

水环境模型与水环境模型库管理*

李本纲, 陶 澍, 曹 军

(北京大学城市与环境学系, 教育部地表过程分析与模拟重点实验室, 北京 100871)

摘要: 以美国公开发表的 92 个水环境模型为例, 对地表水质模型、地下水质模型和非点源模型的主要功能和使用范围进行了分析。针对水环境模型研究和应用中的问题, 提出了利用地理信息系统进行水环境模型库管理的概念, 并阐述了建立水环境模型库管理系统的基本思路和方法。

关 键 词: 水环境模型; 地理信息系统; 模型库; 管理

中图分类号: X 22; TV 213.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-6791(2002)01-0014-07

随着计算机技术的发展, 推动了水环境模型研究的不断深入, 并出现了大量应用模型软件。由于水环境模型不仅要模拟水动力过程, 还要描述各类化学物质在水环境中的运移转化, 其中涉及到许多物理、化学和生物过程, 所以水环境模型大都比较复杂。不同的研究部门和模型软件开发者在软硬件环境、数据结构、模型的精度等方面有较大差异, 使得许多水环境模型功能参差不齐, 模型间的连结和比较非常困难。虽然有大量应用模型, 但在解决实际问题时要找合适的模型却又十分困难。如何管理和使用水环境模型成为一个亟待解决的问题。本文在广泛分析各类水环境模型的基础上, 探讨建立水环境模型库的原则和方法, 并提出了水环境模型库管理系统的基本结构。

1 水环境模型

根据研究对象可将水环境模型分为地表水模型、地下水模型及非点源模型三类。美国环保署(USEPA) 1996 年在 EML/ IMES(Exposure Models Library and Integrated Model Evaluation System) 中发布了近年来美国公开发行的 92 个计算机水环境模型软件。其中地表水质模型 30 个, 地下水水质模型 33 个, 非点源模型 29 个^[1]。

1.1 地表水模型

地表水模型主要用于研究各类点源与非点源污染物进入到地表水(包括河流、湖泊、河口、海洋)后的运移转化过程及其对相应水体质量的影响。表 1^[1]列举了各地表水模型的主要功能和适用范围。

* 收稿日期: 2000-11-07; 修订日期: 2001-03-05

基金项目: 国家自然科学基金项目 (49901016)

作者简介: 李本纲 (1971 -), 男, 湖北公安人, 北京大学城市与环境学系讲师, 主要从事环境信息系统研究。

表 1 地表水模型的主要技术指标

Table 1 Characteristics of surface water models

模型名称	水体类型	水文模型	水质模型	沉积物	污染物类型	有机污染物的物理化学变化
CEQICM	河/ 河口	一维静态	三维	沉降	易/ 难降解有机物	- - -
CEQR1	湖	一维动态	一维	吸附/ 沉降	有机物、重金属	- - -
CEQRIV1	河	二维动态	一维	吸附	有机物、重金属	- - -
CEQW2	河/ 湖/ 河口	三维动态	二维	吸附/ 沉降	有机物、重金属	- - -
CORMIX	河/ 湖/ 河口/ 海	一维动态	三维	- - -	难降解有机物	降解
DYNHYD5	河/ 河口	一维静态	均质	- - -	难降解有机物	- - -
DYNTOX	河	一维静态	一维	- - -	难降解有机物	- - -
EUTRO5	河/ 湖/ 河口	一维静态	三维	吸附	易/ 难降解有机物	- - -
EXAMS	河/ 湖/ 河口	一维动态	三维	吸附	难降解有机物	降解/ 挥发/ 转化
HEC - 5Q	河/ 湖	一维静态	一维	- - -	易/ 难降解有机物	- - -
HEC - 6	河/ 湖	一维动态	一维	沉降/ 迁移	难降解有机物	- - -
HSPF	河/ 湖	二维动态	一维	吸附/ 沉降/ 迁移	易/ 难降解有机物	降解/ 挥发/ 转化
HYDRO2DV	河/ 河口	二维动态	均质	- - -	难降解有机物	- - -
HYDRO3D	湖/ 河口	三维静态	均质	- - -	难降解有机物	- - -
MEXAMS	河/ 湖/ 河口	一维静态	三维	吸附	重金属	挥发/ 转化
MICHRIV	河	一维静态	一维	吸附/ 沉降	难降解有机物	- - -
MINTEQA2	河/ 湖/ 河口	一维静态	均质	吸附	重金属	转化
PCPROUTE	河	三维动态	一维	- - -	难降解有机物	降解/ 转化
PLUMES	河/ 湖/ 河口/ 海	一维静态	三维	- - -	难降解有机物	- - -
QUAL2E	河	一维静态	一维	吸附	易/ 难降解有机物	- - -
REACHSCAN	河	一维动态	一维	吸附	难降解有机物	挥发
RIVMOD	河/ 湖/ 河口	一维静态	一维	迁移	难降解有机物	- - -
SEDDEP	河口/ 海	一维静态	三维	沉降	难降解有机物	- - -
SLSA	河/ 湖/	一维静态	一维	吸附	难降解有机物	- - -
SMPTOX	河	三维动态	二维	吸附/ 沉降	重金属	降解/ 挥发
TOXI5	河/ 湖/ 河口	一维静态	三维	吸附/ 沉降/ 迁移	难降解有机物	降解/ 挥发/ 转化
TWQM	河	一维动态	一维	吸附/ 沉降	有机物、重金属	挥发
WASP5	河/ 湖/ 河口	一维静态	三维	吸附/ 沉降/ 迁移	易/ 难降解有机物	降解/ 挥发/ 转化
WQAM	河/ 湖/ 河口	一维静态	一维	吸附	易/ 难降解有机物	- - -
WQRRS	河/ 湖	一维静态	一维	沉降	易/ 难降解有机物	- - -

1.2 地下水模型

对地下水的模拟可以分为两步，首先模拟地下水流状况，然后模拟污染物的运移转化过程。因此在地下水模型中存在一些专门进行地下水流模拟的模型，它们一般对地下水流模拟细致，并提供将模拟结果连接到污染物运移转化模型的功能。但是大部分地下水水质模型都同时具有模拟地下水流和污染物运移转化过程的功能。表 2^[1]列举了各地下水模型的主要功能和适用范围。

表 2 地下水模型的主要技术指标

Table 2 Characteristics of ground water models

模型名称	研究区域	水文模型	溶解相	含水层数量	地下水位	水质模型	污染源类型	污染物的物理化学过程
BIOPLUMEII	非饱和带	二维均质	多相	单个	恒定	二维	点源	扩散/吸收/降解
CATTI	饱和带	二维均质	单一相	多个	恒定	二维	点源/线源	扩散/降解
CFEST	饱和带	三维非均质	单一相	多个	变化	三维	点源/线源/面源	扩散/吸收/降解
CHAINT	饱和带	二维均质	单一相	单个	变化	二维	点源/线源/面源	扩散/吸收/衰变
CHEMFLO	非饱和带	一维均质	单一相	单个	恒定	一维	点源	扩散/吸收/降解
DPCT	饱和带	二维非均质	单一相	多个	变化	二维	点源/线源/面源	扩散/吸收/衰变
FEMWASTE	任意	二维非均质	单一相	多个	变化	二维	点源/线源/面源	扩散/吸收/降解
GETOUT	饱和带	一维均质	单一相	单个	恒定	一维	点源	扩散/降解/衰变
GLEAMS	非饱和带	一维非均质	单一相	多个	恒定	一维	点源/线源/面源	吸收/降解
HST3D	饱和带	三维非均质	单一相	单个	变化	三维	点源/线源/面源	扩散/降解/衰变
MMT	饱和带	一维均质	单一相	单个	变化	三维	点源/线源/面源	扩散/吸收
MOCENSE	饱和带	二维非均质	单一相	单个	变化	二维	点源/线源/面源	扩散/吸收/降解
NWFI/ DVM	饱和带	一维非均质	单一相	单个	恒定	一维	点源	扩散/吸收/衰变
PRINCETON	饱和带	三维非均质	单一相	多个	变化	三维	点源/线源/面源	扩散/吸收/降解
PRZM	非饱和带	一维均质	单一相	多个	变化	一维	点源/线源/面源	扩散/吸收/降解
RITZ	非饱和带	一维均质	多相	单个	恒定	一维	点源	吸收/降解
RUSTIC	任意	三维非均质	单一相	多个	变化	三维	点源/线源/面源	扩散/吸收/降解
RWH	饱和带	二维均质	单一相	单个	变化	二维	点源/线源/面源	扩散/吸收/降解
SAFTIMOD	饱和带	二维非均质	单一相	多个	变化	二维	点源/线源/面源	扩散/吸收/降解
SESOIL	任意	一维均质	单一相	多个	变化	一维	点源/线源/面源	扩散/吸收/降解
SHALT	饱和带	二维非均质	单一相	多个	变化	二维	点源/线源/面源	扩散/吸收/降解/衰变
SUTRA	任意	二维非均质	单一相	多个	变化	二维	点源/线源/面源	扩散/吸收/降解
SWANFLOW	任意	三维非均质	多相	单个	变化	三维	点源/线源/面源	- - -
SWENT	饱和带	三维非均质	单一相	多个	变化	三维	点源/线源/面源	扩散/吸收/降解/衰变
SWIFT	饱和带	三维非均质	单一相	多个	变化	三维	点源/线源/面源	扩散/吸收/衰变
SWIP2	饱和带	三维非均质	单一相	多个	变化	三维	点源/线源/面源	扩散/吸收/降解
TETRANS	非饱和带	一维均质	单一相	多个	变化	一维	点源/线源/面源	吸收
TRAFRAP- WT	饱和带	二维非均质	单一相	单个	变化	二维	点源/线源/面源	扩散/吸收/衰变
TRANS	饱和带	二维均质	单一相	单个	变化	二维	点源/线源/面源	扩散/吸收/降解/衰变
TRUST	任意	三维非均质	单一相	多个	变化	三维	点源/线源/面源	扩散/吸收
USGS2D- MOC	饱和带	二维非均质	单一相	单个	变化	二维	点源/线源/面源	扩散/吸收/降解
VADOFT	非饱和带	一维非均质	单一相	多个	变化	一维	点源	扩散/吸收/降解
WORM	任意	一维非均质	单一相	多个	变化	一维	点源	吸收/降解

1.3 非点源模型

由于许多种污染物主要是通过径流、渗透、吸附等方式进入到地表水、土壤、地下水或生物体中，非点源模型就是研究各类非点源污染物进入地表水、地下水系统的载荷规律，如方式、强度等特性。污染物或溶于水中，或附着在沉积物上，因此非点源模型除模拟水流运动外，还要模拟沉积物的运动方式。具体非点源污染实例包括城市污水和生活垃圾、化肥和农药、固体废弃物造成的污染等。非点源模型的研究单元是流域（单流域或多流域），流域类型可以是农业用地、城市与城郊、填埋场、未开发地、湿地等五大类。表 3^[1]列举了各非点源模型的主要功能和适用范围。

表 3 非点源模型的主要技术指标

Table 3 Characteristics of non-point source models

模型名称	流域类型	污染源	流域数量	模型的时间分辨率	污染物进入水体的方式	污染物类型	污染物的物理化学变化
AGNPS	农业用地/未利用地	点/面源	多个	min/s	径流	易降解/难降解	- - -
ANSWERS	农业用地/未利用地	面源	多个	min/s	径流/渗流	易降解	- - -
BASINS	农业/城市/未利用地	点/面源	多个	d/h	径流	易降解/农药	吸附/降解
CREAMS	农业用地/未利用地	面源	单个	min/s	径流	易降解/农药	吸附/降解
DR3M-QUAL	城市用地	点/面源	多个	min/s	径流/人工管道	难降解	- - -
EPIC	农业用地	面源	单个	d/h	径流/渗流	易降解/农药	吸附/降解
FHWA	城市用地	面源	单个	a/月	径流	易降解/难降解	- - -
GLEAMS	农业用地/未利用地	面源	单个	d/h	径流/渗流	易降解/农药	吸附/降解
GWL F	农业/城市/未利用地	点/面源	多个	d/h	径流/渗流	易降解	- - -
HELP	填埋场	面源	单个	d/h	径流/渗流	- - -	- - -
HSPF	农业/城市/未利用地	点/面源	多个	min/s	径流	易降解/农药	吸附/降解
MRI	农业/城市/填埋场/未利用地	面源	单个	a/月	径流/渗流	易降解/农药	- - -
NPSMAP	农业/城市/未利用地	点/面源	多个	d/h	径流	易降解	- - -
P8-UCM	城市用地	点/面源	多个	min/s	径流	易降解	- - -
PREWET	湿地	点/面源	单个	d/h	径流	易降解/难降解	降解
PRZM	农业用地	面源	单个	d/h	径流/渗流	农药	吸附/降解
Q-ILLUDAS	城市用地	面源	单个	d/h	径流	易降解	- - -
SMLE	城市用地	面源	单个	a/月	径流	易降解	- - -
SLAMM	城市用地	点/面源	单个	d/h	径流	易降解	- - -
SLOSSPHOS	农业用地/未利用地	面源	多个	a/月	径流	易降解	- - -
STROM	城市用地	点/面源	多个	d/h	径流	易降解/难降解	- - -
STREAM	农业用地	面源	单个	d/h	径流	农药	吸附/降解
SWAT	农业用地/未利用地	点/面源	多个	d/h	径流/渗流/人工管道	易降解/农药	吸附/降解
SWM	城市用地	点/面源	多个	min/s	径流/渗流/人工管道	易降解/难降解	降解
SWRRBWQ	农业用地/未利用地	点/面源	多个	d/h	径流/渗流	易降解/农药	吸附/降解
USGSREG	农业/城市/未利用地	面源	单个	a/月	径流	易降解	- - -
WATERSHED	农业用地/城市用地	点/面源	单个	a/月	径流	易降解	- - -
WMM	农业/城市/未利用地	面源	多个	a/月	径流	易降解/难降解	吸附
WQAM	农业/城市/填埋场/未利用地	点/面源	多个	a/月	径流/渗流	易降解/农药	吸附/降解

2 水环境模型库管理

2.1 水环境模型应用中的问题

在使用上述环境模型时，不可避免地会遇到以下问题^[2,3]：

- (1) 模型选择的困难 由于环境模型数量多，而且对环境过程模拟预测的详细程度各异，用户不可能对所有模型都非常熟悉，仅凭其缩写名称难以选择满足自己要求的模型。因为环境模型的复杂程度直接影响输入数据的多少、实测数据的数量以及计算结果的精度，如果用户选择的模型不合适，数据冗余或不足都会导致人力、物力的浪费或精度不能满足要求。
- (2) 数据管理的困难 虽然大多数环境模型都有独到之处，但一般用 FORTRAN、BASIC 等结构化语言编写，数据组织基本上是文件方式，很少考虑空间数据和属性数据的优化管理，一些空间拓扑关系的表达也较困难。另外模型运算结果的表现方式也比较差，在模型运算之后，经常需要用其他软件来绘制结果图表。
- (3) 模型间连接困难 不同的环境模型软件一般由不同研究者设计和编写，工作平台、编程语言、数据模型、数据结构和数据格式都不一致。模型的相互连接、数据共享、结果对比几

乎不可能。有时要用不同模型研究同一问题,或者在不同的阶段要用到不同的模型,就需要重复输入许多数据。这不仅增加额外的工作量,重复输入的数据若不一致,则会影响计算成果的精度。

(4) 模型使用困难 水环境模型大都有各不相同的基于 MS-DOS 的用户界面,有的仍然是命令驱动方式。这对用户,尤其是初学者来说难度很大。

2.2 水环境模型库管理

解决上述问题的途径之一是建立水环境模型库,对众多的水环境模型进行统一管理。由于水动力过程和化学物质在水环境中的分布、运移、转化都具有明显的空间特性,但上述水环境模型对空间数据的管理能力则相对较弱。地理信息系统(GIS)的优势在于进行空间数据管理、建立复杂的空间模型以及空间数据的多方式显示查询。正由于 GIS 与水环境模型在功能上的互补性,两者的结合近年来一直是环境研究中颇受重视的领域。GIS 在水环境模型中应用的成功实例如 AGNPS-Arc/Info^[4](Agricultural Non-Point-Source)、SWRRB-GRASS^[5](Simulator for Water Resources in Rural Basins)、SWAT-Arc/Info^[6](Soil and Water Assessment Tool)、ANSWERS-GRASS^[7](Aerial Nonpoint Source Watershed Environment Response Simulation)、HSPF-Arc/Info^[8](Hydrologic Simulation Program - Fortran)。但到目前为止,有关 GIS 与水环境模型的结合多限于低层次文件交换,且仅限于具体项目中 GIS 与单一模型的共用^[9]。

如果在 GIS 的支持下实现水环境模型库管理,至少可以在以下几个方面提高两者结合的质量和层次:

(1) 模型选择 如果从地表水模型、地下水模型、非点源模型中分别抽取能决定模型适用范围、复杂程度的若干技术参数,并用这些参数组建模型关系数据库,用户可以用 GIS 的 SQL (Structured Query Language) 语句按照这些技术参数查询、检索和选择所需的水环境模型。

(2) 数据管理 应用 GIS 进行各类空间数据和属性数据的输入、管理,并根据模型选择的结果将这些数据转换成相应模型能利用的数据形式。通过 GIS 内部调用模型进行必要运算,并将运算结果返回到 GIS 中进行显示、查询、输出。由于所有数据都统一在 GIS 中管理,不同模型可以共享同一数据源,避免了数据重复输入造成的数据冗余和相互差异,模型间也可以相互比较。

(3) 操作界面 由于 GIS 内部调用水环境模型,避免了用户与环境模型的直接接触,GIS 界面成为所有同类模型的共同界面,保持了同类模型应用风格的一致性。用户不必去熟悉各不相同的繁杂界面。另外,GIS 可以用来制作各类精美的专题图表,也是一般水环境模型所不能比的。

3 水环境模型库管理系统

基于上述思路,可利用 GIS 这一集成环境,建立水环境模型库管理系统。该系统对所有水环境模型实行集中管理,并具有空间/属性数据输入、模型选择、模型输入数据转换、模型内部调用、模型结果显示查询、模型连接和比较、结果图表输出等多项功能。系统的运行结构如图 1 所示:

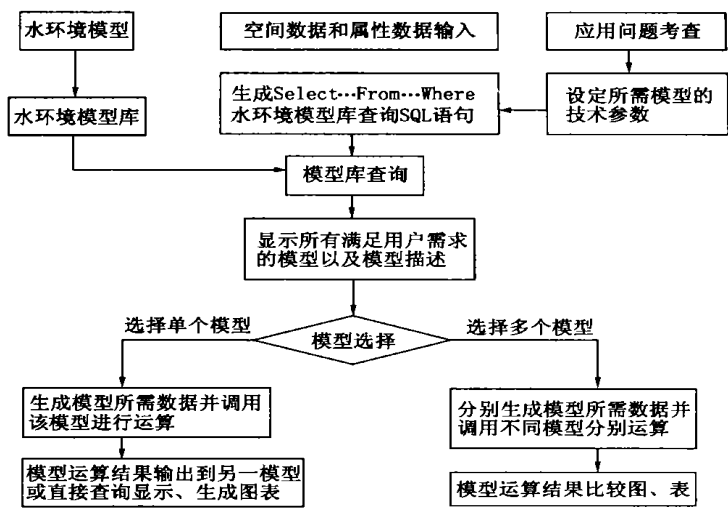


图 1 水环境模型管理系统运行结构

Fig. 1 Structure of the water models management system

4 讨 论

建立水环境模型库管理系统，可在以下几个方面更有效、更科学地应用已有的大量计算机水环境模型：

- (1) 可以帮助用户根据一些关键参数来选择合乎要求的环境模型；
- (2) 利用 GIS 进行空间数据和属性数据管理，且这些数据对水环境模型库中所有模型都适用，可减少数据的重复输入及其带来的精度损失；
- (3) 由于输入输出数据由 GIS 统一管理，可以实现相似模型运算结果的比较和有关联模型的连接。而且由 GIS 进行模型运行结果的显示查询，可以使模型结果更直观；
- (4) 各类模型拥有风格一致的可视化用户界面，操作方便。

尽管如此，建立水环境模型库管理系统也存在许多困难，首先要对库中的模型深入了解并提取相应关键技术参数。其次要实现 GIS 数据与所有模型间的数据转换，工作量非常大，且不同复杂程度的模型对数据的细致程度要求不一，因此在数据转换时要考虑数据的综合或细化^[10]。

参考文献：

[1] USEPA. Exposure Models library and integrated model evaluation system[R]. EPA/ 600/ G-92/ 002 , 1996.

[2] Goodchild M F, Steyaert L T, Parks B O , et al. Environmental modeling with GIS[M]. Oxford University Press , 1993.

[3] Goodchild M F, Steyaert L T, Parks B O , et al. GIS in environmental modeling[M]. Oxford University Press , 1996.

[4] Jankowski P, Haddock G. Integrated nonpoint source pollution modeling system[A]. NCGIA Second International Conference/ Workshop on Integrating Geographic Information Systems and Environmental Modeling[C]. Brackenridge, Colorado USA. September. 26 - 30 , 1993.

- [5] Arnold J G, Williams J R, Nicks A D, *et al.* SWRRB a basin scale simulation model for soil water resources management [M]. Texas A&M University Press, College Station. 1990.
- [6] Bian L, Sun H, Blodgett C, *et al.* An integrated interface system to couple the swat model and Arc/ Info[A]. Third International NCGIA Conference/ Workshop on Integrating GIS and Environmental Modeling[C]. Santa Fe, New Mexico, January 21 - 25, 1996.
- [7] Engel B R, Srinivasan R, Arnold J, *et al.* Nonpoint Source (NPS) Pollution Modeling Using Models Integrated with Geographic Information Systems (GIS) [J]. Water Science and Technology. 1993, 28(3 - 5) : 685 - 690.
- [8] Al - Abed N, Whiteley H R. Modeling Water Quality and Quantity in the Lower Portion of the Grand River Watershed [A]. Ontario Proc of the International Symposium on Water Quality Modeling[C]. April 2 - 5, 1995, Orlando FL. ASAE (American Society of Agricultural Engineers). St Joseph MI. 1995, 213 - 222.
- [9] 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.
- [10] Bennett D A. A framework for the integration of geographical information systems and modelbase management[J]. Int J Geographical Information Science, 1997, (11) : 337 - 357.

Water environment models and their modelbase management^{*}

LI Ben-gang, TAO Shu, CAO Jun

(*Department of Urban and Environmental Sciences, MOE Laboratory of Earth*

Surface Process, Peking University, Beijing 100871, China)

Abstract : 92 water models issued in USA, including surface water models, groundwater models and non-point sources models, were analyzed. The general features of the models and their restriction in application were discussed. It is suggested that these models can be efficiently managed using geographical information system and modelbase management technology. A framework of such a management system was proposed.

Key words : water environment models; geographic information system; modelbase; management

* The project is supported by National Natural Science Fund of China (No. 49901016).