

# GIS 网络分析技术在河流水污染追踪中的应用

彭盛华<sup>1,2</sup>, 赵俊琳<sup>1</sup>, 翁立达<sup>2</sup>

(1. 北京师范大学环境科学研究所, 环境模拟与污染控制国家重点联合实验室, 北京 100875;

2. 长江水资源保护科学研究所, 湖北 武汉 430051)

**摘要:** 在分析河流水环境系统特征的基础上, 探讨了 GIS 网络分析技术在河流水污染追踪中的应用方法。主要内容包括数字化河系网络模型的建立、河流水环境数据库的建立与集成、河流水污染追踪应用的方法与步骤, 并以汉江流域河系为例, 进行了原型研究。

**关键词:** 地理信息系统; 网络分析技术; 河流; 水污染追踪

中图分类号: TP 79; X 522 文献标识码: A 文章编号: 1001-6791(2002)04-461-06

地理信息系统(GIS)是一种在计算机硬件和软件支持下,用于收集、存储、管理、分析、显示和更新地理实体的空间和非空间属性数据的技术系统。由于GIS具有强大的功能,在资源和环境领域得到了广泛的应用。一些GIS软件包如Arc/Info、ArcView和Intergraph等均提供了网络分析功能,用于处理现实中与网络有关的问题。GIS的网络分析功能通常被应用于优化资源分配、寻找最佳路径、确定最近的设施、生成旅行方向指示、确定商业服务机构的服务范围等。在与水问题有关的应用方面,黄诗峰等<sup>[1]</sup>曾将GIS的网络分析功能应用于蓄洪区灾民撤退方案的辅助制定,ZHOU等<sup>[2]</sup>曾利用GIS的网络分析功能改进农田排水模拟。但总体来说,在水问题领域目前研究成果还不多见。河流水系也是一种网络系统,这决定了GIS的网络分析技术在处理与河流网络有关的问题中也具有潜在的应用价值。本文将探讨GIS网络分析技术在河流水污染追踪中的应用方法。

## 1 河流水环境系统特征分析

河流水环境系统是一个以人类为中心,主要由河流、湖泊、水库等水体组成,同时包括影响水体的自然、社会和经济等众多因素及其相互作用的复合系统。在这个复合系统中,河流、湖泊、水库等水体通过流域水文循环将影响流域水环境的各种因子有机地联系起来。人类活动产生的污染物主要以点源和非点源等形式进入水体,是河流水环境污染的主要来源。人类从河流等水体中取水使用,利用后的水携带生产和生活废物,以点源废水的形式返回到水体中,完成水的社会经济循环。非点源主要与人类的土地利用活动有关,其产生的污染物在降水和地表径流的作用下,进入河流等水体。水是河流内污染物的主要载体。河流水的流动性使得

收稿日期: 2001-05-25; 修订日期: 2001-07-09

作者简介: 彭盛华(1964-),男,湖北英山人,长江水资源保护科学研究所高级工程师,北京师范大学环境科学研究所博士生,主要从事环境规划与环境影响评价方面的研究。

河流污染物能很快地得到扩散,减轻污染。然而,这一特征也使得水污染问题易于扩散,扩大水污染的影响范围。一旦某一河流出现水污染问题,特别是在由难以降解的物质造成的水污染情况下,其影响面往往较大,这就需要对河流水环境系统进行适时监控与管理。

地表水的汇流主要是在流域河系中进行的,河系是任何流域内有关水环境的最基本的地理特征。一个河系可概化为由不同的河段组成的树枝状网络。许多小河系按一定的关系可组成更大的河系。河系中湖泊和水库等面积较宽广的水体,亦可按其水流的中心线,概化为线状特征。向流域内河流等水体排污的点源、河流等水体的取水口以及水文、水质监测站等可概化为点状地理特征。非点源污染物来自面状区域,根据非点源的特征,可将一个大流域划分为若干个小流域,每个小流域代表一个非点源小区,这些非点源小区即可概化为面状地理特征。这样,就可以在GIS中以线状、点状、面状专题数据来表示与流域水环境及其管理有关的一些地理实体,其具体空间位置由地理坐标串或地理坐标点表示。

## 2 GIS网络分析技术在河流水污染追踪中的应用

### 2.1 河系网络模型的建立

将GIS的网络分析技术应用于流域水环境管理,需要建立数字化河系网络模型。其数据源为已有的普通地图,采用人工数字化方法输入GIS中,或直接购买包含所涉及流域的商品化数字地图。在普通地图和商品化数字地图中,湖泊和较宽的河流以多边形表示,建立河系网络模型时需要利用河流和湖泊的中心线。商品化数字地图一般分幅存放,当一条河流跨越两幅以上地图时,需要将有关的几幅地图作无缝拼接。

与道路等网络不同的是,在河系网络中特定的位置或特定的时段,具有固定的单一流向特征。因此,要构造数字化的河系网络模型,就必须按河系中水流的实际流向,定义河系网络中各河段的相互关系。CHEN<sup>[3]</sup>介绍了在ArcView GIS平台上建立河系网络中各河段关系的基本方法,即在数字化河系专题数据对应的属性表中增加一个“ONEWAY”字段,用以定义各弧段所对应河段的流向。“FT”表示水流方向与弧段数字化时的方向一致,“TF”表示水流方向与弧段数字化时的方向相反,“N”表示不允许水流向任何方向流动,任何其它值表示水流可向任一方向流动。

在实际应用中,河流网络中各河段之间的关系通常是很复杂的。在不同地貌类型地区,河系网络具有不同的特性。在山地丘陵区,河流系统一般呈典型的天然状态,并具有下述特征:任一个上游河段仅有一个下游河段与之相连;同一河段中不存在环流;一个河系只有一个出口。而在地势平坦的平原地区,由河流、渠道、湖泊等组成的水网纵横交错,随着水文条件的变化,水在河系中的流向也会发生变化。在人口稠密的平原地区,河、渠中水流行为还要受控于引水、排水和灌排设施的运用。河流水环境管理应用中,可根据各种控制设施的运用情况,实时地修改河系网络模型中各河段水流向之间的关系,使其真实地反映流域内水流的状态。

### 2.2 河流水环境数据库的建立与集成

上述河系网络模型中,只包括河道空间信息和部分属性信息,用这些信息可确定各河段的位置、水流向关系和任一点处的流域形状,但还不能满足流域水环境管理的需要。为此,还需补充河道特征和其它水环境影响因子的信息。

河道特征数据是河流水环境模拟所必须的参数。河道特征数据的获得必须经过大量的实地调查,掌握有河道地形图和大量的水文、水质监测资料,并对这些资料进行统计分析。河道特征数据项主要包括:河流名称、等级、河段长度、河流宽度、河床高程、比降、粗糙系数、河底物质、河岸物质、河槽类型、不同典型保证率下的流量、水深、流速、水力半径、湿周、河道断面形状、污染物降解系数、纵向离散系数等。可直接将其输入河系网络专题数据的属性表中,也可单独形成一个河道特征数据表,再通过河段代码将它与河系网络专题数据的属性表关联起来。

与流域水环境有关的其它数据主要包括:流域地形数据;土地利用数据;土壤类型及其理化性质;主要城镇名称、坐标、人口、人均日生活用水量、生活污水排放量、工业用水量、工业废水排放量、工业产值等;工业和城镇生活点污染源的名称、坐标、隶属行政区、接纳水体名称、所在河段标识码、距所在河段下游端距离、岸别、污染源类别、污染物种类、年排污量、排污方式、排污浓度、排污口形式、高程、处理率、达标率等;取水口名称、坐标、隶属行政区、供水体名称、所在河段标识码、距所在河段下游端距离、岸别、取水高程、取水能力、取水方式、取水量、取水用途、用水保证率等;涵闸、电排灌站的名称、隶属行政区、所在水体名称、所在河段标识码、距所在河段下游端距离、岸别、类别、底板或取水高程、用途、取水或排水能力、启用条件等;水文、水质监测站(断面)的名称、坐标、所在河名、所在河段标识码、控制面积、监测项目、监测数据等;气象站名称、坐标、气象观测数据;水环境标准数据;水域功能区划数据。在GIS中每类数据可作为一个专题数据层。这些数据的主要来源有:常规基础地图、各种专题图、电子地图、遥感数据、社会经济统计资料、环境质量报告书、水文水质年鉴、气象资料、实地调查等。

河系是流域水环境系统的纽带,它将影响流域水环境的所有因素联系起来。在GIS中,通过河系网络专题数据中的河段标识码建立索引关系,可将流域范围内所有与河流有关的水环境数据集成起来。其方法是:将河系网络专题数据对应的属性表中的河段标识码作为建立索引后的变量插入到其它数据文件中,就可实现这些数据的集成。通过集成,可建立这些数据专题之间的关系,分析它们之间的相互影响。例如,可将点源污染物排放数据、取水口数据和水质监测数据等集成起来,用于分析点源污染物排放对取水口水质的影响。而且,按河系网络模型规定的水文次序从相关的多个数据文件中获取参数特别适合于水质模拟,集成后的数据库可按水质模型所要求的同样次序提供模型所需参数。此外,利用GIS特有的空间数据集成和分析功能,也可确定不同数据专题之间的影响。

### 2.3 河流水污染追踪应用方法

河流水污染事故往往具有突发性,且影响范围大、后果严重。河流水污染事故应急处理和污染源追踪是流域水环境日常管理的重要内容之一。一旦发生水污染事故,要求区域或流域水环境管理部门能作出快速响应。综合利用GIS的空间数据集成和分析功能、网络分析功能,结合水质模拟技术,可对突发性水污染事故造成的污染及其影响情况进行模拟,以便及时确定受影响的范围和对象,采取相应的措施控制水污染事故造成的不利影响。

河流水污染追踪可分为污染源追踪和污染影响范围追踪。前者是当河流水质监测发现异常情况时应用;后者是在发生污染事故时应用。由于河流中的水流是在重力作用下从高处向低处流动,即从上游流向下游,因而,污染源追踪一般是向上游追踪,而污染影响范围追

踪则是向下游追踪。

(1) 污染物来源追踪 一般河流均建立水质监测站, 重要取水口也设有监测点。监测的主要目的是探测河流系统的水质变化情况, 间接对污染源进行监视, 同时, 也为流域内用水户提供水质信息。当一个水质监测站(点)的监测数据显示出水质有超标的趋势或已经超标时, 就可利用这一功能追踪潜在的污染源, 以便对造成水质变化的污染源作进一步分析, 提出控制措施, 防止水质出现超标。当监测数据指示水质突然出现急剧恶化时, 表明上游可能存在突发性排污, 利用向上游追踪功能, 快速定位潜在的污染肇事者, 为实地调查取证提供信息。由于水污染物既可来源于点源, 也可来源于非点源, 为了在水污染主要是由于非点源引起的情况下, 也能正确追踪出污染物的来源, 需要将非点源小区当作其所在小流域出口处的一个点源。将非点源小区进行点源概化时, 主要考虑非点源小区的面积、自然和社会经济地理特征、产污强度和产污类型等因素。

污染物来源追踪方法与步骤:

- ①若发现河流中某一断面(点)上某一或几个水质参数异常;
- ②以异常断面(点)为起点, 以起点与上游最近的一个正常断面(点)之间的距离为追踪距离范围, 利用 GIS 的网络分析模块找出向异常断面(点)汇流的所有河段;
- ③利用 GIS 的空间分析功能找出位于这些河段附近的所有污染源;
- ④根据水质异常参数对检索出的污染源进行筛选;
- ⑤对筛选出的污染源排污负荷进行分析, 对其产生突发性污染的可能性进行排序;
- ⑥对可能性大的污染源进行实地调查与处理。

在大江大河中, 点源通常在排污口附近的下游形成岸边污染带。大江大河的水质监测断面通常分左、右岸两点或左、中、右岸三点采样。大型水厂的取水口监测点通常也分布在岸边。由于在点源数据文件中包含有各点源所在的岸别信息, 当某一岸别的这些采样点监测数据指示出现水质污染情况时, 仍可利用 GIS 的网络追踪技术, 搜寻到同岸别上游的潜在污染源。

(2) 污染影响范围追踪 河流是工农业生产和人民生活的重要水源地。一旦河流发生突发性污染事故, 会对沿岸工农业生产和人民生活造成严重的影响。当河流发生突发性污染事故时, 流域或区域水环境管理部门在接到水污染事故报告后, 需要尽快确定污染的影响范围、过程及影响对象, 以便采取应急措施。在发生污染事故时, 先利用与 GIS 集成的河流系统水质管理模型预测出污染事故可能影响的河段总长度, 然后, 利用 GIS 的网络分析和空间分析功能, 可快速搜寻出下游将受影响的所有用水户。此外, 还可根据水流通过各河段所需的时间, 显示出不同时段受影响的河段及用水户。这样, 就可及时地对污染情况作出预测和预报, 并通知将会受到影响的用水户, 采取相应的应急措施。

污染影响范围追踪方法与步骤:

- ①若河流上某一位置发生突发性污染事故时, 管理部门即得到污染物种类、排放量、排放方式等方面的情况汇报;
- ②采用合适的河流系统水质管理模型模拟下游河段受影响的范围和过程;
- ③根据水质模拟结果, 采用 GIS 的网络分析功能找出受影响的下游所有河段;
- ④采用 GIS 的空间分析功能找出位于这些河段上的所有用水户;
- ⑤根据水流流经各河段所需的时间, 采用 GIS 的网络分析功能分析在不同的时段, 污染锋

面的位置和受影响的用水户;

⑥根据分析结果,及时通知下游用水户采取应急措施,防止污染造成的不利影响扩大化。

### 3 应用实例

按上述方法,以 ArcView GIS 为平台建立了汉江流域河系网络模型,以及包括污染源、取水口、水质监测站等众多信息的水环境数据库,已能实现河流污染物来源和去向追踪功能。图 1 中所显示的结果是以水质监测异常断面为起点,向上游追踪 100 km 范围内污染源时的情况。先利用 GIS 的网络分析功能确定上游 100 km 以内向起点汇流的所有河段,然后利用 GIS 的空间分析功能确定这些河段附近的所有污染源。在此基础上,再根据水质异常指标,利用 GIS 的复合查询功能可从上述选定的所有污染源中进一步筛选可能超标排污的污染源。图 2 中所显示的结果是以污染事故发生地为起点,向下游追踪 100 km 范围内污染影响对象的情况。先利用 GIS 的网络分析功能确定事故点下游 100 km 范围以内的河段,然后利用 GIS 的空间分析功能确定这些河段附近的所有用水户。

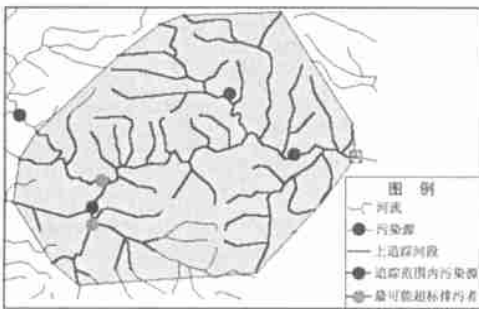


图 1 利用 GIS 网络分析功能追踪河流污染物来源示意

Fig. 1 Illustration of tracing pollution sources by using GIS network analysis

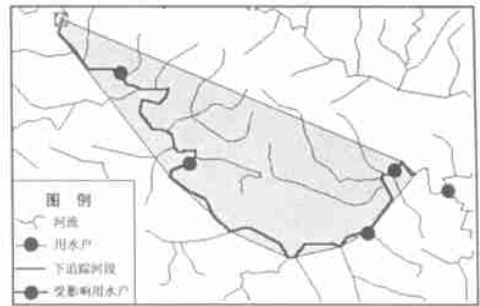


图 2 利用 GIS 网络分析功能追踪河流污染影响示意

Fig. 2 Illustration of tracing pollution effects by using GIS network analysis

### 4 结 语

河流是人类生产和生活的重要水源地,其水质和污染源管理是流域水环境管理的重要内容。一个流域内的所有河流组成了一个河系网络。通过在 GIS 中建立流域河系网络模型,并以河段为纽带,将污染源、水质监测站、取水口等信息集成后,就可利用 GIS 的网络分析功能对河流水污染源和突发性水污染事件的影响范围进行追踪,以提高河流污染源管理的效率,保障流域水环境安全。

参考文献:

- [1] 黄诗峰,魏一鸣,杨存建,等. 灾民撤退网络流模型及其 GIS 模拟技术[J]. 自然灾害学报, 1998, (3): 65-70.

- [ 2 ] ZHOU Q, *et al.* Development of a GIS network model for agricultural water management in a floodplain environment [ A ]. In: Proceedings of international conference on modeling geographical and environmental systems with geographical information systems[ C ], Published by department of geography, The Chinese University of Hong Kong, 1998. 179– 189.
- [ 3 ] CHEN Z. A hydrographic network database of China (HNDC) for simulation of hydrographic models[ A ]. In: Proceedings of international conference on modeling geographical and environmental systems with geographical information systems[ C ]. Published by department of geography, The Chinese University of Hong Kong, 1998. 716– 721.
- [ 4 ] Djokic D, Maidment R. Application of GIS network routines for water flow and transport[ J ]. *J Water Resour Plng and Mgmt*, 1993, ( 2 ): 229– 245.

## Application of GIS network analysis technology to river water pollution tracing

PENG Sheng-hua<sup>1, 2</sup>, ZHAO Jun-lin<sup>1</sup>, WENG Li-da<sup>2</sup>

( 1. *Institute of Environmental Science, Beijing Normal University, State Key Joint Laboratory of Environmental Simulation and Pollution Control, Beijing 100875, China*; 2. *Research Institute for Yangtze Water Resources Protection, Wuhan 430051, China* )

**Abstract:** River is an important water source for human living and production. Management of its water quality and pollution sources is one of the major tasks of river basin management of water environment. All rivers in a river basin form a river network. Some kinds of GIS software provide a module specially for solving network-related issues. Based on an analysis of the features of river water environmental system, this paper studies the method of application of GIS network analysis technology to river water pollution tracing, which include establishment of digital river network model and river water environmental database, integration of associated with river water environmental data, and implementation of river water pollution tracing. In addition, a prototype study has been carried out in the Hanjiang River basin.

**Key words:** geographical information system; network analysis technology; river; water pollution tracing