

关于利用泥沙治理水体污染的思考

吕升奇,毛 野

(河海大学水利水电工程学院,江苏 南京 210098)

摘要 对泥沙的吸附特性和重金属污染水体的研究成果与方法进行分析,认为我国目前尚未积极开展利用泥沙治理水体污染的研究,提出可以采用现场调研、实验模拟与建立数学模型进行模拟分析相结合的方法开展相关研究,预计研究成果将有良好的应用前景,可望推动利用泥沙治理水体污染。

关键词 泥沙;水污染;污染治理;吸附;生态环境

中图分类号:TV141

文献标识码:A

文章编号:1006-7647(2003)07-0099-03

我国江河湖泊水体污染严重,特别是在工农业较为发达的地区,重金属及有机物污染已经严重影响河流的生态环境。河流污染的主要来源有沿岸直接排放的城镇生活污水、工矿企业排放污水、农业大面积施用的化肥及农药。我国许多地区水土流失严重,每年约有 20 亿 t 泥沙被河流带入海洋,特别是沿西南至东北方向的低山丘陵地带水土流失最为严重,这块约占 6.5 % 国土的区域年均输沙模数大于 $1\,000\text{ t/km}^2$ 。悬浮泥沙影响水质,减弱水体的透光性,降低水生植物光合作用的效率。

河流泥沙除污染水体的消极作用外,尚有常常被忽视的净化水体的积极作用^[1~4]。泥沙可以吸附污染物,促进生物降解,提高水体的自净能力。至今人们并没有深刻认识到利用泥沙的这些特性来净化被污染的水体。虽然与此相关的污染泥沙的研究在国外正成为热点^[5~6],德国与澳大利亚等国正陆续开展跨水力学、河流动力学、水化学、水生物学和环境学科的综合研究,但尚未真正开展积极利用泥沙治理污染水体的研究。我国的水环境污染问题与河流泥沙问题都很严重,研究利用泥沙净化被污染水体潜在优势的问题已经提上议事日程^[1]。

1 泥沙对水体自净的积极作用

泥沙对提高河流自净能力有重要作用,过去整治河流时倾向于渠化,注重提高河渠过流能力而未关注河流本身的运动规律,忽略了保持和提高河流水体自净能力,结果导致河床失去稳定,生态环境恶化。后来德国等国家采取适当给河流“喂沙”等补救措施才稳定了河道,生态环境也得到改善。显然,应

当研究泥沙净化水体特性,加强泥沙对河流生态的保护功能,让河流成为天然高效的净化处理场。河流泥沙对水体自净的积极作用可概化为掩埋污染物、吸附污染微粒和促进生物降解等方面。

1.1 掩埋污染物

细颗粒泥沙富含有机质及多种微量元素,泥沙营养物质的沉积有利于底栖生物生存,但死亡生物的有机体可能污染水体。泥沙推移质将被重金属污染的颗粒以及死亡的有机体掩埋在河床底部,使之脱离主流运动,少参与或不参与河流水体的物理化学变化,可以暂时减轻河流水体的污染。对于一些突发的水体污染灾难事故,利用泥沙迅速吸附和掩埋污染物,可有效地减轻水体污染程度,控制污染范围。但若不进行无害化处理,污染泥沙可能再进入水体造成二次污染。

1.2 吸附污染物

作为非降解毒性物质,重金属和有毒有机物严重污染水体,危害生态。重金属可转化成毒性更大的金属有机化合物,毒害水生生物,还在生物体内富集并在食物链里拾级而上,最终危害到人类的健康和生命。20 世纪 50 年代初,日本汞污染引起的“水俣病”和镉污染引起的“骨痛病”,以及欧洲国家重金属污染的严重生态后果令人触目惊心。

颗粒中重金属的形态可分为可交换态、碳酸盐结合态、有机质结合态、铁锰氧化物结合态和残渣态^[7]。可交换态对水环境的变化敏感,有效性强,最易被生物吸收。碳酸盐结合态对水体 pH 值变化明显,易重新释放进入水相。铁锰氧化物结合态对植物的有效性较低。有机质结合态以不同形式进入或吸

附在有机物颗粒上,同有机物发生螯合或离子交换,相对稳定,不易被生物所吸收.残渣态存在于固体颗粒矿物晶格中,稳定且对生物无效.悬移质泥沙吸附微粒能力很强,有毒有机物在水中常属痕量,它们深入泥沙颗粒物吸着的有机物,可随泥沙颗粒沉降而进入底质.

1.3 促进生物降解

河流的悬浮细泥沙有较强的自然絮凝作用,有利于水中微生物附着絮凝.利用生物降解可有效清除溶解的污染物特别是有机污染物,微生物絮凝后首先通过吸附作用去除胶体物质和重金属离子等,然后是稳定阶段,絮凝形成活性污泥,微生物使活性污泥上的可溶性有机物被氧化、合成直至降解达到净化水体的目标,最终去除废水 BOD 的关键在于微生物降解.至今国内外对生物降解的研究多限于曝气池,缺少如何在河流等水体中创造和控制有利于微生物代谢的环境以提高河流水体自净能力的相关研究.泥沙粒径和浓度及水体盐度影响水体絮凝,絮凝体尺度还受水流紊动程度的影响,当水流速度超过絮凝临界流速时,絮凝体易被水流剪破,流速小于絮凝临界流速时,絮凝体尺度较大.应该使絮凝体保持一定尺度形成活性污泥絮体,使之有利于吸附沉降和微生物新陈代谢,以保证生物处理持续进行,调整水体紊动程度可以控制活性絮体尺度,减弱其阻碍吸收营养物及传递氧等不利净化的副作用.

2 研究现状

污染物可分为重金属类固体污染物、有毒污染物、有机污染物、油类污染物、氮磷钾富营养污染物和异味恶臭有色及泡沫等感官污染物.至今国内外对重金属污染的研究最为系统、全面和深入^[1].20 世纪 70 年代以前,人们对环境污染物的控制,大多针对量大、浓度高、检测简易、数据易得的污染物.而难以检测的痕量有毒物质虽对生态环境危害极大,却因缺乏有足够精度的监测仪器而疏于研究.

2.1 泥沙吸附重金属影响因素的研究

1972 年以来,我国组织了对主要的河流、湖泊和河口重金属污染状况的系统调查研究,基本弄清了泥沙吸附重金属的影响因素^[1].湘江水体中镉、铅等重金属污染物约有 60%~90% 分布在悬浮物内,底质中重金属浓度为水体的 10 000~15 000 倍以上.这证明了吸附作用在水体重金属污染防治中的重要地位.悬浮物中吸附能力较强的主要是粘土矿物、铁锰铝水合氧化物以及碳酸盐等.采用室内静态试验研究金沙江泥沙颗粒物对水体中铜、锌等重金属的吸附迁移机理,发现影响吸附的因素有水体 pH 值、

悬浮物浓度、粒径、共存离子竞争和温度等.在长江口盐水入侵对细颗粒泥沙吸附重金属的影响研究中发现细颗粒泥沙对铬、铜、铅的吸附量随着盐度的增加而降低,在沉积物表层底泥中重金属的含量随盐度的升高而有所上升,这是由于盐度升高使细颗粒泥沙带着重金属离子沉聚到表层底泥.在对黄河泥沙对重金属吸附作用的研究中^[2],选用粒径小于 0.063 mm 的泥沙作吸附剂研究了黄河水环境的泥沙浓度、污染物浓度、泥沙粒度、pH 值对水体中重金属吸附作用的影响.研究表明,泥沙对重金属有较高的饱和吸附量,未达到饱和吸附量的泥沙具有一定的吸附势.重金属水相初始浓度对泥沙吸附总量表现为正相关.泥沙吸附的重金属在环境条件恶化时,如 pH 值下降、氧化还原电位降低、水中离子强度增大等均可导致重金属的释放,造成二次污染.

影响泥沙吸附重金属的因素可归纳为 5 个.①水环境化学条件的影响:水体 pH 值和水温升高,有利于泥沙对重金属的吸附,而水体盐度升高则不利泥沙对重金属的吸附.②泥沙颗粒本身的物理化学特性:活性组分含量高、粒径细有利于泥沙吸附重金属.③不同的重金属共存,存在竞争吸附,各种重金属的吸附量均有减少,吸附能力较强的重金属受共存离子的影响小.④重金属初始浓度大,泥沙吸附量多.⑤泥沙浓度高,总吸附量增加,单位重量泥沙吸附量减少.

2.2 泥沙解吸重金属的研究

重金属污染物进入水体之后,大部分被水体的泥沙颗粒所吸附,这是重金属污染物由液相进入固相的主要途径.泥沙颗粒在水体中迁移沉积使水体在一定程度上自净.但另一方面沉积颗粒物会在一定的水环境条件下,重新释放污染物,造成水体的二次污染.一些学者对泥沙解吸重金属进行了理论解析和实验研究.邓志强、褚君达^[8]分析了静态水环境系统中底泥对污染物吸附-解吸机理,认为泥沙颗粒物吸附-解吸过程伴随着系统自由能的改变,吸附热可以作为衡量吸附强度的某种指标.当污染源切断后,沉积物中的营养物质就会释放,释放的营养物质首先进入空隙水,然后再与上覆水混合扩散.影响营养物释放的主要因素有溶解氧、pH 值、温度、氧化还原势、生物及水的扰动等.好氧条件有利于吸附,而厌氧条件有利于释放.黄岁梁^[9]从吸附反应动力学方程和质量守恒方程出发,导得静态试验中泥沙解吸重金属污染物时单位重量泥沙剩余吸附量和水相浓度随时间变化的计算公式以及解吸平衡时单位重量泥沙剩余平衡吸附量和水相平衡浓度的计算公式,可作为进一步广泛定量研究泥沙解吸性质的基础.

2.3 泥沙吸附有毒有机物与吸附重金属机制的差异

有毒有机物与重金属相比,在水沙体系中的行为更加复杂^[2]。有毒有机物因结构不同与泥沙作用的机制有明显的差别,离子型有毒有机物与泥沙发生吸附作用,非离子型有毒有机物在水沙两相中的行为表现为分配,吸附作用的吸附热较高,其等温吸附线为非线性,且存在竞争吸附;分配则相反,以线性等温吸附为特征,且其在水沙两相的分配比率有赖于其在水中的溶解度。非离子型有毒有机物在水中的溶解度取决于它的极性,其溶解度还随水中可溶性有机物含量的增加而增加,并不与其它物质发生强烈作用。它与泥沙的作用与泥沙本身的矿物特性关系不大,而与泥沙吸附的有机质密切相关。与泥沙上有机质的作用机理属于分配,不存在竞争吸附,因而与泥沙的表面积或粒径关系不大。有毒有机物会挥发、水解、光解、生物降解等,总量不断减少。

2.4 相关数学模型的研究

环境水体的性质受多因素影响,污染物本身也十分复杂,污染物质同泥沙之间复杂的相互作用包括生物化学反应和生物降解等,建立数学模型定量描述有相当的难度。黄岁梁、万兆惠等^[10]将重金属迁移转化数学模型分为化学热力学平衡数学模型、化学反应动力学数学模型和迁移转化动力学数学模型。迁移转化动力学数学模型又分为稳态模型和动态模型。金相灿、张玉清等^[11]研究了湘江重金属迁移转化的过程,考虑了溶解态、颗粒态和底泥重金属之间的相互迁移转化过程,建立了湘江重金属随水、悬浮物及底泥的迁移转化数学模型,用于当地水质预报和水质规划。黄岁梁等^[12]研究了河流重金属污染迁移转化整体数学模型,推出了构成河流一维重金属污染物迁移转化数学模型的基本方程,利用水槽中泥沙静态吸附试验数据进行了验证,效果较好。

建立数学模型必须考虑水流运动、泥沙运动、pH值、水温、泥沙颗粒级配、泥沙浓度及矿物组成、水体盐度、时间等诸因素的影响,解出上述因素时空分布变化的数值解,以及大量实测资料的验证和检验。至今描述河流中重金属迁移转化的数学模型远未成熟,对泥沙作用下有机污染物在河流中的输移规律的数值分析模型更不多见。

3 研究思路与前景

对于泥沙同重金属及有机污染物的相互作用,重金属等污染物质在水体中形态分布及转化规律的研究,必须采用现场测试研究、试验模拟研究和数值模拟研究相结合的方法来进行。

现场采样测试可以得到直接的测定效果,最接

近实际状况,但要保证样品数量、样品代表性及分析方法合理正确。实验室试验模拟可以得到污染物质在不同条件下的形态转化规律,掌握各种因素对污染物运动变化的影响。要选定合适的实验参数和尽可能同实际接近的模拟手段。建立数值分析模型包括建立概化的数学控制方程、考虑求解控制方程建立数值模型、确定包括反应动力常数在内的模型参数、率定和检验数值模型、应用数值模型并修改至完善。

污染物同泥沙相互作用的数值模拟研究要考虑作用与传输两个相互联系和制约的方面。不同污染物其物理化学性质不同,泥沙与有毒污染物相互作用的化学动力学特性也不同。采用实验室实验研究的方法,研究两者的相互作用机理、反应级数、速率以及各种环境参数对反应速度的影响。毒性污染物质在实际水体的扩散、传输的规律则主要采用水力学方法进行,研究水流特性、泥沙特性、环境因素等对毒性物质在水体中运动的影响规律。

注意到细颗粒泥沙对砷等重金属有很强的吸附能力,悬移质泥沙因为颗粒细而吸附能力特别强。水体含沙量愈大,吸附总量愈多。值得注意的是河流泥沙吸附油脂所需时间很短且吸附与解吸过程不完全可逆,河流泥沙总有残留油脂。有机物被絮凝体的外聚和物迅速吸附,短时间内可去除70%以上的有机物。通过模型试验研究可以掌握不同的泥沙细颗粒对不同污染物的随时间变化的吸附规律,再结合研发的地表水体(河流与湖泊)中有泥沙和没有泥沙条件下的污染物输移二维数学模型,可以应用粉沙处理水体突发污染灾难。

泥沙是资源,污染泥沙也是资源,迫切需要认真的、系统的应用研究。可以根据污染泥沙粒径、污染物种类和浓度考虑用作肥料、制砖、造地或矿产资源。

4 结 语

泥沙是污染物,也是其他污染物在水体中迁移转化的重要载体,对严重危害水体生态环境的重金属和有毒有机物,有很好的吸附作用。泥沙对污染物质的吸附特性已经引起人们的关注,已经开展的野外实测和实验研究取得了丰硕成果。影响泥沙吸附污染物质的主要因素有污染物质的种类、性质、组成和浓度等,泥沙的矿物组成与性质、泥沙粒径级配和水体中的泥沙浓度等;水体特性,如温度、盐度、酸碱度和水流紊动度以及作用时间等。充分研究影响泥沙吸附水体污染物的因素并努力创造有利条件,就有可能利用河流泥沙治理水体污染,并取得良好效果。

(下转第115页)

的改善结合起来,发挥水利工程改善水质的作用^[3].充分利用太仓临江的有利条件,定期开闸引排水,形成江潮水流的大循环,调活水体,提高河道水体的自净能力,改善河道水质.针对当前水污染的严峻形势,当务之急是设计切实可行的水利工程调控方案,提高河道的水环境容量,改善水环境质量.

f. 联合航政、港监等部门,加强对船舶污染的监督管理.船舶排放含油污水和生活污水必须达到船舶污染物排放标准;河道沿岸应建设船舶污染物的收集和处理设施,禁止船舶的残油、废油和垃圾直接排入水体.

g. 在加快沿江开发建设的同时,必须坚持经济发展、污染防治和生态保护并重的原则,实行保护优先,预防为主,防治结合.必须充分考虑开发建设对水环境的不利影响,特别是对水源地周边的建设项目,要严格执行环境影响评价制度和“三同时”制度,对水环境影响较大的项目要严格控制其数量和排污总量(特别是有机毒物的总量),严把审批关,确保饮用水安全.

h. 切实贯彻落实环境与发展综合决策制度.在

引进投资项目和进行工业布局的同时,要充分考虑环境的承载能力.加快化工、印染等重污染行业的结构调整,优先引进科技含量高、能耗低、污染小、效益好的高新技术企业,严防重污染行业和产品向本地区转嫁.

i. 加大环境保护宣教力度,提高各级领导干部、广大市民和农村居民的环保意识,唤起人们爱护河道、保护河道的自觉性.按照“污染者付费”的原则,可结合本地实际,适当调高污水处理收费价格.针对目前部分河道 TP 超标的情况,建议采取“禁磷”措施,防止水体富营养化.

参考文献：

[1] 陆莉莉,汪志达.浦东新区城市生活污水处理现状及对策探讨[J].上海环境科学,2001,20(8):397~398.
[2] 陈晓宏,江涛,陈俊合.水环境评价与规划[M].广州:中山大学出版社,2001.70~81.
[3] 徐贵泉,褚君达.上海市引清调水改善水环境探讨[J].水资源保护,2001(3):26~30.

(收稿日期:2003-06-10 编辑:高渭文)

(上接第 101 页)

参考文献：

[1] 陈静生,周家义.中国水环境重金属研究[M].北京:中国环境科学出版社,1992.53~95.
[2] 赵沛伦,申献辰,夏军,等.泥沙对黄河水质影响及重点河段水污染控制[M].郑州:黄河水利出版社,1998.55~85.
[3] 黄岁梁,万兆惠.河流泥沙吸附-解吸重金属污染物实验研究现状(一)[J].水利水电科技进展,1995(1):25~30.
[4] 黄岁梁,万兆惠.河流泥沙吸附-解吸重金属污染物实验研究现状(二)[J].水利水电科技进展,1995(2):27~31.
[5] Warren La, Zimmerman A P. The influence of temperature and NaCl on cadmium, copper and zinc partitioning among suspended particulate and dissolved phases in an urban river[J]. Wat Res, 1994, 28(9):1992~1931.
[6] Boekhold A E, Temminghoff E J M, et al. Infulence of electrolyte composition and pH on cadmium sorption by an acid sandy soi[J]. Journal of Soil Science, 1993(1):85~96.
[7] 孙卫玲,倪晋仁.泥沙吸附重金属研究中的若干关键问题[J].泥沙研究,2002(6):53~59.
[8] 邓志强,褚君达.水环境系统泥沙污染研究进展[J].水利水电科技进展,2002.22(1):56~59.
[9] 黄岁梁.泥沙解吸重金属污染物动力学模式研究[J].地理学报,1995,50(6):497~505.
[10] 黄岁梁,万兆惠.河流重金属迁移转化数学模型研究综述[J].泥沙研究,1995(4):42~49.
[11] 金相灿,张玉清,杨天行,等.湘江重金属迁移转化模型

研究[J].中国环境科学,1987,7(6):10~15.
[12] 黄岁梁,万兆惠,张朝阳.冲积河流重金属污染物迁移转化数学模型研究[J].水利学报,1995(1):47~56.

(收稿日期:2003-06-10 编辑:马敏峰)

黄河源区黄河断流的原因已经查明
由于全球气候变化,自 20 世纪 50 年代以来,黄河源区的水均衡处于负均衡状态,只有丰水年份才出现正均衡.进入 20 世纪 90 年代后,干旱化趋势加剧,大量中小型湖、塘干涸,草场大面积退化和荒漠化,沼泽湿地失水严重,一些外流湖变为内陆湖,生态环境退化.此外,多年冻土层出现萎缩,引起冻结层疏干,开采砂金对河谷平原区含水层结构彻底破坏,切断了地表水对地下水系统的补给,过度放牧对草场植被破坏,造成草场退化,源区水源涵养能力降低,造成地下水补给量减少,区域地下水位下降,使得黄河源区水环境恶化.黄河源区黄河断流是内、外力地质作用的结果;青藏高原隆升河流侵蚀下切作用强烈,引起区域地下水位下降,地下水含水系统遭受破坏,湿地、湖泊缩减,造成水资源调蓄能力降低,当冬季地下水调节量不足以维持径流时,出现断流;植被退化,土壤涵养水分能力降低;气候原因,冬季极低温造成河流“连体冻”式断流.今后黄河发生断流的频率将会增高.

(编辑部供稿)