

山西省郑庄地区浅部地下水 $\rho(\text{Ca})/\rho(\text{Sr})$ 和 $\rho(\text{Mg})/\rho(\text{Sr})$ 分布特征及其地热示踪意义

汪玉松, 王增银, 胡进武, 王 涛

(中国地质大学环境学院, 湖北 武汉 430074)

摘 要: 岩溶水中一般含有 Sr^{2+} , 且其浓度会随着径流途径的延长而增大, 在埋藏滞留区最大, 相应的 $\rho(\text{Ca})/\rho(\text{Sr})$ 、 $\rho(\text{Mg})/\rho(\text{Sr})$ 值也最小。依据这一规律分析了以碳酸盐岩为热储层的郑庄地热异常区浅部地下水中 $\rho(\text{Ca})/\rho(\text{Sr})$ 、 $\rho(\text{Mg})/\rho(\text{Sr})$ 值的分布特征, 发现 $\rho(\text{Ca})/\rho(\text{Sr})$ 、 $\rho(\text{Mg})/\rho(\text{Sr})$ 值异常区域与浅部地下水水温异常区域非常一致, $\rho(\text{Ca})/\rho(\text{Sr})$ 、 $\rho(\text{Mg})/\rho(\text{Sr})$ 值与地下水水温呈线性关系, 随着地下水水温的升高, 其 $\rho(\text{Ca})/\rho(\text{Sr})$ 、 $\rho(\text{Mg})/\rho(\text{Sr})$ 值减小, 表明 $\rho(\text{Ca})/\rho(\text{Sr})$ 、 $\rho(\text{Mg})/\rho(\text{Sr})$ 值对岩溶型低温地热田的地热异常具有良好的示踪意义。

关键词: 地热异常; $\rho(\text{Ca})/\rho(\text{Sr})$; $\rho(\text{Mg})/\rho(\text{Sr})$; 示踪剂

中图分类号: P541

文献标识码: A

文章编号: 1000-7849(2004)04-0105-04

传统的地热异常分析指标, 如 SiO_2 、 F^- 、 Cl^- 等都是在水温达到几十甚至上百度时才有明显的异常显示^[1,2], 较适合具有集中上升通道且水温较高的地热田的异常分析, 而对于那些无集中上升通道、埋藏较深的地热田, 上述地热分析指标的异常显示相当微弱甚至没有^[3]。前人的研究表明, 海相碳酸盐岩中普遍含有锶元素, 且岩溶水中 Sr^{2+} 的浓度会随着径流途径的延长而增大, 不易受环境影响而改变, 但岩溶水中 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 浓度随着径流途径的延长, 其增大幅度较小, 故岩溶地下水中 $\rho(\text{Ca})/\rho(\text{Sr})$ 、 $\rho(\text{Mg})/\rho(\text{Sr})$ 值也随着径流途径的延长而逐渐减小, 在埋藏滞留区达到最小^[4,5]。地热水一般都埋藏较深且径流途径较长, 故岩溶热水中的 $\rho(\text{Ca})/\rho(\text{Sr})$ 、 $\rho(\text{Mg})/\rho(\text{Sr})$ 值一般较小。根据这一规律, 笔者着重对郑庄地区浅部地下水的水化学资料, 尤其是 $\rho(\text{Ca})/\rho(\text{Sr})$ 、 $\rho(\text{Mg})/\rho(\text{Sr})$ 值进行了分析, 进一步探讨了其特征与浅部地下水的水温异常显示特征的关系以及 $\rho(\text{Ca})/\rho(\text{Sr})$ 、 $\rho(\text{Mg})/\rho(\text{Sr})$ 值与地下水水温的关系, 为岩溶型低温地热田的地热异常分析提供了一种新的方法。

1 郑庄地区地热异常的形成条件

1.1 地层岩性及构造

郑庄位于山西省晋城市沁水县的中部, 具有四

周群山环绕、中部丘陵起伏、盆地相间的地貌特征。郑庄地热异常带位于沁水县中部的沁河谷地, 构造上位于沁水向斜内, 地表主要出露二叠系、三叠系砂页岩和第四系粘土、砂砾石层, 深部主要为石炭系砂岩、泥岩及奥陶系、寒武系中厚层灰岩、白云质灰岩、泥灰岩。研究区南部的北东向断层属寺头—端氏北东向断裂带的组成部分。该断裂带主要由南北两条断层组成, 长约 20 km, 宽约 5 km, 带内地层下降, 断距约 200~250 m, 将下伏奥陶系灰岩断开呈不连续, 阻隔了深部岩溶水的向南运移, 为郑庄地热田的形成提供了构造条件。

1.2 地热形成条件分析

地球内部的热能在向地表传递的过程中, 因受到不同地形、岩性、构造和地下水活动等因素的影响, 致使地表各处的热流分布很不均衡, 局部出现地热异常, 从而形成地热田。对于以幔源热传导为主形成的地热田, 地下水深循环是形成地热田的主要因素。地下水深循环不仅能将分散在岩层中的热量聚集起来, 而且能维持充足的水量, 是地热田形成的必备条件。郑庄一带在构造上位于沁水向斜内, 向斜北翼霍山一带的寒武—奥陶系碳酸盐岩裸露, 直接接受大气降水的入渗补给, 形成岩溶水, 其中大部分径流至广胜寺以泉的形式排泄, 少部分在地势差的作用下, 向沁水向斜盆地的深部径流, 形成深循环且将

分散在岩层中的热量聚集起来,受寺头—端氏断裂带的阻挡后相对聚集而形成地热田。因此郑庄地热田属于局部没有特殊热源的岩溶水深循环对流型地热系统^[6]。其形成模式见图 1。

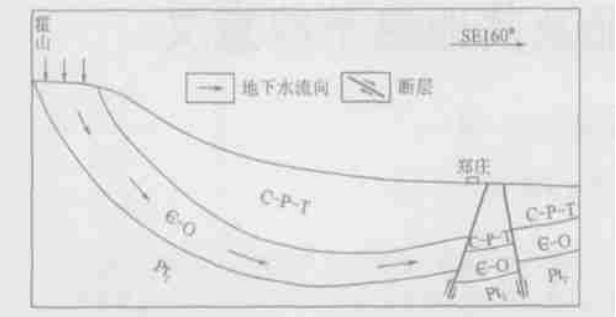


图 1 山西省郑庄地热系统形成模式图

Fig 1 Model for the formation of geothermal field system of Zhengzhuang, Shanxi Province

C—P—T. 石炭—二叠—三叠系砂页岩; —O. 寒武—奥陶系碳酸盐岩; Pt. 中元古界石英砂岩

1 3 水文地质条件

在大的水文地质单元上,郑庄地热田应属于延河泉岩溶水系统北部的滞留区。根据地下水类型和含水层的埋藏条件,可进一步分为表层第四系孔隙水系统、上层石炭—二叠系裂隙水系统和深层寒武—奥陶系岩溶水系统三类。

第四系孔隙水系统主要分布于沁河河谷地带,含水层由砂砾石组成,厚度一般为 10~ 20 m。该类型水除接受大气降水的入渗补给外,还接受两侧基岩裂隙水的补给,向河谷地表排泄。石炭—二叠系裂隙水系统广泛分布于山区,其含水层主要是厚层砂岩。通常在构造裂隙和风化裂隙发育带的岩层透水性较好,主要接受大气降水的入渗补给。其径流主要受地形控制,一般从山丘向沟谷径流,在适当地点以泉的形式排泄。寒武—奥陶系岩溶水系统主要由奥陶系含水层和寒武系含水层组成。含水层在研究区

内均埋藏于地下深部,地下水径流滞缓,汇集慢源热能,构成郑庄地热田的主要储热层。我们将表层孔隙水及上层裂隙水统称为浅部地下水,将奥陶系和寒武系岩溶水称之为深部地下水。

2 浅部地下水的水化学特征

郑庄地区浅部地下水主要由表层孔隙水及上层裂隙水组成,其水化学特征一方面受一般孔隙水、裂隙水的影响;另一方面由于其分布区的深部有岩溶热水的存在,其水化学特征也受岩溶热水的影响,为普遍含有 Sr^{2+} 等微量元素的低总溶解固体量 TDS (total dissolved solids) 的 HCO_3-Ca, Mg 型水。

2 1 样品的采集与测试

地热田虽然埋藏于地下几百米甚至千米以下的深处,但它的热能总有一些会通过上部盖层传递到地表,使得表层及浅部地下水的水温及水化学成分有所反映,所以这次研究重点分析了浅部地下水的水温及水化学成分。

2003 年 1 月 5~ 12 日,笔者对约 80 km² 范围内的浅部地下水进行了调查与取样。共调查勘探孔 9 个,泉 14 个,井 10 个,采集泉水样 12 个(取样深度为泉口)、井水样 5 个(取样深度在地表以下 5~ 10 m)。室内用离子色谱仪分析了水中的常规组分,用原子吸收分光光度仪分析了水中的锶元素。郑庄浅部地下水水温及部分离子的质量浓度见表 1。

2 2 浅部地下水水温特征

根据表 1 数据绘制的郑庄地区浅部地下水水温等值线图(图 2)可看出,郑庄一带浅部地下水水温的分布具有一定的规律,沿沁河河谷的郑庄、东大一带地下水水温较高,水温最高点在东大附近,而自河谷向南北两岸水温逐渐降低。由前面的水文地质条件与地热形成条件分析可知,该地区的地下深处有

表 1 山西省郑庄地区浅部地下水水温及部分离子浓度表

Table 1 Temperature and partial ion concentration of shallow groundwater in Zhengzhuang region, Shanxi Province

编号	取样点	水温/ ℃	Mg^{2+} Ca^{2+} Sr^{2+}			TDS	$\rho(\text{Ca}) /$	$\rho(\text{Mg}) /$
			$\mu\text{g}/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$				$\rho(\text{Sr})$	$\rho(\text{Sr})$
1	河头村井	11.5	10.94	68.35	0.30	461.51	228	36.0
2	南岭口泉	4.2	7.42	51.43	0.15	250.38	344	49.0
3	郑庄井	13.0	16.49	84.27	0.32	841.96	263	51.5
4	张沟村泉	8.3	10.41	59.04	0.21	267.55	281	49.6
5	黑龙沟泉	8.2	10.93	52.38	0.28	255.09	187	39.0
6	富家村泉	10.2	8.00	50.80	0.12	272.76	423	66.7
7	上备村泉	6.2	11.93	55.75	0.22	267.27	253	54.2
8	杨河村泉	9.4	13.75	65.93	0.35	297.24	188	39.3
9	麻疙圪村井	13.0	14.21	69.69	0.30	400.74	232	47.3
10	积家山村泉	2.7	13.48	75.16	0.28	311.87	268	48.0
11	东大2号井	15.1	11.29	65.98	0.29	392.74	227	39.0
12	东大3号井	15.0	16.98	86.72	0.41	593.76	221	41.4
13	牛家庄泉	4.9	11.49	65.45	0.22	295.19	298	52.2
14	前银洞沟泉	7.9	11.87	64.44	0.28	268.42	230	42.4
15	老道凹村泉		10.39	57.56	0.22	276.73	261	47.2
16	塌土村泉	6.8	13.92	77.65	0.30	356.64	259	46.4
17	林村泉	2.4	12.04	48.06	0.18	238.77	267	66.9

地热田存在, 由于河谷地带构造较为发育, 岩层破碎, 使热水上升补给浅部地下水, 所以在河谷地带浅部地下水水温出现异常, 即浅部地下水水温异常是由深部热水侵入补给浅部地下水造成的。

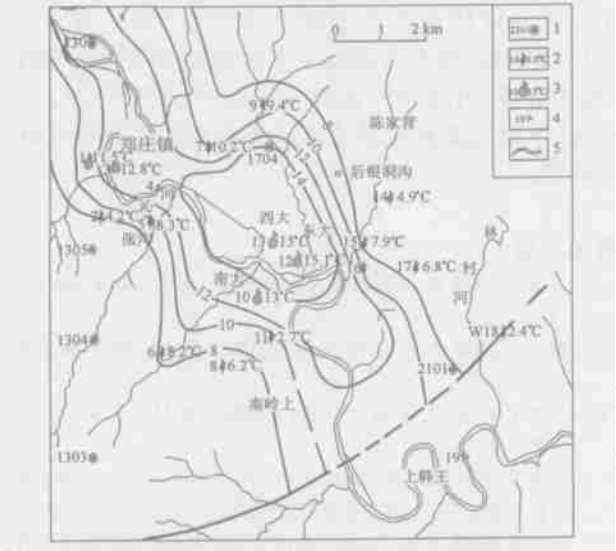


图 2 山西省郑庄地区浅部地下水水温等值线图

Fig 2 Temperature contour lines of shallow groundwater in Zhengzhuang region, Shanxi Province

1. 煤田勘探孔编号; 2. 泉取样点编号及温度; 3. 井取样点编号及温度; 4. 河水取样点编号; 5. 河流

2.3 浅部地下水 $\rho(\text{Ca})/\rho(\text{Sr})$ 、 $\rho(\text{Mg})/\rho(\text{Sr})$ 特征

郑庄地区浅部含水层岩性主要为砂页岩, 锶元素的含量一般较低, 其地下水中锶离子的含量也较低^[7], 地下水中 $\rho(\text{Ca})/\rho(\text{Sr})$ 、 $\rho(\text{Mg})/\rho(\text{Sr})$ 值一

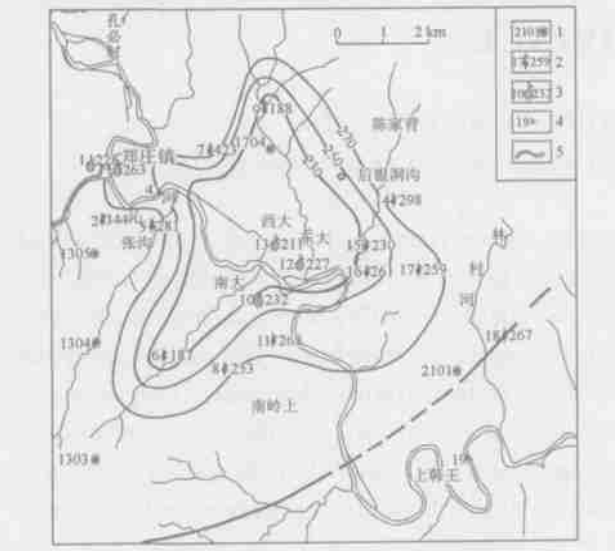


图 3 山西省郑庄地区浅部地下水 $\rho(\text{Ca})/\rho(\text{Sr})$ 等值线图

Fig 3 $\rho(\text{Ca})/\rho(\text{Sr})$ contour lines of shallow groundwater in Zhengzhuang region, Shanxi Province

1. 煤田勘探孔编号; 2. 泉取样点编号及 $\rho(\text{Ca})/\rho(\text{Sr})$ 值; 3. 井取样点编号及 $\rho(\text{Ca})/\rho(\text{Sr})$ 值; 4. 河水取样点编号; 5. 河流

般较大。但利用原子吸收分光光度仪对郑庄地区所取水样的 Sr^{2+} 分析结果显示, 地下水中的 Sr^{2+} 质量浓度较外围地区高, 即地下水中 $\rho(\text{Ca})/\rho(\text{Sr})$ 、 $\rho(\text{Mg})/\rho(\text{Sr})$ 值较外围地区小。从图 3、4 可以看出, $\rho(\text{Ca})/\rho(\text{Sr})$ 、 $\rho(\text{Mg})/\rho(\text{Sr})$ 值具有明显偏小的异常特征。其特点是在东大、西大一带明显偏小, 而向四周逐渐增大; 低值区呈十字型分布, 即低值呈 NNE 和 NW 两个方向展布。前已述及, 郑庄地区深部有径流缓慢的岩溶水存在, 而该类型地下水的 $\rho(\text{Ca})/\rho(\text{Sr})$ 、 $\rho(\text{Mg})/\rho(\text{Sr})$ 值一般较小, 所以浅部地下水中 $\rho(\text{Ca})/\rho(\text{Sr})$ 、 $\rho(\text{Mg})/\rho(\text{Sr})$ 值偏小的异常特征应该是受深部岩溶水的影响所致, 即受郑庄地区发育的 NNE 和 NW 向两组断裂构造的影响, 地下岩溶热水沿这两组断裂向上侵入造成浅部地下水中 $\rho(\text{Ca})/\rho(\text{Sr})$ 、 $\rho(\text{Mg})/\rho(\text{Sr})$ 值偏小而形成异常。

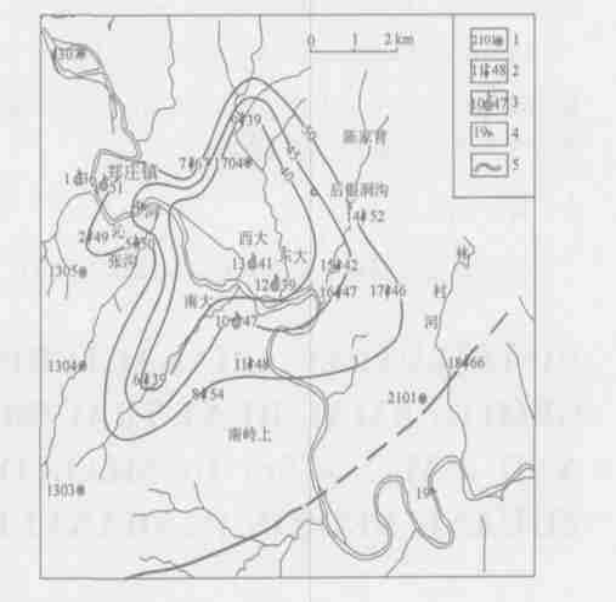


图 4 山西省郑庄地区浅部地下水 $\rho(\text{Mg})/\rho(\text{Sr})$ 等值线图

Fig 4 $\rho(\text{Mg})/\rho(\text{Sr})$ contour lines of shallow groundwater in Zhengzhuang region, Shanxi Province

1. 煤田勘探孔编号; 2. 泉取样点编号及 $\rho(\text{Mg})/\rho(\text{Sr})$; 3. 井取样点编号及 $\rho(\text{Mg})/\rho(\text{Sr})$; 4. 河水取样点编号; 5. 河流

3 浅部地下水 $\rho(\text{Ca})/\rho(\text{Sr})$ 、 $\rho(\text{Mg})/\rho(\text{Sr})$ 与水温的关系

依据表 1 数据绘制的 $\rho(\text{Ca})/\rho(\text{Sr})$ 、 $\rho(\text{Mg})/\rho(\text{Sr})$ 值与水温关系散点图(图 5、6)可以看出, 郑庄地区浅部地下水中的 $\rho(\text{Ca})/\rho(\text{Sr})$ 、 $\rho(\text{Mg})/\rho(\text{Sr})$ 值与水温呈负相关性, 即随着水温的升高 $\rho(\text{Ca})/\rho(\text{Sr})$ 、 $\rho(\text{Mg})/\rho(\text{Sr})$ 值逐渐变小且变化较灵敏。实际上浅部地下水的水温越高, 说明其接受深部岩溶热水的补给量就越大, 岩溶热水补给量越大, 浅部地下水的 $\rho(\text{Ca})/\rho(\text{Sr})$ 、 $\rho(\text{Mg})/\rho(\text{Sr})$ 值就越小。这也

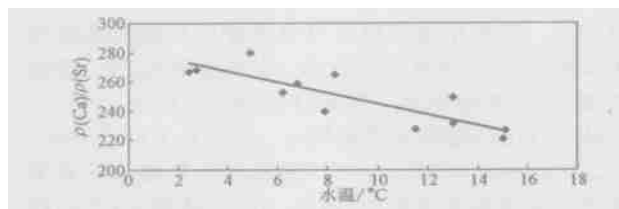


图5 山西省郑庄地区浅部地下水 $\rho(\text{Ca})/\rho(\text{Sr})$ 值与水温关系图

Fig 5 Correlation between $\rho(\text{Ca})/\rho(\text{Sr})$ and temperature of shallow groundwater in Zhengzhuang region, Shanxi Province

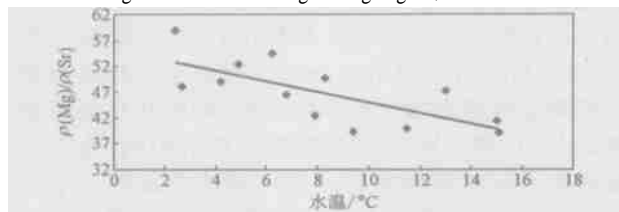


图6 山西省郑庄地区浅部地下水 $\rho(\text{Mg})/\rho(\text{Sr})$ 值与水温关系图

Fig 6 Correlation between $\rho(\text{Mg})/\rho(\text{Sr})$ and temperature of shallow groundwater in Zhengzhuang region, Shanxi Province

说明浅部地下水中 $\rho(\text{Ca})/\rho(\text{Sr})$ 、 $\rho(\text{Mg})/\rho(\text{Sr})$ 值异常与水温异常是同一原因造成的。

4 结 论

郑庄地区浅部地下水中 $\rho(\text{Ca})/\rho(\text{Sr})$ 、 $\rho(\text{Mg})/\rho(\text{Sr})$

$\rho(\text{Sr})$ 值有明显的异常显示, 而且其异常区域与浅部地下水水温的异常区域较一致。另外 $\rho(\text{Ca})/\rho(\text{Sr})$ 、 $\rho(\text{Mg})/\rho(\text{Sr})$ 值还与地下水水温呈线性相关, 随着地下水水温升高, 其 $\rho(\text{Ca})/\rho(\text{Sr})$ 、 $\rho(\text{Mg})/\rho(\text{Sr})$ 减小。这些说明该区浅部地下水中 $\rho(\text{Ca})/\rho(\text{Sr})$ 、 $\rho(\text{Mg})/\rho(\text{Sr})$ 值异常和地下水水温异常是同一原因(地热异常)引起的, 表明 $\rho(\text{Ca})/\rho(\text{Sr})$ 、 $\rho(\text{Mg})/\rho(\text{Sr})$ 值对低温岩溶型地热田的地热异常具有良好示踪意义。

参考文献:

- [1] 王维勇, 黄尚瑶. 地热基础理论研究[M]. 北京: 地质出版社, 1982
- [2] 廖志杰, 康文华, 王钧, 等. 地热专辑第二辑[M]. 北京: 地质出版社, 1989
- [3] 张虎才. 元素表生地球化学特征及理论基础[M]. 兰州: 兰州大学出版社, 1997
- [4] 王增银, 刘娟, 崔银祥, 等. 延河泉岩溶水系统 Sr/Ca 、 Sr/Mg 分布特征及应用[J]. 水文地质工程地质, 2003, 30(2): 15-19
- [5] 王增银, 刘娟, 王涛, 等. 锶元素地球化学在水文地质研究中的应用进展[J]. 地质科技情报, 2003, 22(4): 91-95
- [6] 汪集姝, 熊亮萍, 庞忠和. 中低温对流型地热系统[M]. 北京: 科学出版社, 1993
- [7] 韩贵琳, 刘丛强. 贵州河流河水的锶同位素与喀斯特地区化学风化作用[J]. 第四纪研究, 2000, 20(6): 570

DISTRIBUTION CHARACTERISTICS AND THE MEANING TO GEOTHERMAL HEAT TRACING BY THE VALUE OF $\rho(\text{Ca})/\rho(\text{Sr})$ AND $\rho(\text{Mg})/\rho(\text{Sr})$ IN SHALLOW GROUNDWATER OF ZHENGZHUANG REGION IN SHANXI PROVINCE

WANG Yu-song, WANG Zeng-yin, HU Jin-wu, WANG Tao

(School of Environmental Studies, China University of Geosciences, Wuhan Hubei 430074, China)

Abstract: Karstic water normally consists of Sr^{2+} , and whose concentration increases with the increase of running path. It reaches the maximum in disposal area where the values of $\rho(\text{Ca})/\rho(\text{Sr})$, $\rho(\text{Mg})/\rho(\text{Sr})$ are minimum. Based on the theory, analyse the distribution characteristics of $\rho(\text{Ca})/\rho(\text{Sr})$, $\rho(\text{Mg})/\rho(\text{Sr})$ values of shallow groundwater in the abnormal region of Zhengzhuang geothermal heat. The results show the abnormality region of the values is similar with the region of water temperature abnormality. The values of $\rho(\text{Ca})/\rho(\text{Sr})$, $\rho(\text{Mg})/\rho(\text{Sr})$ are linearly dependent with water temperature, and the values of $\rho(\text{Ca})/\rho(\text{Sr})$, $\rho(\text{Mg})/\rho(\text{Sr})$ decrease when the water temperature increases. It is clear that the values of $\rho(\text{Ca})/\rho(\text{Sr})$, $\rho(\text{Mg})/\rho(\text{Sr})$ can work as the indicator for the analysis of geothermal abnormality of karst thermal water with low temperature.

Key words: geothermal abnormality; $\rho(\text{Ca})/\rho(\text{Sr})$; $\rho(\text{Mg})/\rho(\text{Sr})$; indicator