

# 中国地表水-地下水污染协同管理控制模式初探\*

井柳新<sup>1</sup> 孙愿平<sup>2</sup> 孙宏亮<sup>1#</sup> 刘伟江<sup>1</sup> 王东<sup>1</sup> 吴悦颖<sup>1</sup>

(1.环境保护部环境规划院,北京 100012;2.中兵勘察设计院,北京 100053)

**摘要** 地表水与地下水关系密切,是两个相互依存、相互制约、相对独立的水资源子系统。为进一步控制中国水环境污染,实现《水污染防治行动计划》目标,建立中国地表水-地下水污染协同管理控制模式尤为重要。通过总结地表水与地下水相互转化和污染物在地表水-地下水系统中的迁移转化规律,从法规监管、资源开发和污染控制等方面,提出了中国地表水与地下水协同管理控制的水污染防治模式,为中国水污染综合防治提供参考。

**关键词** 地表水 地下水 污染 管理控制 模式

DOI:10.15985/j.cnki.1001-3865.2016.03.018

**The preliminary study of Chinese surface water-groundwater pollution collaborative management control mode** JING Liuxin<sup>1</sup>, SUN Yuanping<sup>2</sup>, SUN Hongliang<sup>1</sup>, LIU Weijiang<sup>1</sup>, WANG Dong<sup>1</sup>, WU Yueying<sup>1</sup>. (1.Chinese Academy for Environmental Planning, Beijing 100012; 2.China Ordnance Industry Survey and Geotechnical Institute, Beijing 100053)

**Abstract:** There is a close relationship between surface water and groundwater. They are two interdependent, mutual restraint, relatively independent water subsystems. It is particularly important to establish a Chinese surface water-groundwater pollution collaborative management control mode for China water pollution control and “Action Plan for Prevention and Control of Water Pollution” targets. By summarizing the regular pattern of surface water-groundwater interaction and pollutants migration and transformation in surface water-groundwater system, the mode of cooperative control of surface water and groundwater had been put forward. The mode which including regulations, resource development and pollution control aspects would provide reference for the integrated control of water pollution.

**Keywords:** surface water; groundwater; pollution; control; mode

地表水与地下水是水的自然循环中的两个重要组成部分,其存在着相互转化关系,地表水与地下水环境质量息息相关。2015年4月,《水污染防治行动计划》(以下简称“水计划”)正式出台,以重点流域水质和地下水质量为主要控制指标,统筹考虑地表水与地下水污染防治问题,要求到2030年,力争全国水环境质量总体改善。为进一步控制中国水环境污染,实现“水计划”目标,建立中国地表水-地下水污染协同管理控制模式尤为重要。

## 1 地表水与地下水的相互转化

地表水与地下水关系密切,两者相互依存、相互制约。中国很多流域河段都存在着地表水与地下水的相互补给。

济南市平阴县的浪溪河流域不同时期具有不同的地表水与地下水的补排关系。汛期时,地下水接

受河水的补给;非汛期时,情况较复杂,主要受到上游水库的影响<sup>[1]</sup>。

松花江下游干流段地区内地表水与地下水转化频繁,田浩然等<sup>[2]</sup>选用20年的数据资料,利用地表水水量平衡法和地下水水量均衡法,研究出该区域内的补给情况,即主要是地表水补给地下水,补给量为0.43亿~0.48亿m<sup>3</sup>。

张洪山<sup>[3]</sup>对沿淮淮地区地表水与地下水相互转化关系进行研究,结果表明,当河道水位高于地下水位时,地下水接受河流补给,地下水位自河边分别向两岸逐渐下降,且在距离河岸50m内,地下水下降坡度较大。

王中根等通过对海河流域地表水与地下水相关数据分析,提出了地表水SWAT模型与地下水MODFLOW模型进行耦合的技术框架。同时,在流域地表空间,划分了283个子流域和2100个水文

第一作者:井柳新,女,1985年生,硕士,工程师,研究方向为水污染防治。\* 通讯作者。

\* 华北平原典型地区地下水污染防治技术体系研究项目(No.201309004);全国地下水基础环境状况调查评估项目(No.1441100022)。

响应单元;在平原区地下空间,基于15种不同岩性剖分出若干网格;采用地理信息系统(GIS)建立流域地表水与地下水计算单元的转换关系<sup>[1]</sup>。

## 2 污染物在地表水-地下水系统中的运移

由于地表水与地下水在某些地区存在着密切的相互转化关系,一旦一方受到污染,另一方必然受到严重威胁。

刘相等<sup>[5]</sup>运用水化学分析技术测定了梁滩河地表水和地下水水化学和硝酸盐氮污染水平,结果表明,由于流域中上游地表水体受到了污染,地下水体受地表水体的影响,也出现严重污染现象,上游地下水硝酸盐氮超标。

魏静文对华北平原地下水与地表水的水文地球化学及氢氧同位素特征进行了分析。结果表明:山前黄壁庄水库水渗漏补给地下水;冲洪积扇顶端到扇间的滹沱河河道带附近的地下水接受河水补给;子牙新河河道带地表水和地下水相互转化频繁;滨海平原受海水入侵的影响,大部分地表水和地下水中都有海水的混入<sup>[6]</sup>。

王俊杰研究了沈阳浑河傍河区域地下水的氮污染。结果表明:研究区南北部地下水存在不同的氮素来源;通过氮氧同位素分析表明,研究区地表水、地下水氮素的最主要来源为人为活动排放的粪便及污水;北部地下水的硝酸盐氮主要来源于地表污染源的垂向入渗和上游地下水径流,其比例分别为43.92%和27.37%;南部地下水的氨氮主要来源于浑河河水和上游地下水径流,其比例分别为61.79%和38.06%<sup>[7]</sup>。

刘丽雅<sup>[8]</sup>深入研究了浑河傍河区地下水氮污染来源,发现研究区氨氮主要来源于浑河补给,其贡献率为47.07%;硝酸盐氮主要来源于地表污染源垂向入渗,贡献率为52.39%。

## 3 中国地表水-地下水污染协同管理控制模式构建

不论是从水量角度还是从水质角度,地表水和地下水都是密不可分的,要想做好中国水污染防治工作,就要对地表水和地下水环境进行协同管理控制,要从法规监管、资源开发和污染控制等方面,构建中国地表水与地下水协同管理控制的水污染防治模式。

(1) 统筹规划地表水-地下水污染防治,建立健全水环境监管体系。

“水计划”提出了改善全国水环境质量目标,要

“地表水”与“地下水”两手抓,将传统的“流域”概念进一步扩大,既包括地表水流域,也包括地下水流域,形成一个大流域系统下地表-地下统筹规划体系。

监测技术体系构建是实现地表水-地下水水质联合管控的第一要求。美国自1991年启动国家水质评价计划(NAWQA),每10年对各大流域及区域地下水水质进行监测并评价,重点研究河水及地下水水质变化趋势<sup>[9]</sup>。针对地下水监测布井密度大约为每100 km<sup>2</sup>一眼井,主要调查农业和城市地区已经或正在使用的杀虫剂、营养物、挥发性有机物和金属物质。

根据《2014年中国环境状况公报》显示,我国已对423条主要河流、62座重点湖泊(水库)建立了国控地表水监测断面并开展例行监测,基本掌握了我国地表水流域水质变化特征;而地下水监测点位仅有4 896个,监测精度远低于美国等发达国家,目前实施的《地下水质量标准》(GB/T 14848—93)中仅包括39项指标,缺少针对有机物及重金属等污染物的规定值。

我国水环境监管体系应优先注重地下水监测能力建设,在充分衔接“国家地下水监测工程”<sup>[10]</sup>中20 000余个监测点的同时,对工业园区、加油站及油库、垃圾填埋场、危险废物处置场、高尔夫球场、再生水灌区、矿山开采区等重点污染源建立点源监测网络,实现区域-场地两个层面的地下水环境监测体系;尽快修订GB/T 14848—93,扩充国际关注的有机物及重金属等指标;构建地表水-地下水环境监测评价体系和信息共享平台,实现我国从地表到地下、从宏观(区域尺度)到微观(场地尺度)的水环境监管体系。

(2) 深化地表水-地下水水质水量相互转化研究,构建地表水-地下水水源地联合风险预警平台,保障饮水安全。

地表水和地下水均为我国重要的饮水资源。我国北方很多城市都开采傍河地下水水源,就是利用地表水-地下水相互转化关系和含水层的初步净化能力,对地表水和地下水进行联合开采。可见,构建地表水-地下水水源地联合风险预警平台尤为重要。

水环境模型模拟技术是目前研究热点,是实现直观数字化管理和水源地风险预警的重要手段。崔素芳<sup>[11]</sup>利用地表水SWAT模型和地下水MODFLOW模型进行耦合,对大沽河流域水环境进行了模拟预测,研究其水环境变化趋势。张多纯等<sup>[12]</sup>利用流域水文PRMS模型与地下水MODFLOW模型进

表 1 水体中有机物及重金属处理技术比较  
Table 1 The comparison of organic compounds and heavy metals treatment technology

| 处理技术类型 | 优点              | 缺点                      | 主要去除污染物种类 |
|--------|-----------------|-------------------------|-----------|
| 物理     | 机制简单、处理效果好、成本较低 | 处理效果持续性差,污染物浓度较高时处理成本升高 | 有机物、重金属   |
| 化学     | 处理效果好、处理速度较快    | 机制复杂、易产生二次污染,成本较高       | 有机物、重金属   |
| 微生物    | 处理成本低、不产生二次污染   | 处理效果不稳定,微生物生存条件较苛刻      | 有机物       |
| 植物     | 处理成本低、不易产生二次污染  | 处理效果不稳定,植物生长条件受限制       | 重金属       |

行耦合,对沙颍河流域水资源进行了模拟,为未来该流域水资源综合管理提供了重要支撑。王军霞<sup>[15]</sup>以 SWAT 模型和 MODFLOW 模型的源代码为基础,用 FORTRAN90 语言编写了耦合模型的程序,对江汉一洞庭平原地表水-地下水系统进行了模拟,基本摸清了该区域地表水-地下水之间水量、水质输入的相应关系,为未来水资源调控和水污染防控提供参考。

目前,我国的地表水-地下水联合模拟预测技术仍停留在理论研究及个案研究阶段,应加大这方面的科研支撑力度,在充分转化现有成果的同时,进一步深入研究,研发一套适合于我国国情及水环境现状的地表水-地下水联合模拟预测技术体系,包括基础数据库建设、模拟软件研发以及模拟信息平台构建等,真正实现地表水-地下水环境的直观数字化管理。

(3) 加大地表水-地下水污染防治科研力度,鼓励开展针对有毒有害有机物、重金属等人体健康风险较大指标的研究。

随着经济社会的快速发展,水中的污染成分越来越复杂,很多对人体健康风险较大的污染物频频出现,这一点在地下水中尤为突出。《华北平原地下水污染防治工作方案》显示,我国华北平原局部地区地下水出现了汞、铬、镉、铅等重金属和苯、四氯化碳、三氯乙烯等有机物污染现象。地表“黑臭”水体的出现,也预示着地表水的治理不能仅停留于 COD、氨氮、TN、TP 等指标。因此,要鼓励开展针对有毒有害有机物、重金属等污染物降解技术的研究。

针对有毒有害有机物的降解技术主要包括物理、化学和生物处理技术 3 大类。王世忠<sup>[14]</sup>采用活性炭吸附联合膜过滤技术,对给水工艺中消毒副产物前体物进行降解研究,给出了降解规律及工艺技术方案。张伟<sup>[15]</sup>采用无填料曝气,对挥发性卤代烷烃、卤代烯烃、苯系物等挥发性有机物进行吹脱处理,得到了相应的工艺设计参数。相欣奕<sup>[16]</sup>采用氧化技术处理难降解有机污染物,发现了氯四环素的氧化降解机制,同时采用 Fenton 试剂和铁炭内电解法处理垃圾渗滤液。HACK 等<sup>[17]</sup>采用微生物降解

技术去除苯酚、水杨酸、苯磺酸和碘美普尔,并研究了其降解机制。GANESH KUMAR 等<sup>[18]</sup>成功从深海沉积物中提取富集微生物,降解复合烃类物质。

针对重金属的降解技术主要包括物理、化学和植物等处理技术。马红梅<sup>[19]</sup>采用弱碱性阴离子交换树脂、铁锰氧化物吸附剂、负载吸附剂去除水体中重金属及砷,得到较好效果。SHEN 等<sup>[20]</sup>发现,利用高分子表面活性剂可有效去除水溶液中的铬、锌、镉等重金属离子。张玉政<sup>[21]</sup>采用硫酸亚铁还原法去除饮用水中六价铬,大大提升了传统工艺中六价铬的去除率。VYMAZAL 等<sup>[22]</sup>采用水平流人工湿地技术去除水中重金属,并测试出了枯萎芦苇中重金属的富集量。BŘEZINOVÁ 等<sup>[23]</sup>研究了人工湿地中藨草对重金属的富集机制。

目前,国内外已有不少针对水体中有毒有害有机物、重金属等污染物的处理技术,每种处理技术都有其特点及局限,表 1 为水体中有机物及重金属处理技术比较。

很多处理技术的理论研究较深入,但缺乏工程实践,还不能很好地解决我国目前面临的水体中有机物及重金属污染问题。未来应鼓励将科学研究成果规范化、产业化,使其更好地服务于环境管理,同时要更加注重于技术筛选、单一技术优化和复合技术应用等研究。

#### 4 结 语

地表水与地下水关系密切,是两个相互依存、相互制约、相对独立的水资源子系统。为全面做好中国地下水污染防治工作,就要对地表水和地下水环境进行协同管理控制。既要完善相关法律法规,建立地表水-地下水环境协同监测网络;又要注重科学研究,提升地表水-地下水环境协同监管能力;从资源开发、污染控制等方面提出有效管理措施和技术手段,构建中国地表水与地下水协同管理控制的水污染防治模式。

#### 参考文献:

- [1] 尹莹.基于 GIS 的浪溪河地表水-地下水相互作用研究[D].北

- 京:中国矿业大学,2011.
- [2] 田浩然,肖长来,徐梦瑶.松花江佳木斯以下干流段地表水与地下水相互转化关系研究[J].节水灌溉,2012(5):26-28.
  - [3] 张洪山.沿淮淮北地区地表水与地下水相互转化特点实验资料分析[J].安徽水利水电职业技术学院学报,2014,14(1):33-35.
  - [4] 王中根,朱新军,李尉,等.海河流域地表水与地下水耦合模拟[J].地理科学进展,2011,30(11):1345-1353.
  - [5] 刘相超,周政辉,宋献方,等.梁滩河地表水与地下水水化学及硝酸盐污染[J].重庆交通大学学报(自然科学版),2009,28(5):942-947.
  - [6] 魏静文.华北平原地下水与地表水的水文地球化学及氡同位素特征分析[D].北京:中国地质大学(北京),2012.
  - [7] 王俊杰.沈阳浑河傍河区域地下水氮素污染研究[D].北京:中国地质大学(北京),2013.
  - [8] 刘丽雅.浑河傍河区域地下水氮污染来源贡献识别[D].北京:中国地质大学(北京),2013.
  - [9] 刘伟江,丁贞玉,文一,等.地下水污染防治之美国经验[J].环境保护,2013(12):33-35.
  - [10] 范宏喜.开启地下水监测新纪元——聚焦国家地下水监测工程建设[J].水文地质工程地质,2015,42(2):161-162.
  - [11] 崔素芳.变化环境下大沽河流域地表水-地下水联合模拟与预测[D].济南:山东师范大学,2015.
  - [12] 张多纯,张幼宽.GSFLOW在沙颍河流域地表水与地下水联合模拟的应用[J].水文地质工程地质,2015,42(2):1-9.
  - [13] 王军霞.江汉一洞庭平原流域水文模型与地下水数值模型耦合模拟研究[D].武汉:中国地质大学,2015.
  - [14] 王世忠.活性炭与膜技术对水中天然有机物去除中试研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2013.
  - [15] 张伟.曝气吹脱去除水源水中挥发性有机物的应急处理技术研究[D].北京:清华大学,2011.
  - [16] 相欣奕.氧化技术降解典型有机污染物研究[D].重庆:重庆大学,2013.
  - [17] HACK N, REINWAND C, ABBT BRAUN G, et al. Biodegradation of phenol, salicylic acid, benzenesulfonic acid, and iomeprol by *Pseudomonas fluorescens* in the capillary fringe[J]. Journal of Contaminant Hydrology, 2015, 83(12): 40-54.
  - [18] GANESH KUMAR A, VIJAYAKUMAR L, JOSHI G, et al. Biodegradation of complex hydrocarbons in spent engine oil by novel bacterial consortium isolated from deep sea sediment[J]. Bioresource Technology, 2014, 170(10): 556-564.
  - [19] 马红梅.微污染饮用水源中砷及几种重金属离子的吸附分离过程研究[D].上海:同济大学,2007.
  - [20] SHEN Licheng, NGUYEN X T, HANKINS N P. Removal of heavy metal ions from dilute aqueous solutions by polymer-surfactant aggregates: a novel effluent treatment process[J]. Separation and Purification Technology, 2015, 152(9): 101-107.
  - [21] 张玉政.饮用水水源突发性重金属污染应急处理实验研究[D].西安:西安建筑科技大学,2008.
  - [22] VYMAZAL J, BŘEZINOVÁ T. Accumulation of heavy metals in aboveground biomass of *Phragmites australis* in horizontal flow constructed wetlands for wastewater treatment: a review[J]. Chemical Engineering Journal, 2016, 290(4): 232-242.
  - [23] BŘEZINOVÁ T, VYMAZAL J. Evaluation of heavy metals seasonal accumulation in *Phalaris arundinacea* in a constructed treatment wetland[J]. Ecological Engineering, 2015, 79(6): 94-99.

编辑:黄 苇 (收稿日期:2016-02-01)

(上接第94页)

地下水污染低风险区集中在研究区的中部和西部,面积为3.57万km<sup>2</sup>,占研究区总面积的43.25%。主要为基岩裂隙水和松散岩类孔隙水,大多土地利用类型为林地,包气带过滤性强,且污染源较少。

## 5 对策建议

渝西部的重庆市城区、北碚和璧山县等,以及渝东北部的城口和巫溪县位于地下水污染高风险区,应加强地下水环境保护,防范地下水污染。

(1) 重庆市城区、北碚和璧山县等污染源分布密集,工业污染源、加油站、垃圾填埋场等典型地下水污染源污染源荷载较高,应加强对上述污染源的地下水环境监管,严格污水排放、防止有毒有害污染物跑冒滴漏,加强防渗措施;位于该区域的加油站应该及时更换双层罐或建立防渗池,并进行防渗漏自动监测。垃圾填埋场应完善防渗措施,建设雨污分流系统。

(2) 渝东北部的城口和巫溪县,农业、生活及工业污染源分布较少,由于土壤高度石漠化,保护性盖层厚度较薄,阻隔污染物的能力弱,是污染风险较高的原因,因此要加强植树造林和森林保护,促进石漠化地区植被恢复。重庆市将该地区规划为生态涵养发展区,引导转移人口130万,确保森林覆盖率,将能有效防范该地区地下水污染风险,建议加快实施功能区实施方案。

## 参考文献:

- [1] 杨平恒,卢丙清,贺秋芳,等.重庆典型岩溶地下水系统水文地球化学特征研究[J].环境科学,2014,35(4):1291-1296.
- [2] 重庆市水利局.重庆市2012年水资源公报[R].重庆:重庆市水利局,2013.
- [3] 张宗祜,李烈荣.中国地下水资源(重庆卷)[M].北京:中国地图出版社,2005.
- [4] 魏兴萍,蒲俊兵,赵纯勇.基于修正RISKE模型的重庆岩溶地区地下水脆弱性评价[J].生态学报,2014,34(3):2-8.
- [5] 谢巍.地下水导则在重庆环评实施中的思考[J].资源节约与环保,2014(9):159-160.
- [6] 李绍飞,冯平,林超.地下水环境风险评价指标体系的探讨与应用[J].干旱区资源与环境,2007,21(1):39-45.
- [7] 腾彦国,苏洁,翟远征.地下水污染风险评价的选置指数法研究综述[J].地球科学进展,2012,27(10):1-10.
- [8] 邹胜章,李录娟,卢海平,等.岩溶地下水系统防污性能评价方法[J].地球学报,2014,35(2):262-268.
- [9] 杨庆,陈忠荣,张伟红,等.典型水源地下水污染风险评价[J].中国环境监测,2013,29(3):21-24.
- [10] 环境保护部.地下水污染防治区划分工作指南(试行)[R].北京:环境保护部,2014.
- [11] 申利娜,李广贺.地下水污染风险区划方法研究[J].环境科学,2010,31(4):918-923.

编辑:黄 苇 (收稿日期:2016-02-01)