



临沂方城盆地白垩纪潜火山岩 蓄水构造富水特征分析

纪汶龙, 徐建国, 王玮, 徐华, 刘春华, 刘治政, 刘华峰, 张卓, 刘中业*

(山东省地质调查院, 山东 济南 250013)

摘要:通过水文地质调查、地质钻探、抽水试验、水化学分析等手段,对临沂方城盆地白垩纪火山岩地下水富集规律及水化学特征进行综合研究,发现方城盆地潜火山岩与周围火山碎屑岩构成具有供水意义的岩脉型潜火山岩蓄水构造。潜火山岩蓄水构造富水性中等,钻孔单位涌水量 $18.7 \sim 310.7 \text{ m}^3/(\text{d} \cdot \text{m})$,地下水溶解性总固体一般 $<1 \text{ g/L}$,水化学类型以 $\text{HCO}_3 - \text{Ca}$ 型、 $\text{HCO}_3 - \text{Ca} \cdot \text{Mg}$ 型、 $\text{HCO}_3 \cdot \text{Cl} - \text{Ca}$ 型、 $\text{HCO}_3 \cdot \text{Cl} - \text{Ca} \cdot \text{Mg}$ 型为主,水质良好,可以作为火山岩贫水地区抗旱打井的目标含水层之一。该发现对解决沂蒙山火山岩贫水区农村集中供水水源问题具有重要意义。

关键词:白垩纪;潜火山岩;蓄水构造;富水性;方城盆地;临沂市

中图分类号:P641.6

文献标识码:A

doi:10.12128/j.issn.1672-6979.2025.07.003

0 引言

近年来,随着农村饮水安全工程的逐步推进,山东省大部分农村地区饮水安全问题已基本得到解决^[1],但是在个别严重缺水地区,问题依然突出^[2]。临沂方城盆地火山岩分布区,由于火山岩含水层富水性差,打井找水困难,单井涌水量低,且周围地表水多已受到不同程度污染,远距离调水实施难度大、成本高,人畜饮水安全问题仍未解决。本文利用 1:5 万区域水文地质调查取得的丰富水文地质资料^[3],运用蓄水构造理论,研究火山岩地下水的赋存形式和规律特征,通过在贫水地区寻找具有供水价值蓄水构造的方法,圈定找水靶区,确定找水方向,力求破解该区人畜饮水和农业灌溉难题,满足用水需求。

1 区域地质背景

方城盆地地处临沂市中西部,涉及兰山与费县

等区县,整体为一近 NW 向的狭长地带,东起沂沭断裂带郯部-葛沟断裂,西与平邑盆地相接,北起蒙山断裂,南至沭河南岸高地(图 1);地貌类型主要有剥蚀平原和冲积洪积平原,剥蚀平原主要分布在盆地的西北,冲积洪积平原主要分布在盆地东南部及沭河沿岸,地势总体由西北向东南倾斜,海拔 $70 \sim 100 \text{ m}$ 。

研究区位于方城盆地中南部火山岩分布区,由于中生代构造活动强烈,大规模火山喷发形成了巨厚的火山岩,包括莱阳群城山后组火山岩和青山期八亩地组潜火山岩,后者多呈脉状和小岩株状侵入于围岩中^①。研究区整体为第四系覆盖,巨厚的火山岩零星出露于沟谷地带,出露岩性以沉凝灰岩为主,倾向 N 向、NE 向,倾角 $20^\circ \sim 37^\circ$,下伏侏罗系三台组砂岩。

根据岩性及地下水赋存条件,将研究区含水岩组划分为松散岩类孔隙含水岩组、火山碎屑岩类孔隙-裂隙含水岩组、潜火山岩裂隙含水岩组(图 2)。松散岩类孔隙含水岩组主要分布在沂河、沭河等河

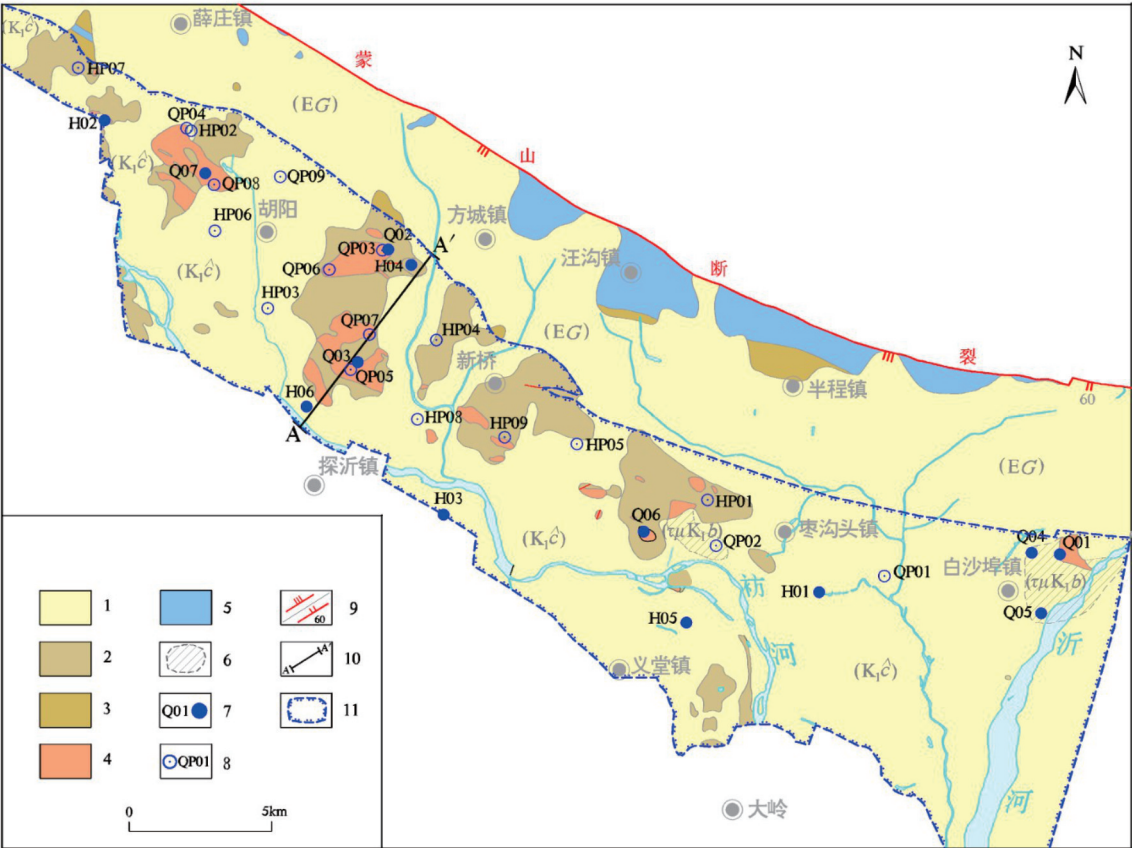
收稿日期:2025-02-18;修订日期:2025-02-26;编辑:武昕普

基金项目:山东省 1:5 万区域水文地质调查(临沂市幅、半程幅、方城幅、大朱保幅、薛庄幅)(鲁勘字[2013]46 号)

作者简介:纪汶龙(1984—),男,山东莒县人,高级工程师,主要从事水工环地质研究工作;E-mail:125273432@qq.com

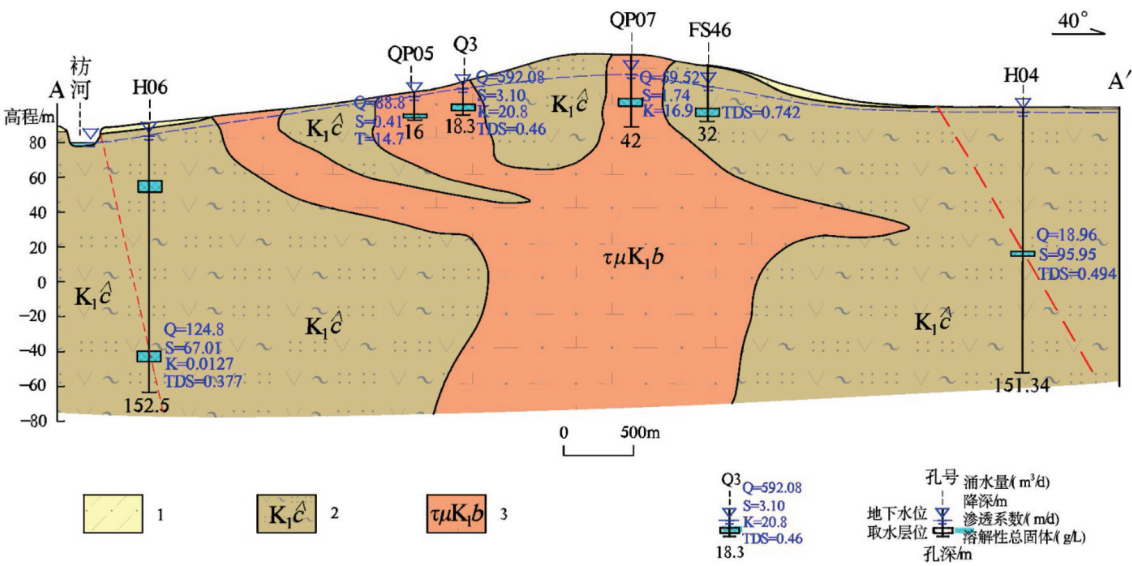
* 通信作者:刘中业(1979—),男,山东费县人,正高级工程师,主要从事水工环地质研究工作;E-mail:273310406@qq.com

①山东省地质调查研究院,中华人民共和国区域地质调查报告(青驼幅、方城幅、半程幅,1:50000),2000 年。



1—松散岩类孔隙含水岩组;2—火山碎屑岩孔隙-裂隙含水岩组;3—官庄群碎屑岩孔隙-裂隙含水岩组;4—潜火山岩裂隙含水岩组;5—官庄群碳酸盐岩裂隙岩溶含水岩组;6—隐伏潜火山岩裂隙含水岩组;7—水文地质探采结合孔及编号;8—简易抽水机民井及编号;9—压性/张性断层;10—水文地质剖面及编号;11—研究区边界。

图 1 方城盆地水文地质简图



1—松散岩类孔隙含水岩组;2—火山碎屑岩孔隙-裂隙含水岩组;3—潜火山岩裂隙含水岩组。

图 2 潜火山岩蓄水构造水文地质剖面图

流的河谷地带,厚度 $<20\text{ m}$,含水层岩性为各类砂层、卵砾石层,多为单层,因厚度较小,富水性整体偏弱,单井涌水量一般 $<500\text{ m}^3/\text{d}$,仅在沂河、沭河沿岸局部地段水量较丰富,单井涌水量 $1\ 000\sim 3\ 000\text{ m}^3/\text{d}$ 。火山碎屑岩类孔隙-裂隙含水岩组在研究区广泛分布,地下水赋存于火山碎屑岩风化裂隙中,富水性很弱^[4],单井涌水量一般 $<50\text{ m}^3/\text{d}$,仅在断层附近富水性增强,单井涌水量可 $>100\text{ m}^3/\text{d}$ 。潜火山岩裂隙含水岩组呈脉状和小岩株状穿插分布于火山碎屑岩中,地下水赋存于潜火山岩的成岩裂隙和层间裂隙中,富水性较好,单井涌水量一般 $>250\text{ m}^3/\text{d}$,最大可达 $900\text{ m}^3/\text{d}$ 。

2 研究方法

本文利用 1:5 万水文地质调查获取的地面水文地质调查、地面物探资料,施工的 13 个水文地质探采结合钻孔岩心及抽水试验资料,18 组已有机民井的简易抽水试验资料,以及 74 组火山岩含水层地下水化学分析数据^①,在对研究区地质、水文地质进行综合分析的基础上,通过对地貌、地层岩性、地质构造条件的研究,分析火山岩体中不同成因裂隙的空间发育规律,了解岩体裂隙发育的非均质性,并对火山碎屑岩孔隙-裂隙含水岩组与潜火山岩裂隙含水岩组的地下水赋存特征、富水特征、水化学特征进行对比分析,确定火山岩分布区有供水价值的蓄水构造,提出合理开发利用建议。蓄水构造是由透水层(岩体)、隔水层(岩体)及补给边界 3 个要素构成的,能够在水循环过程中富集和储存地下水的地质构造^[5-6],蓄水构造理论是基于山区找水实践总结而形成的具有中国特色的应用性成果,一经提出就得到了广泛运用,并在我国缺水地区勘察找水过程中发挥了重要作用^[7-8]。

3 潜火山岩蓄水构造的构成

根据研究区潜火山岩及其围岩火山碎屑岩的分布情况、裂隙发育规律以及地貌特征等,确定潜火山岩蓄水构造三要素的构成情况。首先,潜火山岩为侵入于柔性火山碎屑岩中的脆性岩脉或岩墙,二者岩性特征、裂隙发育规律等差异明显,分别构成了蓄水构造的透水岩体与隔水岩体;其次,方城盆地火山岩分布区以剥蚀平原为主,局部为丘陵微地貌,地势

起伏不大,水位埋深一般 $<10\text{ m}$,包气带为火山岩强风化带,风化裂隙发育,降水入渗补给系数大,构成良好的透水边界^[9],潜火山岩透水岩体除了通过包气带接受大气降水入渗补给以外,还可以通过侧向补给的方式接受周围围岩地下水的补给。由于区内火山岩分布区地貌整体以剥蚀平原地貌为主,地势平坦,地下水的补给以大气降水为主,岩石的裂隙发育情况直接控制其接受大气降水入渗补给的能力和其富水性^[10],研究潜火山岩蓄水构造的富水特征,应先从研究构成蓄水构造各要素岩石的裂隙发育规律入手。

火山碎屑岩裂隙不发育,属于蓄水构造的隔水(弱透水)岩体。研究区火山碎屑岩以莱阳群城山后组火山岩为主,其中城山后组一段岩性主要为安山质凝灰岩、凝灰质砂岩,城山后组二段以安山质火山碎屑岩夹凝灰岩为主,火山碎屑岩的主要火山岩相为喷发-沉积相,属于火山喷发物空落在水体或经再搬运沉积形成^[11],颜色为灰绿色、灰黄色,分选性较好,呈韵律沉积,火山碎屑岩的基质多为火山灰,颗粒细腻,风化裂隙及构造裂隙均不发育,且裂隙张开度差,多由黏土矿物及火山灰充填,不利于地下水的运移与存储。

潜火山岩裂隙较发育,为地下水的运移、存储提供了良好空间,属于蓄水构造的透水岩体。研究区潜火山岩以青山期八亩地组潜火山岩为主,主要岩性包括潜辉石粗安岩、潜角闪粗面岩、潜黑云母粗安岩、潜玄武粗安岩、潜透辉角闪粗安岩等,多呈岩脉状或岩株状侵入于围岩火山碎屑岩中,走向与盆地构造线一致,一般在 $290^\circ\sim 310^\circ$ 之间,潜火山岩宽窄不一,宽度从几米至数百米,潜火山岩脉边缘部位发育碎裂岩带,其宽度不一,部分碎裂岩带宽度可达几十米。潜火山岩以后期侵入的形式穿插于火山碎屑岩中,在潜火山岩岩浆结晶或冷凝过程中,由于热量的散失,熔体冷却收缩产生张应力,使岩体破碎而形成收缩裂隙^[12],收缩缝易张开,多为张性裂隙;潜火山岩与围岩的接触界面处常发育有冷凝边,或具劈理化现象,有的发生自碎,呈角砾状,裂隙十分发育,构成裂隙发育带(图 3)。同时潜火山岩侵入具有多期性,每一期岩浆的侵位过程中常产生向上的拱张

① 山东省地质调查院,山东省 1:5 万区域水文地质调查(临沂市幅、半程幅、方城幅、大朱保幅、薛庄幅)成果报告。

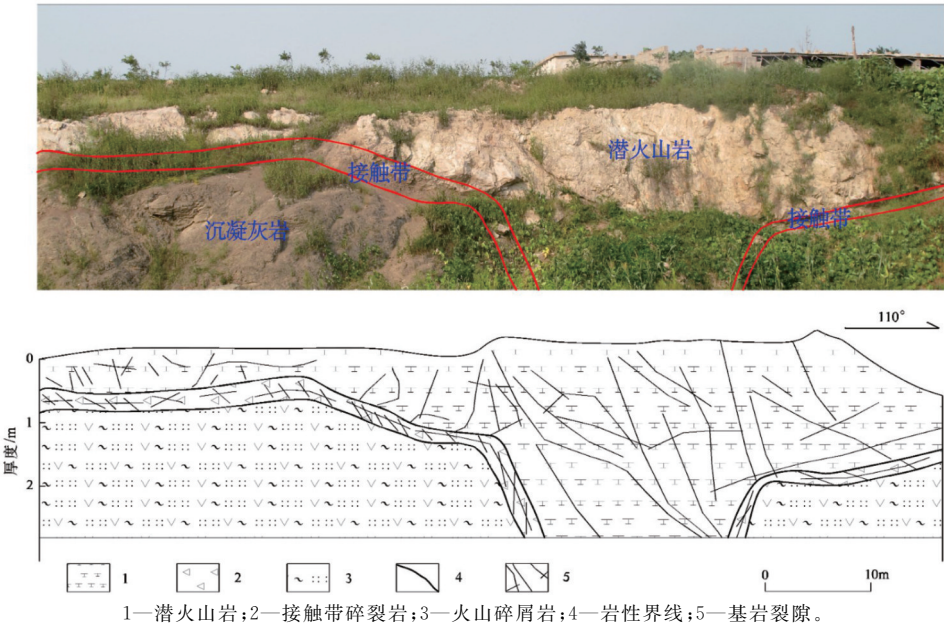


图 3 潜火山岩蓄水构造裂隙发育示意图

力作用^[13],导致早期侵入的岩脉形成一系列拱张裂缝,容易形成多组垂直向上的裂隙密集带^[14-15]。

4 潜火山岩蓄水构造的富水特征

在对潜火山岩蓄水构造各要素岩体裂隙发育规律基础上,通过大量抽水试验工作,分别确定火山碎屑岩及潜火山岩富水性特征,可以进一步确定潜火

山岩蓄水构造富水特征。

4.1 火山碎屑岩弱透水岩体的富水性

研究区施工火山碎屑岩含水层探采结合井 6 眼,井深 101~179.46 m,并进行抽水试验,另外针对火山碎屑岩选取 9 个民井进行简易抽水试验,主要含水段厚度及抽水试验成果数据见表 1。

由于火山碎屑岩易风化呈土状,成岩裂隙及层

表 1 火山碎屑岩孔隙裂隙水含水岩组抽水试验成果表

抽水井类型	编号	井深/m	井径/mm	含水段厚度/m	水位埋深/m	降深/m	单井涌水量/(m ³ /d)	单位涌水量/(m ³ /(d·m))	导水系数/(m ² /d)	备注
探采结合井	H01	175.1	273	15.8	2.59	27.16	220.6	8.12	4.36	构造破碎带
	H02	101	273	0.5	65.01	8.44	7.7	0.91	0.31	
	H03	179.46	273	6.2	8.48	43.83	136.1	3.10	1.47	
	H04	151.34	273	0.5	2.97	80.12	19.0	0.24	0.16	
	H05	150.48	273	1.5	1.86	82.76	101.5	1.23	0.45	
	H06	152.8	80	10.2	8.6	67.01	124.9	1.86	0.55	
民井	HP01	30	110	0.5	1.23	25.70	13.2	0.51	0.61	火山碎屑岩风化裂隙
	HP02	26	125	0.5	7.25	17.91	22.9	1.28	0.48	
	HP03	43	110	3.0	3.98	29.37	64.1	2.18	2.82	
	HP04	24	125	0.5	8.64	14.50	26.7	1.84	1.68	
	HP05	26	110	0.5	5.22	16.80	9.4	0.56	0.65	
	HP06	26	150	3.0	3.98	19.40	43.4	2.24	8.03	
	HP07	26	110	1.0	7.92	13.00	75.6	5.82	3.00	
	HP08	35	110	1.0	4.9	6.82	35.04	5.14	8.28	
	HP09	38	110	2.0	6.52	6.78	63.6	9.38	5.04	

间裂隙均不发育,裂隙张开度差,且多被火山灰或黏土矿物充填,在钻孔施工过程中冲洗液基本不消耗;

抽水试验资料显示,钻孔单井涌水量 7.7~220.6 m³/d,平均值 64.2 m³/d;单位涌水量 0.24~

9.38 m³/(d·m),平均值 2.96 m³/(d·m);导水系数 0.16~8.28 m²/d,平均值 2.53 m²/d。显然火山碎屑岩总体富水性极差,不利于地下水的赋存和运移,其单井涌水量一般<50 m³/d,局部地段受断层影响涌水量>100 m³/d,属于弱透水岩体,依靠其阻水作用将地下水阻挡在透水岩体中,使透水岩体变

成含水岩体。

4.2 潜火山岩透水岩体的富水性

研究区施工潜火山岩含水层探采结合井 7 眼,井深 19.7~188.2 m,并进行抽水试验,另外选取 9 眼民井进行简易抽水试验,含水段厚度及抽水试验成果数据见表 2。

表 2 潜火山岩裂隙含水岩组抽水试验成果表

抽水井类型	编号	井深/m	井径/mm	含水段厚度/m	水位埋深/m	降深/m	单井涌水量/(m ³ /d)	单位涌水量/(m ³ /(d·m))	导水系数/(m ² /d)
探采结合井	Q01	50.4	180	20.6	2.20	10.20	190.8	18.71	12.3
	Q02	30.7	273	4.8	10.10	10.23	234.5	22.92	23.1
	Q03	19.7	180	3.7	4.65	3.10	592.1	190.99	77.0
	Q04	172.8	219	7.8	3.75	3.30	520.8	157.82	75.0
	Q05	155.8	219	5.2	4.98	4.63	125.0	27.00	12.5
	Q06	188.2	219	6.0	3.74	10.80	266.4	24.67	11.6
	Q07	128.3	219	5.0	10.95	25.78	521.3	20.22	22.1
民井	QP01	30	125	2.0	1.05	1.45	183.8	126.79	77.8
	QP02	14	110	2.0	2.9	2.42	98.6	40.76	87.2
	QP03	18	120	7.0	10.10	0.84	220.8	262.86	236.6
	QP04	30	140	3.0	4.94	8.50	169.0	19.88	46.2
	QP05	16	110	2.0	3.41	0.41	88.8	16.59	318.0
	QP06	18	125	4.0	6.04	0.57	177.1	310.74	305.6
	QP07	42	110	1.0	11.44	1.74	59.5	34.21	16.9
	QP08	18	20	2.0	6.26	3.58	124.8	34.86	28.6
	QP09	19	120	2.0	7.83	1.90	176.4	92.84	78.4

潜火山岩较为坚硬,钻孔岩心较破碎,风化裂隙、成岩裂隙及层间裂隙发育,且多为张性裂隙,部分裂隙面上可见方解石晶体及暗红色铁质锈染,裂隙最大发育深度>100 m,钻进过程中冲洗液消耗较为明显,裂隙连通性较好,含水层富水性较好。抽水试验资料显示,钻孔单井涌水量 59.5~592.1 m³/d,平均值 234.4 m³/d;单位涌水量 18.71~310.74 m³/(d·m),平均值 100.1 m³/(d·m);导水系数 11.6~318.0 m²/d,平均值 89.31 m²/d;潜火山岩单位涌水量是火山碎屑岩的 33.8 倍,说明其富水性远大于火山碎屑岩,属于透水岩体。

5 潜火山岩蓄水构造地下水化学特征

本文利用的地下水化学分析数据共 74 组,其中火山碎屑岩数据 57 组,潜火山岩数据 17 组。水质分析结果表明,火山岩含水层地下水整体水质良好,74 组水质样品中仅有 8 组样品溶解性总固体>1 g/L,其中火山碎屑岩孔隙裂隙含水岩组 5 组,潜火山岩裂隙含水岩组 3 组,且全部<1.5 g/L。水化学类型主要以 HCO₃-Ca 型、HCO₃-Ca·Mg 型、HCO₃·Cl-CO₃·Cl-Ca·Mg 型为主,其中

阳离子以 Ca 型、Ca·Mg 型为主,阴离子以 HCO₃型、HCO₃·Cl 型、HCO₃·SO₄ 型为主。

根据水质综合分析,地下水中部分离子含量呈逐渐升高趋势^[16-17],局部地区已经出现部分离子含量超出地下水质量Ⅲ类水标准^[18]的情况。针对 74 组水质分析样品分布及其超标情况进行分析,发现研究区超标水质样品主要集中分布于居民集中聚集区附近,超标项主要以总硬度及硝酸根离子为主,分析原因主要受人为活动影响^[19-20],该部分地下水一般可作为农业灌溉用水使用;而在远离居民区的取样点地下水质量良好,可以作为农村集中供水^[21]水源地进行开采。

根据水化学 Piper 三线图(图 4),发现潜火山岩裂隙含水岩组与火山碎屑岩孔隙裂隙含水岩组地下水在 Piper 三线图上的分布未出现明显分异,说明潜火山岩蓄水构造中透水岩体与弱透水岩体地下水联系密切,水化学成分黏土整体差异不大。根据 Piper 三线图上水质点分布位置判断,火山岩地下水主要在补给区一侧分布,具有径流循环途径短,以大气降水补给为主的特点。

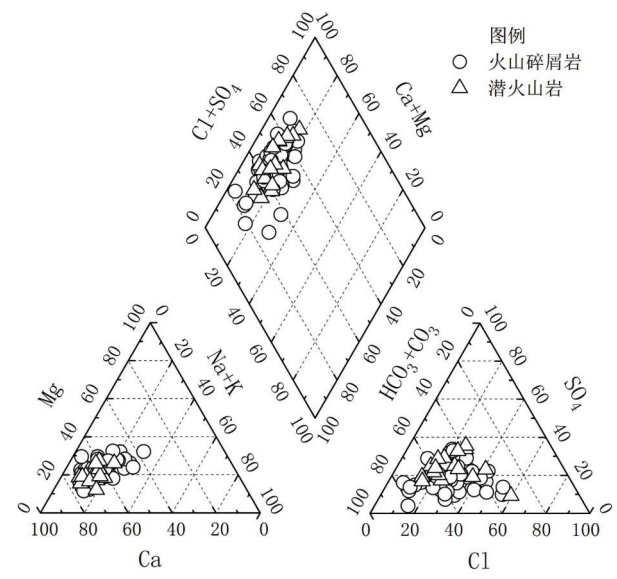


图 4 潜火山岩蓄水构造地下水水化学 Piper 三线图

6 结论

(1)方城盆地白垩纪潜火山岩多呈岩脉状、岩株状穿插到火山碎屑岩中,与周围火山碎屑岩的接触面积大,除了通过包气带接受大气降水入渗补给以外,还可以通过侧向补给的方式接受周围围岩地下水的补给,其成岩裂隙、构造裂隙及风化裂隙发育,且连通性好,有利于地下水的富集与存储;火山碎屑岩裂隙不发育,且多被其风化后的黏土矿物及火山灰充填,连通性差,不利于地下水的富集与存储。

(2)方城盆地潜火山岩与火山碎屑岩的富水性差异明显,前者的钻孔单位涌水量平均值是后者的 33.8 倍,作为透水层和弱透水层共同构成岩脉型潜火山岩蓄水构造。潜火山岩在区域上富水性较为均匀,单井涌水量 59.5~592.1 m³/d,可以作为火山岩缺水地区农业灌溉及农村集中供水水源井的取水目地层。

(3)潜火山岩蓄水构造地下水溶解性总固体一般<1 g/L,特别是部分远离村庄、未受到大面积生活污水及农业面源污染的区域,地下水水质优良,可以作为该地区农村集中供水的重要水源,对解决火山岩缺水地区群众饮水安全问题具有重大意义。

(4)潜火山岩蓄水构造区作为火山岩缺水地区优良的地下水富集区,应当加强对地下水源的保护,防止对地下水的进一步的污染,定期对地下水水质进行检测,以村集体为单位进行集中开采和统一管理。

参考文献:

[1] 贾德旺,赵庆令.沂蒙缺水山区地下水赋存规律及找水定井范例[J].山东国土资源,2016,32(5):55-63.

[2] 纪汶龙,刘中业,朱恒华,等.沂蒙山区中北部侵入岩蓄水构造的富水特征及供水意义[J].山东国土资源,2021,37(12):35-42.

[3] 中国地质调查局.水文地质手册[M].北京:地质出版社,2012.

[4] 刘福臣,程兴奇,黄怀峰.中生界地层找水方法研究[J].人民长江,2008,39(14):37-38.

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

[6] 钱学溥.中国蓄水构造类型[M].北京:科学出版社,1990.

[7] 武选民,文冬光,张福存,等.我国西北人蓄饮用水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.

[8] 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.

[9] 郭峰,崔殿.孤西地区中生界火山岩储层发育机制[J].西南石油大学学报(自然科学版),2016,38(2):39-48.

[10] 侯正良,陈世亮,张栋桂,等.弱含水地层青山组火山岩地下水分布规律及解决缺水问题探讨[J].山东师大学报(自然科学版),1999,6(3):79-84.

[11] 孙天柱,武斌.临沂方城盆地中生代青山群火山岩地球化学特征及地质意义[J].山东国土资源,2020,36(6):14-22.

[12] 穆洪波,张晓红,栾城.火山岩地下水分布规律的探讨[J].地下水,2003,35(6):46-47.

[13] 任作伟,金春爽.辽河坳陷洼 609 井区火山岩储集层的储集空间特征[J].石油勘探与开发,1999,26(4):54-56.

[14] 陈庆春,朱东亚,胡文璋,等.试论火山岩储层的类型及其成因特征[J].地质论评,2003,49(3):286-291.

[15] 彭松,万忠.浅层岩状安山岩区找水[J].地下水,1986(3):53-55.

[16] 张中祥,徐建国,彭玉明,等.山东省地下水污染特征与初步评价[J].山东国土资源,2013,29(12):26-31.

[17] 周同,罗海江,孙聪,等.中国农村饮用水水源地质水质状况研究[J].中国环境监测,2020,36(6):89-94.

[18] GB/T14848-2017.地下水质量标准[S].

[19] 范祖金,魏兴,周育琳,等.典型山地农业区浅层地下水硝酸盐来源及转化过程解析[J].环境科学研究,2023,36(10):1946-1956.

[20] 王现国,刘丕新,务宗伟.农村浅层地下水污染特征及防治对策[J].地下水,2005,27(4):282-283.

[21] 唐漪,卜庆伟,刘健,等.山东省农村集中供水的区域性特征及存在的问题[J].中国农村水利水电,2017(9):215-218.

Analysis on Water Rich Characteristics of Cretaceous Subvolcanic Rocks in Fangcheng Basin in Linyi City

JI Wenlong, XU Jianguo, WANG Wei, XU Hua, LIU Chunhua, LIU Zhizheng, LIU Huafeng, ZHANG Zhuo, LIU Zhongye

(Shandong Institute of Geological Suiveying, Shandong Jínan 250013, China)

Abstract: Through hydrogeological investigation, geological drilling, pumping tests, hydrochemical analysis and other methods, a comprehensive study has been conducted on the enrichment law and hydrochemical characteristics of groundwater in Cretaceous volcanic rocks in Fangcheng basin in Linyi city. It is found that volcanic rocks in Fangcheng basin and the surrounding volcanic debris rocks constitute a vein type volcanic rock water storage structure with water supply significance. The water storage structure of Qianhuoshan rock has moderate water richness, with a unit water inflow of $18.7\sim310.7\text{ m}^3/(\text{d}\cdot\text{m})$ for drilling. The total dissolved solids in groundwater are generally less than 1 g/L. The hydrochemical types are mainly HCO_3-Ca type, $\text{HCO}_3-\text{Ca}\cdot\text{Mg}$ type, $\text{HCO}_3\cdot\text{Cl}-\text{Ca}$ type, and $\text{HCO}_3\cdot\text{Cl}-\text{Ca}\cdot\text{Mg}$ type. The water quality is good, and it can be used as one of the target aquifers for drought resistant well drilling in areas with poor water in volcanic rocks. This discovery is of great significance for solving the problem of centralized water supply sources for rural areas in Yimeng Mountain volcanic rock poor water area.

Key words: Cretaceous; subvolcanic rock; water – storing structures; rich water; Fangcheng basin; Linyi city