



气体除尘技术曲线和列线图册

冶 金 工 业 部
长沙有色冶金设计院译校

上海化学工业设计院石油化工设备设计建设组

一九七六年五月

TB028.2

3006

气体除尘技术曲线和列线图册

冶 金 工 业 部

长沙有色冶金设计院译校

上海化学工业设计院石油化工设备设计建设组

一九七六年五月

石油化工设备设计参考资料
气体除尘技术曲线和列线图册

76-35-Ⅱ-12

(内部资料 注意保存)

上海化学工业设计院石油化工设备设计建设组

(上海南京西路1856号)

国营海峰印刷厂印刷

一九七六年五月

工本费 1.80 元

毛主席语录

……一切外国的东西，如同我们对于食物一样，必须经过自己的口腔咀嚼和胃肠运动，送进唾液胃液肠液，把它分解为精华和糟粕两部分，然后排泄其糟粕，吸收其精华，才能对我们的身体有益，决不能生吞活剥地毫无批判地吸收。

要采用先进技术，必须发挥我国人民的聪明才智，大搞科学实验。外国一切好的经验，好的技术，都要吸收过来，为我所用。学习外国必须同独创精神相结合。必须实行科学研究，教育同生产相结合。

说 明

“气体除尘技术曲线和列线图册”(И. Л. Пейсахов, Ф. Б. Лютин Атлас Диаграмм и Номограмм По Газопылевой Технике Москва 《Металлургия》 1974) 一书, 是在 1964 年初版的基础上进行了一定的修改和补充后编制而成的。全书包括了气体的主要性质、燃烧与烟气、气体的湿度、气体净化除尘、气量与含尘气体的测量等方面的曲线和列线图 88 张, 应用例题 143 例。同时, 对每张曲线或列线图的使用方法附有简要说明。本书在工程计算上有一定的参考价值 (误差允许在 2% 以内)。

在译校过程中, 曾参照了 1964 年版本和有关资料, 对原文中的一些错误, 作了校正。本书在翻译中若有错误之处, 望广大读者批评指正。

本书由冶金工业部长沙有色冶金设计院承译, 参加译校人员: 翻译: 孙月强、校对: 李若彬、技术校对: 杨晋亚。出版工作得到上海高桥化工厂协助, 在此表示感谢。

上海冶金设计院石油化工设备设计组

1976 年 5 月

目 录

I 气体的主要性质

气体的运动粘度(图 1)	(1)
气体的动力粘度(图 2)	(1)
气体的密度(图 3)	(1)
由若干组分组成的气体在标准状态下的密度(图 4)	(2)
气体成分的浓度及其在气体中的百分数(图 5)	(2)
换算成标准状态下的气体体积(图 6)	(3)
气体或蒸汽与空气混合时的爆炸范围(图 7)	(3)
气体的比热(图 8)	(3)
气体的导热系数(图 9)	(4)
气体的热焓(图 10~11)	(4)

II 燃烧与烟气

燃料完全燃烧时的烟气成分和空气过剩系数(图 12)	(6)
燃料燃烧时空气消耗量和烟气体积(图 13~16)	(6)
燃料不完全燃烧时的烟气成分(图 17)	(7)
硫化矿物燃烧时所得的气体体积和成分(图 18~19)	(8)

III 气体的湿度

换算成标准状态下的湿气体的密度(图 20)	(9)
湿气体的密度(图 21)	(10)
用不同单位表示的空气相对湿度(图 22)	(10)
在标准状态下 1 米 ³ 干气体在被水蒸汽部份或完全饱和时所得的湿气体体积(图 23)	(11)
空气的湿含量与热焓 ($i-x$) 图 (图 24~26)	(12)
在液体、气体直接接触的条件下,液体的最高温度和气体的最低温度、湿球温度计的 温度(图 27~28)	(14)
含有水蒸汽和 SO ₃ 气体的露点(图 29)	(16)
含有水蒸汽和 HCl 或 HF 气体的露点(图 30~31)	(16)

IV 气体净化

对数平均值(图 32)	(17)
易溶气体的质量扩散系数(图 33)	(17)
蒸汽压力(图 34)	(18)

气体混合物中氯的冷凝(图 35)	(19)
某些酸的水溶液分压(图 36~39)	(19)
NH ₃ 在其水溶液上的蒸汽分压(图 40~42)	(20)

V 收 尘

尘粒的沉降速度(图 43~45)	(22)
沉降室(图 46~47)	(23)
凝聚尘和沉积尘的密度(图 48)	(25)
旋涡收尘器和旋涡收尘器的流体阻力(图 49)	(25)
在旋涡收尘器内气体净化的效率(图 50~52)	(26)
电除尘器, 电除尘器中气体净化率变化与气体流速、电场长度和电场电压的关系 (图 53)	(28)
袋滤器(图 54~55)	(29)
ВТИ离心洗涤机(图 56~57)	(31)
ВТИ离心洗涤机的流体阻力(图 57)	(32)
泡沫塔和泡沫层的高度(图 58~59)	(32)
在泡沫塔中除尘(图 60)	(33)
紊流气体洗涤器(文丘里管)(图 61)	(34)
文丘里管中各种级别尘粒的捕集率, 斯托克斯准数(图 62~63)	(35)
在文丘里管内得到的液滴平均直径(图 64)	(36)
液体雾化后液滴的总表面积(图 65)	(36)
在文丘里管后气体含尘量的近似值(图 66)	(37)
烟囱高度(图 67~70)	(37)
确定系数 f 的辅助列线图(图 70)	(41)

VI 气 量 测 定

孔板流量计(图 71~73)	(42)
孔板阻力(压力损失)(图 74)	(44)
用测压管测定气体流速(图 75)	(44)
测绘速度场时测点的选择(图 76)	(45)
用小型的(航空用的)文丘里管测量气体流速(图 77)	(45)
利用集气管测定气量(图 78)	(46)
气流动压(图 79)	(47)
雷诺准数(图 80)	(47)

VII 含尘气体测量

国立有色金属科学研究所式取样管头部直径的选择(图 81)	(49)
在遵守动力学条件相等的情况下用外滤法作含尘气体取样时, 带有厘米标尺流量计 上的指示值(图 82)	(49)

通过带有厘米标尺流量计的气体在标准状态下的体积(图 83)	(50)
在动力学条件相等的情况下, 用一定的气体密度标定标尺的流量计来确定含尘气体 的取样体积(图 84)	(51)
流量计标尺上的指示值换算为标准状态下的气体和在其它条件下流量计的应用 (图 85)	(52)
用内滤法测定含尘气体时, 头部进口孔直径的选择(图 86)	(53)
用干湿球湿度计确定大气相对湿度(图 87)	(54)
湿度计 (Психрометр на расстоянии) (图 88)	(54)
参考文献	(55)

I

气体的主要性质

气体的运动粘度

图 1 是根据参考资料^[1~4]表中的数据编制的, 给出了在不同的温度下气体的运动粘度。

例 1 燃烧烟煤所得的烟气, 在 800℃ 时的运动粘度等于多少?

由图 1 得到, 在 800℃ 时 $\nu = 127 \times 10^{-6}$ 米²/秒。

气体混合物的运动粘度通常按下式计算:

$$\frac{1}{\nu_{CM}} = \frac{m_1}{\nu_1} + \frac{m_2}{\nu_2} + \frac{m_3}{\nu_3} + \dots \quad (1)$$

式中 $\nu_1, \nu_2, \nu_3, \nu_{CM}$ ——组分和混合物的运动粘度;

m_1, m_2, m_3 ——各组分在混合物中的体积分数。

气体的动力粘度

各种气体的动力粘度值^[2], 表示在列线图 2 上。

为了确定在给定的温度下, 所给气体的动力粘度, 可以经过与所给的气体和给定的温度相应的点引水平线, 这条线与粘度标尺的交点, 即为所求的值。

气体的密度

在工作条件温度 t 和压力 $(B \pm p)$ 毫米汞柱时, 气体密度 ρ_t 用下式表示:

$$\rho_t = \frac{\rho_0 \cdot 273(B \pm p)}{(273 + t) \cdot 760} \text{ 公斤/米}^3 \quad (2)$$

式中 ρ_0 ——在标准状态下 ($t = 0^\circ\text{C}$; $B = 760$ 毫米汞柱) 的气体密度, 公斤/米³;

B ——大气压, 毫米汞柱;

p ——在设备(烟道)中的正压或负压, 毫米汞柱。

根据方程式(2), 绘出列线图 3。若 ρ_0 、 t 和 $(B \pm p)$ 为已知, 则按图容易求得 ρ_t 值, 或者, 已知任何三个值, 可求出另一个值。

例 2 若 $\rho_0 = 1.3$ 公斤/米³, 在 300℃ 和 $(B + p) = 680$ 毫米汞柱的条件下, 确定该气体的密度。

在列线图上, 将箭头从下座标轴线上 $\rho_0 = 1.3$ 这一点引向 $t = 300^\circ\text{C}$ 的斜线上, 从交点水

平移动到 $(B + p) = 680$ 毫米汞柱的线上, 然后再从交点引向上部的水平标尺上, 得到所求的值 $\rho_t = 0.555$ 公斤/米³。

例 3 在标准状态下气体的密度 $\rho_0 = 1.4$ 公斤/米³, 当压力 $(B + p) = 800$ 毫米汞柱, 确定在什么温度下, 该气体密度等于 0.8 公斤/米³。

将箭头从 $\rho_t = 0.8$ 公斤/米³ 这一点(上水平标尺)与 $(B + p) = 800$ 毫米汞柱的线相交, 从交点水平移动与从 $\rho_0 = 1.4$ 公斤/米³ 之点向上引线相交, 交点的位置相当于在 $t = 230^\circ\text{C}$ 的斜线上(内插法), 即所求温度为 230°C 。

例 4 在 500°C 和压力 $(B + p) = 760$ 毫米汞柱时, 气体密度 $\rho_t = 0.475$ 公斤/米³, 确定在 250°C 和 $(B + p) = 700$ 毫米汞柱条件下气体的密度。

在上水平标尺上 0.475 这一点引垂线与 $(B + p) = 760$ 毫米汞柱的斜线相交, 然后从交点水平移动与 $t = 500^\circ\text{C}$ 的线相交, 从所得的交点向上移至 $t = 250^\circ\text{C}$ 的线上, 再水平移动到 $(B + p) = 700$ 毫米汞柱的斜线上, 从最后的交点再向上移到上标尺, 求得 $\rho_t = 0.625$ 公斤/米³。

由若干组分组成的气体在标准状态下的密度

列线图 4 是为了确定由几种组分组成的气体的密度, 它的使用是在 y 轴上先找出每种组分的含量在 1 米³ 混合气体中的质量, 然后将它们迭加。

标尺有两种比例, 这样可提高计算的精确度。

例 5 在标准状态下由 70% 的氯气和 30% 的氮组成的气体的密度怎样?

由列线图求得: $\rho_0 = 2.20 + 0.36 = 2.56$ 公斤/米³。

例 6 在标准状态下含有 N_2 82% ; CO_2 10% ; O_2 6% ; H_2O 2% 的烟气密度如何?

由列线图得: $\rho_0 = 1.02 + 0.198 + 0.086 + 0.016 \approx 1.32$ 公斤/米³。

如果列线图中没有所需的组分, 也可以画上, 只要将座标的原点与右边垂直标尺上标出的该组分的分子量值联一直线就成。

气体成分的浓度及其在气体中的百分数

气体组分的浓度通常用体积百分数、克/米³(毫克/升)、或者用分压(毫米汞柱)表示。由一种值换算为另一种值按公式进行

$$C = \frac{1000n \times M}{100 \times 22.4} = 0.446nM \quad \text{克/米}^3 \text{ (毫克/升)} \quad (3)$$

式中 M ——气体成分的分子量, 公斤;

n ——浓度, $\%$ (体积)。

因为 1% (体积) 相当于 7.6 毫米汞柱的压力(在大气压为 760 毫米汞柱时), 即:

$$C = 0.05868pM \quad \text{克/米}^3 \text{ (毫克/升)} \quad (4)$$

式中 p ——气体成分的分压, 毫米汞柱。

图 5 给出了表示浓度的克/米³(毫克/升)和体积百分数、分压 p 和分子量 M 之间的相互关系。应该指出, 若浓度, $\%$ (体积)或者分压变化 10 倍, 则 C 值也应相应变化。用实线给出了

浓度值(体积百分数),用虚线给出了分压值(毫米汞柱)。

例 7 如果浓度为 0.02% (体积), 确定气体中用克/米³ 表示的氯气浓度等于多少?

氯的 $M = 71$, 由图可得浓度为 0.2% (体积) 时, $C = 6.3$ 克/米³, 所以求得在浓度为 0.02% (体积) 时等于 0.63 克/米³。

例 8 二氧化碳的分压为 70 毫米汞柱, 确定此气体的浓度为多少克/米³?

二氧化碳 $M = 44$, 由图查得在 $p = 7$ 毫米汞柱时, CO_2 在气体中浓度相当于 18 克/米³, 所以当 $p = 70$ 毫米汞柱时, $C = 180$ 克/米³。

换算成标准状态下的气体体积

在压力 B 和温度 t 的条件下, 换算成标准状态下的气体体积, 按“克拉帕隆-门捷列夫”定律导出的公式, 即:

$$V = V_p \frac{273B}{(273+t)760} \approx 0.36V_p \frac{B}{(273+t)} \quad \text{米}^3 \quad (5)$$

或者

$$\frac{V_p}{V_0} = 2.79 \frac{273+t}{B}$$

按此公式绘制成列线图 6。

例 9 压力为 900 毫米汞柱和温度为 200℃ 的 22000 米³ 气体, 确定它在标准状态下, 即 $B = 760$ 毫米汞柱、 $t = 0^\circ\text{C}$ 时的体积。

在列线图上相应于 $B = 900$ 和 $t = 200$ 两点之间联一直线并延长到 V_p/V_0 线, 求得比值为 1.46, 所以 $V_0 = \frac{22000}{1.46} = 15100$ 米³。

例 10 标准状态下气体体积为 3000 米³, 求温度 700℃、压力 700 毫米汞柱时该气体体积?

在列线图上查出在上述条件下 $V_p/V_0 = 3.9$, 求得 $V_p = 11700$ 米³。

气体或蒸汽与空气混合时的爆炸范围

这些资料^[9]以组织图(图 7)的形式提供。

气体的比热

在列线图上每一个点(用 + 字叉表示)所表示的气体和温度范围, 见图 8 表中说明。可以从右边垂直标尺上知道气体的比热。

例 11 求在 50℃ 时氯气的比热。

在温度标尺上 50℃ 这一点与点 20 联一条直线, 求得比热为 0.117 千卡/公斤·℃。

例 12 确定温度 600℃ 时氯气的比热。

经过 $t = 600^\circ\text{C}$ 点与点 21 联一直线, 得比热等于 0.123 千卡/公斤·℃。

气体的导热系数

在图 9 上列出了各种温度下气体的导热系数数据。

例 13 确定温度 300℃ 时, 空气的导热系数。

经温度 300℃ 和空气两点联直线, 在导热系数标尺上得导热系数

$$\lambda = 0.039 \text{ 千卡/米} \cdot \text{时} \cdot \text{℃}$$

气体的热焓

在进行与气体有关的各种热工计算时, 经常需要知道气体的热焓(热含量), 一般这些数据在参考资料^[5,6]的表中可提供, 计算气体的热焓, 可以按下式:

$$I = mct \text{ 千卡} \quad (6)$$

式中 m ——气体质量;

c ——在 0~ t ℃ 的温度范围内气体的平均热容量。

当问题与气体有关时, 所有计算不用气体质量, 而采用换算成标准状态下的气体体积是较为方便的。

$$I = V_0 c' t \text{ 千卡} \quad (7)$$

式中 V_0 ——换算成 0℃ 和 760 毫米汞柱下气体体积, 米³;

c' ——1 米³ 气体的平均热容量;

t ——气体温度。

代入

$$m = V_0 \rho_0 \approx \frac{V_0 M}{22.4} \quad (8)$$

式中 ρ_0 ——在标准状态下气体的密度, 公斤/米³;

M ——气体的分子量, 公斤。

在按公式(6)或(7)计算热焓时, 需要从参考资料的表内找出热容量的平均值。但较为简单的方法是按图 10 和 11 查得 1 米³ 气体的热焓量。

在这些图上, 纵座标轴给出了各种气体的 $c' \cdot t$ 值^[5]。

使用这些图表的方法举例如下:

例 14 确定 1200℃、8000 米³ 气体的热焓, 在标准状态下假设其成分如下: CO₂—10%、H₂O—5%、其余成分近似空气(氮、氧)。

由图 10 查得气体的热焓量, 在 1200℃: CO₂—653、H₂O—501 和空气—411 千卡/米³, 在标准状态下为:

$$I = 8000(0.1 \times 653 + 0.05 \times 501 + 0.85 \times 411) = 352000 \text{ 千卡}$$

例 15 在热交换器(换热器)中, 利用热空气的热量来加热 800 米³/时的天然气, 热空气从 500℃ 冷却到 300℃, 其体积为 1050 米³/时, 确定天然气可以被加热到多少温度。如果它最初温度为 20℃, 向周围介质的散热损失为热空气最初热焓的 5%。

由图 10 得热空气的热焓, 在 500℃ 时等于 165 千卡/米³, 而在 300℃ 时等于 100 千卡/米³。

考虑到 5% 的热损失, 传给天然气的热量等于 $1050 (0.95 \times 165 - 100) = 60000$ 千卡/时。

由图 10 查得在 20°C 天然气的热焓近于 7 千卡/米³, 而被加热后等于 $7 + \frac{60000}{800} \approx 7 + 75 = 82$ 千卡/米³。由图 10 查得那样热焓下的温度相当于 220°C 。

用符号表示在标准状态下单位空气和烟气的热焓, 千卡/米³:

i_B ——空气;

$i_{\alpha=1}$ ——烟气, $\alpha = 1$;

i_α ——烟气, $\alpha \neq 1$ 。

则

$$i_\alpha = \frac{1}{\alpha} i_{\alpha=1} + \left(1 - \frac{1}{\alpha}\right) i_B = i_B + \frac{i_{\alpha=1} - i_B}{\alpha} \quad (9)$$

例 16 煤燃烧时, $\alpha = 2.5$ 所得的烟气温度为 600°C , 求其热焓。

由图 11 查得在 600°C 、 $i_{\alpha=1} = 207$ 、 $i_B = 195$, 那末:

$$i_\alpha \approx 195 + \frac{207 - 195}{2.5} = 195 + 5 = 200 \quad \text{千卡/米}^3$$

在标准状态下。

II

燃 烧 和 烟 气

燃料完全燃烧时的烟气成分和空气过剩系数

在列线图 12 上列出了各种燃料所产出的烟气中 RO_2 (CO_2 、 SO_2 之和) 的浓度(用奥尔氏化学气体分析仪)、空气过剩系数 α 和 O_2 的浓度之间的关系^[7,8]。

例 17 在天然气燃烧时, 所得的烟气化学分析成分 RO_2 的浓度等于 9.5%, 确定在完全燃烧条件下, 空气过剩系数和烟气中含 O_2 量。

由列线图的右边部分得, 当 $RO_2 = 9.5\%$ 时, $\alpha = 1.2$ 。由列线图的左边部分得, 当 $\alpha = 1.2$ 时, O_2 浓度约等于 2.9% (体积)。

例 18 在完全燃烧潮湿的褐煤时, 如果 $\alpha = 1.4$, 求烟气的成分。

由列线图 12, 对于褐煤在 $\alpha = 1.4$ 时, $RO_2 = 13.2\%$ (体积) (列线图右边部分) 和 O_2 浓度等于 6% (体积)。

燃料燃烧时空气消耗量和烟气体积^[8,9]

通常气体中 RO_2 浓度 (CO_2 、 SO_2 之和) 是用奥尔氏气体分析仪测定 (气体的湿度, 在室温下达到饱和)。

在图 13 给出了燃料完全燃烧时, 每释放出 1000 千卡热量时的空气消耗量。图 14 给出了 1 公斤固体、液体或 1 米³ 气体燃料完全燃烧时空气消耗量。

图 15 给出了燃烧 1 公斤燃料或 1 米³ 标准状态下气体燃料时所得的烟气体积 (换算成 0℃ 和 760 毫米汞柱)。

图 16 给出了在 0℃ 和 760 毫米汞柱时的烟气密度。

在一些冶金过程中, 若空气中的氧基本消耗在与固相 (炉料) 的作用上, 则这些图就不适用, 对这种情况有专门的图表可查。

在冶金过程中除空气中的氧外, 参与燃料燃烧反应的还有炉料中的所谓固相氧, 例如金属氧化物中的氧, 图中数据仅仅是粗略的, 因为误差会达百分之几。

例 19 燃烧发热值为 4000 千卡/米³ (在标准状态下) 1 米³ 焦炉煤气, 在 $\alpha = 1.4$ 时, 确定空气消耗量。

按图 13 得空气消耗量为 $1.39 \times 4 = 5.56$ 米³。

例 20 回转窑内燃烧重油获得烟气, 从燃烧室出口含 $RO_2 = 10.2\%$ (体积), 而在尾部风机处为 6.1% (体积)。当每小时燃烧 80 公斤重油时, 需要确定: 1) 燃烧室的空气消耗量;

2) 空气吸入量; 3) 通过窑(从燃烧室进入窑内)和风机的烟气体积; 4) 通过风机的气体密度(换算成标准状态下)。

由图 12 得, 燃烧室出口 $\alpha = 1.5$, 而风机处 $\alpha = 2.5$ 。由图 14 得, 燃烧 1 公斤重油空气消耗量在燃烧室 $\alpha = 1.5$ 时为 16.5 米^3 , 在 $\alpha = 2.5$ 时为 27.5 米^3 , 即吸入的空气量为 $(27.5 - 16.5) \times 80 = 880 \text{ 米}^3/\text{时}$ 。

由图 15 得, 从燃烧室进入窑内的烟气体积为每公斤重油 17 米^3 , 即每小时 $17 \times 80 \approx 1360 \text{ 米}^3$, 而风机处为 $28 \text{ 米}^3/\text{公斤重油}$, 即每小时 $28 \times 80 \approx 2240 \text{ 米}^3/\text{时}$ 。

由图 16 得, 通过风机的烟气密度(换算成 0°C 和 760 毫米汞柱), 在 $\alpha = 2.5$ 时为 1.297 公斤/米^3 。

燃料不完全燃烧时的烟气成分

通常若要知道所含 RO_2 、 O_2 和 CO 之间的比例, 这可用各种气体分析仪分析这些组成。但有时只确定了 RO_2 和其它两个组分中一个, 因此希望有简单的方法确定第三种组分的含量, 有时三个组分都分析后, 希望有一个方法验证它们。

这些问题可以借助于列线图 17 解决, 其使用的条件是: 假设, 燃烧产物中不存在 H_2 和 CH_4 , 以及炉料中不存在碳酸盐和在燃烧时所谓的固相氧可以忽略不计。

所提出的列线图是以下式为基础绘制的^[8]。

$$\text{RO}_2(1 + \beta) + \text{O}_2 + \text{CO}(0.6 + \beta) = 21 \quad (10)$$

式中 RO_2 —— CO_2 和 SO_2 浓度总和, %;

O_2 —— O_2 浓度, %;

CO —— CO 浓度, %;

β ——燃料特性^[8]。

$$\beta = 2.37 \frac{\text{H}^p - 0.126(\text{O}^p - 0.302\text{N}^p)}{\text{C}^p - \text{C}_{\text{M.H}} + 0.368\text{S}_x^p} + 0.005 \quad (11)$$

式中 $\text{C}_{\text{M.H}}$ ——碳机械不完全燃烧的百分数;

H^p 、 C^p 、 O^p 、 N^p ——在工作燃料中氢、碳、氧、氮的浓度, %;

S_x^p ——在工作燃料中可挥发硫的浓度, %。

列线图使用的程序如下:

在 RO_2 标尺上找到给定的点, 由此向上与给定的燃料相应的 β 线相交, 从交点引水平线到辅助垂线 I 上。

在 CO 标尺上找到给定的点, 由此向上与给定的燃料相应的 β 线相交, 从交点引水平线到辅助垂线 II 上。

用直线联接两条辅助垂线上所求得的点, 此线与 O_2 的垂直标尺相交, 所得的交点即为 O_2 的浓度值。

例 21 求在燃烧长焰肥煤时($\beta = 0.125$), 所得烟气中 O_2 的浓度, 如果已知烟气中浓度 $\text{RO}_2 = 12\%$ 和 $\text{CO} = 2.5\%$ 。

按上述作法, 可求得 $\text{O}_2 \approx 5.7\%$ 。

例 22 求在燃烧重油时($\beta = 0.3$)所得烟气中 CO 的浓度, 假设在烟气中浓度 $\text{RO}_2 = 10\%$

和 $O_2 = 4\%$ 。

把箭头从 $RO_2 = 10\%$ 的点移动到 $\beta = 0.3$ 的斜线上, 再从交点水平移动到辅助垂线 I 上, 然后再从此点经过 $O_2 = 4\%$ 的点与辅助垂线 II 相交, 再水平移动与 $\beta = 0.3$ (右图) 的线相交, 从相交点向下至 CO 的标尺上, 这样求得 CO 浓度为 4.5% 。

例 23 确定燃烧安格连 (Ангренский) 褐煤时所得的烟气中 O_2 的浓度, 假设含 $RO_2 - 15\%$ 、 $CO - 1.5\%$ 。

按表可知, 对安格连 (Ангренский) 褐煤 $\beta = 0.05$, 然后在列线图按上所给条件查得 O_2 为 4.3% 。

为方便起见, 下面列出一些燃料的 β 值^[8]:

顿涅茨 (Донецкий) 煤:		鲍托斯洛夫	
长焰煤 Д	0.121	(Ботословский) 褐煤	0.052
气煤 Г	0.127	车里雅宾斯克	
锅炉用肥煤 ПЖ	0.123	(Челябинский) 褐煤	0.092
焦煤 К	0.117	叶戈尔申斯克	
贫煤 Т	0.104	(Егоршинский) 无烟煤	0.08
无烟煤 АС	0.041	契列姆霍沃	
无烟大块煤 АП、АК	0.051	(Черемховский) 长焰煤	0.124
无烟煤 АШ	0.043	安格连	
库兹涅茨克 (Кузнецкий) 煤:		(Ангренский) 褐煤	0.051
锅炉粘结煤 ПС	0.107	莫斯科	
长焰煤 Д	0.120	(Подмосковный) 煤	0.084
气煤 Г	0.14	焦粉 15~25	0.009
锅炉肥煤 ПЖ	0.115	焦粉 0~15	0.043
卡拉干达 (Карагандинский) 煤:		泥炭块	0.077
烟煤 ПЖ/ПС	0.125	木柴	0.035
原褐煤	0.083	卡什皮尔斯克	
基泽尔 (Кизилковский) 锅炉煤:		(Кашпирский) 页岩	0.21
肥煤	0.143	重油	0.28~0.35
		天然气	0.01

硫化矿物燃烧时所得的气体体积和成分

图 18 给出了 1 公斤硫化物燃烧时所得的气体体积和气体中 $SO_2 + SO_3$ 的浓度及烧去的硫量 (%) 之间的相互关系, 图 19 给出了气体中 $SO_2 + SO_3$ 和 O_2 的浓度之间的关系。

例 24 硫铁精矿燃烧时, 如果气体中 $SO_2 + SO_3$ 为 5.5% , 烧去的硫量为原硫量的 43% , 确定气体体积和 O_2 的浓度。

由图 18 可得, 对所给条件下, 气体的体积 $V_0 \approx 5.5$ 米³, 由图 19 可确定在所得气体中 O_2 的含量为 13.9% (体积)。

III

气 体 的 湿 度

换算成标准状态下的湿气体的密度

在与湿气体有关的计算中，经常需要知道在 0℃ 和压力为 760 毫米汞柱下的湿气体的密度。

气体的湿含量用 x 公斤/公斤·干空气来表示，干空气的密度在标准状态下等于 $\rho_{0\text{ cyx}}$ 公斤/米³。

湿气体的总质量等于 $(1+x)$ 公斤，而它在标准状态下的体积为 $\frac{1}{\rho_{0\text{ cyx}}} + \frac{x}{0.804}$ ，因此在标准状态下湿气体的密度等于：

$$\rho_0 = \frac{1+x}{\frac{1}{\rho_{0\text{ cyx}}} + \frac{x}{0.804}} \quad (12)$$

湿含量 x 可按公式计算：

$$x = \frac{18}{M} \frac{\varphi p}{(B - \varphi p)} \quad (13)$$

式中 M ——气体的克分子量，等于 $22.4\rho_{0\text{ cyx}}$ ；

φ ——气体的相对湿度，%；

B ——大气压，毫米汞柱；

p ——在给定温度 t ℃ 下，饱和水蒸汽的压力，毫米汞柱。

将 x 值代入公式(12)，整理后得：

$$\rho_0 = \rho_{0\text{ cyx}} - \frac{\varphi p}{B} (\rho_{0\text{ cyx}} - 0.804) \quad \text{公斤/米}^3 \quad (14)$$

根据这个公式绘制出列线图 20。

例 25 烟气的温度为 55℃，相对湿度为 80%，如果干烟气在温度为 0℃、压力为 750 毫米汞柱时，其密度等于 1.35 公斤/米³，确定这烟气在 0℃ 和 760 毫米汞柱下的密度。

按列线图上箭头移动可求得在此情况下 $\rho_0 = 1.284$ 公斤/米³。

当气体的温度未知，而给出了湿含量(这气体中水蒸汽的分压)，那末可利用列线图求得换算为 0℃ 和压力为 760 毫米汞柱时湿气体的密度。在这种情况下，可在纵座标轴上找出已给定的水蒸汽分压值，从此点引箭头可求得，如列线图上虚线所示的那样。

例 26 假设水蒸汽的分压为 200 毫米汞柱，在标准状态下干气体的密度为 1.2 公斤/米³ 及大气压为 700 毫米汞柱，求在标准状态下湿气体的密度。

由列线图 20 求得 $\rho_0 = 1.08$ 公斤/米³。