

# 硫同位素技术在鄂尔多斯盆地周边岩溶水资源调查中的应用

梁永平<sup>1</sup> 韩行瑞<sup>1</sup> 侯光才<sup>2</sup> 王桃良<sup>3</sup>

(1. 中国地质科学院岩溶地质研究所 桂林 541004

2. 中国地质调查局西安矿产地质研究所, 西安 710054

3. 山西省阳泉市水利局, 阳泉 045000)

**摘要：**鄂尔多斯盆地周边岩溶地下水浅循环系统是由 22 个独立的子系统构成，各个子系统中岩溶地下水补、径、蓄、排循环过程中，其化学组分含量更多地取决于围岩矿物成分。前人研究结果以及通过我们在“鄂尔多斯盆地岩溶地下水系统形成、水资源调查评价”项目中调查表明，盆地内来源于不同层位矿物的<sup>34</sup>S 同位素具有很大的差别，利用这一特点，我们对工作区内一些子系统的地下水补、排关系以及一些水化学成分的来源进行了成功地解释，为岩溶地下水条件的进一步认识提供了有力的佐证。

**关键词：**鄂尔多斯盆地、岩溶地下水、硫同位素

## 1、 鄂尔多斯盆地岩溶地下水的硫同位素背景条件

调查表明，鄂尔多斯盆地周边岩溶地下水中硫酸根离子含量多数来源于下列地层中硫化矿物的分解，分别是中奥陶统上、下马家沟组及峰峰组底部泥灰岩（或泥云岩）中石膏；石炭、二叠煤系地层中硫铁矿、大面积覆盖于区内碳酸盐岩地层之上的新生代地层以及白垩纪地层中的硫化矿物。硫 34 同位素在地下水循环过程中良好的稳定性，可作为示踪剂来开展研究，为此，要求对不同来源的硫 34 同位素背景值进行取样分析。首先我们对代表不同层位的<sup>34</sup>S 进行了取样分析，结果如表 1：

表 1 鄂尔多斯盆地不同层位(或水)的<sup>34</sup>S 同位素背景值对比表

层位	取样位置	<sup>34</sup> S (‰)	资料来源
煤系地层	乌海市黑龙贵石炭系水井	-1.1	本次化验
	柳林县煤矿矿坑水	-13.6	本次化验
	铜川王洼煤矿矿坑水	16.6	本次化验
	娘子关泉域中煤矿矿坑水	-2.8	[1]
	娘子关泉域煤系地层中硫铁矿	-0.8	[1]
中奥陶统	离石马头山峰峰组石膏	31.4	本次化验
	娘子关泉马家沟灰岩石膏	23.8	[1]
松散层	平凉市白庙乡贾洼村松散层水井	8.9	本次化验
	大小罗山间第三系清水营组石膏	10.2	本次化验
白垩系	泾河后峡枯水期地表水（白垩系泉集水）	1.6	本次化验

第一作者介绍：梁永平，男，1962 年出生，学士，副研究员，长期从事中国北方岩溶地下水调查、研究。

从表 1 中可以看出，来源于不同层位中的  $^{34}\text{S}$  值相差很大，其数值大小顺序是：首先是中奥陶统石膏最高、其次是黄土及第三系清水营组硫酸盐矿物，再次是白垩系地层，最小是石炭、二叠系煤系地层中硫铁矿，其结果与前人研究结果<sup>[1]</sup>相一致，代表了各层位中不同硫化矿物成岩期的硫同位素分馏环境。利用了这一有利条件，我们对一些地区岩溶地下水子系统的地下水循环及一些特殊水化学类型成因条件进行了分析解释。

## 2、 $^{34}\text{S}$ 同位素方法的应用实例

### 2.1 柳林泉水水质差异性以及泉域内岩溶热水的成因

柳林泉子系统位于鄂尔多斯盆地东缘吕梁山西侧，汇流面积 6482.45 km<sup>2</sup>，寒武、奥陶系碳酸盐岩含水层受吕梁山复式背斜控制，总体上构成了由东向西倾斜的单斜构造，岩溶地下水由东、北、南三个方向向中部三川河内的柳林泉汇集，以近东西向三川河为界，把子系统分为南翼和北翼。柳林泉出露于三川河南、北两岸，由 80 多个大小不等的泉点组成，多年平均流量为 3.27m<sup>3</sup>/s。出露于南、北两岸的泉水的水化学含量组分、水温及水化学类型都具有很大的差别，而硫酸根离子含量与水质变化具有较好的对应关系。如表 2。

表 2 三川河南、北岸柳林泉水水化学特征对比表

项目	三川河南岸泉水	三川河北岸泉水
矿化度 (mg/l)	389 ~ 455	408 ~ 1460
总硬度 (mg/l)	248 ~ 273	243 ~ 489
K <sup>+</sup> Na <sup>+</sup> (mg/l)	41.37 ~ 57.35	52.13 ~ 320.
Cl <sup>-</sup> (mg/l)	43.12 ~ 63.08	44.00 ~ 467.99
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	53.10 ~ 85.20	69.77 ~ 211.00
水温 ( )	15 ~ 18.5	15 ~ 21.5
水化学类型	H —Ca Mg ; H —Ca Na Mg	Cl — Na Ca ; H S — Na Ca

源于山西煤田 229 队 1998 年资料，由吕梁地区水资办提供

子系统内硫酸根离子的主要来源有两个途径，其一是石炭、二叠系煤系地层中硫化矿物氧化后的酸性水，其二是来自奥陶系碳酸盐岩中石膏的溶解，二者对岩溶地下水的补给方式具截然不同的途径。为查明其成因机制，我们选取了流量较大、据代表性的南岸龙门会泉，和北岸刘家圪塔泉进行了  $^{34}\text{S}$  的对比分析，其结果见表 3。表中结果表明，南川河北岸泉水中硫酸根离子（硫同位素值大）更多来源于奥陶系地层中石膏的溶解，说明泉域北翼岩溶地下水在含水层中有更多的滞留时间和更深的循环深度。

此外，在柳林泉子系统北翼的临县林家坪和陕西吴堡横沟打出了岩溶热水，水温分别为 35 和 38 °，从水文地质条件方面分析，热水分布区无大的区域断裂构造通过，水温高低与钻孔揭露深度不存在直接的关系（表 4），但从水的水化学组分看，热水井中表现为 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 离子和 Ca<sup>2+</sup> 离子的同步增加（表 4）；而且林家坪热水的  $^{34}\text{S}$  达 27.5‰，是鄂尔多斯盆地周

边所分析岩溶地下水  $^{34}\text{S}$  样品中最大值，接近与奥陶系地层中石膏的  $^{34}\text{S}$ 。硬石膏溶解时不但体积膨胀 63%，形成了我国北方中奥陶统地层中分布相当普遍的膏溶角砾岩，同时释放热量（其溶解热为 4.44 千卡），因此我们初步分析推测，子系统内的岩溶热水的形成是奥陶系含水层中石膏溶解的结果。

表 3 柳林泉子系统内  $^{34}\text{S}$  分析结果表

原编号	取样位置	$^{34}\text{S}$ (‰)	样品性质	备注
E4-4	柳林县煤矿矿坑水	-13.6	矿坑水	
E9-9	离石马头山奥陶系地层中石膏	31.4	石膏	
E5-5	柳林龙门会泉	16.5	南岸泉水	
E6-6	柳林刘家疙瘩泉	21.2	北岸泉水	
	柳林刘家疙瘩泉	20.7	北岸泉水	收集资料
	山西临县林家坪热水井	27.5	北部热水井	收集资料

表 4 柳林泉子系统内深孔的水温与水化学类型对比表(mg/L)

位置及孔深 (m)	T(度)	K <sup>+</sup> +Na <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	矿化度	水化学类型
吴堡县城管内 02 水(1300)	18	4560	774.6	216	6815	1004	225	13598.4	Cl — Na
吴堡县城管内外混合水(1300)	18	3221	424.9	116.9	4252.2	2212	274.6	10373.1	Cl - Na
吴堡县城井 (1100)	16	102	80.2	3	1490.7	36	183.1	2724.85	Cl · SO <sub>4</sub> - Na
林家坪热水井(700)	38	1684	682	279	2952	2274	242	8000	Cl · SO <sub>4</sub> - Na · Ca
柳林黄河横沟(724.44)	35	2322	784.6	198.2	3908.4	2069	219.7	9388.25	Cl · SO <sub>4</sub> - Na · Ca
柳林黄河横沟(724.44)	34.5	2200	800.6	191.5	3623	2041	213.6	8988.2	Cl · SO <sub>4</sub> — Na · Ca

## 2.2 六盘山区平凉-彭阳岩溶地下水子系统水资源补排条件的分析

近年来，由于在六盘山一带相继找到了丰富岩溶地下水而轰动一时，对这一地区岩溶地下水的补给来源众说纷云，倍受水文地质界关注。调查过程中我们对不同类型水源进行了硫同位素测定，见表 5，并采用该方法对本区岩溶地下水的补排关系配合水文地质条件进行了解释，取得了良好的效果（图 1）。

结合岩溶水文地质条件及硫同位素分析结果取得如下认识（见图 1）：

1) 平凉市区白垩系自流井的地下水，主要来源于太统山区岩溶地下水山前岩溶含水层黄土覆盖的间接入渗区补给（图 2）；

2) 沿泾河谷内岩溶地下水勘探孔（三关口孔和安国孔）的岩溶地下水主要来源于泾河的渗漏补给（泾河水来源于上游白垩系碎屑岩区小泉水汇集）；

3) 子系统北部岩溶地下水中硫酸根离子的物质来源主要是第三纪地层中石膏的溶解；

4) 子系统在茹河、红河排泄区的地下水是来源于不同层位地下水的混合，单从排泄区地下水中硫同位素的数值大小初步判断，来源于白垩系地层中的地下水补给量不是主要部分。

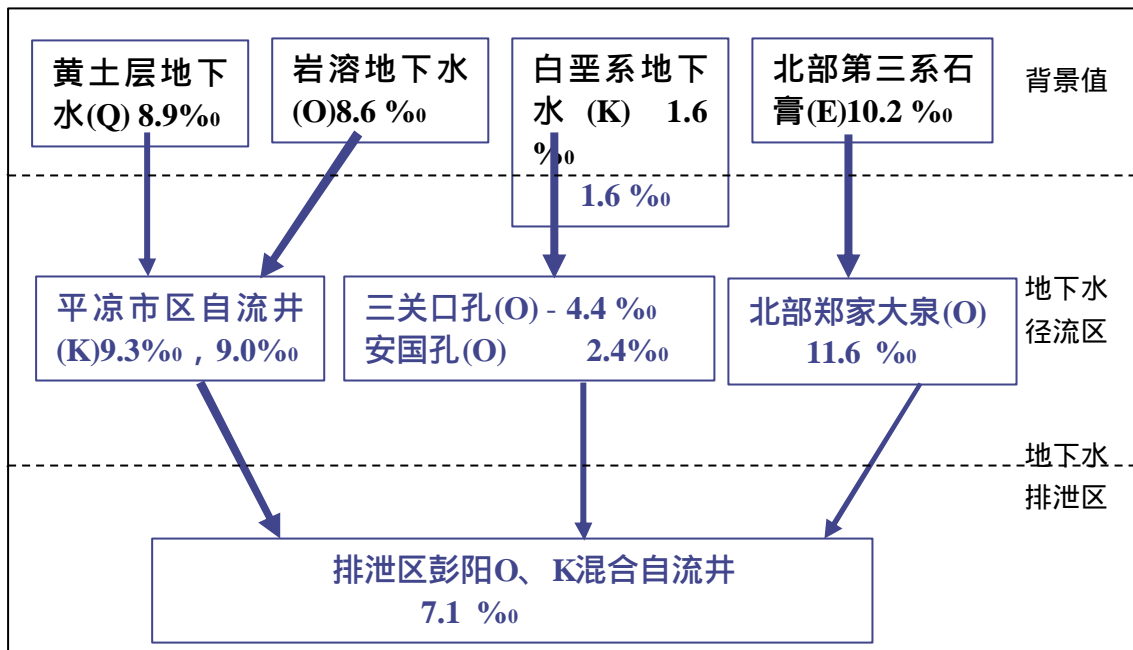


图1 硫同位素揭示的平凉-彭阳子系统岩溶地下水转化关系示意图

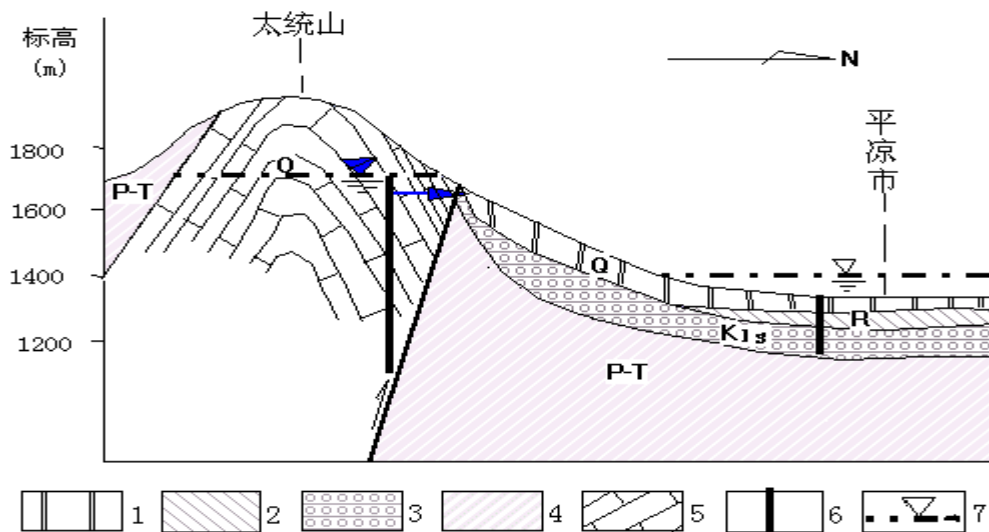


图2 六盘山区太统山—平凉市岩溶水文地质剖面略图

2

- 1 第四系黄土 2 第三系粘土 3 白垩系灰质砾岩 4 二叠、三叠系碎屑岩
- 5 奥陶系碳酸盐岩 6 岩溶地下水勘探孔 7 岩溶地下水位

宁夏中南部地区岩溶地下水物质成分非常复杂，多数岩溶地下水矿化度在 2000 mg/L 以上（表 6），呈微咸水化，基本无法饮用。这对本来就严重确水地区的找水工作无疑是雪上加霜。为查明其高矿化的成因来源，在我们与宁夏工勘院同志调查过程中我们发现，在固原以北地区普遍分布有第三系蒸发环境下成因清水营组红色粘土，其中石膏碎块随处可见，为此对石膏与岩溶地下水做了硫同位素取样分析。结果表明，本区岩溶地下水的  $^{34}\text{S}$  值都

分布在了清水营组中石膏  $^{34}\text{S}$  值 (10.2‰) 的附近 (见表 5), 与其它地区岩溶地下水中  $^{34}\text{S}$  较大的变化幅度形成了鲜明的对比, 岩溶地下水在循环过程中对清水营组易溶矿物的溶解是造成其矿化度大幅度增加的直接原因, 这就要求我们在找水过程中注重于清水营组对地下水补给机制方面的分析与调查。

表 5 平凉、彭阳亚系统地下水  $^{34}\text{S}$  同位素分析结果一览表

样品位置 (陇东地区)	$^{34}\text{S}$ (‰)	样品位置 (宁夏中南部地区)	$^{34}\text{S}$ (‰)
平凉市白庙乡贾洼村黄土层水	8.9	大小罗山间第三系清水营组石膏	10.2
太统山奥陶系勘探孔	8.6	固原县吕家套	8.2
平凉市大岔沟制革厂供水井	2.3	固原县严湾	8.1
平凉市柳湖公园 K1 自流井	9	环县芦湾	8
平凉市南坡白垩系自流井	9.3	固原县寨科供水井	8.4
泾河三关口岩溶地下水勘探孔	-4.4	固原县寨科供水井	8.2
泾河安国岩溶地下水勘探孔	2.4	彭阳县郑家大泉	11.6
平凉市下颏村岩溶水自流井	9.9	彭阳县自来水水井	7.1
平凉市西阳乡白垩系自流井	0.3		
平凉后峡河水 (白垩系泉集水)	1.6		

表 6 宁夏中南部岩溶地下水主要水化学含量表 (mg/L)

位置及坐标	$\text{K}^+\text{Na}^+$	$\text{Ca}^{++}$	$\text{Mg}^{++}$	$\text{Cl}^-$	$\text{SO}_4^{--}$	$\text{HCO}_3^-$	F	$\text{NO}_3^-$	矿化度	水化学类型
固原县马渠吕家套	380.7	112.22	140.97	413.03	571.58	338.64	1.1	225	2031.1	S Cl—Na Mg
固原县甘城严湾	1100.5	331.66	196.88	1577.7	1549	283.73	3.25	12	4931.98	Cl S —Na
同心县马高庄徐家堡	1020.5	284.57	244.78	1551.1	1513	207.46	2.3		4719.46	Cl S — Na Mg
同心县下马关白家滩	1162.5	204.41	214.5	1201.9	1851.6	258.71	3.25	65	4851	S Cl — Na
同心县下马关土碳沟	578.2	76.15	93.58	517.61	672.45	256.27	5.25		2071.33	Cl S —Na
太阳泉	904	304.61	180.47	1239.1	1275.3	311.19	3.25	9.5	4092.66	Cl S —Na
盐池县萌城	744	36.07	48.61	709.06	686.86	247.12	3.25		2351.41	Cl S —Na
萌城北灰岩区水	879.5	363.73	246.71	1661.0	1210.4	225.76	3.25	15	4519.77	Cl S — Na Mg
彭阳县郑家大泉	571.2	134.27	109.38	583.2	742.09	344.75	2.4		2328.66	H S — Na

### 三、结论与建议

鄂尔多斯盆地周边岩溶区不同层中矿物成分的硫同位素具有巨大差异性, 为我们分析研究岩溶水文地质条件提供了非常有利的条件, 硫同位素方法在水资源调查中具有广阔的应用前景。

本次岩溶地下水调查中对硫同位素测定样品非常有限, 一些结果尚不能作为最后定论, 建议在继续开展的“鄂尔多斯盆地地下水资源勘查”中注重于这方面的研究与投入!

在野外取样过程中得到了陕西地调院、内蒙地调院、甘肃地调院、宁夏工勘院和山西省吕梁地区水资办的大力支持, 在此表示感谢!

#### 参考文献:

- [1] 刘再华. 娘子关泉群水的来源再研究. 中国岩溶, 1989, (3)