

空气总悬浮颗粒物浓度的遥感信息模型研究

程承旗, 常鹏飞, 郭仕德, 林旭东

(北京大学遥感与地理信息系统研究所, 北京 100871)

摘要: 空气总悬浮颗粒物遥感信息模型是使用遥感信息模型的方法来模拟空气总悬浮颗粒物在空间上的分布。通过对空气总悬浮颗粒物来源和分布影响的因子分析, 认为地表覆盖情况因子对空气总悬浮颗粒物来源影响最大, 降雨强度和风速因子对空气总悬浮颗粒物分布影响最大, 因此根据此三个因子建立了空气总悬浮颗粒物遥感信息模型。然后根据对厦门市高分辨遥感的分类数据和空气总悬浮颗粒物的分布数据得到了空气总悬浮颗粒物遥感信息模型的地理参数。通过对公式结果验证认为该模型较好的模拟了空气总悬浮颗粒物的分布, 为空气总悬浮颗粒物浓度的分布研究提出一种新思路。

关键词: 空气总悬浮颗粒物浓度; 遥感信息模型; 遥感影像

中图分类号: T P79; P445. 4

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2006)06-0243-04

Research on Remote Sensing Information Model for Total Suspended Particles and Case Study

CHENG Cheng-qi, CHANG Peng-fei, GUO Shi-de, LIN Xu-dong
(Institute of RS & GIS, Peking University, Beijing 100871, China)

Abstract: Remote Sensing Information Quantificational Model for Total Suspended Particles Concentration is to simulate the spatial distribution of total suspended particles in air. The remote sensing information analysis approaches are employed in this model. Through combing remote sensing information modeling method and analysis source of TSP, three independent factors that influence significantly on the concentration and its variability of TSPC in both temporal and spatial distribution including total suspended particles productivity, rainfall intensity and wind velocity are selected to retrieve the TSP concentration. Some uncertain impact factors are also considered in this model. Some classified images from high-resolution remote sensed data and meteorologic data are applied to obtain those uncertain factors. Comparison of the simulated TSPC images the observation data by using multivariable regression method is implemented. The result shows that the RSIMTSPC is a useful model in simulating TSP spatial distributions.

Key words: total suspended particles concentration; remote sensing information model; remote sensing image

1 引言

总悬浮颗粒物(TSP)是指由天然污染源和人为污染源释放并漂浮在空气中的固态和液态颗粒物的总称,其粒径范围约为 0.1~100 μ m。有些颗粒物因粒径大或颜色黑可以为肉眼所见,比如烟尘,有些则小到使用电子显微镜才可观察到。暴露在颗粒物浓度大的空气中可引起呼吸系统的损害,如颗粒物被人吸入后,会引发心脏病、肺病、呼吸道疾病,降低肺功能等许多疾病。此外,环境空气中的颗粒物还是降低能见度的主要原因,并会损坏建筑物表面^[1]。影响 TSP 浓度空间分布变化的原因是多样的,总的来说可以分为两个大的方面,一是土地利用类型,它决定了颗粒物来源的状况,另一个是当地的气候与气象状况,它决定了颗粒物在空气中的运动与扩散模式^[2],从而导致颗粒物在空间上的重新分配。因此,研究 TSP 的空间分布模式必须综合考虑上述控制因素。

遥感信息模型是地形模型、物理模型和数学模型的综合

应用,是在遥感图像处理 and 地理信息系统的支持下,利用遥感信息和地理信息影像化的方法,建立起来的一种模型^[1,7,8]。在遥感图像系统中提取各种可能提取的地理独立因子,在地理信息系统中提取数字地形模型和各种地理独立因子,两者复合,可进行各种复杂的地理遥感信息模型计算^[1,7]。

作为一种以遥感数据为基础,综合处理与分析空间信息的方法,遥感信息模型为 TSP 浓度空间分布模式的研究提供了一种有效的分析技术。本文用遥感信息的分析方法,将总悬浮颗粒物生产率、风速、降雨量这三个独立因子与空气总悬浮颗粒物进行分析,从得出一个能用于 TSP 浓度空间分布模式进行预测的遥感信息模型并用厦门的实际数据加以验证。

2 模型建立

2.1 总悬浮颗粒物来源分析

对于一个地理区域来说,区域地表往往是多种多样的,是由多种地表类型组成的混合体。而该区域的 TSP 值与该

* 收稿日期: 2005-12-20

基金项目: 国家 863 项目支持(项目编号: 2003AA783060)

作者简介: 程承旗(1961-),男,北大遥感所教授,博导,从事空间信息及遥感的城市应用研究。

区域,不同的地表类型的组成有很大的关系。如此地理区域内大部分区域是对悬浮颗粒物有吸附作用的地表,则此地理区域的TSP的密度必然较低,反之则TSP的密度必然较高。因此我们可以根据一个地理区域内地表类型的组成来分析和模拟该区域内TSP的密度情况。

由于在一个较大区域内,空气中总悬浮颗粒物的密度与地表状况有较大的相关关系,所以地表状况会直接影响空气总悬浮颗粒物的变化。因此我们把某块区域单位时间单位面积产生空气总悬浮颗粒的能力称为该区域的空气总悬浮颗粒物产生力,简称为区域总悬浮颗粒物产生力 D ,它是理想状态下某区域单位面积单位时间内产生的总悬浮颗粒物。

根据总悬浮颗粒物产生力的不同^[2-6],把地面分为以下类型:水域,如河流、湖泊等,对TSP有较强的吸附能力;绿地,如林地、草坪等,对TSP有一定吸附能力;其他类型的土地,如道路、工业用地、居民地等,通过尾气排放、扬尘、生物活动等方式产生悬浮颗粒物。

设水域的悬浮颗粒物产生力为 D_w ,绿地的悬浮颗粒物产生力为 D_c ,其他类型土地的悬浮颗粒物产生力为 D_r ,且某一地理区域内这几种类型土地所占比例分别为 P_w, P_c, P_r ,且 $P_w + P_c + P_r = 1$ 。则该区域的悬浮颗粒物产生力为

$$D = D_w P_w + D_c P_c + D_r P_r \quad (1)$$

2.2 独立变量的选取

总悬浮颗粒物除了与地表情况密切相关以外,与当地的气候也密切相关。如同等的地表状况下,干燥多风的内陆地区的TSP比湿润多雨的沿海地区要高得多。根据前人的研究成果和城市地区的环境状况资料^[2-6]确定在研究TSP时,需要考虑到第一因子是地面的悬浮颗粒物产生力,并加入描述天气情况第二因子风速 V 和第三因子降雨量 R 。各独立因子的量纲和单位如表一所示。

表 1 独立因子

物理量	量纲	单位
TSP _{II}	[ML ⁻³]	g/cm ³
D _{II}	[ML ⁻² T ⁻¹]	g/(cm ² ·t)
V _{II}	[LT ⁻¹]	cm/t
R _{II}	[LT ⁻¹]	cm/t

表中 M 代表质量, L 代表长度, T 代表时间。

2.3 理论模型的建立

量纲分析是自然科学中一种研究和分析方法。它根据一切量所必须具有的形式来分析判断事物间数量关系所遵循的一般规律。通过量纲分析可以检查反映物理现象规律的方程在计量方面是否正确,甚至可提供寻找物理现象某些规律的线索。遥感信息模型就是利用量纲分析的方法来建立模型的。根据以上分析写出上述 3 个独立因子的量纲分析方程如下:

$$TSP_{II} \propto F[D, V, R] \quad (2)$$

其中各个独立因子的量纲采用厘米·克·秒制。

用 Π 定理进行量纲分析, Π 定理要求经过运算, Π 的量纲为 1,即无量纲化。选择 D, R 为基准因子,则

$$\Pi_{TSP} = [ML^{-3}] / [ML^{-2}T^{-1}]^a [LT^{-1}]^b \quad (3)$$

因为

$$[M]: 1 = a \quad (4)$$

$$[L]: -3 = -2a + b \quad (5)$$

$$[t]: 0 = -a - b \quad (6)$$

所以

$$a = 1 \quad (7)$$

$$b = -1$$

于是

$$\Pi_{TSP} = TSP / (D \cdot R^{-1}) = TSP \cdot R / D \quad (8)$$

同理可证

$$\Pi_V = [LT^{-1}] / [ML^{-2}T^{-1}]^a [LT^{-1}]^b \quad (9)$$

$$\Pi_V = V / R \quad (10)$$

从而得到

$$TSP \cdot R / D = F \cdot (V / R) \quad (11)$$

根据公式(8)、(10)、(11),写成非线性指数函数关系

$$TSP = a \cdot (V/R)^m \cdot D/R \quad (12)$$

其中 a, m 为地理指数。

至此完成量纲分析,得到一个半经验、半理论的空气总悬浮颗粒物的公式。

考虑到当地的气候条件(降雨量,风速)在较短的时间内变化的比较少,故在考查时可以把这些气象因素作为常量来计算,使得模型进一步简化为只和地表状况有关的公式。

$$TSP = (a \cdot (V/R)^m / R) \cdot D \quad (13)$$

3 研究区背景

厦门市位于中国的东南沿海地区,处于温带与热带的过渡地带,干湿度与盛行风向随着季节的变化而不同,年平均降雨量为 1 205.6 mm,年平均相对湿度 78%,年平均降水日数 132.1 d,属于典型的亚热带季风气候^[3]。厦门是我国沿海地区大气质量较好的几个城市之一,根据 2002 年的 6 个观测点的监测结果,TSP 浓度的年均日均值为 0.064 mg/m³,达到国家空气质量的 2 级标准,但部分天数的日均最大值达到了 0.22 mg/m³,构成轻度污染。

厦门岛三面环海,岛上空气中的总悬浮颗粒物主要由本地产生,很少由外部进入。它满足了总悬浮颗粒物定量遥感信息模型的基本假设,是一个比较理想的验证总悬浮颗粒物定量遥感信息模型的区域。

4 厦门市空气总悬浮颗粒物浓度的遥感信息模型分析

4.1 数据准备和处理

以 2003 年 3 月厦门岛空间分辨率为 0.6 m 的 Quick-Bird 卫星影像数据为基础,分为水域 D_0 ,绿地 D_1 ,其他土地 D_2 等三类地表类型,进行监督分类得到分类影像图。

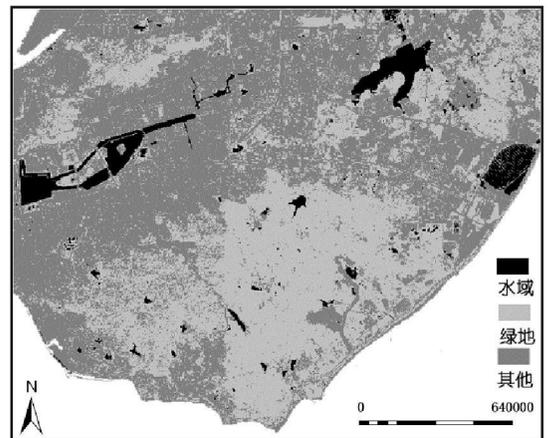


图 1 厦门岛高分辨率遥感分类数据

根据厦门市环境监测中心站提供的 6 个监测站的数据得到表 2,其中时间区域为 2003 年 1 月到 2003 年 3 月。

根据各个监测站这段时间 TSP 的分布,运用多项式插值方法得到空气悬浮物分布的等值线图如图 2:

表 2 厦门 TSP 监测数据 10^{-6} g/m^3

	平均值	最小值	最大值	方差
鼓浪屿	58.04	11	99	17.51
大生里	67.34	17	126	20.38
湖里	78.26	33	141	23.71
洪文	66.57	18	109	19.56
集美	66.83	23	125	20.06
同安	66.14	25	103	16.64

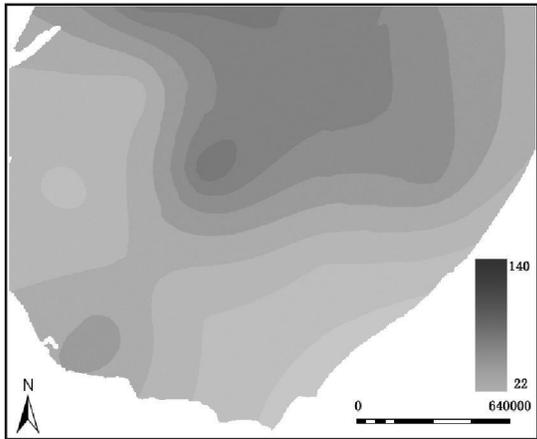


图 2 厦门岛 TSP 分布数据

4.2 遥感信息模型的建立

利用以上的遥感数据和总悬浮物浓度分布数据, 代入运用量纲分析方法得到的公式 (13) 和总悬浮颗粒物产生力公式 (1) 中, 通过运算得到厦门市的气候与地理影响因子常数为 38.4, 水域的悬浮颗粒物产生力为 0.5, 绿地的悬浮颗粒物产生力为 1, 其他类型悬浮颗粒物产生力为 3.4。从而得到空气总悬浮颗粒物遥感信息模型的公式如下:

$$TSP = 38.4 \cdot (0.5P_w + P_c + 3.4P_T) \quad (14)$$

式中: P_w —— 水域在评测区域的百分比, P_c —— 绿地在评测区域的百分比, P_T —— 其他土地在评测区域的百分比, 且 $P_w + P_c + P_T = 1$ 。

根据得到的遥感信息模型的公式, 结合高分辨率遥感数据, 以 20×20 的网格 ($120 \text{ m} \times 120 \text{ m}$) 的地块为基本单位, 得到空气悬浮物的模拟分布图如下:

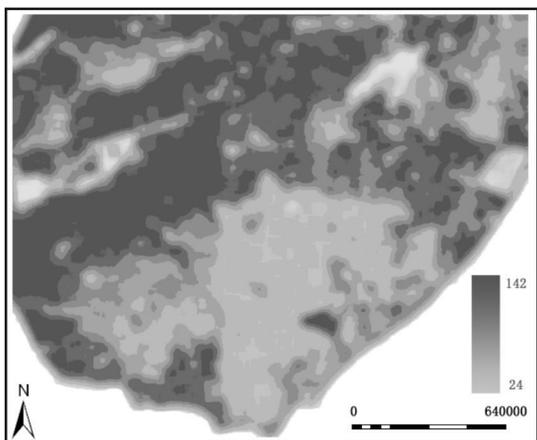


图 3 厦门岛 TSP 分布的模拟图

通过模拟分布图与实际分布图的对比分析得到以下模拟效果分布图:

4.3 结果分析

根据本公式演变出来的模拟结果与真实的 TSP 分布图较好的相似性, 能够较好的模拟空气悬浮物在地理空间的分布情况。从空气悬浮物图和绿地分布图上可以明显看出绿地分布和空气悬浮物之间存在着很大的相关关系。在绿地集中分布的区域悬浮物的浓度明显低于绿地稀疏的区域。空气悬浮物的浓度不仅与地表绿地的总面积有关而且与分布也有关系, 连续集中分布的绿地降尘效果明显好于零散分布的绿地; 木本植物的降尘效果好于草本植物的, 这和其他方面的测试结果相一致 [11]。



图 4 模拟效果较好区域

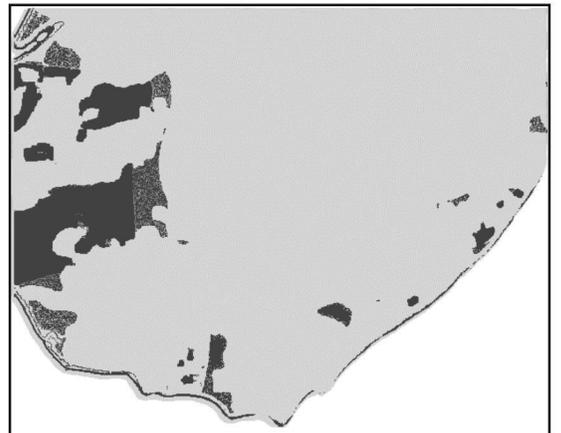


图 5 模拟值比实际值高区域



图 6 模拟值比实际值低区域

从结果分析图上也可以看到部分区域的模拟效果不是很好。这是主要由两个原因造成: 首要原因是空气是流体,

相邻区域之间的流动必然会对实际 TSP 分布造成影响,本模型在小风静风的情况下能够有更好的模拟结果^[12, 13],其次是因为真实的 TSP 分布图本身是使用插值生成的,因原始采样点较少,本身也不是很精确。

图 5 所示模拟值比实际值高的区域,是因为厦门岛三面环海其 TSP 分布受到海洋气候的影响,TSP 浓度高的陆地空气和 TSP 浓度低的海洋空气,使得同样地地表环境的情况下沿海地区的实际 TSP 密度值低于理论的 TSP 密度。

图 6 所示的模拟值低于实际值的区域,是因为在大面积的其他类型用地中出现了一片水域。而实验中用到的 TSP 分布数据是从比较稀疏的 6 个点数据插值生成的,不能很好的表现细部。因此在非连续的和某大块连续的土地类型之间出现其他类型的用地类型时,模拟值与原始值会有差别较大。

参考文献:

- [1] 马蔼乃. 遥感信息模型[M]. 北京: 北京大学出版社, 1997. 15- 21.
- [2] 雷孝恩, 张美根, 韩志伟, 等. 大气污染数值预报基础和模式[M]. 北京: 气象出版社, 1998. 1- 13, 29- 33.
- [3] 厦门市环境保护局. 1999 年厦门市环境状况报告[R]. 2000.
- [4] 厦门市环境保护局. 2000 年厦门市环境状况报告[R]. 2001.
- [5] 厦门市环境保护局. 2001 年厦门市环境状况报告[R]. 2002.
- [6] 厦门市环境保护局. 2002 年厦门市环境状况报告[R]. 2003.
- [7] 马蔼乃. 地理遥感信息模型[J]. 地理学报, 1996, 5(3): 266- 271.
- [8] 马蔼乃. 遥感信息模型与地理数学[J]. 北京大学学报, 2001, 7(2): 10- 15.
- [9] 马蔼乃, 邬伦, 陈秀万, 等. 论地理信息科学的发展[J]. 地理学与国土研究, 2002, 2(1): 1- 5.
- [10] 马蔼乃. 论地理科学[J]. 地理与地理信息科学, 2003, 1(1): 1- 4.
- [11] 栗志峰. 不同绿地类型在城市中的滞尘作用研究[J]. 干旱环境监测, 2002, 9(3): 162- 163.
- [12] 张仁泉. 小风和静风状态下 TSP 大气扩散模式的理论推导[J]. 中国环境科学, 1997, 2(1): 34- 36.
- [13] 邵天一. 宜昌城区绿地景观格局与大气污染的关系[J]. 应用生态学报, 2004, 4(4): 691- 696.

(上接第 242 页)

键。增加科技资金投入, 运用先进技术, 推广实用技术, 重点突破西部地区生态环境建设中的关键技术: 如抗旱节水、保水保墒林木等, 提高科技含量和生态建设的效益。科学技术是第一生产力, 只有依靠科学进步、技术创新, 才能在发展生产和经济的同时, 做到资源合理利用, 环境有效保护, 协调三者之间的关系。

5.4 加强法制建设

土地沙化后很难治理, 在保护的基础上防治沙漠化, 建立和健全各种法规体系并严格执法是防治土地沙漠化并使其逐步改善的一个重要保证。《防沙治沙法》、《草原法》、《水土保持法》等已经形成了较为配套的防治风沙法规体系, 在此基础上进一步完善相应的法律法规, 规范治理与开发行为。同时, 应加强法制宣传教育, 普及环境保护知识, 营造沙

参考文献:

- [1] 吴波, 慈龙骏. 50 年代以来毛乌素沙地荒漠化扩展及其原因[J]. 第四纪研究, 1998(2): 165- 166.
- [2] 刘爱民, 刘玉平, 慈龙骏. 毛乌素沙区的气候变化及人为活动特征分析[J]. 干旱区资源与环境, 1996, 10(4): 8- 14.
- [3] 吴薇. 近 50 年来毛乌素沙地的沙漠化过程研究[J]. 中国沙漠, 2001, 21(2): 164.
- [4] 王林和, 姚洪林. 沙地治理与利用的现实途径——毛乌素沙地中日合作研究综述[J]. 内蒙古林学院学报(自然科学版), 1995, 17(4): 1.
- [5] 王雪军, 杨建新, 孙玉军. 晋陕蒙接壤地区沙地空间分布及其变化研究[J]. 干旱地区农业研究, 2003, 21(1): 100.
- [6] 郝高建, 赵先贵, 赵昕. 毛乌素沙地南缘土地沙漠化防治中的新思路——以靖边县为例[J]. 宁夏大学学报(自然科学版), 2004, 3(1): 77- 80.
- [7] 高尚武, 等. 治沙造林学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1984.
- [8] 王治国. 关于生态修复若干概念与问题的讨论[J]. 中国水土保持, 2003, (10): 4- 5.

5 结语

以往对于空气总悬浮颗粒物的研究以往总是集中在使用空气运动的方法, 并由此提出了统计理论, 相似理论, 漩涡扩散或 K 理论等理论方法来^[2]。而本文在分析空气总悬浮颗粒物来源的基础上, 利用遥感信息模型的理论和方法, 提出了一种新的空气总悬浮颗粒物的预测模型。本文希望能够从环境地理方面入手来研究和预测空气总悬浮颗粒物的分布和密度情况, 并根据理论推导出了预测模型的基本公式, 而且有良好的拟和效果。但由于原始测量数据的不足, 导致模型中的地理常数因子不能精确的确定, 故根据模型所得到模拟分布图与实际分布图还不能完美的拟合。下一步通过更精确的数据测量和更大规模的试验应用应该能够得到更完善的模型和更好的模拟结果。

漠化防治的良好法律氛围, 使造林、护林变成群众的自觉行为。

6 结语

毛乌素沙地是我国北方农牧交错地带, 经过历史的发展, 逐步由生态良好区退化为现在的生态脆弱区。研究本区的生态修复制约因素、建设现状与问题, 提出合理的修复对策, 对于本区乃至其他沙区, 都具有现实推广意义。本文通过分析, 提出本区生态修复建设的 4 条对策: 一是生态修复必须符合自然规律, 我们所设计的生态修复系统, 最终验收者是大自然, 而不是人类; 二是学习、总结并推广治沙经验; 三是采用高科技, 提高生态环境建设的科技含量; 四是加强法制建设。