

从SF₆示踪物施放的三维监测分析海岸大气扩散的特征

Paolo Zannetti & Gordon E. Schacher, David M. Wilbur

本研究是根据美国空气质量管理的需要而进行的,管理规则要求对滨海外新的排放源造成的环境影响进行预测。对这些影响的预测是由空气质量数值模拟模式进行的。然而,几乎所有可用的数值模式都是规定为针对陆地上大气扩散作用。由于大片水域表面平滑,特别是其热容量比陆地上大,故它们十分明显地影响了空气污染散布的特征,并使得扩散的数值模拟更加复杂化。

我们进行研究最重要的课题是,评价高斯型定常烟流方程。虽然,这种简单算法曾被广泛用来满足空气质量管理的需要,但至少在理论上,这种方法只能应用于简单均匀、短距离平坦陆地定常散布条件下的情况。能否使高斯公式用来模拟非常定的海岸气象条件(如风向转向)以及非均匀下垫面(如海陆界面的变化)影响情况下示踪物的散布特性的问题,是非常重要的。

基本研究计划涉及到以下各项:

1. 进行野外示踪试验,以获得水域上以及海陆交界处气象资料和扩散数据; 2. 对数据进行处理,以便提出示踪烟流浓度分布和气象参数的逐时平均值; 3. 分析示踪烟流数据,

以确定每小时的高斯烟流参数 σ_y 和 σ_z ; 4. 分析各种稳定度分类方法的能力,以说明实际的扩散状况; 5. 验证高斯型扩散公式。

为了评价四季扩散状况的差异,我们作了典型夏季条件(1980年9月)和典型冬季条件(1981年1月)下扩散试验。

本研究区域包括加利福尼亚州文图拉(洛杉矶西北约60英里)附近的滨海外和内陆地区。由海军研究生院(NPS)提供的RV/Acania号研究船从离岸几英里的地方施放SF₆示踪气体。示踪气体的取样,是通过在水陆面上、空中的固定和流动两种取样器来进行的,以便确定从施放示踪气体的研究船~海岸~内陆(离海岸3~5英里)的气体垂直分布与水平分布。

一架装有SF₆连续分析仪的飞机用来描绘空中烟流的轮廓。在不同的高度上作多次横穿烟流的飞行(从尽可能接近水面的地方一直到烟流顶部)。

一辆装有另一台连续分析仪的汽车,在离岸边约 $\frac{1}{4}$ 英里到半英里处的陆面上,横穿示踪气体的烟流。将二十台连续取样器布置成一列。这些连续取样器每工作日采集6个时次的样品。此外,还辅以其他方式采集样品。

这些数据表明:以化学和电机占优势的工业、而且拥有相应的行政管理的地区的情势在过去10年(1970—80)几乎毫无变化。

转换分配分析法可进一步说明此问题。这种方法是用多年地区各工业部门就业人数与国际标准之比。这样,地区分配(RS)情况可能如下:

$$RS(1970-80) = \frac{1980\text{年地区就业人数}}{1970\text{年地区就业人数}} - \frac{1980\text{年国际就业人数}}{1970\text{年国际就业人数}}$$

如果RS为正,则表明地区经济增长,反之则表明下降。由于给定地区内特定工业结构类型,结构转换是预期要变化的;区位转换变化则是地区分配或结构转换所不能解释的。地区财政出现蓝字,表示经济增长;相反,出现赤字,则表明地区经济在下降。

这样,英国西北地区表现出市区和大小城镇从事制造业工人数量大幅度减少。正是这些地区以传统的制造业居于支配地位,工业老化,经济实力开始下降(见图1)。仅有一些自由发展的城镇,它们没有占支配地位的制造业部门,但在近10年间经济有所增长(51%)。

郭力君摘译自《Systematic Geography》英国伦敦 1986. 张俊芳校

气象观测数据由下列方式收集: 十米高的气象观测塔(测量风速、风向, σ_y 和 σ_z); 飞机上: 系留探空仪和无线电探空仪观测; 以及多普勒声雷达。其它探测器布置在离岸半英里的文图拉船坞附近。本项研究中的野外计划细节在 Zannetti et al. (1981) 的文章中有进一步讨论。

一、使用示踪试验资料对扩散系数(σ)评价与分类 对野外试验数据进行处理, 求出示踪烟流逐时平均浓度。每种测量都提供了在不同下风距离 x^* 和不同高度 z^* 处的小时平均烟流浓度分布值。

由于取样点的位置并非均匀分布在烟流各截面位置上。因此, 为了得到等间距的数据, 先将观测数据标到垂直于风向的横向风单元上, 而后取线性内插。用汽车和飞机观测(等间距地沿着烟流横截面), 得到“瞬时”烟流横断面, 其中几个横断面是平均的, 以此来估算逐时分布。然后, 把所有浓度标在垂直于烟流中心线的 y 轴上。这样, 每个观测站在每个小时里, 都可以测定每个小时平均横风向烟流剖面分布。

(一) σ 的计算。分析每小时平均示踪烟流浓度分布, 以便决定 σ_y 和 σ_z 的高斯分布参数。采用逐时横风水平烟流剖面分布图, 可以直接计算各个下风向距离 x^* 处的 $\sigma_y(x^*)$ 。

为了求得 $\sigma_z(x^*)$, 我们需要用物质守恒原理, 使用每个截面的最大浓度值排放量(θ)和风速(u)的数据以及前面计算的 $\sigma_y(x^*)$ 值, 就可为 σ_z 列出一个非线性方程, 然后用迭代法解此非线性方程, 解出三种不同的计算情况: (1) 当 $z^* > 0$ 时, $\sigma_z(x^*)$ 无实解; (2) 当 $z^* = 0$ 时, $\sigma_z(x^*)$ 有一个实解; (3) 当 $z^* < 0$ 时, $\sigma_z(x^*)$ 有两个实解。

第一情形意味着有质量平衡的问题。第三种情形是由于地面反射(当 $z^* = 0$ 时消失)。对来自地面和空中逆温层底(在 H_i 高度)的多次反射, 可通过在常定高斯方程中作些简单的变换加以考虑。然而, 有许多理由使我们仅需考虑地面反射就够了。

首先, 使用多次反射, 对于 $\sigma_z(x^*)$ 来说, 我们得到两个以上的解。其次, 尽管我们有一个比较完善的数据库, 但我们的混合层厚度 H_i

的数据还是粗糙的, 而且两次试验期间, 大气层的结构也是相当复杂的。最近有人建议, 强使 σ_z 保持小于混合层厚度 H_i 的值, 这就大大地降低了多次反射项的重要性。

当有同一下风距离 x^* , 不同高度 z^* 情况下的飞机观测资料可用时, 可另行单独计算 σ_z 。在这种情况下, $\sigma_z(x^*)$ 值可通过考虑最大浓度 $C_0(z)$ 的垂直廓线来进行计算, 对于施放有效高度的情况按照高斯公式计算, 在 $z \geq 0$ 范围为半边高斯型分布。

在后一种计算中, 我们仅使用了在每一高度上的最大浓度值, 由于风切变的影响这个最大值的水平位置可能会随着高度不同而改变。这样做防止了试验期间存在有风切变而使 $\sigma_z(x^*)$ 计算中的系统误差。

此外, 在许多管理应用中, 我们真正需要的只是一个正确的 σ_y 与 σ_z 乘积的估计计算值, 因为这个值就可以用来计算不同下风距离的最大地面 ($z^* = 0$) 浓度 $C_0(0)$ 。事实上, 对于 $H = 0$, $z^* = 0$ 和轴线上的距离而定的高斯公式为:

$$C_0(0) = \frac{Q}{\pi \sigma_y(x^*) \sigma_z(x^*) u} \quad (1)$$

因此, 在每个下风距离 x^* (可计算该处最大地面浓度 $C_0(0)$), 可由方程 (1) 简单地得到 σ_y 和 σ_z 的乘积值。

从上面的计算中, 我们得到一组 σ_y 与 σ_z 逐时平均的数据。发现, 对于这些数据组来说, σ_y 值覆盖了整个 PGT 的 σ_y 范围 (A—F), 而 σ_z 值则处于中性到稳定范围 (PGTD—E—F), 在第二次试验 (冬季扩散) 所得的 σ_z 值较小。

(二) 由大气稳定度来表示 σ 的特性。下面分析实用中各种反映大气扩散特性的稳定度方案的能力。根据经验, 对示踪试验的资料分析, 可以说最合适的稳定度分类是那种能最大限度地区分高值下风源高氏函数 σ_y 或 σ_z 特性的方案。换句话说, 我们希望它能辨别 σ 高值 (不稳定) 和 σ 低值 (稳定), 即使数据在试验中显得相当高值扩散亦行。

对于每次试验用七种不同的方法, 确定稳定度: 1. 在 RV/Acania 号船上测量的 σ_y ; 2. 在海岸上用系留探空仪测到的近地面层的

$\Delta T/\Delta Z$; 3. 海军研究生院 (NPS) 的方法;
4. 在靠近海岸边测量的 σ_θ (仅在第二次冬季试验中有); 5. 在靠近海岸边测量的 σ_w (仅在冬季试验中有); 6. 在内陆测量的 $\Delta T/\Delta Z$;
7. 标准的Paspuill—Gifford (日射)方法(采用文图拉县机场的气象观测资料)。

通过各种分类方法,对这些资料进行分析,首先得出结论:不同的稳定度分类方法所得结果是互不一致的。然而,这次试验给了我们一个机会来检验由SF₆试验资料确定的 σ_y 和 σ_z 值,在不同的稳定度分类方法中的适用性如何。事实上,以各种稳定度分类方法所得结果,分别画出 σ_y 和 σ_z 与下风距离的关系曲线,则可指出以下几点:(1)从现象的物理学机制看,以及像以前研究工作预料的那样,在施放点观测的 σ_θ 对 σ_y 分类是最好的方法;(2)岸边 $\Delta T/\Delta Z$ 方法,海军研究生院(NPS)的方法,和标准的日射方法,对 σ_z 的分类而言,是相当好的, $\Delta T/\Delta Z$ 方法似乎比其它方法更好些。从理论上讲,我们认为NPS的方法,是表征水面上扩散特性的最好方法;然而,为了对 σ_y 和 σ_z 进行更好地分类,可能需要更多的经验分析来标定这种算法。

尽管离散性大(所有类似试验特征都如此),这些结果仍是相当好的,因为平均值的变化与现象的物理学机制是一致的(在不稳定状况下 σ 的平均值较大;反之亦然),而且表明,这些结果与其它海岸的扩散研究工作颇为一致。

至于 σ_y 和 σ_z 乘积的考虑,我们发现有点简单的、易于应用的日射方法都能给出相当合适的分类结果。这对管理目的的应用来说是很重要的,因为唯有近地面最大浓度是重要的。且有时只能采用日射方法的稳定度分类。因水面上的 σ_θ 和 $\Delta T/\Delta Z$ 观测不易进行。冬季试验表明垂直混合受到限制,所以采用提级的办法。

(三)用经验的稳定度校正办法,来与 σ 的观测值拟合。根据以上分析结果,我们建立了扩散改进的模拟方法,包括新的组合稳定度分类法以及一套相应于这些稳定度类别的扩散曲线新方法。分别选用 σ_θ 和 $\Delta T/\Delta Z$ 作为确定水平和垂直大气稳定度的最适用的观测值,以模

拟三维烟流,标准的日射方法,可凭经验得出。

然而,我们还没有得到相应于P—G—T的 σ 值或其它参考的扩散曲线的经验平均 σ 值。为此,还需要一些经验性的修正。对此,可采取以下两种不同的途径:1.可对每个稳定度规定,建立经验的 $\sigma(x^*)$ 的关系式,使之与我们试验值拟合关系最佳;2.为了使P—G—T的 σ 值(管理应用中最常见的)拟合近似试验的 σ 值,可以给稳定度数据作出经验校正。

我们选择上述第2种途径,其理由为在文献中已有大量计算 σ 的公式,而为给出一套新的扩散曲线,是需要大量的、相同条件下的示踪试验,才能实现;利用已有的、可用的高斯计算机程序编码输入,要比用 σ 曲线修正稳定度容易得多。因此,我们根据经验制定了三个转换表,即从观测定的稳定度,用PGT的 σ 值确定的有效稳定度,与我们试验拟合最佳的经验 σ 值。

表1和表2为不同下风位置(即滨海外、海岸、内陆),由经验转换所给出的水平和垂直稳定度。表1为最佳地表征烟流的水平形状的特征稳定度类别。

表1 修正的Paspuill稳定度类别(水平)

从 σ_θ 值得到的稳定度	有效的水平稳定度		
	滨海外 $\frac{1}{2}$ 哩	陆上 $\frac{1}{2}$ 哩	内陆3~5哩
C	B	B	B
D	C—D	B—C	B
E	C	C	C
F	D	C—D	C

表2 修正的Paspuill稳定度类别(垂直形状特性)

从 $\Delta T/\Delta Z$ 值得到的稳定度	有效的垂直稳定度		
	滨海外 $\frac{1}{2}$ 哩	陆上 $\frac{1}{2}$ 哩	内陆3~5哩
A	D	D	D
D	F	E	E
E	G	E—F	D—E

以上转换表中,如C—D类表示 σ 值应取

介于两类之间的值。G 表示极稳定状态。而与其相应的 σ_z 值可由下式估算出, 即:

$$\sigma_z = 0.32x^{*0.50}$$

表 1 和表 2 说明, 转换机制是对那些每次试验至少出现几次的稳定度而言的。

一般来说, 有效的水平稳定度比实测的要低, 更不稳定; 而有效垂直稳定度则比实测的高, 更稳定, 再一次表明两者明显的独立性。

表 3 给出了一般只用于考虑地面最大浓度的经验转换。

表 3 计算地面最大浓度的 *Passquill* 稳定度修正值

P—G 计算的 稳定度分类*	有效稳定度
B	D
C	D
D	D
E	D~E
F	E

* 为冬季时, 向稳定方向提一级。

二、高斯模式验证 我们的最后一步工作, 是对改进的模拟方法进行扩散模式的验证。因得不到独立的数据组, 所以真的验证是不可能的。然而, 利用与估算 σ 的同样资料, 可以对我们的 σ 分类法进行有意义的评价。本报告验证了两种类型高斯模拟方法: 第一种验证是标准的三维高斯 (G3D) 常定方程。式中, 采用 PGT 曲线来验证。而大气稳定度, 则以 σ_0 (表 1) 和 $\Delta T/\Delta Z$ (表 2) 分别来验证。第二种验证 (GMAX), 只是计算地面最大浓度, 采用 PGT 的 σ 曲线; 而大气稳定度则由日射方法 (用表 3) 计算得。验证包括每个监测点上的浓度值, 并与任意下风距离和任意高度的观测浓度相比。

(一) G3D 模式验证。表 4 概述了这些比较的基本统计特性。即同一测点上的实测与计算值之间的绝对误差的中值和平均值, 以及它们的相关系数和回归线参数。

表 4 每次试验, 各项观测所作高斯模式比较的计算量

类 型	季 节	平 均 实 测 值	平 均 计 算	绝对误差		相 关 系 数	回 归 线	
				中位数	平均		斜 率	截 距
固定点	夏	968	1 065	375	454	0.70	0.60	474
	冬	1 219	833	607	734	0.35	0.30	517
流 动	夏	354	389	150	274	0.78	0.80	109
	冬	521	420	173	365	0.62	0.40	215
空 中	夏	355	111	152	250	0.47	0.10	66
	冬	756	814	318	451	0.80	0.80	197

(二) GMAX 模型验证。表 5 概述了这些基本统计特征的比较。括号的数字可以和两个附加的地面最大浓度计算方法进行一些有意义的比较。表中下面的数字是 GMAX 应用的统计性能的结果, 不作表 3 的稳定类别的经验修正。表中上面的数字是利用 G3D 模式获得的统计性能的结果。

表 5

项 目 季 节	平均 实测值	平均 计算值	绝对误差		相 关 系 数	回 归 线	
			中位数	平均值		斜 率	截 距
夏季试验	(1 801)*	(1 650)	(500)	(599)	(0.70)	(0.50)	(827)
	1 571	1 217	375	673	0.61	0.30	778
	(1 571)	(657)	(1 000)	(1 198)	(0.05)	0.00	614
冬季试验	(2 067)*	(1 166)	(875)	(1 117)	(0.63)	(0.20)	(698)
	1 870	2 017	475	862	0.52	0.30	1 471
	(1 870)	(1 231)	(750)	(966)	(0.57)	(0.30)	(713)
合并统计	(1 930)*	(1 416)	(650)	(850)	(0.55)	(0.30)	(870)
	1 733	1 618	450	775	0.53	0.30	1 095
	(1 733)	(969)	(800)	(1 073)	(0.40)	0.20	604

(三) 对高斯模式验证的一些意见。对日射方法作简单修正, 使计算地面最大浓度的高斯模式的性能得到这样大的提高是出乎意料的。这主要是因为 GMAX 已为这种类型的计算 (地面最大浓度) 进行了特别的标定, 而 G3D 则适合于所有浓度计算。这样, G3D 还是适合我们三维观测结果的最佳模式。

在表 5 括号下面的数字再一次证明了标准的高斯模式的方法, 不能直接外推应用到复杂

城乡交缘带的农业

B. W. 艾伯里

一、城乡交缘带的定义 城乡交缘带是一个混合的土地利用带。在这里,农业用地不规则地转化为非农业用地。由于城市的特殊影响,农业经营模式与城市对农业用地的占用相关。其变化与城市化、工业化、土地投机买卖、人口流动等过程相关。由于城市和乡村是一个社会经济体系的组成部分,城乡交缘带内的土地需求既可能互相补充,也可能互相矛盾。

很难确定这个动态地带的边界,因为它们随中心城市规模、工作强度而变化。正因为如此,就衍生出了许多术语来描述它,如边缘带、内边缘带、城乡交缘带、城市阴影区、外城市带、城市边缘带。OECD使用的术语是“近城区”(pen-urban)。韦文曾将它定义为:“明显的工业用地和农业用地的转变地带”。普内则给出了更详细的定义,认为它是“一种在土地利用、社会和人口特征等方面发生变化的地带,它位于连片城建区和郊区与外围农村之间。其特征是没有非农业住宅,没有非农业占地,也没有非农业的土地利用。”两个定义都很注意其中的变化(或者称为从城市到农村的连续变化)。这些变化可以用一系列指标来反映。伯里安特将城乡之间的连续体系划分为四个带:第一个是内边缘带,它最能反映从城市到农村的土地利用变化,因为大多数土地已用于城市建设或者已在规划中;第二个是外边缘带,其中农村土地利用特征很明显。但是,城市的影响也已渗入,公路边的独立民宅、商业网点、畜牧场比比皆是。上面两个区共同构成了城乡交缘带,其范围是从城市边缘向外延伸6~10英里。在城市交缘带,许多财产属于非农

的扩散状况中去,例如海岸扩散。

三、结论 尽管 σ 值的结果相当离散,仍可以认为高斯模式的验证还是成功的。如本项研究开始预料的那样,某些稳定度的调整是需要的,因为扩散条件各自不同的复杂性所造成的自然结果,这种情况在大片水域上和海陆过渡带都会遇到。

表1和表2中反映出来的稳定性修正方法,对不同的下风距离作不同的修正。这可以设法将这种方法的延伸范围限制在大约离海岸3~5哩的排放点位置上。

然而,对半哩的滨海外距离的校正,能准确地延用到其它情况(例如,施放点放宽到3~5哩附近的地方)。事实上,从施放位置到近海半哩的地带,假设为均匀的,扩散由海上湍流状况特性来表征,而且不受海岸的不稳定性影响。因此,我们能得出这样的结论:表1和表2中的第一栏,一般可用来对滨海外施放点造成的海岸线上的影响作保守的评价。这是最重要的情况,因为就低矮排放源而言,海岸地面浓度代

表了最大浓度影响,即对于管理应用是最重要的参数。

如果只关心最大地面浓度的话,那么作为大多数管理应用,GMAX提供了一个简单的方法,它满足了这个有限的,但却是重要的问题。这种情况下,稳定度的转换比较简单,且与下风距离无关。因此,增加了这种方法的可转换性。这种方法作为一级经验筛选方法,对于海岸地带滨海外排放的环境影响的评价而言,是足够精确的。这表明:中性~弱稳定状况总是最适合于运用标准高斯模式,以PG的 σ 函数作管理上的应用。

在应用本报告结果时,要注意不同气象条件和地形的影响。只有进一步示踪研究,才能说明本报告提出的经验修正,对海岸扩散过程应用的可取性。

张正元摘译自《First international conference on meteorology and air/sea interaction of the coastal zone》May 10—14, 1982