

岩浆岩与变质岩分布区蓄水构造模式浅析

——以胶东地区为例

刘春伟^{1,2)}, 胡彩萍^{1,2)}, 李传磊^{1,2)}, 刘帅³⁾, 李波^{1,2)}, 吴璇^{1,2)}, 刘小天^{1,2)}

1) 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, 济南, 250014;

2) 山东省地下水环境保护与修复工程技术研究中心, 济南, 250014;

3) 山东省地质矿产勘查开发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

内容提要: 胶东地区地层岩性多为岩浆岩和变质岩, 富水性差异大, 整体为缺水地区。伴随着社会经济发展, 人民对美好生活的需求不断提升, 优质、稳定的地下饮用水也成为胶东人民的重要民生问题之一。本文通过大比例尺水文地质调查成果总结和已有研究成果分析, 结合地下水勘查案例, 从水文、地形地貌、含水层岩性和地质构造等四个方面, 对岩浆岩地区的地下水富集机理进行分析, 提出了断裂型、接触带型、岩脉型、洼地风化带型和多期变质作用形成的五种蓄水构造模式, 并对各类蓄水构造特征进行了分析, 同时总结了风化裂隙水、构造裂隙水和岩溶裂隙水三类岩浆岩、变质岩分布区裂隙水的找水方向, 进一步丰富了岩浆岩与变质岩缺水地区蓄水构造模式研究, 对该地区地下水资源探寻具有一定的指导作用。

关键词: 胶东; 岩浆岩; 蓄水构造; 富水机理

地下水约占地球上整个淡水资源的 30%, 是可供人类利用的重要淡水资源之一(于婷婷等, 2011)。裂隙水是水资源的重要组成部分, 受社会生产活动广度和深度的限制, 对基岩地区的水文地质研究相对较少(李传生等, 2009)。岩浆岩变质岩类裂隙水是我国分布最为普遍的地下水类型之一, 具有埋藏深、储量小、分布不均的特点(刘伟朋等, 2018)。通常将岩浆岩和变质岩地区富水性划分为 $<100\text{m}^3/\text{d}$, 地下水资源极度匮乏, 也成为了制约当地经济发展和群众生活水平提高的一个重要原因(王洪磊等, 2016; 王新峰等, 2018)。

蓄水构造是基于山区找水实践总结而形成的、最具有中国特色的应用性成果, 一经提出就得到了广泛运用(刘光亚, 1978, 1981), 尤其是在我国贫困缺水地区勘查找水过程中再次证明了其有效性和科学性, 取得了丰硕成果(王新峰等, 2016)。基于蓄水构造类型, 结合综合物探方法刻画其空间结构, 提出山区综合找水技术方法, 提高找水定井的准确率(张之淦等, 2000; 汪云等, 2019; 杨红等, 2012; 邸志

强等, 2007)。运用蓄水构造, 探索地下水系统划分, 在编图上与水文地质分区、地下含水系统、地下水流系统进行耦合, 准确清晰指示了基岩地下水富集带(乔晓英等, 2005; 李波等, 2020)。

本文正是基于对胶东岩浆岩和变质岩缺水地区的认识, 结合地下水勘查与大比例尺水文地质调查成果, 从地下水的驱动力方向总结了蓄水构造模式, 把生产性成果中蕴藏的科研思维提炼出来, 为类似缺水地区解决生活用水困难提供借鉴。

1 水文地质形成条件

1.1 气象水文

研究区属暖温带东亚大陆性季风型半湿润气候, 四季分明, 多年平均气温 11.3°C , 1 月份多年平均气温为 -3.8°C ; 7 月份多年平均气温为 24.6°C , 降雨量 650mm 左右。区内地表水系发育, 大面积位于五龙河流域。季节性降水极不均匀、地表水变率大, 是胶东地区缺水的主因。

注: 本文为青年人才托举工程(第七届青托工程项目编号: 2021QNR001)和山东省地质勘查项目《山东省 1:5 万区域水文地质调查(河头店、山前店幅)》(鲁勘字[2019]45 号)的成果。

收稿日期: 2022-05-01; 改回日期: 2022-09-09; 网络首发: 2022-09-20; 责任编辑: 章雨旭。Doi: 10.16509/j.georeview.2022.09.155

作者简介: 刘春伟, 男, 1994 年生, 学士, 工程师, 主要从事水文地质研究。Email: 1060248967@qq.com。



表2 机井调查点单井涌水量与含水层岩性分析表

Table 2 Analysis table of single well water inflow and aquifer lithology at mechanical well survey points

序号	含水层岩性	机井数 (个)	井深 (m)	最大涌 水量 (m ³ /d)	平均单 井涌水量 (m ³ /d)
1	新太古代花岗岩	138	20~240	0~720	102.56
2	新太古代英云闪长岩	62	18~270	0~600	89.87
3	古元古代黑云片岩	55	15~220	0~480	74.40
4	中生代安山岩	30	13~280	0~360	76.35
5	中生代玢岩	20	16~230	0~240	78.12
总计		305	13~280	0~720	84.26

富集的内因。地下水富集程度受含水岩组岩石成分、结构和构造影响较大,主要包括岩石的类型、力学特征及裂隙发育程度。

一般情况下,强脆性岩石在地质构造作用下,更易形成裂隙发育且富水强的蓄水构造,而韧性岩石则相对较弱(表2)。研究区含水层岩性主要为花岗岩、闪长岩、片岩、安山岩及玢岩等,其中花岗岩、闪长岩为强脆性岩石,受外力作用下易产生构造裂隙,相对富水,平均单井涌水量 90~120m³/d;而片岩、安山岩及玢岩为韧性特征明显的岩石,受外力挤压变形后易形成填充型裂隙,储水空间小,富水性较弱,平均单井涌水量 50~80m³/d。

2.4 构造因素

断裂构造是岩浆岩与变质岩分布区地下水的天然集水廊道和蓄水通道,是地下水富集的关键因素。

(1) 构造裂隙的发育形态。构造裂隙的发育形态主要包括网状风化裂隙、线状构造裂隙及构造破碎带三种。其中网状风化裂隙主要分布于岩浆岩、变质岩区的浅部(35m以浅),赋存风化裂隙水;构造裂隙及破碎带一般分布于深部(30~110m),呈线状、块状构造,赋存承压

裂隙水。

(2) 构造裂隙的发育程度。岩石裂隙发育程度和深度受构造控制,而裂隙发育特征又直接影响含水层地下水储集程度。研究区岩石裂隙的分布特征主要以垂向构造裂隙为主,风化裂隙及构造破碎带发育较少;构造裂隙主要发育于30~50、80~110m,裂隙率与钻孔主要含水层段明显吻合,表现为含水层发育愈深,构造裂隙发育程度愈剧烈,裂隙率愈大,富水性愈强(表3)。

3 蓄水构造模式

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,既包括次生构造又包括原生构造。

3.1 断裂型蓄水构造

断裂型蓄水构造是岩浆岩与变质岩缺水地区找水定井中最常见的一类蓄水构造,对于不同透水性质的岩石,具有不同富水意义,包括断裂导水型及阻水型蓄水构造。其富水带水量的大小主要取决于断裂的力学性质、规模、岩石含水性及地下水补给条件

表3 钻孔单井涌水量与构造裂隙发育程度分析表

Table 3 Analysis table of water inflow of single borehole and development degree of structural fractures

钻孔编号	钻孔位置	含水层岩性	含水层段 (m)	裂隙形态/ 裂隙率(%)	单井涌水量 (m ³ /d)	降深 (m)
HTDZK04	莱阳市西王家庄村	黑云片岩	40.5~47.2	垂向裂隙/10	76.32	56.52
HTDZK03	莱阳市南小平村	安山质角砾岩	33.8~35.5	垂向裂隙/8	82.32	67.82
HTDZK01	莱阳市小水盆村	花岗岩	35~36.5 95.4~95.8(主)	垂向裂隙/9 垂向裂隙/11	248	29.76
SQDZK05	海阳市王家后村	大理岩	38.3~38.6 44.6~45.2(主)	垂向裂隙/10 垂向裂隙/12	436.56	32.06
ZG05	栖霞市吴家庄村	奥长花岗岩	30~35m 80~100m(主)	垂向裂隙/8 垂向裂隙/11	480	5.6
HTDJ083	莱阳市铁匠庄村	英云闪长岩	39~41	垂向裂隙/11	600	8.64
HTDZK06	莱阳市瓦屋村	闪长岩	31.3~32.5 83.4~85.0 94.7~97.2(主)	垂向裂隙/8 垂向裂隙/8 构造破碎带/12	627	21.59
ZG03	招远市东大疃村	斜长角山岩	90~110	构造破碎带/15	840	11.98
HTDZK05	莱阳市大汪家村	闪长岩	15.0~31.2(主) 32.4~38.8 47.1~51.8 93.6~98.4(主)	强风化层 垂向裂隙/9 垂向裂隙/8 构造破碎带/10	932	18.64

注:本表按单井涌水量由小到大排序,(主)表示钻孔的主要含水层段。

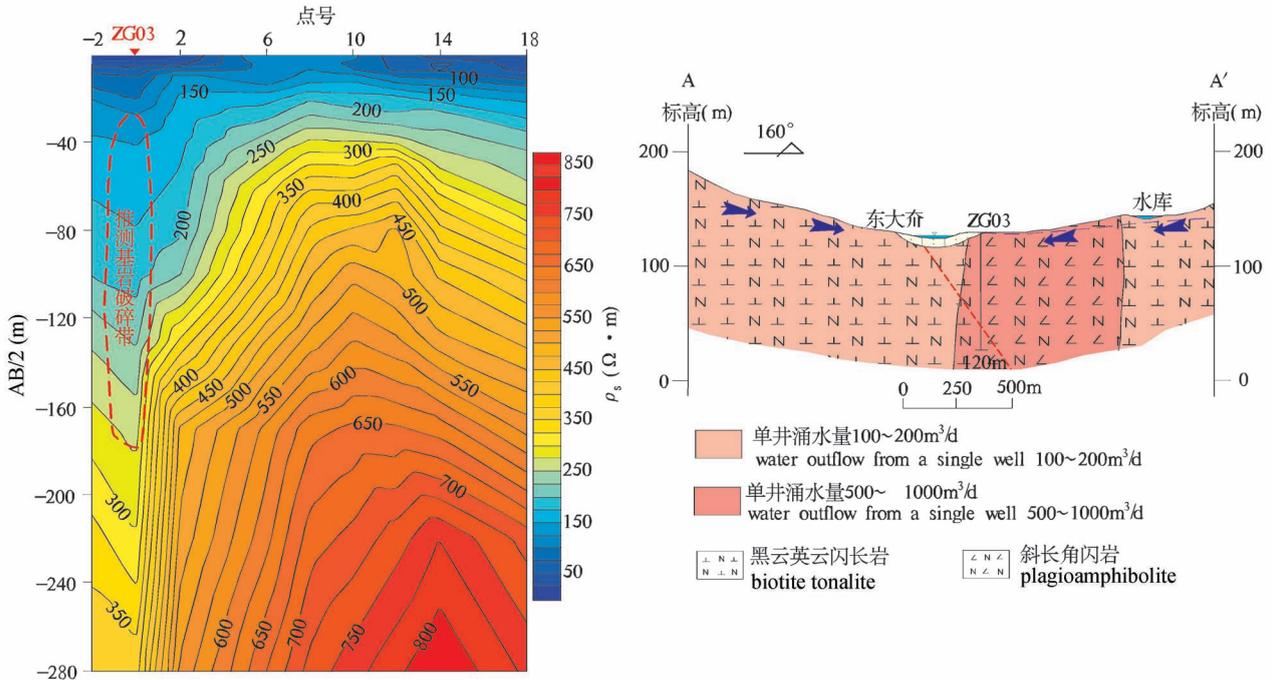


图2 栖霞丰仪断裂导水型蓄水构造视电阻率等值线断面图及水文地质剖面图

Fig. 2 Apparent resistivity isoline section and hydrogeological section of fracture water-conducting storage structure in Qixia fengyi fault

等(廖资生,1976)。

断裂导水型蓄水构造,指张性断裂受拉伸作用,断裂带及围岩区域产生密集的构造裂隙或破碎带,形成良好的储水空间。在构造活动影响下,研究区张性断裂较为发育,如经水文地质调查与视电阻率垂向测深发现NE向丰仪断裂从栖霞市东大乔村南穿过,在0号点附近 $AB/2 = 10 \sim 180\text{m}$ 处有一“阶梯”状低阻异常,探采结合孔实施后,单井涌水量高达 $840\text{m}^3/\text{d}$,降深 11.98m 。受丰仪断裂构造作用,斜长角闪岩构造裂隙发育,在深度 $90 \sim 110\text{m}$ 处破碎明显,即该张性断裂形成了储水空间和集水廊道,加之地形低洼、地下水补给来源充足,因此在区域上形成条带状富水区(图2)。

断裂阻水型蓄水构造,指压性、压扭性质的断裂受挤压作用,断裂带被断层泥或破碎岩石充填,形成隔水断层(傅美兰,1985)。在断裂的上盘、不同方向断裂带交汇或复合部位,地下水沿地形坡向汇集后,受其阻挡形成富水区(NibirMandal et al., 1990; 王玉叶等,2017)。莱阳市西上庄村北受北西向压扭性断裂影响,英云闪长岩受力叠加造成岩石破碎剧烈,东侧岩石节理、裂隙发育,但断层西侧的岩石

未受到该压扭性断裂影响,可作为相对隔水岩层,自东向西径流的地下水在断裂影响带内富集,形成条带状富水带(图3)。调查点HTDJ203机井井深 180m ,单井涌水量达 $300\text{m}^3/\text{d}$,降深 21.56m 。

3.2 接触带型蓄水构造

接触带型蓄水构造,指岩浆岩、变质岩体和围岩之间所形成的蓄水构造。不同期次岩浆岩变质岩或

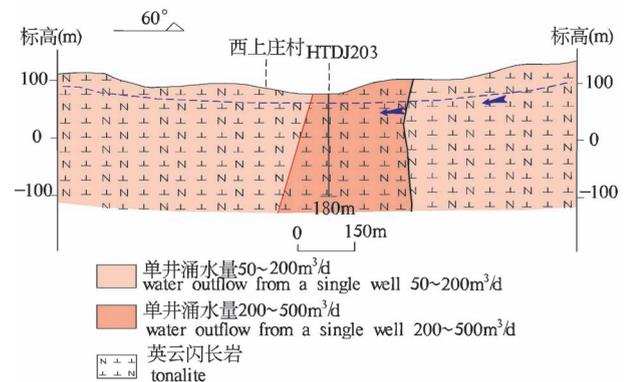


图3 莱阳西上庄断裂阻水型蓄水构造水文地质剖面图

Fig. 3 Hydrogeological section of fracture water-blocking storage structure in Laiyang xishangzhuang fault

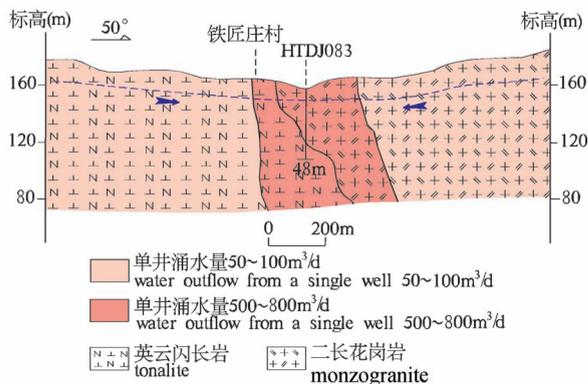


图4 接触带型蓄水构造水文地质剖面图

Fig. 4 Hydrogeological section of contact zone-type impoundment structure

岩墙、岩脉及其与围岩接触带附近存在除围岩原有的各种裂隙外, 还有后期侵入体形成的成岩裂隙和岩体间相互挤压作用下产生于围岩中的肿胀裂隙。当接触带垂直或斜交地下水流向时, 在接触带部位形成条带状地下水富集带。

不同时期花岗岩、闪长岩等脆性岩石在构造运动过程中, 易在接触面部位形成线状的构造裂隙, 在地势低洼、汇水条件良好的地形条件下, 易形成富水

区; 片麻岩、片岩、安山质角砾岩等塑性特征明显的岩石, 受外力挤压变形后易形成填充型裂隙, 无良好储水空间, 富水性较弱。例如莱阳市铁匠庄村东HTDJ083号机井受古元古代二长花岗岩和新太古代英云闪长岩的接触构造影响, 在垂向深度40m处构造裂隙发育, 岩石破碎, 加之良好的汇水条件, 单井涌水量达600m³/d, 形成接触带导水型富水区(图4)。

3.3 岩脉型蓄水构造

岩脉型蓄水构造, 是指岩浆岩和变质岩中岩墙或脉体形成的蓄水构造。在岩浆岩和变质岩缺水地区, 发育着多条不同走向、不同期次的侵入岩脉, 岩脉在侵入过程中挤压围岩形成的构造裂隙、冷凝过程中形成的横向裂隙及后期构造运动过程中在岩脉两侧形成的羽状裂隙均为地下水提供良好的储水空间及导水通道, 即形成岩脉型蓄水构造。

岩脉型蓄水构造按岩脉本身的透水性及地下水径流的阻导作用, 可分为阻水型和导水型蓄水构造。

阻水型蓄水构造, 裂隙主要发育在围岩接触带或脉体的外缘, 而脉体本身裂隙不发育, 当地下水垂直流经时, 在岩脉的上游一侧形成富水区。该类型岩脉多为抗风化能力较弱的基性或中性岩脉, 如闪长岩脉、玢岩岩脉等。例如经水文地质调查与视电

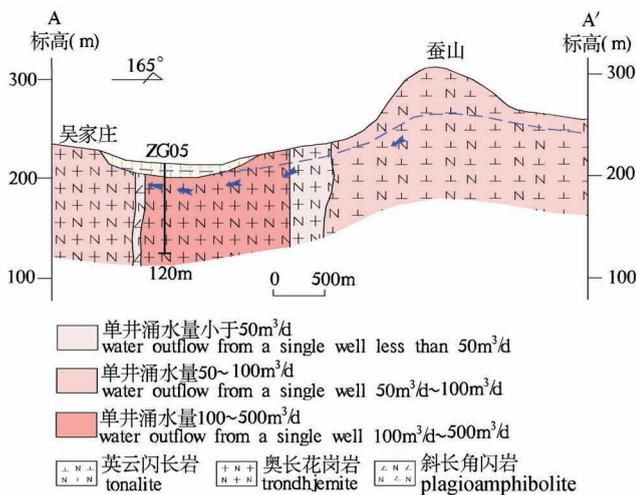
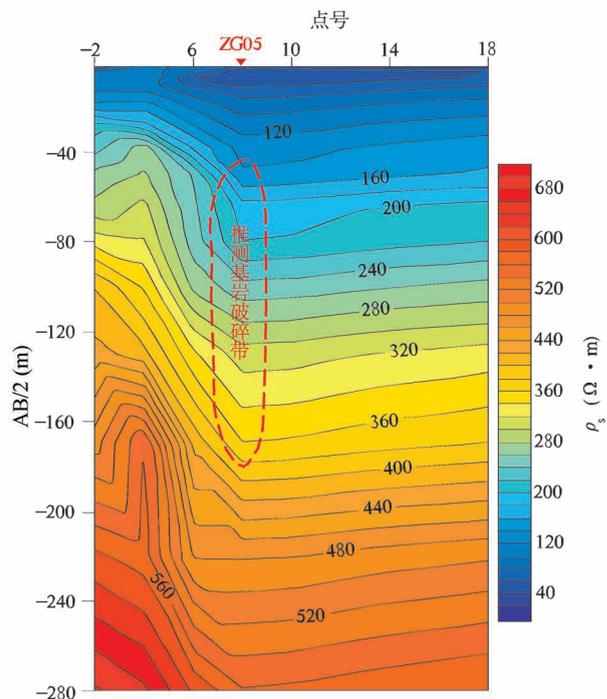


图5 岩脉阻水型蓄水构造视电阻率等值线断面图及水文地质剖面图

Fig. 5 Apparent resistivity isoline section and hydrogeological section of rock dike water-resistant storage structure

阻率垂向测深发现,栖霞市吴家庄村南8号点处有一垂向“阶梯状”异常区,推测该处为一南北走向的岩脉。经ZG05号探采结合孔揭露,由南向北径流的地下水受斜长角闪岩脉阻挡,在东南上游一带形成富水区。该孔单井涌水量达 $480\text{m}^3/\text{d}$,降深5.6m(图5)。

导水型蓄水构造,岩脉本身裂隙发育或岩脉周边围岩裂隙较为发育,为地下水提供良好的储水空间及导水通道,多为抗风化能力较强的酸性岩脉,如花岗斑岩岩脉、重晶石岩脉和部分矿物成分较单一的辉长岩脉等。例如经水文地质调查与视电阻率垂向测深发现,莱阳市瓦屋村北在21-30号点附近 $AB/2=210\sim 300\text{m}$ 处有一高阻岩脉展布,其东西两侧低阻异常明显。结合HTDZK06号探采结合孔验证,受北东-南西向花岗斑岩侵入岩脉的影响,在深度30~35m、80~100m段垂向裂隙发育且破碎明显,加之良好的汇水条件,形成岩脉导水型富水区。该钻孔单井涌水量达 $620.64\text{m}^3/\text{d}$,降深21.59m(图6)。

3.4 洼地风化带型蓄水构造

洼地风化带型蓄水构造,是指岩浆岩和变质岩地区地势低洼的沟谷地带形成的蓄水构造。该蓄水构造所处地势低洼,汇水条件好,以岩浆岩和变质岩风化裂隙作为含水层,下部的新鲜岩石作为隔水边界(中国地质调查局,2012¹⁵⁹⁻¹⁶⁴)。

洼地风化带型蓄水构造多分布于花岗岩、闪长

岩等易风化脆性岩石的沟谷处,地下水以裂隙潜水为主,具有统一连续的地下水面,潜水面形状随地形缓变。地下水水位和水量季节性变化明显,埋藏较浅,多以井深10~30m左右的大口井开采为主。例如莱西市李家泊子村北HTDJ099号机井处于地势低洼的缓坡沟谷,汇水条件极好,下伏地层为新太古代英云闪长岩强风化层,不仅接受区域大气降水入渗补给,还接受上覆第四系孔隙水垂向补给及东西两侧基岩裂隙水侧向径流补给,形成洼地风化带型富水区,该机井单井涌水量为 $480\text{m}^3/\text{d}$ (图7)。

3.5 多期变质作用形成的蓄水构造

多期变质作用形成的蓄水构造,是指岩浆岩和变质岩分布区多期变质作用及反复构造运动而形成的蓄水构造。

受岩浆岩和变质岩的变质作用及构造运动影响,发生接触交代变质作用,后期岩浆岩在侵入过程中受到热流及具有化学活动性的流体影响,发生不同程度的交代置换,原岩的化学成分、矿物成分、结构构造均发生改变,浅部岩浆岩风化强烈且厚度大,风化层接受大气降水补给后储存地下水及下渗补给构造裂隙水;同时在侵入体与围岩接触带部位伴生有线状的构造裂隙,为地下水提供良好的储水空间及运移通道,即形成良好的富水区。例如莱阳市大汪家村北一带受后期新太古代岩浆岩侵入过程中发生面状的热流体交代变质作用影响,中太古代苏长辉长岩呈岩株、岩脉状展布于新太古代英云闪长岩

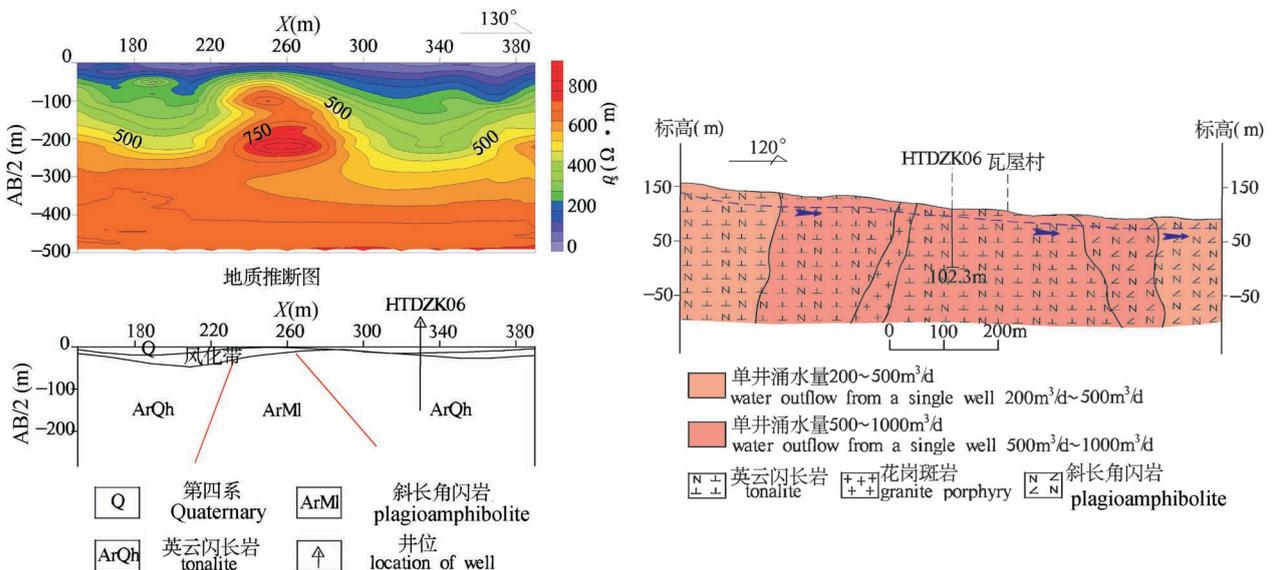


图6 岩脉导水型蓄水构造视电阻率等值线断面图及水文地质剖面图

Fig. 6 Apparent resistivity isoline section and hydrogeological section of dike water-conducting water storage structure

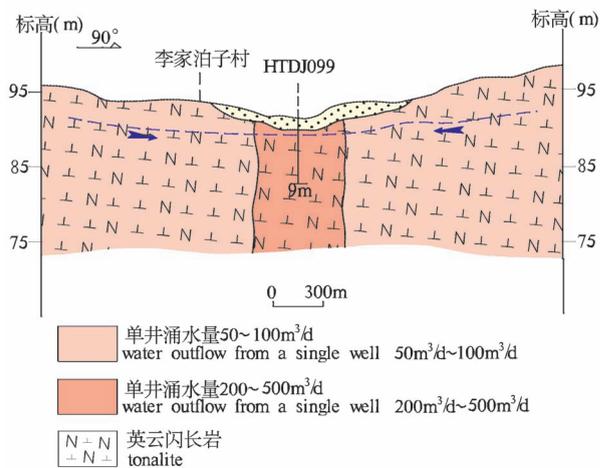


图7 洼地风化带型蓄水构造水文地质剖面图

Fig. 7 Hydrogeological section of water-storing structure in weathered zone of depression

中,结合 HTDZK05 号探采结合孔实施发现(图8),区内浅部风化裂隙发育,强风化层厚度高达31.22m;在深度32~55m,90~125m段垂向裂隙发育并伴有明显的破碎现象,可以推测多期变质作用造成区域构造裂隙发育,形成面状导水型富水区。该钻孔单井涌水量高达931.68m³/d,降深18.64m。

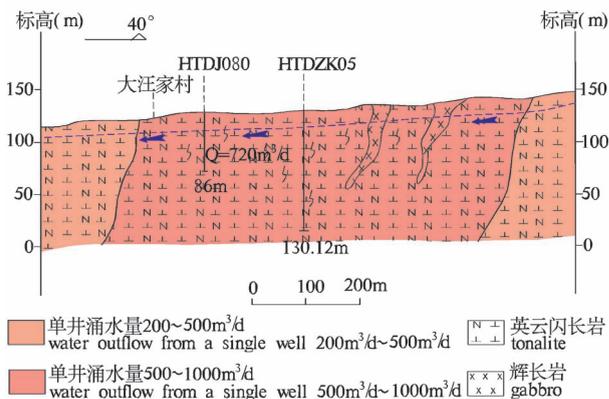


图8 多期变质作用形成的蓄水构造水文地质剖面图

Fig. 8 Hydrogeological section of water storage structure formed by multi-stage metamorphism

4 找水方向

岩浆岩与变质岩缺水地区找水定井须具备良好的汇水条件、充足的储水空间及地下水的运移通道、隔水岩层或岩体构成的隔水边界(卞学军等,

2018)。

(1)风化裂隙水:风化裂隙水是岩浆岩与变质岩分布区最常见的地下水类型,由于地形切割深,剥蚀侵蚀强烈,风化带普遍发育不完全,连续性较差,风化裂隙水分布零散,地下水水位及水量季节性变化大。在地形地貌和地质、水文地质结构有利,局部植被发育,风化带保存完好的部位可形成潜水富水块段。

(2)构造裂隙水:构造裂隙水主要受岩浆岩与变质岩分布区断裂、侵入岩脉、不同时代岩石接触等构造作用,储存于层状或脉状裂隙带中,为深部承压带状水。该类型地下水受岩浆岩与变质岩的岩性、构造应力作用程度及边界条件控制,在空间分布、富水性及导水性等方面表现为各向异性。主要受断裂、接触带、岩脉、多期变质作用等蓄水构造影响。

(3)岩溶裂隙水:岩溶裂隙水主要发育于厚层的大理岩中,该类型地下水沿大理岩岩溶裂隙发育方向与碳酸盐岩不断的相互作用,使其溶蚀面不断扩展,形成带状的岩溶裂隙含水系统。在强风化带、断裂及其影响带、火成岩体与围岩的接触带附近,岩溶裂隙水尤为发育。

5 结论

胶东地区岩浆岩与变质岩分布区富水性整体弱,为缺水地区,蓄水构造模式特征的分析对找寻富水块段、探寻地下水资源具有重要的指导作用。本次对岩浆岩与变质岩分布区蓄水构造模式进行了深入分析和研究,得出如下结论:

(1)胶东岩浆岩与变质岩分布区以往普遍认为地下水贫瘠区。本次研究发现,在地势低洼、汇水条件良好的沟谷地带,且有利形成蓄水构造部位能够勘查到富水性理想的块段,可解决当地用水难题。

(2)通过水文地质调查和已有水文地质研究成果,从气象水文、地形地貌、含水层岩性和地质构造等四个方面分析了胶东地区地下水赋存的自然地理背景和地质条件,采用降雨控水、地貌汇水、地层储水、构造导水理念,详细分析了岩浆岩与变质岩缺水地区不同地貌类型、不同含水层岩性特征、构造裂隙的发育形态和程度等缺水主控因素。

(3)从地下水驱动力分析,提出了岩浆岩与变质岩分布区断裂型、接触带型、岩脉型、洼地风化带型和多期变质作用形成的五种蓄水构造模式,明确了风化裂隙水、构造裂隙水和岩溶裂隙水三类找水

方向,为岩浆岩与变质岩缺水区精准找水定井、探寻地下水资源提供重要的指导作用。

参 考 文 献 / References

(The literature whose publishing year followed by a “&” is in Chinese with English abstract; The literature whose publishing year followed by a “#” is in Chinese without English abstract)

卞学军,王宇驰,梁晓艳. 2018. 鄂北丘陵山区变质岩—岩浆岩区地下水富集规律与供水模式研究. 资源环境与工程, 32(1): 78~83.

邱志强,金洪涛,苗英,贾伟光. 2007. 辽西蓄水构造及找水方向. 地质与资源, 16(2): 112~115.

傅美兰. 1985. 胶东半岛变质岩区基岩裂隙水形成机理及其开发利用. 山东地质, 1(2): 61~69.

高维征,杨家林. 2020. 河南宜阳县地下水赋存规律与开发利用建议. 矿产勘查, 11(7): 1442~1449.

李波,韩玉英,关琴,吴璇,刘春伟. 2020. 岩浆岩地区富水性分级与蓄水构造研究. 山东国土资源, 36(7): 45~50.

李传生,靳孟贵,武选民,刘宏伟,王宁涛. 2009. 唐县山区基岩裂隙水的赋存规律及找水方向. 人民黄河, 31(4): 34~35.

廖资生. 1976. 基岩裂隙水的富集规律. 长春地质学院学报, (2): 45~57.

刘光亚. 1978. 基岩蓄水构造. 河北地质学院学报, (1): 19~39.

刘光亚. 1981. 基岩蓄水构造的理论与实践. 河北地质学院学报, (4): 50~56.

刘伟朋,孟顺祥,龚冀丛,耿昕. 2018. 阜平岩群基岩裂隙水的赋存规律与找水方向. 中国矿业, 27(10): 174~179.

Nibir Mandal,吴树仁. 1990. 断层运动和曲线擦痕—理论分析. 地质科学译丛, 7(3): 29~32.

乔晓英,王文科,陈英,王杰,韩锦萍,梁煦枫. 2005. 天山北麓蓄水构造模式与水循环特征. 地球科学与环境学报, (3): 33~37.

汪云,杨海博,郑梦琪,赵耀,韩智昕. 2019. 秦莱盆地地下水蓄水构造特征及勘查定井研究. 水利水电技术, 50(3): 52~65.

王洪磊,李伟,吴宏涛. 2016. 顺平县地下水蓄水构造及找水方向. 山西建筑, 42(12): 45~47.

王锡亮. 1991. 山东燕山晚期岩浆岩的岩石组合与某些岩石化学特征. 山东地质, 7(2): 89~96.

王新峰,李伟,曹红,刘艳,肖攀,何锦. 2016. 基岩山区水文地质图编制新模式与实践. 人民黄河, 38(5): 10~14.

王新峰,宋绵,龚鑫,肖攀,何锦,刘元晴. 2018. 赣南缺水地区地下水赋存特征及典型蓄水构造模式解析——以兴国县为例. 地球学报, 39(5): 573~579.

王玉叶,朱学强,任天龙,陶有兵,张志刚,郭晶. 2017. 沂沭断裂带北段全新世活动断层的发现及其意义. 山东国土资源, 33(4): 1~5.

韦开行,楚宪法,潘喆,赵振远,王恒,王萍. 2020. 重庆红层区水文特征及地下水富集规律——以綦江区为例. 水文, 40(3): 76~81.

杨红,许模,张劲松. 2012. 滇东南弥勒盆地蓄水构造特征分析及找水方向. 水土保持研究, 19(6): 254~258.

于婷婷,甘义群,刘存富,周爱国,周建伟,蔡鹤生,刘运德. 2011. 基于单体多维稳定同位素分析的地下水有机污染研究进展. 水文地质工程地质, 38(1): 103~109.

张增奇,张成基,王世进,刘书才,王来明,杜圣贤,宋志勇,张尚坤,杨恩秀,程光锁,刘凤臣,陈军,陈诚. 2014. 山东省地层侵入岩构造单元划分对比意见. 山东国土资源, 30(3): 1~23.

张之淦,陈伟海. 2000. 岩溶蓄水构造与找水——以广西来宾小平阳为例. 水文地质工程地质, (6): 1~5.

中国地质调查局. 2012. 水文地质手册. 北京: 地质出版社: 159~164.

Bian Xuejun, Wang Yuchi, Liang Xiaoyan. 2018. Study on groundwater enrichment and water supply pattern in metamorphic-magmatic rock area of north Ebei. Resources, Environment and Engineering, 32(1): 78~83.

China Geological Survey. 2012. Hydrogeology Handbook. Beijing: Geological Publishing House: 159~164.

Di Zhiqiang, Jin Hongtao, Miao Ying, Jia Weiguang. 2007. Study on water storage structure and prospecting direction in western Liaoning Province. Geology and Resources, 16(2): 112~115.

Fu Meilan. 1985. Formation mechanism and development of bedrock fissure water in metamorphic rock area of Jiaodong Peninsula. Shandong Geology, 1(2): 61~69.

Gao Weizheng, Yang Jialin. 2020. Occurrence regularity and suggestion of groundwater in Yiyang County, Henan Province. Mineral Exploration, 11(7): 1442~1449.

Li Bo, Han Yuying, Guan Qin, Wu Xuan, Liu Chunwei. 2020. Study on water-rich classification and water-storage structure in magmatic area. Shandong Land Resources, 36(7): 45~50.

Li Chuansheng, Jin Menggui, Wu Xuanmin, Liu Hongwei, Wang Ningtao. 2009. Occurrence regularity and prospecting direction of bedrock fissure water in Tangxian Mountain area. Yellow River, 31(4): 34~35.

Liao Zisheng. 1976. Enrichment of fissure water in bedrock. Journal of Changchun Institute of Geology, (2): 45~57.

Liu Guangya. 1978. Bedrock aquifer structure. Journal of Hebei Institute of Geology, (1): 19~39.

Liu Guangya. 1981. Theory and practice of basement water storage structure. Journal of Hebei University of Geology, (4): 50~56.

Liu Weipeng, Meng Shunxiang, Gong Jicong, Geng Xin. 2018. Occurrence and fissure orientation of fissure water in Fuping Group bedrock. China Mining Magazine, 27(10): 174~179.

Nibir Mandal, Wu Shuren. 1990. Fault movement and curve scratch—theoretical analysis. Translation of Geological Science, 7(3): 29~32.

Qiao Xiaoying, Wang Wenke, Chen Ying, Wang Jie, Han Jinping, Liang Xufeng. 2005. Water storage structure model and water cycle characteristics in the northern piedmont of Tianshan Mountains. Journal of Earth Sciences and Environment, (3): 33~37.

Wang Honglei, Li Wei, Wu Hongtao. 2016. Groundwater storage structure and water seeking direction in Shunping County. Shanxi Architecture, 42(12): 45~47.

Wang Xiliang. 1991. Rock assemblages and some petrochemical characteristics of late Yanshanian magmatic rocks in Shandong Province. Shandong Geology, 7(2): 89~96.

Wang Xinfeng, Li Wei, Cao Hong, Liu Yan, Xiao Pan, He Jin. 2016. New model and practice of hydrogeological map compilation in bedrock mountainous area. Yellow River, 38(5): 10~14.

Wang Xinfeng, Song Mian, Gong Lei, Xiao Pan, He Jin, Liu Yuanqing. 2018. An analysis of characteristics of groundwater occurrence and typical model of water-storage structures in water-deficient areas of southern Jiangxi Province: A case study of Xingguo county. Acta Geosciencia Sinica, 39(5): 573~579.

Wang Yun, Yang Haibo, Zheng Mengqi, Zhao Yao, Han Zhixin. 2019. Study on structural characteristics of groundwater storage and well exploration in Tailai Basin. Water Resources and Hydropower Technology, 50(3): 52~65.

Wang Yuye, Zhu Xueqiang, Ren Tianlong, Tao Youbing, Zhang Zhigang, Guo Jing. 2017. Discovery of Holocene active fault in the northern segment of Yishu fault zone and its significance. *Shandong Land Resources*, 33(4): 1~5.

Wei Kaixing, Chu Xiansheng, Pan Zhe, Zhao Zhenyuan, Wang Heng, Wang Ping. 2020. Hydrological characteristics and groundwater accumulation in the red bed area of Chongqing: A case study of Qijiang district. *Hydrology*, 40(3): 76~81.

Yang Hong, Xu Mo, Zhang Jinsong. 2012. Analysis of the characteristics of groundwater storage structure and groundwater exploration in Mile Basin, Southeastern Yunnan. *Research of Soil and Water Conservation*, 19(6): 254~258.

Yu Tingting, Gan Yiqun, Liu Cunfu, Zhou Aiguo, Zhou Jianwei, Cai

Hesheng, Liu Yunde. 2011. Advances in multidimensional compound-specific stable isotope analysis method for studies of groundwater organic contamination. *Hydrogeology & Engineering Geology*, 38(1): 103~109.

Zhang Zengqi, Zhang Chengji, Wang Shijin, Liu Shucui, Wang Laiming, Du Shengxian, Song Zhiyong, Zhang Shangkun, Yang Enxiu, Cheng Guangsuo, Liu Fengchen, Chen Jun, Chen Cheng. 2014. Classification and correlation of stratigraphic intrusive tectonic units in Shandong Province. *Shandong Land and Resources*, 30(3): 1~23.

Zhang Zhigan, Chen Weihai. 2000. Karst water storage structure and water search: A case study of Xiao Pingyang, Laibin, Guangxi. *Hydrogeology and Engineering Geology*, (6): 1~5.

Analysis of water storage structure model in the distribution area of magmatic and metamorphic rocks in Jiaodong Peninsula

LIU Chunwei^{1,2)}, HU Caiping^{1,2)}, LI Chuanlei^{1,2)}, LIU Shuai³⁾, LI Bo^{1,2)}, WU Xuan^{1,2)}, LIU Xiaotian^{1,2)}

1) No. 801 *Hydrogeology and Engineering Geology Brigade of Shandong Exploration Bureau of Geology and Mineral Resources, Jinan, 250014;*

2) *Shandong Engineering Research Center for Environmental Protection and Remediation on Groundwater, Jinan, 250014;*

3) *The Second Institute of Hydrogeology and Engineering Geology, Shandong Provincial Bureau of Geology & Mineral Resources (Lubei Geo-engineering Exploration Institute), Dezhou, Shandong, 253072*

Abstract: The stratum lithology in Jiaodong Peninsula (Eastern Shandong Peninsula) is mostly magmatic and metamorphic rocks with great difference in water content. With the social and economic development, people's demand for a better life is constantly improving, and high-quality and stable underground drinking water has become one of the important livelihood issues for people in Jiaodong. Based on the summary of large-scale hydrogeological survey results and analysis of existing research results, combined with groundwater exploration cases, this paper analyzes the groundwater enrichment mechanism in magmatic areas from four aspects, namely hydrology, topography and geomorphology, aquifer lithology and geological structure. Five types of water storage structure models, such as fracture type, contact zone type, dike type, depression weathering zone type and multi-stage metamorphism, are put forward, and the characteristics of each type of water storage structure are analyzed. Meanwhile, the water search directions of fracture water in the distribution area of magmatic and metamorphic rocks is summarized, including weathering fracture water, structural fracture water and karst fracture water. It further enriched the study of water storage structure model in magmatic and metamorphic rock water shortage areas, and has a certain guiding role in the exploration of groundwater resources in this area.

Keywords: Jiaodong Peninsula; Eastern Shandong Peninsula; magmatic rock; water storage structure; water-rich mechanism

Acknowledgements: This article is the result of the youth Talent lifting Project (the 7th Qingtuo Project No. : 2021QNRC001) and the Shandong Provincial Geological exploration project "1:50,000 Regional Hydrogeological Survey of Shandong Province (Hetoudian, Shanqiandian)" (Lukan Zi [2019] No. 45)

First author: LIU Chunwei, male, born in 1994, bachelor degree, engineer, is mainly engaged in hydrogeology research; Email: 1060248967@qq.com

Manuscript received on: 2022-05-01; Accepted on: 2022-09-09; Network published on: 2022-09-20

Doi: 10.16509/j.georeview.2022.09.155

Edited by: ZHANG Yuxu

