

基于GIS的非点源污染的研究及应用*

代晋国¹, 王淑莹², 李利生², 李勇智¹, 武佃卫³, 杨忠山³, 彭永臻^{1,2}

(1 哈尔滨工业大学市政与环境工程学院, 哈尔滨 150091; 2 北京工业大学环境与能源工程学院, 北京 100022;

3 北京市水文总站, 北京 100038)

摘要: 非点源污染已经成为全球重要的环境问题, 数学模型是非点源污染研究的核心内容之一。本文阐述了GIS与非点源污染模型结合的意义及其必然性, 分析了两者结合的基本组成及集成方式, 并对两者不同集成方式进行了描述。分析了目前国内外的研究状况, 最后结合项目给出了GIS和非点源污染模型相结合的应用示例。

关键词: 环境工程; 非点源污染; 地理信息系统(GIS); 数学模型

中图分类号: X501 **文献标识码:** A

0 引言

随着工业和生活污染源等点源污染得到有效控制, 非点源污染已成为水体污染的主要因素。如在美国, 目前约有60%河流和50%湖泊的污染与非点源污染有关。在我国, 非点源污染的问题也日益严重, 太湖和滇池等重要湖泊, 非点源污染已成为其水质恶化的主要原因之一。

与点源污染(集中排放污水)相比, 非点源污染的主要特点有: 来源广泛以及不确定性; 发生机理复杂; 污染负荷时空变化幅度大; 监测控制和处理困难而复杂等。

利用数学模型可以有效解决非点源污染随机性和观测点的不确定性。数学模型可以模拟各类非点源污染的形式, 迁移、输出等过程。从而为水资源的合理开发和利用提供决策依据, 并使水环境保护的实施更加科学化、定量化, 非点源污染数学模型的研究一直是非点源污染研究的核心内容之一^[1]。

非点源污染模型的研究最早起源于20世纪60年代, 以美国著名的通用流失方程(Universal Soil Loss Equation, USLE)为代表。该模型属于经验模型, 与SCS径流方程相结合, 在径流和土壤侵蚀预测方面起到了重要作用, 该模型的缺点是数据资料收集困难且可靠性差。随着计算机的出现以及发展, 相继出现了一些著名的机理模型。如CREAMS模型、SWAT模型、AGNPS模型。这些模型的研究着眼于对非点源污染物理化学过程的研究和非点源过程的广泛监测。20世纪90年代, 计算机及地理信息系统(Geographic Information System, GIS)的发展为GIS和非点源数学模型的结合研究非点源污染开创了一个崭新的阶段。

1 GIS环境下的非点源污染数学模型

1.1 GIS在非点源污染研究中的重要性

美国通用流失方程(USLE)以及逐渐发展起来的ANSWERA、SWAT和ANGPS等非点源污染模型对环境问题的描述都比较精确, 但在实际应用中却受到了诸多因素的限制。1) 由于非点源污染的发生与土壤类型、土地利用、地形以及气

候等景观特征有密切的联系, 因而在非点源污染模型模拟的过程中涉及大量的复杂参数。同时对参数的管理方面也出现了一定的困难。2) 传统非点源污染模型模拟结果一般以表格形式输出, 限制了数学模型的应用。GIS是一个以具有地理属性的空间数据位为研究对象, 以空间数据为核心采用空间分析发放和空间建模, 适时提供空间的和动态的资源和环境信息, 为科研、管理和决策服务的计算机系统。具有较强的数据处理功能, 能够很好地对数据进行生成、组织和管理。极大地减轻了一些环境模拟中花费高、劳动强度大的弊端。

GIS和非点源污染分属两个不同的领域, 但它们之间具有共同的空间概念, 从而可以使两者有机结合起来^[2]。将GIS应用于非点源污染控制模型将大大促进非点源污染模型的研究。

GIS处理非点源污染有以下优点: 1) 数据动态更新快, 易实现数据共享, 结果显示形象直观; 2) 能对海量数据进行分析; 3) 易于比例间的转化; 4) 能够通过空间分析与统计, 方便地确定各参数的空间分布及参数间的空间相关性^[3]。

1.2 GIS与非点源污染模型的组成

GIS支持下的非点源污染负荷模型包括数学模型、GIS、数据资料三部分。

1) 模型

数学模型就是利用数学模式来模拟相关系统运行。非点源污染模型即采用一定的数学模式来模拟非点源污染物在环境中的物理化学过程。包括污染物的产生、迁移、归宿及评价其对地表水和地下水的影响。自对非点源污染模型的研究开始, 相继出现了大量非点源污染模型, 有经验模型USLE、RUSLE等, 也有CREAMS、ANSWERS、AGNPS等以研究区域内降雨径流、土壤侵蚀溶质迁移的机理模型等。

2) GIS

GIS以储存分析和显示空间数据和非空间数据的信息技术被广泛应用于各个学科领域中。在非点源污染研究中应用比较广泛的GIS软件包括Arc View、ARC/INFO、GRASS、IDR-SI、ERDAS等。

3) 数据资料

* 收稿日期: 2003-04-28

作者简介: 代晋国(1973-), 男, 助理工程师, 硕士研究生, 从事水污染控制研究; 王淑莹(1953-), 女, 副教授, 从事水污染控制研究。

基金项目: 北京市科技计划重点项目(编号: H012110010119)

数据资料是构成非点源污染模型的最基本组成部分。非点源污染模型最大的特点就是需要大量的空间数据来支持。由于非点源污染具有复杂性、广泛性等特点,因而获得满足非点源污染模型的数据比较困难。目前,非点源模型的数据资料主要来源于以下3个方面。a)实测法。包括在野外实测和监测,其缺点是周期长、费用高。现在遥感技术的发展为数据的获得提供了可靠的依据。利用遥感技术获得数据的方法包括电磁感应法、电阻层面X射线照相术、航卫片、地面穿透雷达法、核磁共振法、多普勒扫描法、红外线等。该方法由于地面工作支持不够目前还不成熟。b)参数估算法。即利用经验公式估算参数,该方法比较简单,但精度不高。c)利用现有的数据库。目前各国都在进行国家地理土壤等各种数据库的建设。如美国荷兰等国家已经建立了NATSGO(国家地图库)、STATSCO(各州地图库)、SSURCO(土壤普查地图库)等。当前两种方法行不通时,可以利用已有的数据库,不过由于受范围的限制,有些数据并不能完全满足研究的要求^[1]。

1.3 GIS在非点源污染研究中的应用形式

GIS在非点源污染研究中的应用本质上是GIS与非点源模型的结合问题。根据GIS和非点源模型结合程度,一般采用以下3种方式。

1)松散集成方式

该方式是GIS和模型单独开发,分别拥有自己独立的系统。GIS产生包括模型所输入数据的外部文本文件。模型则从这些文件中读取数据进行必要的分析计算。最后把结果输入GIS中,由GIS输出模拟结果。此结合方式最大的优点就是对系统的要求不高。且不需要改变模型的代码,当模型改变时,GIS不需要相应改变。缺点是由于在模型和GIS之间进行频繁的文件交换,使得潜在的误差较高,并且未能发挥GIS的函数功能。

2)部分集成方式

该方式是把数据管理包含在系统中。GIS和模型具有共同的用户界面,这种方式提供了模型和GIS的接口,使得数据可以自由调用,并且大大提高了数据的传输效率。从而降低了系统中文件的频繁交换和出错率。但是仍未能充分发挥GIS的函数功能。

3)完全集成方式

该方式是把模型和GIS完全集成,或是把模型嵌入GIS中或把GIS嵌入模型中。这种方式不仅使模型和GIS分享同一用户界面和同一数据库,同时还共享了内存,从而能够较快地总结出非点源污染状况。优点是不仅充分利用了GIS的函数功能。而且使模型本身成为GIS分析功能的一部分。但在该集成中,模型和GIS两个系统必须使用共同的标准化计算语言编程(如C语言),从系统底层做起,从而使其代价很大^[5]。目前还没有见到完全集成的方式。但从目前GIS的发展趋势来看,GIS软件化以及二次开发能力的发展,使完全集成变得相对容易。

目前在实际应用中常见的是松散集成方式、部分集成方式,尤其是部分集成方式是目前GIS和非点源污染模型集成的主流。

1.4 国内外研究现状

20世纪80年代开始出现了GIS和非点源污染模型的集成,到了90年代,GIS在非点源污染模型的应用开始了大量的

研究。一些比较著名的非点源模型如AGNPS、WEPP、SWAT都与比较著名的GIS软件如Arc View、GRASS、IDRISI进行了不同程度的集成,并在不同地区对不同非点源污染的研究中得到应用。如Tim和Jolly^[6]利用ARC/INFO与AGNPS模型采用部分集成对流域内的产沙量、侵蚀模数和径流泥沙含量进行了分析。Srinivasan和Engel^[7]对GIS进行了二次开发,实现了GRASS软件和AGNPS模型的部分集成。Darcy^[8]利用GRASS和USLE模型集成对丘陵地带进行了土壤的侵蚀估算。Tim等应用两种简化的污染物输出模型和GIS结合对弗吉尼亚州土壤侵蚀沉积物和磷的运输总量进行了模拟。2001年美国农业部研究所推出了以SWAT模型和Arc View集成的模型软件包,可以利用Arc View的栅格图和表直接显示SWAT模型的输入数据。

我国也有一些专家和学者进行了GIS和各种不同非点源污染模型的集成应用。于苏俊等^[9]利用GIS和AGNPS的结合对绵阳官司河流域农业非点源进行了研究。王宁^[10]用ARC/INFO和USLE方程对吉林松花湖流域土壤及非点源污染物的流失量进行了定量描述,得出污染物流失的危险发生区,得出各地理要素的空间分布并分析了其相互关系。刘枫^[11]应用GIS和USLE对桥水库流域采用量化识别的方法进行非点源污染物发生模数计算,研究了污染物发生量的时空分布规律和污染物的重点发生区域。董亮^[12]以ARC/INFO对西湖流域非点源污染研究做了探索,建立了西湖流域非点源污染信息数据库,为西湖流域非点源污染研究提供了基本的数据平台。史志华等^[13]通过RUSLE和IDRISI进行数据分析,获得小流域土壤侵蚀的时空分布信息。王少平等^[14]基于GIS平台建立了非点源污染信息数据库并对苏州河非点源污染总量进行了研究。徐天蜀^[15]在珠江上游九溪河小流域采用USLE为评价模型以Arc view 3.2为分析平台,对小流域进行了土壤侵蚀评价。

综合来看,大量的在对GIS环境下非点源污染研究模型的结合中,大部分采用松散集成和部分集成的方法,从非点源污染产生的机理出发,对非点源污染从不同的角度进行定量分析,以其对非点源污染的防治提供有力的依据。就集成方式的应用而言,国外采用的部分集成多一点,国内多采用松散集成。

1.5 GIS和非点源污染模型结合的发展趋势

目前,随着以GIS为核心的遥感技术(RS)、全球定位系统(GPS)的发展,3S技术与非点源污染模型结合成为未来非点源污染研究的必然趋势。GIS的发展使其空间信息管理的综合分析能力得到不断增强。RS以多时段、多光谱、大范围监测和灵活的空间统计能力,为数据资料的获得提供了一种经济有效的方法,同时对非点源污染模型参数的输入保持了时空的连续性。GPS具有精度高、速度快、全天候、自动化程度高等优点。对数据采集点、污染物监测点和遥感信息中心的特征点进行实时的、快速的精确定位并提供地面高程模型,以便形成信息进入GIS。3S技术与非点源污染模型的结合必然为非点源污染的定量化研究提供广阔的前景。

2 GIS和非点源污染模型集成应用示例

北京市重大项目“密云水库富营养化”子课题“水库周边营

污染对水库的影响。

课题研究区域为密云水库周边(不包括水库)地区 420 km²,在研究过程中借助 GIS 技术,在 ERDAS 软件的支持下,将流域内地形、土壤以及土地利用类型等各种地理因素通过资料收集整理后进行处理,建立空间与属性数据的统一框架,实现了流域内复杂地理环境的模拟,结合美国通用流失方程估算不同土壤利用类型下土壤流失量和氮、磷元素的负荷量。技术流程见图 1。

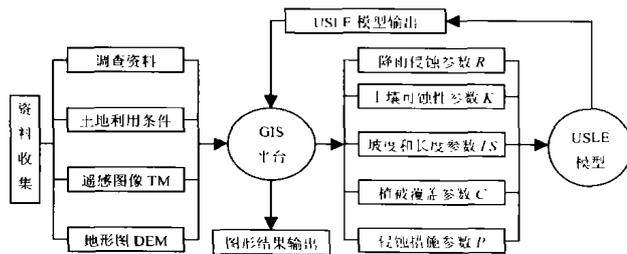


图 1 土壤侵蚀估算流程图

Fig. 1 Estimation of soil erosion flow chart

3 结语

GIS 在非点源污染研究中的应用,不仅可以方便地进行参数的输入,而且也可以将模型分析结果以图形形式进行输出。更加直观、形象地计算出非点源污染的结果以及空间分布差异。3S 技术的综合应用能够对各种海量空间数据以及非空间数据进行分析和管理,必然使非点源污染的研究取得突破性的进展。

References(参考文献):

- [1] Ren Lei(任磊) and Huang Yanlin(黄廷林). The non-point source pollution model of water environment[J]. *J Xi'an Univ of Arch & Tech*(西安建筑科技大学学报), 2002, 34(1): 9~13
- [2] Wang Shaoping(王少平) and Chen Manrong(陈满荣). Application of GIS in researches on agriculture non-point source pollution [J]. *Agro-Environmental Protection*(农业环境保护), 2000, 22(6): 289~292
- [3] He Qiang(何强) and Wang Zengxin(王曾欣). Application of GIS in the control of Nonpoint-Source(NPS) Pollution[J]. *Chongqing Environmental Science*(重庆环境科学), 2002, 23(1): 24~26
- [4] Hu Xuetao(胡雪涛) and Chen Jining(陈吉宁). A study on non-point pollution models [J]. *Environmental Science*(环境科学), 2002, 23(3): 124~128

- [5] Li Shuo(李硕) and Zeng Zhiyuan(曾志远). A preliminary on integrating GIS and environmental model[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*(冰川冻土), 2002, 24(2): 134~141
- [6] Tim U S and Jolly R. Evaluating agricultural non-point source pollution using integrated geographic information system and hydrologic, water quality model[J]. *J Environ Qual*, 1994, (23): 25~35
- [7] Srinivasan R and Engel B A. Aspatial decision support system for assessing agriculture non-point sources pollution[J]. *Water Resources Bulletin*, 1994, (3): 441~451
- [8] Darcy K. Estimation of upland erosion using GIS[J]. *Computer and Geosciences*, 1998, 24(2): 183~192
- [9] Yu Sujun(于苏俊) and Gao Pingping(高平平). Research on agricultural non-point sources pollution based on GIS[J]. *Journal of South West Jiaotong University*(西南交通大学学报), 2002, 37(5): 593~596
- [10] Wang Ning(王宁). Applying GIS to the quantity study of runoff pollutants in watershed[J]. *Journal of Northeast Normal University*(东北师范大学自然科学学报), 2002, 34(2): 92~98
- [11] Chen Keping(陈克平) and Ning Datong(宁大同). GIS-based non-point source pollution model and terrain analysis on the topographic factor [J]. *Journal of Beijing Normal University Natural Science*(北京师范大学学报自然科学版), 1997, 33(2): 281~284
- [12] Dong Liang(董亮). Application of GIS to establishing non-point source pollution database in watershed: a case study[J]. *Journal of Zhejiang Agricultural University*(浙江农业大学学报), 1999, 25(2): 117~120
- [13] Shi Zhihua(史志华) and Cai Chongfa(蔡崇法). Soil conservation planning at small watershed level using GIS-based revised universal soil loss equation (RUSLE) [J]. *Transactions of the CSAE*(农业工程学报), 2002, 18(4): 172~175
- [14] Wang Shaoping(王少平) and Yu Lizhong(俞立中). The total quantity control of non-point sources pollution in shuzhou creek based on GIS [J]. *China Environmental Science*(中国环境科学), 2002, 22(6): 520~524
- [15] Xu Tianshu(徐天蜀). Evaluation of soil erosion based on GIS in a small watershed[J]. *Journal of Nanjing Forestry University Natural Sciences Edition*(南京林业大学学报自然科学版), 2002, 26(4): 43~46

A STUDY ON NON-POINT SOURCE POLLUTION UNDER GIS

DAI Jin-guo¹, WANG Shu-ying², LI Li-sheng², LI Yong-zhi¹, WU Dian-wei³, YANG Zhong-shan³, PENG Yong-zhen^{1,2}

(1 School of Municipal and Environmental Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150091, China;

2 College of Environmental and Energy Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100022, China;

3 Hydrographic Station of Beijing, Beijing 100038, China)

Abstract: This paper intends to discuss the necessity and significance of integrating non-point pollution source mathematic model with geographic information system (GIS for short). Generally speaking, the integration has been formed of three separate parts, including mathematic model, GIS and data, in which data is of the greatest importance and more difficult to be gathered. Current-

ly, data are usually obtained by remote sensing. However, the integration between GIS and non-point pollution source can be expressed in three different formats, that is, loose coupling, part coupling and whole coupling. To bring down the idea more vividly to the readers, the paper has given a simple and acute analysis of the three different formats and the current status at home and abroad. Finally, taking Miyun reservoir, Beijing, for example, the author shows how to apply the GIS in non-point pollution study. Non-point source pollution has been an important global environmental problem. Now, some lakes and reservoirs are threatened by it in many countries. Mathematic model is an essential tool to resolve it. Some mathematic models have been founded since 1960's, such as USLE, RUSLE, SWAT, AGNPS etc. GIS is an information system with powerful spatial analyzing capability. It can compile, storage, manage, analyze, display and apply geographic spatial information. With the development of GIS technology, application of GIS in study non-point source has become a new trend. Though they belong to different fields, they have common spatial concept. It made integration become possible.

Key words: environmental engineering; non-point source pollution; geographic information system; mathematic model

CLC number: X501 **Document code:** A

Article ID: 1009-6094(2003)06-0036-04

(*Journal of Safety and Environment* 2003, Vol. 3, No. 6)

本刊对参考文献的要求

参考文献应按照 GB 7714—87《文后参考文献著录规则》采用顺序编码制著录。依照其在文中出现的先后顺序用阿拉伯数字加方括号在右上角标出。

参考文献的作者, 1~3名全部列出, 作者之间用逗号隔开, 多于3人, 后加“et al”。作者著录应姓前名后, 姓、名首字母大写, 姓、名之间不用逗号。名可缩写, 不加缩写点“.”。

期刊刊名可以缩写, 不加缩写点。刊名缩写应遵循 ISO 4—1984《文献工作—出版物题名用语和题目的缩写规则》的规定。

未出版, 非正式、公开出版的书籍、刊不能作为参考文献。

为促进国际交流, 本刊要求作者提供中文参考文献的对应英文稿。

欢迎刊登广告 发布信息

本刊辟有信息广告页, 可以刊登: 产品信息、招生信息(硕士生、博士生及博士后)、招聘信息、会议和办班信息、展览信息、出版信息、设备仪器信息等。具体样式参看已出版的本刊信息广告页。

欢迎各位专家、学者、大专院校硕士生、博士生、教师和科研人员, 科研院所、工矿企事业单位科技工作者和管理者积极投稿, 也欢迎各单位利用本刊信息广告页介绍本单位概况, 向社会展示重大科研成果、学术动态、新产品、学术信息和管理经验。

中国(上海)国际洁净技术及 设备展览会

中国(上海)国际工业净水处理技术及设备展览会

2004年3月10—12日
上海世贸商城

电话: 021-54901782, 54904394
传真: 021-54904537
E-mail: yinzhan @ online. sh. cn
http://www. ying-zhan. com

第二届西部国际制冷、空调、冷冻 冷藏及通风洁净设备展览会

2004年西部制冷空调行业发展论坛
2004年陕西省制冷学会学术年会
2004年3月16—19日
西安国际展览中心

电话: 029-2254863, 2258697, 2253732
传真: 029-2253732
联系人: 席涛, 刘飞鹏
Http://www. westachv. com
E-mail: wzlz @ westachv. com