

空气污染 若干问题的研究

徐家骝 编著

中国环境科学出版社

空 气 污 染 若 干 问 题 的 研 究

徐 家 驹 编 著

中國環境科學出版社

1 9 9 4

(京)新登字089号

内 容 简 介

本书从多角度探讨空气污染问题,以便为更多的学科应用、参考。全书共分四章,即气象区块和大气稳定度、酸雨研究、大气颗粒物污染问题研究、气象条件对大气污染的影响等。可供大气污染、环境质量评价、气象等科研教学人员及环境污染管理人员参考。

空气污染若干问题的研究

徐家骝 编著
责任编辑 陈菁华

中国环境科学出版社出版

北京崇文区北岗子街8号

三河市宏达印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所发行 各地新华书店经售

1994年10月第 一 版 开本 787×1092 1/32

1994年10月第一次印刷 印张 8

印数 1—3000 字数 180千字

ISBN7-80093-516-7/X·785

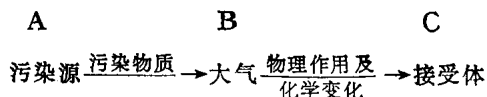
定价: 7.00元

前 言

最近二三十年，人们注意到在我们的地球上出现了一些影响生态平衡和人类生存的重大环境问题，其中极为突出并带有全球性潜在威胁的三个问题是：（1）酸雨在加重和蔓延；（2）平流层的臭氧遭受破坏；（3）气候在变暖。这三个问题都和空气污染有关。

J.H.Seinfeld在《空气污染——物理和化学基础》^{〔40〕}一书中给空气污染下了如下的定义：

“空气污染可定义为那样一种大气状况，即在这种大气状况下，大气中存在的某种污染物质的浓度超过正常值并对人类、动物、植物及原材料产生可测量出的影响。”因而可把空气污染问题简单地表示为：



其中，A→B泛指自然的和人为的各种废气排放过程，特别是工业废气的排放，是大气污染控制工程学的主要研究对象；B→C属空气污染气象学和空气污染化学的范畴，其实还应该包括生物学过程，它们都偏重于自然规律的研究，目的也是为了对大气污染进行控制。由于空气污染问题涉及的学科太多，现在还没有也无必要写一本包罗空气污染各方面问题的著作。事实上，这门边缘性学科还不成熟，需要各方面专家更多地从各自专业对其应用的角度一起来充实它，本人就是抱着这个目的撰写这本书的。

全书分四章。第一章《气象区块和大气稳定度》是开发大气扩散模式的基础研究工作。我们首次采用聚类分析方法对一个大城市（上海）做了气象区块的划分，提高了扩散模式的精度；在大气稳定度分类方法的研究中，我们通过云量法和辐射法的级差统计，指出应该对国标云量法进行修正，另外还作了市区和郊区稳定度差异的研究。第二章《酸雨研究》包括转化速率的测定，酸沉降量的估算，云雨酸化模式三项内容。第一项是通过现场试验首次为我国南方城市提供了二氧化硫向硫酸盐的转化速率常数；第二项是利用常规的环境监测和气象观测资料，对上海市的干、湿、总酸沉降量作出估计，并可预测未来，虽有一定误差，但因资料现成，方法简便，作为粗略估算尚可推广应用；第三项是理论研究，它针对我国煤烟型和大量低烟囱排放的特点，研究了大气污染物的局地净化和酸化过程，对揭示我国酸雨形成机理有启迪作用。第三章《大气颗粒物污染问题研究》，对工业源首先按粒径分布求出排放量，对传统的倾斜烟羽模式做了改进，考虑了雨水冲刷和地面反射等因素；对非工业源采用化学元素平衡法（CEB）。这里首次将扩散模式和CEB法相结合，对各种源的贡献进行了估算。这种方法对于一时难以搞清非工业源分布的城市来讲证明是有效的，其它城市也可采用。第四章《气象条件对大气污染的影响》，这一章包含了典型大气污染过程的研究，臭氧和二氧化硫等垂直梯度观测及其和气象条件的关系，二氧化硫浓度和地面风速的统计关系等内容，是空气污染潜势预报的前期工作，例如根据我们的研究，得到了某些影响局地空气污染的关键性气象指标，这就为大气污染的短期预报提供了物理基础。

以上各章从不同侧面研究了空气污染问题，如臭氧、二

氧化硫和尘的污染，酸雨，污染气象条件等，均属当今城市空气污染的主要问题。虽然主要介绍上海市的工作，但其研究思路、方法和多数结果、结论对我国其它城市均有参考价值。前面我已指出，本书所写各章内容均选自有关课题，这些课题是指：《上海市大气污染综合防治规划》、《上海市二氧化硫污染防治研究》、《上海市区颗粒物污染性质、污染源调查、输送模式和防治对策研究》、《上海市颗粒物总量控制》（以上只选作者负责完成的材料）、《酸雨—二氧化硫—气象条件关系》、《空气污染化学和气象关系》、《酸雨模式研究》等，可以看出，这些课题均和生产实践紧密结合，具有很强的应用性，这就决定了本书的内容也具有较 强的应用性，有不少方法对我国其它城市是可以参照采用的。

由于本书是大量科研成果的提炼、深化和系统性整编，成果中包含了和作者共同工作过的许多同志的辛勤劳动，这些同志中主要有：周斌斌、朱毓秀、林希坚、李静兰、莫天麟、王传玖、胡敏华等；本书中引用或利用的某些资料还包含了和我们有合作关系的上海市环境保护局所属的环保所和监测中心、上海市气象局所属的资料室和预报室、同济大学环境工程学院、复旦大学物理二系等单位有关同志的劳动成果；本书的撰写工作一开始便得到上海城市建设学院各级领导的大力支持；最后，书中大部分插图是由朱毓秀同志清绘的。在此一并向以上各方面人士致以衷心的感谢。

作者

1992年12月12日

目 录

前言	(iii)
第一章 气象区块和大气稳定度	(1)
第一节 气象区块的划分	(1)
第二节 大气稳定度分类的研究	(12)
第二章 酸雨研究	(25)
第一节 转化速率的测定	(25)
第二节 硫氧化物酸沉降量的估算	(30)
第三节 云雨酸化模式	(39)
第四节 云雨过程对酸化和冲刷的影响	(62)
第三章 大气颗粒物污染问题研究	(96)
第一节 颗粒物的来源	(96)
第二节 颗粒物污染源调查	(100)
第三节 颗粒物污染的大气质量调查	(106)
第四节 颗粒物污染模拟模式的建立	(114)
第五节 颗粒物扩散运输模式的调整及现状模拟	(130)
第六节 各种源对颗粒物浓度的贡献	(142)
第四章 气象条件对大气污染的影响	(157)
第一节 典型大气污染过程的研究	(157)
第二节 大气污染物的垂直梯度观测及其和气象关系	(186)
第三节 臭氧浓度日变化特征及其和各季天气关系	(212)
第四节 二氧化硫浓度和风速的统计关系	(223)
第五节 雾对地面大气污染的影响	(233)
参考文献	(243)

第一章 气象区块和大气稳定度

气象区块和大气稳定度是开发大气扩散模式的基础研究工作，然而过去对气象区块的划分是不够科学的，而大气稳定度分类则在我国都采用统一的国标云量法，这固然可直接应用常规气象资料，有其实用性，但对它的不足之处讨论不多。这一章介绍了我们对这两个问题的主要研究成果^{(1)、(2)}。

第一节 气象区块的划分

以上海为例，上海是一个沿海的大城市，同时受到内陆和海洋及长江的影响，即使在同一天气系统下，市内各区域的气象状况也不一样。但哪些区域的气象状况相似，相似的程度如何，哪些区域不相似，可以用统计学中的聚类分析方法来确定。把类似度较高的区域合并成一个气象区块，而类似度差的区域作为不同的气象区块。在大气扩散模式中，一个气象区块中用同样的气象场，既可以减少监测点，也可以减少数据处理量。

一、资料情况

主要利用1986年6月~1987年5月市内四个站（龙华、白玉、四漂、海南）⁽³⁾、郊县两个站（宝山、金山）的风向风速资料，市内四个站为每天24h的资料，郊县两个站是每天四次（02、08、14、20时）的资料。上层风的资料为市

区 1986 年 8、10 月, 1987 年 1、5 月, 各代表夏、秋、冬、春四季, 每季 5 天, 每天做 6 次测定温度、风向、风速的低空探空 (1、6、8、13、18、20 时) 和 10 次小球测风 (3、5、7、10、12、15、17、19、22、24 时), 小球采用自动跟踪设备, 读数均按每 50m 一直到 1500m 计 20 个高度^[3]。利用以上资料, 就可以做出龙华、金山、宝山、白玉、四漂、海南六站之间地面风的相关树形图和四漂、白玉、海南、龙华之间地面风及其和 10m、50m、100m、150m、300m、500m、1000m 各上层风之间的联合相关树形图。

二、计算公式

为对各个测站进行聚类, 先得用各站之间的风向、风速确定它们之间的相关系数 (即类似度), 我们采用了三种关系式。

1. A 、 B 两测站之间风向的相关系数,

$$r_{\theta} = \cos(\Sigma \theta_{AB} / N) \quad (1-1)$$

2. A 、 B 两站之间风矢的相关系数,

$$r_{AB} = \Sigma v_A \cdot v_B \cdot \cos \theta_{AB} / \Sigma v_A \cdot v_B \quad (1-2)$$

3. 由于 (1-2) 式中分子和分母均包含 $v_A \cdot v_B$, 风速相关的成分较弱, 基本上仍然代表风向的相关, 我们又提出一个能同时更好地代表风向和风速的相关系数 R :

$$R = \left[\Sigma \frac{\min(v_A, v_B)}{\max(v_A, v_B)} \cos \theta_{AB} \right] / N \quad (1-3)$$

θ_{AB} 是 A 、 B 两测站风矢 $\vec{v}_A$ 和 $\vec{v}_B$ 之间的夹角, N 是样本总数, $\min(v_A, v_B)$ 表示两测站中较小的风速, $\max(v_A, v_B)$ 表示两测站中较大的风速。

用相关系数来量度聚类之间的“距离”, “距离”大的对应

于相关系数小者，“距离”小的对应于相关系数大者。现以 D_{ih} 表示 i, j 两类之间的“距离”，例如 D_{ih} 为聚类 C_i 与聚类 C_h 的“距离”……等。设 C_h 由聚类 C_g 和聚类 C_l 融合而成，则另一个聚类 C_i 与聚类 C_h 的“距离”（或相似系数）一般常用两种方法来确定，即所谓“最短距离法”和“最长距离法”。

1. 最短距离法

$$\begin{aligned}
 D_{ih} &= \frac{1}{2} D_{il} + \frac{1}{2} D_{gl} - \frac{1}{2} |D_{il} - D_{gl}| \\
 &= \min_{r, s} \{d_{rs} \mid r \in C_h, s \in C_i\} \\
 &= \begin{cases} D_{il} & D_{il} \leq D_{gl} \\ D_{gl} & D_{il} > D_{gl} \end{cases} \quad (1-4)
 \end{aligned}$$

2. 最长距离法

$$\begin{aligned}
 D_{ih} &= \frac{1}{2} D_{il} + \frac{1}{2} D_{gl} + \frac{1}{2} |D_{il} - D_{gl}| \\
 &= \max_{r, s} \{d_{rs} \mid r \in C_h, s \in C_i\} \\
 &= \begin{cases} D_{il} & D_{il} \geq D_{gl} \\ D_{gl} & D_{il} < D_{gl} \end{cases} \quad (1-5)
 \end{aligned}$$

以上两式看出，所谓最短距离法， D_{ih} 取 D_{il} 和 D_{gl} 中之最小值或相关系数较大者；所谓最长距离法， D_{ih} 取 D_{il} 和 D_{gl} 中之最大值或相关系数较小者。

现在用这两种方法进行计算，其中相关系数分别使用 r_{AB} ， r_θ 和 R 三个公式计算。

由聚类方法求作相关树形图时按以下四个步骤进行：

步骤 1：设总样本数为 N 个，先分成 M 个聚类；

步骤 2：计算各聚类之间的类似度（或“距离”），将类

似度最大（即“距离”最小或相关系数最大）的两类融合成一类；

步骤 3：计算各类之间的类似度，重复步骤 2；

步骤 4：根据一定要求，满足时终止以上过程，作相关树形图。

三、聚类分析法求作相关树形图

根据以上方法，计算了龙华、四漂、白玉、海南、金山、宝山之间地面风的相关系数，龙华、四漂、白玉、海南之间地面风及其和上层风之间的相关系数，其结果分别列在表 1-1 和表 1-2，表中有关符号如前所述， n 是用于计算的样品数。

从这两个表看出， R 普遍比 r_{AB} 小， R 约在 0.6~0.5 之间， r_{AB} 约在 0.9 以上（均指地面风）， r_{AB} 与 r_n 相差无几，因为 r_{AB} 基本上只反映角度的相似，而 R 既考虑风向的类似度，又考虑了风速的类似度，所以数值变小了。

根据以上两个表的相关系数，我们得到了图 1-1 至 1-8，8 张相关树形图，图中纵坐标是相关系数，横坐标是测站名称或上层风的高度层次，测站的英文代号如下：

BY—白玉，HN—海南，JS—金山，SP—四漂，LH—龙华，BS—宝山。

四、气象区块的划定

根据以上相关树形图，通过对各站之间类似度的分析比较，最后便可划定气象区块。我们是这样进行分析的：

各站或各层之间归成一个气象块的原则应该是既要相关系数相对来讲比较大，又应该是相邻之间的站或层。例如图

表 1-1 各测点地面风之间相关系数表

四 漂	海 南	龙 华	金 山	宝 山	r_{AB} r_{0} R N
0.5191	0.9502	0.9178	0.9027	0.8707	白 玉
0.5415	0.9672	0.9469	0.9137	0.8943	
0.5367	0.5577	0.5280	0.5506	0.5620	
4962	5086	5752	961	957	
	0.9884	0.8917	0.8667	0.9120	四 漂
	0.9660	0.9249	0.9815	0.9383	
	0.8995	0.5212	0.5685	0.6333	
	5022	5732	958	955	
		0.9113	0.9050	0.9069	海 南
		0.9284	0.9264	0.9123	
		0.5308	0.6094	0.5857	
		5804	962	963	
			0.9831	0.8505	龙 华
			0.9060	0.8844	
			0.5702	0.5494	
			1403	1390	
				0.8413	金 山
				0.8554	
				0.5886	
				1384	

1-3 和 1-4 中的海南和金山虽然相关系数较大，但不是相邻两地，图 1-1 中的龙华和金山之间相距较远，也不能归成一个气象块。在决定是白玉和海南归为一块还是四漂和海南归为一块时，除去图 1-3 和 1-4 均有两对不符合相邻原则因而剔除外，其它六个树形图中有五个图均表现为白玉和海南

表 1-2 各测点之间地面风及其和上层风之间相关系数表

四 票	海 南	龙 华	上 层 风					FAB F ₀ R N	
			10m	50m	100m	150m	300m		500m
0.9151	0.9502	0.9178	0.9426	0.9543	0.9525	0.9426	0.9007	0.8447	0.6716
0.9415	0.9672	0.9469	0.9195	0.9211	0.9154	0.8995	0.8506	0.7743	0.6210
0.5867	0.5577	0.5380	0.6289	0.5515	0.4884	0.3851	0.3276	0.2730	0.2358
4962	5036	5752	96	96	96	96	96	75	82
	0.9334	0.8917	0.9389	0.9424	0.9378	0.9336	0.8930	0.8939	0.7048
	0.9600	0.9249	0.9301	0.9255	0.9164	0.9082	0.8527	0.7571	0.6266
	0.5895	0.5312	0.5894	0.5391	0.4525	0.4185	0.3287	0.2597	0.2342
	5022	5738	101	101	101	101	101	99	88
	0.9413	0.9395	0.9395	0.9537	0.9565	0.9547	0.9401	0.3877	0.7504
	0.9384	0.9504	0.9504	0.9548	0.9561	0.9479	0.9167	0.8443	0.6824
	0.5306	0.6400	0.6400	0.5530	0.4269	0.3793	0.3248	0.2505	0.2122
	5064	78	78	78	78	78	78	76	67
	0.9255	0.9243	0.9255	0.9243	0.9132	0.9067	0.8709	0.8175	0.6847
	0.9334	0.9259	0.9334	0.9259	0.9080	0.8935	0.8630	0.7929	0.6374
	0.6042	0.5265	0.6042	0.5265	0.4238	0.3669	0.3138	0.2589	0.1963
	169	169	169	169	169	169	168	166	148

上 层 风					
10m	50m	100m	150m	300m	500m
0.9922 0.9883 0.7150 174	0.9783 0.9676 0.5147 174	0.9652 0.9500 0.4524 174	0.9245 0.9026 0.3742 173	0.8672 0.8283 0.3096 171	0.7324 0.6463 0.2371 153
	0.9948 0.9921 0.7088 174	0.9857 0.9773 0.6056 174	0.9514 0.9370 0.4942 173	0.8944 0.8691 0.4073 171	0.7664 0.7056 0.3114 153
		0.9965 0.9944 0.8314 174	0.9685 0.9594 0.6321 173	0.9166 0.8965 0.5381 171	0.7948 0.7275 0.3885 153
			0.9810 0.9745 0.7227 173	0.9362 0.9209 0.6158 171	0.8243 0.7565 0.4254 153
				0.9778 0.9735 0.7607 171	0.8870 0.8327 0.4781 153
					0.9376 0.8999 0.5698 153

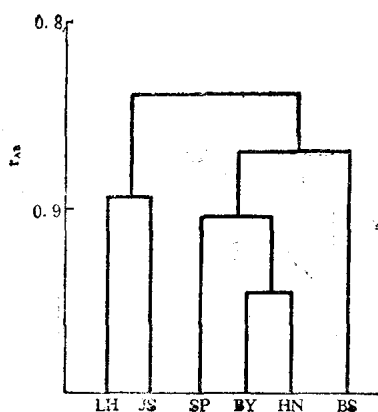


图 1-1 用 r_{AB} 由最长距离法求得的地面风相关树形图

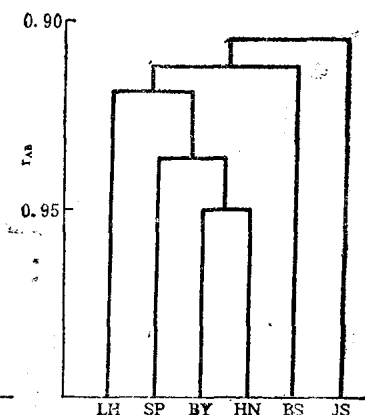


图 1-2 用 r_{AB} 由最短距离法求得的地面风相关树形图

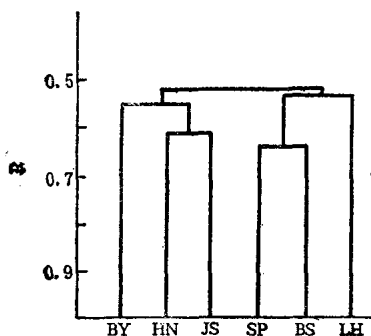


图 1-3 用 R 由最长距离法求得的地面风相关树形图

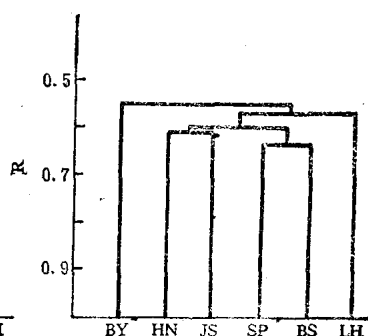


图 1-4 用 R 由最短距离法求得的地面风相关树形图

之间相关程度较高的特点，只有图 1-7 是四漂和海南相关较好，故确定白玉和海南划为一块。另外白玉—海南和四漂之间从图 1-1，1-2 和 1-6 中看也可以把这三处划成一块，但

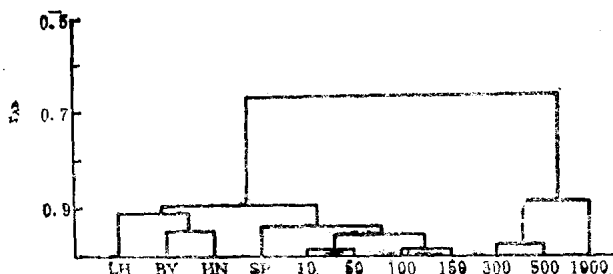


图 1-5 用 r_{AB} 由最长距离法求得的地面风及上层风的相关树形图

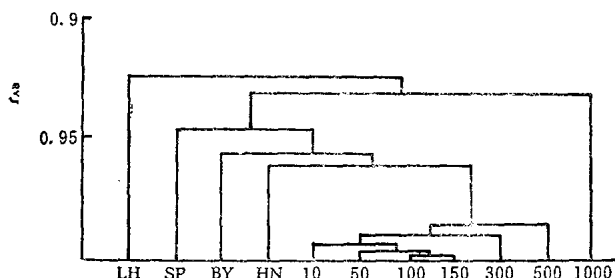


图 1-6 用 r_{AB} 由最短距离法求得的地面风及上层风的相关树形图

相关程度比白玉—海南之间稍弱一些。再看金山、宝山、龙华，图 1-1 和 1-2 看不到它们和哪个站的相关较好，图 1-3 和 1-4，四漂和宝山虽然相关较好，但从相隔距离来看不如将四漂和白玉—海南划为一个大块，而金山和海南相关性次之，但不是相邻两站，不能划为一块，其余四张图只有龙华和市区各站的关系，但相关性都不好，所以金山、宝山、龙华应该分别作为独立的气象块。

由以上分析，地面气象块可以考虑划分成四块或五块，四块时为白玉—海南—四漂（市区）一块，龙华（属近郊，包括闵行）一块，金山和宝山（远郊）各一块，分五块时将

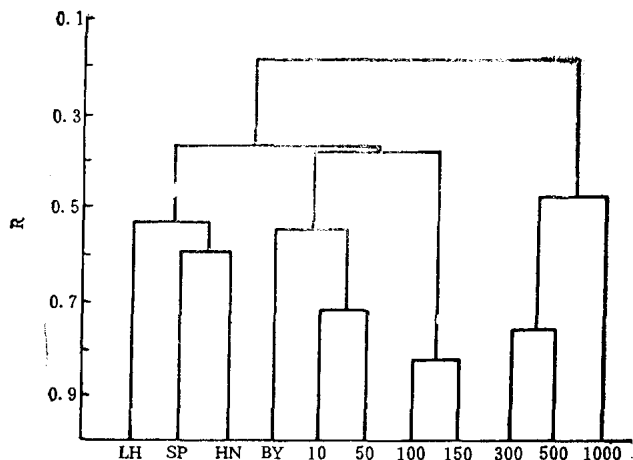


图 1-7 用 R 由最长距离法求得的地面风及上层风的相关树形图

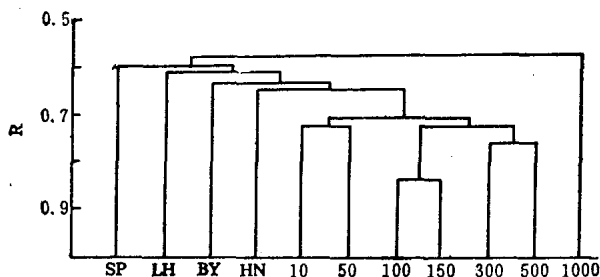


图 1-8 用 R 由最短距离法求得的地面风及上层风的相关树形图

市区划成白玉—海南一块，四漂一块。地面气象区块的划分见图 1-9，图中小圆圈标明测站所在的位置。

上层风的情况各图比较一致（图 1-5 至 1-8），即 10 m 和 50m 作为一类，100m 和 150m 作为一类，300 m 和 500m 作为一类，1000m 作为一类。如果粗分，也可以将 10，50、100、150m 归为一类，300、500、1000m 归为一类，即可粗分成两个层次。