

TB6/1
7683

制冷计算

李笑春

Zhi leng
Ji Suan

中国商业出版社

制 冷 计 算

(合 订 本)

李 笑 春

中国商业出版社

制 冷 计 算

(合订本)

李笑春

*

中国商业出版社 出版

新华书店北京发行站发行 各地新华书店经售

湖南商业专科学校印刷厂印刷

*

850×1168 32K 25.5 印张 624 千字

1986年10月第二版 1986年11月长沙第二次印刷

印数: (平装) 6001—10000册 (精装) 1—800册

统一书号: 13237·037 定价: 平装 5.60元 精装 6.60元

编 著 者 的 话

《制冷计算》是介绍制冷热工计算的参考书，主要汇编关于热工学与传热学的基础理论、制冷原理、各种制冷机及其附属设备、冷库建筑、食品冷藏工艺及制冷工艺设计方面的计算方法与原理、并附有空调冷冻站、食品冷藏库的设计实例及冷库技术经济指标核算的实例。全书共分上、下两册(合订本)，十八章。每章首先引述制冷计算的有关公式与简叙热工图表的使用方法，再由浅入深，紧密结合生产实际，解答习题400余例，并引用了一些新的计算公式与解题方法。本书既是中专与大专有关专业学校师生的教学参考书，又可供制冷与空调行业的工人业务进修，领导干部管理企业与工程技术人员进行设计时的参考。

全书由湖南省制冷学会副秘书长刘治华工程师主审，并请湖南大学讲师俞礼森同志、湖南省建筑研究设计院朱淑婧工程师、衡阳肉联厂周尚荣工程师、湖南省冷藏《技协动态》编辑陶余德同志以及中南食品冷藏《技协通讯》的编委同志详细审定了部分章节与题解。最后，又特请湖南制冷学会付理事长，长沙铁道学院陈善道付教授校审了部分铅印样稿。在此，一并致以深切的感谢。

由于编者学识水平有限，本书谬误之处在所难免，敬请读者批评指正。

李笑春

1986. 10. 长 沙

目 录

(上册)

第一章 基本概念及定理	(1)
1—1 重度、密度和比容.....	(1)
1—2 温度.....	(1)
1—3 压力.....	(2)
习题解答: (1~13).....	(4)
1—4 干度与含湿量.....	(9)
1—5 绝对湿度与相对湿度.....	(10)
1—6 露点.....	(12)
习题解答: (14~24).....	(12)
1—7 理想气体基本定理.....	(18)
1—8 气态方程.....	(18)
1—9 阿佛加德罗定理.....	(19)
习题解答 (25~36).....	(20)
1—10 混合气体定理.....	(27)
习题解答 (37~41).....	(28)
第二章 比热	(32)
2—1 热量与比热.....	(32)
2—2 重量比热、容积比热、莫尔比热.....	(32)
2—3 定容比热、定压比热.....	(33)
2—4 变比热、平均比热、定比热.....	(34)
2—5 热平衡方程式.....	(35)
习题解答 (42~49).....	(35)
第三章 热力学第一定律	(40)
3—1 热力学第一定律.....	(40)
3—2 气体的内能与焓.....	(41)

3—3	状态变化过程中的总热量	(41)
3—4	制冷剂干饱和蒸汽的焓	(42)
3—5	制冷剂过热蒸汽的焓	(42)
3—6	制冷剂湿蒸汽的焓	(43)
3—7	制冷剂过冷却液的焓	(43)
	习题解答 (50~64)	(43)
第四章	功	(54)
4—1	稳定流动的功热方程式	(54)
4—2	热力过程中的功热方程式	(54)
4—3	压气机中的消耗功	(58)
	习题解答 (65~76)	(59)
第五章	热力学第二定律	(72)
5—1	热力学第二定律	(72)
5—2	循环与卡诺循环	(72)
5—3	制冷理想循环	(74)
5—4	熵	(74)
5—5	制冷剂的熵	(75)
5—6	工质在热力过程中的熵	(77)
5—7	焓与焓效率	(78)
	习题解答 (77~92)	(79)
第六章	制冷理论循环与热力图表的应用	(90)
6—1	制冷理论循环	(90)
6—2	压焓 (Logp—i) 图的应用	(91)
	习题解答 (93~124)	(95)
6—3	温熵 (T—S) 图的应用	(122)
	习题解答 (125~138)	(124)
6—4	制冷剂热物性表及其应用	(136)
	习题解答 (139~151)	(141)
6—5	焓湿 (i—d) 图的应用	(156)

习题解答 (152~171)	(165)
第七章 传热学基础	(192)
7—1 稳定导热	(192)
7—2 对流	(197)
7—3 幅射	(204)
7—4 传热计算	(208)
7—5 管道与设备的隔热	(215)
习题解答 (172~228)	(217)
第八章 集态变化的传热	(263)
8—1 集态变化的种类	(263)
8—2 汽化过程中的热力计算	(263)
8—3 蒸汽冷凝过程中的热力计算	(267)
习题解答 (229~249)	(270)
第九章 活塞式压缩机的热力计算	(294)
9—1 压缩机的排汽量	(294)
9—2 压缩机的输汽系数	(294)
9—3 压缩机大小的计算	(297)
9—4 单级压缩机的实际制冷量与功率	(298)
9—5 双级压缩机的制冷循环及热力计算	(299)
9—6 复叠式压缩机的制冷循环	(310)
习题解答 (250~268)	(311)
9—7 制冷压缩机的选择计算	(333)
习题解答 (269~278)	(342)
附 表 (1~24)	(357)
本书主要参考文献	(396)
附：国产氨两机配组式双级压缩产冷量表	
基本符号表	
附 图 氨的 $\text{Log } p-i$ 图	
湿空气的 $i-d$ 图	

(下 册)

第十章 活塞式蒸汽压缩制冷机附属设备的热工计算	(399)
10—1 冷凝器的热工计算	(399)
10—2 习题解答 (279~293)	(414)
10—3 蒸发器的热工计算	(439)
10—4 习题解答 (294~305)	(460)
10—5 附属设备的热工计算	(483)
10—6 习题解答 (306~322)	(494)
第十一章 离心式制冷机的热工计算	(511)
11—1 习题解答 (323~326)	(515)
第十二章 吸收式制冷机的热工计算	(521)
12—1 氨—水吸收式制冷机	(521)
12—2 溴化锂吸收式制冷机	(525)
12—3 习题解答 (327~334)	(526)
第十三章 喷射式制冷装置的热工计算	(532)
13—1 习题解答 (335~339)	(538)
第十四章 食品冷藏工艺热工计算	(548)
14—1 习题解答 (340~368)	(568)
第十五章 冷库建筑热工计算	(590)
15—1 习题解答 (369~395)	(620)
第十六章 冷库技术指标经济核算	(656)
16—1 习题解答 (396~412)	(663)
第十七章 食品冷藏库设计实例	(676)
17—1 500 T肉食品冷藏库	(676)
附 500 T冷库标准设计 (冷88型)	(685)
17—2 1000 T肉食蛋品冷藏库	(687)
17—3 3000 T定型冷库设计	(720)
17—4 天津某万吨冷库	(722)

附	日本10,000 T 级超低温冷藏库·····	(724)
第十八章	空调冷冻设施设计实例·····	(732)
18—1	化纤厂冷冻站·····	(732)
18—2	河南某县计算机房空调设计·····	(742)
18—3	地下风道降温设计实例·····	(748)
18—4	广州某高层宾馆设计实例·····	(751)
附	日本近年新建高层饭店空调设计概况表	(756)
附表	(25~32) ·····	(759)

第一章 基本概念及定理

1—1 重度、密度和比容

重度：单位容积物体的重量。符号 γ 。单位：公斤重/米³ (kgf/m³)

$$\text{即} \quad \gamma = \frac{G}{V} \quad (\text{kgf/m}^3) \quad (1-1)$$

式中：G——重量 公斤重 (kgf)

V——容积 立方米 (m³)

密度：单位容积物体的质量。符号 ρ 。单位：公斤/米³ (kg/m³)

$$\text{即} \quad \rho = \frac{M}{V} \quad (\text{kg/m}^3) \quad (1-2)$$

式中：M——质量 公斤 (kg)

比容：单位重量的容积，符号 v 。单位：米³/公斤 (m³/kg)

$$\text{即} \quad v = \frac{V}{G} \quad (\text{m}^3/\text{kg}) \quad (1-3)$$

比容与重度按定义互为倒数：

$$v = \frac{1}{\gamma} \quad (\text{m}^3/\text{kg}) \quad (1-4)$$

$$\gamma = \frac{1}{v} \quad (\text{kg/m}^3) \quad (1-5)$$

1—2 温 度

温度是表明物体冷热程度的物理量。由于这一定义既不能

定量，又不能定性，因而是极不科学的。于是，人们又从运动学观点出发，将温度定义为物质分子热运动的平均动能的量度。这一定义一直沿用了相当长的时间，但它也不是无可非议的。现代热力学教本均以热力学第零定律来定义温度。

热力学第零定律：如果两个热力学系统中的每一个都与第三个热力学系统处于平衡，则它们彼此也必定处于热平衡。

温度则是决定这一系统是否与其它系统处于热平衡的客观性质。

温度以温标表示。常用的温标有摄氏温标、华氏温标与绝对温标。

摄氏温标 ($t^{\circ}\text{C}$) 与华氏温标 ($^{\circ}\text{F}$) 的换算关系式为：

$$F = \frac{9}{5} t + 32 \quad (^{\circ}\text{F}) \quad (1-6)$$

$$t = \frac{5}{9} (F - 32) \quad (^{\circ}\text{C}) \quad (1-7)$$

摄氏温标 ($t^{\circ}\text{C}$) 与绝对温标 ($T\text{K}$) 的换算式为：

$$T = t + 273.16 \approx t + 273 \quad (\text{K}) \quad (1-8)$$

1-3 压 力

压力是物质垂直作用其边界面单位面积上的力。在普通物理学中称为压强，在制冷工程上称为压力。

固体的压力是受压缩应力与拉伸应力而产生于固体的内部，并随场所的变动而异。流体（液体与气体）的压力则仅受压缩应力而产生，并不因场所的变动而异。对于密闭容器中的气体压力，从分力论观点看，乃是气体分子不断撞击器壁的平均结果。压力的符号为 P ，单位有 kg/m^2 （公斤/米²）， kg/cm^2 （公斤/厘米²），工程大气压，物理大气压与液柱（常用汞柱与水柱）。各种压力单位的换算，参见表1—1。

表1—1

压力单位换算表

公斤/米 ²	公斤/厘米 ²	工 程 大气压	物 理 大气压	汞柱高度 (mm)	水柱高度 (m)
1×10^4	1	1	0.9678	735.56	10.00
1.033×10^4	1.033	1.033	1	760.00	10.33
1.36×10	0.00136	0.00136	0.00131	1	0.0136
1×10^3	0.1	0.1	0.0968	73.56	1

压力单位目前正在推广使用统一的“国际单位”，简称“SI”。书后附有工程制单位与国际单位的换算式。本书正文所举例题，仍采用上述工程制单位。

气体的实际压力常称为绝对(abs)压力(P)。表上的读数为表压力(P_g)。当时的大气压力为大气压力(B)，大气压力(B)由压力计测得。绝对压力，表压力与大气压力的关系为：

$P > B$ 时： $P = B + P_g$ (kg/cm²) (1—9) (参见图1—1)

$P < B$ 时： $P = B - P_g'$ (kg/cm²) (1—10) (参见图1—2)

式中：P——绝对压力 (kg/cm²)

B——当地大气压力 (kg/cm²)

当不特别注明时， $B = 1$ (kg/cm²)

P_g——表压力 (kg/cm²)

P_g'——真空表压力，又叫真空度(kg/cm²)

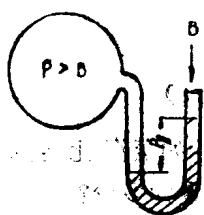


图1—1

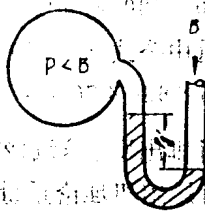


图1—2

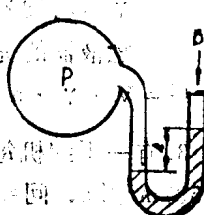


图1—3

图1—3中，已知液柱高度 h ，表压力可按式换算

$$P_g = \rho_s h \quad (1-11)$$

式中： ρ ——液体密度 (kg/m^3)

g ——重力加速度 $(\text{米}/\text{秒}^2, \text{m}/\text{s}^2)$

h ——液柱高 (m)

习题解答：

1. 已知氨饱和蒸汽在 -15°C 时，比容为 $0.5088 \text{ m}^3/\text{kg}$ ，求该状态下的密度。

解：由公式(1—5)，氨饱和蒸汽的密度为：

$$\rho = \frac{1}{v}$$

已知 $v = 0.5088 \text{ m}^3/\text{kg}$

$$\therefore \rho = \frac{1}{0.5088} \approx 1.9654 \quad (\text{kg}/\text{m}^3)$$

2. 已知：压力为 $1 \text{ kg}/\text{cm}^2$ 的氨液平均重度为 $0.68 \text{ kg}/\text{l}$ ，贮液器的容积为 1.5 m^3 ，充氨量70%，问贮液器最多能充多少氨？

解 已知 $\gamma = 0.68 \text{ kg}/\text{l}$ (公斤/升)

$$V = 1.5 \text{ m}^3$$

$$n = 70\%$$

将密度 kg/l 化为 kg/m^3

$$\gamma = 0.68 \times 1000 = 680 \text{ kg}/\text{m}^3$$

贮液器的充氨量由公式(1—2)得：

$$G = V \cdot \gamma \cdot n = 1.5 \times 680 \times 70\% = 714 \text{ (kg)}$$

3. 有一压缩机每小时排出 R_{22} 蒸汽 127 m^3 。如蒸汽比容为 $0.4587 \text{ m}^3/\text{kg}$ ，问每小时压缩机理论重量排汽量为多少？

解 已知 $V = 127 \text{ m}^3/\text{h}$ (米³/小时)

$$v = 0.4587 \text{ m}^3/\text{kg}$$

压缩机每小时排汽量，由公式 (1—3) 得：

$$\begin{aligned} G &= V/v = 127/0.4587 \\ &= 276.87 \text{ (kg/h)} \end{aligned}$$

4. 一制冷剂在标准工况下蒸发温度为 -15°C ，其华氏温度和绝对温度各为多少？

解 $t = -15^\circ\text{C}$ (已知)

华氏温度由公式 (1—6) 得

$$\begin{aligned} F &= \frac{9}{5} t + 32 = \frac{9}{5} (-15) + 32 \\ &= (-27) + 32 = 5 \text{ (}^\circ\text{F)} \end{aligned}$$

绝对温度由公式 (1—8) 得：

$$\begin{aligned} T &= t + 273 = (-15) + 273 \\ &= 258 \text{ (K)} \end{aligned}$$

5. 在什么温度下，华氏温标与摄氏温标给出相同的读数？

解 由公式 (1—7) 得：

$$t = \frac{5}{9} (F - 32)$$

当 $F = t$ 摄氏温标与华氏温标读数相同

即，
$$t = \frac{5}{9} (t - 32)$$

$$\frac{9}{5} t - t = -32$$

$$\frac{4}{5} t = -32$$

$$\therefore t = -40^\circ\text{C}$$

答：当 $t = -40^\circ\text{C}$ 或 $F = -40^\circ\text{F}$ 时两温标读数相同。

6. 在历史上，对摄氏温标是这样规定的：假设测温属性 x

随温度 t 作线性变化，即：

$$t = ax + b$$

并规定冰点为 0°C ，汽点为 $t = 100^{\circ}\text{C}$

设 x_1 和 x_2 分别表示在冰点与汽点时 x 的值，试求上式中的常数 a 和 b

解 由已知条件可知：

当为冰点时， $t = 0^{\circ}\text{C}$ ，则 $0 = ax_1 + b$

当为汽点时， $t = 100^{\circ}\text{C}$ ，则 $100 = ax_2 + b$

将两方程联立成一元一次方程组：

$$\begin{cases} ax_1 + b = 0 & \dots\dots\dots (1) \end{cases}$$

$$\begin{cases} ax_2 + b = 100 & \dots\dots\dots (2) \end{cases}$$

解此方程组得：

$$\begin{cases} a = \frac{100}{x_2 - x_1} & \dots\dots\dots (3) \end{cases}$$

$$\begin{cases} b = \frac{100x_1}{x_1 - x_2} & \dots\dots\dots (4) \end{cases}$$

8. 把压力 $P = 3$ 克/毫米²化成 公斤/厘米²、公斤/米²，公顿/米²；

解：为了把一些有分数的单位变为另一些单位，可采用如下规则：在已知数值的分子与分母中，我们可用新单位的相应数值来代替旧单位，并取这些数值的幂次与已知数值中一样。计算后即可得到用新单位表示的所需要的结果。

$$\text{本例题中：} \quad 1 \text{ 克} = \frac{1}{1000} \text{ 公斤} = \frac{1}{10^3} \text{ 公顿}$$

$$1 \text{ 毫米} = \frac{1}{10} \text{ 厘米} = \frac{1}{1000} \text{ 米}$$

$$3 \text{ 克/毫米}^2 = 3 \frac{\frac{1}{1000} \text{ 公斤}}{\left(\frac{1}{10}\right)^2 \text{ 厘米}^2} = 0.3 \text{ 公斤/厘米}^2$$

$$3 \text{ 克/毫米}^2 = 3 \frac{\frac{1}{1000} \text{ 公斤}}{\left(\frac{1}{1000}\right)^2 \text{ 米}^2} = 3000 \text{ 公斤/米}^2$$

$$3 \text{ 克/毫米}^2 = 3 \frac{\frac{1}{10^6} \text{ 公顿}}{\left(\frac{1}{1000}\right)^2 \text{ 米}^2} = 3 \text{ 公顿/米}^2$$

9.8AS12.5压缩机排汽管上的压力表读数为 11 kg/cm^2 ，当时当地的大气压为 745 mmHg ，求该压缩机排汽管上的气体绝对压力为多少 kg/cm^2 ？

解 已知： $P_g = 11 \text{ kg/cm}^2$

$$B = 745 \text{ mmHg}$$

由公式(1—9)得：

$$\begin{aligned} P &= B + P_g = \frac{745}{735.6} + 11 \\ &= 1.013 + 11 \approx 12.013 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

10.在一汽缸的活塞上加有 50000 kg 的力，活塞直径 $D = 400 \text{ mm}$ ，当时当地大气压为 750 mmHg ，求该汽缸中气体的压力为多少大气压？

解 $F = 50000 \text{ kg}$ $D = 400 \text{ mm}$ $B = 750 \text{ mmHg}$

$$\begin{aligned} \therefore P &= P_g + B = \frac{F}{S} + \frac{H}{\gamma} \\ &= \frac{50000}{\pi \left(\frac{400}{10}\right)^2 \cdot \frac{1}{4}} + \frac{750}{735.6} \\ &= \frac{50000}{400 \times 3.14} + \frac{750}{735.6} \approx 39.81 + 1.02 \\ &\approx 40.83 \text{ kg/cm}^2 \text{ (大气压)} \end{aligned}$$

11. 在 4AV 型压缩机中, 油压表上读数为 3kg/cm^2 , 求相当于这个压力的油柱高度 (油柱密度 $\rho = 0.901\text{kg/l}$, 温度影响不计)。

解 已知: $\rho_{\text{油}} = 0.901\text{kg/l}$ (公斤/升)
 $P = 3\text{kg/cm}^2$

解法 (一): 当用水柱表示时, 由表 1—1 得:

$$h = 3 \times 10 = 30\text{m (水柱)}$$

用油柱表示时:

$$h' = h \cdot \frac{\rho_{\text{水}}}{\rho_{\text{油}}} = 30 \times \frac{1}{0.901} = 33.3\text{m (油柱)}$$

解法 (二): $P_g = 3 \times 10000 = 30000$ (公斤/米²)

由公式 (1—11) 得:

$$h' = \frac{P_g}{\rho_{\text{油}}} = \frac{30000}{0.901 \times 1000} = 33.3\text{m (油柱)}$$

12. 在压缩机抽空时, 压力表读数为 700mmHg , 当时的大气压力为 746mmHg , 求这时压缩机内的实际压力与真空度各为多少?

解 已知 $P_{g'} = 700\text{mmHg}$

$$B = 746\text{mmHg}$$

由公式 (1—10) 得: 气体的实际压力为:

$$P = B - P_{g'} = 746 - 700 = 46\text{mmHg}$$

压缩机的真空度即是压力表上所测得的压力:

$$P_{\text{真空}} = P_{g'} = 700\text{mmHg}$$

13. 某厂采用 U 型管压力计, 如图 1—4 所示。管中的汞柱有 691mm , 汞柱上有水柱 136mm 。当时当地的大气压为 751mmHg , 问管内气体的压力为多少 kg/cm^2 ?