

(8)-14
内部资料
注意保存

蒸汽喷射式抽空器设计

五七油田八分部设研大队二连
化工部化工设备设计专业技术中心站复制
上海市南京西路 1856 号
一九七一年三月

最高指示

我们的方针要放在什么基点上？放在自己力量的基点上，叫做自力更生。我们并不孤立，全世界一切反对帝国主义的国家和人民都是我们的朋友。但是我们强调自力更生，我们能够依靠自己组织的力量，打败一切中外反动派。

前 言

在毛主席“独立自主”、“自力更生”伟大方针的光辉照耀下，解放以来我国社会主义革命和社会主义建设取得了巨大的成就。石油工业战线的广大革命职工遵照毛主席“看来发展石油工业还得革命加拼命”的伟大指示，发扬“一不怕苦，二不怕死”的革命精神，艰苦奋斗，使我国石油工业在短短的时间内摔掉了落后帽子，突飞猛进地向前发展。

随着石油工业的发展，对炼油厂设计工作提出了更高的要求，为此，我们吸取了各兄弟厂矿工人群众从生产实践中总结出来的宝贵经验、并参阅有关资料，整编了蒸汽喷射式抽空器的设计参考资料，供设计人员和有关同志参考和批判。

伟大领袖毛主席教导我们：“因为我们是为人民服务的，所以，我们如果有缺点，就不怕别人批评指出。不管是什么人，谁向我们指出都行。只要你说得对，我们就改正，你说的办法对人民有好处，我们就照你的办。”

由于我们很缺乏实践经验，在整编工作中难免存在不少缺点错误，希望同志们提出批评指正，并将工作中的宝贵经验告诉我们，以便进行修改。

一 名 称

为了明确抽空器各零件的名称，特示图于下（见图 1）

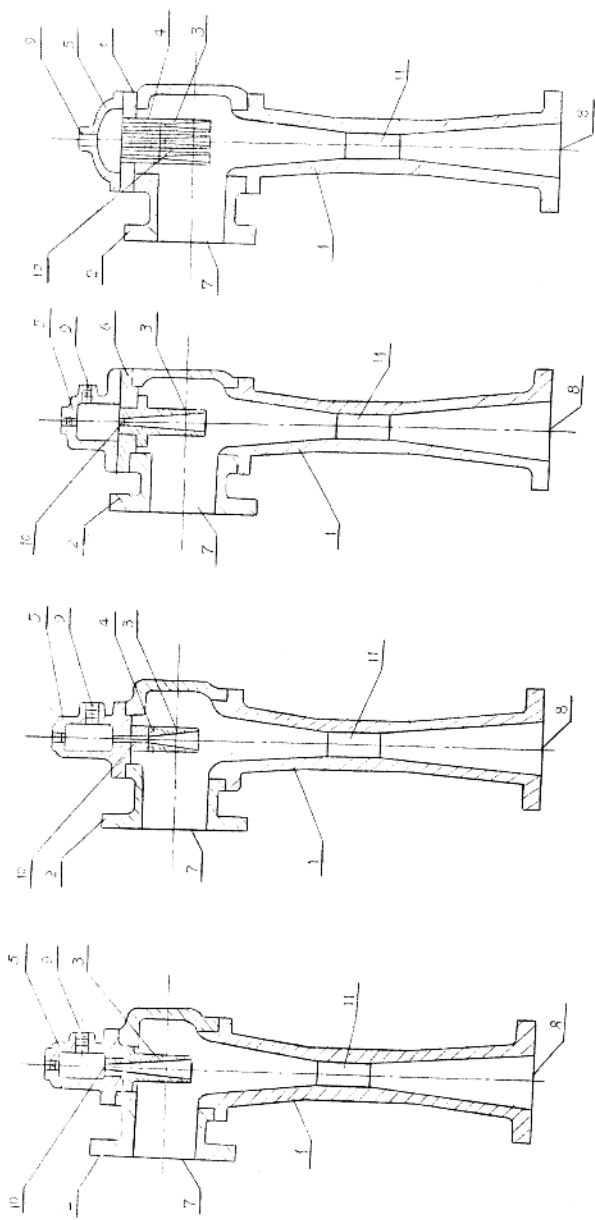


图 1 典型蒸汽喷射器的装配类型

- 1—扩散管； 2—吸入管； 3—蒸汽喷嘴； 4—一级蒸汽喷嘴； 5—蒸汽管； 6—喷嘴的安裝板；
- 7—吸入口； 8—排出口； 9—蒸汽入口； 10—一级蒸汽入口； 11—扩散管喉部； 12—喷嘴的安裝板；

三 操作原理：

蒸汽喷射式抽空器的操作原理，是利用蒸汽的压力能通过喷嘴的“节流”变为速度能，使高速喷出的蒸汽抽吸水蒸汽和气体，两者随即混合在一起。混合气体以一定速度进入扩散管，速度能又转变为压力能，因此喷射式抽空器排出的混合气体的压力实质上高于吸入室中的压力。

三 喷射式抽空器的类型：

1. 单级单个喷射器（图2）设计压力的吸入压力低于大气压，排出压力等于或大于大气压。

通常取排出压力为 1.05 kg/cm^2 （绝）。

2. 单级多个并联喷射器（图3）。

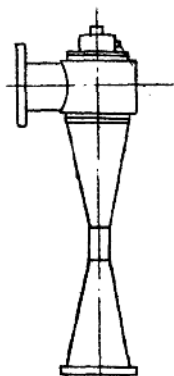


图 2

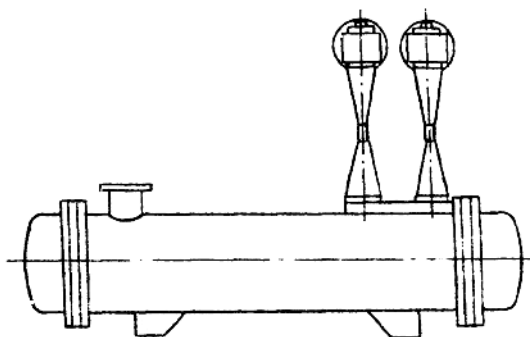


图 3

带后冷器（管壳式列管换热器）。也可选用直接冷凝器

3. 多级单个喷射器：

串联系列中第一个和中间任何一个喷射器的设计吸入压力和排出压力均低于大气压，最后一个喷射器的排出压力则等于或高于大气压

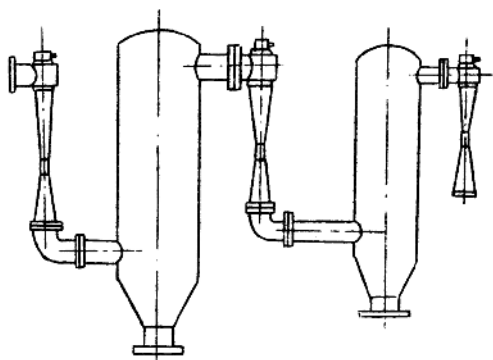


图 4

通常取排出压力为 $1.05 \sim 1.1 \text{ Kg/cm}^2$ (绝)

带中问冷凝器(直接冷凝器),也可选用管壳式列管热交换器。

ㄨ 多级多个喷射器:

按图 4 选两组以上并联而成。

四 设计要求:

∠ 设计负荷:对设计负荷的要求,详细列述如下:

(1) 需保持的绝压(即吸入压力)设计的吸入压力是系统的最低压力减去管道的压降和一个较小的安全系数而决定的。建议设计人员进行设计时,应首先了解负压设备的残压值及管线长度。

(2) 吸入气体的温度。

(3) 吸入气体的组成,并说明每一组成的重量,以及该组成的分子量。

如果是空气或水蒸汽以外的气体,特别是当喷射装置有冷凝器时,则尚应了解“可凝”蒸汽的物理化学性质,如分子量、比容、汽化潜热、蒸汽压力和接近冷却水温度的水溶解度等等。如果“可凝”蒸汽是不溶于水的,而使用的是表面式冷凝器,就需要知道该成分的物理

特性、比热、传热系数、粘度和比重等。如果“可凝”蒸汽在最低冷却水温度以上会凝固（结冰）时，那就要知道它的凝固点（冰点），并在设计中考虑这一点。

(4) 吸入气体中的空气组成，往往主要是漏入的空气。一般规定在无何搅拌器的真空系统中的最大漏气量当不超过图5的数值时应认为是密闭的。

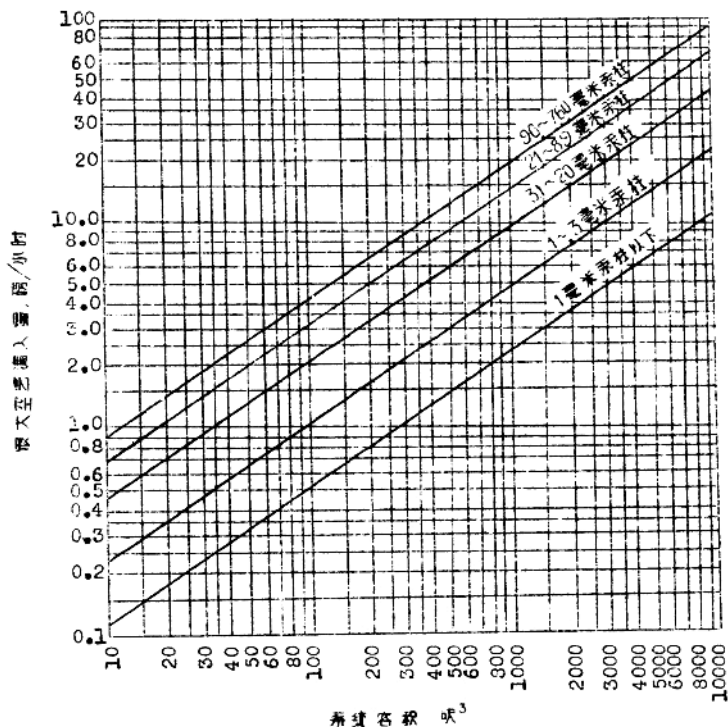


图5 一般密闭系统的最大空气漏入量喷射器容量的选择

对于没有搅拌器的真空系统，在具有一般的轴封情况下，通过轴漏入的空气量应保持在每小时2.3公斤（5磅）以下。在具有特殊高真空的密封和维持良好的情况下，通过轴漏入的空气量可以忽略不计。

建议喷射器的空气设计容量取二倍的最大允许漏气量加上过程中带来的空气量。

当某一级抽空器之前具有气压式直接混合冷凝器时，尚应考虑冷却水中溶解的空气在真空系统中要释放出，从冷却水中放出的空气量为水容量的2%左右。

2 工作蒸汽的性质

- (1) 蒸汽管中的最大压力和温度；
- (2) 喷射器入口蒸汽的最小压力和温度；
- (2) 建议喷射器入口的设计蒸汽压力不得高于最小蒸汽压力的90%。

3 冷却水的条件

- (1) 喷射装置冷却用水入口处水的最大和最小压力；
- (2) 冷却水的最高温度；
- (3) 能供给的最大和最小的水量。

4 当地的大气压值，了解当地的大气压值以决定最后一级的排出压力。

五 抽空器设计计算应考虑的问题

1. 抽空器的级数，根据真空度的要求，一般可参考下列经验数据初步选择抽空器的级数。

绝对压力（毫米汞柱）	级数
760-100	1
120-20	2
25-4	3
6-0.3	4
1-0.05	5

如果为了使抽空器设计的消耗指标更趋经济起见，可以比较各种

类型抽空器的耗气量，必要时，还可检查冷却水耗量和表面式冷凝器的设计。下面的图6是各种类型抽空器耗汽率的参考图。目前，我们在抽空器级数的选择上大致是这样的：绝对压力大于100毫米汞柱时采用一级；绝对压力大于30毫米汞柱时采用二级；绝对压力大于10毫米汞柱时采用三级。绝对压力小于10毫米汞柱者尚未进行过设计。

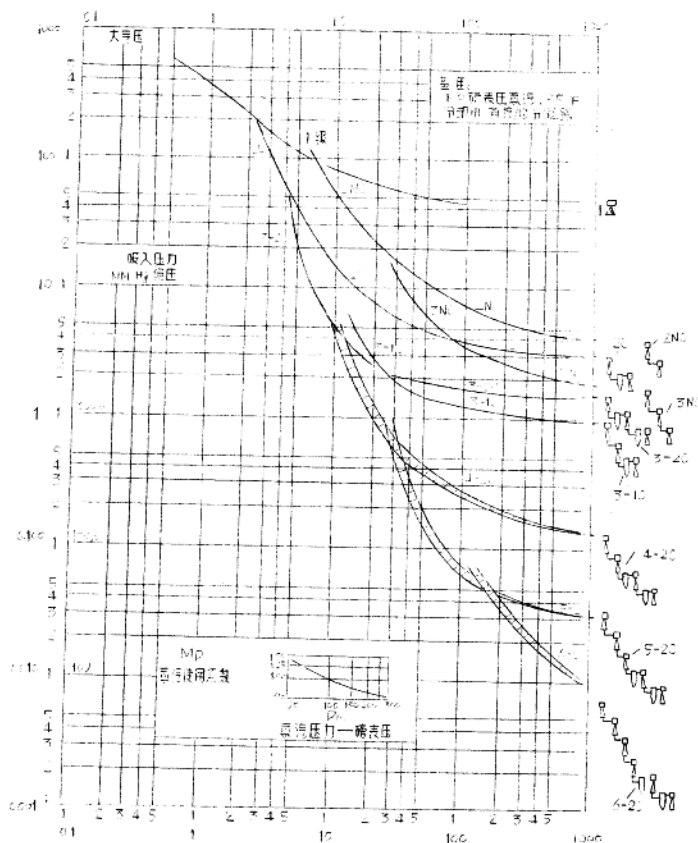
2 压缩比，每个单体抽空器的排出压力与吸入压力的比值称为压缩比。即
$$B = \frac{P_{\text{排出}}}{P_{\text{吸入}}}$$

在多级抽空器中，对每级抽空器压缩比的分配，关系到蒸汽消耗量的大小。对于被吸入介质全部是“不凝”气体者，应按等压缩比考虑，这是最经济的。当被吸入介质由“可凝”气体和“不凝”气体混合组成者，一般说来可以采用第一级抽空器的压缩比略小些，其他级略大些。具体的可以通过几种压缩比下蒸汽消耗量的比较，以选择之。

3 增压器 当多级抽空器的第一级抽空器之前没有冷凝器者，此第一级抽空器称为“增压器”(Booster)。其所以称为“增压器”的原因，也就在于它起着使本来无法用冷却水使其凝结的低压蒸汽经过喷射器(即增压器)后，即能将压力提高到在中间冷凝器可用冷却水来凝结的压力的作用。对于低真空的抽空器(例如绝对压力大于40毫米汞柱者)而冷却水的温度又不过分高者，不需要“增压器”。

4 相邻两级抽空器间的阻力降，对于相邻两级没有管线连接的非冷凝式多级抽空器不需要考虑阻力降。相邻两级抽空器的阻力降来自冷凝器和管线。管线长度大、弯头多者，阻力降就大。所以抽空器的设计应尽可能的紧凑。冷凝的型式不同，阻力降亦不同。表面式冷凝器管束长，折流板多者，阻力降就大。所以表面式冷凝器最好设计成短胖型。直接混合式冷凝器的阻力降并不小，特别当淋水板数多，冷却水量又是开得最大时，气体穿越水幕的阻力就很大。表面式冷凝器和直接混合式冷凝器的阻力降，一般均约为20毫米汞柱左右。

5 冷凝器型式的选择 直接混合式冷凝器具有结构简单、造价低的优点，而且冷却效果也比较好。但是由于它直接和被吸入介质混



R₀ 每抽空气负荷的蒸汽耗量 (磅)
(即 20% 修正系数)

注：C—带冷凝器 NC—不带冷凝器

图6 抽空器的汽耗率

合，冷却水被“污染”，必须进行“污水处理”对于大容量抽空器的“污水处理”量当然也大，于是就增加了建设投资和日常生产费用。

表面式冷凝器虽然结构复杂，但是冷却水不会受到“污染”。近期的炼油厂设计中一般都采用表面式冷凝器。

六 抽空器的计算方法

抽空器的计算方法很多，本文根据第一机械工业部西安重型机械研究所作试验研究的推荐，采用Е.Я. Соколов и Н.М. Зингер，《Струйные аппараты》的计算方法，兹将计算步骤列述如下。

1. 气体在各部位临界速度计算：

(1) 工作蒸汽通过喷嘴的临界速度头

$$a_{1x} = \sqrt{2g \frac{K_1}{K_1+1}} \sqrt{P_1 V_1} \dots\dots\dots ①$$

式中：g — 重力加速度 = 9.81 米/秒²；

K₁ — 绝热指数；

P₁ — 工作蒸汽压力（绝）〔公斤/米²〕；

V₁ — 工作蒸汽比容〔米³/公斤〕。

(2) 气体在吸入口处的临界速度头

$$a_{2x} = \sqrt{2g \frac{K_2}{K_2+1}} \sqrt{P_2 V_2} \dots\dots\dots ②$$

式中：K₂ — 绝热指数；

P₂ — 吸入气体压力（绝）〔公斤/米²〕；

V₂ — 吸入气体比容〔米³/公斤〕。

(3) 抽空器出口处混合气体的临界速度头

$$a_{3x} = \sqrt{2g \frac{K_3}{K_3+1}} \sqrt{P_3 V_3} \dots\dots\dots ③$$

式中：K₃ — 绝热指数；

P₃ — 混合气体排出压力（绝）〔公斤/米²〕；

v_3 — 混合气体比容 [米³ / 公斤]。

(4) 当工作气流或吸入气体为双原子气体时, $K = 1.4$ 于是:

$$2\sqrt{\frac{K}{K+1}} = 3.38$$

当工作气流或吸入气体为过热蒸汽时, $K = 1.3$, 于是:

$$2\sqrt{\frac{K}{K+1}} = 3.33$$

当工作气流或吸入气体为饱和蒸汽时, $K = 1.13$, 于是:

$$2\sqrt{\frac{K}{K+1}} = 3.22$$

(5) 计算中, K_2 按吸入气体中主要气体的性质和状态来决定其数值。

又: $K_3 = K_1$

2 喷射系数的计算:

$$\mu = K' \frac{a_{1X}}{a_{3X}} \sqrt{\frac{1 - \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{K_1-1}{K_1}}}{-\left(\frac{P_2}{P_3}\right)^{\frac{K_3-1}{K_3}}} - 1} \dots\dots\dots(4)$$

式中: K' — 系数; $K' = 0.834$

在公式④中, 由于 a_{3X} 是未知数 (因为在公式③中, v_3 为未知数), 而喷射系数则为所求值, 于是采用试算法, 设取:

$$a_{3X} = \frac{1}{2} (a_{1X} + a_{2X})$$

于是可以算出一个相应的 μ 值。随即用下述步骤验证假设的 a_{3X} 的可靠性。

3. 抽空器排出口混合气体的焓值计算：

$$i_3 = \frac{i_1 + \mu i_2}{1 + \mu} \dots\dots\dots \textcircled{5}$$

式中： i_1 — 工作蒸汽的焓值（千卡/公斤）

i_2 — 吸入气体的焓值（千卡/公斤）

4. 求混合气体的比容：

根据已知的排出压力 P_3 和排出混合气体的焓值 i_3 ，查焓—焓图，即可得出相应的排出气体的比容 V_3 。

5. 用公式③验算 a_{3X} 值是否符合于前面的假设值（ a_{1X} 、 a_{2X} 的平均值）。若不符合，则调整假设的 a_{3X} 值，再行试算 μ 值和 i_3 值直至核算到与假设的 a_{3X} 值相符为止。亦即得出了一个可靠的 μ 值。

对真空度低的最后一级抽空器，一般的说来是最为重要的一级，根据经验，其喷射系数 μ 可在（0.2—0.3）之间选取。

6. 工作蒸汽耗量计算：

$$G_1 = \frac{G_2}{\mu}$$

式中： G_1 — 工作蒸汽量（公斤/时）；

G_2 — 吸入气体量（公斤/时）。

计算结果为安全起见应增加15%。

对于吸入气体的各组成均应换算成21℃（70°F）的当量空气量。

7. 当量空气量的换算：

(1) 空气：当使用的空气温度高于21℃时，可用图7所示的温度对流量的修正曲线求得相当于21℃空气的当量值。例如，100公斤/时的300℃的空气，在21℃时的当量值为 $100/83.3\% =$

120 公斤/时。

(2) 水蒸汽：当吸入的气体为水蒸汽时，首先用图7查出相当于21℃水蒸汽的当量值，然后再用图8分子量对流量的修正曲线查出相当于21℃空气的当量值。例如，1000公斤/时200℃的水蒸汽，在21℃时的当量值为 $1000/89.2\%$ （查图7）=1121公斤/时，然后将21℃的水蒸汽换算成21℃空气的当量值， $1121/81\%$ （查图8）=1385公斤/时。

(3) 空气——水蒸汽混合物：当使用的气体是空气——水蒸汽混合物时，每一气体相当于21℃空气的重量可分别算出，然后相加。例如，由100公斤/时空气和250公斤/时水蒸汽组成的温度为160℃的350公斤/时混合物，其中相当于21℃时的空气重量为 $100/94\%$ （查图7）=106.5公斤/时，而水蒸汽相当于21℃的水蒸汽重量则为 $250/91.6\%$ （查图7）=273公斤/时，进而等于21℃的空气重量为 $273/81\%$ （查图8）=337公斤/时。于是得混合物在21℃时的空气当量值 = $106.5 + 337 = 443.5$ 公斤/时。

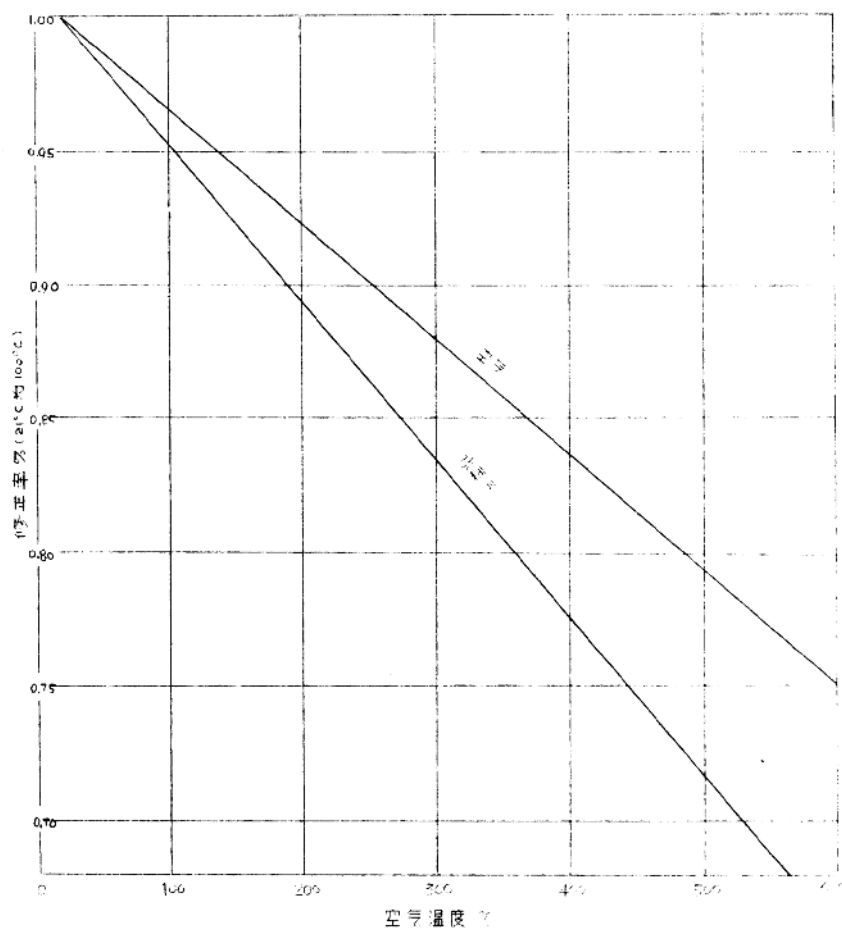


图7 温度对流量的修正曲线

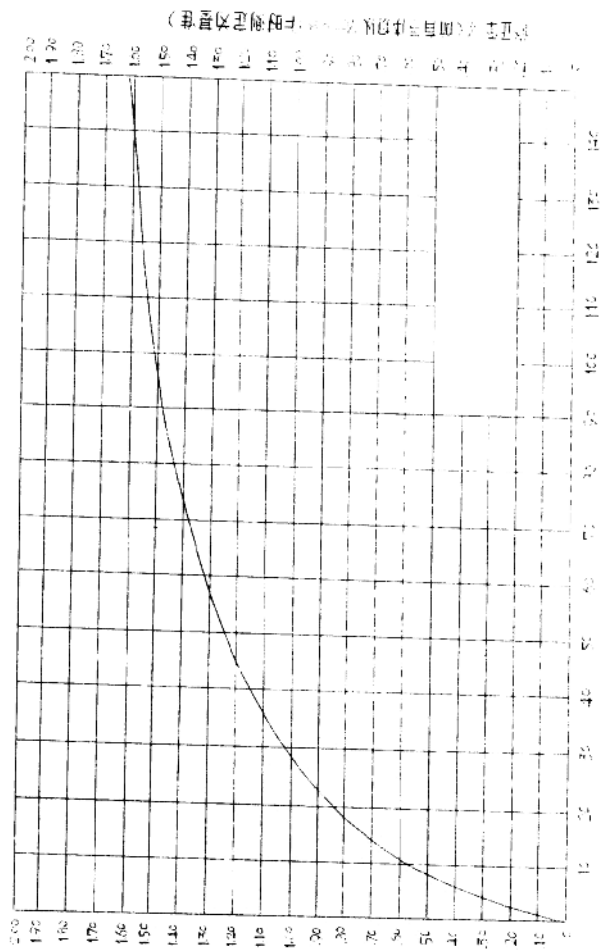


图 3 正位角自身体积的正曲线

空气——水蒸汽混合物的流量修正曲线(图9)可用来简化上述计算。例如,混合物中的空气量为 $100/350=28.57\%$,温度为 160°C ,则可由图9查得相当于 21°C 的空气重量为 $350/79\%=443.5$ 公斤/时。

(4) 不含水蒸汽的混合气体:如吸入的气体是不含水蒸汽的混合物,则在确定相当于 21°C 空气的重量时,首先应计算混合气体的平均分子量,随后用图8查得相当于空气的重量,最后用图7的空气曲线查出相当于 21°C 的空气重量。

混合气体的平均分子量计算如下:

a. 设气体流量以公斤/时表示,则用每一气体的重量流量除以该气体的分子量,即得该气体的公斤分子/时。平均分子量等于混合气体的总重量流量除以公斤分子/时的总和。例如: $\text{CO}_2=6$ 公斤/时, $\text{N}_2 24$ 公斤/时, $\text{Ar} 62$ 公斤/时; $\text{He} 108$ 公斤/时,混合气体的总重量为 200 公斤/时。

$$\text{CO}_2: \quad 6 \div 44 = 0.136$$

$$\text{N}_2: \quad 24 \div 28 = 0.857$$

$$\text{Ar}: \quad 62 \div 40 = 1.55$$

$$\text{He}: \quad 108 \div 4 = 27.0$$

$$200 \quad 29.543 \text{ 公斤分子/时}$$

气体的平均分子量为 $200/29.543=6.77$ 。

b. 如果用每一气体的重量百分比除以该气体的分子量得一商值,则混合物中各气体商值总和的倒数,就是气体的平均分子量。例如: 200 公斤/时混合气体中的各气体重量内百分比为 $\text{CO}_2=3\%$; $\text{N}_2=12\%$; $\text{Ar}=31\%$; $\text{He}=54\%$,则:

$$\text{CO}_2: \quad 0.03 \div 44 = 0.000682$$

$$\text{N}_2: \quad 0.12 \div 28 = 0.004286$$

$$\text{Ar}: \quad 0.31 \div 40 = 0.007750$$

$$\text{He}: \quad 0.54 \div 4 = 0.135000$$

$$0.147718$$

图 2 持重一非固结和比型母母的程序地量图分序

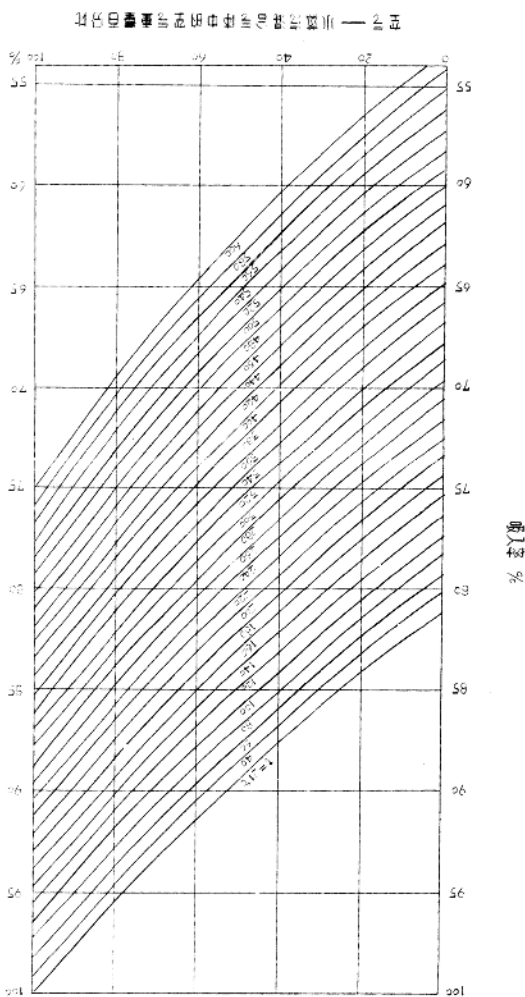


图 2 持重一非固结和比型母母的程序地量图分序