

唐春雷,梁永平,韩凯,等.玉泉山泉九龙山—香峪向斜的水文地质意义[J].中国岩溶,2015,34(5):431—437.
DOI:10.11932/karst20150502

玉泉山泉九龙山—香峪向斜的水文地质意义

唐春雷¹,梁永平¹,韩凯¹,纪轶群²,王维泰¹,赵春红¹,申豪勇¹

(1. 中国地质科学院岩溶地质研究所/国土资源部、广西壮族自治区岩溶动力学重点实验室,广西桂林 541004;
2. 北京市水文地质工程地质大队,北京 100195)

摘要:玉泉山岩溶水是北京市城市用水的主要水源。玉泉山泉水的补给,多数人认为来源于鲁家滩区、河北镇区以及军庄区岩溶水共同补给。岩溶水从军庄区(含永定河水的渗漏量)到达玉泉山要越过中间九龙山—香峪向斜。目前其向斜内钻孔所揭露的奥陶系碳酸盐岩顶板最大埋深1 669 m。就军庄区岩溶水是如何穿越九龙山—香峪向斜并补给玉泉山泉的,目前存在以下两种认识:岩溶含水层导水观点、军庄(永定河)断裂导水的观点。本文通过地质结构、地下水水流场、岩溶发育机理以及水质组分含量的分析认为,军庄区岩溶水通过岩溶含水层越过深陷向斜到达玉泉山一带的径流路径存在较大的疑问,进而提出了首先通过上覆永定河松散层潜流过向斜轴部,而后在南部岩溶含水层隆起的红庙岭—八大处背斜轴通过断裂破碎带二次进入岩溶含水层并向玉泉山补给的另一种可能路径。

关键词:玉泉山泉域;径流途径;水化学;地球物理勘探;桥式潜流

中图分类号:P641

文献标识码:A

文章编号:1001-4810(2015)05-0431-07

0 引言

一般认为玉泉山泉水接受鲁家滩区和军庄奥陶系和寒武系裸露区的补给,并将永定河在清水涧—军庄段的河道渗漏补给看作主要来源之一^[1]。关于清水涧—军庄岩溶水以何种途径补给玉泉山泉没有确切的定论。陈雨孙等^[1]提出北京西山九龙山—香峪向斜的奥陶寒系武灰岩层是一个深埋地下千米的独立的储水和输水构造。向斜中奥陶寒系灰岩水,在西部军庄地区接受永定河水的大量渗漏补给后,先是以潜水形式,然后即以承压水形式形成深埋的地下径流,通过千米的向斜核部向东北及东南排泄(图1)。不同观点,杨平等^[2]认为军庄地区与玉泉山间斜列着九龙山—香峪向斜,奥陶寒系灰岩埋深逾千米,不可能循深大向斜底部直接补给玉泉山泉及平原地区。

但杨平等没有给出明确补给途径,认为可能存在军庄(永定河)断裂,其为良好的导水通道。本文在前人资料基础上,通过地质结构、物探、水化学等方式探讨研究九龙山—香峪向斜的水文地质意义,分析清水涧—军庄岩溶水补给玉泉山泉的另一种途径。多种补给途径的确定,能够为玉泉山泉域水资源的评价与保护提供科学参考。

1 研究区概况

玉泉山泉的出露明显受构造影响,该泉流域范围包括西山鲁家滩及军庄两个灰岩分布区。泉域西北边界为大台煤矿—安家庄村—温泉镇一带,其水文地质性质为地表分水岭边界以及外源水入口边界。东北边界可分为三段,第一段从鹫峰向东过北安河乡周

资助项目:地质调查工作项目“北方岩溶区水文地质环境地质调查示范”(1212011220940);“大石河背斜岩溶水系统均衡研究与可持续开采量预测评价”(121237128100221);北京市岩溶地下水勘查评价工程(BJYRS-ZT)

第一作者简介:唐春雷(1984—),男,助理研究员,从事中国北方岩溶地下水调查与研究工作。

通讯作者:梁永平(1962—),男,研究员,长期从事中国北方岩溶地下水调查与研究工作。E-mail:lyp0261@karst.ac.cn。

收稿日期:2015-03-25

家港村到大牛房一带,北侧为阳坊岩体,碳酸盐岩与侵入岩直接接触,为隔水边界;第二段从大牛房村向南东到东北旺村一带,为深埋滞流性隔水边界;第三段从东北旺村向北东到孙河断层新的白庙村一带,为含水层深埋滞流性隔水边界。系统东部边界为孙河断层,具体为白庙村—黄庄高丽营断裂南七家村一带。南部东段边界从七家村向南西到房山区坨里镇晓幼营村一带,为黄庄—高丽营断层,为隔水边界。南部中段边界从黄庄—高丽营断层大致到晓幼营村

一带与八宝山断层相交,再向西以八宝山断层划定玉泉山泉岩溶水系统边界,该段构成隔水边界。西部为地表水分水岭边界。

九龙山—香峪向斜为一复式向斜,轴的走向为北东 60°,轴长逾 30 km,两翼地层并不对称。北翼由奥陶系和寒武系,南翼由(红庙岭—八大处背斜)二叠系组成^[1,3~4](图 1),钻孔揭露碳酸盐岩埋深在 1 421~1 690 m(轴部南侧),向南八大处背斜碳酸盐岩埋深在 500~820 m,最浅约 481 m^[5~10]。

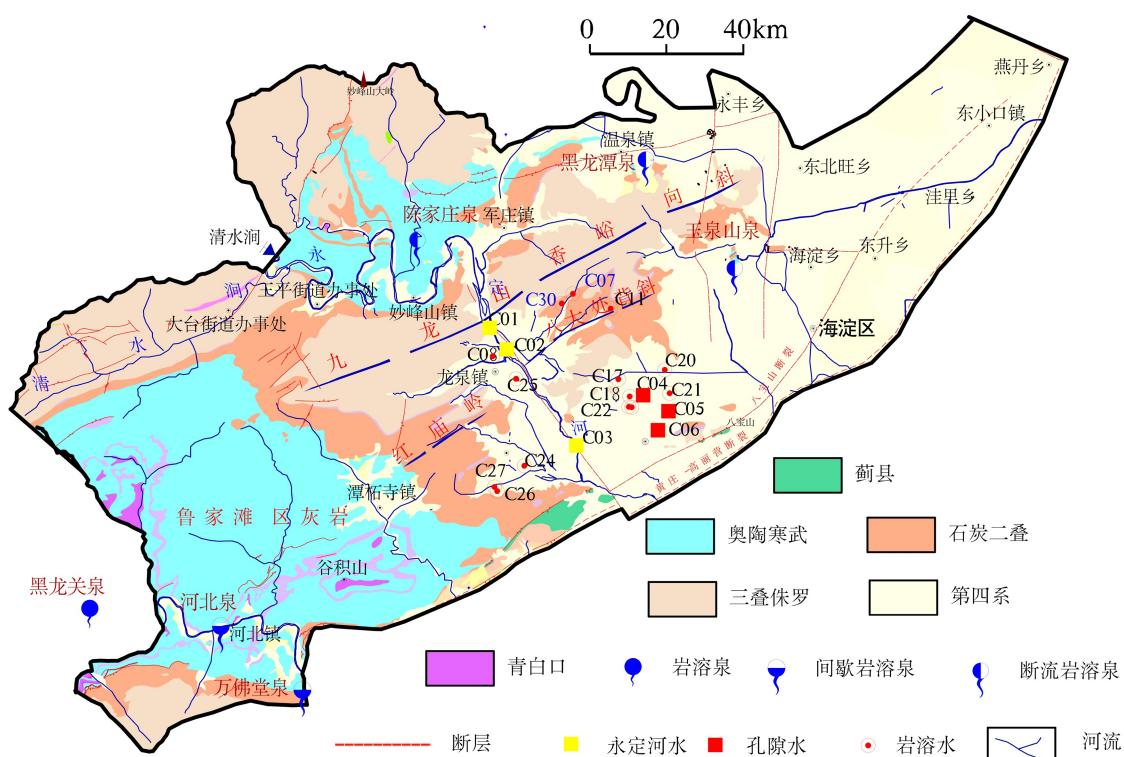


图 1 北京玉泉山泉域水文地质图

Fig. 1 Hydrological map of Yuquanshan spring area in Beijing

2 九龙山向斜地质结构

为查明地质结构,沿永定河从军庄到燕山水泥厂部署 16 km 长物探线,采用大地电磁测深(MT)与可控源音频大地电磁测深(CSAMT)方法测定,显示向斜轴核部奥陶寒武灰岩深度超过 2 000 m;发现 5 条低阻线性隐伏断裂破碎带(图 2、3),其中可能包括北西向永定河断层。

从区域构造上本区具有发育断裂构造的地质基础,因为该区属于由王平背斜、九龙山—香峪一大梁向斜、红庙岭—八大处背斜、石门营背斜等褶皱构成的门头沟复背斜带内,这些褶皱地层常以高角度甚至倒转的形态产出,在强烈褶皱过程中,柔性地层则以

厚度和产状变化形式释放应力,而脆性岩石将沿剖面 X 节理以断层破裂形式体现。目前地面调查均未发现明显断裂(包括永定河断层),但钻孔揭露情况则有所体现,如潭峪钻孔 C07(图 1)直接揭露到断层,分别在 840 m 和 1 699 m 处 2 次揭露奥陶系碳酸盐岩;沿潭峪钻孔平行于主构造线向南西约 2.3 km 的南宫井 C30,揭露奥陶系碳酸盐岩埋深 1 421 m,但南东 1~2 km 范围内的所有钻孔揭露深度迅速抬升至 481~820 m,同样表明其间断层的存在。但该断裂在 1:5 万地质图中均未标出,本次工作中追踪均未见露头。这些隐伏断裂破碎带可能成为岩溶水有利的导水通道。

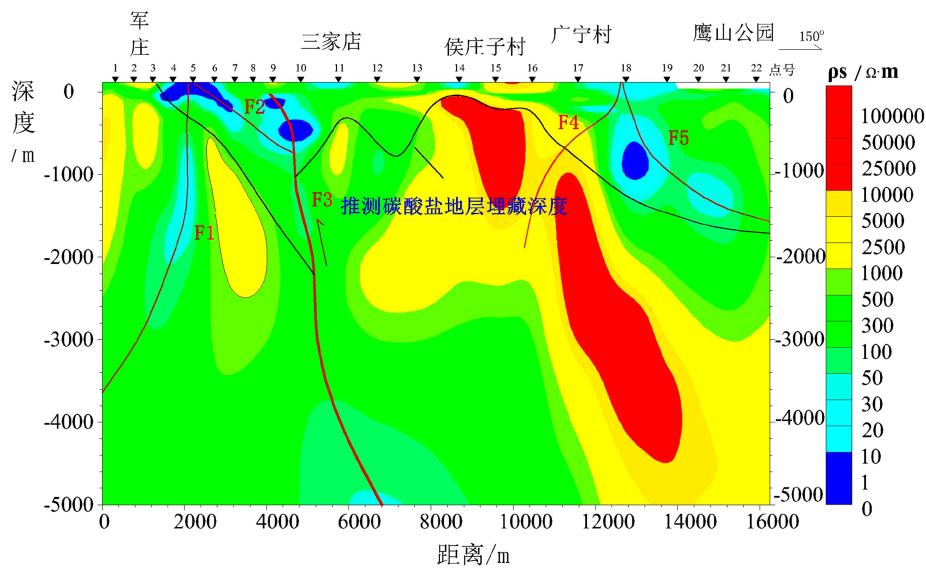


图2 大地电磁测深(MT)反演视电阻率断面

Fig. 2 Apparent resistivity cross section of magnetotelluric (MT) sounding inversion

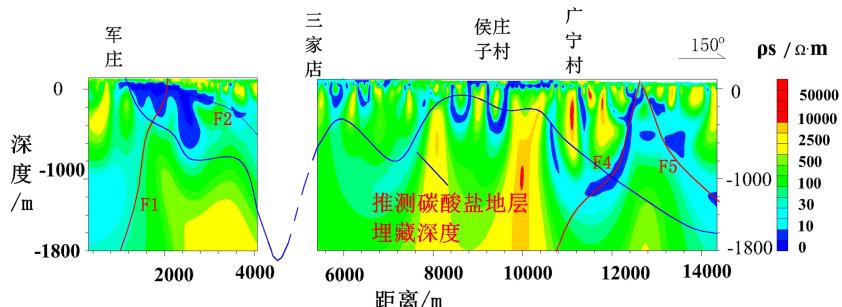


图3 可控源音频大地电磁测深(CSAMT)二次反演视电阻率断面

Fig. 3 Apparent resistivity cross section of controlled source audio magnetotelluric (CSAMT) second inversion

3 九龙山—香峪向斜岩溶水补给玉泉山泉

3.1 玉泉山区岩溶水接受军庄区补给

目前初步统计的泉域岩溶水开采量为8 600万 m^3/a 。根据前人资料,90年代计算的泉域岩溶水补给量为9 447.18万 m^3/a ,其中鲁家滩区的补给量为2 245.67万 m^3/a 。单纯依靠鲁家滩区的补给是远远不足以维持玉泉山泉水的历史流量(最大年平均流量1.6 m^3/s)以及北京西山山前平原区岩溶水多年大规模的开采量的。

永定河西上游来水方向的样品中 Na^+ 含量均小于15 mg/L,永定河水 Na^+ 含量大于60 mg/L。而泉域内 Na^+ 含量大于20 mg/L的水样(其中包括永定河水、与永定河水相关的孔隙地下水以及深埋于千米以下的岩溶水)沿永定河分布并在九龙山向斜以南侧向东北玉泉山方向延伸(图4),深埋于2 000 m以下的岩

溶水如果没有接受来自高 Na^+ 水源的补给, Na^+ 含量不可能大于20 mg/L。大量水样 Na^+ 含量大于20 mg/L,证明玉泉山泉域接受了来自军庄碳酸盐岩裸露区的降水入渗,特别是永定河高 Na^+ 水大量的渗漏补给。

3.2 不通过向斜深部碳酸盐岩含水层通道径流的证据

3.2.1 等水位线

2013年等水位线沿九龙山向斜轴形成向北东突出的岭脊。陈雨孙等^[1]认为西部军庄地区接受永定河水的大量渗漏补给后,先是以潜水形式,然后即以承压水形式形成深埋的地下径流,通过千米的向斜核部向东北及东南排泄。2013年等水位线在军庄灰岩区向东径流,通过九龙山—香峪向斜后向南向东径流(图5)。此情况否定了通过深埋碳酸盐含水层向南径流的观点。

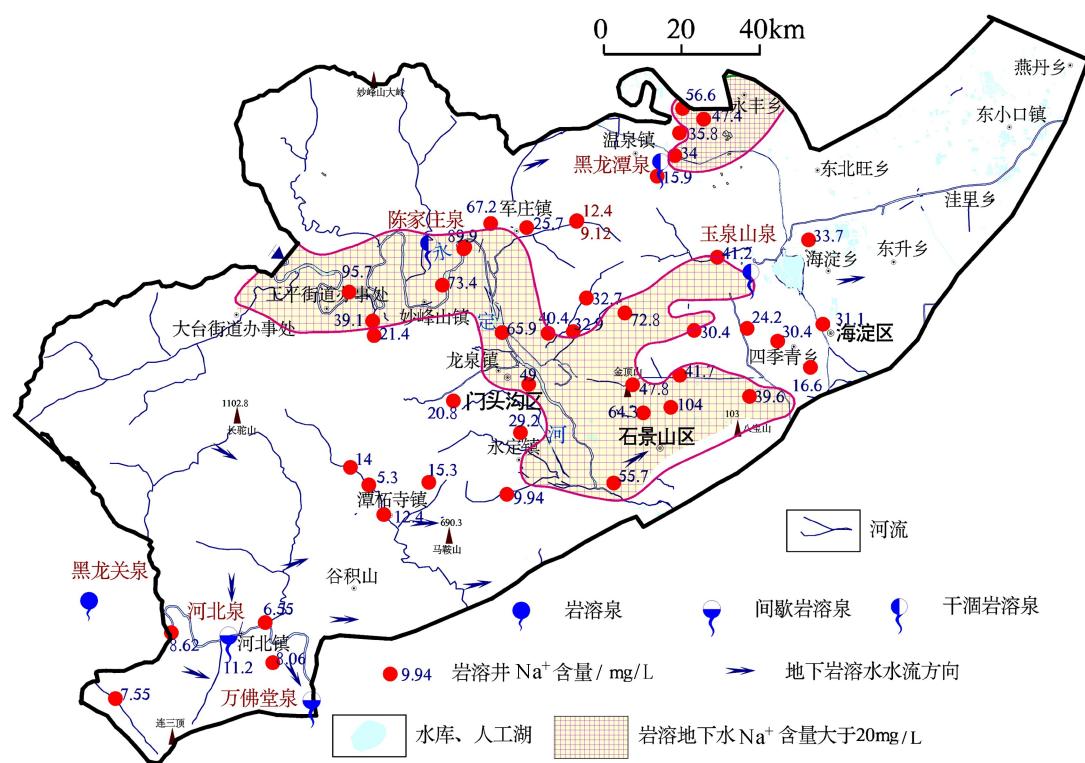
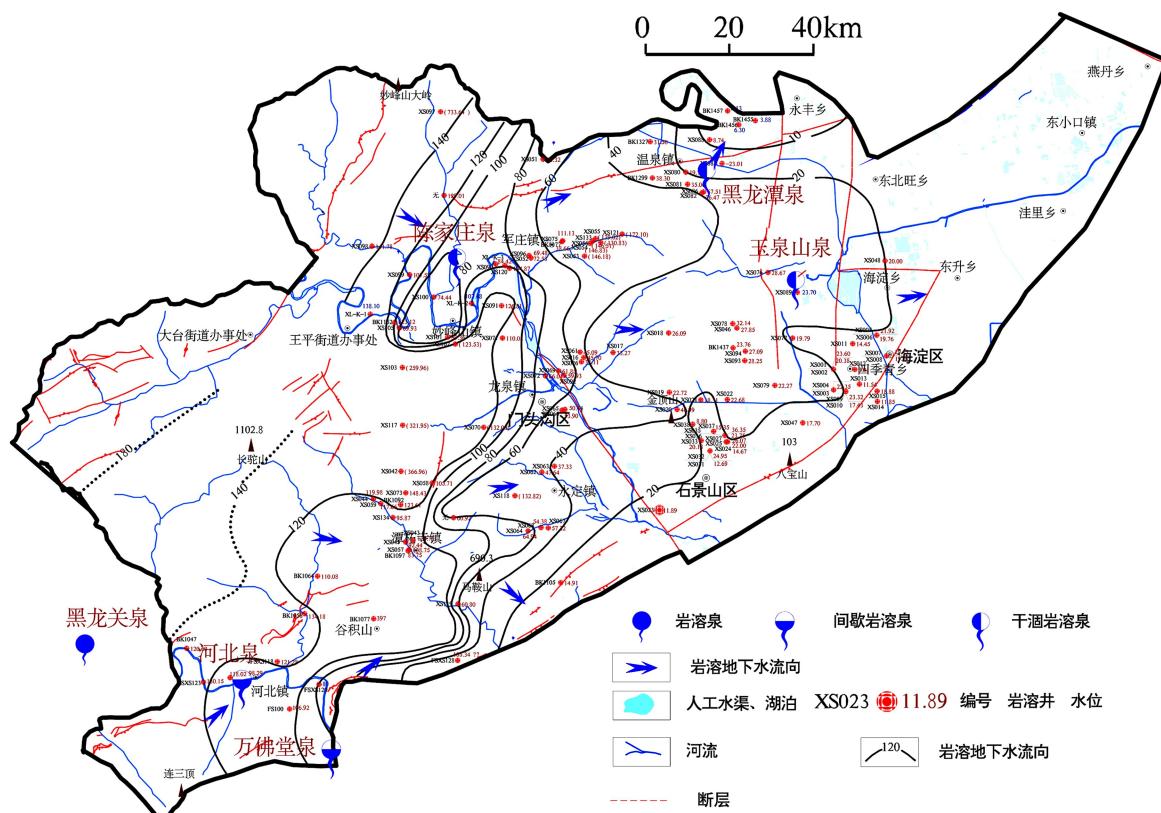
图 4 玉泉山泉域 Na^+ 含量分布图Fig. 4 Map showing Na^+ content distribution in the Yuquanshan spring area

图 5 玉泉山泉域 2013 年岩溶地下水水位等值线图

Fig. 5 Contours of karst groundwater level in the Yuquanshan spring area in 2013

3.2.2 水化学特征

如果军庄地区接受永定河水的大量渗漏补给后, 经过深达2000 m以上的深循环, 岩溶水水温不可能维持在15℃左右(表1)。TDS地下水没有深循环的迹象, 如果通过深度循环, 水温与TDS应该相差较小。与此同时, 大致在五里坨—黑石头的八大处背斜轴部, 形成水温在15℃以上的相对高值区, 而向南到杨庄等碳酸盐岩埋深在1200 m以上的杨庄一带水温在15℃以下。这说明五里坨—黑石头的八大处背斜轴部接受了较高温度的水补给。由于取样时间为夏季, 推测为上层第四系、石炭系孔隙水。

3.2.3 岩溶发育规律

岩溶水的溶蚀能力主要来自空气特别是表层土壤微生物新陈代谢形成的CO₂, 一般通常情况下, 会随着水的循环深度加大而降低, 因此出现深部岩溶较浅部弱的普遍规律^[11-16]。本区岩溶水单位涌水量与岩溶含水层埋深的统计关系分析也进一步证明了这

一点(图6), 图中可以看出, 当含水层埋深大于2000 m时, 统计意义上的单井涌水量将降至10 m³/(d·m)以下, 很难形成有利的导水通道。

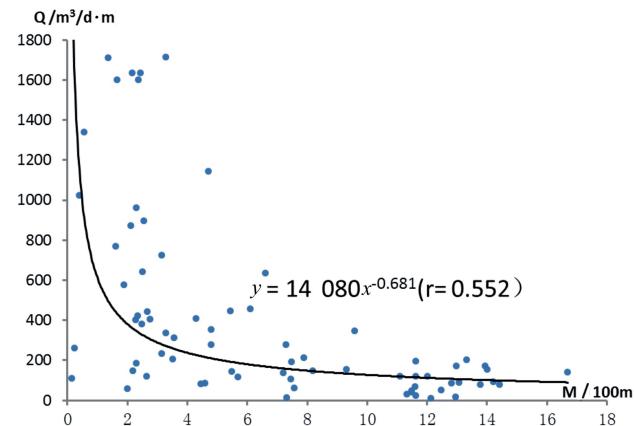


图6 2012年玉泉山泉域岩溶水井单位涌水量(Q)与碳酸盐岩埋深(M)关系图

Fig. 6 Karst well unit inflow (Q) versus carbonate burial depth (M) in Yuquanshan spring area in 2012

表1 九龙山向斜南侧岩溶水水质主要含量汇总表

Table 1 Summary of main content of karst water in the south of Jiulongshan syncline

类型	编号	位置	水温/℃	TDS/mg/L	Na ⁺ /mg/L	取样时间
永定河水	C01	三家店水库坝上水库水	10.20	559.0	65.90	2012/11/2
	C02	三家店水库坝下水库水	9.00	535.0	72.80	2012/11/1
	C03	石景山区石景山麻峪村北永定河水	21.14	508.5	73.32	2013/6/6
石景山区孔隙水	C04	石景山区阜石路北侧6号水源井	17.80	1 056.0	104.00	2012/9/4
	C05	石景山首钢工学院校内东侧38#井	16.90	932.0	76.60	2012/8/3
	C06	石景山杨庄小区	17.40	955.0	86.50	2012/8/3
向斜南永定河东侧含水层深埋岩溶水	C07	*石景山区五里坨镇潭峪井	16.30	366.6	33.54	2013/6/6
	C08	*石景山区五里坨镇潭峪井	16.20	350.5	33.40	2013/8/13
	C09	*石景山区五里坨镇潭峪井	16.10	476.0	32.70	2012/9/4
	C10	*门头沟区三家店西老店	15.02	644.5	104.80	2013/6/20
	C11	*石景山区五里坨供水厂	15.60	461.0	32.90	2012/9/4
	C12	*石景山区五里坨供水厂	15.47	316.7	29.95	2013/6/20
	C13	*石景山区五里坨定向安置房小区	15.14	365.2	37.20	2013/6/20
	C14	*石景山区五里坨镇板凳沟村	15.00	681.0	72.80	2012/9/4
	C15	*石景山区五里坨镇黑石头村	15.80	439.0	23.70	2012/9/4
	C16	*石景山区隆恩寺路东	15.90	524.0	40.40	2012/9/4
含水层深埋岩溶水	C17	石景山黄南苑小区3#井	14.10	524.0	40.80	2012/8/3
	C18	石景山区阜石路北侧5号水源井	14.50	497.0	32.60	2012/9/4
	C19	石景山区阜石路南24号井	14.30	651.0	62.60	2012/9/4
	C20	石景山区刘娘府定向安置房工地	14.70	558.0	47.80	2012/9/4
	C21	石景山苹果园大街与苹果园路交叉口	14.77	378.1	39.99	2013/6/20
	C22	石景山区首钢杨庄小学北侧	14.07	398.0	35.61	2013/6/20
	C23	石景山区西山枫林南侧绿地庙旁边	14.20	532.0	41.70	2012/9/4
	C24	石景山首钢工学院校内东侧5#井	18.10	829.0	73.10	2012/8/3
含水层深埋岩溶水	C25	石景山杨庄路口西25号井	14.50	649.0	64.30	2012/9/4
	C26	石景山杨庄小区	14.10	512.0	32.40	2012/8/3

续表 1

类型	编号	位置	水温/℃	TDS/mg/L	Na ⁺ /mg/L	取样时间
向斜南永定河西侧含水层深埋岩溶水	C24	门头沟区永定滨河园小区西侧	14.82	601.2	58.17	2013/6/20
	C25	门头沟滨河世纪广场	14.60	612.0	49.00	2012/8/8
	C26	门头沟滨河世纪广场	13.99	445.7	52.86	2013/7/20
	C27	* * 门头沟区永定苛萝坨村	16.84	306.9	10.65	2013/6/20
		* * 门头沟区永定镇石门营村	17.72	290.1	13.69	2013/6/20

注:表中岩溶水含水层埋深从 481~1 669 m, *八大处背斜轴部样品, **永定河西上游来水方向的样品。

3.3 补给玉泉山泉的方式

玉泉山区岩溶水显然得到了军庄区碳酸盐岩裸露区降水入渗和永定河水渗漏的补给,但通过九龙山向斜深部含水层导水的路径不能被岩溶水流场、水温以及岩溶发育机理的证据所支持,必然还存在其他的导水通道。本区永定河水直接穿越向斜,河川冲洪积层是良好的导水层,河川宽度在 200~500 m,厚度在三家店水库以上一般为 15 m 左右,向下游逐渐增大,到石景山以下增至 70~100 m,五里坨一带钻孔

揭露的最大厚度在 40 m 左右,它与断裂破碎带直接接触,因此,认为军庄区岩溶水是通过河川冲洪积层导过九龙山向斜,并在三家店水库及下游的八大处背斜碳酸盐岩隆起区通过断裂破碎带二次进入碳酸盐岩含水层,完成桥式连接九龙山向斜两侧岩溶水的转化过程的(图 7)。

河川冲洪积层桥式连接九龙山向斜两侧岩溶水的转化,只是补给玉泉山泉的一种方式,不能完全排除九龙山向斜深部含水层导水的途径。

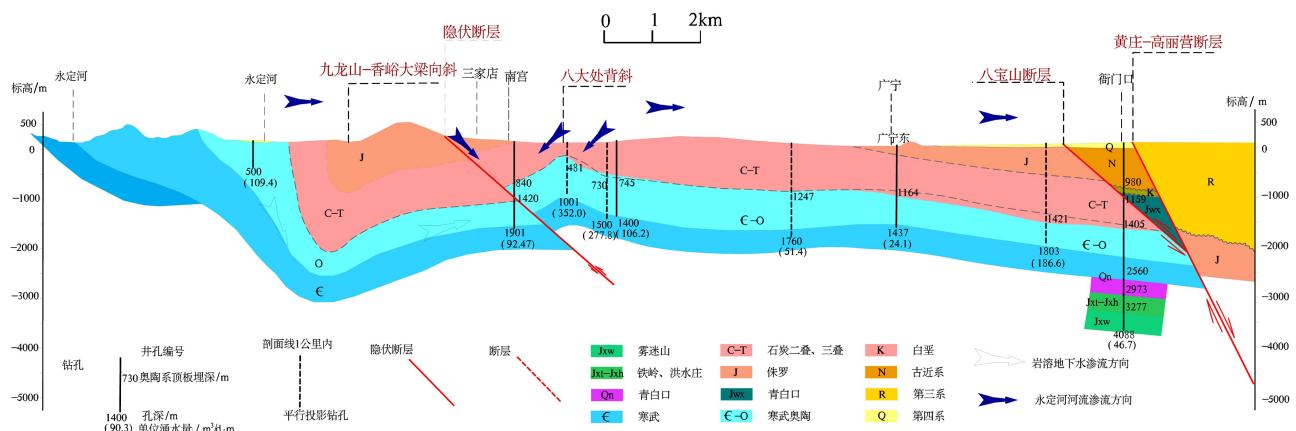


图 7 永定河渗漏补给径流方向图

Fig. 7 Map showing runoff directions of recharge to leakage of Yongding river

4 结 论

(1)物探结果表明,军庄至三家店之间的九龙山向斜核部碳酸盐岩埋藏最大深度在 2 000 m 以上,伴随九龙山向斜褶皱带形成该区发育密集的低阻断裂破碎带。

(2)岩溶水位流场、水温等水化学特征以及与岩溶发育机理相关的单井涌水量在 2 000 m 以下降至 10 m³/d·m 以下的统计结果不支持军庄岩溶水通过九龙山向斜下部岩溶含水层径流补给玉泉山区岩溶水的观点。

(3)军庄碳酸盐岩裸露区补给的岩溶水通过上覆永定河松散层越过九龙山向斜,在三家店水库下游的八大处背斜轴部一带断裂破碎带二次导入下伏灰岩含水层是一种可能的越过九龙山向斜的途径。

永定河的渗漏补给是一个复杂的水文地质问题,军庄区碳酸盐岩裸露区降水入渗和永定河水渗漏的补给方式有多种,主要有九龙山向斜深部含水层导水、军庄(永定河)断裂、本文的桥式连接九龙山向斜两侧岩溶水。各种补给方式的补给量多少,各种补给量水化学对玉泉山泉域水化学的影响还需要进一步研究。

参考文献

- [1] 陈雨孙,马英林.论永定河水通过西山对北京市地下水的补给[J].水利学报,1981,6(3):11—12.
- [2] 杨平,侯井岩,高润华.论北京玉泉山泉补给源:北京西山山前奥陶系岩溶水径流特征[J].水文地质工程地质,1984,(2):15—19.
- [3] 北京市地质矿产勘查开发局,北京市水文地质工程地质大队.北京地下水[M].北京:地质出版社,2008:102—108.
- [4] 北京市地质矿产局.北京市岩石地层[M].北京:中国地质大学出版社,1996.
- [6] 何斌,徐义刚,王雅玲,等.北京西山房山岩体岩浆底辟构造及其地质意义[J].地球科学,2005,30(3):298—308.
- [7] 王蕊,陈斌,柳小明.北京西山地区髫髻山组和东岭台组火山岩的地球化学特征与岩浆起源[J].高校地质学报,2007,13(3):603—612.
- [8] 葛永刚,魏明建.北京西山末次间冰期植被演化与环境变迁研究[J].地质科技情报,2008,27(6):5—12.
- [9] 刘庆余.北京西山的地质研究及其地质实习基地的历史回顾
- [10] 李伍平,路凤香,李献华.北京西山晚侏罗世粗安岩的成因及其地质意义[J].岩石矿物学杂志,2001,20(3):247—254.
- [11] 唐健生,韩行瑞,李庆松,等.山西岩溶大泉水文地球化学研究[J].中国岩溶,1991,10(4):262—276.
- [12] 王晓红,刘文臣,沈媛媛,等.北京西山岩溶水应急水源地水文地质特征及开采潜力分析[J].中国岩溶,2011,30(2):216—221.
- [13] 郑秀清,樊贵盛.冻融土壤水热迁移数值模型的建立及仿真分析[J].系统仿真学报,2001,13(3):308—311.
- [14] 郑秀清,陈军锋,邢述彦.不同地表覆盖下冻融土壤入渗能力及入渗参数(英文)[J].农业工程学报,2009,25(11):23—28.
- [15] 梁永平,王维泰,赵春红,等.中国北方岩溶水变化特征及其环境问题[J].中国岩溶,2013,32(1):34—42.
- [16] 韩行瑞,梁永平.北方岩溶地区水资源科学调配:以娘子关流域为例[J].中国岩溶,1989,8(2):127—142.

Hydrogeological significance of the Jiulongshan-Xiangyu syncline at Yuquanshan spring

TANG Chun-lei¹, LIANG Yong-ping¹, HAN Kai¹, JI Yi-qun²,
WANG Wei-tai¹, ZHAO Chun-hong¹, SHEN Hao-yong¹

(1. Institute of Karst Geology, CAGS / Key Laboratory of Karst Dynamic, MLR&GZAR, Guilin, Guangxi 541004, China;

2. Beijing Institute of Hydrogeology and Engineering Geology, Beijing 100195, China)

Abstract Karst water of the Yuquanshan is one of the main sources of water supply for the city of Beijing. It is commonly accepted that the Yuquanshan spring was originated from the Lujitan, Hebei Township and Junzhuang areas. The karst water (including the leakage of the Yongding river) of the Junzhuang area crosses the Jiulongshan-Xiangyu syncline before it reaches the Yuquanshan spring. Boreholes drilled in this syncline reveal that the maximum depth of the top of the Ordovician carbonate rock is 1,669 m. In respect of how the karst water of the Junzhuang area traversing the Jiulongshan-Xiangyu syncline and recharging Yuquanshan spring, there are two different points of view. One is the karst aquifer that conducts groundwater at depth, and the other is that the karst water is transmitted by the Junzhuang (Yongding river) fault. Based on analyses of the geological structure, groundwater flow field, the mechanism of karst development and water quality composition, on the one hand, we question the point that the karst water of the Junzhuang area runs through karst aquifers in deep syncline and arrives the Yuquanshan spring. On the other hand, we suggest that there is another possible flow path that firstly the karst water of the Junzhuang area flows through the unconsolidated layers overlying the Yongding river across the synclinal axis. Then in the south via the fault zone the water reenters karst aquifer across the uplift structure in the vicinity of the Hongmiaoling-Badachu anticline axis, which ultimately forms the source of the Yuquanshan spring.

Key words Yuquanshan spring, runoff channel, water chemistry, geophysical prospecting, bridge-like subsurface flow

(编辑 黄晨晖)