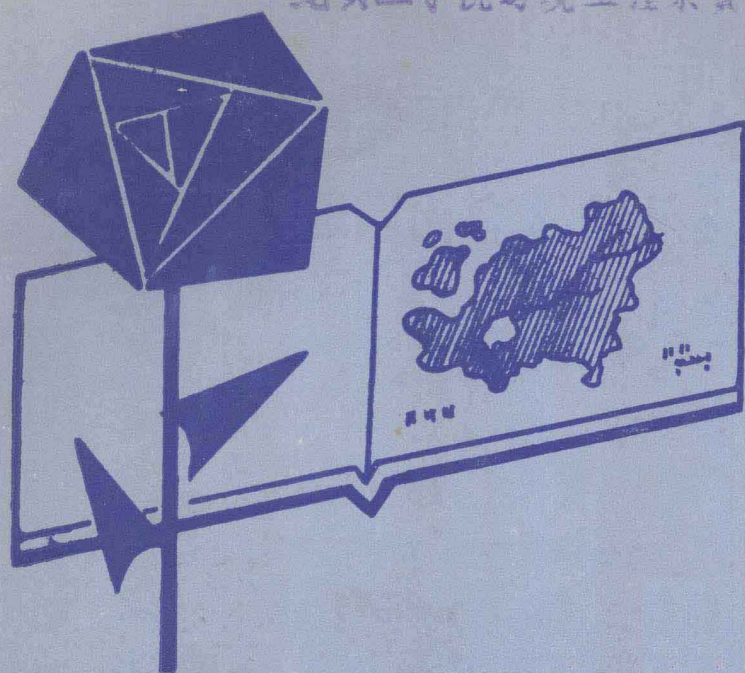


昆明工学院环境工程系资料室



1

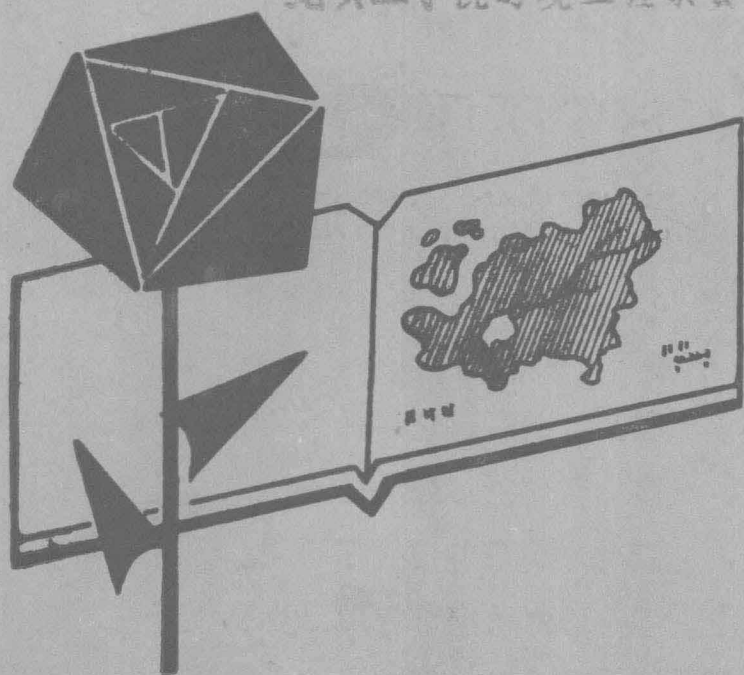
1985

区域环境研究译文集

中国科学院环境科学情报网

QYHJYJYW

昆明工学院环境工程系资料室



1

1985

中国科学院环境科学情报网

区域环境研究译文集

QYHJYJYWJ

目 录

大气污染研究

用多元分析法识别波士顿城区气溶胶中选定元素的污染源.....	(1)
英国七十年代的大气状况与健康问题.....	(13)
大城市的空气净化.....	(17)
森林草原带重金属沉降率的测定.....	(22)
法国冈市的大气污染监测网.....	(26)
加拿大、安大略北部采矿活动造成的铁在大气中的沉降.....	(36)
魁北克铝厂排放到大气中的氟化物对积雪的污染.....	(39)

水域污染研究

河流沉积物中重金属的分布函数.....	(44)
痕量金属在海洋沉积物中的分配模式.....	(49)
水域面积与其自然保护价值的关系—英国伍斯特郡若干池塘的研究.....	(58)
法国布列塔尼省畜牧业对地下水水质的影响.....	(63)
从生产饮用水的角度看罗纳河水的特性及水质.....	(70)
加拿大马尼托巴省温尼伯市商业区沿河积雪堆放场地的铅含量.....	(76)
重金属对瓦诺日河沉积物污染的研究.....	(80)
那不勒斯海湾内沉积物的粪便污染.....	(83)
冈波特湖的人工酸化实验.....	(88)
不同水环境中沉积物取样的统计.....	(91)

土壤污染研究

城市和地质.....	(99)
铬在土壤中的行为Ⅶ. $C(VI)$ 的吸附作用和还原作用.....	(105)
加拿大西北地区, <i>Paige</i> 山附近受强生物硫化物排放影响的植物和土壤中 $\delta^{34}S$ 的变化.....	(113)
美国威斯康星州梅诺莫尼河流域土壤、沉积物和市区尘埃样品中的金属成分.....	(117)

环境污染对生物和人体健康的影响

<i>PCBS</i> 、 <i>DDTS</i> 和 <i>HCHS</i> (<i>BHCS</i>) 对海洋哺乳动物的全球性污染.....	(129)
--	-------

加拿大不列颠哥伦比亚地区奥卡纳根盆地生物危害的分析.....	(133)
亚马逊雨林某些非维管束植物中的重金属浓度.....	(144)
大豆对田间模拟酸雨的反应.....	(147)
氟化物对摩洛哥萨非南部地带动植物的影响.....	(155)

区域环境管理

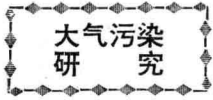
自然区的管理.....	(158)
防止相模湾富营养化的对策.....	(163)
尼日利亚的石油开发和社会经济环境.....	(171)
莫斯科的环境管理.....	(178)
三重县广域环境监测系统.....	(181)
研究区域环境问题的一种理论方法.....	(189)
重要广告.....	封二、封四

会议征文通知

受中国环境科学学会委托,环境化学专业委员会与中国科学院环境化学研究所决定,于1985年11月联合召开“有机污染物的环境化学行为、评价和控制方法”学术讨论会。现在开始征收稿件。征稿内容和范围包括在大气、水体、土壤及污染源的水、气、渣中的有机污染物的分析方法、评价方法、毒性和毒理,环境效应,有机污染物的转化过程和模式,有机污染物的控制和治理方法、回收和回用方法等方面的研究论文。愿投稿参加会议者请于1985年8月1日前将论文详细摘要(约3000字,包括主要方法、数据、结论和图表)寄北京中国科学院环境化学研究所学术委员会办公室于耀光同志收。已在公开刊物和全国性学术会议上发表过的论文请勿寄来!

中国环境科学学会环境化学专业委员会
中国科学院环境化学研究所

1985.4.8.



用多元分析法识别波士顿城区 气溶胶中选定元素的污染源

PHILIP K. HOPKE et al

摘 要

在波士顿地区收集了五个月的大气颗粒物样品后,采用中子活化法测定出这些样品中的18种元素的浓度值。继而采用因子分析法和谱系集合的聚点分析法对这些数据做了进一步处理。可以根据该系统总方差值的77.5%所概括的6个公因子来解释这批数据。根据各因子对于元素的依赖关系,这些因子被归因于大气颗粒物的不同的污染源。文中的聚类分析有助于对这些因子的解释。

前 言

城市大气颗粒物中痕量元素浓度的调研已进行了多年。尽管已经测定了大批的颗粒物元素数据,然而,用这些数据去识别污染源的组成仍然是困难的。重要的是要了解各种有潜在毒性的气溶胶颗粒物的迁移和分布,而这些气溶胶颗粒物就含有各种化学元素的主要排放源信息,以及含有影响颗粒物运动的物理因素。

为了识别污染源使用了一种方法,该法可以识别出污染源的数量,以及排放监测元素的污染源的类型。在1972年Miler等人就将监测元素的分布假定为某些可能的污染源的线性函数。因此,监测元素建立的一个模型可以解算出数个可能的污染源。Heindryckx等人于1974年在根特港地区得到了这样的解答。1973年Belgium等人对西德的Heidelberg地区也作了类似的分析。最近(1975年)Gatz采用Miller等人的程序,得到了芝加哥地区的研究成果。这个方法有一些缺点,就是必须预先假定污染源的数量和性质。对于那些在取样时只侧重于反映特殊的地方性的污染源,而不反映一般的污染源排放物的监测数据,是不适用于污染源组分识别的。另外,这种识别并没有考虑到释放大气中颗粒物元素组成的变化。显然,在城区大气环境中的相互作用,对于改变从特定的污染源排放的颗粒物的外形,是有重要作用的。一个更加完善的程序已经于1975年由Gartrell和Friedlander制定出来了。该程序能计算颗粒物的气-固相转化,凝聚及增长过程,以及计算出更广泛的污染源清单。这样的数据处理法可使得计算结果与原始数据很好地吻合。然而,这需要对上述相互作用中的变化速率、变化类型作某些假定,并进行较大量的数据分析工作。这样做,有助于了解从单纯的统计分析得到的结果是否足以用来识别污染源。

一些部门采用统计分析法,将他们的大量数据处理成便于分析的少量的几项。Blifford和Meeker(1967年)用主成份分析法处理了1957—1961年间的国家大气样品资料网的数据。在他们使用的模式中,遇到了一些困难,本文下面将予以讨论。他们叙述了分析的结果:即这批数据能被处理成七种组分,其中至少有一些组分可被用来识别大气颗粒物的各种污染源。

John等人于1973年也采用了某些统计方法去分析他们的数据。他们采用形心法估计了因子分析初始时用到的公因子方差。在计算机不够普及的年代，这样的因子分析程序是流行一时的。但是他们不能够用该法全面地完成因子分析，只能从他们的数据中得出有限的结论。

本文所叙述的这项工作，给出了一个完整的因子分析过程。这种分析采用了数个方法以及一个分层聚合的聚类分析法，而且对数据进行分类时无须预先对污染源作任何假定。

样品的采集和分析

下列的原始数据是Zooller和Gordon于1970年及Gladney等人于1974年在波士顿地区监测的大气颗粒物数据。本项工作开始于1970年2月。监测点的选择是根据待评价的区域质量变化情况。图1是现今的波士顿首府区域和本项研究中用到的采样点。收集了两个系列的样品数据。第一系列样品数据的采样点是在赫尔，长岛，南波士顿及马萨诸塞州陆军医院，该系列数据采样时间是1970年3月25日至

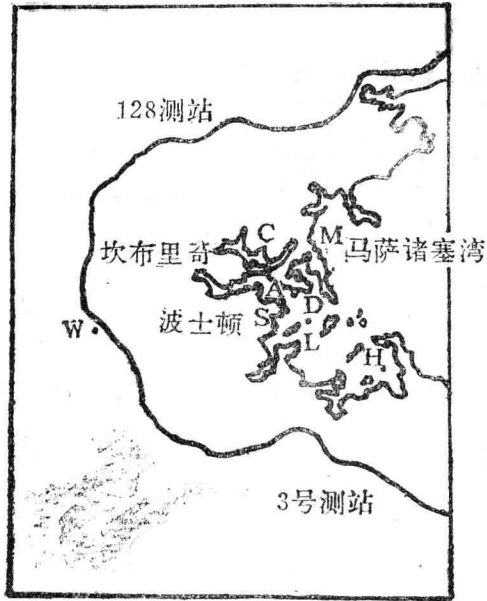


图1. 波士顿首府区域图及采样点位图置
注：图中符号 W=韦尔斯利、M=马萨诸塞陆军医院（波士顿商业区）、C=查尔斯顿（波士顿海军造船厂）、A=洛根国际机场、D=鹿岛、S=南波士顿、L=长岛、H=赫尔

表1 波士顿城区大气颗粒物浓度及其变动范围(第一系列样品)

元 素	浓 度 单 位	波士頓商业区		南波士頓		长 岛		赫 尔	
		平均值	范 围	平均值	范 围	平均值	范 围	平均值	范 围
Na	(μgm^{-3})	1.40	0.47—2.6	1.11	0.22—2.0	1.65	1.10—2.4	1.24	0.86—1.80
Cl	(μgm^{-3})	0.46	0.17—0.94	0.25	0.06—0.64	0.36	0.12—0.74	0.33	0.09—0.78
Br	(ngm^{-3})	290	140—640	160	43—330	78	39—110	80	62—99
Al	(μgm^{-3})	1.59	1.02—2.1	2.0	0.30—4.5	0.62	0.33—0.86	0.71	0.53—1.07
Sc	(ngm^{-3})	0.32	0.23—0.59	0.47	0.07—1.2	0.126	0.064—0.19	0.132	0.089—0.21
V	(μgm^{-3})	0.97	0.74—1.25	1.31	0.8—2.4	0.73	0.4—1.1	0.35	0.26—0.56
Cr	(ngm^{-3})	2.3	0—3.9	4.7	1.2—14	1.07	0.6—2.3	1.11	0—3.1
Mn	(ngm^{-3})	35	12—56	46	9—150	31	15—43	24	13—43
Fe	(μgm^{-3})	1.17	0.65—1.8	1.60	0.37—4.2	0.49	0.26—0.78	0.52	0.29—0.75
Co	(ngm^{-3})	1.15	0.85—1.4	1.25	0.6—2.0	0.62	0.44—0.82	0.52	0.33—0.78
Zn	(ngm^{-3})	62	0—320	460	60—1540	17	0—60	42	0—130
Se	(ngm^{-3})	2.1	0.19—9.1	1.56	0.41—4.2	1.09	0.36—2.2	1.00	0.59—2.4
Sb	(ngm^{-3})	6.0	1.3—11	12.3	1.9—40	2.5	1.65—3.4	3.2	0.55—5.6
La	(ngm^{-3})	2.1	1.1—3.3	1.73	0.41—3.7	0.72	0.25—1.1	0.66	0.36—0.99
Ce	(ngm^{-3})	3.0	1.3—4.9	3.3	0.84—6.8	1.38	0.57—2.2	1.44	0.95—2.1
Sm	(ngm^{-3})	0.29	0.15—0.46	0.27	0.06—0.53	0.112	0.055—0.166	0.092	0.058—0.133
Eu	(pgm^{-3})	32	16—50	53	5.4—130	17.5	5.9—26	18.3	5.6—36
Th	(rgm^{-3})	344	110—910	310	29—783	110	48—163	98	47—156
编 号	样 品	7		7		5		5	

1970年4月27日。第二系列样品数据采样点包括鹿岛,洛根国际机场,波士顿海军造船厂,马萨诸塞州陆军医院及韦尔斯利,采样时间是从1970年5月12日至1970年6月29日。

对这些样品采用了仪器中子活化分析技术,分析出18种元素,该法类似于Zoller和Gordon1970年所叙述的方法。全部数据包括90个样品。这些数据摘要地列于表1和表2

表2 波士顿城区大气颗粒物元素平均浓度及变化范围(第二系列样品)

元素	单位	韦尔斯利		波士顿商业区		查尔斯顿		洛根机场		鹿 岛	
		平均	范 围	平均	范 围	平均	范 围	平均	范 围	平均	范 围
Na	(μgm^{-3})	0.81	0.30—1.58	2.04	0.72—7.5	1.67	0.54—4.4	1.15	0.40—2.53	1.83	0.86—4.4
Cl	(μgm^{-3})	0.45	0.14—0.76	0.93	0.15—5.8	0.37	0.17—0.69	0.23	0.13—0.38	0.71	0.14—3.1
Br	(ngm^{-3})	161	57—550	251	120—400	178	66—370	214	100—370	161	31—460
Al	(μgm^{-3})	0.61	0.26—1.02	1.54	0.93—2.7	2.2	0.54—4.1	1.18	0.31—3.0	0.580	0.053—1.20
Se	(ngm^{-3})	0.12	0.042—0.21	0.30	0—0.51	0.47	0.039—1.02	0.23	0.015—0.45	0.112	0.015—0.23
V	(μgm^{-3})	0.23	0.035—0.64	0.94	0.32—2.3	1.08	0.51—1.66	0.67	0.09—1.7	0.29	0.09—0.72
Cr	(ngm^{-3})	0.19	0—1.9	3.2	0.0—14	12.2	2.1—29	1.52	0—4.6	0.53	0—3.2
Mn	(ngm^{-3})	17.8	7.4—27	28.5	11—59	35	11—62	22.8	5.2—54	14.3	0.61—36
Fe	(μgm^{-3})	0.43	0.19—0.80	1.12	0—2.9	2.2	0.37—4.1	0.90	0.116—2.1	0.60	0.14—1.2
Co	(ngm^{-3})	0.51	0.22—0.93	1.19	0.64—3.1	1.8	0.60—3.2	1.05	0.25—3.1	0.439	0.101—1.02
Zn	(ngm^{-3})	93	25—220	240	0—920	300	110—510	190	90—550	110	14—270
Se	(ngm^{-3})	1.34	0.30—2.7	1.16	0—3.8	1.21	0.0—3.5	1.08	0.34—2.73	0.91	0.16—2.9
Sb	(ngm^{-3})	2.2	0—4.1	19.4	0—58	14.8	1.9—50	8.3	0—26	2.6	0.0—7.6
La	(ngm^{-3})	0.66	0.18—0.97	2.4	0.61—5.5	2.27	0.33—5.6	1.10	0.11—2.4	0.56	0.13—1.2
Ce	(ngm^{-3})	0.91	0.38—1.4	3.4	1.1—8.7	3.2	0.83—7.7	1.6	0—4.1	1.01	0.24—2.4
Sm	(ngm^{-3})	0.031	0.023—0.13	0.30	0.10—0.68	0.33	0.045—0.78	0.154	0.011—0.36	0.080	0.012—0.16
Eu	(pgm^{-3})	13.3	0—30	45	7.7—105	59	3.2—124	35	8.4—100	16.2	3.5—34
Th	(pgm^{-3})	76	26—135	217	93—360	330	20—770	183	0—490	78	5.2—175
样品号		10		15		14		12		15	

统 计 分 析

为了利用各种统计程序,将监测数据按下式变换成标准形式

$$Z_{ij} = \frac{X_{ij} - \bar{X}_i}{J_i} \quad (1)$$

- 式中 Z_{ij} : 第*i*个变量的第*j*个样品标准化数值;
 X_{ij} : 该样品的实测值;
 $\bar{X}_i$: 第*i*个变量样品的平均值;
 J_i : 第*i*个变量的标准方差。

全部数据的平均值及标准方差列在表3。每个标准化的变量其平均值等于零。其标准方差等于1。

表3 全部样品的元素浓度平均值与标准差

元 素	单 位	平 均 值	标 准 差
Na	(μgm^{-3})	0.51	0.77
Cl	(μgm^{-3})	1.50	1.1
Cl	(μgm^{-3})	1.50	1.1
Br	(ngm^{-3})	190	120
Al	(μgm^{-3})	1.27	1.03
Sc	(ngm^{-3})	0.26	0.24
V	(μgm^{-3})	0.725	0.50
Cr	(ngm^{-3})	3.4	5.5
Mn	(ngm^{-3})	27	19
Fe	(μgm^{-3})	1.09	1.0
Co	(ngm^{-3})	1.00	0.70
Zn	(ngm^{-3})	190	220
Se	(ngm^{-3})	1.23	1.23
Sb	(ngm^{-3})	9.1	11
La	(ngm^{-3})	1.45	1.26
Ce	(ngm^{-3})	2.2	1.8
Sm	(ngm^{-3})	0.20	0.17
Eu	(pgm^{-3})	35	30
Th	(pgm^{-3})	200	190

因 子 分 析

统计分析是利用数个已建全的公因子分析法来完成的。因子模式是假定每个变量都与数个基本因子线性相关，因此这些变量的值可以用一组线性方程式来表示：

$$\begin{aligned}
 Z_{1j} &= a_{11}F_{1j} + a_{21}F_{2j} + \cdots + a_{mj}F_{mj} + d_1U_{1j} \\
 &\quad \cdots \quad \quad \quad \cdots \quad \quad \quad \cdots \quad \quad \quad \cdots \\
 Z_{nj} &= a_{1n}F_{1j} + a_{2n}F_{2j} + \cdots + a_{mn}F_{mj} + d_nU_{nj}
 \end{aligned} \tag{2}$$

式中

F_{ij} : 公因子，与所有的变量 Z_{ij} 有关；

U_{ij} : 唯一因子，只与第 j 个样品相应的变量有关；

a : 因子载荷（或因子负载）。

因子分析的目的就是测定大量的公因子，以便能够恰当地解释实测数据变量。这些变量已经被标准化了，使得每个变量的方差等于1，总的系统方差为 n 。每一个变量的方差是由公因子方差、特殊因子方差和误差项组成的。特殊因子方差和误差相包含在唯一因子中。

真方差

总方差 = 公因子方差 + 特殊因子方差 + 误差

唯一因子方差

公因子方差和特殊因子方差表示了系统中由于凝聚因子变化而产生的实际变化。误差表示了由于监测引起的变量变化，但它并不与系统中凝聚因子相关。公因子能够说明总方差的改变量。一个变量的公因子方差（*Communality*）是由公因子来计算的。一个变量的公因子方

差等于因子载荷的平方和。

$$h_i^2 = \sum_{j=1}^m a_{ij}^2 \quad (3)$$

如果用公因子来计算系统中变量的总方差，那么公因子方差将等于1。大多数情况下，公因子方差小于1。早期的因子分析忽略了唯一的因子。这种技术称为主成份分析(*Principal Components analysis*)。它实际上是对原变量轴作若干次正交旋转。这样作，不能分析出系统中变化的因果关系。

因子分析是从计算全部变量两两线性相关系数开始的。因此，假如有 n 个变量，就可以得到一个 $n \times n$ 的相关系数矩阵。在波士顿颗粒物分析中，对于每个样品测定了18个变量。系统中许多参数是同步变化的。若试图对这些两两相关系数加上非常多的解释，那是不适宜的，因为某两个变量很可能是紧密相关于同一个因素，却很少表示出它们是两两相关的，反之亦然。*Imhvie* (1963) 在他的报告中给出了此类效应的实例，该报告是将因子分析法应用于地质调查数据。

找公因子的一个近似方法是主因子解法(*Principal factor method*)。在该法计算程序中，将相关矩阵主对角线原来是1的位置上用公因子方差的估计值来代替。则，该矩阵叫做公因子方差矩阵。估计公因子方差是一个困难的问题。*Harman* (1967年) 研讨了这个问题的计算法。在理论上公因子方差能够直接从相关矩阵来计算。然而，对于一个系统需要多于2个因子。因此，问题的解是不能在较短的时间内得到的，甚至于在现行的计算机上解算也是困难的。有几种方法可以有效地估计公因子方差。通常的方法有：用每个变量的最大的相关系数，用复相关系数的平方(*The squared multiple Correlation*)、或用给定变量间全部相关系数的平均值去估计公因子方差。复相关系数平方是由相关矩阵(矩阵的对角线上为1)求逆得到的。按下式计算：

$$SMC_j = 1 - \frac{1}{r_{jj}}$$

式中 r_{jj} 是相关矩阵逆矩阵的对角线上第 j 个元素。复相关系数平方 SMC 是公因子方差的下限。复相关系数平方 SMC 法是由*Guttman*于1956年所推见。它具有最佳估计的特性。可进行主因子解的通用程序，一般都提供了用 SMC 作为公因子方差估计值的功能。在用该法估计公因子方差之后，就对角化这个公因子方差矩阵，并计算出特征值和与之相应的正交特征向量。

因子分析的一个主要问题，是确定公因子数 m 。已经发表的一些方法有助于选择 m ，每个推见的方法，一般都给出了评论和实例。这将使研究人员有可能判断需要保留多少个因子。因子分析的目的是要将数据处理成可理解的、便于分析的构造形式。某一种方法能否作为应用于实际的判别准则，是要看这种方法是否有助于说明这些因子，以便于明确地研究该系统。

在诸因子中包含尽可能多的公方差是有可能的，以下将用一个简例予以说明。在该课题中，选择了六个因子。在表4中，给出了估计的公因子方差值，以及每个因子的方差值。全部18个变量的公因子方差估计值的总和为14.111。这个总和是该系统公因子方差估计值的总和。包括6个因子的公因子方差的总和为13.958。因此，保留6个因子可以概括了99%的公因子方差。

表4 波士顿大气颗粒物数据主因子模型的方差极大旋转法计算结果

元 素	因 子 载 荷						公因子方差	公因子方差
	α_1	α_2	α_3	α_4	α_5	α_6	估计值	结果值
Na	0.169	0.816	0.084	0.074	0.063	-0.016	0.654	0.711
Cl	-0.007	0.835	-0.040	0.077	-0.027	0.020	0.641	0.707
Br	0.132	0.121	0.130	0.592	0.163	0.037	0.481	0.427
Al	0.890	0.105	0.235	0.104	0.236	0.190	0.963	0.960
Sc	0.900	0.093	0.125	0.090	0.252	0.258	0.973	0.972
V	0.307	0.043	0.722	0.254	0.064	0.203	0.738	0.728
Cr	0.764	-0.117	0.444	-0.113	0.086	-0.079	0.835	0.821
Mn	0.607	0.126	0.161	0.163	0.558	-0.013	0.748	0.750
Fe	0.902	0.078	0.246	0.013	0.224	0.171	0.966	0.959
Co	0.657	0.068	0.587	0.212	0.228	0.101	0.886	0.888
Zn	0.382	0.011	0.313	0.062	0.236	0.614	0.665	0.680
Se	0.173	-0.009	0.057	0.122	0.683	0.161	0.547	0.541
Sb	0.450	-0.051	0.016	0.169	0.191	0.334	0.460	0.381
La	0.803	0.061	0.203	0.510	-0.017	0.097	0.977	0.959
Ce	0.704	0.094	0.156	0.467	0.106	0.196	0.888	0.797
Sm	0.846	0.104	0.194	0.424	0.010	0.150	0.983	0.966
Eu	0.827	0.206	0.139	0.135	0.153	0.258	0.903	0.870
Th	0.824	0.057	0.159	0.227	0.272	0.092	0.912	0.842
方差	7.554	1.512	1.495	1.305	1.243	0.851	14.111	13.958

由公因子方差矩阵求出的特征向量对应了六个特征值，它们是因子轴。这些正交因子轴是使变量序列最大化，进行旋转得到的。用方差极大法旋转而产生的因子负荷值列于表4。表4中的值是使该计算系统接近于简单结构（见附录）而保留下来的正交因子。尽管完全的简单结构是不能得到的，然而因子序列是有助于简化对因子的客观解释的。

有时放宽对因子轴的正交要求是有用的。此时，每个因子轴都被旋转到极大值，这些极大值表现出在相应变量上的最强的影响。*Kaiser*和*Dickman*于1959年采用近似法，即众所周知的付法线旋转法得到了一组斜交因子负荷解。尽管其结果使得变量的依赖性在特殊因子上是增加了，然而还是有助于对因子的解释。

*Lawley*于1940年及1942年用最大似然法 (*maximum likelihood*)进行了因子分析。其结果表明，用这方法可以找到公因子方差，该法不需要假定任何变量具有唯一性。且证明该法比主因子解法得到的结果差别更小。

此外，还必需将这些因子解释成不同类型的污染源，以及根据这些因子将在波士顿地区观测的数据进行来源分类。第一个因子 F_1 描述了进入该区的地面灰尘。这个因子极其相关于 Al 、 Fe 、 Sc 、 Th 及稀土族元素。这个因子的方差约占了整个系统公方差的一半，并且它将预测到大气颗粒物最大的贡献者将是地壳风化作用。这个因子可能也包括了煤燃烧因素。*Gladney* 1974年发现，由煤燃烧形成的悬浮颗粒物中的许多元素浓度与 Al 的比值相当类似于地壳中的相应比值。因此，如不注意测定飞灰中诸如硫和砷，而要区分煤和地壳组分大概是很困难的。

第二个因子 F_2 极其相关于 Na 及 Cl 的浓度值。该因子代表海盐气溶胶的贡献，这在波士顿地区是可以想象到的。

第三个因子 F_3 是燃料油燃烧所致，这一点已由*Zollez*等人在1973年报告过，在波士顿

以及美国东北部城市里，在大气颗粒物中一般是钒的浓度较高。当时，他们分析了正在燃烧的渣油样品，七个样品中有6个样品钒的含量在795—780 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 之间，而第七个样品含钒量为420 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，因此，第三个因子被认为是燃料油燃烧的污染源似乎是合理的。

第4个因子 F_4 只与溴极相关。然而元素溴的公因子方差很低（见表4），多数情况下溴是同它的唯一因子有关，并且只是总量的一部分。当用因子4来表示衰变的汽车排放颗粒物时，上述情况可以解释成唯一因子是表示刚刚由汽车排放的颗粒物。*Ter Haar*及*Bayard* 1971年报告过刚由小汽车排放的颗粒物是初生的 PbBrCl ， $(\text{PbO})_2\text{PbBrCl}$ ， $\text{Pb}(\text{OH})\text{Cl}$ ，以及 PbBr_2 。在本项研究中仅仅测定了这些混合物中的元素 Br 和 Cl 。然而，由于海盐气溶胶对于颗粒物负载的贡献如此之大，可以掩盖掉刚由汽车排放出 Cl 的变化。 Br 只作为一个变量，从刚排放的物质中监测到它具有大的唯一因子方差，那是不足为奇的。在排放后， Br 衰变， Pb —breating颗粒物减少了溴，因此在排放后数小时，主要是存在着 $(\text{PbO})_2$ ， PbCO_3 ， PbO_x ， PbCO_3 及 PbBrCl （由*Ter Haar*和*Bayard* 1971年报道）。在1972年*Moyers*等人在波士顿大气中发现了气态溴的浓度相当于总溴的20—50%。因此，因子4描述的溴是刚从汽车排放的颗粒物监测到的，并且溴是城市气溶胶中皆有的物质。

第五个因子 F_5 与锰、硒极为相关，其中，虽然硒是另一个公因子方差较低的变量，而该因子仍依赖于硒。且硒的浓度值是极依赖于它的唯一因子。这些元素的地理分布有助于对这个因子的解释。在表1和表2中表明查尔斯顿和波士顿商业区、南波士顿锰的数值最高。而韦尔斯利和赫尔两地锰的数值居中，鹿岛锰的浓度值最低。锰与地壳扬尘因子也有强的相关性。在鹿岛、韦尔斯利和赫尔可通过监测锰尘埃浓度值来确定这些数值。这三个高锰值的监测点能够监测到锰的其他来源。*Gladney*等人在1974年发现，不同元素组成的颗粒物粒径分布与锰的两种构成方式有关。大粒径颗粒物锰大概是由地壳灰尘因子（ F_1 ）所构成，小的颗粒物锰大概是与硒的组合（ F_5 ）有关，硒与小颗粒物极强的结合在一起。由于本项工作没有能够监测颗粒物的尺寸（粒径），因此，这个因子所属的污染源是不能较明确地识别的。

第6个因子 F_6 是与锌和镉显著相关的。这个因子可以同垃圾烧弃联系在一起。尼罗河畔的亚历山大里亚城市焚烧站的近代研究表明，工厂废弃物排放的悬浮颗粒物中富集了锌和镉以及其他本项研究中未测定的元素。在表4中表明，因子6恰恰与这些变量相关性较显著。在此以前，在其他地区的大气研究中，发现锌与镉有显著的相关性（简单相关系数较大），这些都证实了因子6与工厂废弃物、垃圾燃烧有关。

这6个因子概括了每个元素真方差的极大值。对于具有低的公因子方差的溴，已经有人提出了合理的解释。另外还有元素硒和镉具有低的公因子方差，而有较高的唯一因子方差。尽管对于这些元素的唯一因子方差是不清楚的，重要的是使我们注意到这些元素是有挥发性的。例如，1971年*Pillay*和*Thomas*在*Buffalo*的大气研究中发现硒是介于气态和固态之间的物质。也许，这些元素的挥发性和他们的气/粒比例的变化是由于他们具有低的公因子方差。

聚 类 分 析

分层聚合的聚类分析法是将变量分类的一种方法。聚类分析常用来将一批数据转换成便于理解的形式。在聚类分析中，每个变量被定义为超空间的一维。每个样品中元素浓度值能



图 2 波士顿大气颗粒物样品分析的聚点分析象树图

8: 注图中水平距离表示了聚点间的差别比例。样品名称的第一个字母是用取样点地名标示的, 同图 1 中的字母码。

够表示为这个超空间的一个点。样品间的区别可用这些点间的距离来表示，也就是说，距离越大，两个样品的区别也越大。两点间的距离可用欧氏空间距离的平方（ SED ）表示：

$$SED = \sum_{i=1}^n (A_i - B_i)^2 \quad (7)$$

式中， A_i 和 B_i ：表示样品 A 和 B 的第 n 个变量的标准化了的数值；

n ：量测参数的标号。

一组 N 个样品的数据可以认为是在 n 维空间的 N 个一元点群。根据一些聚类分析判别准则，可以将点群构成一个有序组合，而将大量的聚点形成较少的数据。利用计算机程序 $AGCLUS$ 挑选出该区域的七个不同的聚点判据准则。在图2中表示了聚类模型或称聚类象树图，它是根据最小内聚点距离判别准则而得到的全部组对。聚类图有助于标示出样品间的相关性。对象树图的解释是，样品聚类成不同的聚类群和序列，然后再合并成较大的群组。为了便于理解聚类图，计算了18个变量全部样品的平均值，在每个聚点上用一个字母标示（见图2）。这些平均浓度值列于表5。

聚类分析有助于对因子分析的解释。从监测样品元素浓度数据可以估算出六个因子的因子得分值。因子得分的估算不能简单地由方程（2）进行逆运算而得到。由于唯一因子的所在，不可能直接去计算公因子值。有若干个可行的方法去计算因子得分， $Harman$ （1976年）详细地讨论了这方面的问题。常用最小二乘法去计算全部监测样品数据的因子得分。当时，计算了相应的聚点因子得分的平均值，列于表6。因子得分是标准化形式，这就使得其平均值为零，平均值以下为负值，平均值以上为正值。

在聚类模型中（见图2）将点群划分成两大类。一般讲，聚点 X 较聚点 W 有着较低的样品平均浓度值。以下将对个别子群作些详细的讨论。

聚点 H 的平均浓度值在各聚点中是最低的，而且对于全部六个因子，它的平均值也是低的。这个聚点包括了全部采样点（波士顿商业区除外）的样品数据，其中只有一个南波士顿的样品和二一个查尔斯顿的样品，表现出颗粒物的低浓度。可能是在采样时，相对清洁的空气强行吹入了该区域。

因子2标志着海盐气溶胶的贡献，在整个波士顿区域都是如此。因此，海盐气溶胶颗粒会均匀地扩散到外区去。尽管钠与氯的水准像其他点群那样高，聚类群I对于因子2仍有最大的因子得分值。这个聚类点主要是由鹿岛及赫尔收集的样品数据所构成。这些采样点是在港湾的外边沿处，因此可以认为海盐是主要的贡献源。在这组样品中还包括有韦尔斯利的样品，这些样品说明有周期性的强东风，其结果是增加了海盐的成份。

族群 J 有最大的正得分值，它对应所谓焚化因子（因子6），且对应于汽车排放因子4也有大的得分值。在这个聚类点中包括了由四处采集的样品：洛根国际机场，韦尔斯利和波士顿商业区两处。波士顿区第二个最大的焚化站设在萨莫维尔（*Somerville*），在马萨诸塞1965年燃烧率为62400吨/年，1968年燃烧率增加到357860吨/年。以前有人报告（*Conry* 1974年）用飞机喷洒示踪元素，而靠近机场有大量的汽车排放物。可知，焚烧器是该点元素浓度的主要贡献者。

聚类点 K 与未被识别的因子5密切相关，子群 F 的平均因子对于因子5得分为1.42，这个聚类点的采样点包括有，赫尔1个，长岛3个，韦尔斯利2个，鹿岛1个及南波士顿1个。这些不同的采样点并不能增强识别这个因子的自然条件。对于这个因子，这些采样点与波士顿商

表5 各聚点元素浓度的平均值

元 素	H	I	J	K	L	M	N	Q	R	W	T	U	V	W	X
Na (μgm^{-3})	0.802	1.66	0.888	1.46	1.16	1.07	1.14	1.32	1.82	1.68	1.89	1.55	1.60	1.59	1.46
Cl (μgm^{-3})	0.375	0.395	0.225	0.270	0.429	0.393	0.372	0.362	0.348	0.300	0.326	0.347	0.381	0.381	0.580
Br (ngm^{-3})	105	116	268	115	110	145	140	234	288	154	232	233	239	232	160
Al (μgm^{-3})	0.325	0.715	0.700	0.918	0.467	0.498	0.571	1.37	1.52	2.72	1.70	1.51	1.77	2.01	0.839
Sc (ngm^{-3})	0.060	0.135	0.103	0.183	0.087	0.090	0.106	0.291	0.291	0.586	0.329	0.307	0.376	0.433	0.162
V (μgm^{-3})	0.391	0.209	0.647	0.582	0.316	0.412	0.442	0.887	1.30	1.05	1.21	1.92	1.92	1.03	0.547
Cr (ngm^{-3})	0.5	0.5	0.2	1.7	0.5	0.5	0.7	2.0	8.6	12.7	7.6	4.3	5.6	6.8	1.5
Mn (ngm^{-3})	10.6	16.5	14.1	36.6	12.8	13.1	17.2	28.5	31.0	38.0	31.3	29.6	31.8	33.4	23.2
Fe (μgm^{-3})	0.302	0.587	0.518	0.757	0.409	0.427	0.484	0.977	1.33	2.68	1.43	1.16	1.47	1.7	0.714
Co (ngm^{-3})	0.384	0.452	0.685	0.789	0.404	0.481	0.534	1.03	1.64	1.81	1.55	1.25	1.36	1.48	0.721
Zn (ngm^{-3})	0.072	0.075	0.208	0.115	0.073	0.095	0.098	0.110	0.376	9.251	0.319	0.196	0.203	0.249	0.148
Se (ngm^{-3})	0.488	1.01	0.791	1.95	0.670	0.690	0.910	0.854	1.52	1.18	1.33	1.05	1.13	1.17	1.26
Sh (ngm^{-3})	2.49	2.43	7.39	3.25	2.41	3.17	3.19	12.5	11.6	12.9	12.2	12.4	13.4	14.1	6.15
La (ngm^{-3})	0.302	0.695	0.701	0.930	0.442	0.489	0.566	2.08	1.37	2.60	1.46	1.82	2.18	2.43	0.876
Ce (ngm^{-3})	0.572	1.24	0.945	1.74	0.806	0.836	0.992	2.93	2.41	4.40	2.47	2.74	3.38	3.53	1.46
Sm (ngm^{-3})	0.043	0.095	0.095	0.131	0.062	0.068	0.079	0.261	0.196	0.382	0.214	0.242	0.296	0.333	0.122
Eu (pgm^{-3})	9.21	18.5	18.8	24.8	12.8	13.5	15.5	39.6	30.1	75.2	38.2	39.0	48.3	54.9	22.7
Th (pgm^{-3})	44.4	94.9	117	133	62.0	69.7	80.8	210	239	491	264	232	307	121	345

表6 各聚类点的平均因子得分

聚类点名称	F ₁	F ₂	F ₃	F ₄	F ₅	F ₆
H	-0.626	-0.343	-0.307	-0.711	-0.546	-0.079
I	-0.258	0.096	-0.857	-0.612	-0.114	-0.300
J	-0.835	-0.488	0.079	0.473	0.182	0.513
K	-0.344	-0.126	-0.166	-0.357	1.017	-0.659
L	-0.493	-0.121	-0.520	-0.680	-0.392	>0.160
M	-0.588	-0.209	-0.324	-0.410	-0.352	-0.070
N	-0.546	-0.194	-0.297	-0.403	-0.114	-0.172
O	-0.153	-0.259	-0.163	0.963	-0.473	-0.087
R	-0.421	-0.318	1.892	0.255	0.451	-0.237
S	1.808	-0.130	0.518	-0.799	-0.407	-0.566
T	-0.064	-0.009	1.457	-0.154	0.217	0.158
U	0.064	-0.149	0.500	0.506	-0.191	0.014
V	0.469	0.141	0.317	0.588	-0.243	-0.076
W	0.740	-0.159	0.335	0.419	-0.300	0.040
X	-0.428	0.092	-0.194	-0.242	0.174	-0.023

业区以外的采样点不同, 这些区域有一些已知的颗粒物污染源, 这些污染源不同于汽车和家庭取暖用的燃料油燃烧源。在下列地区有一些小的焚烧源, 如在韦尔斯利, *Dedham, Weymouth, Waltham, Brookline, Newton* 及 *Watertown*。这些焚烧源不会影响采样点, 如长岛和赫尔采样点。在家庭取暖燃料排放中既没发现有大量的锰, 也未发现有大量的硒, 这两种元素都是与因子5相关的。然而, 在一些缺少这些元素的污染源处, 有可能由于加热用油料燃烧而产生锰和硒元素。在聚类点K中, 八个样品中的五个样品取自采暖期的三月份和四月初。对于因子5得分值为正的子群G中, 全部三个样品都是取自第一系列样品群。

在较低的第一层聚类点O中, 对于因子4的样品有一个大的正得分值, 这个因子标志着是由汽车排放的陈旧颗粒物。这个聚类群几乎完全是由波士顿商业区的样品组成, 其中在13个样品中仅包括一个南波士顿的样品。波士顿商业区采样点靠近主要公路, 而且靠近几条主要交通线的交点。因此, 在该区汽车排放物是高的。波士顿商业区有少量工业颗粒物排放源。一些大型建筑物取暖而排放的燃料烧余物, 并不能影响大气颗粒物的主要成份。从以上的分析能够推断出, 波士顿商业区大气颗粒物的主要污染源是汽车排放物。

相对于聚类点T, 燃料烧余物污染源因子3的得分是大的。这些样品主要是取自查尔斯顿(5个), 其中有一些是取自机场(3个)和波士顿商业区(1个)。在东部坎布里奇和查尔斯顿有一些较大的发电厂。对于因子3子群S也有大的得分, 这个子群的样品基本上取自查尔斯顿。

因子分析与聚类分析结合在一起, 很有助于描述大气颗粒物污染来源。能够宏观地叙述污染来源, 特别是可以导致详细地调研监测点所在地区目前污染源类型。然而, 本文只是介绍该法的应用与叙述其功能。以下提出了有待进一步探讨的有关问题。

结 论

多元分析法用于识别大区域大气颗粒物元素浓度的来源, 是一项有效的技术。这六个污染源因子同该区域监测数据的吻合程度是令人满意的。其中的5个因子较容易描述为: 地壳

扬尘因子（可能包含有燃煤飞灰因素），海盐气溶胶因子，燃料燃烧残余物排放因子，汽车排放因子以及垃圾焚烧因子。我们认为，采用数据处理，因子分析能明确地对污染源组成进行分类。这批数据中的一些重要元素将在下面讨论。此外，值得注意的是，并没有限定在数据处理时，每个参数都有同样的量纲。例如，可用平均的颗粒物直径、平均风速、平均风向及相应的湿度等。

在本文开头，我们已经叙述过，因子分析的优点就在于无需预先假定将监测数据分解成哪些组份（排放源）及其个数。而因子分析的缺欠在于，还没有明确的方法能确定与这些组份有关的元素浓度。返回到本文的方程1和方程2，可以知道贡献给每个因子的元素方差有多少，但不能指出贡献给每个因子的绝对浓度的平均值。例如，假定某颗粒物元素主要是来源于对时、空而言都是高浓度的某个排放源，因子分析的结果，其系数（ a_{ij} ）等于1，而对应于那个排放源因子 F 值却非常接近于零。 Z 值计算得零，元素浓度将按平均值计算。

因子分析的另一个问题是，怎样分离开具有多个类似元素的两种源。例如，对于许多解法都存在的一个尚待研究的典型问题，即怎样分离开煤与土壤对大气颗粒物的贡献，因为从燃煤工厂排放的元素（如铝或其他主要元素）相当类似于地壳物质。在本项工作中监测的元素，在这些排放源之间，只有锰和硒的差别大。燃煤工厂的排放相对于地壳物质来说，使得硒增加，而使锰减少。由表4可以看到，这两个元素（ Mn , Se ）对于因子5是显著的元素，这就有一种可能的推断，那就是对于煤或地壳物质来说，因子5是因子1的一个校正。然而，两个元素值的符号都是正的情况是不会出现的。本文提供的方法，有分离开煤与地壳物质源的功能，这将通过大型燃煤工厂排放的数据进行验证。在本项研究中，若能够增加监测砷（ As ）和镓（ Ga ）两元素数据，将会是很有用的。特别是要监测砷，1974年Gladney证实燃煤排放物会相当大地影响到大气颗粒物中砷的浓度。

用统计方法处理数据的过程中，铅被作为汽车车辆流动源的指示元素。此项研究中，溴的地位虽然很重要，然而由于其具有高挥发性，易于气固相转换，因此效果不佳。

在实际应用中，为了准确地解释分析结果，需要有很高精度的监测数据。因为颗粒物元素浓度是随时间和地点变化的。一些人可能没有感到需要非常精确地分析解算结果。至少要求每个样品中元素浓度间要有很好的相关性。例如，在因子分析中，相对浓度的误差将会引起唯一因子的增加及该元素公因子方差的减少。

附 录

简单结构的定义

简单结构这个概念最先由Thurstone于1947年提出的。Thurstone由因子系列得到一个单因子解，使得变量在因子轴上的投影达到极大或极小。

简单结构准则是Harman于1967年提出的：

- 1、因子矩阵的每一行至少有一个元素为零。
- 2、若有 m 个公因子，则因子矩阵的每一列至少要有 m 个零。
- 3、对于因子矩阵的每两列必须要有数个变量，其因子负荷在其中一列中为零，而在另一列中不为零。
- 4、当因子数为4或4以上时，对于因子矩阵的每两列，必须要有大部分变量的因子负荷在两列中均为零。

英国七十年代的大气状况与健康问题

R. E. WALLER 著

序 言

自英国空气清洁法(1956年)付诸实施后,20年来,伦敦和英国北部大城市的空气状况有了巨大的变化。煤粉尘几乎被清除干净。几个世纪以来,英国的大城市第一次享受到与农村地区同样充分的阳光的照耀。大部分天气的能见度良好。曾被沾污过的建筑物又重新冲刷一新,显露出石质的本来颜色(但有人怀疑它们很快仍会遭到硫化物的腐蚀)。

图1描绘出伦敦的烟尘和 SO_2 浓度的巨大变化。20年来,烟尘浓度(用反射计测定的)减少到原来的六分之一, SO_2 下降了50%。但主要的变化都出现在后期。在英国空气清洁法执行的初期,也受到了一些因素的干扰,例如市中心区的翻建,以及天然气意外地取代了家庭用油的位置,因为从北海水域直至英国各地都发现了大量的天然气。

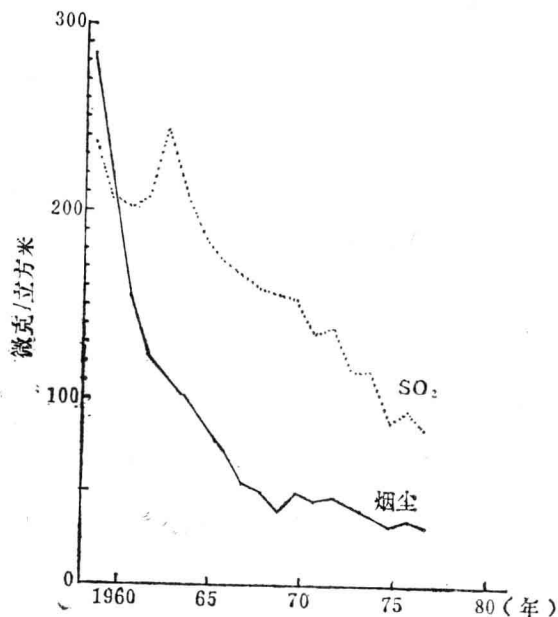


图1 英国空气清洁法实施后伦敦烟尘和 SO_2 污染的年平均浓度值

一、严重污染对健康的急性作用

众所周知的伦敦烟雾目前几乎完全消失了,这是表示污染下降的最明显的征候之一。伦敦烟雾并不是气象学上所说的雾,它是由成千上万个烧煤的炉子排放的烟灰和黑水水滴组成的烟雾。既使在这种烟雾的污染不太严重时,也会对人体的健康产生有害的影响,尤其是短期的影响。最常见的是出现呼吸道疾病的初期症候。如果我们将患有慢性支气管炎的病人分成若干组,进行逐日观察,然后对观察记录进行简单分析,就可以看出病人病情的恶化与空气污染的突然增加有着密切的关系(见图2)。但从1969—1970年冬季起,病人病情的剧变好象与空气污染不再有密切的关系(见图3)。

为了验证空气污染下降对人体健康带来的好处,在5年之后,我们又重新开始了这项研究。1974—1975年,我们在一个小范围内进行了这项研究工作。结果表明,

5、对于因子矩阵的每两列,应该只有少数变量,其因子负荷在两列中均不为零。

用实测数据是不可能得到完全的简单结构的。然而,利用因子矩阵的旋转,才能有效地解决这个问题。

康德梦译自 *Atmospheric Environment Vol. 10 pp1015—1025*
张孟兰、张孟威校