

内部资料

大气扩散规律和大气污染 模式的研究

(宝钢环境影响预断评价附件之四)

中国科学院大气物理研究所

一九八三年六月

56.1218

前 言

1979年9月宝山钢铁总厂工程指挥部召集了“宝山钢铁总厂环境影响予评价工作筹备会议”。会议期间,作为技术总负责单位的大气物理所的代表与上海市气象科学研究所,上海市防疫站等单位的代表起草了初步方案,其中大气环境质量予断评价共有五个专题。大气物理所承担技术总负责和第四专题“大气扩散规律和大气污染模式的研究。”会后,根据(79)国环字19号及(79)冶环字第3228号文关于批转《宝山钢铁总厂环境影响予断评价予备会议纪要》的通知要求,开展宝山钢铁总厂环境予断评价工作。由于情况有变化,除了第四专题外,其它8个专题承担单位与宝钢环保处签定了合同,并于80年开展了工作,81年提交了报告。而技术总负责单位和第四专题的承担单位一直未能确定。直到1981年下半年,宝钢总厂决定技术总负责单位和第四专题仍由大气物理所承担。双方于1981年11月签订了合同。

按照合同的规定,本专题的内容及技术要求是:

1. 开展评价区现场的 SF_6 示踪气体大气扩散实验和定高气球观测,掌握宝钢评价区在偏北风(北北东,北,北北西)控制下的大气扩散规律。
2. 根据宝钢地区气象条件及污染源的分布,建立该地区的大气污染模式。
3. 根据污染模式推算宝钢排放的 SO_2 对上海市及宝山——吴淞地区的污染影响及浓度分布情况(包括不同稳定度下的最大着地浓度及所发生的区域)。

合同要求大气扩散实验必须于1981年12月下旬开始,1982年1月下旬结束。这是因为宝钢自备电厂将于82年1月下旬建成,月底点火。只能在点火前利用电厂200米高烟囱进行风向风速观测,释放六氟化硫(SF_6)和平衡球。因此实验的准备工作和现场实验的时间是很不充裕的。实验小组于11月到现场落实实验条件,12月中旬进入现场。在宝钢指挥部,宝钢总厂环保处,上海市环保局,上海市气象局气象科学研究所和上海市气象台予报科的领导和同志们的协助下,迅速落实了实验条件,电台频率的使用,技术力量配备以及实验气象条件的予报等工作。自1981年12月29日开始第一次 SF_6 实验直到1982年1月14日结束了实验工作,除了飞行距离在20公里以外的平衡球观测由于空军机场不允许在晴天偏北风条件释放而未能进行外,其它项目基本圆满完成。

这次实验本应与第一专题“大气污染物输送规律”的大气边界层观测和第三专题进行的 SO_2 浓度监测同时进行。由于经费等原因,未能再次配合进行。而第一专题在80年进行的观测和总结未能得到第四专题提出的扩散实验和污染模式的要求而增加观测和总结项目。因此,在进行大气扩散规律的研究和污染模式计算时受到资料的限制。有些资料已不能弥补,影响了研究工作的广度和深度。水平风场资料是可以重新处理的,经上海气象局及所属台站的同志大力支持,重新读数,提供了每10分钟一次的风向风速资料,使得这一课题的工作得到较为满意的结果。

本专题报告内容如下:

一、大气扩散规律的研究

1. 六氟化硫大气扩散实验研究

2. 利用三分量风速仪观测资料计算大气扩散参数。

3. 利用水平风场资料研究大气扩散规律

4. 大气扩散参数的综合结果

二、烟气抬升公式的选择

三、大气污染模式

四、各类稳定度下的地面最大浓度及发生的区域。

参加大气扩散实验工作的人员有：

张锡福 陈泮勤 邹孝恒 赵翼浚 贾新媛 李军 杨锦德
邓玉珍 孙景贵

参加总结工作的人员有，

张锡福 邹孝恒 陈泮勤 李军 贾新媛 邓玉珍 杨锦德

报告执笔人员：

张锡福 邹孝恒 李军

另外，上海市环保局的龚式和同志，宝钢环保处的谢树廉等十几位同志，上海市气象科学研究所的沈爱华等四位同志以及上海市气象台预报科的同志协助了实验工作。在此表示感谢。

目 录

一、大气扩散规律的研究	(1)
I、六氟化硫(SF_6)示踪实验	
II、用三分量风速脉动资料计算扩散参数	
III、利用风场资料计算的水平轨迹估算大气扩散参数	
IV、利用风场计算的风脉动资料计算大气扩散参数	
V、综合结果	
二、烟气抬升公式的选择	(36)
三、 SO_2 污染模式	(39)
I、二氧化硫输送扩散模式	
II、污染源分布的模式化	
III、模式计算几点说明	
IV、计算结果	
四、各类稳定度下的地面最大浓度及发生区域	(57)

大气扩散规律和大气污染模式的研究

一、大气扩散规律的研究

研究宝钢排放的 SO_2 对上海市区的影响,须掌握近30公里距离的中距离大气扩散规律。特别是宝钢地区北部和东部为长江,南部由平原过渡到上海市区,下垫面复杂,海陆风,热岛环流等中尺度环流都使中距离扩散有其特殊性,因此,必须进行中距离扩散实验。也就要求有中距离扩散实验的技术。

探索某一种特殊规律,必须有相应的探测技术为之获取资料。否则难以成功。过去,我们在研究山区,工业区大气扩散规律时使用了 SO_2 ,荧光粉示踪方法,释放烟幕相继用立体摄影和激光雷达方法取得大气扩散资料,但只能得7公里距离内的扩散规律。后来国内一些单位用 SF_6 作示踪物用人工取样和色谱分析技术,也只得到7公里距离的扩散规律。中距离扩散实验若采用人工布点采样,在布点,通讯联络,精度保证都有极大的困难。1973年我们就为发展中距离扩散实验,进行了调研,了解到国外为探索区域大气污染的规律和寻求治理途径,广泛地开展了近百公里距离和千公里距离的大气扩散实验。相应地开展了扩散实验技术,其中以用 SF_6 及碳氟化物(perfluorocarbons, C_6F_{12} , C_7F_{14} , C_8F_{18})作示踪气体应用最广且最有成效。用自控取样仪布点克服了人工采样所带来的耗费大量人力和通讯联络上的困难,用自控色谱分析技术和数据处理系统减少了人力和分析误差。但这需要大量的昂贵的自控仪器,也只能得到离散的浓度分布。我们希望一种能装载在飞机或汽车上连续检测而又当时得到结果(实时, real-time)的仪器,即可减少人力和物力的消耗,又可得到浓度的连续分布。而当时国外使用的前沿色谱分析技术并不能得到连续的 SF_6 浓度分布。 SF_6 连续分析技术由国内研制在材料和器件上有困难,也无单位愿意承担。根据我们的要求,美国布鲁克海文国立实验室(Brookhaven National Laboratory)的Dietz博士为我们研制了两台连续示踪物检测仪(COPS),提供了中距离扩散实验的有效手段。我们还用汽车载人往返穿行,人在车上用塑料针筒取样,再回到实验室用色谱分析的方法探测近距离高浓度的 SF_6 分布。

1981年10月我们利用上述方法在京津地区进行了 SF_6 示踪实验。最远取得70公里距离的浓度分布,使圆满完成宝钢地区大气扩散实验有了保证。所以,在完成京津地区大气扩散实验后,接着又在1981年12月——82年1月在宝钢成功地进行了24公里距离的扩散实验。由于实验只能在东北(NE),北北东(NNE)、北(N)风等条件下进行,在为期20天的实验时间里只取得大气稳定度为中性偏不稳定(C类),中性(D类)和稳定(F类)条件下的扩散资料。为了能得到尽可能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,设想出各种方法来计算大气扩散参数,并用 SF_6 实验所取得的同类稳定度下的结果作为标准进行校验,从而得出各类稳定度条件下的扩散参数。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 。这样,就为污染模式的可靠性提供了

必要条件。

具体方法是：用宝钢200米高烟囱顶上安装的三分量风速仪探测到的 u 、 v 、 w 资料计算 σ_x 、 σ_y 、 σ_z ；根据地面风和高空风资料，计算出质点水平轨迹和风速脉动拉氏时间序列资料，然后，用双轨迹法和滑动平均方法分别得到各类稳定度下的 σ_x 、 σ_y 的随距离 x 和时间 t 的幂指数表达式。

I. 六氟化硫(SF_6)示踪实验

1. 实验方法

1) SF_6 的释放

实验要求 SF_6 的排放率保持在30—40公斤/小时，钢瓶内的液态 SF_6 要吸收汽化热变为气体排放出来。一个40升的钢瓶在无加热装置的条件下，每小时只能释放10公斤左右。因此需要4个钢瓶同时释放。钢瓶放在电厂200米高烟囱底层出灰室内，用五通阀联接四个钢瓶。另一通道联接一条系在烟囱铁梯柱上的直径为25毫米、高200米长的塑料管。每个钢瓶和五通阀之间联接一个转子流量计以调节流量。每次实验前后对每个钢瓶称重，以确定实验时的实际平均排放量。

每次实验结束时，用氮气将塑料管中存留的 SF_6 冲洗掉，以避免对附近地区的污染，并防止对分析实验室本底的干扰。

2) 取样的分析方法

A. 针筒取样，色谱分析方法：

两人乘坐一辆汽车往返行驶在距源3公里和6公里弧线附近的公路上(图1上的路线1和2)，人在车上每隔4.5°用30毫升的塑料针筒取样。取样时间为10秒。每穿行一次弧线取10—13个样品。每次实验取100多个样品。然后回到实验室用两台SP-2308气相色谱仪分析。

B. 连续示踪物检测仪(COSP)检测

COSP是一种可携式连续检测仪，可装载在汽车或飞机上连续采样并实时地显示检测结果。仪器只需一组12V(DC)1.5A的电源。全机总重量约7公斤。

工作原理：

在气泵作用下，仪器不断对周围空气连续采样，样本空气经高温催化脱氧、干燥去掉杂质后，将样本剩余的氮气作载气与 SF_6 一起进入电子捕获检测器检测。从而获得样本连续变化的信息。

图2显示气泵抽入的样本在限流阀 R_1 和后压调节器的作用下以20毫升/分流量进入催化反应器，从氢气瓶来的氢气在限流阀 R_2 的作用下以9—10毫升/分的流量在反应器内与样本中的氧气化合成水汽，样本中的杂质及氟里昂等其它成份则在200℃左右的高温下被烧掉，另一路氢气在 R_1 的限流下以50毫升/分的流量反向流入加热渗透干燥器，将渗透干燥器中从内管渗透出来的水汽带走，从而使含氮和 SF_6 的样本进入电子捕获检测器检测。其中的氮气因其纯度极高而用作检测器的载气，形成检测器基流。样本中的 SF_6 是电负性物质，它捕获电子而改变基流的大小，因而改变了检测器输出信号的大小。

检定曲线：

从检测器出来的信号经过运算放大器后即送到记录器记录。连续检测的样本中 SF_6 的含量变化造成输出信号大小的变化。用标准浓度样本作电压——浓度检定曲线，则可得到 SF_6 。

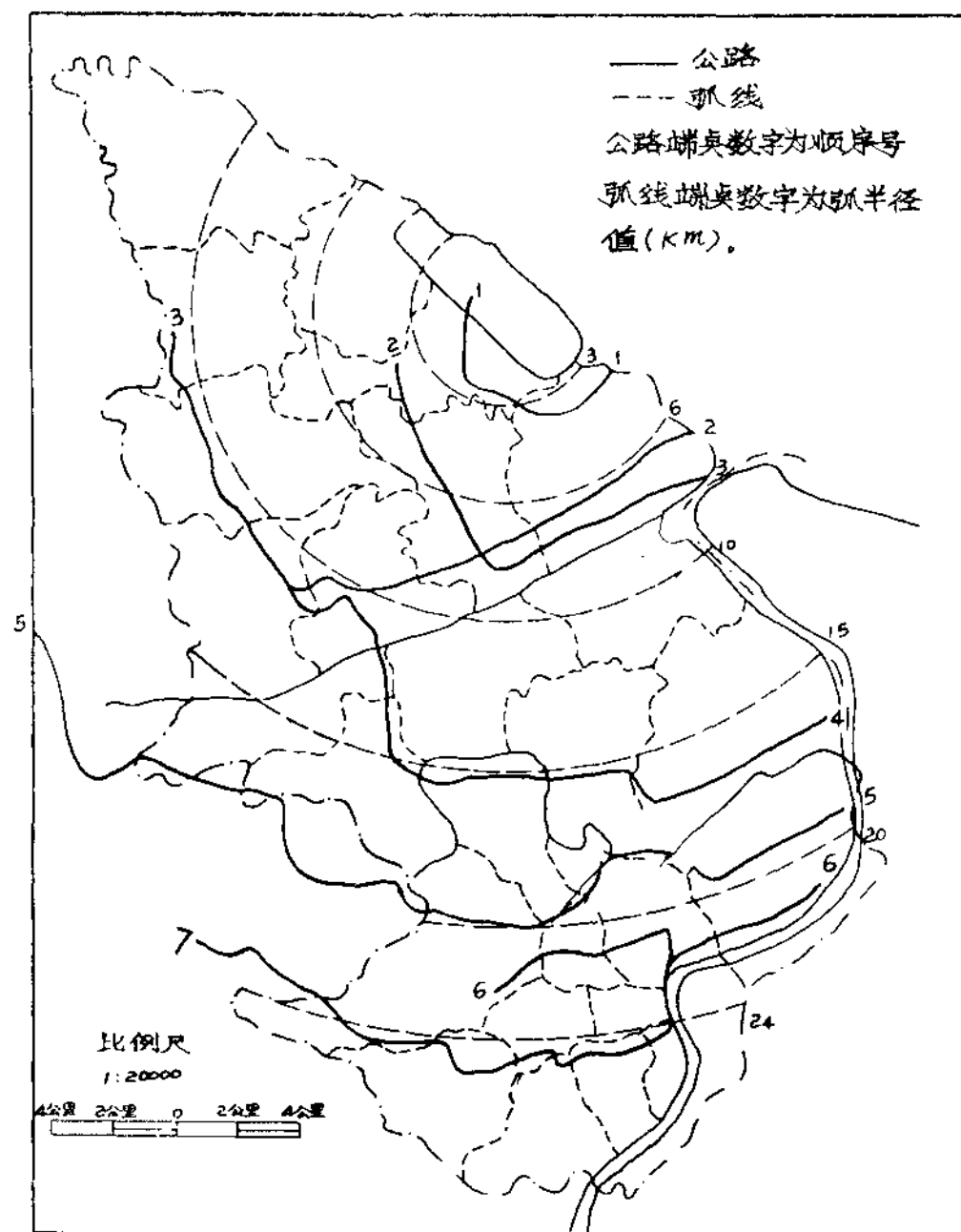


图 1 SF₆示踪扩散实验检测路线图

浓度的变化。

由于仪器灵敏度很高，需要配制低浓度的标样。而用于作检定曲线的样本量既大且要连续进入检测器，因此需要在 6—9 升的玻璃钢瓶内容纳 50 个大气压的标样。可见，标样的配制是件极细致而又繁重的工作。

用称重及逐级稀释法得到一组标样(10^4 , 10^3 , 10^2 , 10^1 , ppt)。由于国内技术水平有限，在配制低浓度(10^2 , 10^1 ppt)时会产生较大的误差。因此我们用两台线性范围比 COPS 大的

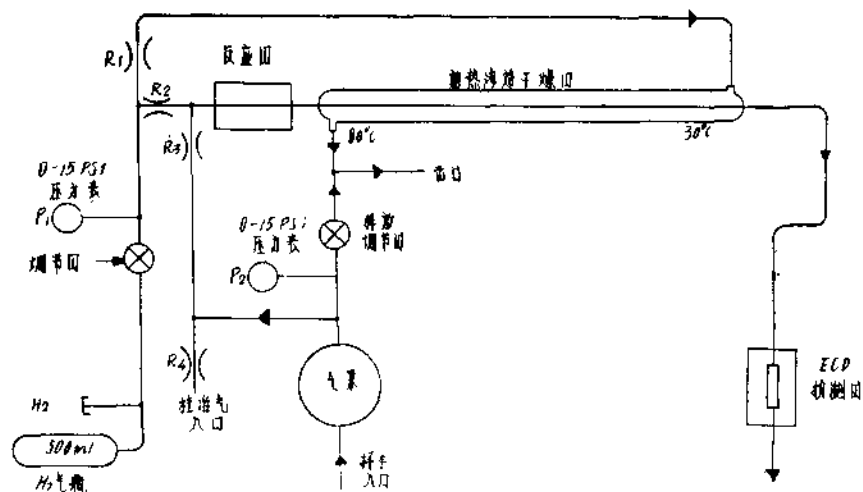


图 2 连续示踪物检测仪(COPS)部件图

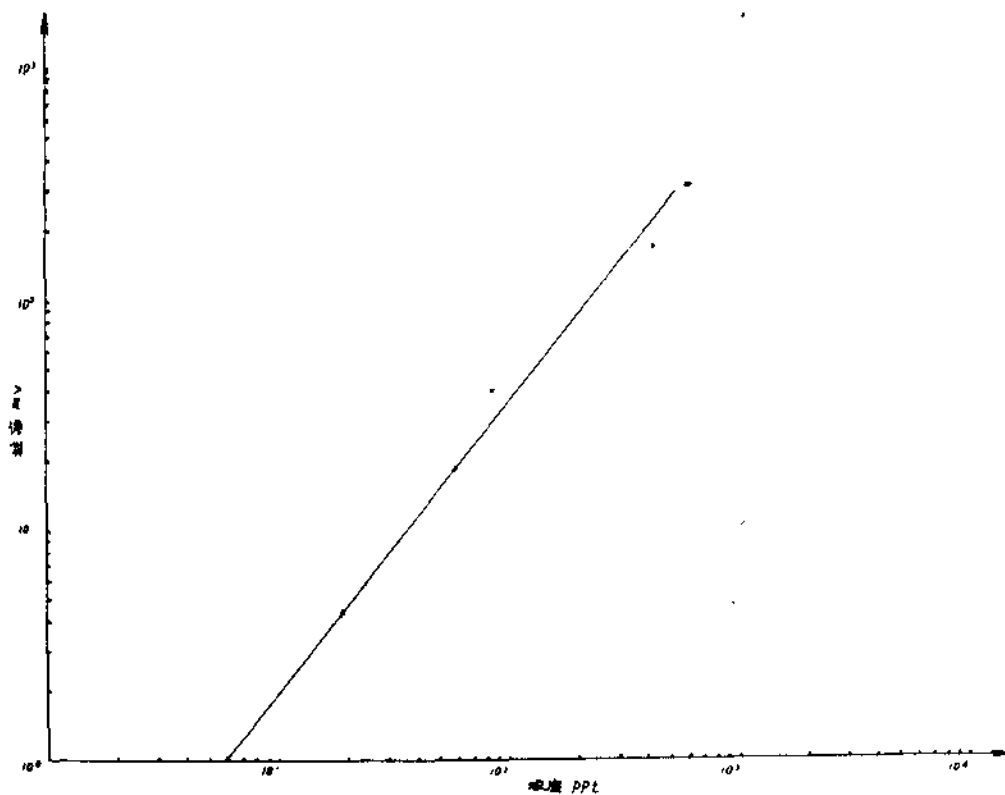


图 3a COPS-1(宝钢)鉴定曲线

SP-2308气相色谱仪对标样进行标定。由高浓度(10^4 , 10^3 ppt)样本并参考美国配制的 97ppt

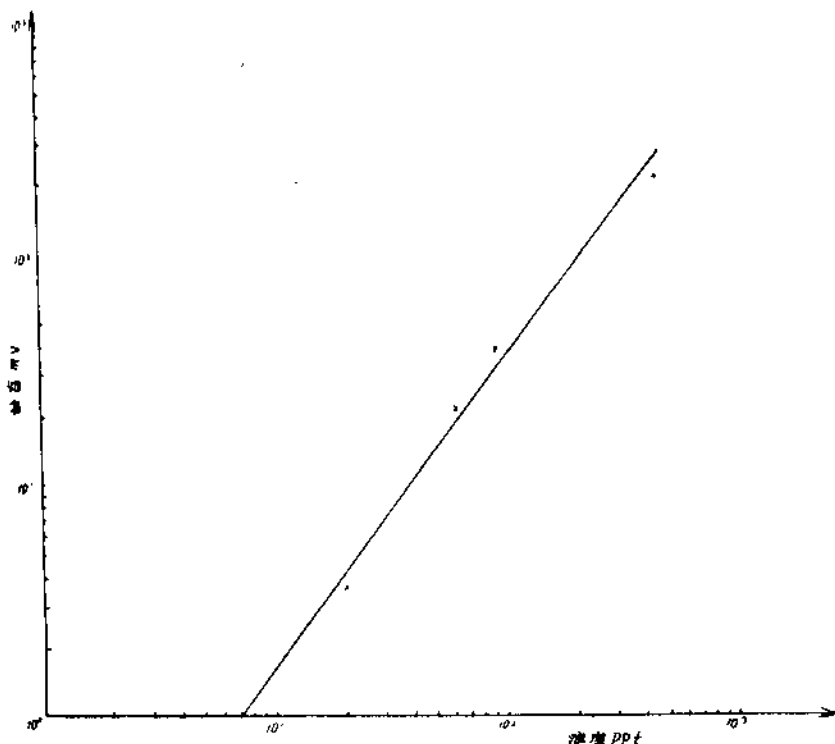


图 3b COPS—2(宝钢)鉴定曲线

的标样作出直线，用此直线标定低浓度样本值，然后用标定的样本对COPS进行标定，得出电压——浓度检定曲线(图3a,b)。

仪器的稳定性：仪器的噪音和瞬时飘移(span drift)小于3毫伏/小时，若信噪比最大为8，则仪器的检测下限最大为30ppt。但若有过量氢存在，仪器的系统零点飘移增大，但小于50毫伏/小时，这对仪器的使用是不利的。另外空气中 CO_2 的含量变化对零点飘移虽有影响，但影响不大。在每次穿行前后，用钢瓶中压缩干洁空气考查零点是否飘移以便进行订正。根据我们在实验中的经验，在每次穿行期间，零点飘移多数是不明显的。

仪器的误差主要来自采样浓度的准确性，检定曲线的精度和读数误差。由于电子捕获检测器受温度，流量和载气纯度微小变化的影响，实验前后所作的检定曲线可能不相同，可引起50%的误差，因此，要用实验前后两条检定曲线的平均值。而后两个误差来源可以通过标样校准和多次读数的方法将误差减至最小程度，最好的办法是配接终端数据处理仪。

COPS装在汽车上，另用一气流联接橡皮管将车外空气抽入并送到COPS的进气口。为了避免灰尘对气泵的堵塞而影响流量，在汽车外的橡皮管进气口装上滤膜取样头。

浓度检测：

装载一号连续示踪物检测仪的汽车行驶在路线3和4上，分别接近距源8—10公里和15公里的弧线上，(图1)。另一辆汽车装载二号连续示踪物检测仪行驶在路线5、6、7上，分别接近20公里，22公里和24公里弧线上。汽车行驶速度约为30—35公里/小时，横穿 SF_6 气所经历时间一般为5—8分钟，仪器后延时间为3秒。

在电厂70米高的厂房顶上搭一个小棚作为指挥台，内装一电台(通话距离为50公里)。在

三辆汽车上也分别各装一部电台。在实验过程中, 根据电厂200米高烟囱顶上的风向、风速和某些弧线取样情况, 通过电台相互联络, 以调整汽车穿行位置和实验进程。

每次实验前, 根据上海气象台提供的偏北风预报和宝山气象台, 电厂烟囱顶上的风向、风速决定是否进行实验。

3) 大气本底值的测量

SF_6 作为良好的绝缘气体还用于电器工业。在工业区或城市中 SF_6 本底值可能较高, 其它卤族化合物也可能造成干扰。这就有必要测定大气中 SF_6 或卤族化合物的本底值。在实验前, 为熟悉行车路线和通讯联系, 三辆汽车分别到各自的取样路线上行驶, 与此同时进行大气本底值的测量。

一辆汽车上的人用针筒取样, 再回到实验室分析, 并未检测出 SF_6 气体, 也无信号输出。由于 SP-2308 气相色谱仪的灵敏度为 10^0-10^1 ppt 因此, 可判断本底值不大于 1 ppt。而实验取得样本浓度为 100—1000 ppt, 远高于本底浓度。

在两辆装载 COPS 的汽车上, 备有内装北京西北郊清洁空气的钢瓶, 汽车行驶时, COPS 的记录器没有信号反映。基线平稳。我们间断地输入钢瓶内的空气, 基线也不改变。在评价区内只有上海开关厂有较多的 SF_6 气体泄漏。汽车缓慢行驶过该厂周围, 只在 40 米左右的范围内测到 1 mv 的狭窄峰值, 而 SF_6 记录的读数间隔为 100—200 米, 故对于实验结果影响不大。可以认为, 在上海广大地区, SF_6 的本底值低于 1 ppt, 而在实验期间检测到的 SF_6 浓度值大于 10 ppt 峰值一般在 10^2-10^3 ppt, 实验结果受本底干扰不明显。

2. 实验结果

1) 气象条件

根据专题的要求, 要获取偏北风条件下的中距离大气扩散规律及宝钢对上海市区的影响, 就要在北北东, 北和北北西三风向下进行实验。但就汽车取样的要求条件考虑, 只能在东北, 北北东, 北三个风向时, 7 个弧线才能都取得到较完整的 SF_6 浓度分布。而在西北风或北北西风条件时, 在电厂烟囱口释放的 SF_6 将吹到长江或浦东区, 汽车无法取样。宝山县地区出现东北, 北北东和北风的频率虽然不低, 但为了能使 SF_6 输送到 30 公里的距离, 就要求风向维持时间较长。若平均风速为 2 米/秒左右时, 要求风向在 67.5° 范围内维持 4—6 小时, 根据第一专题的统计, 一个月内也不过有 7—8 天。若再要求下风地区也为偏北风, 其频率更小。由 81 年 12 月 25 日等待条件准备实验开始, 直到 1982 年 1 月 13 日因宝钢电厂调试考核设备使实验被迫停止为止, 在 20 天的时间内, 出现该条件的机会只有 5 天, 因此捕捉实验条件是很困难的。只要预报有偏北风的可能性, 立即出动, 汽车在取样弧上待命。由 81 年 12 月 29 日开始第一次实验到 82 年 1 月 12 日, 总共进行 5 次实验, 其中 1 月 5 日为西北风, SF_6 吹入江中, 没能取到样, 其它 4 次实验比较成功。其气象条件和实验条件见表 1-1。

大气稳定度分类: 大气稳定度的分类方法很多, 将它作为大气湍流扩散能力的判据, 还没有一种分类法能完全与之吻合。由于资料的限制, 我们只能采用 Pasquill 分类法。Pasquill 分类标准规定, 阴天条件下不论是在白天或黑夜, 全属中性(D类)。但我们用连续示踪物检测仪可取得 SF_6 浓度的水平分布曲线, 分布近似正态。在检测过程中发现, 在阴天条件下, 由下午开始检测, 随着时间向夜间推移, SF_6 浓度分布有明显的变化, 其宽度逐渐变窄, 峰值逐渐增高。这表明 σ_y 值逐渐变小。由其平均值看, 白天的 σ_y 比夜间大得多, 前者相当于

表 1.1

日 期	SF ₆ 释放时间	源 强 公斤/小时	风向	平均风 速,米/秒	天气状况	稳定度类	取 样 时 间
81年12月29日	14 ⁴⁰ —16 ⁴⁰	32.7	NNE	7	阴	C	15 ⁰⁰ —17 ⁴⁵
81年12月29日	18 ³⁵ —21 ⁰⁰	33	N	6	阴	D	19 ⁰⁰ —22 ⁰⁰
82年1月1日	0 ³⁰ —2 ³⁰	33	NNW- NNE	0.8	阴	F*	1 ³⁰ —2 ³⁰
82年1月5日	3 ⁵⁰ —5 ⁴⁴	30	NW	5	晴	E	
82年1月12日	14 ⁰⁰ —16 ³⁰	31	NE	6	阴	C	14 ³⁰ —17 ³⁰

* 小风扩散

C类的 σ_y 值,后者才相当于D类。实际上,白天虽然有厚云阻挡日辐射,但地面还是受热的,而夜间则相反,地面是冷却的。大气稳定度显然不同。前者要比后者不稳定。所以在表1.1中,81年12月29日的白天和82年1月12日的下午,全定为C类。下面将由 σ_y 结果证明这样分类是合理的。因此,我们认为对Pasquill分类法要作修正,即阴天时,白天为C类,夜间为D类。

2) 电厂烟囱口排放的SF₆气体在上海市区的分布

81年12月29日下午,由宝钢至上海市区以北东风为主,以电厂烟囱为起点的水平轨迹通过上海市区西部(图9,10)。汽车由延安路到金沙江路检测,测得SF₆值由静安区向西增加,经普陀区,进入嘉定县后逐渐减少。其宽度为8公里(图4a)。18时后,转为北风,水平轨迹经过静安区和黄浦区一带(图11,12)。SF₆气体由陆家咀渡口经大世界、人民广场、工业展览馆直到静安寺以西宽度为6公里左右(图4b)在天目路东西方向行驶时,SF₆的宽度也为6公里左右,峰值在北站附近(图5)。由上述结果说明宝钢电厂排放的气体在北风和北东风条件下,几乎污染整个上海市区。其浓度大小视排放量而定。在第三章的污染模式计算中将进一步说明。

3) 大气扩散参数

针筒取样点的位置是固定的,各点投影在弧线上的位置也是固定的,将各点浓度订正到弧线上,得到浓度水平分布图。再由图上高浓度处选一中心点,然后向两侧等间距读数,得

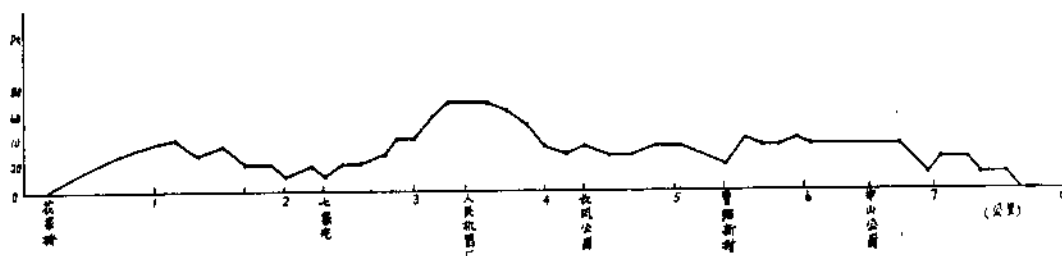


图 4a 81年12月29日 16:39—16:55 市区金沙江路到延安路(24公里弧)SF₆浓度分布曲线

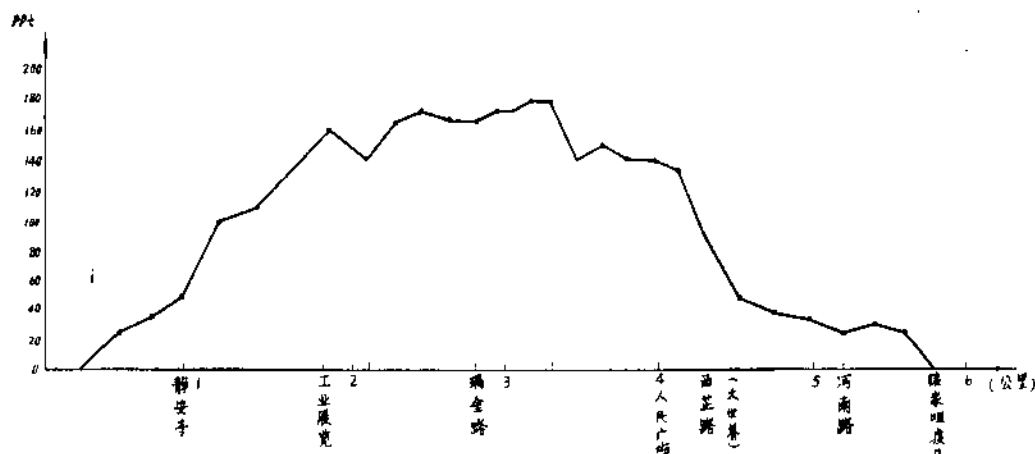


图 4b 81年12月29日20:58—21:09市区金沙江路到延安路(24公里弧)SF₆浓度分布曲线

到一组 ρ_i, y_i 值 ($i = 1, \dots, n$)。 ρ_i 是某一点的浓度值, y_i 为该点距中心点的距离。

将连续示踪物检测仪测得沿公路上连续的浓度分布图, 订正在弧线上, 再每间隔 100 米或 200 米读一个数。也得到一组 ρ_i, y_i 值 ($i = 1, \dots, n$)。

利用公式

$$\sigma_y = \frac{\sum_{i=1}^n \rho_i y_i^2}{\sum_{i=1}^n \rho_i} - \left(\frac{\sum_{i=1}^n \rho_i y_i}{\sum_{i=1}^n \rho_i} \right)^2 \quad (1.1)$$

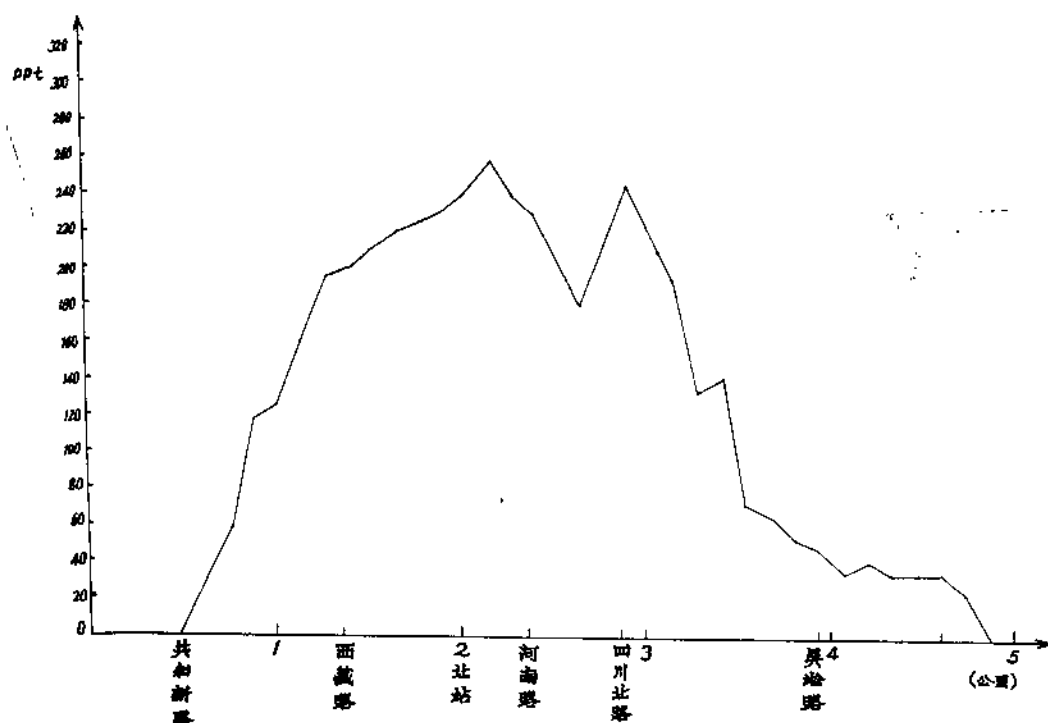


图 5 81年12月29日20:30—20:40市区武进路到天目路(22公里弧)SF₆浓度分布曲线

计算出7条弧线上的大气水平扩散参数。

图6给出C、D两类稳定度下的平均 σ_y 随距离变化,并绘出了 σ_y-x 回归线。因此在3公里到24公里距离范围内,可以近似地用幂指数关系描述 σ_y 随距离的变化。另外根据扩散参数计算结果可以看出阴天下午的 σ_y 平均值要比夜间的 σ_y 值大。以12月29日为例,在15公里距离的 σ_y 值,下午(C类)为1105米,而晚上(D类)为710米。在24公里距离,白天为1511米,夜间为1028米。

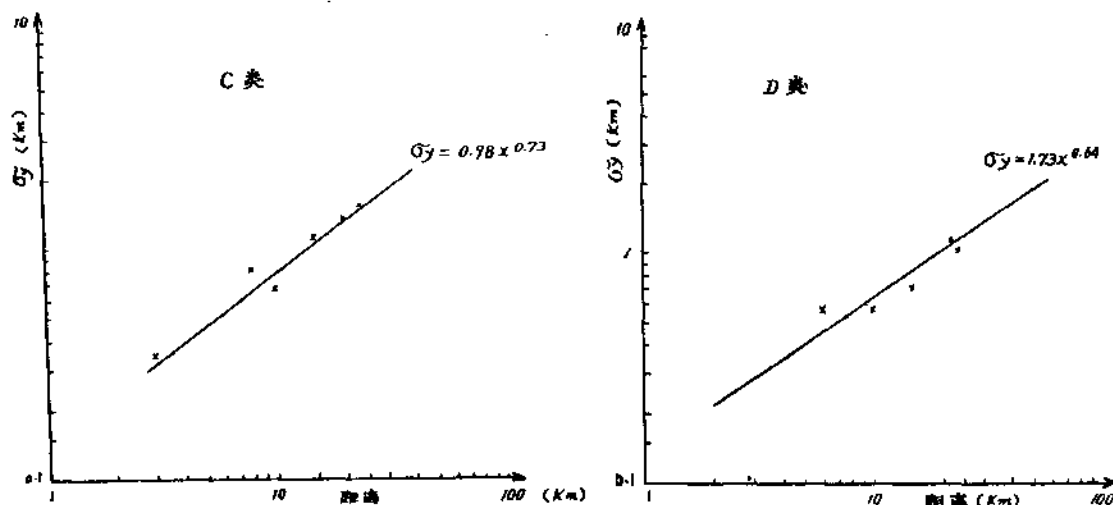


图6 σ_y 随距离变化(SF₆实验结果)

1982年1月1日上半夜,平均风速为0.8米/秒,是典型的小风扩散条件。由于风速小,SF₆停滞在电厂附近地区,只3公里和6公里弧线上取到样本。将此日SF₆浓度分布与其它条件下的分布比较,发现在小风条件下,近距离污染严重,3公里SF₆浓度值比D类条件高出2倍多,约为2000ppt,而6公里弧上浓度低。这两个距离的 σ_y 值如下。

距离(公里)	σ_y (米)
3	421
6	1002

垂直扩散参数:

由于实验没有垂直采样,未取得浓度垂直分布资料,不能计算大气垂直扩散参数 σ_z 。这里,根据地面水平浓度分布资料和气象资料,利用连续点源模式,推算 σ_z 随距离变化。

在定常状态下,高架连续点源的地面浓度公式为:

$$\rho(x, y, 0, h) = \frac{Q}{\pi \sigma_y \sigma_z u} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \exp\left(-\frac{h^2}{2\sigma_z^2}\right) \quad (1.2)$$

其中, ρ 为地面浓度, σ_y 和 σ_z 分别为水平扩散参数和垂直扩散参数, $\bar{u}$ 为释放源点的平均风速, Q 为源强, h 为源的释放高度。

为了求得垂直扩散参数 σ_z , 必须知道地面轴线浓度 ρ_0 。将公式(1.2)改写成如下形式:

$$\rho = \frac{Q}{\pi \sigma_y \sigma_z u} e^{-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}} e^{-\frac{h^2}{2\sigma_z^2}} \quad (1.3)$$

当 $y = 0$ 时, 由公式(1.3)得地面轴线浓度,

$$\rho_0 = \frac{Q}{\pi \sigma_y \sigma_z u} e^{-\frac{h^2}{\sigma_z^2}} \quad (1.3a)$$

因此公式(1.3)可写成,

$$\rho = \rho_0 e^{-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}} \quad (1.4)$$

对(1.4)式沿浓度分布横截风向在 $[-L, L]$ 区间求积分, 则,

$$\int_{-L}^L \rho dy = \rho_0 \int_{-L}^L e^{-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}} dy$$

$$\text{当 } |L| \rightarrow \infty \text{ 时, } \int_{-L}^L e^{-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}} dy = \int_{-\infty}^{\infty} e^{-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}} dy = \sqrt{2\pi} \sigma_y$$

$$\text{所以 } \int_{-L}^L dy = \sqrt{2\pi} \rho_0 \sigma_y$$

为了便于计算, 将 $\int_{-L}^L \rho dy$ 用数值积分表示, 即:

$$\int_{-L}^L \rho dy = \sum_{i=-n}^{i=n} \rho \Delta L = \Delta L \sum_{i=-n}^n \rho_i \quad (i = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm n)$$

因此, 地面轴线浓度公式为:

$$\rho_0 = \frac{\Delta L \sum_{i=-n}^n \rho_i}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma_y} \quad (i = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm n) \quad (1.5)$$

其中 ΔL 为相邻两采样点间距离。

根据公式(1.1)和公式(1.5)分别求出水平扩散参数 σ_y 和地面轴线浓度 ρ_0 。另由地面轴浓度公式(1.3a)可得,

$$\sigma_z = \frac{Q}{\pi \sigma_y \rho_0 u} e^{-\frac{h^2}{2\sigma_z^2}} \quad (1.6)$$

由(1.6)式, 应用迭代法可求出离源不同距离的垂直扩散参数 σ_z , 具体法为下:

$$\text{取 } \sigma_z = \frac{Q}{\pi \sigma_y \rho_0 u} \text{ 代入公式(1.6)得到,}$$

$$\sigma_{z2} = \sigma_{z1} e^{-\frac{h^2}{2\sigma_{z1}^2}}$$

再将 σ_{z2} 代入公式(1.6)计算出 σ_{z3} :

$$\sigma_{z3} = \sigma_{z2} e^{-\frac{h^2}{2\sigma_{z2}^2}}$$

如此迭代下去, 当 $(\sigma_{zn-1} - \sigma_{zn}) / \sigma_{zn+1} < \varepsilon$ ($\varepsilon = 0.1$ 为要求的精度) 时, σ_{zn+1} 就是所要求的垂直扩散参数值。

根据Pasquill稳定度分类法。实验期间的稳定度可划分为C, D两类, 其垂直扩散参数

σ_z 与下风距离的关系表达如下:

$$C \text{ 类: } \sigma_z = 0.26 \times 0.81$$

$$D \text{ 类: } \sigma_z = 0.23 \times 0.79$$

图7给出C、D两类稳定度下的 σ_z 值随距离的变化曲线。同时还给出了平衡球实验结果*和三分量风速仪测得脉动资料的计算结果(计算方法后面叙述)。平衡球的计算值比SF₆实验的计算值小。这可能是平衡球的结果是在2公里距离内得到的, 2公里以远的数值是外延得到的。SF₆实验反应24公里距离的规律, 示踪物在20公里以远进入市区, 由于城市边界层的影响, 垂直扩散可能要大些, 另外平衡球方法测得的垂直风速偏小, 也使 σ_z 值小。

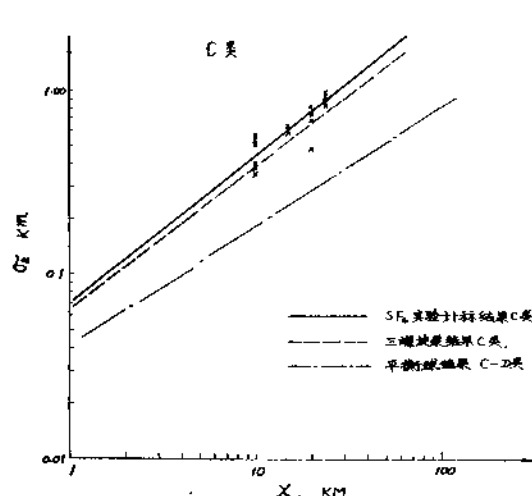


图 7a C类, σ_z 随距离变化曲线SF₆实验结果

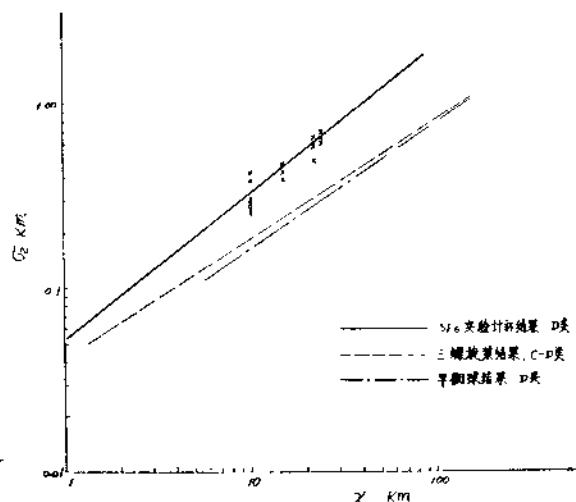


图 7b D类 σ_z 随距离变化曲线, SF₆实验结果

II. 用三分量风速脉动资料计算扩散参数

应用SF₆示踪实验根据浓度分布可直接计算扩散参数, 但在短短的几次实验中, 想取得各类稳定度下的扩散参数, 却是不可能的, 为了弥补实验的不足, 除示踪实验外还应用风速脉动求扩散参数, 风场资料计算水平轨迹来估算扩散参数(方法后面介绍)等方法, 补充某些稳定度下水平横向扩散参数 σ_y , 以及各类稳定度的垂直扩散参数 σ_z , 水平纵向扩散参数 σ_x 。当然, 示踪物扩散实验是最直接的, 也是最基础的计算扩散参数的方法。

Hay-Pasquill假设大气湍流的拉氏相关系数与欧拉相关系数形状相同但两者的时间尺度不同, 其比值为一个常数 β 。由此根据扩散统计理论可以推导出, 利用欧拉风速脉动量计算扩散参数公式:

$$\begin{aligned}\sigma_x^2 &= \overline{u'^2} \tau / \beta \cdot T^2 \\ \sigma_y^2 &= \overline{v'^2} \tau / \beta \cdot T^2 \\ \sigma_z^2 &= \overline{w'^2} \tau / \beta \cdot T^2\end{aligned} \quad (1.7)$$

其中 u' , v' , w' 为空间直角坐标系 x , y , z 三个方向上的欧拉风速分量的脉动值。 τ 为样本取样时间, T 为扩散时间, β 为待定常数, 与测风位置所在地的地形特征有关。

* 上海宝钢地区大气扩散规律的研究”冶金部建筑研究总院环保所1981年9月

1981年12月在宝钢自备电厂高200米的烟囱顶上, 安装有一台三分量螺旋桨式瞬时风速仪, 其测量头部高出烟囱口顶部, 仪器上的三个伸臂与地面垂直的定为 z 轴, 两个水平伸臂, 指向东的定为 x 轴, 指向北的定为 y 轴。由此构成一空间固定坐标系—— xyz , 每个伸臂顶端装有一轻便螺旋桨用来测量风速值。所测得的三个方向的风速信号, 通过电缆输至烟囱底部, 用台式自动平衡记录仪连续划线记录。1981年12月—1982年1月进行SF₆示踪扩散实验同时, 也进行三分量风速观测, 除提供必需的平均风向, 风速外, 也利用它计算欧拉风脉动值, 其方法如下。首先将自动平衡记录的曲线, 以 $\Delta t = 5$ 秒的时间间隔读数, 整理出有 N 个样本, 三个方向风速 (u, v, w) 分量的时间序列值。为了求得欧拉风速脉动值, 必须重新建立一新的坐标系, 即以水平风的平均风向所指方向为 x 轴来建另一空间直角坐标系 $x'y'z'$, 此坐标系与原 xyz 坐标系只有垂直方向是一致的。具体做法为将所取的 u, v 分量值以总个数 N 分别求平均, 再求出水平平均风速值 $\bar{U}$:

$$\text{即 } \bar{U} = \sqrt{\left(\frac{\sum_{i=1}^N u}{N}\right)^2 + \left(\frac{\sum_{i=1}^N v}{N}\right)^2}$$

应用三角函数关系求得平均风向 φ ,

$$\text{即 } \varphi = \arcsin\left(\frac{\sum_{i=1}^N v}{N\bar{U}}\right)$$

此平均风向即为新坐标 $x'y'z'$ 系的 x' 轴方向, 将 xyz 坐标系内读出的 u, v 分量转换为用 $x'y'z'$ 坐标系的值, 即 y' 轴方向的值为 v' , x 轴方向的值减去平均风速 $\bar{U}$ 即得 u' 。

对于垂直方向分量 w 先以总个数 N 求平均得平均垂直速度 $\bar{w}$, 对每个 w 值减去 $\bar{w}$ 值即得垂直脉动速度 w' , 即 $w' = w - \bar{w}$, 由此求得 u', v', w' 欧拉脉动风速分量值, 上海市地处

表 1.2

稳 定 量	β	σ_x	σ_y	σ_z
C	4	$4.7t^{0.35}$	$2.34t^{0.78}$	$1.27t^{0.33}$
	2	$4.0t^{0.86}$	$1.87t^{0.80}$	$1.11t^{0.83}$
	1	$3.7t^{0.88}$	$1.65t^{0.79}$	$1.00t^{0.83}$
D	4	$7.1t^{0.06}$	$4.2t^{0.7}$	$0.98t^{0.67}$
	2	$6.1t^{0.54}$	$4.6t^{0.06}$	$0.81t^{0.67}$
	1	$4.5t^{0.69}$	$3.6t^{0.66}$	$0.63t^{0.67}$
小 风	4	$2.6t^{0.72}$	$0.82t^{0.77}$	$0.42t^{0.76}$

平原地区, 因此 β 取平原地区所得的经验值。这里取 $\beta = 4$, $\beta = 2$ 或 $\beta = 1$ 三种值。利用公式(1.7)编程序上计算机计算扩散参数 $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ 随时间的变化关系。计算结果见表1.2。

为了便于与其它方法计算的 σ_y 随距离 x 的变化关系相比较, 应用关系式 $x = \bar{U} \cdot T$ (其中 $\bar{U}$ 为水平平均风速, T 为扩散时间, x 为离源下风距离), 再由公式(1.7)计算扩散参数随距离 x 的变化关系, 计算结果见表1.3。

表 1.3

稳 定 度	β	σ_x	σ_y	σ_z
C	4	$0.90x^{0.85}$	$0.54x^{0.8}$	$0.28x^{0.83}$
	2	$0.84x^{0.85}$	$0.43x^{0.8}$	$0.24x^{0.83}$
	1	$0.78x^{0.85}$	$0.38x^{0.8}$	$0.22x^{0.83}$
D	4	$2.75x^{0.65}$	$2.0x^{0.65}$	$0.34x^{0.67}$
	2	$1.98x^{0.65}$	$1.63x^{0.65}$	$0.28x^{0.67}$
	1	$1.58x^{0.65}$	$1.30x^{0.65}$	$0.22x^{0.67}$
小 风	4	$3.46x^{0.75}$	$1.01x^{0.77}$	$0.50x^{0.75}$

由表1.2和1.3看出, β 值对扩散参数有一定影响, 最大可有50%的变化。由图8上各个 β 值的 σ_y 曲线与SF₆实验 σ_y 曲线对比可看出, 似乎当 $\beta = 2$ 时, 比较接近。

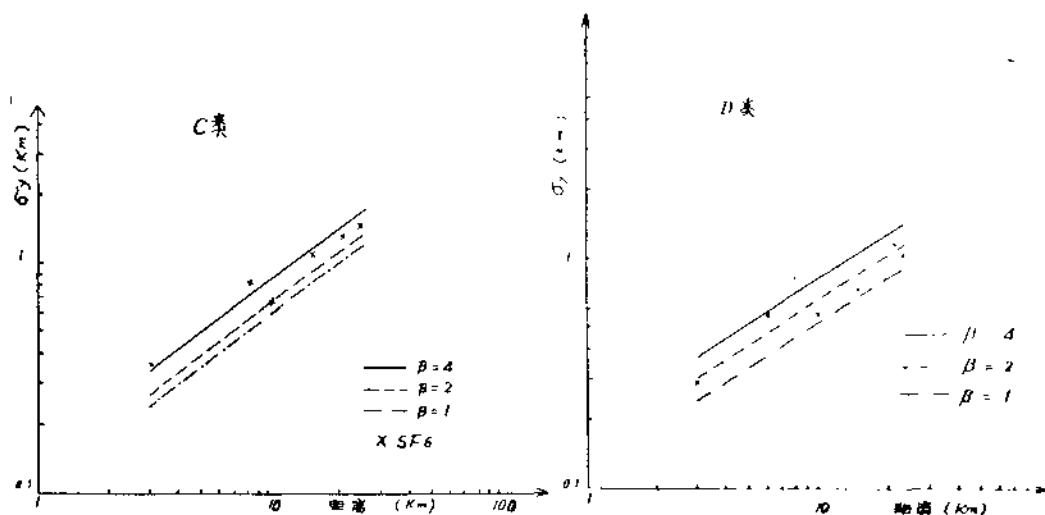


图 8 $\sigma_y \cdot x$ 曲线三分量风速脉动资料