

<http://www.geojournals.cn/georev/ch/index.aspx>

云南兰坪啦井温泉喷流沉积矿化体的发现及其地质意义

肖荣阁 李朝阳

(中国科学院地球化学研究所, 贵阳)



啦井温泉喷流沉积物中富集了 Mn、Zn、Sr、Ba 及其他元素, 作者首次发现其已构成多金属矿化体, 为此进行了详细的地球化学研究。温泉属硫酸盐型弱酸性水, C、H、O 同位素表明, 温泉成因于循环大气降水。从沉积特征分析, 温泉经历了爆发喷流期与渗流期的演化过程。

关键词 温泉 喷流沉积 地球化学 云南

近年来地热地质的研究已不限于热能开发利用的研究, 人们已经发现了许多热储或热泉系统中的矿化现象^[1,2]。因此, 研究地热系统中的喷流沉积作用或矿化特征已经成为当前矿床地质的研究方向。

云南西部是现代地热活动较强的地区, 从地热活动的特点看, 具有由东向西变新或迁移现象。现代地热活动主要集中于腾冲地区, 而中生代-早新生代的地热活动在兰坪-思茅地区留有明显的迹象, 许多中生代矿床具喷流特点。兰坪-思茅地区现在局部仍有残存地热活动, 啦井温泉就是其中之一, 并伴随明显的矿化现象。作者在野外调查期间, 首次发现啦井温泉喷流沉积矿化体, 并进行了详细研究, 其研究价值不在于经济价值, 而在于其作为一种矿床成因类型, 具有重要的科学价值。

1 地质特征

啦井温泉位于兰坪新生代断陷盆地西缘(图1), 区内地层主要为中三叠统中基性火山岩、灰岩, 上三叠统含火山碎屑砂砾岩, 侏罗系红色碎屑岩夹泥灰岩、灰岩、局部石膏薄层, 白垩系红色碎屑岩及古新统红色含盐碎屑岩。温泉直接产于古新统红色含盐碎屑岩中。

古新统含盐碎屑岩主要岩性为棕红色粉砂岩、粉砂质泥岩、钙质泥岩夹泥砾岩或含盐泥砾岩。兰坪盆地夹多层绿色薄层状泥灰岩, 是兰坪-思茅地区的重要含盐层。主要含盐层是泥砾岩、泥砾混杂石盐岩为主, 有些地区出现纯质石盐岩、含钾石盐岩, 如勐野井、勐腊等地, 地表所见泥砾岩是盐系地层的标志。兰坪盆地中有一系列盐泉卤井产于这一层位。啦井盐矿以吸取该层卤水生产石盐, 云龙附近于该层发现固体钾盐矿层。

啦井温泉周围古新统碎屑岩为棕红色细砂岩、粉砂岩夹泥岩, 沿岩石断面冲沟中盐霜较为发

注: 中国科学院地球化学研究所矿床地球化学开放研究实验室资助项目。

本文 1991 年 4 月收到, 8 月改回, 刘淑春编辑。

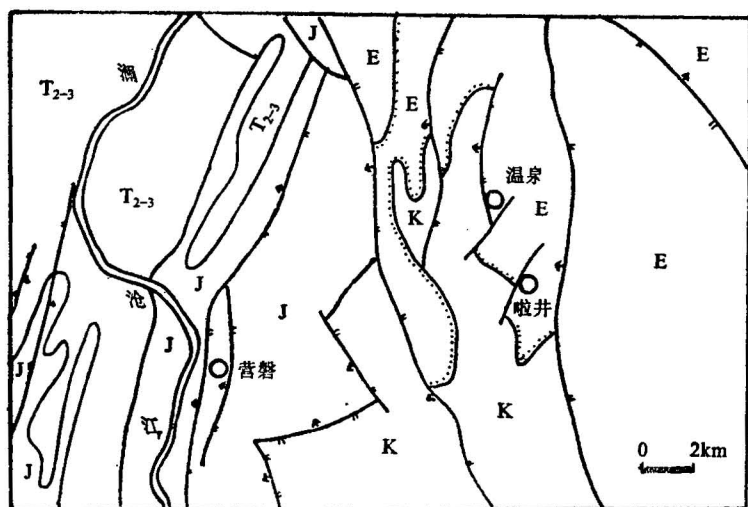


图 1 兰坪盆地西缘地质简图

Fig. 1 Geologic sketch map of western Lanping basin

T₂₋₃—中上三叠统; J—侏罗系; K—白垩系; E—古新统T₂₋₃—Mid-upper Triassic; J—Jurassic; K—Cretaceous; E—Paleocene

育, 盐霜成分以芒硝为主, 略带咸味。区内构造线方向为北北东向, 伴有一组走向北北西断裂斜切。啦井温泉产于两组断裂交汇处。温泉位于高出河谷 30m 向东伸出的山嘴处, 呈渗流状产出, 十几平方米内一系列微细渗水口, 水流出后汇集一起。

2 温泉喷流沉积物

从温泉沉积物分布范围看, 啦井温泉为一个不断收缩近于消亡的温泉。其沉积物分布面积约 0.2 km², 现代涌水区仅 10m² 左右。

古温泉沉积物沿冲沟呈透镜状分布, 最厚处约 50m。根据沉积物物质组成, 可以分为如下几类:

1. 泥砾混杂堆积物, 主要是较老的沉积物。主要组分为大小不等的红色砂岩、泥岩角砾碎屑。小的几毫米, 大的在一米以上。角砾呈次棱角、次滚圆状, 略具磨圆。胶结物为热水沉积方解石(钙华), 沿碎屑间充填胶结。

2. 不规则层状钙质沉积物, 以热水沉积粗晶方解石为主, 含少量红色泥砾。沉积物呈蜂巢状、堆积柴草状。疏松多孔, 孔洞呈管状、扁豆状。其间树枝、草茎、树叶印模极为发育, 有的为碳酸盐化石。这种沉积特征表明, 在古泉兴盛期, 其周围是繁茂的古森林, 钙质沉积物是以交代草木或枝叶形成的, 未经受明显的压实。

3. 层状沉积物, 以钙质沉积物为主, 夹含芒硝泥质薄层, 呈纹层状, 有管状构造体。

4. 泥质沉积物, 灰黄色絮状沉淀物, 在泉水通道处分布局限。

5. 渗透交代沉积物, 在泉口周围泥岩中局部渗透, 形成钙质管状体及网脉, 表面见有以芒硝(可能有重晶石)为主的盐霜。样品自然干燥后, 形成大量具有金属光泽的硬块。从实地看, 渗透、淋滤是同时进行的, 有物质的带入带出。

在现在泉口钙华下部还原作用极为明显, 由于热水的渗透、淋滤, 红色泥岩成为灰绿色。沿裂隙渗透处, 则是强烈氧化带, 形成血红色三价氧化铁为主的泥质物。

3 地球化学特征

本文采集了各种沉积物与水样进行了地球化学研究，基本特征如下。

3.1 水文地球化学

地表水温 40℃ 左右，pH 值为 6.0—7.3，属弱酸性水。水中 K⁺、Na⁺、Ca⁺²、Mg⁺²、SO₄⁻²、Cl⁻ 含量均较高，尤以富 CO₂ 和 SiO₂ 为特征。从水质化学组成看，属硫酸钠型弱酸性水（表 1）。

表 1 啦井温泉水化学分析表(mg/l)

Table 1 The water chemical compositions of Lajing hot spring(mg/l)

样 号	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻²	Cl ⁻	SiO ₂	pH
1	307.84	36.63	13.45	629.85	543.08	1557.27	171.55	40.00	6.0
2	309.85	21.37	13.45	634.30	482.06	1562.36	168.65	40.00	6.0

中国科学院地球化学研究所化验室分析，下同。

根据 SiO₂ 的温标公式计算：

$$T(^{\circ}C) = 1522 / (5.75 - \log SiO_2) - 273.15$$
$$= 93.6^{\circ}C$$

根据 Na-K-Ca 温标公式计算：

$$T(^{\circ}C) = 1647 / \{ \log (Na/K) + [\log (Ca^{1/2}/Na) + 2.06] / 3 + 2.47 \} - 273.15$$
$$= 108.1^{\circ}C$$

Na/K 温标为：

$$T(^{\circ}C) = 1217 / [\log (Na + K) + 1.483] - 273.15$$
$$= 112.8^{\circ}C$$

根据上述计算，温泉的地下水水温约 100℃ 左右，在沸点附近。古水温可能高于此温度 很多，因此其喷出地表沸腾时，将发生明显的沉淀作用，与实际所见是吻合的。

3.2 喷流沉积物的地球化学特征

3.2.1 组合元素分析

从沉积物的组合元素分析（表 2）可见，啦井温泉沉积物中 Ca、Fe、Mn、Sr、Zn、Co、Ba 明显高于正常沉积物，尤其渗透交代沉积物中，MnO、Zn、Sr、Co、Ba 尤为富集。

上述元素的相关系数组成的 R 聚类谱系（图 2）表明，相关系数 0.3 水平以上时，元素组合分解为三组。第一组 MnO、Ba、Co、Zn、Sr、Fe₂O₃，为氧化物吸附伴硫酸盐类，可能有深源物质加入；第二组 Na、Mg、Li、Ni 与 K、Rb、V，可能属硫酸盐与粘土吸附类；第三类 Ca、Cu、Pb，可能属碳酸盐或有机质吸附。

为了进一步研究泥质沉积物与渗透淋滤物中的矿化性，本文分析了 Au、Ag、As、Sb、Hg 的含量（表 3）。从表中可以看出，除 Au 外，Ag、As、Sb、Hg 都高于地壳正常丰度值 2—3 个数量级，具有初步富集趋势。Au 也略高于克拉克值，B 丰度无明显异常。

通过上述组合元素分析，可以认为啦井温泉喷流沉积物是一多金属矿化体，某些矿化元素的赋存状态尚待进一步研究。

表 2 啦井温泉喷流沉积物多元素分析表
Table 2 Multi-element analysis of spurting fluid sediment
from Lajing hot spring

样号	K ₂ O Na ₂ O CaO MgO Fe ₂ O ₃ MnO						Li ₂ O Sr Rb Pb Zn Cu Ni Co V Ba										
	(%)						(×10 ⁻⁶)										
沉淀物	2	0.36	0.28	23.20	0.32	16.50	1.21	15.4	2 765	24	11	183	4	5	49	19	422
	3	0.41	0.33	21.97	0.33	17.05	0.97	17.8	2 289	29	14	227	20	5	38	23	377
	5	0.39	0.31	14.13	0.30	25.53	0.68	18.5	2 110	27	18	276	4	5	20	13	187
渗透物	1	0.14	0.23	1.96	0.15	75.77	0.51	7.2	1 064	9	26	558	4	5	63	4	1 179
	6	0.28	2.20	8.13	0.71	37.89	14.85	30.6	3 371	20	13	830	4	212	508	23	5 490
	7	0.19	1.30	20.40	0.66	15.18	7.25	21.9	4 413	16	642	289	4	94	209	9	2 454
	8	0.33	0.32	1.60	0.28	41.08	55.15	7.0	9 995	15	10	2 131	4	120	1 400	15	20 953
钙华	4	0.04	0.26	50.82	0.12	2.24	0.21	1.8	8 622	5	271	38	13	5	5	4	101
	9	0.01	0.09	54.82	0.02	0.07	0.03	1.9	9 492	8	171	6	13	7	5	4	60
	10	0.02	0.09	54.26	0.27	0.03	0.01	1.8	2 098	5	9	6	12	5	5	4	95
	11	0.01	0.05	54.91	0.18	0.40	0.90	1.9	578	6	9	14	15	9	22	4	267

注：渗透物中 MnO、Zn、Sr、Co、Ba 含量均高于选定的标样范围，误差在 5%—30%。

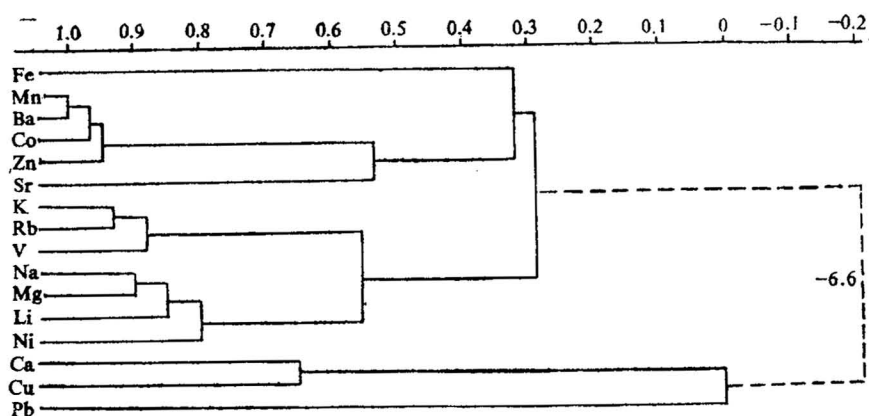


图 2 啦井温泉喷流沉积物多元素相关系数组成的 R 型聚类谱系
Fig. 2 R pattern cluster chart which consist of multi-element correlation coefficient
of spurting fluid sediment from Lajing hot spring

表 3 主要金属元素分析表
Table 3 Some metal elements analysis

样号	Au (g/t)	Ag (g/t)	As (%)	Sb (%)	Hg (%)	B (×10 ⁻⁶)
1	0.016	3.52	0.0015	0.100	0.0208	15
2	0.014	18.33	0.0010	0.035	0.0026	28
3	0.005	2.96	0.0010	0.055	0.0032	38
5	0.003	3.33	0.0007	0.028	0.0110	10
6	0.010	2.96	0.0012	0.065	0.0034	70
8	0.010	2.96	0.0015	0.080	0.0024	10

3.2.2 稳定同位素分析

本文分析了碳酸盐沉积物中的 C、O 同位素组成与水的 D、O 同位素（表 4）。

水样 D-O 同位素值落于 H. Craig (1961) 大气水 D- $\delta^{18}\text{O}$ 关系图的大气水线上，与方程式

表 4 C、H、O 同位素分析表

Table 4 C,H and O stable isotopes analysis

样品	同位素	$\delta^{13}\text{C}$ (PDB)	$\delta^{18}\text{O}$ (PDB)	$\delta^{18}\text{O}$ (SMOW)	D (SMOW)
古钙华	1	-1.0	-13.2	17.3	
	2	-0.0	-18.5	11.8	
现钙华		-0.0	-18.6	11.8	
水 样				-14.4	-108

地质科学院同位素室分析。

$D = 8 \times \delta^{18}\text{O} + 10$ 极吻合，与 Steamboat 温泉热水同位素组成相似。

碳酸盐的 $\delta^{13}\text{C}$ 值落于热液碳酸盐、淡水碳酸盐及海水碳酸盐的重合区， $\delta^{18}\text{O}$ 值落于淡水碳酸盐区^[3]。

从上述同位素组成分析，啦井温泉热水来源于大气降水沿断裂带渗透形成的地下循环水。水化学成分属弱酸性高硫酸盐、低氯化物型卤水，根据 Craig, H. 等人^[4,5]的研究资料对比，其应属表生性质，代表地表水或受蒸气流加热的停滞含水层，与同位素的分析结果是一致的。

4 温泉喷流沉积（矿化）模式

根据喷流沉积物特征分析，可以建立啦井温泉喷流沉积（矿化）模式，其演化过程可划分为三个阶段：

早期激烈喷流阶段，可以伴随着水热爆炸或突发热洪水事件，形成了基本没有分选的泥砾混杂堆积物（热水角砾岩），这阶段也是温泉的极兴盛时期。由于温泉地热活动造成局部的湿热气候，有利于植物生长，成为繁茂的森林环境，其腐植物被碳酸钙质交代形成蜂巢状钙华。

中期间歇式喷流阶段，强弱交替喷流形成钙泥质互层的纹层状沉积物。这一演化阶段在整个温泉发展史中可能经历更长的时期。因此，沉积厚度也是很大的。

晚期渗流阶段，这一阶段以热水的缓慢渗透交代作用为主，局部渗流出地面形成温泉涓流。啦井温泉现为演化的晚期阶段。

上述温泉演化模式预示，在发生爆炸喷流沉积之前必然存在一个封闭于地下的热卤水池，类似于油气藏，受温度、压力作用集聚了极大的能量。在区域构造活动期间，随着压力的释放，形成水热爆炸或热洪水事件。随后则是循环热水演化阶段，由于已不存在封闭于地下的高度集中的热水储备，因此喷流强度已明显减弱并逐渐变为渗流。

从上述各种喷流沉积物的矿化特征分析，最有利的矿化部位是封闭于碳酸钙质岩壳下的渗透还原带，其伴随着明显的热液交代作用。封闭于钙质岩壳下的粘土层，由于热水渗透成为强烈的绝氧环境，发生强还原作用。弱酸性氧化水中携带的各种成矿元素，随着 CO_2 、 H_2S 等挥发气体的溢出，在还原带变得不稳定而以各种形式大量沉淀。因此，渗透还原带是最有利的成矿部位，

这与某些古矿床成因模式有一定的相似之处。

根据啦井温泉喷流沉积物沉积学与地球化学研究,作者建立了一个完整的陆相喷流沉积矿化模式,对某些经历了后期改造了的古喷流矿床识别研究不失为一种参考。

参 考 文 献

- 1 Barnes H L. 热液矿床地球化学(下册).周树强等译.北京:地质出版社,1987.
- 2 中国科学院青藏高原科学考查队.腾冲地热.北京:科学出版社,1989.
- 3 魏菊英等.同位素地球化学.北京:地质出版社,1988.
- 4 Craig H. Isotopic variations in meteoric waters. *Science*, 1961, 133: 1702.
- 5 Craig H. The isotopic geochemistry of water and carbon in geothermal areas, in tangiorgi. E. ed.: *Nuclear Geology on geothermal areas, spoleto, consiglio Nazionale delle Ricerche, Laboratorio di geologia Nuclear*, Pisa, 1963. 17—53.

THE DISCOVERY OF A MINERALIZED BODY IN SPURTING FLUID DEPOSITS OF THE LAJING HOT SPRING, LANPING, YUNNAN, AND ITS GEOLOGICAL IMPLICATIONS

Xiao Rongge and Li Chaoyang

(*Institute of Geochemistry, Academia Sinica, Guiyang*)

Abstract

The spurting fluid deposits of the Lajing hot spring, Lanping, Yunnan, are rich in Mn, Zn, Sr, Ba and other valuable elements. A polymetallic mineralized body containing these elements was for the first time discovered in the deposits by the authors. Intensive geochemical study shows that the water of the hot spring is weakly acid water of sulfate type. C, H and O isotope studies indicate that the hot spring originated from circulating meteoric water. Analysis of sedimentary features suggest that the hot spring has gone through a process of evolution from the explosion and fluid spurting stage to the permeation stage.

Key words: hot spring, spurting fluid deposits, geochemistry, Yunnan

作 者 简 介

肖荣阁, 1949年4月生。1989年毕业于中国地质大学(北京)矿床学专业。现为中国科学院地球化学研究所博士后, 从事矿床地球化学专业方面的研究。通讯地址: 贵阳市观水路73号中国科学院地球化学研究所。邮政编码: 550002。