

陕西渭北东部岩溶水环境同位素

张茂省^{1,2}, 党学亚^{1,3}, 喻胜虎³

(1. 中国地质大学, 北京 100083; 2. 西安地质矿产研究所, 西安 710054;

3. 陕西地矿局第二水文地质队, 渭南 714000)

摘要: 陕西渭北东部岩溶水系统是一个复杂的地下水系统, 碳酸盐岩大面积隐伏与深埋。使用传统手段和方法勘查岩溶地下水和研究可持续开发利用方案遇到诸多困难, 不仅费时, 而且耗资大。本文通过系统分析研究陕西渭北东部地区岩溶地下水 T、D、 ^{18}O 、 ^{14}C 环境同位素特征, 揭示岩溶水的补给迳流排泄条件、岩溶水系统边界性质以及岩溶水与黄河洛河地表水、黄河岩溶泉与洛河岩溶泉之间的补排关系。结果显示环境同位素方法简便有效, 能够达到预期目的。

关键词: 岩溶地下水; 岩溶泉; 环境同位素; 地表水

中图分类号: P641.3; P597⁺.1; P632⁺.7

文献标识码: A

文章编号: 1000-3665(2004)05-0046-05

1 研究区概况

研究区位于陕北黄土高原与渭河盆地过渡地带的东部(图1), 西起泾河, 东至黄河, 面积约 6 000 km²。该地区为一南倾的斜坡地带, 北部为丘陵山区, 俗称“北山”, 南部为较平坦的黄土台塬。这里无论是地表水资源, 还是浅层地下水资源都十分贫乏, 人畜用水非常困难, 素有“渭北旱腰带”之称。然而, 经勘查, 地下蕴藏着较丰富的岩溶水, 这对于解决当地人畜用水和国民经济发展有着举足轻重的作用。

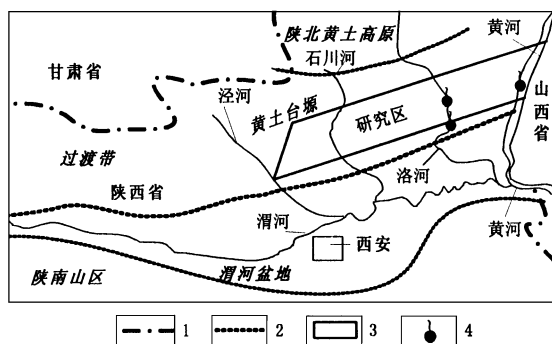


图1 研究区位置图

Fig.1 Location map of the study area

1—省界; 2—黄土台塬界线; 3—研究区范围; 4—岩溶泉

2 水文地质背景及存在的主要问题

渭北东部岩溶水系统属隐伏型地下水系, 水文地

质条件复杂。含水层岩性主要由奥陶、寒武系灰岩和白云岩构成, 碳酸盐岩裸露区和浅埋区仅存在于西北部的将军山、金粟山、尧山等丘陵山区和石川河、白水河、洛河等一些较大河流的深切河谷, 面积约 1 100 km², 是岩溶水的主要补给区, 其余大部分地区碳酸盐岩被第三、第四系松散岩类覆盖。受汾渭盆地梯级断裂控制, 岩溶地质体向渭河盆地梯状陷落, 碳酸盐岩顶面埋深一般在 300 ~ 1 000 m 之间, 愈向南埋深愈大。研究区之北受黄土高原南缘褶断带影响, 碳酸盐岩埋藏于石炭、二叠系煤系地层之下, 最大埋深逾千米。岩溶水在裸露区或浅埋区接受补给后, 沿岩溶裂隙介质向东南方向运移, 在洛河袁家坡、温汤和黄河东王等地排泄, 可测泉流量约 5.09 m³/s。但岩溶水水头高程均在 380 m 上下, 故亦称本区岩溶水为“380' 岩溶水”^[1]。

经分析, 区内存在的主要水文地质问题有: 岩溶水的补、迳、排规律; 黄、洛河地表水与岩溶水之间的补排关系; 黄河岩溶泉与洛河岩溶泉之间的关系; 岩溶水系统边界性质以及岩溶水与渭河盆地地热水的关系; 岩溶水年龄等。

显然, 解决这些问题, 依据区内岩溶地质条件, 传统勘查手段不仅费时, 而且耗资大。文献显示同位素技术研究水文地质问题的有效方法^[2~5]。为此, 本文利用了区内多年积累的 T、D、 ^{18}O 、 ^{14}C 环境同位素资料进行综合研究, 以期解决前述问题。

3 数据取舍

环境同位素取样与测试时间主要集中在 1987 ~ 1993 年和 1997 ~ 2001 年 2 个阶段, 取样地点控制了整个研究区范围, 取样对象既包括岩溶水, 又包括上部松

收稿日期: 2003-11-28; 修订日期: 2004-06-11

作者简介: 张茂省(1962-), 男, 高级工程师, 在读博士, 主要从事水文地质、工程地质与环境地质勘查研究工作。

E-mail: dangtom@163.com

散层地下水、洛河水及黄河水,同时还进行了岩溶水与地表水的同位素动态监测,测试项目有 T、D、 ^{18}O 、 ^{14}C , 各项目的样品数分别是: T 样 97 件(其中岩溶水样 78 件、浅层孔隙水样 2 件、地表水样 17 件)、D 和 ^{18}O 样各

48 件(岩溶水样 37 件、浅层孔隙水 2 件、地表水样 9 件)、 ^{14}C 样 13 件(岩溶水样), 共计 158 件(图 2)。

各类样品均严格按照有关要求采集,并及时送检,保证了测试结果的代表性和可靠性。对于研究区北部

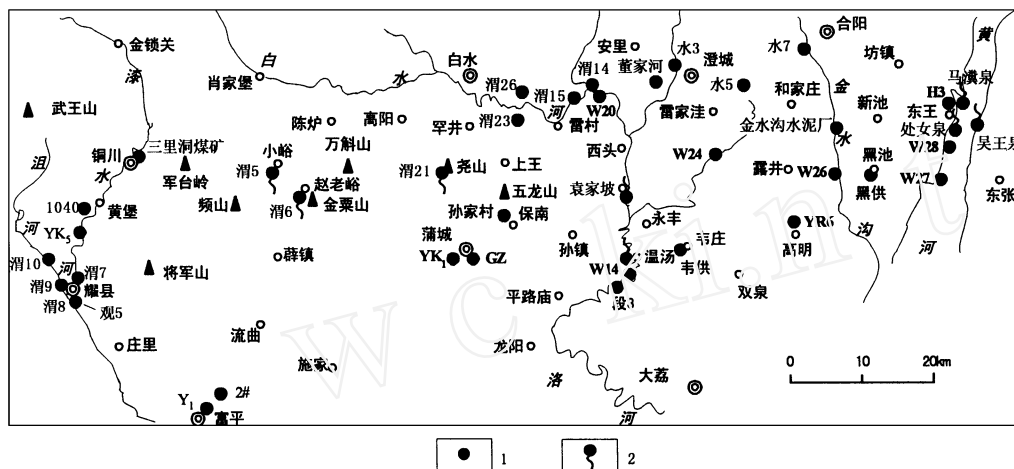


图 2 同位素取样点位置图

Fig. 2 Sampling location of isotopes

1—岩溶水取样点位置;2—岩溶泉水取样点位置

煤矿区采集的岩溶水样,经分析已受到矿坑水的污染,其 ^{14}C 年龄均大于 1 万年,而 T 含量大于 3Tu,作了舍弃处理。

4 环境同位素特征

4.1 T 同位素特征

据 97 件 T 数据(表 1、表 2)绘制的 T 含量分区图(图 3)和动态曲线图(图 4),其特征表现为:西部碳酸盐岩露头区岩溶泉水及地表水中 T 值均大于 10Tu,属现代水;其周边浅埋区(埋深百余米)岩溶水及上覆孔隙水 T 含量在 3~10Tu 之间,是新老水掺合的水;东南部中—深埋区岩溶水的 T 含量多在 3Tu 以下,是相对早期形成的水;黄河及洛河河谷的岩溶泉水与河水 T

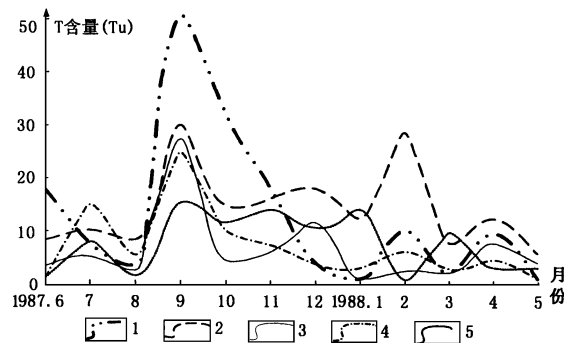


图 4 地表水与岩溶水氘含量动态曲线

Fig. 4 Dynamic curves of deuterium content in the surface water and the karst groundwater

1—东王马溪泉;2—温汤河水;3—温汤 S₃ 泉;
4—温汤 S₉ 泉;5—袁家坡泉



图 3 T 含量分布图

Fig. 3 Distribution map of tritium content

1—T 含量 > 10Tu 区;2—T 含量 3~10Tu 区;
3—T 含量 < 3Tu 区;4—T 含量季节变化区

含量呈季节性变化,丰水期岩溶水 T 含量多大于 3Tu,甚至接近河水,枯水期 T 含量均小于 3Tu,只是岩溶水 T 的变幅较河水小。这些特征表明:研究区西部的碳酸盐岩裸露区为岩溶水的直接补给区,其周边浅埋区为岩溶水的间接补给区^[3,4],东南部的岩溶中—深埋区为岩溶水的迳流排泄区;洛河袁家坡岩溶泉、温汤岩溶泉与河水在短距离内有补排关系,即丰水期河水补给岩溶水,枯水期反之;黄河东王岩溶泉出露于第四系,在岩溶水穿越第四系排泄时有现代孔隙水混入,丰水期混入量较多,枯水期混入量较少。

表1 T同位素数据

Table 1 Isotopic data of tritium

样品编号	取样地点	水点性质	取样日期	氚含量(TU)	样品编号	取样地点	水点性质	取样日期	氚含量(TU)
W ₂₈	东王井 W ₂₈	岩溶井水	1989.08.28	6 ±1	T8~35(1)	蒲城保南孙家村	浅井	1988.06.02	1.5 ±0.8
H ₃	合阳东王	岩溶井水	1989.08.28	4 ±1	渭8	耀县观5孔	岩溶井水	1988.06.02	19.88 ±1
处女泉	东王妇女泉	岩溶	1989.08.28	5 ±1	渭5	富平小峪泉	岩溶泉	1988.06.02	42.0 ±2
吴王泉	临猗角杯	岩溶	1989.08.28	3 ±1	渭6	赵老峪泉	岩溶泉	1988.06.02	10.03 ±1
W ₂₄	彭家河	岩溶井水	1989.08.28	4 ±1	渭21	尧山下降泉	岩溶泉	1988.06.02	55.0 ±3
W ₁₄	蒲城南黎起	岩溶井水	1989.08.28	5 ±1	渭10	耀县史沟	浅井	1988.06.02	31.78 ±2
W ₂₇	合阳东王	岩溶井水	1989.08.28	4 ±1	渭24	白水河	河水	1988.06.02	22.52 ±1
马瀛泉	合阳东王	岩溶泉	1989.08.28	3 ±1	渭9	沮河	河水	1988.06.02	9.93 ±1
段3	大荔段家	岩溶井水	1988.06.02	7.45 ±1	渭7	漆水河	河水	1988.06.02	22.41 ±1
W ₂₀	蒲城三眼桥	岩溶井水	1988.08.28	3 ±1	渭14	洛河	河水	1988.06.02	10.24 ±1
W ₂₆	合阳金水沟	岩溶井水	1988.08.28	3 ±1	渭15	雷村水库	河水	1988.06.02	7.71 ±1
韦供	韦庄供水站	岩溶井水	1988.06.02	1.4 ±0.7	GZ	蒲城果汁厂	岩溶井水	1998.08.30	7
董家河	董家河煤矿	岩溶井水	1988.06.02	4.3 ±0.9	2#	富平杨家坡	岩溶井水	1998.11.17	8
黑供	黑池供水站	岩溶井水	1988.06.04	1.8 ±0.7	*Y ₁	华朱页坡	岩溶井水	1997.11.15	3
水7	陕西合阳	岩溶井水	1988.06.04	1.9 ±0.7	Y ₁	华朱页坡	岩溶井水	1997.11.18	6
水5	澄县庄头	岩溶井水	1988.06.04	6.8 ±0.8	YK ₅	铜川黄堡	岩溶井水	1998.08.05	7
水3	陕西澄城	岩溶井水	1988.06.02	2.2 ±0.7	1040	黄堡赵家山	溶洞水	2000.05	16
渭26	白水官路矿	岩溶井水	1988.06.02	4.32 ±1	YR ₆	大荔高明	岩溶井水	2001.10	<2
渭23	白水马村矿	岩溶井水	1988.06.02	9.08 ±1	3				

资料引自《陕西渭西北部黄土塬隐伏岩溶区地下水开发利用研究》,中国地质科学院岩溶地质研究所

表2 河谷区岩溶水与河水 T含量动态数据

Table 2 Dynamic data of tritium of the karst groundwater and the river water

取样时间	取样地段				
年 月	马瀛泉	袁家坡泉	温汤 S ₉ 泉	温汤 S ₃ 泉	洛河水 (温汤)
1987					
6	17.87	1.48	1.12	3.5	8.25
7	7.83	7.95	4.97	5.33	10.06
8	3.73	1.66	5.67	2.49	8.51
9	50.5	15.43	24.78	27.59	30.11
10	32.14	11.86	9.97	4.42	15.05
11	17.99	14.13	7.45	6.16	16.23
12	3.98	10.92	4.00	11.72	18.10
1988					
1	<1	14.02	3.28	<1	12.66
2	10.34	<1	6.32	2.5 ±0.8	28.65 ±1
3	2.5	10.01	2.88 ±0.8	2.33 ±0.5	8.13 ±1
4	9.81	3.37 ±1	4.68 ±1	7.87 ±1	12.46 ±1
5	1.49 ±0.5	3.38 ±1	1.28 ±0.5	3.93 ±1	6.07 ±1

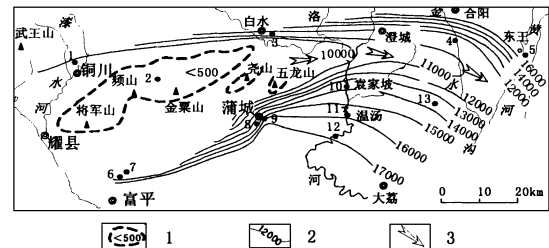
4.2 ¹⁴C 同位素特征

据岩溶水¹⁴C资料(表3)绘制的年龄等值线图(图5)显示:碳酸盐岩裸露区和浅埋区岩溶水¹⁴C年龄小于500年,而中—深埋区及洛、黄河岩溶泉年龄为10000~20000年;研究区南侧和北侧¹⁴C年龄较大,中部从碳酸盐岩裸露区至黄河东王岩溶泉一线,¹⁴C年龄相对较低,说明西部碳酸盐岩裸露区为岩溶水的直接补给区^[3,4];区中部存在岩溶水的强径流带、南北两侧存在明显的滞流带、黄河河谷段均有岩溶水顶托排泄的迹象;岩溶水年龄在10000~20000年,同时也表明本区

岩溶含水系统有较强的调蓄能力。

表3 岩溶水同位素¹⁴C年龄资料一览表Table 3 ¹⁴C data of the karst groundwater

序号	取样位置	¹⁴ C 年龄 (年)	序号	取样位置	¹⁴ C 年龄 (年)
1	三里洞煤矿岩溶水	10 000 ±325	8	蒲城果汁厂井	14700 ±270
2	富平赵老峪泉	<500	9	蒲城 YK ₁ 井	16 900 ±24 00
3	白水煤矿岩溶水	11 960 ±228	10	洛河袁家坡泉	13 985 ±340
4	合阳金水沟水泥厂井	11 630 ±218	11	温汤 S ₉ 岩溶泉	15 670 ±340
5	东王 W ₂₈ 井	16 040 ±340	12	大荔段3井	16 120 ±341
6	富平 Y ₁ 井	19 200 ±300	13	大荔高明 YR ₆ 井	13 860 ±150
7	富平 Y ₂ (2#) 井	13 100 ±320			

图5 岩溶地下水¹⁴C年龄等值线图Fig. 5 Contour map of date using ¹⁴C in karst groundwater

1—¹⁴C年龄<500年(补给区);2—¹⁴C年龄等值线;

3—推测岩溶地下水流向

4.3 D、¹⁸O 同位素特征

根据D、¹⁸O资料(表4)作D~¹⁸O散点图(图6)和D等值线图(图7),其特征表现为:

(1) 岩溶水点均落在 Craig 降雨线附近,其中西部露头区和浅埋区的水点(1—12号)均落在 Craig 降雨线前端、位于东南部的水点则落在尾端,且前者的 D、 ^{18}O 值明显偏低。反映了岩溶水来源于大气降水,且补给之前没有明显蒸发,中—深埋区岩溶水与裸露区及浅埋区岩溶水形成的环境背景明显不同,前者形成时的气候要比现代寒冷得多^[3]。

(2) 裸露区及浅埋区地表水 D ~ ^{18}O 基本呈直线关系,斜交于 Craig 线下方,靠近蒸发线,反映了地表水来源于大气降水,并经历了明显的蒸发^[3];位于裸露区漆水河河谷的 17 号岩溶水点和浅层孔隙水 23 号点均落在地表水线附近,反映了河谷灰岩裸露区和浅层孔隙水接受了河水的渗漏补给。

(3) 从灰岩裸露区向外围, D 值由高变低,高值区反映了现代水特征,低值区则反映了“老水”特征^[3],由此亦可以得知:灰岩裸露区及浅埋区为岩溶的补给区,中—深埋区为迳流和排泄区。

(4) D 变化梯度在碳酸盐岩裸露区至黄河东王一线较小,向南、向北增大,反映了岩溶水在此线存在强迳流带,黄河东王泉与洛河袁家坡、温汤泉是同一系统的不同排泄点。

5 结论

(1) 碳酸盐岩裸露区为岩溶水的直接补给区,碳酸盐岩浅埋区是岩溶水的间接补给区,间接得到上部浅层孔隙水的补给,碳酸盐岩中—深埋区为迳流和排泄区,上覆第三系或煤系地层,一般得不到入渗补给。

(2) 洛河水与岩溶水在袁家坡、温汤等地段存在互补互排关系,即丰水期河水补给岩溶水,枯水期岩溶水向洛河排泄;黄河东王岩溶泉出露于第四系,丰水期泉水中有较多的现代孔隙水混入,枯水期则混入量较少或未混入。

(3) 研究区中部存在岩溶水的强迳流带,黄河东王、洛河袁家坡及温汤是岩溶水系统的主要排泄点,在黄河与洛河之间并不存在岩溶水分水岭。

(4) 在黄河与洛河之间的南部边界,有少量岩溶水向关中盆地排泄,在该地段属流量边界;洛河以西的南部边界和北部边界,岩溶水交换量甚微,属隔水边界。

(5) 中—深埋区岩溶水形成时间在 10 000 ~ 20 000 年之间,说明岩溶水迳流速度滞缓,但调蓄功能较强。

参考文献:

- [1] 陈月妮,董天印,杨喜成,等. 陕西省渭北东部岩溶水水文地质普查—详查[R]. 渭南:陕西省地矿局第二水文地质队,1990.
- [2] 张茂省,齐甲林. 环境同位素方法在水源地勘查中的应用[A]. 中国同位素水文地质学之进展[C]. 天津:天津大学出版社,1993. 174 - 179.
- [3] 黎兴国,张茂省,等. 渭河平原地下水分布特征与环境同位素研究[J]. 地球学报,1994,(1 - 2):177 - 188.
- [4] 刘存富,王恒纯. 环境同位素水文地质基础[M]. 武汉:武汉地质学院水文地质教研室,1994. 12 - 96.
- [5] 王东升. 应用氡同位素和碳-14 估算娘子关区岩溶地下水年龄和汇水面积[J]. 水文地质工程地质,1991,18(2):2 - 7.

Environmental isotopes of karst groundwater in east Weibei, Shaanxi Province

ZHANG Mao-sheng^{1,2}, DANG Xue-ya^{1,3}, YU Sheng-hu³

- (1. School of Water Resources and Environment, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;
2. Xi'an Institute of Geology and Mineral, Xi'an 710054, China; 3. Second Brigade of Hydrogeology and Engineering Geology, Shaanxi Bureau of Geology and Exploration, Weinan 714000, China)

Abstract: The karst groundwater system in the eastern part of Weibei, Shaanxi Province is a relatively complicated one. Environmental isotopes such as T, D, ^{18}O , ^{14}C of the karst groundwater were systematically examined in this article. The results of the environmental isotopic analyses further reveal: (1) the hydrogeologic conditions of karst groundwater including the recharge, runoff, discharge and boundaries of the system, (2) the relationship between the karst water and the surface water bodies of the Luohe River and the Yellow River, and (3) the relation between the karstic springs in the Luohe River and the Yellow River.

Key words: karst groundwater; environmental isotopes; surface water