



船舶冷藏和空气调节装置

上册

大连海运学院辅机教研组 编



人 民 交 通 出 版 社

船舶冷藏和空气调节装置

上册

大连海运学院辅机教研组 编

人民交通出版社

1978·北京

内 容 提 要

本书主要从我国远洋船舶实际出发,以货物冷藏装置为重点,比较系统地叙述了船舶冷藏和空气调节装置的工作原理、设备和系统以及调节和操作方法等,着重结合实例介绍了常见自动调节元件、新型设备的管系和电气控制线路以及冷藏舱的管理和性能测试。

全书共十三章,分上、下两册。上册共六章,内容包括制冷原理、制冷剂性质、蒸发器、冷凝器和制冷压缩机的基本知识以及冷藏舱和冷藏货物的管理等。下册共七章,主要介绍热力膨胀阀和其它自动调节元件的性能和调整、制冷系统管路和附件、库温控制方法、空气调节装置、各类制冷系统实例以及制冷装置的管理和操作等。此外,对电冰箱和小型空调器也作了必要的介绍。

本书主要供远洋和沿海船舶冷藏工作人员、轮机员和有关院校师生阅读,也可供陆地冷库、修造船厂和制冷设备制造厂等部门的工人和技术人员参考。

船舶冷藏和空气调节装置

上 册

大连海运学院辅机教研组 编

人民交通出版社出版

(北京市安定门外和平里)

北京市书刊出版业营业许可证出字第 006 号

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

人民交通出版社印刷厂印

开本: 787×1092 $\frac{1}{16}$ 印张: 17.5 插页: 3 字数: 424 千

1978年5月 第1版

1978年5月 第1版 第1次印刷

印数: 0001—7,500 册 定价(科三): 1.50元

前 言

在毛主席的无产阶级革命路线指引下，我国的水运事业迅速发展。随着冷藏货物运输量的逐年增加，我国已有一大批设有冷藏舱的远洋货轮，专业冷藏船也日渐增多。同时，为了改善工作和生活条件，船上舱室已日益普遍地采用空气调节。

为了适应广大船员工作和学习上的需要，我们编写了这本书。在编写过程中，我们遵照伟大导师毛主席的教导，注意了理论联系实际，从我国船舶实际出发，广泛听取了船员们的意见。本书比较系统地叙述了管理冷藏和空气调节装置以及运输冷藏货物所需要的基本知识，同时对自动化程度较高的冷藏舱、伙食冷库和空气调节等装置的性能、舱温调节方法、自动调节元件的调整和电气控制线路都结合实例作了重点介绍。

本书的编写工作始终受到我国远洋运输部门和广大船员的热情关怀，并得到我国一些制冷设备制造厂和有关兄弟院校的大力支持。许多单位曾提供了不少资料。本书初稿完成后，又承中国远洋运输公司广州和天津分公司、江南船厂、广州海运局航修站、上海交通大学和上海海运学院等单位指派专人审阅，提出了不少宝贵意见，谨在此一并表示感谢。

由于我们学习马列著作和毛主席著作不够，业务水平有限，书中缺点和错误之处在所难免，希望广大读者批评指正。

目 录

第一章 制冷装置管理的基本热工知识	1
第一节 工质及其状态参数.....	1
第二节 热与功.....	7
第三节 焓和熵.....	9
第四节 传热的基本方式.....	13
第五节 换热器.....	17
第二章 冷剂和湿空气的热力性质	20
第一节 蒸发和凝结.....	20
第二节 冷剂的热力性质表和压焓图.....	24
第三节 湿空气.....	28
第四节 湿空气相对湿度的测定.....	35
第三章 制冷原理和冷剂	39
第一节 蒸发制冷的工作原理.....	39
第二节 压缩制冷的简单饱和蒸气循环.....	48
第三节 蒸发温度和冷凝温度对制冷系统工作的影响.....	56
第四节 实际的制冷工况.....	60
第五节 双级压缩制冷系统.....	67
第六节 冷剂的一般性质.....	70
第七节 常用冷剂的性质.....	77
第八节 冷剂管理注意事项.....	79
第四章 蒸发器和冷凝器	82
第一节 冷库的冷却方式.....	82
第二节 空气冷却器.....	84
第三节 冷却盘管.....	92
第四节 水冷却器.....	94
第五节 冷剂的充满方式和供液量对蒸发器工作的影响.....	99
第六节 蒸发器的制冷量.....	102
第七节 冷凝器的构造.....	104
第八节 冷凝器的制冷量和工作冷凝温度.....	109
第五章 制冷压缩机	113
第一节 活塞式压缩机的工作原理.....	113
第二节 活塞式制冷压缩机的总体结构.....	116
第三节 活塞式制冷压缩机的主要零部件.....	124
第四节 活塞式制冷压缩机的润滑油系统.....	141

第五节	活塞式制冷压缩机的制冷量和轴功率	147
第六节	活塞式制冷压缩机的工作和限定工作条件	154
第七节	活塞式制冷压缩机的能量调节和启动卸载机构	158
第八节	国外船用活塞式制冷压缩机介绍	163
第九节	活塞式制冷压缩机的检修	172
第十节	螺杆式制冷压缩机	177
第十一节	空调离心式制冷压缩机及其装置	190
第十二节	制冷压缩机的润滑油	200
第六章	船舶冷库的管理和测示仪表	207
第一节	伙食冷库	207
第二节	冷藏舱	210
第三节	冷库的隔热结构	215
第四节	冷藏货物的管理	219
第五节	制冷装置所需制冷量的确定	228
第六节	冷藏舱的性能试验	232
第七节	船舶冷库的遥测仪表	240
第八节	臭氧发生器在船舶冷库中的应用	253
附 录		259
附表 1	F12 饱和蒸气性质表	259
附表 2	F22 饱和蒸气性质表	261
附表 3	F11 饱和蒸气性质表	263
附表 4	氨 (NH ₃) 的饱和蒸气性质表	264
附表 5	水蒸汽热力性质表	266
附表 6	湿空气的热力性质表	267
附表 7	干湿球温度计的相对湿度计算表(一)	270
附表 8	干湿球温度计的相对湿度计算表(二)	272
附表 9	露点测定仪的相对湿度计算表	272
	※ ※ ※	
附图 1	F12 的压焓图	插页
附图 2	F22 的压焓图	插页
附图 3	F11 的压焓图	插页
附图 4	氨的压焓图	插页
附图 5	湿空气的焓湿图	273
附图 6	湿空气的焓湿图 (0°C 以下用)	274

第一章 制冷装置管理的基本热工知识

制冷装置是靠冷剂在系统中产生的制冷作用来工作的。为了正确地理解制冷装置的工作原理和进行科学的管理，必须首先对其中用到的一些液态和气态物质，如各种冷剂、空气、水和盐水等的物理性质有所了解。本章简要介绍制冷和空气调节中所能遇到的基本热工名词和理论。

第一节 工质及其状态参数

在制冷装置中，蒸发器中的冷剂吸收了冷库中冷藏货物的热量，冷藏货物放出热量，温度下降。冷剂吸热后由液体蒸发为蒸气，然后被压缩机吸入，压缩为温度较常温为高的高压气体，排入冷凝器。冷剂蒸气在冷凝器中被海水冷却，凝结成液体；再经过膨胀阀降压降温，进入蒸发器中，又来吸收冷藏货物的热量，如此周而复始地工作，简称为“制冷循环”。

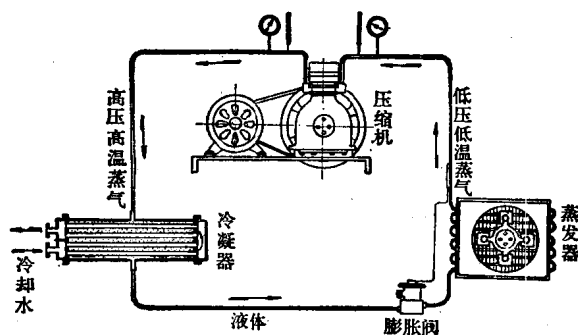


图1-1 一个制冷装置的简图

在制冷装置中，参加工作的物质主要是冷剂，此外还有空气、冷却水等，可统称为“工质”。

冷剂在制冷装置中进行循环时，它的压力、状态和温度是不断变化的。一般说来，可以用压力和温度来说明工质的“热力状态”。所以，压力和温度就是说明工质热力状态的参数，或简称为“状态参数”。制冷装置的管道中装有一些压力表和温度计来指示工质的压力和温度，以便管理人员了解各该处工质的状态及其在整个装置中的状态变化情况，作为分析制冷装置工作是否正常的依据。

工质的状态参数很多，压力、温度和每公斤工质所具有的容积——比容是日常用得最多的三个状态参数。经验表明，这三个状态参数中，只要知道两个，就能确定气体工质处于什么状态，其它参数的数值就可以用公式或查图表求得。所以，只要装压力表和温度计就可以了。

一、压 力

工质施加在容器壁面单位面积上的作用力，称为压力，通常用 P 表示。常用的压力单位

是作用在每平方厘米面积上的公斤力，写为公斤/厘米² (kg/cm²)。在使用英制度量单位的国家，压力单位为磅/英寸² (lb/in²)。它们之间的换算关系为

$$1 \text{ 公斤/厘米}^2 = 14.2 \text{ 磅/英寸}^2$$

当工质的压力很小时，常常用毫米水柱 (mmH₂O) 或毫米汞柱 (mmHg) 来表示。英制单位为英寸汞柱 (inHg)。它们和公斤/厘米² 单位之间的换算关系为

$$1 \text{ 公斤/厘米}^2 = 736 \text{ 毫米汞柱} = 29 \text{ 英寸汞柱} = 10,000 \text{ 毫米水柱}$$

大气压力。由于地球被大气层包围着，而大气层中的空气又有重量，因此暴露在大气中的物体就承受着大气压力的作用。大气压力数值的大小随海域和季节而变，可用大气压力计测得。通常取北纬 45° 海面上常年大气压力的平均值 760 毫米汞柱为一标准大气压，即

$$\text{标准大气压} = 760 \text{ 毫米汞柱} = 29.9 \text{ 英寸汞柱} = 1.033 \text{ 公斤/厘米}^2 = 10330 \text{ 毫米水柱}$$

可见，大气压力接近于 1 公斤/厘米²。因此，当计算不要求十分精确时，可以近似地认为大气压力的数值等于 1 公斤/厘米²。

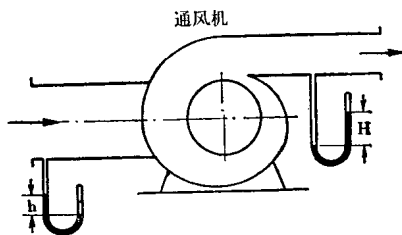


图1-2 测量空调通风机的吸、排风压力

绝对压力、表压力和真空压力。在密封容器或管路系统中的工质，它的压力可高于大气压力，处于受压状态；或低于大气压力，处于“真空”状态。图 1-2 为一空调通风机示意图，其排出管中的排风压力大于大气压力，而吸入管中的吸风压力则低于大气压力。这里测量压力用的仪表是 U 形管，管中装有水或水银（汞），其一端接在测压处，另一端通大气。装在排出管上的 U 形管，由于排风压力大于大气压力，所以液柱被压向通大气的一端，在两臂间形成了液位差 H 。这个液位差可以从 U 形管压力表中直接读出，它表示排风压力与大气压力的差值，通常称为“表压力”。而作用在容器或管道系统中工质上的真实压力的数值，则应该是表压力再加上当地的大气压力，通常把这个真实压力称为“绝对压力”，所以

$$\text{绝对压力} = \text{表压力} + \text{大气压力}$$

例如，图 1-2 中排出管上的 U 形管两臂液位差 H 为 500 毫米水柱，那末，排风表压力为 500 毫米水柱，或是 0.05 公斤/厘米²，如近似地取当地大气压力为 1.03 公斤/厘米²，则排风绝对压力为 1.08 公斤/厘米²。为区别起见，通常在表压力单位后加一（表）字，如此例中的表压力即写为 0.05 公斤/厘米²（表）。

在吸入管上的 U 形管中，因吸气压力小于大气压力，大气压力把液柱压向通吸入管的一端，这个液位差 h 表示吸入压力比大气压力低多少，称为“真空压力”。而吸气的真实压力则应该是大气压力减去真空压力后所得的数值。工质的这个真实压力同样称为“绝对压力”，所以

$$\text{绝对压力} = \text{大气压力} - \text{真空压力}$$

例如，图 1-2 中吸入管上的 U 形管两臂液位差 h 为 30 毫米水柱，那么，吸风的真空压力为 30 毫米水柱，或是 0.003 公斤/厘米²，如近似地取当地大气压力为 1.03 公斤/厘米²，则吸风的绝对压力为

$$1.03 - 0.003 = 1.027 \text{ 公斤/厘米}^2$$

因大气压力数值不大，所以真空压力往往以毫米汞柱来表示。例如制冷装置在作真空密封试验时，要求用真空泵将整个系统里的空气抽出，使其真空压力为 740 毫米汞柱，这表明此时系统中的压力比当地大气压力低 740 毫米汞柱。如当地大气压力为 760 毫米汞柱，则系统的

绝对压力为

$$760 - 740 = 20 \text{ 毫米汞柱} = 0.027 \text{ 公斤/厘米}^2$$

绝对压力、表压力和真空压力的意义可用图 1-3 加以形象的说明。从图中可以看出，表压力和真空压力都是表示工质的绝对压力与当地大气压力的相差数值，工质绝对压力比大气压力高多少的数值为表压力，低多少的数值为真空压力。它们都是压力表（真空表）的直接

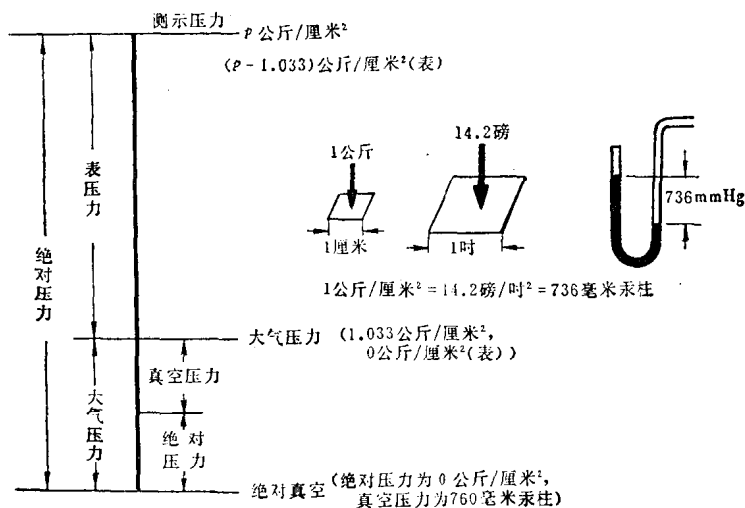


图1-3 各种压力名称的意义

读数，非常方便，所以在运行管理中都习惯用表压力或真空压力。但由于大气压力的数值是变化的，虽然变化量不大，然而对精确计算仍有一些影响，因此在技术资料上，尤其是表明其它热力状态参数与压力间的关系的工质热力性质表上都以绝对压力为基准。

二、温 度

温度是表明工质冷热程度的，可用温度计来测量。通常表示温度的符号为 t 。

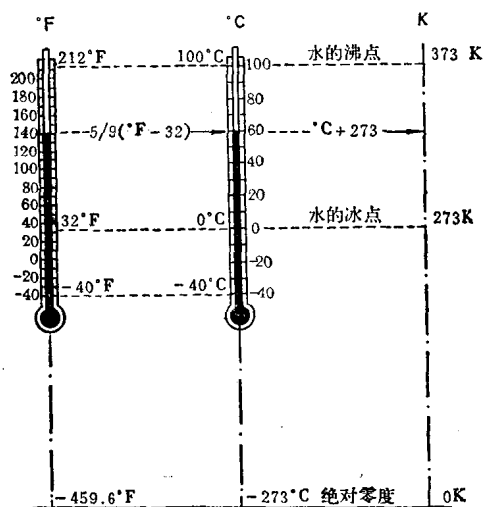


图1-4 摄氏温标与华氏温标的换算

常用的温度单位有摄氏与华氏两种。我国和其他用公制单位的国家均采用摄氏温标，用 $^{\circ}\text{C}$ 表示。它是取一标准大气压力下纯水的冰点作为 0°C ，沸点为 100°C ，将这两点之间均匀分为一百等分，每等分为 1°C 。用英制单位的国家采用华氏温标，用 $^{\circ}\text{F}$ 表示。它是将一标准大气压力下纯水的冰点定为 32°F ，沸点为 212°F ，两点之间均匀分为180等分，每等分为 1°F 。

这两种温标的换算关系如下：

$$\text{摄氏温度} = \frac{5}{9} \times (\text{华氏温度} - 32)$$

$$\text{华氏温度} = \frac{9}{5} \times \text{摄氏温度} + 32$$

例如，已知空调制冷压缩机排气温度为 150°F ，换算成摄氏温度为

$$\frac{5}{9} \times (150 - 32) = 65.5^{\circ}\text{C}$$

又如，某冷藏舱温度为 -25°C ，则相应于华氏温度为

$$\frac{9}{5} \times (-25) + 32 = -13^{\circ}\text{F}$$

在进行热工理论计算时，常采用绝对温度，其温度单位采用开氏温标，用 K 表示。开氏温标每一度的间隔与摄氏温标相同，但其零度（ 0K ）却比 0°C 低 273.15° 。因此，两者的换算关系为

$$\text{绝对温度}(\text{K}) = \text{摄氏温度}(^{\circ}\text{C}) + 273.15$$

由于工程上常采用三位有效数字，故上式被化简为

$$\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273$$

三、比容和重度

工质占有的空间容积以立方米（ m^3 ）或升（1000立方厘米）表示。每公斤工质的容积称为比容，用符号 ν 表示，它的单位是立方米/公斤（ m^3/kg ）或升/公斤（ l/kg ）。相反，每立方米容积工质的重量称为重度，它的单位是公斤/立方米（ kg/m^3 ）。

四、气体状态方程式

固体和液体物质在受热或冷却时，体积会发生变化，即热胀或冷缩，这是人们共知的常识。那么气体在温度升高或降低时，它的容积将如何变化呢？这个问题不像固体和液体那样简单，因为气体是可压缩的，所以还要看气体的压力如何变化。实验表明，每一种气体的压力、温度与比容这三个状态参数之间存在着一定的关系。

1) 如果将 G 公斤气体装在一个容积为 V 立方米的密封容器中，这时的气体比容 ν_1 应为

$$\nu_1 = \frac{V}{G} \text{ 立方米/公斤} \quad (1-1)$$

若测得当时的绝对压力为 p_1 公斤/厘米 2 ，温度为 $t_1^{\circ}\text{C}$ ，换算为绝对温度 $T_1\text{K} = t_1^{\circ}\text{C} + 273$ 。那么，在对这份气体进行加热或冷却时，因容器的容积不变，所以气体比容是不会变化的，但气体的压力却会随温度的升高而增大，随温度下降而减小。原温度为 $T_1\text{K}$ 时，其绝对压力为 p_1 ；当温度为 $T_2\text{K}$ 时，其绝对压力为 p_2 。它们之间存在着下列关系：

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{T_2}{T_1} \quad (1-2)$$

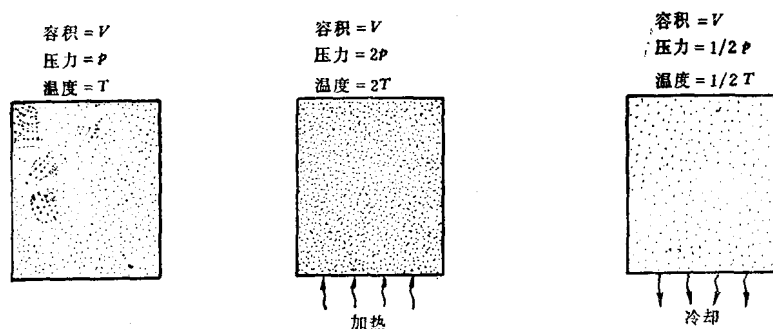


图1-5 气体的等容加热和冷却过程

在加热和冷却过程中，气体的比容不变，称为“等容过程”。如图 1-5 所示，在等容加热和冷却时，气体的绝对压力与绝对温度成正比。

2) 若将一定重量的气体置于一气缸中，由活塞对它施加一定压力，使其绝对压力 p 保持不变。若测出此时的气体容积为 V 立方米，温度为 T_1 K。当对气体进行加热或冷却时，气体的体积必然增大或减小。因为在整个过程中气体的绝对压力保持不变，一直为 p_1 公斤/厘米²，故称为“等压过程”。那么，当绝对温度为 T_2 K 时，气体的容积变为 V_2 。它们之间存在下列关系：

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{T_2}{T_1} \quad (1-3)$$

即在等压过程中，气体的容积或比容与绝对温度成正比，如图 1-6 所示。

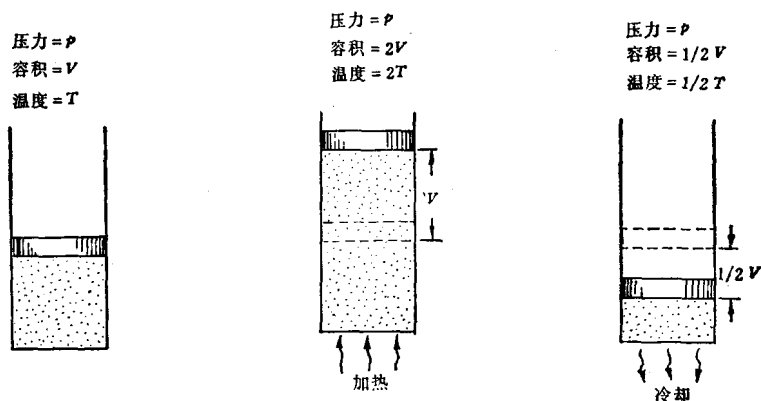


图1-6 气体的等压加热与冷却过程

3) 若气体在膨胀或压缩过程中重量不变，而压力、温度和容积都发生变化，例如压缩机气缸中压缩制冷剂蒸气就是这种情况，那么气体在压缩前、后的状态将会发生什么变化呢？通过实验知道，如 G 公斤气体在压缩前、后的绝对压力、绝对温度、容积分别为 p_1 、 T_1 、 V_1 和 p_2 、 T_2 、 V_2 ，那么它们之间存在着如下关系：

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2} \quad (1-4)$$

因为过程前、后气体的重量 G 没有变化，即

$$V_1 = G v_1$$

$$V_2 = G v_2$$

所以,

$$\frac{P_1 v_1}{T_1} = \frac{P_2 v_2}{T_2}$$

上式说明, 每一种一公斤的气体, 不论其状态如何变化, 其绝对压力、绝对温度和比容之间必保持一固定关系, 即在任何一个状态下, 气体的绝对压力与比容的乘积再除以绝对温度 $\left(\frac{pv}{T}\right)$ 等于一固定的常数 R , 称为这种气体的“气体常数”。所以, 可以写为

$$\frac{pv}{T} = R \text{ 或 } pv = RT \quad (1-5)$$

这一关系式称为“气体状态方程式”。不同气体的气体常数 R 的数值是不同的, 如空气为29.3, 氧气为26.5, 氮气为30.3, 二氧化碳为19.3, 等等。

如在容积为 V 的容器中存在有 G 公斤气体, 则

$$pV = GRT \text{ 或 } p = G \frac{RT}{V} \quad (1-6)$$

五、混合气体的分压力

当一个容器中装有两种或两种以上互相不起化学作用的不同气体时, 各种气体便互相混合成为混合气体。例如, 在装制冷剂蒸气的容器中混有空气, 容器中即为制冷剂蒸气与空气组成的混合气体, 这时用压力表测得的压力 p 称为混合气体的总压力。在温度不变的条件下, 用某种方法将容器中的空气除去, 使其中只剩下制冷剂蒸气, 即制冷剂蒸气占据整个容器的容积, 这时用压力表测得的压力 p' 就是制冷剂蒸气的分压力。同样, 在温度不变的条件下, 用某种方法将容器中的制冷剂蒸气除去, 使容器中只剩下空气, 即空气占据整个容器的容积, 这时压力表测得的压力 p'' 即为空气的分压力。

大量的实验和理论都证明, 由多种气体组成的混合气体的总压力 p 等于各组成气体在同温度下单独占据相同容积时所表现的分压力 (p' , p'' , p''' , ...) 之和, 即

$$p = p' + p'' + p''' + \dots \quad (1-7)$$

例如在容积为 V 立方米的容器中存在有温度为 TK 的混合气体, 它由 G_A 公斤的 A 气体和 G_B 公斤的 B 气体组成。 A 气体在温度为 TK 下单独占据容积 V 立方米时所表现的分压力为

$$p_A = G_A \frac{R_A T}{V}$$

同样, B 气体的分压力为

$$p_B = G_B \frac{R_B T}{V}$$

则混合气体的总压力为

$$p = p_A + p_B = G_A \frac{R_A T}{V} + G_B \frac{R_B T}{V}$$

由此可见, 当混合气体的温度变化时, 各组成部分的分压力和总压力都与绝对温度成比例升降, 但各分压力大小之间的相互比例关系是不变的。只要改变混合气体中某一种气体的含量, 该气体的分压力就会改变, 总压力随之改变, 但因其余气体的分压力并不改变, 故使各气体成分的分压力的比例关系发生变化。不过在增加某一种气体含量, 使其分压力提高的同时, 若设法保持总压力不变 (如增大气体占有的容积或降温), 则其它气体的分压力就会相应降低。

第二节 热 与 功

一、热 量 的 单 位

在制冷装置中，工质有时吸收热量，有时放出热量。为了说明工质吸收或放出热量的多少，就需要定出热量的单位。我国和采用公制单位的国家，热量单位是“卡”和“千卡”。在标准大气压力下将一公斤纯水温度升高 1°C 所需的热量为 1000 卡，称为一千卡。在采用英制的国家中，是用标准大气压力下将一磅纯水温度升高 1°F 所需的热量作为一个热量单位的，称为“英热单位”(B.T.U.)。千卡与 B.T.U. 之间的换算关系为

$$1 \text{ 千卡} = 3.968 \text{ B.T.U.}$$

二、热容量和比热

使物体温度升高 1°C 所需加入的热量，与物体温度降低 1°C 所放出的热量是相等的，统称为该物体的热容量。热容量的单位为 千卡/ $^{\circ}\text{C}$ ，它决定于物体的性质和重量。冷藏舱空舱降温时的热容量即为冷藏舱隔热结构以及舱内所有设备（包括空气在内）每降低 1°C 所放出的热量千卡数。满载水果的冷藏舱，由于加上了水果，其热容量就要比空舱的大得多。当然，热容量大的冷藏舱降温时需要制冷装置吸取的热量较大。

在热工计算中常用的是 1 公斤或 1 立方米物体的热容量，称作重量或容积比热。它是指 1 公斤或 1 立方米物体温度升高 1°C 所需的热量，单位为 千卡/ $^{\circ}\text{C}$ 公斤或 千卡/ $^{\circ}\text{C}$ 立方米。对于气体，则还要分在等压过程下加热的比热和在等容过程下加热的比热。通常在冷藏和空

表 1

物 体 名 称			物 体 名 称		
比 热 (千卡/ $^{\circ}\text{C}$ 公斤)			比 热 (千卡/ $^{\circ}\text{C}$ 公斤)		
冷藏食品类	猪肉	未冻结/已冻结 0.54/0.32	冷 剂 蒸 气 (大气压力下、 30 $^{\circ}\text{C}$ 时的等压 比热)	F 11	0.135
	牛肉	0.75/0.40		F 12	0.147
	羊肉	0.52/0.31		F 22	0.152
				氨	0.52
	鱼	0.80/0.41	其 它	钢 材	0.11
	含水量大的蔬菜	0.90/0.45		空 气	0.24
	蛋	0.76/0.40		水	1
	牛 奶	0.94/0.49		冰	0.5
	苹 果	0.90/0.5		滑 油	0.44
	香 蕉	0.80/0.42		盐水(钠盐)	0.79~0.85
	桔 子	0.90/0.46		盐水(钙盐)	0.71~0.78
	梨	0.91/0.48		海 水	略小于 1
	桃	0.92/0.46		松木板	0.65
				瓦楞纸板	0.35
				铝 皮	0.21
				玻 璃	0.2
液态冷剂(30 $^{\circ}\text{C}$)	F 11	0.209			
	F 12	0.243			
	F 22	0.355			
	氨	1.15			

调中只用气体的重量等压比热，它是指在压力不变时每公斤气体温度升高 1°C 所需的热量。不同的物体，其重量比热值各异。同一种物体，若其状态不同，例如气态的蒸汽、液态的水以及固态的冰同为水，其比热值却不一样。即使是蒸汽，其比热值也要随温度的不同而异。表1列出各物体在其通常情况下的比热值。

知道物体的比热值后，只要得知物体被加热或冷却后的温度变化值以及该物体的重量，便可按下式计算出加热量或放热量：

$$Q = G \times c \times (t_2 - t_1) \text{ 千卡} \quad (1-8)$$

式中：G——物体的重量，公斤；

c——比热，千卡/ $^{\circ}\text{C}$ 公斤；

$t_2 - t_1$ ——温度变化量， $^{\circ}\text{C}$ 。

例如某冷藏舱中装入550吨温度为 15°C 的苹果，要求把苹果降温到 0°C ，苹果需放出的热量为

$$Q = 550 \times 1000 \times 0.9 \times (15 - 0) = 7,425,000 \text{ 千卡}$$

例如某船空调装置在冬季向冷空气加热，已知空气量为8000公斤/时，进入加热器前的空气温度为 10°C ，要求加热到 35°C ，则蒸汽加热器要加给冷空气的热量

$$Q = 8000 \times 0.24 \times (35 - 10) = 48,000 \text{ 千卡/时}$$

三、功 与 功 率

电动机带动压缩机转动，可以认为电动机作了“功”，而压缩机得到了“功”。在压缩机的气缸中，活塞压缩气体，活塞作了功而被压缩的气体得到了功。

除了电动机和活塞等机械作功之外，在工程技术中作功一词的含义较广，只要有一定的力作用在物体上，并且使物体沿该力作用的方向移动一定的距离，就称该力对物体作了功。例如高压气体在气缸中膨胀时对活塞作了膨胀功。又如气体和液体在管道中流动时受到管壁的摩擦力阻碍作用，就称作了摩擦功。

由此可见，在功的量度中只有两个因素：物体移动的距离S米以及作用在物体移动方向上的力P公斤。其计算公式和单位如下：

$$L = P \times S \text{ 公斤米} \quad (1-9)$$

例如用100公斤的力将重物举起2米高，则作功为200公斤米。

功率是表示在多长时间完成若干功的物理量。工程上计算功率的单位是“马力”或“千瓦”，它决定于物体的移动距离S米、作用在物体移动方向上的力P公斤以及移动这一距离所需的时间 τ 秒。用计算公式和单位表示如下：

$$\text{功率} = \frac{P \times S}{\tau} \text{ 公斤米/秒} \quad (1-10)$$

$$1 \text{ 马力} = 75 \text{ 公斤米/秒}$$

$$1 \text{ 千瓦} = 102 \text{ 公斤米/秒}$$

例如一台电动机的功率为10千瓦，即表示它一小时（3600秒）能作功 $10 \times 102 \times 3600 = 3,672,000$ 公斤米。由此可见，在工程上公斤米这一功的单位太小，所以均以千瓦时和马力时为功的单位。

$$1 \text{ 千瓦时} = 1.36 \text{ 马力时}$$

采用英制单位的国家所用的英制马力，比我国采用的公制马力大，即

$$1 \text{ 公制马力} = 0.986 \text{ 英制马力}$$

四、功 的 热 当 量

凡要作功，都需消耗能量。能量就是一种作功的本领。能量以多种形式存在，如机械能、热能、电能、化学能和原子能等等。物体中所含的能量只能通过从外界接受或向外界转移而发生变化，而不能自生自灭。各种能量的形式是可以互相转换的，如电能转变为热能和机械能，热能转变为机械能，但转换前后的能量在数量上是完全相等的。这就是宇宙间物质的基本定律之一，称为能量守恒和转换定律。

经过大量实验测定，热能和机械功之间的转换关系为 1 公斤米机械功相当于 $\frac{1}{427}$ 千卡热量，所以 $\frac{1}{427}$ 称为“功的热当量”。

在功以马力时和千瓦时为单位时

$$1 \text{ 千瓦时} = 860 \text{ 千卡}$$

$$1 \text{ 马力时} = 632 \text{ 千卡}$$

第三节 焓 和 熵

制冷系统的各种设备在工作时，其中的工质总是经过加热、冷却、膨胀作功或被压缩消耗了功等等过程，使工质的热力状态发生一系列的变化。工质从初始状态经过一系列中间状态变化为终了状态这一过程，称为工质经历了一个状态变化的“热力过程”。我们研究热力过程，就是要了解在过程中工质对外界作的（或得到的）机械功、工质从外界吸收（或放出）的热量以及工质拥有能量的变化这三者之间的相互关系。为此，下面先对工质作的机械功和工质的“焓”结合制冷装置中所遇到的情况作以简要介绍。

一、机 械 功

在制冷装置中，压缩机在压缩和排出冷剂蒸气时都要消耗外界的机械功。通常都是利用压缩机的工作压容图来计算压缩机的耗功量。压容图是以气缸内气体的压力为纵坐标，以容积为横坐标的，所以气缸内气体的压力和容积就可以用此坐标图上的一个点来表示。如在压缩机的一次吸排过程中，将活塞位于各个位置时气缸内气体的容积和当时的压力都用一些坐标点记录下来，然后把把这些点连接成一根曲线，就成为压缩机的工作压容图。图 1-7 为一活塞式压缩机的理想工作压容图。此图线形象地表达了冷剂蒸气在压缩机中所经历的热力过程。现在我们利用它来计算此压缩机压缩一公斤冷剂蒸气所消耗的机械功。

1. 吸气过程

活塞从上死点自左向右移动时，进气阀一直开启着，压力为 p_1 的气体在等压下进入气缸，这一过程可用压容图上的直线 4-1 表示。如果活塞背面为绝对真空，在吸气过程中作用在活塞正面的压力为 p_1 ，活塞面积为 F ，那么气体作用在活塞上的总力为 $p_1 \times F$ 公斤。若活

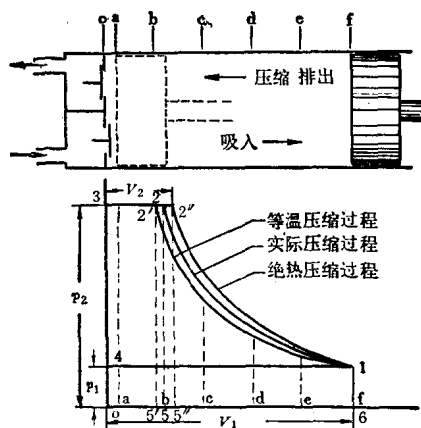


图1-7 活塞式压缩机的理想工作压容图

塞从上死点移至下死点的行程为 S 米，吸气过程完毕时正好吸入了一公斤气体，则气缸中的气体在这一过程中对活塞作的功为

$$l_1 = \text{作用在活塞上的总力} \times \text{活塞行程} = p_1 \times F \times S = p_1 \times v_1$$

式中的 v_1 为活塞在下死点时气缸的容积，因为假定吸入的气体重量为一公斤，所以也就是吸气状态下的气体比容。

因为压容图中矩形 41604 的高为 p_1 ，底长为 v_1 ，其面积恰等于 $p_1 \times v_1$ ，所以气体在吸气过程中对活塞所作的功也可用吸气过程线 4-1 下方的面积 41604 来表示。

2. 压缩过程

活塞从下死点开始回行时，进气阀和排气阀都是关闭的，气缸中气体的重量不变，因而气体被活塞压缩，压力升高。当气体容积被压缩至 v_2 时，压力升为 p_2 。若此时排出阀打开，则压力为 p_2 的气体开始经排气阀流出，压缩过程即告完结。在整个压缩过程中，气体的压力、比容、温度都发生了变化。气体的状态变化可用压缩过程线 1-2 来表示。因为在压缩过程中，活塞运动方向与气缸内气体作用在活塞上的力的方向相反，即活塞挤压气体，因而外界通过活塞对气体作了功，即消耗了外界功。这个功的数值可以用压容图上的面积 12561 表示。

为什么这个功可用面积 12561 来表示呢？如图 1-8 所示，可以把压缩过程 1-2 近似地用一系列微小的等压过程 1-a-a'-b-b'-.....-2 来表示。在微小等压过程 1-a 中，作用在活塞上的力 $p_1 F$ 是不变的，活塞克服这个力移动的距离为 Δx_1 ，所以消耗外功 $\Delta l_1 = p_1 \times F \times \Delta x_1$ ，其中 $F \times \Delta x_1$ 为活塞由 1 移动到 a 气缸内气体容积的变化量 Δv_1 。因此， $\Delta l_1 = p_1 \times \Delta v_1$ ，在图上可用阴影线长方形的面积表示。各个微小等压过程所消耗的外功之和，就是过程 1-a-a'-b-b'-.....-2 所消耗的外功 l_2 ，即

$$l_2 = \Delta l_1 + \Delta l_2 + \dots + \Delta l_n$$

如果把微小等压过程的数目取得很多，每一个的容积变化又非常小，那末 1-a-a'-b-b'-.....-2 过程线就几乎与压缩过程线 1-2 重合。

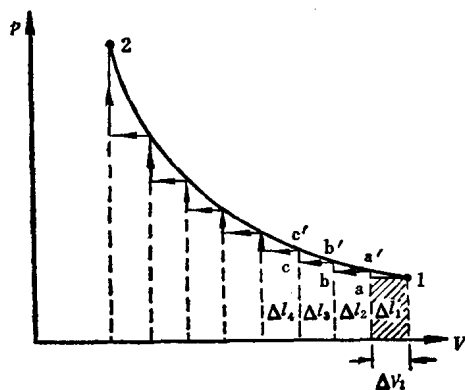


图1-8 压缩过程消耗功的图解算法

所以, 压缩过程所消耗的外功 l_2 就可以用面积12561 来表示。

3. 排气过程

排气阀开启后, 气缸中的气体在活塞挤压下流出气缸。与吸气过程相似, 气体压力没有变化, 一直保持为 p_2 , 当活塞回行至上死点时, 气缸中的气体排净, 在图 1-7 上可用直线 2-3 表示。因为气体是由于活塞的挤压作用而排出的, 因此, 排气过程消耗了外功, 其数值为

$$l_3 = p_2 \times v_2 = \text{面积 } 23052$$

这样, 活塞经过一个往复, 包括进气、压缩、排气三个过程, 压缩机对一公斤气体所消耗外界的机械功 l 为压缩过程所需外功 l_2 加上排气过程所需外功 l_3 再减去进气过程气体对外作的功 l_1 , 即

$$l = l_2 + l_3 - l_1 = \text{面积 } 12561 + \text{面积 } 23052 - \text{面积 } 41604 = \text{面积 } 12341$$

在高速压缩机中, 活塞运动的速度很快, 每次压缩气体的时间仅为 $1/20 \sim 1/60$ 秒, 时间这样短, 因此可近似地认为气体在压缩过程中来不及与外界进行热交换。这种压缩过程称为“绝热压缩”, 其压缩过程线如图 1-7 压容图中 1-2'' 所示。如果压缩机的活塞运动速度很缓慢, 同时又对气缸进行强烈的冷却, 使气体被活塞挤压而容积减小时, 气体温度的升高可近似地认为等于零, 那么这种压缩过程称为“等温压缩”。因为等温压缩时气体温度不变, 所以气体压力的升高要比绝热压缩时缓慢。等温压缩线如图 1-7 中 1-2' 所示。实际上, 气体在压缩过程中总有一些热量散给外界, 但又不太可能散发那么多的热量, 以致使气体温度保持不变, 所以实际的压缩过程既不是绝热过程, 也不是等温过程, 而是处于两者之间, 如图 1-7 中 1-2 线所示。

当绝热压缩时, 由上所述, 压缩机所消耗的机械功为 12''341; 当等温压缩时, 则为 12'341; 实际的压缩机所消耗的机械功为 12341。由图可以明显看出, 就压缩机消耗的机械功来说, 采用绝热过程时最大, 而采用等温过程时最小。因此, 实际的压缩机都采用各种冷却方法 (水冷、气冷) 使气缸冷却, 以减少所消耗的机械功。

二、焓

和压力、温度、比容一样, 焓也是工质的一个状态参数。什么是“焓”呢? 我们知道, 当对工质加热或作功时, 加入的能量总不外消耗于以下三个方面:

1. 提高温度, 使工质内部分子运动所具有的能量增加, 也就是增加工质的“内能”;
2. 提高压力, 增加工质所含的“压力能”;
3. 通过工质对外作机械功。

在热工技术中, 工质所含的内能和压力能的总和称为焓, 用以表明工质内部所含能量的多少。

通常并不需要知道焓的绝对数量, 而只需了解热力过程前后焓值的增加或减少的数量。因此, 为了计算上的方便, 不同工质的焓的基准数值是人为地规定的。对于淡水, 规定在标准状态下, 即压力为 1.033 公斤/厘米²、温度为 0°C 时一公斤水的焓值为零。对于各种常用冷剂 (氨、F12 等), 规定 0°C 时一公斤液态氨、F12 等的焓值为 100 千卡/公斤。

三、焓在制冷装置中的应用

下面结合制冷装置中的主要设备 (压缩机、冷凝器、蒸发器和膨胀阀) 来说明焓的用途。