

压缩机参考资料

# 压缩机计算例题集

沈阳气体压缩机研究所

# 前 言

压缩机的计算，是压缩机生产、设计、科研不可缺少的重要依据。我们于文化大革命前，将日本数森敏郎著《压缩机计算例题集》一书翻译完毕。该书对压缩机各方面的计算进行了深入浅出的叙述，通俗易懂，其主要内容包括压缩机功率、气缸、阀、中间冷却器、主要部件强度、排气量测定等。我们曾在内部刊物《压缩机技术》上作过全面介绍。现再次整理后译制成册，以供压缩机生产、设计、科研和教学人员参考。在参考此资料时，应结合我国多年来压缩机生产、设计、科研的实际情况，有批判地吸收有用的东西，为发展我国压缩机制造工业做出贡献。

由于译校人员的专业知识和业务水平有限，肯定会有不少缺点和错误，请读者批评指正。

沈阳气体压缩机研究所 技术情报组

一九七三年十二月 沈阳

# 目 录

<b>一、压 力</b>	
1. 压力测定	1
2. 压力换算	1
3. 读数修正	1
4. 例题	1
5. 大气压力	2
<b>二、理想气体状态方程式</b>	
1. 理想气体状态方程式	3
2. 例题	3
<b>三、实际气体状态方程式</b>	
1. 实际气体状态方程式	4
2. 例题	4
<b>四、混合气体状态方程式</b>	
1. 道尔顿 (Dalton) 定律	5
2. 混合气体状态方程式	5
3. 例题	6
<b>五、湿空气</b>	
1. 湿空气	6
2. 相对湿度	6
3. 湿空气的气体常数	7
4. 例题	7
<b>六、用 P—V 图表示的气体的热力方程式及状态变化</b>	
1. 热与功的关系式	9
2. 单位换算	9
3. 气体变化	9
4. 比热	10
<b>七、用 T—S 图表示的气体变化</b>	
1. 熵的概念	10
<b>八、气体压缩</b>	
1. 压缩功	11
2. 理论上所需功率计算	11
3. 压缩终了温度	12
4. 例题	12
<b>九、压缩机的实际循环</b>	
1. 理论循环与实际循环的不同点	12

2. 吸气量	13
3. 气缸余隙	13
4. 气缸余隙和吸气量	13
5. 例题	13
6. 吸气效率 (容积效率)	13
7. 排气量	14
8. 排气效率	14
9. 输气效率	14
10. 例题	15
<b>十、功 率</b>	
1. 指示功率	16
2. 轴功率	16
3. 各种效率	16
4. 例题	17
<b>十一、气缸尺寸</b>	
1. 活塞有效面积	18
2. 活塞平均速度值	18
3. 例题	19
<b>十二、多级压缩</b>	
1. 多级压缩的所需马力	19
2. 各级压缩比	20
3. 各级活塞有效面积	20
4. 例题	20
<b>十三、计算例题</b>	
1. 三级压缩机	22
2. 例题	22
3. 四级压缩机	24
4. 例题	24
<b>十四、给定气缸尺寸后求级间压力</b>	
1. 根据气缸尺寸求级间压力	25
2. 例题	25
<b>十五、阀</b>	
1. 环状阀	26
2. 环状阀的计算	27
3. 例题	27
<b>十六、中间冷却器</b>	
1. 一般计算式	28
2. 例题	29
3. 雷诺公式	30

4. 冷却器尺寸计算	31
5. 例题	32
<b>十七、主要部件强度</b>	
1. 活塞杆往复运动承受的力	34
1) 活塞力计算法	34
2) 惯性力	34
2. 曲柄销承受的旋转力	35
3. 气缸	36
4. 活塞	36
1) 单壁活塞	36
2) 复壁活塞	37
5. 活塞环	37
1) 同心活塞环	37
2) 活塞环数	37
6. 活塞杆	38
7. 连杆	38
8. 计算轴径强度的公式	39
1) 只有扭矩时	39
2) 只有弯曲力矩M时	39
3) 承受扭矩及弯曲力矩时	39
4) 承受扭转弯曲及轴向力时	39
5) 曲柄轴	40
6) 例题	40
<b>十八、飞    轮</b>	
1. 飞轮计算式	41
2. 例题	41
<b>十九、排气量测定</b>	
1. 装气试验法	42
2. 例题	42
3. 孔板或喷咀试验法	43
4. 例题	46
<b>二十、高压空气压缩机计算例题</b>	
1. 已知项目	47
2. 气缸计算	48
3. 电动机所需功率	51
4. 曲轴、连杆、主轴承等的计算	51
5. 阀计算	52
6. 各级安全阀调整压力	53

7. 油泵计算.....	54
8. 中间冷却器尺寸计算.....	54
9. 所需冷却水量计算.....	54

# 一、压 力

## 1. 压 力 测 定

压力可用液柱或压力表测定。

## 2. 压 力 换 算

$$P = h \cdot \gamma \quad (1.1)$$

式中 P—压力表读数 (公斤力/厘米<sup>2</sup>) ;

h—液柱高度 (厘米) ;

$\gamma$ —测量温度下的液体比重 (公斤/厘米<sup>3</sup>) ;

1 公斤力/厘米<sup>2</sup> = 一个大气压 = 10 米 (4°C 水柱) = 735.53 毫米水银柱 (0°C)

## 3. 读 数 修 正

用两根直径不同的管测定水银高度差时, 直径较小的管因水银面凝聚而高度偏低。

玻璃管内径 (毫米)      4   5   6   7   8

水银面指示偏低值(毫米) 2.2 1.6 1.2 0.9 0.7

密封液体的比重变化与温度的变化有关, 按照表 1 计算。这时的标准温度为 20°C。

表 1

液 体	$\gamma$ (20°C) (公斤/公升*)	膨 胀 系 数 (公升/°C)	1公斤力/厘米 <sup>2</sup> , 20°C下之液体高 度 (毫米)
酒精(98%)	0.8000	—	12500
水	0.99823	0.000138	10018
四氯化碳	1.5935	0.001227	6275
三溴甲烷	2.8899	—	3449
水 银	13.5461	0.000182	738.2

\* 公升 = 分米<sup>3</sup>

## 4. 例 题

1) 试以绝对气压(ata)求压力表读数  $b = 761.0$  毫米水银柱 (包括在过低指示计算中), 其水银温度为 10°C 的 P。

解: 根据图 1, 10°C 的一个大气压下之水银柱高度为 736.9 毫米水银柱。因此

$$P = \frac{761.0}{736.9} = 1.032 \text{ 绝压}$$

2) 如图 2 所示, 以绝压(ata)表示指示压力 220 毫米水银柱, 温度为 10°C, 空气压力为

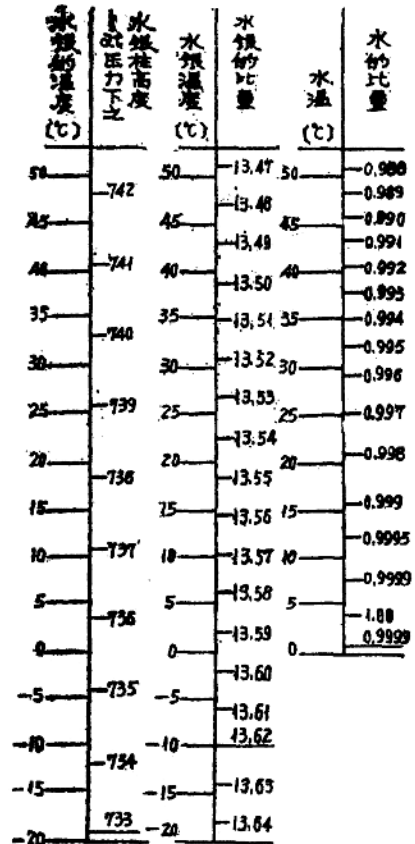


图 1 水银与水的换算值

1.032ata时的 P。

解：  $P = 1.032 + \frac{220.0}{736.9} = 1.032 + 0.299 = 1.331$  绝压

3) 试以绝压(ata)求指示压力540毫米水银柱，温度为41°C，气压为1.032ata时的 P (测量用气压计，其一端与大气相通，另一端接压缩机低压箱)。

解：  $i_{ata} = 741$  毫米水银柱 (见图 1)

$P = 1.032 - \left(\frac{540}{741}\right) = 1.032 - 0.729 = 0.303$  绝压



图 2 大气压以上的压力

### 5. 大 气 压 力

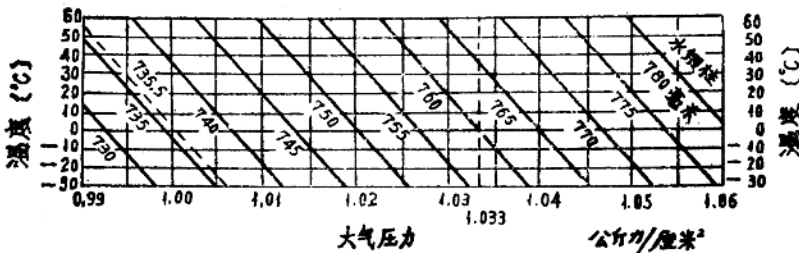


图 3 大气压换算为绝对压力

大气压(atm) =  $100000 \times \frac{760}{735.6} = 10333$  公斤力/米<sup>2</sup> =  $1.0333$  公斤力/厘米<sup>2</sup>(ata)

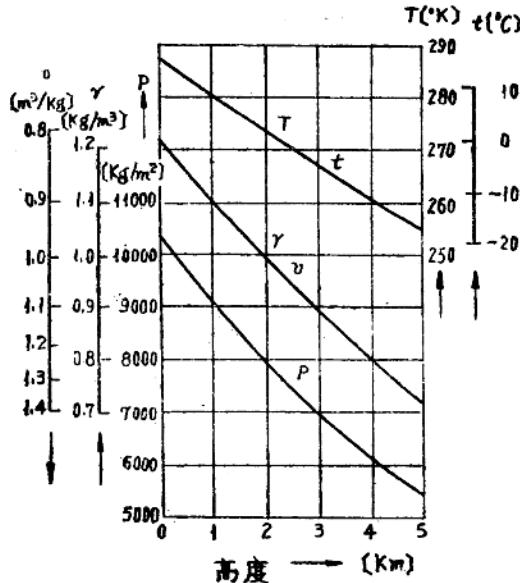


图 4 国际标准气压



## 二、理想气体状态方程式

### 1. 理想气体状态方程式

$$Pv = RT \quad \text{对于 1 公斤气体} \quad (2.1)$$

$$PV = GRT \quad \text{对于 G 公斤气体} \quad (2.2)$$

式中 P—绝对压力 (公斤力/米<sup>2</sup>) ;  
 T—绝对温度 (°K) 即 (273 + t)°K ;  
 v—比容 (米<sup>3</sup>/公斤) ;  
 γ—比重 (公斤/米<sup>3</sup> 或 1/v) ;  
 V—体积 (容积) (米<sup>3</sup>) ;  
 G—重量 (公斤) ;  
 $R = \frac{Pv}{T}$ ——气体常数 (米/度) 。

### 2. 例 题

1) 空气压力为760毫米水银柱, 温度为20°C, 试求其比容及比重。

解: 知  $P = 10333$  公斤力/米<sup>2</sup>;

$$T = 273 + 20 = 293^\circ \text{K};$$

$$R = 29.27 \text{ 米/度}$$

根据 (2.1) 式

$$v = RT/P = \frac{29.27 \times 293}{10333} = 0.83 \text{ 米}^3/\text{公斤}$$

$$\gamma = 1/v = \frac{1}{0.83} = 1.205 \text{ 公斤/米}^3$$

2) 每分钟输送200公斤空气时所需空气压缩机吸入空气容量 (米<sup>3</sup>/分) 是多少?

表 2 气体的物理性质 (1)

气 体		分 子 量	气 体 常 数	比 容 积 v (米 <sup>3</sup> /公斤)		比 重 γ (公斤/米 <sup>3</sup> )		比 重
名 称	分 子 式	m	R (米/度)	1 (ata) 15 (°C)	760 (毫米 水银柱) 0 (°C)	1 (ata) 15 (°C)	760 (毫米 水银柱) 0 (°C)	空 气 = 1
干燥空气	—	28.968	29.27	0.843	0.773	1.186	1.293	1.000
氧	O <sub>2</sub>	32.000	26.50	0.763	0.700	1.310	1.429	1.105
氮	N <sub>2</sub>	28.020	30.26	0.871	0.799	1.147	1.251	0.967
氢	H <sub>2</sub>	2.016	420.6	12.110	11.110	0.0826	0.0899	0.0691
氦	He	4.003	212	6.1	5.60	0.164	0.1785	0.1381
氖	Ne	20.183	42	1.21	1.11	0.825	0.900	0.695
氩	A	39.940	21.25	0.61	0.561	1.64	1.781	1.380
二氧化碳	CO	28.000	39.29	0.872	0.800	1.146	1.250	0.966
二氧化硫	CO <sub>2</sub>	44.000	19.27	0.555	0.509	1.802	1.964	1.538
氨	NH <sub>3</sub>	17.034	49.78	1.433	1.315	0.098	0.760	0.588
乙 炔	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	26.016	32.60	0.930	0.862	1.065	1.161	0.898
甲 烷	CH <sub>4</sub>	16.032	52.89	1.523	1.398	0.657	0.715	0.553
水 蒸 气	H <sub>2</sub> O	18.016	47.07	—	1.674	—	0.598	0.463
丙 烷	—	—	99.55	—	2.72	—	0.3679	0.284
乙 烷	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	44.090	19.4	0.560	0.508	1.792	1.970	1.521
乙 烯	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	28.032	30.25	0.871	0.799	1.251	1.260	0.974
氯 气	Cl <sub>2</sub>	71.000	11.55	0.343	0.316	2.92	3.167	2.449

但是，假定吸气管中真空度为 120 毫米水柱 (mmAq)，大气压为 740 毫米水银柱，温度为 15°C。

解：相当于 120 毫米水柱的压力为：

$$P_v = 0.120 \times 1000 = 120 \text{ 公斤力/米}^2$$

$$P_a \text{ (大气压)} = 0.740 \times 13600 = 10064 \text{ 公斤力/米}^2$$

吸气管内空气绝对压力为：

$$P = P_a - P_v = 10064 - 120 \\ = 9944 \text{ 公斤力/米}^2$$

$$\text{绝对温度 } T = 273 + 15 = 288^\circ \text{K}$$

根据式 (2.1)

$$v = RT/P = \frac{29.27 \times 288}{9944} \\ = 0.846 \text{ 米}^3/\text{公斤}$$

应吸入的空气量

$$V = vG = 0.846 \times 200 \\ = 169.2 \text{ 米}^3/\text{分}$$

### 三、实际气体状态方程式

#### 1. 实际气体状态方程式

$$Pv_c = kRT \quad (3.1)$$

式中  $v_c$ —实际气体的比容 (米<sup>3</sup>/公斤)；  
 $k^*$ —根据实验确定的修正值。

#### 2. 例 题

1) 试求温度 20°C，其压力为 200 ata 时干燥空气的比容。

解：根据图 6， $k = 1.025$

根据式 (3.1)

$$v_c = \frac{1.025 \times 29.27 \times (273 + 20)}{2000000} \\ = 0.004 \text{ 米}^3/\text{公斤}$$

氧气

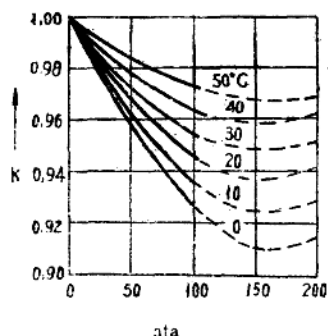


图 5 对实际气体的修正值 k

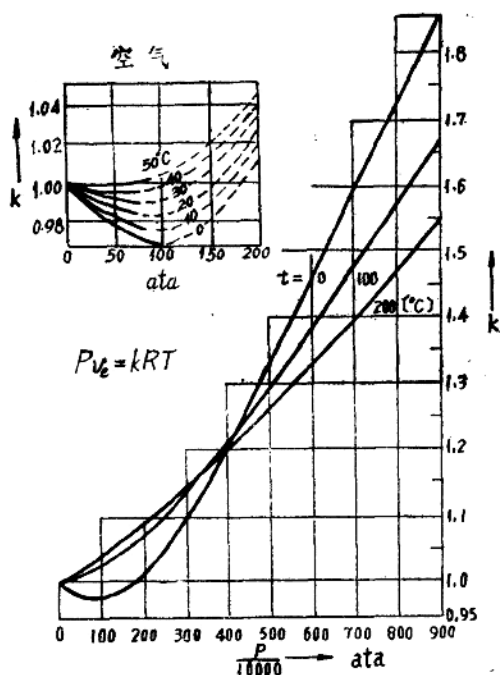


图 6 (a) 对实际 (Fröhlich) 气体的修正值 k

\*  $k = \frac{PV_c}{RT}$  = 可压缩性系数，该值与特性曲线系数  $= \frac{PV_c}{RT} = \frac{PV_c}{P_0 V_0}$  不同，而且应该注意，多数实验值中都给出了特性曲线系数。

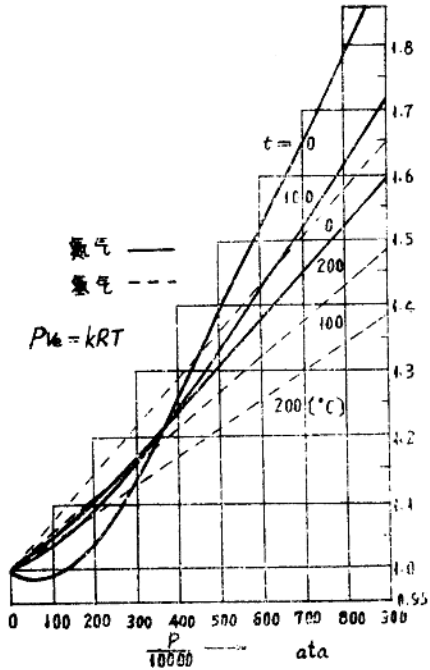


图 7 对实际(Fröhlich)气体的修正值k

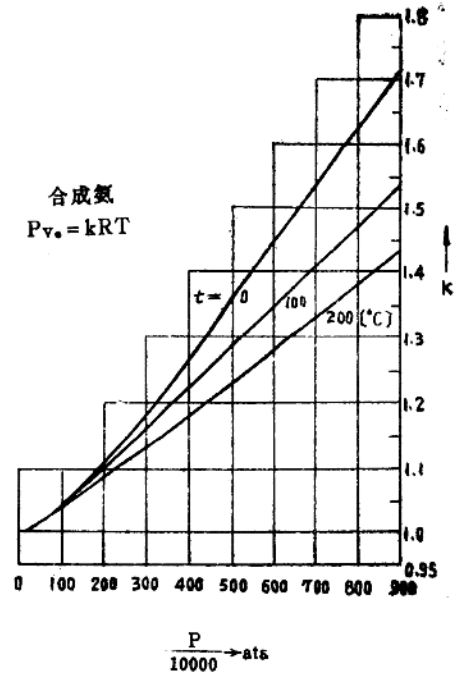


图 8 对实际(Fröhlich)气体的修正值k

## 四、混合气体状态方程式

### 1. 道尔顿(Dalton)定律

用 $G_1$ 、 $G_2$ 、 $G_3$ ……分别表示1、2、3……的气体重量，将这些气体装入同压力容器V内，混合气体的总压力等于各组成气体的分压力之和。用公式表示如下：

$$P_1 V = G_1 R_1 T, P_2 V = G_2 R_2 T, P_3 V = G_3 R_3 T \quad (4.1)$$

$$P = P_1 + P_2 + P_3 + \dots = \frac{T}{V} (G_1 R_1 + G_2 R_2 + G_3 R_3 + \dots) \quad (4.2)$$

### 2. 混合气体状态方程式

$$PV = (G_1 R_1 + G_2 R_2 + G_3 R_3 + \dots) T = (G_1 + G_2 + G_3 + \dots) R \cdot T$$

式中 R—混合气体常数

$$R = \frac{G_1 R_1 + G_2 R_2 + G_3 R_3 + \dots}{G_1 + G_2 + G_3 + \dots} = \frac{G_1 R_1 + G_2 R_2 + G_3 R_3 + \dots}{G} \quad (4.3)$$

组成气体分压力

$$P_1 = P \frac{G_1 R_1}{G R}, P_2 = P \frac{G_2 R_2}{G R}, P_3 = P \frac{G_3 R_3}{G R} \dots$$

$$\text{或 } \frac{1}{R} = \frac{V_1}{V R_1} + \frac{V_2}{V R_2} + \frac{V_3}{V R_3} + \dots \quad (4.4)$$

### 3. 例 题

1) 求75% H<sub>2</sub>及25% N<sub>2</sub>容积的混合气体的气体常数。

解: 根据表 2,  $R_{H_2} = 420.6$ ;  $R_{N_2} = 30.26$

根据式(4.4)

$$\frac{1}{R} = \frac{0.75}{420.6} + \frac{0.25}{30.26} = 0.01004$$

$$R = \frac{1}{0.01004} = 99.6$$

## 五、湿 空 气

### 1. 湿 空 气

$$P = P_d + P_t \quad (5.1)$$

式中  $P$ —湿空气总压力;

$P_d$ —大气中水蒸气分压力;

$P_t$ —干燥空气的分压力。

假定  $P_s$  = 饱和蒸气压力,  $P_s = P_d$ 时, 则空气称为饱和湿空气。假若  $P_s > P_d$ , 则空气不饱和还含有水蒸气。在此情况下为过热状态。

表 3 饱和蒸气压力及比容

温 度 (°C) t	饱和压力 (绝 压) $P_s$	比 容 米 <sup>3</sup> /公斤		温 度 (°C) t	饱和压力 (绝 压) $P_s$	比 容 米 <sup>3</sup> /公斤	
		饱 和 水 $v'$	(乾饱和蒸气) $v''$			饱 和 水 $v'$	(乾饱和蒸气) $v''$
0	0.006225	0.001000	206.4	70	0.3178	0.001023	5.047
10	0.01251	0.001000	106.5	80	0.4830	0.001029	3.410
20	0.02382	0.001002	57.84	90	0.7149	0.001036	2.362
30	0.04326	0.001004	32.93	100	1.0332	0.001043	1.674
40	0.07521	0.001008	19.55	150	4.854	0.001090	0.3927
50	0.1258	0.001012	12.05	200	15.86	0.001156	0.1273
60	0.2032	0.001017	7.677				

### 2. 相 对 湿 度

$$\varphi = \frac{P_d}{P_s} = \frac{\gamma_d}{\gamma_s} \quad (5.2)$$

式中  $\varphi$ —相对湿度;

$\gamma_d$ —不饱和水蒸气比重 (克重/米<sup>3</sup>) (空气);

$\gamma_s$ —饱和水蒸气比重 (克重/米<sup>3</sup>) (空气)。

若用湿度计求  $\varphi$  值时, 先看干球读数  $t$  (°C) 和湿球读数  $t_t$  (°C), 用蒸气表求出和它们相适应的  $P_s$  及  $P_{st}$ , 再换算为毫米水银柱; 看气压计读数  $b$  (毫米水银柱), 把它代入下式计算即可。

$$\varphi = \frac{P_{sf} - 0.00066 b (t - t_f)}{P_s} \quad (5.3)$$

当  $b \approx 760$  毫米水银柱时

$$\varphi = \frac{P_{sf} - 0.5(t - t_f)}{P_s} \quad (5.3')$$

某种湿空气状态  $P$ 、 $t$ 、 $P_s$ 、 $\varphi$  变为另一状态  $P'$ 、 $t'$ 、 $P'_s$ 、 $\varphi'$  时

$$\varphi' \approx \varphi \frac{P_s P'}{P'_s P} \quad (5.4)$$

### 3. 湿空气的气体常数

$$R_t = \frac{R}{1 - 0.377 \varphi P_s / P} \quad (5.5)$$

式中  $R_t$ —湿空气的气体常数；  
 $R$ —干空气的气体常数。

### 4. 例 题

1) 试求温度  $20^\circ\text{C}$  下的  $1\text{米}^3$  湿空气可能含有的最大水蒸气重量。

解：根据水蒸气表查得，对  $20^\circ\text{C}$  的  $P_s = 0.02382 \text{ ata}$ ， $\gamma_s = 1/v'' = 1/57.84 = 0.01729$  公斤/米<sup>3</sup>，即在温度  $20^\circ\text{C}$  下  $1\text{米}^3$  湿空气可能含有水蒸气的最大重量为  $17.29$  克重，它和压力无关。

2) 某空气压缩机在温度  $25^\circ\text{C}$  及压力  $750$  毫米水银柱下吸入空气，并在压力  $2.5 \text{ ata}$ （绝对气压）及温度  $50^\circ\text{C}$  状态下压缩到储气罐中，试求吸气状态下及储气罐中空气的相对湿度及湿气绝对量。湿度计的湿球温度为  $20^\circ\text{C}$ 。

解：根据水蒸气表

$$t = 25^\circ\text{C} \quad P_s = 0.0323 \text{ ata} = 23.73 \text{ 毫米水银柱} \quad \gamma_s = 23.05 \text{ 克重/米}^3$$

$$t_f = 20^\circ\text{C} \quad P_{sf} = 0.0238 \text{ ata} = 17.48 \text{ 毫米水银柱}$$

根据公式 (5.3')

$$\varphi = \frac{17.48 - 0.5(25 - 20)}{23.73} \approx 0.63$$

$$\gamma_d = \varphi \gamma_s = 0.63 \times 23.05 \approx 14.5 \text{ 克重/米}^3$$

其次  $t' = 50^\circ\text{C}$   $P'_s = 0.1258 \text{ ata}$

$$\gamma'_s = 83 \text{ 克重/米}^3 \quad P' = 2.50 \text{ ata}$$

$$t = 25^\circ\text{C}, \text{ 对 } 750 \text{ 毫米水银柱的 } P = \frac{750}{738.9} = 1.015 \text{ ata}$$

根据公式 (5.4)

$$\varphi' = 0.63 \times \frac{0.0323 \times 2.50}{0.1258 \times 1.015} \approx 0.4$$

$$\gamma_d = \varphi' \gamma'_s = 0.4 \times 83 \approx 33.2 \text{ 克重/米}^3$$

根据上例，我们知道，湿空气由于压缩，相对湿度由  $0.63$  降为  $0.4$  接近干燥状态。这种空气如果经过冷却，其相对湿度  $\varphi'$  的值逐渐变大，最终  $\varphi' = 1$ 。这时的压力根据 (5.4) 式

$$P_s' = P_s \frac{\varphi}{\varphi'} \frac{P'}{P} = 0.0323 \times \frac{0.63}{1.00} \times \frac{2.5}{1.015} = 0.05 \text{ ata}$$

从而知道，对0.05绝压的饱和蒸气温度按蒸气表引示为32.5°C。即在本例中空气冷却到此温度时达到露点。如果进一步冷却时，过剩的湿气凝结而变成水滴。

3) 设有一台高压空气压缩机并给定下列一些参数，试求其自空气中应该分离的水量是多少？

吸入空气绝对压力 1.0333公斤力/厘米<sup>2</sup>；

吸入空气温度 15.6°C；

相对湿度 80%；

一级绝对压力 4.106公斤力/厘米<sup>2</sup>；

一级中间冷却器空气温度 26.7°C；

解：按照饱和蒸气表

吸入空气所含水分 =  $0.8 \times 0.0135 = 0.0108$  公斤/米<sup>3</sup>

水蒸气绝对压力 =  $0.8 \times 0.018 = 0.0144$  公斤力/厘米<sup>2</sup>

因此，在吸气时的干空气绝对压力为：

$$1.0333 - 0.0144 = 1.0189 \text{ 公斤力/厘米}^2$$

同理，对中间冷却器，按照饱和蒸气表，饱和水蒸气绝对压力 = 0.0355 公斤力/厘米<sup>2</sup>。

因此，中间冷却器内干空气的实际绝对压力为：

$$4.106 - 0.0355 = 4.0705 \text{ 公斤力/厘米}^2$$

假定以 $P_1$ ， $V_1$ 及 $T_1$ 为吸气状态，以 $P_2$ ， $V_2$ 及 $T_2$ 为中间冷却器内的状态，根据查理定律，

$$V_2 = P_1 V_1 T_2 / P_2 T_1$$

将已知数代入该式，且换 $v = 1$ 米<sup>3</sup>时，

$$V_2 = \frac{1.02 \times (273 + 26.7)}{4.0705 \times (273 + 15.6)} = 0.261 \text{ 米}^3$$

其次，中间冷却器温度在26.7°C下，饱和1米<sup>3</sup>空气所需水的重量从饱和蒸气表查得0.02526公斤。

因此，应饱和0.261米<sup>3</sup>空气的水的重量为：

$$0.02526 \times 0.261 = 0.006593 \text{ 公斤}$$

然而，在吸气状态下，由于同一空气含有0.0108公斤的水，其差为分离数。即被分离的水量为：

$$0.0108 - 0.006593 = 0.004207 \text{ 公斤}$$

例如压缩10米<sup>3</sup>/分的压缩机，如果运行12小时，其应该排水的水量如下：

$$0.00421 \times 10 \times 12 \times 60 = 30.3 \text{ 公斤}$$

4) 假定吸气状态下的空气状态与4.2例题一样，试求这种场合下的湿空气的气体常数及比重。

解： $\varphi = 0.63$ ， $P_s = 23.73$ 毫米水银柱

$P = 750$ 毫米水银柱 = 1.015绝压 = 10150公斤/米<sup>2</sup>

$t = 25^\circ\text{C}$

根据式(5.5)，

$$R_t = \frac{29.27}{1 - 0.377 \times 0.63 \times \frac{23.73}{750}} = \frac{29.27}{1 - 0.0075} = 29.5 \text{ 米/度}$$

因此， $R_t$ 比干燥空气的气体常数  $R$  还大  $29.5 - 29.27 = 0.23$

$$\gamma_t = \frac{P}{R_t T} = \frac{10150}{29.5(273 + 25)} = 1.156 \text{ 公斤/米}^3$$

## 六、用 $P-v$ 图表示的气体的热力方程式及状态变化

### 1. 热与功的关系式

$$Q = A \cdot L \quad (6.1)$$

式中  $Q$ —热量(大卡);

$L$ —通过气体变化所获得或所消耗的机械功(公斤米);

$A$ —功热当量 =  $1/427$  (大卡/公斤米)。

### 2. 单位换算

相当于单位热量的做功 =  $426.9$  公斤力米/大卡

1 千瓦小时 =  $860$  大卡 =  $367100$  公斤米。

1 (米制) 马力小时 =  $632.5$  大卡 =  $270000$  公斤米

1 千瓦 =  $102$  公斤·米/秒 =  $0.2389$  大卡/秒 =  $1.360$  马力

1 HP = 1 (米制) 马力 =  $75$  公斤米/秒 =  $0.1757$  大卡/秒 =  $0.7355$  千瓦

### 3. 气体变化

$$Pv^m = P_1 v_1^m = P_2 v_2^m = \dots = \text{常数} \quad (6.2)$$

$$\frac{T_2}{T_1} = \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{m-1}{m}} = \left( \frac{v_1}{v_2} \right)^{m-1} \quad (6.3)$$

式中  $P_1, v_1, T_1$ —最初气体状态;

$P_2, v_2, T_2$ —气体的第二状态;

$m = 1$  等温变化

$m = k$  绝热变化

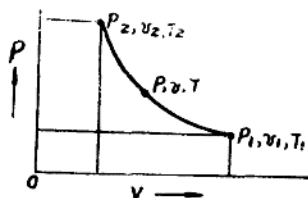


图 9  $P-v$  图

## 4. 比 热

表 4 气体的物理性能 (2)

气 体		比 热 (大卡/公斤度)		绝 热 指 数
名 称	分子式	定压比热 $C_p$ (15°C)	定容比热 $C_v$ (15°C)	$k = C_p/C_v$
干 燥 空 气	—	0.241	0.172	1.401
氧	O <sub>2</sub>	0.218	0.156	1.400
氮	N <sub>2</sub>	0.249	0.178	1.401
氢	H <sub>2</sub>	3.408	2.42	1.407
氦	He	0.25 (-180°C)	0.151 (-180°C)	1.66
氖	Ne	—	—	—
氩	Ar	0.125	0.748	1.67
一 氧 化 碳	CO	0.248	0.177	1.404
二 氧 化 碳	CO <sub>2</sub>	0.200 (16°C)	0.158 (16°C)	1.302
乙 炔	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	0.383	0.304	1.26
氨	NH <sub>3</sub>	0.514 (14°C)	0.393 (14°C)	1.309
甲 烷	CH <sub>4</sub>	0.528	0.403	1.31
水 蒸 气	H <sub>2</sub> O	0.490 (100°C)	0.368 (100°C)	1.33
合成氨 (0°C, 1气压)	—	0.8055	0.573	1.406
丙 烷	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	—	—	—
乙 烯	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	—	—	—
氯	Cl <sub>2</sub>	0.115	0.085	1.36

## 七、用T—s图表示的气体变化

### 1. 熵 的 概 念

假设给 1 公斤气体以少量的热量  $dq$ , 就产生相当的能量。  $dq$  可以用当时的温度  $T$  和微小值  $ds$  的积来表示, 我们将这种  $ds$  称为熵。即

$$dq = T \cdot ds \quad (7.1)$$

$$S_2 - S_1 = C_p \ln \frac{T_2}{T_1} - AR \ln \frac{P_2}{P_1} \quad (7.2)$$

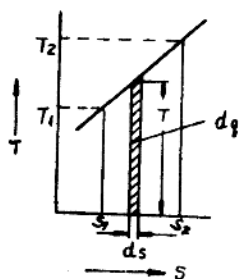


图10 T—s 曲线图



## 八、气体压缩

### 1. 压缩功

对每一公斤气体的循环压缩功

$$l_{pol} = \frac{P_1 v_1}{m-1} \left[ \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{m-1}{m}} - 1 \right] + P_2 v_2 - P_1 v_1$$

$$= RT_1 \frac{m}{m-1} \left[ \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{m-1}{m}} - 1 \right] \text{公斤米/公斤} \quad (8.1)$$

绝热压缩机  $m = k$

等温压缩时  $m = 1$

$$l_{is} = RT_1 \ln \frac{P_2}{P_1} \text{公斤米/公斤} \quad (8.2)$$

又 
$$N_{pol} = \frac{1}{4500} V_1 P_1 \frac{m}{m-1} \left[ \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{m-1}{m}} - 1 \right] \text{ (马力)} \quad (8.3)$$

$$N_{pol} = \frac{V_1 P_1}{4500} C_1 \text{ (马力)} \quad (8.3')$$

$$N_{is} = \frac{1}{4500} V_1 P_1 \ln \frac{P_2}{P_1} \text{ (马力)} \quad (8.4)$$

### 2. 理论上所需功率计算

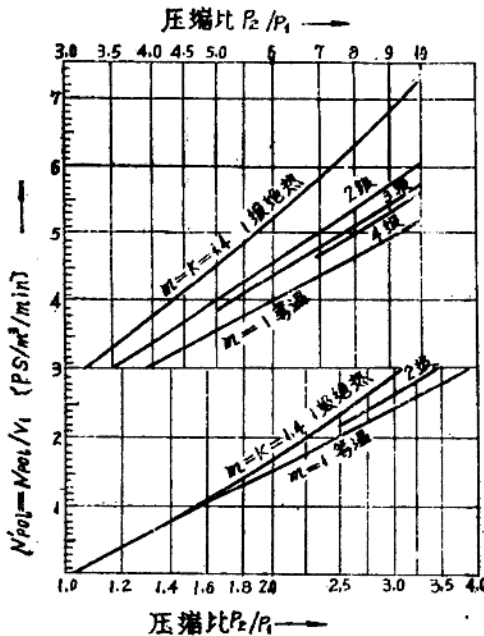


图12: 所需功率、压缩比及压缩级数之间的关系  
但,  $P_1 = 10000$  公斤力/米<sup>2</sup>,

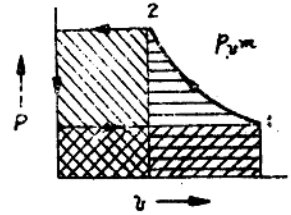


图11 理论的P-v图

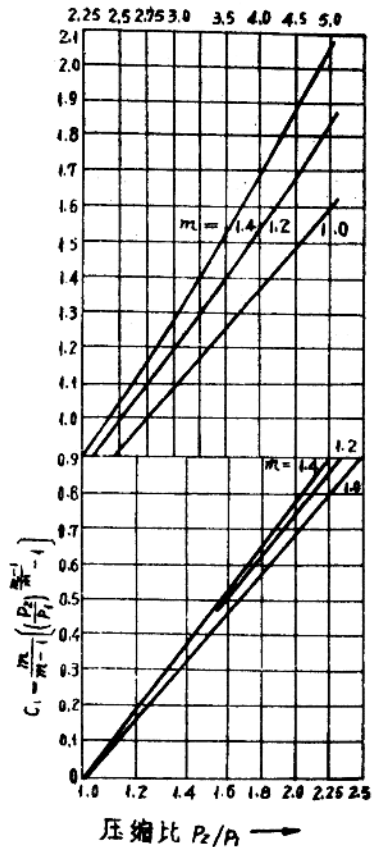


图13 (8.3')式中C<sub>1</sub>值