



河流污染与地下水环境保护

西汝泽 李 瑞 陈小凤◎编著
王振龙◎审校

中国科学技术大学出版社

河流污染与地下水环境保护

西汝泽 李 瑞 陈小凤●编著
王振龙●审校

中国科学技术大学出版社

内 容 简 介

本书论述了河流污染物在土壤饱水层中的扩散运移机理,并就控制方程理论解及其应用进行了探讨。以淮北平原典型河流萧濉新河和古宋河为研究对象,系统开展了河流污染对滨河地下水水质影响的原型观测试验和室内土槽试验,分析了河流污染对浅层地下水的影响程度和范围,提出利用湿地和土壤的渗滤功能进行水生态修复及保护地下水环境的工程措施。

本书具有理论与实践相结合、方法与应用相统一、注重解决实际问题的特点,可为河流及地下水环境保护决策提供科学依据,也可水资源与水环境工作者及高等院校师生从事河流及地下水污染研究提供借鉴和参考。

图书在版编目(CIP)数据

河流污染与地下水环境保护/西汝泽,李瑞,陈小凤编著. —合肥:中国科学技术大学出版社,2012.12

ISBN 978-7-312-03136-6

I. 河… II. ①西…②李…③陈… III. ①河流污染—研究②地下水保护—研究 IV. X52

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 314081 号

出版 中国科学技术大学出版社

地址:安徽省合肥市金寨路 96 号,邮编:230026

网址:<http://press.ustc.edu.cn>

印刷 安徽江淮印务有限责任公司

发行 中国科学技术大学出版社

经销 全国新华书店

开本 710 mm×1000 mm 1/16

印张 12.5

字数 259 千

版次 2012 年 12 月第 1 版

印次 2012 年 12 月第 1 次印刷

定价 30.00 元

前 言

平原河流是地表水的主要载体。以淮北平原为例,区域内黄河以南,分为淮河水系和沂沭泗河水系,淮河水系流域面积 18.9 万平方公里,这里物产丰富,人口稠密,是我国重要商品粮基地。流域内有众多淮河支流,主要有沙颍河、西淝河、涡河、北淝河、浍河、沱河、汴河、濉河等。由于大多数河流穿行于平原之中,河床坡度特别平缓。沿淮有常年储水的湖泊洼地,如四方湖、香涧湖、沱湖、天井湖等,以及星罗棋布的淮北煤矿塌陷区。这些河流湖泊作为行洪通道使汛期洪水排泄入淮,非汛期则储存地表水资源,与地下水共同保证工农业和城市生活用水。

随着城市化进程的加快、经济的发展,水资源的利用量逐年增加,与此同时,污水排放量也在同步增加,而污水处理能力与污水排放量不相匹配,再加上管理上的问题,河流湖泊的水体受到不同程度的污染。为了拦蓄雨洪资源,平原河流皆建有节制闸分段控制,汛期过后即关闸蓄水,常年大部分时间里河水滞流,有的河流污染严重。长期受污染的河水会影响地下水,这一点似乎已形成共识,但河流污染对地下水影响的范围和程度究竟有多大?河水中哪些污染组分容易进入地下水?其污染机理是什么?这是从事水环境保护工作所面临的问题,已引起人们的关注和政府的重视。

在承担安徽省国际科技合作项目“淮北市水环境承载力及污染控制的研究”和水利部淮河水利委员会研究项目“淮北平原典型河流污染对地下水的影响”等项目研究的基础上,我们编著了本书,试图通过理论分析结合原型观测和室内试验资料,给出河流污染对地下水影响的机理及范围与程度,为地下水环境保护提供科学依据。

影响地下水水质的因素有很多:工业废水和城镇生活污水直接排入河流湖泊造成地表水和地下水污染;长期污染的河流湖泊污染物在土壤饱和水中扩散运移造成地下水水质变差;农业施用化肥、农药的面源污染,通过降雨垂直入渗到地下对地下水水质的影响也很明显。

河流污染对地下水的影响,实际上就是污染物在多孔介质饱和水中扩散运移衰减的过程。为了简化问题的研究,从而得到明确的结果,设定在如下基本条件下进行试验研究:(1) 选择浅层地下水为研究对象;(2) 河流单向补充地下水;(3) 污染物在土壤饱水层中做扩散运动;(4) 土层为均质渗透介质。并选取浓度变化比较明显的污染物如有机污染指标作为示踪剂。为此,选择污染比较严重的淮北市

萧滩新河为典型污染河流,沿河滩地和堤外地带选取三个垂直于水流方向的观测断面,每个断面布设五口观测井。为排除其他因素影响,断面均选在远离村镇工厂的开阔地带。在古宋河上也进行了相同的观测试验。根据两条河流及其滨河地带的地质勘探、河水水位及水质试验资料,可以看出在研究区域和时段内,水质变化关系典型,饱水层土壤比较单一,河水水位略高于地下的水位,符合以上基本假定。

为了更进一步研究溶质在均匀介质饱水层中的扩散运移规律,特在室内进行土槽试验,选择细砂土和砂壤土为介质,氯化钠为示踪剂,测出钠离子在土壤饱和水中在不同时段沿程扩散衰减量值,据此确定数学模型中的阻滞系数。

本书分为十四章,第一、二、三章概述全书的背景材料和基本理论依据;第四、五章阐述研究区域内水环境状况和平原河流纳污能力计算成果,其中纳污能力数值解法由董相如提供;第六、七、八章叙述淮北平原两条典型河流及其滨河地带浅层地下水环境原型观测试验和地质勘探土工试验成果;第九章内容为室内土槽试验成果和对阻滞系数的分析;第十章引用吴世余、西汝泽、宋新江等人的研究成果,论述定长槽单向弥散方程的理论解及其应用;第十一、十二章依据野外原型观测和室内试验成果分析河流污染对地下水的影响程度、范围和基本特征;第十三章给出利用湿地和土壤渗滤功能,改善和修复河流及地下水环境的工程技术措施;最后在第十四章得出几点研究结论、意见和展望。本书由西汝泽、李瑞、陈小凤执笔,西汝泽统稿,王振龙校核。

本书资料主要来源于安徽省国际科技合作项目“淮北市水环境承载力及污染控制的研究”和水利部淮河水利委员会研究项目“淮北平原典型河流污染对地下水的影响”,并参考、应用了“古宋河污染对地下水影响”的资料。在项目执行过程中,得到了安徽省水利厅、水利部淮河水利委员会(简称“淮委”)以及淮委水保局和蚌埠市水利学会的关心、指导和支持;淮北市水务局提供了基本资料;宿州水文水资源技术服务中心和淮河流域水环境检测中心就野外观测和水质检验给予了支持;安徽省淮委水利科学研究院水文水资源研究所、土工研究所和结构材料研究所在资料整理、野外勘测、土工试验、土槽试验、水质分析方面做了大量工作。

参加试验研究的主要工作人员有汪绪武、吴亚军、宋新江、王久晟、李宏、董相如、李炳蔚、柏菊、钱财富、徐伟、李荣、冯露、王兵、张百川、吴培任、乔丛林、杜长辉、刘兴德、张桂华、马峰等。在编写过程中,吴世余、金光炎等有关专家给予了极大的指导和帮助,在此一并表示感谢!

编 著 者

目 录

前言	(I)
第一章 绪论	(1)
第一节 国外河流污染及治理概况	(1)
第二节 国内河流及地下水污染状况	(2)
第三节 国内外研究进展	(3)
第四节 研究的目的是和意义	(5)
第五节 研究内容	(6)
第六节 研究思路及技术路线	(7)
第二章 河流与浅层地下水的排泄和补给关系	(10)
第一节 地下水分类	(10)
第二节 浅层地下水的补给和排泄	(13)
第三节 地下水动态与均衡	(16)
第四节 平原河流与浅层地下水的补给关系	(18)
第三章 地下水的污染及污染物在饱水层中的运移机理	(20)
第一节 地下水的污染	(20)
第二节 污染物在多孔介质饱水层中的运移方式	(21)
第三节 溶质在土壤饱水层中扩散的控制方程	(24)
第四节 静水状态下一维问题的解析解	(26)
第五节 流动状态下一维问题的解析解	(29)
第四章 淮北平原河流及水环境状况	(31)
第一节 淮北平原河流特征	(31)
第二节 淮北水系概况	(33)
第三节 淮北主要河流及节制闸分布	(33)
第四节 降水及河流水量变化规律	(36)
第五节 淮北主要河道排污口分布及排污量	(37)
第六节 主要河流水环境状况	(40)
第七节 地下水环境状况	(48)
第五章 河流水质模型和纳污能力	(49)
第一节 平原河流水质模型	(49)

第二节	水质基本方程的解法	(51)
第三节	河流纳污能力计算模型选择	(54)
第四节	模型参数及 k 值的确定	(55)
第五节	纳污能力计算成果	(58)
第六章	萧滩新河原型水质观测试验	(67)
第一节	断面布置和观测井设计	(67)
第二节	水样采集与水位观测	(68)
第三节	地表水和地下水水质检测	(75)
第七章	古宋河水水质原型观测试验	(87)
第一节	古宋河水环境状况	(87)
第二节	古宋河与浅层地下水的补给关系	(89)
第三节	水质原型观测试验布置和设计	(90)
第四节	原型水质观测试验成果和资料分析	(91)
第八章	地质勘探及土工试验	(97)
第一节	地质勘探的意义和内容	(97)
第二节	各断面地质分层	(98)
第三节	土工试验结果分析	(100)
第九章	土槽室内试验研究	(105)
第一节	试验目的和内容	(105)
第二节	试验装置	(105)
第三节	试验方法与步骤	(106)
第四节	试验结果	(107)
第五节	阻滞系数 D_L 的分析	(113)
第十章	溶质在土壤饱水层中弥散方程的应用	(120)
第一节	弥散方程的解	(120)
第二节	下游封闭土槽单向弥散方程的解	(122)
第三节	下游开敞土槽单向弥散方程的解	(122)
第四节	理论分析和实测资料对比	(126)
第十一章	河流污染对地下水影响试验资料分析	(129)
第一节	河水与浅层地下水的补给关系	(129)
第二节	萧滩新河污染对地下水影响途径	(131)
第三节	萧滩新河污染随时间变化关系	(134)
第四节	河流污染在浅层地下水中扩散消减量	(137)
第五节	河流污染与滨河地下水水质相关分析	(142)
第十二章	河流污染对地下水影响规律	(147)
第一节	河水缓慢补充地下水	(147)

第二节	河流污染物主要以扩散和吸附方式影响地下水	(149)
第三节	河流污染物浓度达到一定程度即能影响地下水	(151)
第四节	土壤特性是影响污染物浓度衰减和传播范围的重要因素	(152)
第五节	河流污染物质类型的影响	(153)
第十三章	河流水环境改善和生态修复	(154)
第一节	河流水环境改善和生态修复内容	(154)
第二节	人工湿地净化技术	(157)
第三节	人工湿地建设与运行	(159)
第四节	土壤渗滤技术	(161)
第五节	土壤渗滤污水处理工程设计	(164)
第六节	稳定塘净化技术	(166)
第十四章	结语	(171)
第一节	结论	(171)
第二节	意见	(174)
第三节	展望	(175)
附录	萧滩新河污染对地下水影响检测数据	(177)
参考文献		(191)

第一章 绪 论

第一节 国外河流污染及治理概况

19 世纪,随着欧美资本主义工业的蓬勃发展,河流污染状况日益严重。英国的泰晤士河、美国的乌伊拉米特河及欧洲的莱茵河就是很好的例子。

泰晤士河在 18 世纪曾经河水清澈见底,水产丰富,风景秀丽。随着英国资本主义工业的发展,泰晤士河的水质日趋恶化,1800 年该河每天污染负荷量达 450 多吨,1850 年猛增到 900 多吨,河水污染几乎达到饱和,水生生物几乎灭绝。20 世纪 20 年代以后,英国各大河沿河口岸的工业更加集中,工业废水连同生活污水一起排入泰晤士河,造成河流严重缺氧。特别在 1953 年,河流下游的溶解氧含量降至历史最低水平,硫化物含量高达 14 mg/L,许多河段在夏季出现了严重的恶臭。

美国的乌伊拉米特河由于沿岸的城市污水及造纸厂、水果蔬菜加工厂等的有机废水排入河道,河流的水质逐步恶化,到 1938 年水质污染已相当严重,在低流量时期,河流下游波特兰港的溶解氧几乎测不出来。

莱茵河流经瑞士、德国、法国、荷兰和卢森堡,是西欧的“大动脉”。随着莱茵河流域的人口密集、工业发展、航运频繁、矿山开采、农业集约化程度的提高等,20 世纪 50 年代以来,莱茵河开始出现污染。据统计,每天有 0.5 亿~0.6 亿 m³ 的工业和生活污水排入莱茵河。1971 年枯水期,莱茵河水质污染已极其严重,水中化学需氧量(以下简称 COD)达到 30~130 mg/L,生化需氧量(以下简称 BOD)达到 5~15 mg/L,最严重处的污染致使 100 km 长的河段完全无氧。

被称为美国西南部生命线的科罗拉多河、埃及的尼罗河等,由于人们对水资源不合理的大规模开发利用,也都出现了河道萎缩、水质恶化、下游湿地面积大幅度减少、许多野生生物濒临灭绝等一系列问题。

1999 年,多瑙河遭受了科索沃战争带来的一场浩劫,北约轰炸了南联盟的潘切沃石油化工综合企业和诺维萨德的炼油厂,致使大量有毒污染物流入多瑙河及其支流,并向下游地区扩散,对使用多瑙河河水的许多城镇构成了威胁。2000 年 1 月 30 日,罗马尼亚一座金矿污水沉淀池发生泄漏事故,100 m³ 含有大量氰化

物及铅、汞等重金属的有毒物质流入多瑙河,匈牙利、保加利亚等多瑙河下游的国家深受其害。除了这两大事故外,多瑙河多年来还接纳了大量的工业和生活污水,其沿岸的城镇中,每年约有 1/6 的工业废水和 40% 以上的生活污水未经处理就排入水域。污染的多瑙河河水注入黑海,致使黑海的生态环境日益恶化。

从 20 世纪 60 年代开始,发达国家开展了大规模的污染河流治理工作。如 1968 年,英国议会通过污染防治法案,规定各工厂的污水排放标准;对已有污水处理厂进行了大规模改建、扩建和重建;采取人工充氧措施来降低泰晤士河污染负荷,1988 年流域日处理污水能力 360 万 t,人均日处理能力 311 kg。1957 年,美国俄勒冈州政府规定:乌伊拉米特河流域的工业废水要经过二—三级处理,沿河城镇生活污水必须采取二级处理等。1961~1971 年间,德国政府共投入 68 亿马克用于治理莱茵河,1971 年以后,每年用于治理莱茵河的投入为 14 亿马克。自 20 世纪 60 年代以来,德国在莱茵河沿岸陆续修建了 100 多个污水处理厂,1971~1983 年间,污水的处理率由 30% 上升到 80% 多,并在污染严重的河段采取人工充氧措施,大大改善了河流的水质状况。

第二节 国内河流及地下水污染状况

据中华人民共和国水利部 2008 年中国水资源公报:对约 15 万 km 的河流水质进行了监测评价,Ⅰ类水河长占评价河长的 3.5%,Ⅱ类水河长占 31.8%,Ⅲ类水河长占 25.9%,Ⅳ类水河长占 11.4%,Ⅴ类水河长占 6.8%,劣Ⅴ类水河长占 20.6%。全国全年Ⅰ~Ⅲ类水河长比例为 61.2%,与 2007 年基本持平。各水资源一级区中,西南诸河区、西北诸河区、长江区、珠江区和东南诸河区水质较好,符合和优于Ⅲ类水的河长占 64%~95%;海河区、黄河区、淮河区、辽河区和松花江区水质较差,符合和优于Ⅲ类水的河长占 35%~47%。

对 44 个湖泊的水质进行了监测评价,水质符合和优于Ⅲ类水的面积占 44.2%,Ⅳ类和Ⅴ类水的面积共占 32.5%,劣Ⅴ类水的面积占 23.3%。对 44 个湖泊的营养状态进行评价,1 个湖泊为贫营养,中营养湖泊有 22 个,轻度富营养湖泊有 10 个,中度富营养湖泊有 11 个。

在监测评价的 378 座水库中,水质优良(符合和优于Ⅲ类水)的水库有 303 座,占评价水库总数的 80.2%;水质未达到Ⅲ类水的水库有 75 座,占评价水库总数的 19.8%,其中水质为劣Ⅴ类水的水库有 16 座。对 347 座水库的营养状态进行评价,中营养水库 241 座,轻度富营养水库 86 座,中度富营养水库 18 座,重度富营养水库 2 座。

全国监测评价水功能区 3219 个,按水功能区水质管理目标评价,全年水功能

区达标率为 42.9%，其中一级水功能区(不包括开发利用区)达标率为 53.2%，二级水功能区达标率为 36.7%。在一级水功能区中，保护区达标率为 65.5%，保留区达标率为 67.7%，缓冲区达标率为 25.9%。

根据 641 眼监测井的水质监测资料，北京、辽宁、吉林、上海、江苏、海南、宁夏、广东 8 个省(自治区、直辖市)对地下水水质进行了分类评价。水质适合各种使用用途的Ⅰ～Ⅱ类监测井占评价监测井总数的 2.3%，适合集中式生活饮用水水源及工农业用水用途的Ⅲ类监测井占 23.9%，适合除饮用外其他用途的Ⅳ～Ⅴ类监测井占 73.8%。

“九五”计划实施以来，我国也开展了大规模的水污染治理工作，各流域的水环境质量有了一定的改善，部分河段明显好转，但从总体上看，仍处于较高的污染水平，尤其是在水污染严重的淮河、海河和辽河流域。从国外河流的治理经验来看，一个强有力的具有综合决策和协调手段的流域管理机构是治理流域水污染的基本条件；其次，可靠的资金保障也是必不可少的。从治理的时间、经验和效果来看，我国远不能和发达国家相比，由于起步晚，经验基础薄弱，我国的水环境形势相当严峻。

我国地下水供水量达到总供水量的 18.8%，但地下水污染总体呈由点到面的发展趋势。目前，已监测的 118 个城市的地下水水质，有 64% 受到严重的污染，33% 为轻度污染。其中以北方地区最为严重，主要污染指标为总硬度、硫酸盐、亚硝酸盐、汞、氯化物、氨氮、COD 等。

淮河流域是我国水污染严重地区之一，流域内城镇入河排污量远远超出水环境容量，虽然“九五”以来国家进行了综合治理，水污染恶化势头得到了有效控制，水质也向好的方向发展，但水污染形势仍然很严峻，流域内半数以上的水功能区水质仍然超过用水水质标准，严重影响供水水质安全。淮河流域特别是淮北地区水资源短缺和水污染严重已成为制约社会经济健康发展的重要因素。

针对水环境存在的问题，我国各级政府有关部门加大资金投入并采取加强水功能区管理、完善水质监测站网、控制入河排污量、促进水生态保护等措施，因此可以预计我国水环境将会逐步改善。

第三节 国内外研究进展

河流污染对地下水质量影响的实质是污染水在土壤含水层中通过多孔介质扩散、迁移、吸附的物理过程。

问题的研究是从海水入侵开始的，最初只注意淡水咸水局部突变界面，没有考虑迁移弥散问题。20 世纪 30 年代的研究使人们认识到：应以运移扩散理论来研

究地下水与海水入侵问题。在其后的几十年中,多为现场勘测调查,如荷兰的相关地区,美国的长岛、纽约、加利福尼亚、夏威夷等地。美国地质调查局在 20 世纪 50 年代对佛罗里达、迈阿密附近的海湾进行了详尽的水文地质勘测,查明海水影响范围,进行了水动力扩散的理论分析。

从 20 世纪 60 年代开始,发达国家开始着手治理河流污染问题,并取得了很好的效果。在土耳其,K. Kayabali 教授等研究了严重污染的安卡拉河对邻近冲积含水层系统的影响,在安卡拉市境内沿安卡拉河 50 km 范围内设立 5 个河水取样站,并在此范围内选取 25 个距河不同距离的水井,于 1996 年分别在每个水点取样 5 次做化学分析和对比研究,得出结论:① 由于安卡拉市没有一个有效的污水和暴雨收集系统,城市市郊的工厂特别是大理石加工厂未经处理的废水直接排入河中,以及城市中心严重污染的废污水直接排入河中,造成安卡拉河严重污染;② 25 个水井中没有一个满足饮用水标准,都有一个或多个指标超标,1996 年监测的水井全部受到化学污染,除两个水井外,其余全部细菌超标,最常见的超标参数为 TDS、Mn、 SO_4^{2-} 和细菌;③ 在研究河水对地下水的影响时主要考虑了总氮、总磷、有机质和细菌 4 个指标,选择了地表水污染最为严重的城市中部的 W7~W13 水井作为研究对象,它们到河的距离为 175~925 m,研究结果表明,总氮、总磷、有机质和细菌的浓度与距河远近无简单的相关关系。最后的结论是安卡拉河对地下水污染没有很大的影响。原因有两个:一是河床底部被很细的物质覆盖,它们提供了天然屏障,阻止了污染河水向地下水的渗漏;二是随距离的增加污染物浓度迅速减小。目前,安卡拉市冲积含水层系统的地下水污染大部分归因于地表径流,另外,点源的工业污染也是地下水污染的一个重要来源。

自 20 世纪 70 年代以来多次召开的以地下水污染为主题的国际学术研讨会,提供了一些地下水污染的实例和研究成果。但由于实验工作费时费力,且因实验手段的限制,本领域的研究工作进展缓慢。

近年来,随着计算机及数值计算方法的迅速发展,通过水质数学模型在特殊情况下得到解析解和利用计算机进行基本方程数值解的研究成为热点。

在我国,中国科学院地理科学与资源研究所、清华大学、南京大学、中国地质大学等对地下水污染方面进行了研究并取得了一些有价值的研究成果,但对河流污染和地下水污染相互影响的研究成果还为数不多。李志萍、陈肖刚曾以北京市凉水河为例,就长期排污河对地下水的影响进行了系统研究。他们采用室内模拟柱试验和野外现场试验相结合的方法,研究了多种污染物在不同岩性条件下迁移转化的机理、影响因素及动态特征,分析了水中与土中污染物量之间的关系,探讨了排污河河水污染地下水的程度和范围。

吴耀国等就徐州奎河对沿岸土壤和地下水化学环境的影响进行了研究,得出结论:① 奎河由于接纳了沿岸的工业和生活污水而遭受污染,主要污染组分为 COD、 NH_4^+ 、酚和 Cl^- 等,因农业用水的需要,沿河设置多道节制闸,抬高了水位,

致使污染河流对其沿岸的土壤和地下水环境产生了影响;② 受污染河流的影响,土壤中原有部分组分流失,从而出现沿岸土壤中有机质与总氮明显低于远河道处,而河水中的某些污染组分如氨氮在沿岸土壤中的含量较高的情况;③ 受污染河流的影响,沿岸地下水中的污染组分浓度较高,并且污染组分的浓度随与河流距离的增加而减小。

综上所述,可以看出地下水污染研究存在数值模拟多,机理实验模拟少,理论研究与实际运用仍存在较大差距等问题,特别是污染物质在不同土壤中的传播规律尚待研究。

第四节 研究的目的是和意义

长期排污河道的污染物在多孔介质——土壤中运移扩散,对沿河浅层地下水水质造成影响,是天然水体流体力学、化学动力学和生化动力学及土壤特性等因素综合作用的结果,因此必须对影响水污染变化的各种因素进行综合分析,建立污染物迁移转化水质数学模型,使污染物在水体和土壤中的时空变化过程及变化速度公式化、定量化,也就是建立水质模型。

我们所做的工作,是以水文学、环境水力学、污染动力学等学科原理为依据,研究淮北平原地区河流、湖泊污染物在水体中扩散、对流、运移的时空变化规律。以实地调查、原型观测和必要的室内试验资料为依据,确定水质模型的水流掺混系数、污染物质降解系数以及土壤对污染物的吸附系数。试图以淮北平原典型地区——淮北市的河流水环境问题为范例,研究平原地区河流、湖泊中污染物质的扩散运移规律及其对地下水水质的影响,根据淮北市河流、湖泊水力特性,工业及城市生活用水排污口分布、排污强度及污染物质浓度等资料,研制适应淮北平原河流、湖泊特性的水质模型。选择污染严重的萧濉新河为研究对象,查清沿河地带地下水污染状况,在萧濉新河沿河地带选择适当观测断面,打井取地下水水样进行水质化验,并与河水水质比对。另外还引用了古宋河原型试验资料,以找出河水水质与地下水水质的相关关系。为研究污染物质在土壤饱和水中的运移规律,我们进行了室内土槽试验,以氯化钠为示踪剂,测出溶质浓度沿程衰减资料,确定污染物质和土壤的综合扩散系数,建立地下水污染水质模型。

淮北平原河流大都西北东南向,淮北北部为黄河泛滥堆积而成,属第四纪冲积地层。地势平坦,地面高程 25~50 m,坡降 1/7500。该区以亚黏土为主,或亚砂土亚黏土互层,浅层地下水埋深 3~5 m,自西北流向东南,为碳酸型、矿化度小于 2 g/L 淡水,砂层厚度在 5~10 m 范围。

所选择研究区域所遇到的水环境污染问题,在其他地方也同样存在,例如阜阳

的颍河、宿州的奎濉河等河流的污染都比较严重,至今仍未得到控制。萧濉新河是淮北平原北部较为典型的污染河流,考虑到淮北平原河流河道特性相同,土壤物理性质相似,萧濉新河对沿岸地下水的影响这一研究成果对考察淮北北部地区污染河流对地下水的影响具有参考价值,对淮北地区改善水环境,制定科学合理的水资源保护策略具有很大的实用性。

第五节 研究内容

选择萧濉新河为研究对象,以实地调查、原型观测和室内土柱试验资料为依据,找出长期污染的萧濉新河对沿岸浅层地下水水质影响的范围、程度和主要污染物浓度的相关关系,确定有关参数,建立主要污染物在土壤介质保水条件下的扩散水质模型。主要内容如下:

一、调查分析研究区域内河流水文情况和水污染状况

调查研究河段各经济部门在生产过程中各类污水的排放量、城市生活用水排污口分布及主要污染物排放量。

对萧濉新河及与其有关联的区域内闸河、龙岱河、王引河、沱河、浍河的水文情况进行统计分析,找出污染物浓度与河流水力特性变化的关系。

二、调查评价沿河地带浅层地下水水质状况

收集资料,进行野外踏勘,分析沿河地带水文地质条件、浅层地下水系统特征、开发利用现状,对浅层地下水的水质及污染程度进行评价,并特别注意与河道不同距离浅层地下水的水质变化。

三、萧濉新河水污染对地下水影响监测

沿萧濉新河设三个观测横断面,在每个断面上设若干测点,最远测点应位于河影响范围之外,每个测点采集不同时刻试验水样的污染物浓度数据,分析各测点水污染物浓度和河水污染之间的相关关系。

四、污染物在土壤介质中扩散室内试验

河道污染水向地下含水层的扩散掺混可以看成水流在半无限长土柱中的渗流

问题。设定污染物质在均质土壤饱和水状态下作扩散运动,并仅考虑一维问题,即河水向地下水单向流动扩散。示踪剂采用氯化钠,在土柱一端加入一定浓度氯化钠溶液,则氯化钠示踪剂向远处扩散,试验中测出钠离子在不同时段和不同距离的浓度变化,即可据此研究污染物在多孔介质饱和水中的扩散运移规律。

五、河流污染对浅层地下水影响分析

运用污染物质在水流和多孔介质中的扩散和对流理论,选择适用于区域内河流向浅层地下水运移扩散的水质数学模型,并根据调查实测资料和室内试验资料,确定有关参数,建立污染物在土壤介质中的扩散水质模型,研究污染物在地下水中衰减和被土壤颗粒吸附的规律,评价河水污染对地下水影响的范围和程度。

第六节 研究思路及技术路线

长期污染的河流对地下水的影响是复杂的物理、化学和生化反应过程,不同的水环境、不同的污染物质、不同的地质条件及不同的土壤水质,影响的差异是很大的。河流对深层地下水和浅层地下水的影响更截然不同。除非在特殊地质条件下,例如存在透水通道,一般情况下,河流污染通过土壤渗透作用对深层地下水的影响是很小的。对于浅层地下水则不同,河流污染物可以通过渗透扩散直接影响浅层地下水,浅层地下水与人类生活关系也最为密切,因此,本项目选择浅层地下水为研究对象。为了达到研究河流污染对地下水影响的目的,必须选择河流水位高于或接近地下水位的典型地区,也就是通常情况下河水单向补充地下水的地区,经过调查,萧滩新河符合这种条件。

研究思路是:将河流对地下水的影响这一复杂问题分解简化,即研究浅层地下水,河水单向补充地下水,依据实地调查和现场打井取水样进行水质化验,找出变化明显的主要污染物浓度衰减过程,建立河水污染与地下水水质的相关关系。

运用环境水力学、污染动力学、地下水文学理论,建立河流向浅层地下水运移扩散的水质数学控制方程:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} = D_L \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \quad (1-1)$$

式中, C 为任意点污染物浓度, t 为污染物迁移时间, x 为污染物迁移距离, u 为渗流流速, D_L 为弥散系数。

一般情况下,控制方程可利用有限元方法、有限差分方法或有限元与有限差分相结合方法求数值解。在特定环境下,控制方程有解析解。本项研究设定室内土

柱试验的初始条件是河水与地下水污染物浓度均为零,即

$$C|_{t=0} = 0, \quad 0 \leq x < \infty$$

边界条件是靠近河水处的地下水污染物浓度等于河水背景浓度,在无限远处地下水污染物浓度等于零,即

$$\begin{aligned} C(x, t)|_{x=0} &= C_0, \quad t > 0 \\ \lim_{x \rightarrow \infty} C(x, t) &= 0, \quad 0 < t < \infty \end{aligned}$$

在上述条件下式(1-1)有解析解,依据试验资料便可确定水质数学模型的参数,再根据模型土壤和原型土壤物理特性的比对,即可推荐适合的地下水水质模型,作为评价淮北平原河流污染对地下水影响的科学依据。

研究的技术路线是:根据典型河流萧滩新河现场调查区域内地表水和地下水环境状况,城市生活污水、各经济部门生产过程中各类污水的排放量、主要排污口分布及主要污染物排放量等资料,并对萧滩新河及与其有关联的区域内闸河、龙岱河、王引河、沱河、浍河的水文情况进行统计分析,找出污染物浓度与河流水力特性变化之间的关系。根据萧滩新河沿河地带所设三个观测断面的地下水污染浓度实测资料,建立河水污染与地下水污染之间的相关关系。通过室内土柱试验资料确定有关参数,建立河流向浅层地下水运移扩散水质数学模型,分析污染物在地下水中衰减和被土壤颗粒吸附的规律,计算并评价河段不同污染物浓度的地表水对地下水的污染影响范围和程度。具体如图1-1所示。

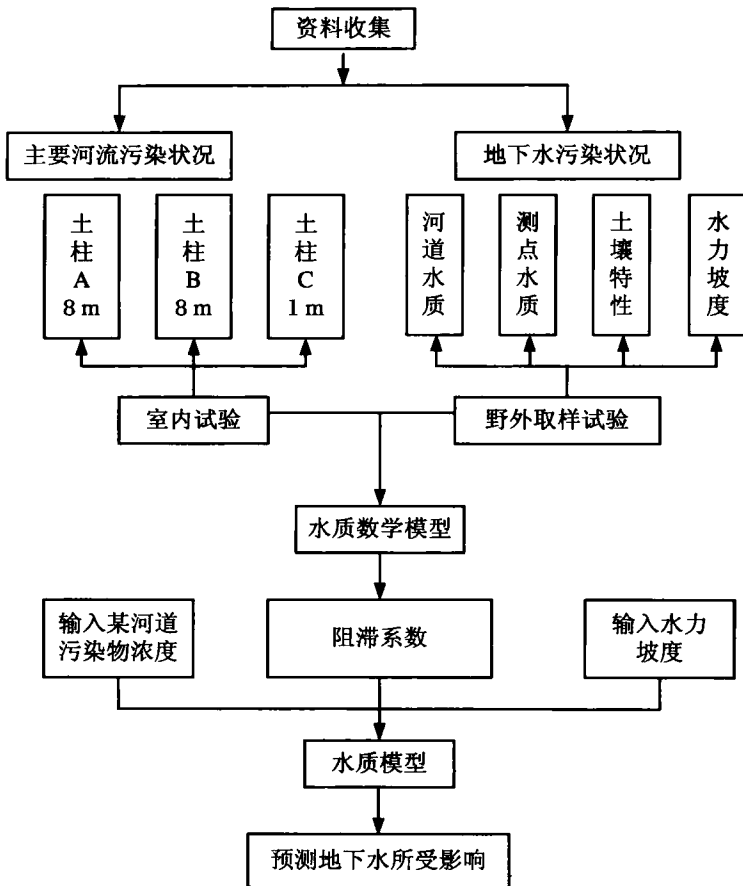


图 1-1 技术路线图