

地球化学模拟在南北古脊梁岩溶裂隙水系统划分中的应用

余秋生^{1 3)} 张发旺²⁾ 韩占涛²⁾ 于艳青^{1 3)} 薛忠岐^{1 3)}

1) 中国地质大学 北京 100083 ; 2) 中国地质科学院水文地质与环境地质研究所 ,
河北 石家庄 050061 ; 3) 宁夏地质工程勘察院 宁夏 银川 750021

摘 要 南北古脊梁是贺兰山经向构造体系的核心部分 , 为一条 SN 向的震旦系、寒武系、奥陶系地层隆起。寒武系、奥陶系地层主要为灰岩和白云岩 , 其间赋存有较丰富的岩溶裂隙水。由于埋深大 , 构造情况复杂 , 南北古脊梁的岩溶裂隙水的分布和径流规律至今仍不是十分清楚。本文利用地球化学模拟的方法 , 对南北古脊梁深埋岩溶裂隙水的系统划分和各部分之间的水力联系进行了研究。认为 : 系统 I 和系统 II 的边界应当在严湾和吕套之间 , 其边界为一条由第四系地下水补给形成的 , 地下水位较高的可移动地下分水岭 ; 系统 I 和系统 III 之间存在水力联系 , 系统 I 北端排泄口太阳泉的水量有 46% 来自系统 III 的补给 , 在萌城泉和太阳泉之间可能存在一条导水断层形成的岩溶裂隙水的强径流带。

关键词 南北古脊梁 岩溶裂隙水 地球化学模拟

Application of Geochemical Modeling in the Plotting of Karst Fissure Water Systems in the North-south Archaic Uplift , Ningxia , China

YU Qiusheng^{1 3)} ZHANG Fawang²⁾ HAN Zhantao²⁾ Yu Yanqing^{1 3)} XUE Zhongqi^{1 3)}

1) China University of Geosciences , Beijing , 100083 ; 2) Institute of Hydrogeology and Environmental Geology , CAGS ,
Shijiazhuang , Hebei 050061 ; 3) Ningxia Institute of Geo-engineering and Reconnaissance , Yinchuan , Ningxia , 750021

Abstract Northward archaic uplift is the central part of Helan Mountain Northward tectonic system , it's a uplift of Sinian , Cambrian , and Ordovician stratum. There is abundant karst fissure water in the limestone and dolomite of Cambrian and Ordovician. For the reason of deep embedding and complex tectonic condition , scatter and flow condition of the karst fissure water is still obscure. In this paper , geochemical modeling method was used to fix the border between karst fissure water systems and the relationship of different systems. The modeling results show that : the border between karst fissure water system I and II is between Yanwan and Lvtao , the border is a moveable groundwater dividing crest , and is recharged by quaternary groundwater ; There is maybe strong groundwater flow along a water conductive fault between Sun spring and Mengcheng spring , about 46% of the groundwater of Sun spring is from Mengcheng spring by the connection of this water conductive fault.

Key words Northward Archaic uplift karst fissure water geochemical modeling

中国北方的岩溶可以分为裸露型、覆盖型和埋藏型 , 其中埋藏型岩溶占中国北方岩溶面积的 72.7%。埋藏型岩溶中发育的孔、缝、洞其空间多为油、气、水的储集场所 , 但由于埋藏深度大 , 露头少 , 一般其分布范围和地层结构难以准确勾画(于浩然 , 1993)。

南北古脊梁地区是一个典型的埋藏型岩溶分布区 , 其深埋岩溶裂隙水资源早就为水文地质学家所

关注。《宁夏回族自治区地下水资源评价报告》^①提到南北古脊梁地区“不仅分割着东西两侧不同的储水盆地 , 其本身也可能是一个狭长的裂隙、岩溶储水带”。该区的深埋岩溶地层由于埋藏深 , 露头少 , 又处于鄂尔多斯板块和北祁连加里东褶皱带的复合交接部位 , 构造分布十分复杂 , 虽然近几年利用钻探、物探、遥感等多种方法对这里的构造情况和岩溶裂隙水进行了勘察 , 但对其补、径、排关系 , 水资源量分

本文由地质调查项目“宁南水资源综合评价与合理开发利用”(编号 DKD2002005-1)资助。

改回日期 2005-05-29 , 责任编辑 : 宫月萱。

第一作者 : 余秋生 , 男 , 1963 年生 , 高级工程师 , 水文地质工程地质专业 , E-mail : 11998910@sina.com。

① 宁夏地质工程勘察院第一水文地质队。1984. 宁夏回族自治区地下水资源评价报告。

布和水化学演化规律等都还没有一个确定的结论。本文利用地球化学反向模拟的方法,从水-岩相互作用的角度对研究区内岩溶裂隙水系统划分中的几个问题进行了探讨。

1 研究区概况

南北古脊梁是一条由震旦系、寒武系、奥陶系组成、走向 SN,宽约 30 余公里的“南北脊梁地带”,为贺兰山经向构造体系的核心部分。自盐池县南部向南到甘肃省平凉市,延展约 150 km,其两侧因受基底断裂所控制,两侧的中生代地层迥然不同。其北部边界以断层形式与马家滩断陷带接触,南部边界在甘肃平凉的颀河一带,在该地奥陶系灰岩地层埋深突然增大而尖灭。东部边界车道-阿色浪大断裂总体为一条向西倾伏的逆冲推覆断裂,西部边界牛首山-固原大断裂为高角度断层,时而西倾时而东倾,多表现为东盘上升,西盘下降。在东、西两条大断裂之间还存在多条大断裂和次级断层。主要的断裂有贺家川-古城断裂和青龙山-彭阳大断裂,这两条断裂前者导水后者阻水,对岩溶裂隙水系统的划分和含水层分布也起着重要作用(宁夏回族自治区地质矿产局,1990)。其中南部属于中温带半干旱区,北部属于温带干旱区,年降水量 300~470 mm,降水量分布从南向北逐渐减少。雨季集中在 7~9 月,汛期 7~9 月的雨量的 50%~70%,蒸发量达 1 700~2 200 mm。

该地区奥陶系灰岩、泥质灰岩地层分布面积广,厚度大,青龙山地区厚度大于 1 000 m,北部中生代地层大部分缺失,只在中部的炭山地区沉积有侏罗系页岩(含煤)地层。云雾山以南,白垩系砂岩地层呈北薄南厚的楔状直接覆盖在奥陶系灰岩地层之上。第三系砂岩、泥岩地层分布不连续,在北部直接覆盖在奥陶系灰岩之上,在南部直接覆盖在白垩系砂岩之上。地表多被黄土地层覆盖,黄土下伏第三系地层不连续,厚度几米到上百米。该地区的主要含水层有:①黄土地层孔隙裂隙含水层:南北古脊梁地区广泛分布黄土地层,但地下水只在有利于地下水汇集的负地形地区分布,局部地区黄土直接或间接覆盖在灰岩地层之上,黄土孔隙裂隙水渗漏补给岩溶地下水;②白垩系裂隙孔隙含水层:只在云雾山以南地区分布,白垩系裂隙、孔隙水水质良好,直接覆盖在古生界灰岩地层之上,二者之间水力联系密切;③下古生界青白口系、寒武系、奥陶系碳酸盐岩含水层:这套地层在整个南北古脊梁地区均有分布,并且厚度很大,是南北古脊梁地区的主要含水层,其

特点是岩溶化程度较低,按岩溶化程度(洞隙岩溶型、裂隙岩溶型、岩溶裂隙型)应属岩溶裂隙型。

由于受多期构造活动的影响,南北古脊梁内部发育多条 SN 向断裂。这些南北向发育的断裂及其次级断层和裂隙构成的网状结构构成了南北古脊梁岩溶裂隙水和砂岩裂隙、孔隙补给和径流的通道。

2 样品的采集及分析方法

样品采集于 2000 年 9~10 月(图 1)。深层岩溶裂隙水和砂岩裂隙水的样品在采样前一般都进行了连续抽水,少数在采样时抽水 15 min 以上再进行采样。温度和 pH 值等参数在现场测定。分析的样品采集用 2.5 L 无色聚乙烯塑料瓶灌取,采样时用采样的水充分清洗 3 次以上,采样后用石蜡封口。微量元素样品采样量为 1 L,容器为无色聚乙烯塑料瓶,采集后加 1:1 硝酸 5 mL,使样品的 pH 小于 2,用石蜡封口。T 同位素样品采集在 1 L 玻璃瓶中并密封保存。所有的样品都在 10 d 之内送到实验室,实验室在 15 d 之内测试。水化学样品的测试由地质矿产部宁夏回族自治区中心实验室进行,样品测试按照《国家标准汇编》中的水质分析方法 GB11889-11914-89 进行。T 同位素样品的测试由国土资源部水文地质专业测试中心完成。T 的测试首先对样品进行电解富集,电解过程中用标准样品标定富集程度,然后通过 LB-1 型低本底液体闪烁计数器进行测定,其测试精度在 2~4 T.U. 之间。

3 岩溶裂隙地下水系统划分

在该地区中部发育的 SN 向构造中,中部的青龙山-彭阳大断裂表现为阻水断层,分割了其东西两侧岩溶裂隙水之间的联系,使南北古脊梁的岩溶裂隙水分成东、西两个系统(图 1)。

在其西侧的岩溶裂隙水系统中,中部严湾-吕套一带的水位最高,向南北两侧逐渐降低,因此在严湾-吕套一带应该分布有一条地下分水岭,将青龙山-彭阳大断裂以西的岩溶裂隙水系统分为南北两个系统。在青龙山-彭阳大断裂以东,因钻孔稀少,其水文地质条件尚不十分清楚,根据已有钻孔水位,在中部一带亦存在一条地下分水岭,向南北两端水位逐渐降低。北部含水层为寒武-奥陶系灰岩、白云岩,北端有萌城泉出露,南部含水层以白垩系砂岩为主。因此,将该区岩溶裂隙水初步划分为 4 个系统。

系统 I:该系统在青龙山-彭阳大断裂以西,北部为严湾-太阳泉岩溶裂隙水系统,南部与吕套-颀河砂岩、灰岩地下水系统相接;东部为阻水的青龙山-

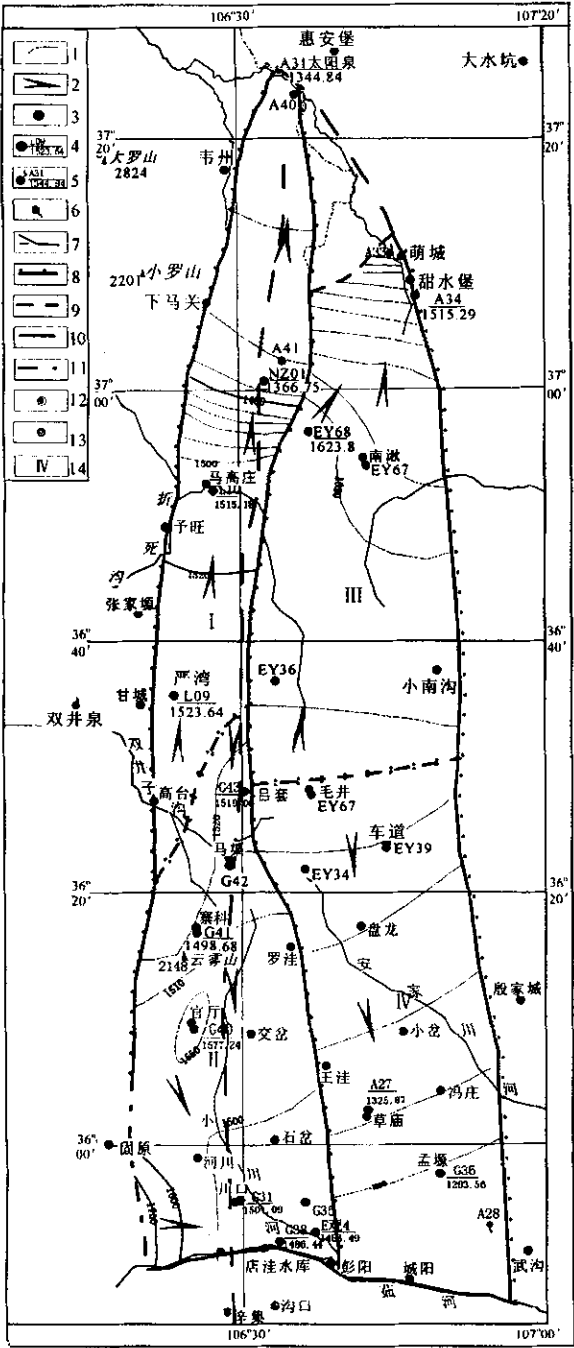


图 1 南北古脊梁岩溶裂隙水动力场

Fig. 1 Field map of groundwater dynamics in North-south Archaic Uplift

- 1-等水位线 2-地下水流向 3-第四系井 4-基岩钻孔 点号
水位高程 ;
- 5-上升泉 6-下降泉 7-河流 8-隔水边界 9-不明边界 10-定水头边界 ;
- 11-补给边界 12-县政府所在地 13-乡、镇政府所在地 14-系统编号
- 1-water-table contour 2-direction of groundwater flow 3-quaternary
well 4-well in bedrock $\frac{\text{seriesnumber}}{\text{height of water level}}$ 5-ascending spring
 $\frac{\text{seriesnumber}}{\text{height of water level}}$ 6-descending spring ; 7-river 8-water exclusive
boundary 9-uncertain boundary 10-steady water head boundary ;
- 11-recharging boundary 12-county seat 13-township seat ;
- 14-series number of the karst fissure water systems

彭阳大断裂,北端以断层形式与北部的中生界-古生界碎屑岩断褶带接触,西部以牛首山-六盘山断裂为界,此断裂以西以第三系粘土岩为主,基本不含水,且相对阻水。南部 L9 严湾孔水位最高,向北逐渐降低,在太阳泉处受断层的阻挡作用而露出地表。

系统 II :为吕套-颌河砂岩、灰岩水系统,系统内地下水流向自北向南,在南部郑家泉断层切割含水层而形成上升泉,另外茹河河谷可能存在向上的顶托排泄,茹河以南由于钻孔稀少,水文地质条件尚不是十分清楚。

系统 III :该系统在青龙山-彭阳大断裂以东,北部为萌城泉岩溶裂隙水系统,西部边界为青龙山-彭阳大断裂,东部边界为车道-阿色浪大断裂,地下水流向自南向北,在北端的萌城以上升泉的形式露出地表。

系统 IV :其南部为白垩系砂岩裂隙孔隙水系统,限于篇幅,本文不对此系统进行讨论。

该地区主要第四系和岩溶裂隙水化学组分和 T 值见表 1。

3.1 系统 I 和系统 II 的边界问题

由于没有东西向阻水构造切割系统 I 和系统 II,根据水位推断,两系统的中部分水岭可能为一条可移动地下分水岭,但其具体位置难以确定。中部分水岭地带钻有严湾孔和吕套孔。严湾钻孔(L9)的水位稍高,高程为 1 523.64 m,其南部的吕套钻孔(G43)水位高程为 1 519.06 m。故分水岭有可能位于严湾孔附近或严湾孔和吕套孔之间。这里利用地球化学模拟方法就此两种判断进行讨论。

3.1.1 第一种假设 如果分水岭位于严湾附近或者严湾以北,那么就意味着地下水从严湾向吕套方向径流。

严湾孔地下水的 TDS 为 4.93 g/L,而吕套孔地下水的 TDS 为 2.03 g/L,如果严湾孔的地下水补给吕套孔的地下水,那么在径流途径上应该混入了 TDS 比较低的地下水,或者发生了矿物的沉淀。该地区可能对岩溶裂隙水构成补给的只有第四系黄土裂隙、孔隙水。在该地区采集第四系黄土水样 2 个,分别为 EY35 和 EY36。其 TDS 分别为 3.66 g/L 和 2.37 g/L,都大于吕套孔地下水的 TDS,按照一般地下水水化学演化规律,不会出现 TDS 逐渐降低的现象。另外严湾孔(L09)地下水中石膏的饱和指数为 -0.39, EY36 孔地下水中石膏的饱和指数为 -0.98,吕套孔(G43)地下水中石膏的饱和指数 -1.02。如果以上假设成立,由于该地灰岩地层中含有少量石膏,在径流途径上石膏会继续溶解,那么 G43 孔中石膏的饱和指数应该大于

表 1 南北古脊梁岩溶裂隙水、砂岩裂隙、孔隙水和重要第四系潜水水化学测试结果

Table 1 List of the chemical components of karst fissure water , sandstone fissure and pore water , and important quaternary phreatic water

mg·L⁻¹

编号	含水层	T/T.U	K	Na	Ca	Mg	Cl	SO ₄	HCO ₃	CO ₃	NO ₃	F	H ₂ SiO ₃	TDS	pH 值
A31	○灰岩	7	22	882	304.61	180.47	1239.08	1275.25	311.19	0	9.5	3.25	20.8	4092.66	8.19
A33	、○灰灰岩	8	19.5	820	339.68	240.02	1552.84	1162.37	228.81	0	20	3	23.4	4295.22	8.12
A34	K 砂岩	22	1	288.8	20.04	58.33	152.45	230.55	500.34	15	20	4.5	10.4	1051.42	8.71
A40	Q 黄土	20	2.5	422.4	63.13	103.3	517.61	559.57	247.12	0	60	3.88	14.3	1870.25	8.19
A41	○灰岩	31	1.5	183	46.09	60.77	129.40	278.59	338.64	0	26.25	1.7	12.69	909.40	8.31
A43	○灰岩	6	15.5	522.4	134.27	108.16	579.66	773.32	338.32	0	12	2.5	23.4	2340.55	7.96
A44 K	砂岩 ○灰岩	20	4	112.2	65.13	43.75	65.59	175.32	350.85	0	8	0.9	23.4	673.97	8.18
EY34	Q 黄土	4	2.5	256	58.12	77.78	241.08	307.40	390.51	3	40	1.25	7.8	1190.69	8.43
EY35	Q 黄土	13	4.25	692	110.22	266.76	157.77	1942.89	460.68	0	243.75	3.13	13	3664.81	8.34
EY36	Q 黄土	—	12	534	77.15	119.71	315.53	994.26	332.54	0	150	3.13P	—	2372.24	8.21
EY39	Q 黄土	—	3.5	368.8	20.04	29.77	56.72	93.66	826.78	33.01	75	2.13	23.4	1120.24	8.73
EY67	Q 黄土	15	2.5	263.2	13.03	12.76	14.18	43.23	747.46	0	2	2.5	1.7	739.09	8.36
EY68	○灰岩	—	—	989.85	56.11	139.8	1141.59	970	275.8	0	—	—	—	3188	7.6
G31	N、K 砂岩	16	5	228	3.01	20.66	74.45	189.73	234.92	78.01	0.5	0.58	1.3	725.72	9.71
G35	K 砂岩	7	7.5	264.8	63.13	60.16	198.54	365.04	356.95	9	0.25	1.9	22.1	1171.19	8.51
G36	K 砂岩	15	2.5	141.6	32.06	30.38	44.32	129.69	393.56	0	20	1	16.9	615.92	8.01
G38 K	砂岩 ○灰岩	16	2.5	120	81.16	42.54	51.41	266.58	372.20	0	11.5	0.63	23.4	787.45	8.37
G40	K 砂岩	1	3.5	524	167.33	426.57	1471.30	898.20	195.25	0	75	1.2	13	3678.25	8.38
G41	∈、○灰岩	—	5	50.8	60.12	66.23	166.63	204.14	356.95	0	32.5		15.6	883.00	7.67
G42	∈、○灰岩	13	5.5	421.6	134.27	198.7	647.02	818.95	306.09	9	75	1.2	15.6	2479.59	8.54
G43	∈、○灰岩	9	5.5	375.2	112.22	140.97	413.03	571.58	338.64	0	225	1.1	13	2031.10	7.73
L10 J	砂岩 ○灰岩	—	18.5	1002	284.57	244.78	1551.10	1513.00	207.40	0	—	2.3	—	4719.46	7.65
L09	∈、○灰岩	14	34.5	1066	331.66	196.88	1577.70	1549.00	283.73	0	12	3.25	18.2	4931.98	7.38
NZ01	○灰岩	1	7.38	1225.87	193.75	212.62	1248.3	1979.11	261.32	0	81.77	3	17.71	5237.9	7.6

注：-寒武系 ○-奥陶系 K-白垩系 J-侏罗系 N-第三系 Q-系四系。

L09 和 EY36 ,与此假设相矛盾。

因此 ,从水化学角度推断 ,L09 孔的地下水不会对 G43 孔的地下水构成补给 ,那么分水岭应该在两孔之间。

3.1.2 第二种假设 如果第一种假设不能成立 ,那么两个系统的分水岭应该位于 L09 孔和 G43 孔之间 ,是一条水位比 L09 和 G43 两个钻孔水位都高的可移动地下分水岭。可移动地下分水岭附近的岩溶裂隙水应该来自浅层第四系黄土裂隙、孔隙水的补给 ,并且向南北两个方向分流。

L09 孔地下水的 TDS 较高 ,推断是受到了其南部的侏罗系泥岩地层仔高矿化度地下水的影响。高矿化度的侏罗系地下水在严湾西南的双井子沟中以上升泉的形式出露 ,泉水温度 26℃ ,本文称双井暖泉 ,其 TDS 高达 22.8 g/L(张发旺等 2000)。

如果分水岭一带的地下水在向北径流过程中受到了高矿化度的侏罗系地下水的补给 ,可以建立此混合补给的地球化学模拟模型 ,进而利用地球化学模拟中的反向模拟验证此混合补给过程的合理性。

由于分水岭一带的岩溶裂隙水的化学组分未知 ,在模型设计中把此环节视为黑箱 ,直接利用补给

它的第四系黄土水作为源水。把双井暖泉的水作为另一个源水 ,而把 L09 钻孔的水作为终水 ,径流途径上的地层和地层中所含的矿物已知 ,建立两种水在地层中混合的模型(图 2)。

反向模拟结果表明 ,以上过程中 EY36 的黄土水和双井暖泉水的混合比为 8.749 :1.251 时 ,各种矿物的沉淀或溶解量如表 2 所示。从表 2 中可以看出 ,在 L09 孔水形成过程中 ,玉髓、钾云母、方解石等发生了大量溶解 ,白云石溶解量较小。石膏、钾长石、斜长石发生沉淀。二氧化碳从水中逸出。这一

源水1:双井暖泉水

源水2: EY36黄土水

终水: L09岩溶裂隙水

含水层矿物相: 石膏、二氧化碳(气相)、方解石、白云石、石英、斜长石、钾长石、氟化石、钾云母、

图 2 双井暖泉水和 EY36 黄土水混合补给 L09 岩溶裂隙水模型

Fig.2 Model of the formation of L09 karst fissure water by mix of EY36 loess water and Shuangjing hot spring

过程是比较合理的,所以从水化学角度判断 L09 孔的地下水来自于双井暖泉和第四系黄土水的混合是可能的。利用地球化学反向模拟对 EY36 黄土水补给 G43 吕套孔岩溶裂隙水过程中的水岩相互作用进行模拟,得出这一过程中的矿物转化量见表 3。

从表 3 可以看出,EY36 孔的黄土水补给 G43 岩溶裂隙水过程中溶解了少量 NaCl、钙蒙脱石、方

解石和玉髓,石膏、黑云母、斜长石和少量萤石发生了沉淀,这在由黄土、灰岩和泥灰岩组成的环境中是合理的,因此 G43 吕套孔的水来自北部分水岭一带的地下水补给是可能的。

因此,可以推断系统 I 和系统 II 的边界应该在严湾和吕套之间,为一条地下水位较高的可移动地下分水岭(李义连等,2000)。

表 2 L09 孔岩溶裂隙水形成过程中的矿物转化量
Table 2 The mineral transformation during the formation of karst fissure water in NO. L09 well

矿物	方解石	白云石	石膏	萤石	钾长石	斜长石	CO ₂ (g)	玉髓	钾云母
转化量/mol·L ⁻¹	0.019	0.004	-0.002	-3.7E-05	-0.027	-0.04	-0.029	0.1	0.028

表 3 EY3 黄土水补给 G43 岩溶裂隙水过程中的矿物转化量
Fig.3 The mineral transformation during the recharge of karst fissure water of G43 BY the loess pore water of EY34

矿物	NaCl	石膏	钙蒙脱石	CO ₂	方解石	玉髓	黑云母	斜长石	萤石
转化量/mol·L ⁻¹	0.013	-0.219	0.247	-0.197	0.365	0.200	-0.012	-0.408	-0.001

3.2 系统 I 和系统 III 的水力联系

北部的系统 I 和系统 III 之间以青龙山-彭阳大断裂作为隔水边界。但通过遥感解译发现,在系统 III 北端的萌城泉(A33)和系统 I 北端的太阳泉(A31)之间可能有一条断层相连。这条断层如果是导水断层,则萌城泉水有可能通过这条断层补给太阳泉。即太阳泉的水有可能包括部分来自系统 III 的水量。由于此断层为推断断层,没有在地面调查中找到断层存在的直接证据,断层的导水性质更无法掌握。因而对太阳泉、萌城泉和两个系统内地下水样品的水化学组成进行了研究,试图从水文地球化学角度来探讨是否有导水构造沟通了两个系统。

利用 18 个水化学参数计算得出二者的相关系数为 0.98,具有明显的相关性,但是,相关性明显不一定就有水力联系。太阳泉与该地区其他水样的相关性见表 4,从表中可以发现,太阳泉与大部分取样点之间的相关系数都比较高,而其中许多水样与太阳泉之间没有水力联系,如 G42 号钻孔,为南部系统 II 内的灰岩裂隙水样品,与太阳泉之间根本没有水力联系。

利用反向模拟的方法就太阳泉水中是否混入了萌城泉水进行了探讨。太阳泉的流量比较稳定,在

4 600~7 400 m³/d 之间,根据已掌握水文地质条件分析,太阳泉水主要来自岩溶裂隙水系统 I 内的岩溶裂隙水补给,系统 I 的岩溶裂隙水在向北径流过程中,在有利地段接受第四系地下水的补给而水量逐渐增大,最终在太阳泉排出地表。太阳泉域距离太阳泉最近的岩溶裂隙水取样点为 NZ01 孔,另外在青龙山北端山间第四系黄土水取样点 A41,由于青龙山一带第四系地层直接覆盖在裂隙发育的寒武-奥陶系灰岩地层之上,此处的第四系地下水可以对灰岩岩溶裂隙水构成补给,太阳泉水 T 含量为 7 T.U,也说明泉水中有一定的较近距离的第四系水混入。可以认为,太阳泉水来自这两种水的混合,(如果有萌城泉水混入,则可能来自三种水的混合)。

考虑到 3 种水向太阳泉径流过程中流经的地层主要为寒武、奥陶系灰岩、白云岩和黄土地层,部分地段黄土下伏第三系泥岩地层,构建 NZ01 孔水、A41 黄土水和 A33 萌城泉水混合补给太阳泉的模式如(图 3),然后进行反向模拟来计算其地球化学演化路径。计算得出了 10 种模拟结果(表 5)。

模拟结果中的第 4、第 8 两个结果中发生了石盐的沉淀,与实际情况相悖,应当排除这两个结果。第 1、2、9、10 结果中 NZ01 孔水没有参与混合,与区域水文地质条件不符,也应当排除。第 3、6、7 个结果中 A40 的水占主要成分,也与区域水文地质条件不符,因为 A40 为青龙山内的第四系潜水,青龙山地区的降水量是很小的。第 5 个结果比较合理,即太阳泉的水有近一半(46.7%)来自萌城泉域,另一

表 4 太阳泉水 A31 与周围采样点化学组分的相关性
Fig.4 Correlation coefficient of the chemical component between Sun spring and ather groundwater samples

孔号	A31	L9	L10	A32	A40	G42	A43	NZ01	A44
相关系数	1.00	1.00	0.99	0.98	0.98	0.98	0.98	0.97	0.53
计算指标数	15	9	18	16	19	18	12	18	

表 5 NZ01、A40 和 A33 混合补给太阳泉时的可能混合比和矿物转化量
Table 5 The transformation of minerals and the mixing ratio during the recharge
of Sun spring by well NZ01 ,A40 and spring A33

序号	源水混合比	矿物转化量/mm1·L ⁻¹								
	VA40:VNZ01:VA33	石盐	石膏	方解石	白云石	氟化钙	CO ₂ (g)	玉髓	黑云母	斜长石
1	8.11:0:1.88	14.8	6.3	-2.4	0.88	0.05	1.74	-0.39	0.4	-0.3
2	5.5:0:4.5	9.9	3.54	0	0	0.04	1.45	-0.23	0.27	-0.19
3	5.6:1.36:3.03	8.72	3.74	0	-0.21	0.04	1.55	-0.33	0.35	-0.26
4	1.95:3.34:4.70	-0.18	0	3.44	-1.79	0.02	1.27	-0.24	0.26	-0.19
5	2.03:3.30:4.67	0	0.08	3.37	-1.76	0.03	1.27	-0.24	0.26	-0.19
6	6.09:1.1:2.81	9.9	4.23	-0.46	0	0.04	1.58	-0.34	-0.37	-0.27
7	4.33:1.51:4.15	5.89	2.68	0	0	0.03	1.43	-0.24	0.27	-0.2
8	0:4.4:5.6	-4.95	-2	5.29	-2.63	0.02	1.12	-0.2	0.21	-0.15
9	6.18:0:3.82	11.47	0	-0.17	0.04	1.52	-0.3	0.33	-0.24	
10	6.53:0:3.47	12.09	4.42	-0.39	0	0.04	1.56	-0.32	-0.35	-0.25

注 :正值为溶解 ,负值为沉淀。

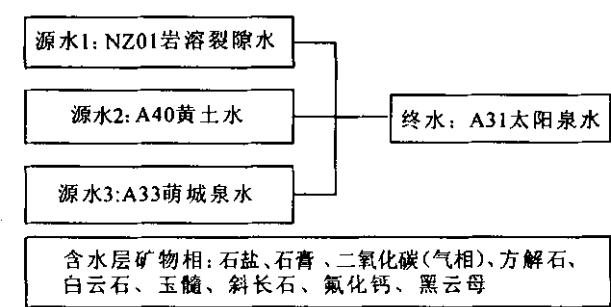


图 3 NZ01 岩溶裂隙水、A40 黄土水和 A33 萌城泉水混合补给太阳泉水模型

Fig.3 Model of the formation of Sun spring by water from NZ01 ,A40 and Mengcheng spring

半中 33% 的水来自系统 I 内的岩溶裂隙水 ,20% 来自青龙山内第四系水的补给。

这一模拟结果具有重要的现实意义 ,如果太阳泉主要来自萌城泉域 ,那么就意味着在萌城泉和太阳泉之间存在一条岩溶裂隙水的强径流带 ,这就为区域地下水勘察提供了一个重要方向。

4 结论

利用水-岩相互作用的地球化学模拟的方法 ,对南北古脊梁地区岩溶裂隙水系统划分中的一些疑点进行了研究 ,模拟结果认为 ,系统 I 和系统 II 的边界应当在 L09 严湾孔和 G43 吕套孔之间 ,其边界为一条由第四系地下水补给形成的 ,地下水位较高的可移动地下分水岭 ;系统 I 和系统 III 之间存在水力联系 ,系统 I 北端排泄口太阳泉的水量有近一半来自系统 III 的补给 ,在萌城泉和太阳泉之间可能存在一条由导水断层形成的岩溶裂隙水的强径流带。

限于水样的代表性、径流途径上的岩石和矿物

分布等因素的不确定性 ,利用反向模拟来推断地下水的来源有一定的随意性和不确定性 ,这需要利用根据其水文地质条件进行综合分析来推断其合理性 ,避免出现谬误。

参考文献

李义连,王焰新,张江华. 2000. 娘子关泉域岩溶水硫酸盐污染的地球化学模拟分析. 地球科学——中国地质大学学报, 25(5): 467~471.
宁夏回族自治区地质矿产局. 1990. 宁夏回族自治区区域地质志. 北京: 地质出版社, 366~379.
于浩然. 1993. 中国北方岩溶水基本特征及主要规律. 中国北方岩溶和岩溶水研究. 广西: 广西师范大学出版社, 1~9.
张发旺, 王贵玲, 侯新伟等. 2000. 地下水循环对围岩温度场的影响及地热资源形成分析——以平顶山矿区为例. 地球学报, 21(2): 142~146.

References

Li Yilian, Wang Yanxin, Zhang Jianghua. 2000. Geochemical modeling of sulfate pollution in karst water of Niangziguan region, Shanxi province, China. Earth Science, 25(5): 467~471(in Chinese with English abstract).
Ningxia Bureau of Geology and Mineral Resources. 1990. Regional geology of Liaoning province. Beijing: Geological Publishing House. 366~379(in Chinese with English abstract).
The First Hydrogeology Team of Ningxia Hui Autonomous Region. 1990. Groundwater assessment report of Ningxia Hui Autonomous Region. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
Yu Haoran. 1993. The principal features and main regularity of karst in northern China. Karst and Karst water in North China. Guangxi: Guangxi Normal University Publishing House, 1~9(in Chinese).
Zhang Fawang, Wang Huiling, Houxinwei et al. 2000. An Analysis of the formation and geothermal resources and the effects of groundwater circulation on the wall rock temperature field-taking the Pingdingshan mining field as an example. Acta Geoscientia Sinica, 21(2): 142~146(in Chinese with English abstract).