

烟尘测试, 烟气流速, 计算公式,
大气监测

烟尘测试中烟气流速计算公式的讨论

20-72

于 玲 (徐州市环保研究所)

吴华广 (徐州矿务局环保监测站)

韩方勤 (徐州鼓楼区环保监测站)

2831.03

摘要: 本文通过对烟气流速 V_s 计算公式的推导得知,《环境监测技术规范》第二册“大气和废气部分”中污染源监测规定的 V_s 经验计算公式只适用于热态空气的计算,而烟气流速的计算公式应为:

$$V_s = 0.23 \times K_p \times \sqrt{273 + t_s} \times \sqrt{\overline{H_d \alpha}}$$

一、对烟气流速 V_s 计算公式的讨论

在GB5468、GB9079工业锅炉和窑炉烟尘测试方法标准中 V_s 公式为:

$$V_s = K_p \sqrt{\frac{2g\overline{H_d}}{\gamma}} \quad \dots\dots ①$$

$$\text{或 } \overline{V}_s = \frac{4.43}{\sqrt{\gamma}} K_p \sqrt{\overline{H_d}} \quad \dots\dots ②$$

式中: V_s —烟气流速 m/s .

K_p —皮托管系数.

g —重力加速度 m/s^2 .

H_d —烟气动压 mmH_2O .

γ —烟气容重 kg/M^3 .

根据气体状态方程 $PV = GRT$.

$$P = \frac{G}{V} RT = \gamma RT$$

$$\text{对于烟气: } \gamma_s = \frac{P}{R_s T_s} \quad \dots\dots ③$$

将③式分别代入①、②式中得:

$$V_s = K_p \cdot \sqrt{2g\overline{H_d}} \cdot \sqrt{\frac{R_s T_s}{P}} \quad \dots\dots ④$$

$$V_s = 4.43 K_p \cdot \sqrt{\overline{H_d}} \cdot \sqrt{\frac{R_s \cdot T_s}{P}} \quad \dots\dots ⑤$$

式中: 烟气气体常数 R_s 可根据气体组分和水汽量按下式计算:

$$R_s = \frac{1}{\left(\frac{u_1}{R_1} + \frac{u_2}{R_2} + \frac{u_3}{R_3} + \dots \frac{u_n}{R_n} \right) (1 - X_{sw}) + \frac{X_{sw}}{R_w}} \quad \dots\dots ⑥$$

由以上计算公式可知:

1. R_s 是烟气气体常数,它只与烟气中的组分及各气体所占体积的百分数有关,对某一烟气来说, R_s 是一定值。

2. V_s 与 $\sqrt{\overline{H_d}}$ 成正比,烟气动压对烟气流速有较大影响。

3. V_s 与 \sqrt{P} 成反比。 P 为烟气的绝对压力,它等于大气压力+烟气静压,在测试过程中不难发现烟气静压的绝对值一般小于10mmHg,因此, P 对 V_s 的影响不大。

4. V_s 与 $\sqrt{T_s}$ 成正比,烟气温度对烟气流速的影响是显著的。

二、烟气密度的计算:

从有关手册中可以查到 N_2 、 O_2 、 CO_2 、 CO 、 SO_2 、 Ar 、 H_2O 等烟气中各主要成份在0℃、760mmHg时的密度(kg/M^3)。

根据烟气中各主要成份的密度及烟气中各主要成份所占的比例,可以计算出烟气在0℃、760mmHg时的密度。

$$\gamma_{干} = (\mu_1 \gamma_1 + \mu_2 \gamma_2 + \dots + \mu_n \gamma_n) \quad \dots\dots ⑦$$

将查表所得数据代入式中得:

$$\gamma_{干} = 1.322 \sim 1.371 (kg/M^3)。$$

$$\text{中间值 } \gamma_{干} = 1.35 (kg/M^3)。$$

湿烟气密度:(含湿量在0~10%之间)。

$$\gamma_{湿} = (\mu_1 \gamma_1 + \mu_2 \gamma_2 + \dots + \mu_n \gamma_n) (1 - X_{sw}) + \gamma_w X_{sw} \dots\dots ⑧$$

将数据代入得:

$$\begin{aligned} \gamma_{湿} &= (1.322 \sim 1.371) \times (0.9 \sim 1) \\ &\quad + 0.804 \times (0.1 \sim 0) \\ &= 1.270 \sim 1.371 (kg/M^3) \end{aligned}$$

$$\text{中间值 } \gamma = 1.32 (kg/M^3)$$

当烟气含湿量为3%时,

$$\begin{aligned} \gamma &= (1.322 \sim 1.371) \times 0.97 + 0.804 \times 0.03 \\ &= 1.306 \sim 1.354 (kg/M^3) \end{aligned}$$

$$\text{中间值 } \gamma = 1.33 (kg/M^3)$$

根据气体状态方程,由计算可知,烟气在0℃,760mmHg时的密度在1.32~1.36之

间,中间值 $\gamma = 1.34 kg/M^3$,那么烟气在温度为 t ℃,绝对压力为 P 时的密度为:

$$\gamma_s = 1.34 \cdot \frac{273 \cdot P}{(273 + t_s) \cdot 760} \quad \dots\dots ⑨$$

$$\gamma_s = 0.481 \cdot \frac{P}{273 + t_s} \quad \dots\dots ⑩$$

$$\gamma_s = \frac{P}{2.08 \cdot T_s} \quad \dots\dots ⑪$$

三、 V_s 公式的推导

将⑩式代入②式得:

$$\begin{aligned} V_s &= \frac{4.43}{\sqrt{0.418}} \cdot K_p \sqrt{\frac{273 + t_s}{P}} \\ &\quad \cdot \sqrt{\frac{H_d}{\gamma_s}} \\ &= 6.39 \cdot K_p \sqrt{\frac{273 + t_s}{P}} \cdot \sqrt{\frac{H_d}{\gamma_s}} \quad \dots\dots ⑫ \end{aligned}$$

当烟气的绝对压力在750~770mmHg之间时, $P = 750 \text{ mmHg}$

$$V_s = 0.233 \cdot k_p \cdot \sqrt{273 + t_s} \cdot \sqrt{\frac{H_d}{\gamma_s}}$$

$$P = 760 \text{ mmHg} \quad V_s = 0.232 \cdot k_p \cdot \sqrt{273 + t_s} \cdot \sqrt{\frac{H_d}{\gamma_s}}$$

$$P = 770 \text{ mmHg} \quad \bar{V}_s = 0.230 \cdot k_p \cdot \sqrt{273 + t_s} \cdot \sqrt{\frac{H_d}{\gamma_s}}$$

由计算可知 $P = 750 \sim 770 \text{ mmHg}$ 时,对计算公式中系数的影响很小。因此,计算烟气流速的公式可以写成:

$$V_s = 0.23 \cdot k_p \cdot \sqrt{273 + t_s} \cdot \sqrt{\frac{H_d}{\gamma_s}} \quad \dots\dots ⑬$$

四、0.23与0.24系数之差的原因

《环境监测技术规范》中使用

$$V_s = 0.24 \cdot k_p \cdot \sqrt{\frac{273 + t_s}{273}} \cdot \sqrt{\frac{P}{H_d}}$$

有三个条件,其中之一是当于烟气组分与空气近似,即于烟气密度等于干空气密度。若烟气的含湿量为0~10%,则:

湿烟气的密度为:(0℃,760mmHg)

$$\begin{aligned} \gamma_{\text{湿}} &= \gamma_{\text{干}} (1 - X_{\text{sw}}) + \gamma_w \cdot X_{\text{sw}} \\ &= 1.244 \sim 1.293 \end{aligned}$$

中间值: $\gamma_{\text{湿}} = 1.27$

将 $\gamma_{\text{湿}} = 1.27 \text{ kg/m}^3$ 代入

$$\gamma_s = \gamma \cdot \frac{273 \cdot P}{(273 + t_s) \cdot 760} \text{ 得}$$

$$\gamma_s = 0.456 \cdot \frac{P}{273 + t_s}$$

再代入(2)式得: $V_s = 6.56 \cdot k_p \cdot$

$$\sqrt{\frac{273 + t_s}{273}} \cdot \sqrt{\frac{P}{H_d}}$$

取 $P = 760 \text{ mmHg}$ 代入上式得:

$$V_s = 0.24 \cdot k_p \cdot \sqrt{\frac{273 + t_s}{273}} \cdot \sqrt{\frac{H_d}{P}} \quad \dots\dots(4)$$

(P 在750~770mmHg范围内上式中系数变化很小)。

由计算可知,系数之差的原因是所取烟气密度不同所致。系数0.24是取干烟气密度等于干空气密度 1.293 kg/M^3 (0℃,760mmHg)得到的。事实上烟气中的成份组成和干空气的气体组成完全不同,烟气密度不能用空气密度来代替,因此,公式 $V_s = 0.24 \cdot$

$k_p \cdot \sqrt{\frac{273 + t_s}{273}} \cdot \sqrt{\frac{H_d}{P}}$ 不能用于烟气流速的计算,只能用于热态空气流速的计算。烟

气流速的计算公式应为 $V_s = 0.23 \cdot k_p \cdot$

$\sqrt{\frac{273 + t_s}{273}} \cdot \sqrt{\frac{H_d}{P}}$ 。系数0.23是取烟气密度为 1.34 kg/M^3 (0℃,760mmHg)得到的。

五、流速用0.24系数计算带来的误差

在烟尘测试过程中,为了取得有代表性的尘粒样品,必须在GB规定的条件,尤其是等速条件下取样。即进入采样嘴的烟气流速必须和采样点的烟气流速相等。即 $V_s = V_n$ 。由于 V_s 的计算公式取0.24,使得 V_s 的计算结果偏大,即 $V_s > V_n$,使取得的尘样浓度偏低5%左右。

六、结 论

1. 烟气密度,烟气流速随烟气的温度变化而发生变化,烟气流速与烟气绝对温度的平方根成正比。

2. 0℃,760mmHg时的烟气密度 $\gamma = 1.32 \sim 1.36 \text{ kg/M}^3$,可按GB规定取中间值 $\gamma = 1.34 \text{ kg/M}^3$ 进行计算。

$$3. V_s = 0.24 \cdot k_p \cdot \sqrt{\frac{273 + t_s}{273}} \cdot$$

$\sqrt{\frac{H_d}{P}}$ 公式只能用于热态空气的流速计算,不能用于热态烟气流速计算。

4. 热态烟气流速的计算公式为:

$$V_s = 6.93 \cdot k_p \cdot \sqrt{\frac{273 + t_s}{273}} \cdot \sqrt{\frac{H_d}{P}}$$

当烟气绝对压力在750~770mmHg之间时,可用下式进行烟气流速的计算。

$$V_s = 0.23 \cdot k_p \cdot \sqrt{\frac{273 + t_s}{273}} \cdot \sqrt{\frac{H_d}{P}}$$

$$5. \text{ 用 } V_s = 0.24 \cdot k_p \cdot \sqrt{\frac{273 + t_s}{273}} \cdot$$

$\sqrt{\frac{H_d}{P}}$ 的公式计算烟气流速,计算结果 $V_s > V_n$,使实测到的烟尘浓度偏低5%左右。