

# GIS 支持下非点源污染模型应用分析

周慧平, 许有鹏, 葛小平

(南京大学 城市与资源学系, 江苏 南京 210093)

**摘要:** 地理信息系统(GIS)具有强大的空间数据分析和可视化能力,可以反映非点源污染空间分布特性,将它与非点源污染模型结合可大大减轻非点源污染模拟难度。介绍了国内外非点源污染的研究现状,结合 USEPA 开发的 BASINS 系统及 PLOAD 模型,从数据的输入、模型参数的提取、结果的可视化 3 个方面分析了 GIS 在流域非点源污染研究中的应用,并以浙江省剡江流域为试验区进行了模拟,为此方面的研究提供了一定的借鉴。

**关键词:** 非点源污染; 流域; 负荷; GIS

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2003)03-0060-04

中图分类号: X52

## Application and Analysis of GIS-Based Non-point Source Pollution Model

ZHOU Hui-ping, XU You-peng, GE Xiao-ping

(Department of Urban and Resource Science, Nanjing University, Nanjing 210093, Jiangsu Province, China)

**Abstract:** The Geographic Information System (GIS) has the strong abilities of spatial data analysis and visualization. It can reflect the spatial distribution of the non-point source pollution. Integrating GIS with the non-point source pollution model can greatly reduce the difficulty of non-point source pollution modeling. The current situation of non-point source pollution study in China and abroad is summarized. Combing the BASINS system and the PLOAD model developed by USEPA, the application of GIS in the study of non-point source pollution in watersheds is analyzed from the three aspects of data input, parameter extraction and result visualization, and is simulated at the Yanjiang watershed in Zhejiang province as a case study. This analysis could provide some use for reference in this field.

**Keywords:** non-point source pollution; watershed; load; GIS

非点源污染是通过降雨径流的淋溶和冲刷作用,使大气中、地面和土壤中的污染物进入江河湖泊、水库、海洋等水体,引起水体悬浮物浓度升高,有毒有害物质浓度增加,水体富营养化和酸化等水体污染现象。当前,农业的发展和不断推进的城市化进程,加大了土地利用的强度,农用化肥及农药的使用量急剧增加,水环境非点源污染问题日益突出。非点源污染具有不同于点源的时空变化的特点及复杂的过程造成其监测和控制相当困难,目前一般应用水文和水环境模型相结合来模拟和评价非点源污染,这已经成为我国水环境污染研究中亟待深入探讨的课题。

### 1 国内外研究现状

非点源模型是以流域(单个流域或多流域)为研究单元,研究各非点源污染物进入地表水、地下水系统的方式、强度等特性规律。目前,国外在非点源污染领域的研究已经相当广泛<sup>[1]</sup>。非点源污染模型软

件也从单一的评价工具向综合的专家系统发展,为非点源污染的研究、控制提供了前所未有的方便。

非点源污染研究需要综合描述、分析和显示各种空间信息,但以往的非点源模型在对环境过程空间特性的描述、对空间数据操作及对模拟结果的显示方面都比较困难。而空间分析和空间数据管理及多方式显示查询正是地理信息系统(GIS)的优势所在。两者在研究对象及功能上的相似性与互补性<sup>[2]</sup>,使得它们相结合的应用研究成为近年来环境模型研究中新的生长点。国外已经较早地开展了 GIS 技术在非点源污染负荷定量计算、管理和规划中的应用研究,并将卫星遥感技术作为全新的获取数据的手段进行了许多尝试<sup>[3,4]</sup>。

我国的非点源污染研究起步较晚。在 20 世纪 80 年代,仅是对非点源和区域径流污染的宏观特征与污染负荷定量计算模型的初步研究<sup>[5,6]</sup>。20 世纪 90 年代该项研究较为活跃,在农业、城区非点源污

染,大气沉降、生物污染方面都有一定的进展<sup>7]</sup>。但由于缺少长系列的水文水质监测数据等资料,很大程度上影响了非点源污染研究工作的深入。在地理信息技术兴起的今天,我国将 GIS 应用于非点源污染模型的研究甚少,实际工作中多数采用国外应用较为成熟的模型及应用软件。本文尝试汲取国外在这方面成功的经验,将模型应用于国内的非点源污染管理。

## 2 GIS 在非点源污染模型中的应用

地理信息系统是一个处理地理空间数据,包括数据的采集、存储管理、查询分析,并可进行辅助决策的计算机系统。利用 GIS 可以采集、管理大量的环境数据,特别是以最新的卫星遥感技术快速获取的大量可视化数据,并且能够实现空间数据的多种投影转换,并按照模型的需要以不同的比例尺、不同的精度、不同的投影方式传递给环境模型。GIS 的分层处理数据的功能及领域分析、叠加分析、缓冲区分析等空间分析功能可极大地方便非点源污染的模拟、预测和管理决策。GIS 可以对模型运算的结果进行综合处理,输出图形、数据报表,并可进行相关的空间数据和属性数据间的互动查询。

BASINS (Better Assessment Science Integrating Point and Nonpoint Sources)是由 USEPA 开发的一个模型系统,可以对多种尺度下流域的各种污染物的点源和非点源进行综合分析,是一个基于 GIS 的流域管理工具<sup>8]</sup>。BASINS 把使用的地形数据、环境背景数据、监测数据,以及与其相关联的水质分析评价工具都集成于以 ArcView 为平台的 GIS 环境下,使对流域的评价研究过程具有整体性,其效率显著优于传统研究方法。BASINS 的用户界面包含了标准 ArcView 界面的所有的菜单、按钮和工具条,这些标准的部件提供了 ArcView 的数据查询,空间分析以及地图输出工具,其它特有的评价模型则由 BASINS 的扩展模块来运行。BASINS 包括的模型工具有:稳态水质模型 (QUAL2E)、流域模型 (HSPF, SWAT)、污染物负荷模型 (PLOAD)。运行时通过把所需的数据转化成 ArcView 环境下相应模型能够利用的数据形式,然后通过动态链接传递给 GIS 环境下的评价模型进行模拟运算,模拟的结果返回到 ArcView 中并通过数据表格,统计图表及专题地图的方式显示、输出。BASINS 系统一个比较突出的特点是所有的数据都由 ArcView 统一管理,不同的模型使用同一数据源,避免了数据使用的重复冗余和误差;另外 ArcView 成为所有模型及其它工具使用的共同界面,极大地方便了用户使用整个系统及其各种工具。

PLOAD<sup>9]</sup>是 BASINS 系统中用来计算非点源污染负荷量的模型,主要分析流域非点源的年负荷量情况,模型运行框架如图 1。

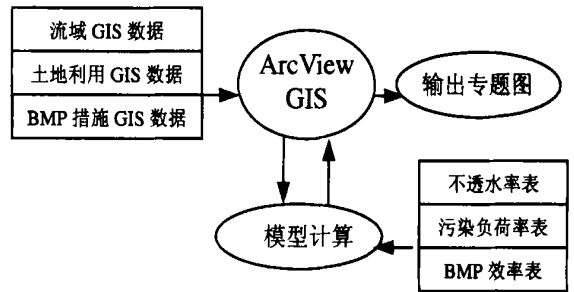


图 1 PLOAD 模型系统框架

### 2.1 模型数据的输入

PLOAD 模型所需的数据分为 GIS 数据和表格形式的数据,输入的数据是以文件的方式传递给模型进行计算的。如: ArcView 的 shapefile 文件和 Excel 数据表。GIS 数据包括流域边界数据和土地利用类型数据。流域的边界决定了计算污染负荷的范围,土地利用方式是影响非点源污染的关键因素, PLOAD 在计算负荷量时是以不同土地利用类型进行分类计算的。此外,对于有“最佳管理措施(BMP)”的区域,还可增加 BMP 数据。对各个流域、各个土地类型及各类 BMP 措施都必须用惟一的一个 ID 码来标识。PLOAD 可将流域图、土地利用类型图及 BMP 措施类型图进行叠加,计算出各个流域下各种土地类型和实施 BMP 的面积。

表格数据主要包括污染负荷率表,不透水率表和 BMP 效率表。污染负荷率数据通过对文献资料和流域降雨监测数据分析而获取。表中土地利用类型 ID 必须与图形数据中的图元 ID 一一对应。不透水率表确定各种土地类型下的不透水百分数。BMP 效率表确定各种 BMP 措施下的污染负荷削减率。PLOAD 可以计算各种污染物的负荷,包括 TSS, TDS, BOD, COD、氮、磷等。

### 2.2 污染负荷的计算方法和参数提取

PLOAD 对流域的年污染负荷计算有 2 种方法:输出系数法和简易法。输出系数法的计算如下(单位已从英制转换为公制):

$$L_P = \sum_U (L_{PU} \times A_U)$$

式中:  $L_P$  ——污染负荷 (kg);  $L_{PU}$  ——土地利用类型为  $U$  的污染负荷率 ( $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ );  $A_U$  ——土地利用类型为  $U$  的土地面积 ( $\text{hm}^2$ )。

简易法的计算如下:

$$R_{VU} = 0.050 + (0.009 \times I_U)$$

$$L_P = \sum_U (0.01 \times P \times P_J \times R_{VU} \times C_U \times A_U)$$

式中:  $R_{VU}$ ——土地利用类型  $U$  的地表径流系数;  $I_U$ ——下垫面不透水率(%);  $P$ ——降雨量(mm/a);  $P_J$ ——降雨产流率;  $C_U$ ——土地利用类型  $U$  下的污染物产出平均浓度(mg/L); 其它参数意义同上。

2.2.1  $R_{VU}$  和  $I_U$  径流系数  $R_{VU}$  是指降雨产生的径流量与降雨量之比。径流系数与雨强、土壤性质、土壤含水量、地表覆盖等因素有着重要的关系, 其中的下垫面因素可以综合为流域下垫面的不透水率  $I_U$  (%)。各种土地利用类型下的下垫面因素不同, 其透水性也不同。如土壤含水量及密实度的增加都将增大下垫面不透水率, 从而增大径流系数, 而植被可以增加下渗量, 减小径流系数。 $I_U$  的取值可以借助图形叠加、对应属性数据计算等流域 GIS 工具辅助确定。模型计算时, 该数据从不透水率表中读取。

2.2.2  $C_U$  和  $L_{PU}$  值  $C_U$ ,  $L_{PU}$  值分别是 2 种计算方法下的污染负荷率。 $L_{PU}$  为某种土地利用类型下单位时间和单位面积的污染物负荷量, 而  $C_U$  为单位径流量下的污染物负荷量。这 2 项数据可通过在各个土地利用类型下, 实测降雨—径流数据, 分析水质—水量关系获得。模型计算数据来源于污染负荷率表。

2.2.3  $A_U$  各个土地利用类型的土地面积  $A_U$  由流域边界图和土地类型图叠加后, 通过 GIS 自动计算获得, 并由系统将其存放于属性数据表中供模型计算时读取。其它参数  $P$  和  $P_J$  值由用户通过对话框直接输入模型。

“最佳管理措施(BMP)”是预防和削减非点源污染负荷最有效的实际措施, 在控制非点源污染中占有极为重要的地位。USEPA 将其定义为:“任何能够减少或预防水资源污染的方法、措施或操作程序, 包括工程、非工程措施的操作和维护程序”。现已提出的“最佳管理措施”有: 少耕法、免耕法、综合病虫害防治、防护林、草地过滤带、家畜粪肥大田合理施用、人工水塘和洼地等方法 and 措施<sup>[10]</sup>。对于有使用 BMP 的流域, PLOAD 提供一个可选项对上式的计算结果  $L_P$  进行修正。流域采取 BMP 措施的面积占全流域面积的百分比为:

$$A_{SBMP} = A_{SBMP} / A_B$$

式中:  $A_{SBMP}$ ——采取 BMP 措施的面积占全流域面积的比值(%);  $A_{SBMP}$ ——采取 BMP 措施的面积( $\text{hm}^2$ );  $A_B$ ——流域的总面积( $\text{hm}^2$ )。采用 BMP 措施区域的面积及流域的总面积从 BMP 及流域的 GIS 数据中提取。则采用 BMP 措施区域产出的污染物负荷量为:

$$L_{BMP} = (L_P \times A_{SBMP}) \times (1 - E_{FFBMP}/100)$$

式中:  $L_{BMP}$ ——采用 BMP 措施区域的污染物负荷量(kg);  $E_{FF}$ ——BMP 措施的污染负荷去除率(%). 由以上可知, 最终的污染负荷量  $L$  为有 BMP 措施区域产出的量与无 BMP 措施区域产出量之和。

$$L = \sum_{BMP} L_{BMP} + L_P \times [(A_B - \sum_{BMP} A_{SBMP}) / A_B]$$

BMP 措施及效率表中的数据可以从相关文献资料或通过分析当地的实际监测数据, 比较输入与输出 BMP 措施区域的污染负荷量而获得。

### 2.3 计算结果的输出

GIS 用于非点源污染模拟可以将模拟的结果在空间特性上进行可视化输出, 加强了用户对结果的空间分析能力。PLOAD 可以应用户需求输出各种形式的专题地图及相应的数据表, 如流域污染负荷总量分布图及数据表。地图以不同的颜色、深浅程度或不同的条纹图案表示污染物的负荷量范围, 并可以自定义图形输出的各种效果。

PLOAD 是一个基于 GIS 的流域非点源污染负荷模型, 它的计算方法简单, 易于理解, 对模型的操作简便, 而且计算结果可视化效果好, 易于进行查询、统计分析, 可用于城市用地、农业用地和未开发地的非点源污染预测和管理。

## 3 模型实例研究

基于 BASINS 系统及 PLOAD 模型的方法, 本文在 MapInfo 环境下, 选取浙江省奉化江主流剡江江口站上游流域作为试验区, 应用 PLOAD 模型的计算方法对该流域的非点源 BOD 年负荷量进行了模拟计算, 应用 GIS 系统的空间分析能力基本实现了对流域数据提取、模型计算、结果显示的功能。在系统中按水系把该试验区分为 6 块较小的流域, 将流域图与土地利用类型图叠加后分别对各流域污染负荷进行了计算, 输出负荷量分布图, 并汇总为整个大流域的污染负荷总量。由于该地区未采取 BMP 措施, 因而在计算中未采用修正公式。计算采用的参数  $I_U$  和  $C_U$  值参照了 USEPA 在类似土地利用类型下的取值, 并根据当地的地理状况及社会情况(如人口密度较小, 土地利用强度不大)作了相应的调整。本文所采用的参数值如表 1 所示<sup>[9]</sup>。

表 1  $I_U$ ,  $C_U$  取值表<sup>[9]</sup>

项 目	林地	草地、灌木	种植地	城镇
$I_U / \%$	10.0	13.0	55.0	75.0
$C_U / (\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	4.0	4.2	4.5	7.0

由于该地区以丘陵为主,人为点源排放较少,因而非点源排放的污染物所占比重很大。据1992年该地区年平均降水量1929.85 mm,计算得到整个流域非点源BOD年产出总量为944.72 t,而根据流域出口断面年平均流量及实测BOD年平均浓度计算所得的BOD产出量为1014.43 t。图2所示的是水系分布和各小流域的非点源BOD年负荷分布情况及对应的负荷量值。如图中选中一小流域,即显示信息为“辟驻”,同时表中的相应记录也呈选中状态;相反,选中某条记录,图中的对应流域也会高亮度显示,由此实现地图与数据的动态浏览。

根据以上计算所用参数,对1997年的负荷量进

行检验。1997年平均降雨量1595.90 mm,由模型计算得BOD负荷量为781.24 t,由流域出口断面实测流量及浓度计算所得值为826.76 t,其结果基本上可以接受。以上计算分析得出的结果显示萧镇该年的BOD负荷量占整个流域负荷总量的比例最大,另外还可让GIS自动计算显示单位面积下的负荷率,并输出专题图。在应用该模型进行流域非点源污染管理中,可根据土地类型和利用状况等因素发生的变化进行模拟,对流域非点源污染负荷的变化趋势进行动态监测,根据模拟结果的可视化信息,可以有针对性地制定出减少非点源污染负荷的措施方案,提高流域非点源污染管理的能力。

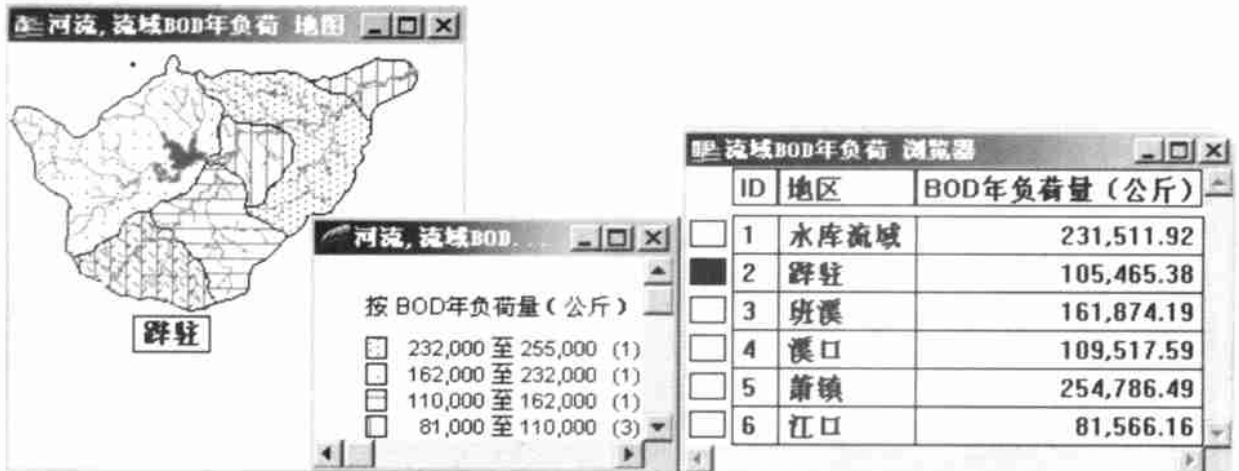


图2 流域非点源BOD年负荷分布图及负荷量

## 4 结论

在进行流域非点源污染模拟过程中,应用GIS技术获取数据、处理数据,进行空间分析,可大大减轻非点源污染模拟难度。应用上述GIS支持下的模型进行流域非点源污染管理,其方法是可行的,对于模型的精度是由各个图形数据及一些参数值(如 $I_U$ 和 $C_U$ )所决定,因此要求不同尺度下的图形数据达到一定的精度,并需要经过长期的实践检验以得出一个较为准确的参数值。随着对空间信息需求量的增加和更多廉价的桌面GIS软件的广泛应用,GIS支持下的非点源污染模型研究将会以更快的速度发展。毫无疑问,GIS将把污染物迁移模拟、获取数据、空间数据库纳入一个独立完整的系统来评价非点源污染。

### [参考文献]

[1] USEPA. Exposure Models Library and Integrated Model Evaluation System[R]. EPA/600/C-92/002, 1996.  
[2] 李本纲,陶澍.地理信息系统在环境模型研究中的应用

[J].环境科学,1998,19(3):87-90.

- [3] Cocbrane T A, Flanagan F C. Assessing Water Erosion in Small Watersheds Using WEPP with GIS and Digital Elevation Models[J]. Journal of Soil and Water Conservation. Forth quarter, 1999, 54(4): 678-685.  
[4] Carrubba Lee. Hydrologic Modeling at the Watershed Scale Using NPSM[J]. Journal of the American Water Resources Association, 2000, 36(6): 1237-1246.  
[5] 朱萱,鲁纪行,等.农田径流非点源污染特征及负荷定量方法探讨[J].环境科学,1985,6(5):6-11.  
[6] 刘枫,王华东,刘培桐.流域非点源污染的量化识别方法及其在桥水库流域的应用[J].地理学报,1988,43(4):329-339.  
[7] 李怀恩,沈晋,刘玉生.流域非点源污染模型的建立与应用实例[J].环境科学学报,1997,17(2):141-146.  
[8] USEPA. BASINS 3.0 User's Manual: System Overview[Z]. EPA-823-B-01-001, June 2001.  
[9] USEPA. PLOAD 3.0 User's Manual[Z]. January, 2001.  
[10] 贺缠生,傅伯杰,陈利顶.非点源污染的管理及控制[J].环境科学,1998,19(5):87-91,96.