

上海宝山钢铁总厂大气环境影响预断评价

张锡福 执笔

(中国科学院大气物理所)

上海宝山钢铁总厂是我国最大的建设项目。由于地处上海市这样工业集中,人口密集的大城市北部,距市中心 25km,要判明宝钢在偏北风条件下对市区及附近地区的影响程度,必须进行预断评价。根据宝钢建设具体情况,这次预评价以大气评价为主。经讨论确定了五个课题和承担单位:

1. 大气污染输送规律的研究(上海市气象科学研究所);

2. 大气污染现状(上海市卫生防疫站);

3. 评价区大气中 SO_2 污染源调查(上海市环境保护研究所);

4. 大气扩散规律及污染模式的研究(中国科学院大气物理研究所);

5. 宝钢高架烟囱的烟气抬升和扩散参数的风洞模拟实验研究(冶金部冶金建筑研究院环境保护研究所)。

现将大气环境预断评价中主要任务的确定,课题设置,科研进展以及评价中环境经济方面的考虑和评价意见作一简要介绍。

一、预断评价的主要内容

宝钢不仅工艺流程先进,在环保措施上也是先进的。引进这个项目的另一个目的,就是将它作为生产和环保方面先进技术的借鉴。

循环用水率为 95%,先进的水处理技术较完善地控制了水污染。高效率的除尘设施使排入大气中的尘对环境的影响是很小的。虽然通过先进的生产流程节约了能耗,采用

低硫煤和矿石等措施减少 SO_2 排放量,由于没有同时配备脱硫装置, SO_2 的排放量仍然是很大的。考虑到脱硫装置需固定投资 8 千万美元,而每年运转时要消耗大量电力和材料。是否要配备,待评价后再决定。因此,大气环境质量预断评价成为主要内容,而 SO_2 则作为主要污染物。

二、主要研究的内容

宝钢的东北部濒临长江,南部由平原过渡到城市,下垫面复杂,海陆环流和城市热岛环流等中尺度环流都增加了中距离输送和扩散过程的复杂性。因此,中距离大气扩散实验是评价工作中必须解决的科研难题。否则,难以回答和解决下列问题。

1. 宝钢的东北部濒临长江,海陆风环流是否存在,若存在,高空的反向气流是否使宝钢排放的 SO_2 未到达上海市区以前又由上空回来,加大了局地污染。有人认为影响上海市的机会很少,甚至有人怀疑能影响上海市区。

2. 近距离大气污染评价通常用风场均匀和平稳条件下导出的地面最大浓度公式来计算。在这项工作开展之前,曾有人用此方法对宝钢电厂烟囱排放的 SO_2 在下风向的地面最大浓度出现距离作过估算,由于选用参数不同,得到出现在市区和不落在市区两种截然不同的结果。暂不论这种方法是否适用,至少需要通过实验得到当地的大气扩散参数。

在中距离扩散过程中,风场不均匀并随时间改变,烟气在输送过程中,由于大气稳定

度的改变或下垫面特征的改变,扩散参数增长率也改变。显然连续点源公式不能应用于这种情况,而需要用能描述这些变化的模式计算。烟团模式是比较成熟而计算又较方便的一个。但需由中距离扩散实验提供参数。

3. 宝钢是在大气中的 SO_2 已污染较重的上海市区和吴淞地区的北方建厂。按照日本的 K 值制,只允许宝钢排放的 SO_2 所造成的地面最大浓度为 0.006ppm (或 0.002ppm) 或更严的要求。要达到这一要求,只有安装脱硫设备。从环境经济观点来看,耗费了巨额的投资,并不能使上海市大气环境质量有所改变。但若将这笔投资用于改善原有工艺落后的企业,即使宝钢不配备脱硫装置,上海市的大气的污染会有较大的改善。为了能分析宝钢和上海市各类污染源造成的浓度分布及其分担量。为治理和规划提供依据。就不能只用模式计算宝钢四个高烟囱造成的浓度分布,而必须计算评价区全部污染源造成的浓度分布。由于上海市城市面积大,楼房高,人口密集,工业和居民区混在一起,为模式提出难题。必须进行新的探索。

由上所述,宝钢大气环境预断评价是不能用过去近距离的方法和成果完成的。必须研究新的课题,其科研性是很强的。特别是中距离大气扩散实验,当时在国内尚未开展过,在国际上也是正在探索的课题。

三、主要研究结果和进展

1. 输送规律

(1) 风频 冬季 11 月至次年 2 月盛行偏北风,夏季 4 月—8 月盛行东南风。因此,只有在冬季,宝钢对上海市区影响较大。表现出季风地区的特征。由地理位置决定了只有吹 NNW, N, NNE 三个方位的风才影响市区。烟气扩散的厚度在 1000m 以下,在这层内出现这三个方位风向的频率,一月份为 36.7%。其影响频率还是较高的。

(2) 风速 一月份地面平均风速为 3.6m/s, 300m 以上稳定在 6m/s 左右。也表现出沿海季风特征。

小风是形成局地严重污染的气象条件,其出现频率以一月份及十月份最多(10%左右),大部分出现在夜间。

(3) 海陆风 长江岸走向近于西北—东南方向,风向为 NNW 到 ESE 为海(江)风。风向为 SSE 到 WNW 为陆风。由于冬季风盛行,典型的海陆风不常见。当季风不大时,海陆风的影响只使每天的风向随时间有偏转,使污染物输送到广大地区,减少了日平均浓度值。

(4) 城市热岛 在 140 万平方公里面积上集中了 600—700 万人口,众多的工厂和车辆,使城市热岛明显。市中心的最低气温平均比市郊高 3°C 左右。热岛的存在,造成向市中心汇合的“乡村风”。由于季风较强,这种辐合流场也不多见。

逆温: 逆温出现日数以春季四月份最多,平均 24.8 天,一月份也有 22.2 天。逆温层顶高度,接地逆温以春季最高,平均 333m。冬季一月份次之,平均为 266m。不接地逆温,冬月一月份和十月份多在 800m 以上,春夏季多在 800m 以下。

2. SO_2 污染状况

在评价区内,以宝钢为中心,向南设置 22 个监测点。每个季度采样 10 昼夜。根据样品分析结果得出, SO_2 最大污染季度出现在四季度。 SO_2 有 36% 的测点超标,以市区和吴淞地区污染最严重。

3. SO_2 污染源分类及其分布

对评价区内的煤、油、焦炭及含硫矿石原料的耗用量进行细致的调查与核实。经严格的统计和计算,得到 1979 年各季度及全年单位面积内的 SO_2 排放量分布图和高烟囱的位置,排放量及排放参数的统计表。为大气 SO_2 污染模式计算提供了详尽而又可靠的数据。

4. 宝钢高烟囱的烟气抬升风洞模拟实验

采用氨熏变色法做规律性实验,用 SF_6 示踪法进行检定,用烟云照像法进行对比,对宝钢烟囱的烟气在中性条件下的烟羽轨迹变化规律进行研究。实验表明,烟羽抬升高度随烟气温度 T_s ,排烟速度 V_s ,以及环境风速 U_0 的变化基本和 Briggs 公式相吻合。因此应采用 Briggs 公式的形式作为宝钢烟羽抬升的计算公式。

5. 中距离大气扩散规律的研究

大气扩散过程表现为污染物浓度分布随距离或时间的变化。因此示踪实验是研究大气扩散规律的最基本的方法。但进行中距离扩散实验,还必须具备有效的仪器设备。过去我们用过的 SO_2 , 荧光粉示踪方法,烟雾立体摄影和激光测烟雾浓度的方法,最远只得得到 7km 距离的扩散资料。后来国内一些单位用 SF_6 作示踪物,用人工取样和气相色谱分析技术,也只得到 7km 距离的扩散资料。这是因为用人工布点的方法,在布点、通讯联络、精度保证等方面带来极大的困难。国外近年来为探索区域大气污染规律,开展了百公里和千公里的实验。发展了 SF_6 和碳氟化物 (C_6F_{12}) 作示踪气体,用自动取样仪克服了人工布点带来的困难,但这需要大量昂贵的仪器,也只能得到离散的浓度分布。我们设想一种能装载在汽车或飞机上连续检测浓度分布的仪器。即可减少人力物力,又可得到浓度的连续分布。1981 年我们得到了两台连续示踪物检测仪,为开展中距离大气扩散实验提供了有效的手段。

在 20 天的实验期间,出现实验条件只有 5 天。在这短暂的时间里,只进行 5 次实验,不能得到各种稳定度条件下的大气扩散参数。为了能得到反映本地区特点的一整套大气扩散参数,还根据已取得的湍流和风场资料,利用已有的方法和探索新的途径。计算大气扩散参数,并用 SF_6 实验结果作为标准进行校验。最后,以 SF_6 实验结果为基础,综合出各类稳定度下三个方向的大气扩散参数 σ_x, σ_y ,

σ_z 。就为模式计算的可靠性提供必要的条件。

(1) SF_6 示踪实验

在宝钢电厂 200m 高的烟囱顶上释放 SF_6 ,用一辆汽车载人在 3km 和 6km 弧线附近的公路上的固定点用塑料针筒采样,用色谱仪分析 SF_6 浓度。用两辆汽车各装载一台连续检测仪行驶在 8、15、20、22、24km 弧上,探测 SF_6 浓度水平分布。

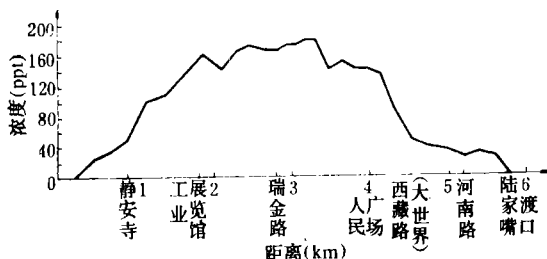


图 1 1981 年 12 月 29 日 20:58—21:09 市区金沙江路到延安路 (24 公里弧) SF_6 浓度分布曲线

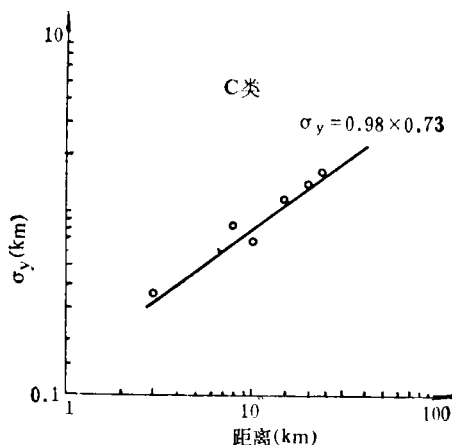


图 2 σ_y 随距离变化 (SF_6 实验结果)

由连续示踪物检测仪检测的 SF_6 浓度分布 (图 1),证实了来自宝钢电厂的 SF_6 气体影响到整个上海市区。

根据弧线上浓度分布资料,利用公式

$$\sigma_y^2 = \frac{\sum_{i=1}^n \rho_i y_i^2}{\sum_{i=1}^n \rho_i} - \left(\frac{\sum_{i=1}^n \rho_i y_i}{\sum_{i=1}^n \rho_i} \right)^2 \quad (1)$$

计算出 C 类和 D 类以及小风条件下的扩散参数。图 2 是 C 类的 σ_y 随距离变化。

按照 Pasquill 稳定度分类标准,阴天时,不论白天和黑夜全定为中性。但根据 SF_6 浓度分布及计算的 σ_y 值来看,白天为 C 类,夜间为 D 类。对 Pasquill 分类标准作了修正。

(2) 用风脉动资料计算参数

用 u, v, w 三分量风速脉动资料, 根据 Hay 和 Pasquill 提出的公式

$$\begin{aligned}\sigma_x^2 &= \overline{u_{\tau}^2}_{T/\beta} \cdot T^2 \\ \sigma_y^2 &= \overline{v_{\tau}^2}_{T/\beta} \cdot T^2 \\ \sigma_z^2 &= \overline{w_{\tau}^2}_{T/\beta} \cdot T^2\end{aligned}\quad (2)$$

计算出 $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ 随距离 x 和时间 t 的变化, 特别是计算出小风条件下的扩散参数。

(3) 用风场资料计算大气扩散参数

定高气球在大气中的运行是为所在高度的风向风速所驱动的。我们设想若有稠密的台站网, 而观测时间间隔短的风场资料, 就能反映大气中大于某一尺度的运动。可以用计算机模拟质点在此风场中的运动规律, 从而得到质点运动的轨迹和拉氏湍流时间序列资料。再用双轨迹法和风脉动法计算大气扩散参数。

在上海评价区有 13—17 个地面测风站, 提供了每 10 分钟一个读数的风向风速资料, 另外还有 7 个高空站和一个电视塔测风点。在此地区进行了 SF_6 实验, 平衡球实验。可以用这两种结果验证, 以探索用风场资料计算扩散参数的可行性。

水平轨迹法:

把计算范围按直角坐标系分成网格, 网格距 L 为 1km。把各台站的风向风速分解成 u 和 v 分量, 按照插值公式内插到各网格点上。以宝钢电厂烟囱为起点, 计算质点轨迹。每行走一步的时间为 $\Delta t = L/U_{i,j}$, $U_{i,j} = (u_{i,j}^2 + v_{i,j}^2)^{1/2}$ 。若 Δt 大于 10 分钟, 令 $\Delta t = 10$ 分。这样逐步计算下去, 得到一条水平轨迹。每隔 30 分释放一个质点。这样计算的水平轨迹与平衡球轨迹类似(图 3)。

$$\text{由} \quad \sigma_y^2 = \frac{d^2}{2} \quad (3)$$

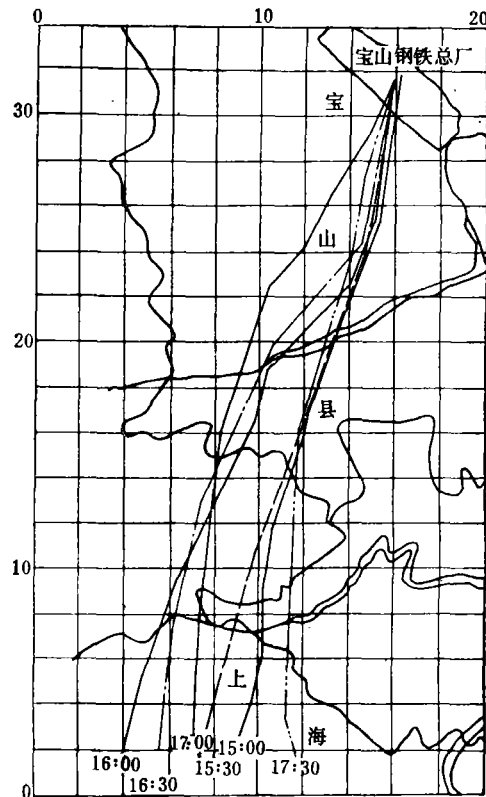


图 3 水平轨迹, 1981 年 12 月 29 日 15:00—17:00, 地面

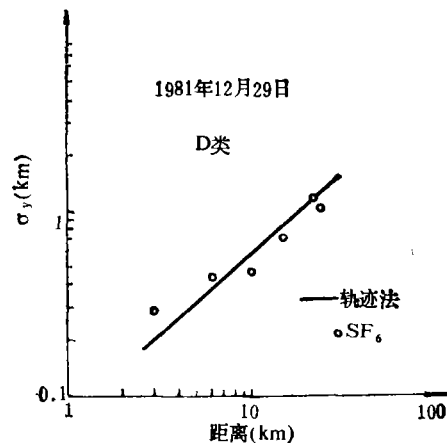


图 4 轨迹法与 SF_6 法的 σ_y 值对照

求得下风距离 3, 5, 7, 10, 15, 20, 25, 30km 处的 σ_y , d 为两条轨迹之间的横向宽度。

用同一天的资料, 由水平轨迹法计算的 σ_y 与 SF_6 实验结果符合的相当好(图 4)。

风脉动法:

与上述方法类似。所不同的是时间步长 Δt 由始至终是不变的。 Δt 满足: $L \geq \Delta t \cdot u_{\max}$; $L \geq \Delta t \cdot v_{\max}$ 。质点每走一步到达新坐标位置后,内插出其所在点的 u, v 值,最后得到一组 u, v 随时间变化序列,对每一组序列求其平均风速 U 和平均风向,以此方向为 x 轴,将 u, v 转换到新坐标上得到 u_1, v_1 。进一步由关系式 $u' = u_1 - V, v' = v_1$, 求得纵向和横向脉动量序列。再由公式 $\sigma_x^2 = \overline{u'^2} T^2, \sigma_y^2 = \overline{v'^2} T^2$ 计算出 σ_x 和 σ_y 随时间 t 和距离 $x (= U \cdot T)$ 的变化。

计算结果与 SF_6 结果也接近,与当地冬季进行的平衡球实验结果接近。

(4) 综合结果

以 SF_6 实验为基础,对比验证了三分量

表 1 各类稳定度的 $\sigma = \sigma_1 \cdot t^k$ 计算结果

稳定度类	$\sigma_x(t)$		$\sigma_y(t)$		$\sigma_z(t)$	
	σ_1	k	σ_1	k	σ_1	k
A	0.31	0.93	0.38	0.90	0.38	0.90
B	0.38	0.90	0.34	0.91	0.34	0.91
C	1.07	0.80	1.18	0.80	0.59	0.80
D	2.63	0.73	2.15	0.76	0.54	0.76
E	0.68	0.80	0.68	0.80	0.17	0.80
F	0.46	0.80	0.46	0.80	0.11	0.80
小风	2.60	0.72	0.82	0.77	0.42	0.76

表 2 各类稳定度的 $\sigma = \sigma_1 \cdot x^k$ 计算结果

稳定度类	$\sigma_x(x)$		$\sigma_y(x)$		$\sigma_z(x)$	
	σ_1	k	σ_1	k	σ_1	k
A	0.21	0.93	0.24	0.93	0.24	0.93
B	0.26	0.90	0.23	0.91	0.23	0.91
C	0.42	0.80	0.47	0.80	0.24	0.80
D	0.64	0.73	0.49	0.76	0.13	0.76
E	0.25	0.80	0.25	0.80	0.07	0.80
F	0.17	0.80	0.17	0.80	0.04	0.80
小风	3.46	0.72	1.01	0.77	0.50	0.76

资料的计算结果。探索用风场资料计算大气扩散参数取得成功,则可利用气象资料计算各类稳定度下的扩散参数。另外还用 SF_6 浓度资料推算了大气垂直扩散参数。从而综合

出各类稳定度及小风条件下 $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ 随时间和随距离 x 变化的幂指数表达式 $\sigma = \sigma_1 \cdot t^k$ (或 $\sigma = \sigma_1 x^k$), 结果见表 1 和表 2。图 5 给出各类稳定度的 σ_y-x 曲线。

6. SO_2 污染模式计算

(1) 烟团模式

用一系列瞬时烟团逼近连续源,可描述烟羽运动方向,速度和扩散参数随空间和时间的改变。模式还考虑了 SO_2 因转化为硫酸盐和地面沉积造成的源的衰减。还包含了混合层顶的反射作用。其公式为

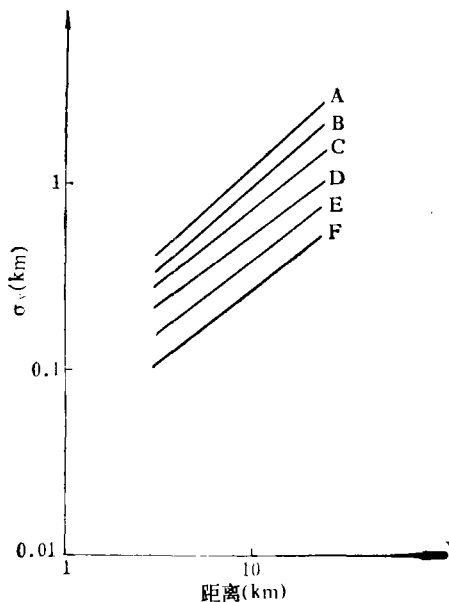


图 5 综合的 σ_y-x 曲线

$$\begin{aligned}
 & \rho_k(x, y, z, t_0 + N\tau) \\
 &= \sum_{m=1}^N Q_k \cdot \exp[-\beta \cdot (N - m + 1)\tau] \\
 & \quad \cdot \exp \left\{ - \frac{\left(x - x_k - \tau \cdot \sum_{n=m}^N u_{i,j,t_0+(n-1)\tau} \right)^2}{2\sigma_{x(T)}^2} \right. \\
 & \quad \left. + \frac{\left(y - y_k - \tau \cdot \sum_{n=m}^N v_{i,j,t_0+(n-1)\tau} \right)^2}{2\sigma_{y(T)}^2} \right\} \\
 & \quad \cdot \sum_{p=-\infty}^{\infty} \exp \left\{ - \frac{(H - 2PD)^2}{2\sigma_{z(T)}^2} \right\}
 \end{aligned}$$

$$+ \exp \left[- \frac{(H + 2PD)^2}{2\sigma_z^2(T)} \right] \quad (4)$$

其中 Q_k 为编号 k 的源强, u 和 v 的下标表示网格 (i, j) 上, $t_0 + (n-1)\tau$ 时刻的数值. β 为 SO_2 衰减因子. D 为混合层顶高度. 一般反射次数 P 取 4.

(2) 体源模式

用于计算本地污染. 上海市的居民楼高, 工厂与居民区混杂在一起, 排放高度参差不齐. 用具有一定高度的面源公式计算的结果偏高很多. 必须考虑垂直扩散过程. 从而设计了具有厚度为 h 、底边长为 L 的四方体的体源模式(图 6).

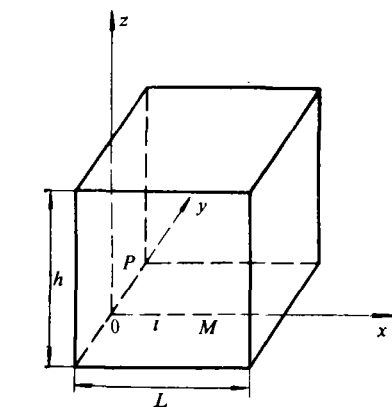


图 6 体源示意图

单位体积的源强为 $q = \frac{Q}{L^2 h}$, 元体源 $\rho dx dy dz$ 在 M 点造成的浓度为

$$d\rho = \frac{q dx dy dz}{\pi \sigma_y \sigma_z \bar{u}} \cdot \exp \left[- \left(\frac{y^2}{2\sigma_y^2} + \frac{z^2}{2\sigma_z^2} \right) \right]$$

将上式对 M 点上风向的体源部分积分, 就得到自身污染浓度值 ρ 的计算公式

$$\begin{aligned} \rho(x, y, 0) &= \frac{q}{\bar{u}} \int_0^l \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^T \exp \left(- \frac{t^2}{2} \right) dt dx \\ &= \frac{q}{\bar{u}} \int_0^l \phi(T) dx \end{aligned} \quad (5)$$

其中 $T = \frac{h}{\sigma_z}$. 上式近似地用数值积分计算.

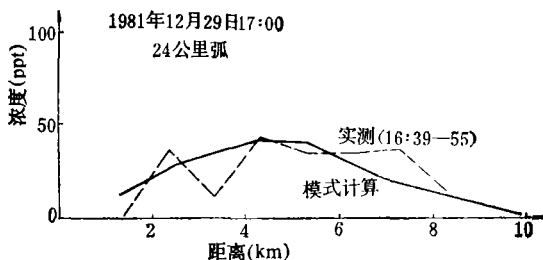


图 7 1981 年 12 月 29 日 SF_6 浓度分布的比较

在上海市区, 取 $h = 60\text{m}$, 则计算结果与实测结果符合.

(3) 模式的验证

首先用 SF_6 浓度分布资料验证. 由于 SF_6 的源强和地面浓度值的精度都很高, 模式计算结果与实测值符合较好(图7), 这表明模式本身能精确描述污染物的输送和扩散过程.

计算的 SO_2 日平均浓度与监测值也比较接近. 相关系数为 0.783.

(4) 典型日日平均浓度的计算

气象条件可粗略地划分为以局地环流为主和系统环流为主两种类型. 局地环流为主时, 多为晴天, 中等风速, 海陆风和热岛环流使风向有明显的日变化. 大气稳定度也是有规律地由白天的 A、B、C、D 类到夜间的 E、F 类. 而在系统偏北大风条件下, 大气稳定度为

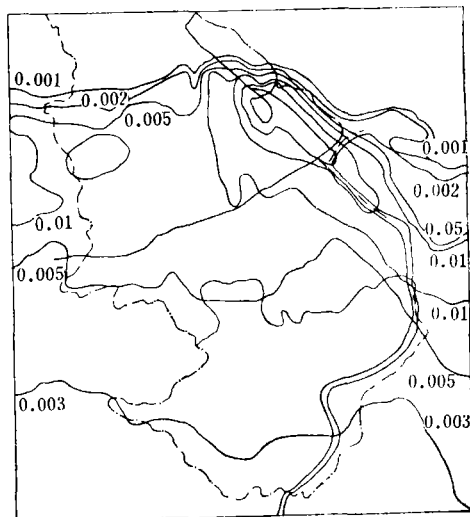


图 8 上海市评价区 SO_2 浓度分布图, 1980 年 12 月 6 日, 宝钢污染源

C类和D类。因此相似典型日的日平均浓度也接近。计算有代表性的典型日日平均浓度,可全面反映宝钢排放的 SO_2 对上海市的影响。

局地环流条件下,由于风向有较大的转换,宝钢排放的 SO_2 分散到广大地区(图8)。对市区影响极微,但这时市区由于原有污染源的影响, SO_2 浓度已超过标准 $0.15\text{mg}/\text{m}^3$ (图9)。

全天吹偏北大风时,宝钢对市区的影响最大,为 $0.025\text{—}0.03\text{mg}/\text{m}^3$ 。但大风的稀释作用,使上海市原有污染源造成 SO_2 浓度较小。与宝钢的影响加在一起,也不超过国家标准,是上海市大气环境最清洁的时候(图10)

(5) 最大浓度的计算

在近30km的扩散过程需要延续几个小时。选出在几个小时内大气稳定度不变的气象资料,然后用烟团模式计算地面浓度分布,绘出沿极大浓度轴线浓度随距离变化曲线。用上述方法共计算了5类稳定度下的地面浓度分布。由模式计算的结果表明,在10多公里范围内,浓度相差很小,难以定出最大浓度位置,而用烟囱口风速代入Sutton公式计算的最大浓度与模式计算相差很大。这是由于不能考虑风场不均匀和不平稳造成的。因此这种方法不能用于中距离的评价。

四、评价和建议

宝钢排放的 SO_2 对上海市区及吴淞地区

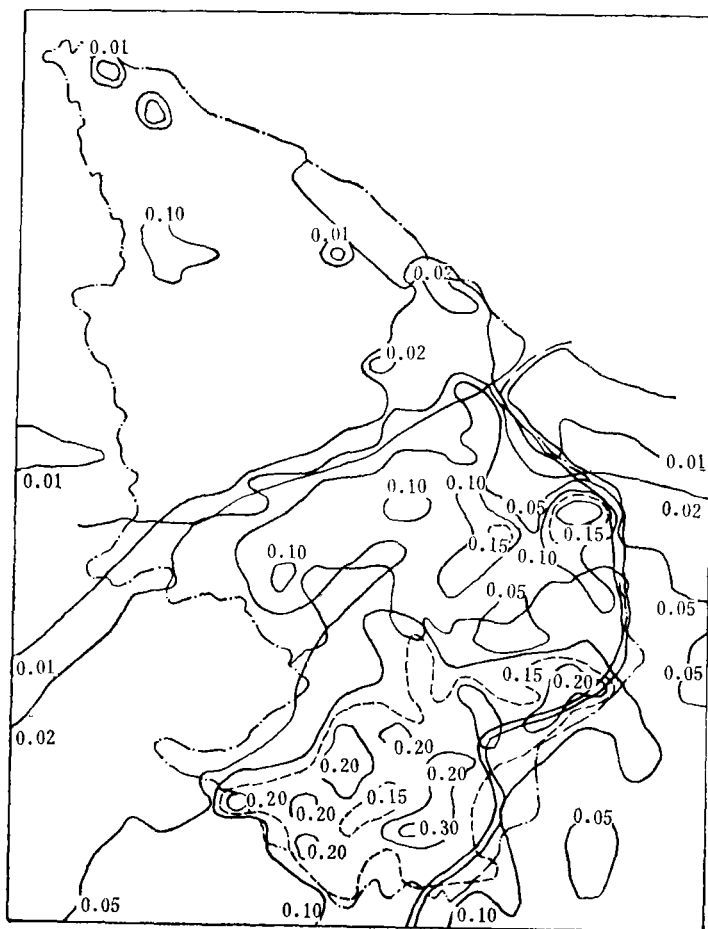


图9 1980年12月6日,宝钢投产前

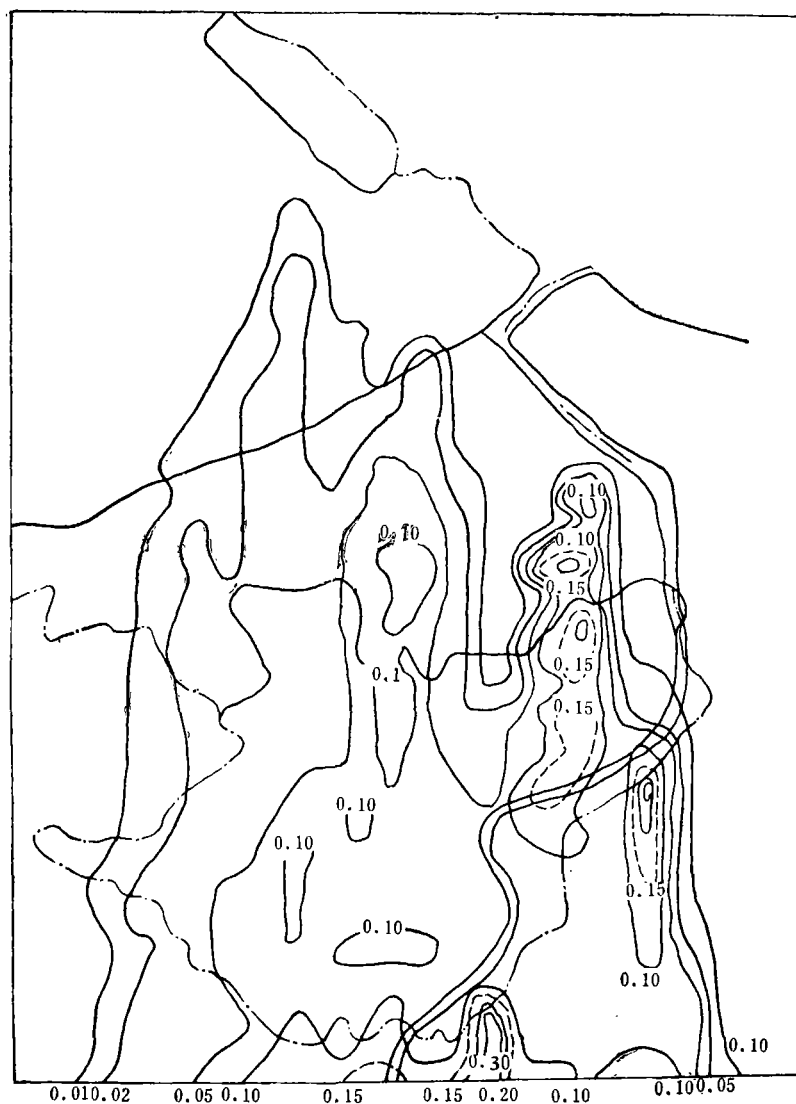


图 10 1981 年 12 月 29 日, 宝钢投产后的

的影响是不大的。从气象条件上分析, 海陆风以及城市热岛环流造成的风向日变化, 使污染物分散到广大地区。沿海地区平均风速大也有利于稀释。另一方面的原因是宝钢生产用的原料采用了低硫铁矿石及含硫量为 1% 的低硫煤, 因此 SO_2 排放量减小。但是模

式计算结果表明, 无论在何种气象条件下, 宝钢对周围地区造成 $0.03\text{--}0.04\text{mg}/\text{m}^3$ 的浓度; 在系统偏北大风条件下, 对市区也有 $0.025\text{--}0.03\text{mg}/\text{m}^3$ 的浓度。相当国家标准的 $1/6\text{--}1/4$, 因此, 宝钢使用的煤和铁矿石的含硫量要维持现有水平。

Abstracts

HUANJING KEXUE

Chinese Journal of Environmental Science

Trends of Sciences of Environmental Protection from the Viewpoint of Econ-ecology

Ma Shijun

This overview article examines the recent development in sciences of environmental protection econ-ecologically by discussing structure and function of human environment. In researching environmental features and taking protective measures, one should pay attention to the characteristics of time, space, dimension and ordination in environment so as to understand their variable rules. Environmental protection is to conserve environmental quality, including structure of man's physical environment and its regulative functions. In order to solve environmental issues, methodology of system engineering should be used so that growth of population and exploitation of resources may coordinate the economic construction as a whole to meet the needs of industrial and agricultural development and of the people's life. Two highlights in eighties of this century, sustainable development and eco-economic planning, show the trends of environmental protection sciences later on, according to the author.

HUANJING KEXUE Vol 7, No. 5, p 2, 1986

Atmospheric Environmental Impact Assessment for Baosan Iron and Steel Complex, Shanghai

Zhang Xifu et al.

Baosan Iron and Steel Complex is situated on the north of Shanghai city. The purpose of this study was to assess the influence of atmospheric diffusion of pollutants from the Complex to Shanghai city. By using SF₆ tracer for field experiments and model simulation, the result showed that concentration of SO₂ in the ambient air of the urban districts around the Complex was below permissible level under any meteorological conditions.

HUANJING KEXUE Vol 7, No. 5, p 83, 1986

Regional Features of Soil Background Values and Their Distributive Rules in the Songhuajiang-Liaohe Rivers Plain

Wu Yanyu et al.

This paper surveys background values of some trace elements in soils of Songhuajiang-Liaohe rivers plain, and finds out their regional features and distributive rules. Background values of some trace element contents in various soil groups of the said region reads in order as follows: paddy soil>bog soil>side bleached soils>brown soil>dark brown forest soils>meadow soils>black soils>cinnamon soils>chernozem>halogenic soils>dark castanozems>aeolian sandy soils, as is coincident approximately with natural geographical rules from east to west.

The soil background values in the region is low, as compared with normal ones in the world as well as in other regions of China. The variance coefficients of these values are mostly below 0.5; migration coefficients of the elements in soil profiles are 0.9-1.1. In this paper causes of mentioned rules have been discussed.

HUANJING KEXUE Vol 7, No. 5, p 24, 1986

Macroeconomic Analysis on Noise Pollution

Li Baoshan

This paper analyses the economic issues of noise pollution and its control measures from overview of social and economic development by applying the theory of environmental economics and methodology of system dynamics to establishing mathematic models with computer technique. It calculates economic losses caused by noise pollution at present and reads estimative loss figures of the year 2000 in the now, evaluates reasonable investments for noise control and their social, environmental and economic benefits which may be gained in different periods so as to choose the optimal project for policy-maker.

HUANJING KEXUE Vol 7, No. 5, p 77, 1986
