

DOI: 10.7652/xjtuxb201505023

采用高斯模型的垃圾焚烧污染物环境监测及布点

刘鹤欣¹, 罗锐¹, 冉小鹏¹, 王宇莹², 李换琴², 李继成²

(1. 西安交通大学能源与动力工程学院, 710049, 西安; 2. 西安交通大学数学与统计学院, 710049, 西安)

摘要: 针对垃圾焚烧厂之类的污染源所排放污染物对周边不同区域影响的动态监测问题, 将基于高斯模型的模拟测算布点法与功能区布点法相结合, 建立了监测布点模型。首先综合考虑监测区域周边气象条件、地形特征以及新定义的功能区分布, 依据不同物理化学性质将污染物分为常规污染物和特殊污染物, 从而引入简单地形和复杂地形下分别适用于两类污染物的微风扩散模式和烟尘扩散模式的高斯模型; 然后采用统计的方法对这些因素进行处理, 确定了模型中相应的参数, 计算分析得出污染物浓度分布; 最后与功能区布点法相结合, 得到最终的动态监测布点方案。以深圳市宝安区拟建的垃圾焚烧厂为例, 详细阐释了整个研究方法和步骤, 并给出该垃圾焚烧厂周围环境设立9个分区监测点的方案。文中的研究角度、方法和步骤为解决垃圾焚烧厂等污染源的监测点设置问题提供了新思路。

关键词: 垃圾焚烧厂; 污染物; 动态监控点; 高斯模型; 模拟测算布点法

中图分类号: O29; X8 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-987X(2015)05-0147-07

Monitoring Spots Setting for the Pollutants Emitted from Incinerators Based on Gaussian Model

LIU Hexin¹, LUO Rui¹, RAN Xiaopeng¹, WANG Yuying², LI Huanqin², LI Jicheng²

(1. School of Energy and Power Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China;

2. School of Mathematics and Statistics, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

Abstract: A monitoring spots-setting model is built to deal with the problem of dynamic monitoring for the influence of pollution on areas around its resources such as incinerators. The model combines the simulation estimation spots-setting method based on Gaussian model and the functional district spots-setting method. The meteorological condition, topographic patterns and the distribution of newly defined functional zones around the monitoring area are considered, and pollutants are classified into conventional pollutants and special pollutants according to their physical and chemical properties. A Gaussian fine breeze dispersion model and a Gaussian smoke diffusion model are introduced and are applicable for both types of pollutants in simple and intricate terrain areas. Then, the parameters in the models are determined by using statistical methods to process related factors and the model is solved to obtain the distribution of pollutants. A final dynamic monitoring spots-setting scheme is obtained by combing the functional district spots-setting method. The incinerator in Bao'an district of Shenzhen, China, is used as an example to give the procedure to use the model for setting nine monitoring spots. The research perspective, methods and procedure proposed in the paper provide a new thinking of how to locate

收稿日期: 2014-10-08。 作者简介: 刘鹤欣(1994—),男,本科生;王宇莹(通信作者),女,讲师。 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(11171270)。

网络出版时间: 2015-03-03

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1069.T.20150303.1110.003.html>

monitoring points of pollutants such as refuse incinerators.

Keywords: incinerator; pollutants; dynamic monitoring spot; Gaussian model; simulation estimation spots-setting method

近年来,随着“垃圾围城”问题的日益严重,针对垃圾处理的焚烧发电法在全国各地逐步兴起。如何更好地规范垃圾焚烧厂排污运营行为,增强居民对生活环境安全的信心,是国家亟待解决的重要问题。显然,在焚烧厂内设置监测点的传统监测方法已不能适应相应需求。该方法所搜集的监测数据不能全面客观地反映焚烧污染物对周边环境的影响,这样的数据作为监管部门评价焚烧厂运营行为的依据不够充分合理。合理设置动态监控点不仅能为监管部门提供更为全面客观的数据依据,而且这些监测数据能更及时地传递给居民,强化居民对其生活环境安全的信心,并且也可作为政府对居民进行环境风险经济补偿的依据。

2014 年 7 月 1 日起,我国开始实施新的《生活垃圾焚烧污染控制标准》^[1],新标准对烟气中污染物浓度限值有了更严格的规定,但污染物的监测仍采取传统的检测烟气成分方式。我国环境保护部出台的《环境影响评价技术导则——大气环境》^[2]指出监测点设置数目及位置所应考虑的基本因素,同时也针对各级评价项目提出了布点基本原则。赖剑文提出如何在四种常规监测点布置法基础上运用物元分析等方法对监测点位优化^[3];余红提出运用综合分析法优化大气环境监测布点^[4];Enrique 等研究了单个监测点的优化设置^[5]。以上文献侧重讨论大气环境监测点的优化设置方法及理论研究。Grazia-pittau 等以意大利威尼斯为例研究针对 SO_x 及 NO_x 的监测点优化设置^[6];李军针对四川省某气田区破碎地形的监测点设置进行了研究^[7]。罗华君等应用空气质量预测模型对昆明空港经济区多污染源监测点设置进行了研究^[8]。以上文献往往是根据已有监测点的监测数据,进一步优化监测点的设置来监测空气质量状况,而对于垃圾焚烧厂之类的已知其排放污染物数据的污染源,如何监测这些污染物对周边不同区域的影响强弱这一问题研究较少。

本文在已有文献研究的基础上,提出了如何从周边环境出发,建立测算布点模型,从而解决垃圾焚烧厂污染物环境影响监测问题的一般方法和步骤,并且以深圳市宝安区拟建垃圾焚烧厂为研究对象,综合考虑该焚烧厂周边气象、地形、功能区分布等环境因素,求解基于高斯模型的模拟测算布点模型,再

结合功能区布点法,从而得出了该焚烧厂附近监测点设置方案。

1 监测区域环境数据预处理

监测区域环境数据预处理是建立测算布点模型进行监测点设置所必须的准备工作。监测区域的环境状况主要包括气象条件、地形特征、功能区分布 3 个方面。预处理的过程是采用统计学方法定量描述监测区域环境状况。

1.1 气象条件

常见的气象条件包括了风、温度、降水、大气稳定度、湍流等,在气象条件分析时应依据监测区域常年统计数据进行分析判断,从而建立准确合适的模拟测算模型。以深圳市宝安区拟建的垃圾焚烧厂(谷歌地图坐标 22.686 033, 114.097 586)为例对其气象条件进行如下分析。

1.1.1 风向与风速 风向和风速是影响污染源排放污染物扩散和稀释的最主要因素。风向决定着污染物的主要扩散方向。风速决定着污染物稀释的速度,风速越大,污染物在单位时间内就可以进入较大的空气体积里,因而污染浓度就小,风速较小时,污染物的扩散稀释受阻,将会导致污染物富集而产生严重危害。

本文依据该焚烧厂 2011 年 4 月 13 日~2012 年 3 月 31 日数据^[9],按季节计算平均风速并统计静风频率,结果如表 1、图 1 所示。

表 1 焚烧厂选址处风速统计

季节	春	夏	秋	冬
风速/m·s ⁻¹	3.23	2.32	3.04	3.47
静风频率/%	3.2	6.9	1.8	0

表 1 中季节的划分为:春季(2 月 6 日~4 月 20 日),夏季(4 月 21 日~11 月 2 日),秋季(11 月 3 日~1 月 12 日),冬季(1 月 13 日~2 月 5 日)^[10]。静风是指风速平均值≤0.5 m/s。在静风条件下,风向紊乱,当静风条件持续一段时间后,从污染源排放出的污染物是向上和向四周缓缓扩散的,污染物在水平面上的扩散已无明显的方向性。从表 1 中可知,焚烧厂选址处静风频率较低,因此污染物扩散受到风向的影响较为明显。

图 1 中每一个方位(如西南)后面括号中的数字表示平均风速。

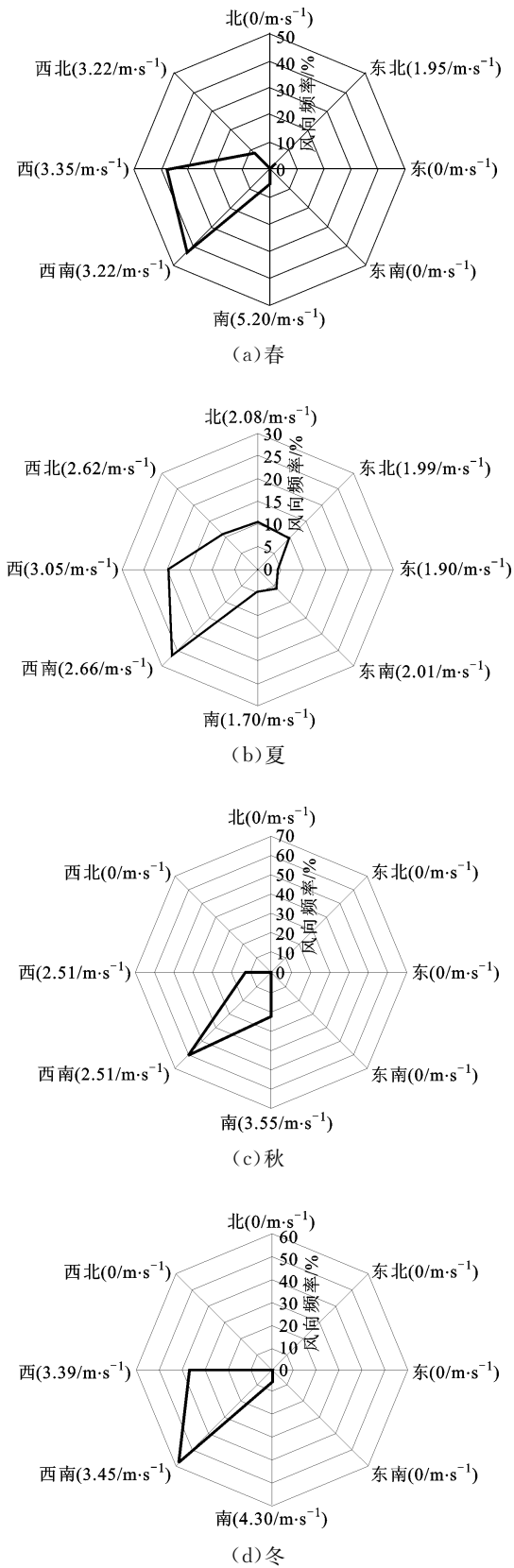


图 1 焚烧厂选址处四季风向、风速玫瑰图

根据环境影响评价导则,主导风向是指风向频率最大的风向角的范围;某地区满足主导风向角风向频率之和 $\geq 30\%$ 时,可认为其主导风向具有明显优势;在没有主导风向的地区,应考虑污染源对全方位的环境空气敏感区的影响^[2]。由图 1 可知,在焚烧厂选址处全年主导风向为偏西风、西南风,因此可以初步判断,位于垃圾焚烧厂偏东北方向的污染物浓度较大。

1.1.2 大气稳定度 大气稳定度是指大气中某一高度上的一团空气在垂直方向上的相对稳定程度,即受扰动后的某一气块返回或远离其原来平衡位置趋势和程度的度量,也是影响大气湍流、烟尘在大气中扩散能力的重要因素。大气稳定度越低越有利于污染物的稀释扩散,大气稳定度越高则污染物越容易积累在污染源附近。

根据我国国家标准中所采用的大气稳定度帕斯奎尔分类方法^[11],可将大气稳定度分为 A、B、C、D、E、F 6 类,分别表示强不稳定,不稳定,弱不稳定,中性,较稳定和稳定。以深圳市垃圾焚烧厂为例,确定各季节大气稳定度步骤为:首先由焚烧厂经纬度、风向风速数据的观测时间及日期,根据文献^[11]中的公式计算单日太阳高度角,统计平均得到各个季节太阳高度角;然后参考文献^[12],确定深圳市的总云量约为 7.26;最后根据文献^[11],由云量与太阳高度角查出太阳辐射等级数,进一步由太阳辐射等级数与地面风速查出大气稳定度。以上各步骤结果表示在表 2 中。

表 2 大气扩散参数影响因素

季节	太阳高度角平均值/(°)	太阳辐射等级	大气稳定度
春	21.0	+1	C
夏	26.0	+1	C
秋	12.2	0	D
冬	13.4	0	D

1.1.3 其他气象条件 除了上文所讨论的风向风速及大气稳定度,某些情况下污染源所处区域还可能存在特殊的气象条件,如静风和逆温。静风是指风速平均值 $\leq 0.5\text{ m/s}$,逆温是指大气内某些层次出现气温不随高度变化或气温随高度的升高反而增高的现象。静风条件限制了污染物在水平方向的扩散稀释,逆温现象则限制了污染物在垂直方向的扩散稀释。当静风或逆温状况明显时需要对其进行详细分析。以深圳市宝安区为例,依据常年气象统计资料得到该区域静风频率偏低(见表 1),且无逆温现

象出现,因此不需要定量分析这两种气象条件。

1.2 地形特征

地形会显著影响空气污染物的扩散过程。由环境影响评价技术导则,距污染源中心点 5 km 内的地形高度(不含建筑物)低于烟囱高度时,定义为简单地形,在此范围内地形高度不超过排气筒基底高度时,可认为地形高度为 0;距污染源中心点 5 km 内的地形高度(不含建筑物)等于或超过烟囱高度时,定义为复杂地形。我国地势西高东低,呈阶梯状下降,山地、丘陵和高原约占总国土面积的 2/3,因此在分析我国垃圾焚烧厂污染物环境影响时,往往需要考虑周边地形特征。

利用 Google 地图软件,可以快速获得垃圾焚烧厂周边地形图像。对于深圳宝安区垃圾焚烧厂,在焚烧厂西南方向上是高度大于 100 m 的山区,东南方向是平湖生态园,东北及西北方向是居民区。西南方向的山区高度大于烟囱高度,属于复杂地形区域,而东南、东北、西北方的生态园、居民区比较开阔,属于简单地形区域。

1.3 功能区分布

功能区本义为城市内部各功能活动的分布空间及其相应产生的小区,如中心商业区、行政区、工业区、居住区和郊区等。本文所定义的功能区是指受到污染物影响具有不同特点的区域,包括山区、居民区和生态区 3 类。山区是指前文所定义的具有复杂地形的区域,该区域起伏地形对污染物扩散有显著影响;居民区是居民生活工作的区域,人口密度大,污染物造成重大危害可能性大;生态区通常为自然保护区、风景名胜区等,在特定时间人口密度大,空气质量要求高。

由以上定义,深圳宝安区焚烧厂附近区域可划分为山区、居民区、生态区 3 个区域。环观南路、樟坑径村及焚烧厂所围区域为山区;平湖生态园为生态区;环观南路、平龙路、平新路及焚烧厂所围区域为居民区。在居民区内有辅城坳小学、平南学校、龙湖学校、启英学校 4 所学校为环境敏感点,其空气状况应重点监测。

2 监测点的设置

在对监测区域环境数据进行预处理后开始进行监测点的设置。常见的监测点设置方法有功能区布点法、网格布点法、同心圆布点法、扇形布点法、模拟测算布点法等。这些布点方法具有各自的优缺点^[8],如表 3 所示。

表 3 常见监测点设置方法比较

布点方法	优点	缺点
功能区布点	测点少,现场工作量小	区域代表性差
网格布点	区域代表性好	测点多,现场工作量大
圆形布点	局部代表性好	区域代表性差,工作量较大
扇形布点	代表性一般	多个污染源代表性差
模拟测算布点	区域代表性好,现场工作量小	计算量大

对于本文研究的问题,在垃圾焚烧厂周围设置监测点的目的是从周边环境出发,监控焚烧厂污染物在周边区域的分布及对不同区域的影响程度。为了减少监测点设置时的现场工作量,保证监测点数据具有一定的区域代表性,并考虑到监测点主要监测污染物对居民环境的影响,针对垃圾焚烧厂监测点的设置,本文主要采用模拟测算布点法,并结合功能区布点法进行修正。

2.1 监测布点模型的建立

模拟测算布点法是依据测算区域的地形地貌以及气象条件,选择适合的测算模型对污染物的扩散进行模拟,根据污染物扩散模拟值的空间分布规律进行监测点布置。

针对测算模型的选择,考虑到高斯模型在保守估算大气污染物浓度分布方面具有广泛应用,同时考虑到高斯模型在复杂地形条件下应用的相关研究^[13],因此采用高斯模型预测污染物浓度分布。

城市生活垃圾焚烧产生的污染物按状态可分为固体、液态、气体污染物 3 类。固体污染物主要包括炉渣、飞灰,液态污染物主要包括垃圾渗滤液等污水,气体污染物主要包括 HCL、CO_x、SO_x、NO_x 等常规污染物和挥发性有机物、二噁英等特殊污染物^[14]。

根据新的《生活垃圾焚烧污染控制标准》,以深圳垃圾焚烧厂为例,主要考虑的排放污染物为颗粒物、HCL、SO₂、NO_x、汞、铅、二噁英 7 种污染物。根据其物理化学性质,可以对 7 种污染物进行分类,如表 4 所示。

本文将粒径大于 10 μm 的颗粒污染物及依附于颗粒扩散的污染物定义为特殊污染物,需考虑重力沉降作用^[15]。两类污染物因为粒径尺寸和物理化学特性不同,排放后在空气中的扩散过程存在差异,所以对周边环境的污染范围及影响程度存在差异。因此,针对不同类别的污染物,应采用不同的高

斯模型对浓度分布进行描述。

表 4 监控因子的分类

污染物类别	污染物	物理化学特性
常规污染物	HCL	具有强烈刺激性气味,密度一般大于空气而小于颗粒物,易溶于水;污染物扩散范围较广,受气象条件影响较大
	SO _x	
	NO _x	
特殊污染物	颗粒物、汞、铅、二噁英	富集于烟尘中,密度较大,难溶于水;污染物扩散范围较小,受气象条件影响小

2.1.1 简单地形的高斯模型 由表 4 可知,HCL、SO₂、NO_x 为常规污染物,密度大于空气小于固体颗粒物,沉降不明显;颗粒物、汞、铅、二噁英为特殊污染物,扩散时富集于烟尘中,密度较大,难溶于水,沉降较明显。同时由风速分析结果,垃圾焚烧厂附近区域主要处于微风(风速≥0.5 m/s)条件。由以上分析,对常规污染物的扩散引入微风扩散模型^[15],对于需要考虑重力沉降作用的特殊污染物扩散引入烟尘扩散模式^[16],即

$$\rho_1(x,y,z)=\frac{Q}{2\pi u\sigma_y\sigma_z}e^{-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}}\left[e^{-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}}+e^{-\frac{(z+H)^2}{2\sigma_z^2}}\right]\tag{1}$$

$$\rho_2(x,y,z)=\frac{Q}{2\pi u\sigma_y\sigma_z}e^{-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}}\left[e^{-\frac{(z-H+v_tx/u)^2}{2\sigma_z^2}}+\alpha e^{-\frac{(z+H-v_tx/u)^2}{2\sigma_z^2}}\right]\tag{2}$$

$$v_t=\frac{d_p^2\rho_pg}{18\mu}\tag{3}$$

式中:ρ₁(x,y,z)、ρ₂(x,y,z)分别表示(x,y,z)处常规污染物和特殊污染物的质量浓度;Q表示污染源源强;σ_y、σ_z表示污染物y、z方向的大气扩散参数;H代表污染源的有效高度;u表示平均风速;v_t表示固体污染物的重力沉降速度;α是反射系数;d_p表示固体污染物颗粒直径;ρ_p表示固体污染物颗粒密度;μ表示空气黏度;g表示重力加速度。

2.1.2 复杂地形高斯模型 由上文分析可知,我国国土面积有 2/3 为山地、丘陵、高原地区,垃圾焚烧厂周边地形往往属于复杂地形,复杂地形的污染物在某些方向扩散时会受到山地等地形的阻碍作用。为此,考虑地形对污染物扩散的影响,引入地形随动坐标 $\bar{z}$ 与地形修正系数 T_t ^[17],得到复杂地形下适用于常规污染物的高架连续点源微风扩散模型和特殊污染物的高架连续点源烟尘扩散模式,即

$$\bar{z}=H_e\frac{z-z_g}{H_e-z_g}\tag{4}$$

$$\rho_1(x,y,z)=\frac{Q}{2\pi u\sigma_y\sigma_z}e^{-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}}\left[e^{-\frac{(\bar{z}-T_tH)^2}{2\sigma_z^2}}+e^{-\frac{(\bar{z}+T_tH)^2}{2\sigma_z^2}}\right]\tag{5}$$

$$\rho_2(x,y,z)=\frac{Q}{2\pi u\sigma_y\sigma_z}e^{-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}}\left[e^{-\frac{(\bar{z}-T_tH+v_tx/u)^2}{2\sigma_z^2}}+\alpha e^{-\frac{(\bar{z}+T_tH-v_tx/u)^2}{2\sigma_z^2}}\right]\tag{6}$$

$$v_t=\frac{d_p^2\rho_pg}{18\mu}\tag{7}$$

式中: $\bar{z}$ 为变换后的垂直坐标; H_e 为烟囱几何高度; z 为原垂直坐标; z_g 为地表面的相对高度; T_t 为地形修正系数。

2.2 模型的求解

高斯模型的求解关键在于根据模型所应用区域的环境条件,对模型中参数作出恰当选择,这样模型求解结果才能更精确地模拟污染物实际扩散情况。下面说明模型中的参数选取。

2.2.1 有效源高 烟气从烟囱排放后,由于自身动力与热力作用,将继续保持上浮趋势,因此烟气流将存在抬升高度 ΔH,ΔH 与烟囱几何高度 H_e 之和为有效源高 H。烟流抬升高度受到烟气的热力性质、动力性质、气象条件、下垫面状况等因素影响。烟气抬升初期主要受初始动量和浮力的影响,而后期主要受大气流场的控制。常见的烟气抬升高度计算公式有霍兰德(Holland)公式、国际原子能机构(IAEA)建议公式以及 HJ 2.2—1993 标准推荐抬升公式^[11]。确定烟流抬升高度时需要先获取烟囱直径、烟气热释放率、烟气出口温度、环境温度等参数。如果因缺少某些参数而无法使用上述公式估算,可以参考文献^[18],根据经验选取烟流抬升高度 ΔH。

由于缺乏深圳宝安区垃圾焚烧厂烟囱相关参数,考虑到其几何高度 $H_e=80\text{ m}$,可令烟流抬升高度 ΔH=15 m,如表 5 所示。

表 5 烟流抬升高度经验选取方法

烟囱几何高度/m	烟气抬升高度/m
$H_e\geq 50$	15
$50>H_e\geq 30$	8
$H_e>30$	5

2.2.2 源强 源强是指污染物的排放速率。深圳宝安区焚烧厂的污染物排放浓度符合国家排放标准。为了确定源强,依据焚烧炉烟气监控数据^[8],可处理

垃圾 350 t/d 的焚烧炉烟气流量平均值为 346 687.5 m³/h,假设烟气流量与垃圾处理量成正比关系,可求出 650 t/d 焚烧炉的烟气流量为 643 848.2 m³/h,则该垃圾焚烧厂 3 台 650 t/d 焚烧炉烟气流量总量为 1 931 544.6 m³/h。各污染源强如表 6 所示。

表 6 各污染源强

污染物	排放浓度标准/mg·m ⁻³	污染源强/g·s ⁻¹
颗粒物	30	16.096
HCL	60	32.192
SO ₂	100	53.654
NO _x	350	187.789
汞	0.1	0.053
铅	1	0.536
二噁英	1×10 ⁻⁷	5.365×10 ⁻⁸

2.2.3 风向及风速 风向与风速的统计数据根据上文环境数据预处理步骤可以获得。为了高斯模型的求导方便,选择主导风向为 x 轴建立坐标系。

深圳宝安区垃圾焚烧厂选址处全年多刮偏西和偏西南风,春、夏、冬 3 季主要风向为偏西、偏西南,秋季主要风向为偏西南。高斯模型中 x 轴方向为主导风方向,因此春、夏、冬 3 个季节以焚烧厂处西偏南 30°为 x 轴建立坐标系,秋季以西南方向为 x 轴建立坐标系。

2.2.4 大气扩散参数 大气扩散参数 σ_y 、 σ_z 反映了污染物在 y 、 z 方向的扩散规律,是高斯扩散模型最重要的参数。大气扩散参数的确定方法可分为实验法和经验法。实验法与当地实际气象条件紧密结合,获得结果较为可靠、精度较高,但耗费较多人力、财力。扩散参数的经验估算方法有帕斯奎尔(P-G)曲线法、布鲁克海文扩散参数法、国际原子能机构推荐公式、布里格斯(Briggs)公式以及 HJ/T 2.2—1993 标准推荐的扩散幂函数^[11]。

考虑估算方法的简便性,本文采用布里格斯公式估算大气扩散参数。考虑到垃圾焚烧厂通常位于城市郊区地带,利用插值方法并结合上文得到的大气稳定度结果,依据布里格斯公式^[11]可以确定大气扩散参数 σ_y 、 σ_z 的计算公式。对于宝安区垃圾焚烧厂,根据大气稳定度结果得到春、夏季节大气扩散参数的计算公式为

$$\sigma_y = \frac{1}{2}[0.11x(1 + 0.000\ 1x)^{-0.5} + 0.22x(1 + 0.000\ 4x)^{-0.5}]$$

(8)

$$\sigma_x = \frac{1}{2}[0.08x(1 + 0.000\ 2x)^{-0.5} + 0.20x]$$

(9)

秋、冬季节大气扩散参数的计算公式为

$$\sigma_y = \frac{1}{2}[0.08x(1 + 0.000\ 1x)^{-0.5} + 0.16x(1 + 0.000\ 4x)^{-0.5}]$$

(10)

$$\sigma_x = \frac{1}{2}[0.06x(1 + 0.001\ 5x)^{-0.5} + 0.14x(1 + 0.000\ 3x)^{-0.5}]$$

(11)

2.2.5 沉降速度及反射系数 对于沉降速度的计算公式,首先需要确定固体污染物颗粒直径 d_p ,固体污染物颗粒密度 ρ_p 和空气黏度 μ 。

对于宝安区垃圾焚烧厂,根据文献[19]确定华南地区垃圾焚烧的飞灰粒径分布在 38.5~75 μm 范围内,本文假设焚烧炉产生飞灰的平均粒径为 60 μm ,根据文献[19]确定沉降速度为 0.227 6 m/s,反射系数 α 为 0.3。

2.2.6 地形随动坐标及地形修正因素 由式(4)知,参数的确定需依据前文对焚烧厂周边地形的定量分析结果。根据宝安区垃圾焚烧厂周边地形的分析结果,假设焚烧厂西侧丘陵相对高度 $z_g=100\text{ m}$,烟囱几何高度 H_e 为 80 m。

地形修正系数 T_i 的选择方法为:若烟流与起伏地面平行, $T_i=1$;若烟流保持固定海拔高度,则当 $H\leq h_T$ 时, $T_i=0$,当 $H>h_T$ 时, $T_i=1-h_T/H$;若烟流处于上述两种情况之间,则当 $H\leq h_T$ 时, $T_i=k$,当 $H>h_T$ 时, $T_i=1-h_T/H+kh_T/H$ 。其中: h_T 为计算点地面高于烟囱底的高度; k 为大气稳定度和地形特征决定的烟流路径系数,在不稳定时取 2/3,中性时取 1/2,稳定时取 1/3。

对于宝安区垃圾焚烧厂污染物在空间的扩散,烟流处于与起伏地面平行和保持固定海拔高度之间,在求解山区表面污染物浓度分布时,取 $h_T=100\text{ m}$,则 $H=95\text{ m}<h_T$ 。根据表 2 可知大气稳定度为 C 与 D,因此选取中性时的 $k=1/2$ 进行计算,所以最终确定 $T_i=1/2$ 。

根据式(1)、(2)、(5)、(6)4 个高斯模型中的参数,以 SO₂ 为常规污染物代表和二噁英为特殊污染物代表,运用 Matlab 编程求解,结果如图 2 所示。

图 2a、图 2b 中 x 轴正方向表示垃圾焚烧厂选址处的东北方向,图 2c、图 2d 中 x 轴正方向表示垃圾焚烧厂选址处的西南方向。从图 2 可以知道,风向对于污染物的扩散方向起主要作用,地形会对污染物浓度最大处与焚烧厂间的距离造成影响,常规污染物(如 SO₂)与特殊污染物(如二噁英)由于物理化学性质不同,扩散后的影响区域以及浓度最大点

位置也有一定差异。

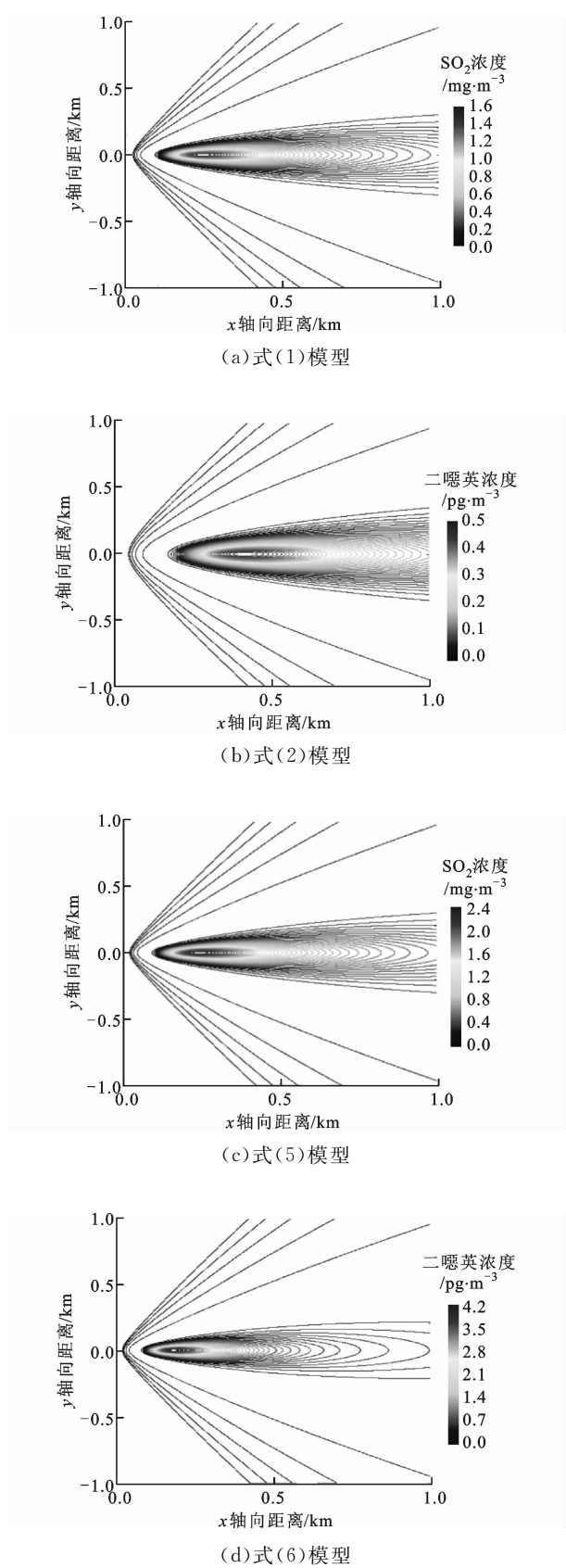


图 2 高斯模型求解结果

2.3 监测点设置方案

在引入高斯模型时,本文在比较 5 种布点方法的基础上选择模拟测算布点法,同时结合功能区布点法进行修正。在求解高斯模型获得各污染物浓度最大值位置后,为了使所设立的监测点的监测结果能够较为准确地反映垃圾焚烧厂排放物对周边区域可能造成的最大影响,优先选择在各种污染物浓度最大地点附近处设置监测点。

根据文献[20]中的项目等级确定方法,深圳宝安区垃圾焚烧厂为二级项目,设置的监测点数应大于等于 6 个。依据功能区布点法的原则,为了使检测结果能提高民众对焚烧厂环境影响检测值的可信度,在生活区可适当增加监测点数目。在一些环境敏感区,如学校、医院、生态保护区可以适当设立监测点,而且焚烧厂上风向处必须设置对照点。

综上所述,依据高斯模型求解结果并遵照功能区布点法原则,最终得到宝安区垃圾焚烧厂监测点设置方案,如表 7 所示。

表 7 污染物监测点位置

序号	纬度	经度	点的属性	所属功能区
1	22.684 539	114.080 3	对照点	居民区
2	22.695 546	114.097 7	监测点	居民区
3	22.693 893	114.108 0	监测点	居民区
4	22.691 968	114.090 8	监测点	居民区
5	22.688 231	114.100 7	监测点	居民区
6	22.687 637	114.115 3	监测点	居民区
7	22.684 549	114.093 7	监测点	山区
8	22.682 014	114.112 7	监测点	生态区
9	22.680 332	114.103 1	监测点	生态区

针对垃圾焚烧厂大气污染物环境影响监测点的设置,本文提出运用测算布点模型处理该类问题的一般方法和步骤,其流程如图 3 所示。

3 结 论

本文将高斯模型应用于大气污染物扩散研究,模型求解简便,同时模型中采用的地形修正项也保证了模型在应用于复杂地形时的精度要求。在高斯模型求解结果上运用的测算布点法能避免采用常规布点法时的主观因素,使监测点监测结果更准确,并在一定程度上减少了监测所需的人力、物力。

本文所采用的基于高斯模型的测算布点法适用于稳定排放多类大气污染物的单一污染源附近区域大气监测点的设置。高斯模型中的地形修正项可在进行山区等复杂地形大气污染物预测时借鉴。

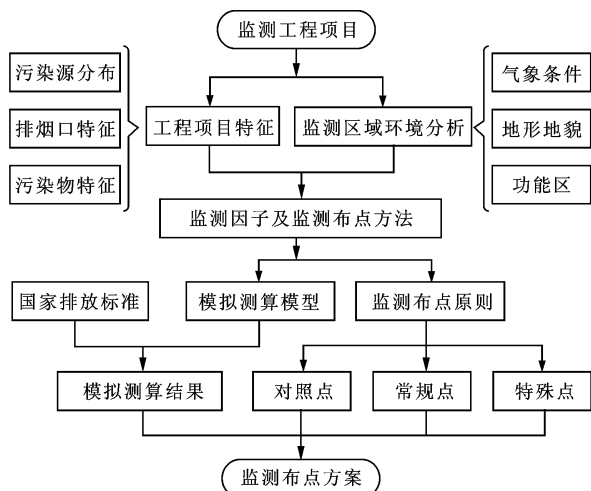


图3 垃圾焚烧厂等污染源的动态监测点设置流程

2014年7月1日起,我国开始实施新的生活垃圾焚烧污染控制标准,由此可见国家对于垃圾焚烧污染问题的重视。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国环境保护部. GB 18485—2014 生活垃圾焚烧污染控制标准 [S/OL]. [2014-07-04]. http://kjs.mep.gov.cn/hjbhbz/bzwb/gthw/gtfwwrkzbz/201405/t20140530_276307.htm.
- [2] 中华人民共和国环境保护部. 环境影响评价技术导则: 大气环境 [S/OL]. [2014-05-01]. http://kjs.mep.gov.cn/hjbhbz/bzwb/other/pjjsdz/200901/t20090105_133276.htm.
- [3] 赖剑文. 大气环境监测布点研究初探 [J]. 科技与企业, 2013(6): 143.
LAI Jianwen. Atmospheric environment monitoring sites study [J]. Technology and Enterprise, 2013(6): 143.
- [4] 余红. 应用综合分析法优化大气环境监测布点 [J]. 云南环境科学, 2001, 20(s1): 140-142.
YU Hong. Optimize air environmental monitoring points arrangement by comprehensive analysis [J]. Yunnan Environmental Science, 2001, 20(s1): 140-142.
- [5] ENRIQUE G F, MARTA D, ISABEL M M, et al. An approach for determining air pollution monitoring sites [J]. Atmospheric Environment, 2010, 44(7): 2640-2645.
- [6] GRAZIAPITTAU M, ROMANO D, CIRILLO M C, et al. An optimal design for air pollution monitoring network [J]. Environmetrics, 1999, 10(3): 351-360.
- [7] 李军. 某气田环境空气监测点位优化研究 [D]. 西安: 西安石油大学, 2010.

- [8] 罗华君, 冯晖, 颜翔. 应用空气质量预测模型进行监测点位选址 [C]// 中国环境科学学会学术年会论文集. 北京: 中国环境科学学会, 2012: 644-660.
- [9] 中国工业与应用数学学会. 2014年深圳杯数学建模竞赛C题 [EB/OL]. [2014-06-29]. http://www.mcm.edu.cn/html_cn/node/772bf67acf72596527efe4a302aa7038.html.
- [10] 深圳气象台. 深圳市气候概况及四季特征 [EB/OL]. [2014-05-01]. <http://www.szmb.gov.cn/article/Qi-HouYeWu/qihouxinxigongxiang/qhgxtezheng.html>.
- [11] 胡二邦. 环境风险评价实用技术、方法和案例 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2009.
- [12] 曾昭美, 严中伟. 近40年中国云量变化的分析 [J]. 大气科学, 1993, 17(6): 688-696.
ZENG Zhaomei, YAN Zhongwei. Analysis of the cloudiness changes in the past 40 years in China [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences, 1993, 17(6): 688-696.
- [13] 平措. 大气污染扩散长期模型的应用研究 [D]. 天津: 天津大学, 2006.
- [14] 陆胜勇. 垃圾和煤燃烧过程中二噁英的生成、排放和控制机理研究 [D]. 杭州: 浙江大学, 2004.
- [15] 宋新山, 邓伟. 环境数学模型 [M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [16] 马福建. 高斯烟羽扩散-沉积模式 [J]. 气象科学, 1986(2): 59-67.
MA Fujian. Gaussian plume diffusion-sedimentary model [J]. Journal of the Meteorological Sciences, 1986(2): 59-67.
- [17] 崔伟. 山区复杂地形条件下大气扩散研究 [D]. 成都: 四川师范大学, 2006.
- [18] 孙娟, 束炯. 工业点源大气污染扩散空间信息系统 [J]. 环境污染与防治, 2005, 27(7): 519-522.
SUN Juan, SHU Jiong. An industrial air pollution dispersion system based on Gauss dispersion model [J]. Environmental Pollution & Control, 2005, 27(7): 519-522.
- [19] 叶秀雅, 周少奇, 徐斌, 等. 不同粒径垃圾焚烧飞灰金属形态分布比较研究 [J]. 环境工程学报, 2012, 6(11): 4235-4239.
YE Xiuya, ZHOU Shaoqi, XU Bin, et al. Comparative study on metal speciation distributions in MSWI fly ash with various particle sizes [J]. Techniques and Equipment for Environmental Pollution Control, 2012, 6(11): 4235-4239.
- [20] 王栋成. 大气环境影响评价实用技术 [M]. 北京: 中国标准出版社, 2010.

(编辑 赵炜)