

河北平原深层地下水开采程度评价

李新斗¹, 席志敏²

(1. 河北省地质环境监测总站, 石家庄 050021; 2. 保定市南水北调办公室, 河北保定, 071000)

摘要: 通过对河北平原深层地下水水头(埋深)多年动态分析, 结合地质环境问题现状, 评价了深层地下水开采程度, 认为占河北平原面积60%以上的区域内, 深层地下水处于严重超采状态, 这一结论为实施最严格水资源管理提供了参考依据。最后, 从节水、调整开采层位、调水、调蓄和污水资源化等方面提出了缓解地下水超采的对策建议。

关键词: 河北平原; 深层地下水; 水位动态; 开采程度; 地面沉降; 超采区

中图分类号: P641 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-1683(2013)06-0129-04

Evaluation of Deep Groundwater Exploitation Degree in Hebei Plain

LI Xindou¹, XI Zhimin²

(1. Hebei Geological Environment Monitoring Station, Shijiazhuang 050021, China;

2. Baoding Office of the South to North Water Transfer, Baoding 071000, China)

Abstract: Based on the dynamic analysis of deep groundwater level (depth) and the present geological and environmental conditions in Hebei plain, the degree of deep groundwater exploitation was evaluated. It concluded that more than 60% of the total area in Hebei plain is in serious over exploitation status, which can provide references for the implementation of the most strict water management. Finally, several measures were proposed to mitigate groundwater over exploitation from the aspects of water conservation, adjustment of the exploited layers, water diversion, water regulation and storage, and utilization of the polluted water resources.

Key words: Hebei plain; deep groundwater; water level dynamics; exploitation degree; land subsidence; over exploitation area

1 研究区水文地质条件

河北平原第四纪沉积作用受新构造运动等控制。从山前平原到东部低平原区, 第四系松散沉积物厚度范围从200~300 m变为350~500 m。根据沉积韵律、水力性质和埋藏条件等, 第四系含水介质自上而下可分为四个含水层组: 第Ⅲ含水层组底界埋深20~50 m, 第Ⅱ含水层组底界埋深120~170 m, 第Ⅰ含水层组底界埋深250~350 m, 第Ⅳ含水层组底界埋深350~550 m。

第Ⅲ、Ⅱ含水层组直接或间接接受大气降水补给, 水循环条件较好, 水位埋藏较浅, 地下水为无压或具微承压性, 第Ⅰ、Ⅳ含水层组地下水具承压性, 水循环条件较差。第Ⅲ、Ⅱ含水层组之间以厚度15~20 m的粉土、粉质黏土相隔, 在山前平原隔水性较差, 使上下含水层组成为统一的含水层; 第Ⅰ、Ⅳ含水层组之间, 一般以厚度20~30 m以上的黏土、粉质黏土相隔; Ⅰ、Ⅳ含水层组之间, 一般以厚度30~40 m以上黏土层相隔。

自山前平原向滨海平原, 地下水矿化度由小于0.5 g/L逐步增高为大于1 g/L, 并出现2~3 g/L微咸水、3~5 g/L半咸水和大于5 g/L咸水区。全淡水区Ⅲ、Ⅱ含水层组和有咸水区的咸水顶板以上淡水, 一般称为浅层地下水; 全淡水区Ⅰ、Ⅳ含水层组和有咸水区咸水底板以下地下水, 一般称为深层地下水。

深层地下水补给主要是接受上部含水层越流补给, 约占其总补给的70%, 其次是侧向径流补给; 排泄方式主要是人工开采, 占其排泄总量的约95%, 其次是越流排泄和侧向径流排泄。

2 深层地下水开采历史与现状

20世纪60年代末以前, 河北省地下水利用规模较小, 且以开采浅层地下水为主。70年代机电井得到大力发展, 地下水开发利用程度加大, 至1979年, 河北平原深层地下水年开采量达15~17亿m³。80年代之后, 地下水进入超采阶段, 1995年平原深层地下水年开采量达24~28亿m³。地下水

超采引发了泉水断流、地下水位持续下降、含水层疏干、地下水位降落漏斗不断扩大和地面沉降等一系列环境地质问题,因此,2000 年之后各地陆续采取了关井限采、地表引水等减少地下水开采的措施,扭转了地下水开采量持续增长的态势,深层地下水开采量基本维持在了 30~40 亿 m³/a 左右。

3 评价方法及结果

按水利部发布的《地下水超采区评价导则》(SL 286 2003) 定义,地下水超采区是指某一范围、某一时期内,地下水开采量超过可开采量,造成地下水水位持续下降,或因开发利用地下水引发了环境地质灾害或生态环境恶化现象的区域。深层承压水超采区中,符合下列条件之一者为严重超采区:(1)年均地下水水位下降速率大于 2 m/a;(2)年均地面沉降速率大于 10 mm/a;(3)发生了地下水水质污染,且污染后的地下水水质劣于污染前 1 个类级以上,或污染后的地下水已不能满足生活饮用水水质要求。

根据以上规定,分别采用水位动态法、引发环境地质问题法对河北平原深层地下水开采程度进行评价。

3.1 水位动态法

3.1.1 方法原理

统计评价期内各监测井地下水水头(埋深)值,计算其年均变化速率,水头持续下降的区域其地下水开采程度为超采,而平均下降速率超过 2 m/a 则为严重超采。地下水水头(埋深)年均变化速率按公式(1)式计算:

$$v = \frac{H_1 - H_2}{T} \quad (1)$$

式中: v 为年均地下水水头(埋深)变化速率(m/a); H_1 为评价起始年地下水水头(埋深)(m); H_2 为评价期末地下水水头(埋深)(m); T 为评价时间段长度(a)。

评价期为 2000 年末至 2010 年末,共 10 年。监测数据不足的地区以相邻年份监测数据进行补充。

3.1.2 评价结果

根据上述统计与计算结果,绘制了河北平原深层地下水评价期内的年均地下水水头(埋深)变化速率分区图,见图 1。

及唐海、丰南、滦南结合部等地区平均水头下降速率大于 1 m/a 但小于 2 m/a。

京津以南大部分地区深层地下水水头呈下降趋势,其中石家庄以南山前平原、衡水东部沧州南部、廊坊固安东部和霸州东部及其他零星地带地下水水头下降速率大于 1 m/a; 邢台柏乡-隆尧-巨鹿一带、衡水景县和沧州吴桥与山东德州交接带、廊坊霸州与天津交接带等地水头下降速率大于 2 m/a; 其他地区深层地下水水头下降速率一般在 1 m/a 之内。而沧州市区及周边区域、保定市及以西区域深层地下水水头呈回升趋势,回升速率多小于 1 m/a,仅沧州市区东南及附近有小范围回升速率大于 1 m/a 区。

3.2 引发环境地质问题法

3.2.1 地面沉降

1975 年之前,河北平原地面沉降仅发生在深层地下水降落漏斗的中心地带。随着深层地下水的大规模开采,1975 年-1985 年地面沉降范围不断扩大。1986 年之后,地面沉降发展速度进一步加快,出现了多个地面沉降漏斗。1998 年之后,除沧州市区地面沉降发展速度有所减缓外,其余地区地面沉降仍在加速发展。据统计,到 2010 年河北平原累计地面沉降量超过 500 mm 范围已达 2.69 × 10⁴ km²,其中超过 1 000 mm 范围已达 4.1 × 10² km²,超过 2 000 mm 范围已达 47.25 km²,形成了沧州、任丘、肃宁、河间、献县、东光、衡水、南宫、平乡、丰南、唐海、廊坊、保定、邯郸等 14 个沉降中心。

年均地面沉降速率按公式(2)计算。

$$V_{\text{沉}} = \frac{\Delta H}{\Delta T} \quad (2)$$

式中: $V_{\text{沉}}$ 为年均地面沉降速率(mm/a); ΔT 为时间段(a); ΔH 为 ΔT 时间段内的地面沉降量(mm)。

计算结果显示(图 2),河北平原地面沉降严重的区域沉降速率大于 50 mm/a,主要分布在中部平原沉降漏斗的中心地带;沉降速率 30~50 mm/a 区域,主要分布在各沉降中心的边缘地带;沉降速率 10~30 mm/a 区域,主要分布在廊坊、唐山大部、沧州东部、衡水东南部、邢台东部、邯郸大部;沉降速率小于 10 mm/a 区域仅分布于山前地带及沧州沿海。

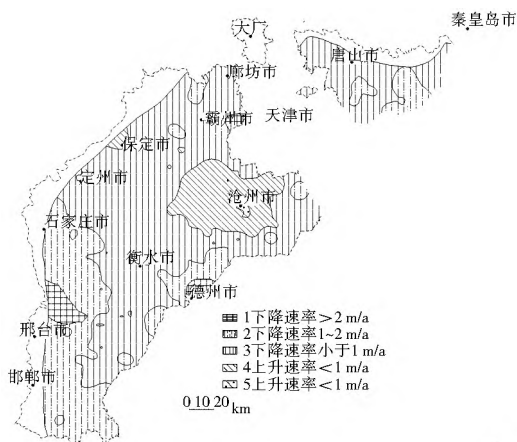


图 1 河北平原深层地下水水头变化速率

Fig. 1 Map of variation rate of deep groundwater level in Hebei plain

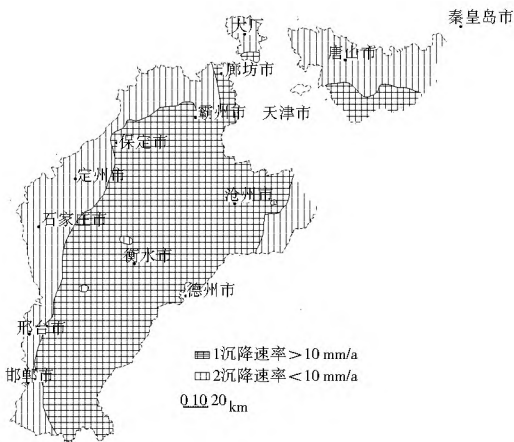


图 2 河北平原地面沉降速率分区

Fig. 2 Partition map of land subsidence rate in Hebei plain

分析发现:冀东平原深层地下水水头整体呈下降趋势,下降速率大多在 1 m/a 之内,仅乐亭县大部、滦南县局部以

3.2.2 地下水污染

河北平原深层地下水水质多年动态呈现基本稳定态势,

水化学组份含量只在一定范围波动。如山前平原的定 17-3 监测井,2001 年-2010 年总硬度检出值变化范围为 188.2~216.2 mg/L,矿化度变化范围为 420.9~471.8 mg/L;中部平原的雄 3-3 监测井总硬度变化范围 20~48 mg/L,矿化度变化范围为 463.0~478.3 mg/L;滨海平原黄 30-4 监测井 1999 年、2004 年氯离子含量由 404.13 mg/L 变为 389.95 mg/L,硫酸根离子由 175.31 mg/L 变为 33.62 mg/L,矿化度由 1 192.62 mg/L 变为 1 059.31 mg/L;盐 15-4 监测井 2004 年、2009 年氯离子含量由 308.42 mg/L 变为 306.64 mg/L,硫酸根离子由 180.11 mg/L 变为 187.32 mg/L,矿化度由 1 184.54 mg/L 变为 1 173.79 mg/L。水质变化较大的监测井,均呈点状分布,其污染机理有待进一步研究。

3.3 开采程度综合分区评价

综合水位动态法、引发环境地质问题法评价结果,河北平原深层地下水开采程度均处于超采状态。利用 GIS 技术将地下水水头下降速率大于 2 m/a 及地面沉降速率大于 10 mm/a 区进行叠加,此范围内地下水开采程度宜划为严重超采区,其他地区宜划为一般超采区。结果显示,一般超采区仅分布于山前平原和沧州沿海地区,约占河北平原总面积的 20.54%;严重超采区则分布在中部平原等其他地区,约占河北平原总面积的 63.19%,见图 3。

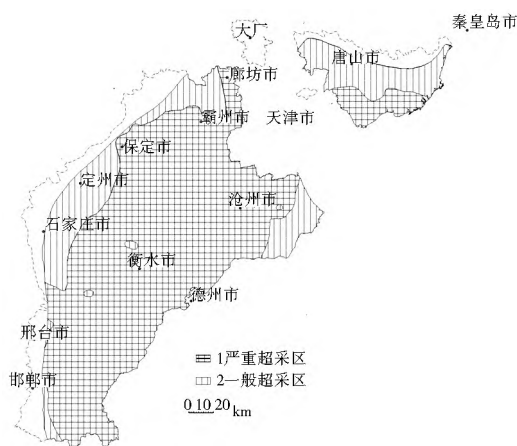


图 3 河北平原深层地下水开采程度分区

Fig. 3 Partition map of deep groundwater exploitation degree in Hebei plain

4 缓解地下水超采的对策

综合评价结果显示,河北平原深层地下水总体仍处于超采和严重超采状态。地下水动态法评价反映了评价期地下水开采的动态过程,沧州、保定等地通过地表引水和关停自备井等措施,减少了地下水开采量,使地下水水头呈现回升态势,取得了一定调控效果,但多数地区尤其是石家庄以南山前平原开采强度仍相对偏大,水头下降速率较快。衡水东部、沧州南部等地除地下水开采强度偏大外,一定程度上可能还受域外开采袭夺影响。

为了缓解深层地下水大规模超采后的持续负面地质环境效应,从科学发展和可持续利用出发,对水资源进行综合规划、合理配置、优化调度和严格管理显得十分迫切。具体来说,缓解深层地下水资源超采的措施应从以下几方面入手。

(1) 节水。河北平原深层地下水开采中,农业用水占近 60%,工业用水近 20%。工业节水可通过改善工艺、提高重复利用率等减少取水。农业节水可通过大力发展抗旱作物,合理调整种植结构和灌溉方式等减少开采。

(2) 调整开采层位。通过加大浅层补给条件较好和具有开采潜力区的地下水开采,而减少深层超采区特别是降落漏斗中心区地下水开采量。

(3) 调水。河北平原水资源严重不足,其根本解决的途径是实现外流域调水,应积极推进引黄、南水北调等工作,增加可供水量。

(4) 调蓄。在山前冲洪积扇、河道带等包气带以砂、卵砾石为主易渗地段,利用地下空间,通过地表水与地下水的联合调度,实现地下水库的季节或多年调节,科学调蓄,补充地下水资源。

(5) 污水资源化。河北省年排放废水超过 20 亿 m^3 ,2010 年达 26.25 亿 m^3 ,应加大其达标处理力度,并将其补充到工业循环、农业灌溉、城市绿化、环境卫生等用水中,从而减少对优质地下水资源的依赖。

参考文献(References):

- [1] 陈望和. 河北地下水[M]. 北京:地震出版社,1999. (CHEN Wang-he. Undergroud Water in Hebei Province[M]. Beijing: The Earthquake Publishing House, 1999. (in Chinese))
- [2] 石建省,王昭,张兆吉,等. 华北平原深层地下水超采程度计算与分析[J]. 地质前缘,2010,17(6): 215-220. (SHI Jian sheng, WANG Zhao, ZHANG Zhaoji, et al. Assessment of Over Exploitation of Deep Groundwater in the North China Plain[J]. Earth Science Frontiers, 2010, 17(6): 215-220 (in Chinese))
- [3] 李文体,刘向华,冯谦诚. 河北省地下水超采区划分及超采状况分析研究[J]. 河北水利水电技术,1999,(4): 28-30. (LI Wei ti, LIU Xiang hua, FENG Qian cheng. Hebei Provincial Zoning of Groundwater Over Exploitation Areas and Over Exploitation Situation Analysis[J]. Hebei Water Resources and Hydropower Technology, 1999, (4): 28-30. (in Chinese))
- [4] 张石春,张建平. 河北省平原区近 30 年来地下水动态变化及可持续利用对策[J]. 海河水利,2005,(2): 15-17. (ZHANG Shi chun, ZHANG Jian ping. The Plain Area of Hebei Province in Recent 30 Years Groundwater Dynamic Change and Sustainable Utilization Countermeasures[J]. Haihe River Water Conservancy, 2005,(2): 15-17. (in Chinese))
- [5] 河北省地质调查院. 华北平原地下水可持续利用调查评价(河北)报告[R]. 2006. (Hebei Institute of Geological Investigation. The Sustainable Utilization of Groundwater in the North China Plain Survey Evaluation Report (Hebei Province)[R]. 2006. (in Chinese))
- [6] 河北省水利厅,河北省地质矿产厅. 河北省地下水资源开发利用规划报告[R]. 1998. (Hebei Department of Water Resources, Hebei Department of Geological and Mineral Resources. Exploitation and Utilization of Groundwater Resource in Hebei Province Planning Reports[R]. 1998. (in Chinese))
- [7] 地矿部河北水文工程地质勘察设计院,河北省水文总站. 河北省地下水资源评价报告[R]. 1990. (Hebei Design Institute of Hydrogeology and Engineering Geology, Ministry of Geological

- and Mineral Resources Exploration, Hebei Hydrological Station. The Underground Water Resources in Hebei Province Evaluation Report[R]. 1990. (in Chinese)
- [8] 刘俊龙, 李兰贵. 超采地下水引起的水文地质环境变化及对策[J]. 河北水利水电技术, 1996, (2): 29-32. (LIU Jun long, LI Lan gui. Hydrogeological and Environmental Changes Caused by Groundwater Over Exploitation and Its Countermeasures [J]. Hebei Water Resources and Hydropower Technology, 1996, (2): 29-32. (in Chinese))
- [9] 郭迎春, 张广录, 阮新, 等. 河北省气候变化对水资源和荒漠化的影响[J]. 地理学与国土研究, 2001, 17(2): 67-70. (GUO Ying chun, ZHANG Guang lu, RUAN Xin, et al. Influences of Chronological Variations of Air Temperature and Precipitation on Water Resources Desertization in Hebei Province[J]. Geography and Territorial Research, 2001, 17(2): 67-70. (in Chinese))
- [10] 郭永海, 王东胜, 沈照理, 等. 河北平原部分地区深层地下水开采的地沉效应及水资源属性再认识[J]. 中国地质灾害与防治学报, 1994, (增刊): 75-81. (GUO Yong hai, WANG Dong sheng, SHEN Zhao li, et al. Effects of Pumping Deep Groundwater on Land Subsidence and Reevaluation of Characters of Deep Groundwater Resources in Part Regions of Hebei Plain [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 1994, (Supp.): 75-81. (in Chinese))
- [11] 朱建军, 李红, 郝东. 河北平原深层地下水环境恶化原因与对策[J]. 石家庄师范专科学校学报, 2002, 4(2): 40-42. (ZHU Jian jun, LI Hong, HAO Dong. Causes and Countermeasures of Deep Groundwater Worsen in Hebei Plain [J]. Journal of Shijiazhuang Teachers College, 2002, 4(2): 40-42. (in Chinese))
- [12] 朱延华, 刘淑芬, 郭永海. 河北平原地下水动力环境演化规律及影响因素[J]. 地球科学, 1995, (4): 433-437. (ZHU Yan hua, LIU Shu fen, GUO Yong hai. Groundwater Dynamic Environment Evolution and Its Constraints in Hebei Plain [J]. Earth Science, 1995, (4): 433-437. (in Chinese))
- [13] 张光辉, 王金哲. 海河流域中东部平原区深层地下水补给与释水机制探讨——兼谈深层地下水资源可利用性[J]. 水文, 2002, 22(3): 5-9. (ZHANG Guang hui, WANG Jin zhe. Mechanism of Confined Groundwater Recharge and Release in the Middle east Plain of Haihe River Basin [J]. Hydrology, 2002, 22(3): 5-9. (in Chinese))
- [14] 张光辉, 陈宗宇, 费宇红. 华北平原地下水形成与区域水文循环演化的关系[J]. 水科学进展, 2000, 11(4): 415-420. (ZHANG Guang hui, CHEN Zong yu, FEI Yu hong. Relationship Between the Formation of Groundwater and the Evolution of Regional Hydrologic Cycle in North China Plain [J]. Advances in Water Science, 2000, 11(4): 415-420. (in Chinese))
- [15] 赵秀兰, 陈宁生, 藏逸中. 深层地下水开采引起的生态环境问题及其治理[J]. 地下水, 2005, 27(1): 46-49. (ZHAO Xiu lan, CHEN Ning sheng, ZANG Yi zhong. Ecological Environmental Issues Caused by Exploitation of Deep Groundwater and Their Solution [J]. Groundwater, 2005, 17(1): 46-49. (in Chinese))

(上接第 128 页)

- [6] 邓跃进, 王葆元, 张正禄. 边坡变形分析与预报的模糊神经网络方法[J]. 武汉测绘科技大学学报, 1998, 23(1): 26-31. (DENG Yue jin, WANG Bao yuan, ZHANG Zheng lu. Application of Fuzzy Artificial Neural Network to the Deformation Analysis and Prediction of Side Slope [J]. Journal of Wuhan Technical University of Surveying and Mapping, 1998, 23(1): 26-31. (in Chinese))
- [7] 徐卫亚, 蒋晗, 谢守益, 等. 三峡永久船闸高边坡变形预测人工神经网络分析[J]. 岩土力学, 1999, 20(2): 27-31. (XU Wei ya, JIANG Han, XIE Shou yi, et al. Rock Slope Deformation Prediction by Artificial Neural Network Method in Three Gorges Project [J]. Rock and Soil Mechanics, 1999, 20(2): 27-31. (in Chinese))
- [8] 谢全敏, 夏元友. 岩体边坡治理决策的模糊层次分析方法研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2003, 22(7): 1117-1120. (XIE Quan min, XIA Yuan you. Fuzzy Hierarchy Analysis on Decision Making of Rockmass Slope Treatment Based on Entropy Weight [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2003, 22(7): 1117-1120. (in Chinese))
- [9] Bates J M, Granger C W J. Combined Forecasting [J]. Journal of Operational Research, 1969, 20: 451-468.
- [10] 李秀珍, 孔纪名, 王成华. 最优加权组合模型在滑坡变形预测中的应用[J]. 自然灾害学报, 2008, 17(2): 53-57. (LI Xiu zhen, KONG Ji ming, WANG Cheng hua. Application of Combined Model with Optimum Weight in Prediction of Landslide Deformation [J]. Journal of Natural Disasters, 2008, 17(2): 53-57. (in Chinese))
- [11] 朱忠荣, 蔡启龙, 寇国祥. 组合预测模型在土石坝沉降分析中的应用[J]. 水利与建筑工程学报, 2005, 3(1): 53-57. (ZHU Zhong rong, CAI Qi long, KOU Guo xian. Application of Combined Forecasting Model in Settlement Analysis of Earthrock Fill Dam [J]. Journal of Water Resources and Architectural Engineering, 2005, 3(1): 53-57. (in Chinese))
- [12] 何薪基, 田斌, 周建军. 最优权组合模型与参数优化在安全监测分析中的应用[J]. 大坝观测与土工测试, 2000, 24(5): 24-33. (HE Xin ji, TIAN Bin, ZHOU Jian jun. Application of Combined Model With Optimum Weight and Parametric Optimization Method to Safety Monitoring Analysis [J]. Dam Observation and Geotechnical Tests, 2000, 24(5): 24-33. (in Chinese))
- [13] 沙定国. 实用误差理论与数据处理[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 1993. (SHA Ding guo. The Practical Error Theory and Data Processing [M]. Beijing: Beijing Institute of Technology Press, 1993. (in Chinese))
- [14] 张友兰, 周爱民. 最优加权组合预测及其应用[J]. 数量经济技术经济研究, 1997, (10): 66-68, 75. (ZHANG You lan, ZHOU Ai ming. Combined Model with Optimum Weight and Application [J]. The Journal of Quantitative & Technica Economics, 1997, (10): 66-68, 75. (in Chinese))
- [15] 周亚非. GM(1, 1) 的 MATLAB 实现及其应用[J]. 长春师范学院学报(自然科学版), 2010, 29(1): 32-35. (ZHOU Ya fei. The Implementation and Application of GM(1, 1) Using MATLAB [J]. Journal of Changchun Normal University (Natural Science), 2010, 29(1): 32-35. (in Chinese))