

空分装置能量平衡

——焓,最少分离功与当量热值

杭州制氧机厂 蔡绍康

空分装置能量平衡是指整个制冷、分离过程的能量平衡。它是由压缩、膨胀、热交换、精馏等一系列过程组成的。在一般的热工设备中,能量平衡的概念仅仅是数量之间的平衡,而在空分装置中很难,也不应该仅搞数量上的平衡。因为在能量平衡计算装置的效率时,各种气体(氧、氮、氖、氦、氩、氙)的当量热值没有一个比较科学严密的数值。现在国内有关资料中关于氧、氮的当量热值出入颇大,而且很难说有一个较为严格的热平衡的概念。例如:《一机企业能量平衡计算方法》中将氧气的当量热值 $d_{O_2} = 150$ (千卡/米³)。在航空工业部的《企业能量平衡统一规定》中又将氧气,氮气的当量热值定为:氧气 $d_{O_2} = i_{O_2} \times r_{O_2} = 103 \times 1.33 = 137$ 千卡/米³; 氮气 $d_{N_2} = i_{N_2} \times r_{N_2} = 103 \times 1.17 = 120.5$ 千卡/米³。由于没有一个真正统一的规定,使各工矿企业在空分装置的能量平衡上引起混乱。例如济南有一个大厂就将氧气的当量热值随意定为1166.35千卡/米³,这种混乱必然给能量平衡工作带来极大的困难。某种气体的当量热值在其一定的温度、压力、纯度下只能是一个数值,如用气体的热焓作为该气体的当量热值是不恰当的,因为氧气、氮气的焓不是有效能。在考虑氧气的当量热值时也有人提出了用氧化反应时的反应热作为其当量热值。当然,假如氧气的反应热只有一个数值倒是可以考虑的,但是氧气可与各种金属、非金属都起化学反应(氧化),放出的热量各不相同。因此氧气的反应热也不应该作为其当量热值,更不用说很难或根本不会起反应的氮、氖、氦、氩、氙等气体了。

空分装置的能量平衡时,气体的当量热值必须用气体分离时的最少分离功,也就是用焓的概念来解决。

1. 空气装置能量平衡时装置的效率与最少分离功

设备的热效率 η 为:

$$\eta = \frac{Q_{YX}}{Q_{GG}} \times 100\% \quad (1)$$

其中: Q_{YX} ——有效能量; Q_{GG} ——供给能量。

装置的供给能量 Q_{GG} 容易求出,它就是输入装置、外界供给体系的能量,在这里也就是电、水、油总损耗。而 Q_{YX} 是有效能,按能量平衡的有效能的定义就是指达到工艺要求并在理论上必须消耗的能量。对于气体分离装置来说,它的有效能应该是气体从大环境状态的空气中分离出来而具有的做功本领。

单位工质从大环境相平衡态,可逆地转为任一给定状态所必须花费的最少功 L_{min} 也就是装置的有效能,即

$$Q_{YX} = L_{min} = T_0(S_0 - S) - (I_0 - I) \quad (2)$$

其中 T_0 、 S_0 、 I_0 ——分别为工质在大环境状态的绝对温度、熵、焓。

S 、 I ——分别为工质在给定状态的熵、焓。

将混合气体分离成它所组成的气体,就要消耗一定数量的功。致冷循环中各过程的不可逆损失愈少,分离所需要的功也愈少。混合气体的最少分离功 L_{min} 也可以用下列式子来表达:

$$L_{\min} = T_0 \Delta S = T_0 \cdot \left[848 \sum_{i=1}^n y_i \cdot \ln \frac{P}{P_i} \right]$$

$$= 848 T_0 \sum_{i=1}^n y_i \cdot \ln \frac{1}{y_i} \quad (3)$$

式中: $L_{\min}$ (公斤米/公斤分子)。最少分离功。

P (公斤/厘米²) 混合气体的压力。

P_i (公斤/厘米²)、 y_i (%) 分别为某组分的分压及某组分的容积百分比。

对于空气来说, 空气的最少分离功 $L_{\min}$ 也可以是

$$L_{\min} = 0.371 T_0 \sum_{i=1}^n y_i \ln \frac{1}{y_i}$$

(千焦耳/米³空气)

$$= 0.0886 T_0 \sum_{i=1}^n y_i \ln \frac{1}{y_i}$$

(千卡/米³空气)

$$= 1.03 \times 10^{-4} T_0 \sum_{i=1}^n y_i \ln \frac{1}{y_i}$$

(千瓦·小时/米³空气) (4)

当空气被简化为氮、氧二元混合系时(将氩、氖、氦看作为氮的杂质; 氮、氩看作为氧的杂质)。分离气体的最少分离功可以很容易从氮、氧二元混合系 ($P_0 = 1$ 公斤/厘米², $T_0 = 293K$) 的焓值图中求出。

从图一中可以查到纯氧 ($P_0 = 1$ 公斤/厘米², $T = 293K$, 下皆同) 的焓 $E_{O_2} = 40.6$ 千卡/米³ (K点)。纯氮的焓 $E_{N_2} = 6.42$ 千卡/米³ (A点)。分离1米³氧气的最少分离功 $L_{\min}^{O_2} = 62.5$ 千卡/米³ O₂ (F点)。分离1米³纯氮的最少分离功 $L_{\min}^{N_2} = 17$ 千卡/米³ N₂。分离1米³空气为纯氧、纯氮的最少分离功 $L_{\min}^{Air} = 13.5$ 千卡/米³ 空气 (B点)。1米³空气在 ($T_0 = 293K$, $P_0 = 1$ 公斤/厘米²) 下分离成 N₂ 为90%; O₂ 为95%的产品气体时, 其最少分离功 $L_{\min} = 6$ 千卡/米³ 空气 (B'点)。制取1米³95%工艺氧的最少分离功为 $L_{\min} = 42.3$ 千卡/米³ 工艺 O₂ (j点)。

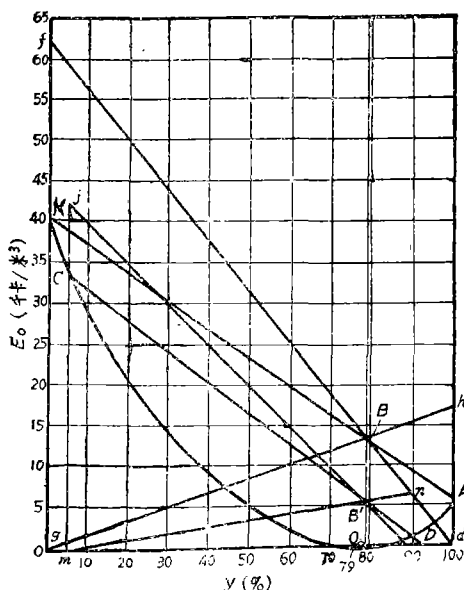


图1 氮、氧二元混和物在 $P_0 = 1$ 公斤/厘米²、 $T_0 = 293K$ 的焓 (E_o) 值图。

由上述可知, 分离产品的纯度愈低, 其所需的最少分离功就愈少, 亦即有效能愈少。当空分装置产品纯氧兼纯氮都被利用时, 空分装置的有效能为各产品的有效能之和。因此, 空分装置的能源利用率将大为提高。

2. 空分装置能量效率的计算

某制氧站有一台150标米³/时的制氧机, 氧气的纯度 $X_{O_2} = 99.2\%$, 氧气量150标米³/时。生产1标米³的电耗为1.05千瓦·时/米³ (不包括氧压机), 水耗为0.11吨/米³ O₂, 油耗为0.002公斤/米³ O₂。

求: 这台制氧站的能量平衡。(不考虑照明用电的消耗)

解: 根据式(1):

$$y = \frac{Q_{YX}}{Q_{GG}} \times 100\%$$

其中, 供给能量:

$$Q_{GG} = Q_{电} + Q_{水} + Q_{油}$$

$$= q_{电} \times d_{电等价} + q_{水} \times d_{水等价} + q_{油} \times d_{油等价}$$

$$= 1.15 \times 3000 + 111 \times 1.2 + 0.002 \times 12100$$

$$= 3306.2 \text{ 千卡/米}^3 \text{ O}_2$$

式中 $d_{\text{等价}}^{\text{电}}$ 、 $d_{\text{等价}}^{\text{水}}$ 、 $d_{\text{等价}}^{\text{油}}$ 分别为电、水、油的等价热值。

有效能 $Q_{YX} = L_{\min} = 62.5$ 千卡/米³O₂

将上述数据代入式(1):

$$\eta = \frac{Q_{YX}}{Q_{GG}} \times 100 = \frac{62.5}{3306.2} \times 100\% = 1.89\%$$

假如仅求以电为基础的装置效率 η'

$$\eta' = \frac{62.5}{1.05 \times 860} = 6.92\%$$

该制氧站氧气的当量热值 $d_{\text{相当}}^{\text{O}_2} = 62.5$ 千卡/米³O₂ 氧气的等价热值 $d_{\text{等价}}^{\text{O}_2} = 3306.2$ 千卡/米³O₂。制取1米³纯度X_O-99.2%的氧气(不包括氧压机)折合成标准煤为 $3306.2/7000 = 0.47$ 公斤/米³O₂。

效率 $\eta = 1.89\%$ 反映了: 煤燃烧放热转化为蒸汽的朗肯循环的效率及损失, 电能转换及输送过程的效率及损失, 以及制冷海兰特循环的效率及损失。仅就制冷循环中又包含: 空气压缩过程、各个热交换、气体膨胀、精馏塔(含: 上、下塔、冷凝蒸发器、过冷器及节流阀)的精馏过程的各个效率及损失。由于各式各样的损耗, 使该制氧站的能源利

用率只是1.89%。假如再考虑冬天的采暖及夜里的照明, 其实际效率必然更低。因此, 为了提高制氧站的能源利用率, 必须从上述各个环节着手进行改进, 才能得到有益的效果。

3. 结 束 语

对于装置、设备的能量平衡工作, 目前国内仅是数量之间的平衡, 很少考虑能的质量因素。但是, 随着能量平衡工作的深入, 必将发展成为整个能源系统的焓平衡。目前的条件下要展开全面的焓平衡、计算焓效率显然是不现实的。焓效率的计算必须全面考虑各种能源的质量因素。本文用最少分离功 $L_{\min}$ 作为当量热值计算出装置的能源利用率仅仅是能量平衡向焓平衡过渡的一种形式。它不但解决了当前各种气体当量热值各家不一的问题, 而且还有下述的优点: (1) 计算方便; (2) 可以反映产品纯度及产品品种对装置能源利用率的影响; (3) 为以后整个装置各设备的不可逆性损失的计算打好基础。

简 讯

WJ型交流接触器节电 系列化生产通过鉴定

杭州无线电元件三厂对WJ型交流接触器节电器作了认真的分析试验, 提出了改进措施, 并制订了产品系列化标准初稿。在83年7月21日杭州召开的鉴定会上, 一致认为该厂生产的系列化节电器是目前国内这类节电器中较为优良的产品, 可以推广使用。

(熙)

小资料

美、英等六国1981年节能效果

类别 国家	单位能源消费量 油当量(千升) 国内生产总值 (百万美元)	比前一年减少数 (%)	1974~1981年 年平均减少数 (%)
美	1,140	4.3	2.4
日本	627	4.7	4.1
西德	616	2.5	2.2
英	937	1.4	2.1
法	552	0.7	2.4
意	730	0.7	1.5

摘自日本“节能”1982年12月期刊