

趵突泉泉域沟谷型重点渗漏带特征及保护修复措施研究

李成光^{1,2}, 田婵娟^{1,2}, 陈学群^{1,2}, 王爱芹^{1,2}, 管清花^{1,2}, 刘彩虹^{1,2}

¹山东省水利科学研究院, 山东 济南

²山东省水资源与水环境重点实验室, 山东 济南

Email: licg@whu.edu.cn

收稿日期: 2020年12月28日; 录用日期: 2021年1月29日; 发布日期: 2021年2月22日

摘要

本文以大涧沟重点渗漏带为例, 通过综合利用水文地质调查、遥感解译、直流电法物探测量、钻孔解译以及渗水试验等手段对趵突泉泉域沟谷型渗漏带的地形地貌特征、水文地质特征、植被覆盖度特征、第四系厚度特征以及地下水入渗补给量进行了研究。结果表明, 大涧沟重点渗漏带地势整体上东高西低, 南北两侧为山体, 中间发育形成东西向的沟谷, 为典型的沟谷型地貌; 地下水流向整体上为自东南向西北径流; 植被覆盖度整体较高, 中高植被、中植被和中低植被占整个流域面积的79.08%; 第四系覆盖层整体较薄, 厚度约0~20 m, 地下水补给能力较强; 现状开发利用条件下多年平均地下水渗漏补给量为192.37万m³/a。为保证重点渗漏带的渗漏量不减少, 将重点渗漏带进行了功能分区, 并有针对性地提出了不同功能分区的保护修复措施。

关键词

重点渗漏带, 植被覆盖度, 第四系厚度, 入渗补给量, 保护修复措施

Characteristics of Gully-Type Key Leakage Zone in Baotu Spring Area and Its Protection and Restoration Measures

Chengguang Li^{1,2}, Chanjuan Tian^{1,2}, Xuequn Chen^{1,2}, Aiqin Wang^{1,2}, Qinghua Guan^{1,2}, Caihong Liu^{1,2}

¹Water Resources Research Institute of Shandong Province, Jinan Shandong

²Shandong Provincial Key Laboratory of Water Resources and Environment, Jinan Shandong

Email: licg@whu.edu.cn

作者简介: 李成光, 出生于1988年8月, 山东省临朐县人, 工程师, 研究方向为水资源与水环境。

文章引用: 李成光, 田婵娟, 陈学群, 王爱芹, 管清花, 刘彩虹. 趵突泉泉域沟谷型重点渗漏带特征及保护修复措施研究[J]. 水资源研究, 2021, 10(1): 63-73. DOI: 10.12677/jwrr.2021.101007

Abstract

In this paper, topographic and geomorphic characteristics, hydrogeological characteristics, vegetation coverage characteristics, the thickness of quaternary system and groundwater recharge are studied in Da-jian-gou gully-type key leakage zone of Baotu Spring domain through the comprehensive utilization of hydrogeology survey, remote sensing, the measurement of direct current prospecting, drilling, interpretation and water penetration test. The results show that the terrain of Da-jian-gou Leakage Zone is generally high in the east and low in the west, with mountains on both sides and east-west gullies in the middle, which is a typical gully type landform; groundwater flow is generally from southeast to northwest, and meteoric water can be directly infiltrated through limestone exposed layer to recharge karst water or indirectly through quaternary overburden. On the whole, the vegetation coverage is relatively high, accounting for 79.08% of the whole catchment; the quaternary overburden is relatively thin with a thickness of about 0~20 m, and the groundwater recharge capacity is relatively strong. Under the current development and utilization conditions, the annual average groundwater leakage recharge is 1.923,700 m³/a. In order to ensure the leakage of the key leakage zone is not reduced, the key leakage zone is divided into functional zones, and protection and restoration measures of different functional zones are presented.

Keywords

Key Leakage Zone, Vegetation Coverage, The Thickness of the Quaternary System, Groundwater Leakage Recharge, Protection and Restoration Measures

Copyright © 2021 by author(s) and Wuhan University.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

济南是全国闻名遐迩的“泉城”，泉水是济南的灵魂[1]。大气降水是济南泉水的主要补给项[2] [3] [4]，南部山区作为济南泉水的补给区，而重点渗漏带是补给区内补给功能最强的区域，是岩溶地下水的重要补给通道。20世纪80年代，黄春海[5]提出了济南市趵突泉泉域范围内存在24处重点渗漏带，引起了社会各界的高度重视。之后，陆续有学者开展了重点渗漏带的相关研究。容倩[6]对济南玉符河重点渗漏带回灌过程中的堵塞问题进行了研究；陈学群等人[7]对趵突泉泉域洼地型强渗漏带特征及保护措施进行了研究；管清花等人[8]通过遥感解译、地统计及数理统计等方法对济南泉域现存重点渗漏带植被覆盖的空间变异特征进行了研究。刘彩虹等人[9]采用野外试验、遥感解译及电法勘探等方法对济南泉域小岭重点渗漏带城中村改造项目产生的影响进行了研究；马良等人[10]对济南南部山区兴隆重点渗漏带开发建设进行了模拟。目前学术界对渗漏带的研究成果研究相对较少，尚未形成系统的认识，且不同类型渗漏带的特点也各不相同，因此分类研究不同类型渗漏带的特征及保护修复措施对促进泉水的持续喷涌具有重要的意义。2013年，山东省水科院对24处重点渗漏带(详见图1)进行了调查，根据渗漏带的现状人为干扰情况，将重点渗漏带划分为近自然状态渗漏带和人为干扰渗漏带两种类型[11]。其中近自然状态渗漏带又可分为构造型、河道型、水库型、沟谷型、洼地型五种类别。本文选取沟谷型重点渗漏带作为研究对象，通过综合利用水文地质调查、遥感解译、直流电法物探测量、钻孔解译以及渗水试验等手段对重点渗漏带地形地貌特征、水文地质特征、植被覆盖度特征、第四系厚度特征以及地下水入渗补给量进行了研

究, 在此基础上, 有针对性地提出了沟谷型重点渗漏带的生态保护措施。

2. 研究区概况

沟谷型重点渗漏带一般位于山间沟内, 岩石裸露, 受地形地貌、岩性、山体及沟谷的坡度影响较大, 是地下水的重要补给通道[12]。大涧沟重点渗漏带位于济南市市中区九曲片区南部, 南绕城以北, 横穿十六里河镇兴隆山脉南侧, 地面以大涧沟东、西村周围山谷河道为界, 渗漏带面积 6.11 km², 所在小流域面积 11.63 km²。周边山体出露下奥陶灰岩, 可见燧石结核, 上游沟谷开阔, 覆盖有第四系黄土层, 沟谷内层理清晰, 沟谷深切, 构造发育, 是该区的主要泄洪渠道, 也是地下水直接补给区。该地区主要是奥陶纪马家沟组白云质灰岩分布区, 该组岩石坚硬, 纵向节理及岩溶裂隙发育, 有利于地下水的赋存及运移。

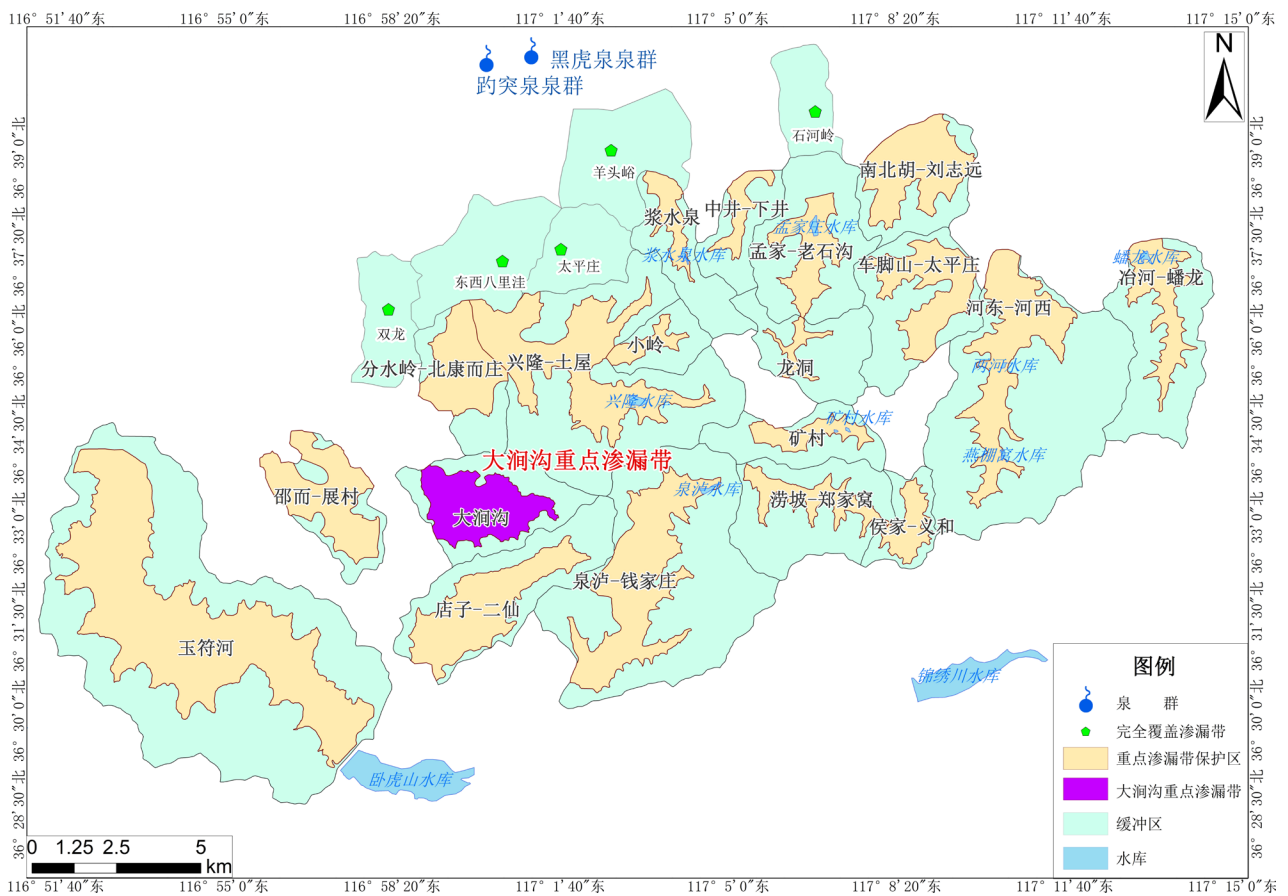


Figure 1. Location map of key leakage zone in Da-jian-gou

图 1. 大涧沟重点渗漏带位置图

3. 研究方法

本文综合利用水文地质调查、遥感解译、直流电法物探测量、钻孔解译以及渗水试验等手段分别对重点渗漏带地形地貌特征、水文地质特征、植被覆盖度特征、第四系厚度特征以及地下水入渗补给量进行研究。其中, 地形地貌特征采用趵突泉泉域 1:1 万地形图 DEM 数字高程数据, 并结合现场实地调查进行分析; 水文地质特征研究主要采用水文地质调查和水文监测等技术手段; 植被覆盖度特征将综合考虑遥感影像覆盖率以及时相、云量等因素, 采用高分一号 16 m 分辨率大幅宽多时相数据进行解译分析, 并采用归一化植被指数 NDVI 计算植被

覆盖度，研究区植被在每年 7~9 月份生长比较旺盛，因此本次选用 2015 年 8 月份的数据作为遥感数据源；第四系覆盖层特征采用直流电法物探和工程钻探相结合的方式；通过第四系原位渗水试验、土工试验、钻孔分层注水试验等[13]确定水文地质参数，采用山东省水利科学研究院多年观测试验研究成果——变径流系数经验公式法和变参数法[14] [15] [16] [17]计算地表径流量和地下水入渗补给量。年地表径流量和径流系数的计算公式为：

$$R_s = \alpha_s F P_i \quad (1)$$

$$\alpha_s = A_s \lg P_i - \lg P_B + D_s \quad (2)$$

变参数法计算公式为：

$$P_r = \alpha_g F P_i \quad (3)$$

$$\alpha_g = A_g \lg P_i - D_g \quad (4)$$

式中： R_s 为地表径流量(万 m^3)； F 为流域计算面积(km^2)； P_i 为降水量(mm)； α_s 为年径流系数； A_s 为地表汇流指数； P_B 为年雨量损失值(mm)； D_s 为土壤调节转化重复系数； P_r 为地下水入渗补给量($10^3 m^3$)； α_g 为年入渗补给系数； A_g 为地形、岩性指数； D_g 为土壤蓄水转化系数。

考虑趵突泉泉域岩石、土壤性质，根据前期试验数据，综合确定 A_s 、 P_B 、 D_s 和 A_g 、 D_g 参数分别为 0.5、1.25、0.42、0.86。 P_B 为 300 mm。土地开发利用前，按照率定的参数计算流域地表径流量和地下水入渗补给量；土地开发利用后建成区地面硬化，硬化部分地表径流系数增大，一般取 0.50~0.75。

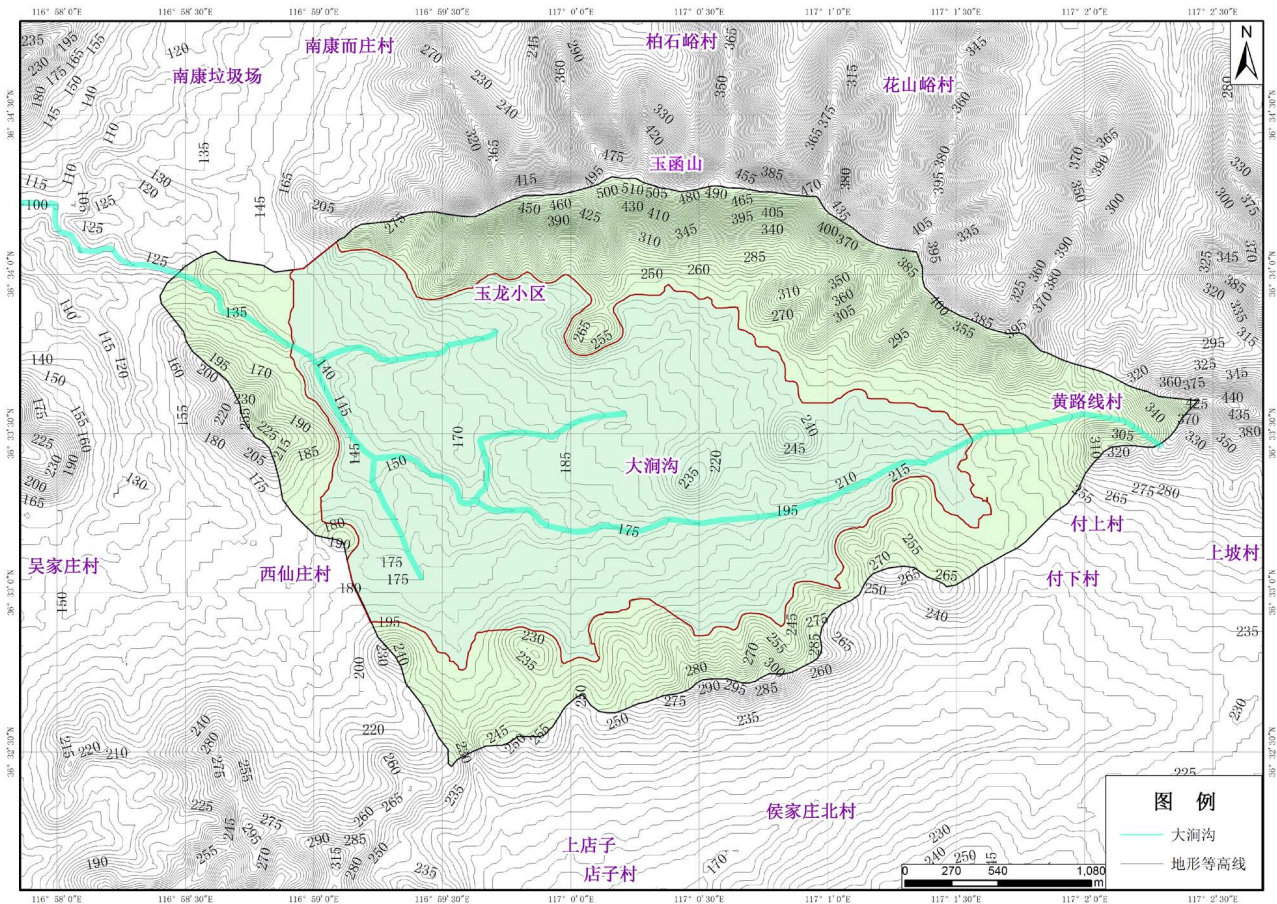


Figure 2. Topography map of key leakage zone in Da-jian-gou
图 2. 大涧沟重点渗漏带地形地貌图

4. 结果分析

4.1. 地形地貌特征

从大涧沟流域地形地貌图(图 2)中可以看出,大涧沟小流域地势整体上东高西低,南北两侧为山体,中间发育形成东西向的沟谷-大涧沟,地形起伏较大,为典型的沟谷型地貌。流域内北部地势较南部更为陡峭,最高点位于北部的玉函山,地面标高 510 m 左右,最低点位于流域西北侧,地面标高 125 m 左右,最大高差 385 m 左右。

4.2. 水文地质特征

图 3 为 2013 年 9 月 1 日区域地下水水位等值线图,从图中可以看出,大涧沟重点渗漏带地下水流向整体为自东南向西北径流,地下水位 100~120 m。根据大涧沟流域南侧仲宫镇北侯村地下水长观井(井编号 S-39) 2010~2013 年地下水水位资料(图 4),一般平水年份地下水水位最低值出现在每年的 6~7 月份,汛期过后水位逐步抬升,可见,降雨是该区域地下水重要的补给来源[18],排泄方式主要为人工开采和泉水,这与趵突泉泉域地下水整体流向是一致的,与实际情况相符。

4.3. 植被覆盖特征

通过对 2015 年大涧沟流域遥感数据进行植被覆盖度解译,结合现场调查,不难看出,大涧沟重点渗漏带山

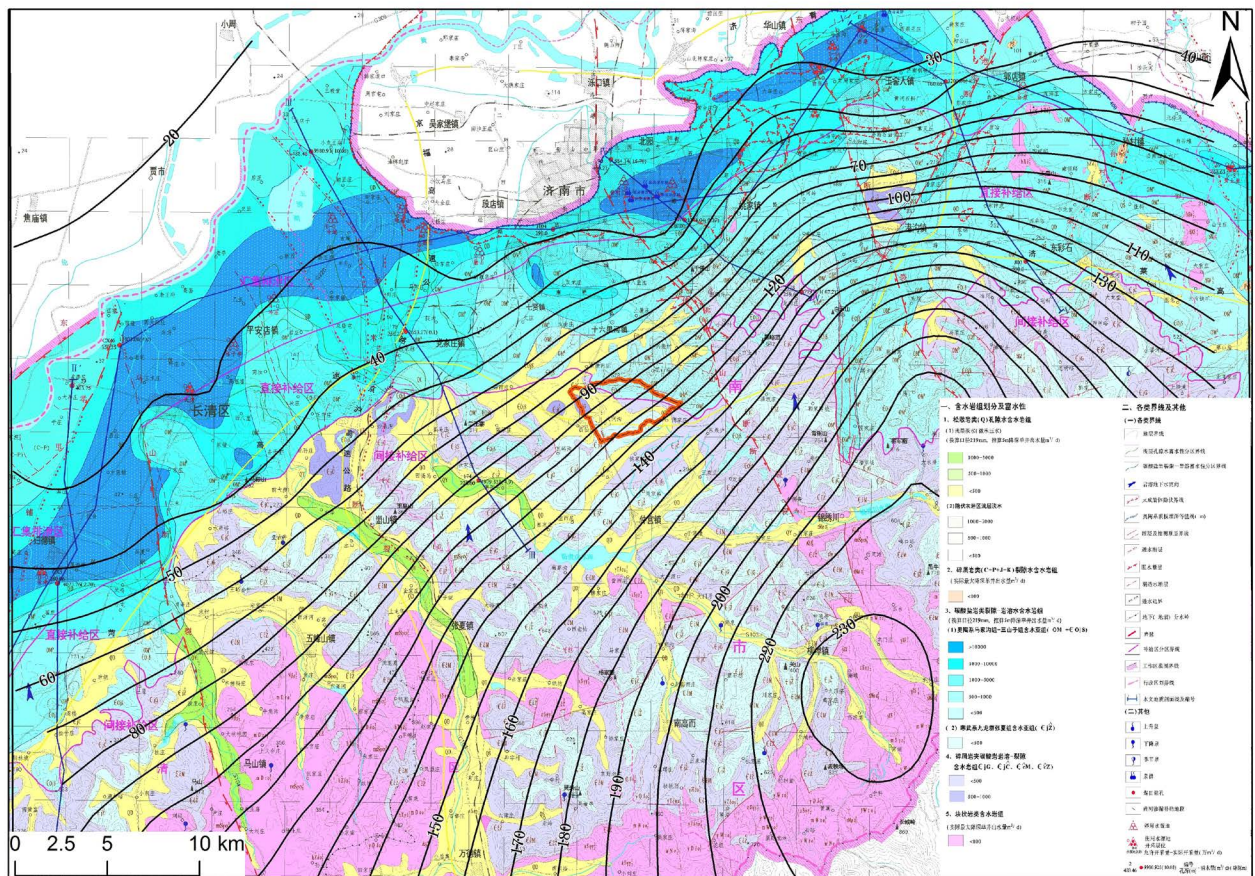


Figure 3. Regional contour map of groundwater level (Sep 1st, 2013)

图 3. 区域地下水水位等值线图(2013 年 9 月 1 日)

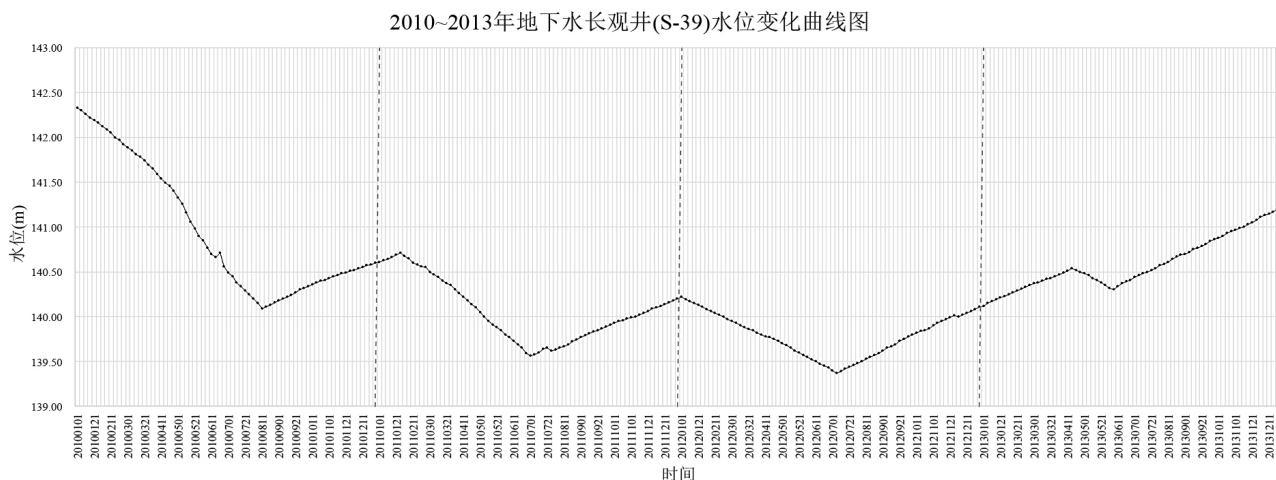


Figure 4. Curve diagram of groundwater level change in long-term observation well (S-39) from 2010 to 2013

图 4. 2010~2013 年地下水长观井(S-39)水位变化曲线图

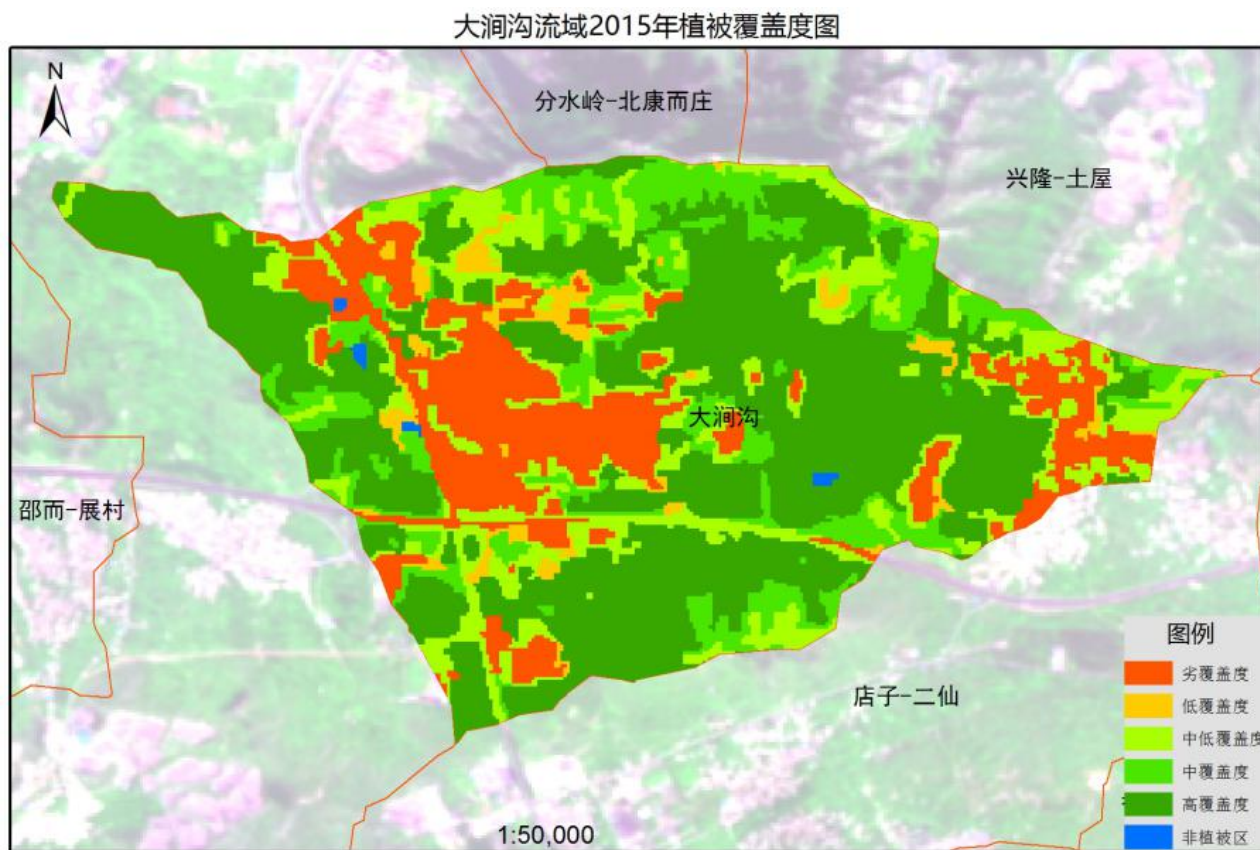


Figure 5. Vegetation coverage zoning map of key leakage zone in Da-jian-gou

图 5. 大涧沟重点渗漏带植被覆盖度分区图

体林地主要以侧柏覆盖为主，园地以种植桃树等果树为主，耕地以小麦、玉米等种植作物为主。图 5 为解译得到的大涧沟重点渗漏带植被覆盖度分区图，从图中可以看出，大涧沟流域内植被覆盖情况整体上较好，中高植被、中植被和中低植被占整个流域面积的 79.08%，植被覆盖解译成果与实地调查掌握的植被覆盖情况相符。通过遥感解译数据显示，整体上大涧沟流域内植被覆盖度较高，属于近自然状态重点渗漏带。

4.4. 第四系覆盖层特征

本次在大涧沟重点渗漏带布置了3条直流电法测量剖面，物探测量点总数为18个，并进行工程钻探验证，第四系覆盖层调查位置图详见图6。图7为第四系厚度剖面解译成果图，从图中可以看出，整体上，大涧沟重点渗漏带第四系厚度约0~20m，第四系覆盖层整体较薄，下部为基岩界面，第四系覆盖层厚度地下水补给能力较强，经调查走访，物探解译成果与附近实际钻孔记录数据基本一致，进一步验证了物探解译的可靠性。

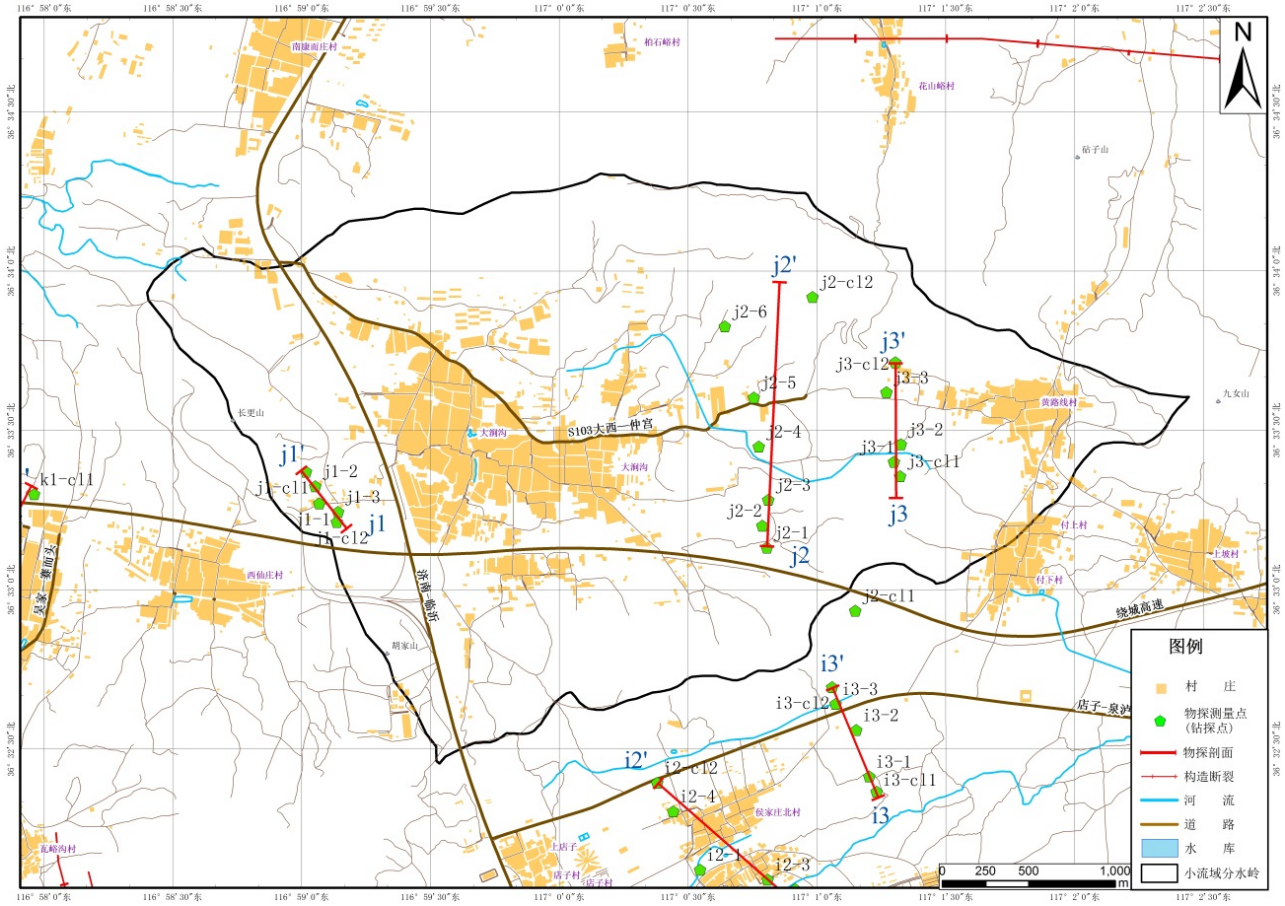
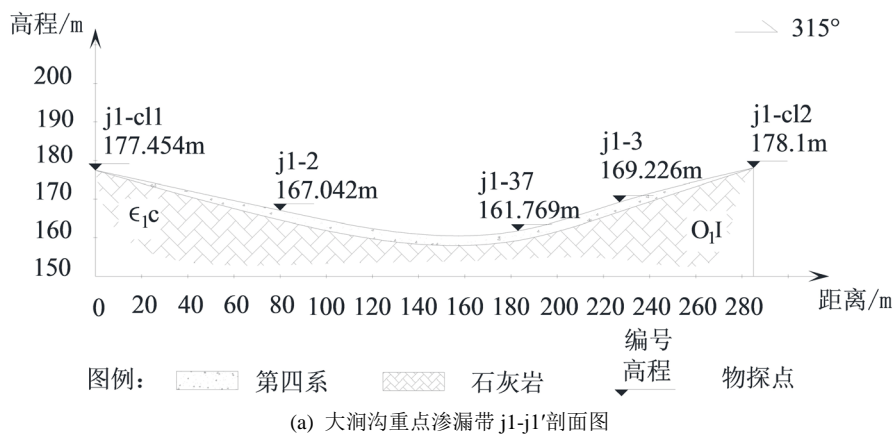
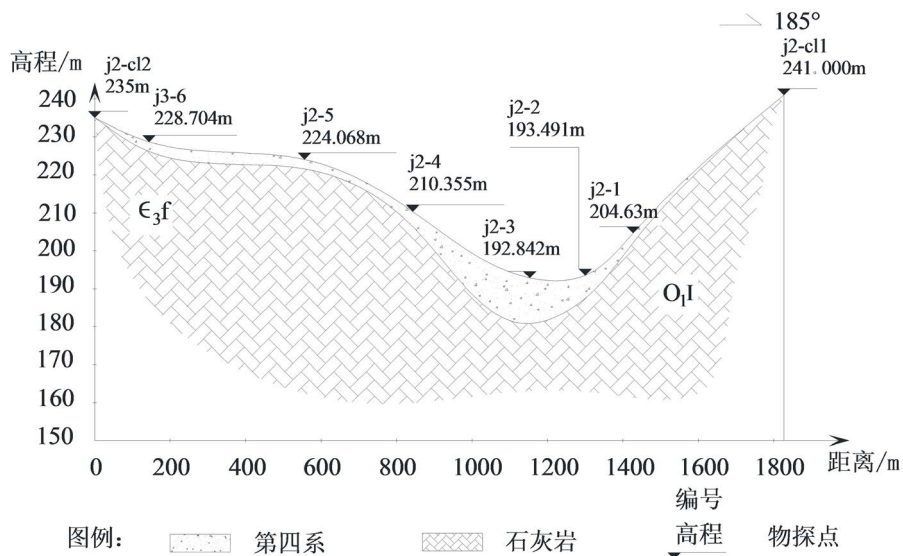
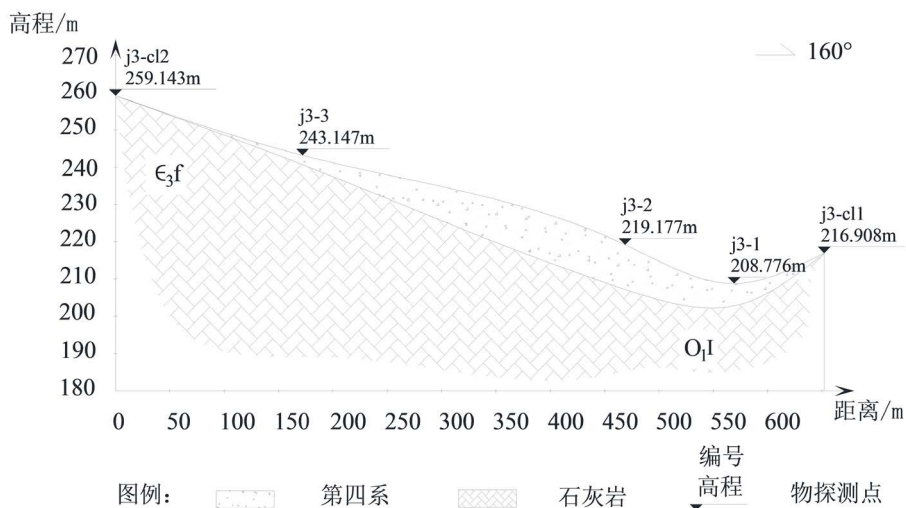


Figure 6. Quaternary thickness survey location map of key leakage zone in Da-jian-gou
图6. 大涧沟重点渗漏带第四系厚度调查位置图





(b) 大涧沟重点渗漏带 j2'-j2 剖面图



(c) 大涧沟重点渗漏带 j3'-j3 剖面图

Figure 7. Quaternary thickness section interpretation result diagram of key leakage zone in Da-jian-gou

图 7. 大涧沟重点渗漏带第四系厚度剖面解译成果图

j1'-j1 剖面位于重点渗漏带的西部，物探方向为西北向东南，横跨大涧沟的支流，两端基岩裸露，中间第四系覆盖层最大厚度为 2.5 m；j2'-j2 剖面位于重点渗漏带的中东部，物探方向为北向南，横跨大涧沟的干流，两端基岩裸露，中间第四系覆盖层最大厚度为 12 m；j3'-j3 剖面位于重点渗漏带的中东部，物探方向为北向南，横跨大涧沟的干流，两端基岩裸露，中间第四系覆盖层最大厚度为 12 m。

4.5. 地下水入渗补给量

大涧沟小流域现状建设用地面积为 3.49 km²，占流域面积的 30.0%；草地面积为 1.94 km²，占流域面积的 16.7%；耕地面积面积为 3.4 km²，占流域面积的 29.2%；林地面积为 2.47 km²，占流域面积的 21.2%；水体面积为 0.03 km²，占流域面积的 0.3%；未利用地面积 0.3 km²，占流域面积的 2.6%。建设用地是硬化地面，其他均为非硬化地面。因此该流域硬化面积 3.49 km²，非硬化面积 8.14 km²。根据式(1)~式(4)计算流域现状条件下不同

降水频率年地下水渗漏补给量和地表径流量，结果见表 1。

现状开发利用条件下多年平均地下水渗漏补给量为 192.37 万 m³/a，相比自然状态下减少 82.14 万 m³/a，减少量占自然条件下地下水渗漏补给量的 30%。经计算，每增加 1 km² 硬化面积地下水渗漏补给量减少 23.6 万 m³/a，地表径流量增加 25.2 万 m³/a，计算结果符合趵突泉泉近年来泉流量的变化趋势。可见，现状建设情况对地下水渗漏补给量有一定的影响[19] [20]，应及时采取有效的保护修复措施保证重点渗漏带内的渗漏量不再降低，

Table 1. The calculation results of current surface runoff and groundwater recharge in Da-jian-gou Watershed are presented
表 1. 大涧沟流域现状地表径流量和地下水补给量计算成果表

频率年	降水量(mm)	小流域面积(km ²)	建设用地面积(km ²)	现状地下水补给量(万 m ³ /a)	现状地表径流量(万 m ³ /a)
20%	822	11.63	3.48	256.85	352.73
50%	654.9	11.63	3.48	181.98	254.68
75%	541.3	11.63	3.48	134.72	192.25
90%	396.1	11.63	3.48	79.76	118.79
多年平均	678.9	11.63	3.48	192.37	268.34

5. 渗漏带保护修复措施

5.1. 功能分区

本文根据流域地形地貌、水文地质、植被、第四系覆盖层及渗漏补给等特征，将大涧沟重点渗漏带划分为四大功能区，分别为增渗促渗修复区、河道拦蓄调渗区、径流调节滞渗区和水源涵养区(图 8)。其中，增渗促渗修复区是指现状为建设用地或者规划为建设用地的区域；河道拦蓄调渗区主要是指重点渗漏带内的河道、沟谷、水库、洼地等区域，也是“地表-地下含水层连通”区域，是渗漏带内最为脆弱、敏感的区域；径流调节滞渗区主要是重点渗漏带保护区内具有一定的第四系覆盖层，现状下垫面以林地、草地、耕地、园林为主的区域；水源涵养区主要是重点渗漏带小流域范围内的缓冲区，即流域内坡度较大的山体，自身补给地下水的的能力较弱，是流域内重要的径流、汇水区域。

5.2. 保护修复措施

为保证重点渗漏带的渗漏量不减少，应根据不同的功能分区有针对性的提出相应的生态保护措施。其中，增渗促渗修复区如确需开发建设，须优先考虑生态保泉，通过雨水促渗工程等人工技术措施，增加下渗量，保证建设后入渗量不低于自然状态的入渗量，开发建设必须通过保泉影响专项设计，保证下渗量不降低；河道拦蓄调渗区应主要利用流域内的区间来水和外调水源，通过河湖工程实现生态补源的目的；径流调节滞渗区则以控制农业面源污染和水土保持为主；水源涵养区主要是以保护自然植被为主。

6. 结论

本文以大涧沟重点渗漏带为例，对趵突泉泉域沟谷型重点渗漏带的特征及保护修复措施进行了研究。得出的主要结论如下：

- 1) 大涧沟重点渗漏带地势整体上东高西低，南北两侧为山体，中间发育形成东西向的沟谷，地形起伏较大，最大高差 400 m 左右，为典型的沟谷型地貌，地下水流向整体上为自东南向西北径流。
- 2) 重点渗漏带整体上植被覆盖度较高，以中高植被、中植被、中低植被为主，第四系覆盖层整体较薄(厚度约 0~20 m)，下部为基岩界面，地下水补给能力较强。
- 3) 现状开发利用条件下多年平均地下水渗漏补给量为 192.37 万 m³/a，每增加 1 km² 硬化面积地下水渗漏补给量减少 23.6 万 m³/a，地表径流量增加 25.2 万 m³/a。

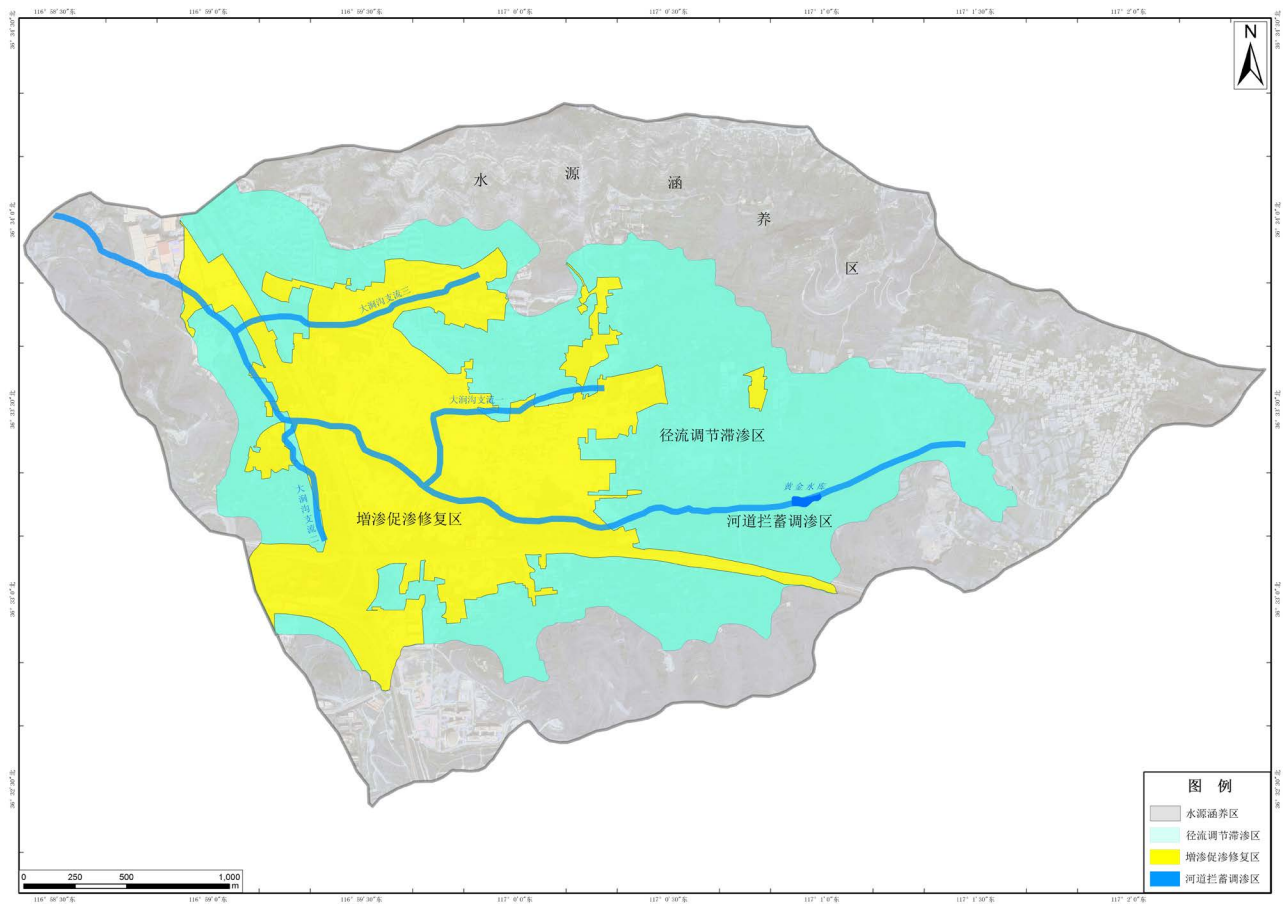


Figure 8. Functional zoning map of key leakage zone in Da-jian-gou
图 8. 大涧沟重点渗漏带功能分区图

4) 为保证重点渗漏带的渗漏量不减少, 本文将重点渗漏带分为增渗促渗修复区、河道拦蓄调渗区、径流调节滞渗区和水源涵养区等四大功能分区, 并有针对性地提出了相应的保护修复措施。

基金项目

国家重点研发计划(2016YFC0400905), 国家自然科学基金项目(41572242), 水利部技术示范项目(SF-201803)。

参考文献

- [1] 邢立亭, 周娟, 宋广增, 等. 济南四大泉群泉水补给来源混合比探讨[J]. 地学前缘, 2018, 25(3): 260-272.
 XING Liting, ZHOU Juan, SONG Guangzeng, *et al.* Discussion on the mixed ratio of spring recharge sources of the four spring groups in Jinan. *Geoscience Frontiers*, 2018, 25(3): 260-272. (in Chinese)
- [2] 张建芝, 邢立亭. 回归分析法在地下水动态分析中的应用[J]. 地下水, 2010(4): 88-90.
 ZHANG Jianzhi, XING Liting. Application of regression analysis in groundwater dynamic analysis. *Groundwater*, 2010(4): 88-90. (in Chinese)
- [3] 胡克祯, 张建芝, 邢立亭. 基于时间序列分析的地下水动态研究[J]. 水科学与工程, 2011(5): 32-34.
 HU Kezhen, ZHANG Jianzhi and XING Liting. Study on groundwater dynamics based on time series analysis. *Water Science and Engineering Technology*, 2011(5): 32-34. (in Chinese)
- [4] 侯新文, 邢立亭, 孙蓓蓓. 济南市岩溶水系统分级及市区与东西郊的水力联系[J]. 济南大学学报(自然科学版), 2014(28): 305.
 HOU Xinwen, XING Liting and SUN Beibei. Classification of karst water system in Jinan and hydraulic connection between urban area and eastern and western suburbs. *Journal of Jinan University (Natural Science Edition)*, 2014(28): 305. (in Chinese)

- [5] 黄春海, 李升云. 地下水开发研究[M]. 济南: 山东大学出版社, 1988.
HUANG Chunhai, LI Shengyun. Groundwater development research. Jinan: Shandong University Press, 1988. (in Chinese)
- [6] 荣倩. 玉符河强渗漏带黄河水回灌过程中含水层堵塞研究[D]: [硕士学位论文]. 济南: 济南大学, 2017.
RONG Qian. Study on aquifer plugging during water recharge of the Yellow River in Yufuhe Strong Seepage Zone. Master's Thesis, Jinan: Jinan University, 2017. (in Chinese)
- [7] 陈学群, 刘彩虹, 管清花, 田婵娟, 李成光, 辛光明. 趵突泉泉域洼地型强渗漏带特征及保护措施[J]. 人民黄河, 2020, 42(4): 60-64.
CHEN Xuequn, LIU Caihong, GUAN Qinghua, TIAN Chanjuan, LI Chengguang and XIN Guangming. Baotu spring region depression type strong leakage zone characteristics and protection measures. People's Yellow River, 2020, 42(4): 60-64. (in Chinese)
- [8] 管清花, 刘彩虹, 陈学群, 李福林, 辛光明. 济南泉域重点渗漏带植被覆盖空间异质性[J]. 东北林业大学学报, 2020, 48(9): 8-14.
GUAN Qinghua, LIU Caihong, CHEN Xuequn, LI Fulin and XIN Guangming. Spatial heterogeneity of vegetation cover in key seepage zones of Jinan Spring Basin. Journal of Northeast Forestry University, 2020, 48(9): 8-14. (in Chinese)
- [9] 刘彩虹, 陈学群, 田婵娟, 辛光明, 管清花, 李成光. 小岭村项目对济南泉域小岭强渗漏带的影响[J/OL]. 长江科学院院报. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/42.1171.TV.20191203.1645.004.html>
LIU Caihong, CHEN Xuequn, TIAN Qingjuan, XIN Guangming, GUAN Qinghua and LI Chengguang. Influences of Xiaoling Village Reconstruction Project on leakage zone in Baotu Spring area, Jinan. Journal of the Yangtze River Academy of Sciences. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/42.1171.TV.20191203.1645.004.html> (in Chinese)
- [10] 马良, 王晓军, 吴恩江, 等. 典型济南泉域强渗漏带的保护开发与评价[J]. 中国水土保持科学, 2018, 16(3): 103-111.
MA Liang, WANG Xiaojun, WU Enjiang, *et al.* Protection, development and evaluation of strong leakage zone in typical Jinan Spring Basin. Science of Soil and Water Conservation in China, 2018, 16(3): 103-111. (in Chinese)
- [11] 张曰良, 李福林, 陈学群, 等. 济南泉域重点强渗漏带调查与保护规划[R]. 济南: 济南市水利局, 山东省水利科学研究院, 2014.
ZHANG Yueliang, LI Fulin, CHEN Xuequn, *et al.* Investigation and protection planning of key strong leakage zone in Jinan Spring Region. Jinan: Jinan Water Resources Bureau, Shandong Institute of Water Resources Science, 2014. (in Chinese)
- [12] 孙蓓蓓. 济南岩溶水系统水资源调蓄潜力研究[D]: [硕士学位论文]. 济南: 济南大学, 2014.
SUN Beibei. Research on the potential of water resource regulation and storage in Jinan karst water system. Master's Thesis, Jinan: University of Jinan, 2014. (in Chinese)
- [13] 李福林, 陈学群, 管清花, 等. 济南市趵突泉泉域重点渗漏带保护区划分[R]. 济南: 济南市水利局, 山东省水利科学研究院, 2016.
LI Fulin, CHEN Xuequn, GUAN Qinghua, *et al.* Conservation division of key seepage zone in Baotu Spring Region, Jinan City. Jinan: Jinan Water Resources Bureau, Shandong Institute of Water Resources Science, 2016. (in Chinese)
- [14] 李道真. 山丘区三水转化及应用变参进行区域水资源计算方法研究(上) [J]. 资源与环境, 1989, 1(1): 44-49.
LI Daozhen. Research on regional water resource calculation method based on sanshui transformation and variable parameter application in Shanqiu Region (Part 1). Resources and Environment, 1989, 1(1): 44-49. (in Chinese)
- [15] 李道真. 山丘区三水转化及应用变参进行区域水资源计算方法研究(下) [J]. 资源与环境, 1990, 2(1): 36-44.
LI Daozhen. Research on regional water resource calculation method based on Sanshui transformation and variable parameter application in Shanqiu Region (Part II). Resources and environment, 1990, 2(1): 36-44. (in Chinese)
- [16] 李福林, 王玉太, 张保祥, 刁希全, 王维平. 石灰岩山区工程建设对水土流失的影响研究[J]. 水土保持通报, 2000, 20(5): 16-18.
LI Fulin, WANG Yutai, ZHANG Baoxiang, DIAO Xiquan and WANG Weiping. Research on the influence of limestone mountain engineering construction on soil and water loss. Water and Soil Conservation Bulletin, 2000, 20(5): 16-18. (in Chinese)
- [17] 孙立军. 济南市兴隆片区(石灰岩山丘区)开发中地下水保护与修复研究[D]: [硕士学位论文]. 泰安: 山东农业大学, 2015.
SUN Lijun. Research on the protection and restoration of groundwater in the development of Xinglong Block (Limestone Hill Area), Jinan City. Master's Thesis, Taian: Shandong Agricultural University, 2015. (in Chinese)
- [18] 万利勤. 济南泉域岩溶地下水的示踪研究[D]: [博士学位论文]. 北京: 中国地质大学, 2008.
WAN Liqin. Tracer study of Karst groundwater in Jinan Spring Basin. Ph.D. Thesis, Beijing: China University of Geosciences, 2008. (in Chinese)
- [19] 徐军祥. 济南岩溶水系统研究[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2012.
XU Junxiang. Research on Jinan karst water system. Beijing: Metallurgical Industry Press, 2012. (in Chinese)
- [20] 毛晓平. 影响济南市区名泉停涌的主要因素分析[J]. 山东气象, 2002, 22(2): 6-8.
MAO Xiaoping. Analysis of the main factors influencing the stopping of famous springs in Jinan City. Shandong Meteorological, 2002, 22(2): 6-8. (in Chinese)