

DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdtqk.2015.01.014

北京房山地下水功能区划分

纪轶群¹, 辛宝东¹, 李文忠², 郭高轩¹, 许亮¹, 陆海燕¹, 沈媛媛¹

(1 北京市水文地质工程地质大队, 北京 100195;

2 长庆油田分公司 安全环保监督部第九安全环保监督站, 内蒙古 乌审旗 017300)

摘要: 针对北京市房山地下水资源的分布特点, 以《全国地下水功能区划分技术大纲》为基础, 对地下水的资源供给功能、生态环境维持功能和地质环境稳定功能三个方面进行了深入分析, 将房山地下水功能区划一级功能区分为开发利用区、地下水资源保护区、灾害防治区三种, 并进一步细分为二级功能区。为满足北京房山区经济社会可持续发展的需要, 合理开发利用和保护水资源提供了基础性研究。

关键词: 北京房山; 地下水; 地下水功能区

中图分类号: P641.8 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-1683(2015)01-0059-04

Division of groundwater function zones in Fangshan of Beijing

Ji Yi qun¹, Xin Baodong¹, Li Wenzhong², Guo Gaoxuan¹, Xu Liang¹, Lu Haiyan¹, Shen Yuanyuan¹

(1. Hydrogeology and Engineering Geology Team of Beijing, Beijing 100195, China;

2. The 9th Monitoring Station of Safety and Environment Protection Department,

Petro China Changqing Oilfield Company, Wushenqi 017300, China)

Abstract: Based on the distribution characteristics of groundwater resources in Fangshan of Beijing and the nationwide technical outline for the division of groundwater function zones, the supply function, ecological environment maintenance function, and geological environment stability function of groundwater resources were analyzed, and the first grade groundwater function zones in Fangshan were divided into the development zone, groundwater resources protection zone, and disaster prevention zone, which were divided into nine second grade groundwater function zones. This study provides the guidance for the basic research of sustainable development of economy and society and reasonable utilization and protection of groundwater resources in Fangshan.

Key words: Fangshan; groundwater; groundwater function zone

当前,我国北方不少城市和地区,水资源不足和水质污染比较突出,并成为制约社会发展的重要资源因素。根据《全国地下水污染防治规划(2011年-2020年)》,北方地区65%的生活用水、50%的工业用水和33%的农业灌溉用水来自地下水,因此地下水超采现象越来越严重。但是,由于地下水同时兼备生态环境维持功能和地质环境稳定功能,各功能之间相互制约、相互促进,无论哪一个功能被过度利用,都会引起其它功能的相应变化^[1-2]。因此,完整的考虑地下水功能,是地区地下水可持续开发利用,水资源保护与地质环境安全保证的前提。

许志荣^[3]、唐克旺等^[4]、乔光建^[5]对地下水功能区划的方法、原则、体系做了一系列研究。国家水利部也于2005年颁布了《全国地下水功能区划分技术大纲》^[6],大力推进了地

下水功能区划工作实践,例如罗小勇等^[7]、吕红等^[8]、丁元芳等^[9]就利用依据《全国地下水功能区划分技术大纲》分别对云南省、山东省、松辽流域进行了地下水功能区划研究。不过,以往研究主要针对大区域和大流域,而对于区县级地下水功能区划研究较少,不利于基层水利主管部门开展水资源科学管理工作。

本文主要以《全国地下水功能区划分技术大纲》为基础,但不拘泥于大纲,结合北京房山实际情况,在对当地地下水资源供给功能、生态环境维持功能和地质环境稳定功能分析的基础上,进行地下水功能区划分,为房山协调地下水不同使用功能之间的关系,政府行使公共管理和社会服务职能提供重要参考。

1 研究区概况

房山区位于北京市西南部,华北平原与太行山脉交界地

收稿日期: 2014-06-17 修回日期: 2014-11-15 网络出版时间: 2014-12-03

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20141203.1145.011.html>

基金项目: 北京市岩溶地下水勘查评价工程(BJYRS)资助

作者简介: 纪轶群(1982-),男,安徽淮南人,工程师,主要从事水文地质、环境地质调查与研究。E-mail: jiyiquan56@163.com

带,东西长 71.2 km,南北宽 44.8 km,全区总面积 2 019 km²,其中山区面积 1 048.81 km²,平原面积 610.19 km²。地貌类型包括了山地地貌和平原地貌,由西向东依次为山地、冲洪积台地、洪冲积平原、冲积平原。房山区属温带大陆性季风气候,多年平均(1961 年—2013 年)降水量为 587.6 mm。本区有大小河流十余条,最主要的河流有拒马河、大石河、永定河和小清河,其余河流规模较小,均属海河流域。

房山区地下水类型有三种:一是赋存于广大平原区第四纪地层中的孔隙水,分布于拒马河、大石河冲洪积扇的中上部地区,含水层岩性以砂、卵砾石为主,单层或双层结构,厚度一般为 10~70 m;二是赋存于山区寒武系、奥陶系、蓟县系雾迷山组以及铁岭组的岩溶水,寒武系、奥陶系主要分布在房山北部山区,蓟县系主要分布在房山南部;三是赋存于火成岩、沉积岩中的裂隙水。



图 1 房山地理位置

Fig. 1 Location of the study area

2 地下水功能区划分原则与步骤

2.1 地下水功能区划分原则

地下水功能是指地下水的质和量及其在空间和时间上的变化,对人类社会和环境所产生的作用或效应,主要包括地下水的资源供给功能、生态环境维持功能和地质环境稳定功能^[10]。

地下水功能区划分应遵循的原则包括:坚持人水和谐、可持续利用的原则;保护优先、合理开发原则;统筹协调、全面兼顾原则;水量、水位和水质并重原则。

2.2 划分步骤

根据《全国地下水功能区划分技术大纲》,结合房山区地下水实际资源特点,本文拟定的地下水功能区划步骤如下。

第一步,从资源功能角度,在房山地区确定出集中式供

水水源区、分散式开发利用区、应急备用区。

第二步,从地下水生态环境保护角度,在房山地区确定出泉水保护区、湿地保护区、风景名胜区、水资源涵养区。

第三步,从地下水地质环境角度在房子地区确定出地面沉降防治区、水质防治区、地质环境弱化区。

第四步,按照房山现有水资源特点,统筹考虑地下水资源及其开发利用状况、区域生态与环境保护目标要求,合理确定其主导功能,以主导功能划分地下水功能区,不同地下水功能之间不能重叠。原理上采用“分解-合成”的功能区划分技术方法,分解就是对单一属性功能下的地下水功能区的分析;合成就是从横向角度上,对各单属性功能区分别进行空间叠加分析,综合生成不同级别的地下水功能区划分结果。

3 房山地下水功能分析

3.1 房山地下水资源供给功能分析

地下水的资源功能是指具备一定的补给、储存和更新条件的地下水资源供给保障作用或效应,具有相对独立、稳定的补给源和地下水资源供给保障能力。

根据房山区松散岩类孔隙水、岩溶水、裂隙水水量和水质资料,房山地区多年平均地下水可开采量 22 739 万 m³/a,实际开采量 25 679 万 m³/a,其中松散类孔隙水可开采量 12 450 万 m³/a,实际开采量 17 430 万 m³/a;岩溶水可开采量 9 355 万 m³/a,实际开采量 7 354 万 m³/a;基岩裂隙水可开采量 934 万 m³/a,实际开采量 895 万 m³/a。第四系松散岩类孔隙水处于超采状态。

按照房山区地下水可开采量模数不小于 10 万 m³/(a·km²),单井出水量不小于 30 m³/h,地下矿化度不大于 1 g/L,地下水现状水质不低于《地下水质量标准》(GB/T 14848-93)^[11]规定的Ⅱ类水的标准值或经治理后水质不低于Ⅱ类水的标准值,同时考虑开采现状和超采状态,确定出可作为集中供水水源开采的地区有:(1)房山平原地区的大石河冲洪积扇上游窦店镇北部,为山前冲洪积平原地带上部,地层岩性以砂卵砾石为主,属于第四系孔隙水,可作为集中供水水源开采;(2)房山山区和山前的青龙湖镇上万地区的奥陶系岩溶水富水区;(3)河北镇和周口店镇的奥陶系娄子水和磁家务岩溶水富水区(在山前地带隐伏于第四系之下);(4)张坊镇、西白岱张坊村南靠近北拒马河北岸一带,岩溶裂隙发育深,地下水径流条件好,水井出水量大形成富水区。具体情况见表 1。

表 1 可供集中开采地区

Tab. 1 Concentrated exploitation area

地区	地下水类型	可采模数/(万 m ³ ·a ⁻¹ ·km ⁻²)	单井出水量/(m ³ ·d ⁻¹ ·m ⁻¹)	水质 TDS/(mg·L ⁻¹)	面积/km ²
窦店镇北部	第四系孔隙水	48.3	500~1000	952	35.8
青龙湖镇上万	基岩水	31.6	200	491	1.9
周口店镇娄子水	基岩水	15.6	200	654	10.6
河北镇磁家务	基岩水	12.3	250	314	1.6
张坊镇	基岩水	33.7	200	409	8.1

在有一定的开发利用条件和开发潜力,但在当前和规划期内尚无较大规模开发利用的区域,同时地下水赋存、开采及水质条件较好,一般情况下禁止开采,仅在突发事件或特殊

干旱时期应急供水的区域,确定为应急备用区。例如长沟镇甘池沿村一带的富水地段,甘池泉流量 3 500~6 500 m³/d,单井出水量可达 2 000~3 000 m³/(d·m⁻¹),溶解性总固体

543 mg/L, 可作为应急备用区。

从资源功能角度, 现状或规划期内以分散的方式供给农村生活、农田灌溉和小型乡镇工业用水的地下水赋存区域, 一般为分散型或者季节性开采, 多年平均地下水可采量模数不少于 $2 \text{万 m}^3 / (\text{a} \cdot \text{km}^2)$, 单井出水量不少于 $8 \text{m}^3 / \text{h}$, 矿化度不大于 2g/L , 可确定为分散式开发利用区。地下水资源功能分析结果见图 2。



图 2 地下水资源维持功能分析

Fig. 2 Analysis of groundwater resources maintenance function

3.2 生态环境维持功能分析

地下水的生态功能是指地下水系统对陆地表面植被或湖泊、湿地或土地质量良性维持的作用或效应, 如果地下水系统发生变化, 则生态环境将产生响应性改变。

水资源是生态环境系统中起稳定作用的重要控制因子^[12]。地下水资源作为水资源重要的组成部分与表现形式, 在某些区域甚至是唯一水源^[13]。地下水在其循环过程中, 从时间和空间上直接或间接作用于地表生态环境, 维持或加剧地表生态环境向稳定或失稳状态转变^[14+15]。尤其在年均降雨不到 600mm 的房山地区, 地下水当地生态健康发展起着支撑作用, 是当地生态环境系统中最为活跃的因子。特别是一些生态环境系统对地下水水位变化和开采地下水较为敏感, 需要进行保护, 如观赏性名泉和有重要生态保护意义泉眼和泉域、平原区的湿地保护区、风景名胜、水资源涵养区。

据调查, 区内有泉水 40 多处, 本次将其中的高庄泉群、甘池泉群、龙潭泉、万佛堂泉、黑龙观泉、马刨泉和马鞍泉等作为重点保护泉水, 泉眼及泉域为功能核心区范围, 整个泉水保护区面积为 374.8km^2 。

房山大多数地区因地下水水位埋深大, 与地表湿地无直接联系, 只在高庄和甘池湿地, 地下水是重要的补给水源, 因此需要保护。高庄和甘池湿地面积为 2.3km^2 。

区内风景名胜保护区主要为百花山风景区、十渡风景区、云居寺风景区、石花洞风景区、上方山国家森林公园, 总面积 235.9km^2 。

房山山区的其他地区, 对增加雨洪拦蓄, 回补地下水有及其重要的作用, 也是林业和水土保持建设的重点区域, 因此作为水资源涵养区进行保护, 其面积为 815.1km^2 。

房山生态环境功能分析结果见图 3。

3.3 地质环境稳定功能分析

地下水的地质环境稳定功能是指地下水系统对其所赋存的地质环境稳定性具有支撑或保护的作用或效应, 如果地

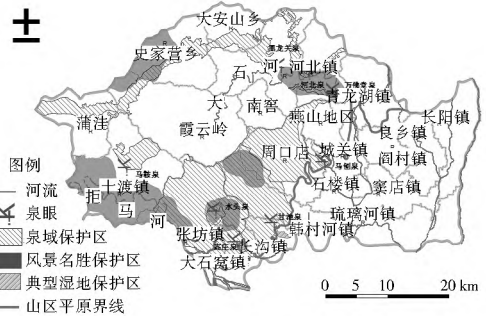


图 3 生态环境维持功能分析

Fig. 3 Analysis of ecological environment maintenance function

下水系统发生变化, 则地质环境将发生响应性改变, 可能引发地质灾害^[16]。

在房山局部地区, 由于人类对地下水开发利用欠缺合理规划, 已发生了地面沉降和水质恶化的不良环境现象。

房山地下水水质方面的不良区域主要是平原区地下水质量超过《地下水质量标准》(GB/T 14848-93) Ⅲ类标准的区域, 主要超标项有硬度、溶解性总固体、硝酸根、氯离子, 分布在长阳、良乡、石楼地区, 以及房山城关南部、阎村镇东部、窦店西南部等部分地区。地面沉降区主要位于房山琉璃河西南部地区, 年沉降速率超过 10mm/a 。该沉降区属于北京大兴沉降区的边缘。灾害防治区面积 296km^2 。

地质环境稳定功能分析结果见图 4。



图 4 地质环境稳定功能分析

Fig. 4 Analysis of geological environment stability function

3.4 功能区划分结果

基于以上对房山地下水单项功能的分析结果, 将资源、生态、地质功能分析图层进行空间叠加分析, 确定主导功能, 并据此在房山区划分出三大地下水一级功能区、九种二级功能区, 详见表 2、图 5。

根据房山地区资源、环境禀赋条件, 确定的以资源开发为主的区域, 即开发利用区, 其面积占房山区总面积的 16% 。根据房山生态系统分布特点, 从生态需水与泉、湿地、风景名胜地区生态保护角度, 确定的地下水资源保护区面积占房山总面积的 69% 。根据房山地下水支撑区域地质环境稳定的特点, 从不适当开发利用地下水所带来地下水污染和地面沉降地质环境问题角度; 确定的灾害防治区面积占房山总面积的 15% 。

4 结论

本文从地下水的资源、生态、地质环境影响三个方面作为地下水功能区划的依据。其中, 地下水的资源功能主导地

表 2 房山地下水功能区划分结果

Tab. 2 Results of the division of groundwater function zones

一级分区	二级分区	功能区范围	面积 km ²
开发利用区	城镇集中开发区	大石河冲洪积扇上游(窦店镇北部) 青龙湖镇上万地区、周口店镇姜子水地区、河北镇磁家务地区、张坊镇等地	58.0
	农村分散开发区	农村居民点和农田地下水灌溉区	252.3
	应急备用	长沟镇甘池富水区	14.1
地下水资源保护区	水资源涵养区	史家营乡、蒲洼乡、十渡镇、大安山乡、南窖乡、霞云岭乡等山区和丘陵区生态植被建设保护区	785.9
	湿地保护	长沟镇高庄、沿村地区	2.3
	泉水保护区	高庄泉群、甘池泉群、河北泉、水头泉、万佛堂泉、黑龙关泉、马鞍泉、马刨泉泉域	374.8
	风景名胜	百花山风景区, 十渡风景区, 云居寺风景区, 石花洞风景区, 上方山国家森林公园	235.9
灾害防治区	水质防治区	长阳、良乡、石楼地区, 以及房山城关南部、阎村镇东部、窦店西南部等部分地区	293.7
	地面沉降防治区	房山山东南部琉璃河镇韩营地区	2

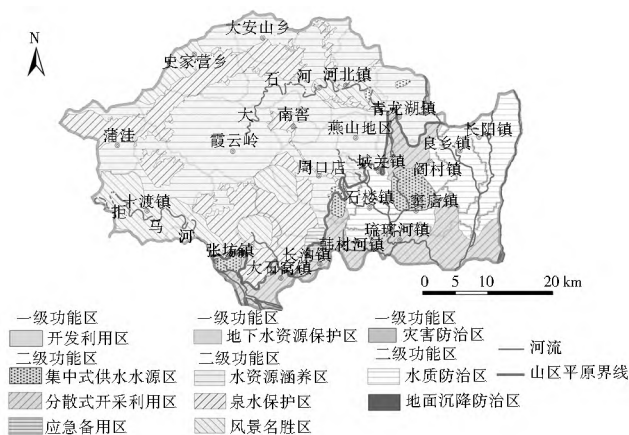


图 5 房山地下水功能区划分

Fig. 5 Division of groundwater function zones in Fangshan

区可进行水资源开发;对地下水位变化较为敏感的地区,应进行保护;存在不良地质环境现象的地区,应进行灾害防治。据此将北京房山地下水划分为二个级别功能区,一级功能区包括开发利用区、地下水资源保护区、灾害防治区三个;二级功能区包括集中式开发利用区、分散式开采利用区、应急备用区、水资源涵养区、湿地保护、泉水保护区、风景名胜、水质防治区、地面沉降防治区等九个。

在开发利用区,集中开采区只占到总开采区面积的 17%,体现了集中开采的便于输送原则,以提高开发利用效率,同时划分出备用水源以提供应急供水。在地下水资源保护区,水资源涵养区分布最广,占到地下水资源保护区 56%,分布在房山山区,人口相对稀少,便于组织开展水资源涵养工作。在地质灾害防治区,则以水质防治区为主,不过地面沉降是房山平原区新型地质灾害,也应该给予关注。

参考文献 (References):

[1] 张光辉, 申建梅, 聂振龙, 等. 区域地下水功能及可持续利用性评价理论与方法[J]. 水文地质工程地质, 2006(4): 62-71. (ZHANG Guanghui, SHEN Jianmei, NIE Zhenlong, et al. Theory and methodology of regional groundwater function and sustainable utilization assessment in China[J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2006(4): 62-71. (in Chinese))

[2] 曹阳, 滕彦国, 王金生, 等. 泉州市地下水功能区划分[J]. 地球学报, 2011, 32(4): 469-476. (CAO Yang, TENG Yanguo,

WANG Jirsheng, et al. The division of groundwater function zones in Quanzhou[J]. Acta Geoscientia Sinica, 2011, 32(4): 469-476. (in Chinese))

[3] 许志荣. 地下水功能区划分初探[J]. 水文地质工程地质, 1998(4): 41-42. (XU Zhirong. Primary study on the division of groundwater function zones[J]. Hydrogeology and Engineering Geology, 1998(4): 41-42. (in Chinese))

[4] 唐克旺, 杜强. 地下水功能区划分浅谈[J]. 水资源保护, 2004(5): 16-19. (TANG Kewang, DU Qiang. Discussion on groundwater function zoning[J]. Water Resources Protection, 2004(5): 16-19. (in Chinese))

[5] 乔光建. 地下水功能区划分研究[J]. 水文, 2007, 29(4): 90-93. (QIAO Guangjian. Study on groundwater regionalization according to the concerned functions[J]. Journal of China Hydrology, 2007, 29(4): 90-93. (in Chinese))

[6] 中华人民共和国水利部. 地下水功能区划分技术大纲[R]. 北京: 中华人民共和国水利部, 2005. (The Ministry of Water Resources of the People's Republic of China. The technical outline on division of groundwater function zoning[R]. Beijing: The Ministry of Water Resources of the People's Republic of China, 2005. (in Chinese))

[7] 罗小勇, 雷少平, 王红鹰. 云南省地下水功能区划分的方法与实践[J]. 人民长江, 2008, 39(23): 49-51. (LUO Xiaoyong, LEI Shaoping, WANG Hongying, et al. Method and practice of the division of groundwater function zones in YunNan Province[J]. Yangtze River, 2008, 39(23): 49-51. (in Chinese))

[8] 吕红, 杜占德, 王健. 山东省地下水功能区划初探[J]. 水文, 2007, 27(3): 75-77. (LYV Hong, DU Zhande, WANG Jian. Primary study on the division of groundwater function zones in Shandong Area[J]. Journal of China Hydrology, 2007, 27(3): 75-77. (in Chinese))

[9] 丁元芳, 崔新颖, 曹国忠. 松辽流域地下水功能区划分初探[J]. 东北农村水利水电, 2007(2): 24-27. (DING Yuanfang, CUI Xinying, CAO Guozhong. Discussion on groundwater function area division in Songliao river basin[J]. Water Resources and Hydropower of Northeast, 2007(2): 24-27. (in Chinese))

[10] 张兆吉. 华北平原地下水可持续利用调查评价[M]. 地质出版社 2009: 293-294. (ZHANG Zhaoji. Investigation and assessment of sustainable utilization of groundwater resources in the North China Plain[M]. Geology press, 2009: 293-294. (in Chinese))

(下转第 86 页)

- od to detect leakage from dam [M]. Beijing: Science Press, 2007: 104-105. (in Chinese)
- [6] 陈建生,董海洲.示踪法对小浪底坝区绕坝渗漏通道的研究[J].长江科学院院报,2004,21(2):14-17.(CHEN Jian sheng, DONG Hai zhou. Nature tracer method for studying leakage pathway of by-pass dam abutment of Xiaolangdi Reservoir[J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2004, 21 (2): 14-17. (in Chinese))
- [7] 袁瑞强,宋献方,王鹏.白洋淀渗漏对周边地下水的影响[J].水科学进展,2012,23(6):751-755.(YUAN Rui qiang, SONG Xian fang, WANG Peng. Impacts of percolation in Baiyangdian Lake on groundwater[J]. Advances in water science, 2012, 23 (6): 751-755. (in Chinese))
- [8] 陈建生,董海洲,陈亮,等.黄壁庄水库副坝坝塌原因的同位素方法研究[J].河海大学学报,2004,32(5):542-545.(CHEN Jian sheng, DONG Hai zhou, CHEN Liang, et al. Study on collapse sink of Huangbizhuang secondary dam with isotope method[J]. Journal of Hohai University, 2004, 32(5): 542-545. (in Chinese))
- [9] 李樟苏.同位素技术在水利工程中的应用[M].北京:水利电力出版社,1990:195-197.(LI Zhang su. The application of isotope technology in hydraulic engineering [M]. Beijing: Water Resources and Electric Power Press, 1990: 195-197. (in Chinese))
- [10] 徐阳,张玮,肖伟华.核子密度仪在南水北调中线渠堤填筑质量检测应用效果分析[J].南水北调与水利科技,2007,5(1):155-157.(XU Yang, ZHANG Wei, XIAO Wei hua. The effect analysis of the surface moisture density gauge applied in South to North Water Transfers channel embankment Inspection [J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2007, 5(1): 155-157. (in Chinese))
- [11] 谢永涛,赵慧丽,赵飞扬.核子仪在秦沈高速铁路建设中的应用[J].铁道工程学报,2000(4):35-37.(XIE Yong tao, ZHAO Hu li, ZHAO Fei yang. Application of nuclear density apparatus in construction of Qin Shen high speed railway[J]. Journal of railway engineering society, 2000(4): 35-37. (in Chinese))
- [12] Ian D. Clark, Peter Fritz. Environmental Isotopes in Hydrogeology [M]. New York: Lewis Publisher, 1997: 25-35.
- [13] 林统,陈建生.基于质量守恒的示踪测速模型及实证[J].水文地质工程地质,2011,38(6):19-23.(LIN Tong, CHEN Jian sheng. The general tracing model of measuring flow velocity based on mass conservation[J]. Hydrogeology and Engineering Geology, 2011, 38(6): 19-23. (in Chinese))
- [14] 樊哲超,陈建生,董海洲,等.广义示踪稀释模型中水平渗流计算公式再讨论[J].岩土工程学报,2006,28(4):432-435.(FAN Zhe chao, CHEN Jian sheng, DONG Hai zhou. Re discussion of generalized tracing dilution model for measuring seepage velocity in wells[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2006, 28(4): 432-435. (in Chinese))
- [15] Beckera M W, Georgianb T, Ambrosea H. Estimating flow and flux of ground water discharge using water temperature and velocity[J]. Journal of Hydrology, 2004, 296: 221-233.

(上接第 62 页)

- [11] GB/T 14848-93,地下水质量评价[S].(GB/T 14848-93, Quality standard for groundwater[S].(in Chinese))
- [12] 陈志恺.西北地区水资源及其供需发展趋势分析[M].北京:科学出版社,2004,1-35.(CHEN Zhi kai. Water resources and supply and the trends of the demand in Northwest China[M]. Science Press, 2004: 1-35. (in Chinese))
- [13] 李文鹏,郝爱兵.中国西北内陆干旱区地下水形成演化模式及其意义[J].水文地质工程地质,1999,26(4):28-32.(LI Wen peng, HAO Ai bing. The formation and evolution model of groundwater and its significance in inland Arid Basin, Northwest China[J]. Hydrogeology and Engineering Geology, 1999, 26(4): 28-32. (in Chinese))
- [14] 张宗祜,施得鸿,沈照理,等.应积极开展人类活动影响下地下水环境的演化及发展的研究[J].水文地质工程地质,1992,19(5):1-2.(ZHANG Zong hu, SHI De hong, SHEN Zhao li, et al. To carry out research on evolution and development of groundwater environment under the influence of Human Activities[J]. Hydrogeology and Engineering Geology, 1992, 19 (5): 1-2. (in Chinese))
- [15] 邓伟,何岩.论地下水对地表生态作用[J].地理科学,1993,13(2):161-168.(DENG Wei, HE Yan. Effect of groundwater on the surface ecology [J]. Scientia Geographica Sinica, 1993, 13 (2): 161-168. (in Chinese))
- [16] 张人权.水文地质学基础[M].北京:地质出版社,2011:10.(ZHANG Ren quan. Fundamentals of Hydrogeology [M]. Beijing: Geology press, 2011: 10. (in Chinese))