

前 言

上海宝山钢铁总厂是由国外设计引进成套设备、具有国际七十年代先进工艺技术水平的大型钢铁联合企业，由日本国新日本制铁公司负责总体规划和设计。整个工程按年产 600 万吨钢的生产规模，一次规划、分两期建设。第一期工程于 1978 年 12 月 23 日开工，国内对口总体设计单位是冶金部重庆钢铁设计研究院，建设单位是上海宝山钢铁总厂工程指挥部。

根据中共中央中发(1978)79 号文件，新建工程项目要作出建成后对环境质量状况予断评价。上海市环境保护局以(79)沪环保第 55 号文《关于宝山钢铁总厂环境保护问题的报告》建议冶金部组织环保专业队伍，为宝钢补作环境质量予断评价。国务院环境保护领导小组和冶金部于 1979 年 9 月 4 日联合下达(79)国环字 33 号、(79)冶环字 2401 号文《关于开展“上海宝山钢铁总厂环境影响予评价”工作的通知》，决定组织有关单位为宝钢工程补做环境影响予评价工作。《通知》还要求：

(1) 根据宝钢建设的具体情况，这项予评价以大气评价为主，适当开展其他有关项目的予评价工作。

(2) 这项工作的总负责单位是上海宝山钢铁总厂工程指挥部，上海市环境保护局参与领导，中国科学院大气物理研究所为技术总负责单位。

为了认真贯彻执行上级指示，抓好宝钢环境影响予评价工作，在国务院环保办、上海市环保局和冶金部环保办有关领导的直接组织和领导下，宝钢工程指挥部于 1979 年 9 月 21 至 27 日，在上海衡山宾馆邀请了与本次宝钢环境予评价有关的 33 个单位、共计 69 位专家召开了宝钢环境予评价筹备会议，与会专家经过讨论研究，初步确定宝钢环境予评价需保证实施的五个课题和承担单位为：

- (1) 大气污染物输送规律的研究(上海市气象局)
- (2) 宝钢地区大气污染现状(上海市卫生防疫站)
- (3) 评价区大气(SO_2)污染源调查(上海市环境保护科研所)
- (4) 大气扩散规律及污染模式的研究(中科院大气物理研究所)
- (5) 宝钢高架烟囱烟气抬升和扩散参数风洞模拟试验研究(冶金部建研院环保研究所)

此外，尚有四个课题各负责单位过去已经做过大量工作，可在原有基础上适当加以补充、扩大和完善，就可应用于宝钢环境影响予评价中，这些课题和承担单位是：

- (6) 宝钢长江段沿岸 1980 年水质调查(上海市水文总站)
- (7) 宝钢地区土壤环境本底研究(华东师大地理系)
- (8) 宝钢地区环境水文地质背景值调查(上海市地质处)
- (9) 宝钢地区人群健康状况调查(上海市第一医学院)

会议初步议定：本次宝钢环境予评价的调查、评价范围为 450 平方公里，即东西方向以宝钢为中心宽约 15 公里，并向南延伸 30 公里。各课题可以根据课题需要，在此评价范围内选定调查和评价的范围。

经研究，宝钢工程指挥部指定宝钢总厂环保处作为宝钢环境影响予评价工作的办事机构。衡山宾馆筹备会议以后，宝钢环保处分别和课题承担单位签订了技术合同，各课题在80年至81年间陆续完成了现场调查和试验工作，并提交了课题技术报告。

由于本次宝钢环境予评价工作，评价范围大，属中距离尺度的予断评价，技术难度较大。而且，宝钢工程地处上海市这样工业集中，人口密集大城市的北郊，距市中心的人民广场达25公里，要判明宝钢排放的二氧化硫在偏北风条件下，对市区和附近地区的污染影响程度，在国内尚属首次，缺乏成熟经验。无疑地，这对宝钢环境予评价的组织工作带来了困难，对现场试验装备和技术力量也提出了较高的要求。在国务院环保办、上海市环保局和冶金部环保办等领导部门的关心和组织下，中科院大气物理研究所本着认真、慎重的态度，设法筹集了现场扩散试验所需的连续采样测试仪器和装备，为承担宝钢环境影响予评价工作创造了条件。

1981年11月，宝钢环保处和中科院大气所签订了技术合同，确定由中科院大气所担任宝钢环境影响予评价技术总负责单位，并承担第四课题《大气扩散规律及污染模式的研究》的研究工作。大气所负责编写第四课题技术报告，并综合各专题技术报告，提出宝钢SO₂对环境影响的予断评价意见，组织有关单位编写《宝钢环境影响予断评价报告书》。根据实际情况的安排，大气所于1982年2月结束了宝钢评价区现场的大气扩散试验，并得到上海市气象局在气象方面的配合，于1983年8月提交了第四课题技术报告。

在九个课题全部提交了技术报告的基础上，中科院大气所、上海市气象局、重庆钢铁设计研究院、冶金部建研院环保所和宝钢环保处于1984年元月17日至19日，在上海宝钢召开了《宝钢环境影响予评价报告书》编写分工会议。会议根据上海市环境保护局(79)沪环保第55号文、国务院环境保护领导小组和冶金部联合下达的(79)国环字33号、(79)治环字2401号文以及冶金部(80)治环字第1135号文的指示和要求，决定：

《宝钢环境影响予评价报告书》以评价宝钢整个工程投产后排放的SO₂，在偏北风条件下的环境影响内容为主。其他课题如：地面水、土壤、地下水和人群健康的调查资料作为环境概况背景值编成一个附件，第一至五课题技术报告也作为附件分别附上。总报告书编写的技术总负责单位是中科院大气物理研究所，各部份编写分工如下：

前言：中科院大气所(宝钢环保处协助)

第一章：宝钢工程概况：重庆钢铁设计研究院

第二章：大气环境现状：中科院大气所、上海市气象局

第三章：大气环境质量予断评价：中科院大气所

第四章：予评价意见和建议：中科院大气所

宝钢环境影响予断评价工作得到国务院环保办、上海市环保局和冶金部环保办的关怀支持和组织领导，许多单位如上海市气象局、上海市卫生防疫站、上海市环境保护科研所、冶金部建研院环保所、上海市水文总站、华东师大地理系、上海市地质处、上海市第一医学院以及中央气象局、北京钢铁设计研究总院、重庆钢铁设计研究院和宝钢环保处等单位都组织技术力量，直接参加了宝钢环境影响予评价的工作，在各领导部门和技术单位的热情支持和帮助下，才使该项工作得以完成，值此机会，特向上述部门和单位表示诚挚的感谢。

一九八四年十二月

执笔人：张锡福，邹孝恒，李 军
谢树廉，朱崇华，焦敦基
娄良石

目 录

第一章	宝钢工程概况	1
第二章	大气环境现状	8
第三章	大气环境质量予断评价	26
第四章	予断评价的结论和建议	97

第一章 宝钢工程概况

一、工程性质、厂址和占地面积

上海宝山钢铁总厂(以下简称宝钢)是建国以来最大的建设项目,1977年12月经中央批准,建设规模为年产钢铁各600万吨。

宝钢建于上海市北郊宝山县月浦公社蕰江地段,距市中心约25公里,东距宝山县城约2公里。厂区东北濒临长江,东南7~9公里处为吴淞工业区,并靠马陆河。西南至月浦镇,西北沿顾泾河、杨盛河。宝钢纵轴长6.7公里,横向宽1.6~2公里,占地约11.1平方公里(图1.1.1)。在此范围内除现有月浦机场(占地约2平方公里)、航校和雷锋中学外,其余均为农村和农田,厂区占用农田18380亩,搬迁居民2000户,拆迁住房约14万平方米。

二、建设规模和产品方案

宝钢建设规模是以建设两座4063m³高炉为前提,立足于本厂金属平衡,年产钢水671万吨,生铁650万吨,建成品轧机三套,即140m/m连续轧管机,年产成品管50万吨,2050m/m热轧机,年产热轧板卷162万吨,2030m/m冷轧机,年产冷轧板卷210万吨,共生产钢材422万吨。此外,初轧还生产122万吨小方坯,2万吨管坯供上海地区使用。这样,宝钢投产后,可大大减轻油井管、冷、热轧薄板依赖进口的局面。

三、车间组成、生产物料流程和技术特点

1. 根据宝钢的生产规模,产品方案和现代化钢铁生产的需要,全厂由综合原料场、烧结、炼焦、化产、炼铁、炼钢、连铸、初轧、热轧、冷轧、无缝钢管十一个生产车间和原料码头、石灰石及白云石、钢锭模、供配电、全厂通讯、给排水、高炉鼓风机站、氧气站、动力设施及能源中心、机修、生产检化验、仓库设施、总图运输、成品外运、自备电厂、耐火材料十六个公用辅助车间,组成一个从原料进厂到成品运出的完整的生产系统(图1.3.1)。

2. 宝钢生产的物料流程见图1.3.2。

3. 宝钢生产的主要技术特点

(1) 采用高产量、高效率的大型化设备。如采用4063立方米日产量达一万吨的大型高炉;450平方米大型烧结机;采用炭化室高度6米,容积37.4立方米的大容积焦炉;容量为300吨的氧气顶吹转炉,日产量达两万吨以上;板坯连铸机的宽度为1900毫米,一台连铸机年产量为152万吨;2050m/m,2030m/m热、冷连轧板机;140m/m连续轧管机。

(2) 采用先进的生产工艺技术。如采用集中的原料场,实现高度精料;烧结采用热风点火,厚料层烧结,鼓风冷却取消热筛、烧结矿整粒等,生产高碱度、高强度冷矿工艺流程;焦炉采用成型煤予处理,干法熄焦,延迟焦化法等新工艺;高炉采用高熟料比、高风温、脱湿鼓风、高压炉顶、余压发电、富氧综合喷吹等技术;炼钢采用铁水予处理、RH真空脱气,保护浇注,采用付枪配合计算机,实现冶炼过程的动态自动控制;板坯连铸采用高拉速、多

炉连浇、压缩铸造等新工艺；三套成品轧机均为同类型机中先进机组；在给排水、供电、动力等公用设施方面，也采用了七十年代的先进技术。

(3) 高度自动化。全厂各生产车间和公用设施程度不同的采用电子计算机自动控制技术，在直接控制环节设有相应的各种带微处理机的数字仪表和顺序控制器等，组成信息处理集中化，直接控制分散化的多级计算机系统，使操作和管理实现了较高的自动化水平。

(4) 节约能源，消耗指标达到先进水平。如吨钢的电耗为537度，吨钢的新水用量为9.9立方米，水的循环率为95%，焦比430公斤，烧结矿燃料单耗55.5公斤，吨钢耗氧量为53立方米等。此外，焦炉采用干熄焦，年回收蒸汽142万吨，相当15.6万吨标准煤，高炉煤气余压发电，每年可发电2.36亿度，高、焦、转炉煤气全部回收，相当于223.4万吨标准煤。采取上述措施后，全厂吨钢能耗达到0.849吨标准煤的先进水平。

(5) 环境保护措施较为完备。详见第八节。

四、主要原燃料及辅助材料

1. 铁矿石

宝钢铁矿石近期由国外引进，远期立足国内，每年需1020.33万吨，其中，球团矿114.97万吨，块矿401.64万吨，粉矿503.72万吨。硫含量较低，若按第一配矿方案含硫为0.0819%。

2. 炼焦用煤

炼焦用煤主要立足于两淮煤田，根据煤焦配煤需要，配以部分山东煤。每年需要炼焦用精洗煤451万吨(干基)，配煤质量要求：灰分 $<9.5\%$ ，硫分 $<0.7\%$ 。

3. 动力用煤

宝钢自备电厂每年需要动力煤120万吨，由山西大同或安徽两淮供应。原国务院环办主持的宝钢环保讨论会曾建议，为减轻电厂排烟 SO_2 对上海市的环境影响，供煤的含硫应 $<1\%$ 。

4. 高炉喷吹用煤

高炉喷吹用煤，原设计引进4063立方米高炉喷吹重油，为贯彻国务院和冶金部关于节约用油的规定，设计考虑1号高炉在考核期以后，逐步改为喷吹煤粉。按高炉喷吹煤比为75公斤/吨铁计算，估计两座高炉年需45万吨，喷吹用煤，灰分应不大于12%，含硫应小于1%。

5. 重油

宝钢一期工程在高炉同外商合同规定考核期，综合考核各项冶炼指标，需重油10万吨。以后年需重油量2.5万吨，其中，电厂助燃用油1.8万吨，钢铁厂为0.7万吨。二期工程用油量尚未确定。

6. 熔剂

炼钢每年需白云石42.7万吨，烧结、炼铁和石灰车间每年需石灰石246.7万吨，烧结和初轧均热炉每年需蛇纹石29万吨。分别由江苏幕府山白云石矿、船山石灰石矿，东海蛇纹石矿供应。

7. 铁合金和其它辅助材料

每年需16.8万吨锰矿、萤石2万吨，硅石2.8万吨，耐材10万吨，各种铁合金8.44万吨。

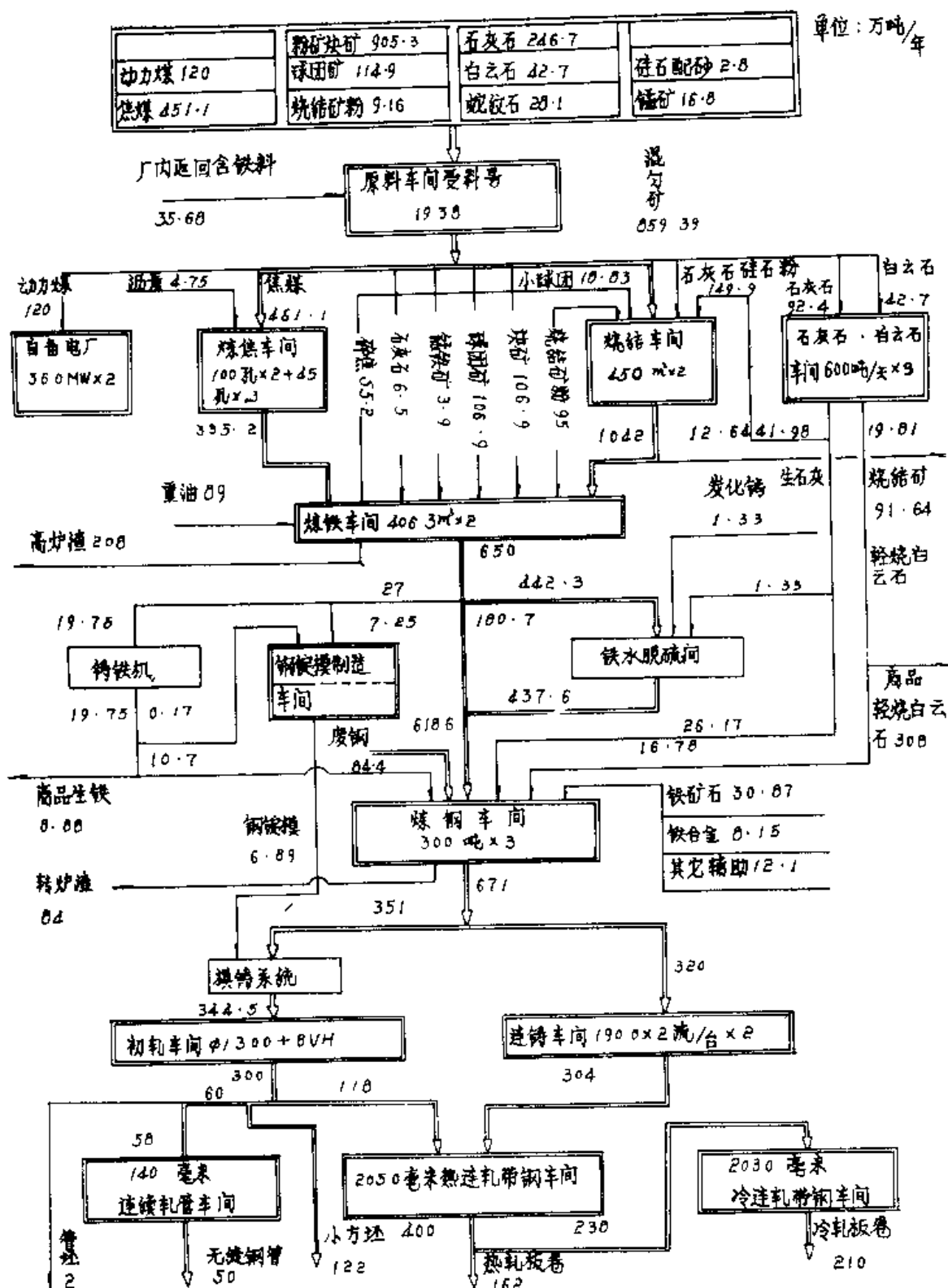


图 1.3.2 宝钢生产物料流程图

五、水 源

宝钢总的原水用量为22万立方米/日,设计取水能力为26万立方米/日,生产水设计,在丰水季节直接取长江水,由电厂水源泵站送入中央水处理厂。枯水季节长江水质受海潮倒灌影

宝钢(含电厂)排放标准

工业“废水”最高容许排放浓度	烟尘、粉尘排放标准	工作场地粉尘含量标准	噪声
有害物质或项目名称	最高容许排放浓度	标准值 (克/标准米)	标准
汞及其无机化合物 镉及其无机化合物 六价铬化合物 砷及其无机化合物 铅及其无机化合物 PH	不允许检出 0.1毫克/升(按Cd计) 0.5毫克/升(按Cr+6计) 0.5毫克/升(按AS计) 1.0毫克/升(按Pb计) 6~9[7~8.5]	烧结机头电除尘器 转炉煤气处理设备 (非回收期) 电炉电除尘器(注1) 烧结电除尘器 袋式除尘器 垃圾、在文氏管 湿式电除尘器 文氏管冲激式除尘器 不受除尘器排放口(注2)	环境噪声标准不大于65dB(A) 测定方法:按JISZ8781规定的噪声水准进行测定。 说明:环境噪声标准适用地点,沿厂境界线宽50米,高5米以上的缓冲林带或在缓冲绿化带外的小河旁。 操作地点噪声标准 1.有技术措施的车辆,等价噪声控制在100dB(A)以下; 2.在技术上有可能的场合,等价噪声控制在90dB(A)以下。 以上为钢厂操作地点噪声标准。 3.电厂所有工作场地噪声标准控制在90dB(A)以下,等价噪声级 $(\log) = 10 \log \frac{\sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_i}{10}}}{n}$ L:操作人员位置的噪声级(dB(A)) ti:暴露时间(小时) T:工作小时(40小时/周)
悬浮物 BOD(5天20℃) COD 挥发性酚 氰化物(以游离氰根计) 有机磷 石油类 铜及其化合物 锌及其化合物 氮的无机化合物 溶解性铁 溶解性锰	0.1毫克/升(按Cd计) 0.5毫克/升(按Cr+6计) 0.5毫克/升(按AS计) 1.0毫克/升(按Pb计) 6~9[7~8.5] 100毫克/升(10ppm) 25毫克/升{平均<10ppm 最大<50ppm} 40毫克/升 0.5毫克/升 0.5毫克/升 0.5毫克/升 5毫克/升(按Cu计) 1.9毫克/升(按Cu计) 5毫克/升(按Zn计) 10毫克/升(按F计) 10毫克/升(10ppm) 10毫克/升	1.工作场地的粉尘:在室内操作场地,采取的措施粉尘。 2.工作场地的粉尘:操作人员,为了操作、观察管理,一直或经常停留的室内操作场地。 定义: 1. 烟尘:燃烧时发生烟尘,灰分及金属其他化合物等。 2. 粉尘:物体的破碎、筛分、其他机械处理、堆积时飞扬的物质。 3. 测定方法:按日本工业标准Z8838 注: 注1、100%烧大同煤和标准燃烧时数值。 注2、为三套机谈判时补充内容	测定方法:按JIS C 1502规定的噪声指示计,作为测定的仪器每隔5秒测定50次的测定结果的平均值和90%范围的上限值,在各操作人员暴露位置停留的二分之一时间计算。 说明: 1. 含Hg、Cd、Cr+6、AS、Pb的废水,在车间或车间处理设备排出口达到标准。其余在工厂总排出口达到标准。 2. 测定方法按JISKO102规定。 3. 悬浮物标准,下雨时不适。 4. 氰化物标准值,在高炉点火投产期不适用。 5. []内的数字为电厂排水标准。

响，水质不能满足要求。故采用长江筑库蓄水，水库库址上距跃龙化工厂污水排放口320米，下距小川沙河口1150米，取水头在水库东堤中心线上游820米，并伸入-5米线水域处。

六、宝钢污染源发生物简况

钢铁厂污染源发生物有水、气、渣三个部分，但宝钢对环境带来影响的还数SO₂，这里着重估算了宝钢主要污染源SO₂的发生量。采用的数据均根据现有的稳定的设计条件。

宝钢SO₂的排放量如下表：

序号	名称	数量	规格	出口直径	烟气量或烟气流量	温度	SO ₂ 排放量	燃料种类	备注
1	自备电厂	1	200M	7.5M	V = 26.1m ³ /s	162℃	2899kg/h	大、中、小煤	标准混煤时
2	烧结	1	200M	8.9M	130℃ Q = 5019000m ³ /h	150℃	2.00kg/h	高炉气	集合烟肉
3	热轧加热炉	8	110M	1.5M	Q _{max} = 233500Nm ³ /h	590℃	817~1210kg/h	重油	关于热炉时出口温度变为250℃
4	七缝环形炉	1	120M	3.5M	Q _{max} = 100000Nm ³ /h	680℃	119kg/h	重油	关于热炉时出口温度变为约300℃
5	低压锅炉	2	90M	2.692M	Q _{max} = 171160kg/h	约120℃	454kg/h	重油	无煤气情况下
6	含油泥渣焚烧炉	1	30M	1.6M	Q _{max} = 27000Nm ³ /h	约250℃	21kg/h	含油泥渣	
7							5019~6282kg/h		

- ① * 系一个管烟的出口量。
- ② * SO₂总排放量系正常情况下的发生量，因此未包括前炉前在燃、油时的SO₂排放量。
- ③ 煤的含硫率以1%计。
- ④ 本表SO₂的总排放量系估算值。

七、宝 钢 排 放 标 准（略）

八、环境保护措施概要

宝钢的环境保护，坚持了综合防治的原则。其措施概要如下：

(1) 节省能耗，减轻污染。宝钢生产每吨钢的能耗指标若降低0.1吨标煤，则每年可减少烟气发生量约50亿立方米。所以节能对减轻污染意义十分重大。宝钢由于采用大型、高效能、现代化装备和管理措施，工艺上又采用各种节能措施，以及回转二次能源等，使能耗指标降为0.849吨标准煤/吨钢，达到世界先进水平。这意味着从根本上减轻了对大气的污染。

(2) 改变能源构成，采用低硫原、燃料、减轻污染。烟尘与二氧化硫是钢铁企业污染大气的主要物质。设计中采取了多种措施，如采用低硫配矿方案，付产煤气全部作为燃料使

用,焦炉煤气进行全量脱硫,主要烟源烧结、电厂等采用高效电除尘、建高烟囱稀释排放。考虑到将来配矿原料和动力煤成份改变这一不利因素,烧结、电厂在设计上均预留了增设脱硫装置的可能性。

(3) 革新工艺,减轻污染。采用无污染或少污染的先进工艺,是有效控制污染的重要措施。如焦炉采用无烟装煤、无烟出焦(均自动除尘)、干法熄焦等新工艺,使焦炉造成的大气污染基本得到控制,含酚氰污水也因此有所减少。又如采用铺底料(烧结),延迟焦化法生产沥青,古马隆的连续生产工艺,焦炉煤气脱硫脱氰采用了以氨为碱源的塔卡哈克斯法和湿式氧化法处理废液相结合的新流程,高炉与转炉煤气净化采用双文串联给水等,也都不同程度地减少了污染物的发生量,减轻了污染。

(4) 废水充分循环利用,控制排放量,减轻污染。宝钢生产稳定后循环用水率为95%,新水单耗为9.9t³/吨钢,达到先进水平。主要的生产用水,如对环境有重大影响的高炉煤气洗涤污水,转炉除尘污水等绝大部分循环利用,“排污水”都用来冲渣、熄渣不外排。全厂含油污水,采用凝聚沉淀加压上浮处理,处理后的水,用于原料场喷水除尘;回收的废油,予以再生利用。炼钢RH真空处理系统上,采用高梯度磁过滤新技术。所有循环水处理过程中排出的泥浆,都建有脱水装置,将其大部回收作为资源加以利用。全厂的水平衡,由能源中心集中管理,循环水的“排污”则根据遥测的电导率与有关的运行参数,一起输入计算机计算“排污量”,使循环水“排污”控制科学化、合理化。所以宝钢水污染的控制措施是比较完善的,只要操作管理得当,不会给环境带来严重影响。

(5) 消烟除尘。宝钢对主要烟源,如电厂、烧结厂、转炉都采取了除尘措施,并建高烟囱稀释排放,以减轻烟气局地影响。初轧、无缝等车间以煤气为主要燃料、烟尘含量低。还对出铁、出钢、出渣、加料过程中产生的二次烟气也都采取了净化措施。露天原料场,采用喷水装置抑尘,皮带运输机则设密闭罩。化产回收过程中的各种臭气等也有相应措施,主要作业点空气中的粉尘含量控制在5毫克/米³以下。宝钢全厂各车间烟尘控制系统处理的总的烟量约为34万米³/分,即2040万立方米/时,烟气处理后收集的烟尘,每年可达52.1万吨,占全厂总产钢量的7.7%,即每吨钢78公斤。全厂设有除尘系统113套,其中布袋除尘器78套,占69%,最大处理能力为19500米³/分,电除尘器17套,占15%,最大处理能力为23100米³/分,文丘里洗涤器9套,占8%,文氏管喉11最大2800×500毫米,其他型式除尘器9台。占8%。

宝钢烟尘控制系统的主要特点是系统大、范围广、温度高、烟尘浓。最大除尘系统处理烟量为23100米³/分,一个系统最多带有120个抽风点,系统控制距离最远150米,处理烟气原始温度最高为1450℃,烟尘浓度为200克/标米³。据初步统计,烟尘控制系统中,共引进七项专利技术和两项技术诀窍。因此,烟尘控制总的来说是完善的、先进的、有效的。

(6) 固体发生物全部资源化

宝钢固体发生物每年约420万吨,对可利用的390万吨全部资源化,其中钢铁渣280万吨,电厂灰40万吨,含铁尘泥53万吨,含油铁渣2万吨,焦粉、白云石粉、焦化废渣等15万吨返回工艺使用。上述发生物共400万吨,约占发生物总量的92%,不可利用的废弃物30万吨,占发生物总量8%,这就大大减少了弃渣场的占地。较大程度地控制了固体废弃物对环境的影响。

(7) 噪声控制。钢铁企业的噪声特点是噪声源多,声级高。宝钢噪声源有鼓风机、空压

机、制氧机、破碎机、马达、泵、减压器、搬运台架、落锤、装卸机械、冷、热锯等。针对噪声源的不同性质与特点、分别采用吸声、消声、隔振、阻尼等措施。控制原则是操作点噪声有条件采取技术措施的,把噪声控制在 100dB(A) 以下,在技术上成熟的,控制在 90dB(A) 以下,在技术上采取措施有困难的场所和设备、操作人员备带耳塞、耳罩等。电厂的噪声均控制在 90dB(A) 以下。宝钢的环境噪声厂界控制在 65dB(A) 以下。

(8) 绿化。绿化具有除尘、吸收有害气体、改善气候、消减噪声等多种用途,是环保的重要措施之一。宝钢绿化工程,据日方规划二高炉最终阶段,绿化面积为 210 公顷。占全厂总面积 20% 强,由防护林带(50 米宽)与厂区绿化两大部分组成。

(9) 建立较为完善的管理体制。宝钢环境管理机构由环境管理、环境技术、环境监测三个科室组成。其主要职责是执行环境保护法令和监督工作,以及指导各分厂实施机构的业务。

宝钢的环境监测,有自动监测与人工分析两部份组成,担任“污染源”、“环境”两大部份的监测、分析任务。自动监测中心设在全厂能源中心之内。在总厂分析中心设有环境管理分析室。

九、宝钢环境工程项目、设备重量及投资分析

宝钢环境工程(二期最终规模)总的项目、设备重量及投资,由于二期工程正在前期工作之中,目前尚无法提出。

宝钢一期工程环保设施 139 项,经粗略地结算设备总重量近 3 万吨,占一期工程设备重量约 10% ;环保总投资 6.5 亿元,占一期工程基建费用(总投资)的 5% ,占设备费用的 8% 。其中:大气污染控制投资占环保总投资的 46.5% ;水污染控制占 24.5% ;渣的处理和利用占 25% ;其他 4% 。

从对宝钢环保投资初步分析看,钢铁联合企业的环保投资、重点在烧结、焦炉、炼铁、炼钢,它们所占比例较大,分别占该车间的投资 $7-15\%$ 。从全厂整个环保投资看,仅占全厂总投资的 5% 左右。宝钢若考虑到二期工程的环保设施,一、二期环保总投资(由于一些公用环保设施投资已算进一期项目里)估算只占全厂一、二期总投资的 4% 左右。这个比例同国内的一些钢铁厂或其他行业不完全统计资料看,环保投资占全厂投资 $1-3\%$ 的比例的上限比较接近。

十、职工人数和生活区的布局

职工总人数,包括宝钢本厂职工及为宝钢服务的地区职工共 49000 人,其中宝钢总厂职工为 33753 人,地区服务职工 15247 人。若加上眷属及家属,人口规模确定为 90160 人,居住区总用地 145.32 公顷,建筑总面积为 1180821 平方米。

宝钢人口的分布主要考虑职工上下班和生活的方便,结合老镇,将职工及其家属分布在宝山和月浦两个居民区,单身职工分布在丁家桥厂前果园,全部用地均征用宝山县农田进行建设。

宝山居住区是宝钢主要生活区,选择在宝山城廂,东临长江,西北距宝钢 1 公里,位于

第二章 大气环境现状

一、SO₂污染源分类及其分布

宝钢环境影响予评价的评价区总面积为494平方公里,本次评价仅对评价区内的大气SO₂污染源进行调查。在一年时间内,对评价区内化石燃料的煤、油、焦炭以及含硫矿石原料的耗用情况进行了大量调查和核实,统计计算,并绘制了评价区1979年各季度及全年每平方公里面积的SO₂排放量网格分布图,高烟囱排放情况统计表,为大气中SO₂污染扩散数学模式的计算提供污染源数据。

1. 污染源概况:

上海是我国最大工业城市之一,市区内工厂企业星罗棋布,人口稠密,城市布局混乱,工厂与居民住宅犬牙交错。市区141平方公里范围内有市属工厂2245家,街道工厂1600多家。1979年统计,市区居民159万户有燃煤炉93万只左右。宝山县境内有大小工厂347家(其中社队工厂156家)。

1979年化石燃料耗用量:煤为508.22万吨/年,油为251.83万吨/年,焦炭为109.37万吨/年。SO₂总排放量为16.46万吨/年,其中电厂的排放量占29.1%,钢铁厂占18.0%,市场和居民占13.2%,其他各类工厂占39.6%。

2. 调查程序及数据整理

SO₂污染源全部调查工作程序如图2.1.1所示,全过程分以下三个阶段进行:

(接上页)

上风向,地势平坦,环境幽静,上下班交通方便,居住区北侧设置防护林带。居住区人口规模为52180人,用地93.26公顷,建筑面积793.326平方米。

月浦为第二生活区,位于靠近钢厂中部600米的月浦镇南侧,距市中心约22公里。居住区东、西、北三面环水,河外有蕴川路、宝罗路、杨月路干道通过,交通方便。居住区人口1126480人,建筑面积314095平方米,用地43.96公顷。

宝钢生活区人口分布表

	宝 山	月 浦	厂 前 区	小 计
单身职工62%	7380	11500	11500	30380
带眷职工38%	13965	4655		18620
家属户数	11200	3745		14945
居住人口(4人/户)	41800	14980		59780
合计(单身职工+居住人口)	52180	26480	11500	90160

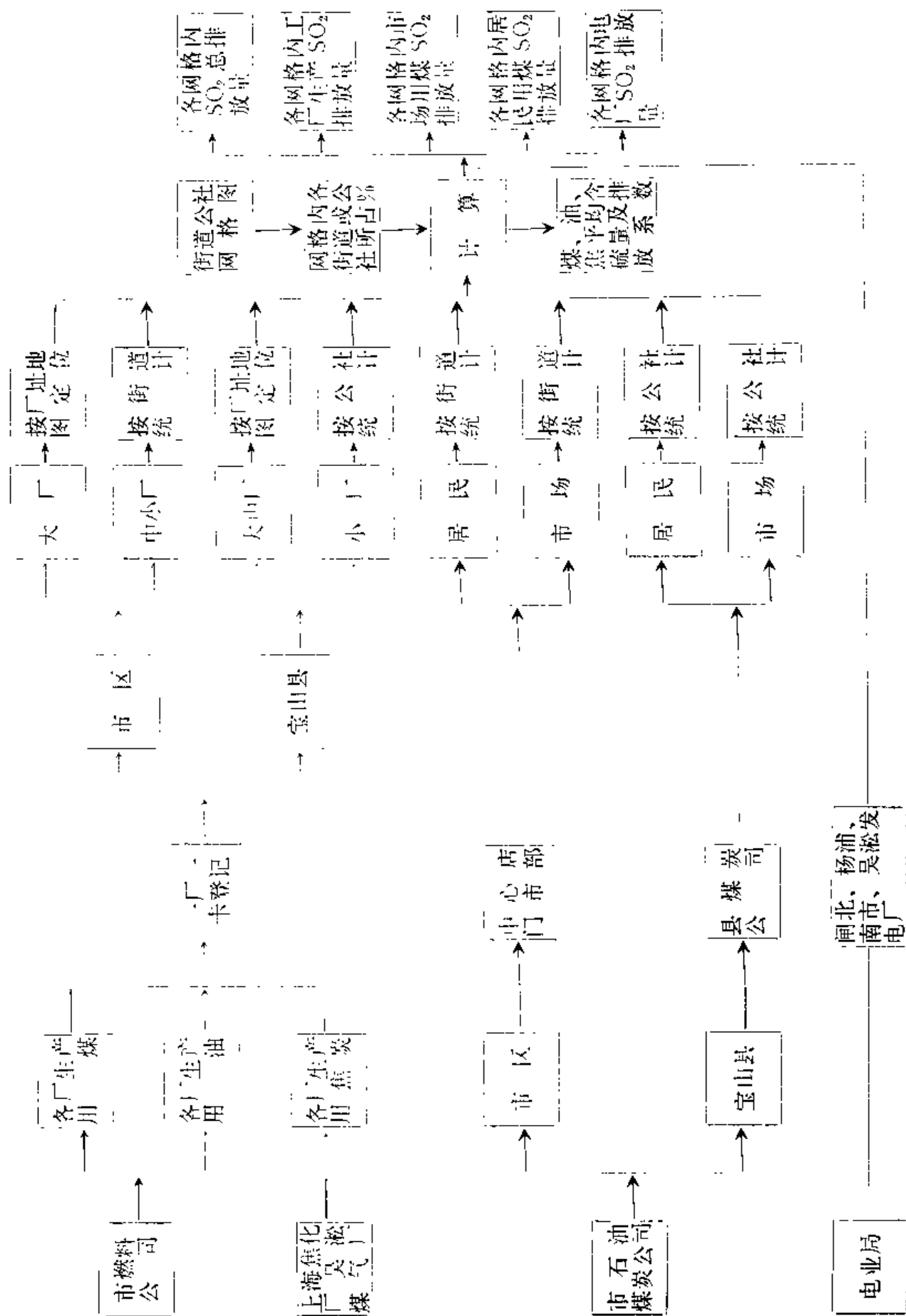


图 2.1.1.1 评价区SO₂污染源调查程序示意图

(1) 污染源调查核实:

根据上海市燃料供应渠道和污染源排放特征,分为:① 工厂生产;② 市场和居民生活;③ 发电厂;④ 其他等四个方面加以调查核实。

① 工厂生产用煤、燃油由上海市燃料供应公司直接供应。调查时根据各厂购货卡上每次记录的购货数量,统计成全市各工厂每季度及全年煤、油实际供应量。工业生产用焦炭由上海焦化厂和吴淞煤气厂生产,通过对这两厂的调查,掌握全市各工厂焦炭耗用情况。燃料耗用的核实工作一方面请工厂填写调查表,另一方面深入一些大厂进行重点核实。发现杨浦煤气厂和吴淞化肥厂均将大部分燃料作为生产煤气和化肥的原料,所消耗的煤和油就不统计在内。核实结果与市燃料公司调查到的供应数量基本一致。

② 市场和居民生活用煤,按各门市部销售情况表,统计出各街道的每季和全年用煤量。

③ 电厂燃料消耗量大,作为重点调查的污染源考虑。对60米以上和60米以下烟囱分类统计,并计算出各烟囱的SO₂排放量及烟气量。60米以下烟囱以厂为单位,计算其SO₂排放总量。

④ 评价区内的上海硫酸厂以硫铁矿作为生产硫酸的原料,计算其生产过程中排入大气的SO₂数量。

(2) 调查数据的整理和统计:

① 市区工厂SO₂年排放量在100吨(相当于年耗煤量5000吨)以上的大厂,在市区街道网格分布图上直接定位。中小型工厂以街道为单位进行统计,宝山县SO₂年排放量10吨以上的工厂在公社网格分布图上直接定位,其余的按公社为单位进行统计。

② 居民及市场用煤,按街道或公社分别统计。

③ 发电厂(闸北、杨浦、南市),调查烟囱高度、烟气温度、烟气排放量,然后用下列二氧化硫排放计算公式计算其SO₂排放量,其结果按电厂位置在地图上定位。

$$M_{SO_2} = A \bar{S} \beta Q (1 - \alpha\%) \quad (2.1.1)$$

式中: M_{SO_2} ——二氧化硫排放量(吨/单位时间)。

A ——SO₂和S的分子量之比。

\bar{S} ——燃料的含硫量(%)。

β ——燃料燃烧时的燃烧率(煤取90%,油取98%)。

Q ——燃料消耗量(吨/单位时间)。

α ——脱硫效率(一般干式除尘器取0,湿式除尘器取10,文丘里湿式除尘器取15)。

④ 上海硫酸厂生产过程中排出的尾气从50米和45米两座烟囱排放,年排放量为2245吨。

(3) 网格内SO₂排放量计算和污染源分布图的绘制:

本次评价区网格分布图是以上海电视台为中心,画出1公里×1公里座标网格,网格编号用直角座标 $x-y$ 表示。

市区网格内SO₂排放量按下式计算:

$$S_{(x,y)} = \sum [A \bar{S}_c \eta_c (Q_{ci}^a + Q_{ci}^d + Q_{ci}^b + Q_{ci}^e) + A \bar{S}_0 \eta_0 (Q_{0i}^b + Q_{0i}^e)] \\ \times \sum_m \sum_n \frac{\sigma_{i(x,y)}}{\sigma_{i(m,n)}} + A \bar{S}_c \eta_c Q_{ci}^a(x,y) + A \bar{S}_0 \eta_0 Q_{0i}^b(x,y) + A \bar{S}_k \eta_k Q_{ki}^a(x,y) \quad (2.1.2)$$

宝山县网格内SO₂排放量按下式计算:

$$S_{(x,y)} = \sum [A \bar{S}_c \eta_c (Q_{c1}^a + Q_{c1}^d + Q_{c1}^e)] - \sum_m \sum_n \frac{\sigma_{i(j)}(x,y)}{\sigma_{i(j)}(m,n)} + A \bar{S}_c \eta_c (Q_{c1}^a + Q_{c1}^b)_{(x,y)} + A \bar{S}_0 \eta_0 (Q_{c1}^a + Q_{c1}^b)_{(x,y)} + A \bar{S}_k \eta_k (Q_{k1}^a + Q_{k1}^b)_{(x,y)} \quad (2.1.3)$$

(2.1.2)和(2.1.3)式中:

$S_{(x,y)}$ ——网格 (x,y) 内污染源的SO₂排放量。

A ——燃料中含硫量换算成SO₂量的系数,即SO₂和S的分子量之比。

\bar{S} ——燃料的平均含硫量(%)。

η ——燃料燃烧时S的释放率。

Q ——燃料耗用量。

$\sigma_{i(j)}(x,y)$ ——某街道或公社处于 (x,y) 网格内的面积。

$\sum_m \sum_n \sigma_{i(j)}(m,n)$ ——某街道或公社在不同网格内的面积之和,即某街道或公社

的面积。

表 2.1.1 閘北、杨浦、南市电厂烟囱高度、出口内径、烟温、烟气量

厂 名	烟囱高度 (米)	出口内径 (米)	出口烟温 (℃)	烟气排放量 (标米 ³) × 10 ⁴	年SO ₂ 排放量 (吨)
閘北电厂	36.27	2.0	153	5902	2705
	35.5	2.0	161	18005	
	36.14	2.08	141	54010	
	35.66	2.0	174	23983	
	60.0	4.0	122	357931	8252
	60.0	4.0	70	212739	6182
	60.0	3.3	146	356856	4504
	60.0	3.3	152	376906	4218
杨浦发电厂	42		118	40100	5579
	42		144	37100	
	42		135	58200	
	42		137	60000	
	40(四根)				
	105	5.5	130	473300	11252
南市电厂	45	1.5	144.1	3116	2595
	45	1.9	143.4	3311	
	47	1.7	133.5	42856	
	47	1.7	161.6	47200	
	47	1.7	139.4	60305	
	60	3.5	125.1	158459	1923

表 2.1.2 面源内主要工厂所在网格及SO₂排放量 单位: 吨

网格 y.x	厂 名	第一季度	第二季度	第三季度	第四季度	全 年
2-20	宝钢三厂	2366.6	1960.4	2182.0	2126.2	8635.2
8-15	十七漂染厂	76.9	75.4	70.3	76.7	299.3
"	第二十三漂染厂	37.9	35.2	33.2	27.9	134.3
"	色织染纱厂	35.3	31.9	25.5	28.6	121.3
11-18	上海织呢厂	103.7	83.6	103.7	83.6	374.5
"	染化二厂	91.4	81.9	36.5	91.8	301.5
"	染化一厂	64.3	53.1	41.6	63.3	255.2
11-23	上海水厂	245.4	220.6	168.2	194.1	828.4
"	上海卷烟厂	61.7	50.9	51.3	63.1	230.0
"	上海纺织厂	32.0	29.5	21.4	33.1	116.0
11-22	第六印染厂	146.5	151.8	130.7	137.4	566.5
"	自行车厂	83.3	61.5	62.8	70.5	280.9
"	夹化二厂	65.4	47.8	53.3	82.2	248.4
"	第一纺织印染厂	49.3	46.8	43.1	46.1	187.3
"	第二 " " "	28.3	28.4	25.7	27.3	109.7
21-18	上海冶金厂	250.6	237.7	216.7	219.0	984.0
21-19	宝钢一厂	2752.2	2864.4	2798.2	2750.8	11655.6
21-20	吴淞煤气厂	160.4	164.0	147.6	164.0	656.0
22-18	上海硫酸厂	562.8	562.7	562.8	562.7	2251.0
"	海光造纸厂	151.2	129.7	130.5	116.3	557.7
"	石灰厂	40.9	37.2	33.5	37.2	148.8
22-17	吴淞化工厂	266.2	287.1	266.2	282.1	1101.6
"	吴淞水厂	217.5	214.4	211.5	223.7	927.1
23-20	新华造纸厂	124.2	106.0	63.0	104.7	397.9
"	吴淞发电厂	139.0	128.0	120.0	115.0	512.0
23-19	锦江化工厂	34.5	30.4	30.2	46.6	141.7
23-18	吴淞化肥厂	177.4	161.3	145.2	161.3	645.2
25-19	宝钢二厂	1620.7	1769.5	1691.4	1491.8	6573.3

表2.1.3 宝山县年耗煤量500吨以上工厂在分布图上的位置

序号	(y-x) 坐标 位置	厂名	序号	(y-x) 坐标 位置	厂名	序号	(y-x) 坐标 位置	厂名
1	25-19	上钢五厂	28	16-12	虹强电容厂	55	20-24	宝山化工厂
2	21-19	上钢一厂	29	16-10	皮革化工厂	56	29-6	利用锁厂
3	22-17	吴淞化工厂	30	16-11	皮革制品厂	57	17-23	线路配件厂
4	21-20	吴淞煤气厂	31	15-21	唐大路袜厂	58	16-21	建筑机械厂
5	23-18	吴淞化肥厂	32	21-18	上海铁合金厂	59	16-19	蔬菜加工四厂
6	22-17	吴淞水泥厂	33	20-12	1101厂	60	17-18	第二纺织机械厂
7	23-20	新华造纸厂	34	16-10	红光皮革厂	61	22-18	石灰厂
8	22-18	海光冶炼厂	35	16-11	南大化工厂	62	36-6	罗泾化肥厂
9	38-1	跃进化工厂	36	23-19	浦江化工厂	63	29-6	罗店化肥厂
10	16-12	上海钢厂	37	22-21	钢管厂	64	33-11	盛桥糖厂
11	16-12	大场肉类厂	38	23-18	上海硫酸厂	65	26-18	吴淞建材厂
12	16-17	宝山冶炼厂	39	23-20	国棉八厂	66	16-12	漂染厂
13	15-21	新利发酵厂	40	13-14	永源制品厂	67	16-16	煤渣砖厂
14	14-23	第十八毛纺织厂	41	24-15	宝山钢铁厂	68	25-16	杨行水泥厂
15	15-23	乳胶厂	42	18-9	红光制革厂	69	25-15	杨行化工厂
16	20-17	玻璃仪器厂	43	24-15	宝山红葡萄酒厂	70	23-21	淞南矿厂
17	24-19	瓷器厂	44	24-12	吴淞铜管厂	71	29-6	罗店农机厂
18	23-19	铁制四厂	45	17-18	车配四厂	72	30-14	月浦化肥厂
19	22-21	东海四厂	46	16-13	大场铜器厂	73	16-23	五角场自行车椅 厂
20	21-18	张华浜办事处	47	15-12	红光弹性材料厂	74	17-12	宝山大场化工厂
21	19-20	锻造厂	48	17-19	87461部队	75	20-26	上海柴油机厂
22	16-19	江湾轧钢厂	49	16-13	801厂	76	16-25	化纤五厂
23	16-18	虹光化工厂	50	16-19	印刷器材厂公司	77	20-25	化工研究院一厂
24	16-23	木材加工一厂	51	16-23	38601厂	78	11-22	染化十二厂
25	16-25	立新建材厂	52	15-20	742厂	79	11-22	自行车厂
26	15-23	上海拖拉机厂	53	16-22	上海香料二厂	80	11-22	第六印染厂
27	16-12	宝华冶炼厂	54	15-23	软质材料厂	81	11-22	第一绸缎厂

各符号右下角标记 c 、 o 、 k 、 i 、 j 分别表示煤、油、焦炭、某街道和某公社。各符号右上角标记 m 、 d 、 a 、 b 、 e 分别表示市场、居民、大厂、中厂和小厂。

1978年上海市燃料煤的平均含硫量为1.28%；1979年上海市燃料油的平均含硫量为0.84%，焦炭的平均含硫量为0.75%。

3. SO₂污染源整理结果：

(1) 高烟囱排放源：

评价区60米以上烟囱有6根，集中在闸北、杨浦、南市三家电厂内，由于电厂燃料消耗量大，SO₂排放量占评价区总排放量的29.1%。因此，根据要求对电厂的烟囱分别统计烟囱高度，出口内径，出口烟气温，烟气年排放量；对60米以上烟囱分别计算SO₂排放量，对60米以下烟囱则以厂为单位计算SO₂总排放量，统计结果详见表2·1·1。

(2) 面源：

评价区内SO₂的年排放量在100吨(相当于燃煤量5000吨)以上的大厂作为重点。按厂所在地点的网格编号分别统计其各季度及全年SO₂排放量，统计结果详见表2·1·2。

评价区内其他污染源也综合统计在评价区所划分的每平方公里为单位的网格内。由此得到上海市评价区每平方公里内所有污染源四个季度及全年的SO₂总排放量分布图*(其中包括高烟囱排放值)。

表2·1·3为宝山县年耗煤量500吨以上工厂在图中的位置与厂名。

二、大气污染气象背景场

1. 风场特征

(1) 地面风场：

宝钢地区年最多风向为东南东风，出现频率12%，次多风向为西北偏北风(NNW)，出现频率为9%。一年四季主导风向随季节有明显的变化。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，其他月份是春、秋过渡季节，春季主导风向仍为东南东风，秋季主导风向为东北风，月最多风向出现频率一般在13~19%。

一月份时值上海隆冬季节，该月风频分布表现了典型的冬季风特征，月最多风向为西北偏北风，出现频率高达17%，偏南风很少出现。七月份是盛夏季节，该月风频表现为典型的夏季风特征，月最多风向分布在偏东南的三个方位，频率都是14%，偏北风很少出现。四月份偏北风比一月份已显著减少，月最多风向已转为东南偏东风。十月份最多风向为东北风，都反映了季节过渡性质，详见图2·2·1。

宝山年平均风速4.3米/秒，全年风速春季最大(4月份4.8米/秒)，秋季最小(10月份3.8米/秒)。各风向平均风速以西北偏北风最大，平均5.2米/秒，西南风最小，仅3.1米/秒。风速分布以2~3米/秒出现频率最多(4月3~4米/秒)，其次是3~4米/秒(4月是2~3米/秒)。

宝钢位于上海市区的北方，当宝钢地区吹偏北风时，污染物向南输送，有可能影响市区。宝钢地区偏北风的频率自二月份以后，逐渐减少，七月份最少，八月份以后偏北风迅速增多。本地区冬半年十月到次年二月，每月偏北三方位风(NNW-N-NNE)的频率合计都在30%以上，详见图2·2·2，偏北五方位风(NW-N-NE)的频率合计都在45~50%。

持续的偏北风以冬季一月份最多，如考虑在某一风向左右各一个方位摆动作为持续计

* SO₂总排放量分布图详见附件三。

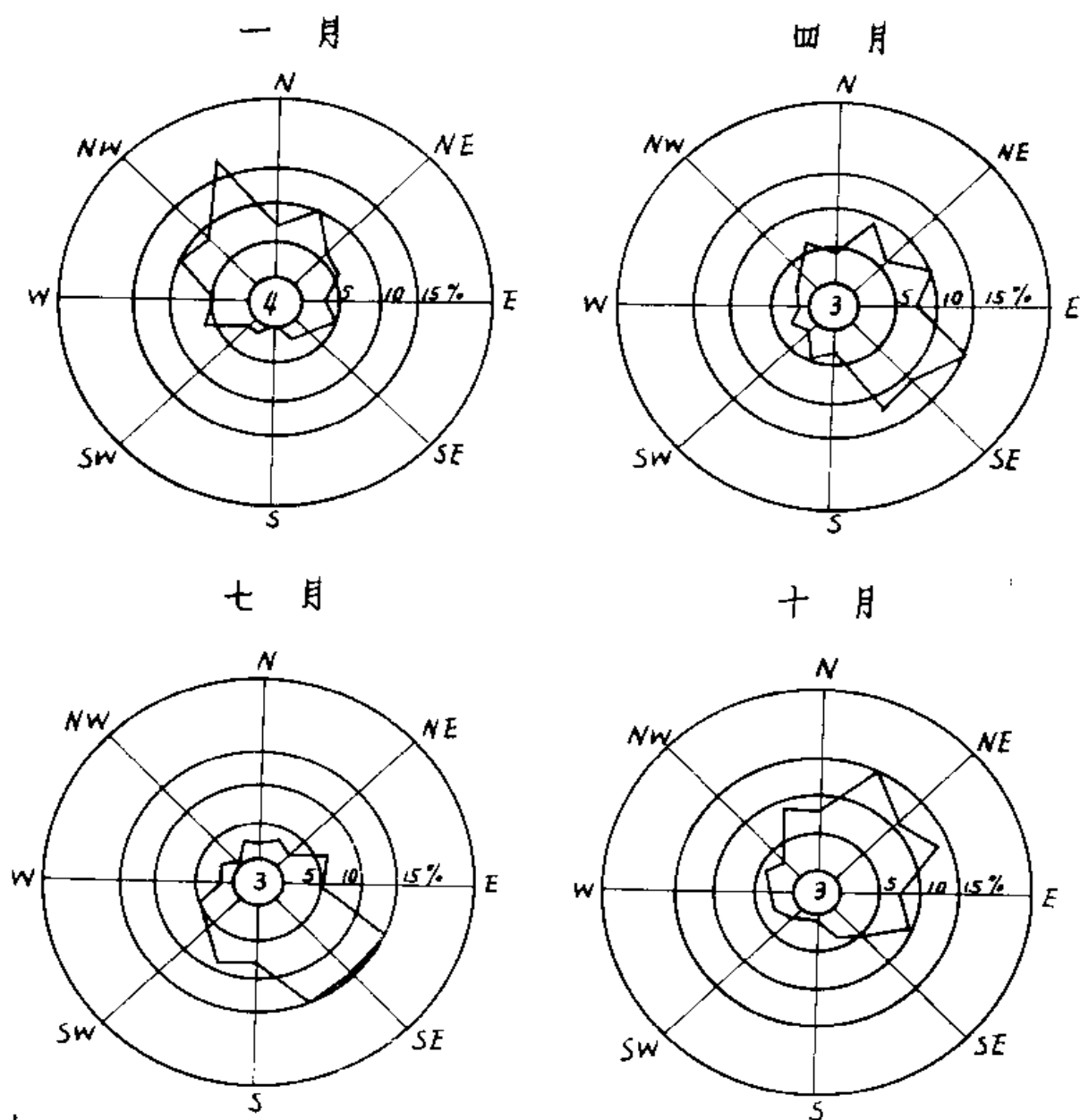


图 2.2.1 烟台1,4,7,10月地面风向频率

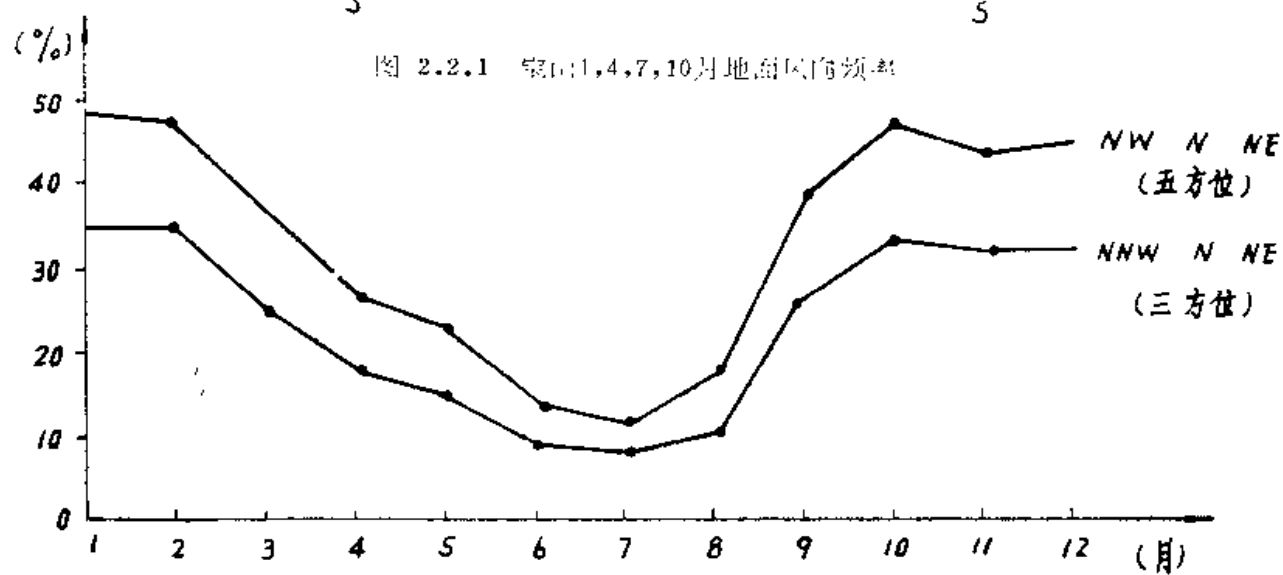


图 2.2.2 偏北风频率图

算, 50%出现频率为1.4~1.8小时, 10%出现概率为7.3~12.7小时, 最长曾达115小时(西北偏北风)。夏季七月份持续偏北风最少, 仍考虑某一风向左右各一个方位摆动作为持续计算, 50%出现概率0.9~1.0小时, 10%出现概率4.6~7.2小时, 最长曾达65小时(东北偏北风)。详见下表。

宝山站各月偏北风稳定持续小时数(1976—1980年)

风向	频率 摆动 范围(%)	1月			11月			12月			1—12月		
		1	3	5	1	3	5	1	3	5	1	3	5
西北	50%	0.8	1.4	2.3	0.7	1.0	1.6	0.7	0.9	0.9	0.6	1.1	1.5
	25%	1.5	3.9	8.2	1.5	3.0	3.4	1.0	2.9	2.3	0.9	2.8	4.4
	10%	2.6	7.3	17.1	2.8	7.6	9.6	2.4	4.6	6.4	1.7	5.8	9.0
	最长	8	48	135	7	18	38	4	13	18	7	18	48
西北偏北	50%	1.0	1.7	2.2	0.8	1.6	1.6	0.7	0.9	1.1	0.9	1.0	1.8
	25%	2.1	4.6	8.0	1.6	3.0	5.9	1.3	1.9	2.9	1.8	2.9	5.8
	10%	3.9	11.8	21.1	2.8	5.9	12.8	2.6	5.1	7.0	3.2	6.3	13.7
	最长	18	115	135	13	23	48	5	13	33	13	38	65
北	50%	0.8	1.8	2.2	0.8	1.1	2.3	0.7	0.9	1.3	0.8	1.6	1.8
	25%	1.8	5.1	6.9	1.7	2.9	5.8	1.2	2.2	3.3	1.5	4.7	6.5
	10%	3.3	12.7	23.0	2.8	7.2	13.8	2.6	5.5	7.3	2.7	12.6	20.2
	最长	8	48	115	6	38	48	7	33	18	6	38	155
东北偏北	50%	0.9	1.2	1.9	1.0	1.8	1.6	0.7	1.0	1.2	0.9	1.3	2.6
	25%	2.1	3.4	6.0	1.9	4.1	4.0	1.4	2.6	3.0	2.4	4.4	7.6
	10%	4.5	8.7	20.5	3.6	8.9	11.3	2.7	7.2	8.1	4.3	11.4	21.3
	最长	13	55	105	9	33	65	7	65	85	13	65	135
东北	50%	1.0	1.2	1.5	1.0	1.1	2.1	0.8	1.0	1.6	0.9	1.6	1.8
	25%	2.1	3.6	4.3	2.0	3.7	6.6	1.4	2.6	5.2	1.9	5.0	6.3
	10%	4.1	9.9	12.0	3.9	9.7	16.4	2.4	5.8	10.2	3.8	13.0	18.9
	最长	10	55	65	13	38	155	9	33	95	9	75	115

(2) 1000米以下各高度的风向频率和平均风速:

冬季(一月份): 地面最多风向为西北风, 高度升到100米就顺时针转为北风, 再向上基本稳定在北风附近。详见图2·2·3。平均风速地面为3.6米/秒, 随高度升高而增大, 到200米以上, 风速稳定在6米/秒左右。午后, 地面转为北风, 100米以上转向西北到西北偏北风,

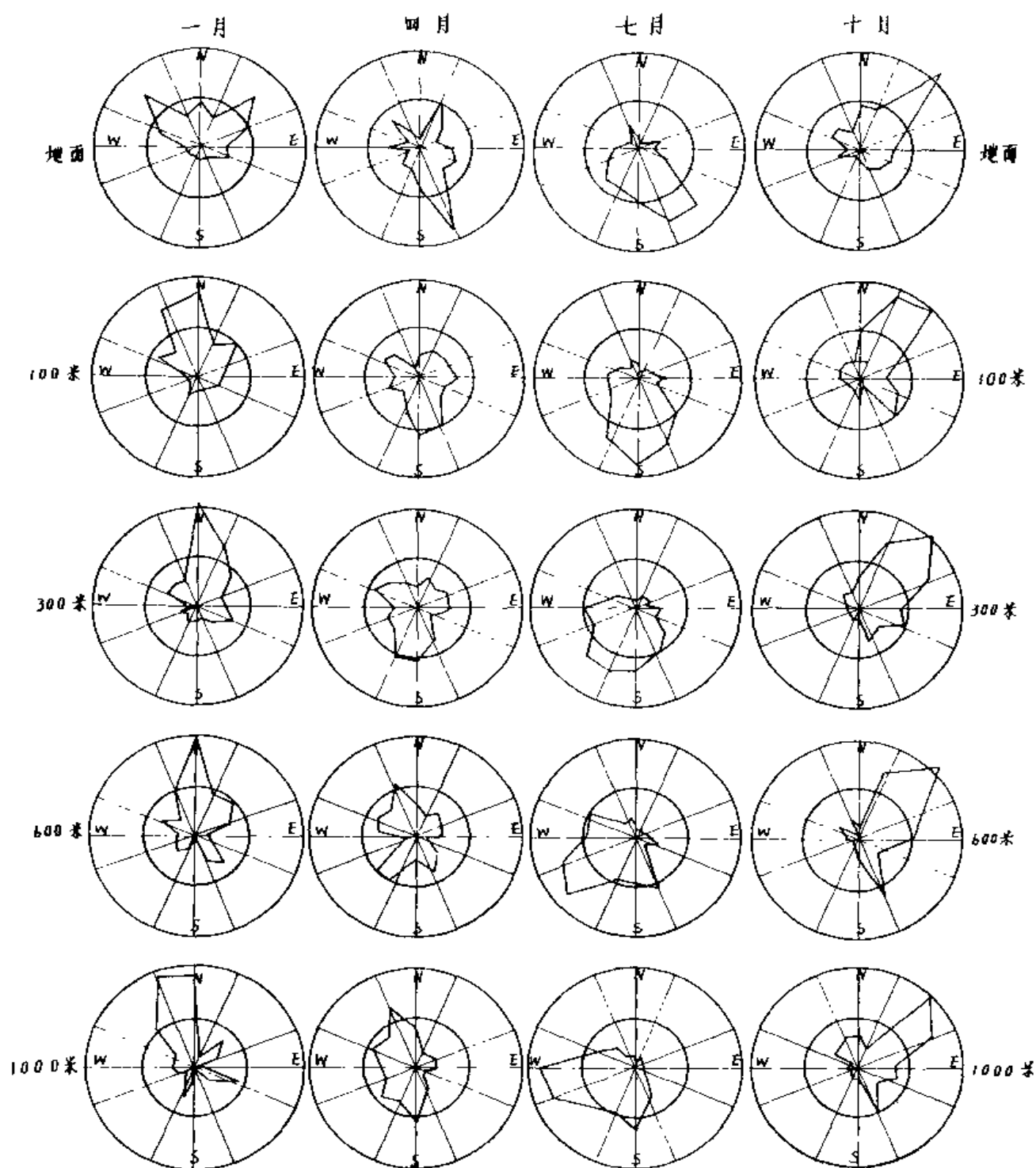


图 2.2.3 中田大场市场1、4、7、10月各高度上风向频率

地面风速增大到5米/秒，但空中风速比早上减小。

春季(四月份)：地面最多风向为东南偏南风，随高度增加而顺时针偏转为西南风。地面平均风速4米/秒，随高度增加，到400米以上稳定在8米/秒左右。午后风向随高度变化的规律与早上相似。高空风速减少到6~7米/秒。

夏季(七月份)：地面最多风向为东南风，随高度升高到1000米顺转为偏西风。风速自地面的3.7米/秒，随高度升高而增大到7米/秒。午后，地面最多风向为东南风和西南风，东

南风频率随高度升高而减少,西南风频率随高度升高而增加。400 米以下东南风频率居多,400米以上则西南风最多,且逐渐转为西风。地面平均风速4.7米/秒,500米以上增加到6米/秒。

秋季(十月份):地面最多风向为东北风,自地面到1000米高度风向很少变化,基本上都稳定在东北风,地面风速3.3米/秒,自300米以上稳定在7~8米/秒。午后,地面风向为东北偏东风,自100米开始随高度升高而逐渐顺转,到1000米最多风向转为东北偏北。地面风速4.9米/秒,300米以上增加到6米/秒。

(3) 风速垂直变化:

根据大场机场(宝钢南12公里处)五年的测风资料计算,使用 $u = u_1 \left(\frac{z}{z_1}\right)^m$ 指数律逼近求得不同厚度气层的幂指数 m 值如下:

气层厚度(米)	月份	一 月	四 月	七 月	十 月
10~100		0.191	0.108	0.159	0.193
10~200		0.170	0.147	0.145	0.187
10~300		0.178	0.169	0.161	0.237
10~400		0.176	0.178	0.166	0.210
10~500		0.170	0.182	0.164	0.238

根据1980年12月宝钢厂区大气稳定度处于中性层结下,幂指数 m 值在0.17~0.26。

(4) 小风频率分布:

静风或小风时不利于污染物的输送扩散。静风时,地面烟气直上,风速为0.0米/秒。小风一般都取平均风速在1.0米/秒或以下。

宝山各月静风频率(每天四次记录统计)最多的季节是在冬季(11月至1月)约在4%左右。春季静风最少。一天中静风出现基本在晚上,且下半夜比上半夜多,尤其在午夜及天亮以前,静风出现机会更多。

小风出现频率冬季一月份及秋季十月份最多,出现频率在10.0~10.4%(1976~1980年每天24小时记录统计),春季四月份最少,占7%,出现时间大部份都在夜间,上半夜在5~15%,下半夜在10~20%。

宝山各月小风(≤ 1 米/秒)各级持续小时出现次数如下表:

月	持续小时	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	>10	最长
一 月		18.4	4.8	2.6	2.4	0.6	0.6	0.8	0.6	0.6	0.4	0.4	17
四 月		12.2	2.4	3.0	1.6	0.6	0.4		0.4	0.4	0.2	0.2	13
七 月		16.0	4.2	3.6	2.6	0.8	0.8	0.4				0.2	12
十 月		14.6	3.8	2.2	2.0	1.8	1.2	0.8	0.2	0.6	0.4	0.4	14

小风持续时间大约有一半机率仅一小时,但每月平均有一次持续8~9小时的小风,冬

季一月份和秋季十月份尤多。最长的小风持续时间长达17小时。

(5) 海陆风:

本地区地处东海之滨,北靠长江,南临杭州湾。宝钢沿江地区是本市出现海陆风较多的地区。江岸走向近于西北——东南方向,风向为西北偏北到东南偏东的风为海(江)风(向岸风);风向为东南偏南(SSE)到西北偏西(WNW)的风为陆风。但是当季风不很大时,海陆风转换使每天的风向随时间有偏转。

由于季风盛行,典型周期性的海陆风不常见。宝山气象站一月份多年平均各时风向出现次数中,最多风向为西北偏北风,夜间22时开始有一支西到西南风(陆风)也有相当频率,上午10时后减弱消失,11时后西北偏北风(海风)出现频率显著增多。夜晚这支离岸风在川沙气象站就不明显了,说明沿江地区冬季陆风伸展范围比较狭窄。

白天当地面高压中心在上海附近时,地面气压梯度比较弱,天气晴朗,上海沿海(包括宝山)易出现向岸的海风风场,但持续时间不长,当高压中心入海后,高压后部的偏东风加强,海风即告淹没。此种现象冬季每月仅2~3次。

夏季整个上海地区多偏南风,宝钢沿江一带有时会出现东北风(向岸海风),东北风最盛时可向西伸入到嘉定县,南到市区边缘的江湾、大场机场,在宝山南部、川沙北部及市区东北部造成地面风向的辐合。

此种海陆风情况,因各年阴雨天的多寡而使年际变化较大。

(6) 城市热岛:

上海市是一座人口密集的大城市,140多平方公里的面积上集中了600~700万人口。城市绿化面积每人平均仅0.4~0.5平方米,大量的工厂企业、众多的车辆,因此,城市热岛效应是明显的。市中心的最低气温平均比市郊高3℃左右。热岛最多的是秋季,最少的是夏季。

一日中热岛最强的是在傍晚和清晨。

由于热岛的存在,有时会造成市郊较凉的空气流朝城市中心辐合,形成“乡村风”。“乡村风”的这种辐合流场在上海也并不多见。

2. 逆温

(1) 逆温的出现日数:

低空的逆温层(指逆温层底高在1000以下,包括接地逆温)七时出现次数以春季四月份最多,平均24.8天。详见下表。十月份次之,平均23.0天,最少的在夏季七月份,平均20.8天。

月 \ 时	1	7	13	19
一	20.8	22.2	15.0	21.6
四	25.0	24.8	16.6	23.8
七	23.8	20.8	11.6	15.8
十	24.0	23.0	7.3	20.0

就接地逆温来讲,最多的是秋季十月份,平均18.2天,冬季一月份平均14.8天,最少的是夏季七月份,平均9.4天。不接地逆温春季四月份最多,平均16.4天,冬季一月份最少,

为11.2天。

(2) 接地逆温:

接地逆温的底是在地面,它的顶高就是逆温层的厚度。各季节的接地逆温平均厚度,以春季最厚,七时平均333米,冬季一月份次之,平均266米。出现最多的厚度是201~250米之间(约占1/3)。夏季接地逆温厚度最薄,几乎近一半的厚度都在51~100米之间。

接地逆温的强度,半夜一时最强,十月份平均达 $1.23^{\circ}\text{C}/100\text{米}$,一月份、四月份在 $1.03\sim 1.09^{\circ}\text{C}/100\text{米}$ 。

(3) 不接地逆温:

不接地逆温的底高,冬季一月份及秋季十月份较多在800米以上,春(四月份)、夏(七月份)季较多在800米以下。逆温层厚度一般在400~500米,夏、秋季较薄,约250~350米。不接地逆温的强度平均 $0.5\sim 0.9^{\circ}\text{C}/100\text{米}$ 。最常见的为 $0.5^{\circ}\text{C}/100\text{米}$ 。

以上资料均采用局观象台(上海县龙溪路)探空仪记录统计得到。为比较宝钢地区与局观象台两地的差异,在1980年8月现场考察中,七时、十九时观象台共测得逆温6次及8次,宝钢均无逆温出现。1980年12月考察中,七时观象台测得22次,宝钢仅17次,约为观象台的85%。十九时宝钢逆温约为观象台的62%。

三、大 气 污 染 状 况

1. 概述

为了估算宝钢投产后排入大气的二氧化硫(SO_2)的污染范围和污染程度。要在宝钢投产前对其可能的污染范围进行调查。在779平方公里范围设大气监测点22处,每季度采样11昼夜,共有40天的资料。根据这些资料分析了各监测点的 SO_2 污染现状。

(1) 调查范围及监测点的分布:

监测区域范围:以主要污染物排放点宝钢为中心,根据 SO_2 排放量和排放高度所估算的最大污染距离约25公里左右,以此为半径的范围布设监测点。

监测点的分布考虑了从环境现状、地形、气象以及各个方位不同距离的代表性。郊区测点选在以其为中心1公里范围内无六十米以上烟囱的污染源的地区,市区尽可能在宽敞处设点,在基本保证监测数据代表性的基础上,照顾到工作安全,生活联系方便的要求。从污染中心与市中心南北联线,在10公里内90°角,10公里外15°角为重点监测区域,共计布设监测点22处,其中重点区域16处占73%。采样点的高度离地面4~10米处,避开交通废气污染的情况下,可以在地坪呼吸带高度采样。(布点设置见图2.3.1)

(2) 采样方法及时间:

为了保证采样质量,基本上采用把握性大的常用器材,二氧化硫用U型玻璃滤板喷泡管,采气量为0.5升/分、采样20分钟。

采气天数及样品数:按计划要求每季度中间月份为一期,每期十天。

第一期于1980年5月1日至13日;

第二期于1980年8月11日至20日;

第三期于1980年12月3日至12日(因气象监测延期为了便于大气污染资料与气象资料的综合分析,故相应延期);

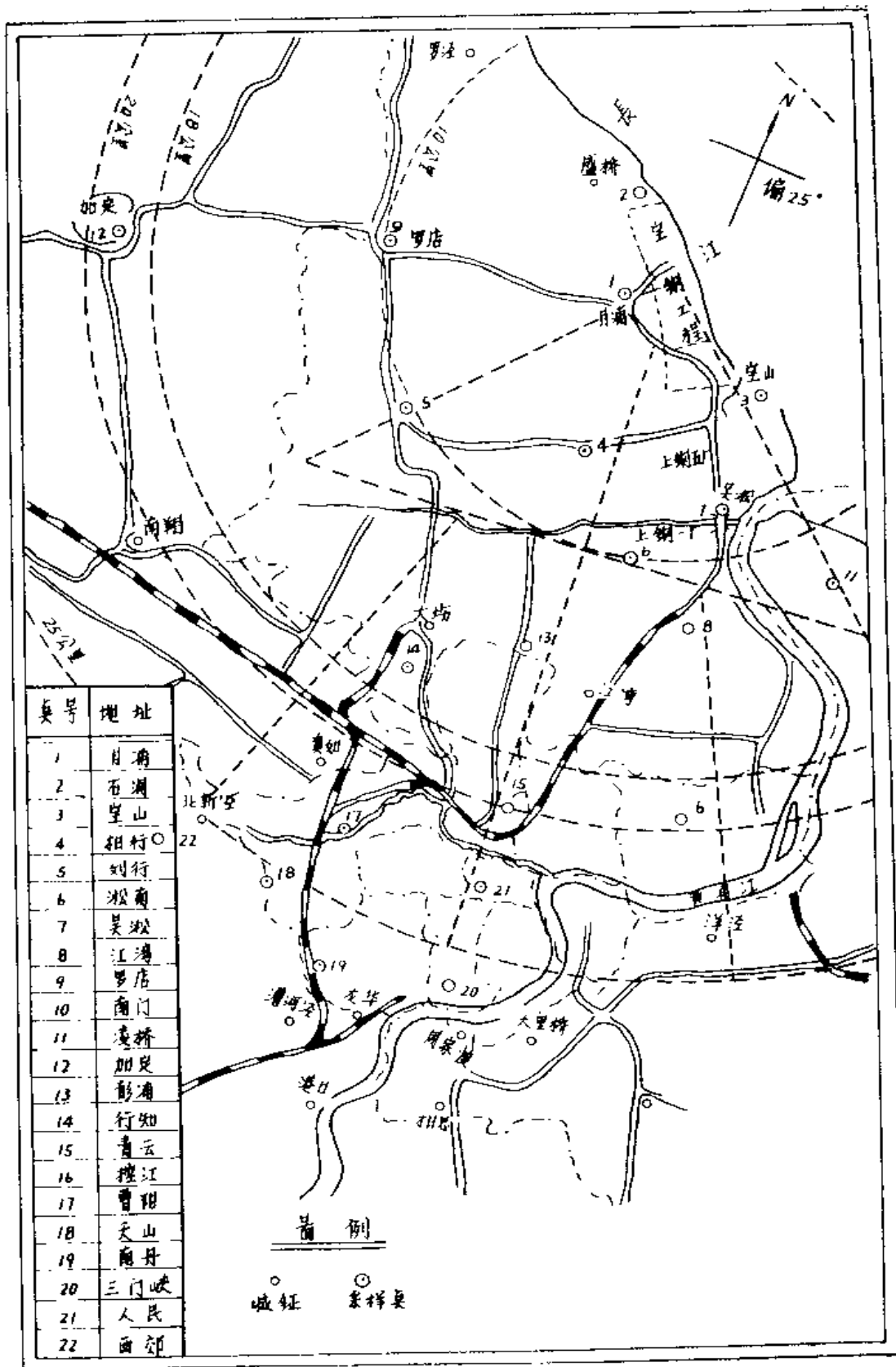


图 2.3.1 评价区监测点分布图

第四期于1981年2月17日至26日。

各监测点每天的样品数为：二氧化硫间隔二小时采一个样品，每天取样12个，总共采集

10426个样品。

(3) 检验方法:

原则上按照中国医学科学院统一测试方法:

盐酸付玫瑰苯胺比色法进行检测[1], 最低检出值为 $0.01\text{mg}/\text{m}^3$

2. 污染物浓度分布及季节变化

各监测点按季度及全年计算出各污染物样品的算术平均值、标准差、计算10%、50%、90%的百分位数值, 以此反映大气污染的平均水平, 低值和高值的污染幅度。为了反映污染浓度超出卫生允许限度的程度, 计算出个位数的质量指数和样本数的超标率。为了反映污染浓度的时间变化, 整理分析各季度的最大污染日及最大污染时。

(1) 二氧化硫浓度分布及季节变化:

总平均值: $0.013-0.170(\text{mg}/\text{m}^3)$

最大日平均值: $0.032-0.598(\text{mg}/\text{m}^3)$

90%位数值: $0.03-1.60(\text{mg}/\text{m}^3)$

超标点数: 有8个测点超标, 占36%, 其中超标日超过10%天数的有6个采样点, 即吴淞、青云、曹阳、南丹、三门峡、人民广场。

SO_2 最大值检出的前五位点为: 20号点(三门峡)

15号点(青云)

17号点(曹阳)

7号点(吴淞)

21号点(人民广场)

SO_2 的最大污染季出现在四季度。

SO_2 的最大污染时间出现在6时至8时。

根据实测总平均浓度和90%位数浓度地区分布图(图2.3.2, 2.3.3), 二氧化硫的污染以市中心区比较严重。

3. 小结:

(1) 二氧化硫有36%的测点超标。以市区和吴淞工业区的污染比较严重。

(2) 大气质量等级: 大气质量分级方法无统一规格, 一般是从实际情况出发, 便于分辨污染的综合差异, 提出治理的重点区。本文采用单项指数和综合指数划分法, 凡指数低于0.5者大致等于卫生标准的二分之一以下, 定一级为清洁区; 超过0.5者, 即接近卫生标准, 定二级为尚清洁区; 大气质量指数超过1者, 即已超过卫生标准时定三级为轻污染区。在污染比较重时, 定为四, 五级为中污染区和重污染区。在重污染区其综合质量已超过2。大气等级分布见(图2.3.4)。本调查区域范围内共775平方公里。各大气等级面积如下:

清洁区	一级	0平方公里	占0%
尚清洁区	二级	255平方公里	占32.7%
轻污染区	三级	394平方公里	占50.6%
中“”“	四级	119平方公里	占15.3%
重污染区	五级	11平方公里	占1.4%

污染等级图显示了, 大部分地区为轻污染区占50.6%, 在市区有75平方公里为中污染区, 11平方公里为重污染区, 吴淞工业有44平方公里为中污染区, 在调查区的西北地区较为清洁。

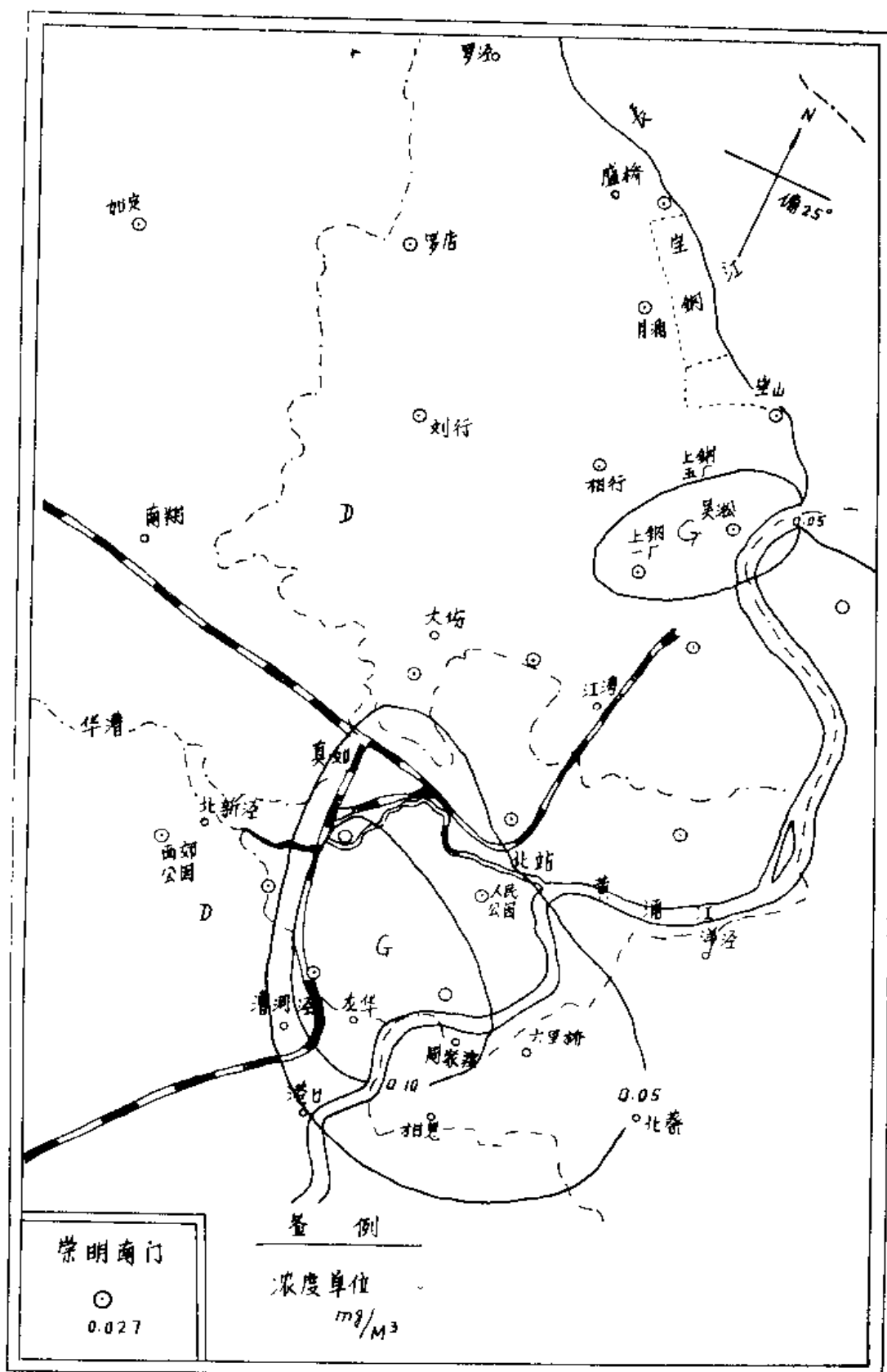


图 2.3.2 二氧化硫年平均浓度分布图

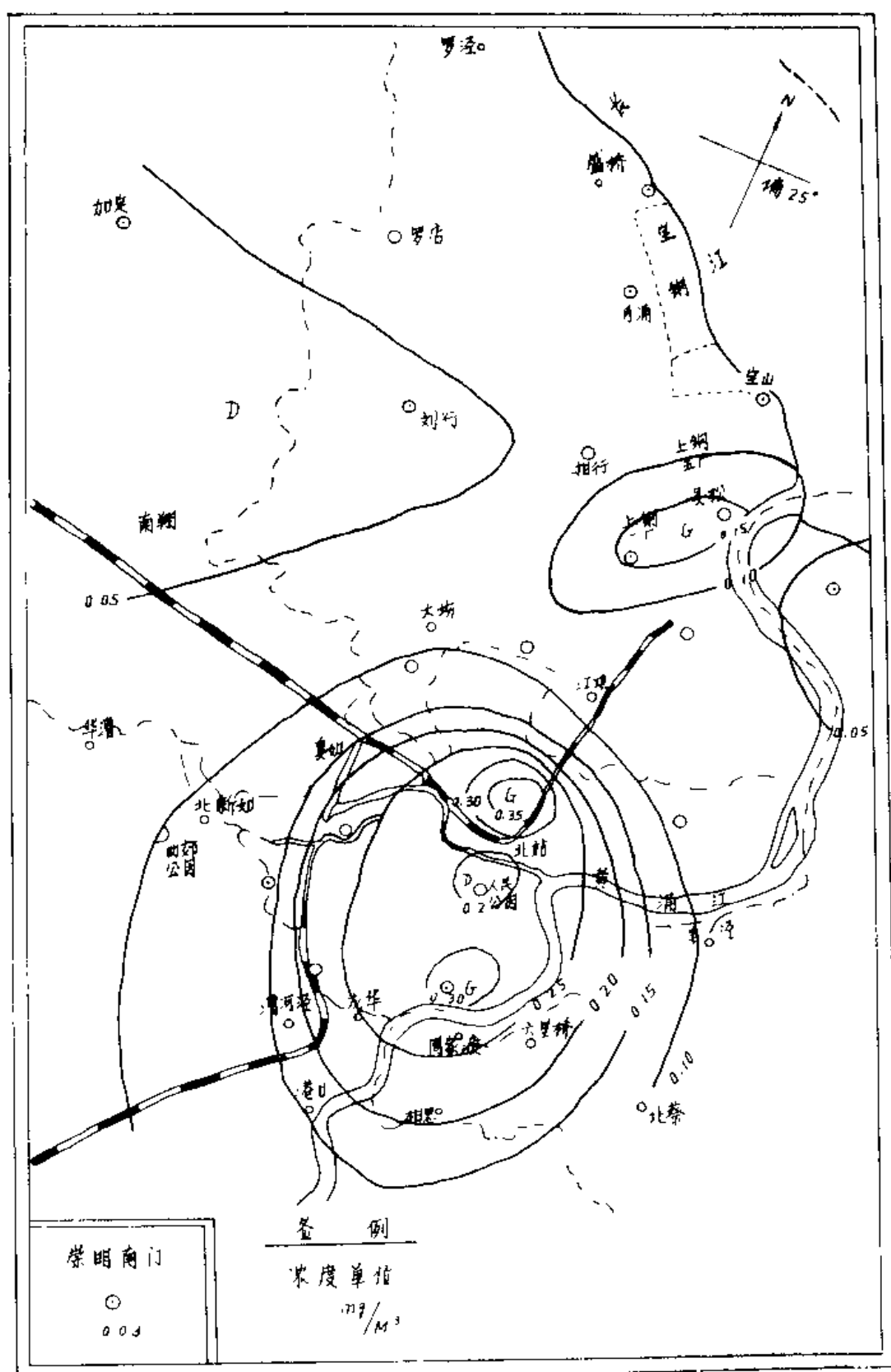


图 2.3.3 二氧化硫全半90%位数值分布图

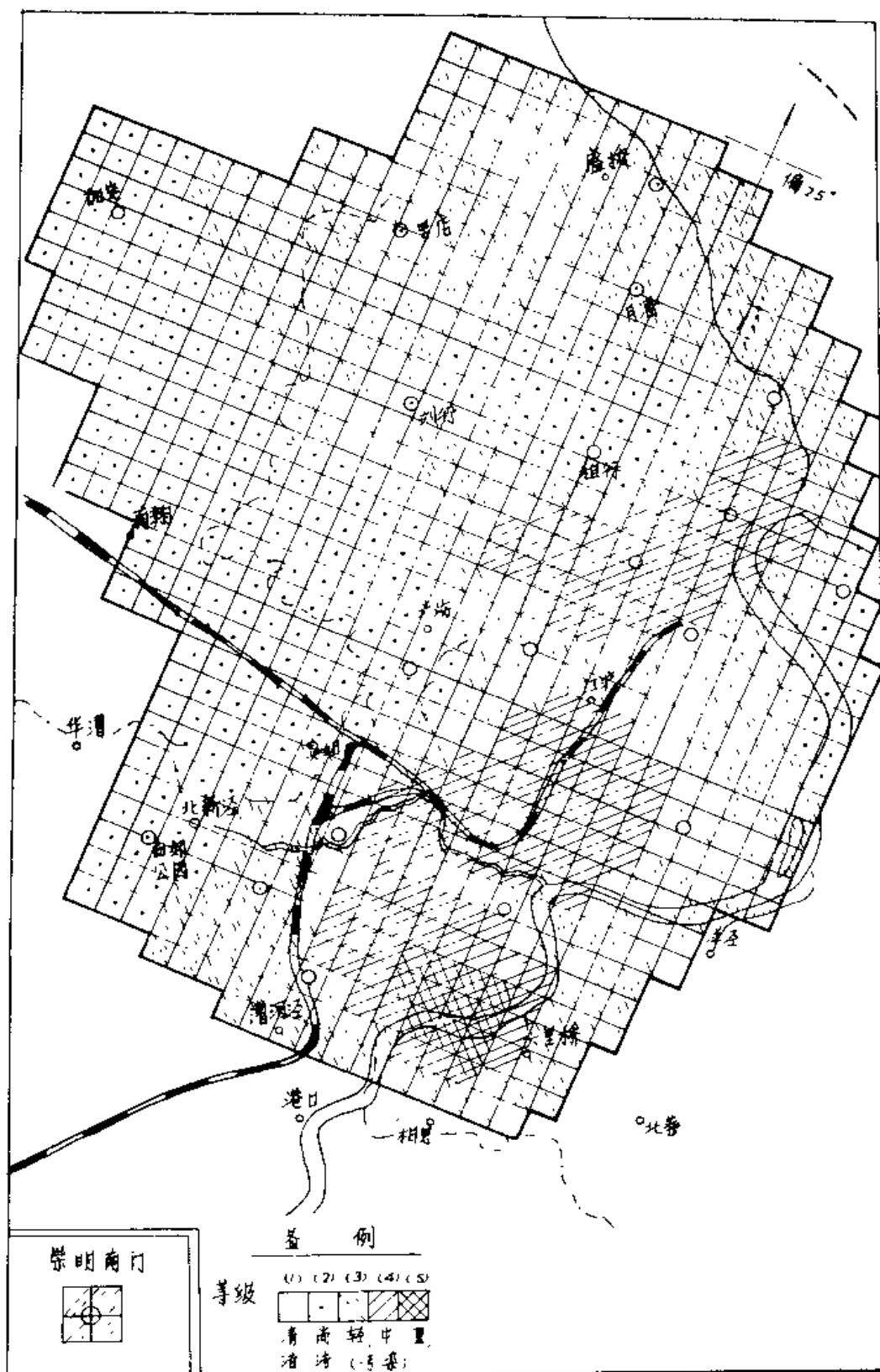


图 2.3.4 大气质量等级图

第三章 大气环境质量予断评价

宝钢大气环境影响予断评价工作的主要任务是推算宝山钢铁总厂整个工程投产后,排放的 SO_2 对上海市及宝钢地区的影响,为了建立适用于宝钢评价区的大气污染模式,除了要掌握该地区气象背景场特征外,还必须研究该评价区中距离(30公里)的大气扩散规律和烟气抬升规律。

一、大气扩散规律的研究

宝钢工程的东北部濒临长江,南部由平原过渡到市区,下垫面复杂,海陆环流和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,必须进行中距离扩散实验,以了解评价区的扩散特征,并取得模式所需要的扩散参数。

探索某一种特殊规律,必须有相应的有效探测技术为其获取资料,否则难以成功。过去,大气物理所四室在研究山区、工业区大气扩散规律时,使用过 SO_2 ,荧光粉示踪方法,释放烟雾并用立体摄影和激光雷达方法取得大气扩散资料,但是,只得到七公里距离内的扩散规律。后来,国内一些单位用 SF_6 作为示踪物,用人工取样和色谱分析技术,也只得到七公里距离的扩散规律。这是因为中距离扩散实验若采取人工布点采样方式,会在布点、通讯联络、精度保证等方面带来极大的困难。国外为探索区域大气污染的规律和寻求治理途径,开展过近百公里和千公里距离的大气扩散实验。相应地发展了扩散实验技术,其中以采用 SF_6 或碳氟化物(Perfluorocarbons, C_8F_{12} , C_7F_{14} , C_8F_{18})作示踪气体应用最广泛,且最有成效。用自控取样仪布点克服了人工采样带来的大量人力耗费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。但是,这就需要大量昂贵的自控仪器,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,而又实时得到结果的仪器,既可减少人力和物力的耗费,又可得到浓度的连续分布。根据我们提出的要求,美国布鲁克海文国立实验室为我们研制的两台连续示踪物检测仪就是这种较为理想的仪器,为中距离大气扩散实验提供了有效手段。

1981年10月,我们在京津地区进行 SF_6 示踪实验,用两辆汽车装载连续示踪物检测仪在15公里以远弧线检测,还用汽车载人往返穿行,人员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 浓度分布,最远取得70公里距离的浓度分布,这样,为圆满完成宝钢评价区的中距离大气扩散实验提供了保证。所以,在我们完成京津地区大气扩散实验后,接着,又于1981年12月至82年1月,成功地在宝钢评价区进行了24公里距离的 SF_6 示踪扩散实验。

根据课题要求,利用 SF_6 示踪实验技术要获取偏北风条件下的中距离大气扩散资料和摸清宝钢排放的 SO_2 对上海市区的影响,这就要在北北东、北和北北西三方位风向下进行实验。但是,从汽车取样所要求的条件考虑,在宝钢评价区只能在东北、北北东和北三个方位风

向时,七条弧线才能都取到比较完整的 SF_6 浓度分布。而在西北风或北北西风时,宝钢自备电厂烟囱口释放的 SF_6 示踪气体将被吹到长江,或越过黄浦江吹到浦东地区,汽车无法取样。宝钢地区出现东北、北北东和北风的频率本来就不很高,为使 SF_6 示踪气体能被输送到30公里距离,还要求风向要维持较长时间。假定平均风速为2米/秒左右,则要求风向能在67.5度范围内维持4~6小时,根据予评价第一课题的统计结果,这种风出现的频率只有25%左右。若进一步要求下风地区也是偏北风,则其出现的频率更低。本次扩散实验从1981年12月25日等待条件准备实验开始,一直到1982年元月13日因宝钢自备电厂调试考核设备,使实验被迫停止为止,总共近20天时间里,出现符合实验条件要求的机会只有五天。显然,在这样短暂的时间里,进行为数不多的 SF_6 示踪扩散实验不易得到所有稳定度类型下的大气扩散参数。

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 随距离 x 和随时间 t 的幂指数表达式。

1. SF_6 示踪扩散实验

(1) 实验方法:

在宝钢200米高的电厂烟囱顶上,释放 SF_6 ,每次实验连续释放3小时左右,释放量为30公斤/小时左右。用一辆汽车交替行驶在距释放源三公里和六公里弧线附近的公路上,在固定的选定地点用塑料针筒人工采样,然后送到实验室,用气相色谱仪分析 SF_6 浓度。两辆装载连续示踪物检测仪的汽车中,一辆交替行驶在接近8~10公里弧线和15公里弧线的公路上

表 3.1.1 各次 SF_6 示踪实验的气象和实验条件

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
81.12.29	14 ⁴⁰ —16 ⁴⁰	32.7	NNE	7	阴	C	15—17:45
81.12.29	18 ³⁵ —21 ⁰⁰	33	N	6	阴	D	19—22
82.1.1	0 ⁴⁰ —2 ³⁰	33	NNW-NNE	0.8	阴	F*	1:30—2:30
82.1.5	3 ⁵⁰ —5 ⁴⁴	30	NW	5	晴	E	未取到样
82.1.12	14 ⁰⁰ —16 ¹⁰	31	NE	6	阴	C	14:40—17:30

注: * 小风扩散

(详见图3.1.1), 另一辆分别在靠近20、22和24公里弧线的公路上行驶, 实时探测出 SF_6 浓度的水平分布。

本次试验从81年12月29日至82年1月12日, 共进行了五次, 其中1月5日为西北风, SF_6 被吹过江面, 没能取到样, 其他四次比较成功。各次实验的气象条件和实验条件详见上表3.1.1。

(2) 大气稳定度分类:

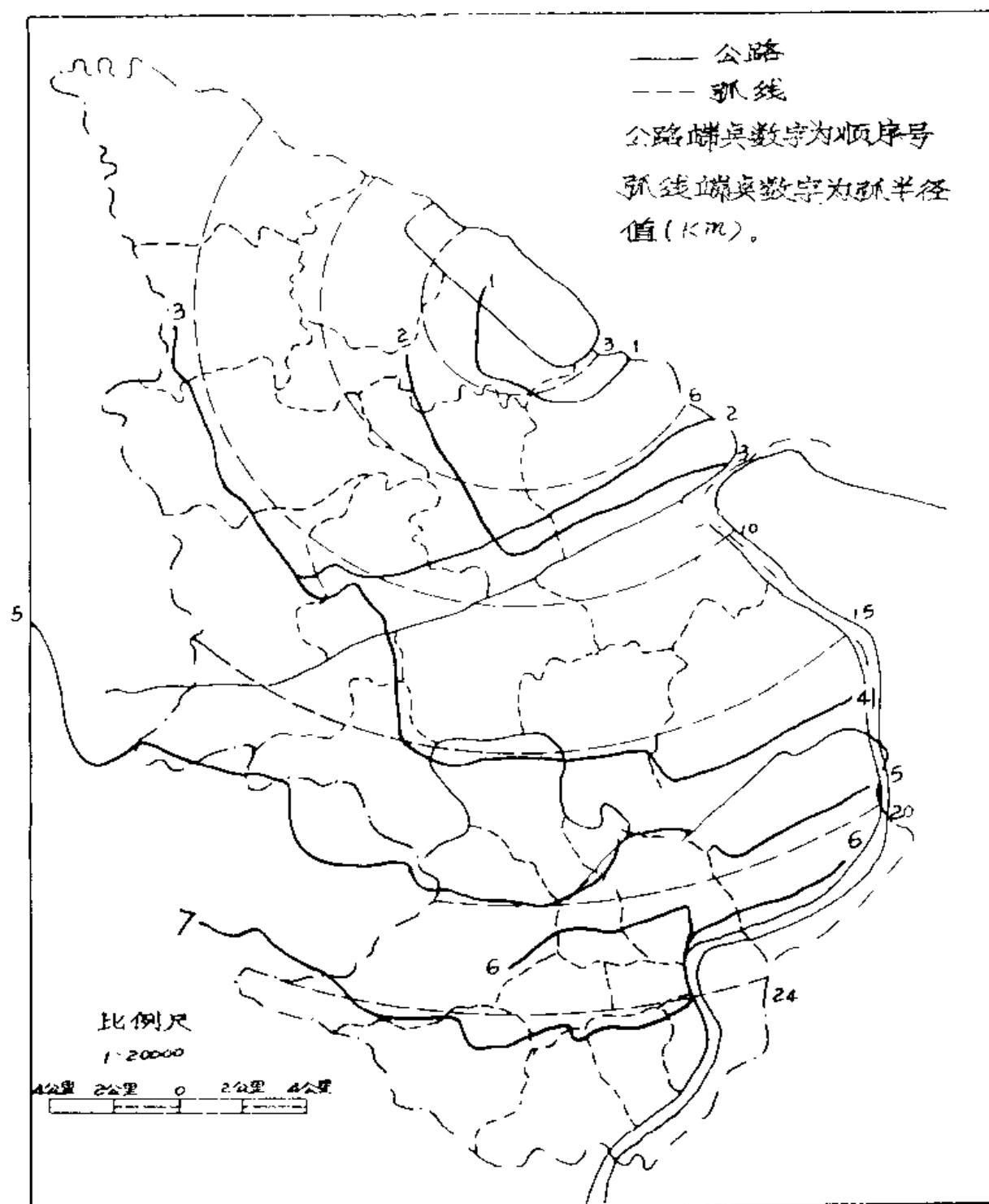


图 3.1.1 SF_6 示踪扩散实验检测路线图

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,全属于中性(D类)。但是,我们从连续示踪物检测仪取得近似正态分布的 SF_6 浓度水平分布曲线中发现:在阴天条件下,下午开始的实验,随着时间向夜间推移,检测的 SF_6 浓度分布宽度明显地逐渐变窄,峰值逐渐增高,这表明 σ_y 值逐渐变小。由其平均值看,白天比夜间大,前者相当于C类的 σ_y 值,后者才相当于D类。实际上,白天虽有厚云阻挡日辐射,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3.1.1中,81年12月29日上午和82年1月12日下午,都定为C类。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。

(3) 电厂烟囱释放的 SF_6 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(详见后面图3.1.6)。汽车由延安路到金沙江路进行检测, SF_6 浓度由静安区向西增加,经普陀区,进入嘉定县后逐渐减少,其宽度约8公里,见图3.1.2a。18时后,转为北风,水平轨迹经过静安区和黄浦区一带(详见后面图3.1.7)。 SF_6 气体分布由陆家咀渡口经大世界、人民市场、工业展览馆直至静安寺以西,宽度约6公里左右,见图3.1.2b。在天目路东西方向行驶时, SF_6 的宽度也为6公里左右,本次实验检测到 SF_6 的峰值在北站附近,见图3.1.3。上述结果说明宝钢电厂排放的气体在北风和北北东风条件下,几

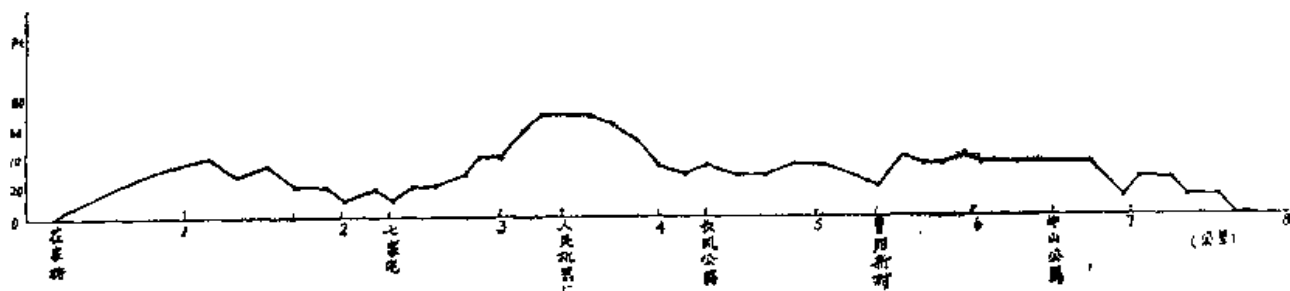


图 3.1.2a 81年12月29日16:39—16:55市(金沙江路到延安路(24公里弧)) SF_6 浓度分布曲线



图 3.1.2b 81年12月29日20:58—21:09市区延安路(24公里弧) SF_6 浓度分布曲线

乎影响到整个上海市区,但其浓度大小视排放量而定,将在第三章的污染模式计算中进一步说明。

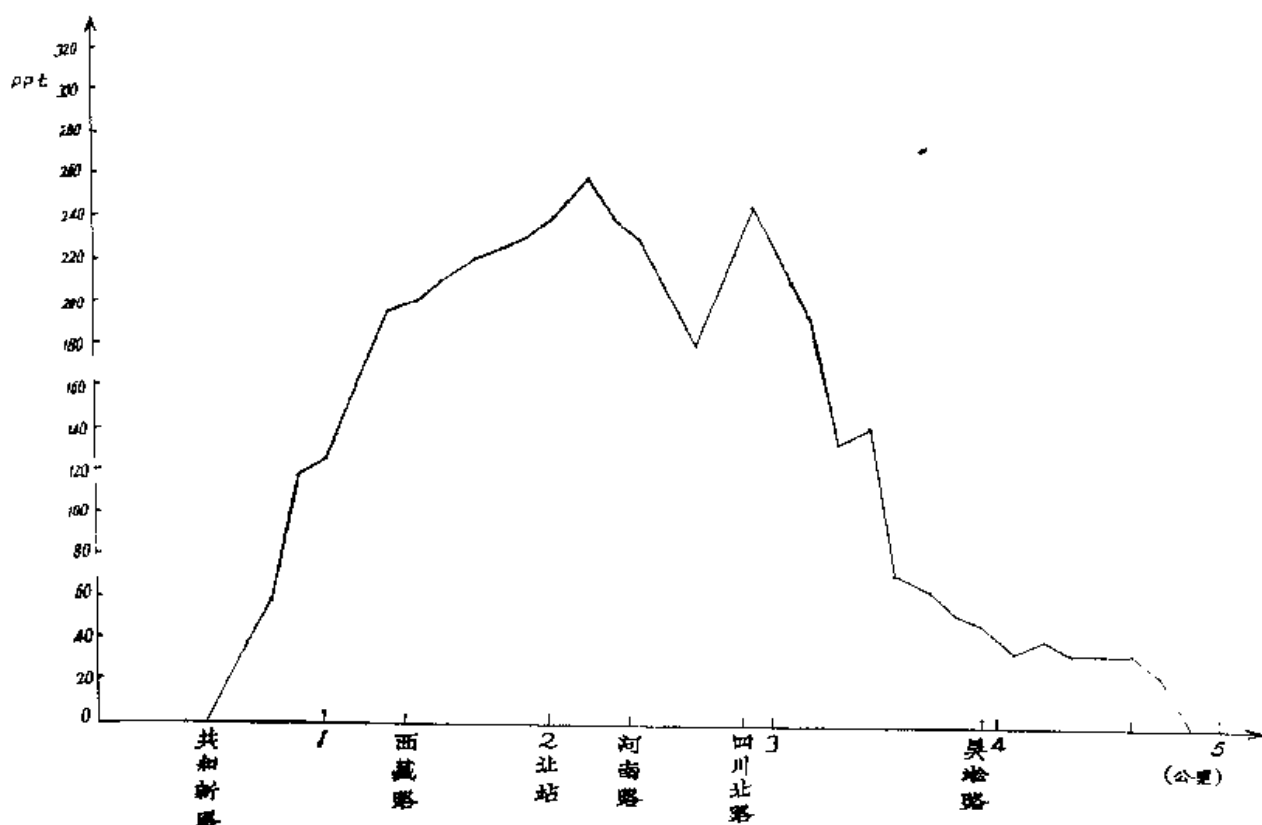


图 3.1.3 81年12月29日20:30—20:40市区吴淞路(22公里弧)SF₆浓度分布曲线

(4) 大气扩散参数:

针筒取样点的位置是固定的,将各点浓度订正到弧线距离上,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,得到 ρ_i 、 y_i , $i = 1 \cdots n$ 。 ρ_i 是某一点的浓度值, y_i 为该点距中心点的距离。

连续示踪物检测仪测得连续的浓度分布图,订正在弧线上,再每间隔100米或200米读一个数,也得到 ρ_i 、 y_i , $i = 1 \cdots n$ 。

利用公式:

$$\sigma_y = \frac{\sum_{i=1}^n \rho_i y_i^2}{\sum_{i=1}^n \rho_i} - \left\{ \frac{\sum_{i=1}^n \rho_i y_i}{\sum_{i=1}^n \rho_i} \right\}^2 \quad (3.1.1)$$

计算出各条弧线上的大气水平扩散参数。

图3.1.4给出C、D两类稳定度下的平均 σ_y 随距离变化,图上并绘出 $\sigma_y - x$ 回归线。由8公里到24公里距离范围内,可以近似地用幂指数规律描述 σ_y 随距离的变化。另外,可以看出阴天下午的 σ_y 平均值要比夜间的大,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,下午为1511米,晚上为1028米。

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在电厂附近地区停滞,只在8公里和6公里弧线上取到样。将此日的SF₆浓度分布与其他

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 SF_6 浓度值比D类条件高出2倍多,约为2000ppm,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	121
6	1002

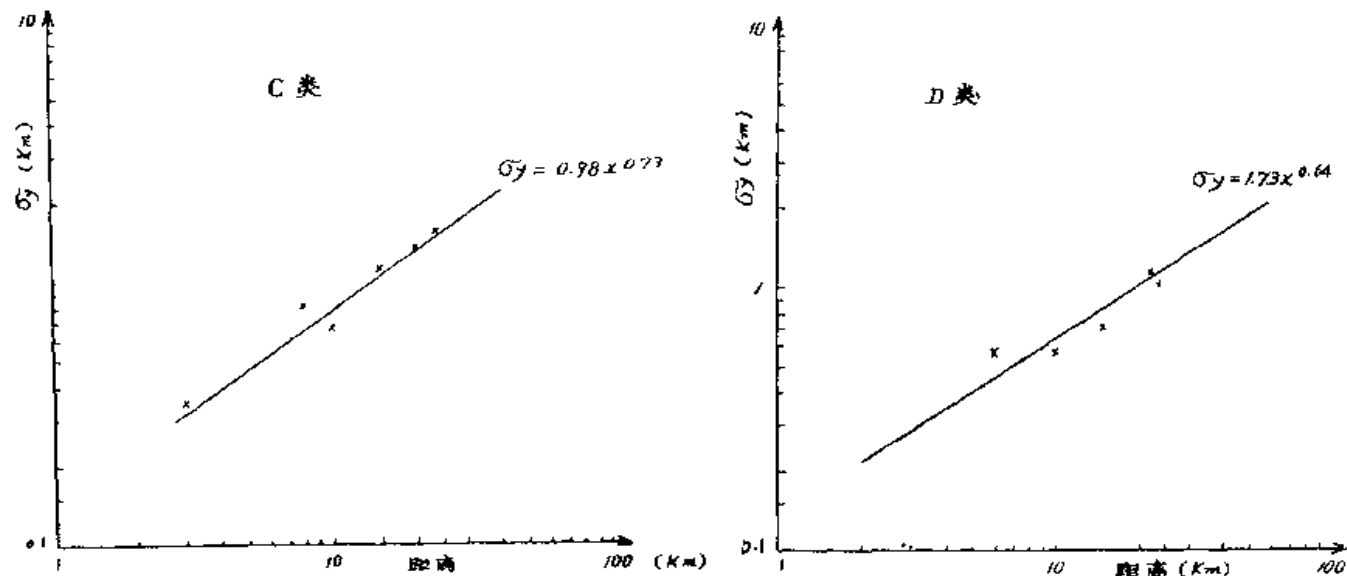


图 3.1.1 σ_y 随距离变化(SF_6 实验结果)

2. 用三分量风速脉动资料计算扩散参数

根据Hay和Pasquill的方法,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,其比值为一常数 β ,由此推导出的计算扩散参数公式为:

$$\sigma_y^2 = \sigma_{\tau'}^2, 1/\beta \cdot T^2 \quad \sigma_x^2 = \sigma_{\tau'}^2, 1/\beta \cdot T^2 \quad (3.1.2)$$

其中: $\sigma_{\tau'}$ 与 u' 为欧拉风脉动量, τ 为取样时间, T 为扩散时间。

1981年12月—1982年1月在上海进行 SF_6 扩散实验期间,在宝钢电厂200米高的烟囱顶上的三分量螺旋桨式瞬时风速仪测得三个方向的风速随时间变化曲线,然后以 $\Delta t = 5$ 秒的时间间隔读出风速的时间序列值。垂直方向的风速可先求其某一时段平均值后,即可求其脉动值 W' 。对于 x , y 方向的 U , V 分量也先分别求它们的平均值,然后求出平均风速 \bar{u} 及平均风向 φ ,即可利用坐标转换求得 u' 与 v' 值。利用三分量风速仪所求得的脉动量是欧拉场脉动值,其 β 取一般平原地区的结果,即 $\beta = 4$ 及 $\beta = 2$, $\beta = 1$,由此可计算 x 、 y 、 z 三个方向的扩散参数随距离或随时间的变化。计算结果如下表3.1.2。

为便于与其他方法计算的 σ_y 随距离 x 的变化相比较,我们也计算了其随距离的变化规律。详见下表3.1.3。

由表3.1.2和表3.1.3看出, β 值对扩散参数有一定影响,最大可有50%的变化。由后面的图3.1.5上各个 β 值的 σ_y 曲线与 SF_6 实验 σ_y 值对比可看出,似乎当 $\beta = 2$ 时,比较接近 SF_6 实验值。

表 3.1.2 不同 β 值的扩散参数计算结果

稳定度	β	σ_x	σ_y	σ_z
C	4	$1.7t^{0.85}$	$2.34t^{0.78}$	$1.27t^{0.83}$
	2	$1.0t^{0.80}$	$1.87t^{0.81}$	$1.11t^{0.81}$
	1	$3.7t^{0.80}$	$1.65t^{0.79}$	$1.00t^{0.81}$
D	4	$7.1t^{0.64}$	$4.2t^{0.7}$	$0.98t^{0.67}$
	2	$6.1t^{0.64}$	$4.6t^{0.65}$	$0.81t^{0.67}$
	1	$1.5t^{0.65}$	$3.6t^{0.66}$	$0.63t^{0.67}$
小 风	4	$2.6t^{0.75}$	$0.82t^{0.77}$	$0.42t^{0.73}$

表 3.1.3 不同 β 值扩散参数随距离的变化

稳定度	β	σ_x	σ_y	σ_z
C	1	$0.99x^{0.80}$	$0.51x^{0.8}$	$0.28x^{0.81}$
	2	$0.31x^{0.80}$	$0.43x^{0.8}$	$0.24x^{0.81}$
	4	$0.78x^{0.85}$	$0.38x^{0.8}$	$0.22x^{0.81}$
D	4	$2.75x^{0.65}$	$2.0x^{0.65}$	$0.31x^{0.67}$
	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	$3.46x^{0.75}$	$1.01x^{0.77}$	$0.50x^{0.73}$

表 3.1.4 三分量法与SF₆法的 σ_y 值的比较

	3 公 里	6 公 里
SF ₆	421	1002
三分量	481	819

小风条件下,用三分量风速脉动值计算的 σ_y 值与SF₆实验值也比较接近,见表 3.1.4。

由于在小风条件下，是近距离扩散过程，6公里距离内可以应用三分量脉动资料计算的结果。因此，提供了小风条件的 σ_x 、 σ_y 、 σ_z 随时间的变化规律。

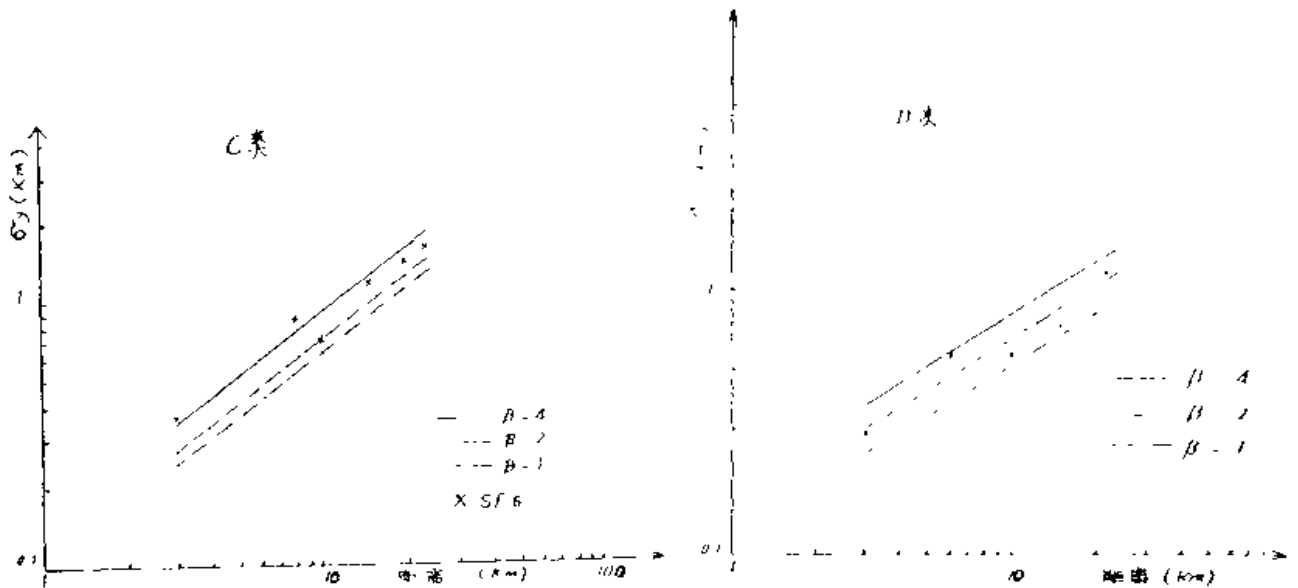


图 3.1.5 σ 随距离变化(三分量风速脉动资料)

3. 由风场资料计算的水平轨迹估算大气扩散参数

除了用示踪物质的浓度分布计算大气扩散参数外，还可利用平衡气球定位方法得到大气扩散参数。1979年在北京进行的平衡球试验，用双经纬仪定位方法只能追踪到10公里左右，不能得到几十公里距离的大气扩散参数。我们曾计划在宝钢地区用相隔一定距离的两条基线接力观测的方法得到中距离大气扩散参数，但是，由于空军不允许释放平衡球未能实现。可以设想能否用较稠密的风场资料，用电子计算机模拟定高气球运动以得到大气扩散参数。

定高气球在大气中的运行是随所在高度的所在位置和当时的风向风速所驱动的。因此，其运动规律反映大气中各种尺度的运动。如果，有空间较稠密、观测时间间隔短的风场资料，就可以反映大于某一尺度的风场演变规律，就可以用电子计算机模拟某一释放的质点在此风场中的运动规律，从而得到质点的运动轨迹和拉氏湍流时间序列资料，再分别用双轨迹法和风脉动滑动方法计算大气扩散参数。

在上海的宝钢评价区 15×30 公里面积范围内，原设有13~17个地面气象观测站，可以提供24小时每间隔10分钟一个读数的风向、风速资料。另外，还有七个高空测风站，在5时30分到19时30分之间共有6次观测资料。在此地区内还进行过SF₆中距离扩散实验。用平衡气球双经纬仪定位法也曾得到过近距离扩散资料。因此，我们采用水平风场资料计算中距离大气扩散参数，并与上述两种实验结果进行比较，以探索这一方法的可行性。

(1) 计算方法：

① 地面附近质点运行轨迹：

首先，把所计算范围按直角坐标系分成一定尺度的网格，网格距离为1公里。东西方向分成29格，南北方向分成39格。把各站某10分钟的平均测风值在直角坐标系上分解为 u 、 v 分量。再用加权内插公式求出所有网格点上的 u 、 v 值。设有 n 个地面气象站，对于网格 (i, j) 点的风速分量为：

$$u_{i,j} = \frac{\sum_{k=1}^n u_k / r_k^2}{\sum_{k=1}^n 1 / r_k^2} \quad (3.1.3)$$

$$v_{i,j} = \frac{\sum_{k=1}^n v_k / r_k^2}{\sum_{k=1}^n 1 / r_k^2} \quad (3.1.4)$$

其中 u_k 、 v_k 分别为第 k 个气象站所测风的 u 、 v 分量, r_k 为第 k 个测风站至计算点的距离。

设测风站的座标为 x_k 、 y_k , 计算点的座标为 x_p 、 y_p , 则 $r_k = [(x_k - x_p)^2 + (y_k - y_p)^2]^{1/2}$ 。同样, 可以把其他时刻观测的 u 、 v 分量内插在计算网格上, 得到 u 、 v 场随时间变化资料。

我们计算的质点轨迹的出发点位置为宝钢电厂烟囱, 座标为(16,32), 见图3.1.6。质点每一步的行走时间订为 Δt , $\Delta t = L/U$

其中 L 为网格距离, $U = (u^2 + v^2)^{1/2}$ 。

为考虑风场随时间变化, 每隔10分钟改变风场一次, 因此, 若 Δt 大于10分钟, 则行走时间 Δt 改为10分钟, 这样, 质点每走一步的时间不得大于10分钟, 行走步长不得大于一个网格距离。质点所到达的新的位置座标设为 x_1 、 y_1 , 则 $x_1 = x + u\Delta t$, $y_1 = y + v\Delta t$, 新位置 (x_1, y_1) 上质点按此时刻的 u 、 v 场取其最邻近的网格点上的 u_1 、 v_1 值。然后, 再在此风速作用下往前运行。10分钟则换另一组 u 、 v 场。由此计算下去就可以求得一系列的质点座标数值。把所计算得到的质点座标 x_1 、 y_1 按一定比例点在直角座标纸上, 然后用线连接起来就绘出了一条质点运行轨迹。

(2) 高空200米和100米质点运行轨迹:

80年的小球测风只有七个点, 每天6次观测资料, 为了跟地面附近质点轨迹比较, 也需求得每10分钟一次读数的资料, 采用对时间线性内插的办法取得两个观测值之间的数值。对于 t_1 至 t_2 时间包含 n 个10分钟, 其 n 为整数。如某时刻 t_1 观测的风速分量为 u_1 、 v_1 , t_2 时刻的为 u_2 、 v_2 。则对于 t_1 与 t_2 之间的某个内插值为:

$$u_i = u_1 + (u_2 - u_1) \cdot i / n$$

$$v_i = v_1 + (v_2 - v_1) \cdot i / n$$

其中 $i = 1, 2, \dots, n$ 。

这期间, 小球测风站除龙华测风站, 其他6个小球测风站均不与地面气象站重合。对于高空风场用七个站资料内插略显不足, 因此, 想通过内插办法来弥补。

首先, 求得200米、400米高空每10分钟一个风速分量 u 、 v 值。然后通过前面已提到的公式(3.1.3)与(3.1.4), 内插出地面气象站所在位置上空400米处的高空风值。我们设风速分量 u 、 v 随高度按指数规律变化。

$$\text{即: } u = u_0 (z/z_0)^{m_1} \quad (3.1.5)$$

$$v = v_0 (z/z_0)^{m_2} \quad (3.1.6)$$

式中 u_0 、 v_0 为地面风分量, z_0 为地面风观测高度, 即: $z_0 = 10$ 米, u 、 v 为 z 高度上的

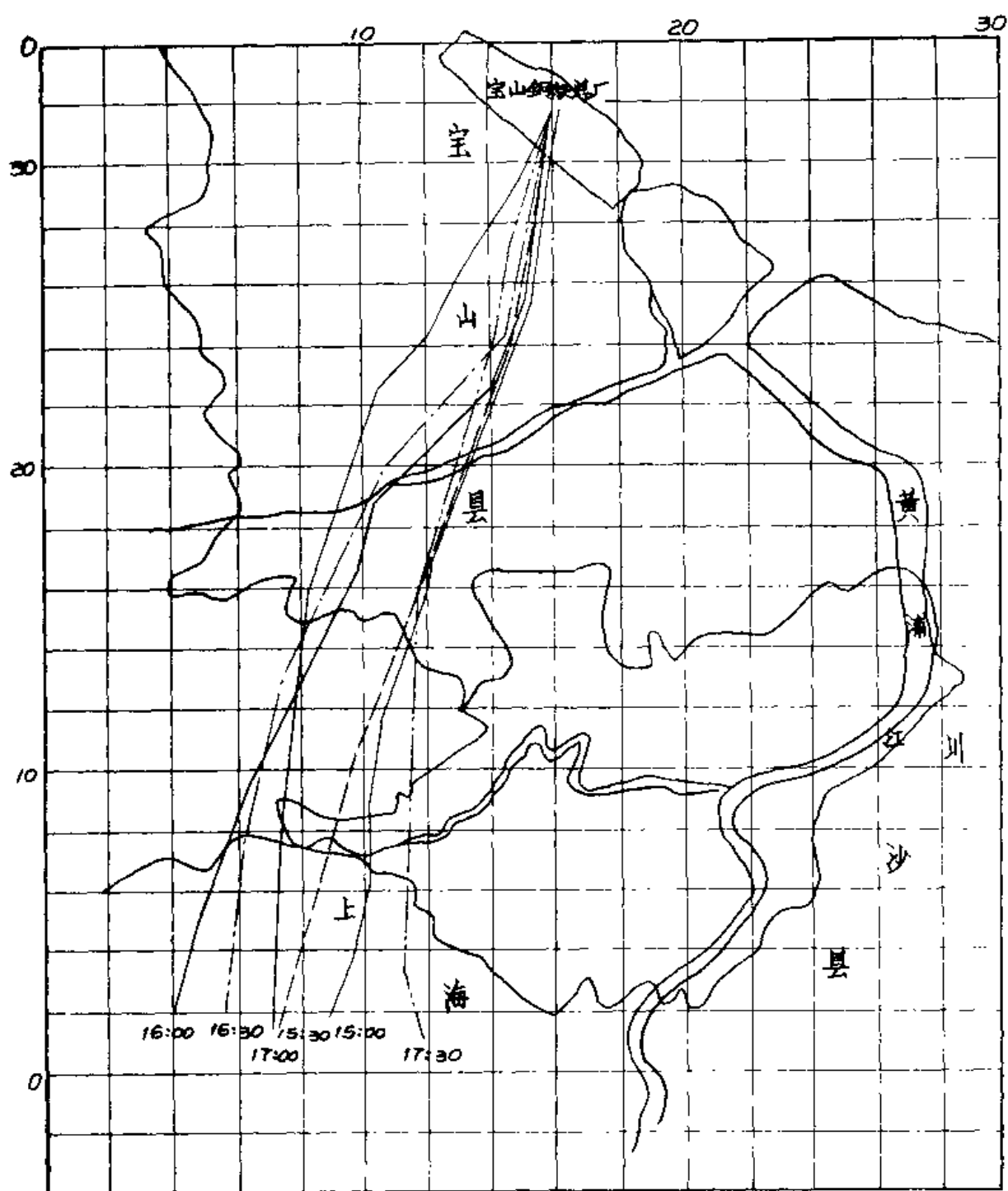


图 3.1.6 质点水平轨迹(地面)

1981年12月29日15:00—17:30

风速分量。若已知 $z = 400$ 米，则 u 、 v 为 400 米高度的风速分量。这样，就可根据地 面与 400 米相对应的风速分量求出 m_1 、 m_2 。再设 $z = 200$ 米，则可推出 200 米高度上的 u 、 v 值。如果地面的 u_0 、 v_0 与 400 米的 u 、 v 不同符号(即一正、一负)时，则公式(3.1.5)，(3.1.6)不能应用，这时，可采用地面与 400 米处相应的 u 、 v 的平均值作为 200 米高度 u 、 v 值，加上小球测风站测得相应 200 米的 u 、 v 一起，应用前述的计算地面轨迹的方法，求得 200 米高

空的质点水平轨迹。

高空100米高度的 u 、 v 值，对小球测风站用实测值，而地面气象观测站上空100米高度的值，采用地面到200米高度的积分平均值，即：

$$u = \frac{1}{200} \int_{z_0}^{z_0+200} u_0 \left(\frac{z}{z_0} \right)^{m_1} dz$$

$$v = \frac{1}{200} \int_{z_0}^{z_0+200} v_0 \left(\frac{z}{z_0} \right)^{m_2} dz$$

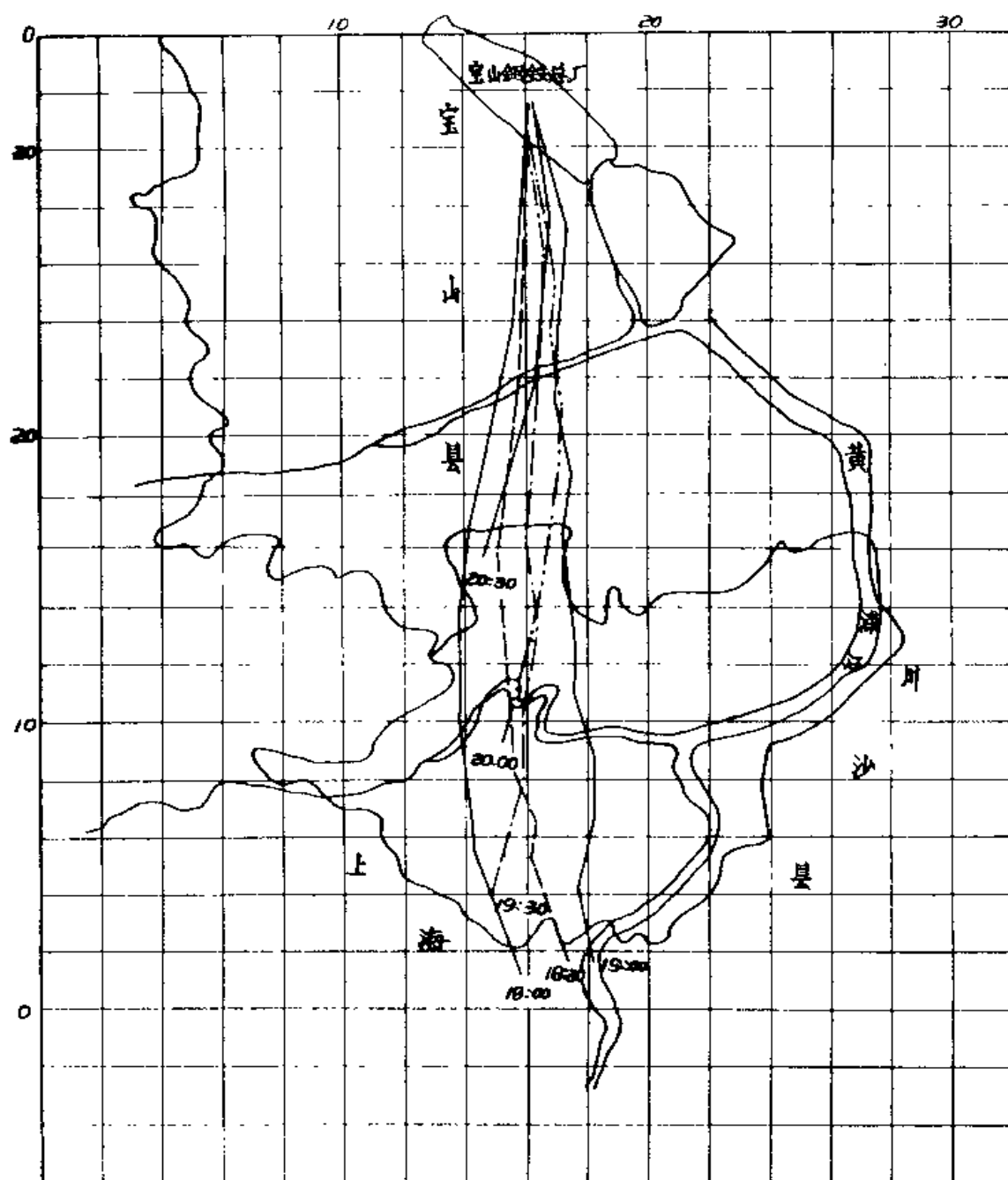


图 3.1.7 质点水平轨迹(地)。
1981年12月29日 18:00 - 20:30

由100米高度 u 、 v 的计算值和实测值, 可用公式(3.1.3)和(3.1.4)内插出网格点的 u 、 v 值, 然后计算100米高度的水平轨迹。

在81年12月~82年1月的SP实验期间, 地面测风站减为13个。高空风只有电厂200米烟囱顶上测得的 u 、 v 值, 以及上海电视台进行的风梯度观测资料。用电厂200米高度的 u 、 v 值和电视台最高处的184米高的 u 、 v 值, 内插出各地面气象观测站200米高度上的 u 、 v 值与地面的 u 、 v 值, 再由公式(3.1.5)和(3.1.6)求出各站100米高度的 u 、 v 值。再由公式

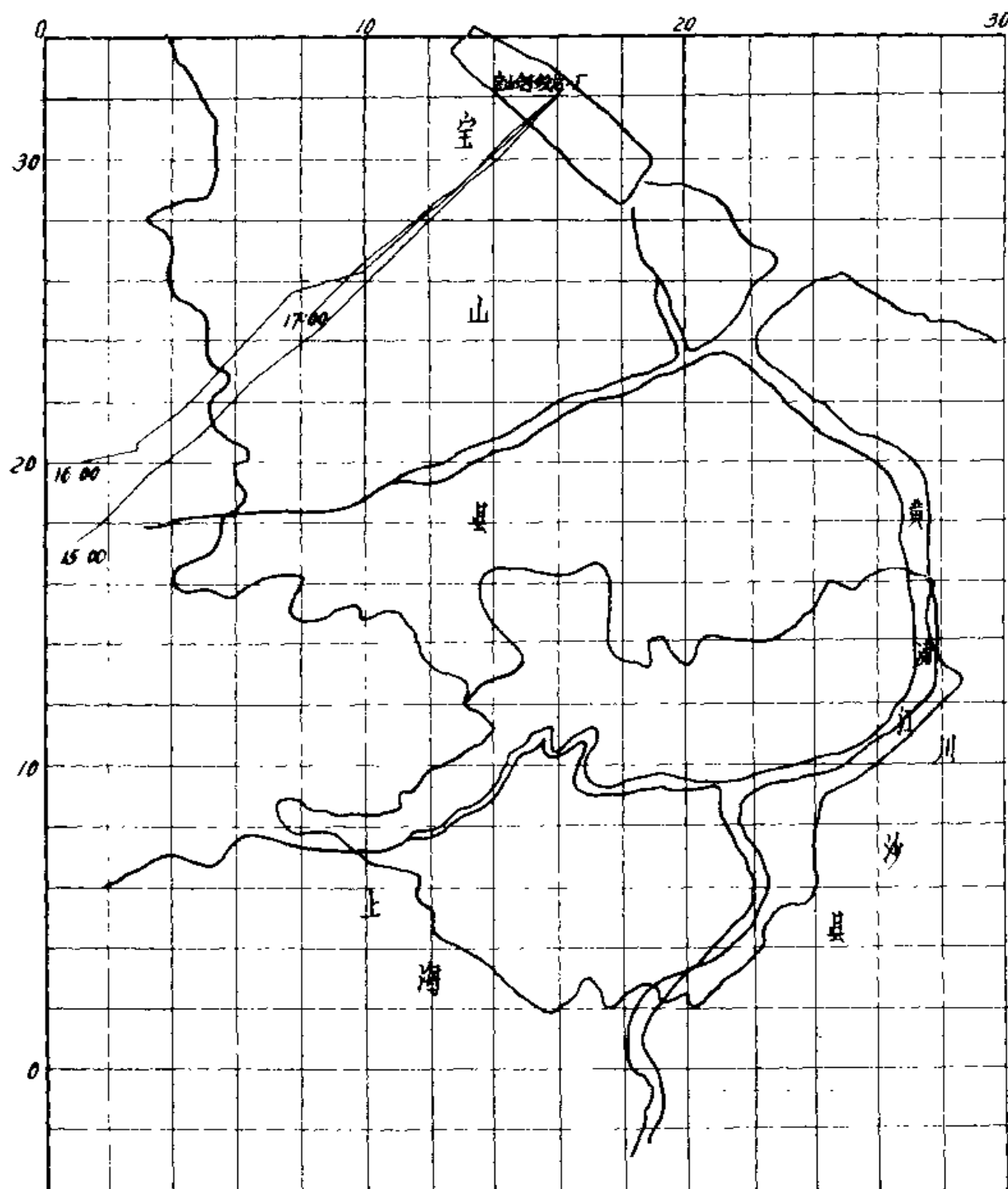


图 3.1.8 质点水平轨迹(地面)
1982年1月12日 15:00—17:00

(3.1.3)和(3.1.4)求出网格点上的 u 、 v 值。由此可计算出100米高度的水平轨迹。

(2) 大气扩散参数的计算:

每隔半小时画一条轨迹, 然后在下风距离3、5、7、10、15、20、25、30公里处, 分别量出相邻两条轨迹之间的横向宽度 d 。

$$\text{根据公式: } \sigma_y^2 = \frac{d^2}{2} \quad (3.1.7)$$

计算扩散参数 σ_y 。

再把同一个下风距离上的所有相同稳定度下求出的 σ_y 值进行算术平均, 就得到各类稳定度下的平均 σ_y 值。由某一稳定度类型的不同距离的平均 σ_y 值, 可绘出 σ_y 随距离 x 的变化

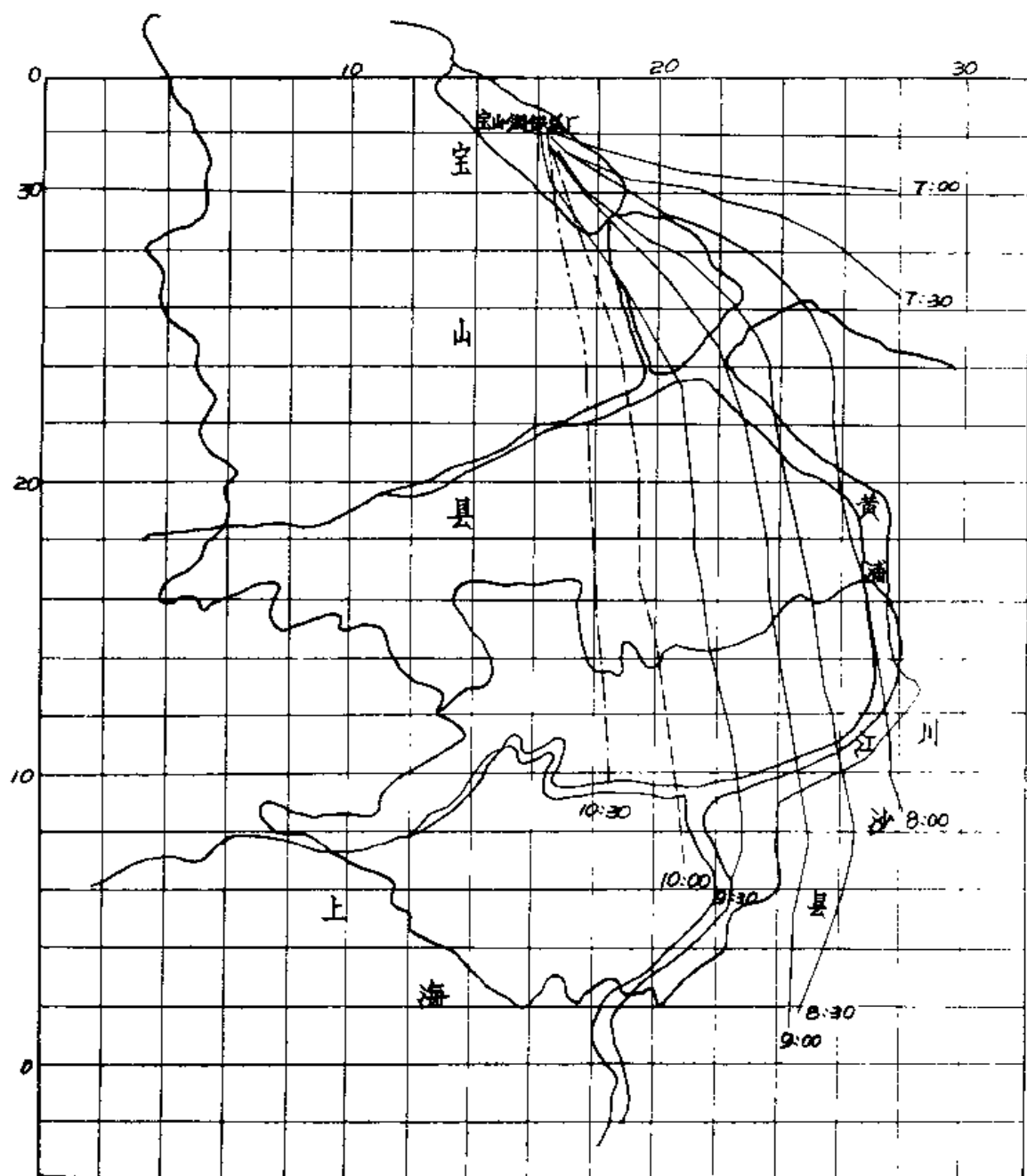


图 3.1.9 质点水平轨迹(地面)
1980年12月6日 7:00—10:30

图。

(3) 计算结果:

我们选取了85年8月18日, 80年12月1日、6日、7日、11日、12日以及81年12月29日和82年1月12日的资料进行了计算。图3.1.6~图3.1.10分别是81年12月29日下午、29日晚上, 82年1月12日, 80年12月6日、8月18日的质点地面水平轨迹图。一般, 轨迹延伸到30公里左右, 因此可以得到中距离的扩散参数 σ 、随距离的变化规律。另外, 还可看出, 轨迹之间的宽度随离源距离增加而增加, 与平衡球轨迹相同, 可以计算出大气扩散参数。

图3.1.11即是12月29日和1月12日的 σ 、值随距离的变化图。

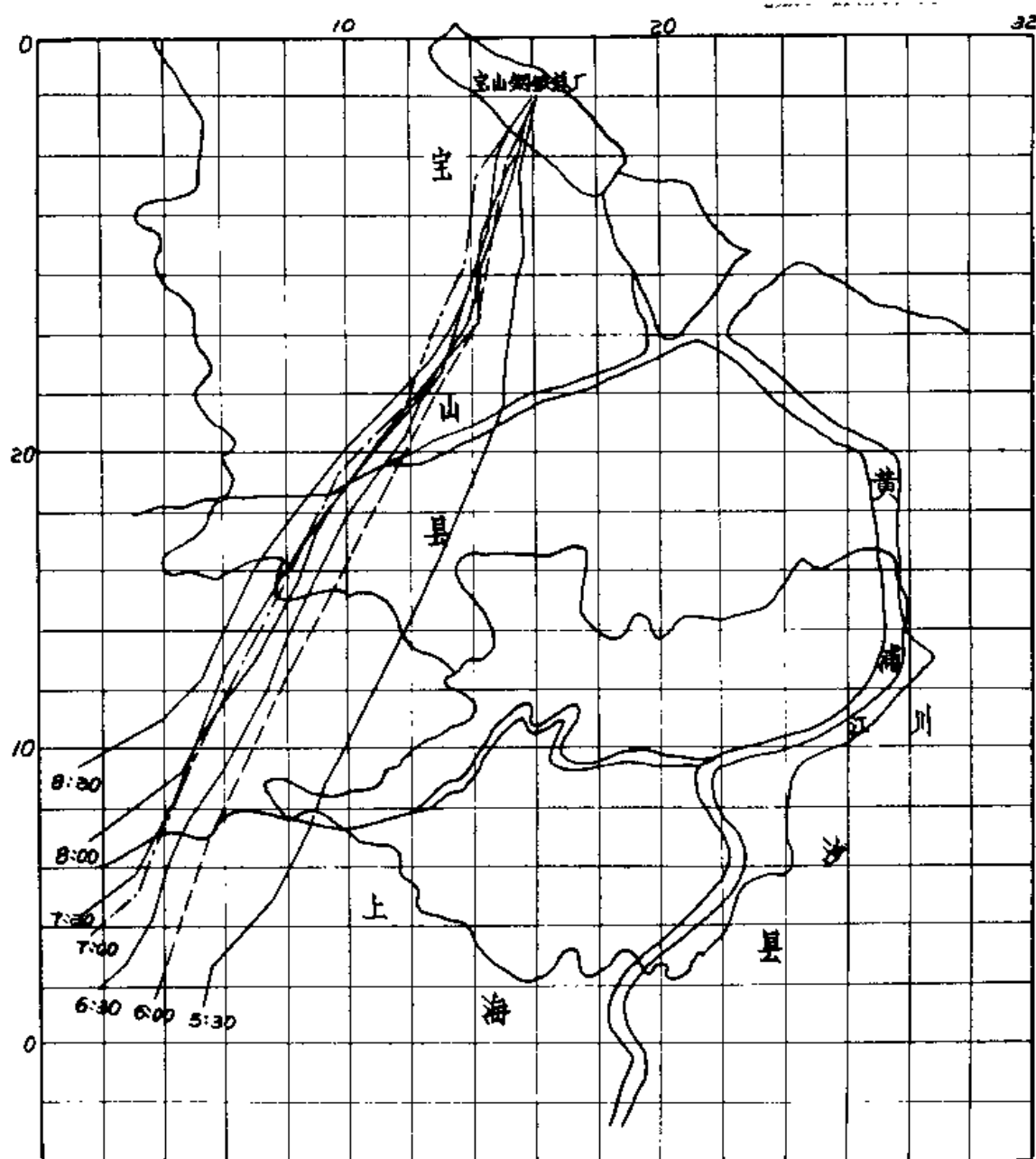


图 3.1.10 质点水平轨迹(地面)

1980年8月18 日5:30—8:30

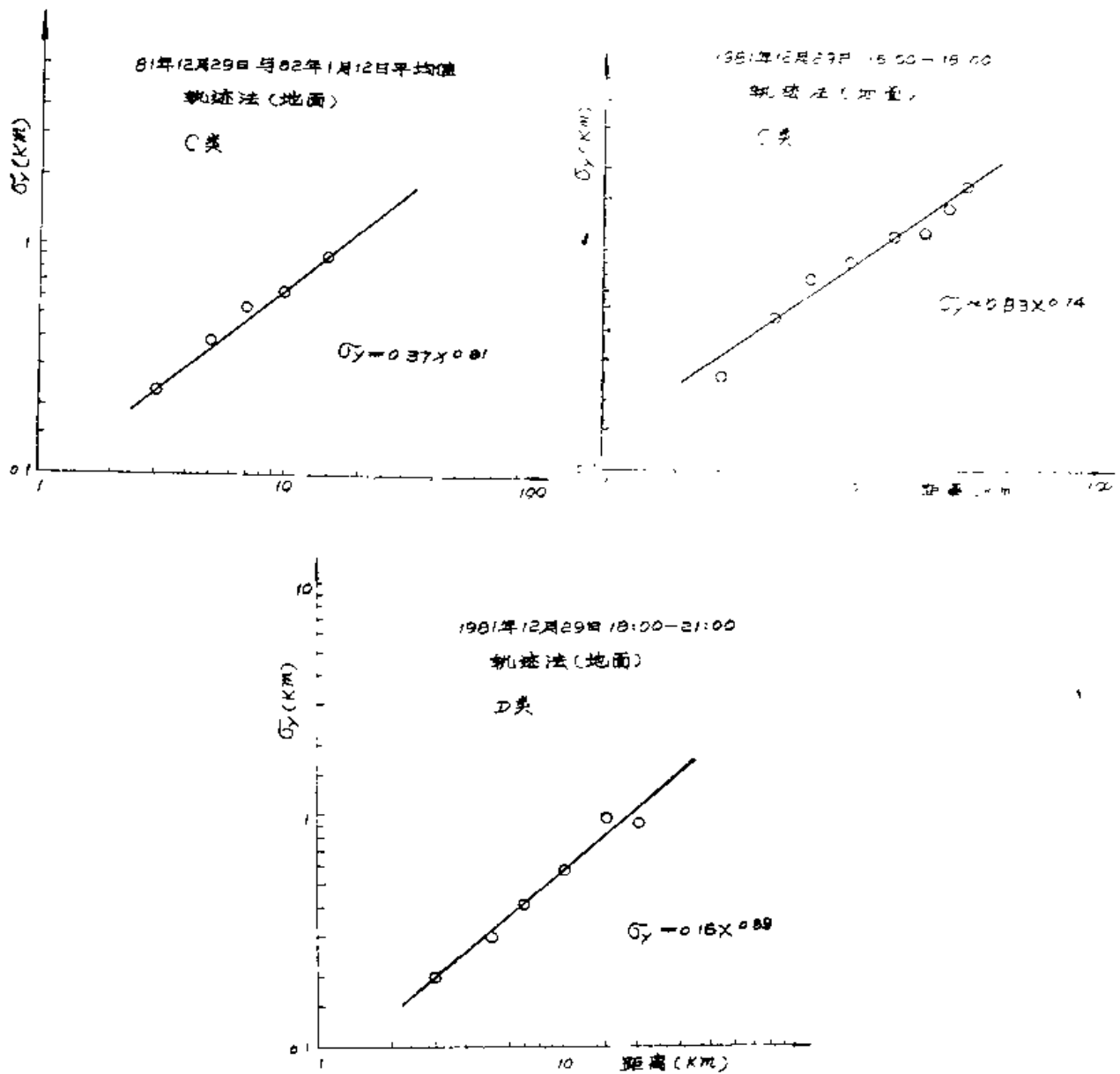


图 3.1.11 σ_y 值随距离的变化图

从图3.1.11可以看出:

① 由轨迹法计算出的 σ_y 值随距离变化在20—30公里内满足幂指数规律。

即 $\sigma_y = \sigma_1 x^k$ 。

② 由轨迹法计算的 σ_y 值, 在阴天大风条件下, 白天与晚上也明显不同, 白天属于 C 类, 晚上属于 D 类。另外, 将12月29日下午和82年1月12日下午的 σ_y 值进行平均, 求出 C 类的 $\sigma_y - x$ 变化曲线。

为了考察地面风场轨迹法求得的 $\sigma_y - x$ 曲线是否反映大气实际情况, 我们将同一时刻的 SF_6 实验值绘在轨迹法的 $\sigma_y - x$ 曲线上, 见图 3.1.12。看出两种方法所得结果比较一致。又把81年12月29日和82年1月12日两天的 C 类 σ_y 值平均, 得到的平均 σ_y 值绘在这两天的轨迹法的平均 $\sigma_y - x$ 曲线图上, 结果, SF_6 法比轨迹法大一些。但是, 总体来看, 用地面风场求出轨迹, 再计算 σ_y 值, 可以得到中距离扩散规律, 这是比平衡球光学定位方法优越的地方。

需要指出的是, SF_6 实验结果是 SF_6 所在气层内扩散的综合效应, 包括风切变的影响,

而风场轨迹法只反映某一高度的湍流扩散，它不能考虑风切变的作用。所以当风切变大时，轨迹法要比 SF_6 实验结果小。图3.1.12上C类风场轨迹法的 σ_y 值比 SF_6 法 σ_y 值小，可能就是这个原因。

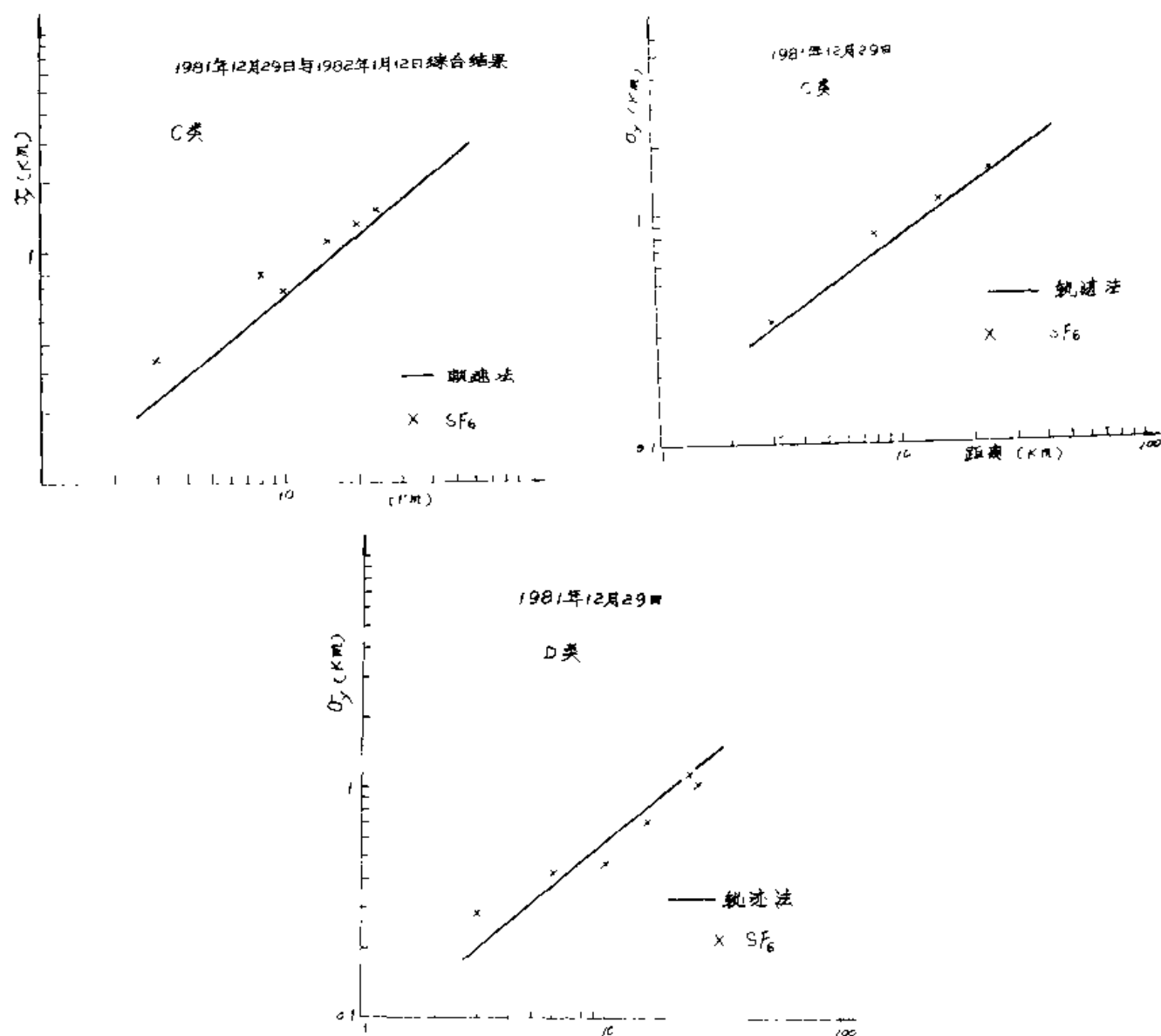


图 3.1.12 轨迹法与 SF_6 法的 σ_y 值对照

下表3.1.5给出用非实验期间的资料算出的C、D、E类200米和地面的 σ_y-x 变化规律。其

表 3.1.5 非实验期间计算的 σ_y-x 关系式中的参数

风场类别	地 面		200 米	
	σ_1	k	σ_1	k
C	0.12	0.81	0.13	0.89
D	0.36	0.80	0.41	0.76
E			0.34	0.74

中 σ_1 和 k 为关系式 $\sigma_y = \sigma_1 x^k$ 中的参数。

4. 利用风场资料计算的风脉动资料计算大气扩散参数

根据扩散统计理论, 可以用风速脉动计算扩散参数, 其公式为

$$\sigma_y^2 = \overline{v'^2} T^2 \quad (3.1.8)$$

其中 σ_y 为横向扩散参数, τ 为采样时间, T 为质点运行时间, v' 为横向脉动风速。

同理, 对于纵向(x 方向)扩散参数公式:

$$\sigma_x^2 = \overline{u'^2} T^2 \quad (3.1.9)$$

其中 u' 为纵向脉动风速。

对于风速的脉动量可以用单个平衡球运行的拉格朗日风速脉动量来求得。即计算平衡球运行过程中所经过的不同位置上的风脉动值。这里, 我们尝试用计算机模拟平衡球运行, 求出其拉格朗日风速脉动量来计算扩散参数。计算运行质点拉氏风速脉动量的方法与求轨迹方法相似, 也是利用已知地面、高空风资料, 内插不同地方、不同时间的风速资料。因为, 要计算的风速脉动量时间系列要求采样时间相同, 因此, 计算过程中, 质点运行步长 Δt 是固定不变的。 Δt 的数值要满足: $L \geq \Delta t \cdot u_{max}$; $L \geq \Delta t \cdot v_{max}$ 。即在计算过程中, 遇到最大风速 u_{max} 和 v_{max} 时, 其运行距离也不大于网格的距离 L 。

实际计算中, 运行质点每走一步到达新的坐标位置后, 利用公式(3.1.3)和(3.1.4)进行内插求该处的 u , v 分量并保留。与计算质点轨迹时一样, 每隔10分钟有一新的质点开始运行。这样, 就可以求得若干组, 每组相隔10分钟的 u , v 序列样本, 样本时间间隔为 Δt 。

对于每组时间序列的 u , v 量分别求出其算术平均值。即:

$$\bar{u} = \sum_{i=1}^N u_i / N \quad \bar{v} = \sum_{i=1}^N v_i / N$$

然后, 求平均风速、风矢量与 y 轴夹角 θ :

$$\text{风速: } \bar{U} = (\bar{u}^2 + \bar{v}^2)^{\frac{1}{2}}$$

$$\theta = \arctg\left(-\frac{\bar{u}}{\bar{v}}\right)$$

然后, 以 \bar{U} 所指方向为 x 轴, 建立一新坐标系。把所计算的 u , v 分量重新分解到这个新坐标系的 x' , y' 轴上, 得到一系列新的 u_i , v_i 量:

$$u_i = u \sin \theta + v \cos \theta$$

$$v_i = v \sin \theta - u \cos \theta$$

此 v_i 即为横向的脉动量, 根据求 σ_y 与 σ_x 的公式(3.1.8)和(3.1.9), 即可求得横向(y 方向)与纵向(x 方向)扩散参数随距离($x = UT$)或随时间的变化。

根据1980年8月18日, 12月4、6、7、11、12日的地面风和高空风资料, 每隔10分钟就有一个质点随气流运行, 求得其 u , v 两个分量的时间序列, 然后计算 σ_x 和 σ_y 随时间(或随距离)的变化。

按照pasquill分类法, 将计算的 σ_x 和 σ_y 随时间(或随距离)变化分类, 每隔一小时取一组数。然后, 按每类稳定度求平均值, 得到每类稳定度下 σ_x 和 σ_y 随时间(或随距离)的变化曲线。图3.1.13和图3.1.14分别是200米高度、B类的 σ_x 和 σ_y 随时间变化, 以及地面、A类的 σ_x 和 σ_y 随时间变化曲线。可以看出, σ_x 或 σ_y 值很有规律地随时间增长, 扩散时间可达 9×10^3 秒, 若平均风速为2米/秒, 扩散距离大于10公里。因此, 用风场脉动方法也可得到

σ_x 和 σ_y 的中距离变化规律。

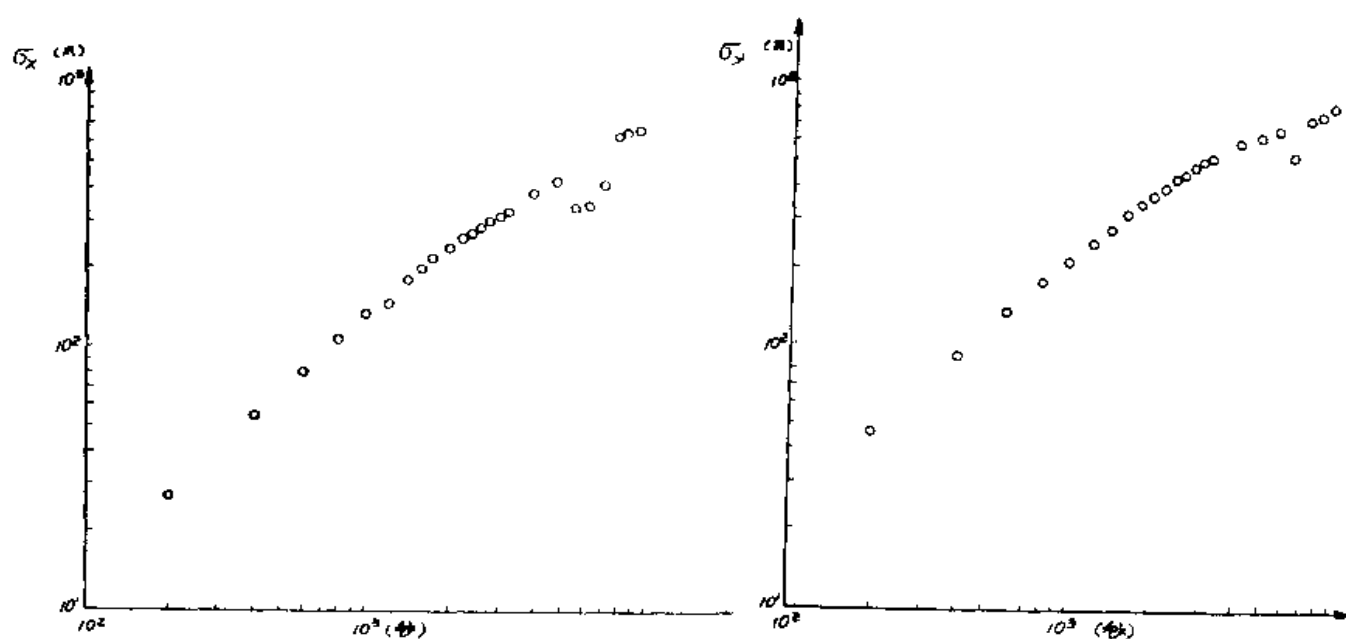


图 3.1.13 $\sigma_x \sim T$ 及 $\sigma_y \sim T$ (B类200米脉动法)

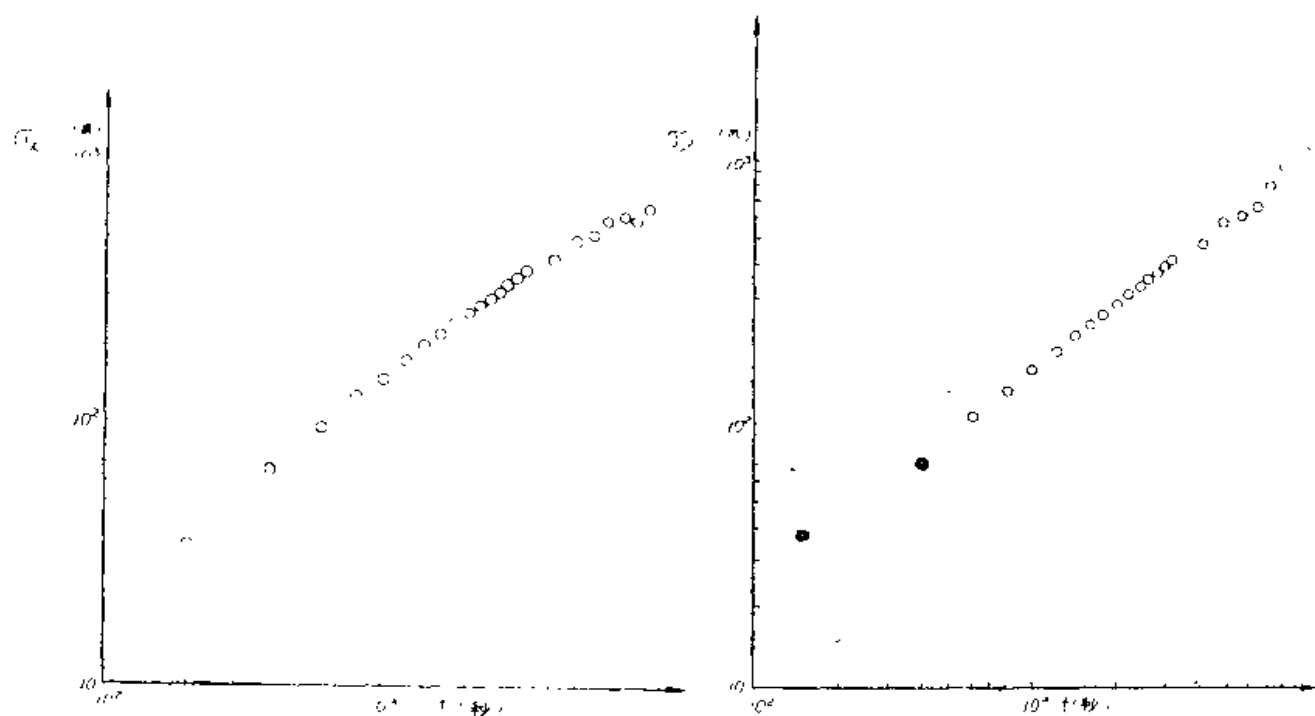


图 3.1.14 $\sigma_x \sim T$ 及 $\sigma_y \sim T$ (A类地面脉动法)

表3.1.6和表3.1.7 分别给出计算的 $\sigma_x = \sigma_1(t) t^k$, $\sigma_y = \sigma_1(t) t^k$ 和 $\sigma_x = \sigma_1(x) x^k$, $\sigma_y = \sigma_1(x) x^k$ 关系式中的 σ_1 和 k 的值。

表3.1.6中未给出 F 类的数值, 这是因为个例太少, 得到的回归系数代表性差。

我们取 C 类和 D 类的结果与 SF_6 实验结果作对比, 见图 3.1.15。 C 类风场脉动法计算的 $\sigma_y - x$ 曲线, 200米高度的 σ_y 比地面的 σ_y 要大些, 但二者都接近 SF_6 的结果。 D 类稳定条件下, 200米高度的 σ_y 值与地面的 σ_y 值差别较大, 但其平均值与 SF_6 实验的结果接近。由于

表 3.1.6 $\sigma_x = \sigma_1(t) t^K$ 和 $\sigma_y = \sigma_1(t) t^K$

稳定度类	地 面				200 米			
	σ_x		σ_y		σ_x		σ_y	
	$\sigma_1(t)$	K	$\sigma_1(t)$	K	$\sigma_1(t)$	K	$\sigma_1(t)$	K
A	0.31	0.93	0.38	0.90				
B	0.38	0.90	0.31	0.91				
C	1.07	0.80	1.18	0.80	0.43	0.89	1.1	0.81
D	2.63	0.73	2.0	0.73	2.15	0.70	6.17	0.66
E					0.53	0.79	0.76	0.81
F								

SF₆实验未取到A、B、E、F四类的结果,因此,不能进行比较。

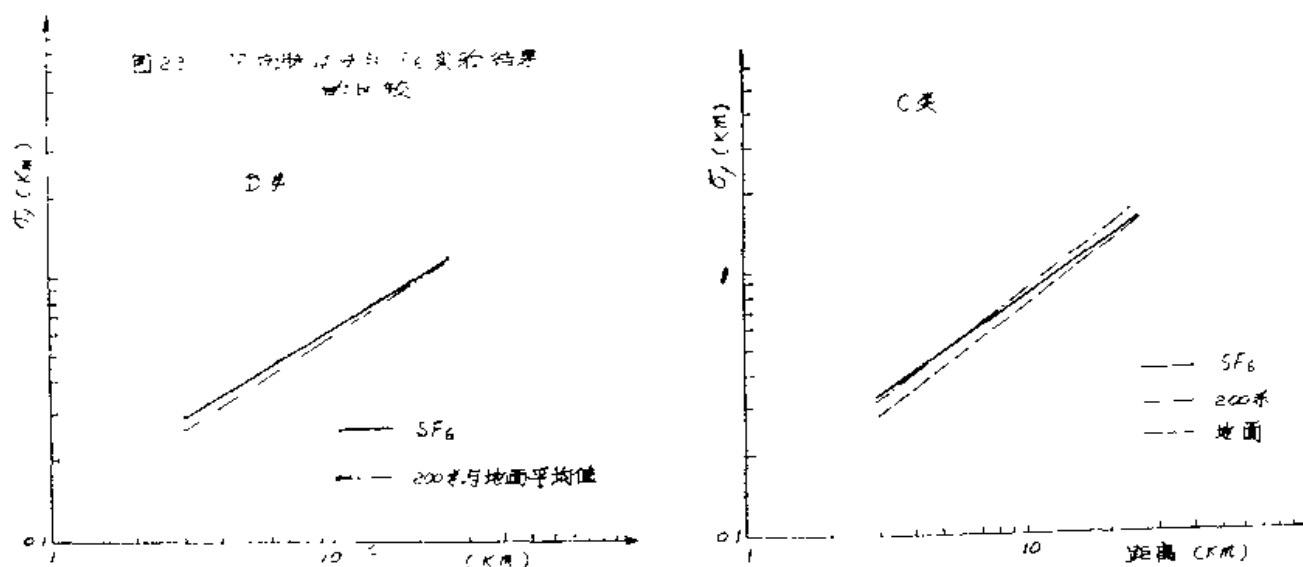


图 3.1.15 现场脉动法与SF₆实验结果的比较

表 3.1.7 $\sigma_x = \sigma_1(x) x^K$ 和 $\sigma_y = \sigma_1(x) x^K$

稳定度类	地 面				200 米			
	σ_x		σ_y		σ_x		σ_y	
	$\sigma_1(x)$	K	$\sigma_1(x)$	K	$\sigma_1(x)$	K	$\sigma_1(x)$	K
A	0.21	0.93	0.24	0.93				
B	0.26	0.90	0.23	0.91				
C	0.42	0.79	0.47	0.80	0.18	0.89	0.49	0.81
D	0.64	0.73	0.19	0.73	0.57	0.70	1.77	0.66
E					0.20	0.79	0.29	0.81
F								

下面我们再分析用上述方法得出的 σ_z 值与该地区的平衡球实验结果是否相容。图 3.1.19 给出对比结果。平衡球的 $A-B$ 类曲线比风场脉动法得到的 A 、 B 类曲线都高，比 Briggs 的 A 类曲线也高。但是，平衡球 $C-D$ 类曲线落在风场脉动法的 C 类与 D 类两条曲线之间，同样，其 $E-F$ 类曲线处于风场脉动法的 E 类与 F 类两条曲线之间。总体来看，风场脉动法所得结果与平衡球法的结果也接近。平衡球的结果，在 $A-B$ 类稳定度条件下， σ_z 值偏大，可能在此条件下，对流旺盛，平衡得不理想，在一次飞行过程中，飞行高度变化太大，使横向摆动过大。因此，似乎用风场脉动法得到的结果更好些。

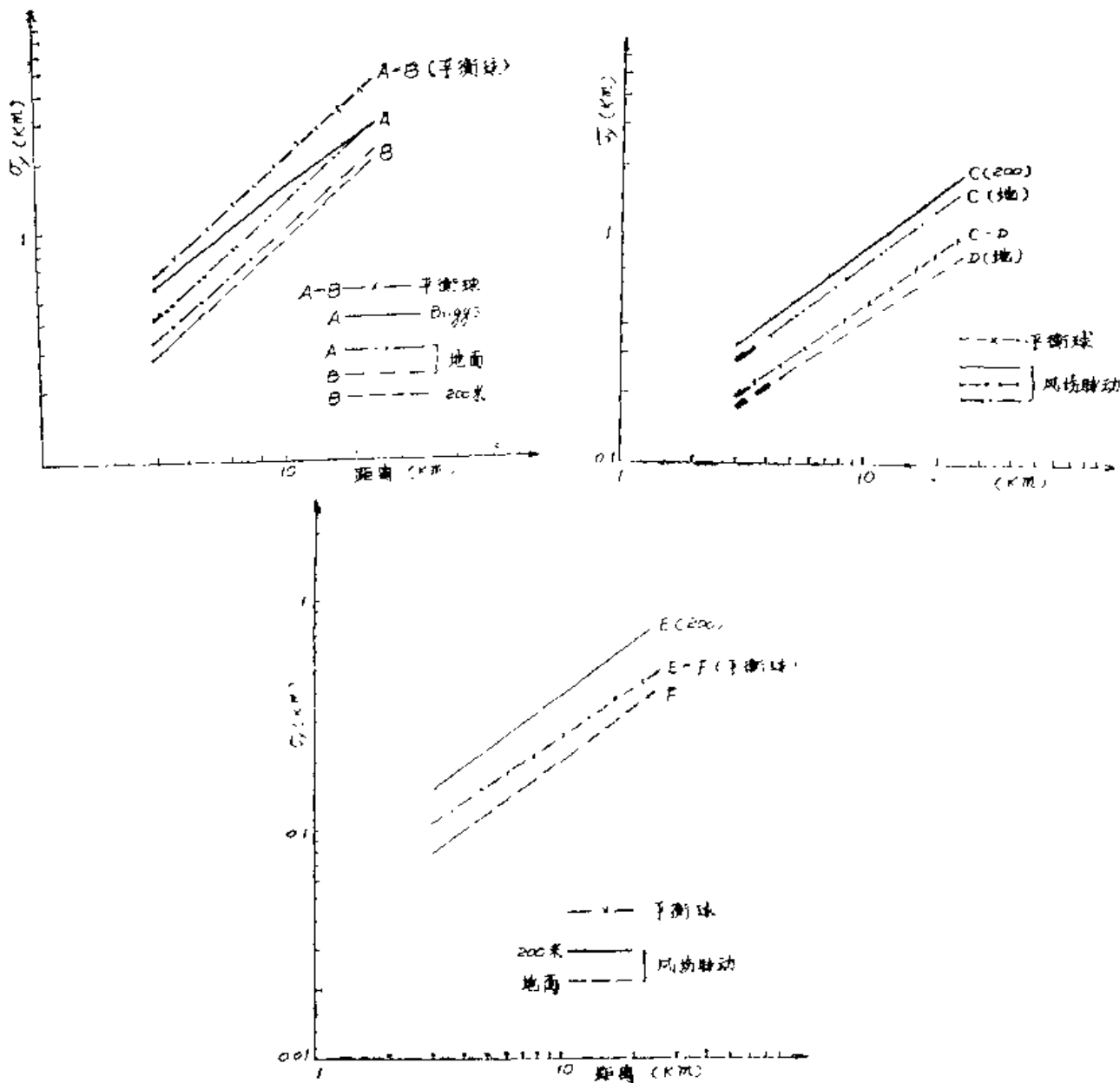


图 3.1.16 风场脉动法与平衡球观测的比较

5. 大气垂直扩散参数

由于实验没有垂直采样，不能计算大气垂直扩散参数 σ_z 。这里，我们根据浓度水平分布资料和气象资料，利用连续点源模式推算 σ_z 。

在定常状态下，高架连续点源的地面浓度公式为：

$$\rho(X, Y, O, H) = \frac{Q}{\pi \sigma_y \sigma_z \bar{u}} \exp\left(-\frac{Y^2}{2\sigma_y^2}\right) \exp\left(-\frac{H^2}{2\sigma_z^2}\right) \quad (3.1.10)$$

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} 为释放点的平均风速, Q 为源强, H 为源的释放高度。

我们取地面轴线浓度 $\rho_0 = \frac{Q}{\pi \sigma_y \sigma_z \bar{u}} \exp\left(-\frac{H^2}{2\sigma_z^2}\right)$ 则公式 3.1.10 可以写成:

$$\rho = \rho_0 \exp\left(-\frac{Y^2}{2\sigma_y^2}\right) \quad (3.1.11)$$

对(3.1.11)式两边在 $[-L, L]$ 区域沿浓度分布的横截风向求积分, 则:

$$\int_{-L}^L \rho dy = \rho_0 \int_{-L}^L \exp\left(-\frac{Y^2}{2\sigma_y^2}\right) dy$$

当 $L \rightarrow \infty$ 则近似有以下关系式

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

$\int_{-L}^L \rho dy$ 可用数值积分求出, 于是地面轴线浓度公式为:

$$\rho_0 = \frac{\Delta L \sum \rho_i}{\sqrt{2\pi} \sigma_y} \quad (i = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm n) \quad (3.1.12)$$

其中 ΔL 为采样点的间距。

根据公式(3.1.1)和(3.1.12)求出的水平扩散系数 σ_y 和地面轴线浓度 ρ , 利用下式和逐步近似方法求出离源不同距离不同截面上的垂直扩散系数 σ_z 值, 即

$$\sigma_z = \frac{Q}{\pi \sigma_y \rho \bar{u}} \exp\left(-\frac{H^2}{2\sigma_z^2}\right) \quad (3.1.13)$$

取 $\sigma_{z1} = \frac{Q}{\pi \sigma_y \rho \bar{u}}$ 代入公式(3.1.13)得到:

$$\sigma_{z2} = \sigma_{z1} \exp\left(-\frac{H^2}{2\sigma_{z1}^2}\right)$$

再将 σ_{z2} 代入公式 3.1.13 计算出 σ_{z3} , 如此迭代下去。

当 $(\sigma_{zn+1} - \sigma_{zn}) / \sigma_{zn+1} < \epsilon$, ($\epsilon = 0.01$ 要求的精度), 则 σ_{zn+1} 就是我们所要求的垂直扩散参数值。

我们根据 Pasquill 的稳定度分类法, 将实验期间划分为 C, D 两类, 按照稳定度的分类, 得到垂直扩散参数 σ_z 与下风距离的关系表达式如下:

$$C \text{ 类} \quad \sigma_z = 0.26x^{0.81}$$

$$D \text{ 类} \quad \sigma_z = 0.23x^{0.79}$$

图 3.1.17 给出 C, D 类稳定度下的 σ_z 值及其随距离变化曲线。图上还给出了平衡球实验结果(《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)和三分量风速仪测

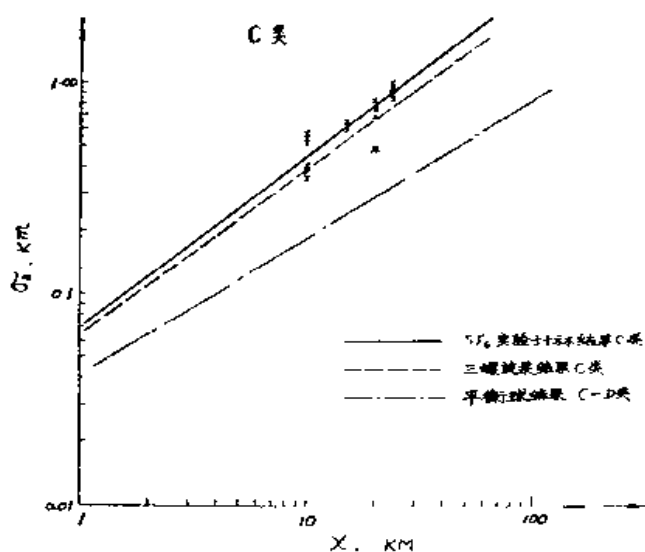


图 3.1.17a C类 σ_z 值及其随距离变化曲线

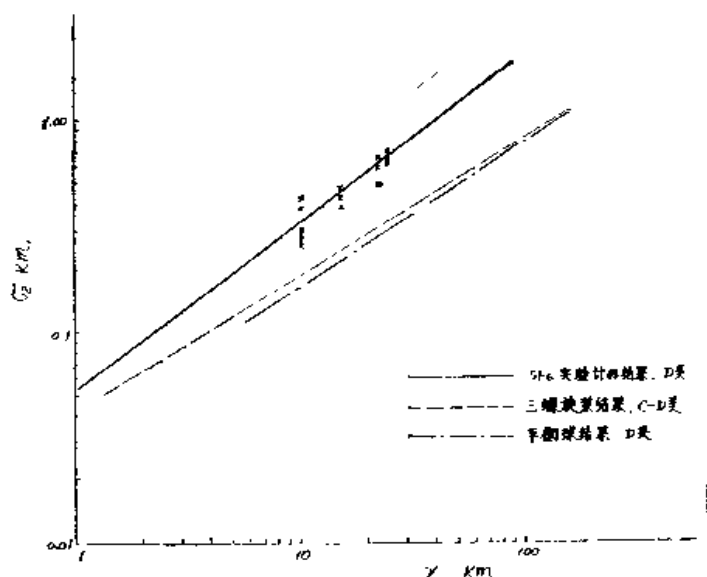


图 3.1.17b D类 σ_z 值及其随距离变化曲线

得脉动资料的计算结果。平衡球的计算值比 SF_6 实验的计算值小。这可能平衡球的结果是在2公里距离内得到的，2公里以远的数值是外延得到的。 SF_6 实验反映24公里距离的规律，在20公里后进入市区，由于城市边界的影响，垂直扩散可能要大些，另外平衡球方法测的垂直风速偏小，也使 σ_z 值小。

6. 综合结果

通过 SF_6 示踪实验取得的不同下风距离浓度水平分布，了解到宝钢排放的大气污染物对上海市区影响范围。根据 SF_6 水平分布特征修正了Pasquill大气稳定度的划分，并得到了C，D两类稳定度及小风条件下的大气水平扩散参数。以 SF_6 中距离实验结果为基础，对比并验证了用风速三分量脉动资料，用风场资料计算的水平轨迹和风速脉动资料得到的大气扩散参数。发现这些结果与 SF_6 实验结果接近。另外又由 SF_6 水平浓度分布资料推算出大气垂直扩散参数 σ_z 。这就可为模式提供 σ_x ， σ_y 和 σ_z 三个扩散参数以及小风扩散参数。由于这些扩散参数的来源和计算方法不同，资料的多寡不同，彼此有差异。扩散参数的数值随大气稳定度的变化也不十分好。因此，需要进行综合处理。处理的方法是：

(1) A、B两类的 σ_x 和 σ_y 值采用地面风场计算的风脉动资料得到的结果。

(2) C类和D类的 σ_z 值以 SF_6 实验结果为基础，再和其它方法得到的结果求平均值。而这两类的 σ_x 值采用风速脉动资料计算的结果。

(3) E类的 σ_x 和 σ_y 的关系式采用风速脉动法的结果。由于资料较少，而取二者的平均值。因而有 $\sigma_y = \sigma_x$ 。

(4) F类只有三个风速脉动法计算的 σ_z 值，以E类的 $\sigma_z - x$ 曲线的斜率作一通过这三个点的曲线，得到F类 $\sigma_z - x$ 关系式。再令 $\sigma_x = \sigma_y$ 。

(5) 大气垂直扩散参数 σ_z 随距离 x 的变化曲线只有C，D两类。令A，B两类的 σ_z 等

于 σ_y ，E类有 $\sigma_z = \frac{1}{3}\sigma_y$ ，F类有 $\sigma_z = \frac{1}{4}\sigma_y$ 。

(6) 由各类稳定度下的 σ_z 曲线分布图发现由 SF_0 水平浓度分布计算的 σ_z 值偏大, 而用三分量风脉动资料计算的 σ_z 偏小, 因为这两种结果都是由一次实验资料计算出来的, 代表性差。而用两者的平均结果比较合适。

最后综合结果见表(3.1.8)和(3.1.9)。图3.1.18给出各类稳定度的 σ_y-x 曲线。

表 3.1.8

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 3.1.9

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	0.21	0.93	0.21	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

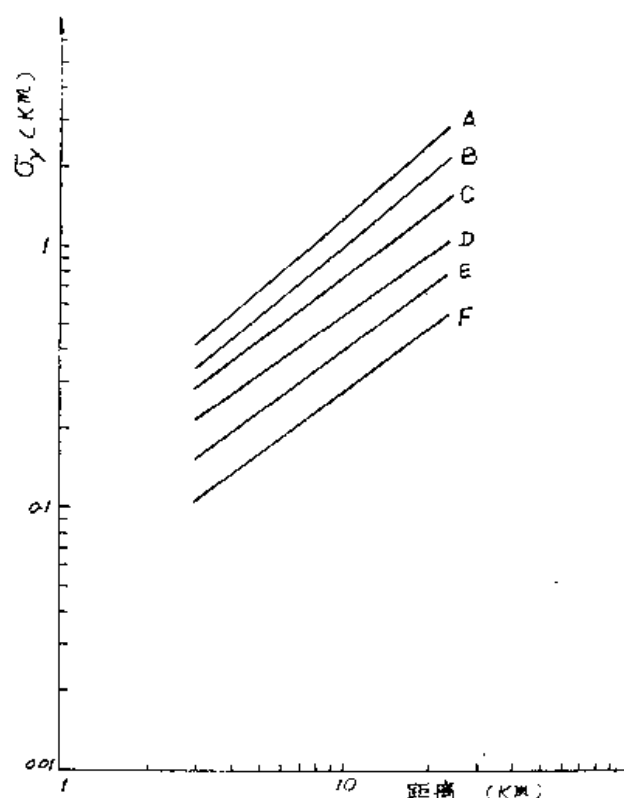


图 3.1.18 σ 关系图

二、宝钢高烟囱的烟气抬升风洞模拟试验

1. 概述

本试验主要研究中性大气条件下，烟囱的排烟温度、排烟速度和环境风速引起烟羽轨迹变化规律。从而提出适合宝钢地区的烟气抬升计算模式。

在模拟试验中，采用 F. P. Floalt 模拟方法，主要维持排烟弗劳德数 F_r' 相似，维持极小排烟雷诺数 $Re_{\text{min}} > 300$ ，维持极小容积雷诺数 $Re_v > 3000$ ，维持速度比 R 相等，维持烟囱高度 h 和浮力烟羽长度 l_b 比值等。

采用了氨熏变色法做规律性试验，用 SF₆ 示踪法进行检定，用烟云照相法进行对比。

由于缺少湍流强度分布资料，采用了风洞自我校正的方法进行校验性试验。即应用平板模型试验结果与平凉地区公认的合理计算公式的计算值作比较，以确认风洞试验的可靠性及解决因地形物引起湍流强度的变化。

2. 电厂和烧结厂200米烟囱的烟气抬升试验

(1) 生产条件下的烟气抬升

现将电厂200米烟囱在全烧煤和标准湿烧生产条件下及烧结厂200米烟囱在单烟囱和集合烟囱生产条件下，试验所得的烟羽抬升轨迹随下风距离的变化数据列于图3.2.1中。

由图表看出：(1) 随着排烟温度及排烟速度的提高，烟羽的最大抬升高度，最大抬升距离均有提高；(2) 集合烟囱比单烟囱的烟羽抬升高度提高33%，但最大抬升距离却减少8%；(3) 用氨熏变色法与 SF₆ 示踪法测定的抬升高度基本重合。

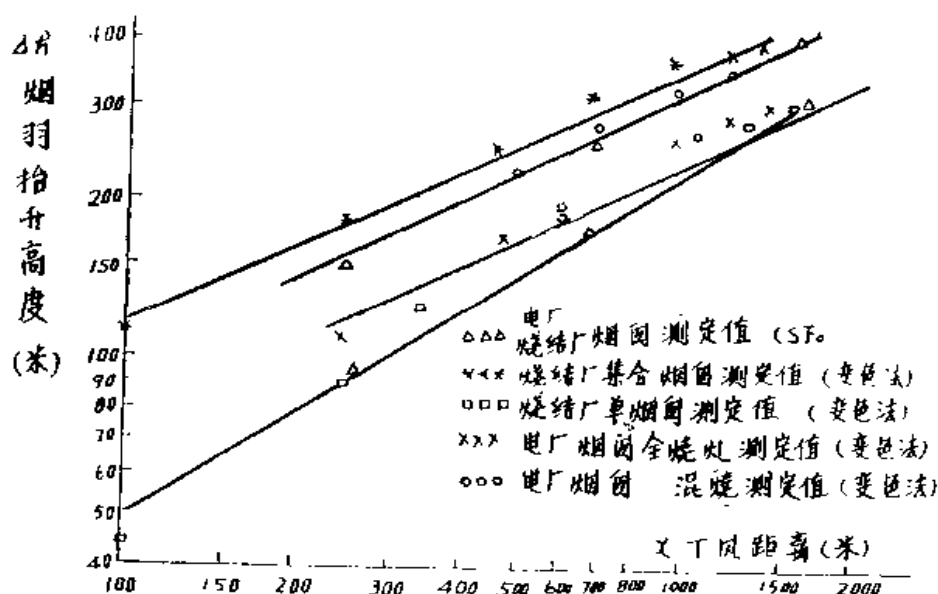


图 3.2.1 电厂、烧结厂200米烟囱在生产条件下的烟气抬升轨迹

(2) 烟气抬升计算模式

表 3.2.1 生产条件下的烟气抬升高度

烟囱条件	参数	最大抬升距离 x_{max} (米)	最大抬升高度 Δh_{max} (米)
电厂标准混烧		2100	420
电厂全烧煤		1920	310
烧结厂单烟囱		1560	300
烧结厂集合烟囱		1440	400

为了摸清烟气抬升的变化规律,通过改变 排烟温度、排烟速度及环境风速 来寻求其规律。试验结果表明:

烟羽抬升高度随排烟温度成0.33~0.45次方升高(图3.2.2)随排烟速度成0.32~0.36次方升高(图3.2.3);随环境风速成-0.9次方降低(图3.2.4)。基本和Briggs公式相吻合,因此认为采用Briggs公式的形式作为宝钢烟羽抬升计算的模式是合理的。根据实测数据整理出

$\frac{\Delta h U}{F_0^{1/3}} \sim x^{2/3}$ 的关系(图3.2.5),可得烟羽抬升计算公式:

单烟囱:

$$\Delta h = 1.63 F_0^{1/3} U_0^{-1} x^{2/3} \quad (3.2.1)$$

$$x_{max} = 129 F_0^{2/5} U_0^{-1} \quad (3.2.2)$$

集合烟囱:

$$\Delta h = 1.96 F_0^{1/3} U_0^{-1} x^{2/3} \quad (3.2.3)$$

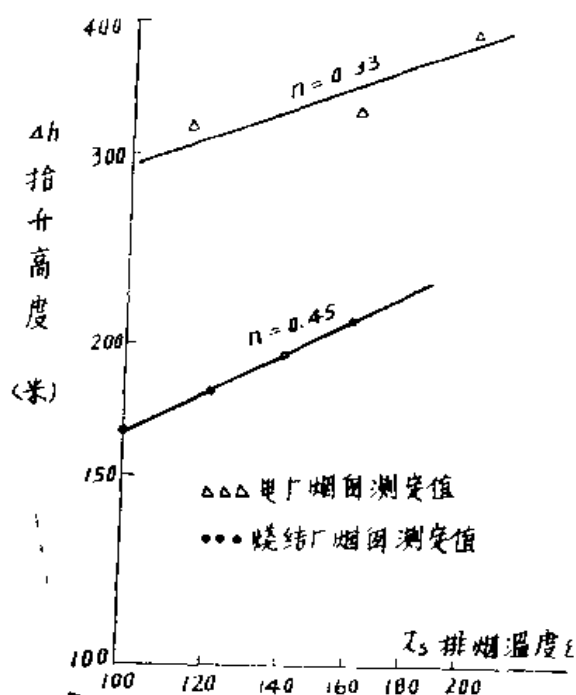


图 3.2.2 烟温度对抬升的影响

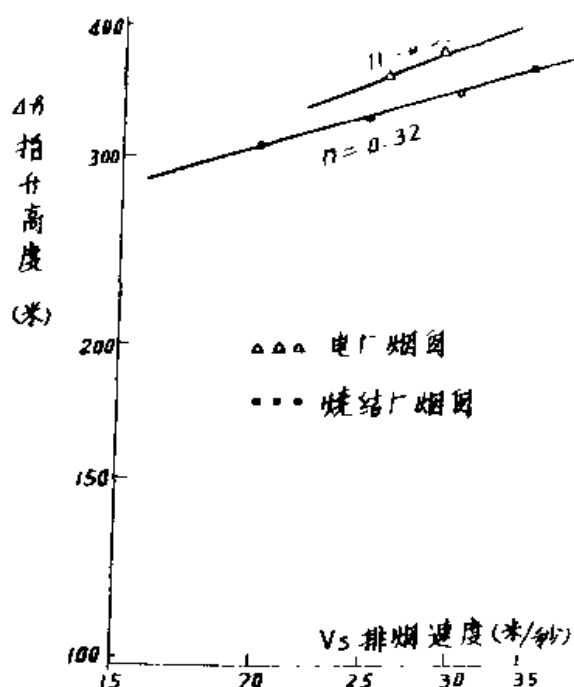


图 3.2.3 烟速度对抬升的影响

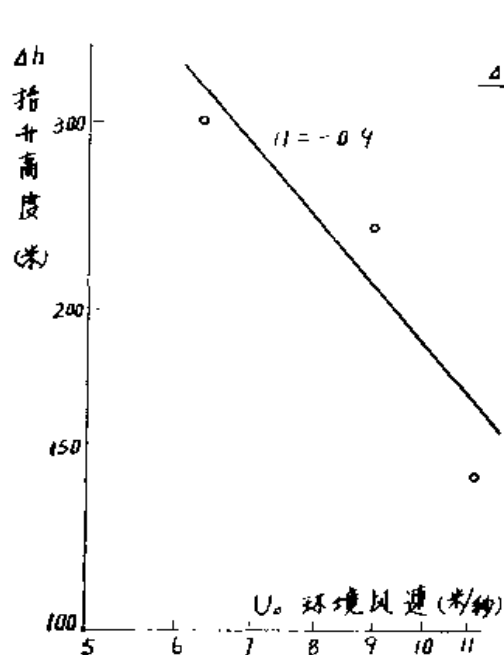


图 3.2.4 环境风速对抬升的影响

$$x_{max} = 91 F_0^{2/8}$$

3. 结论

(1) 氮熏变色法作为烟气抬升的试验方法是一种经济、准确、快速、有效的方法。

(2) 烟羽抬升高度随烟气温度 T_s ，排烟速度 V ，以及环境风速 U_0 的变化基本和 Briggs 公式相吻合。因此采用 Briggs 公式的形式作为宝钢烟羽抬升计算的模式(公式 3.2.1—3.2.4)是合理的。

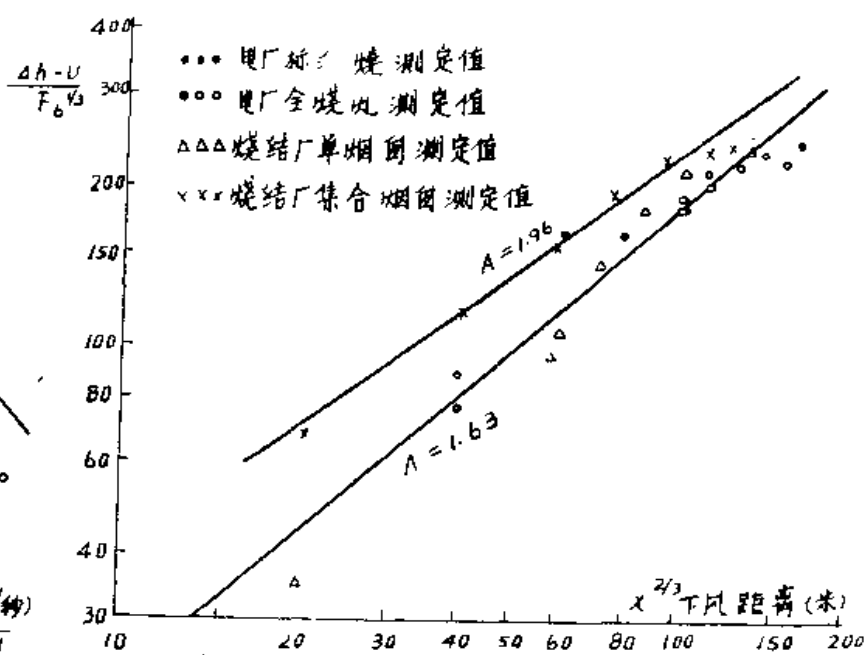


图 3.2.5 烟羽的 $\Delta h \cdot U / F^{1/3}$ 和 $x^{2/3}$ 关系图

3.2.4

三、SO₂ 污 染 模 式

应用污染数学模式计算浓度分布, 是进行大气污染现状和予评价的有效方法, 在国内外得到普遍应用。污染模式的类型很多, 但基础是高斯模式与K理论模式。上海市评价地区范围较大, 有城市、郊区之分, 东北面面临长江, 受海(江)陆风的影响。人口密集, 工厂集中的市区形成城市热岛。因此在海(江)陆风及城市热岛环流的影响下, 上海市城区与郊区大气水平流场必然是不均匀的, 风向、风速随地区和时间变化, 导致污染物的输送路径和扩散速率随地区、随时间变化。采用能考虑烟团运动方向和扩散参数随地点和时间改变的瞬时烟团模式可以较好地模拟这一过程。而连续烟羽模式则不能模拟这样复杂的过程。在长时间的输送过程中, SO₂ 的一部分被氧化而转变为硫酸盐(SO₄), 扩散到地面的SO₂ 一部分被地面吸收(干沉降), 如果在SO₂的扩散、输送过程中有降水的话, 那么必然有一部分SO₂被冲刷到地面(湿沉降), 上述过程必然会使大气中SO₂的含量降低, 因此烟团模式中增加了这部分衰减因子。

1. 模式简介:

计算SO₂浓度分布的模式有两类, 一是烟团模式, 另一个是计算本地污染的体源模式。

(1) 烟团模式:

烟团模式是用一系列的瞬时源(烟团)来逼近连续源的, 即认为连续烟羽是由一个接一个烟团连接起来的。每个烟团在移动过程中其运动方向随烟团所在位置上的风向改变而改变方向。这样, 在不均匀的风场中, 烟团运行路径, 会发生弯曲。

设编号为 k 的SO₂排放源, 每间隔 τ 时刻排放一个烟团, 每个烟团SO₂排放量为 Q_k (毫克), 烟团初始排放位置为 (x_k, y_k) 。由 t_0 时刻开始排放, 到 $t_0 + N\tau$ 时刻止共排放了 N 个烟团。按其排放时间先后顺序编号, 时间序号为

$$m = 1, 2, 3, \dots, N$$

编号为 m 的烟团是在 $t_0 + (m-1)\tau$ 时刻排放的, 到 $t_0 + N\tau$ 时刻止, 它所经历的各步长的完成时间为

$$t_0 + m\tau, t_0 + (m+1)\tau, \dots, t_0 + N\tau.$$

时间序号用 n 表示, 则 $n = m, m+1, \dots, N$ 。到 $t_0 + N\tau$ 时刻, 序号为 m 的烟团在 x 方向和 y 方向的位移分别为 ξ_m 和 η_m 。则

$$\xi_m = \tau \sum_{n=m}^N u_{i,j,t_0+(n-1)\tau}$$
$$\eta_m = \tau \sum_{n=m}^N v_{i,j,t_0+(n-1)\tau}$$

其中 $u_{i,j,t_0+(n-1)\tau}$ 和 $v_{i,j,t_0+(n-1)\tau}$ 分别表示在网格 (i, j) 上, $t_0 + (n-1)\tau$ 时刻在 x 方向和 y 方向的风速分量。在 $t_0 + N\tau$ 时, 编号为 k 的排放源在空间某一点 $A(x, y, z)$ 造成的浓度为:

$$\begin{aligned} \rho_k(x, y, z, t_0 + N\tau) = & \sum_{n=m}^N \frac{Q_k}{(2\pi)^{3/2} \sigma_x(\bar{T}) \sigma_y(\bar{T}) \sigma_z(\bar{T})} \\ & \cdot \exp \left\{ - \left[\frac{(x - x_k - \tau \sum_{n=m}^N u_{i,j}, t_0 + (n-1)\tau)^2}{2\sigma_x^2(\bar{T})} + \frac{(y - y_k - \tau \sum_{n=m}^N v_{i,j}, t_0 + (n-1)\tau)^2}{2\sigma_y^2(\bar{T})} \right] \right\} \\ & \cdot \left\{ \exp \left[- \frac{(H - Z)^2}{2\sigma_z^2(\bar{T})} \right] + \exp \left[- \frac{(H + Z)^2}{2\sigma_z^2(\bar{T})} \right] \right\} \end{aligned} \quad (3.3.1)$$

其中 T 为烟团运行(扩散)时间, $T = (N - m + 1)\tau$ 。 H 为烟气排放有效高度(烟囱几何高度加烟团抬升高度)。由于烟团空间位置不断变化, 其位置上的风速 $u_{i,j}$, $v_{i,j}$ 也在变化, 即不同时刻, 不同位置烟团运行方向有所改变, 因此烟团的运行轨迹可能发生弯曲。

令空间坐标值 $z = 0$, 则得编号为 k 的排放源对点 $A(x, y, z)$ 在地面投影点 $A'(x, y, 0)$ 造成的浓度为:

$$\begin{aligned} \rho_k(x, y, 0, t_0 + N\tau) = & \sum_{n=m}^N \frac{2Q_k}{(2\pi)^{3/2} \sigma_x(\bar{T}) \sigma_y(\bar{T}) \sigma_z(\bar{T})} \\ & \cdot \exp \left\{ - \left[\frac{(x - x_k - \tau \sum_{n=m}^N u_{i,j}, t_0 + (n-1)\tau)^2}{2\sigma_x^2(\bar{T})} + \frac{(y - y_k - \tau \sum_{n=m}^N v_{i,j}, t_0 + (n-1)\tau)^2}{2\sigma_y^2(\bar{T})} + \frac{H^2}{2\sigma_z^2(\bar{T})} \right] \right\} \end{aligned} \quad (3.3.2)$$

公式(3.3.2)即为点源地面浓度计算公式。

SO₂的衰减:

设某个烟团本身所含 SO₂ 的质量为 Q_k , 由于转化为硫酸盐, 向地面沉积和湿沉降等过程, 烟团内 SO₂ 含量随时间的衰减率为:

$$\frac{dQ_k}{dt} = -\beta Q_k \quad (3.3.3)$$

其中 β 为衰减系数, $\beta = \beta_t + \beta_d + \beta_w$

β_t : SO₂→SO₄的转化率(单位: 1/小时)

β_d : 地面吸收系统(干沉积)(单位: 1/小时)

β_w : 降水冲刷系数(湿沉降)(单位: 1/小时)

若该烟团所经历的运行(扩散)时间为 T , 则经过 T 时刻后, 烟团内 SO₂ 含量可由公式(3.3.3)推导出:

$$Q_k = Q_{k0} \exp(-\beta T)$$

Q_k 为经过 T 时刻后烟团内 SO₂ 含量, Q_{k0} 为烟团排放初始 SO₂ 含量。因此, 考虑了 SO₂ 在大气中的衰减过程中, 地面浓度公式(3.1.2)应乘以 $\exp(-\beta T)$ 。由于 $T = (N - m + 1)\tau$, 则有

$$\rho_k' = \rho_k \exp[-\beta(N - m + 1)\tau] \quad (3.3.4)$$

对于 k 个污染源同时对地面上同一点造成的 SO_2 浓度为:

$$\rho(x, y, z, t_0 + N\tau) = \sum_{k=1}^k \rho_k'$$

混合层顶多次反射的影响:

近地面层大气由于夜间地面辐射冷却出现辐射逆温层, 大城市的城区, 由于人口密集, 人为活动破坏了近地层逆温, 形成混合层。即近地层为递减温度层结, 而高空有一稳定层盖了, 污染物只能在地面与逆温层底之间这个通道中输送、扩散而无法突破逆温层底向高空扩散。此时计算 SO_2 浓度分布采用烟团多次反射的模式。混合层上下边界被认为都是不可穿透的, 是全反射面, 烟团到达此界面后即反射, 考虑到 SO_2 衰减因子, 其计算公式为:

$$\begin{aligned} \rho_k(x, y, z, t_0 + N\tau) = & \sum_{m=1}^N \frac{Q_k \exp[-\beta(N-m+1)\tau]}{(2\pi)^{3/2} \sigma_x(T) \sigma_y(T) \sigma_z(T)} \\ & \cdot \exp \left\{ - \left[\frac{\left(x - x_k - \tau \sum_{i=1}^m u_{i,i,t_0+(n-1)\tau} \right)^2}{2\sigma_x^2(T)} \right. \right. \\ & \left. \left. + \frac{\left(y - y_k - \tau \sum_{i=1}^m v_{i,i,t_0+(n-1)\tau} \right)^2}{2\sigma_y^2(T)} \right] \right\} \cdot \sum \exp \left[- \frac{(H-2PD)^2}{2\sigma_z^2(T)} \right] \quad (3.3.5) \end{aligned}$$

式中 D 为混合层的厚度, 反射次数 $P = \pm 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$, 一般 P 取到 ± 4 已足以满足要求了。公式(3.3.5)计算比较复杂, 但在某些条件下此公式可以简化:

A) 当烟团边界尚未达混合层顶时: 规定烟团边界为当其浓度为中心浓度的十分之一时, 即该处为边界。当烟团扩散增大, 边界刚刚达到混合层顶时, 其扩散参数为 $\sigma_z(t_1) = 0.47(D-H)$ 。即烟团排放后 t_1 时, 烟团边界达到混合层顶, 因此, 当烟团运行时间 $T \leq t_1$ 时不可能出现多次反射, 因此仍用点源公式(3.3.4)计算。

B) 当烟团内垂直方向浓度均匀分布时: 当烟团运行时间 $T \geq 2t_1$ 时, 由于烟团经过多次反射以后, 已使污染物垂直的浓度分布为近似均匀的, 则可用下式计算:

$$\begin{aligned} \rho_k(x, y, z, t_0 + N\tau) = & \sum_{m=1}^N \frac{Q_k \exp[-B(N-m+1)\tau]}{2\pi D \sigma_x(T) \sigma_y(T)} \\ & \cdot \exp \left\{ - \left[\frac{\left(x - x_k - \tau \sum_{i=1}^m u_{i,i,t_0+(n-1)\tau} \right)^2}{2\sigma_x^2(T)} \right. \right. \\ & \left. \left. + \frac{\left(y - y_k - \tau \sum_{i=1}^m v_{i,i,t_0+(n-1)\tau} \right)^2}{2\sigma_y^2(T)} \right] \right\} \quad (3.3.6) \end{aligned}$$

(2) 污染源模式化及分布概况:

污染源源强在模式计算中占有重要位置, 污染源处理是否得当, 对污染物模式计算结果影响较大。从前面污染源调查绘制的 SO_2 排放量分布图来看, 污染源分布极不均匀, 城区数值大, 而郊区数值小, 相差极悬殊。如果每个排放源都作为计算模式的一个源强值, 则计算量太大。必须把污染源进行模式化处理。

① 点源: 排放量大的单个高烟囱, 或几个位置相近的低烟囱组合, 或排放量大的单个厂作为点源。此种点源共有34个, 见下表3.3.1。

表 3.3.1 点源参数及源强

厂 号	坐标 (X,Y)	烟囱高度单位: 米	源强单位: 公斤/小时
宝钢电厂	(16.2, 32.2)	200	2889
宝钢烧结厂	(13.8, 32.9)	200	1960
热轧厂	(15.8, 31.2)	110	926
南市电厂①	(21.5, 4.5)	47	118.4
南市电厂②	(21.5, 4.5)	45	177.7
南市电厂③	(21.5, 4.5)	60	219.5
闸北电厂①	(24.5, 20.5)	36.27	77.2
闸北电厂②	(24.5, 20.5)	35.5	77.2
闸北电厂③	(24.5, 20.5)	36.14	77.2
闸北电厂④	(24.5, 20.5)	35.6	77.2
闸北电厂⑤	(24.5, 20.5)	60	942
闸北电厂⑥	(24.5, 20.5)	60	740
闸北电厂⑦	(24.5, 20.5)	60	995.7
杨浦电厂①	(26.5, 12.5)	42	318.4
杨浦电厂②	(26.5, 12.5)	42	318.4
杨浦电厂③	(26.5, 12.5)	105	1284.5
140无缝钢管厂	(18.1, 30.6)	120	205
上钢三厂	(20.5, 2.5)		985.75
上海铁箱厂(三个)	(18.1, 11.5)		106.64
上海铁合金厂	(18.5, 21.5)		112.33
上钢一厂	(19.5, 21.5)		1245.83
吴淞煤气厂	(20.5, 21.5)		74.89
吴淞化工厂(二个)	(17.5, 22.5)		234.69
上海硫酸厂等(三个)	(18.5, 22.5)		337.61
吴淞化肥厂	(18.5, 23.5)		73.05
浦口化肥厂	(19.5, 23.5)		57.29
吴淞发电所等(二个)	(20.5, 23.5)		108.56
上钢五厂	(19.5, 25.5)		675.63
十七漂染厂等(三个)	(15.5, 8.5)		60.34

续上表

厂名	坐标 (X,Y)	烟囱高度 单位:米	源强 单位:公斤/小时
上海汽水厂等(三个)	(23.5, 11.5)		131.17
第六印染厂(五个)	(22.5, 11.5)		164.62
宝山钢铁厂	(15.5, 24.5)		11.32
吴淞建材厂	(18.5, 26.5)		9.87
东海船厂钢管厂(共二个)	(21.5, 22.5)		34.8

② 体源: 对于城市或工业区的污染源, 把排放量大的高烟囱作为点源处理后, 一般把中、小工厂和居民区的无组织排放划分为面源。但是, 由于上海市区人口非常集中, 有上千家小工厂与街道工厂低烟囱在排烟, 还有居民小煤炉和工厂泄漏等排放源。而且, 工厂与居民区交错在一起, 排放源高度参差不齐, 因此, 不能用具有同一源高的面源来处理, 而应当用具有一定厚度的均匀体源处理, 以便能考虑不同源高烟羽的垂直扩散过程, 特别是计算该体源对本地区的污染时, 必须考虑垂直扩散过程。至于体源底面积的大小, 则根据 SO_2 排放分布图来划分。市区 SO_2 排放量大, 又极不均匀, 则由边长 1 公里的面积划分。临近市区的近郊区以边长为 2 公里的面积来划分。郊区污染源排放量小, 且分布较均匀, 则分别以 3 公里、4 公里和 5 公里的边长面积来划分。这些污染源本身在垂直方向上, 有一定的厚度。此五种面积的体源数目为:

面积为 1 平方公里的共 110 块;

面积为 4 平方公里的共 28 块;

面积为 9 平方公里的共 9 块;

面积为 16 平方公里的共 2 块;

面积为 25 平方公里的共 25 块。

污染源分布图详见图 3.3.1。

(3) 体源模式:

本地污染的概念是指体源对源本身所占面积内造成的污染, 即称为该体源的本地污染。

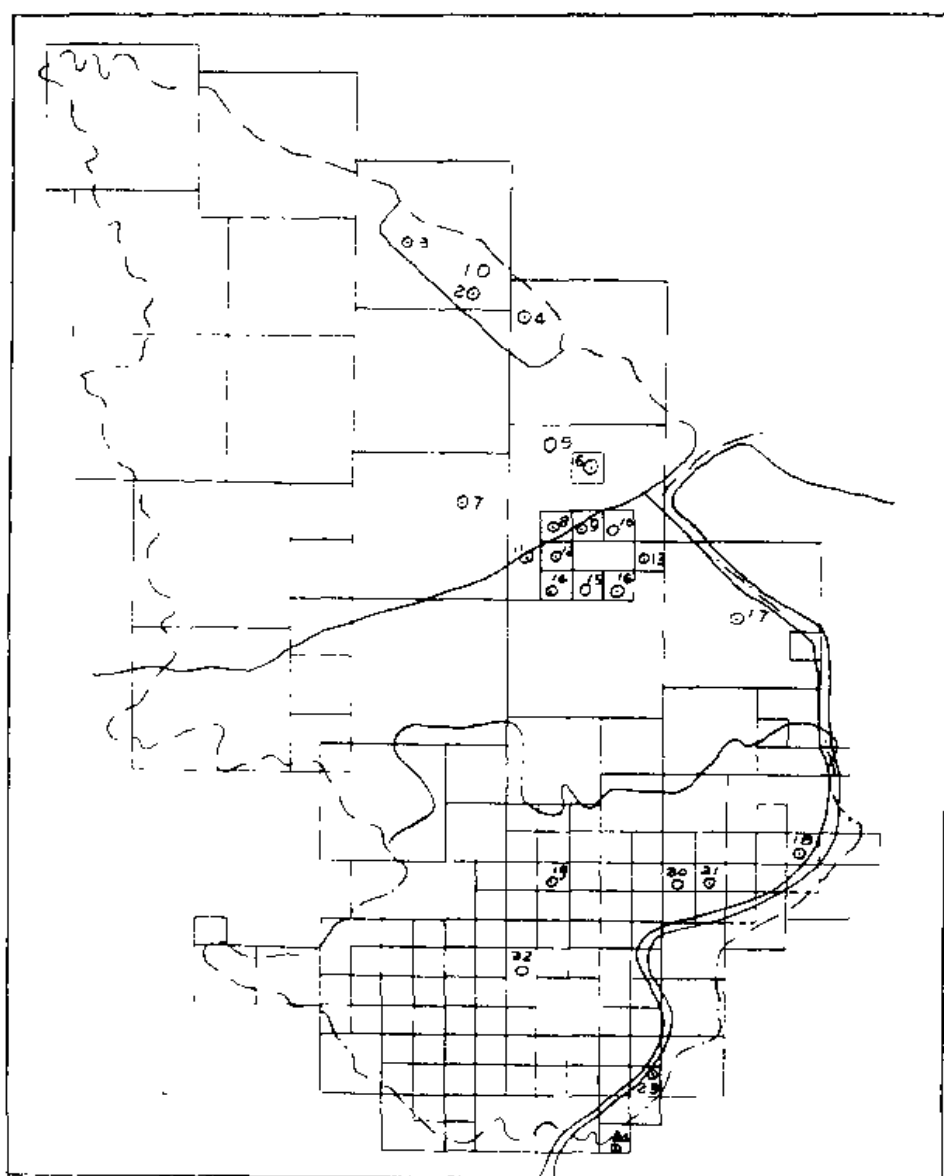
计算本地污染的体源模式如下:

设某一体源块, 其底面积的边长为 L , 其厚度为 H 的四方体。单位时间内, 该四方体内所排放的污染物总量为 Q , 则单位体积内污染物质(源强)为: $q = \frac{Q}{L^2 \cdot H}$ 。该体源内任一元体积 dx 、 dy 、 dz 的源强则为: $q \cdot dx \cdot dy \cdot dz$ 。

58页图为源示意图, 绘有对体源所建立的空间坐标系 x 、 y 、 z , x 轴与平均风向一致, 对体源底面积中心点取 M , 元体源 $q \cdot dx \cdot dy \cdot dz$ 在 M 点造成的浓度可根据连续点源计算公式(即高斯烟羽计算公式)求得, 设 M 点浓度为 $d\rho$, 即:

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

式中: σ_y 、 σ_z 分别为横向、垂直扩散参数, \bar{u} 为平均风速, z 为元体源块所在高度。该体



符 号

○ — 点源
□ — 面源

- 1 电厂
- 2 热轧厂
- 3 烧结厂
- 4 钢管厂
- 5 吴淞造船厂
- 6 上钢五厂
- 7 宝山轧钢厂等
- 8 吴淞化肥厂
- 9 浦江化工厂
- 10 吴淞发电所等
- 11 吴淞化工厂等
- 12 上海硫酸厂等
- 13 东海船厂等
- 14 上海冶金厂
- 15 上钢一厂
- 16 吴淞煤气厂等
- 17 闸北电厂
- 18 杨浦电厂
- 19 上海铁箱厂等
- 20 第三印染厂等
- 21 上海水电厂等
- 22 七七染整厂等
- 23 南市电厂
- 24 上钢三厂

图 3.3.1 上海市点源和模式化面源图

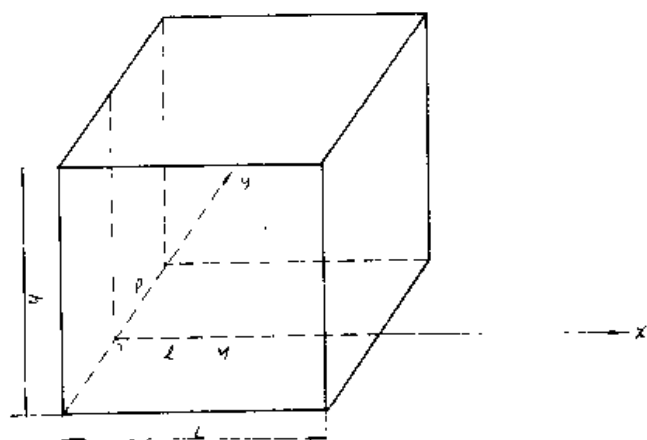
源对 M 点的浓度有贡献的部分，应当是 M 点上风方向那一部分，而位于 M 点下风方向的体源部分，则不会污染 M 点。因此，上式对位于 M 点上风向方向的体源部分求积分，就可得到所有对 M 点有贡献的元体源共同影响的浓度总值。即 M 点浓度为：

$$\rho(x, y, z) = \int_{-P}^{+P} \int_{-l}^{+l} \int_0^h \frac{q}{\pi \sigma_y \sigma_z u} \cdot \exp \left[- \left[\frac{y^2}{2\sigma_y^2} + \frac{z^2}{2\sigma_z^2} \right] \right] dx dy dz$$

因为 σ_y 、 σ_z 只是距离 x 的函数，故上式可改写为：

$$\rho(x, y, z) = \frac{q}{\pi u} \left[\int_{-P}^{+P} \frac{1}{\sigma_y} \cdot \exp \left(- \frac{y^2}{2\sigma_y^2} \right) dy \right] \left[\int_0^h \frac{1}{\sigma_z} \cdot \exp \left(- \frac{z^2}{2\sigma_z^2} \right) dz \right] dx$$

P 与 l 是同量级的，在区间 $[-P, P]$ 之间积分可看作是在 $[-\infty, \infty]$ 区间积分，对 y 积分后，并令 $\frac{z^2}{\sigma_z^2} = t^2$ ，则上式变为：



$$\rho(x, y, z) = \frac{2q}{u\sqrt{2\pi}} \int_0^{\frac{h}{\sigma_z}} \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt \cdot dx$$

再令: $T = \frac{h}{\sigma_z}$, 则

$$\rho(x, y, z) = \frac{q}{u} \int_0^{\frac{h}{\sigma_z}} \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt \cdot dx = \frac{q}{u} \int_0^{\frac{h}{\sigma_z}} \Phi(T) dx$$

其中: $\Phi(T) = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \int_0^T \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt$

由于 σ_z 是 x 的函数, 所以 $\Phi(T)$ 也是 x 的函数。

用数值积分来表示, 则:

$$\rho(x, y, z) = \frac{q}{u} \sum_{n=0}^N \Phi[T(n\Delta l)] \Delta l \quad (3.3.7)$$

实际计算本地污染时, 污染源块面积都是一平方公里, 其厚度(h 的值)分为三种, 城市内人口密集, 楼房多, 且与大小工厂交织在一起, 在各个高度上都排放污染物, 再加上市区内气流的垂直交换作用强, 构成厚度较大的体源块, 城市体源厚度取60米。郊区工厂少, 以居民生活燃煤排放 SO_2 为主, 并有农田, 菜园把居民区相隔开, 每平方公里内, 不一定处处有污染源, 源分布不均匀。为此, 把每平方公里内的源集中在边长600米、厚一米的体积中, 构成郊区体源。吴淞区虽属上海郊区, 但是个工业区, 将点源以外的污染源作体源处理, 其厚度为5米。由此, 应用公式(3.3.7)可计算出城区、郊区、吴淞区每平方公里面积上的本地污染浓度值。

(4) 体源对其他地区的污染:

我们把体源对其他地区的污染, 看成是该地区上风向的一个具有一定高度的虚拟点源, 排放污染物扩散至此所造成的, 即认为在体源中心排放烟团, 烟团一排出就具有一个初始

σ_{x_0} 、 σ_{y_0} 、 σ_{z_0} 值, 它们分别为:

$$\sigma_{y_0} = \sigma_{x_0} = S/4.3, \quad \sigma_{z_0} = h/4.3$$

其中 S 为体源的边长, h 为体源厚度。用这种虚拟点源法, 则体源也可用上述烟团模式来计算 SO_2 浓度分布。其源高定为 $\frac{h}{2}$ 。

2. 抬升高度

在高架点源浓度计算公式中, 烟气抬升将影响浓度计算结果。目前, 使用的烟气抬升公式很多, 主要是经验公式与半经验公式, 它们是根据不同类型烟囱烟气抬升资料总结出来的, 应用上有其局限性。

我国对烟气抬升规律的研究工作很少, 除进行过山区火电厂烟气抬升研究外, 大气物理研究所曾用夹卷模式计算烟气轨迹, 并与国外实测烟气轨迹进行对比, 得到适用于较小烟囱的烟气抬升模式。另外, 南京大学曾实测位于平原地区的徐州电厂烟囱烟气抬升, 并总结出经验公式。但在目前, 国内尚未总结出普遍使用的抬升公式。因此, 我们选择了国外几个有代表性的抬升公式及徐州电厂工程推荐公式, 以及夹卷烟羽抬升模式进行计算, 见表3.3.2。通过对计算结果的比较, 发现对同一烟囱、不同公式所计算的抬升高度差异较大。徐州电厂推荐公式计算宝钢电厂及其他三个大型烟囱的烟气抬升高度与Briggs抬升公式计算值接近, 但略小些。用风洞模拟烟气抬升实验结果, 也与Briggs抬升公式计算值吻合。而Briggs公式又是国外应用于计算大型电厂烟气抬升的公式, 因此, 我们采用Briggs公式进行宝钢四个烟囱烟气抬升的计算。上海市较低、较小的烟囱, 按理用夹卷烟羽模式较好, 但是, 此模式计算结果与Briggs抬升公式计算结果相近, 为了计算上的方便, 决定全部点源的烟气抬升都采用Briggs抬升公式进行计算。

Briggs抬升公式为:

$$\text{当 } V_s < 1.5 \bar{u} \text{ 时, } h' = h + 2(V_s \sqrt{\bar{u}} - 1.5)D$$

$$\text{当 } V_s \geq 1.5 \bar{u} \text{ 时, } h' = h + F = \frac{g V_s D^2 (T_s - T_a)}{4 T_a}$$

在小于达到最后抬升的距离时, 对所有稳定度类:

$$H = h' + \frac{1.6 F^{1/3} x^{2/3}}{\bar{u}} \quad (x \text{ 单位为米})$$

当超过最后抬升距离时, 则:

① 中性、不稳定情况:

a) 对于 $F < 55$, 则 $x_t = 0.049 F^{5/8}$

$$H = h' + 21.425 F^{3/4} / \bar{u}$$

b) 对于 $F \geq 55$, 则 $x_t = 0.119 F^{2/5}$

$$H = h' + 38.7 F^{3/5} / \bar{u}$$

② 稳定情况:

$$\text{稳定度参数: } S = g \frac{\partial \theta / \partial z}{T_a}$$

表 3.3.2 利用不同烟气抬升公式计算结果比较

厂名	P(K)	QH	V _烟 (米/秒) ³	烟气抬升高度Δh(米)							
				徐州电厂公式	Holland	Moses	Lucas	Concawe	Berlyaud	长委模型	Briggs
电厂	763.86	2×10 ⁷	5 10	294.3 117.2	201 102	162.5 81	107.9 201	231 129	75.8 26.6	220 133	115.6 207.8
烧碱厂	468.69	1.2×10 ⁷	5 10	250.1 125.1	123 62	123.9 62	359 179.5	181 107.8	41.8 15.2	115 81	310 143.7
热电厂	130.21	3.5×10 ⁶	5 10	163.9 81.9	34 17	65.4 32.7	193.8 96.9	97.7 58.2	7.0 1.1	90 75	137.5 62
钢管厂	13.17	1.16×10 ⁶	5 10	113.2 56.6	13 6.3	37.7 18.8	152.9 76.5	56.4 33.5	5.7 2.2	16 28	68.9 30.6
闽北电厂①	1.97	5.3×10 ⁴	5 10		0.8 0.1	8.0 1.0	47.8 23.9	12.05 6.02	0.5 0.21	9.4 6.4	7.1 3.6
闽北电厂②	6.1	1.64×10 ⁵	5 10		2.1 1.2	11.1 7.1	63.2 31.6	21.2 10.6	1.6 0.7	10.4 6.6	16.6 8.3
闽北电厂③	16.8	1.49×10 ⁵	5 10		6.8 3.4	23.7 11.9	81.6 40.8	35.0 17.5	4.6 2.1	12.8 7.4	35.6 17.8
闽北电厂(5)	100	2.68×10 ⁶	5 10		32.8 16.1	58.0 29.1	111.8 72.4	85.7 42.8	17.6 7.3	34.2 16.9	122.7 61.1
杨浦电厂①	12.8	3.41×10 ⁵	5 10		5.2 2.6	20.7 10.3	78.8 39.1	30.7 15.4	3.5 1.6	11.5 6.8	29 11.5

a) E 类稳定度: $\frac{\partial \theta}{\partial z} = 0.02$

b) F 类稳定度: $\frac{\partial \theta}{\partial z} = 0.035$

$$x_t = 0.00207 \overline{u} S^{-\frac{1}{2}}$$

$$H = h' + 2.6 \left[-\frac{F}{\overline{u} S} \right]^{1/3}$$

符号意义:

D : 烟囱出口内径(米);

V_e : 烟气出口速度(米/秒);

T_e : 烟气出口温度($^{\circ}\text{K}$);

T_a : 出口高度环境温度($^{\circ}\text{K}$);

\overline{u} : 烟囱出口高度平均风速;

F : 浮力通量参数(m^4/s^3);

H : 烟气抬升后有效高度(米);

h' : 烟气下冲高度(米);

h : 烟气几何高度(米);

x_t : 烟气达最大抬升高度时, 其位置距源的水平距离(米);

S : 稳定度参数;

$\frac{\partial \theta}{\partial z}$: 位温梯度($^{\circ}\text{K}/\text{km}$)

3. 模式计算结果

(1) 典型日计算结果:

要考虑偏北风条件下, 宝钢排放 SO_2 对上海市区和附近地区的影响, 以计算日平均浓度分布是合适的。

日平均浓度的分布取决于流场特征, 以及日变化; 大气稳定度的分布和日变化。为了作出有代表性的评价, 选出几类有代表性的典型日, 用模式计算出这些典型日的 SO_2 日平均浓度分布。

气象条件的特征可粗略地分为局地环流为主和系统环流为主两种类型。局地环流为主的天气类型表现为在海(江)陆风和热岛环流影响下, 风向有明显的日变化。一天之中偏北风只持续一段时间。另一特点是晴天, 风速为小风或中等风速(小于6米/秒), 大气稳定度由白天的 A 、 B 、 C 、 D 类过渡到夜间的 E 类或 F 类(当风速大时为 E 类, 风速小时为 F 类)。而偏北风条件下的系统环流, 由于风速较大, 大气稳定度为 C 、 D 类, 偏北风可维持一天。

根据上述分类, 由80年12月、81年12月下旬至82年1月中旬出现偏北风的日子归纳出以下几个典型日, 见表3.3.3。

(2) 计算值与监测值的对比:

1981年12月29日和1982年1月12日, 没有 SO_2 浓度实测资料, 但是, 有 SF_6 浓度分布资料。因此, 用模式计算在电厂200米高烟囱释放 SF_6 造成的地面浓度分布, 然后与实测值比较,

表 3.3.3

环流条件	局 地 环 流			系 统 环 流	
日 期	80.12.4	80.12.6	80.12.7*	81.12.29	82.1.12
风 向	NW,N,SE	NW,N,NE	NE,SE	NNE,N	NE
大气稳定度	白天	A,B,C,D	A,B,C,D	C	C
	夜间	F,E,D	F,E	D	D

* 80年12月7日热岛环流明显。

以考察模式的可靠程度。

图3.3.2a是81年12月29日下午, 15公里和24公里两条弧线上的浓度分布, 计算结果与实

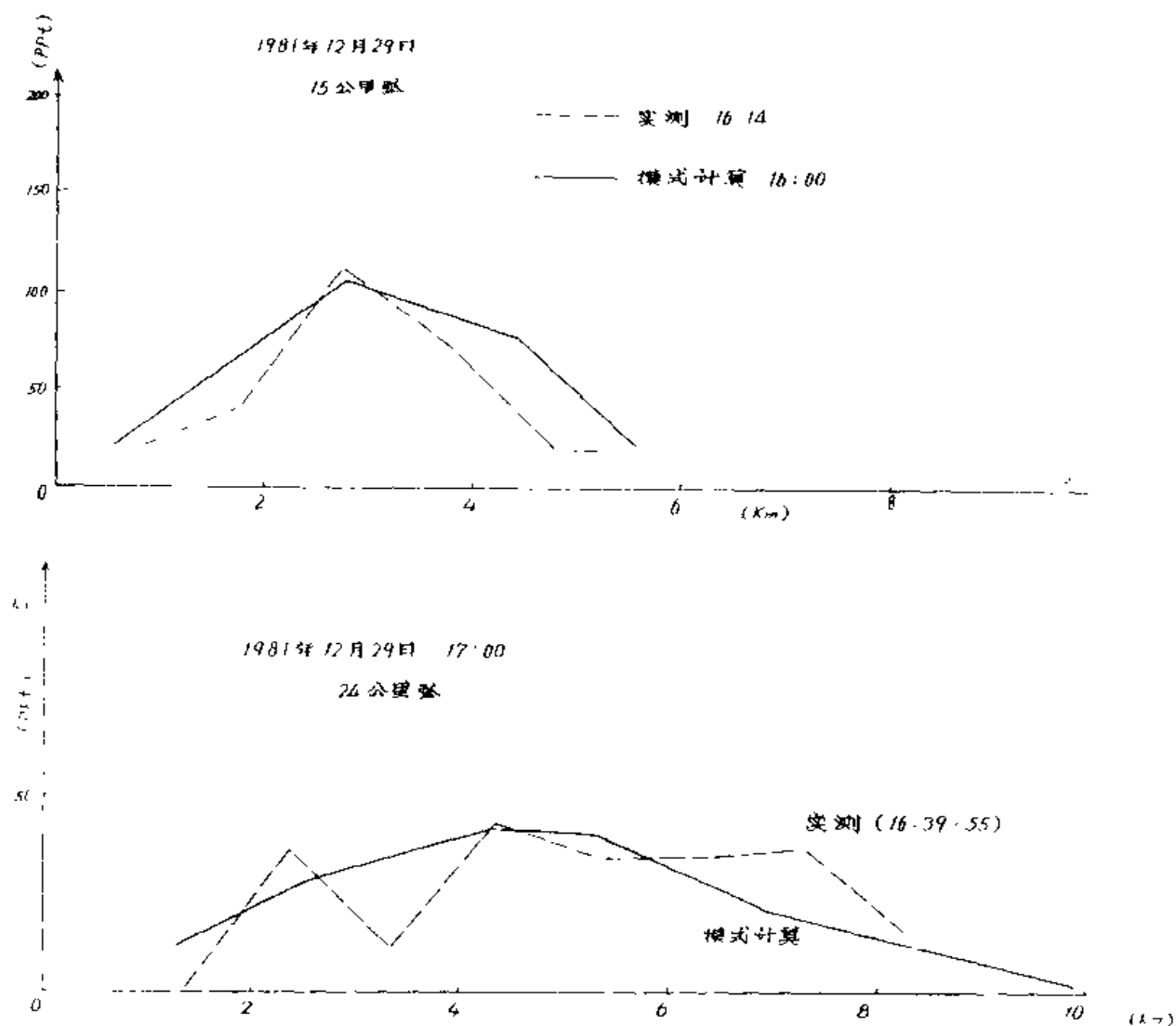


图 3.3.2a 1981年12月29日 SF_6 浓度分布对照

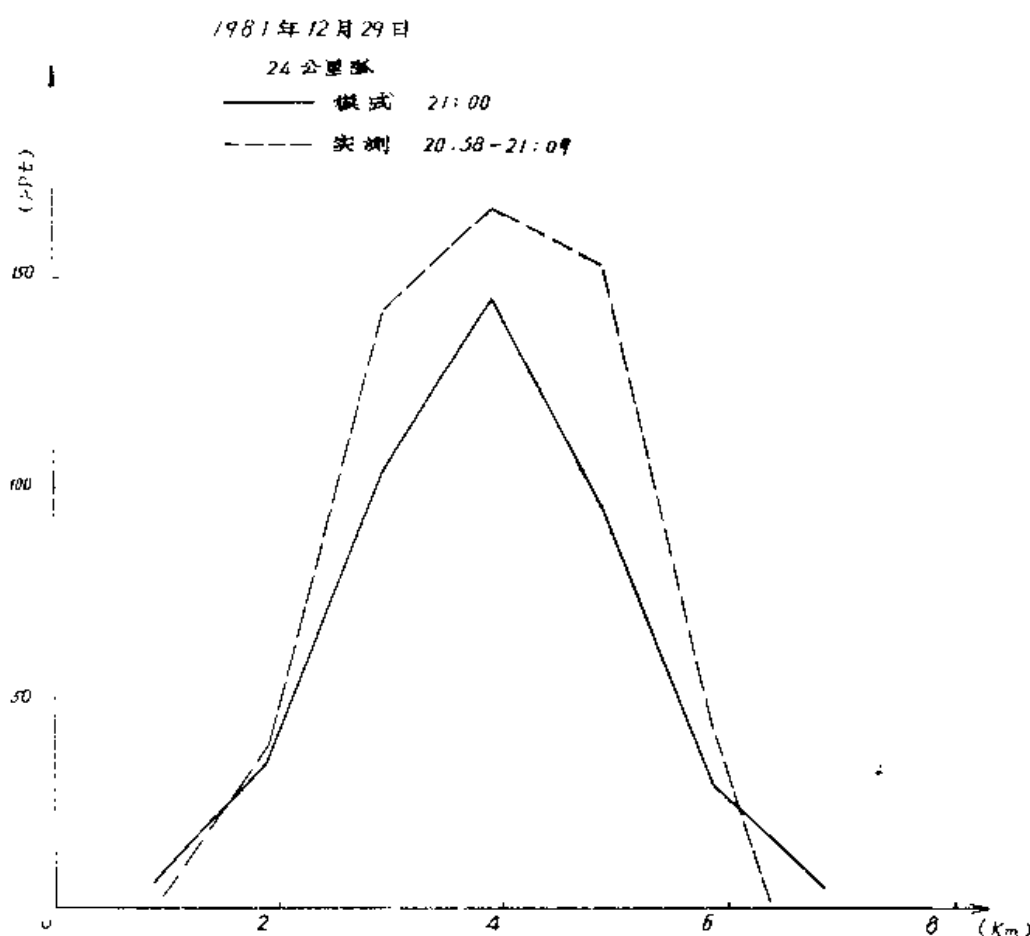


图 3.3.2b 1981年12月29日 SF_6 浓度分布对照

测值比较吻合。图3.3.2b是29日夜间21时24公里弧线上 SF_6 浓度分布，虽然实测值比计算值大些，但还是比较接近。图3.3.3是1982年1月12日的计算结果。

以局地环流为主的三天 SO_2 日平均浓度分布计算值可以有实测值与之比较。评价区内共有监测点18个(见图3.3.4a)，表3.3.4给出80年12月4日、6日、7日三天的日平均浓度计算值和监测值。并给出每天的计算值和监测值的相关系数。其中4日和6日计算值和实测值对应较好，相关系数分别为0.847和0.848。而7日的相关系数小，为0.758。模式计算值代表一平方公里面积上占的平均值，而实测值则由于测站的位置选择，局部源的偶然影响(小范围风的影响)等，其数值不一定反映一平方公里范围的平均值，两者有一定的差异是合理的。

图3.3.4b给出实测值与计算值的对应关系，图上的点子均分布在 45° 线两侧，偏离并不大，其相关系数为0.783。

(3) 各种典型日的 SO_2 浓度分布：

根据模式计算结果，给出宝钢电厂烟囱、烧结厂烟囱、轧钢厂烟囱和140钢管厂烟囱造成的 SO_2 日平均浓度分布图，以及四个烟囱共同造成的 SO_2 日平均浓度分布图。同时，还绘制了宝钢投产前，上海市原有 SO_2 污染源造成的日平均浓度分布，并分别绘出点源的日平均浓度和本地污染的日平均浓度分布。同时，还绘出宝钢投产后，全部 SO_2 迭加的日平均浓度分

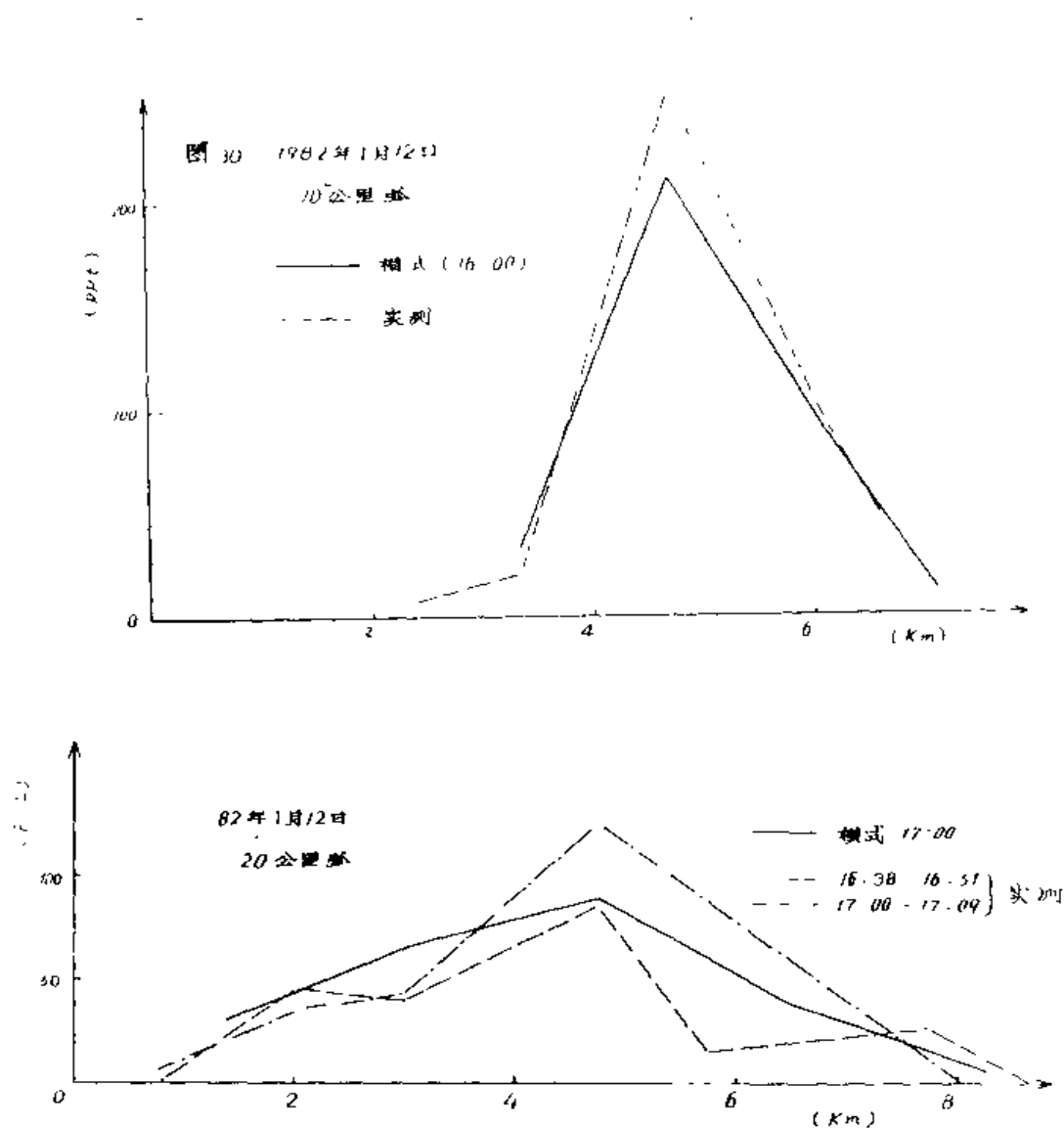


图 3.3.3 1982年1月12日 SF_6 浓度分布对照

表 3.3.4 上海 SO_2 平均浓度 (1980年)

(毫克/米³)

	12月4日		12月6日		12月7日	
	实测	计算	实测	计算	实测	计算
	0.107	0.100	0.215	0.154	0.261	0.207
	0.043	0.066	0.031	0.110	0.035	0.202
	0.114	0.138	0.217	0.196	0.186	0.191
	0.054	0.082	0.033	0.075	0.081	0.222
	0.103	0.102	0.120	0.161	0.118	0.188
	0.200	0.146	0.173	0.180	0.229	0.362

续上表

	12月4日		12月6日		12月7日	
	实测	计算	实测	计算	实测	计算
	0.076	0.081	0.046	0.053		
	0.038	0.037	0.030	0.057	0.067	0.091
	0.048	0.054	0.028	0.038	0.021	0.084
	0.011	0.046	0.021	0.122	0.015	0.115
	0.053	0.067	0.044	0.066	0.028	0.026
	0.010	0.056	0.008	0.007	0.021	0.030
	0.064	0.014	0.079	0.092	0.081	0.012
	0.014	0.022	0.018	0.022	0.033	0.022
	0.003	0.022	0.006	0.006	0.009	0.034
	0.030	0.048	0.038	0.019	0.028	0.027
	0.020	0.021	0.031	0.020	0.024	0.022
	0.007	0.004	0.010	0.003	0.050	0.001
相关系数r	0.847		0.818		0.758	

布图。

80年12月4日,风向以西北、北、东南三个方位为主,在这风向变化较大的条件下, SO_2 污染地区分散,宝钢附近有两个浓度最大区,见图3.3.5a。宝山到吴淞地区有一个 $0.02\text{mg}/\text{m}^3$ 的等浓度线。在偏北风条件下,位于电厂和轧钢厂南的杨行公社有一个 $0.03\text{mg}/\text{m}^3$ 的等浓度线。而对市区的污染很小,由彭浦区的 $0.07\text{mg}/\text{m}^3$ 向南减少到 $0.003\text{mg}/\text{m}^3$ 。盛桥和罗店地区最大等浓度线为 $0.01\text{mg}/\text{m}^3$ 。

上海市的污染源对市区和郊区造成中等程度的污染。市区出现几个浓度大于 $0.15\text{mg}/\text{m}^3$ 的超标区,见图3.3.5b。由图3.3.5d和图3.3.5e可看出,这些超标区是由上海点源和本地污染造成的。

宝钢投产后,上海市区和郊区的 SO_2 浓度变化不大,见图3.3.5c,而宝钢周围地区 SO_2 浓度虽增大,但低于国家卫生标准。

80年12月6日,风向变化更大,由西北风顺转到北风,尤以西北风影响最大,宝钢污染

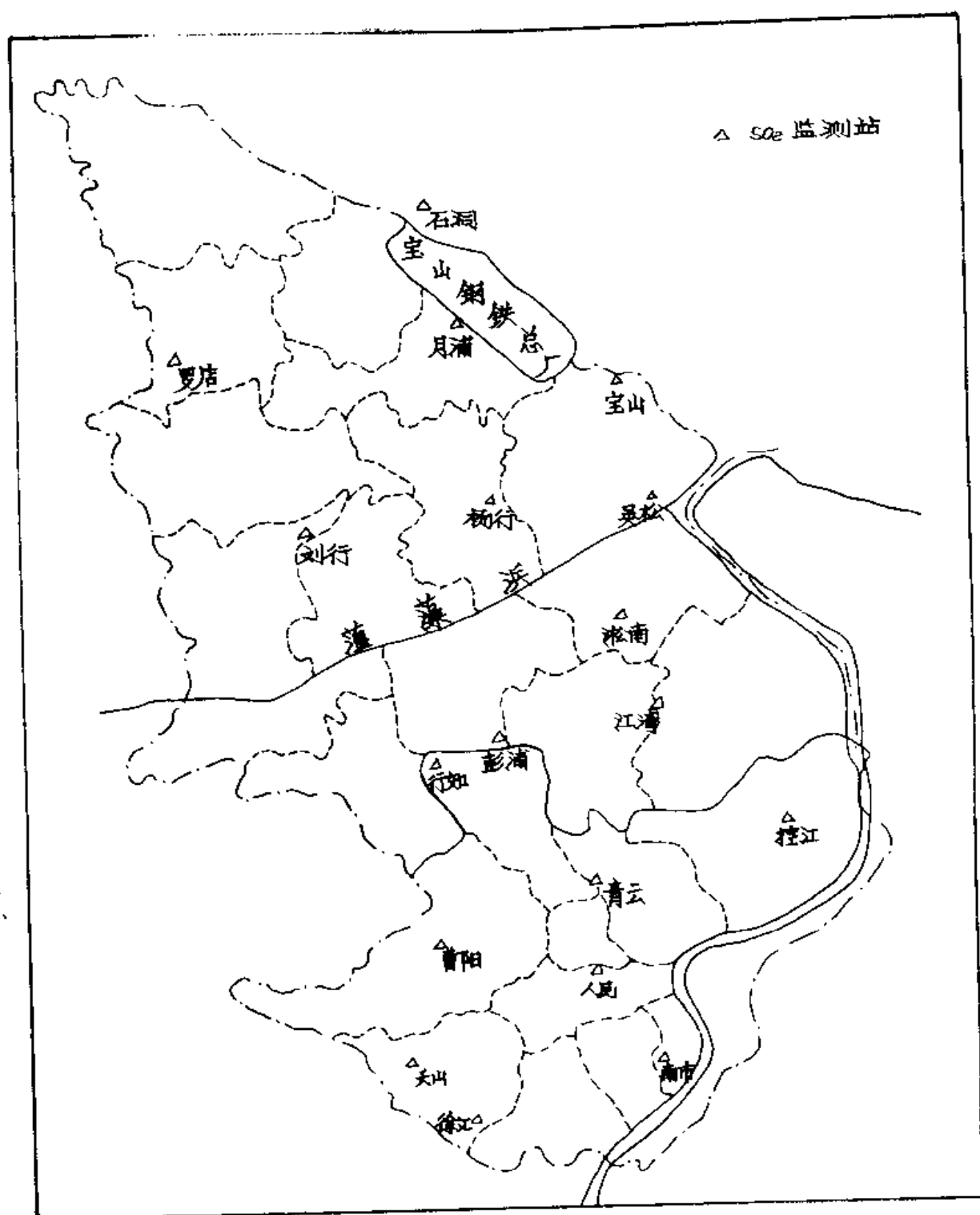


图 3.3.4a SO₂ 浓度监测站分布图

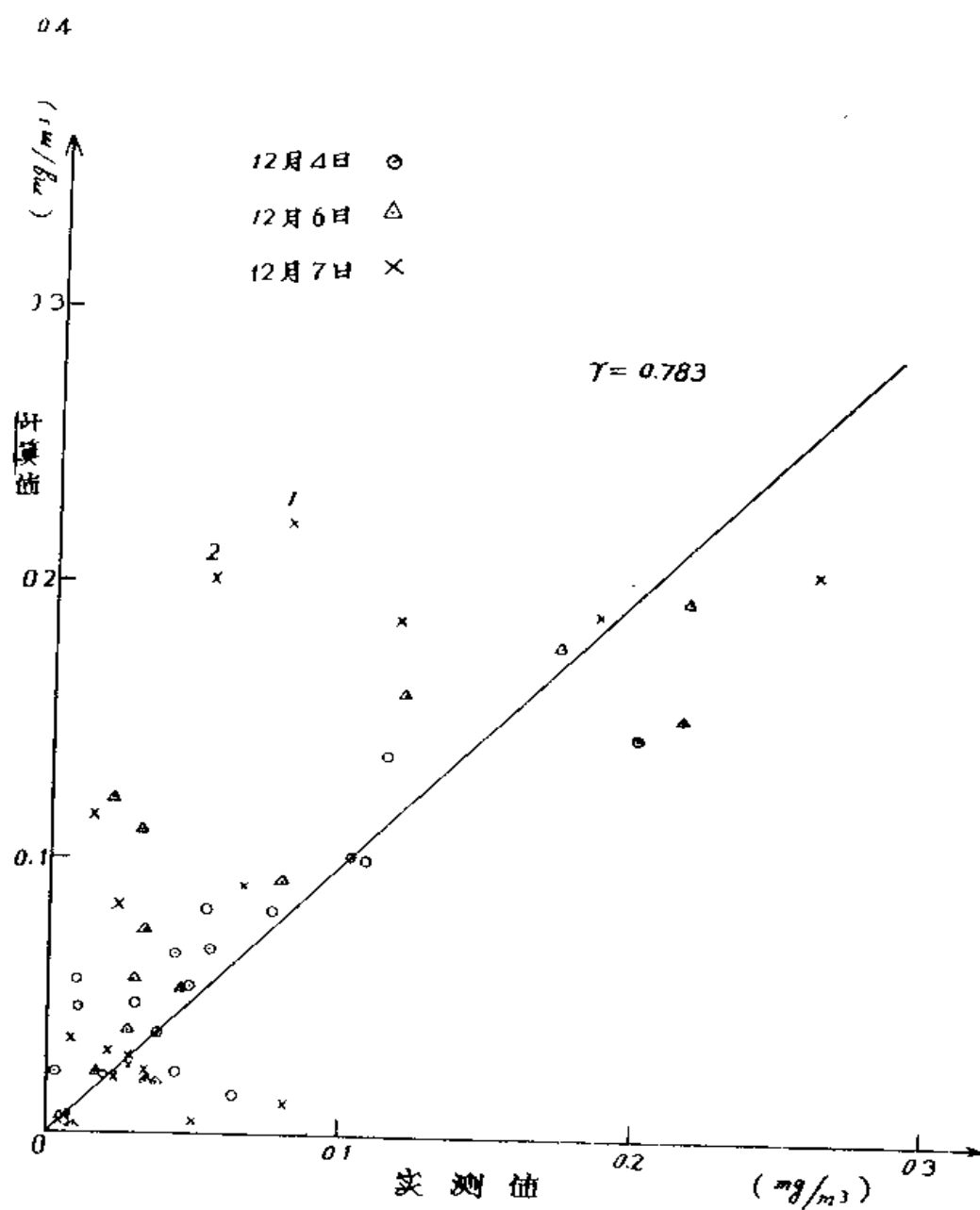


图 3.3.1b SO_2 实测值与计算值的相关图

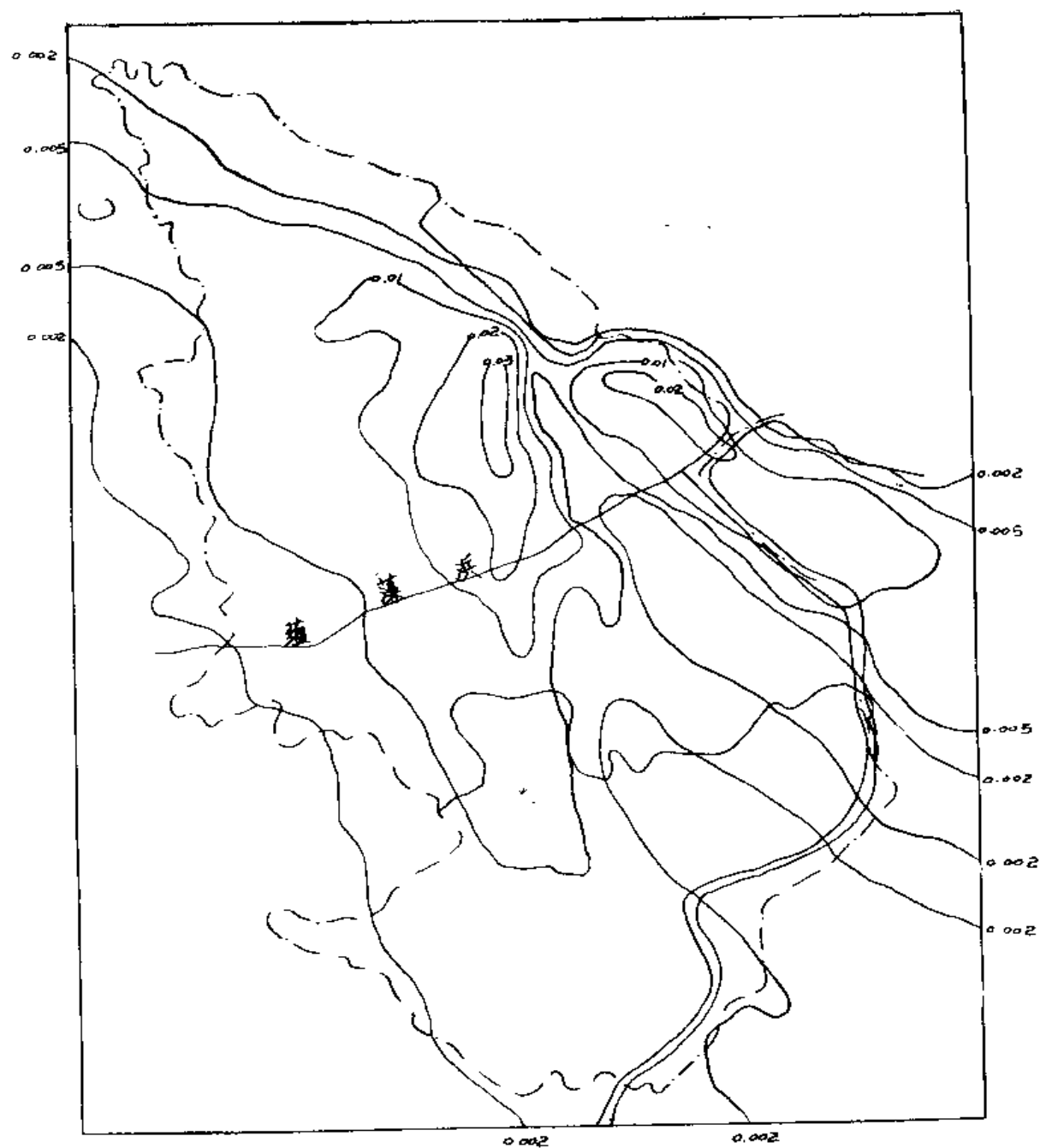


图 3.3.5a 上海市评价区SO₂浓度分布图,1980年12月4日,宝钢污染源(点源)

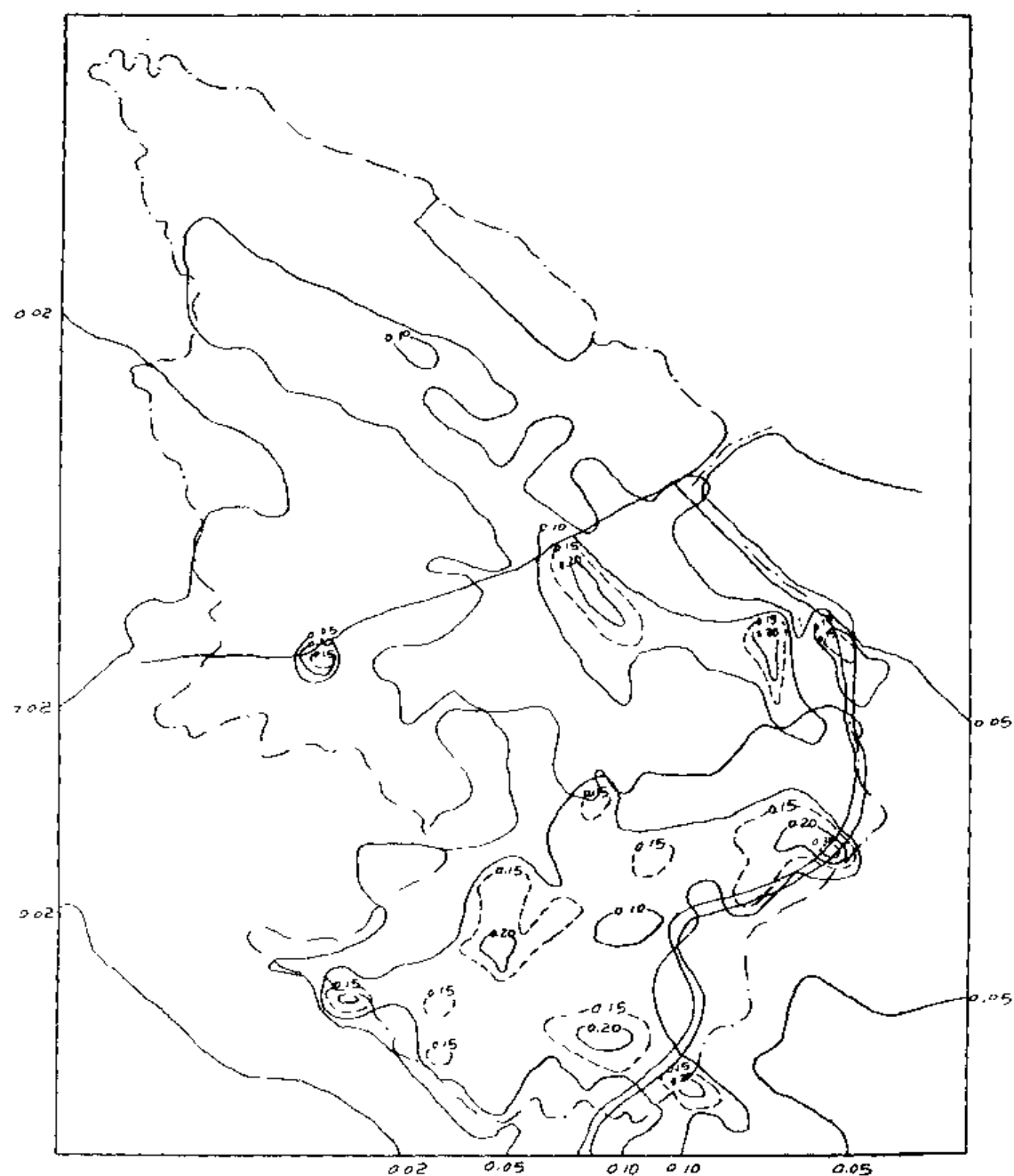


图 3.3.5b 上海市评价区 SO_2 浓度分布图, 1980年12月4日, 宝钢投产前

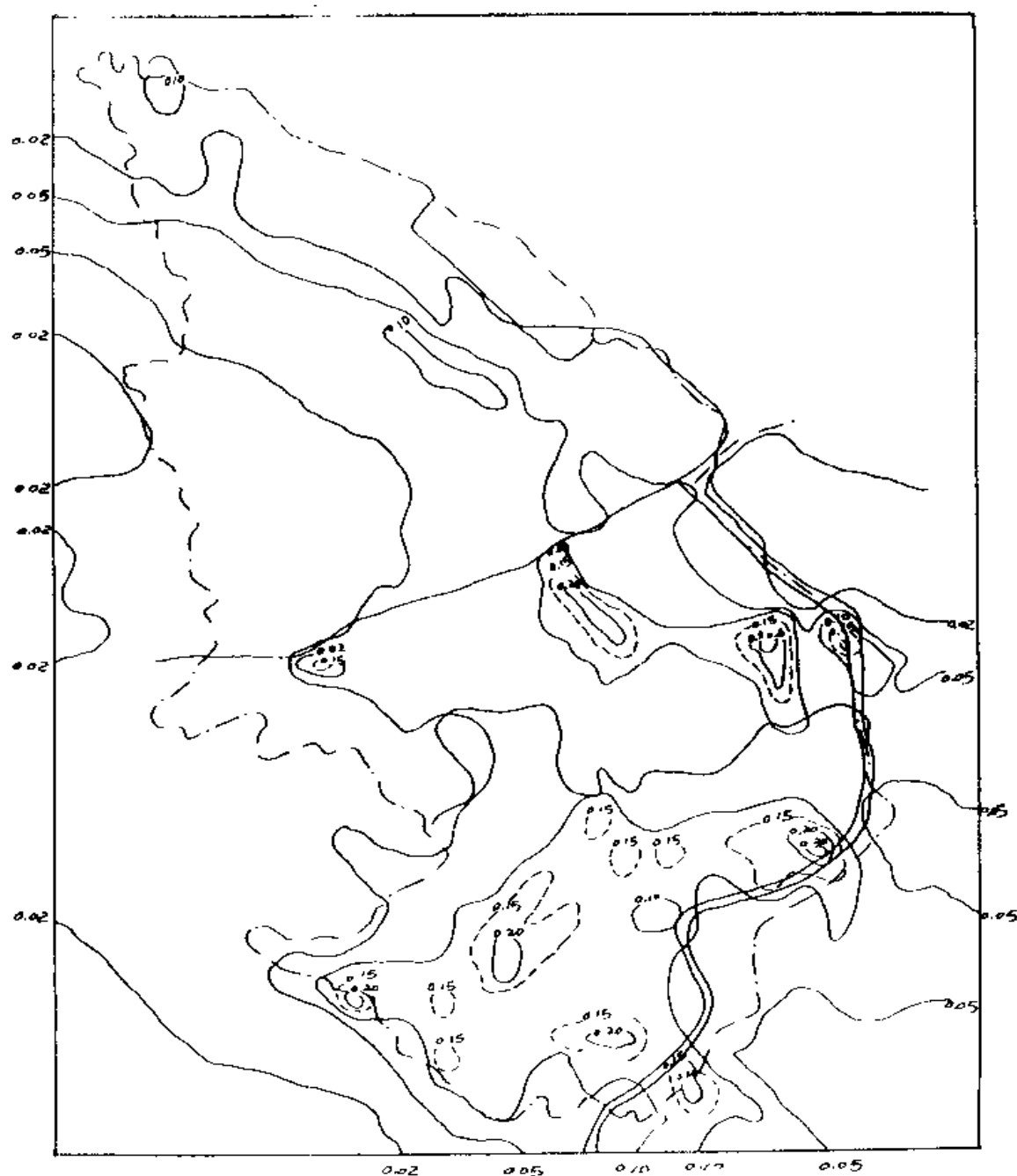


图 3.3.5c 上海市评价区SO₂浓度分布图,1980年12月4日,宝钢投产后

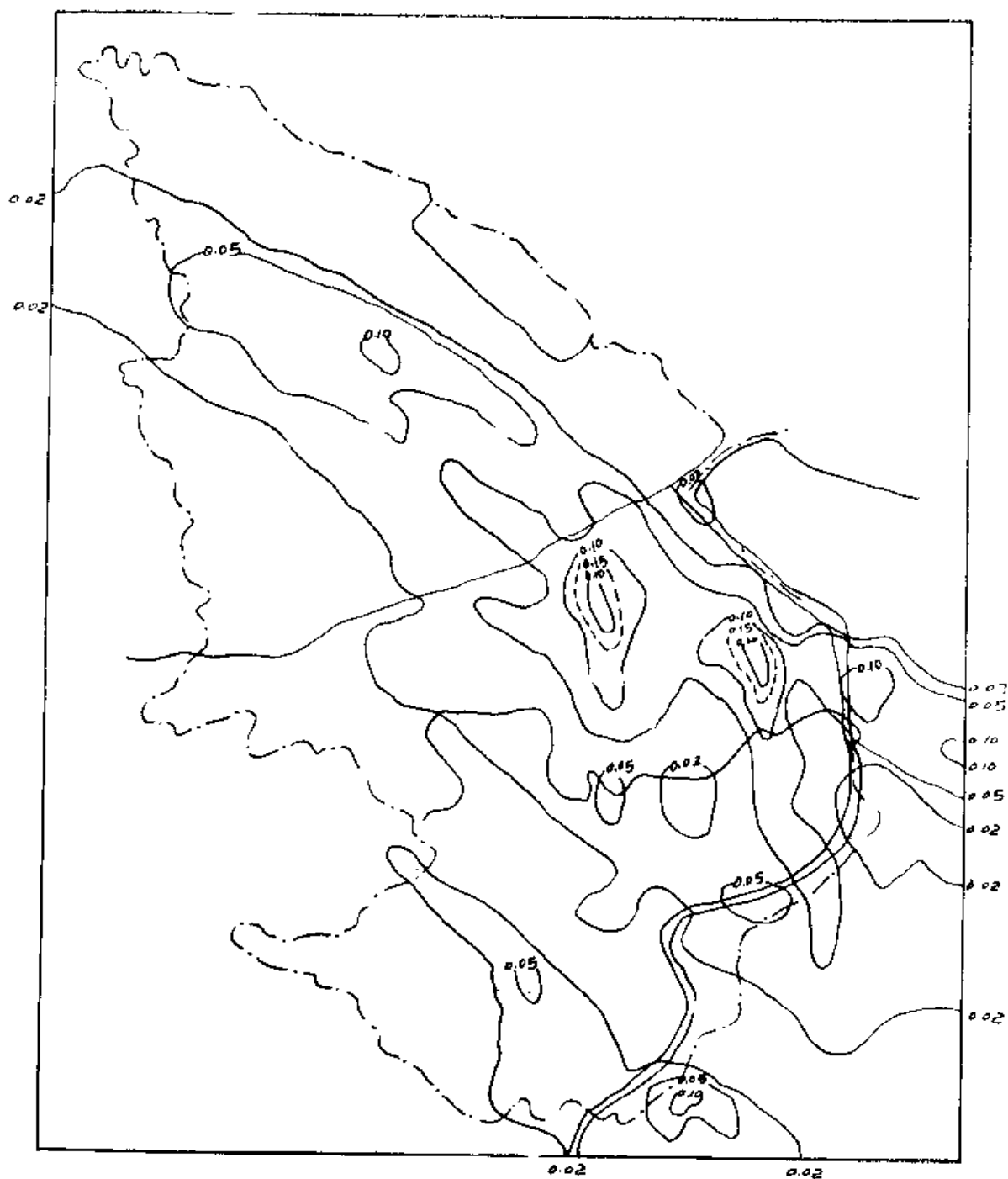


图 3.3.5d 上海市评价区SO₂浓度分布图,1980年12月4日,上海点源

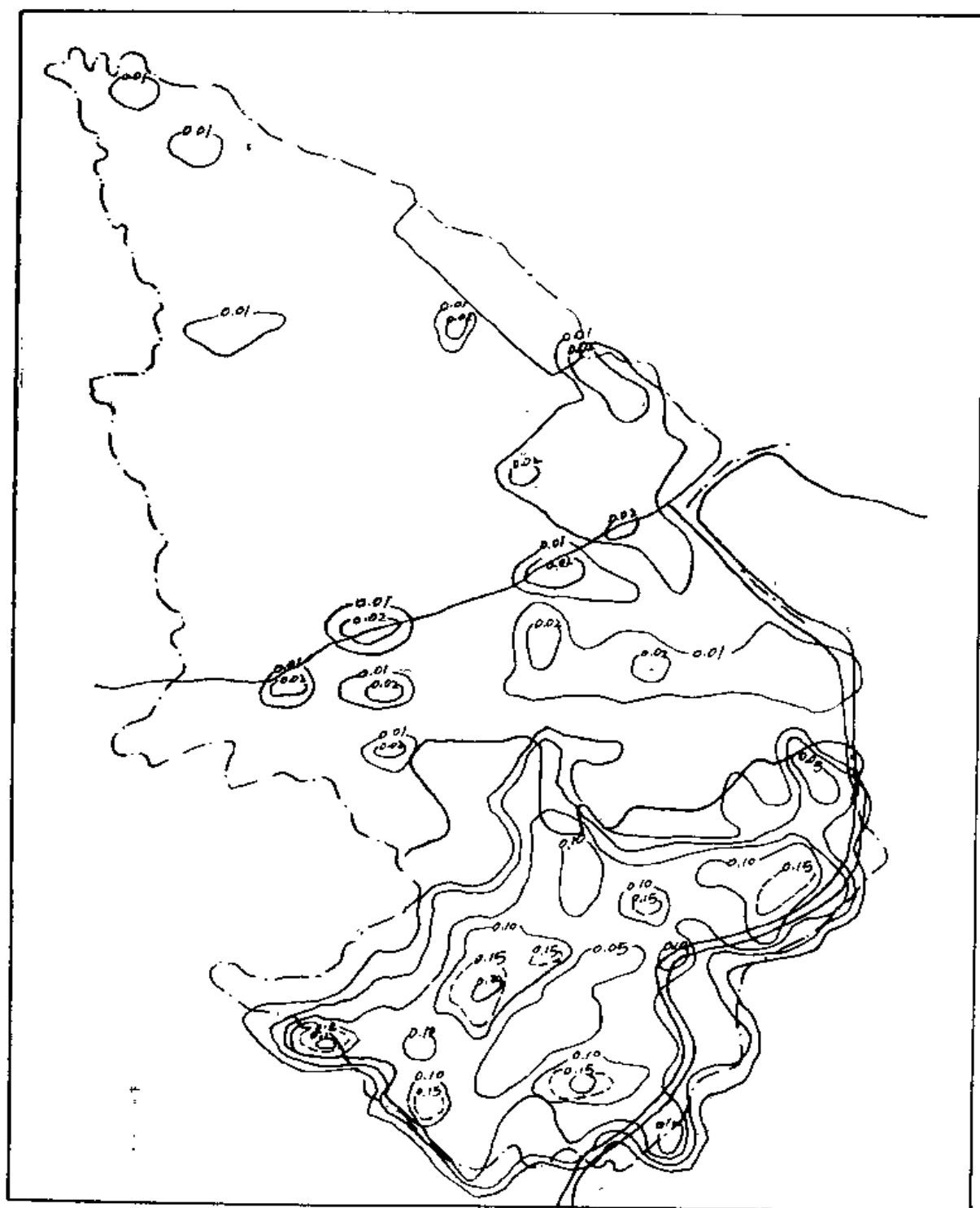


图 3.3.5e 上海市评价区 SO_2 浓度分布图, 1980年12月4日, 本地污染

源对市区和郊区的影响范围更扩大, 但浓度更小, 只有 $0.002\text{--}0.004\text{mg}/\text{m}^3$ 。位于宝钢东南方的吴淞地区受影响最大, 出现 $0.04\text{mg}/\text{m}^3$ 的等浓度线。东北风条件下, 在罗南和嘉定县最大等浓度线为 $0.01\text{mg}/\text{m}^3$, 见图3.3.6a。

上海市原有污染源对上海市造成严重污染, 整个市区都超过卫生标准, 见图3.3.6b。最大浓度值出现在卢湾区, 超过标准一倍多(达 $0.35\text{mg}/\text{m}^3$), 五角场受闸北电厂影响, 出现较

大的超标区。可以明显地看到,大于 $0.1\text{mg}/\text{m}^3$ 的地区出现在蕴藻浜以南。宝钢投产后,蕴藻浜以南地区 SO_2 浓度分布没有明显的变化。吴淞区及宝山县城出现 $0.05\text{mg}/\text{m}^3$ 的 SO_2 浓度区域,见图 3.3.6c,但没有超过卫生标准。

上海市区的本地污染,杨浦、静安、卢湾、南市、长宁、闸北和徐汇等区最为严重,有的已出现超标区,有的浓度值已达 $0.1\text{mg}/\text{m}^3$,见图 3.3.6d。点源造成五角场超标区,对市区也有 $0.04\text{mg}/\text{m}^3$ 的影响,再加上面源的影响,使市区超过卫生标准。

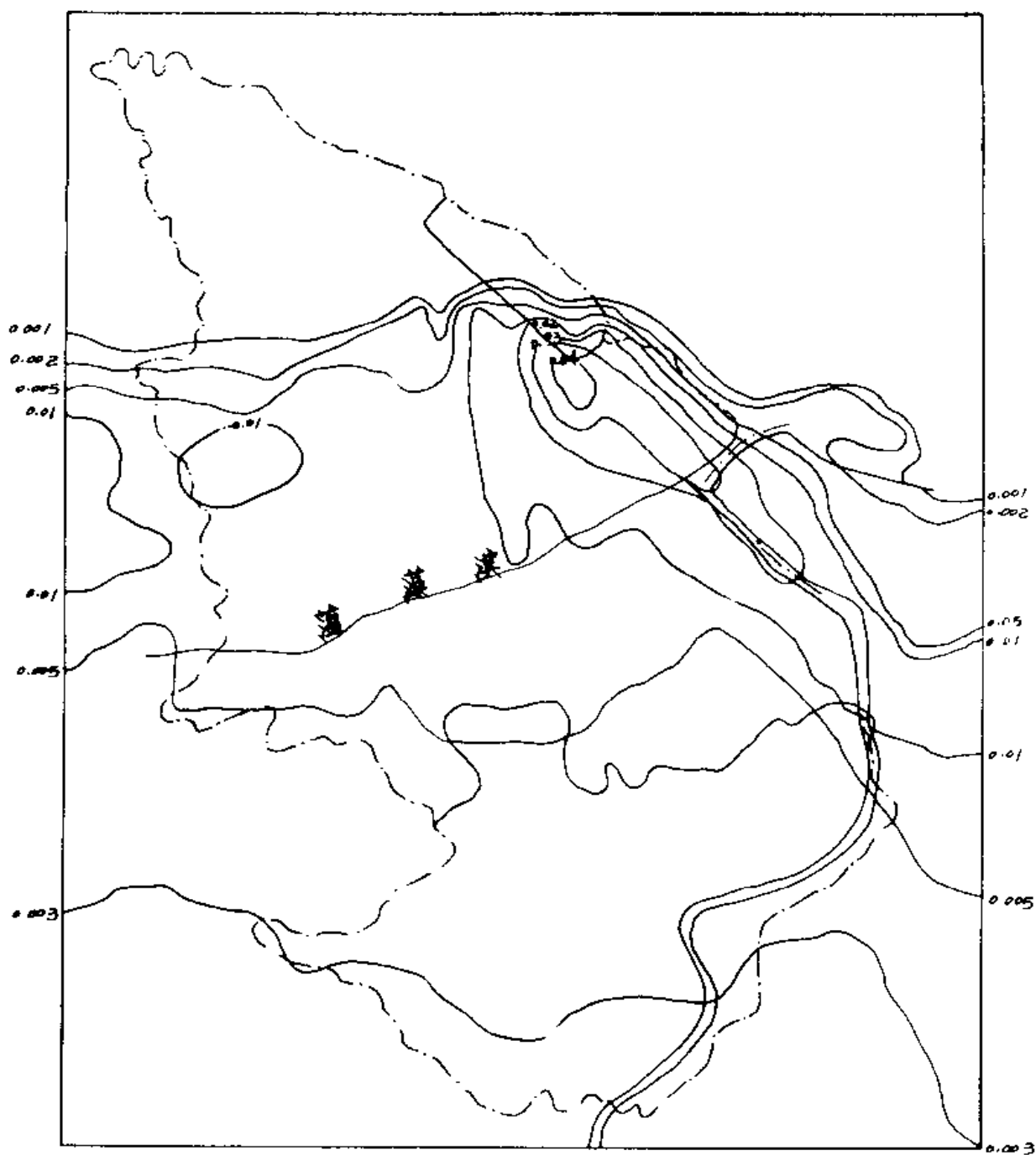


图 3.3.6a 上海市评价区 SO_2 浓度分布图, 1980 年 12 月 6 日, 宝钢污染源(点源)

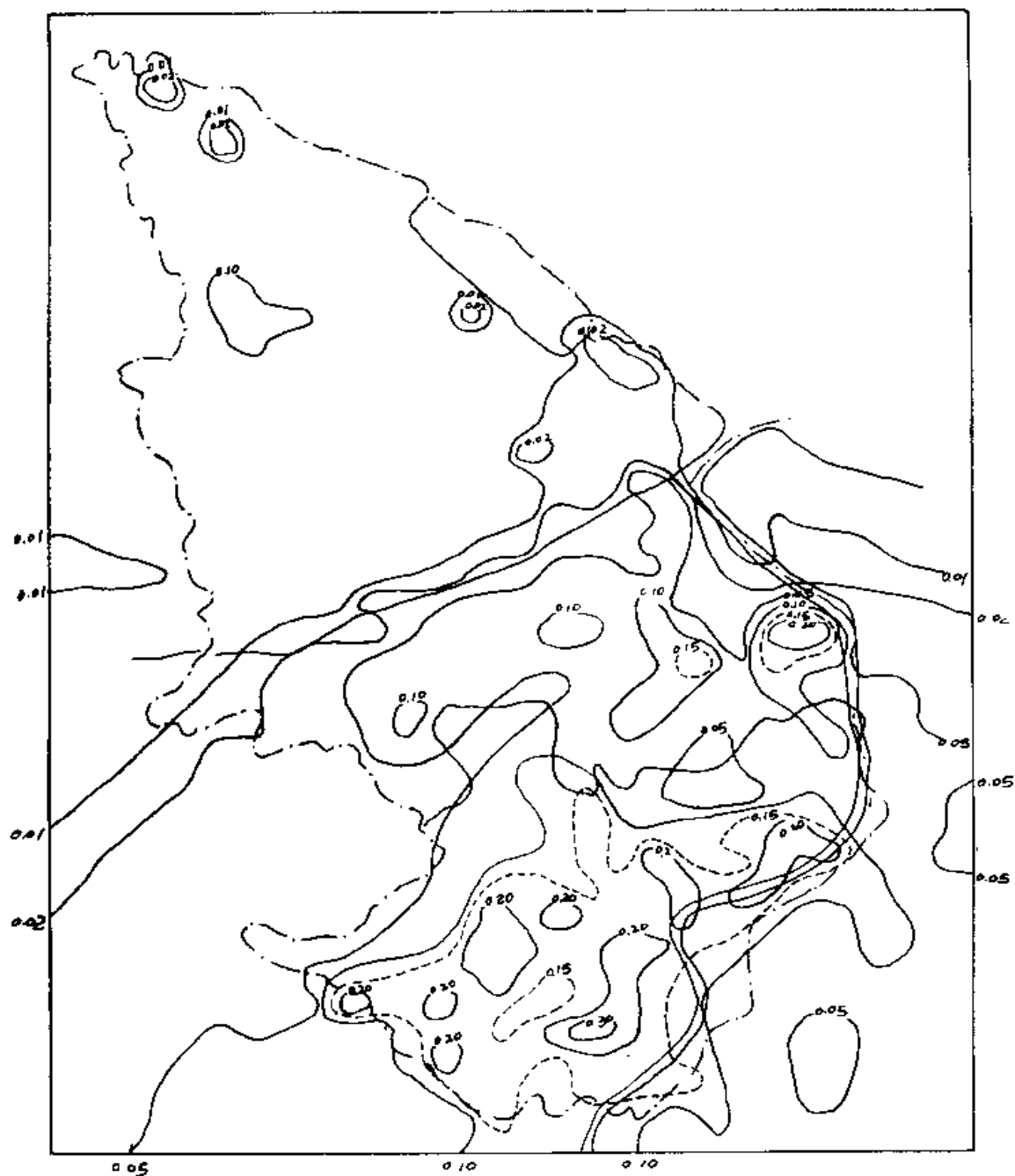


图 3.3.6b 上海市评价区 SO_2 浓度分布图, 1980年12月6日, 宝钢投产前

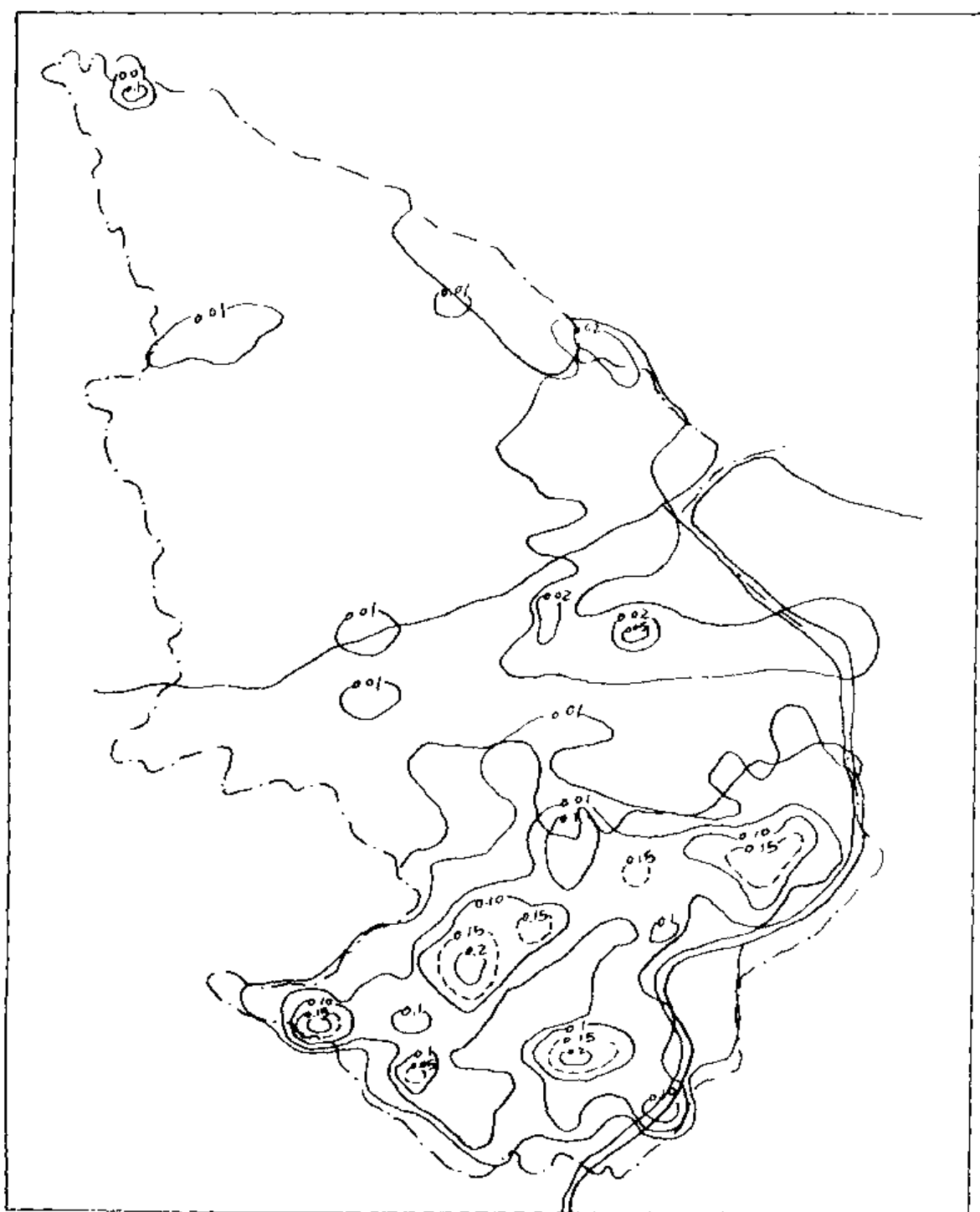


图 3.3.6d 上海市评价区 SO_2 浓度分布图, 1980年12月6日, 本地污染

80年12月7日, 市区在一段时间内出现热岛辐合环流, 见图3.3.7, 风速很小, 是造成严重污染的气象条件, 其污染程度比6日还要严重, 不仅全市区都超标, 并且, 在静安区和虹口区还出现 $0.4\text{mg}/\text{m}^3$ 等浓度线, 见图3.3.8a。在郊区, 由五角场、虹行至杨行一带出现了大片超标区, 最大等浓度线为 $0.2\text{mg}/\text{m}^3$ 。这是在东北东风和东南东风条件下, 由闸北电厂和吴淞工业区工业点源造成的, 见图3.3.8b。市区的本地污染已造成几个地区超标, 见图

3.3.8c, 而源强大而多的面源, 在偏东风的输送下, 重迭地影响下风地区, 加重了市区的污染。

宝钢地区吹东北风和东南风时, 宝钢四个烟囱排放的 SO_2 主要分布在蕴藻浜以北, 最大等浓度线为 $0.04\text{mg}/\text{m}^3$, 见图 3.3.8d, 宝钢投产后, 这一地区的 SO_2 浓度不超过 $0.05\text{mg}/\text{m}^3$ 。

81年12月29日, 阴天, 风向由东北东转为北风, 白天风速 9 米/秒, 到夜间减弱为 5 米/秒, 在 C 类和 D 类稳定度下, 宝钢四个烟囱排放的 SO_2 , 全天影响市区, 由图 3.3.9a 可看出, 影响区由北向南伸展到市区, 最大等浓度线为 $0.04\text{mg}/\text{m}^3$, 出现在郊区, 但对市区的影响为 $0.02\text{mg}/\text{m}^3$, 这是宝钢对市区影响最大的一天。图 3.3.9b-图 3.3.9e 分别给出宝钢四个烟囱带来的浓度分布。电厂造成的日平均最大浓度为 $0.018\text{mg}/\text{m}^3$, 其中 $0.015\text{mg}/\text{m}^3$ 等值线落在彭浦地区, 对市中心只有 $0.01\text{mg}/\text{m}^3$ 的影响。烧结厂最大浓度区 ($0.01\text{mg}/\text{m}^3$) 出现在大场、嘉定。轧钢厂虽然排放量不如前者, 但因烟囱有效高度低, 影响反而较大, $0.02\text{mg}/\text{m}^3$ 等浓度线由杨行伸展到彭浦。钢管厂的影响要小得多。

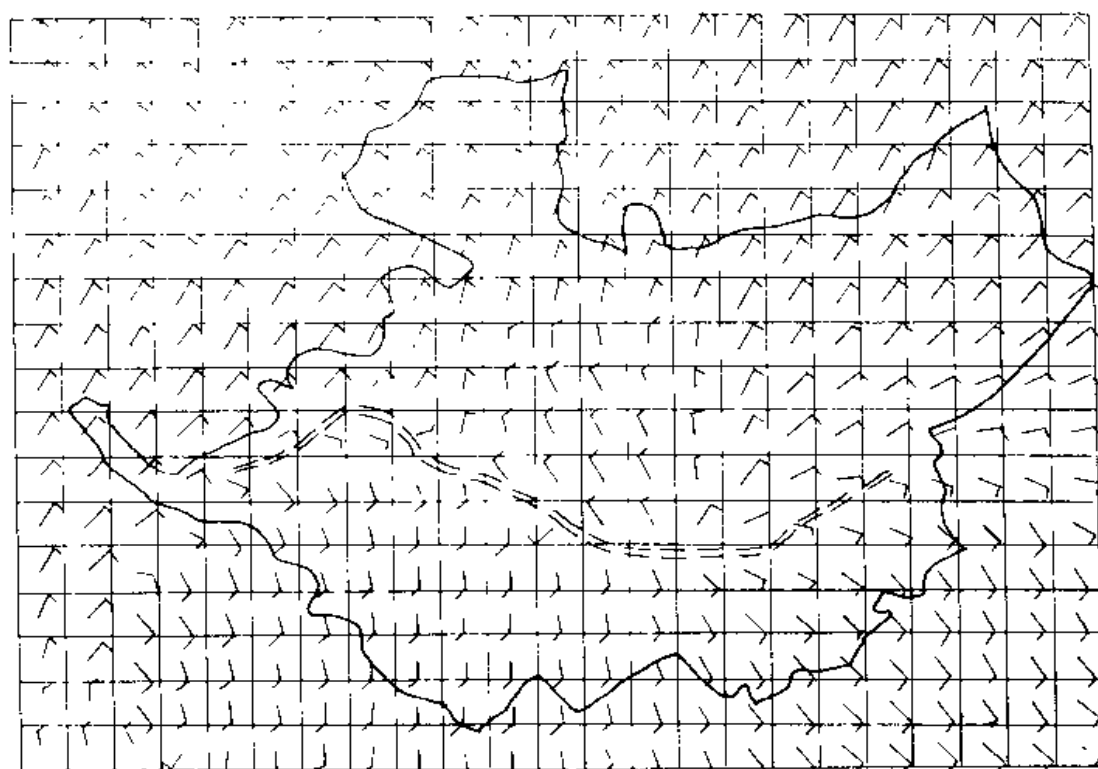


图 3.3.7 1980年12月7日和13日地面风场图 (——为合流)

偏北大风条件下, 虽然宝钢对市区的影响最大, 但是, 此时上海市的 SO_2 浓度却最低, 大于 $0.1\text{mg}/\text{m}^3$ 的污染区出现在蕴藻浜以南, 见图 3.3.9f, 除了五角场、杨浦、川沙区受上海点源影响, 出现几个超标区以外, 市区的最大浓度只有 $0.1\text{mg}/\text{m}^3$ 。本地污染源由于大风的稀释, 造成的最大浓度只有 $0.05\text{mg}/\text{m}^3$ 。在此气象条件下, 宝钢投产后, 市区仍然不会出现超标区, 见图 3.3.9g。宝钢附近地区最大浓度也不过是 $0.01 \sim 0.02\text{mg}/\text{m}^3$, 也是污染较小的一天。

1982年1月12日, 阴天, 吹东风, 大气稳定度也为 C 类、D 类。宝钢污染源只影响蕴藻浜以北地区, 见图 3.3.10 a。在东北风条件下, 等浓度线呈东北——西南走向。电厂和轧

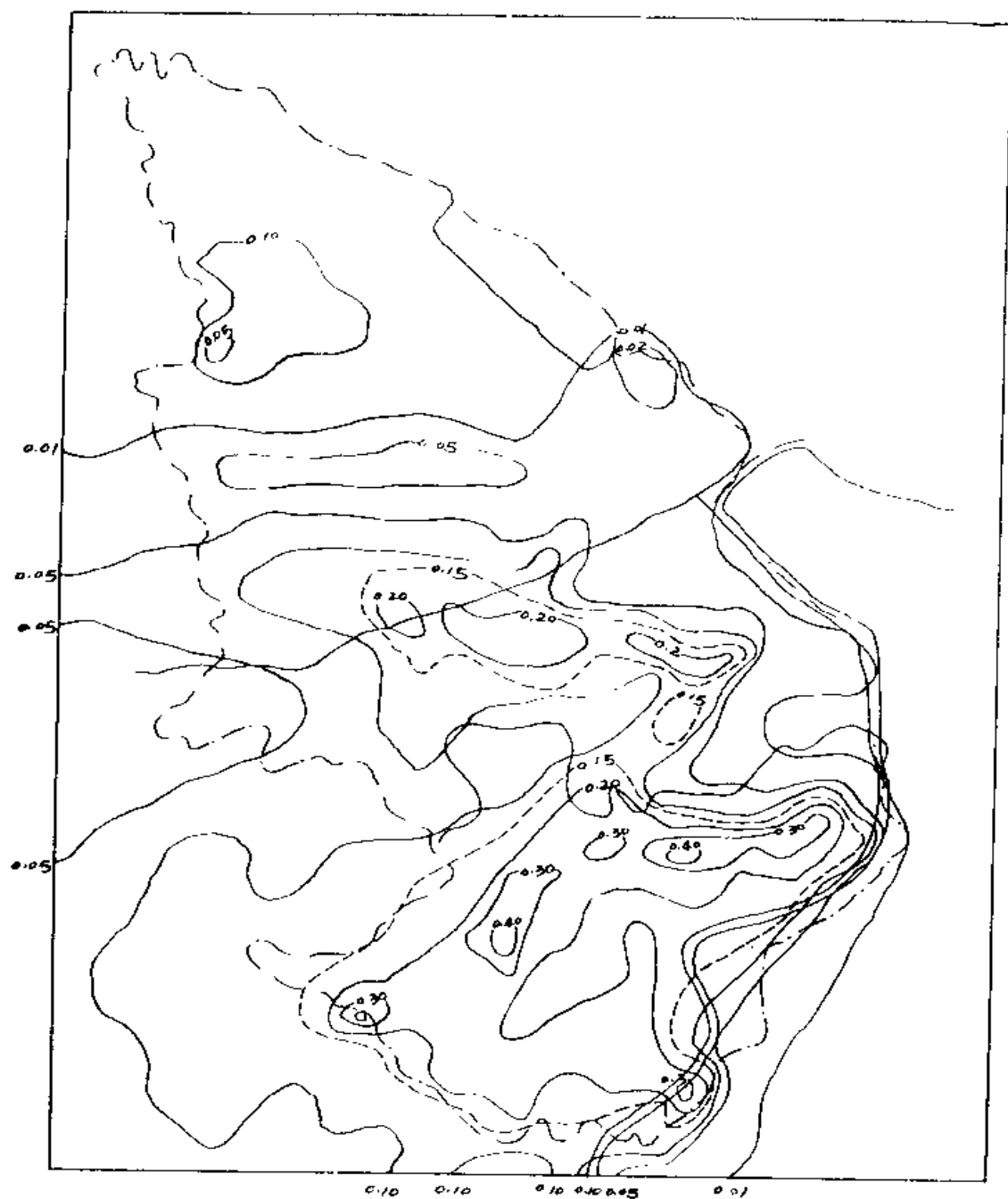


图 3.3.8a 上海市评价区 SO_2 浓度分布图,1980年12月7日,宝钢投产前

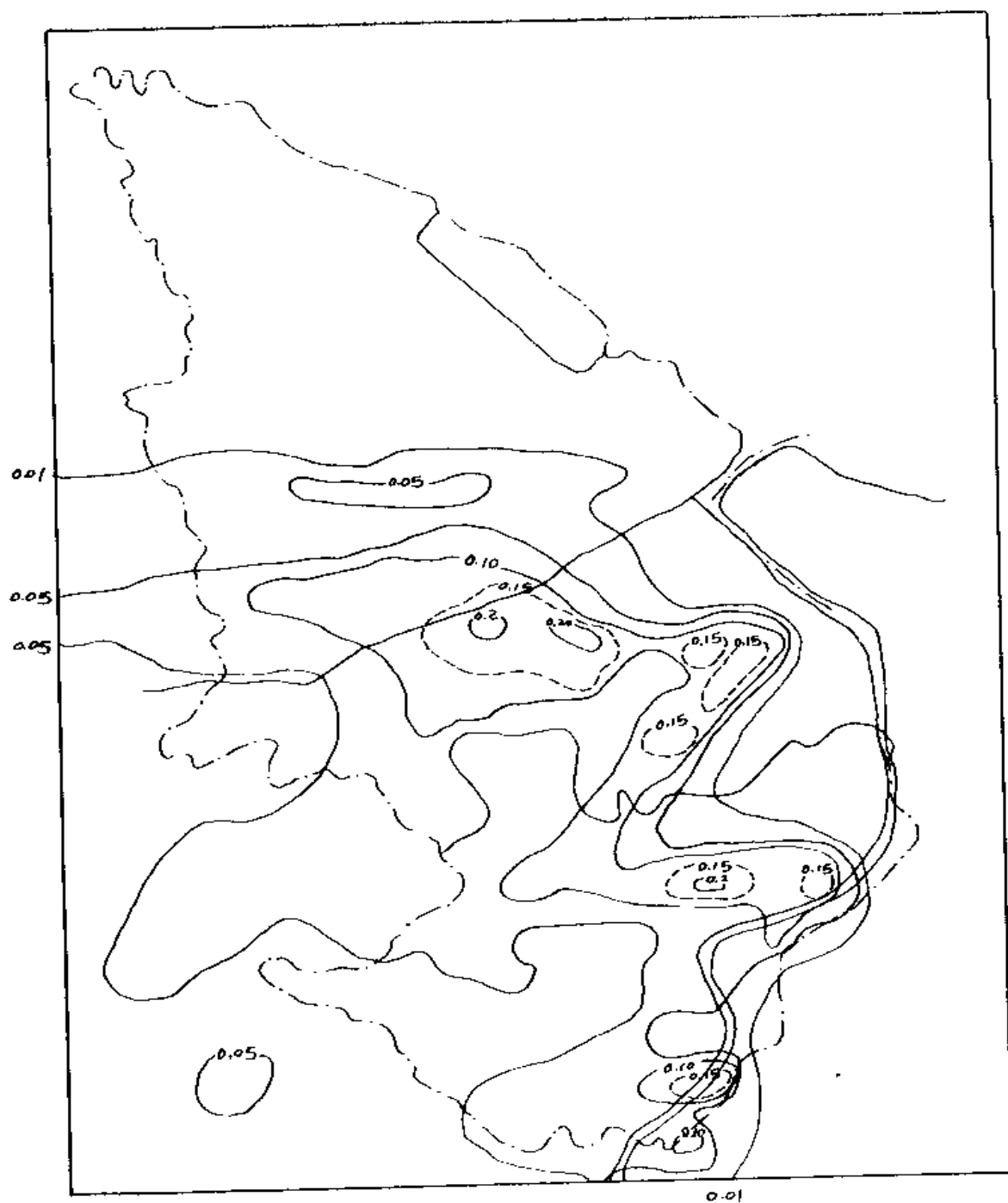


图 3.3.8b 上海市评价区SO₂浓度分布图,1980年12月7日,上海点阵

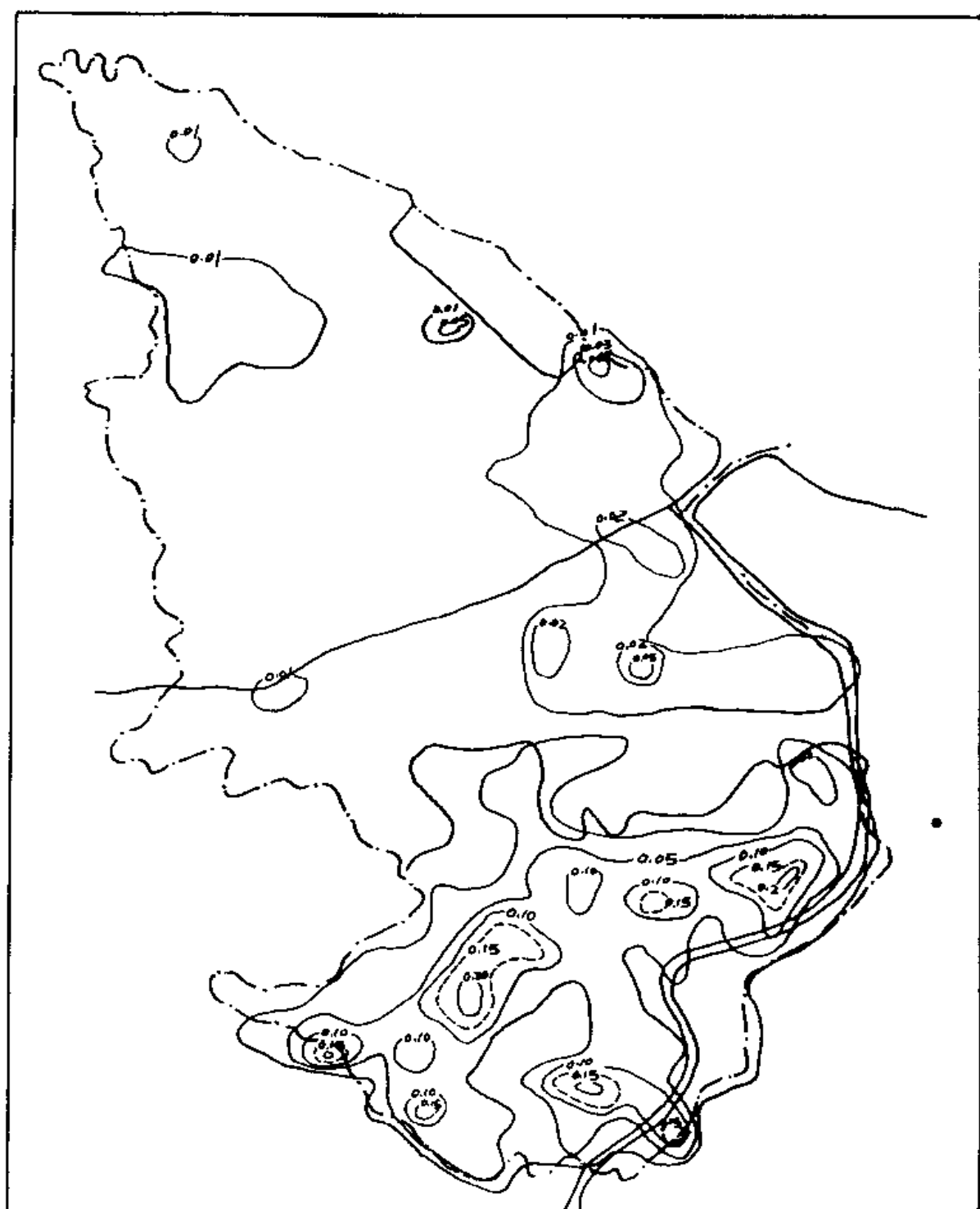


图 3.3.8c 无锡市评价区 SO_2 浓度分布图,1980年12月7日,本地污染

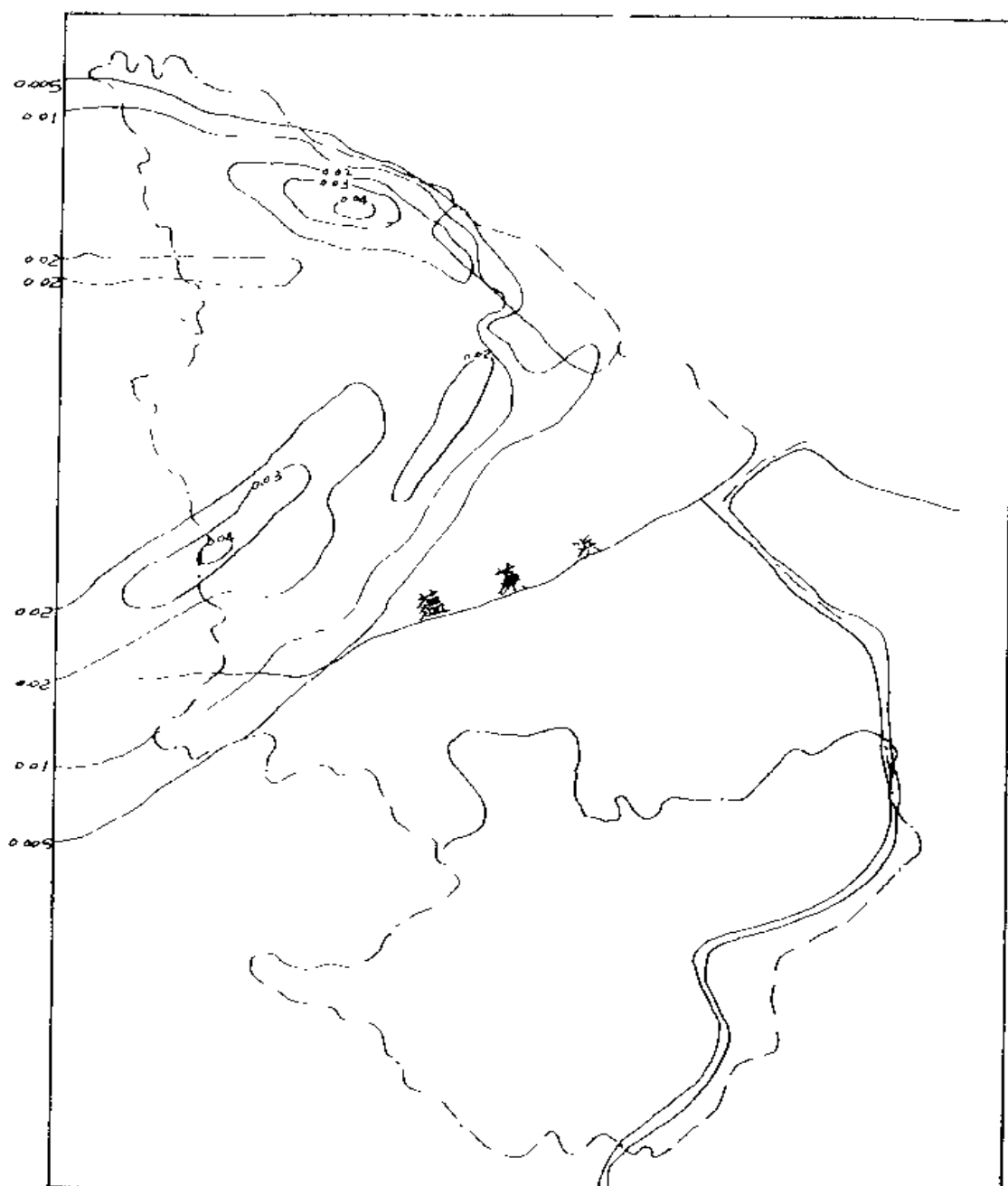


图 3.3.8d 上海市评价区SO₂浓度分布图,1980年12月7日,宝钢污染源(点源)

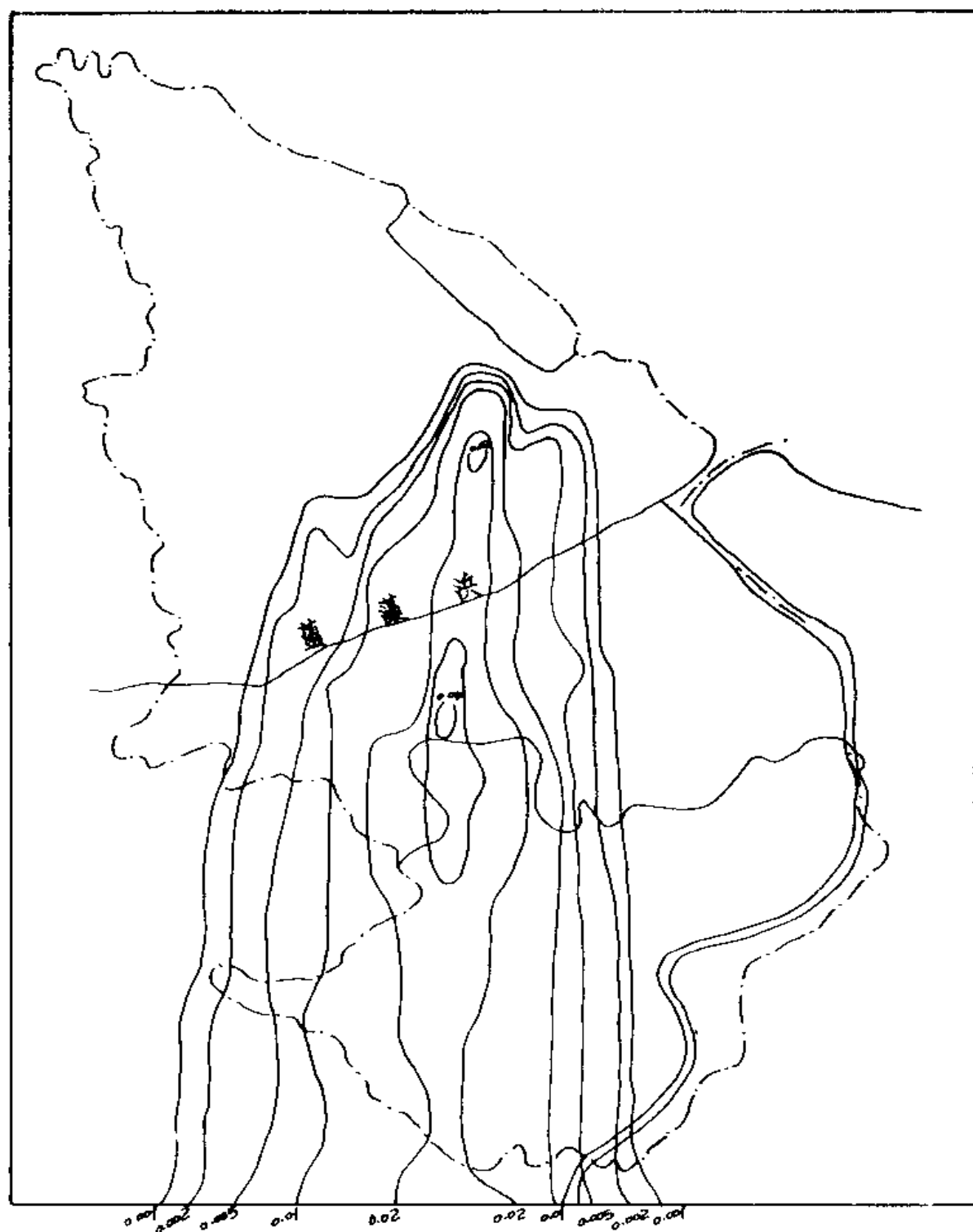


图 3.3.9a 上海市评价区SO₂浓度分布图, 1981年12月29日, 宝钢污染源(点源)

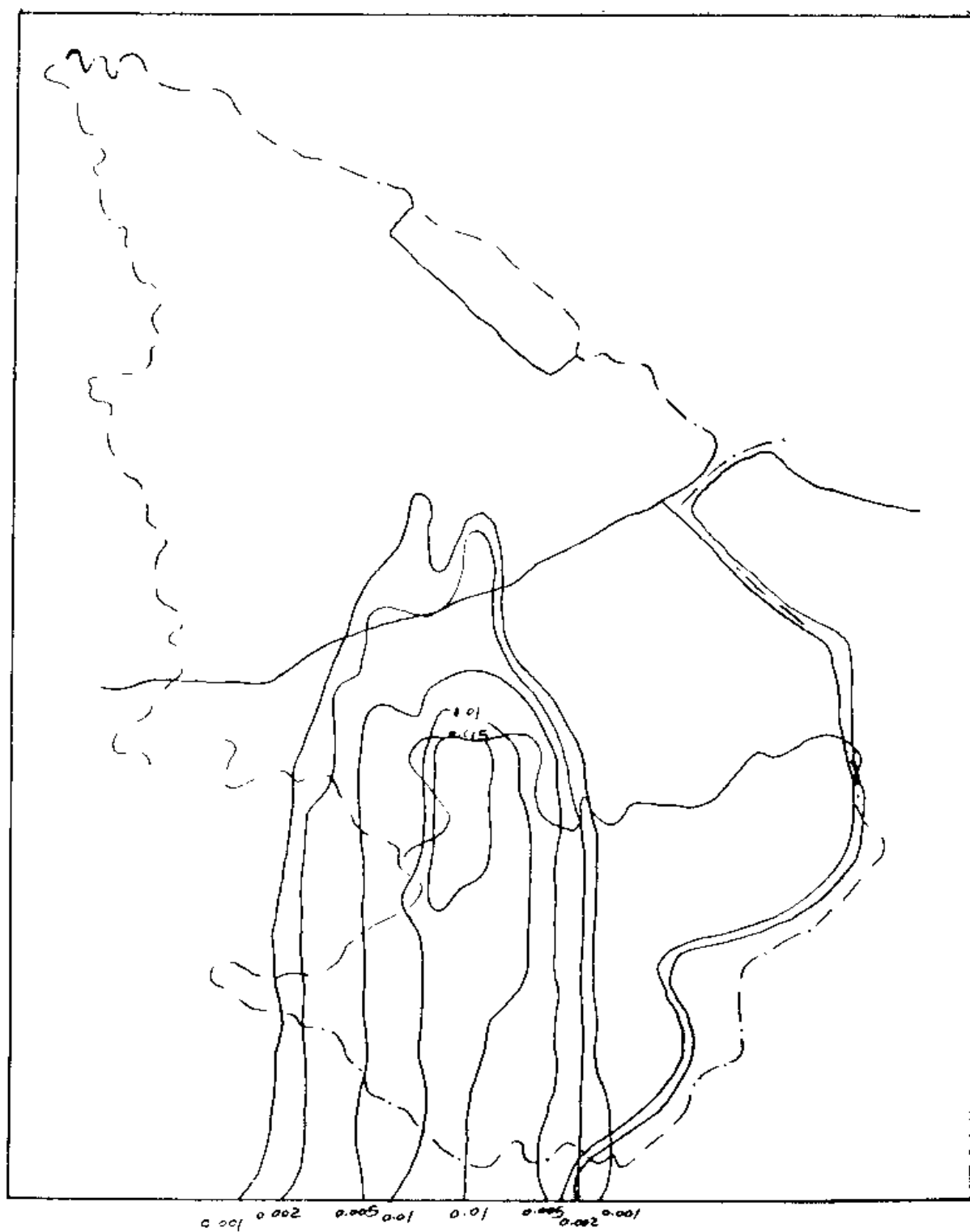


图 3.3.9b 上海市评价区SO₂浓度分布图,1981年12月29日,宝钢自备电厂

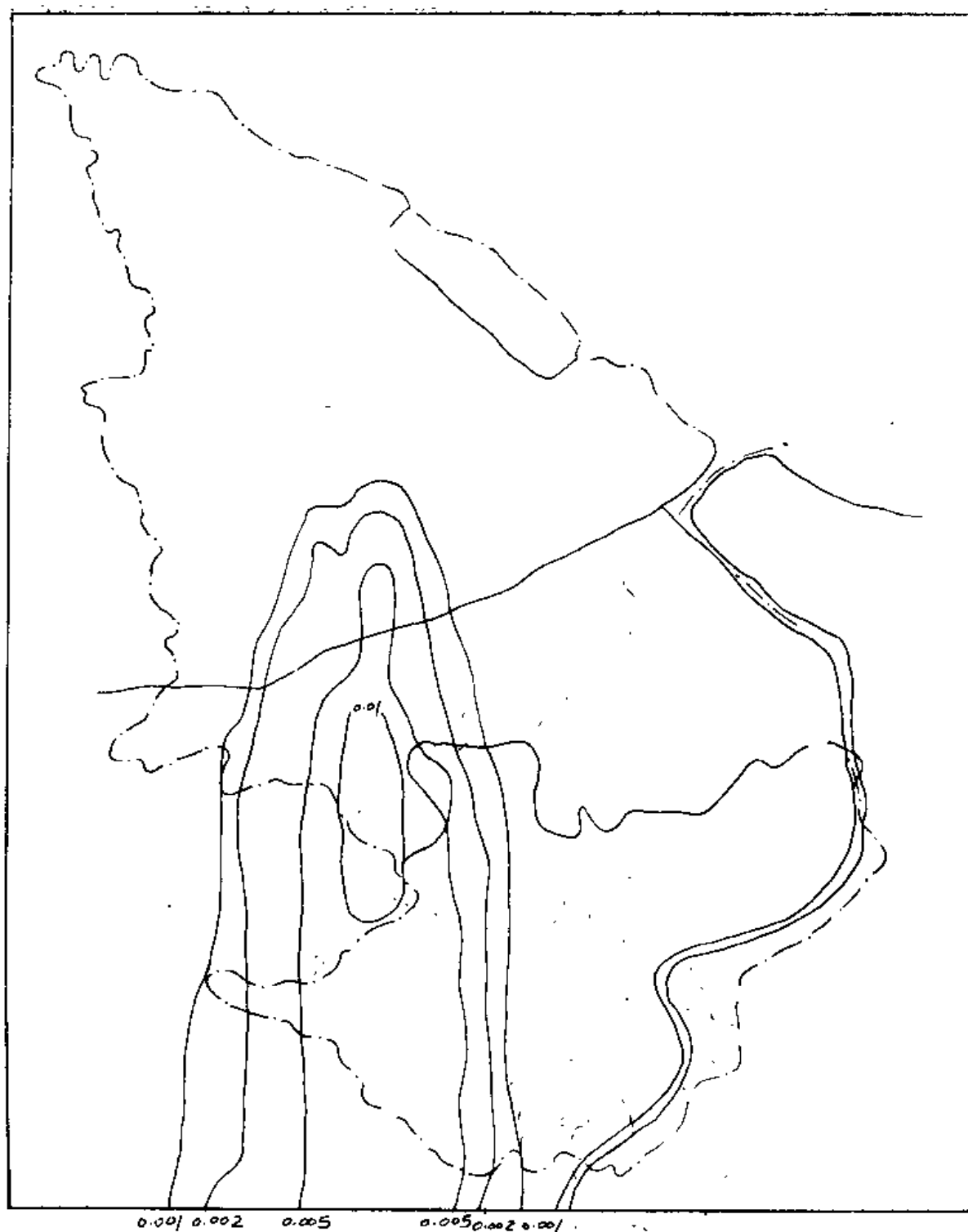


图 3.3.9c 上海市评价区SO₂浓度分布图,1981年12月29日,烧结厂

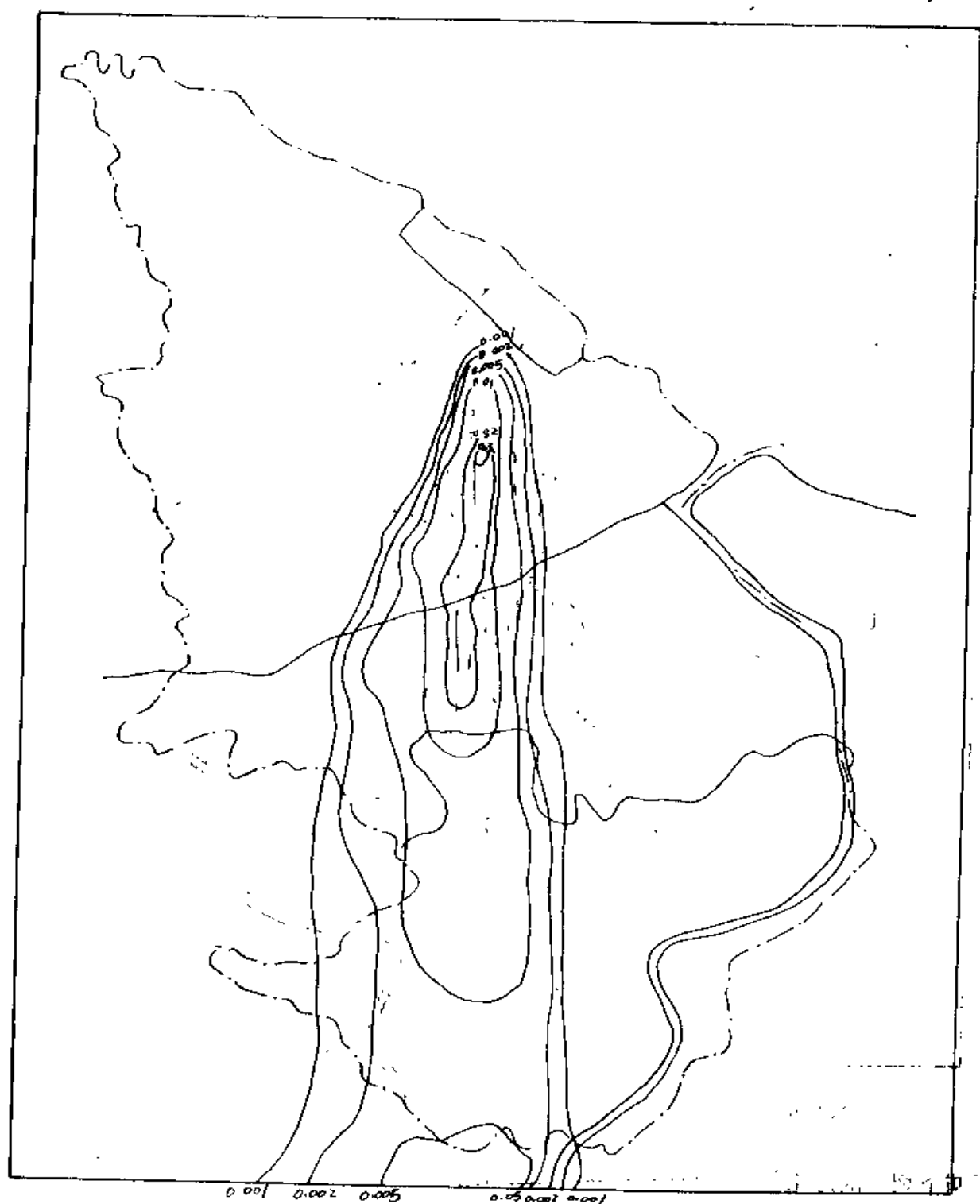


图 3.3.5d, 上海市内酸雨 SO₂ 浓度分布图, 1981 年 12 月 29 日, 单位: $\mu\text{g}/\text{m}^3$

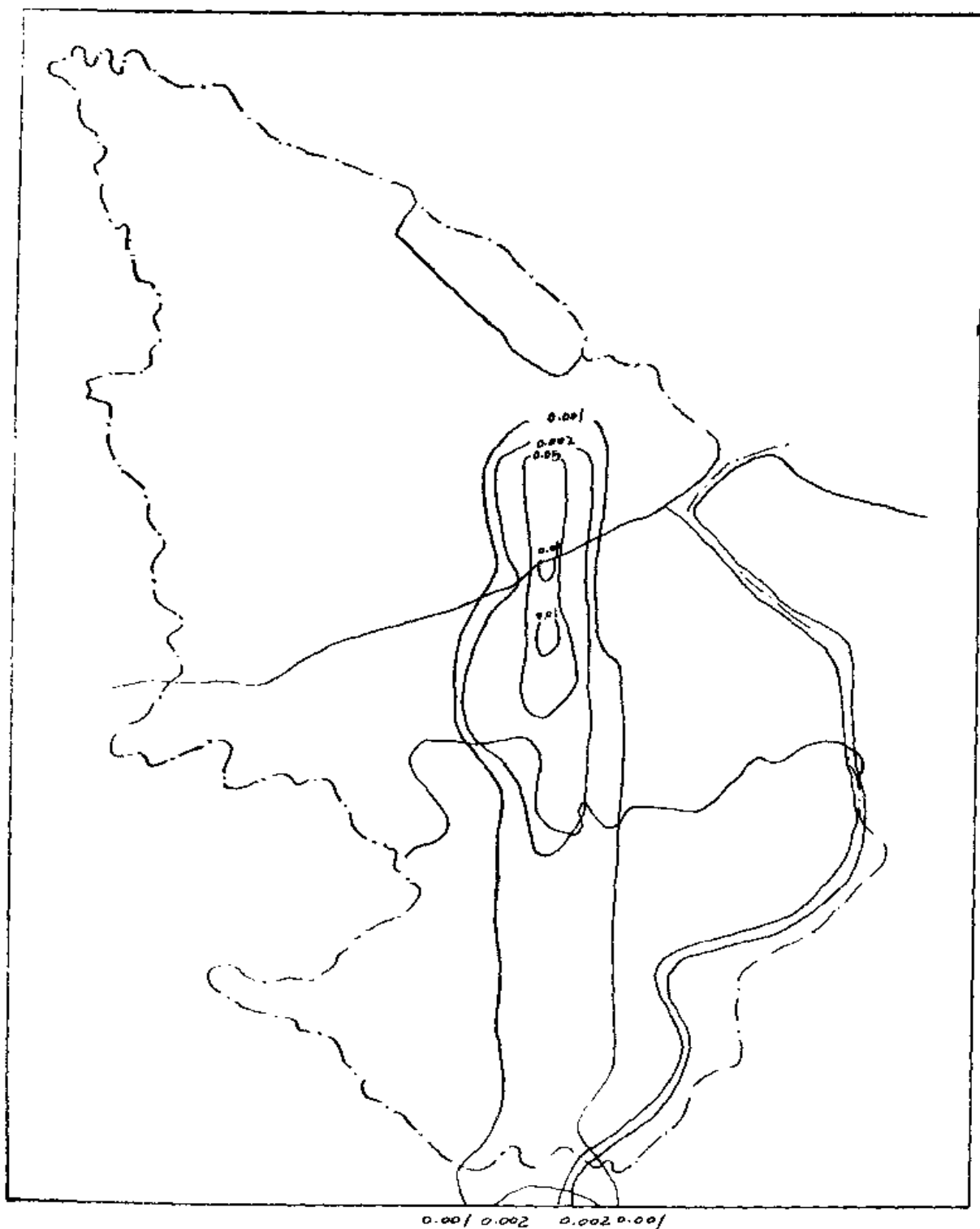


图 3.3.9c 上海市评价区SO₂浓度分布图,1981年12月29日,140无缝钢管厂

钢厂两个烟囱的污染物在下风向叠加在一起,最大等浓度线为0.03mg/m³,并不比其他气象条件的影响小。

上海市原有污染源的污染浓度大于0.1mg/m³的地区仍出现在蕴藻浜以南,见图3.3.10b。最大浓度带呈东北——西南走向。在五角场、杨浦、静安区出现超标区,但是,分布较零乱,和80年12月4日类似。这些超标区仍然是由闸北电厂,杨浦电厂等点源(见图3.3.10c)和本

区的影响很小。为了更清楚地考察这种情况，我们挑选了市区和郊区有代表性的监测点，绘出各类污染的影响。12月4日，由市区几个监测点可看出，宝钢的影响是很小的，见图3.3.11a，对郊区影响也不大，见图3.3.11b。人民广场浓度约为 $0.1\text{mg}/\text{m}^3$ ，主要是受面源的影响。12月6日，由于风向由西北顺转向东北，对市郊区的影响仍然很小(见图3.3.12a)只对宝山县有 $0.02\text{mg}/\text{m}^3$ 的影响，见图3.3.12b。另外，还可看出市区两测站的浓度超标，本地污染是主要的，面源和点源也有一定的贡献。

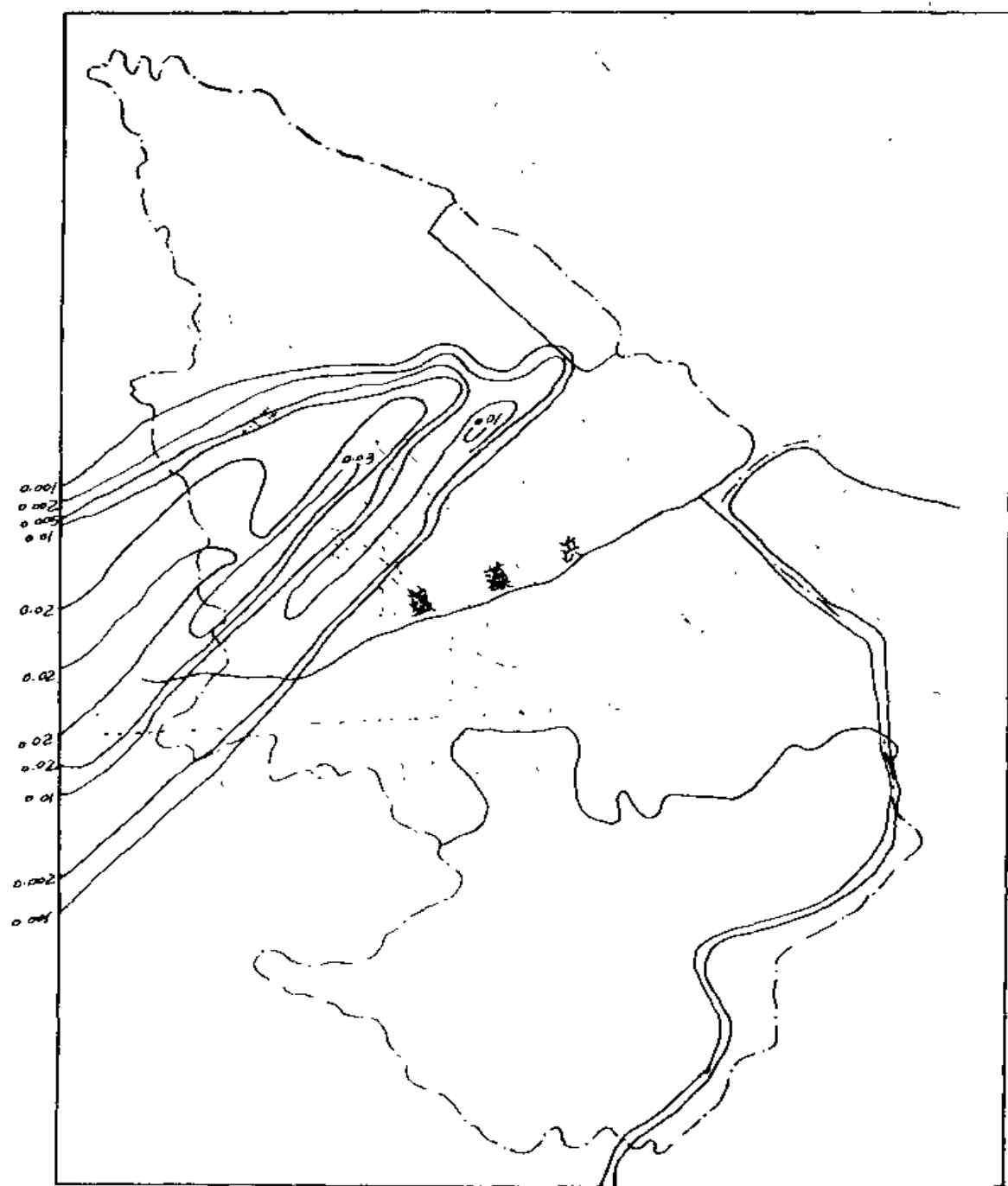


图 3.3.10a 上海市评价区 SO_2 浓度分布图,1982年1月12日,宝钢污染源(点源)

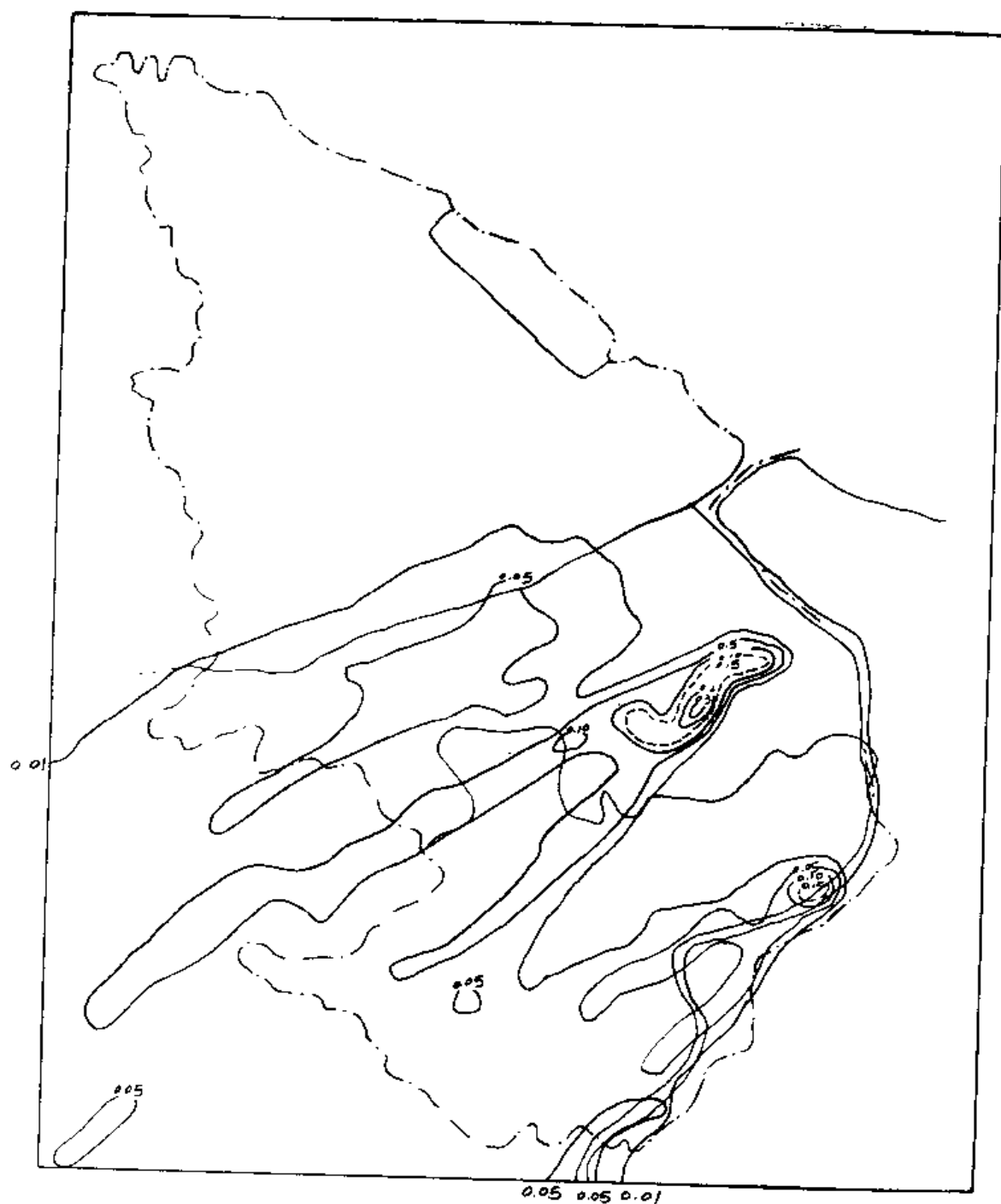


图 3.3.10c 上海市评价区 SO_2 浓度分布图, 1982年1月12日, 上海市点源

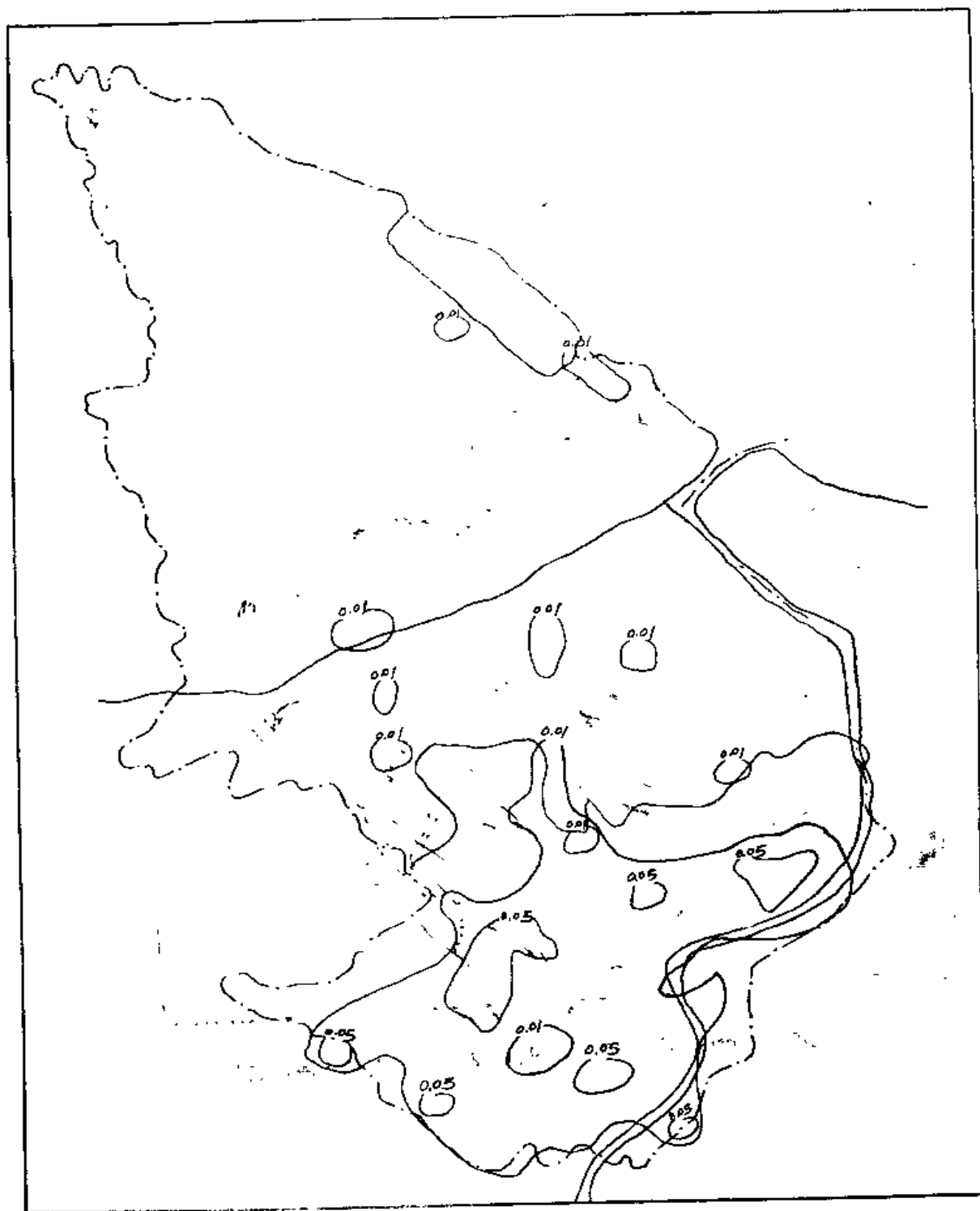


图 3.3.10d 上海市评价区 SO_2 浓度分布图, 1982年1月12日, 本地污染

(3) 在整日吹系统性北风条件下, 宝钢的污染源在市区西部和郊区分别带来 $0.025 \sim 0.03 \text{ mg/m}^3$ 的影响, 见图 3.3.13a, b, 此时, 对上海市区的影响最大。但是, 由于大风的稀释作用, 使上海市原有污染源的影响大为降低, 是上海市大气比较清洁的条件。因此, 宝钢投产后, 上海市区的 SO_2 浓度值仍低于卫生标准。

(4) 无论在何种气象条件下, 宝钢排放的 SO_2 在其周围地区形成 $0.03 \sim 0.04 \text{ mg/m}^3$ 的影

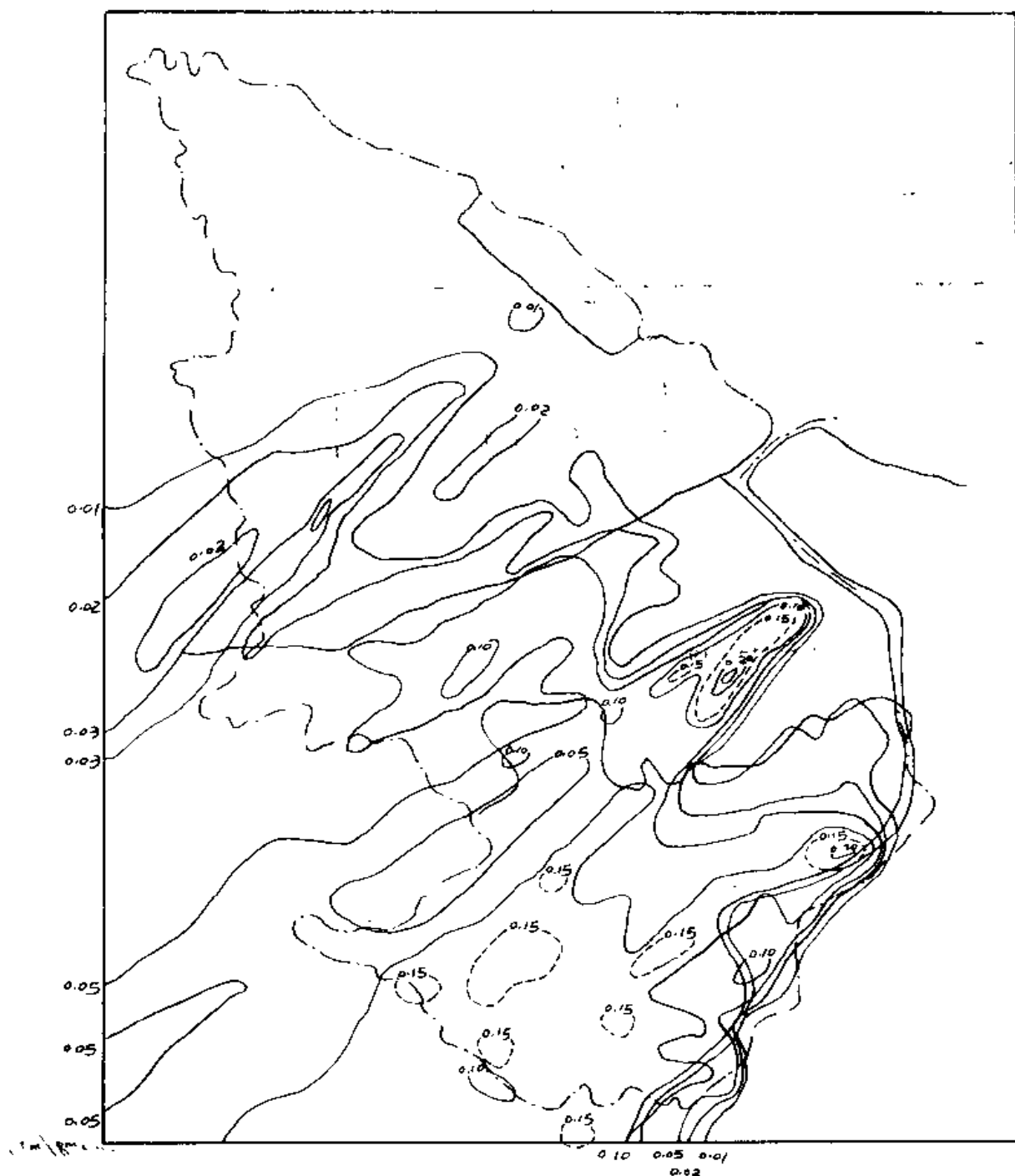


图 3.3.10e 上海市评价区 SO_2 浓度分布图,1982年1月12日,宝钢投产后

响区。在系统北风下,对市区也有 $0.025 \sim 0.03 \text{ mg/m}^3$ 的影响。因此,宝钢使用的煤和铁矿石的含硫量要保持在现在计算 SO_2 排放量的水平,若含硫量成倍地增长, SO_2 浓度影响也成倍地增长,污染将变得严重。

(5) 闸北、杨浦等地区的烟囱低、个数多,造成下风地区出现超标区。这些地区多为高烟囱,市区人口密集,能源消耗大,更有中小工厂夹杂一起,污染源大,而排放高度低,既污染了本地区,又污染了附近地区,是造成市区严重污染的主要原因。

(mg/m^3) 0.01 0.02 0.05 0.10 0.15 0.20 0.25

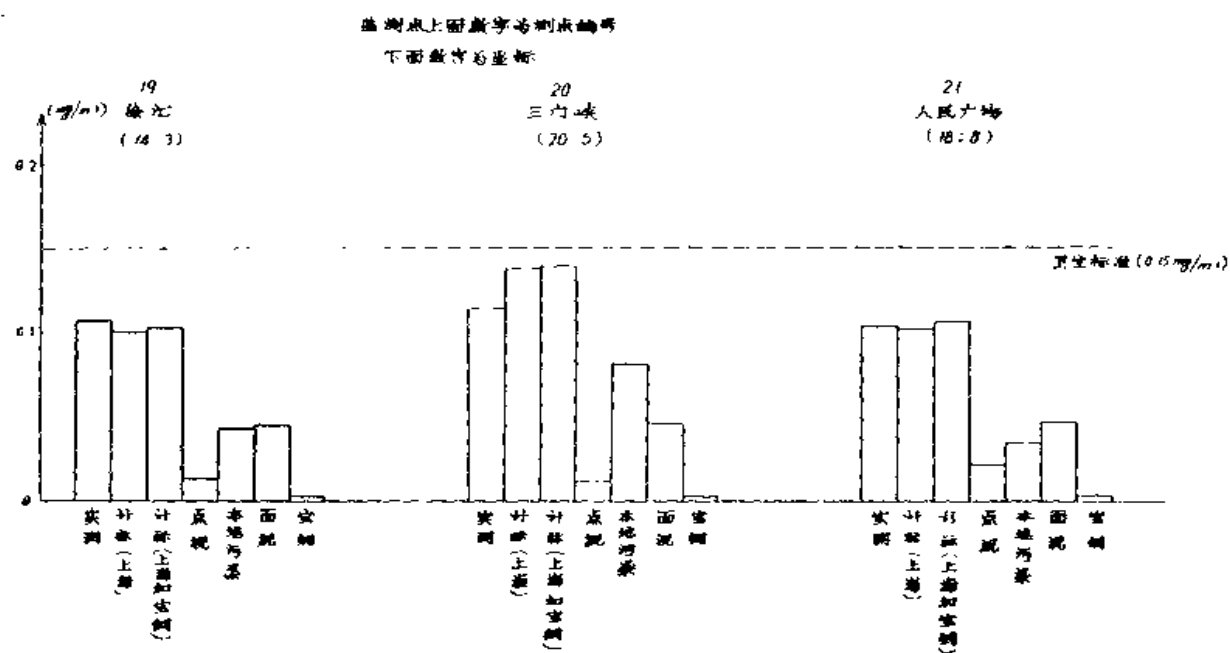


图 3.3.11a 1980年12月4日上海 SO_2 日平均浓度(mg/m^3)

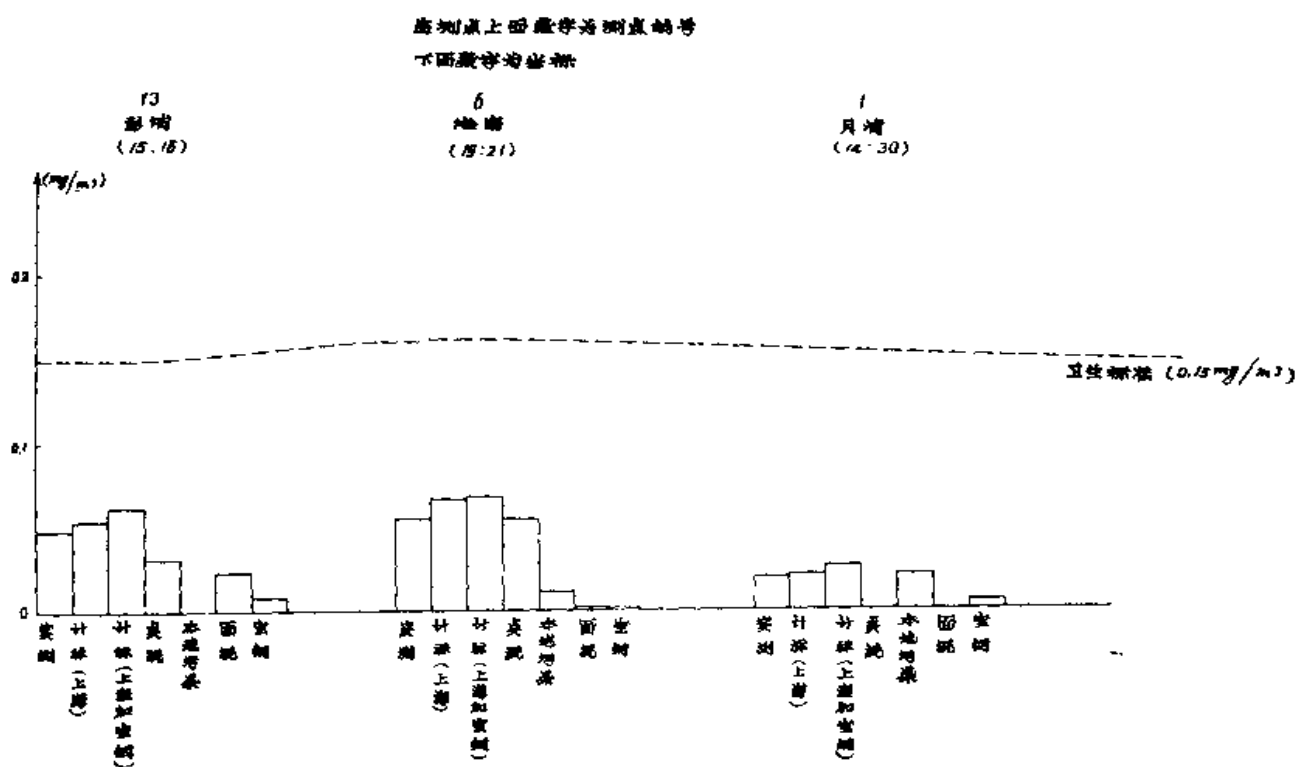


图 3.3.11b 1980年12月4日上海 SO_2 日平均浓度(mg/m^3)

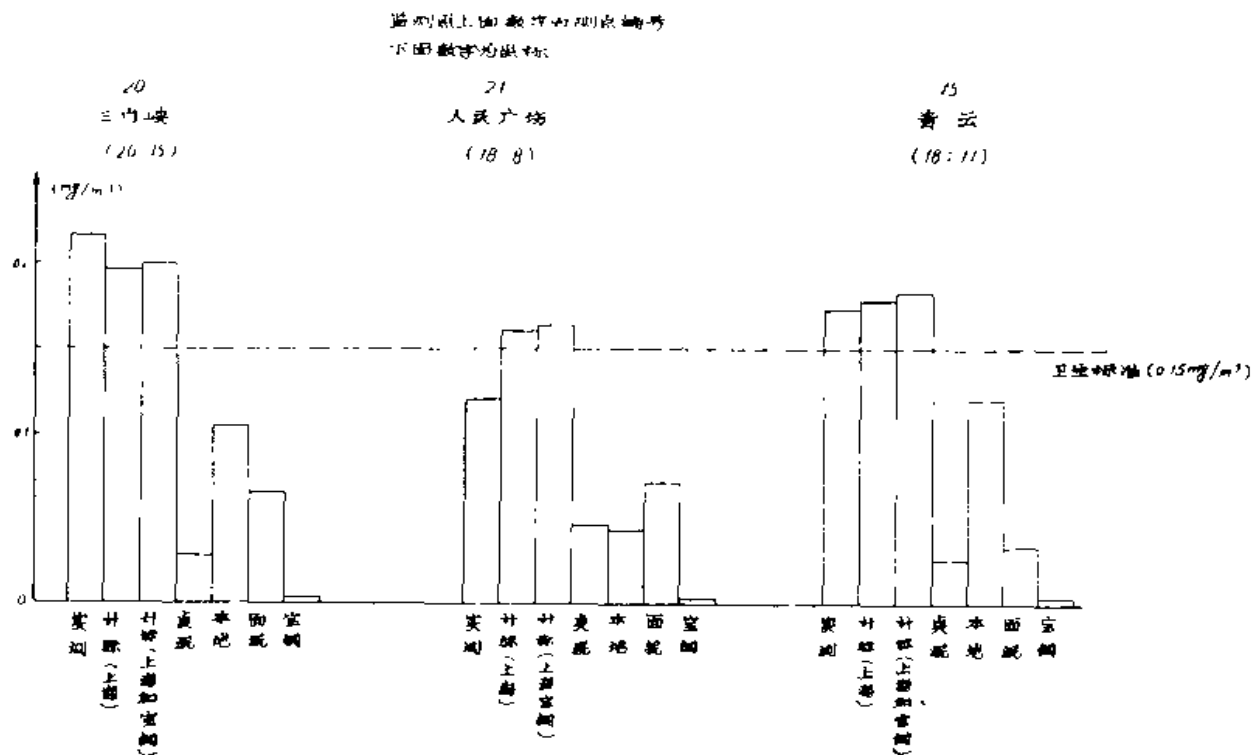


图 3.3.12a 1980年12月6日上海SO₂日平均浓度(mg/m³)

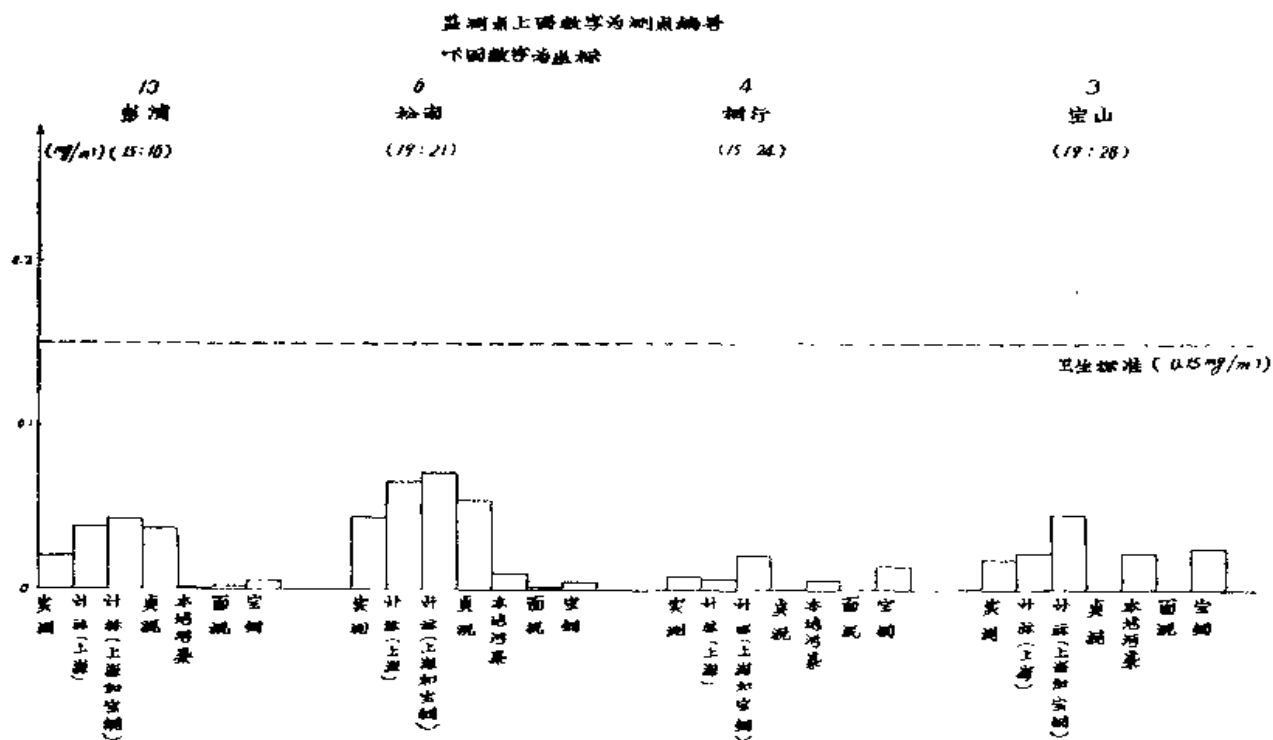


图 3.3.12b 1980年12月6日 上海SO₂日平均浓度(mg/m³)

监测点上面数字为测点编号
下面数字为坐标

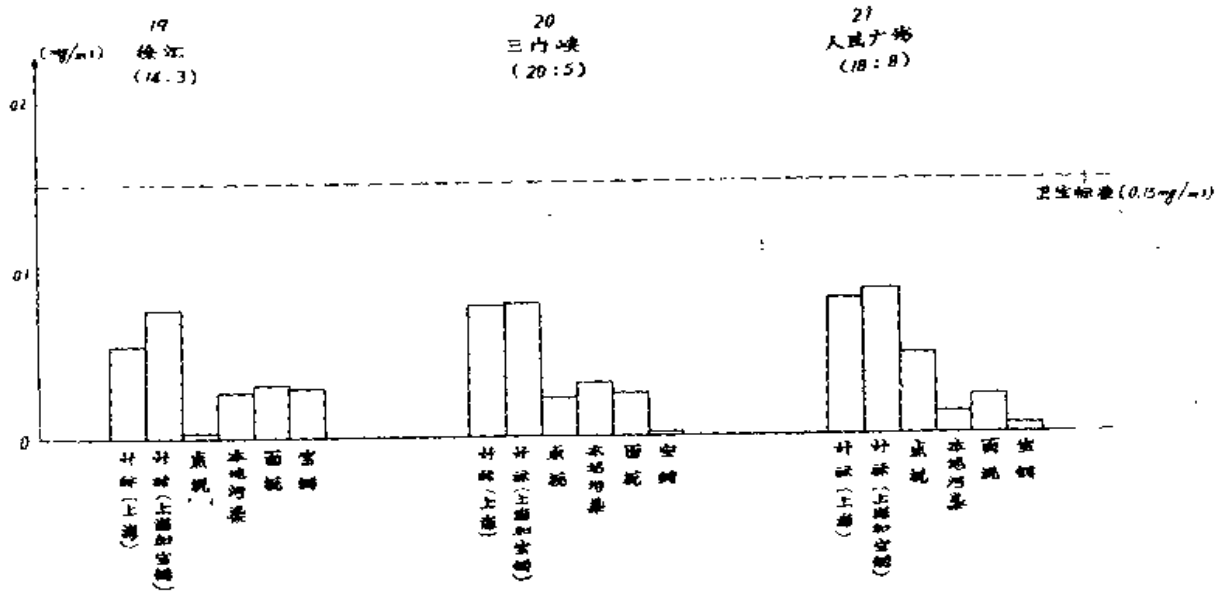


图 3.3.13a 1981年12月29日上海SO₂日平均浓度(mg/m³)

监测点上面数字为测点编号
下面数字为坐标

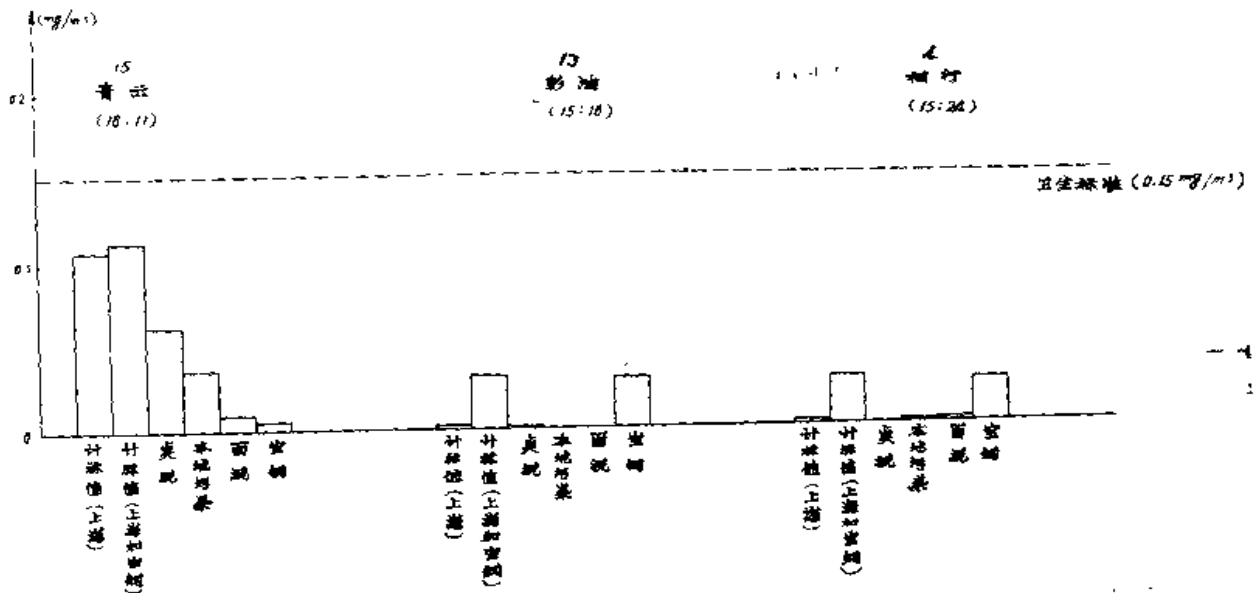


图 3.3.13b 1981年12月29日上海SO₂日平均浓度(mg/m³)