

制 冷 原 理

中 册

上海机械学院

目

压缩式制冷机原理

第一章 单级压缩蒸汽制冷机的理论循环

第一节 单级压缩蒸汽制冷机的理论循环	1
第二节 逆卡诺循环、制冷机循环的热力完善度	4

第二章 制冷工质

第一节 制冷工质概述	7
第二节 常用的制冷工质	9
第三节 其它制冷工质	19
第四节 制冷工质的物理性质	22
第五节 制冷工质的选择	27

第三章 单级压缩蒸汽制冷机的实际循环

第一节 单级压缩蒸汽制冷机的实际循环	31
第二节 液体工质的过冷、蒸汽的过热及回热循环	37
第三节 单级压缩蒸汽制冷机的热力计算	44
第四节 温度变动时制冷机的特性、制冷机的工况	50
第五节 应用不同工质时制冷机的特性	57

第四章 多级压缩及复叠式制冷机循环

第一节 采用多级压缩的原因	60
第二节 两级压缩制冷机循环	61
第三节 两级压缩制冷机循环的热力计算	72
第四节 温度变动时两级压缩制冷机的特性	82
第五节 用离心式压缩机的多级压缩循环	84
第六节 复叠式制冷机循环	87

第七节 关于复叠式制冷机的几个问题	95
-------------------------	----

湿空气的性质与空气调节

§ 1. 湿空气的性质	100
§ 2. 湿空气的 $i-d$ 图	108
§ 3. 湿度的测量	112
§ 4. 关于 0°C 以下的湿空气	115
§ 5. 湿空气状态变化的过程——空气调节的基本过程	119
§ 6. 空气调节机组	129

压缩式制冷机原理

第一章 单级压缩蒸汽制冷机的理论循环

第一节 单级压缩蒸汽制冷机的理论循环

在“专业概论”课程中以及在生产劳动过程中，我们曾看到过一些单级制冷机，并且已经初步了解了它们的系统设备及工作过程。

单级制冷机无论是用活塞式压缩机或是用离心式压缩机，可以简单地用图 1-1 中的示意图来表示，制冷工质（氨或氟利昂）在制冷机系统内连续经过压缩、冷凝、节流、蒸发四个过程，便完成了单级制冷机的循环，同时也达到了制冷的目的，即不断地将低温物体放出的热量转移到环境介质（水或空气）中去。

以上只是感性的认识。我们知道：认识的真正任务在于经过感觉而到达于思维，到达于逐步了解客观事物的内部矛盾，了解它的规律性。为了要暴露制冷机内部的矛盾并弄清楚它的规律性，我们就得用热力学的知识对制冷机的循环进行分析。

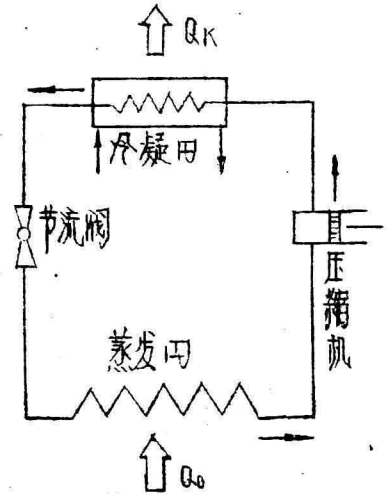


图 1-1 单级制冷机示意图

首先我们将单级制冷机的循环过程表示在温焓图及压焓图上，如图 1-2 所示。在这里我们假定压缩机吸入的是饱和蒸汽

（即没有吸汽过热现象），在节流之前是饱和液体（即不用液体过冷）；而且我们按最理想的情况来分析。这样的循环称为理论循环。图中 1-2 表示工质在压缩机中的压缩过程，在理想情况下这一过程是等熵过程。

2-3-4 表示工质在冷凝器中的冷却（2-3）及冷凝（3-4）过程，在这一过程中工质的压力保持不变，且等于与冷凝温度 T_c 相对应的

饱和蒸汽压力 P_K ；在冷却阶段工质的温度从 T_2 降低到 T_K 保持恒定，而且在理想情况下 T_K 与环境介质的温度相等。4-5 表示节流过程，

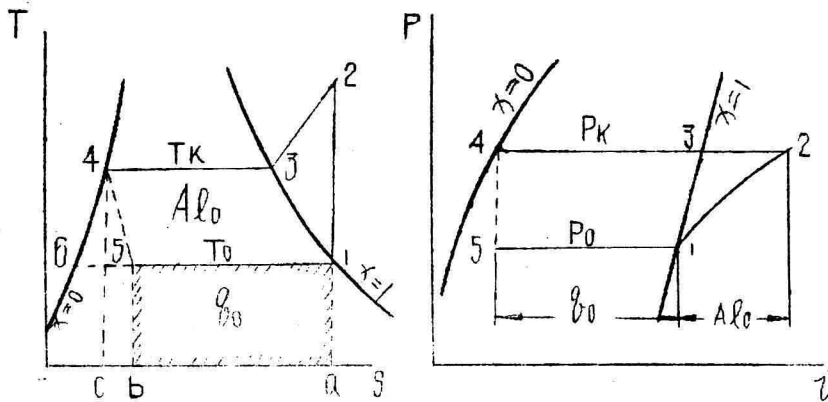


图 1-2 单级制冷机理论循环的温熵图及压焓图

经节流膨胀后工质的焓未变，即 $i_4 = i_5$ ；但压力和温度都降低，而且进入两相区，即有部分工质蒸发成饱和蒸汽。5-1 表示在蒸发器中的蒸发过程，在这一过程中工质的压力保持不变，等于与蒸发温度 T_0 相对应的饱和蒸汽压力 P_0 ，而且在理想情况下蒸发温度 T_0 与被冷却物体的温度相等。

根据图 1-2 我们可以计算单级制冷机理论循环的几个性能指标：

1. 单位制冷量及单位容积制冷量：压缩机每输送 1 公斤工质所制得的冷量（即在蒸发器中吸取的热量）称为单位制冷量 q_0 ，它在温熵图中是用蒸发过程线下的面积 $a-1-5-b-a$ 表示，而在压焓图中用蒸发过程线段的长度 $5-1$ 表示，很显然：

$$q_0 = i_1 - i_5 = i_1 - i_4 \quad (\text{大卡/公斤}) \quad (1-1)$$

$$\text{或 } q_0 = r_0 (1 - X_2) \quad (\text{大卡/公斤}) \quad (1-1a)$$

其中 r_0 —— 在蒸发温度 T_0 时工质的蒸发潜热，（大卡/公斤）；

X_2 —— 节流后湿蒸汽的干度。

由式 (1-1a) 可知， r_0 越大、 X_2 越小，则循环的单位制冷量就越大。 r_0 及 X_2 的数值通常是与工质的种类有关，而且 X_2 还与膨胀过程的温度范围有关。膨胀过程的温度范围越大，则膨胀后产生的蒸汽就越多，

x_s 的数值也越大。

单位容积制冷量 q_V 是表示压缩机每输送 1 立方米（按吸气状态计算）汽态工质所能制得的冷量，它可以很方便地由 q_0 换算出来：

$$q_V = \frac{q_0}{V_1} = \frac{i_1 - i_s}{V_1} \quad (\text{大卡/米}^3) \quad (1-2)$$

其中 V_1 是在吸汽状态时工质蒸汽的比容，（米³/公斤）。 V_1 对 q_V 有很大的影响，当蒸发温度较低时 V_1 的数值较大，因而 q_V 的数值就较小。

由式（1-1）及（1-2）可看出：对每一种工质来说， q_0 及 q_V 仅与蒸发温度及节流前液体的温度有关，可以很方便地根据制冷工质的热力性质表或图计算出来。在有的表中还直接给出在不同温度范围内 q_V 的数值。

2. 单位功：压缩机每输送 1 公斤制冷工质所消耗的功称为单位功，用 $A l_0$ 表示。在节流过程中工质不对外做功，所以循环的单位功与压缩机的单位功 $A l_y$ 相等。根据热力学的理论我们知道当为等熵压缩时压缩机的单位功是用初、终两态的焓差表示：

$$A l_0 = A l_y = i_2 - i_1 \quad (\text{大卡/公斤}) \quad (1-3)$$

这在图 1-2 的温焓图中可近似地用面积 1-2-3-4-6-1 表示，而在压焓图中是用 1、2 两点的横坐标差表示。很显然，循环的单位功是随着工作温度 T_K 及 T_0 而变的；而在工作温度相同的条件下不同的制冷工质其单位功也是不同的。单位功可以很方便地用工质的热力性质图计算出来。

3. 单位冷凝热量：即 1 公斤工质一次循环中在冷凝器中放出的热量，用 q_K 表示。由图 1-2 可表出：

$$q_K = (i_2 - i_s) + (i_s - i_1) = i_2 - i_1 \quad (\text{大卡/公斤}) \quad (1-4)$$

或者根据循环的能量平衡（即热力学第一定律）同样可得：

$$q_K = q_0 + A l_0 = (i_1 - i_s) + (i_2 - i_1) = i_2 - i_s$$

单位冷凝热量在温焓图上是用面积 a-2-3-4-C-a 表示（或近似地用面积 a-2-3-4-6-5-b-a 表示），而在压焓图上用线段 2-4 表示。

4. 制冷系数：制冷系数是规定为循环的单位制冷量与单位功之

比，即：

$$\epsilon_0 = \frac{q_0}{A l_0} = \frac{i_1 - i_4}{i_2 - i_1} \quad (1-5)$$

制冷系数是表示消耗一个单位功所能制得的冷量，它是制冷机循环的一个重要的技术经济指标。在给定的条件下制冷系数越大则循环的经济性就越好。因为 q_0 及 $A l_0$ 都是随着循环的工作温度而变的，所以制冷系数也是随着工作温度而变的；冷凝温度越高，蒸发温度越低，则循环的制冷系数越小。

最后我们讨论一下在制冷机循环中采用等焓膨胀（即节流）而不用等熵膨胀过程的问题。如图 1-3 所示，当采用等熵膨胀时制冷机的理论循环将是 1-2-3-4-1，与采用等焓膨胀的循环 1-2-3-4-5 比较，不但多制得一部分冷量：

$$\Delta q_0 = i_1 - i_5$$

还可近似地用面积 4-6-7-4 表示。所以采用等熵膨胀时循环的经济性

显然是提高了。但是，由于实现液体膨胀机在技术上有困难，而节流阀结构简单，便于调节，所以到目前为止在制冷机循环中还是应用节流过程（液体等熵膨胀时膨胀功的数值较小，例如当由 30°C 时的饱和液体状态膨胀到 -15°C 时：对于 NH_3 , $A l_P = 5.3$ ； F-22 $A l_P = 1.3$ ； F-12 $A l_P = 0.9$ （大卡/公斤），所以由于应用节流膨胀而引起的能量损失还不是很严重）。

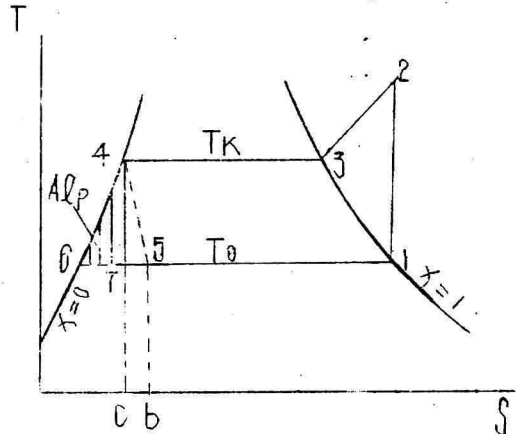


图 1-3 采用等熵膨胀与等焓膨胀的循环的比较

第二节 逆卡诺循环、制冷机循环的热力完善度

上节中所分析的制冷机的理论循环，虽然我们作了一些理想化的假定（压缩过程是等熵的，冷凝温度与环境介质的温度相等，蒸发温度与被冷却物体的温度相等），但它仍是一个不可逆循环。这是因为：

(1) 在冷却过程(2-3)中工质的温度远高于环境介质的温度,存在着不可逆传热的损失;(2) 节流过程是不可逆的,使循环的单位功增大,单位制冷量减小。由于这两个不可逆因素的存在,循环的制冷系数自然就降低了。

那么怎样才能实现可逆的制冷机循环呢?

我们研究问题应该从实际的条件出发。就制冷机的工作条件来说,它的外部热源包括环境介质(冷却水或空气)及被冷却对象(盐水或者冷库库房中的空气)的温度在制冷机工作过程中变化很小,可以看作恒温热源(取其平均温度作为代表温度)。当热源温度为恒值时可逆的制冷机循环将是无传热温差的逆卡诺循环。

我们设想在环境介质及被冷却物体之间作用一套如图1-4(a)所示的系统,它的工作过程是这样的:从蒸发器中出来的制冷工质蒸汽,进入压缩机后首先被等熵地压缩(1-2'),当蒸汽的温度升高到与环境介质的温度 T 相等时再等温压缩(2'-3),直到蒸汽的压力升高到冷凝压力 P_K (与环境介质温度 T 相对应的饱和蒸汽压力)时排入冷凝器中(状态3);在冷凝器中制冷工质冷凝成液体,而且冷凝温度 T_K 与环境介质的温度 T 相等(即没有传热温差);然后令制冷工质液体在膨胀机中等熵膨胀到蒸发压力 P_0 ,再进入蒸发器中吸收被冷却物体的热量,而蒸发温度 T_0 与被冷却物体的温度 T_0' 相等(没有传热温差)。按照这样的工作过程完成的循环就是逆卡诺循环,在图

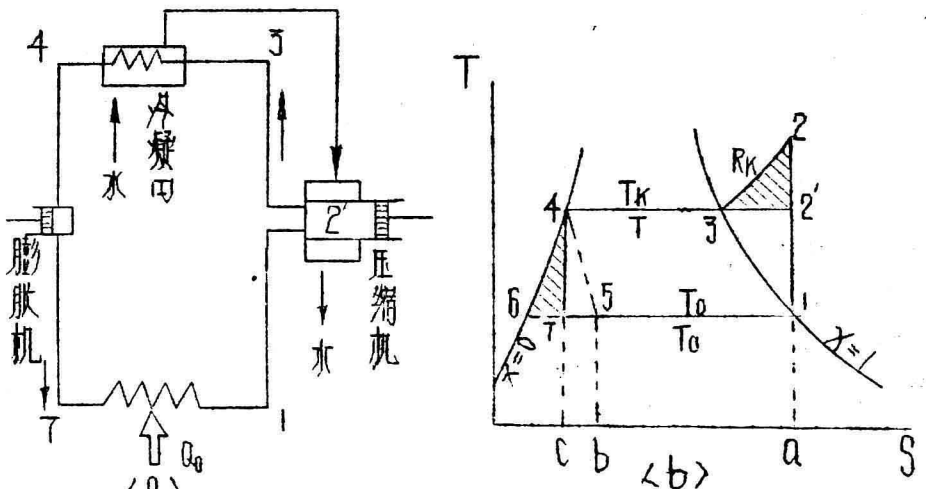


图 1-4 逆卡诺循环的系统图及温熵图

1-4 (b) 中示出它的温熵图 1-2-3-4-7。与工作于相同温度范围的单级制冷机的理论循环 1-2-3-4-5 比较，逆卡诺循环不但单位制冷量（在图中用面积 $a-1-7-c-a$ 表示）增大了，而且循环的单位功（在图中用面积 1-2'-4-7-1 表示）减少了，减少的部分在图中用画有斜线的面积表示。所以逆卡诺循环的制冷系数当然也就大得多。

对于逆卡诺循环可进行计算如下：

$$q_{0K} = T_0' (S_1 - S_4);$$

$$A l_{0K} = (T - T_0') (S_1 - S_4);$$

$$\varepsilon_K = \frac{q_{0K}}{A l_{0K}} = \frac{T_0'}{T - T_0'} = \frac{T_0}{T_K - T_0} \quad (1-7)$$

从式 (1-7) 可看出：逆卡诺循环的制冷系数也是随着工作温度而变的，若冷凝温度越高，蒸发温度越低则循环的制冷系数越小。这一特性对于所有的制冷机循环定性地说都是适用的。

我们上面分析的逆卡诺循环是一个完全可逆的循环，它没有任何不可逆损失，因而在给定的热源温度下它的制冷系数就具有最大的数值。但可惜这样的循环在实际上无法实现（等温压缩过程及液体膨胀机都无法实现），所以只是在理论上将它作为比较的最高标准。通常是将工作于相同温度间的制冷机循环的制冷系数 ε 与逆卡诺循环的制冷系数 ε_K 之比称为这个制冷机循环的热力完善度：

$$\eta = \varepsilon / \varepsilon_K \quad (1-8)$$

例如对于单级制冷机的理论循环其热力完善度是：

$$\eta_0 = \frac{\varepsilon_0}{\varepsilon_K} = \frac{i_1 - i_2}{i_2 - i_1} \times \frac{T - T_0'}{T_0'} \quad (1-9)$$

热力完善度是用来表示制冷机循环接近逆卡诺循环（需具有相同的热源温度）的程度，它的数值越大就说明循环的不可逆损失越小。所以热力完善度也是制冷机循环的一个技术经济指标。但热力完善度与制冷系数的意义不同，制冷系数是与循环的工作温度与其他一些因素有关，对于工作温度不同的制冷机循环就无法按制冷系数的大小来判断循环经济性的好坏，在这种情况下只能根据热力完善度的大小来判断。但在一个具体设计中，工作温度是给定的，在这种情况下选择

循环时制冷系数最大和热力完善度最大是相一致的。

第二章 制 冷 工 质

第一节 制冷工质概述

制冷工质，或称制冷剂，就是在制冷机系统中起循环变化的物质。制冷机藉制冷工质的状态变化才能制取冷量，也就是说才能将被冷却物体放出的热量连续不断地转移到环境介质（水或空气）中去。

在蒸汽制冷机中是利用制冷工质的状态变化来转移热量的，即工质蒸发时吸热，冷凝时放热。在蒸汽制冷机中应用的工质必须具有这样的特性，就是在常温及普通低温范围内能够液化，而且当冷凝时压力不要太高。因此，它们应具有不很低的临界温度 $t_{K,r}$ 和比较适中的正常蒸发温度 t_g 。所谓正常蒸发温度就是当压力为 760（毫米）汞柱时工质的蒸发温度，即通常所说的沸点。现在所应用的各种制冷工质的正常蒸发温度系在 $100 \sim -130^\circ\text{C}$ 的范围内。

目前应用的制冷工质有水、氨及某些碳氢化合物和氟利昂。表 2-1 中列出一些制冷工质的物性参数。

水是最容易得到的物质，而且没有毒，不会燃烧和爆炸。但水的正常蒸发温度较高，所能达到的低温限于 0°C 以上；在普通温度时饱和蒸汽压力很低，蒸汽比容很大，因而大大地限制了它的应用。现在水只应用于蒸发温度在 0°C 以上的、用于空气调节的蒸汽喷射式制冷机及吸收式制冷机。

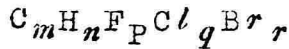
氨由于它具有比较适中的工作压力和比较大的单位容积制冷量，所以得到了广泛的应用。但因氨可以燃烧和爆炸，而且具有毒性，因而它的应用也受到一定的限制。

碳氢化合物因燃烧和爆炸性比较强，现在只用于石油及石油化工厂用的制冷机中。

氟利昂是饱和碳氢化合物的氟、氯、溴衍生物的总称，目前用作

制冷工质的主要是甲烷和乙烷 (CH_4 和 C_2H_6) 的衍生物。在这些衍生物中是用氟、氯和溴的原子代替了原来化合物中的 (全部或一部分) 氢原子, 这样就使化合物的性质起了很大的变化。氟利昂的种类较多, 它们的热力性质也区别较大, 可分别应用于适应不同情况的制冷机。氟利昂的应用, 促进了制冷技术很大的发展。

饱和碳氢化合物的分子通式为 $\text{C}_m\text{H}_{2m+2}$, 所以氟利昂的分子通式可以表示为:



而且 $n+p+q+r=2m+2$, 由此可见, 氟利昂的种类是异常多的, 为了避免书写氟利昂分子式的麻烦, 人们制定了一套简化符号来表示各种氟利昂工质。符号用“F”及它后面的数字组成, “F”后面的数字依次为: $(m-1)$, $(n+1)$, p ; 若含溴原子时, 则在数字后面增加字母“B”, 并附以表示溴原子数的数字 r 。(对于甲烷衍生物, 因 $(m-1)$ 为 0, 而“0”又是数字第一位可省略成一个二位数)。现举例说明如下:

化合物名称	分子式	代 号
二氟二氯甲烷	CF_2Cl_2	F-12 $\left\{ \begin{array}{l} m-1=0, n+1=1 \\ p=2 \end{array} \right.$
二氟一氯甲烷	CHF_2Cl	F-22 $\left\{ \begin{array}{l} m-1=0, n+1=2 \\ p=2 \end{array} \right.$
四氟二氯乙烷	$\text{CF}_2\text{Cl}-\text{CF}_2\text{Cl}$	F-114 $\left\{ \begin{array}{l} m-1=1, n+1=1 \\ p=4 \end{array} \right.$
二氟一氯乙烷	$\text{CH}_3-\text{CF}_2\text{Cl}$	F-142 $\left\{ \begin{array}{l} m-1=1, n+1=4 \\ p=2 \end{array} \right.$
三氟一溴甲烷	CF_3Br	F-13B $\left\{ \begin{array}{l} m-1=0, n+1=1 \\ p=3 \quad r=1 \end{array} \right.$
丙 烷	C_3H_8	F-290 $\left\{ \begin{array}{l} m-1=2, n+1=9 \\ p=0 \end{array} \right.$

制冷工质按照它的正常蒸发温度 t_s 及在常温下的饱和蒸汽压力

P_K 可以分为如下三类：

1. 高温制冷工质或低压制冷工质。 $t_S > 0^\circ\text{C}$, $P_K \leq 2-3$ (绝对大气压)，常用的有 F_{-11} 、 F_{-21} 、 F_{-113} 、 F_{-114} 等。

2. 中温制冷工质或中压制冷工质： $0^\circ\text{C} \geq t_S > -60^\circ\text{C}$, $P_K \leq 15 \sim 20$ (绝对大气压)，这类制冷工质应用最广泛，常用的有：氨、 F_{-12} 、 F_{-22} 、 F_{-142} 、 F_{-290} 及丙烯 (C_3H_6) 等。

3. 低温制冷工质或高压制冷工质： $t_S \leq -60^\circ\text{C}$ ，常用的有 F_{-13} 、 F_{-14} 、 F_{-170} 及乙烯 (C_2H_4) 等。

对制冷工质进行如上的分类，主要是根据它们所适用的工作温度范围。

目前我国最常用的工质有氨和几种氟利昂。氨主要用于冷库，工业生产及较大型的空调用制冷机。在氟利昂中常用的有： F_{-12} 及 F_{-22} ——用于冰箱、空调机、去湿机及两级压缩低温试验机； F_{-13} ——用于复叠式制冷机的低温级； F_{-11} ——用于空调用离心式压缩机。此外在石油工厂中还使用丙烯及乙烯（用于复叠式制冷机）。

第二节 常用的制冷工质

氨：

氨是最广泛应用的中温制冷工质。氨蒸汽无色，具有强烈的刺激性臭味。氨对人体具有较大的毒性，它可以刺激人的眼睛及呼吸器官，氨液飞溅到皮肤上时会引起肿胀甚至冻伤。当氨蒸汽在空气中容积浓度达到 $0.5\% \sim 0.6\%$ 时人在其中停留半小时即可中毒。

氨可以燃烧和爆炸。当空气中氨的含量达到 $16 \sim 25\%$ (按容积计) 可引起爆炸，空气中氨的含量达到 $11 \sim 14\%$ 时即可点燃（燃烧时呈黄色火焰）。有时氨会在制冷机内部发生爆炸，主要是由于系统中存在着自由状态的氢及其他不凝性气体，当氨的积存量相当大时就会与空气发生爆炸，为了防止氨制冷机发生爆炸，除了限制排气压力

及排气温度的外，还必须经常从系统中排除不凝性气体。

氨在 260°C 以上可以分解成氢和氮。

氨能以任意比例与水互相溶解，组成氨水溶液，在低温下水也不会从氨液中析出而冻结。但是氨液中溶解有水后，使蒸发温度稍许提高，同时，对金属有腐蚀作用。一般规定氨中的含水量应不超过 0.2%。

氨在润滑油中的溶解度是很小的（表 2-2），因此氨制冷机的管道及热交换器的传热表面上会积有油膜，影响传热效果。在运行中润滑油也会积存在贮液器及蒸发器的下部（因润滑油的比重比氨液的比重大），应定期放出。

表 2-2 氨在油中溶解度（重量百分数）

压 力 (绝对大气压)	温 度 °C				
	0	20	40	65	100
1	0.246	0.180	0.139	0.105	0.072
2	0.500	0.360	0.278	0.198	0.144
3	0.800	0.540	0.417	0.304	0.228
4	—	—	1.390	1.050	0.720

氨对钢铁不起腐蚀作用，但当含有水分时将腐蚀锌、铜、青铜及其它铜合金，唯磷青铜例外。因此在氨制冷机中不用铜和铜的合金，而只有那些易于润滑的零件（如活塞销、轴瓦、密封环等）才允许使用高锡磷青铜。

检查氨泄漏的方法有几种：第一种是根据氨的刺激性臭味；第二种是用试纸，试纸是用裁成条状的过滤纸浸蘸酚酞、酒精和甘油溶液而制成，当试纸遇到氨时即变成深红颜色。

氨作为制冷工质的优点是：易于获得，价格低廉、压力适中，单位容积制冷量大，不溶解于润滑油，放热系数高，管道中流动阻力损失小，易发现泄漏。缺点是：有刺激臭味、有毒、可以燃烧和爆炸，对铜及铜合金有腐蚀作用。氨是应用最早也是目前应用最广泛的制冷工质，可以应用于蒸发温度在 -65°C 以上的大型或中型的单级或双级的活塞式制冷压缩机中。目前氨也应用在大容量的离心式制冷压缩机

表 2-1 制 冷 工 质 的

名 称	化 学 分子式	符 号	分子量 μ	正常蒸 发温度 $t_s(^{\circ}\text{C})$	临界 温度 $t_{K_r}(^{\circ}\text{C})$
无机化合物					
水	H_2O	—	18.016	100.0	374.15
氨	NH_3	—	17.031	-33.35	132.4
二氧化碳	CO_2	—	44.01	-78.52	31.0
二氧化硫	SO_2	—	64.06	-10.01	157.2
氟 利 昂		—			
四 氯 甲 烷	CCl_4	F-10	153.8	76.7	283.14
一 氯 三 氯 甲 烷	CFCl_3	F-11	137.39	23.7	197.78
二 氯 二 氯 甲 烷	CF_2Cl_2	F-12	120.92	-29.8	112.04
三 氯 一 氯 甲 烷	CF_3Cl	F-13	104.47	-8.15	28.78
三 氯 一 溴 甲 烷	CF_3Br	F-13BL	148.9	-58.7	67.5
四 氟 甲 烷	CF_4	F-14	88.01	-123.0	-45.45
一 氯 二 氯 甲 烷	CHFCl_2	F-21	102.92	8.9	173.5
二 氯 一 氯 甲 烷	CHF_2Cl	F-22	86.48	-40.9	96.0
三 氟 甲 烷	CHF_3	F-23	70.01	-82.2	
氯 甲 烷	CH_3Cl	F-40	50.49	-23.74	143.1
三 氯 三 氯 乙 烷	$\text{C}_2\text{F}_3\text{Cl}_3$	F-113	187.39	47.68	214.1
四 氯 二 氯 乙 烷	$\text{C}_2\text{F}_4\text{Cl}_2$	F-114	170.91	3.5	145.8
五 氯 一 氯 乙 烷	$\text{C}_2\text{F}_5\text{Cl}$	F-115	154.48	-38.0	80.0
二 氯 一 氯 乙 烷	$\text{C}_2\text{H}_3\text{F}_2\text{Cl}$	F-142	100.48	-9.25	137

特 性 参 数

临 界 压 力 P_{Kr} (绝对大气压)	临 界 比 容 v_{Kr} (升/公斤)	凝 固 温 度 t_f (°C)	绝 热 指 数 K	$\frac{T_{Kr}}{T_S}$	$\frac{RT}{P_{Kr}}$
225.65	3.260	0.0	1.33	1.734	41.4
115.2	4.130	-77.7	1.30	1.652	42.6
75.2	2.156	-56.6	1.30	1.562	36.3
30.28	1.920	-75.2	1.26	1.636	37.1
46.47	1.792	-22.9	1.18	1.590	36.8
44.6	1.805	-111.0	1.13	1.587	36.2
41.96	1.793	-155.0	1.14	1.579	35.9
39.44	1.721	-180.0	—	1.575	35.9
41.3	—	-143.2	1.113	1.538	—
38.2	1.580	-184.0	1.220	1.566	36.3
52.68	1.915	-135.0	1.160	1.601	36.9
50.38	1.905	-160.0	1.160	1.590	37.8
—	—	-160.0	—	—	—
68.09	2.70	-97.6	1.20	1.669	36.3
34.82	1.735	-36.6	1.09	1.520	36.5
33.4	1.715	-94.0	1.107	1.517	36.8
33	1.680	-106.0	1.09	1.502	35.0
42	2.30	-130.8	1.135	1.553	35.2

续上表

临界 压 P_{Kr} (绝对大气压)	临界 力 v_{Kr} (升/公斤)	凝固 温度 t_f (°C)	绝热 指数 K	$\frac{T_{Kr}}{T_S}$
38.5	2.305	-111.3	—	1.535
45.8	2.740	—	—	1.558
50.3	4.7	-183.2	1.25	1.654
43.4	4.46	-187.1	1.13	1.602
36.0	4.29	-135.0	—	1.563
37.7	—	-159.6	—	1.566
51.6	4.62	-169.5	—	1.668
46.9	4.28	-185.0	—	1.617

名 称	化 学 分子式	符 号	分子量 μ	正常蒸 发温度 $t_s (^{\circ}\text{C})$	临 界 温 度 $t_{Kr} (^{\circ}\text{C})$
三 氟 乙 烷	$\text{C}_2\text{H}_3\text{F}_3$	F_143	84.04	-47.6	73.1
二 氟 乙 烷	$\text{C}_2\text{H}_4\text{F}_2$	F_152	66.05	-25.0	113.5
碳 氢 化 合 物					
乙 烷	C_2H_6	F_170	30.06	-88.6	32.1
丙 烷	C_3H_8	F_290	44.1	-42.12	96.8
正 丁 烷	C_4H_{10}	—	58.1	-0.5	153.0
异 丁 烷	$(\text{CH}_3)_3\text{CH}$	—	58.1	-11.7	133.7
乙 烯	C_2H_4	—	28.05	-103.7	9.5
丙 烯	C_3H_6	—	42.08	-47.7	91.4