

底泥对河流水质影响的数学模型研究进展

王 俊

(天津城市建设学院基础部,天津 300384)

摘要 从底泥耗氧、底泥污染物的释放这两方面综述了底泥对河流水质影响的模型研究。通过总结底泥污染河流的模型研究,提出耦合底泥河流水质模型的发展方向,指出建立环境疏浚模型的必要性。

关键词 河流水质模型 底泥耗氧率 静态释放 动态释放 底泥疏浚

中图分类号 X820.3 **文献标识码** A **文章编号** 1004-693X(2009)S1-0055-02

1 底泥对河流水质的影响

河流水质模型是描述河流中污染物混合、扩散、输移和转化规律的数学方程,它是对污染物在河流中迁移转化运动的定量描述^[1]。绝大多数污染物在河流中的迁移转化与底泥密切相关。即使河流外源性污染负荷得以控制,底泥仍将继续对河流水体水质构成威胁。

目前,底泥对河流水质的影响是一个备受关注且颇有争议的问题,特别是关于底泥对河流水质影响的模型研究方面争议较大。底泥对河流水质影响的模型研究主要集中在底泥耗氧量、底泥污染物释放两个方面。底泥耗氧是河流中污染底泥对自然水体中的氧容量具有较大影响的一项指标,无其他污染源的情况下,底泥耗氧约占河流总耗氧的 40%~50%。黄岁樑^[2]指出环境科学中的底泥相当于河流泥沙研究中的推移质和床沙,但其组成一般是泥质。河流泥沙研究中的推移质和床沙由于受水动力作用或外界干扰会产生运动,即底泥产生扰动。底泥耗氧量和底泥污染物释放的研究根据底泥是否有扰动而分为两类。

1.1 底泥耗氧

底泥耗氧主要有两个过程:①耗氧作用,底泥中还原性化学物质的化学耗氧量,底泥中微生物的耗氧量和底泥中底栖生物的生物耗氧量等。②释放作用耗氧,底泥向上覆水释放耗氧物质而耗氧。

国内外很多学者通过实验研究了底泥耗氧率(SOD)与单一影响因子的定量关系,将得到的定量关系结果应用于河流水质模型中。Ingolf^[3]得出

Neckar River 中 SOD 分别与上覆水中溶解氧和底泥成指数关系,并将结果用于 Neckar River 水质模型中的底泥模块。方宇翹等^[4-5]研究了 SOD 与水中 COD_{Mn} 、 DO 、 BOD 、 NH_3-N 水质指标的相关性, SOD 与 COD_{Mn} 的线性相关性最高,相关系数达 0.99,并将 SOD 实测值用于苏州河水水质模拟。Donovan^[6]得到 SOD 与水质模型中水动力因素 Re 之间的动态关系:

$$SOD = -0.01417 Re^{0.2208}$$

以上研究都是在底泥无扰动下进行的,张丽萍等^[7]将底泥在无扰动和有扰动两种状态下的底泥耗氧率进行了对比实验研究。以清华大学近春湖底泥和校河底泥作为对象进行实验室研究, SOD 在无扰动状态下是上覆水耗氧速率的 48 倍,而在扰动状态下 SOD 达到上覆水耗氧速率的 596~936 倍。

1.2 底泥污染物的释放

根据底泥是否有扰动将底泥污染物的释放分为静态释放和动态释放两种。

1.2.1 底泥污染物的静态释放

对于底泥污染物静态释放的影响,大多水质模型采用释放速率^[8]或转换系数模型进行考虑。董浩平^[9]通过对实验数据的统计分析,拟和得出 PO_4^{3-} -P、DTP、 NH_4^+ -N、DTN 以各环境因子(温度、pH、 DO)为参变量的沉积物污染静态释放速率计算公式,进而得出水质模型中的底泥静态释放系数。Robert^[10]在河流水质模型基础上增加了 1 个底质模块单元,以转换系数模型构建了一个底质-水相互作用的 2 单元总磷模型。

间隙水扩散模型也是计算底泥污染物静态释放

量的一种方式。该模型是从间隙水中污染物扩散通量角度计算底泥-水体界面通量 $J_s = -\phi D_s \frac{dc}{dx}$,在水质模型中得到广泛应用。龚春生等^[11]应用间隙水扩散模型计算了南京玄武湖的年磷释放通量(2.014 t) ,与实验结果(2.094 t)非常接近。间隙水模型也不断得到修正。Mesnag^[12]应用间隙水模型模拟底泥-水作用时 ,采用 Stocks-Einstein 公式计算扩散系数 D_s ,并用底泥的孔隙率进行修正。Chao^[13]将 pH、温度、DO 浓度耦合在间隙水扩散模型中。

污染物的迁移转化往往伴有化学及生物化学的转化过程 ,要计算底泥污染物的释放也需要考虑底泥污染物的转化过程。底泥中磷的释放取决于不溶性磷酸盐(主要是钙盐、铝盐和铁盐)重新溶解的环境条件 ,Komatsu^[14]考虑了磷与铁盐的相互作用 ,结合转换系数模型计算了底泥的磷释放量。戴树桂等^[15]研究了 NO_3^- -N、 NH_4^+ -N 在底泥中的扩散、吸附以及 NO_3^- -N 的反硝化过程 ,利用间隙水扩散模型计算了氮在底泥-水界面的扩散量。

1.2.2 底泥污染物的动态释放

水动力对于底泥污染物的释放起着非常大的作用 ,主要体现在悬浮底泥颗粒物的污染物扩散和底泥间隙水的混合作用这两方面^[16] ,而底泥间隙水的混合作用是影响水质的主要因素 ,且是短时间水质变化的主要根源^[17]。Reddy 等^[18]在对 Apoka 湖的研究中发现 ,悬浮作用造成的上覆水营养盐浓度可以达到单纯由底泥静态释放产生营养盐浓度的数 10 倍。Sondergaard 等在对丹麦 Arreso 的野外调查也发现 ,动力悬浮产生的营养盐浓度增加可以达到原先 20~30 倍的数量级。

褚君达等^[19]将泥沙运动学引入到水质模型中 ,研究河流底泥冲刷对河流水质指标 COD 的影响 ,这是水质模型研究的一大进步 ,考虑了底泥冲刷悬浮时悬浮颗粒对水质的影响 ,但没有考虑释放的间隙水的混合作用。何用^[20]在此基础上 ,假定间隙水中的污染物在底泥上的吸附解吸满足 Langmuir 等温吸附式 ,由底泥上的污染物吸附量求间隙水中的污染物浓度 ,由底泥的孔隙率可求得进入河流水体的间隙水的污染物质 ,计算了释放的间隙水混合作用。

2 底泥疏浚

底泥疏浚通过挖除表层的污染底泥 ,从而减少底泥污染物释放。疏浚时机械搅动会引起底泥悬浮 ,产生负面影响^[21] ,疏浚中悬浮泥沙发生量约为疏浚量的 2%^[22]。底泥疏浚对河流水质的修复作用颇存争议。目前研究者多是依赖现场采样和室内分

析的方法来研究和判定疏浚扰动对底泥中污染物释放的促进作用^[23] ,而在研究底泥疏浚扰动的数学模型大多研究重点在悬浮泥沙的浓度^[24] ,研究疏浚效果的数学模型也是计算不同的挖槽方案对应不同的回淤过程 ,以淤积比最小的挖槽形状为最优疏浚方案^[25] ,是基于水利方面的防洪疏浚。

环保领域在环境疏浚这方面的数学模型研究比较少 ,而且所建立的环保疏浚模型进行了很多假设 ,缺少普遍应用性。张修峰等^[26]采用 STELLA 软件 ,模拟了不同底泥疏浚量对水体的影响。该模型假设在疏浚过程中水体总磷的外源输入和污染物输出均已消除 ,作相应改变的是底泥的全磷浓度 ,疏浚过程中底泥对水质不产生影响。

3 研究展望

大多数耦合底泥的水质模型在物理概念上比较笼统 ,将底泥对水质的影响关系简化 ,由实验数据提供水质模型所需参数。因此 ,需要加强底泥-水界面之间污染物扩散交换过程的机理研究 ,建立底泥污染物释放的动力学模型。同时现有模型研究集中考虑了底泥和河流水体的相互作用 ,而忽略了底泥内部污染物的运移过程 ,因此建立耦合底泥污染物运移的河流水质模型是当前河流水质模型的一个完善途径。

建立环境疏浚模型对于河流修复具有重要意义 ,已有的环境疏浚模型还处于初步尝试阶段 ,没有考虑疏浚期间的扰动对河流水质的不利影响 ,因此需要建立耦合底泥污染物释放的环境疏浚模型。通过环境疏浚模型预测河流疏浚期间、疏浚前后的水质变化 ,优选疏浚方案 ,包括疏浚位置、疏浚面积、疏浚深度、疏浚周期的确定 ,为河流污染修复提出定量依据。

参考文献 :

- [1] 许劲 ,龙腾锐 . 不确定性河流水质模型的应用及进展 [J]. 中国给水排水 ,2007 ,23(16) :4-8.
- [2] 黄岁樑 . 泥沙运动引起的环境问题及环境泥沙学 [J]. 水科学进展 ,1998 ,9(4) :313-318.
- [3] HAAG I ,SCHMID G. Dissolved oxygen and nutrient fluxes across the sediment-water interface of the Neckar River ,Germany : in situ measurements and simulations [J]. Water ,Air , and Soil Pollution : Focus ,2006(6) :413-422.
- [4] 方宇翹 ,张国莹 . 苏州河底泥的耗氧特征及其与水质的关系 [J]. 上海环境科学 ,1992 ,11(10) :7-10.
- [5] 方宇翹 ,应太林 . 污染河流底泥释放与耗氧对水质的影响 [J]. 环境科学研究 ,1991 ,4(2) :24-31.

(下转第 60 页)

b. 根据 CFCs 定年数据判断渗透系数的取值范围 ,可以有效地减小因模型参数取值不当引起的地下水流场模拟误差。采用同位素技术 ,推求研究区渗透系数的取值范围 ,有效降低参数取值的不确定性 ,提高地下水数值模拟的仿真度 ,从而提高水源地保护区划分结果的准确度 ,将是今后水源地保护区划分的一个重要发展方向。

c. 静升供水站位于面积较大的静升盆地中 ,为保证模拟水文地质单元的完整性 ,同时网格剖分要达到所需精度 ,本研究采用了双重模型嵌套的方法 ,用大区域的流量模拟结果作为小区域的边界条件 ,在小区域模型内细化网格和各项参数 ,再次计算小面积范围内的地下水流场。模型嵌套方法可以解决研究区边界条件不明确的问题。

参考文献 :

[1] BHATT K. Uncertainty in wellhead protection area delineation due to uncertainty in aquifer parameter values[J]. Journal of Hydrology , 1993 , 149 :1-8.

.....

(上接第 56 页)

[6] DONOVAN R ,HONDZO M. Hydrodynamic effects on sediment oxygen demand[C]//World Water Congress ,USA :ASCE , 2001 :450-458.

[7] 张丽萍 ,袁文权. 底泥污染物释放动力学研究[J]. 环境污染治理技术与设备 ,2003 ,4(2) :22-26.

[8] DRAGO M. A three-dimensional numerical model for eutrophication and pollutant transport[J]. Ecological Modelling ,2001 (145) :17-34.

[9] 董浩平. 城市湖泊底泥污染释放规律及在水质模型中的应用[D].南京 :河海大学 ,2005.

[10] ROBERT P. LAMBERTUS L. Estimation of sediment-water exchange of solutes in lake veluwe[J]. Water Research , 1999 ,33(1) :279-285.

[11] 龚春生 ,姚琪. 城市浅水型湖泊底泥释磷的通量估算 :以南京玄武湖为例[J]. 湖泊科学 ,2006 ,18(2) :179-183.

[12] MESNAG V ,OGIER S. Nutrient dynamics at the sediment-water interface in a mediterranean lagoon(Thau ,France) : influence of biodeposition by shellfish farming activities[J]. Marine Environmental Research ,2007(63) :257-277.

[13] CHAO Xiao-bo ,JIA Ya-fei. Numerical modeling of water quality and sediment related process[J]. Ecological Modeling , 2007(201) :385-397.

[14] EIJI K. TAKEHIKO F ,HIKIOAKI S. Modeling of P-dynamics and algal growth in a stratified reservoir-mechanisms of P-cycle in water and interaction between overlying water and sediment[J]. Ecological Modeling ,2006(197) :331-349.

[15] 戴树桂 ,张明顺 ,庄源益. 底泥中氮的主要迁移转化过程及其转化模型的研究[J]. 环境科学学报 ,1990 ,10(1) :1-9.

[2] 李建新. 我国生活饮用水水源保护区问题的探讨[J]. 水资源保护 ,2000(3) :12-14.

[3] 何杉. Processing Modflow 软件在地下水污染防治中的应用[J]. 水资源保护 ,1999(3) :16-18.

[4] 国家环境保护总局. 饮用水水源保护区划分技术规范[S]. 北京 :中国环境科学出版社 ,2007.

[5] 陈崇希 ,李国敏. 地下水溶质运移理论及模型[M]. 武汉 :中国地质大学出版社 ,1994.

[6] 赵春虎 ,李国敏 ,黎明 ,等. 盆地地下水系统的数值模拟研究 :以山西灵石静升盆地为例[J]. 地下水 ,2008 ,30(2) :14-17.

[7] 秦大军. 地下水 CFC 定年方法及应用[J]. 地下水 ,2004 ,27(6) :435-437.

[8] KONSTADINOS N ,MOUTSOPOULOS V A. Delineation of groundwater protection zones by the backward particle tracking method : theoretical background and GIS-based stochastic analysis[J]. Environmental Geology ,2008 ,54(5) :1081-1090.

[9] 毕小刚. 构筑“三道防线”保护饮用水源[J]. 环境保护 ,2007 ,38(19) :52-54.

(收稿日期 :2008-09-23 编辑 :高渭文)

[16] 李剑超 ,褚君达 ,丰华丽. 河流底泥冲刷悬浮对水质影响途径的实验研究[J]. 长江流域资源与环境 ,2002(3) :137-140.

[17] 何用 ,李义天. 泥沙污染水质模型研究综述[J]. 水资源保护 ,2004(5) :5-9.

[18] REDDY K R ,FISHER M M ,IVANOFF D. Resuspension and diffusive flux of nitrogen and phosphorus in a hypereutrophic lake[J]. Journal of Environmental Quality ,1996(25) :363-371.

[19] 褚君达 ,徐惠慈. 河流底泥冲刷沉降对水质影响的研究[J]. 水利学报 ,1994(11) :43-69.

[20] 何用 ,李义天 ,郗会彩 ,等. 泥沙污染水质模型研究[J]. 四川大学学报 :工程科学版 ,2004 ,36(6) :12-17.

[21] 张景钰 ,方江华. 关于太湖污染底泥生态疏浚工程的探讨[J]. 西部探矿工程 ,2005(2) :213-215.

[22] 姜安刚 ,李凤歧. 胶州湾红岛码头疏浚物质输移扩散数值模拟[J]. 海洋科学 ,2003 ,27(12) :45-49.

[23] LEWIS M A ,WEBER D E ,STANLEY R S. Dredging impact on an urbanized Florida bayou : effects on benthos and algal-periphyton[J]. Environmental Pollution ,2001(115) :161-171.

[24] JE Chuang-hwan ,KIM Kyung-sub. Web-based application for estimating water quality impacts due to environmental dredging[J]. Environmental Geology ,2004 ,46(2) :217-225.

[25] 张华庆 ,李华国 ,岳翠平. 海河口潮流泥沙运动数值模拟及清淤方案研究[J]. 水动力学研究与进展 ,2002 ,17(3) :318-326.

[26] 张修峰 ,陆健健. 温州三埭湿地底泥疏浚对水体总磷浓度影响的生态模型研究[J]. 农业环境科学学报 ,2006 ,25(增刊) :158-162.

(收稿日期 :2009-03-28 编辑 :高渭文)