

空调用制冷技术

(试用教材)

清华大学建工系供热通风专业

1976. 6.

第一章 空调冷源概述.....	1
第一节 天然冷源和人工冷源.....	1
第二节 蒸汽压缩式制冷机的工作原理.....	5
第三节 热力循环.....	10
第四节 人工冷源在空调中的应用方式举例.....	10
第五节 我国制冷技术的发展概况.....	12
第二章 工程热力学基本知识.....	16
第一节 稳定流动能量方程式和焓.....	16
第二节 熵.....	19
第三节 温熵图.....	21
第四节 热力学第二定律.....	22
第三章 蒸汽压缩式制冷机的热力学原理.....	27
第一节 理想制冷循环——卡诺逆循环.....	27
第二节 蒸汽压缩制冷机的理论循环.....	31
第三节 蒸汽压缩制冷机理论循环计算.....	37
第四节 活塞式压缩机.....	44
第五节 双级压缩和串级制冷循环的概念.....	52
第四章 制冷剂 and 冷媒.....	58
第一节 对制冷剂的要求.....	58
第二节 常用的几种制冷剂.....	60
第三节 冷媒.....	64
第五章 制冷用压缩机.....	66
第一节 活塞式压缩机的分类.....	66
第二节 活塞式制冷压缩机的系列.....	68
第三节 活塞式制冷压缩机的构造.....	68
第四节 离心式制冷压缩机.....	80
第六章 制冷装置中的热交换设备.....	84
第一节 冷凝器.....	84
第二节 蒸发器.....	98
第七章 制冷系统的设计.....	115
第一节 制冷系统.....	115
第二节 辅助设备.....	117

第三节	制冷机房的设计	130
第四节	制冷剂管路的设计	137
第五节	冷冻水和冷却水系统	143
第六节	管道与设备的保温	146
第八章	制冷系统的试车与运行	149
第一节	制冷系统的试车	149
第二节	制冷系统的运行	151
第三节	制冷系统的故障与排除	159
第九章	空调用机组	161
第一节	空气调节器	161
第二节	去湿机	168
第十章	溴化锂吸收式制冷和蒸汽喷射式制冷	174
第一节	溴化锂吸收式制冷机的工作原理	174
第二节	溴化锂吸收式制冷机的典型结构	179
第三节	溴——吸的热力计算	182
第四节	溴——吸各设备传热面积计算	191
第五节	溴——吸的主要附加措施和附属设备	196
第六节	溴化锂吸收式制冷机的应用	199
第七节	蒸汽喷射式制冷	200
第十一章	半导体制冷	207
第一节	简述	207
第二节	半导体制冷的基本关系式	209
第三节	半导体制冷器的运行工况分析	212
第四节	半导体制冷器的设计计算分析	215
第五节	半导体制冷器的制作与结构	219
附表	1—10	222—238
附图	1—6	附后

第一章 空调冷源概述

随着社会主义建设事业的发展,许多工业生产、科学实验和人民日常生活,常需要在较低的温度环境下进行。例如:用焦炉煤气制造合成氨,必须在 -190°C 的低温环境下,才能使氮和氢分离出来;合成橡胶有的也要使温度降到 -70°C 以下才能进行;机械制造工业为了保证机件精密度、不变形,有时要作冷处理;在修建地下矿井工程中如遇到流砂,可以用人工方法将流砂冻结,然后再施工,这叫做冻土施工法;在国防工业中制药、原油提炼也需要低温,在医药卫生中近年来对冷藏和冷冻疗法也有很大发展;为了使食物供应少受季节影响,常用冷藏的办法来调剂淡旺季,保证市场供应;为了研究在低温环境下各种材料(如建筑、橡胶、金属等材料)的性能、物质特性和结构以及飞机发动机运转特性和仪表精确性等问题,需要在人工气候室中进行低温试验……。而空气调节则更是广泛应用于工业生产、科学实验和人民日常生活中;即使在室外较高的温湿度状态下,也要保持室内需要的温湿度,所以冷却空气是空气调节的主要任务之一。由上可知,为了实现要求的低温环境,如何获取低温的物体就是一件重要的工作。这种低温物体,我们称它为冷源。对于供热通风专业来说,主要是研究空调冷源的获取和有效利用的问题。

第一节 天然冷源和人工冷源

空气调节的任务就是要保证空气的温度、湿度和清洁度满足工艺生产和人们劳动、生活的需要。因此对于降温、去湿来说,冷源就是必需的。空调对冷源的要求是多方面的。首先是冷源的湿度和供应的冷量要满足空气调节去湿的要求;同时必须考虑获取冷源的方法尽量要经济和可靠,运行使用要方便,并且对空气不能污染。

冷和热是对立的统一,在一定条件下是可以转化的。只要物体的温度低于处理空气所要求的温度时,这种物体都可以作为空调冷源。空调冷源分两种,一种叫天然冷源,另一种叫人工冷源。

(一) 天然冷源

在自然界中存在的冷源,叫天然冷源。它们的冷源可以满足某些空调降温去湿的要求;由于大量存在于自然界中,价格较低廉,所以在工程应用中经常被优先考虑。例如:有些地区在冬季自然界中存有大量天然冰,而冰在 0°C 时溶解成水可以吸收溶解热 80 千卡/公斤,如果冬天从河湖中把冰取出,储藏于冰窖中,保存到夏天,就是很好的冷源。这种方法常用于小冷藏库、冷藏柜中,如图 1-1 所示。地下水(井水)、地面水(河水、江水)也常常当作天然冷源广泛应用于空调工程中。例如北京井水温度

是 $15\sim 16^{\circ}\text{C}$ ，对于一般空调降温是很理想的冷源。
在北京用这样的井水喷雾降温，一般可以保持室内 $28\sim 30^{\circ}\text{C}$ 。

例题 1—1： 如例题图 1—1 和例题图 1—2 所示，已知某直流式空调系统，总风量 $G=30000$ 公斤/时，在喷雾室中由初状态 $t_1=35^{\circ}\text{C}$ ， $t_{s1}=26.9^{\circ}\text{C}$ ($i_1=19.9$ 千卡/公斤) 处理到终状态 $t_2=21^{\circ}\text{C}$ ， $t_{s2}=20.6^{\circ}\text{C}$ ($i_2=14$ 千卡/公斤)，求所需制冷量 Q ，喷雾水初温 t_c 、终温 t_z ，喷水量 W 各多少？若该地区井水温度为 15°C ，问能否用井水喷雾？

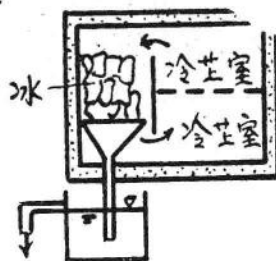
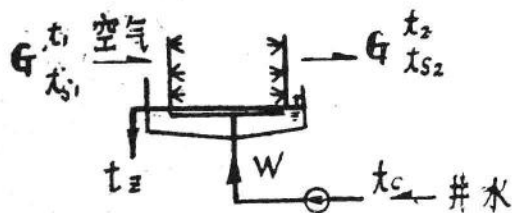
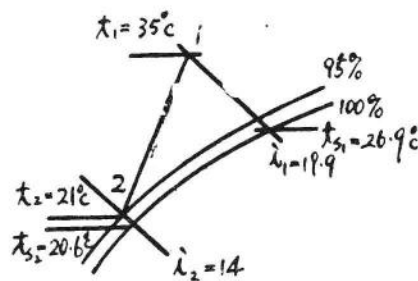


图 1—1 直接冰冷法



例题图 1—1



例题图 1—2

解： 在学习空调课程时，我们知道在解决喷雾室热力计算问题时，有三个基本公式：

第一换热效率系数

$$\eta_1 = 1 - \frac{t_{s2} - t_z}{t_{s1} - t_c} = A(v\gamma)^m \mu^n \quad (1-1)$$

第二换热效率系数

$$\eta_2 = 1 - \frac{t_2 - t_{s2}}{t_1 - t_{s1}} = A'(v\gamma)^{m'} \mu^{n'} \quad (1-2)$$

热平衡方程式

$$i_1 - i_2 = \mu(t_z - t_c) \quad (1-3)$$

式中： t_1 、 t_{s1} 、 i_1 、 t_2 、 t_{s2} 、 i_2 为空气初、终状态的干、湿球温度和焓；

t_c 、 t_z 为喷水初、终温；

$v\gamma$ 为通过喷雾室的空气重量流速；

μ 为喷雾室喷雾系数；

A 、 A' 、 m 、 m' 、 n 、 n' 为系数。

假如我们选定的喷雾室工作条件是：

$$v\gamma = 3.0 \text{ 公斤/米}^2 \cdot \text{秒}$$

$$n = 13 \text{ 个/米}^2 \cdot \text{排 (喷嘴密度)}$$

$$\text{对喷嘴直径 } d_0 = 5\text{mm (y-1 型)}$$

那么, η_1 、 η_2 的经验公式为:

$$\eta_1 = 0.745(v\gamma)^{0.07} \mu^{0.265}$$

$$\eta_2 = 0.755(v\gamma)^{0.12} \mu^{0.27}$$

(1) 所需制冷量 Q , 制冷量就是指在喷雾室中空气从初状态 1 变到终状态 2 所放出的总热量。

$$Q = G(i_1 - i_2) = 30000(19.9 - 14) = 177000 \text{ 千卡/时}$$

(2) 所需喷水温度和喷水量

由于已知空气初终状态, 可由 η_2 求 $\mu(W)$

$$\eta_2 = 1 - \frac{t_2 - t_{s2}}{t_1 - t_{s1}} = 1 - \frac{21 - 20.6}{35 - 26.9} = 0.95$$

$$\text{所以, } \eta_2 = 0.755(v\gamma)^{0.12} \mu^{0.27} = 0.755(3)^{0.12} \mu^{0.27} = 0.95$$

$$\text{解得 } \mu = 1.42$$

$$\therefore \text{ 喷水量 } W = \mu \cdot G = 1.42 \times 30000 = 42600 \text{ 公斤/时} = 42.6 \text{ 吨/时}$$

再由 η_1 和热平衡公式求出 t_C 、 t_Z

$$\eta_1 = 1 - \frac{t_{s2} - t_Z}{t_{s1} - t_C} = 0.745(3)^{0.07} 1.42^{0.26} = 0.885$$

$$1 - \frac{20.6 - t_Z}{26.9 - t_C} = 0.885$$

$$\text{简化得 } t_Z - 0.115t_C = 17.5$$

由 $i_1 - i_2 = \mu(t_Z - t_C)$ 得

$$19.9 - 14 = 1.42(t_Z - t_C)$$

$$t_Z - t_C = 4.15$$

解得

$$t_C = 15^\circ\text{C}$$

$$t_Z = 19.15^\circ\text{C}$$

(3) 由于所需喷水初温正好是 15°C , 所以可用井水喷雾的方案。

天然冷源固然有很多优点, 但天然冷源也不是很容易获取的, 并且使用时有很大局限性。这是因为:

(1) 受地区的限制。在炎热地区可能就没有天然冰；有些地区可能缺乏地下水。

(2) 受温度的限制。一定地区天然冷源的温度基本是不变的，当所需要的低温低于天然冷源的温度时，这个天然冷源就不再成为冷源了，有时却成了天然热源。在北京地区若用 15°C 井水喷雾降温，要保持室内 20°C 就不可能实现。若用 20°C 河水喷雾，则室内连 30°C 也难以达到。

(3) 使用天然冷源有时并不方便，甚至不经济。天然冰需要在冬天储存起来，而在夏天使用时消耗量较大，运输很不方便。使用地下水需打井，对有些工程并不一定方便灵活。

但是条件是可以改变的，我们可创造一定条件使自然界更好地为我们服务，把不利变有利。例如上海工人阶级在毛主席哲学思想的指导下，和广大技术人员结合在一起，在生产斗争和科学实验中创造了“人工回灌地下水”的方法，解决了由于夏季大量使用地下水而使地下水位下降和地面下沉的问题，为夏季大量使用地下水冷却降温创造了有利条件。过去上海由于夏季大量使用地下水，使得地下水供不应求，地下水位逐年下降，致使地面下沉，从 1921—1967 年最严重地区地面下沉 2.37 米，而从 1968—1971 年采用“人工回灌地下水”的方法后，不但保证了地下水的供应，而且地面停止了下沉，反而上升了 16 毫米。“人工回灌地下水”的方法就是“冬灌夏用”和“夏灌冬用”的方法。也就是说在冬季（当年十一月中旬至明年三月中旬）将低温自来水（净化了的黄浦江水）通过深井灌入含水层储藏起来，成为地下冷水库。在实际运行中发现，由于地下含水层中水流动性较差，而回灌时水流速度又较慢，所以回灌水不可能与原来的地下水很好混合。由于在回灌过程中不同时间回灌的黄浦江水温不同，所以在地下含水层中水温也是不一样的。十一月份回灌的水温较高，一月份回灌的水温最低，而三月份回灌的水温又较高。

所以在地下含水层中水温分布如图 1—2 所示。

在夏季开始降温用水时，先出井的地下水是最后

回灌的，所以温度较高，以后再继续出井的地下水温度便逐渐降低，然后又逐渐升高。如果回灌的时间和水量以及夏季降温用水的时间和水量控制得好的话，可以出现这样的情况：即夏季五、六月份降温所用的地下水正是去年十一、十二月份回灌的，此时水温较高；而七、八月最热天降温所用的地下水又正是当年一、二月份最冷天所回灌的，此时水温最低，这样就能充分发挥地下冷水库的作用。“夏灌冬用”正好与之相反，将夏季的高温自来水或工业回水（经过滤），通过深井灌入含水层储藏起来，作冬季热水用。上海工人阶级在实践中总结了一整套人工回灌的科学方法，既保证了地下水的储量，

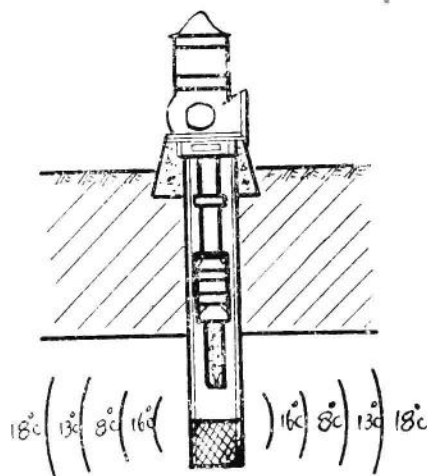


图 1—2 地下冷水库

又保证了地下水的水质。这种方法现在已在天津等地推广使用。冬灌提供的冷源比人工制冷可提供的冷源，有成本低、效果好、管理方便等优点。它是一种我国自己创造的很有前途的一种方法，值得我们重视。当然，“人工回灌地下水”的方法，也还受到地质条件，回灌水源等的限制，水温的降低也有一定限度，因此还不能看成是唯一的办法。

(二) 人工冷源

天然冷源不能满足使用要求时，就要使用人工冷源。人工冷源即用人工的方法制造的冷源。人工制造冷源的设备叫制冷机或称冷冻机。通过制冷机可以用人为的方法制造并维持所要求的低温。因此人工冷源就具有很大的灵活性和适应性。有时也用人工冷源来配合天然冷源，以便提高空调系统的经济性。

第二节 蒸汽压缩式制冷机的工作原理

人工制冷有许多种方法，但是由于蒸汽压缩制冷机构造简单，制冷量范围大，运行可靠，因而现在得到最广泛的应用。

图 1—3 就是蒸汽压缩式制冷机工作原理图。如图所示，蒸汽压缩式制冷机主要

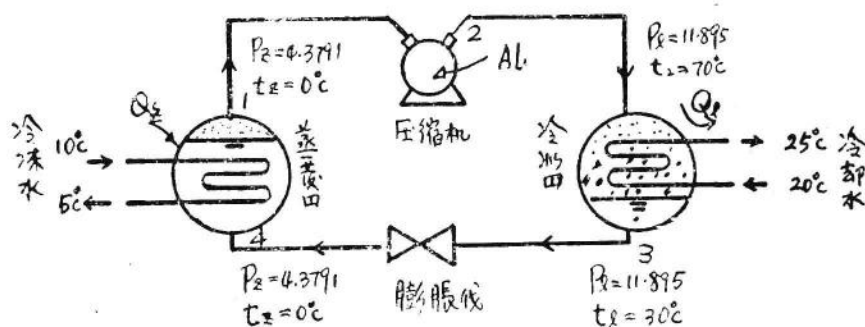


图 1—3 蒸汽压缩式制冷机工作原理图

是由压缩机、蒸发器、冷凝器、膨胀阀(或称调节阀、节流阀)等四个部件组成，并由管道将它们连成一个封闭的循环系统。在制冷机中工作的物质(即工质)称为制冷剂(如氨、氟利昂)。由此可见，制冷机并不是单独一个设备，而是由几个设备组合而成的，所以制冷机有时又称制冷装置或制冷系统。一般称压缩机为主机；蒸发器、冷凝器、膨胀阀以及其它辅助设备等为辅机。

那么制冷剂是如何在制冷机中工作而实现制冷的呢？

在讲解制冷剂的工作之前，我们先来复习一下热工中有关蒸汽性质方面的知识。我们知道：液体在一定压力下加热到一定温度时就会出现沸腾现象，这个温度称为该压力下的饱和温度或沸点；继续加热，液体就要在等压等温下不断吸收汽化潜热而变成饱和蒸汽；再继续加热，饱和蒸汽就要在等压下吸热，温度升高成为过热蒸汽。沸腾现象在制

冷技术中也称为蒸发，沸点也叫蒸发温度。例如水在一绝对大气压下加热到 100°C 时就开始沸腾，一公斤水汽化成一公斤饱和蒸汽就要吸收 540 千卡的热量，此热量也就是汽化潜热。而当压力为 0.006 绝对大气压时，水在 0°C 就能沸腾，此时，一公斤水汽化成一公斤饱和蒸汽需吸收 597.3 千卡热量。对于氨液来说，若要使它在 0°C 沸腾，就要维持在 4.3791 绝对大气压，此时一公斤氨液汽化成一公斤饱和氨蒸气需吸收 301.72 千卡热量。相反，在一定压力下饱和蒸汽放热冷凝成液体，也是在一定温度下进行的，这个温度称冷凝温度（或称凝点）。在冷凝过程中蒸汽对外放出冷凝潜热（或称凝结潜热）。在一定压力下，沸点和凝点的数值是一样的，汽化潜热和冷凝潜热的数值也是相同的。而沸点（或凝点）、汽化潜热（或冷凝潜热）只与液体性质和压力有关。

在蒸汽压缩式制冷机中，就是利用制冷剂在低温下从被冷却物（如冷冻水）中吸收汽化潜热，由液体蒸发成蒸汽，使被冷却物冷却而制冷；又在高温下把冷凝潜热放给冷却剂（如冷却水）而由蒸汽冷凝成液体。如前所述，要保证在低温时蒸发，而在高温时冷凝，就需要创造压力条件，这个条件就是通过压缩机消耗功来实现的。

现在我们举例来说明制冷剂在制冷机中的工作情况。如果被冷却物是空调用冷冻水，空调冷冻水要求 5°C ，空调冷冻回水是 10°C ，也就是说要求制冷机将一定量的冷冻水由 10°C 降至 5°C 。冷却剂是用 20°C 的冷却水，冷却水吸热后假定温度升至 25°C 。在上述条件下，我们来看看当采用氨作为制冷剂的蒸汽压缩式制冷机的工作情况。在蒸发器中为了使冷冻水由 10°C 降至 5°C ，氨液温度就必须低于 5°C ，假定我们要求氨液在 0°C 时蒸发吸收冷冻水的热量 Q_z 来制冷，那么就要求使氨液在蒸发器中的压力为蒸发温度 0°C 时的饱和压力（称蒸发压力）即 4.3791 绝对大气压，这个压力可以由压缩机吸气来保证。状态为 4 ($p_z=4.3791$, $t_z=0^{\circ}\text{C}$) 的氨液便在等压等温下蒸发成蒸汽状态 1 (参看图 1—3)。状态 1 的蒸汽被压缩机吸入后，在压缩机中由于消耗了功 AL 而被压缩。为了在冷凝器中把热量 Q_l 放给冷却水，氨蒸气的冷凝温度应高于冷却水出口温度 25°C ，假定冷凝温度定为 30°C ，此时对应的氨饱和压力（称冷凝压力）即 11.895 绝对大气压。所以在压缩机中低压蒸汽要求被压缩到 11.895 绝对大气压，其压缩终了温度视压缩终了状态是湿蒸汽还是过热蒸汽而定，如果是湿蒸汽状态，温度就是 30°C ，如果是过热蒸汽则温度还要高，可高达 $70\sim 80^{\circ}\text{C}$ 。高温高压氨蒸汽 2 进入冷凝器，到冷凝器后在冷凝压力为 11.895 绝对大气压下氨蒸气放出热量 Q_l 给冷却水，使一定量的冷却水由 20°C 升至 25°C ，而氨蒸汽变成 $p_l=11.895$ 绝对大气压， $t_l=30^{\circ}\text{C}$ 的氨液 3。氨液 3 再经过膨胀阀节流降压降温成为 $p_z=4.3791$ 绝对大气压， $t_z=0^{\circ}\text{C}$ 的氨液又进入蒸发器，在等压等温下蒸发制冷，如此循环不息而达到制冷目的。

由上例可知，低压低温的制冷剂液体在蒸发器中吸收冷冻水热量蒸发成低压低温的蒸汽，吸收热量 Q_z 即为制冷量；在压缩机中低压低温蒸汽被压缩机压缩成高压高温蒸汽，压缩过程中压缩机消耗功 AL ；在冷凝器中高压高温的蒸汽被冷却水冷却成高压常温度的液体，放出热量 Q_l ；再经过膨胀阀节流成低压低温液体，回到蒸发器中继续蒸发制冷。

在上述制冷循环中, 制冷机中的制冷剂是在湿蒸汽状态下工作的, 制冷循环的进行是靠压缩机消耗功来实现的, 所以这种制冷机叫做蒸汽压缩式制冷机。必须牢记: 在制冷机中蒸发器是制冷而获取冷源的设备, 压缩机是消耗功的设备; 冷凝器是放热的设备; 膨胀阀是降压降温的设备。

下面结合一个具体的制冷机装置, 介绍制冷机性能测定方法。

制冷机性能试验:

毛主席语录: “你要有知识, 你就得参加变革现实的实践。……一切真知都是从直接经验发源的。” “通过实践而发现真理, 又通过实践而证实真理和发展真理。”

一、实验目的:

开设本实验的目的是为使学员在开始学习制冷课时, 能从实践入手, 通过运行操作对制冷机装置有初步认识, 并通过完成对实验室现有制冷机装置性能的试验鉴定任务, 了解制冷机性能及其影响因素。实验所得之数据资料可供课程学习时分析用。

具体内容有:

1. 了解制冷机装置和制冷系统的组成。
 2. 测量制冷机的制冷量 Q_2 和实际制冷系数 ϵ 。
 3. 测量活塞式制冷压缩机的输气系数 λ 。
 4. 了解影响制冷机性能的因素——即蒸发温度 t_2 , 冷凝温度 t_1 对制冷系数和输气系数的影响。
 5. 对实测的制冷机装置的性能提出鉴定, 并对运行管理提出改进意见。
- 以上内容的计算和分析部分, 在第一章和第二章内容的学习过程中完成。

二、实验设备:

1. 实验设备装置示意图: (见下页)

2. 实验设备规格:

(1) 压缩机 (氟压缩冷凝机组)

型号——2F10, 型式——直立式,

气缸直径——100 毫米, 活塞行程——70 毫米

缸数——2, 活塞行程容积——63.5 米³/时,

配用电机——10 瓩, 额定转数——960 转/分

空调制冷量——30000 千卡/时。

(2) 卧式光管冷凝器。 传热面积——10 平方米

(3) 卧式光管蒸发器。 传热面积——30 平方米

三、实验方法:

1. 调整下列工况进行实验 (见下页表)

2. 测定蒸发压力 P_1 , 冷凝压力 P_2 , 吸气温度 t_1 , 排气温度 t_2 , 给液温度 t_s , 膨胀阀后温度 t_4 (该温度准确值应为蒸发温度), 并由 $F-12$ 的 $T-S$ 图或 $\lg P-i$

冷凝温度 t_1	蒸发温度 t_2		
40℃	-2℃	1℃	4℃
30—34℃	-2℃	1℃	4℃

实验设备装置示意图

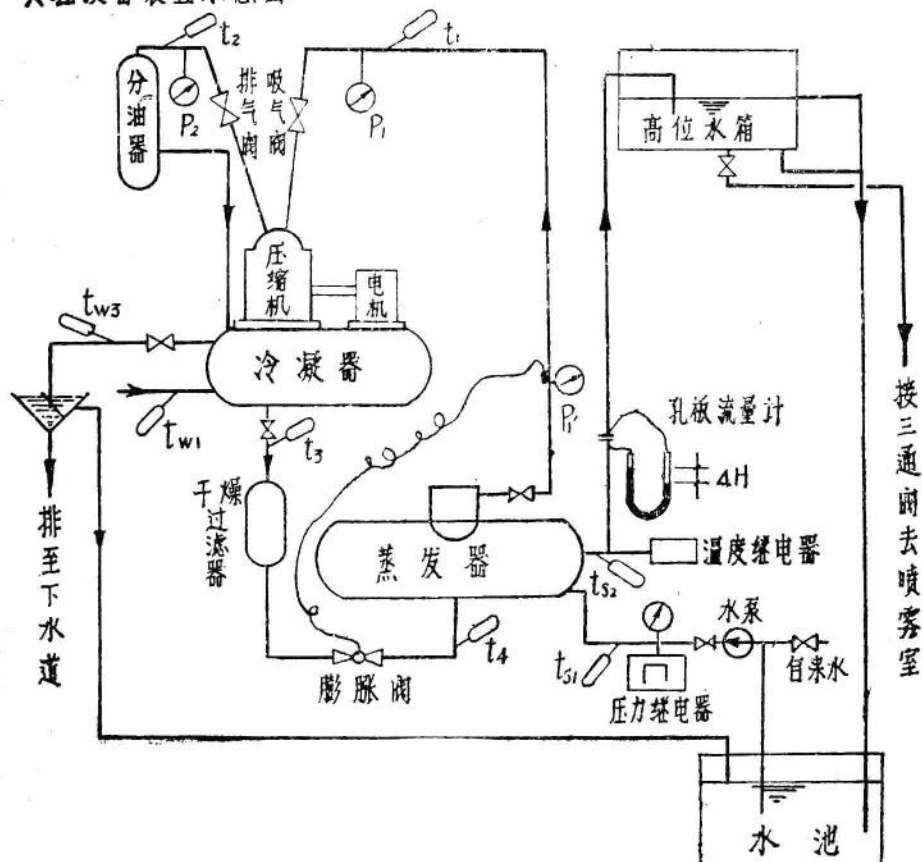


图 1-4 实验设备装置示意图

图上查得各点焓值 i_1 、 i_2 、 i_3 、 i_4 。

3. 测定通过蒸发器的冷冻水进出水温度 t_{w1} 、 t_{w2} ，并用孔板流量计测冷冻水量 G_2 ，测定通过冷凝器冷却水进出水温度 t_{w1} 、 t_{w2} ，并用孔板流量计测冷却水量 G_1 。

4. 用转数表测电动机的转数 n ，用功率表测定电动机输入功率 N 。

四、运行操作与实验步骤：

实验课前应预习试验指示书和教材第一章第二节内容，及思考题。试验前详细了解实验装置系统及各部分的作用，严格按操作规程启动和停车。

1. 制冷机的启动

首先打开冷却水阀门，开启冷冻水泵使冷却水和冷冻水畅通。

其次检查制冷剂管路系统阀门是否正常，即压缩机排气阀必须全开，开启吸气阀而给液阀处于关闭位置。

然后开启制冷压缩机，逐渐开启给液阀。

2. 正常操作

(1) 调节冷却水阀门，使冷凝温度保持要求的数值。

(2) 调节冷冻水泵入口的自来水阀门和排入水池的冷凝器出口冷却水量，使蒸发温度保持要求的数值。调节蒸发器上冷冻水管入口阀门，使冷冻水入口水压维持 1.5 表压左右。

(3) 工况稳定后，进行实验测定，每一工况应测三次，每次间隔 15—20 分钟。

3. 实验结束工作：

(1) 关闭给液阀即冷凝器的出液阀，靠低压继电器使压缩机自动停车，切断总闸。

(2) 关闭压缩机的吸气阀。(3) 关闭冷却水和冷冻水系统。(4) 整理仪器，设备及现场。

五、数据整理及实验报告：

整理数据及写实验报告结合基本理论的学习进行，其内容有：(1) 计算制冷机的制冷量 Q_z 和冷凝器的热负荷 Q_l 。(2) 计算实际制冷系数和理论制冷系数。(3) 计算制冷剂循环量 G_z 和压缩机的输气系数 λ 。(4) 分析 t_z 、 t_l 对 Q_z 、 ϵ 和 λ 的影响。(5) 对所测制冷机的运行管理提出改进意见。

记 录 表 格

测定次数	大气压力		室温					
	蒸发压力	冷凝压力	吸气温度	排气温度	给液温度	蒸发器入口温度	冷冻水温	
	入	出	入	出	入	出	入	出
	P_1	P_2	t_1	t_2	t_3	t_4	t_{s1}	t_{s2}
	公斤/厘米 ²	公斤/厘米 ²	°C	°C	°C	°C	°C	°C

冷却水温		冷冻水		冷却水量		电机转数	电机输入功率	备 注
入	出	压差	流量	压差	流量			
t_{w1}	t_{w2}	Δh 毫米 CCl ₄	G_z 吨/时	Δh 毫米 CCl ₄	G_l 吨/时	n 转/分	N 瓦	
°C	°C							

思考题

1. 低温低压制冷剂液体经过蒸发后, 其状态有什么变化? 温度、压力、热量都增加还是减少了? 蒸发温度是蒸发器内哪点的温度?
2. 高温高压制冷剂蒸汽, 经过冷凝器其状态有什么变化? 温度、压力、热量是增加了还是减少了? 冷凝温度是冷凝器内哪点的温度?
3. 制冷系统运行时, 为什么冷冻水和冷却水要先开后停? 不这样作会出现什么情况? 不通冷冻水和冷却水能不能制冷? 为什么?
4. 压缩机停车后, 高低压力表的读数是由什么决定的?
5. 制冷剂在制冷机中状态是怎样变化而实现制冷的?

第三节 热力循环

在蒸汽压缩式制冷机中低压低温制冷剂液体进入蒸发器, 在其中等压等温蒸发吸热而制冷; 离开蒸发器时制冷剂变成了低压低温的蒸汽, 这种状态的制冷剂便失去了制冷能力。如果为了使制冷能继续进行, 便需要继续供给低压低温液体制冷剂进入蒸发器。我们可以采用两种方式: 一种是由其它地方制备低压低温的液体制冷剂, 进入蒸发器蒸发, 制冷后的制冷剂蒸汽就被放掉; 另一种是使蒸发器中出来的蒸汽经过处理后又恢复到低压低温的液体状态, 继续进入蒸发器中使用。显然第一种方法一般情况下是很不经济的。在蒸发器、压缩机等热力设备中制冷剂由一热力状态变到另一热力状态的过程称为热力过程。而使制冷剂(即工质)由一热力状态又回到同一热力状态的全部热力过程就称为封闭热力过程或热力循环。由此可见, 一个热力循环必须由几个热力过程所组成。在蒸汽压缩式制冷机中就是通过制冷剂在压缩机、蒸发器、冷凝器和膨胀阀等四个主要热力设备中完成四个热力过程而实现制冷循环的。

工质(如制冷剂)在进行热力过程时, 都有可能对外发生热量和功量的交换。如果工质在热力循环中对外界作的功大于外界加于工质的功时, 则工质在每进行一个循环就可以对外作出正功, 这种热力循环称为正循环, 也就是热机循环, 如蒸汽机、内燃机等。反之, 如果工质在整个热力循环中对外界作的功小于外界加于工质的功, 则工质在每进行一个热力循环时要消耗外界的功; 这种循环称为逆循环, 也就是制冷循环, 如制冷机、热泵等。

第四节 人工冷源在空调中的应用方式举例

在空调课程中我们已经知道冷源是空调中很重要的设备。那么采用什么样的方式通

过冷源来使空气降温冷却呢？在生产实践中人们创造了许多方式，下面我们仅举例说明。

由于在空调中被冷却的最终对象是空气，一般根据冷却空气的途径分为直接冷却和间接冷却两种。

（一）直接冷却，又称直接蒸发式冷却

这种冷却方式是把制冷机的蒸发器直接放在被冷却的空气中。由于制冷剂在低温下通过蒸发器，吸收空气中的热量而由液体蒸发成蒸汽，因此空气就被降温冷却了。这种方式还可以分为两种：

（1）集中式直接蒸发式冷却。如图 1—5 所示。蒸发器放在集中空调室中，冷却后的空气由通风管道输送到空调房间中去。

（2）机组式直接蒸发冷却。如图 1—6 所示，制冷机与通风机等组成一个机组，直接放在空调房间内，被冷却后的空气被送至该房间。

（二）间接冷却

这种方式的特点是制冷机的蒸发器不与被冷却空气直接进行热交换，而是由蒸发器先冷却一种物体叫冷媒，在空调中就是冷冻水，再通过低温的冷冻水去冷却空气。由于热交换有冷媒参加，所以叫做间接冷却。间接冷却一般也有两种形式：

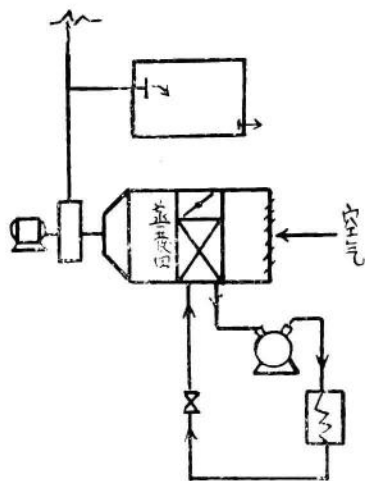


图 1—5 集中式直接蒸发冷却

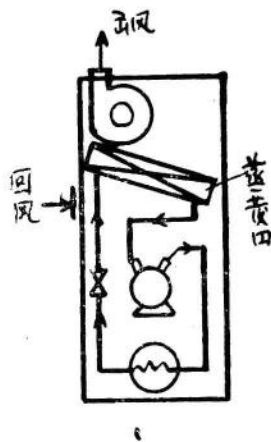


图 1—6 机组式直接蒸发冷却

（1）喷雾式（或淋水式）冷却。如图 1—7 所示，低温冷冻水与空气直接接触。

（2）表面式水冷却器。如图 1—8 所示，冷冻水不与空气直接接触，而是冷冻水在表面冷却器内间接冷却空气。

直接冷却系统构造简单，冷损失小，冷却效果好。但是由于蒸发器直接与空气接触，

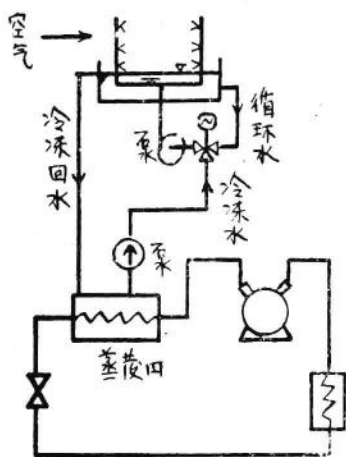


图 1-7 喷雾式冷却

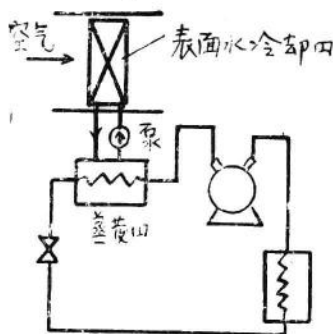


图 1-8 表面式水冷却

对于蒸发器的严密性要求较高。特别是氨制冷机，由于氨有特殊臭味，如果漏入空气便使空气污染，对人有危害。对于氟利昂制冷机一般采用直接蒸发式冷却较好。机组中都采用氟利昂制冷机。

对于冷源集中而空调室分散的情况下，往往采用间接冷却方式较为方便。当空气温度要求处理到接近 0°C 或 0°C 以下时，则要求冷冻水温度低于 0°C ，此时冷冻水必须采用盐水。根据要求的水温制备合适的盐水浓度，使盐水在该温度下不会结冰。而用盐水喷雾一般在空调系统中是不允许的，因为盐份被带到空调房间对人和设备都是有害的。在这种情况下一般都采用如图 1-8 所示的表面式盐水冷却器。对于被冷却的空气温度在 0°C 以上的情况，目前也常用表面式水冷却器，因为结构简单，体积小。如诱导空调器中冷却循环风的表面式水冷却器，以及在局部空调器中也常用表面式水冷却器。

以上只是列举了几种人工冷源在空调降温中的应用方式。实际工程中情况往往是很复杂的，空调要求也往往是多种多样的。我们应该根据具体情况可靠而又经济的确定冷却方案，这在制冷工程的设计中是十分重要的。

第五节 我国制冷技术的发展概况

“历史的经验值得注意。”我们要了解历史，记取历史的经验；我们也要注意研究现状，明确今后的战斗任务。

“中国是世界文明发达最早的国家之一，……”在我国很早就有了冷藏技术。据诗经记载在战国时代已经知道用冰放在屋里由于冰溶化、蒸发，能使周围物体冷却而表面结霜。并且知道在低温下储藏物品，可以使物体不腐烂。当然，当时使用天然冷源的冷藏方法还是较原始的。制冷技术是从压缩机的出现而发展起来的。但是由于中国长期处

在封建社会，特别是从1840年鸦片战争以后，中国一步一步地变成了一个半殖民地半封建的社会，使得我国的生产力十分落后。解放前我国根本不会造制冷机，所以也就没有自己的制冷工业。仅有的一些制冷企业，主要是商业用的冷藏库，也是90%掌握在帝国主义、官僚买办手中。这些冷藏库大都集中在通商口岸如上海、天津、汉口、哈尔滨等地，为帝国主义掠夺服务。

中国人民在伟大领袖毛主席和中国共产党的领导下，经过长期流血斗争，终于赶走了帝国主义，推翻了反动统治，建立了新中国，中国人民从此站起来了。“革命是历史的火车头”，革命解放了生产力。解放后我国的制冷技术和其他战线一样，得到了蓬勃的发展。1953年我国开始生产活塞式制冷压缩机，1958年后在“鼓足干劲，力争上游，多快好省地建设社会主义”的总路线的光辉照耀下，制冷机制造厂在北京、上海、天津，大连，南京、广州、重庆、武汉和烟台等地象雨后春笋般的出现，改变了制冷工业空白的面貌。

我国制冷工业从无到有、从小到大、从仿制到自行设计，由一种类型到多种类型的发展过程，充分证明了“思想上政治上的路线正确与否是决定一切的。”这一伟大真理。解放二十多年来，在制冷工业战线两条路线的斗争也是十分激烈的。是自力更生走自己工业发展的道路，还是跟在帝修反后边爬行，就是这场斗争的焦点。在毛主席革命路线指引下从1964年起，特别是无产阶级文化大革命后，我国工人阶级发扬的敢想敢干的革命精神，和技术人员结合在一起，冲破了单纯仿造的束缚，走上了自行设计的道路。制定适合我国国情的制冷机标准；大搞专用设备和生产流水线；大量制造我国的系列产品，出现了许多新工艺、新技术新产品。

从蒸汽压缩式制冷机的工作原理可以看出，制冷机包括主机和辅机两部分。主机是为了实现制冷而消耗功的设备如压缩机。辅机主要是一些热交换设备和调节设备等。制冷技术的发展也就是指主机和辅机的发展。

下面我们根据了解到的情况，对我国目前制冷技术发展的情况作一简单介绍。

（一）主机方面

随着生产和科学技术的发展，在制冷机中为了实现制冷所消耗的能量形式也是多种多样的。因此出现了许多类型的制冷机。如有消耗机械能的压缩式制冷机，其中根据压缩方式不同，又分为活塞式压缩制冷机、离心式压缩制冷机、螺杆式压缩制冷机和斜盘式压缩制冷机等。有消耗热能的蒸汽喷射式制冷机和吸收式制冷机。有消耗电能的半导体制冷机等等。

（1）压缩式制冷机：

甲、活塞式压缩机：这种制冷机出现得最早，目前使用得最广泛。我国1953年开始仿制。1964年全国共同制订并联合设计了具有先进水平的中小型活塞式压缩机的系列。目前已有五种汽缸直径（50、70、100、125、170毫米）22种产品。在主要结构、性能参数等方面基本上达到国外同类产品的水平。最大标准制冷量为44万千卡/时。

其特点为高转速、多汽缸、三工质（氨、氟利昂—12、氟利昂—22）通用、装有能调节负荷的能量调节装置等。

乙、离心式压缩机：近几年来发展很快，许多大型空调设备和石油化工过程都需要数百万甚至上千万千卡/时的冷量，在这种场合下采用离心式压缩机最为合适。它与选用多台活塞式压缩机相比，具有体积小、重量轻、运行可靠、操作维修方便等优点。国内小批生产或正在试制的有八种产品，产冷量范围为 50—625 万千卡/时，转速 3000~12000 转/分，可获得最低温度为 -43°C 。用于空调的离心压缩机，我国从 1960 年开始试制，其中包括上海第一冷冻机厂、重庆通用机器厂试制成功的空调制冷量为 100 及 120 万千卡/时的产品，制冷剂采用氟利昂—11。

国外在大力发展离心式制冷机，产冷量从 10~2400 万千卡/时，转速有高达 20000 转/分者。

丙、螺杆式压缩机：这种压缩机在六十年代得到进一步的发展。具有体积小、重量轻、安装占地面积小、无閥片、结构简单、运转可靠等优点。据国外资料介绍：该机可连续运转四万小时不用检修，同时可在 100~0% 范围内实现无级能量调节。缺点是转速较高时噪音大。一般认为当所需制冷量在 50~200 万千卡/时的范围内采用。国内螺杆式压缩机正在试制阶段，产冷量为 4~65 万千卡/时。国外单机产冷量为 30~200 万千卡/时，转速为 3000~3600 转/分，选用制冷剂为氟利昂—22、氨等。

(2) 蒸汽喷射式制冷：是利用热能来制冷的设备，工作蒸汽压力一般为 4~7 公斤/厘米²。制冷剂是水，构造简单，造价低廉，有发展前途。我国一些冷冻厂和纺织厂早在 1955 年就开始试制和应用蒸喷射制冷，但当时全系仿制，技术指标较落后。1967 年上海第一冷冻机厂自行设计试制了我国第一台蒸汽喷射制冷机，有关单位根据改进试验，于 1968 年编制了我国自己的蒸喷射制冷系列。该系列蒸发温度为 5°C 和 15°C ，制冷量为 30~160 万千卡/时。

(3) 吸收式制冷机：是利用低压蒸汽、废热作为能源的制冷设备。结构简单、运行费用低，有很大发展前途。我国从 1966 年开始试制空调用的溴化锂吸收式制冷机。现在已有 20、60、100、150、300 万千卡/时等品种，和国外同类产品先进水平相比，水耗、气耗相差不多，电耗方面有待进一步改进。目前正在着手编制我国溴化锂吸收式制冷机的系列。氨水吸收式制冷机在石油化工中有很大发展前途。国外出现较早，一些技术先进的国家已有 30~500 万千卡/时的系列产品。此外，我国最近准备正式试制生产 150 万千卡/时的氨水吸收式制冷机。

(4) 半导体制冷机：两种不同的半导体材料组成温差电偶（或称热电偶），当通过直流电时，两个焊接端便产生一冷一热的现象，利用冷端来制冷，这就是半导体制冷机的工作原理。我国已成功地试制了半导体冰箱，近年来许多单位正在研究试制制冷量大、效率高的适用于空调的半导体制冷机。国外已有用于舰艇特别是核舰艇上的较大制冷量的半导体制冷机。