

DOI :10.3880/j. issn. 1006-7647. 2010. 02. 010

北方小流域地表水与地下水联合开发新模式探讨

叶 勇¹, 谢新民¹, 柴福鑫², 杨丽丽¹, 赵全升³

(1. 中国水利水电科学研究院水资源研究所, 北京 100038 ;
2. 中国水利水电科学研究院遥感技术开发研究中心, 北京 100044 ; 3. 青岛大学环境科学系, 山东 青岛 266071)

摘要 :以沈阳市辽河支流长河-羊肠河流域为例,分析水资源开发利用面临的主要问题,提出以地表拦蓄及生态修复与地下水库相结合的水资源开发新模式。情景模拟分析结果表明,该流域采用联合开发模式常规可供水量为 10 万 m³/d,应急可供水量为 50 万 m³/d,可持续应急 4 个月。这种联合开发模式可为本流域及北方其他小流域的水资源开发利用提供参考。

关键词 北方小流域,地表水与地下水联合开发,水资源开发模式,地下水库

中图分类号 :TV213.9 **文献标识码** :A **文章编号** :1006-7647(2010)02-0036-04

New combined development mode for surface water and groundwater in small watersheds in North China//YE Yong¹, XIE Xin-min¹, CHAI Fu-xin², YANG Li-li¹, ZHAO Quan-sheng³(1. Department of Water Resources, China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China ; 2. Remote Sensing Technology Application Research Center, China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100044, China ; 3. Department of Environmental Science, Qingdao University, Qingdao 266071, China)

Abstract : Taking the small watershed of Changhe River-Yangchang River on Liaohe River in Shenyang as an example, the main problems in the development and utilization of water resources were discussed. A new development mode, the combination of surface water storage, ecological rehabilitation and groundwater reservoirs, was put forward. The analytic results of scenarios show that the combined development mode of both surface water and groundwater can provide a routine capacity of water of 100 000 m³/d and an emergent capacity of water supply of 500 000 m³/d for about 4 months. It may give reference for the development of water resources in study area and other small watersheds in North China.

Key words : small watershed in North China ; combined development of surface water and groundwater ; development mode of water resources ; groundwater reservoir

北方小流域一般降水集中,汛期短。平原区受多种条件限制,往往不利于修建地表水库。近年来水污染加剧,生态环境问题日益凸现,使水资源开发利用更加困难。单纯基于地表水利工程的水资源开发模式已不合时宜。地下水在北方地区供水中占主导地位^[1],然而在长期的掠夺式开发下,引起了诸多的生态环境地质问题^[2]。故仅单一考虑水量开发而不注重相关的水环境改善与治理及多水源联合补给的传统模式已不能完全胜任现代水资源管理的需求,而联合开发地表水与地下水,并采用生态修复等辅助措施增加自然生态系统的自净能力,实现水资源的可持续利用是未来北方小流域合理开发利用水资源的一种理想选择。本文以沈阳市辽河支流长河-羊肠河流域为例,分析水资源开发利用所面临的

主要问题,探讨地表水与地下水联合开发新模式。

1 研究区概况

研究区位于沈阳市区东北部,距市区约 13 km,总面积为 361.8 km²,西部平原区面积为 296.2 km²,东南部山丘区面积为 65.6 km²。区内长河、万泉河、左小河、新西小河及羊肠河均位于辽河左岸。长河、左小河为辽河一级支流,其他为辽河二级支流,见图 1。流域内以农业为主,仅新城子区有少量企业,有部分污水排放。

该流域内主要含水层为第四系冲、洪积地层,平均厚度约 40 m,以潜水为主,地下水资源比较丰富。北部地下水流向基本与辽河一致,由东北流向西南;南部由东南流向西北,见图 2。地下水位埋深较浅,

基金项目 : “十五”国家科技支撑项目(2007BAB28B04) ; 国家自然科学基金(40772151)
作者简介 : 叶勇(1982—),男,四川自贡人,博士研究生,从事地下水资源评价、水资源管理与配置等研究。E-mail :yerjie@126.com

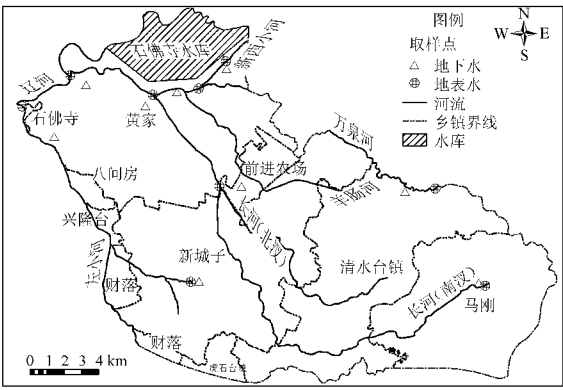


图1 研究区位置及水系分布

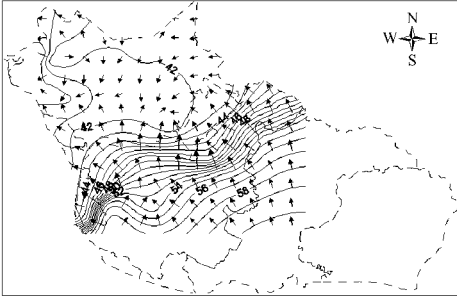


图2 地下水流场示意图

与地表水有密切的水力联系,在水力梯度的作用下二者相互补给。

2 水资源条件及面临的问题

2.1 水资源条件

流域内多年平均总径流量为 0.73 亿 m^3 。通过区域均衡法及地下水流数值模拟 2 种方法综合计算得出地下水资源量为 1.09 亿 m^3 ,其中地下水可开采量为 0.89 亿 m^3 。

本区缺乏合理的水利工程,地表水几乎没有得到有效利用。辽河漫滩区地下水开发相对较多,主要用于农田灌溉。据 2003~2006 年统计,流域内年均供水量为 0.515 亿 m^3 ,其中地表水仅占 3.73%,地下水占 96.27%。

总体上流域内水资源开发利用程度较低,地表水几乎未得到开发,地下水开采量仅占可开采量的 35.94%,尚具有进一步开发利用的潜力。目前沈阳市供水较为紧张,现状用水需求基本已达到供水能力,预计近期(2010 年)需水量将达到 294.6 万 m^3/d ,缺水量将达到 50.6 万 m^3/d ;远期(2020 年)需水量将达到 414.0 万 m^3/d ,缺水量将达到 170.0 万 m^3/d ,未来沈阳市的供水缺口主要由大伙房水库输水工程解决。然而为满足沈北新区的进一步用水需求,以及增加城市供水保障和为应急供水做准备,规划在此建立常规与应急复合型水源地。

2.2 面临的主要问题

通过对区域水资源条件综合分析及 2008 年的

实地调查,结果表明水资源开发利用尚面临诸多难题,主要包括以下 4 个方面:

a. 水资源时空分布不均,不利于长期稳定供水。时间上,受降水时间分配不均的影响,水资源主要集中于汛期,缺乏合理的水利工程,不能蓄积汛期水资源,导致枯季缺水,难以保障稳定的供水需求;空间上,辽河漫滩区水资源相对丰沛,阶地水资源相对贫乏。水资源缺乏时空调控能力,与未来社会经济发展的需求不相适应。

b. 缺乏地表蓄水工程,不能有效利用地表水。本流域以辽河冲积平原为主,地势平坦,受地形地貌及水资源条件等综合影响,不利于修建地表水库^[3]。1956~2007 年的降水统计资料表明,流域内降水主要集中在 6~9 月,占全年的 75%,7~8 月降水量占全年的 51%,在没有拦蓄工程的情况下往往形成较大的洪水,地表径流得不到有效利用,同时增加了下游河道的防洪压力。

c. 地下水资源相对丰富,但未被充分利用。辽河平原区地下水资源较丰富,含水层补给、排泄及径流条件均良好。第四系潜水含水层渗透系数约为 42.78~73.54 m/d ,辽河漫滩区常规井单井涌水量可达 8000 m^3/d ,若以现代新型辐射井技术,采用 5 根辐射管单井涌水量可达 30000 m^3/d 。含水层中的砂砾石层厚度约为 20 m,给水度为 0.18~0.22,具有较好的赋水条件。然而在没有合理的地下水开发规划的情况下,仅于灌期抽取地下水用于农田灌溉以及供应生活用水,地下水资源没有得到充分利用,更没有发挥出含水层的多年调蓄功能。

d. 地表水与地下水均存在不同程度的污染。据历史资料分析及 2008 年的 2 次水质通测结果,以 GB 5749—2006《生活饮用水卫生标准》进行评价,地表水污染较严重,主要超标项目有色度、浑浊度、氨氮、锰离子,其中浑浊度与氨氮超标最严重,地下水主要超标项目为菌落总数、色度、浑浊度、氯化物及锰离子,其中锰离子及菌落总数超标最严重,见图 3。

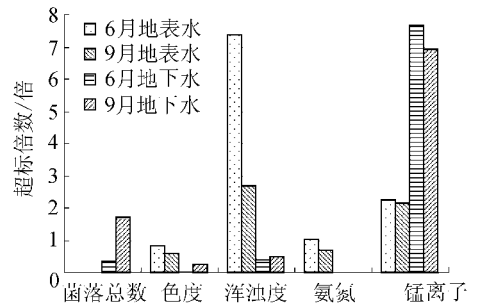


图3 主要超标项目平均超标倍数

采用物元可拓法综合评价 2 次所取水样^[4],结果表明:地表水质总体为 IV 类,地下水质为 III~

Ⅳ类,地表水污染程度大于地下水,见表1。综合评价结果与上述超标情况总体趋势基本一致。

表1 2008年2次水质综合分析评价结果

样品 编号	取样位置	06-03 取样 水质等级		09-22 取样 水质等级	
		地表水	地下水	地表水	地下水
1	左小河五五村附近	V	Ⅲ	Ⅳ	Ⅲ
2	长河上游中寺村附近	Ⅳ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅲ
3	万泉河入境处	Ⅳ	Ⅳ	Ⅳ	Ⅳ
4	万泉河、西小河汇流处	Ⅳ	Ⅳ	Ⅳ	Ⅳ
5	达连屯汇流处	Ⅳ	Ⅳ	Ⅳ	Ⅳ
6	左小河入河口	Ⅳ	Ⅳ	Ⅳ	Ⅳ
7	长河、万泉河、西小河 入河口	Ⅳ	Ⅳ	Ⅳ	Ⅳ
8	西小河中游	Ⅳ	Ⅳ	Ⅳ	Ⅳ
9	长河纳污处	Ⅳ	Ⅳ	Ⅳ	Ⅲ

注 地表水、地下水取样位置相邻。

水体较差的原因可以概括为:①部分工业废水和城乡生活污水无节制排放,造成河道的较重污染;②大量的农村生活垃圾、废弃物及死亡牲畜等被扔到河中,堵塞河道,污染河水,通常使河水发绿、发黑、发臭,浑浊不堪;③非汛期来水减少,河水不能及时被更新及稀释,在地势平坦河段形成局部堆满污染废弃物的臭水洼地,只有来年汛期才能被冲走;④沿河放牧现象普遍,部分牲畜粪便进入河道,尤其在部分村落有成堆的粪便堆放在河道边,成为河流的重要污染源;⑤地表水与地下水具有较强的水力联系,地表污水在汛期被引入到地下,是造成地下水水质较差的重要原因之一;⑥地下水中锰离子含量超标主要受本区地质环境的影响,该区域内锰离子的天然背景值较高。

3 地表水与地下水联合开发模式分析

3.1 联合开发思路

据前述分析,研究区水资源进一步开发利用的潜力较大。其面临的主要难点有:①没有工程,缺乏水资源调蓄,特别是年际间的水资源调蓄能力弱;②水污染严重,地表水与地下水均受到不同程度的污染。既要发挥水资源的供水功能,又要解决上述面临的问题,需要选择适宜的水资源开发模式。

针对流域内的水污染问题,虽然从评价结果看污染较为严重,但从主要污染物及导致污染的原因来看,污染源主要为农村垃圾,超标项目相对容易处理。结合沈阳市生态城市建设的推进,拟采用以下措施:从源头上减少乃至根除农村垃圾污染源,采用疏浚等工程措施使河道畅通,防止径流不畅形成臭水沟,利用人工湿地等生态修复措施改善水质。针对水源调蓄,建设地表拦蓄工程,截住地表径流以增加可利用水量,建设地下水库以使水资源能够多年

调节。由此以地表拦蓄结合地下水库为水资源调蓄工程主体,以生态修复及人工湿地为手段净化水体,构成地表水与地下水联合开发的新模式开发利用水资源,其概念模式如图4所示。

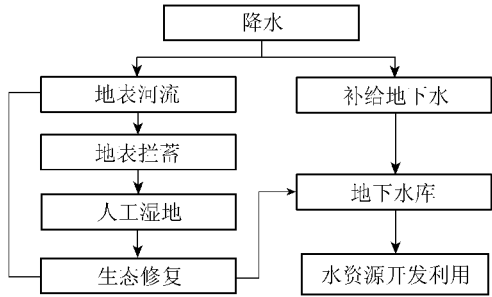


图4 地表水与地下水联合开发模式示意图

3.2 针对地表水采取的措施

研究区生活、灌溉及工农业用水几乎全靠地下水,地表水基本未被利用,规划时无需过多地考虑当地用水的需求。由此结合目前已有的防洪堤,在长河、万泉河汇流处下游约600m处建立长约550m、高约1.5m的溢流坝或橡胶坝拦蓄地表径流,并于形成的约1.22km²的水域建立人工湿地,与在建的溪泉湖湿地结合可形成5.4km²的地表水域。既通过拦水坝截留汛期地表径流,并对含水层补给,平均每年可增加约0.1239亿m³的地下水补给量,又利用人工湿地净化地表水体。针对地表农村垃圾污染问题,在中上游通过清淤疏浚、护坡(重点是清除垃圾)等措施,畅通河道、改善水质,在人工湿地种植芦苇、养殖河蚌等,利用生态作用净化水体。通过水生生态修复及小流域环境治理改善河流水质,防止引起地下水污染。

3.3 针对地下水采取的措施

在人工湿地西部辽河漫滩区利用水源地开采形成的降落漏斗建立地下水库。通过地下水库的建设条件分析,在此建立地下水库具有相对充足的补给水源,特别是建立了以人工湿地为主要补给区后补给水源将更加充足。分析区内67个钻孔及7条剖面资料,结果表明,含水层岩性从上到下可概化为亚黏土、亚砂土、细砂及砂砾石层,其中细砂与砂砾石层互层,详见图5。采用建立的GMS三维地质实体模型得到含水层不同岩性的体积^[5],根据含水层特征和防止引起生态环境地质问题综合确定各特征水位^[6-8],再依据式(1)对拟建地下水库库容进行估算^[9],得出地下水库总库容为1.65亿m³,其中兴利库容达到1.09亿m³。表明地下水库具有实现水资源多年调节的调蓄空间。

$$V = \sum_{i=1}^n \mu_i V_i^* \tag{1}$$

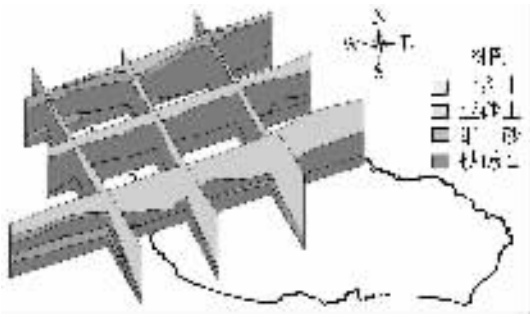


图5 GMS 三维地质实体模型切割剖面图

式中: V 为库容, m^3 ; μ_i 为第 i 个蓄水体的重力给水度; V_i^* 为第 i 个蓄水体的体积, m^3 ; n 为不同岩性的蓄水体个数。

总之,从含水层条件、地下水补给水源、地下水库调蓄空间、地下水开采条件等方面综合分析可知,建立地下水库从而进行水资源多年调节及开发利用是可行的。

3.4 情景模拟分析

根据含水层特征参数,以 2002~2006 年观测水位数据建立地下水数值模拟模型,利用 GWMS 软件进行参数识别、模型验证后,利用上述地表水与地下水联合开发的思路,设置不同的情景,模拟地表水与地下水联合利用的可行性及分析可能出现的问题。

以不同的开采规模为情景进行模拟分析,结果表明:以 $10 \text{ 万 m}^3/\text{d}$ 的规模持续开发不会引起环境问题,开采稳定后形成约 6 km^2 的地下水位降落漏斗,漏斗中心水位埋深约 13 m ,若考虑为城市应急供水,分别以 $25 \text{ 万 m}^3/\text{d}$ 、 $40 \text{ 万 m}^3/\text{d}$ 、 $50 \text{ 万 m}^3/\text{d}$ 这 3 种开采规模模拟,其持续应急供水时间可分别达到 12 个月、6 个月及 4 个月。

4 结 语

a. 受气候、地形等因素综合影响,在北方小流域采用地表水与地下水联合开发的模式开发利用水资源具有较高的可行性。既能较充分地利用地表水资源,又能利用含水层的天然调蓄功能实现水资源的多年调节,对区域的稳定供水有较大的现实意义。

b. 地表水与地下水联合开发模式在沈阳市辽河支流长河-羊肠河流域内可行,可持续提供 $10 \text{ 万 m}^3/\text{d}$ 的可供水量,在应急状态下可提供更为可观的供水量,能够保障当地城市的应急供水安全。

c. 北方小流域受污染情况较为严重,尤其是流域内地表水污染已经影响当地生态环境。人工湿地等水生态修复措施不仅对小流域生态环境改善具有重要意义,而且对地表水与地下水联合开发的水源水质提供保障。未来可加大利用生态修复对水质改善程度的实证研究。

参考文献:

- [1] 胡君春,郭纯青,徐海振.中国北方地区地下水库的若干问题的研究[J].水文,2009,29(1):69-72.
- [2] 盛海洋,孟秋立,朱殿华,等.我国地下水开发利用中的水环境问题及其对策[J].水土保持研究,2006,13(1):51-53.
- [3] 李砚阁.地下水库建设研究[M].北京:中国环境科学出版社,2007.
- [4] 叶勇,迟宝明,施枫芝,等.物元可拓法在地下水环境质量评价中的应用[J].水土保持研究,2007,14(2):52-54.
- [5] 谢轶,苏小四,高淑琴.基于 GMS 支持下的大庆地下水库区水文地质结构可视化模型[J].吉林大学学报:地球科学版,2006,31(1):51-54.
- [6] 李伟,束龙仓,李砚阁.济宁市地下水库特征参数分析[J].水科学进展,2007,18(2):282-285.
- [7] 戴长雷,迟宝明.饮马河中游地下水库可行性论证[J].吉林大学学报:地球科学版,2006,36(1):78-84.
- [8] 束龙仓,李伟,李砚阁.地下水库库容不确定性分析[J].水文地质工程地质,2006,33(4):45-47.
- [9] 王宏,田廷山,华颜涛,等.新疆柴窝堡盆地地下水库调蓄能力的初步研究[J].水文地质工程地质,2006,33(4):48-51.

(收稿日期 2009-06-18 编辑:高建群)

(上接第 28 页)

基础上,提出漂浮物运动及堆积形态模拟的相似条件。由于漂浮物运动特性与堆积形态模拟存在无法同时满足的问题,因此根据研究重点的不同,可以采用正态模型或小变率的变态模型来模拟漂浮物堆积形态。从不同模拟材料的试验结果分析,对于原体漂浮物的运动与堆积,采用木条作为模拟材料时更接近实际情况。

参考文献:

- [1] 陈鸿丽.三峡工程漂浮物调查及治理措施[J].人民长江,2007,38(5):7-8.
- [2] 陈燕,赵新泽,邓晓龙.三峡库区漂浮物综合治理方案探讨[J].电力环境保护,2002,18(4):30-32.
- [3] 李学海,杨伟,文发清.三峡工程坝区漂污运移规律及治理措施初步研究[J].长江科学院院报,2000,17(2):5-8.
- [4] 吴时强,吴修锋,童中山,等.水电站漂浮物堆积形态的数值模拟[J].水利水运工程学报,2004(1):12-17.
- [5] 周辉,童中山,吴时强,等.沙溪口水电站导漂系统物理模型试验研究[R].南京:南京水利科学研究院,2003.
- [6] ETTEMA R, ARNDT R, ROBERTS P, et al. Hydraulic modeling: concepts and practice[M]. VA: ASCE, 2000: 120-130.
- [7] ETTEMA R, CRISSMAN R, ANDRES D, et al. Physical modeling of ice accumulation at hydraulic structures[C]//In Proc IAHR Symposium on Ice. Banff, Canada: IAHR, 1992: 515-526.

(收稿日期 2009-05-20 编辑:方宇彤)