

气体热力性质图 在制氧机计算中的使用

卢明章 编著

机械工业出版社

气体热力性质图

在制氧机计算中的使用

卢明章 编著



机械工业出版社

本书介绍了在制氧机设计计算时气体热力性质图的使用方法；对二元混合物和三元混合物进行精馏计算时使用的图表和计算方法；使用图表进行计算时焓值的校正方法。介绍了一个新的热力学状态函数——焓、焓值的计算及有关焓的图表在计算中的使用。书中列举了大量计算例题。

本书可供从事制氧机设计、改装的工程技术人员参考，也可作高等学校制氧机专业的教学参考用书。

气体热力性质图在制氧机计算中的使用

卢明章 编著

*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第 117 号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ · 印张 $5 \frac{1}{2}$ · 插页 9 · 字数 207 千字

1981 年 11 月北京第一版 · 1981 年 11 月北京第一次印刷

印数 0,001—1,900 · 定价 1.00 元

*

统一书号：15033·5160

前 言

随着国民经济的发展，特别是冶金、化学工业的发展，制氧机的需要量及品种不断增加。在进行制氧机的设计计算、改造核算时，都需要使用气体热力性质图。

本书阐述了常用气体热力性质图的使用方法；焓值校正方法；用相对挥发度进行精馏计算的方法；水分及二氧化碳饱和蒸汽压曲线的使用方法。为了讲清图表的使用方法，书中列举了大量计算例题。

书中还写入了焓、焓值及有关图表的使用。至今，在制氧机专业（深度冷冻专业）还很少使用这种图表，今后将广泛地使用这种图表。

为了对图表的名称定一个统一的叫法，凡书中涉及到的图表，都以纵横座标的参数命名。

作者对在改稿过程中，对书稿提出过建议的陈逸樵、汤学忠等同志表示感谢。

符 号 表

符号	意义	单位
T ——	温度	$^{\circ}\text{K}$ 或 $^{\circ}\text{C}$
P ——	压力	公斤/厘米 ² (绝对压力)
P ——	饱和蒸汽压	毫米汞柱
I 或 i ——	焓	千卡/公斤分子 或 千卡/公斤 或 千卡/米 ³
I_r ——	对比焓	千卡/公斤分子 或 千卡/公斤 或 千卡/米 ³
I' ——	饱和液体焓	千卡/公斤分子 或 千卡/公斤 或 千卡/米 ³
I'' ——	饱和蒸汽焓	千卡/公斤分子 或 千卡/公斤 或 千卡/米 ³
S ——	熵	千卡/公斤分子 $\cdot^{\circ}\text{C}$ 或 千卡/公斤 $\cdot^{\circ}\text{C}$
E 或 e ——	焓	千卡/公斤分子 或 千卡/公斤 或 千卡/米 ³
E_0 ——	基准焓	千卡/公斤分子 或 千卡/公斤 或 千卡/米 ³
E_0^i ——	混合气体的组成气体焓	千卡/公斤分子 或 千卡/公斤 或 千卡/米 ³
$E_0^{\text{混}}$ ——	氧、氮二元混合物的基准焓	千卡/公斤分子 或 千卡/公斤 或 千卡/米 ³
$E^{\text{压}}$ ——	压力空气的焓	千卡/公斤分子 或 千卡/公斤 或 千卡/米 ³
$\Delta E^{\text{混}}$ ——	由于混合过程的不可逆造成的焓损失	千卡/公斤分子 或 千卡/公斤 或 千卡/米 ³
$\Delta E_{\text{损}}$ ——	焓损失	千卡/公斤分子 或 千卡/公斤 或 千卡/米 ³
$\Delta E_{\text{增}}、\Delta E_{\text{减}}$ ——	工质经某一过程的焓增、焓减	千卡/公斤分子 或 千卡/公斤 或 千卡/米 ³
L ——	功	千焦耳/米 ³ 或 千卡/米 ³ 或 千瓦 $\cdot$ 小时/米 ³
L ——	粗氩塔回流液量	标米 ³ /标米 ³
A ——	氮气量	标米 ³ /标米 ³
B ——	空气量	标米 ³ /标米 ³
D ——	液氮量	标米 ³ /标米 ³
F ——	氩馏分量	标米 ³ /标米 ³
K ——	氧气量	标米 ³ /标米 ³
M ——	粗氩量	标米 ³ /标米 ³
R ——	液空量	标米 ³ /标米 ³
R ——	气体常数	公斤 $\cdot$ 米/公斤 $\cdot^{\circ}\text{C}$
V ——	体积流量	标米 ³ /标米 ³
G ——	上升蒸汽量	标米 ³ /标米 ³
g ——	下流液体量	标米 ³ /标米 ³
Q 或 q ——	热量	千卡/小时
Q_K ——	主冷凝器热负荷	千卡/小时
Q_M ——	粗氩冷凝器热负荷	千卡/小时
q_2 ——	复热不足冷损	千卡/公斤分子加工空气
q_3 ——	跑冷损失	千卡/公斤分子加工空气
$a、b$ ——	液体混合物蒸汽压方程式中常数	
α ——	节流汽化率	

符号	意义	单位
α	相对挥发度	
c_p	比热	千卡/公斤分子·°C 或 千卡/公斤·°C
C	平均校正值	千卡/公斤分子
h	液面高度	米
n	理论塔板数	
Δt	温度差	°C
r	汽化潜热	千卡/公斤分子 或 千卡/公斤 或 千卡/米 ³
γ	重度	公斤/米 ³
η	膨胀机绝热效率	
η_e	炯效率	
$\eta_{\text{板}}$	塔板效率	
$\eta_{\text{回收}}$	外功回收效率	
v	粗氩塔回流数或挥发度	
x_r	对比纯度	%
x	含汽率	
x	液体纯度	%
y	蒸汽纯度	%
纯度 x 、 y 及相对挥发度右下注脚:		
1		氧
2		氩
3		氮

目 录

符号表

第一章 若干常用气体热力性质图的概念和使用方法	1
第一节 参数和概念	1
一、温度 T	1
二、压力 P	1
三、焓 I	2
四、熵 S	2
五、等值线	3
六、临界状态	3
七、关于蒸发、沸腾、液化、冷凝的概念	3
八、饱和曲线和相区的概念	4
九、关于三相点、凝聚、升华的概念	5
第二节 常用气体热力性质图的使用	5
一、 $T-S$ 图	5
二、 $I-T$ 图	5
三、 $I-S$ 图	7
四、 $P-I$ 图	7
五、 $T-I$ 图	8
第二章 精馏计算	15
第一节 二元混合物计算	15
一、 $y-T$ 图的使用	15
二、 $T-x(y)$ 及 $y-x$ 图的作法	18
三、 y_a-x_a 图的使用	19
四、 $I-x$ 图的使用	21
第二节 三元混合物计算	28
一、计算下塔用的 $x-y$ 图	29
二、下塔三元精馏计算程序	29
三、计算上塔用的 $x-y$ 图	31
四、上塔三元精馏计算程序	33
五、带氩塔的上塔三元精馏计算程序	40
六、计算粗氩塔用的 $x-y$ 图	40
七、粗氩塔三元精馏计算程序	40
第三节 用作图法进行三元精馏计算	41
第四节 用相对挥发度进行精馏计算	45
一、基本概念	45
二、计算公式	46
第三章 焓值的校正	48
第一节 误差的产生	48
一、图表间的误差	48
二、图表使用中的误差	49
第二节 焓值的校正方法	49
一、常用的焓值校正方法	49

二、本书作者提出的焓值校正方法	50
第四章 水分和二氧化碳饱和蒸汽压曲线图的使用	53
第一节 水分和二氧化碳饱和蒸汽压曲线图	53
第二节 水分和二氧化碳饱和蒸汽压曲线图使用实例	55
一、确定空气中水分和二氧化碳的饱和含量	55
二、保证蓄冷器不冻结的最大允许温差的确定	57
第五章 焓及有关图表的使用	60
第一节 焓及空气焓-焓图的概念	60
一、焓的概念	60
二、空气的焓-焓图	61
第二节 基准焓值	62
一、最小分离功	62
二、空气的组成气体的基准焓值	63
三、氧、氮二元混合物的基准焓值	63
四、稀有气体的焓值	67
第三节 氧、氮二元混合物在不同状态下的焓值	67
一、在不同温度下的焓值	67
二、在不同压力下的焓值	67
三、饱和状态下的焓值	68
第四节 有关焓的图表在计算中的使用	70
一、分析液化循环的局部损失	70
二、分析制氧机流程的局部损失	73
参考文献	79

第一章 若干常用气体热力性质图的概念和使用方法

第一节 参数和概念

常用气体热力性质图上，表示工质状态的主要参数有温度(T)、压力(P)、焓(I)、熵(S)等。图上的等值线有等压线、等焓线、等温线等。现将主要状态参数和一些基本概念分述如下。

一、温度 T

温度是表示工质冷热程度的参数。在图表中采用绝对温度，在温度值后标以“°K”。绝对温标的零度，在摄氏温标下为零下 273.16 度(一般计算时取整数 273)。绝对温度的物理意义是：物质的温度是由其分子运动而引起的，当分子的热运动完全停止时，所显示的温度叫绝对零度。从绝对零度算起的温度叫绝对温度。如摄氏 30°C，相当于绝对温度 $30 + 273 = 303^\circ\text{K}$ 。又如绝对温度 90.19°K ，相当于摄氏温度 $90.19 - 273.16 = -182.97^\circ\text{C}$ 。

有些西方国家发表的热力性质图表上，也有用华氏温度(°F)的。

各种温度单位间的换算关系列于表 1。

表 1 温度单位间的换算关系

温 度 单 位	[°C]	[°K]	[°F]
摄氏温度 [°C]	1	$^\circ\text{C} + 273.16$	$\frac{9}{5}^\circ\text{C} + 32$
绝对温度 [°K]	$^\circ\text{K} - 273.16$	1	$\frac{9}{5}(\text{K} - 273.16) + 32$
华氏温度 [°F]	$\frac{5}{9}(^\circ\text{F} - 32)$	$\frac{5}{9}(^\circ\text{F} - 32) + 273.16$	1

二、压力 P

构成工质的分子总是不停地运动着，并不间断地撞击着器壁。工质的压力是其分子撞击器壁的宏观表现。压力的方向总是垂直于器壁的。在图表中压力单位采用绝对压力，在压力值后标以“公斤/厘米²”。有的图表中标以“ata”。

在制氧机的仪表板上，压力表所示的压力为表压力。绝对压力是从真空算起的。绝对压力等于表压力与大气压力之和。

1 工程大气压相当于每厘米²面积上承受 1 公斤的压力。在物理学上，把温度为 0°C 时，在纬度 45° 海平面上的大气平均压力称标准大气压或物理大气压，相当于 760 毫米汞柱。

将常用的压力单位间的换算关系列于表 2。

有时压力也用其它单位表示如：巴、磅/英寸²、千牛顿/米²等。这些压力单位和常用的工程大气压等压力单位之间的换算关系为：

$$1 \text{ 巴 (bar)} = 100 \text{ 千牛顿/米}^2 \text{ (kn/m}^2\text{)}$$

表2 压力单位间的换算关系

压 力 单 位	巴 (bar)	公斤力/米 ² (kgf/m ²)	物理大气压 (atm)	工程大气压 (kgf/cm ²)	毫米汞柱 (mmHg)
巴(bar)	1	1.02×10^4	9.87×10^{-1}	1.02	750
公斤力/米 ² (kgf/m ²)	9.81×10^{-6}	1	9.68×10^{-5}	10^{-4}	7.36×10^2
物理大气压(atm)	1.013	1.033×10^4	1	1.033	760
工程大气压(kgf/cm ²)	9.81×10^{-2}	10^4	0.968	1	735.6
毫米汞柱(mmHg)	1.33×10^{-3}	13.6	1.31×10^{-3}	1.36×10^{-3}	1

1 公斤力/厘米² (kgf/cm²) = 14.22磅/英寸² (lb/in²) = 98.1千牛顿/米² (kn/m²)

1 磅/英寸² (lb/in²) = 0.0703公斤力/厘米² (kgf/cm²)

1 千牛顿/米² (kn/m²) = 0.0102公斤力/厘米² (kgf/cm²)

1 百万牛顿/米² (Mn/m²) = 10.2公斤力/厘米² (kgf/cm²)

三、焓 I

焓是工质状态参数之一。焓是度量流体在某种状态下能量大小的参数。流体在流动时，除具有内能外，还有从后部流体所作的推动功转换来的能量，称为流动能。焓是工质的内能和流动能之和。将焓认为是工质的热含量是不正确的。

由于各张图表的焓值计算始点不同，故工质在各种状态下的焓值都是相对值。焓是一个可加量，由几个独立部分构成的复杂系统的焓值，等于这些部分的焓值之和。在图表中，焓用“*I*”或“*i*”表示，其单位为千卡/公斤分子或千卡/公斤。千卡是热量单位，1千卡等于1公斤水在标准大气压下，由14.5℃加热至15.5℃时所需的热量。当工质重量（公斤）在数值上等于其分子量时称为公斤分子。例如1公斤分子氧重32公斤，1公斤分子氮重28公斤。1公斤分子任何气体，在0℃和760毫米汞柱的标准状态下，它们所占的体积均为22.4标米³。

四、熵 S

熵也是工质的状态参数之一。

自然界发生的许多现象具有一定的方向性，即向某一个方向可以自发地进行，反之则不能，除非要花一定的代价。例如，热量只能自发地从高温物体传给低温物体；压力高的气体会自发地向压力低处膨胀；不同的气体会自发地均匀混合等。而它们的反过程则不能自发地进行。这种有方向的过程叫“不可逆过程”。可以说，不可逆过程的前后的两个状态是不等价的。用“熵”这个状态参数可以度量它们的不等价性。

以节流过程和膨胀机的膨胀过程为例，如果空气通过节流阀和膨胀机时，压力均从 P_1 降至 P_2 ，在理想情况下，两个过程均可视为绝热过程。但由于节流过程没有对外作机械功，压力降完全消耗在节流阀的摩擦、涡流及气流撞击损失上，要使空气自发地从压力低处反向流至压力高处是不可能的，因此它是一个不可逆过程。对膨胀机来说，气体推动膨胀机的叶轮对外作功，使气体的压力降低，内部能量减少。在理想情况下，如果将所作的功用压缩机加以回收，则仍然可以将气体由 P_2 压缩至 P_1 ，而不消耗外界的能量。因此，膨胀机的理想绝热膨胀过程是一个可逆的过程。节流后与膨胀机膨胀后的压力虽然相同，但是工质的这两个状态是不等价的，它们的不等价性可以用“熵”度量。对节流过程来说，它是绝热的不可逆过程，熵是增大的。对膨胀机膨胀过程来说，在理想绝热情况下（绝热效率为100%）为可逆过程，熵不变。即节流后的熵值比膨胀机膨胀后的熵值要大，其差值说明了不可逆的程度。

对其它的绝热过程来说, 自发过程总是朝着熵增大的方向进行。或者说, 熵增加的大小反映了过程不可逆的程度。因此, 熵就是表示过程方向性的一个状态参数。

理想绝热过程(可逆过程)前后的熵值不变, 而有摩擦的绝热过程(不可逆过程), 摩擦产生的热量使熵值增加。因此, 熵的变化与热量有关。

孤立体系熵值增加的大小, 反映了过程的不可逆程度。通常在实用中, 不需要知道熵的绝对数值, 只需要工质在任意两状态间的熵差。工质在任意可逆过程中吸收或放出热量 dq , 其量可用温度 T 和熵的变化 dS 来表示。

$$dq = T dS \left(\text{或} \quad dS = \frac{dq}{T} \right)$$

对可逆过程, 如向工质加热, 工质吸收热量, 其熵就增加; 如从工质排热, 工质被冷却, 其熵就减少; 对理想绝热过程, 过程前后工质的熵值相等。根据熵值的变化(增大、不变或减小), 可以判断工质有没有从外界吸收热量或向外界放出热量。在孤立体系中, 过程只能自发地朝熵增加的方向进行。熵是表示过程方向性的一个状态参数。

熵的单位是: 千卡/公斤分子·°C 或 千卡/公斤·°C。

五、等值线

在气体热力性质图中有等压线、等焓线、等温线等。

等压线: 用以描述在压力不变的条件下, 工质其它状态参数之间的关系。

等焓线: 用以描述在等焓过程中, 工质其它状态参数之间的关系。如工质节流前、后所处状态的焓值是不变化的。

等温线: 用以描述在等温过程中, 工质其它状态参数之间的关系。

六、临界状态

临界状态是工质饱和蒸汽态和饱和液体态共有的边缘状态。在这种状态下, 饱和液体重度和饱和蒸汽重度相同, 因而它们间的界面消失。临界点是工质在临界压力下, 汽液相变转折点。当然, 当工质压力超过临界压力, 温度达到临界温度时, 汽液分界面也消失。

对不同工质都存在着这样一个温度, 只有低于这个温度, 才可能采用提高压力的方法使它液化, 这个液化的最高温度叫临界温度。

当工质的压力低于临界压力时, 温度降至临界温度也不能液化, 只有降至饱和蒸汽温度后, 再将其汽化潜热引出, 才能液化。当工质压力高于或等于临界压力时, 温度降至临界温度就能液化。临界温度是加压时使工质液化所允许的最高温度。在临界温度以上, 工质只能处于气态。

各种工质的临界点的温度和压力列于表 3。

表 3 各种工质临界点的温度和压力^[1]

工 质	空 气	氮 N ₂	氧 O ₂	氩 Ar	氖 Ne	氦 He	氪 Kr	氙 Xe	二氧化碳 CO ₂	乙 炔 C ₂ H ₂
临界温度(°K)	132.42~132.52	126.1	154.78	150.7	44.4	5.199	209.4	289.75	304.19	309.15
临界压力(标准 大气压)	37.25~37.17	33.5	50.14	48	26.19	2.26	54.3	58	72.85	61.58

七、关于蒸发、沸腾、液化、冷凝的概念

蒸发是在液体表面发生的汽化现象。在同一时间内, 从液面逸出的分子数, 多于从液面

外进入液体的分子数。蒸发在任何温度下都能进行。温度愈高，蒸发愈快。当从外界不断供给热量，使其温度升至沸点时的蒸发是沸腾蒸发。沸腾蒸发实际上就是沸腾，是从液体内部进行汽化的现象。制氧机的冷凝蒸发器中，液氧汽化的过程实际上是沸腾过程。

液化过程是当压力低于临界压力时，气体由某一温度冷却至饱和蒸汽状态，再将其汽化潜热引出，使之成为液体的过程。或者当压力等于或高于临界压力时，气体由某一温度冷却至临界温度以下，使之成为液体的过程。

冷凝过程是气体由饱和蒸汽状态成为液体状态的过程。如在冷凝蒸发器内，下塔的上升蒸汽(饱和蒸汽)，吸收了液氧沸腾蒸发放出的冷量，就被冷凝为液体。

八、饱和曲线和相区的概念

1. 饱和蒸汽线和饱和液体线

当工质压力低于临界压力时，只有温度下降到低于临界温度的某一温度，才能开始由气态逐步变为液态，这个开始产生液体的温度叫露点温度。达到露点温度的蒸汽叫饱和蒸汽。压力愈高，露点温度愈高。将对应于各压力下的露点温度联结起来所构成的曲线就是饱和蒸汽线。

温度高于露点温度的气体叫过热气。温度高于露点温度的数值叫过热度。通常所说的气体，实际上是过热度很高的蒸汽。

工质由饱和蒸汽状态逐步变为饱和液体状态的条件，是从饱和蒸汽状态的工质中，将冷凝潜热引出。所谓“冷凝潜热”，就是工质由饱和蒸汽全部变成饱和液体所放出的热量。反之，工质由饱和液体状态逐步变为饱和蒸汽状态，要引出汽化潜热。所谓“汽化潜热”就是工质由饱和液体全部变成饱和蒸汽所需要的热量。对同一工质来说，在一定压力下，冷凝潜热与汽化潜热在数值上是相等的。压力(低于临界压力)愈高，冷凝(汽化)潜热愈小。

对应于各压力下，全部转为饱和液体状态的点联结起来所构成的曲线，就是饱和液体线。这个状态下的温度叫沸点温度。该状态下的液体叫饱和液体。温度低于某压力下所对应的沸点温度的液体叫过冷液体，低于沸点温度的数值叫过冷度。

对于单组分工质，如氧、氮、氩等来说，对应于某一压力，蒸汽开始液化的温度和液体开始汽化的温度是相等的，在汽化或液化过程中温度保持不变，称为饱和温度。多组分工质的沸点温度低于露点温度。如空气是氧、氮及其它稀有气体的混合物，当饱和蒸汽变为饱和液体时，高沸点组分比低沸点组分易液化，蒸汽中的高沸点组分——氧逐渐减少，所以对应于某一压力，沸点温度低于露点温度。

饱和蒸汽线与饱和液体线汇合于临界点，整条弓形曲线叫饱和曲线。饱和蒸汽线各点，对应于各压力下工质所处的饱和蒸汽状态，即含液比例为0%的状态。饱和液体线各点，对应于各压力下工质所处的饱和液体状态，即含液比例为100%的状态。

2. 相区

在饱和蒸汽状态的工质中，若没有把汽化潜热全部引出，则工质处于两相状态，即工质由汽、液二相组成，汽化潜热引出愈多，工质中含液比例愈多。在气体热力性质图上，由饱和蒸汽线和饱和液体线所包围的区域，就是汽液两相区，也叫湿蒸汽区。这种温度为饱和温度的汽液混合物叫湿蒸汽。

当工质压力低于临界压力时，温度高于饱和蒸汽线温度的区域；当工质压力高于临界压力时，高于临界温度的区域，都是气相区。

在压力不很高的情况下,液体的等压线与饱和液体线是很接近的。在压力较低时,几乎是重合的。当工质温度低于临界温度时,饱和液体线以外的区域就是液相区。

九、关于三相点、凝聚、升华的概念

升华、熔解和汽化三曲线相交于一点称为三相点。在这一点,工质的三相(固、液、汽)同时存在。各种工质三相点的温度和压力列于表4。

表4 各种工质三相点的温度和压力^{〔1〕}

工 质	空气	氮 N ₂	氧 O ₂	氩 Ar	氖 Ne	氦 He	氪 Kr	氙 Xe	二氧化碳 CO ₂	乙 炔 C ₂ H ₂	水 H ₂ O
三相点温度(°K)	60.15	63.15	54.36	83.8	24.54	高低 2.172 1.788	115.76	161.37	216.55	191.66	273.16
三相点压力(标准 大气压)	—	0.124	0.0015	0.6785	0.4273	高低 0.051 29.96	0.721	0.805	5.112	1.184	4.6毫米汞柱

当工质的压力或分压低于三相点压力时,在工质被冷却时,由气态直接变成固态叫做凝聚;被加热时由固态直接变成气态叫做升华。

第二节 常用气体热力性质图的使用

气体热力性质图,就是将气体的各个状态参数之间的关系表示在状态坐标图上。不同工质的不同热力性质图,都是根据实验结果画出的。对同一种工质来说,不同的坐标图应反映出工质的同样性质,可根据需要选用。但是,对不同的实际问题,各种图的方便程度有所不同。

在制氧机设计计算中, $T-S$ 图、 $I-T$ 图、 $I-S$ 图、 $P-I$ 图及 $T-I$ 图都是经常使用的。

一、 $T-S$ 图

$T-S$ 图(如图1所示)的纵座标是温度 T ,横座标是熵 S 。图中有 $P=1\sim 200$ 公斤/厘米²(有的图上,如附图2 $P=1\sim 500$ 公斤/厘米²)的等压线、等焓线、饱和蒸汽线及饱和液体线。饱和液体线之左为液相区,饱和蒸汽线之右为气相区,饱和线所包围的区域为两相区。利用 $T-S$ 图可以计算气体等温压缩时的节流效应、等焓节流时的温降、一定压力下某一温度区间的平均定压比热、一定压力下液化单位重量(或体积)气体所需的冷量、一定压力下的汽化潜热、过冷液体节流后的汽化率及计算膨胀机的效率等。

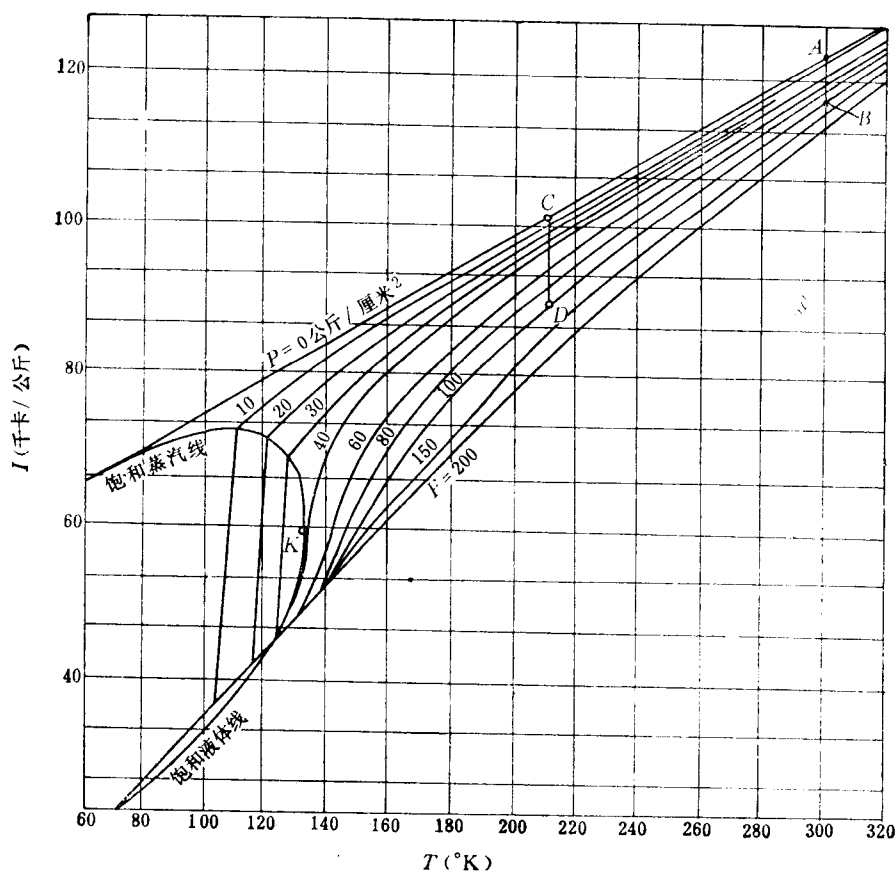
在《气体热力性质图》中,还有氩、氢、氖、氦的 $T-S$ 图,图的结构和使用方法与空气、氧、氮的 $T-S$ 图相同。

二、 $I-T$ 图

$I-T$ 图(如图2所示)的纵座标是焓 I ,横座标是温度 T 。图中有 $P=0\sim 200$ 公斤/厘米²(有的图上,如附图1 $P=0\sim 400$ 公斤/厘米²)等压线,有饱和蒸汽线和饱和液体线。

在 $I-T$ 图上气相区、液相区和汽液两相区的划分与 $T-S$ 图一样,但液相区 $P>40$ 公斤/厘米²的等压线是画在汽液两相区的。可以认为,在 $P<40$ 公斤/厘米²的等压线与饱和液体线相重合。为什么如此呢?这需从微分节流效应说起。

工质的微分节流效应等于零时的温度称为转换温度。对于某一压力,除上限转换温度之

图2 空气 $I-T$ 图示意

三、 $I-S$ 图

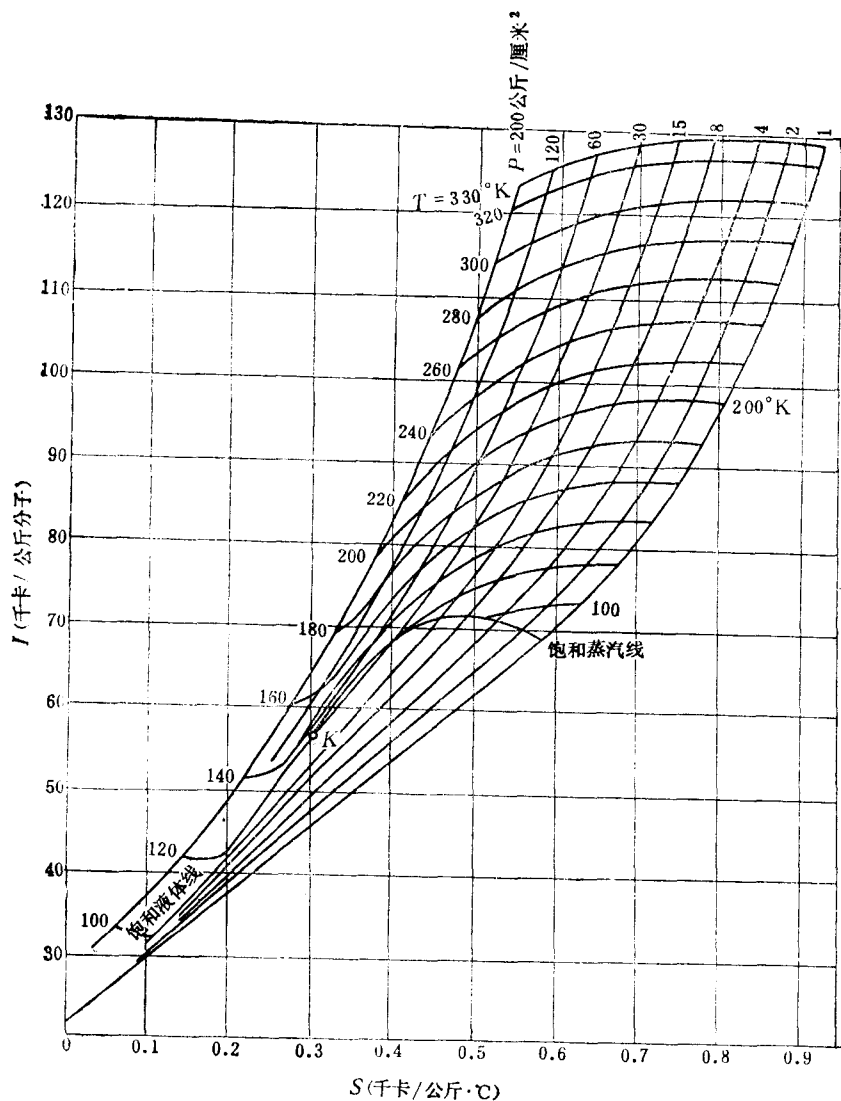
$I-S$ 图(如图3所示)的纵座标是焓 I ,横座标是熵 S 。图中有 $P=1\sim 200$ 公斤/厘米²(有的图上,如附图3 $P=1\sim 30$ 公斤/厘米²)的等压线及等温线,也有饱和蒸汽线和饱和液体线。

利用 $I-S$ 图,可以在已确定膨胀机绝热效率及机前、机后压力的前提下,计算膨胀机的最低入口温度。

四、 $P-I$ 图

氧、氮的 $P-I$ 图(图4所示为氮的 $P-I$ 图),虽在一些图册中没有编入,但在制氧机计算中是经常使用的。纵座标是压力 P ,横座标是焓 I 。图中有等温线、等熵线和饱和蒸汽线、饱和液体线。水平线为等压线,竖直线为等焓线。因为纵座标的压力 P 是对数座标,也称 $I-\lg P$ 图。

在 $P-I$ 图上(图4),工质在换热器中,在等压下的冷却过程可用 $A\rightarrow B$ 表示;加热过程可用 $C\rightarrow D$ 表示。工质在膨胀机中的理想绝热膨胀过程,可用 $E\rightarrow F$ 表示。气体的等焓节流过程,可用 $H\rightarrow I$ 表示。液体的等焓节流过程,可用 $L\rightarrow M$ 表示。在定压下的液体蒸发过程,可用 $N\rightarrow O$ 表示,其汽化潜热值为 $I_o - I_n$ 。

图3 空气 $I-S$ 图示意

五、 $T-I$ 图

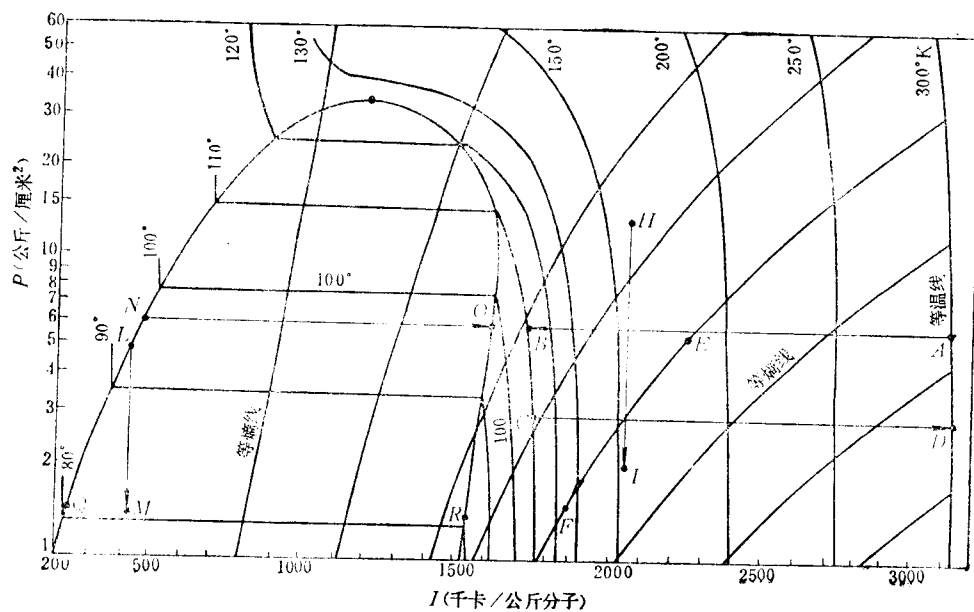
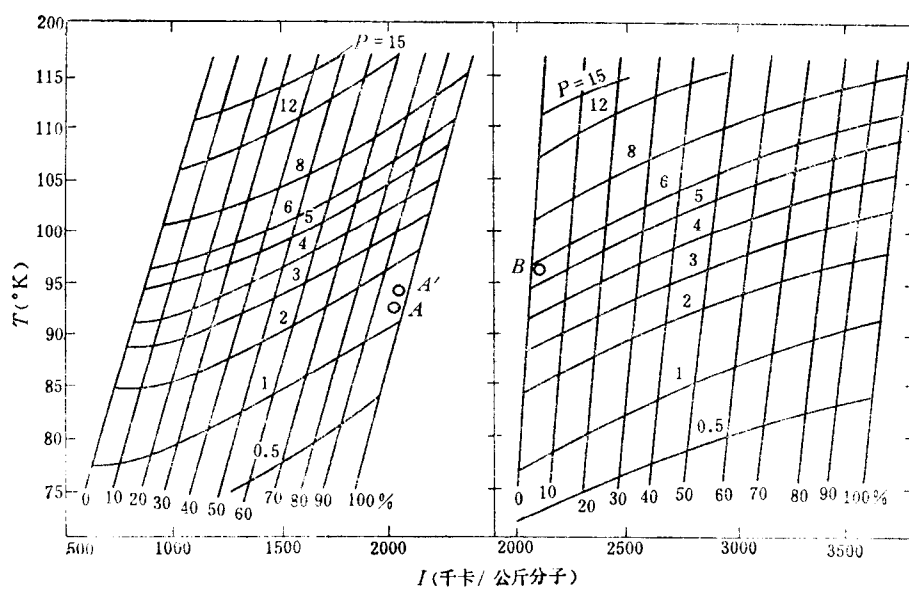
氧、氮二元混合物的 $T-I$ 图 (也称 $T-P-I-x-y$ 图), 分为两个部分, 右半部分是饱和蒸汽, 左半部分是饱和液体。纵座标为温度 T , 横座标为焓 I 。图中有等压线及 0~100% O_2 的组分线。此图仅适用于工质处于饱和蒸汽及饱和液体下的状态, 而对过热气体、过冷液体、处于汽液混合状态下的工质, 都是不适用的。

有时用算法解决某一问题, 用这种图表可以解决, 用另一图表也可得到解决。

下面分别举例说明上述几张图表的使用。

〔例 1〕 已知: 空气在 $300^\circ K$ 及 $210^\circ K$ 下, 由 1 公斤/厘米^2 等温压缩至 100 公斤/厘米^2 。

求: 在哪种温度下焓降大?

图4 氧或氮 $P-I$ 图示意图5 氧、氮二元混合物的 $T-I$ 图示意