

鲁中南基岩地区水文地质特征及 地下水环境地质问题分析

颜翠翠¹, 谭志容^{*1}, 朱恒华^{2,3}, 王炜龙¹

(1. 山东省地勘局第二水文地质工程地质大队(山东省鲁北地质工程勘察院), 山东 德州 253072;
2. 山东省地质调查院, 山东 济南 250013; 3. 中国地质大学(武汉)环境学院, 湖北 武汉 430074)

摘要:基于在鲁中南低山丘陵基岩地区开展的1:5万水文地质调查工作,通过水文地质调查、水文地质钻探、地球物理勘探、抽水试验、水质分析等技术方法,分析该区水文地质特征。研究表明:区内地下水类型划分为松散岩类孔隙水、碎屑岩类孔隙裂隙水、碳酸盐岩类裂隙岩溶水以及基岩裂隙水4类,并总结了其含水岩组富水性;分析了地下水补给、径流、排泄条件及其演化以及环境水文地质问题。圈定了有集中供水意义的第四系孔隙水富水地段3处,总结了地层阻水型蓄水构造和断层储水构造2种基岩蓄水构造类型。区内地下水质量以Ⅲ类、Ⅳ类和Ⅴ类为主,超过Ⅲ类水标准的组分主要是硝酸盐、总硬度、铁,其次为氟化物等。利用总结的区内找水模型,共施工具有供水意义的水文地质钻孔10眼,总涌水量7017.84 m³/d,可解决近10万人生活和5900多亩农田灌溉用水问题。对于寻找新的供水目标含水层及找水定井工作具有指导意义。

关键词:水文地质;地下水;孔隙水;裂隙水;岩溶水;基岩裂隙水;环境地质问题;供水井;涌水量

中图分类号:P641:X143 **文献标识码:**A **文章编号:**2096-9686(2021)03-0152-09

Analysis of hydrogeological characteristics and groundwater environmental geological problems in the bedrock area in central and southern Shandong province

YAN Cuicui¹, TAN Zhirong^{*1}, ZHU Henghua^{2,3}, WANG Weilong¹

(1. Shandong Geological Survey No.2 Hydrogeology and Engineering Geology Group (Shandong Lubei
Geological Engineering Investigation Institute), Dezhou Shandong 253072, China;

2. Shandong Geological Survey Institute, Jinan Shandong 250013, China;

3. College of Environment, China University of Geosciences, Wuhan Hubei, 430074, China)

Abstract: Based on the 1:50000 scale hydrogeological survey carried out in the bedrock area of the low mountains and hills in the central and southern part of Shandong province, the hydrogeological characteristics are analyzed by means of hydrogeological survey, hydrogeological drilling, geophysical exploration, pumping test, water quality analysis and other technical methods. The results show that the groundwater types in the area can be divided into four types: loose rock pore water, clastic rock pore fissure water, carbonate rock fissure karst water and bedrock fissure water. The groundwater recharge, runoff, discharge conditions and their evolution as well as environmental hydrogeology are also analyzed. Three quaternary pore water rich zones with the capacity of centralized water supply are delineated, and two types of bedrock water storage structures: the stratigraphic water-retaining structure and the fault water-storage

收稿日期:2021-02-19 DOI:10.12143/j.ztgc.2021.03.022

基金项目:山东省省直地质勘查项目“山东省1:5万莒县幅、大店幅区域水文地质调查”(编号:鲁勘字(2016)63号)

作者简介:颜翠翠,女,汉族,1989年生,工程师,地质工程专业,硕士,主要从事水工环地质方面工作,山东省德州市大学东路1499号,1422364257@qq.com。

通信作者:谭志容,女,汉族,1975年生,研究员,水文地质工程地质专业,主要从事水工环地质方面工作,tanzhirong@163.com。

引用格式:颜翠翠,谭志容,朱恒华,等.鲁中南基岩地区水文地质特征及地下水环境地质问题分析[J].钻探工程,2021,48(3):152-160.

YAN Cuicui, TAN Zhirong, ZHU Henghua, et al. Analysis of hydrogeological characteristics and groundwater environmental geological problems in the bedrock area in central and southern Shandong province[J]. Drilling Engineering, 2021,48(3):152-160.

structure, are summarized. Groundwater quality is dominated with Class Ⅲ, Ⅳ and Ⅴ, and the components higher than the Class Ⅲ standard include mainly nitrate, total hardness, iron, followed by fluoride, etc. With the water prospecting model developed for the area, a total of 10 hydrogeological boreholes with water supply capacity were constructed, with a total water yield of 7017.84 m³/d, which can meet portable water supply for nearly 100,000 people and irrigation for more than 5900 mu farmland. The results can be used as guide for exploring new target aquifers for water supply and to locating water wells.

Key words: hydrogeology; groundwater; pore water; fissure water; karst water; bedrock fissure water; environmental geology; supply well; water yield

0 引言

众所周知,2011年山东省及周边省份遭遇到60年不遇的自然干旱天气,导致鲁南低山丘陵区地表水源干涸,农作物灌溉和人畜饮水困难,缺水状况十分严峻。为实现水文地质工作从应对式向主动式转变,迫切需要查明区内地下水资源分布状况并制定地下水可持续利用对策。自2012年开始,山东省自然资源厅陆续启动了1:5万标准分幅区域水文地质调查项目,旨在提高我省水文地质研究程度,服务当地生态文明建设和经济社会发展^[1-7]。基于此,本次通过实施的水文地质钻孔及机民井调查资料发现,实施的钻孔单井涌水量达到了1000~4000 m³/d,有效解决了当地用水难题,为下一步在鲁中南基岩地区寻找新的目标含水层、找水定井工作提供技术指导。取得了一系列水文地质调查评价成果。

1 研究区概况

1.1 自然地理条件

莒县基岩地区地处鲁东南低山丘陵区,位于日照市西部,处于“一带一路”重要节点和山东半岛蓝色经济区、鲁南经济带重要交汇点上。沭河自北向南纵贯全县。莒县沭河下游地区是莒县工农业聚集地,莒县“三大工业园区”和“十大企业集团”均位于区内。是国家“智慧城市”、省级海绵城市、省级地下管廊建设试点、省级绿色示范区,国家现代农业示范区^[8-12]。

1.2 气象和水文

研究区属暖温带季风气候区,四季变化分明,多年(1956—2020年)平均气温为12.1~12.5℃,1992—2020年多年平均降水量800.17 mm,平均蒸发量1018.40 mm^[13-16]。区内沿河流建设的大小水库众多,依托沭河和峽山水库以及上游的青峰岭、

小仕阳水库,此外还建有“沭水东调”大型调水工程。它们积蓄了大量的地表水,可用于农业灌溉,对河流的汛期调节起到很大的作用,而且还是城市工业及生活用水的主要水源地。

1.3 地层岩性

研究区隶属于华北地层大区,位于鲁西地层分区和鲁东地层分区交界位置,沂沭断裂带之间。地层发育较齐全,出露地层主要有第四系,厚度778 m。西部边界区段主要出露白垩纪王氏群红土崖组,东部依次为白垩系青山群八亩地组和大盛群地层以及中生代正长斑岩、元古代辉长岩和二长花岗岩等^[17-23]。

2 研究区水文地质条件

2.1 地下水类型和富水性划分

根据地下水的赋存条件,岩石的水理性质及其地下水的水力特征,将研究区地下水划分为松散岩类孔隙水、碎屑岩类孔隙裂隙水、碳酸盐岩类裂隙岩溶水和基岩裂隙水^[24-28]4种类型。

(1)松散岩类孔隙水含水层:主要分布在沿河两岸及山谷地带第四系地层分布区,圈定了姚家村—魏家村—东陈家村、岔河—董家城子—王家墩头、西湖村—借庄3处有集中供水意义的富水地段(图1)。依据区内水文地质条件,结合抽水试验取得的单井涌水量,按平均布井法计算,区内松散岩类孔隙水地下水富水地段地下水可开采资源量为2395.50万m³/a。其中姚家村—魏家村—东陈家村富水地段可开采资源量1033.58万m³/a,岔河—董家城子—王家墩头富水地段可开采资源量1137.94万m³/a,西湖村—借庄富水地段可开采资源量223.98万m³/a。

(2)碎屑岩类孔隙裂隙水、碳酸盐岩类裂隙岩溶水和基岩裂隙水含水层:分布极不均匀,发育主

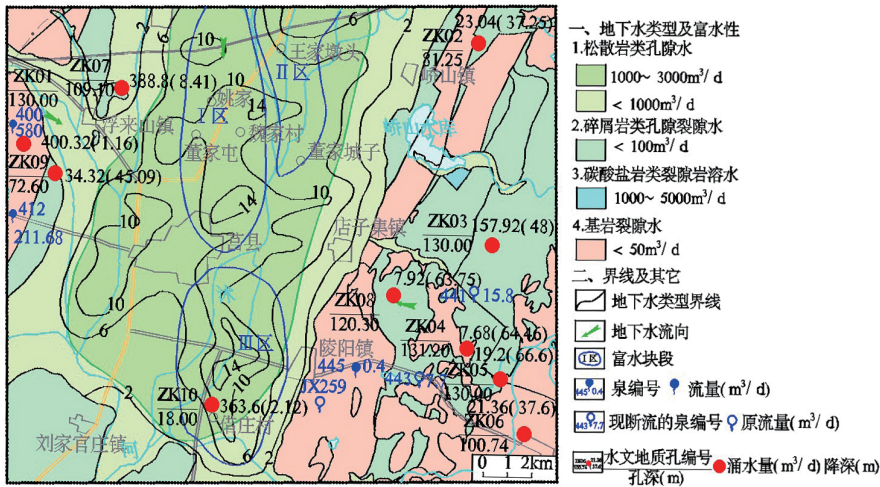


图1 松散岩类孔隙水富水地段分布图

Fig.1 Distribution map of the pore water rich zones in loose rocks

要受地质构造控制的影响。通过总结地层阻水型蓄水构造和断层储水型构造2种基岩蓄水构造富水模型,在勘查过程中,对照精准扶贫的要求和振兴乡村战略部署,采用“探采结合”的方式,施工具有供水意义的水文地质钻孔10眼,单井涌水量126.24~3744.00 m³/d(表1)。解决了缺水地区生活饮水和灌溉问题,取得了良好的社会效益。改善了鲁中南低山丘陵缺水山区人民生活质量,提高水文了地质调查程度和研究水平,提升水文地质工作服务民生、服务发展、服务生态文明建设的能力。

表1 水文地质钻孔基本情况

Table 1 Basic information of hydrogeological boreholes

钻孔 编号	钻孔位置	钻探 深度/m	成井 深度/m	开/终孔 直径/mm	出水量/ (m ³ ·d ⁻¹)	取水段 岩性	钻机型号
ZK01	浮来山镇大薛庄	130	130	305/220	400.32	灰岩	XY-200
ZK02	峽山镇王家崗山村	81.25	80	305/220	23.04	二长花岗岩	XY-180
ZK03	龙山镇小北山村	130	129	305/220	157.92	正长斑岩	XY-180
ZK04	龙山镇南房村	131.2	130	305/220	7.68	长石砂岩	XY-130
ZK05	龙山镇前寨村	130	130	305/220	19.20	正长斑岩	XY-130
ZK06	龙山镇段家河村	100.74	100	305/220	21.36	角砾状粗安岩	XY-150
ZK07	闫庄镇许家庄	109.1	109.1	305/220	75.12	粉砂质泥岩	HZ200YY
ZK08	店子集镇纪家石河	120.3	120	305/220	7.92	长石砂岩	XY-150
ZK09	浮来山镇卢家屯	72.6	72.6	305/220	34.32	砂岩	XY-180
ZK10	陵阳镇借庄	18	18	305/220	363.60	中粗砂	XY-200

①区内大盛群田家楼组砂岩、砾岩裂隙相对发育,富水性好,单井涌水量多大于50 m³/d。在有较大集水面积内的缓平坡地,岩脉穿插、构造破碎较强烈的地带^[29],单井涌水量>100 m³/d,最大达300多m³/d。

如闫庄镇许家庄ZK07孔(图2),孔深109.10 m,钻遇地层以田家楼组一段紫红色粉砂岩、泥岩、灰绿色砾岩为主,风化壳厚度0.5 m,41.70~42.20 m、55.80~58.40 m见水蚀迹象。水位埋深3.1 m,降深8.41 m时,单井涌水量388.8 m³/d。据抽水试验

结果推算,降深15 m时,该井涌水量 $637.69 \text{ m}^3/\text{d}$ 。可解决近8000人的生活用水需求。

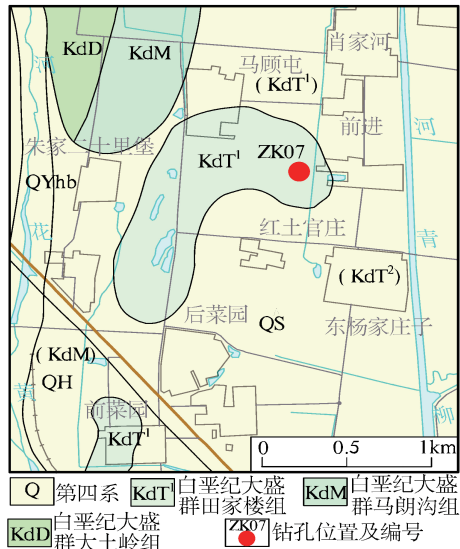


图2 许家庄 ZK07 孔地质图

Fig.2 Geology at ZK07 hole in Xujiashuang

②区内碳酸盐岩裂隙岩溶水主要赋存在奥陶系马家沟群五阳山组、北庵庄组灰岩中,灰岩裂隙溶洞发育,地下水富水性强,单井涌水量 $>1000 \text{ m}^3/\text{d}$ 。在区内出露有任家庄泉(图3)和大薛庄泉(图4),2017年3月测得任家庄泉流量为211.68、169.3、49.1 m^3/d ,大薛庄泉流量 $580 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

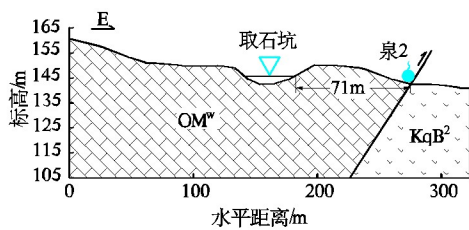


图3 任家庄泉剖面图

Fig.3 Section view of Renjia Zhuang Spring

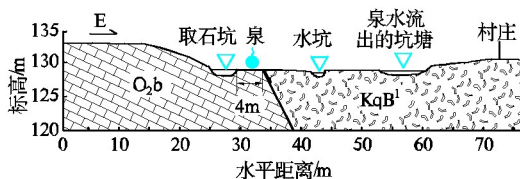


图4 大薛庄泉剖面图

Fig.4 Section view of Dasherzhuang Spring

大薛庄泉东北35 m处的ZK01孔(图5、图6),孔深130.0 m,0~5.7 m为青山群八亩地组一段紫红色安山质角砾岩,风化壳厚度1 m;5.7~130.0 m为北庵庄组浅灰色、灰白色厚层灰岩;24.0~27.0 m、59.1~61.9 m裂隙溶孔发育、有水蚀现象,钻探过程中有漏水现象。水位埋深5.4 m,降深1.16 m时,单井涌水量 $400.32 \text{ m}^3/\text{d}$ 。推算降深15 m时单井涌水量 $3744 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

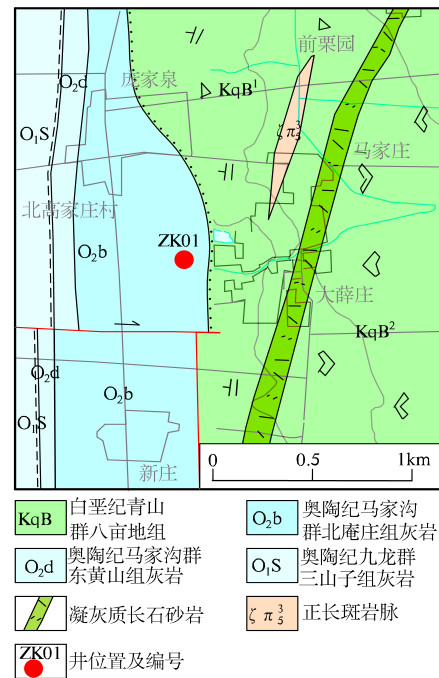


图5 大薛庄 ZK01 孔地质图

Fig.5 Geology at Hole ZK01 in Daxuezhuang

③基岩裂隙水赋存在中生代、元古代侵入岩和青山群喷出岩的风化裂隙和构造裂隙中。块状岩类裂隙水由于岩石致密坚硬,抗风化剥蚀力较强,岩石完整性好,裂隙不发育,风化带发育深度较小,富水性弱,单井涌水量一般小于 $50 \text{ m}^3/\text{d}$ 。在岩脉穿插、构造破碎带及地层岩性接触带上,部分井孔的单井涌水量可大于 $100 \text{ m}^3/\text{d}$ (图7)。

长岭镇葛家横沟 ZK02 孔,孔深130.0 m,风化壳厚度2 m,0~25.9 m为中生代燕山期沂南超单元九莲花山单元黄褐色正长斑岩,25.9~130.0 m为灰绿色辉绿岩与小店超单元下官庄单元肉红色中粗粒角闪云母石英二长岩互层。24.70~25.90、30.60~35.90、46.60~47.10、48.60~49.10、66.10~67.30、75.40~76.80、94.50~99.40、120.00~122.50

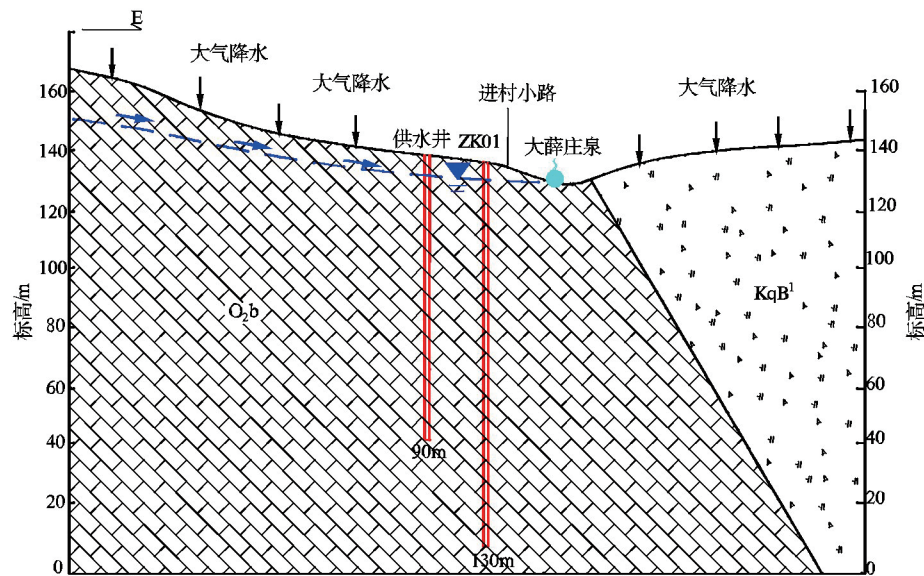


图6 大薛庄地层阻水蓄水构造模型示意

Fig. 6 Schematic diagram of the stratigraphic water-retaining structure model in Daxuezhuang

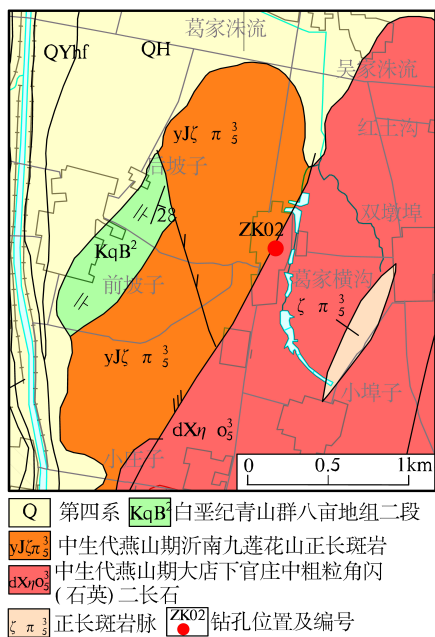


图7 葛家横沟 ZK02 孔地质图

Fig.7 Geology at ZK02 hole in Gejia Henggou

m 处见水蚀痕迹。水位埋深 4.4 m, 降深 4.0 m 时, 单井涌水量 175.44 m³/d。据抽水试验结果推算, 降深 15 m 时, 该井涌水量 561.1 m³/d。可解决 7000 多人的生活用水需求。

2.2 地下水补给、径流、排泄条件

研究区内多年平均降水量呈下降趋势, 1956—

1990 年多年平均降水量 810 mm, 2006—2010 年多年平均降水量 786.72 mm, 2017 年年降水量 656.1 mm。另外, 2012 年 5 月盆地内地下水位埋深多在 2~5 m, 到 2017 年 6 月区内水位埋深多在 4~8 m。因此区内大气降水入渗补给与 20 世纪 80 年代相比略有减小。

2014 年“沭水东调”工程兴建以来, 青峰岭水库、小仕阳水库、峤山水库不再向灌区放水灌溉, 与以前相比区内农业灌溉量大幅减小, 灌溉回渗补给量也相应减小。

2.3 地下水开采现状

区内地下水主要用于农业灌溉, 开采量 760.8505 万 m³/a, 占总开采量的 63.1%。工业用水开采量 373.7164 万 m³/a, 占总开采量的 30.99%。农村生活用水开采量 37.687 万 m³/a, 占总开采量的 3.12%。城镇生活用水开采量 33.592 万 m³/a, 占总开采量的 2.79%(图 8)。开采井多分布在莒县盆地和沿河谷地, 井深多小于 40 m, 少数井深在 50~130 m, 开采层位以松散岩类孔隙水为主。区内现已建成 7 处较大的地下水水源联村集中供水工程, 覆盖人口约 14 万人, 另有村级的小型集中供水工程多处。目前区内仍有 1/3 的人口饮用水为分散式供水。

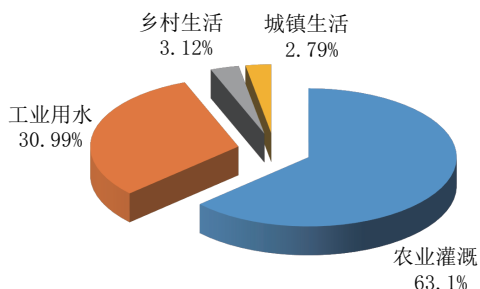


图 8 区内地下水开发利用饼状图

Fig.8 Pie chart of groundwater exploitation and utilization

3 地下水环境地质问题

地下水环境地质问题根据其形成原因可分为原生环境地质问题与次生环境地质问题。区内原生环境地质问题为局部地区地下水中部分离子含量超过了生活饮用水卫生标准限值,形成劣质水问题。次生环境地质问题主要为人类活动造成地下水中有毒有害物质含量的升高,产生了地下水污染问题。此外,地下水大量开采造成地下水水位的降低,导致了泉眼断流。

3.1 地下水污染

区内地下水质量以Ⅲ类、Ⅳ类和Ⅴ类为主,其中Ⅲ类水占全区面积的 49.88%。超过Ⅲ类水标准的组分主要是硝酸盐、总硬度、铁,其次为氟化物等。

3.1.1 评价方法

根据《区域地下水污染调查评价规范》(DZ/T0288—2015)推荐的变化指数地下水污染评价方

法,计算公式为:

$$I=\frac{C}{C_0} \tag{1}$$

式中: I ——硝酸盐的变化指数; C ——地下水中硝酸盐实测含量(以 N 计,mg/L); C_0 ——区内地下水中硝酸盐的背景含量(以 N 计,mg/L)。

3.1.2 硝酸盐背景含量确定

由区内各监测点多年水质检测结果可知,地下水中硝酸盐含量年际呈锯齿状突变,地下水中硝酸盐含量不稳定。在没有人类活动影响的天然条件下,地下水中的硝酸盐含量极低。根据各监测点硝酸盐含量的动态变化特征,结合饮用水中硝酸盐含量对人体健康的影响,如我国的《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)中规定硝酸盐(以 N 计)限值为 10 mg/L。世界现行饮用水水质标准中,WHO 与欧盟为 NO_3^- 含量 50 mg/L(以 N 计为 11.29 mg/L),美国为硝酸盐含量(以 N 计为 10 mg/L)。本次进行地下水中硝酸盐污染评价时,选取 10 mg/L 作为背景含量。

3.1.3 评价结果及污染分级

采用式(1)计算各水样点硝酸盐的变化指数,并以硝酸盐的变化指数 $I<1$ 、 $1\sim2$ 、 $2\sim3$ 、 >3 将地下水硝酸盐污染划分为未污染、轻度污染、中度污染与重度污染 4 级(表 2、图 9)。

3.2 泉水枯竭

区内出露的大小泉点众多,均分布在河流沟谷、水库边。莒县幅调查到泉点 17 处,大店幅调查到泉点 9 处。对照 20 世纪 80 年代完成的 1:20 万水

表 2 泉历史流量和现流量对照

Table 2 Comparison of spring flow

编号	泉 名	位 置	含水层岩性	历史流量(1989 年)/($\text{m}^3\cdot\text{d}^{-1}$)	现流量/($\text{m}^3\cdot\text{d}^{-1}$)
JX096	大薛庄泉	浮来山镇大薛庄村	灰岩	1257.9	580
JX128	任家庄泉	浮来山镇任家庄村	灰岩	310.5	211.68
JX253	东上庄泉	陵阳镇东上庄村南	角砾岩	8.4	0.4
JX243	扭沟泉	寨里河镇扭沟村北	正长斑岩	7.7	0
JX223	小糖坊泉	店子集镇小糖坊村	砂岩	15.8	0
596	朱家官庄泉	中楼镇朱家官庄东	砂岩	2.3	0
DD183	库山子泉	中楼镇库山子村西	石英正长岩	18.8	3.456
604	彭家峪泉	彭家峪北	正长斑岩	85.8	5.6
DD228	房家官庄泉	中楼镇房家官庄	石英正长岩	14.5	0
600	姚家埠	前姚家埠南	二长花岗岩	11.9	1.5

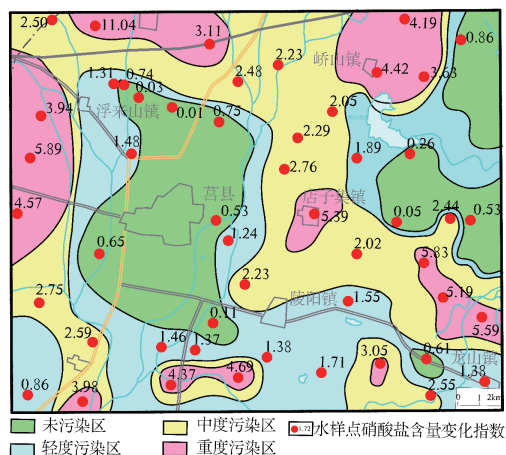


图9 地下水硝酸盐污染程度评价图

Fig.9 Evaluation map of groundwater nitrate pollution severity

文地质调查图中的泉点发现,由于区内多年平均降

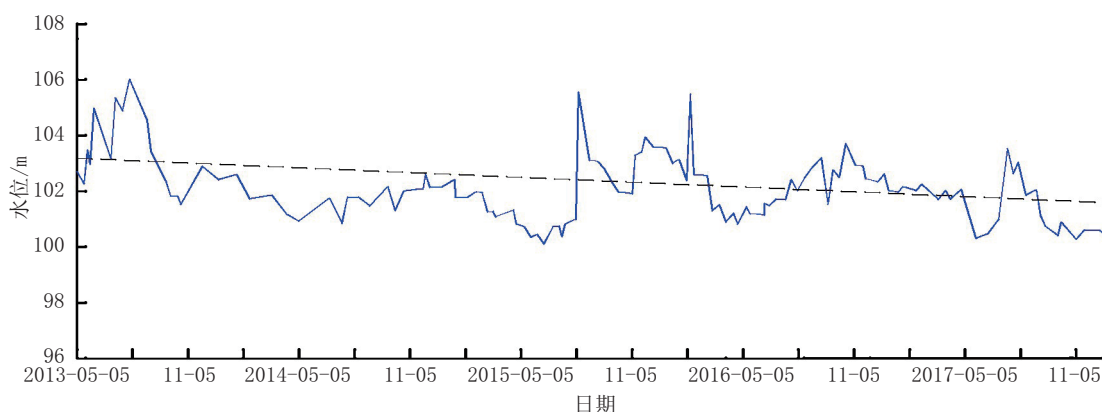


图10 莒县陵阳镇岳家庄科村监测孔水位动态

Fig.10 Monitoring hole water level dynamics at Yuejiazhuangke village, Lingyang town of Lu county

业;在农业蔬菜种植区及果树种植区,控制农药的不合理使用和化肥的大量使用。

(2)加强地下水监测工作,进一步建立健全地下水动态监测体系,对水位水质进行全面监测,及时了解地下水动态变化情况。

(3)加强地下水水质和污染调查评价。为了合理开发利用和保护宝贵的地下水资源,保障供水安全,建议开展地下水水质和污染专项调查。

(4)加强提高地热水的回灌效率,从而节约水资源;对回扬水进行蓄水收集,沉淀处理后继续回灌,控制水位下降,降低对地质环境的影响。

水量呈下降趋势,泉水补给量减小,再加上泉点周边机民井的建造,降低了泉点附近的地下水水位,造成区内泉水流量减小直至断流(表2、图1)。

3.3 水位下降

现状条件下,由于人工开采和工程活动的影响,孔隙水地下水位整体上呈下降趋势(图10),特别是在莒县县城北的董家屯、牛家村—沈家村—丰家村、七里墩子以及沐河东的董家城子、王家坪一带,水位降幅0.28~1.60 m/a,改变了地下水的局部流向。

4 地下水资源利用与保护建议

(1)加强地下水水质保护工作,大力实施农村卫生综合治理,对生活垃圾和污水集中堆放、收集和處理;严格控制发展大规模畜类、禽类的养殖

参考文献(References):

- [1] LI Peiyue, WU Jianhua, QIAN Hui. Hydrochemical appraisal of ground-water quality for drinking and irrigation purposes and the major influencing factors: A case study in and around Hua county, China [J]. Arabian Journal of Geosciences, 2016, 9(1):15.
- [2] SU Xiaosi, XU Wei, DU Shanghai. In situ infiltration test using a reclaimed abandoned river bed: Managed allnflr recharge in Shijiazhuang city, China [J]. Environmental Earth Sciences, 2014, 71 (12):5017-5025.
- [3] 徐军祥,康风新,张中祥,等.山东省重大水文地质问题——理论技术创新与应用[M].济南:山东科学技术出版社,2014:198

- XU Junxiang, KANG Fengxin, ZHANG Zhongxiang, et al. Major hydrogeology problems in Shandong province: Theoretical and technological innovation and application [M]. Jinan: Shandong Science and Technology Press, 2014:198.
- [4] 王大纯, 张人权, 史毅虹, 等. 水文地质学基础[M]. 北京: 地质出版社, 1986.
- WANG Dachun, ZHANG Renquan, SHI Yihong, et al. Fundamentals of hydrogeology [M]. Beijing: Geology Publishing Press, 1986.
- [5] 杨鹏, 袁杰, 秦鹏. 日照市地下水动态特征及演化规律[J]. 地质学报, 2019, 93(S1): 100-110.
- YANG Peng, YUAN Jie, QIN Peng. Dynamic characteristics and evolution of groundwater in Rizhao [J]. Acta Geologica Sinica, 2019, 93(S1): 100-110.
- [6] 卢予北, 李艺, 陈莹, 等. 国家地下水监测井建设关键技术研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2016, 43(6): 1-6.
- LU Yubei, LI Yi, CHEN Ying, et al. Geological environment and prospecting fields of hot dry rocks in Henan province [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2016, 43(6): 1-6.
- [7] 高宗军, 张洪英, 孙梦醒, 等. 山东省日照沿海浅层地下水化学特征与成因探讨[J]. 地下水, 2017, 39(4): 1-4.
- GAO Zongjun, ZHANG Hongying, SUN Mengxing, et al. Chemical characteristics and genesis of shallow coastal groundwater in Rizhao, Shandong province [J]. Groundwater, 2017, 39(4): 1-4.
- [8] 刘春华, 杨丽芝. 山东地下水资源合理开发的研究[J]. 西部探矿工程, 2005, 27(12): 274-275.
- LIU Chunhua, YANG Lizhi. Research on rational exploitation of groundwater resources in Shandong province [J]. West-China Exploration Engineering, 2005, 27(12): 274-275.
- [9] 吴跃钢, 徐菁. 无固相弱凝胶钻井液在水井施工中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2016, 43(10): 261-264.
- WU Yuegang, XU Qing. Application of solid-free weak gel drilling fluid in water well construction [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2016, 43(10): 261-264.
- [10] 郑继天, 李小杰, 关晓琳. 水文地质钻探冲洗液的选用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2016, 43(10): 242-244.
- ZHENG Jitian, LI Xiaojie, GUAN Xiaolin. Selection of drilling fluid for hydro-geological drilling [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2016, 43(10): 242-244.
- [11] 马震, 段永侯. 山东鲁北平原地下水资源与可持续利用[J]. 水文地质工程地质, 2005, 32(2): 1-10.
- MA Zhen, DUAN Yonghou. Sustainable utilization of groundwater resource in the Lubei plain of Shandong province [J]. Hydrogeology and Engineering Geology, 2005, 32(2): 1-10.
- [12] 卫政润, 张涛, 韩晔. 昌邑市地下水开发及其环境地质效应研究[J]. 山东国土资源, 2007, 23(5): 11-14.
- WEI Zhengrun, ZHANG Tao, HAN Hua. Research on groundwater development and its environmental geological effect in Changyi city [J]. Shandong Land and Resources, 2007, 23(5): 11-14.
- [13] 奚德荫. 鲁中南地区岩溶水文地质条件及其特征[J]. 中国岩溶, 1988, 7(3): 43-48.
- XI Deyin. Karst hydrogeological conditions and characteristics in the central-southern Shandong province [J]. Charsologica Sinica, 1988, 7(3): 43-48.
- [14] 姜福红, 刘文. 沂蒙缺水地区碳酸盐岩地下水富水性研究[J]. 山东国土资源, 2017, 33(7): 61-65.
- JIANG Fuhong, LIU Wen. Study on the underground water abundance of carbonate rocks in Yimeng water shortage area [J]. Shandong Land and Resources, 2017, 33(7): 61-65.
- [15] 梁永平, 王维泰. 中国北方岩溶水系统划分与系统特征[J]. 地球学报, 2010, 31(6): 860-868.
- LIANG Yongping, WANG Weitai. The division and characteristics of karst water systems in northern China [J]. Acta Scientia Sinica, 2010, 31(6): 860-868.
- [16] 汪云, 杨海博, 郑梦琪, 等. 泰莱盆地地下水蓄水构造特征及勘查定井研究[J]. 水利水电技术, 2019, 50(3): 52-65.
- WANG Yun, YANG Haibo, ZHENG Mengqi, et al. Study on characteristics of groundwater storage structures and well exploring and locating within Tailai Basin [J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2019, 50(3): 52-65.
- [19] 李云, 姜月华, 叶念军, 等. 基岩山区找水与蓄水条件分析——以单斜和接触型蓄水构造为例[J]. 地下水, 2015, 37(1): 106-108.
- LI Yun, JIANG Yuehua, YE Nianjun, et al. Water-storing conditions analysis and water prospecting in bedrock mountainous area-taking monoclinic and contact tape water-storing structure as examples [J]. Ground Water, 2015, 37(1): 106-108.
- [18] 李霞, 陈文芳, 万利勤, 等. EH4和对称四极激发极化联合技术的严重缺水基岩山区找水研究[J]. 水文地质工程地质, 2018, 45(1): 23-29.
- LI Xia, CHEN Wenfang, WAN Liqin, et al. Groundwater location in bedrock mountains with serious water scarcity using a combination of EH4 and symmetric quadrupole induced polarization [J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2018, 45(1): 23-29.
- [19] Swift D J P. Coastal erosion and transgressive stratigraphy [J]. The Journal of Geology, 1968(76): 444-456.
- [20] 刘新号. 基于蓄水构造类型的山区综合找水技术[J]. 水文地质工程地质, 2011, 38(6): 8-12.
- LIU Xinhao. Integrated techniques of locating groundwater in mountain areas based on groundwater-impounding types [J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2011, 38(6): 8-12.
- [21] 孙逊, 王克红, 孙启堂, 等. 鲁中南山区岩溶裂隙水富水带类型及分布特征[J]. 工程勘察, 2010, 38(2): 52-56.
- SUN Xun, WANG Kehong, SUN Qitang, et al. Types and

- distribution of Karst fissure water in central and southern Shandong province [J]. *Geotechnical Investigation & Surveying*, 2010, 38(2):52-56.
- [22] 武选民,文冬光,张福存,等.我国西北人畜饮用缺水地区储水构造特征与工程范例[J].*水文地质工程地质*,2010,37(1):22-26.
- WU Xuanmin, WEN Dongguang, ZHANG Fucun, et al. Groundwater-bearing structures in Northwestern China and their application to water-taking works for water-shortage towns [J]. *Hydrogeology & Engineering Geology*, 2010, 37(1):22-26.
- [23] 王志才,石荣会,晃洪太,等.鲁中南隆起区第四纪晚期断裂活动特征[J].*海洋地质与第四纪地质*,2001,21(4):95-102.
- WANG Zhicai, SHI Ronghui, HUANG Hongtai, et al. Characteristics of the Quaternary fault activities in the middle and south region of Shandong province [J]. *Marine Geology and Quaternary Geology*, 2001, 21(4):95-102.
- [24] 徐军祥,康凤新.山东省地下水资源可持续开发利用研究[M].北京:海洋出版社,2001.
- XU Junxiang, KANG Fengxin. Research on sustainable development and utilization of groundwater resources in Shandong province[M]. Beijing: China Ocean Press, 2001.
- [25] 徐建国,卫政润,张涛,等.环渤海山东地区浅层地下水资源潜力分析及利用对策[J].*地质调查与研究*,2004,27(3):203-207.
- XU Jianguo, WEI Zhengrun, ZHANG Tao, et al. The groundwater potential analysis and sustainable utilization in the Shandong sector of the circum-bohai-sea region[J]. *Geological Survey and Research*, 2004, 27(3):203-207.
- [26] 马龙,冯超臣.菏泽黄泛平原地区浅层地下水资源可持续开发利用潜力分析[J].*山东国土资源*,2014,30(2):43-46.
- MA Long, FENG Chaochen. Analysis on sustainable utilization and exploitation potentiality of shallow groundwater resources in Heze Yellow River Flood Plain areas[J]. *Shandong Land and Resources*, 2014, 30(2):43-46.
- [27] 山东省第一地质矿产勘查院.山东省1:5万大汉口、楼德幅区域地质调查报告[R].济南:山东省第一地质矿产勘查院,2017.
- Regional geological survey report of 1:50000 Dahankou and Loude area in Shandong province[R]. Jinan: The First Geological and Mineral Exploration Institute of Shandong Province, 2017.
- [28] 张文强.巴丹吉林沙漠湖泊与地下水主要特征及成因机理分析[D].北京:中国地质大学(北京),2018.
- ZHANG Wenqiang. Analysis on the main characteristics and genetic mechanism of lakes and groundwater in Badian Jaran Desert [D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2018.
- [29] 李培月.人类活动影响地下水环境研究——以宁夏卫宁平原为例[D].西安:长安大学,2014.
- LI Peiyue. A study on groundwater environment under the influence of human activities — A case study of Ningxia Weining Plain[D]. Xi'an: Chang'an University, 2014.
- (编辑 李艺)