

·综述·

文章编号:1006-7329(2002)02-0109-07

水质模型及其应用研究进展

郭劲松, 李胜海, 龙腾锐

(重庆大学 城市建设与环境工程学院, 重庆 400045)

摘要:运用系统分析技术进行水污染控制系统的规划是现代水质管理的基础和依据,水质模型对整个规划过程起着至关重要的作用。较详细地综合评述了近年来国内外水质模型及其应用的研究进展,并评价了水质模型研究的发展趋势,旨在促进相关研究的发展。

关键词:水质模型; 研究进展

中图分类号:X321

文献标识码:A

水质模型是污染物在水环境中变化规律及其影响因素之间相互关系的数学描述,它既是水环境科学研究的内容之一,又是水环境研究的重要工具^[1]。它的研究涉及到水环境科学的许多基本理论问题和水污染控制的许多实际问题。它的发展在很大程度上取决于污染物在水环境中的迁移、转化和归宿研究的不断深入,以及数学手段在水环境研究中应用程度的不断提高^[2]。水质模型在理论上从最初的质量平衡原理发展到现在的随机理论、灰色理论和模糊理论;在实际应用上,从最初的城市排水工程设计发展到现在的污染物水环境过程模拟、水环境质量评价、污染物水环境行为预测,水生物污染暴露程度分析和水资源科学管理规划等水环境保护的各个方面;在研究方法上,从最初的解析解和浓度表达发展到现在的以人工神经网络模拟辅助解析、及与地理信息系统(GIS)相结合的数值解和逸度表达法。这些成果都极大地推动了水环境管理技术的现代化。

1 水质模型研究进展

最早发展的水质模型是简单的氧平衡模型。1925年,美国的两位工程师 Streeter 和 Phelps 在对 Ohio 河流污染源及其对生活污水造成的可度量影响的研究中,提出了氧平衡模型的最初形式。在该模型中,他们假定河流的自净过程中存在两个相反的过程,即有机污染物在水体中发生生物氧化反应,消耗水中溶解氧,其速率与水中有机污染物浓度成正比;同时大气中的氧不断地进入水体,其速率与水中的氧亏值成正比。在这两个相反过程的作用下,水中溶解态氧达到平衡。该模型最初被应用于城市排水工程的设计和简单水体自净作用的研究。

自水质模型在 20 世纪初诞生以来,其发展阶段有许多不同的分类方法。叶常明^[3]把水质模型的发展分成 3 个阶段,即简单的氧平衡模型阶段、形态模型阶段和多介质环境综合生态模型阶段。而谢永明^[2]把水质模型的发展分成 5 个阶段:1925~1960 年为水质模型发展的第一阶段,这一阶段以 Streeter—Phelps 水质模型(S-P 模型)为代表,后来科学家在其基础上成功地发展了 BOD-DO 耦合模型,并应用于水质预测等方面;1960~1965 年,在 S-P 模型的基础上又有了新的发展,引进了空间变量、物理的、动力学系数,温度作为状态变量也被引入到一维河流和水库(湖泊)模型,水库

* 收稿日期:2002-02-05

基金项目:国家自然科学基金资助项目(59778021);国家自然科学基金重点项目(59838300)

作者简介:郭劲松(1963-),男,四川射洪人,教授,主要从事水污染控制的理论与技术研究。

(湖泊)模型,同时考虑了空气和水表面的热交换,并将其用于比较复杂的系统;不连续的一维模型扩展到其他输入源和漏源是水质模型的第三阶段,1965~1970期间进行的研究,其他输入源和漏源包括氮化合物好氧(NOD)、光合作用、藻类的呼吸以及沉降、再悬浮等等,计算机的成功应用使水质数学模型的研究取得了突破性的进展;在1970~1975年期间,水质模型已发展成相互作用的线性化体系,生态水质模型的研究初见端倪,有限元模型用于二维体系,有限差分技术应用于水质模型的计算;在最近的20多年中,科学家的注意力已逐渐地转移到改善模型的可靠性和评价能力的研究上。

50年代开始,由于电子计算机技术的应用和水环境科学的发展,氧平衡数学模型有了较大发展,尤以O'Connor和Dobbins的工作最为重要。他们在模型中考虑了氧化物和底泥的作用,从而在包括模型的参数和模型的求解技术方面都有了较大的发展。在此基础上,Grenney开发了美国环保局推荐使用的QUAL-II水质模型,这是一种较为复杂的氧平衡生态模型,该模型已经被成功地广泛应用于河流水质预测和水质管理规划中。

形态模型是指表征污染物在不同状态和不同形态下水环境行为的模型。随着污染物水环境行为和水质标准制定工作研究的不断深入,传统的氧平衡数学模型已不能满足实际工作的需要,因此需要另一种模型——即形态模型来描述同一个污染物由于它在水环境中存在的状态和化学形态的不同而表现出的完全不同的环境行为和生态效应。80年代初,随着形态分析的发展,一些研究者开始了形态模型的探索和研究,这一研究的关键是模型设计时所考虑的化学反应的真实性、污染物形态识别的准确性和输入数据的可靠性。Lawrence、F'orstner和Loux等分别对有机污染物、重金属和阴离子污染物等进行了形态模拟研究,并取得了一定的成果。

近年来,水质模型的研究取得了很大进展,主要体现在以下几个方面:

1.1 包括水生食物链在内的多介质环境生态综合模型

由于复杂的物理、化学和生物过程的结果,释放到环境中的污染物在大气、水、土壤和植被等许多环境介质中进行分配,由污染物引起的可能的环境影响与它们在各种环境单元中的浓度水平和停留时间密切相关。为了综合描述它们之间的相关关系,产生了多介质环境综合生态模型。

多介质环境是指大气、水体、土壤、生物等组成的总环境体系,其中水体是核心。多介质环境数学模型可将各种不同的环境单元内部的污染物变化过程与导致污染物跨过介质边界的过程相联系,构成一个能描述在多介质环境中污染物转化和介质间物质迁移的表达式。R. Tanner et al.^[4]对工业过饱和盐水蒸发池中的生物群食物链进行了研究,C. Fall et al.^[5]针对五氯代苯酚在改良的地下水系统中的分布建立了模型,H. Y. Zhou et al.^[6]研究了沉积物中所吸附的多氯联苯(PCBs)量与罗非鱼体内多氯联苯(PCBs)的富集量之间的关系。由于还没有对污染物在各种介质之间的迁移过程有更充分的认识,现有的多介质环境模型在处理实际问题时不得不对污染物在介质间的迁移过程作近似假设,许多参数的随机性给模型预测结果带来不确定性。所以,这类模型还只能给出一种趋势预测,而不是状态的精确预报。多介质环境模型的主要目的是污染物对人体或生物进行暴露分析(Exposure Analysis),并对废物处的危险性进行评价。因此,只有将食物链模型与多介质环境模型联合起来,构成更为综合的模型,才能更好地适应实际应用的需要。

1.2 模型不确定性的研究

由于环境的水文条件具有很大的随机性,这就导致了水环境数学模型输出的不确定性。为了提高模型的精确度和结果的可靠性,有必要对模型不确定性进行研究。Andrews k. Takyi^[7]分析了模拟-优化模型中不确定性的来源有:(1)污染物的排放量和河流背景值的随机性;(2)估计模型参数所需的河流和水质资料的不充分;(3)对污染物传输过程和水质管理系统的简化缺乏充分的认识。他还为水质管理建立了多重实现(Multiple Realization)模型,该模型在单个优化模拟中同时融入几条可能的河流和背景污染排放量或实现值。这一技术在水质管理的经济性和可靠性之间产生一条权衡曲线。为了产生权衡关系,在单个优化模型中同时融入几种可能的设计条件背景值。这一模型既简单,且和那些传统的随机模型相比,能为复杂的和随机的水质管理系统提供更切实际的

描述。此外,该模型通常能比传统的模拟—优化模型产生更有效的费用—可靠性关系曲线。Michael D. Sohn et al.^[8]为了估计和减小地下水流量的不确定性和预测污染物化学转移的不确定性,开发了贝叶斯·蒙特卡罗(Bayes Monte Carlo Methods)不确定性分析方法。该方法采用工程推断来估计和用现场观测数据来更新污染源的参数、化学转移参数,以及假定的水文结构中的不确定性。Alaa H. Aly. et al.^[9]在不确定性情况下,运用神经网络和遗传算法(GA)来优化地下水去污系统的设计。这一方法包括:(1)用遗传算法来找到全局最优解答;(2)并入神经网络来模拟遗传算法内的反应表面(response surface)。这一方法在实际样本和不同优化背景下的应用表明,它需要较少的水力传导实现(hydraulic conductivity realizations),并且可在可靠性和处理设施能力之间产生一条权衡曲线。

由于水环境条件具有很大的随机性,为了提高模型的精确度和输出结果的可靠性,对模型的不确定性分析方法的研究,目前是、今后仍然是水质模型的研究热点之一。

1.3 模糊数学在水环境数学模型中的应用

如前文所述,水文环境条件有很大的随机性,要定量分析相关关系有很大的困难,此外,水质的变化是连续的,而我们的水质标准中的污染物浓度的表示却是不连续的。为了解决这一矛盾,很有必要应用模糊数学中的相关概念,模糊数学在水环境方面也有很多应用^{[10][11]}。Y. Y. Yin et al.^[10]运用模糊关系分析(FRA)模型来分析大量的不同的备选方案,同其它的在不确知情况下影响评价的多准则方法相比,FRA法在数据的可获得性、需求的计算能力和结果说明上有优势。K. sasikumar et al.^[11]成功地建立了污染负荷分配的模糊模型(the fuzzy waste load allocation model)。该模型在考虑污染控制部门和污染物排放单位之间的利益目标冲突下,能够提供经济的和技术上可行的方案。当然,如何合理地把水质模型和模糊数学相结合,还有待于环境科学工作者与计算数学工作者们进一步的研究。

1.4 与人工神经网络(ANNs)相结合

人工神经网络(Artificial Neural Networks)就是模仿人脑的工作方式而设计的一种计算方法,它可用电子或光电元件实现,也可用软件在常规计算机上仿真;或者说人工神经网络是一种具有大量连接的并行分布式处理器,它具有通过学习获取知识并解决问题的能力,且知识是分布存储在连接权(对应于生物神经元的突触)中,而不是像常规计算机那样按地址存在特定的存储单元中^[12]。近几年来,人工神经网络在水质模型方面的应用取得了飞速的发展^[9,13-20]。T. R. Neelakantan et al.^[13]用人工神经网络建立了水库运行的模拟—优化模型。Marina campo et al.^[16]用ANNs来预测河流枯水期的流量并得出结论:当它与水质模型相结合时对河流的水质管理非常有用。Bin zhang et al.^[15]结合贝叶斯概念和(Bayesian Concepts)组合的NN来预测集水区的径流量。V. chanramouli et al.^[14]用动态规划和ANN来模拟多水库水系的运行方案。Sharad kumar Jain^[17]用ANNs开发了综合的沉淀速率曲线。ANNs被用作胡克和吉维斯非线性规划(Hooke and Jeeves nonlinear programming)模型的子模型,来寻求水库运行近似最优方案。结果表明,该模型比常规的模拟—优化模型结果更精练。此外,ANNs还可应用于水系模型的误差更新^[18]。随着ANNs的不断发展和完善,在环境工作科学者们的努力之下,相信ANNs在水质模型方面的应用将会更深入、更全面、更系统,ANNs在水环境科学中的应用仍将是今后相当长时间内的热点之一。

1.5 水质模型与地理信息系统(GIS)相结合

地理信息系统(GIS)以具有地理位置的空间数据为研究对象,以空间数据库为核心,采用空间分析和建模的方法,适时提供多种空间的和动态的资源与环境信息。它涉及人工智能、环境工程、规划理论、地学、数学等多种学科和专业。地理信息是有关地理实体的性质、特征和运动状态的表征,它是对表征地理特征与地理现象之间的地理数据的解释。而地理数据包括空间位置、属性特征及时域特征三部分。空间位置数据描述地物所在位置;属性数据是属于一定地物,且描述其特征的定性或定量指标;时域特征是指地理数据采集或地理现象发生的时段/时刻(在水污染控制规划中,如:污染源相关指标、断面监测指标、突发事件等发生的时间等)。空间位置、属性及时间是地理空

间分析的三个基本要素, GIS的概念描述一般都包含这三层意思。

由于地理信息系统(GIS)技术具有集水区空间特征分析,因此, A. Goonetilleke et al.^[21]认为它在城市水文中有相当大的作用。因为集水区的时空特征数据库的可获得性能够消除由于采用假设简化而引起的研究质量的减弱,这也从另一方面说明在城市集水区,土地用途的准确的时空解释的重要性。由于地理信息系统(GIS)的空间特性对水质管理者很有帮助, William Dixon et al.^[22]在优化选取河网取样点时,首先就用地理信息系统(GIS)和成形理论以矩阵形式形成河网的数学描述。随着计算机在大规模数据处理方面能力的提高,地理信息系统(GIS)一定会在水环境科学中取得越来越多的应用,水质模型和地理信息系统(GIS)的结合仍将是今后的研究重点之一。

2 水质模型的应用

水质模型之所以受到科学工作者的高度重视,除了其应用范围广外,还因为在某些情况下它起着重要作用。例如,新建一个工业区,为了评估它产生的污水对受纳水体所产生的影响,用水质模型来进行评价就至关重要,以下将对水质模型的应用进行简要评述。

2.1 污染物水环境行为的模拟和预测

污染物进入水环境后,由于物理、化学和生物作用的综合效应,其行为的变化是十分复杂的,很难直接认识它们。这就需要用水质模型(水环境数学模型)对污染物水环境的行为进行模拟和预测,以便给出全面而清晰的变化规律及发展趋势。用模型的方法进行模拟和预测,既经济又省时,是水环境质量管理科学决策的有效手段。目前对这一方面的报导很多, T. Iwane et al.^[23]研究了处理过的污水排入河流后,对河流中的对抗生素有免疫作用的细菌的可能影响, A. Baeza et al.^[24]对塔霍河从西班牙的 Caceres 到葡萄牙的 Alentejo 河道中氚(³H)浓度水平的时空演变进行了分析研究。Anbo Liu et al.^[25]在细菌的细胞组织聚合体存在的条件下,对非在土壤中的动态解析行为进行了观察和模型预测。但由于模型本身的局限性,以及对污染物水环境的行为的认识的不确定性,计算结果与实际测量之间往往有较大的误差,所以模型的模拟和预测只是给出了相对变化值及其趋势。对于这一点,水质管理决策者们应特别注意。

2.2 水质管理规划

水质规划是环境工程与系统工程相结合的产物,它的核心部分是水环境数学模型。确定允许排放量这类水质规划,常用的是氧平衡类型的数学模型。求解污染物去除率的最佳组合,关键是目标函数的线性化。而流域的水质规划是区域范围的水资源管理,是一个动态过程,必须考虑3个方面的问题:(1)水资源利用利益之间的矛盾;(2)水文随机现象使天然系统动态行为(生活、工业、灌溉、废水处置、自然保护)预测的复杂化;(3)技术、社会和经济的约束。为了解决这些问题,可将一般水环境数学模型与最优化模型相结合,形成所谓的水质管理模型^[26]。近几年来开发了许多新的水质管理模型, Muhammad Shafiqat Ejaz et al.^[27]用模拟优化方法来求河流的农业废水和生活污水负荷的优化管理, Sasikumar et al.^[11]用模糊优化方法来进行河流系统的水质管理, Donald H. Burn^[28]用模拟优化方法来进行河流系统水质管理,通过结合模拟—优化方法来建立水质管理模型, Amit K. Sinha et al.^[29]用行为分析算法来优化确定非线性多目标水库体系的规模。V. Chandramouli et al.^[14]结合神经网络和动态规划方法来建立水库体系的水质管理模型, S. Alireza et al.^[30]用非线性规划法进行地下水水质管理。水质管理模型已有很成功的应用。

2.3 水质评价

水质评价是水质规划的基本程序。根据不同的目标水质模型可用来对河流、湖泊(水库)、河口、海洋和地下水等水环境的质量进行评价。现在的水质评价不仅给出水体对各种不同使用功能的质量,而且还会给出水环境对污染物的同化能力以及污染物在水环境浓度和总量的时空分布。

水污染评价已由传统的点源污染转向非点源污染,这就需要农业非点源污染评价模型来评价水环境中营养物质和沉积物以及其它污染物。如利用贝叶斯概念(Bayesian Concepts)和组合神经

网络来预测集水流域的径流量^[15]。研究的对象也由过去的污染物扩展到现在的有害物质在水环境的积累、迁移和归宿^[31]。

2.4 污染物对水环境及人体的暴露分析(Exposure Analysis)

由于许多复杂的物理、化学和生物归宿以及迁移过程在多介质环境中运动的污染物会对人体或其它受体产生潜在的毒性暴露,因此,出现了用水质模型进行污染物对水环境即人体的暴露分析(Exposure Analysis)。Daniel J. Fisher et al.^[32]对水生生物有机体在有氨和无氨存在的条件下,连续或间断暴露于氯和溴下的相对准确的毒性进行了研究。David A. Pillard et al.^[33]就苯并三唑和苯并三唑衍生物对三种水生生物的毒性进行了研究。Jill A. Kostel et al.^[34]用一种新的实验室河流系统来研究水生附着生物层中 PCBs(多氯联苯)暴露的生态学影响。此外,污染物对人体或生物的暴露分析的文献报道还有很多^{[5][35~43]},但许多研究都是在实验室条件下的模拟,研究对象也比较单一,范围也不广泛,如何才能建立经济有效的对多种生物体的综合的暴露分析模型,还有待于环境科学工作者们去探索。

2.5 水质监测网络的设计

水质监测数据是进行水环境研究和科学管理的基础,对于一条河流或一个水系,准确的监测网站设置的原则应当是:在最低限量监测断面和采样点的前提下获得最大限度的具有代表性的水环境质量信息,即既经济又合理、省时。对于河流或水系的取样点的最新研究采用地理信息系统(GIS)和模拟的退火算法等来优化选择河流采样点, Richard et al.^[44]曾经使用修正的经典容量技术来优化水质监测网络,通过引入修正的梯度搜索算法来实现。结果表明,该方法能够适用于多种实际情况,并且比由 Sharp^[45]发表的河流取水点规划的拓扑优化方法更优。

3 水质模型研究的发展趋势

综观水质模型的研究历史和应用前景以及水环境科学今后的发展,笔者认为水质模型研究的发展趋势为模型的非线性解析方法的研究,这一领域的主流可能为:

3.1 模型不确定性的分析

由于水环境的复杂性,在利用非线性规划方法来建立水质模型过程中,不可能把所有影响因素都考虑进去,一般只把那些主要因素考虑进去而忽略那些次要因素。因此,不可避免地会给模型的结果产生不确定性,模型不确定性有模型参数的不确定性和模型解析的不确定性。克服这些不确定性对模型预测精度和可靠性的负面影响的研究,是今后相当长时期内水质模型研究的重点。

3.2 基于人工神经网络(ANNs)的水质模型的研究

随着科学技术的不断发展,计算机硬件及软件技术的突飞猛进,计算机必将在计算能力方面,人工智能模拟能力方面取得巨大的进步。因此,以之为基础的人工神经网络(ANNs)在水质模型方面的应用研究必将随着人工智能模拟的进步而取得蓬勃发展,而对此方面的研究相信会成为环境科学工作者的研究热点。

3.3 基于地理信息系统(GIS)的水质模型的研究

随着计算机技术在大规模数据处理方面和数据实时成像技术方面取得巨大的成就,与之紧密相连的地理信息系统(GIS)必将在水环境科学中有广阔的应用前景。目前,对这一方面的研究国际上已有众多报道,但在实践中的应用还没有取得满意的结果。随着科学技术的不断发展,地理信息系统(GIS)在水污染控制方面的实践应用将会更加完善,并取得长足的进步。

参考文献:

- [1] 傅国伟,程声通.水污染控制规划[M].北京:清华大学出版社,1985.
- [2] 谢永明.环境水质模型概论[M].中国科技大学出版社,1996.

- [4] 叶常明. 水环境数学模型的研究进展[J]. 环境科学进展, 1993, 1(1): 74 - 80.
- [4] R. Tanner et al. . Food chain organisms in hypersaline industrial evaporation ponds[J]. Water Environ. Research, 1999, 71(4): 494 - 501.
- [5] C. Fall et al. . Generalized model of pentachlorophenol distribution in amended soil - water systems[J]. Water Environ. Research, 2001, 73(1): 110 - 117.
- [6] H. Y. Zhou et al. . Accumulation of sediment - sorbed PCBs in tilapia[J]. Water Research, 2000, 34(11): 2905 - 2914.
- [7] Andrews K. Takyi and Barbara J. Lence. Surface water quality management using a multiple - realization chance constrained method[J]. Water resources research, 1999, 35(5): 1657 - 1669.
- [8] Michael D. Sohn et al. . Reducing uncertainty in site characterization using Bayes Monte Carlo methods[J]. Journal of environmental engineering, 2000, 126(10): 893 - 902.
- [9] Alaa H. Aly, Richard C. Peralta. Optimal design of aquifer systems under uncertainty using a neural network and a genetic algorithm[J]. Water resources research, 1999, 35(8): 2523 - 2531.
- [10] Y. Y. Yin et al. . Fuzzy relation analysis for multicriteria water resources management[J]. Journal of water resources planning and management, 1999, 125(1): 41 - 47.
- [11] K. Sasikumar and P. P. Mujumdar. Fuzzy optimization model for water quality management of a river system[J]. Journal of water resources planning and management, 1998, 124(2): 79 - 88.
- [12] 阎平凡, 张长水, 等. 人工神经网络与模拟进化计算[M]. 北京: 清华大学出版社, 2000.
- [13] T. R. Neelakantan, N. V. Pundarikanthan. Neural network - based simulation - optimization model for reservoir operation [J]. Journal of water resources planning and management, 2000, 126(2): 57 - 64.
- [14] V. Chandramouli and H. Raman. multireservoir modeling with dynamic programming and neural networks[J]. Journal of water resources planning and management, 2001, 127(2): 89 - 98.
- [15] Bin Zhang et al. . Prediction of water runoff using Bayesian concepts and modular neural network[J]. Water resources research, 2000, 36(3): 753 - 762.
- [16] Marina Campolo, et al. . Forecasting river flow rate during low - flow period using neural network[J]. Water resources research, 1999, 35(11): 3547 - 3552.
- [17] Sharad Kumar Jain. Development of integrated sediment rating curves using ANNs[J]. Journal of hydraulic engineering, 2001, 127(1): 30 - 37.
- [18] Vladan Babovic, et al. . Neural network as routing for error updating of numerical models[J]. Journal of hydraulic engineering, 2001, 127(3): 181 - 193.
- [19] Qing Zhang and Stephen J. Stanley. Real - time water treatment process control with artificial neural network[J]. Journal of environmental engineering, 1999, 125(2): 153 - 160.
- [20] Sang Hyun Sohn, et al. . Prediction of ozone formation based on neural network[J]. Journal of environmental engineering, 2000, 126(8): 688 - 696.
- [21] A. Goonetilleke, et al. . The role of geographical information systems in urban hydrological modeling, Lecturers, school of civil engineering[J]. Queensland university of technology, 1999.
- [22] William Dixon et al. . Optimized selection of river sampling sites[J]. Water research, 1999, 33(4): 971 - 978.
- [23] T. Iwane et al. . Possible impact of treated wastewater discharge on incidence of antibiotic resistant bacteria in river water [J]. Water Science & Technology, 2001, 43(2): 91 - 100.
- [24] A. Baeza et al. . Spatial and temporal evolution of the levels of tritium in the Tagus river in it's passage through Caceres (Spain) and the Alentejo (Portugal)[J]. Water Research, 2001, 35(3): 705 - 714.
- [25] Anbo Liu et al. . Phenanthrene desorption from soil in the presence of bacterial extracellular polymer: observations and model prediction of dynamic behavior[J]. Water Research, 2001, 35(3): 835 - 843.
- [26] J. M. P. Vicria and L. Lijklema. development and application of a model for region quality management[J]. Water research, 1989, 23(6): 767 - 778.
- [27] Muhammad Shafqat Ejaz. Modeling for optimal management of agricultural and domestic wastewater loading to streams[J]. Water resources research, 1995, 31(4): 1087 - 1095.
- [28] Donald H. Burn. Water - quality management through combined simulation - optimization[J]. Journal of environmental engineering, 1989, 115(5): 1011 - 1024.
- [29] Amit K. Sinha et al. . Nonlinear optimization model for screening multipurpose reservoir system[J]. Journal of water re-

- sources planning and management, 1999, 125(4): 229 - 233.
- [30] S. Alireza Taghavi et al. . Optimal control of ground - water quality management: nonlinear programming approach[J]. Journal of water resources planning and management, 1994, 120(6): 963 - 982.
- [31] Wu - Seng Lung. Fate and transport modeling using a numerical tracer[J]. Water resources research, 1996, 32(1): 171 - 178.
- [32] Daniel J Fisher et al. . The relative acute toxicity of continuous and intermittent exposures of chlorine and bromine to aquatic organisms in the presence and absence of ammonia[J]. Water research, 1999, 33(3): 760 - 768.
- [33] David A. Pillard, et al. . Toxicity of benzotriazole and benzotriazole derivatives to three aquatic species[J]. Water research, 2001, 35(2): 557 - 560.
- [34] Jill A. Kostel. Et al. . Use of a novel laboratory steam system to study the ecological impact of PCB exposure in a periphytic bioayer[J]. Water research, 1999, 33(18): 3735 - 3748.
- [35] S. D. Roast et al. . Toxicity of the organophosphate pesticides chlorpyrifos and dimethoate to neomysis integer[J]. Water research, 1999, 33(2): 319 - 326.
- [36] H. Y. Zhou et al. . Bioaccumulation of organochlorines in freshwater fish with different feeding modes cultured in treated wastewater[J]. Water Research, 1999, 33(12): 2747 - 2756.
- [37] H. Okamura et al. . Fate and ecotoxicity of the new anti - fouling compound Irgarol 1051 in the aquatic environment[J]. Water Research, 2000, 34(14): 3523 - 3530.
- [38] J. M. Giddings et al. . Acute toxicity of 4 - amino - musk - xylene to daphnia magna in laboratory water and natural water [J]. Water Research, 2000, 34(8): 2215 - 2222.
- [39] Korami Dembele et al. . Concentration effects of selected insecticides on brain acetylcholinesterase in the common carp[J]. Ecotoxicol. Environ. Safety, 2000, 45(1): 49 - 56.
- [40] 邱东如. 内分泌扰乱化学品对动物的影响和作用机制[J]. 环境科学研究, 2000, 13(6): 52 - 57.
- [41] H. Liltveed et al. . Effect of high intensity light on ultraviolet - irradiated and non - irradiated fish pathogenic bacteria[J]. Water research, 2000, 34(2): 481 - 486.
- [42] 程晓东. 河流底泥重金属不同形态的生物有效性[J]. 农业环境保护, 2001, 20(1): 19 - 24.
- [43] 梁涛. 颗粒态铜对鱼体的生物有效性[J]. 环境科学进展, 1999, 7(4): 70 - 74
- [44] Richard N. Palmer et al. . Optimization of water quality monitoring networks[J]. Journal of water resources planning and management, 1985, 111(4): 478 - 493.
- [45] Sharp W. E. A topological optimum water sampling plan for river and streams[J]. Water resources research, 1971, 7(6): 753 - 761.

Study and Progress of Water Quality Model and Its Application

GUO Jing-song, LI Sheng-hai, LONG Teng-rui

(Faculty of Urban Construction and Environment Engineering, Chongqing University B, Chongqing 400045, China)

Abstract: In the last decade, with the development of environmental science, the studies on water quality models have developed rapidly at home and abroad. The water quality models are mainly used for simulating, assessing and predicting water quality and expounding the transport and transformation of pollutants in aquatic environment, the common models in literature such as fugacity approach, transport model of pollutants in multimedia environment, pollutant exposure model, and water quality management model and so on are discussed. The current situation, history and future trend of the research on aquatic environmental model are summarized. The theories, methodology and application problems which are involved with in this field are analyzed. Several leading objects for study are advanced also in this paper.

Keywords: water quality model; progress of study