

水工环地质

# 大汶河流域下游芦泉屯单斜岩溶水系统富水地段特征分析

刘小天,王金晓\*,许庆宇,张海林,滕跃,朱庆利,柳浩然

(山东省地矿工程勘察院(山东省地质矿产勘查开发局八〇一水文地质工程地质大队),山东省地下水环境保护与修复工程技术研究中心,山东济南 250014)

**摘要:**大汶河流域下游芦泉屯单斜岩溶水系统内主要沉积寒武-奥陶纪地层,含水层岩性以灰岩、白云岩为主,受地层和构造控制,岩溶裂隙在水平和垂直方向上存在明显差异,地下水类型包括松散岩类孔隙水和碳酸盐岩类裂隙岩溶水两类,后者为区内主要可利用地下水类型。本文是在以往地质、水文地质勘查研究成果基础上,结合在芦泉屯单斜岩溶水系统开展的1:5万区域水文地质调查工作,通过采用水文地质调查、地下水动态监测、水文地质钻探及抽水试验等工作手段,系统查明了该水文地质单元水文地质条件、地下水类型及含水岩组富水性特征。圈定了3处富水地段,分别为韩庄村岩溶裂隙水富水地段、北张村裂隙岩溶富水地段及南李庄-王海村岩溶裂隙水富水地段,并分析了其富水机理,总结了断层阻水型、岩脉阻水型、地堑式断块型三类蓄水构造模式,可为该区域找水定井提供参考,取得了显著的社会经济效益。

**关键词:**水文地质调查;地下水动态特征;富水地段;大汶河流域

中图分类号:P641

文献标识码:A

doi:10.12128/j.issn.1672-6979.2025.06.006

## 0 引言

中国北方的岩溶地下水多以相对独立的单元循环形成一系列不同规模的岩溶水系统<sup>[1]</sup>,梁永平等<sup>[2]</sup>总结了“岩溶含水层连续沉积,厚度巨大,构成的资源要素众多,地下水分布不均,转化关系复杂,环境质量脆弱”等特点,并认为岩溶地下水集水资源、旅游资源、生态功能等于一体,在国民经济建设中具有举足轻重的地位,特别在城市供水和能源基地建设中发挥了不可替代的支撑性作用<sup>[3]</sup>。随着经济社会快速发展,且受到人类活动影响,地下水的需求量及开采量急剧增加,这就出现了资源型缺水及水质型缺水、水资源与经济发展空间不匹配等相关问题,制约着区域社会经济发展<sup>[4-6]</sup>。在此大环境下,如何将水文地质学理论转向解决当代现实问题成为广大地质学者面临的一项重大课题。因此,开

展大比例尺的水文地质调查工作,摸清区域水文地质条件与地下水赋存规律,寻找可利用的后备富水地段便具有战略性意义<sup>[7-9]</sup>。

大汶河作为黄河下游最大的支流,研究其水文地质特征对服务黄河下游生态保护和高质量发展具有重要的意义<sup>[10]</sup>。以往的研究大多是在中上游支流流域<sup>[11]</sup>,吴璇等<sup>[12]</sup>对柴汶河流域水文地质特征进行了详细的论述,李波等<sup>[13]</sup>系统查明了柴汶河流域水文地质特征及地下水富集模式。但对大汶河流域下游的水文地质条件研究相对较少,尤其是富水性、蓄水构造方式和富水机理等方面的研究更是少之又少。在传统水文地质填图成果中芦泉屯单斜岩溶水系统碳酸盐岩类含水岩组富水性划分单一,认为其单井涌水量普遍小于500 m<sup>3</sup>/d<sup>[14-15]</sup>,取得的研究相对薄弱。

所以,本文在总结前人地质、水文地质勘查研究基础上,结合山东省自然资源厅地质勘查项目“山东

收稿日期:2025-03-31;修订日期:2025-05-12;编辑:陶卫卫

基金项目:山东省自然资源厅,山东省地质勘查项目“山东省1:5万区域水文地质调查(大羊集幅、东平县幅)”,鲁勘字[2022]20号

作者简介:刘小天(1992—),男,山东威海人,工程师,主要从事区域水文地质调查研究;E-mail:1114157563@qq.com

\*通信作者:王金晓(1987—),男,山东德州人,高级工程师,主要从事区域水文地质调查及泉水保护研究;E-mail:81402635@qq.com

省 1:5 万区域水文地质调查(大羊集幅、东平县幅)”(鲁勘字〔2022〕20 号),通过采用水文地质调查、地下水动态监测、水文地质钻探及抽水试验等工作手段,系统查明大汶河流域下游芦泉屯单斜岩溶水系统水文地质条件,圈定富水地段,总结蓄水构造模式,为研究区找水定井提供参考,对服务当地社会经济发展、地下水开发利用规划等具有重要意义。

## 1 研究区概况

### 1.1 地理位置

研究区位于山东省中西部,大汶河流域下游地区,行政区划主要包括泰安市东平县,地理位置优越,交通便利(图 1)。

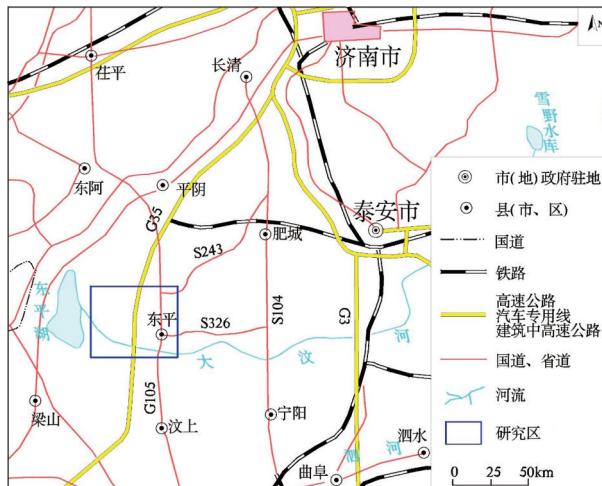


图 1 研究区交通位置图

### 1.2 气象水文

芦泉屯单斜岩溶水系统位于温带半湿润季风气候区,多年平均气温 12.8℃,四季分明。区内多年(1961—2023 年)平均降水量为 640.5 mm,年内降水量分布不均,主要集中在 7~9 月份,占全年降水量的 60%左右。

研究区属于黄河流域大汶河水系区,地表水系较发育,区内主要河流有金线河、跃进河、白吉河等。

### 1.3 地形地貌

研究区位于鲁中南构造侵蚀为主中低山丘陵区与鲁西北冲积平原区的交接地带<sup>[16]</sup>,地形总体呈东北高、西南低,海拔高度介于 40~260 m 之间。根据成因,研究区地貌类型主要为强—弱切割构造侵蚀中低山丘陵亚区与剥蚀堆积山间平原亚区。

### 1.4 地层岩性

研究区位于华北地层区,鲁西地层分区,泰安地层小区<sup>[17]</sup>。区内出露地层较少,由老至新依次为古生代寒武纪长清群朱砂洞组含燧石结核细晶白云岩、角砾状白云岩,馒头组页岩、粉砂岩夹薄层灰岩,九龙群张夏组鲕粒灰岩、生物碎屑灰岩,崮山组薄层页岩夹灰岩,炒米店组泥质条带灰岩、砾屑灰岩、竹叶状灰岩;新生代第四系主要分布在区内山前冲洪积平原及山间沟谷地带,岩性主要为粉质黏土、粉砂质黏土(图 2)。

### 1.5 地质构造

研究区属于鲁西隆起区,位于泰山凸起及东平凸起 2 个 V 级构造单元交界处<sup>[18]</sup>,区内脆性断裂极发育,以 NE—NNE 向断裂为主,断裂性质为张性和张扭性,多为隐伏断裂,规模较大者主要有孝直断裂、石横断裂、西王庄—张平庄断裂等;NW 向断裂作为与肥城断块岩溶水系统分界线,分布在芦泉屯单斜岩溶水系统北部。

### 1.6 边界条件

芦泉屯单斜岩溶水系统分布在梯门乡—老虎山一带,南边界为地表分水岭,北部边界自梯门镇大屯村至大羊镇一带,由大羊集断裂及奥陶系与寒武系分界隐伏断裂构成,西边界为孝直断裂,东部以接山—东疏断裂、后店子断裂为边界,面积约 218.8 km<sup>2</sup>。区内含水岩组以寒武—奥陶纪炒米店组、寒武纪张夏组、朱砂洞组为主,接受大气降水、东部的侧向径流补给,北边界中大羊集断裂具透水性,与肥城断块岩溶水系统水力联系密切。

## 2 工作手段及研究方法

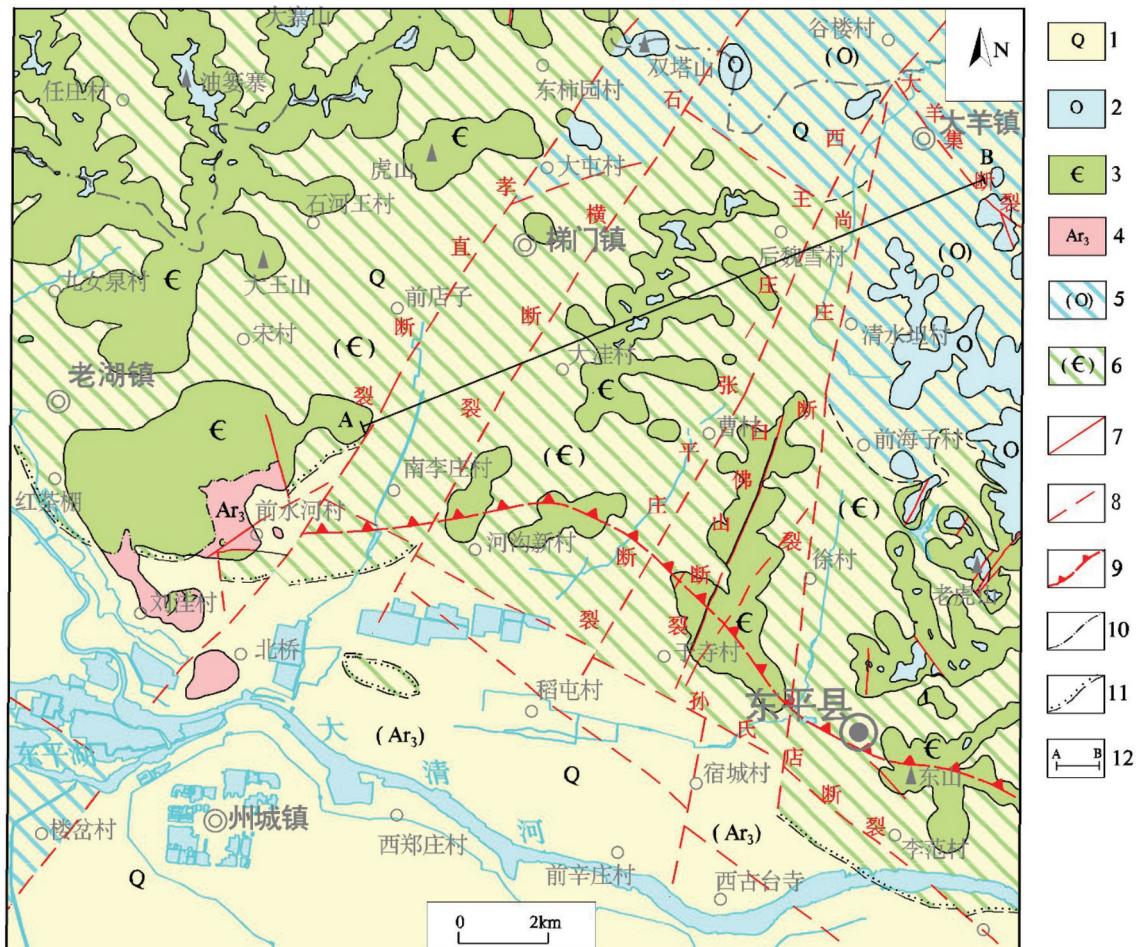
本次工作在充分收集区内已有地质、水文地质资料的基础上,以地下水系统理论为指导,采用的工作手段主要有 1:5 万区域水文地质调查、水文地质钻探、抽水试验、地下水动态监测、水位统测等,坚持多学科、多方法开展综合研究。

### 2.1 1:5 万水文地质调查

采用点、线、面相结合的方式开展调查,以 1:5 万地形图、1:5 万地质图作为调查手图,采用手持 GPS 进行定位,以控制水文地质条件、重要地质、地貌界线和水文地质点为重点的路线穿越法与界线追

索法相结合布置调查路线。调查路线方向以垂直地层界线、构造线为主, 沟谷、河流、道路为辅。通过调查机井现状、地质地貌、岩石类型、地质构造、地表

水系展布特征等, 查明区域水文地质特征、地下水补径排及赋存规律、岩溶发育特征及地质环境状况。



1—第四系覆盖区;2—奥陶纪地层裸露区;3—寒武纪地层裸露区;4—新太古代侵入岩;5—奥陶纪地层隐伏区;6—寒武纪地层隐伏区;7—实测断层;8—推测断层;9—地表分水岭;10—实测角度不整合界线;11—隐伏角度不整合界线;12—剖面线。

图 2 研究区地质构造简图

## 2.2 水文地质钻探

为全面掌握研究区地质、水文地质条件、求取水文地质参数, 在地质、水文地质条件不清楚及缺水地区, 施工探采结合孔。水文地质钻探是在已有资料分析、水文地质调查工作的基础上进行, 坚持“以探为主, 探采结合”的原则, 主要沿主控制剖面或在重点地段布置, 与水文地质调查等工作相结合。

## 2.3 抽水试验

水位水量稳定时间符合技术要求, 抽水试验结束后, 绘制水位降深、出水量随抽水时间的变化过程曲线、单位涌水量与水位降深关系曲线, 计算了含水层水文地质参数( $K$ 、 $T$ 、 $\mu$ 、 $S$ 等), 了解含水层之间、

地下水与地表水之间的水力联系, 确定抽水试验影响范围, 取得了反映含水层客观富水性的试验资料。

## 2.4 地下水动态监测

以控制地下水系统的地下水动态为基本原则, 对于面积较大的监测区域, 以顺地下水流向为主与垂直地下水流向为辅相结合来布设监测点网, 对面积较小的监测区域, 以地下水的补给、径流、排泄条件布设控制性监测点, 掌握了研究区内地下水动态变化规律、地下水水位变化响应大气降水的速度。

## 2.5 水位统测

分枯、丰两期对研究区不同类型地下水进行了统测, 查明区域地下水水流场形态, 分析区内水文地质

条件及地下水补给、径流和排泄条件。

### 3 研究与分析

#### 3.1 地下水类型与富水性特征分析

通过调查、钻探等工作手段查明了研究区内主要含水岩组岩性结构、分布及含水层间水力联系。

根据地下水赋存介质、水理性质及水力特征,可将研究区内地下水划分为松散岩类孔隙水、碳酸盐岩类裂隙岩溶水两类。地下水的储存条件及分布受地层、地貌、构造及水文气象等自然条件的控制,使得区内地下水的流动和赋存特征存在一定差异(图3)。

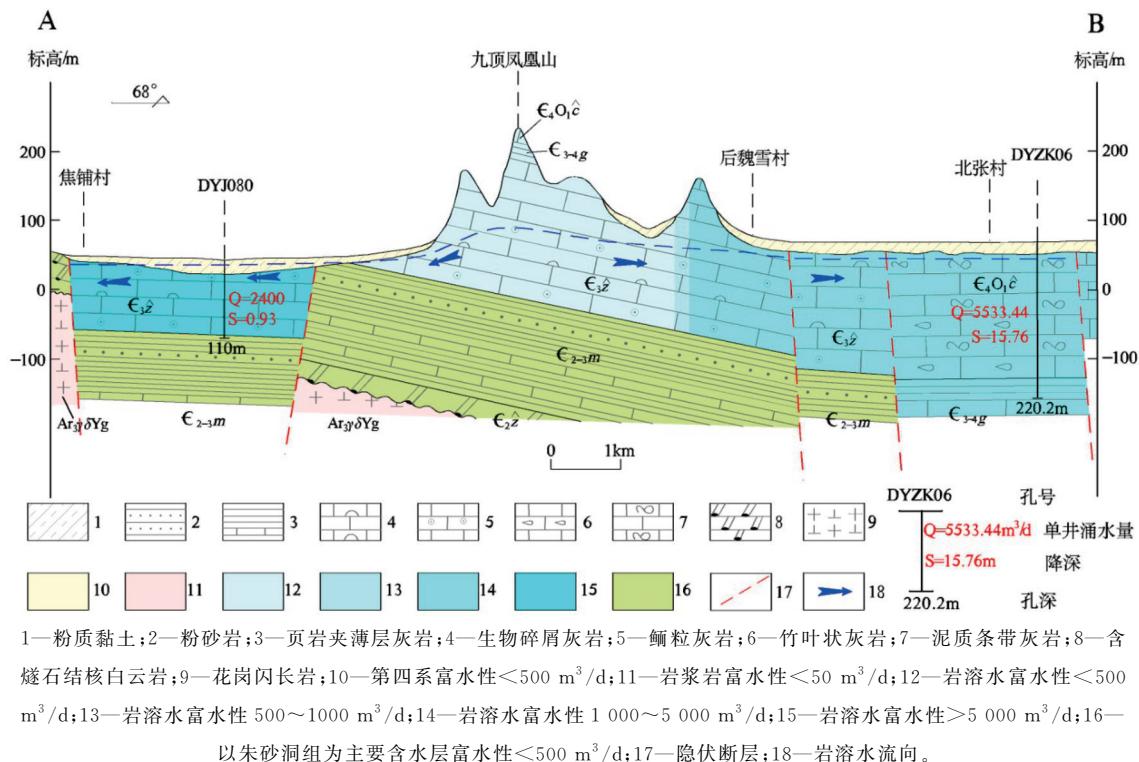


图 3 梯门镇焦铺村—大羊镇北张村水文地质剖面图

(1) 松散岩类孔隙水。松散岩类孔隙水赋存于系统内山前、丘陵以及平缓的沟谷地段冲洪积层、残坡积、坡洪积之中,第四系厚度小于 10 m,含水岩组主要为黄褐色砂质黏土,局部夹砾石层、粉砂层,多呈带状或不规则产出,富水性弱,单井涌水量普遍小于 500 m<sup>3</sup>/d,不具备集中供水条件。

(2) 碳酸盐岩类裂隙岩溶水。碳酸盐岩类裂隙岩溶水是该系统主要地下水类型,其含水岩组主要为寒武纪朱砂洞组、张夏组,奥陶-寒武纪炒米店组,在区内广泛分布。朱砂洞组主要分布在王村—金山口—芦泉屯村一带,隐伏于第四系之下,岩性以角砾状白云岩、细晶白云岩为主,厚度 20m 左右;张夏组在区内广泛分布,岩性以灰色厚层藻凝块灰岩、鲕粒灰岩为主;炒米店组主要分布于响场村—大羊镇驻地一带,岩性主要为泥质条带灰岩、砾屑灰岩、竹叶状灰岩。岩溶裂隙多沿不同岩性界面及构造带附近

发育,富水性随地貌、构造、岩性等条件的变化存在较大差异。裸露区由于出露位置较高,地形切割剧烈,岩溶发育不均一,不利于地下水的储存富集,整体富水性弱,单井涌水量小于 500 m<sup>3</sup>/d;山前隐伏区内受地形地貌、断裂构造等条件的影响,形成局部小型富水区,单井涌水量可达 1 000~5 000 m<sup>3</sup>/d;在梯门镇南李庄村—花篮庄村一带受断裂构造影响,形成地堑构造,且地形平缓,水力梯度小,有利于地下水富集,单井涌水量达到 5 000 m<sup>3</sup>/d 以上。

#### 3.2 地下水补给、径流、排泄特征分析

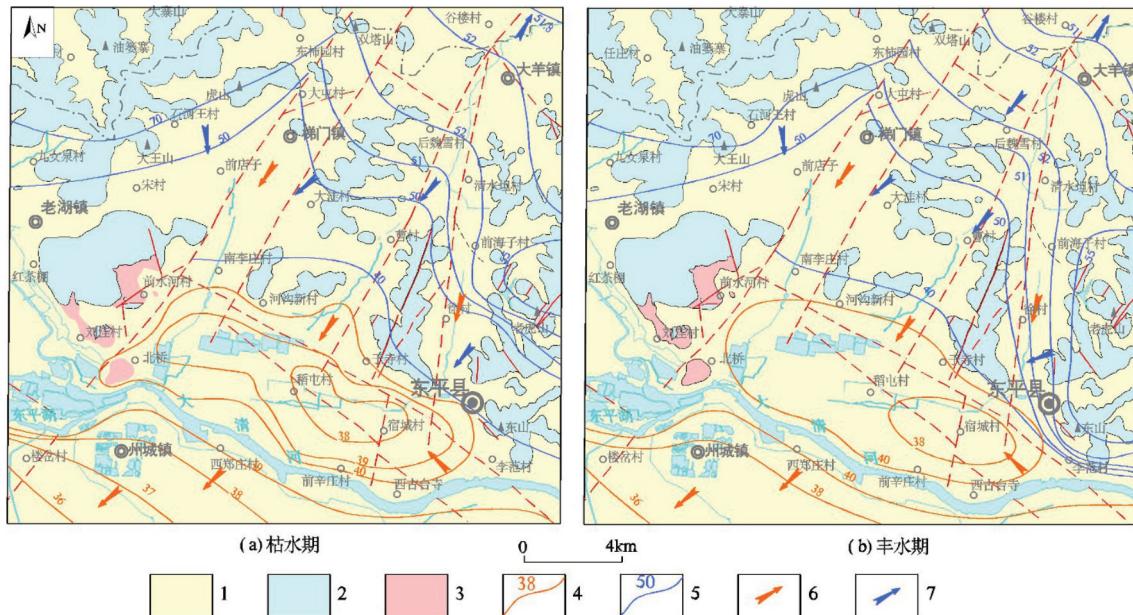
本次工作分枯水期和丰水期分别在 2023 年对研究区不同类型地下水水位进行了统测,掌握了区内水文地质条件及地下水补给、径流和排泄条件(图 4)。

(1) 松散岩类孔隙水。主要接受大气降水补给,

山前地带还接受侧向径流补给,地下水整体流向与地形基本一致,主要的排泄方式为补给地表水及下渗补给岩溶水。

(2) 碳酸盐岩类裂隙岩溶水。裸露区直接接受大气降水补给,隐伏区受上部孔隙水渗漏补给及其

他单元侧向径流补给,地下水整体由东北向西南方向径流,局部受断裂阻挡,在断裂阻水体前富集,形成富水地段,主要排泄方式为人工开采、也可下渗补给孔隙水,另外还侧向补给汶泗河冲洪积扇孔隙水系统。



1—松散岩类孔隙含水岩组;2—碳酸盐岩类裂隙岩溶含水岩组;3—岩浆岩变质岩类裂隙含水岩组;4—孔隙水等水位线(m);5—岩溶水等水位线(m);6—孔隙水流向;7—岩溶水流向。

图 4 研究区 2023 年地下水等水位线图

### 3.3 地下水动态特征分析

地下水位是水平衡的主要反映,其受自然条件的影响,如降水、蒸发、径流、地理、地貌和岩性特征,以及人为的人工开采<sup>[19]</sup>。研究区影响地下水水位动态变化因素有气象、水文、农田灌溉、地层结构和含水层的埋藏条件等<sup>[20]</sup>。根据于寺村监测点动态监测结果可知(图 5),研究区内岩溶地下水水位呈现上升—下降—上升趋势,水位埋深 3.42~5.21 m 之间,水位标高 37.13~38.92 m,年变幅 1.79 m。最高水位出现在 2022 年 9 月下旬,水位标高 38.92 m,随降雨量的减少,水位逐渐下降,进入 2023 年 6 月份后,由于农灌需要,地下水开采量增加,水位下降幅度较为明显,在 2023 年 7 月中旬出现最低水位,水位标高 37.13 m,地下水动态类型属于“降水—径流补给—人工开采”型。

根据多年地下水监测数据(图 6),2018—2023 年,区内岩溶水水位变化基本与降水量的变化趋势一致,且响应速度较快,反映出该区岩溶水补给路径

较短。该地区岩溶水水位在 28~33 m,水位年变幅较小,变幅约 5 m,一般在 5—6 月出现最低水位,7—8 月为高水位。另外,从多年动态变化特征曲线不难看出:区内岩溶水受大气降水影响明显,2018—2020 年大气降水较少,水位呈逐渐下降趋势,2020 年以后,随着降雨量增加,地下水水位出现波动回升,说明在现有的开采量情况下区内岩溶水在具备可调蓄性。

### 3.4 富水地段分析

本次在水文地质调查和水文地质钻探工作的基础之上,将富水性大于  $5\text{ 000 m}^3/\text{d}$  的区域以及贫水区内相对富水的小范围地段定义为富水地段,共圈定富水地段 3 处,分别为韩庄村岩溶裂隙水富水地段、北张村裂隙岩溶富水地段以及南李庄-王海村岩溶裂隙水富水地段。

#### 3.4.1 韩庄村岩溶裂隙水富水地段

该富水地段位于芦泉屯单斜岩溶水系统东部韩庄村—徐庄村一带,面积约  $2.05 \text{ km}^2$ (图 7)。含水

岩组为张夏组,地下水类型为碳酸盐岩类裂隙岩溶水,含水层裂隙岩溶较发育,岩溶形态多以裂隙、溶隙为主,地下水由东北向西南径流,受尚庄断裂阻水,于断裂前汇集,形成富水区,单井涌水量 1 000~3 000  $\text{m}^3/\text{d}$ 。本次施工的 DPZK03 号孔孔深

236.3 m,完整揭穿张夏组,岩性以鲕粒灰岩、藻凝块灰岩、砾屑灰岩为主,馒头组上页岩段存在闪长岩侵入现象。岩溶发育以溶孔、裂隙为主,局部被黏土物质充填,富水性较强,单井涌水量 1 062.24  $\text{m}^3/\text{d}$ ,降深 10.67 m。

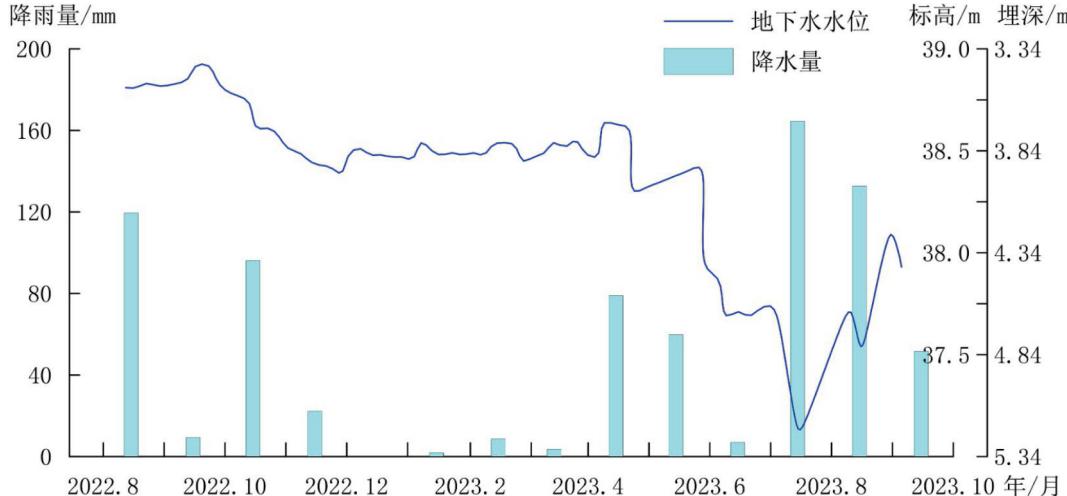


图 5 于寺村岩溶水水位动态曲线图

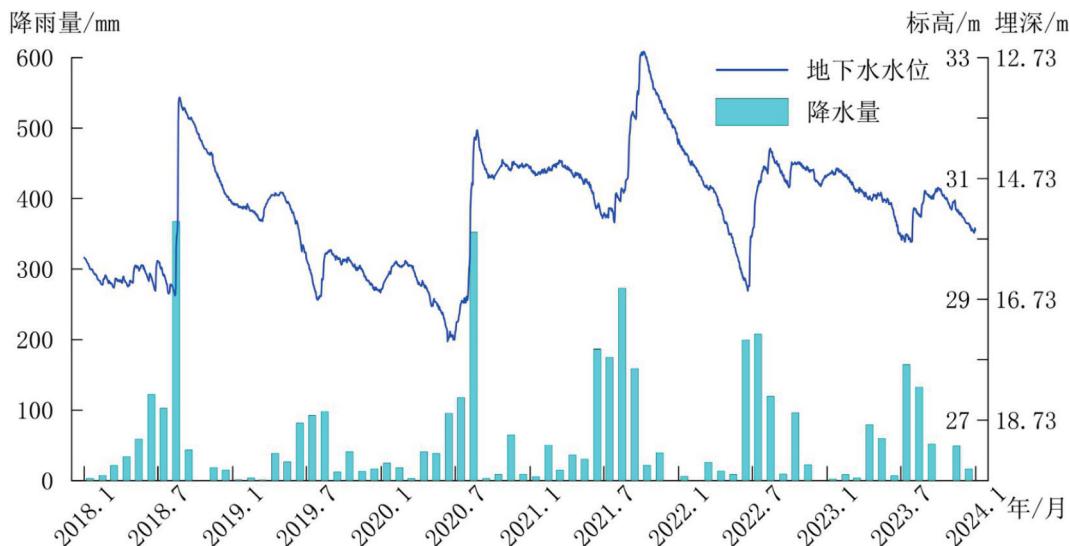
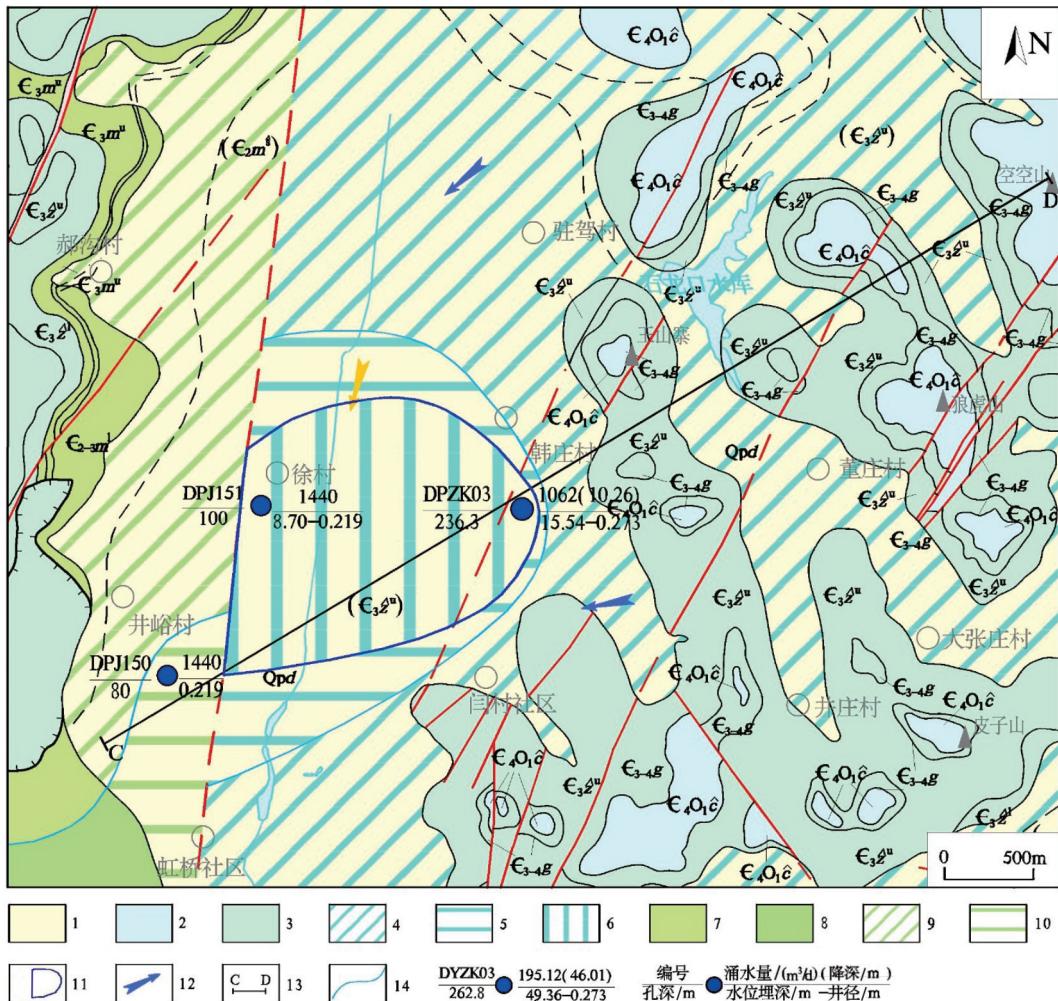


图 6 刘范村岩溶多年水位动态与降水量曲线图

### 3.4.2 北张村裂隙岩溶水富水地段

该富水地段位于芦泉屯单斜岩溶水系统东北部北张村—大羊镇驻地一带,西北边界为尚庄断裂,东北边界至大羊集断裂,南部边界至北张村附近山前一带,面积约 8.02  $\text{km}^2$ 。含水岩组为炒米店组,该区域受岩脉阻水,导致来水一侧围岩裂隙、岩溶发育,有利于地下水富集,形成小型富水地段,单井涌水量可达到 5 000  $\text{m}^3/\text{d}$  以上。例如本次在北张庄

村施工的 DYKZ06 钻孔,孔深 220.2 m,含水层岩性为炒米店组竹叶状灰岩、砾屑灰岩,埋深 31.9~35.2 m,51.9~69.5 m 处闪长岩脉侵入,接触面裂隙岩溶发育,岩溶形态以裂隙、溶孔为主,局部围岩裂隙在长时间的冲刷中已形成宽 4 cm×14 cm 的岩溶通道(照片 1),为良好的地下水径流通道,富水性强,单井涌水量 5 533.44  $\text{m}^3/\text{d}$ ,降深 15.76 m。



1—第四系富水性  $< 500 \text{ m}^3/\text{d}$ ; 2—炒米店组富水性  $< 500 \text{ m}^3/\text{d}$ ; 3—张夏组富水性  $< 500 \text{ m}^3/\text{d}$ ; 4—张夏组(隐伏区)富水性  $< 500 \text{ m}^3/\text{d}$ ; 5—张夏组(隐伏区)富水性  $500 \sim 1000 \text{ m}^3/\text{d}$ ; 6—张夏组(隐伏区)富水性  $1000 \sim 5000 \text{ m}^3/\text{d}$ ; 7—朱砂洞组富水性  $< 500 \text{ m}^3/\text{d}$ ; 8—朱砂洞组富水性  $500 \sim 1000 \text{ m}^3/\text{d}$ ; 9—朱砂洞组(隐伏区)富水性  $< 500 \text{ m}^3/\text{d}$ ; 10—朱砂洞组(隐伏区)富水性  $500 \sim 1000 \text{ m}^3/\text{d}$ ; 11—富水地段范围; 12—岩溶水流向; 13—剖面线; 14—岩溶水富水性界线。

图 7 韩庄村岩溶裂隙水富水地段水文地质简图



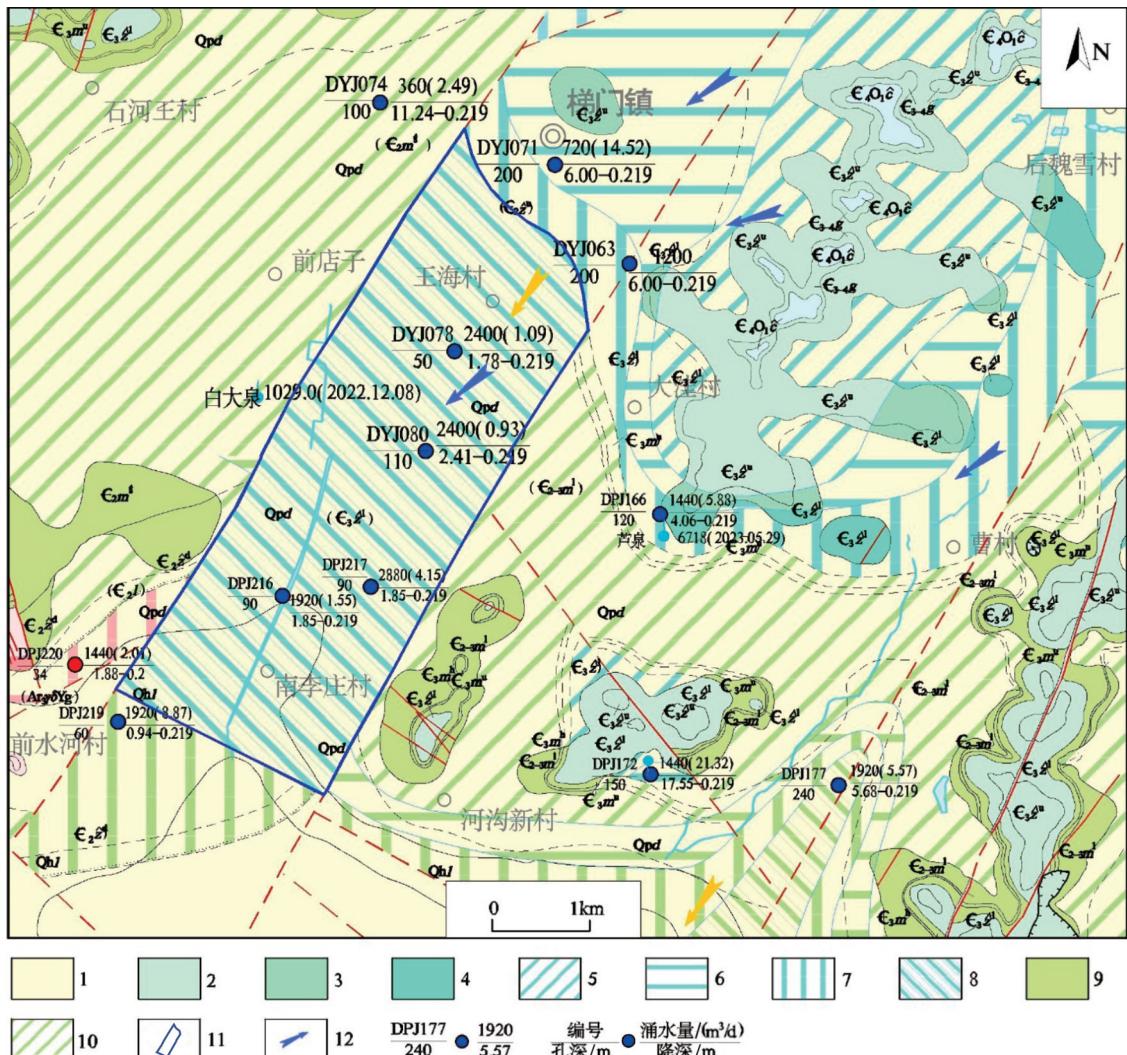
照片 1 DYZK06 钻孔岩心

### 3.4.3 南李庄-王海村岩溶裂隙水富水地段

该富水地段位于芦泉屯单斜岩溶水系统西缘孝直断裂与石横断裂之间, 北至梯门镇王海村附近, 南至梯门镇南里庄村附近, 沿 NE—SW 向呈条带状展布, 面积约  $55.38 \text{ km}^2$  (图 8)。含水岩组主要为张夏组鲕粒灰岩、生物碎屑灰岩。该区域处于芦泉屯单

斜岩溶水系统下游排泄区, 含水层裂隙岩溶十分发育且连通性强, 受孝直断裂、石横断裂影响, 形成地堑构造, 便于地下水富集, 单井涌水量可达到  $5000 \text{ m}^3/\text{d}$  以上。该区水力梯度较小, 地下水径流缓慢, 岩溶水水位标高  $40.18 \sim 42.67 \text{ m}$ , 地下水位埋深  $1.78 \sim 2.41 \text{ m}$ , 年变幅小。简易抽水试验表现

为稳定快、降深小、恢复慢的特点。



1—第四系富水性  $< 500 \text{ m}^3/\text{d}$ ; 2—一夏组富水性  $< 500 \text{ m}^3/\text{d}$ ; 3—一夏组富水性  $500 \sim 1 000 \text{ m}^3/\text{d}$ ; 4—一夏组富水性  $1 000 \sim 5 000 \text{ m}^3/\text{d}$ ; 5—一夏组(隐伏区)富水性  $< 500 \text{ m}^3/\text{d}$ ; 6—一夏组(隐伏区)富水性  $500 \sim 1 000 \text{ m}^3/\text{d}$ ; 7—一夏组(隐伏区)富水性  $1 000 \sim 5 000 \text{ m}^3/\text{d}$ ; 8—一夏组(隐伏区)富水性  $> 5 000 \text{ m}^3/\text{d}$ ; 9—朱砂洞组富水性  $< 500 \text{ m}^3/\text{d}$ ; 10—朱砂洞组(隐伏区)富水性  $< 500 \text{ m}^3/\text{d}$ ; 11—富水地段范围; 12—岩溶水流向。

图 8 南李庄-王海村岩溶裂隙水富水地段水文地质简图

### 3.5 蓄水构造模式分析

蓄水构造是指含水层和隔水层按照一定的有利于蓄水的构造形式组合而成的不同水文地质单元，是由透水层(带)、隔水层(体)及地下水补给排泄条件组成的能在水交替循环过程中不断富集和储存地下水的开放性地质构造<sup>[21-23]</sup>。通过开展的水文地质调查、物探、钻探及抽水试验等研究成果，结合以往蓄水构造的划分以及对研究区的地质、水文地质条件的分析，总结了断层阻水型、岩脉阻水型、地堑式断块 3 种蓄水构造模式。

#### 3.5.1 断层阻水型蓄水构造

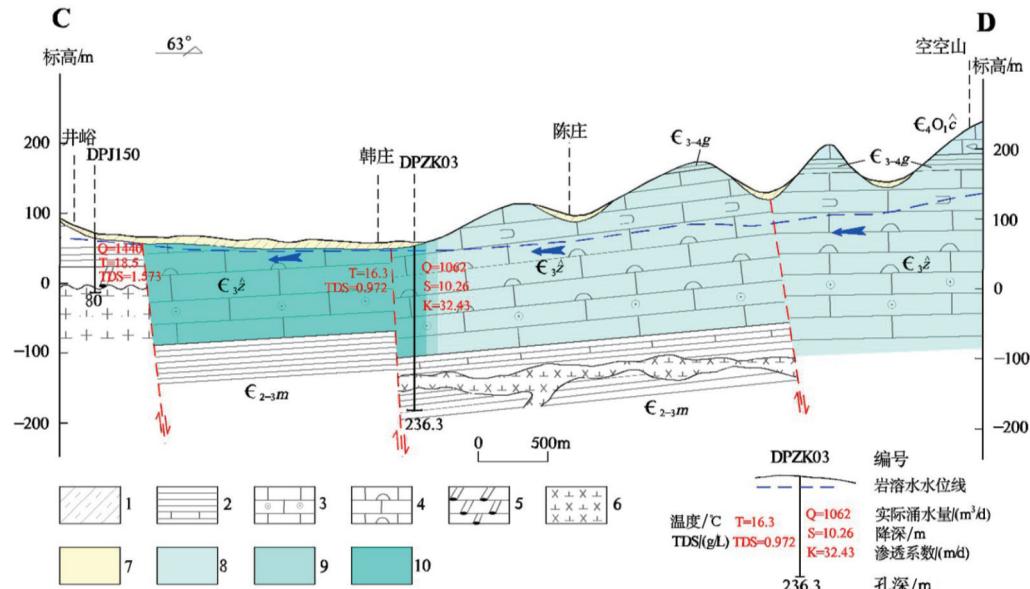
在地下水的流动方向，因断层阻水体的阻水作用，抬高地下水水位，使的地下水富集于断层来水一侧，即为断层阻水型蓄水构造模式。因断层阻水，在地势低洼处，地下水汇集而形成小规模的富水地段。韩庄村岩溶裂隙水富水段就属于这种蓄水构造模式，岩溶地下水由东北向西南径流，受到尚庄断裂阻水，在断裂前汇集（图 9）。

#### 3.5.2 岩脉阻水型蓄水构造

岩脉阻水型蓄水构造，指碳酸盐岩地层中岩墙

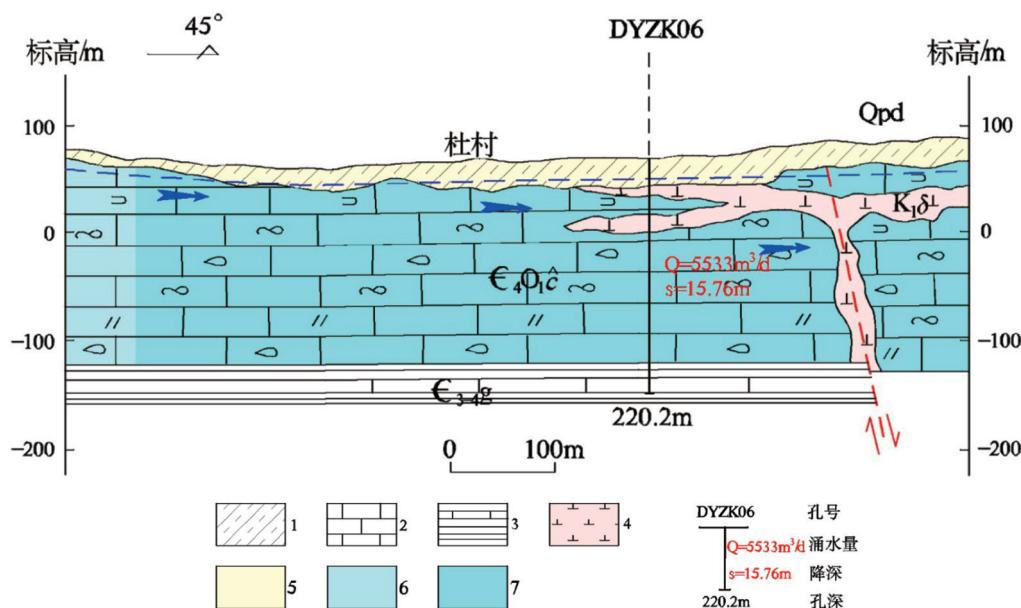
或脉体侵入导致围岩裂隙、岩溶发育,且地下水被阻于接触带前的岩溶裂隙中所形成的蓄水构造(图 10)。岩脉多沿断裂和灰岩层间的软弱面侵入,侵入时围岩受到挤压形成的构造裂隙、冷凝时形成的横

向裂隙、后期地下水冲刷形成的岩溶通道,以上空间都为围岩地层的地下水提供了良好的储水空间和导水通道。本次工作发现的北张村裂隙岩溶水富水地段便属于岩脉阻水型蓄水构造。



1—粉质黏土;2—页岩夹薄层灰岩;3—鲕粒灰岩;4—生物碎屑灰岩;5—含燧石结核白云岩;6—闪长岩;7—第四系富水性 $<500\text{ m}^3/\text{d}$ ;8—张夏组富水性 $<500\text{ m}^3/\text{d}$ ;9—张夏组富水性 $500\sim1000\text{ m}^3/\text{d}$ ;10—张夏组富水性 $1000\sim5000\text{ m}^3/\text{d}$ 。

图 9 断层阻水型蓄水构造模式示意图



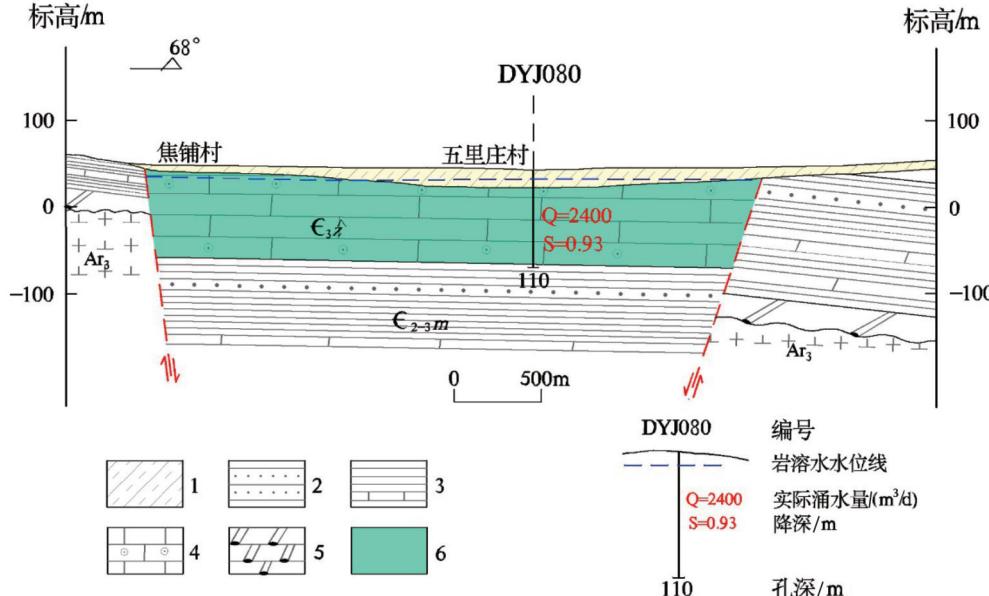
1—粉质黏土;2—灰岩;3—页岩夹薄层灰岩;4—闪长岩脉;5—第四系富水性 $<500\text{ m}^3/\text{d}$ ;6—炒米店组富水性 $500\sim1000\text{ m}^3/\text{d}$ ;7—炒米店组富水性 $1000\sim5000\text{ m}^3/\text{d}$ 。

图 10 岩脉阻水型蓄水构造模式示意图

### 3.5.3 地堑式断块型蓄水构造

地堑式断块型蓄水构造是指,当 2 个断层之间的断块为透水岩层,而两侧则为相对不透水层时,透水断块及其断层影响带有利于地下水富集,从而形成富水区。该类型富水地段往往裂隙岩溶发育,富

水性取决于透水岩层的透水性大小及其边界隔水条件(图 11)。南李庄-王海村岩溶裂隙水富水地段属于该类型蓄水构造模式,地下水水力梯度小,径流缓慢。



1—粉质黏土;2—粉砂岩;3—页岩夹薄层灰岩;4—鲕粒灰岩;5—含燧石结核白云岩;6—岩溶水富水性 $>5000\text{ m}^3/\text{d}$ 。

图 11 地堑式断块型蓄水构造模式示意图

## 4 结论

本文针对大汶河下游芦泉屯单斜岩溶水系统碳酸盐岩地层,结合山东省 1:5 万区域水文地质调查(大羊集幅、东平县幅)工作,查明了研究区地下水类型及富水性特征、地下水补径排条件、地下水位动特征及地下水富集规律,总结了蓄水构造模式。

(1) 研究区主要发育松散岩类孔隙水和碳酸盐岩类裂隙岩溶水两种地下水类型。岩溶水作为区内地下水主要可利用类型,其含水层岩性主要为寒武-奥陶纪炒米店组竹叶状灰岩、寒武纪张夏组鲕粒灰岩。以往研究认为区内碳酸盐岩类裂隙岩溶含水岩组富水性普遍小于  $500\text{ m}^3/\text{d}$ ,通过本次研究分析,区内受构造、地层阻水可形成不同规模的富水区,裂隙岩溶较发育,单井涌水量可达到  $5000\text{ m}^3/\text{d}$  以上。主要接受大气降水、孔隙水渗漏补给及其他单元侧向径流补给,整体由东北向西南方向径流,主要排泄方式为人工开采、下渗补给孔隙水与侧向径流。

(2) 研究区内岩溶地下水受大气降水影响明显,在降水量低于多年平均降雨量时地下水位呈逐渐下

降趋势,而当降水量丰沛时地下水位又会迅速回升,以补偿之前的水位降幅,表明区内岩溶地下水在现有开采量情况下具有可调蓄性。

(3) 圈定了 3 处富水地段,分别为韩庄村岩溶裂隙水富水地段、北张村裂隙岩溶富水地段以及南李庄-王海村岩溶裂隙水富水地段,并分析了其富水机理,总结了断层阻水型、岩脉阻水型、地堑式断块型三类蓄水构造模式,可为该区域找水定井提供参考。

## 参考文献:

- [1] 王振兴,李向全,侯新伟,等.三姑泉域岩溶地下水分布特征及子系统识别[J].地球与环境,2020,48(2):228-239.
- [2] 梁永平,申豪勇,高旭波.中国北方岩溶地下水的研究进展[J].地质科技通报,2022,41(5):199-219.
- [3] 梁永平,申豪勇,赵春红,等.对中国北方岩溶水研究方向的思考与实践[J].中国岩溶,2021,40(3):363-380.
- [4] 马祖陆,杨黄成.国外岩溶地区水资源开发利用技术及其对我国的启示[J].广西科学院学报,2022,38(4):352-363.
- [5] 张文强,滕跃,许庆宇,等.黄河流域长孝岩溶水系统水文地质特征及蓄水模式分析[J].山东国土资源,2024,40(3):116-127.
- [6] 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.
- [7] 杨志清. 21 世纪水资源展望[J]. 水资源保护, 2004(4): 66 - 68.
- [8] 石建省. 从第 34 届国际水文地质大会看水文地质学发展趋势(代序)[J]. 地球学报, 2007, 28(6): 509 - 520.
- [9] 郝爱兵, 张二勇, 王璇. 三位一体推进水文地质调查科技创新[J]. 水文地质工程地质, 2017, 44(5): 3.
- [10] 高宗军, 万志澎, 贺可强, 等. 大汶河流域中上游地区岩溶地下水水化学特征及其控制因素分析[J]. 地质科技通报, 2022, 41(5): 264 - 272.
- [11] 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.
- [12] 吴璇, 宋一心, 王金晓, 等. 山东省柴汶河上游地区地下水化学特征分析[J]. 环境化学, 2021, 40(7): 2125 - 2134.
- [13] 李波, 吴璇, 张翼飞, 等. 山东柴汶河下游古近系朱家沟组含水岩组水文地质特征及地下水富集模式[J]. 现代地质, 2021, 35(3): 675 - 681.
- [14] 山东省地质局第一水文地质队. 济南幅 1:20 万区域水文地质调查报告[R]. 1979.
- [15] 山东省地质局第一水文地质队. 济宁幅 1:20 万区域水文地质调查报告[R]. 1979.
- [16] 齐欢. 济南长清岩溶地下水位与降水量、黄河水位的相关性[J]. 长江科学院院报, 2023, 40(7): 27 - 31.
- [17] 宋明春. 山东省大地构造单元组成、背景和演化[J]. 地质调查与研究, 2008(3): 165 - 175.
- [18] 山东省第四地质矿产勘查院. 1:5 万区域地质调查报告(平阴县幅、大羊集幅、东平县幅、汶上县幅)[R]. 2017.
- [19] 刘小婧. 地下水流场的时空演变特征及驱动力分析[J]. 地下水, 2023, 45(5): 85 - 88.
- [20] 李波, 王金晓, 吴璇, 等. 山东莱芜盆地东部水文地质条件及富水块段特征[J]. 中国岩溶, 2020, 39(5): 637 - 649.
- [21] 张福存, 王新峰, 李伟, 等. 缺水基岩山区蓄水构造类型划分及其属性分析[J]. 水文地质工程地质, 2022(2): 7 - 16.
- [22] 贾德旺. 鲁南山区基岩蓄水构造类型及找水定井方法[J]. 地质学刊, 2020, 44(3): 318 - 325.
- [23] 关琴, 徐聪聪, 叶倩, 等. 鲁中南新汶盆地地下水蓄水模式分析[J]. 山东国土资源, 2021, 37(5): 41 - 48.

## Analysis on Characteristics of Water-rich Sections of Luquantun Single-dip Karst Water System in the Lower Reaches of Dawenhe River Basin

LIU Xiaotian, WANG Jinxiao, XU Qingyu, ZHANG Hailin, TENG Yue, ZHU Qingli, LIU Haoran  
(Shandong Geo-engineering Exploration Institute (No. 801 Hydrogeological Engineering Geological Brigade of Shandong Provincial Exploration Bureau of Geology and Mineral Resources), Research Center of Groundwater Environment Protection and Restoration Engineering Technology, Shandong Jinan 250014, China)

**Abstract:** Main sedimentary rocks in Luquantun monocline karst water system in the lower reaches of Dawenhe River Basin are Cambrian-Ordovician strata. The aquifer lithology is mainly limestone and dolomite, which are controlled by the strata and structures. There are significant differences in the horizontal and vertical directions of karst fissures. The groundwater types include loose rock pore water and carbonate rock fissure karst water, with the latter being the main available groundwater type in the area. Based on previous geological and hydrogeological exploration research results, combining with hydrogeological survey with the scale of a 1:50000 conducted in Luquantun monocline karst water system, by using hydrogeological surveys, groundwater dynamic monitoring, hydrogeological drilling and pumping tests, hydrogeological conditions, groundwater types and water rich characteristics of the water bearing formations in this hydrogeological unit have been systematically identified. Three water rich areas have been circled, they are karst fissure water rich area in Hanzhuang village, fissure karst water rich area in Beizhang village, and karst fissure water rich area in Nanlizhuang-Wanghai village. The water rich mechanism has been analyzed, and three types of water storage structures, namely fault water blocking type, rock vein water blocking type, and graben type fault block type have been summarized. It will provide some references for water exploration and well selection in the area, and significant social and economic benefits have been achieved.

**Key words:** Hydrogeological survey; dynamic characteristics of groundwater; rich water area; Dawenhe river basin