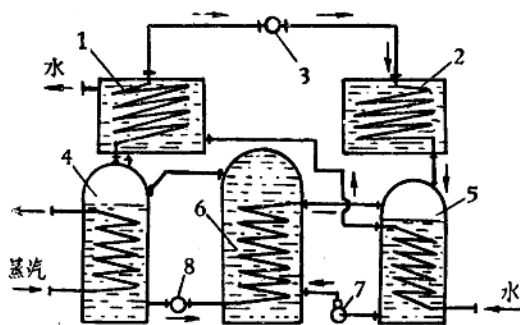


图 2 吸收式制冷原理

1. 冷凝器； 2. 蒸发器； 3. 調节閥； 4. 发生器； 5. 吸收器； 6. 热交换器； 7. 泵； 8. 稀溶液調节閥。

发生器是靠热源供給的热，将濃溶液中的制冷剂蒸发出来。此蒸发过程在高温高压下进行，相当于压缩机中的压缩和排气过程。

冷凝器、蒸发器和調节閥的功用与压缩式制冷机一样。因此其结构与压缩式制冷机中所使用的相类似。

吸收器中充满稀薄的制冷剂溶液。它在低压下吸收由蒸发器出来的制冷剂蒸汽，吸收时放出的热量，利用吸收器中的冷却盘管带走。经过吸收器后，稀溶液的濃度增高，成为濃溶液。

吸收器中吸收蒸汽的过程，相当于压缩机中的吸气过程。

泵用以将吸收器中的低压濃溶液抽至发生器。

稀溶液調节閥用以节流发生器中的高压稀溶液，使在低压下

进入吸收器。

为了提高吸收式制冷机的經濟效果和改善其工作，在其原理系統中可补装各种設備，如热交換器、精餾器等等。

在图 2 中，当濃溶液在发生器中受热时，便蒸发出制冷剂蒸汽，此过程中压力不变，而溫度有所改变。制冷剂蒸汽由沸騰器出来进入冷凝器。液体制冷剂經調节閥节流之后，在蒸发器中沸騰吸热，变成汽体。这种低温低压的制冷剂汽体，被吸收器中的稀溶液吸收，同时溶液被水冷却。生成的濃溶液由泵抽至发生器，再将制冷剂蒸发。蒸发后，发生器中留下的高压稀溶液經調节閥节流后，补充到吸收器中去。在发生器和吸收器之間設置的热交換器，可以改善制冷的热力过程。

(三)蒸汽喷射式制冷 图 3 是这种制冷方法的装置。从鍋炉中来的高压蒸汽进入主要喷射器，通过喷嘴的作用形成低压高速

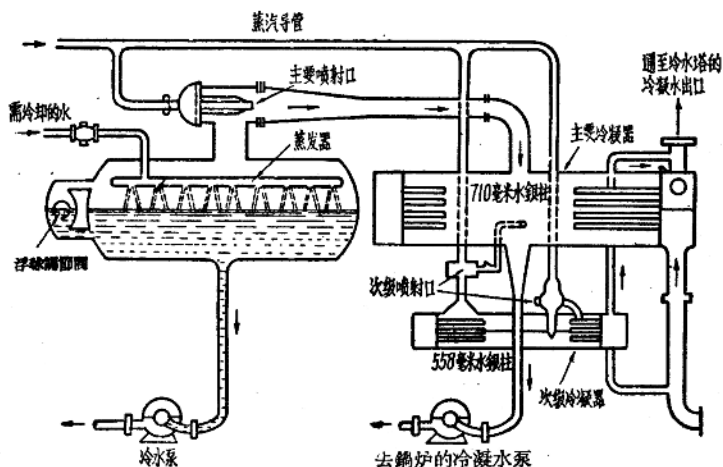


图 3 蒸汽喷射式制冷机

蒸汽流,此蒸汽流自蒸发器内带出水蒸汽,而形成蒸发器中的局部真空,经过一段时间后就造成了高度真空(約3—8毫米水銀柱)。蒸发器中蒸发的水分由于在蒸发过程中吸收其他水分的热量,因而使其他水分的温度降低。温度降低的程度与蒸发器中的压力相对应。这种低温的水可用泵送到需要冷却的地方去吸热,从而达到冷却的效应。

从主要喷嘴处出来的工作蒸汽和蒸发的水蒸汽混合物的压力与冷凝压力相等,混合蒸汽在冷凝器中放出的热量由冷却水除去。冷凝液經調节閥后部分进入蒸发器,或以普通泵送入蒸汽鍋炉。

§ 1-3 冷在国民經济各部門中的应用

一、冷在食品工业中的应用

目前,冷冻法在肉类、乳类、鱼类、禽蛋、水果和蔬菜等易腐食品的生产、运输和保藏过程中的应用极为广泛。在低温之下,使食品腐敗变质的微生物的活动和生化反应都受到抑制,从而使食品得以长期保藏。用低温方法貯藏易腐食品比其他的食品加工方法(盐漬、干制、熏制、醋漬等等)具有如下的优点:可以最大限度地保持易腐食品的新鲜状态和香味;可以最大限度地延长保藏期,和使营养成分的损失降低到最低限度。

低温处理在渔业中更具有突出的意义。由于种种原因,例如魚肉:含水分高、組成脆弱、魚死后呈碱性反应、附着在魚肉上的細菌在常温下很容易繁殖、以及魚肉含有的天然免疫素少等等,都使魚肉比其他肉类更容易变质和腐敗。另外,渔业生产的季节性很强,使用其他加工方法有相当的困难,而应用冷冻方法可以大量地处理这些产品。

二、冷在其他工业方面的应用

(一)冷在化学工业中的用途 冷在化学工业中是非常需要的,例如用冷来液化蒸汽和其他气体,分离混合的液体或气体,以及使盐类结晶。在爆炸物、苯胺染料、合成橡胶,各种酸类、矿物油和其他石油制品的制造过程中,也是常常利用冷的。

冷在人造纤维丝工厂中用途也很广,如冷却浸泡纤维素用的苛性钠,保持纤维素的低温,以及保持人造丝库中的低温。

(二)冷在矿井和炼钢工业中的用途 掘矿井和隧道时,在含水的土壤中,可以利用冷在开采处的周围造成冻土围墙,以防止水渗入,冻土壤的强度大大超过只有一层冰的强度。因为在冻土中,冰起固结作用,如砂质土含水量为其重量的 16% 时,在 -2°C 时的抗压强度为 45 公斤/厘米², -9°C 时约为 130 公斤/厘米²,冰的强度在 -12°C 时也不超过 18 公斤/厘米²。所以在这些工程中常常利用冷形成冻土的护壁,并用冷冻装置保持护壁的低温,以防止它融化。只有当不用这种护壁时,才关闭冷冻装置,冻结的土壤才逐渐融化。

在许多建筑工业部门,如修筑船坞、水闸、深掘建筑物的地基,加固某些建筑,如拱门、桥梁等,也可采用冷来冻结土壤。

在炼钢工业中,使用冷提高钢材尺寸的精密度和硬度,如淬过火的钢中有残留的奥司丁体,它能降低钢的性能而影响到钢的硬度和强度。如果淬过火的钢立刻在 -70°C — 90°C 的低温中处理之后,奥司丁体就会变成马丁体,不致发生上述缺点。

在飞机制造工业中也使用冷,以保持铝合金的可塑性。

(三)冷在制药工业中的用途 制药工业中有许多制剂的工艺过程是属于精密化学工艺的,如浓缩溶液,提取或晶析某些盐类等。为达此目的,一般是使用带有冷却套的器械,其中循环冷盐水

来达到冷却目的。

制药工业中利用冷可以保证抗菌剂如青霉素等各种抗菌素的制造。保存血清和牛痘苗时也要使用冷，因为牛痘苗和一些有机剂都需要在 $0-+5^{\circ}\text{C}$ 的温度条件下保存，许多种药品需要在 $+4-+10^{\circ}\text{C}$ 的恒温中保存。

三、冷在科学研究中的应用

许多科学研究工作中都需要使用冷，如研究低温对某些物质的影响、建筑隔热材料及橡胶产品在低温中的作用、低温对金属和其他材料的抗力和发脆性的影响等。还可以利用冷来研究在低温状况下汽车发动机的工作情况，试验在低温和空气稀薄的条件下航空器械的性能，以及检查低温条件下各种航空仪表的正确性。以上这些研究工作都必需有冷冻试验室。

选种站利用低温经过专门的蕴育和培植后，可以选出耐寒的植物。

研究土壤的抗浸蚀性时常使用冷冻装置以控制空气的温度、湿度和运动速度等。

四、冷在其他方面的用途

(一)人造溜冰场；

(二)家庭用电冰箱及冷藏柜；

(三)养花业在 0°C 和相对湿度为 85% 时保存一些花草的根茎；

(四)养蚕业在一定的低温下保存蚕卵、调节孵化时间及调节蚕在茧中发育成蛾的时间；

(五)在纺织和印染工业中调整某些药剂的温度；

(六)保存贵重皮毛、地毯和毛制品，防止虫蛾蛀蚀；

(七)保存尸体,以便确定致死原因,或供医院和研究作解剖之用;

(八)在玻璃、光学仪器、橡胶、肥皂、蜡烛、香料等工厂也使用冷处理。

第二章 制冷技术的理論基础

§ 2-1 理想气体与实际气体

根据物质构造的学說，一切物体都是由微粒即分子和原子所組成，这种微粒在不断地作无規則的运动，这种运动形成物体的热能，称为热运动。

当分子运动时，或者互相接近，或者互相离开，分子之間有分子引力存在，其大小决定于分子間的距离。因为分子之間的距离和引力的不同，物体能以三种不同的集合状态存在，即固体、液体及气体。

在固体里，分子（或原子）間的距离最近，相互間的引力也最大。在这种物体状态中，分子并不作直綫运动，而是圍繞其平衡位置作微小的振动。

固体加热时，可以轉变为液体状态。此时分子間的距离增加，分子間的引力則减少，同时分子可以作有限的运动。但是分子之間仍有相当大的引力，因此，不能作直綫运动，只能圍繞着一个可动的平衡位置振动，以及在分子之間进行相对的移动。

液体繼續加热时，可以轉变成气体。这时体积显著增加，分子間的距离增大，分子引力也减少。当体积膨胀得很大时，分子引力即很小，以致不能約束分子的运动，此时分子就作直綫运动。当分子互相碰击时，又发生旋轉的运动，而組成分子的原子則还进行着振动。

在气体中，分子引力与其他物态比較起来是很少的。当气体接近液体状态时，分子引力較大，如不断进行加热，使距离液体状态愈来愈远时分子引力就愈来愈小。

各种气体在相同的条件下，离开液体状态的程度是不同的。例如，在大气压力下，氮到 -196°C 时轉变为液体，而水蒸汽在 100°C 就可能变成水。因此，氮在大气压力下及室温下距离液体状态很远，而水蒸汽在相同的压力下及較高的温度(100°C)时仍可接近于液体状态。此时氮的分子引力很不显著，而水蒸汽的分子引力就大得多了。

增加温度或降低压力，都能使气体分子間的距离增大，因而引力也减少。气体的体积是指气体分子运动时所占据的全部容积，亦即分子与分子之間的空间及分子本身的体积之和。当体积增加时，分子本身的体积始終不变，它比起气体整个体积来是非常的小。因此，在温度較高及压力較低的时候，分子本身的体积可以略而不計，这对于气体性质的研究，就减少了复杂性。

理論上研究气体的性质，如考虑气体分子間的引力及分子本身的体积是非常复杂的。为了研究的方便，必須假想出一种气体，这种气体完全没有分子引力，而且分子本身又是許多沒有体积的质点。这种气体称之为理想气体。这种气体在自然界中并不存在，但因为在工程里所遇到的气体极近似于理想气体，其分子引力及分子本身的体积非常微小，略去不計并不使有关計算发生过大的誤差。

凡不能略去分子引力及分子体积的气体，称为实际气体。例如在蒸汽机或热交換器中的水蒸汽，因接近于液体状态，不能利用理想气体的定律及法則，必須当作实际气体来研究。

§ 2-2 气体的热力参数

表示气体热力状态的数值称气体的热力参数。气体的基本热力参数是温度、压力和比容。

一、温 度

温度这一概念是从度量物体的冷热程度而产生的。根据这一物体温度的高低，可以判断能否传热到另一个物体。如果两物体接触时，热从第一个物体传到第二个物体，则第一个物体的温度比第二个物体高。如果两物体间无传热现象，则两物体的温度相同。

根据气体分子运动学说，理想气体的分子可以自由地以很大的速度向前运动。每个分子具有动能，其大小决定于分子运动的速度与质量（即 $\frac{mv^2}{2}$ ）。在一定的温度下，气体的分子各有其不同的运动速度，但其平均速度还是不变的。温度升高，平均速度随之增大，平均动能亦增大。由此可见，气体的温度就是气体分子运动的平均动能的量度。

在工程当中，温度是用国际百度温标（°C）来度量。百度温标的 0°C 是水的冰点，100°C 是水的沸点，中间作 100 等分，每一等分为 1°C。国际百度温度用 t 表示。

在热力学计算中，常采用绝对温标（°K）。它以气体分子停止运动时作起点，称为绝对零度。绝对零度比水的冰点低 273°C。用绝对温度计算的温度称做绝对温度，以 T 表示。

$$T = t + 273.$$

两种温标中的量相等，不同的是读数的起点，所以两种温度的差数是一样的。

$$T_2 - T_1 = t_2 - t_1.$$

二、压 力

气体的压力是由于大量气体分子不断地撞击器壁所产生的。由于单分子很小，其撞击的结果无法测量，只能测出大量气体撞击的平均结果。因此，气体的压力就是代表大量分子撞击器壁的平均结果。

压力是用每单位面积上的作用力来衡量，其方向垂直于作用面。

在工程上，压力单位是公斤/厘米²，称为工程气压，或简称气压。

在物理学里，常以海平面上大气的平均压力作为一个大气压力，它相当于 760 毫米水银柱高的压力。这种大气压力称为物理大气压。

在实际应用时，极小的压力常用水柱来表示，对于同样压力来说，它比水银柱高 13.6 倍。所以：

1 毫米水银柱 = 13.6 毫米水柱。

1 物理大气压 = 10333 毫米水柱 = 10.33 米水柱。

1 工程大气压 = 10000 毫米水柱 = 10 米水柱。

如果已知 h 毫米水银柱的压力，要换算成工程大气压，可应用公式：

$$P = \frac{h}{735.6} \text{ 工程大气压}$$

测量气体的压力，可以应用如图 4 所示的容量（在容器的弯管中装有水银）。

在图 4 (a) 中，容器内气体的压力可以用弯管内水银柱高度 l 来表示，它是代表容器内气体压力所超出大气压力的数值，因此称为超出压力或称为表压力，用 $P_{表}$ 表示。而容器内气体的绝对压力