

河流水质模型研究进展

付晓*

中国科学院 生态环境研究中心, 北京 100085

摘要: 本文分析了河流水质模型的研究发展历程, 揭示了水质模型由经验到机理、单要素(或无机、大量、无毒要素)到多要素(或有机、微量、有毒要素)、单介质到多介质、稳态到动态、点源到非点源到两者统一研究、饱水带到包气带到二者统一研究、小规模分散(河流、湖泊、地下水等)到大规模集成(整个流域)、理论研究到实际应用研究的发展特点。

关键词: 水质模型, 流域管理

河流水质模型主要包括数学模型、物理模型以及模拟模型3种系统。是对河道水体中污染物随空间和时间迁移转化规律进行数学描述, 进而对污染物在水体中的扩散、转化过程进行预测分析和定量化的研究。水质模型研究的发展是与全球经济的快速增长、环境问题的日益突出以及日新月异的新技术革命密切相关, 第一个水质模型是1925年由美国的工程师Streeter和Phelps提出的氧平衡模型, 即经典的Streeter-Phelps模型, 几十年来水质模型的研究内容与方法不断深化与完善, 包括地表水、地下水、非点源、饮用水、空气、多介质、生态7类模型, 广泛应用于污染物水环境过程模拟、形态分布计算、界面吸附、水生生物生长及生态效应模拟等; 并从单纯、孤立、分散的水质研究通过自身内部之间以及与其他有关模型之间的相互渗透、联合, 逐步发展为以水质为中心的流域管理研究。

1 地表水质模型发展概况

第一阶段, 20世纪20年代中期~70年代初期, 特点是: ① 主要集中于对氧平衡的研究, 也涉及一些非耗氧物质; ② 属于一维稳态模型, 代表模型, 1925年Streeter和Phelps提出的第1个水质模型, 即河流BOD、DO模型; 美国环保局(USEPA)推出的QUAL-I、QUAL-II模型。这一阶段可称为考虑水质项目不多的一维稳态模型阶段。

第二阶段, 20世纪70年代初期~80年代中期, 是水质模型的迅速发展阶段, 开始出现了多维模拟、形态模拟、多介质模拟、动态模拟等特征的多种模型研究, 代表模型: 湖泊水库一维动态模型LAKECO、WRMMS、DYRESM及三维模型; 河流水质模型, 如: WASP模型诞生, 可以进行一维、二维、三维动态水质模拟; 该阶段水质评价与标准的制定推动了形态模型的研究与发展, 如: 20世纪80年代初, Forstner、Lawrence分别进行了重金属、有机物的形态模拟研究; 1979年Mackay首次提出多介质模拟逸度算法。

第三阶段, 20世纪80年代中期至今, 是水质模型研究的深化、完善与广泛应用的阶段, 主要特点有: ① 1985年Cohen正式提出多介质模型, 代表性模型有: 多介质箱式模型、植物根区模型、水生食物链积累模型、逸度模型。② 代表河流模型有: 一维稳态QUAL模型(QUAL2E, 1985; QUAL2K, 2002); 动态WASP模型得到进一步更新(WASP4, 1988; WASP5, 1993; WASP6, 2001), 为适用于河流、水库、河口、海岸的通用模拟框架。代表湖泊模型有: 一维动态模型CE-QUAL-R1; 二维动态模型CE-QUAL-W2等。形态模型代表为: 美国环保局阿森斯实验室开发的地球化学热力学平衡模型(MINTEQA1, 1987; MINTEQA2, 1990), 主用于计算天然水体重金属分布形态。③ 考虑水质模型与面源模型的对接L1。④ 多种新技术方法, 如: 随机数学、模糊数学、人工神经网络、3s技术等引入水质模型研究。

此外, 模型广泛应用于以水环境为中心的多介质环境污染物模拟与预测、对人及生物体

的暴露分析、水质监测、评价与管理控制等,如:2001年陈焱研究利用水质模型结合总量控制确定控制断面水质等。

2 地下水质模型研究概况

地下水质模型一直是研究溶质在地下水中迁移、转化与归宿的主要手段,地下水质模型的研究可分为3个阶段:

第一阶段,研究初期,主要出现在20世纪60~70年代,在水动力模型研究基础上开始水质模型的研究,如:1967年,前苏联Bel对孔隙介质中水动力弥散研究进行了详细论述,据统计模型探讨水动力弥散理论及弥散系数与流速 介质间的关系等;1972年Fried进一步研究了水动力弥散方程。

第二阶段,发展阶段,主要出现在20世纪80~90年代初期,主要特点是:① 诞生了大量水质模型,包括水溶液平衡地球化学模型、地下水溶质运移模型以及耦合模型。② 由饱和带水质研究向包气带扩展,20世纪80年代初期,美国、英国等西方发达国家,在研究非饱和带水分运动的基础上,开始研究污染物在包气带土壤中的迁移规律。③ 该阶段的模拟软件以DOS版本为主。

第三阶段,出现在20世纪90年代中后期至今,特点是:① 伴随计算机WINDOWS操作系统统治地位的确立,传统模型进行改进,模型可视化(包括前处理、模型运行及后处理各个环节)增强,代表模型如:PMWIN、Visual MODFLOW、Visual Groundwater、GMS、FEFLOW等。② 模型与地理信息系统(GIS)技术的联系日益密切,进一步提高了可视化效果与时、空分析能力,如:以Visual MODFLOW 为代表的许多软件都提供了与GIS的接口。③ 强化了污染物在包气带与饱和带中迁移的整体模拟研究。④ 地球化学模拟从平衡的静态描述转向重视其作用过程的动力学研究。

3 非点源模型研究概况

非点源污染的研究源于对水污染控制的需求。20世纪60年代,随着点源污染得到逐步控制,人们发现单纯控制点源并不能从根本上解决水环境污染问题,因为水环境污染的很大一部分由非点源引起,点源与非点源共同构成水环境污染,于是非点源污染模型研究应运而生。

纵观非点源模型的研究发展,可以分为3个阶段:第一阶段,主要出现在20世纪70年代初期以前,作为非点源污染研究基础的水文与土壤侵蚀模型研究取得一定的进展,代表水文模型,如:Horton入渗方程、Green-Ampt入渗方程、SCS方程、Stanford模型等。对于土壤侵蚀模型:1971年美国农业部水土保持司提出通用土壤流失方程(USLE)。它们的出现为非点源污染计算奠定了基础。非点源污染研究:主要基于统计方法建模,探讨非点源污染的影响因子及其与非点源污染间的相关关系等,不能给出污染物迁移转化机理上的解释,简称经验模型阶段。

第二阶段,主要出现在20世纪70~80年代,特点是:① 水旱灾害防治与水资源开发的需要推动了水文模型研究的蓬勃发展,出现了大量水文模型,代表模型,如:美国的萨克拉门托(Sacramento)模型、日本的水箱(Tank)模型、中国的新安江模型等集总参数模型。同时,伴随计算机计算能力的提高,分布式水文模型成为研究热点,出现了半分布模型,如:TOPMODEL,分布模型,如:SHE、SWAM、IHDM等。此外,土壤侵蚀模型研究由于流域产沙的复杂性发展相对较慢,模型带有诸多经验特征。② 水文、土壤侵蚀机理的研究极大地推动了非点源污染研究,相继出现了一大批以机理研究为主要特点的集总参数与分布参数

模型, 20世纪70年代的代表模型, 如: P1R、HSP、ARM—NPS、STORM、ACTMO、UTM、LANDRUN等模型。20世纪80年代的代表模型有: ANSWERS、HSPF、CREAMS、SWRRB、AGNPS、ILWAS[6]等模型, 主要适用于中小流域, 可进行单场降雨事件模拟且连续模拟。此外, 20世纪80年代模型开始侧重于非点源的控制管理与经济效益的分析, 该阶段可以称为机理模型研究阶段。

第三阶段, 出现在20世纪90年代, 特点是: ① 对于水文模型而言, 计算机的飞速发展, 分布式水文模型的发展突破计算机计算能力限制的瓶颈, 非线性、尺度、唯一性、等效性和不确定性五大问题成为其发展面临的难点。对土壤侵蚀研究而言, 改进了通用土壤流失方程(RUSLE); 尤其是RS与GIS的应用推动了土壤侵蚀机理的研究, 诞生了具有分布式特征的新一代土壤侵蚀模型WEPP, 以及欧洲的EUROSEM、LISEM模型。② 伴随水文与土壤侵蚀模型等研究逐步成熟以及3s技术的引入, 非点源污染模型功能日益强大。③ 以分布式参数模型为主, 可进行大流域的连续模拟。如: 以SWAT模型为例, 它属于将流域划分为亚流域的分布参数模型, 可用于模拟流域地表水、地下水的水质与水量长期连续变化, 预测土地管理措施对流域水文、泥沙与农业化学物质的影响。该阶段可以称为实用性模型研究阶段。

4 以水质为中心的流域管理模型

以水质为中心的流域管理模型主要出现在20世纪90年代后期至今, 伴随河湖库地表水质模型、地下水水质模型、非点源污染模型以及计算机技术、3s技术应用等研究逐渐成熟, 构建以水质为中心的大型流域管理模型成为发展的必然, 代表模型, 如: BASINS模型系统、WARMP模型等, 突出特点是: 集流域分析、评价、总量控制、污染治理与费用效益分析等于一体。如: BASINS模型系统包括了6个组件, 即: 国家环境数据库(National environmental databases)、环境评价工具(TARGET、ASSESS、Data Mining)、实用工具(Utilities)、流域分析报告(Watershed characterization reports)、河流水质与富营养化模型(QUAL2E)、流域非点源污染及负荷模型(WINHSPF、SWAT、PLOAD), 它将流域数据与各种分析工具集成在一起, 使流域分析管理变得十分方便快捷。

河流水质模型研究进展

作者：[付晓](#)

作者单位：[中国科学院 生态环境研究中心，北京 100085](#)

本文链接：http://d.g.wanfangdata.com.cn/Conference_7303543.aspx