

等容气球试验研究包钢地区 大气扩散规律

李卫英 王华聪 蔡存福*

(冶金部建筑研究总院环保所)

摘 要

本文简述了在中国内蒙古包头市包钢地区进行等容气球试验的概况。文中用单个等容气球轨迹和双等容气球组两种方法估算扩散参数,并将此结果与国内外大气扩散试验结果进行了比较分析,同时利用等容气球飞行轨迹对该地区的流场特征进行了分析,并对可能造成的污染情况提出了看法。

一、引 言

为了摸清包钢含氟烟气对该地区大气环境质量的影响,以便确定合理的烟气控制目标和制定综合治理方案,需要根据该地区的地形、气象等条件分析污染物在大气中的输送、扩散规律,进而对污染物的时空分布进行定量描述。包钢位于包头市西部,北面是阴山山脉的乌拉山和大青山东西横贯,其中有几条南北走向的山沟。西北方地势渐高,南面地势平坦,约15公里处是黄河,稍远是鄂尔多斯高原。该地区的大气温度场、风场和湍流特征都与平原地区不同,其大气扩散规律既要受厂区热岛的影响,又要受靠山局地气流的影响,有其特殊性和复杂性。我们采用了多种试验方法进行研究,本文提及的等容气球试验是其中方法之一。

本次等容气球试验放球177个,取得了近十万现场试验数据。通过数据处理,获得等容气球随气流运动的拉格朗日统计量,从而估计了包钢地区大气污染物迁移特征和大气扩散能力,对可能造成的污染情况提出了看法。

二、试验概况

放球时间:1982年7月1日至31日。包钢地区夏季盛行东南偏东风。为了重点了解含氟烟气对西北方牧区的影响,时间选择在夏季。放球制度:一般每天06、08、10、14、16、18时各放一个球。放球地点:包钢焦化厂100米烟囱(该烟囱紧邻包钢氟烟气主要污染源烧结厂)。本试验结果再次证明:利用非生产的高烟囱放球既方便又节省人

1984年4月7日收到第一次修改稿,1984年7月5日收到第二次修改稿。

* 参加试验的还有娄良石、区柏森、罗毅、易海涛、李培广、戚卫、袁凤翔、陈人仪、董增彬、潘树森等,仅在此致谢。

力、财力、效果良好。 气球性能: 气球用厚度为 0.05 毫米非弹性聚乙烯专用气球膜制作成边长为 1.4 米的正四面体。 气球体积基本不随气体温度变化而改变, 气球的浮力变化很小, 可以认为它只对环境密度的变化和三维风的作用有响应。 气球充气: 在放球前半小时给气球充氢气并进行漏气观测。 根据当时的气象条件给气球以适当的初举力。 气球定位: 用两台测风经纬仪跟踪定位。

与本试验同期进行的试验项目有: 超声风速仪观测、SF₆ 示踪试验、气象观测(包括用经纬仪进行小球测风、定点温度层结观测、低空探空仪测温、定点安装电接风速仪进行风场观测。)

三、数据 处 理

将获得的现场试验数据通过电子计算机用矢量计算法得到气球的空间坐标和观测误差值, 进而确定气球运行时的平均飞行高度及其风向风速等, 最后计算三维风速脉动值及扩散参数。

在进行扩散参数计算时应选气球轨迹进行选择。 其原则是: 气球平均飞行高度在 200~600 米范围内; 运行轨迹没有明显的系统弯曲。

本试验用两种方法来估计扩散参数:

1. 由单个轨迹估计三维扩散参数^[1]。
2. 用双等容气球组估计水平扩散^[2]。

四、结 果 分 析

(一) 扩散参数的分析

扩散参数是用一般扩散模式进行污染物浓度分布计算的重要参数。 本试验得到了三种稳定度类别的扩散参数随下风距离 x 变化的回归方程及回归曲线, 结果如表 1。

从结果看, 本试验由双轨迹得到的扩散参数比由单轨迹得到的扩散参数大。 原因是扩散参数与所代表的取样时间有关, 前者代表的取样时间为两小时, 后者代表的取样时间为 30 分钟。 假设扩散参数随取样时间变化有下列关系式:

$$\sigma_y(T_1) = \sigma_y(T_0) \left(\frac{T_1}{T_0} \right)^p$$

式中 T_0 和 T_1 分别表示已知的和需求的取样时间。 p 值随稳定度、风速和距离地面的高度而变。 根据单、双轨迹分别提供的扩散参数值, 得到以下结果: 对于 A-B 类, $p = 0.15$, 对于 C-D 类, $p = 0.26$ 。 这与国外试验得到的侧向标准差与采样时间的 0.2 次幂成正比的平均结果接近^[3]。

值得一提的是: 本试验除计算水平扩散参数和垂直扩散参数外, 还计算了纵向扩散参数 σ_z 。 σ_z 是用大气扩散烟团模式计算污染物浓度分布时不可缺少的参数。 大气中的

表 1 本试验由两种方法计算的结果比较

方法	扩散参数	稳定度	回归方程	相关系数
由单 轨 迹 计 算	σ_x	A-B	$\sigma_x = 1.62x^{0.46}$	0.85
		C-D	$\sigma_x = 0.998x^{0.71}$	0.92
		B-F	$\sigma_x = 0.49x^{0.79}$	0.81
	σ_y	A-B	$\sigma_y = 0.53x^{0.46}$	0.92
		C-D	$\sigma_y = 0.47x^{0.43}$	0.88
		B-F	$\sigma_y = 0.45x^{0.79}$	0.84
	σ_z	A-B	$\sigma_z = 0.55x^{0.43}$	0.87
		C-D	$\sigma_z = 0.50x^{0.79}$	0.86
		B-F	$\sigma_z = 0.49x^{0.49}$	0.91
由双轨 迹计算	σ_y	A-B	$\sigma_y = 0.60x^{0.47}$	0.88
		C-D	$\sigma_y = 0.40x^{0.38}$	0.8
备注	因为参加双轨迹计算的 B-F 类的球太少,所以未进行统计计算			

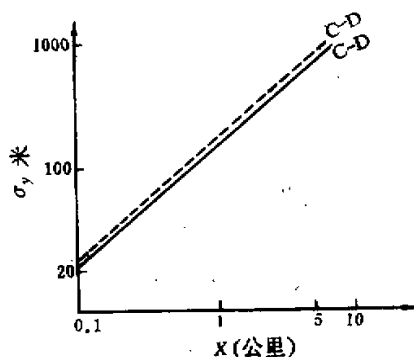


图 1 本试验的单、双轨迹回归曲线比较

— 单轨迹曲线 --- 双轨迹曲线

污染物在纵向既被输送又被扩散,由于二者的作用不易分清,因此通过一般的扩散试验获得 σ_x 是困难的。而等容气球试验为求得 σ_x 提供了一条新途径。

为了验证本试验得到的扩散参数的可靠性,我们仅将本试验的近中性 (C-D) 结果与国内外一些大气扩散试验结果以及与本试验有关的 SF_6 试验结果进行了比较,结果如表 2

1. 与国内大气扩散试验比较

(1) 与当地同时进行的 SF_6 示踪试验相比: σ_y 的一致性较好。无论从国内外进行的大量 SF_6 试验和等容气球试验的结果看,还是从理论上的分析、研究看,普遍认为在计算 σ_y 值时,这两种方法都比较可靠。本次试验也证明了以上看法是正确的。而等容气球试验得到的 σ_x 值则比 SF_6 试验结果低。分析原因: 一是等容气球在某一等密度面上飞行时经常受一复原力的作用,使其有回到平衡浮动面上的趋势,因此它在垂直方向的

表 2 本试验与其它试验的结果比较

范围	试验名称	扩散参数 (m) 回归方程	下风距离 (km)				试验地区 地形条件
			0.1	0.5	1	3	
国内大气 扩散试验	包钢地区等 容气球试验 (C-D 类)	$\sigma_y = 0.47x^{0.42}$	20.5	76.8	135.6	333.7	属河套盆地 的靠山地区
		$\sigma_z = 0.50x^{0.79}$	19.0	67.8	117.2	279.2	
	包钢地区 SF ₆ 试验 (C-D 类)	$\sigma_y = 0.43x^{0.44}$	20.6	79.5	142.2	358.3	同 上
		$\sigma_z = 0.19x^{1.02}$	20.8	107.6	218.1	668.9	
	上海宝钢地区 等容气球试验 (C-D 类)	$\sigma_y = 0.38x^{0.74}$	13.8	48.4	83.0	195.9	地势平坦, 属沿海地区
		$\sigma_z = 0.42x^{0.44}$	8.8	25.4	40.1	82.8	
	兰州某地区等 容气球试验 (D 类)	$\sigma_y = 0.98x^{0.78}$	35.6	124.9	214.4	505.1	河谷盆地, 两面靠山
		$\sigma_z = 0.70x^{0.76}$	23.2	78.8	133.4	307.4	
国外扩散 大气试验	Pasquill (D 类)	$\sigma_y = 0.14x^{0.49}$	8.4	35.3	65.5	174.1	平坦的草 原地区
		$\sigma_z = 0.73x^{0.55}$	9.2	22.3	32.6	59.7	
	Briggs (D 类)	$\sigma_y = 0.16x(1 + 0.0004x)^{-1}$	15.7	73.0	135.2	323.6	大城市地区
		$\sigma_z = 0.14x(1 + 0.0003x)^{-1}$	13.9	62.3	122.8	304.7	

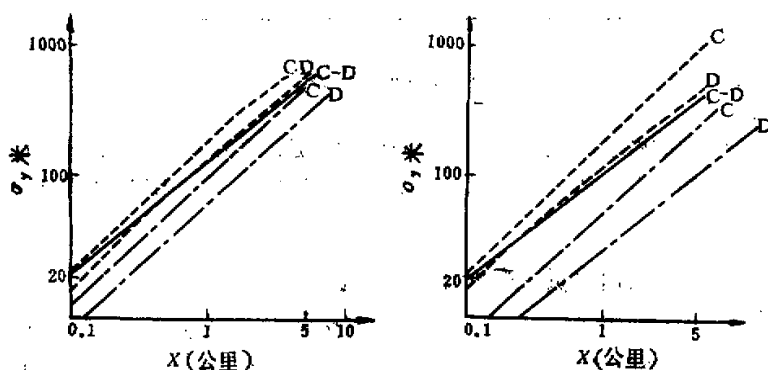


图 2 本试验曲线与 Pasquill 曲线、Briggs (城市) 曲线比较

— 本试验曲线 — — — Pasquill-Gifford 曲线 — — — Briggs 曲线

振动幅度往往小于气块运动的幅度, 所求的扩散参数只能作为第一级近似, 比真实值偏小^[2]。二是 SF₆ 示踪试验是在 80 米烟囱释放, 而等容气球飞行高度距离地面 300~400 米, 后者受厂区热岛效应及地面粗糙度的影响比前者要小。

(2) 与上海宝钢地区的等容气球试验结果^[3]相比: 本试验的扩散参数比宝钢地区的试验结果大。例如在下风距离 1000 米处, σ_y 是宝钢地区的 1.6 倍, 而 σ_z 是它的 2.7 倍。宝钢属于城市郊区, 试验时周围地形相当平坦, 因此地面粗糙度远比包钢地区要小。试验

期间宝钢处于非生产状态,厂区内也无热岛效应的影响。与兰州某地区等容气球试验结果¹⁾相比:本试验的扩散参数比其要小。由于兰州某地处于河谷盆地,近一、二公里处两边都是山,地形影响更明显。而宝钢虽然靠山,但毕竟是一面靠山,且山距放球点有5公里左右。

2. 与国外大气扩散试验比较

本试验取得的扩散参数结果比 Pasquill 的结果大,见表3。宝钢地区为靠山地区,又是在高大建筑物集中的厂区放球,因此下垫面粗糙度大,机械湍流作用较强。另外,由于厂区热岛效应和由于地形起伏受太阳辐射不均匀而产生的热对流加强了热力湍流的作用。所以宝钢地区的湍流强度和扩散能力要比平原地区大得多。应该指出:地面粗糙度和热岛效应对垂直扩散的影响比对水平扩散的影响更显著。本试验结果与 Briggs 试验结果相比,一致性较好。Briggs 所归纳的是以大城市为下垫面,所以二者地面粗糙度都比较大,城市热岛效应与厂区热岛效应对扩散影响的机制也有类似之处。

表 3

球号	放球时间	天气	稳定度	地面风向	地面风速 (m/s)	拐弯处距 山脚距离 (km)	拐弯前平均 飞行速度 (m/s)	拐弯后平均 飞行速度 (m/s)
57	11日10:00	晴	B	SSE	2.8	2.5	3.4	6.7
62	12日8:00	晴	D	SSE	1.6	2.8	4.1	8.0
63	12日10:00	晴	B	ES	1.0	3.0	3.2	6.3

(二) 流 场 分 析

阴山山脉引起的局地风、宝钢厂区热岛环流及高大建筑群引起的尾流混合作用,使宝钢地区的流场结构非常复杂。本试验可以揭示其中某些特征,为污染物的潜势分析提供依据。

1. 宝钢地区300米高空的风向风速特征

试验结果表明宝钢地区300米高层7月份最高风频是SE风,为14.4%,它是吹向山北牧区的风,是不利风向,但在这个风向上风速较大,为4.7米/秒,这对污染物的扩散又是有利的。此外,吹向市区的W风平均风速较大,为4.9米/秒,且风向频率较低,为5.5%,因此可以说宝钢的污染物对市区的影响较小。总的来看,300米高层不同方向风速均较大是该地区风场的一大特征。

2. 宝钢地区的特殊风型

(1) 绕山进沟:图3给出了部分C-D类等容气球的水平轨迹。从图中可以看到:有些气球向西北方向的大青山、乌拉山飞行时,当行至2—3公里处,飞行方向常向东北方

1) 这是兰州大学在兰州第二热电厂地区做的试验,其报告尚未正式发表。

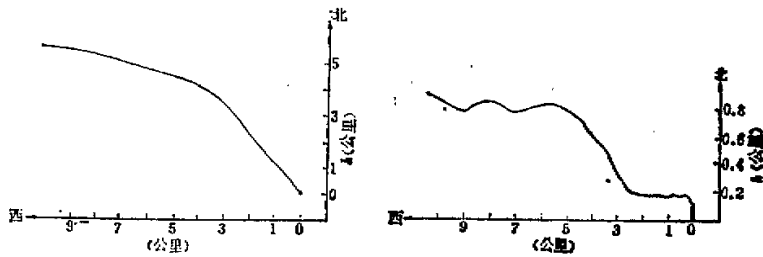
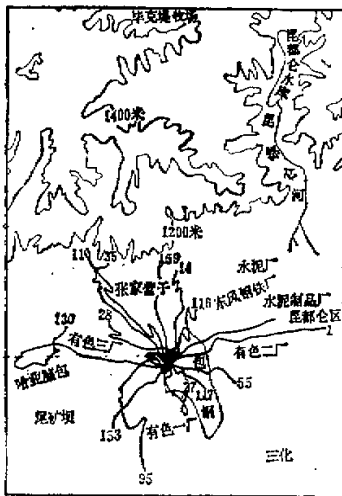


图 4 89 号等容气球飞行轨迹的垂直投影及水平投影

表 5

球号	放球时间	天气	稳定度	风向	风速 (m/s)	环流厚度 (m)
29	5 日 8:30	晴	B	SE	2.0	1120 以上
130	23 日 19:00	晴	D	NW	2.3	700 以上

(4) 山谷风转换期轨迹多变: 早晨 8 时以前和傍晚 17 时以后一段时间处于山谷风更换期, 此时山风和谷风交替出现, 风向多变, 风速较小。图 5 给出了这个时期部分等容气球轨迹。



(4) 当盛行风微弱、天气晴朗时, 包钢地区多形成山谷风, 白天是偏南的谷风, 夜间是偏北的山风。形成山谷风时, 加之厂区热岛的作用, 扩散过程受这种局地性环流的控制, 污染物在厂区附近积累; 在山谷风更换期, 风场发生变化, 产生风向切变, 风速很小, 此时, 对扩散不利。

(5) 包钢厂区东北约 8 公里处的昆都仑河谷对包钢污染物的迁移有一定的影响, 有较明显的“渠道效应”, 该河谷为污染物过山提供了一条路径。

参 考 文 献

- [1] Slade, D. H., *Meteorology and Atomic Energy*, USAEC TID-24190, 1968.
- [2] Thyer, N., *Double Theodolite Evaluation by Computer*, *J. Appl. Meteor.*, V. L., 66--68, 1962.
王华聪译
- [3] 王华聪、蔡存福, 上海宝钢地区大气扩散规律的研究, *中国环境科学* (5)11~19, 1982.
- [4] 张锡福等, 城市边界层大气扩散规律的研究, *环境科学学报*, 第一卷第一期, 1981.
- [5] 横山长之, 北林兴二, 足立芳宽合著, *环境アセスメント手法入門*, 1975.
- [6] Ange, J. K. and Pack, D. H., *J. Appl. Meteor.*, Vol. 4, 418--425, 王华聪译, 1965.

THE STUDY OF ATMOSPHERIC DIFFUSION LAW WITH TETROON EXPERIMENT OVER THE AREA OF BAOTOU STEEL COMPANY

Li Weiyang Wang Huacong Cai Cunfu

(The Environment Protection Institute of Metallurgical Building Institute)

Abstract

In this paper a tetron experiment carried out over the area of Baotou Steel Company, Baotou, the Inner Mongolia Autonomous Region is simply described. Diffusion parameters have been estimated by single tetron trajectories and double tetron series as well. The results have been analyzed and compared with those of atmospheric diffusion experiments at home and abroad. The characteristics of flow field in this area have been analyzed by using tetron flight trajectories, and some ideas concerning the probable pollution conditions are presented.