

水源地安全可靠研究

——以望虞河水源地为例

崔广柏 梁瑞驹 张文胜 [著]

长江出版社



水源地安全可靠研究

——以望虞河水源地为例

崔广柏 梁瑞驹 张文胜 [著]

长江出版社



图书在版编目(CIP)数据

水源地安全可靠研究/崔广柏,梁瑞驹,张文胜
著. —武汉:长江出版社,2008.8
ISBN 978-7-80708-244-6

I. 水… II. ①崔…②梁…③张… III. 引水—水
利工程—安全技术—华东地区 IV. TV68

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 031901 号

水源地安全可靠研究

崔广柏 梁瑞驹 张文胜 著

责任编辑:朱舒

装帧设计:刘斯佳

出版发行:长江出版社

地 址:武汉市解放大道 1863 号

邮 编:430010

E-mail:cjpub@vip.sina.com

电 话:(027)82927763(总编室)

(027)82926806(市场营销部)

经 销:各地新华书店

印 刷:武汉中远印务有限公司

规 格:787mm×1092mm 1/16

9.125 印张 200 千字

版 次:2008 年 8 月第 1 版

2008 年 8 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-80708-244-6/TV · 90

定 价:24.00 元

(版权所有 翻版必究 印装有误 负责调换)

前 言

随着我国经济飞速发展和人民生活水平的不断提高,水安全问题已经日益提上日程,这些问题主要包括饮水安全、防洪安全、粮食生产安全、经济用水安全和生态用水安全。为了解决这些问题,调整水资源时空分布的不均衡性,必须对水资源进行人工干预再分配。事实已经证明,调水是一种行之有效的水资源再分配手段。水源地优质水既能够改善当地生态环境状况,又能够补给需水区域水量,满足当地工农业生产以及人民日常生活用水的需求。可以说,目前很多调水工程已经成为当地生态环境及经济社会的生命线。

调水工程安全有效的实施与引水水源地安全息息相关。当水源地具有充沛的水量、优良的水质时,调水可以很好地解决需水区域水资源及水环境问题;反之,不仅无益,而且有害。因此在进行各类调水之前,必须对水源地安全性进行全面的评价论证,以保证调水工程的有效性。

太湖地处经济发达的长江三角洲,受环湖各类岸源污染的影响,太湖自2000年开始,连年暴发水华事件,给环湖地区人民的生产生活产生了极为不利的影响。2000年,水利部启动了“引江济太”工程,通过望虞河引长江优质水来补给太湖的水量及改善太湖生态环境状况,收到了良好的效果。但该调水工程的水源地安全性却从未有人作过全面系统的研究。

基于此,本书从水源地水环境状况,岸源污染负荷总量及其与水源地关系,水源地岸线、河势及河床稳定性,水源地来水来沙情况等方面对水源地安全性进行了较为全面的分析。

本书收集了有关该水源地的资料,并建立或者运用了相关模型,对望虞河水源地安全进行了计算分析。本书主要的创新

成果有：①结合二维水环境数学模型及二维泥沙模型分析，从水源地水质、工业企业布局及其污染负荷、支流污染负荷输入、二维污染混合带、岸线开发利用、河床演变、流速场、泥沙场等方面对水源地安全进行了全面综合的评价分析，为引江济太工程提供指数支持，也为其他水源地选址、管理及维护提供参考。②成功地将美国环境流体力学模型(EFDC)的水动力及泥沙模块运用到我国长江，并运用该模型对水源地来水来沙情况进行模拟预测。③提出了一种基于三次样条函数以及相关分析法进行潮位推算的方法，在实际应用中效果不错。该方法可以作为缺少潮位资料地区的潮位推算或者插值的一种备选方案。④在前人研究的基础上，提出了针对岸线评价的四条标准，并根据该标准对岸线进行分类，指明了水源地对其岸线标准的要求，为今后岸线利用论证提供了借鉴。

作者

2007年9月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 水源地安全可靠研究的意义及目的	1
1.2 国内外研究进展及存在的问题	2
1.2.1 水源地研究进展	2
1.2.2 水流水质模拟研究进展	5
1.2.3 泥沙模拟研究进展	8
1.2.4 河床演变以及岸线研究进展	11
1.2.5 国内外研究存在的问题	14
1.3 主要研究内容及技术路线	15
第 2 章 望虞河水源地水环境现状分析	17
2.1 研究区概况	17
2.1.1 自然背景	17
2.1.2 研究区主要河道基本情况	19
2.1.3 社会经济	21
2.2 水环境现状分析	23
2.3 望虞河口长江水源地水质现状分析	26
2.3.1 单因子评价结果	26
2.3.2 水质综合指数法评价结果	27
2.4 污染物排放现状评价	28
2.4.1 评价方法、评价因子和评价标准	28
2.4.2 沿江工业污染源统计	29

2.4.3	主要污染因子的确定	30
2.4.4	研究区沿江主要工业污染源的地区分布	30
2.4.5	研究区主要工业污染企业排污量排序	31
2.5	支流排污口现状分析评价	33
2.5.1	支流水环境现状分析评价	33
2.5.2	排污口概化	34
2.6	本章小结	35
第3章	望虞河水源地水质可达性分析	37
3.1	问题的提出	37
3.2	基本原理	38
3.2.1	基本方程	38
3.2.2	FVM 基本方程的一维化处理	42
3.2.3	黎曼问题的求解	44
3.3	模型应用的关键技术	48
3.3.1	内部单元交界面问题	48
3.3.2	边界条件问题	48
3.3.3	水质边界条件	49
3.3.4	动边界技术	50
3.4	平面二维水量水质模型的率定	50
3.4.1	二维模拟区域概化	50
3.4.2	网格生成	51
3.4.3	糙率选取	51
3.4.4	模型计算水质部分的参数选择	52
3.4.5	计算时段和初值的选取	52
3.4.6	边界条件	53
3.5	平面二维水环境数学模型的率定以及验证	55

3.6	岸线现状污染负荷量可达性分析结论	57
3.7	典型年二维污染混合带的计算	58
3.7.1	设计条件选取	59
3.7.2	排污混合带计算结果	59
3.7.3	排污混合带长、宽与排污量关系曲线的建立	63
3.8	本章小结	63
第4章	望虞河水源地岸线稳定性分析	65
4.1	水文泥沙特征	65
4.1.1	径流	65
4.1.2	潮位和潮流	66
4.1.3	泥沙	67
4.2	地质地貌及河床边界条件	67
4.3	研究区长江岸线近期整治工程	68
4.4	取水口现状岸线评价分类	68
4.4.1	望虞河区域长江岸线分析	69
4.4.2	研究区长江主流河床演变分析	71
4.4.3	福山倒套演变分析	78
4.4.4	望虞河口水源地岸线评价结果	83
4.5	本章小结	84
第5章	望虞河水源地水沙演变的安全性综合分析	85
5.1	概述	85
5.1.1	研究的目的地及意义	85
5.1.2	本次泥沙模拟前提条件	85
5.2	EFDC 简介	86
5.2.1	EFDC 模型系统整体介绍	86
5.2.2	EFDC 泥沙及有毒污染物传输	86

5.3 基本方程	87
5.3.1 三维水动力方程的坐标变换	87
5.3.2 水动力方程	88
5.3.3 悬移质泥沙方程	90
5.4 泥沙的沉降速度的确定	92
5.4.1 非黏性泥沙的沉降速度	92
5.4.2 黏性泥沙的沉降速度	92
5.5 河床与水体的泥沙交换	94
5.5.1 非黏性泥沙的交换	94
5.5.2 河床黏性泥沙的交换	97
5.5.3 EFDC 对于河床变形的处理	98
5.6 模型的建立	99
5.6.1 模型的预处理	99
5.6.2 模型的率定以及验证	103
5.7 假设不利工况条件下福山倒套来水来沙预测分析	111
5.8 水源地水沙模拟结论	115
5.9 本章小结	116
第 6 章 结论与展望	118
6.1 结论	118
6.1.1 主要结论	118
6.1.2 创新点	119
6.2 展望	120
6.3 对引江济太水源地的建议	121
参考文献	122

第1章 绪论

1.1 水源地安全可靠性研究的意义及目的

我国水资源总量大,人均占有量小,水资源时间、空间上分布不均衡;同时,随着我国经济的持续发展,水环境污染问题日益严重,使我国水问题日趋突出。目前,通过调水来解决水问题是一种行之有效的手段,如引江济太、南水北调、博斯腾湖调水及黑河调水等,都是意义重大的工程。通过这些工程可以缓解环境压力,解决工农业用水及人畜饮用水等问题。

调水是一项非常复杂的工程,主要包括水源地和引水工程两大部分。本文以引江济太水源地为例,结合相关水量、水质及泥沙模型,旨在探索水源地安全的评价方法。

水源地是引水工程的源头,充沛的水量、优良的水质是对水源地的最基本的要求。对于河流型水源地,其河床及岸线稳定性应该加以考虑。此外,还应该对水源地岸线附近的工农业生产对水源地水质的影响进行研究。

水源地水量应足够充沛,以保证能持续稳定提供水源。长江是我国第一大河,全长6300多km,流域面积180万 km^2 ,可充分满足水源地对水量的要求。但由于长江河势多变,河床变化剧烈,可能造成同一河段不同区域水力结构的巨大差异,主流水流激烈,水量充沛,浅滩及各种河势变化剧烈处水流滞缓。而滞缓的流速造成水体置换周期的延长,水体自净能力大大降低,且易造成水源地河床的淤积。因此水源地不仅需要稳定的水量,还需要一定的流速。

水源地不仅要确保调水时能调到水,还要保证调水的水质,因此水源地水质是非常重要的。通常水源地本身的背景浓度都比较好,但由于流域面上的污染负荷的输入,可能会严重影响水源地水质。流域面上的(特别是水源地附近沿岸)污染包括点源污染和面源污染,两者各有特点,其主要污染成分也有很大的差别。如某些专门性的经济开发区,集中了大量生产同类产品的工业企业,其所排放的污染物具有类似的物质组成。面源污染主要来自于农业,主要组成成分是氮氮。因此必须对水源地及其附近汇入的各类水体进行计算分析,用水源地岸线污染负荷达标率对岸线污染负荷达标情况进行预测研究,同时找出影响水源地水

质的关键因素,并对这类因素借助数值模拟等手段进行分析研究。水环境数学模型是研究水量水质时间变化和空间变化的重要手段。借助二维或者三维水环境数值模拟,可以模拟水源地水体各不同水域浓度分布及各类岸源污染在水体中所形成的污染混合带的长度及范围,并可对这些岸源污染进行预测研究,定量分析其对水源地所产生的直接影响。

对于长江而言,由于其河势多变,水动力结构复杂,且受到人类围垦等活动的影响,因而造成其河床及岸线冲淤的极大不稳定性,也威胁着水源地使用寿命。长期处于淤积状态的河床,水源地淤高,水深变浅,流速变小,对各类岸源污染物的稀释降解能力减弱,严重影响水源地的水质水量。使用多年的河床及岸线资料对河床及岸线的演变作分析,可从其演变历史中发现其演变趋势及规律。此外,结合泥沙数值模拟,对不同工况条件下水源地来水来沙状况进行预测模拟,能从中找出影响河床及岸线稳定性的关键因素,并通过疏浚及岸线保护等措施,确保水源地的安全。

通过以上分析可知,水源地安全评价方法的几项内容都是相关的。水源地岸线及河床的变迁必然造成水源地水动力结构发生变化,在水体承受同等的污染负荷的情况之下,水动力结构的变化必将造成水体水质的变化。反之,水动力结构的变化使得水流对河床及岸线的冲刷或者淤积模式发生变化,这同样可以影响河床及岸线乃至整个河势的演变。本文从上述几个方面出发,旨在探索其对接水源地安全的影响,找出其规律及相互之间的关系并进行预测研究,为引江济太水源地安全提供技术支持,并供其他水源地安全评价参考。

1.2 国内外研究进展及存在的问题

1.2.1 水源地研究进展

国内这方面的研究已引起了有关方面越来越多的关注,同时一些关于水源地安全研究的专著也相继问世。^[2-9]如逢勇、赵棣华、姚琪、丁训静、冉廷兵^[2]在进行长江江苏段区域供水水源地水质可达性研究时,提出为了保证长江区域供水水源地的安全性,必须对长江岸线稳定性及水质达标可行性等问题作出回答。此外,逢勇、崔广柏、姚琪、胡风彬^[3]对长江江苏段各水厂水源地进行水质可达性研究。阮仁良、韩昌来^[4]研究长江流域发展对长江口水域功能开发的影响时,总结出流域社会经济的发展、流域水旱灾害、水土流失、污染物排放、大型水利工程建设等因素对水源地水域功能有很大的影响。黎坤、陆晓宏、江涛、涂新军^[5]以佛山市新饮用水源地选址为例,通过综合分析,提出了城市饮用水源地选址的9项特征指标,包括水量、水质、输水距离、投资等4项定量指标和河道地形、

水源保护的难易度、对经济发展的影响程度、水源污染风险、对航运的影响程度等5项定性指标,采用专家评估法将定性指标量化,并将量化后的定性指标和定量指标耦合,应用多目标系统模糊优选模型,优选出了佛山市的新饮用水源地,取得了良好的应用效果。马有国、燕在华、李长城^[6]研究了灌溉水源地位置选择时应注意的几个问题,如取水枢纽的形式、灌溉部门的地理位置、河流的平面形态、河床与河岸的稳定性、交通运输、通讯及施工场地等,为合理选择水源地位置提供了参考。逢勇、李学灵^[7]采用河网区非稳态水量、水质数学模型,对广州西村和石门两水厂的拟搬迁方案进行了详细的论证分析,结果表明:拟迁址处的水质较现水源地的水质明显改善;在控制好未来污染源的条件下,拟迁址处的水质基本可满足水源地的要求。张淑英、刘有录、何文社^[8]在大量收集原型河段实测资料的基础上,考虑了水流运动相似、泥污运动相似、河型相似,建立了水源地的河工试验模型,指出水源地的设置与河势变化、河床演变、河床冲淤息息相关。段志科、李慧梅^[9]提出优选水源地位置应考虑河势、水量、河床演变以及河床冲淤。Martin J. Haigh、Libor Jansky、Jon Hellin等(Headwater deforestation: a challenge for environmental management)提出水源地的保护与维持当地的水环境以及河势稳定有关。R. Neal Wilkins、N. Phil Peterson(Factors related to amphibian occurrence and abundance in headwater streams draining second-growth Douglas-fir forests in southwestern Washington)也提出水源地岸线的稳定性对于水源地安全性非常重要。

参考上述水源地优选方法,通过综合分析,我认为水源地安全应该着重考虑以下几个方面的问题。

1.2.1.1 水源地水质

在此研究方面,车越、杨凯、范群杰、张勇对黄浦江上游水源地水环境演变规律及其影响因素展开研究,主要是通过对47年黄浦江上游水质监测数据的深入分析,系统探讨了松浦大桥水源地及其上游来水水质的空间分异和年际变化规律;并从周边区域发展与江浙来水水质、城市化进程与人口规模、当地经济发展与点源污染、土地利用方式与非点源污染角度诊断当前影响黄浦江上游水源地水环境质量的主要因素;最后从土地利用方式、产业结构调整、经济政策调控、流域环境管理等方面初步构建了黄浦江上游水源地保护的方案。同时,国外的Leeman、Whitney Renae等(Historic polychlorinated dibenzo - p - dioxin and dibenzofuran (PCDD/F) concentrations in Riverside, California: Evidence of a diffuse vehicular source. University of California, Davis. 2002)也研究了河岸污染物转化的历史性变化规律。

1.2.1.2 水源地岸线的稳定性

在此研究方面,马有国、燕在华、李长城提出:河床与河岸易动性较强的河段,不宜选为水源地。不稳定的河床随着上游来水来沙条件的变化会产生潜洲和边滩,潜洲和边滩的存在和变化会导致主流位置的改变,也会引起主流的“脱溜”;对稳定性较差的河岸,随着进入取水口的水流产生的环流作用,会将取水口下唇河岸不断冲刷,势必使河岸不断崩退,危及水源地的安全。因此,应将取水口位置选择在河床与河岸的稳定性较强的河段。此外,水源地位置的选择还应考虑交通运输、通讯以及施工场地等诸多因素,将上述各方面的因素结合起来综合分析,经过多种方案比较才能确定下来。合理地选取水源地,在技术上是可行的,在投资上也应是经济的。

1.2.1.3 水源地河势变化

在此研究方面,段志科、李慧梅指出:天然河道中存在着不同程度的泥沙输移,包括悬移质和推移质输移。由于河道中泥沙的输移,河床发生冲淤变形,河势发生演变。选择水源地位置应该考虑河势稳定,其中特别是取水工程头部贴流,取水口前水流畅通,否则将造成引水不足或取水口脱流,被迫停机,因此应研究水源地的河势。此外,他们还强调要注意河床演变情况,提出在河床发生淤积时,可能出现水源地淤埋,引沙量加大或引不上水的情况;在河床、发生冲刷时,相应水位降低,造成引水不足或引不上水。潘庆焱在提及水源地选址中的河床演变因素时,首先概述了长江中下游河道演变的基本特点和各类河型的形成条件,着重分析了各种人为因素对长江中下游河道演变的影响。展望21世纪,人为因素对长江中下游河道演变的影响将加大,主要表现为三峡水利枢纽的建成运用和岸线保护与利用程度的大大提高两个方面。其综合影响的结果是长江中下游各河段的河型和河势不会出现重大调整,河道演变主要表现为河床冲深,河势的局部调整,以及分汊河段支叉的萎缩。

历来国内外研究水源地供水安全的方法着眼于水资源量的充裕、水质的达标、供水期的可持续性和连贯性以及供水成本的最优化配置。少数的供水水源地考虑了生态效益的评价以及水利工程的安全性,如夏继红等给出了生态河岸带的基本含义、特征和功能,对生态河岸带的状况进行了综合分析评价;针对不同目的和不同尺度,对生态河岸带的影响因子进行评价,深入了解河岸带生态系统的变化及其所产生的服务功能,评价其对人类的贡献。

1.2.1.4 水源地来水来沙

在此研究方面,段志科、李慧梅认为水源地位置确定以后,应研究不同水沙

条件下的河床演变,因为不同的来水来沙条件使得河床高程及相应水位不同。潮沙河口水流为典型的非恒定往复流,流态复杂多变,潮流随时间的变化远较径流迅速;泥沙既有径流挟运,也有海域带来,并因径流与潮流比值不同分别形成口门处的拦门沙或口门以内的纵向沙坎。这都使得河口的河床变化尤为复杂。对此,欧美诸国多以泥沙数学模型为主要研究手段。应该说,这些数学模型日前还极不成熟,尤其是局部工程对河床变形的影响。

细颗粒泥沙的絮凝沉降特别是含盐度的影响也不容忽视。细颗粒泥沙的启动,尤其是启动流速的定量研究至今仍不充分,对具有往复流特征的河口泥沙,其启动流速明显小于同粒径的河流泥沙,启动特性更为复杂。这就给模型设计尤其是模型选沙带来了很大的困难,方法与设备的限制更增加了试验的难度。时至今日,国内外河口底沙模型不少,悬沙模型却不多见。

泥沙对水源地对有极大的影响。若水源地流速场滞缓,上游来沙量大,则该水源地河床容易造成淤积;反之,若水源地流速大,含沙量少,则河床易受冲刷。此外,河段来水来沙情况同样可以对岸线产生类似的影响。无论是河床的淤积或者岸线的崩塌都将对水源地正常使用构成威胁。此外,高含沙量水体对引水工程和容纳水体也将产生不利的影响。因此,必须对水源地的来水来沙情况进行模拟。目前,主要的模拟手段有两种,即物理模型和数学模型。物理模型工作量大,需要大量的人力和物力。实际中,模拟泥沙使用较多的为数学模型。本文利用 EFDC 水沙模块,对水源地的来水来沙状况进行计算分析,结合河床及岸线分析,可以得出水源地河床、岸线稳定性评价结论。

1.2.2 水流水质模拟研究进展

水质模型是定量描述污染物在水体中迁移转化规律的数学方程。应用水质模型的数学方程,可定量地进行水环境质量的模拟和预测,由此可对区域开发或建设项目进行水环境影响评价,进行水环境容量、污染物允许排放量的计算,制订区域水环境总量控制方案或控制规划,实施水环境目标管理等。因此,水质模型是开展环境影响评价、环境规划、环境管理和水污染综合防治等多项工作必不可少的基础和前提。水质模型的研究涉及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。

最早发展的水质模型是1925年由美国的两位工程师 Streeter 和 Phelps 提出的氧平衡模型^[10],由 Phelps 在1944年总结和公布,即经典的 Streeter—Phelps 水质模型^[11]。这个模型的基本原理是相当合理的,所以模型及其某些修正形

式至今仍被用于模拟水质^[12~15]。在该模型中, BOD 方程只考虑有机物的生化降解, 降解量(S)与 BOD 浓度(B)成正比, 即 $S = k_1 B$, k_1 是降解系数; BOD—DO 方程只考虑生化反应的耗氧及大气复氧, 大气复氧量与水中的氧亏值成正比。该模型不适用于污染严重、影响因素较多的河流水质计算, 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^[16]。

水质模型自 20 世纪初诞生以来, 其发展阶段有许多不同的分类方法。徐祖信^[17]把水质模型的发展分为 3 个阶段: 1925—1980 年为水质模型发展的第一阶段。这一阶段的研究对象仅为水体水质本身, 开始主要研究受点污染源严重污染的河流系统, 面源污染仅作为背景负荷。1980—1995 年水质组分数量有所增长, 水动力模型被纳入多维模型系统, 面污染源被连入初始输入。第三阶段是 1995 年至今, 增加了大气污染模型, 能对来自流域的负荷进行评估。将边界条件连接到水体外部负荷的工作正处于研究中。谢永明^[18]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 模型的基础上有了新的发展, 如引进了空间变量、动力学系数等, 温度作为状态变量也被引入到一维河流和湖泊模型、水库(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 年期间进行的研究是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 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。

20 世纪 50 年代, 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, 从而使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非线性氧平衡生态模型。该模型中包括 13 个状态变量, 有水温、溶解氧、生化需氧量、藻类(以叶绿素 a 计)、氨氮、亚硝酸盐氮、硝酸盐氮、可溶性磷、大肠杆菌、任选一种可降解物质和 3 种任选的非降解物质, 并建立了差分法求解技术和电算程序。该模型已经被成功地广泛应用于水质预测和水质管理规划中。

20 世纪 80 年代以来,随着对水环境变化复杂性的认识的深化,各相关学科相互渗透、相互促进,水环境数值模型的研究进入到多介质环境综合生态系统。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。模型内部结构为多种相互作用的非线性系统,空间维数已发展到三维。该模型认为污染物排放到自然环境后,将通过各种途径在环境各介质中传播、演变和分配,对环境的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,因此非常重视对于环境相边界(如大气、水、土壤等)的迁移以及它们在环境中的积累对环境潜在影响的研究。

水质模型最基本的功能是模拟和预测污染物在水环境中的行为。污染物在迁移的过程中行为非常复杂,用模型的方法有助于了解污染物的运动规律,而且省时、经济。国内外的学者在这方面做了很多工作^[19~23]。

其中国外学者对水质模型的研究较早,也较为成熟。Chau 等^[24]建立了三维污染物传输数学模型和水流模型方程耦合求解,水平方向采用正交曲线坐标,竖向采用 σ 坐标,考虑侧向边界的影响,模拟了 Pearl 河的 COD 水质变化。Salterain 等^[25]用四点隐格式差分法求解圣维南水流方程,采用最近的 IWA 水质模型,试验校正水流水质模型参数,模拟了西班牙 Ebro 河长 75km 的河段。1992 年美国弗吉尼亚州海洋科学研究所的 Hamrick 开发了 EFDC(环境流体力学模型)模型,并得到美国 EPA 及 NOAA 的资助。它完全整合了水力学、水质和泥沙—污染物等各项模拟功能,可用于河流、湖泊、河口、近海区域及湿地的一维、二维和三维模拟。模型由水动力学模块、水质模块组成。EFDC 在北美的 Chesapeake 湾、佛罗里达 Everglades 湿地和欧洲有数十项应用实例。

对于我国本身的环境污染问题,国内学者也做了大量的工作,近年来在数值模拟方面的研究工作开展较多。李一平等(2004 年)^[26,27]开展了对于环境相边界(如大气、水、土壤等)的迁移以及它们在环境中的积累对环境潜在影响的研究,以太湖为研究对象,在室内环形水槽内模拟了太湖底泥的启动规律,建立了底泥中 TN、TP 的释放通量与水体流速的关系,并在水质模型中加以应用,取得了较好的效果。赵棣华等^[28]根据长江江苏感潮河段水流水质及地形特点,应用有限体积法及黎曼近似解建立了平面二维水流—水质模型,应用浓度输移精确解验证模型算法的正确性,利用长江江苏感潮河段的水流、水质监测资料进行模型率定验证,并通过对卫星遥感资料的分析检验模型计算污染带的合理性。模型在长江江苏段主要地区区域供水规划及实施决策支持系统中得到应用,为该江段水质规划提供了依据。陈异晖^[29]从应用层面介绍 EFDC 模型的主要编程原理和数据结构,以及主控文件、初始化数据、气象和负荷数据以及模型输出的内容和结构,利用 1988 年、1989 年的负荷数据和观测资料,对滇池水质进行了模拟。结果表

明,模型的水动力模块模拟结果与实际情况较接近,水质模块的模拟结果尚可接受,模型实用程度的提高有赖于基础数据的积累。

经过 70 多年的发展,河流水质模型由 20 世纪 30 年代的仅能考虑 2 个状态变量的 Sterrer—Phelps 模型^[30],到能描述 O、N 和 P 循环、能考虑近 10 个状态变量的 QUAL2E 模型^[31],以及能考虑悬浮固体、一些藻类、浮游动物、无脊椎动物、植物和鱼类的生态系统模型^[32]。不确定性分析方法、人工神经网络(Artificial Neural Networks, 简记作 ANNs)^[37-42]、地理信息系统(Geographic Information System, 简称为 GIS)^[43-49],以及虚拟现实(VR)^[50-52]等方法技术的不断发展及与河流水质模型的进一步结合,极大地促进了河流水质模拟和水环境管理技术的先进性和现代化。如 T. R. Neelakan 等(2000 年)^[53]用人工神经网络建立了水库运行的模拟—优化模型; Marina campolo 等(1999 年)^[54]用 ANNs 来预测河流枯水期的流量并得到结论:当它与水质模型相结合时对河流的水质管理非常有用。Binzhang 等(2000 年)^[55]结合贝叶斯(Bayesian Concepts)和组合的 NN 来预测集水区的径流量; V. chanramouli 等(2001 年)^[56]用动态规划和 ANN 来模拟多水库水系的运行方案; William Dixon 等(1999 年)^[57]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,等等。Sharad kumar Jain(2001 年)^[58]用 ANNs 开发了综合的沉淀速率曲线。陈永灿(2004 年)^[59]利用概率神经网络(PNN)对三峡近坝水域黄岭庙、太平溪、乐天溪和东岳庙等典型断面多年的水质监测数据进行逐月评价,得到按月分布的水质评价结果。陈守煜(2005 年)^[60]将人工神经网络和模糊识别理论作为模拟生物体的信息处理系统,将二者结合,构造出模糊人工神经网络,从而使识别系统的柔韧处理能力得到很大提高。将其用于长江支流沱江枯水期的水质综合评价,结果表明,模糊人工神经网络综合评价具有客观性和实用性。

1.2.3 泥沙模拟研究进展

泥沙问题是伴随人类发展史的自然问题,从我国上古的大禹治水采用疏导方法以来,人类就在不断地实践着解决这个问题。随着国民经济的发展,水利工程和港口航道工程的建设日趋增多,泥沙问题越来越突出,这为泥沙运动理论研究和数学模型的发展提供了良好的机遇。

对泥沙问题的研究主要有三种方法^[61]:理论分析方法探讨河床演变、物理模型试验、数值模拟计算。理论分析是在对大量原型观测资料进行定性和定量分析的基础上,根据所研究水域的水文、泥沙特征,利用水力学及河流动力学和相关学科理论,探讨河道地形的历史演变、近期演变和将来的演变趋势,为水利工程的建设和运行方式提供科学依据。物理模型试验依据水流、泥沙的运动学和动