
烟囱几何高度的计算

(2×320 兆瓦火力发电站)

北京电力设计院

1975年3月

烟囱几何高度的计算

本文系由意大利担任设计的北大港（ 2×32 万瓩）燃油电站的烟囱高度计算资料。

他们按我国要求的 SO_2 地面污染浓度标准采用了几种不同公式计算的，兹译出以供有关人员参考。

烟囱几何高度计算

本计算是按照二台机组共用一座烟囱考虑的。

四台机组允许的地面污染（如 SO_2 ）浓度，为：

0.15 毫克/立米 最大平均值

0.50 一天里一次最大允许值

数据和符号：

燃用燃料量	2 × 70 吨/时
燃料含硫量（重量比）	0.21 %
C 地面污染浓度	
— SO_2 最大平均值	0.075 毫克/立米
— SO_2 一天里一次最大允许值	0.25 "
Q 烟气出口流量	4.75 标准立米/秒
G 污染物流量	164 克/秒
T_s 烟气出口温度	383° K
T_a 空气温度	285° K
$\Delta T = T_s - T_a$	98° K
r = 烟囱出口内径	3.25 米
V 烟囱出口烟气速度	20 米/秒
u 风速（全年平均值）	4.5 米/秒
X 距烟囱点下风侧水平距离	米
H_e 烟囱高度	米
H 烟囱几何高度	米
ΔH 烟丝抬升	米

A - 第一次估算

1) $r = \Delta H$ 烟缕抬升

BRYANT 和 DAVIDSONS 波利物和达维森公式:

$$\Delta H = 2 r \left(\frac{v}{u} \right)^{1.4} \left(1 + \frac{\Delta T}{T_s} \right)$$

$$\Delta H = 6.50 \left(\frac{20}{4.5} \right)^{1.4} \left(1 + \frac{98}{383} \right) = 6.5 \text{ 米}$$

这公式没有考虑:

- 由于与烟囱水平距离变化而引起的最大高度变化。
- 烟囱出口烟气排列环境里的热量 (C_{Δ} - 大卡/秒)。

2) 排放全部高度

a). 波赛格和皮尔逊公式 (BOSANQUET 和 PEARSON)

$$C = \frac{216 G P}{H_e^2 u \varphi}$$

$$P = 0.10$$

扩散系数

$$\varphi = 0.16$$

$$H_e = \sqrt{\frac{216 G P}{C u \varphi}} = \sqrt{\frac{216 \times 164 \times 0.10}{C \times 4.5 \times 0.16}}$$

这里数值为:

浓度为	0.25 毫克/米^3	0.075 毫克/米^3
全部高度	140米	256米
几何高度	75米	191米

b) 苏顿公式 (SUTTON)

$$C = \frac{235 G}{u H_e^2}$$

$$H_e = \sqrt{\frac{235 G}{C u}} = \sqrt{\frac{235 \times 164}{C \times 4.5}}$$

这里数值为：

浓度为	0.25 毫克/立方米	0.075 毫克/立方米
全部高度为	185 米	336 米
几何高度为	120 米	271 米

B - 第二次估算

ΔH 烟缕抬升

橡树岭 (OAK-RIDGE, 美国一研究所, 译者注) 公式

$$\Delta H = \frac{1.5 V_d + 0.041 C_{\Delta}}{u}$$

这里 C_{Δ} (大卡/秒) 代表烟气从烟囱向环境送出的全部热量率。

$$C_{\Delta} = Q (C_f - C_a)$$

这里 C_f 和 C_a 代表烟气和空气的热量率 (大卡/标准立方米)。

烟气和空气的热量率可以附图中查出空气温度 12°C (285°K)
和烟气温度 110°C (383°K)

$$C_f = 38 \text{ 大卡/标准立方米}$$

$$C_a = 4 \text{ 大卡/标准立方米}$$

$$C_{\Delta} = 473(38-4) = 16150 \text{ 大卡/秒}$$

$$\Delta H = \frac{195 + 662}{4.5} = 190 \text{ 米}$$

所以烟囱的几何高度为：

浓 度	0.25 毫克/立方米	0.075 毫克/立方米
波赛格和皮尔森公式	-	66 米
苏顿公式	-	146 米

上述公式仅计算 SO_2 一天平均浓度为 0.075 毫克/立方米，所以这公式仅得到平均浓度的结果而没有一天中最大允许浓度。这种浓度也可能偶然发生。

C - 数学模型

为了使烟囱的几何高度尽可能地与估算相近，采用了下述的最合适的和最近期的数学模型方法。（意大利国家电力局也采用这种方法）在计算最大允许浓度时，这种数学模型考虑同样浓度的测定也就是在浓度的平均数值与它的实际数值一致的时间。

经过计算以后，在附图中，可以看到根据测量次数不同浓度数值：从相当于 1 分钟的数值（可以认为是瞬间数值）到 24 小时的数值（每天平均数值）。

在考虑到测定时间数以后，就避免来指定烟囱的超高部分（苏顿公式）这虽然无疑地可以解决污染问题但是如下面提出的验算中所证明的要包括许多繁重的和无用的。

在计算污染流量也就是由相当高度的单独污染源（火电站的烟囱）放出，烟气而造成的（地面污染率），可以有很多的数学模型代表着各国理论和试验的结果。这些数学模型，由有关地区的气象数据的支持，可以计算出予见到的最坏条件下最坏地点的最大地面浓度到很相

近似的程度。

这些计算主要分为两部分：

第一部分包括确定全部排放高度与烟气自烟囱流出后所达到的高度。

很明显，这个高度是由烟囱高度与烟气抬升高度 $\langle \Delta H \rangle$ 相加而得出来的。这烟气抬升是由于烟气离开烟囱时的活动力量而发生的上升力量，还有烟气本身的高温而产生的浮力，由于气象参数以及污染物的驱散和扩散而造成的。

1) 外流部分的高度

于是求出抬升高度就成为计算地面浓度的第一部分。

最近，在1969年，伯力格斯利用在那时候可以得到的试验结果将全部问题作了严格的修订。

在这些相当数量的数据和严密的物理和数学上的处理，特别重要的是从目前火电站烟囱流出的烟气等基础上，伯力格斯得到一些公式说明烟缕的抬升是与气象条件如不同的大气稳定情况与风力是成函数关系的。

这样的数学模型已由几个试验研究单位在大型的火电站上使用证明它的可靠性。

于是，伯力格斯的公式在很多国家里大量采用于计算烟缕的抬升。在特殊情况下美国环境保护局和西德V D I也都采用过。

世界气象组织的第121号技术报告“扩散与空气污染的预测”中也建议在火电站使用这些公式。

2) 扩散

烟气送到大气的冲淡和输送是由于大气自己的自然运动（扰动

所引起的。为了估计烟气在大气里的扩散，就必须采用一个可靠的量的模型。

目前最好的模型是根据巴士其尔 (PASQUILL) 气象参数吉福得的公式。

所以在计算地面浓度时，采用了伯力格斯的公式来估算烟气抬升，和用吉福得公式来估算扩散。

附件详细提供了伯利格斯和吉福得的数学模型以及关于气象条件对于这些公式的影响。

总起来说，为了得到烟囱几何高度的最后计算数值，并且消除采用以上公式所得结果 (66米, 146米) 中的矛盾，现在把烟囱的几何高度定为100米再用上面的数学来验证，并计入下列：

- ΔH 与 X 的变化
- C 与 X 的变化
- 排出烟气的热率
- 浓度的测量时间
- 气象条件 (一般的)

3) 意大利国家电力局的计算 (见附件)

伯力格斯公式 (BRIGGS FORMULAE)

$$\Delta H = 1.6 F^{1/3} u^{-1} X^{2/3}$$

$$F = V_r^2 g \frac{\Delta T}{T_s}$$

$$F = 20 \times 3.25^2 \times 9.81 \times \frac{98}{383} = 530 \text{ 米}^4 / \text{秒}^3$$

$$\Delta H = 1.6 \times 8.09 \times \frac{x^{2/3}}{4.5} = 2.88 x^{2/3} \text{ (米)}$$

吉福得公式 (GIFFORDS FORMULAE)

$$C = \frac{G 10^3}{\pi \sigma_y \sigma_z u} \exp\left(-\left[\frac{1}{2}\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2 + \frac{1}{2}\left(\frac{H_e}{\sigma_z}\right)^2\right]\right)$$

计算将按照 $y = 0$ ，相当于浓度的最坏条件

$$C = \frac{G 10^3}{\pi \sigma_y \sigma_z u} \exp\left(-\left[\frac{1}{2}\left(\frac{H_e}{\sigma_z}\right)^2\right]\right) \quad C = \frac{11607}{\sigma_y \sigma_z} \exp\left(-\left[\frac{1}{2}\left(\frac{H_e}{\sigma_z}\right)^2\right]\right)$$

σ_y 和 σ_z 的数值按照最坏的条件计算 (巴斯基尔的 A 和 B 情况) 在这些条件下, 我们得到最高的浓度数值所以在下面的表里的验证计算将对条件 C、D、E、F 进一步验证。

并且还附了一张曲线图表示在条件 A 和 B 情况下的不同时间的浓度情况。使用同样的数学模型我们可以采用一个几何高度为 30 米的烟囱也可以得到在一分钟之内地面浓度为 0.25 毫克/米³。

但是采用这个高度是与使烟囱高出大气层 (大约为 100 米) 的想法是有抵触的。因为一般地说在这个高度往往有逆温层出现。另外, 这样低的烟囱由于附近建筑物也可能会对一般的烟缕抬升发生扰动的现象。

A 种情况 (巴士费尔)

H (米)	ΔH (米)	X (米)	H e (米)	σy (米)	σz (米)	C(10分钟) 毫克/立方米	C(1分钟) 毫克/立方米	C(12小时) 毫克/立方米	C(24小时) 毫克/立方米
100	62	100	162	28	14	-	-	-	-
100	180	500	280	110	100	0.021	0.033	0.008	0.006
100	238	750	338	165	250	0.110	0.174	0.044	0.003
100	288	1000	388	210	430	0.085	0.134	0.034	0.025
100	377	2000	477	390	2000	0.014	0.022	0.006	0.004
100	599	3000	699	550	5000	0.004	0.006	0.002	0.001

B 种情况 (巴士其尔)

H (米)	ΔH (米)	X (米)	H_e (米)	σ_y (米)	σ_z (米)	C(10分钟) 毫克/立方米	C(1分钟) 毫克/立方米	C(1小时) 毫克/立方米	C(12小时) 毫克/立方米	C(24小时) 毫克/立方米
100	62	100	162	2010.5	-	-	-	-	-	-
"	180	500	280	85	55	6×10^{-6}	4×10^{-6}	3×10^{-6}	9×10^{-6}	2×10^{-6}
"	238	750	338	120	85	0.15×10^{-3}	0.10×10^{-3}	0.06×10^{-3}	0.24×10^{-3}	0.04×10^{-3}
"	288	1000	388	155	110	0.003	0.0016	0.0009	0.0016	0.0007
"	377	1500	477	220	180	0.014	0.006	0.003	0.006	0.002
"	458	2000	558	250	240	0.020	0.009	0.005	0.009	0.004
"	599	3000	699	410	360	0.019	0.008	0.004	0.008	0.003
"	845	5000	945	690	650	0.014	0.006	0.003	0.006	0.002
"	1341	10000	1441	1200	1300	0.006	0.003	0.002	0.003	0.001

图 I 烟囱几何高度的验证 (100米)

图 II 燃料燃烧时产生的热焓

原书缺页

原书缺页

附 件

- 1、伯力格斯公式 (BRIGGS FORMULAE)
- 2、吉福得 公式 (GIFFORDS FORMULAE)
- 3、周围气象条件的影响

附 件：

1、伯力格斯公式 (BRIGGS' FORMULAE)

风为中性或不稳的条件

在这种条件下经过物理数学的处理后，公式成为：

$$\Delta H = 1.6 F^{1/3} u^{-1} X^{2/3}$$

$$\begin{aligned} \text{这里 } F &= G \left(1 + \frac{\rho_0}{\rho} \right) V r^2 \\ &= V r^2 g \frac{\Delta T}{T_S} = \frac{g Q \Delta T}{\pi 273} \end{aligned}$$

g 重量加速度 m/s^2 米/秒²

ρ_0 烟气比重

ρ 空气比重

V 烟气出口速度 米/秒

u 风 速 "

r 烟囱出口内径 米

T_S 烟气出口温度 $^{\circ}K$

T_a 空气温度 $^{\circ}K$

$\Delta T = T_S - T_a$ $^{\circ}K$

X 距烟囱点下风侧水平距离 米

Q 烟气出口流量率 $N \text{米}^3/\text{秒}$

这个公式可能得出缓慢但是连续的烟气抬升；实际上在完成水平距离 X_1 之后，这个抬升可以认为是完毕了。

在美国 U . S . A . E . C 1969 年刊行的《烟缕抬升》

里，伯力格斯证实在火电站里应当假定 $x_1 = 10H$ ，就是说 x_1 等于烟囱高度的 10 倍。

于是上述公式成为：

$$\Delta H = 1.6 F^{1/3} U - 1 (10H)^{2/3}$$

2.2) 吉福德公式

烟气扩散的计算模型是根据物理—数学上的假定烟缕浓度的分布是按照高斯 (GAUSS) 式的。试验结果认为这种假定还是对的。照这种模型地面浓度的公式如下：

$$C = \frac{G}{\pi \sigma_y \sigma_z u} \exp - \left(\frac{1}{2} \left(\frac{y}{\sigma_y} \right)^2 + \left(\frac{H}{\sigma_z} \right)^2 \right)$$

这里：

C = 浓度 (克/米³)

G = 单位流量 (克/秒)

u = 风速 (米/秒)

x = 下风侧距离 (米) 图 1

y = 侧面偏离 (米) 图 1

H_e = 实际烟缕抬升 (米)

σ_y = 标准的侧面偏离 (米)

σ_z = 标准的竖向偏离 (米)

标准的 σ_y 和 σ_z 与下风侧距离有函数关系并且由吉福德按照巴士其尔的试验研究作了计算。

用这种方式确定的浓度数值是 σ_y 和 σ_z 所代表的时间内的平均数值。

图 2 及 3 关于 σ_y 和 σ_z 的数值是照巴士其尔的不同分类法作出