

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

论湖南石门砷-(金)矿床的古热泉成因

张景荣 陆建军 王 蔚

(南京大学地球科学系)



湖南石门砷-(金)矿床属古热泉成因,具有典型的三层结构模式,矿体呈筒状;矿床中硅质体属热泉沉积的硅华;矿石中微量元素同该区现代热泉体系沉积物的类似;成矿溶液富 Na^+ , Ca^{2+} , Cl^- , HCO_3^- 和 SO_4^{2-} ,也与该区现代热泉水成分相似。泉水的氢、氧、氩、氦同位素研究表明,成矿溶液中水主要为大气降水。提出了热泉型砷-(金)矿床的成矿模式:下渗的大气降水被深部热流体加热,在地层中循环运移时,淬取地层中成矿元素和矿化剂,沿断裂上涌,由于减压沸腾作用以及物化条件改变,沉淀出砷及少量的金、铋等成矿元素。

关键词 湖南石门 热泉型 砷矿床 成矿模式

关于湖南石门砷-(金)矿床的成因,曾有岩浆期后低温热液成矿^①或岩溶漏斗低温热液充填(交代)之说^[1-2]。笔者在矿床地质、地球化学和现代热泉体系研究基础上,提出了古热泉成因的新看法。

1 区域地质背景

本研究区位于扬子板块与江南元古代古岛弧的弧后盆地的交接地带,晚元古代(雪峰期末),扬子板块和江南古岛弧的碰撞拼贴^[3],结束了沟-弧-盆地地质演化历史,进入盖层沉积阶段。基底地层为元古代的火山岩、碎屑岩建造;盖层由下而上为:下震旦统冰川相磨拉石建造;上震旦统碳酸盐岩、含磷质页岩和硅质岩;下寒武统以砂页岩为主;中、上寒武统至下奥陶统主要为碳酸盐岩建造。

湘黔基底同生大断裂呈北东向穿过本区,此断裂形成于晚元古代^[4],主断裂旁侧的北东东向和北北东向的次级断裂发育。古热泉和现代热泉多沿此同生断裂分布,且温泉受次级断裂控制。泉口主要出露于碳酸盐岩地层中。

2 古热泉成因的砷-(金)矿床地质特征

矿区主要出露震旦系(冰碛岩、碳酸盐岩和硅质岩等)、寒武系(黑色页岩和碳酸盐岩)和志留系(碳酸盐岩和砂页岩)。区内既无岩浆岩出露,也无变质岩分布。矿区受湘西北武陵紧密褶皱中的东西向横岭背斜控制。矿床主要分布在东西向和北北东向的断裂交叉处或沿背斜核部发育。赋矿围岩为下奥陶统南津关组(O_1n)灰岩、白云岩和上寒武统耗子沱群(Є_3h)白云岩。

① 南京大学地质系,矿床工业类型(讲义),1961。
本文1993年2月收到,7月改回,季国容编辑。

在-50m标高以上,矿体沿着北东向的断裂分布,产状平缓;在-80m 标高以下,矿体呈近乎直立的管状体,揭露深度已达560m。矿体横断面很小,直径大者达30m,小到3m以下,形似热泉通道。矿体与围岩呈突变关系,例如,块状矿石含砷达47%,而离矿体3m 远的围岩中砷含量已降至 30×10^{-6} 以下。围岩蚀变较弱,主要表现为硅化、方解石化、萤石化、重晶石化和微弱粘土化,属典型低温热液蚀变组合。硅化主要发育在近矿围岩中,蚀变带较窄。方解石化呈网脉状分布,主要分布在断裂带裂隙之中。萤石和重晶石化主要发育在地表浅部张裂隙内,呈细脉状分布。在硅质岩和角砾状矿体中也含少量重晶石。

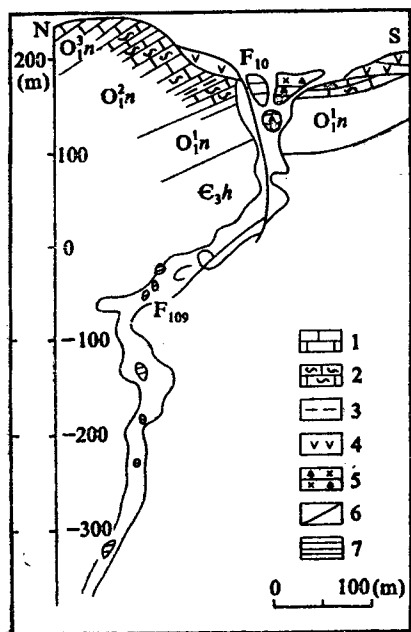


图1 石门砷-(金)矿床地质剖面图
(据叶云树, 1990)

Fig. 1 Geological profile of Shimen As-(Au) deposit

(after Ye Yunshu, 1990)

1—石灰岩; 2—泥质灰岩; 3—页岩; 4—硅质岩; 5—矿化角砾岩; 6—断层及编号; 7—矿柱

1—Limestone; 2—argillaceous limestone; 3—shale; 4—siliceous; 5—mineralized breccia; 6—fault and its number; 7—ore pillar

10^{-6} 。矿石品位由上部至下部逐渐增高。

矿床具有典型的三层结构模式(图1),与 Berger 和 Eimon (1982) 提出的典型热泉成因矿床的垂直分布十分类似。顶部为硅质岩(硅质体),矿区可见数十个这类硅质体。硅质体面积大者 $700 \times 200 \text{m}^2$,小者小于 5m^2 ,垂直深度大于20m。矿物成分主要为石英、玉髓和硅质岩屑,含1%—15%的铁泥质和碳质物以及方解石和少量重晶石。硅质体上部质纯,呈灰色, SiO_2 含量高达90%—98%,往下部杂质增多, SiO_2 含量减至60%—70%。硅质体呈枝状伸入其下部角砾岩的角砾间隙中。这种硅质体实际上是热泉沉积的富硅残余物——硅华^[5]。在硅质体和近矿围岩的浅断裂系中形成浸染状矿石,矿石品位较低,含砷3%—10%,含金 17×10^{-9} 。中部为透镜状的角砾岩层,主要分布在-285m 标高以上,厚度不足10m。砾石成分主要为下奥陶统和上寒武统的灰岩、白云岩、页岩和硅质岩岩屑等。角砾棱角鲜明,大者直径大于1m,小者不到1cm。胶结物主要为硅质,次为泥质和碳泥质。胶结物中的硅质为隐晶质或微粒状石英,可能是热泉上涌过程中沉淀的硅华。角砾岩属气热爆破成因,其形成过程可能为:上部沉积的硅华堵塞通道,上涌的热泉水气压增大,冲破被硅华堵塞的泉口,发生气热爆破作用致使岩石破碎塌陷形成角砾岩。此种作用重复发生就形成角砾岩的多层分布特征。该段主要形成角砾状矿石,矿石含砷达10%—42%,含金 44×10^{-9} 。另外还含大量重晶石。最下部为块状砷矿体,主要分布现-285m 标高以下,与上部角砾岩无明显界限。矿石呈块状,主要由雄黄组成,局部有少量雌黄;质纯而富,含砷达42%,含金 22×10^{-9} ,含钼达 $168.8 \times$

3 与该区现代热泉化学成分对比

通过矿床与现代热泉体系的地球化学对比,可追踪砷-(金)矿床的某些成矿特征。微量元素测定表明,矿床中角砾岩、角砾岩中胶结物及硅质岩中砷、锑、汞、金、钼等含量非常高(表1),

表 1 角砾岩及硅质岩中微量元素(10^{-6})Table 1 Contents of trace elements of breccia and silica sinter ($\times 10^{-6}$)

岩 性	As	Sb	Hg	Au ($\times 10^{-9}$)	Pb	Ba
角砾岩	3 334	14	25	0.88	17	>1 500
角砾岩胶结物	>5 065	26	55	33.00	19	6 750
硅质岩	1 689	13	41	15.00	38	>11 190

与 S. R. Taylor^[6] 的上部陆壳丰度值相比明显富集。对取自该区现代热泉中的泉华进行分析, 结果显示, 其 SiO_2 含量在 38% 以上, 含砷 60×10^{-6} , 锑 30×10^{-6} — 45×10^{-6} , 金 40×10^{-9} — 60×10^{-9} , 与矿床中角砾岩和硅质岩具有相似的微量元素富集特征。

从本矿床矿物流体包裹体成分分析得知 (表 2), 成矿溶液中 $\text{Na}^+ > \text{K}^+$, Na^+/K^+ 为 1.0—7.55; $\text{Ca}^{2+} \gg \text{Mg}^{2+}$, $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ 为 25.5—88.67; $\text{Cl}^- > \text{F}^-$, Cl^-/F^- 为 8.59—33.71; HCO_3^- 和 SO_4^{2-} 的含量也很高, 与该区现代热泉水的化学成分组合类型十分相似 (表 3)。现代热泉水中 Na^+

表 2 成矿热液和矿泉水成分特征($\times 10^{-6}$)Table 2 Components ($\times 10^{-6}$) of ore-forming fluids and modern hot spring water

项 目	Na^+/K^+	$\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$	Cl^-/F^-	HCO_3^-	SO_4^{2-}
现代热泉水	1.60—2.20	2.2—5.7	3.10—24.00	139.0—256.0	5.9—923.0
成矿溶液成分	1.00—7.55	25.5—88.7	8.59—33.71	4.0—35.4	1.8—18.1

分析者: 南京大学地球科学系

表 3 现代热泉水成分(mg/L)

Table 3 Components of modern hot spring water (mg/L)

项 目	石门小热水溪	石门大热水溪	慈利落马坡	桃源热水坑
Na^+	15.58	17.73	5.19	4.04
K^+	9.88	9.30	2.37	2.06
Ca^{2+}	319.90	341.00	50.31	60.18
Mg^{2+}	59.34	60.30	23.16	12.12
Cl^-	13.79	27.57	6.30	4.32
F^-	4.52	4.20	0.43	0.18
SO_4^{2-}	923.00	918.00	18.75	5.93
HCO_3^-	139.13	153.77	256.28	236.76
Na^+/K^+	1.6	1.9	2.2	2.0
$\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$	5.4	5.7	2.2	5.0
Cl^-/F^-	3.1	6.6	14.7	24.0

分析者: 南京大学地球科学系

$>K^+$, $Ca^{2+}>Mg^{2+}$, $Cl^->F^-$, 含 HCO_3^- 和 SO_4^{2-} 也很高。此外,还含可溶性 SiO_2 43×10^{-6} — 45×10^{-6} 。

有关现代热泉沉积物中成矿元素含量研究资料表明^[7-9], 热泉作用可导致热泉沉积物中砷、锑、金、铜、铅、汞、钡等元素异常富集。因此, 热泉水可沉淀出大量硅质和成矿元素。

4 热泉型砷-(金)矿床成矿模式

与海水中微量元素含量^[10-11]相比, 该区现代热泉水中成矿元素砷 (59.05×10^{-6} , 2个样平均值, 下同)、锑 (114.35×10^{-6})、铅 (895.1×10^{-6})、锰 (195×10^{-6})、钡 (35.15×10^{-6}) 均比较富集, 与古热泉沉积物中元素分布特征有很大的相似性; 亲铜元素铜、锌、钼、镉和铁元素钴、铬、镍、钒等富集几倍到几十倍; 稀有元素 (铌 180×10^{-6} ; 锆 649.25×10^{-6} ; 钇 22.7×10^{-6})、分散元素 (镓 152.3×10^{-6} ; 锗 144.9×10^{-6}) 等异常富集。前已述及, 本区至今没有发现岩浆岩和变质岩, 因此, 可以推测, 泉水中成矿元素可能来自于地层。

地层中微量元素分析表明, 震旦系、寒武系及奥陶系中砷、锑、汞、金、银相对于上部陆壳丰度值^[6], 都有不同程度的富集。这些地层中平均含砷 21.76×10^{-6} (富集系数为 14.5, 下同), 锑 4.0×10^{-6} (20), 汞 383.2×10^{-9} (4.8), 金 2.12×10^{-9} (1.23); 尤其是下寒武统筇竹寺组, 含砷高达 70.22×10^{-6} (46.8), 含锑 14.62×10^{-6} (73.1), 汞 1288×10^{-9} (15.35)。研究表明, 岩石中含丰富的硫化物和碳质, 其含量与微量元素含量具明显的正消长关系, 说明微量元素可能主要赋存于硫化物和碳质中。陈潭钧^[12]研究揭示, 碳质对硫、砷、金有很强的吸附能力。硫化物和有机碳的热稳定性较差, 极有利于赋存其中的成矿元素活化转移。综上所述, 可以认为, 地层可为热泉型砷-(金)矿床提供成矿物质。热泉水在地层中环流时, 经过长期的水-岩反应, 淬取地层中成矿元素和矿化剂, 形成成矿溶液。

该区现代热泉水 δD 变化在 -52.7% — -61.1% 之间, $\delta^{18}O$ 值变化在 -9.7% — -8.3% 之间 (表4)、投影到H. Craig^[13]得出的大气降水线附近, 说明泉水主要来自大气降水。这一结果与其它地区泉水主要源于大气降水的结论^[5,14]相一致。为进一步研究泉水的来源, 测定了该区现代热泉气体组成 (表5) 和氦、氩、碳同位素组成。表5所列数据表明, 气体组成主要是 N_2 和 O_2 , 同氮-氧大气圈成分相近。热泉气的 $^3He/^4He$ 在 3.88×10^{-8} — 113×10^{-8} 之间, 明显低于幔源 $^3He/^4He$ (1.1×10^{-5} — 6×10^{-5})^[15], 而接近于壳源 $^3He/^4He$ (4×10^{-7})^[15]; $^{40}Ar/^{36}Ar$ 为292.6—294.5, 同大气型 $^{40}Ar/^{36}Ar$ (295.6)^[15]极为相似, 明显低于幔源 $^{40}Ar/^{36}Ar$ (20 000)^[15]。这些特征说明,

表 4 热泉水氢、氧同位素组成

Table 4 Compositions of hydrogen and oxygen isotope of hot spring water

采 样 地 点	$\delta D_{SMOW} (\%)$	$\delta O^{18}_{SMOW} (\%)$
石门大热水溪	-59.0—-61.1	-9.7—-9.4
慈利落马坡	-54.4—-54.8	-9.0
桃源热水坑	-52.7	-8.8—-8.3
石门大热水溪	-55.5	-9.6—-9.3

表 5 热泉气体成分(%)
Table 5 Components of hot spring gas (%)

样品位置	He	H ₂	O ₂	Ar	N ₂	CH ₄	CO ₂
石门小热水溪	0.160	0.00	0.087	1.35	89.05	0.21	2.67
慈利落马坡	0.016	0.00	1.580	1.28	87.86	0.19	3.67
桃源热水坑	0.004	0.00	7.680	1.16	84.71	0.01	2.58

中国科学院兰州气体地球化学国家重点实验室测试

惰性气体主要来源于大气，与热泉水主要来自大气降水的结论相吻合。此外，热泉气体 $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$ (PDB标准, -11.24‰ — -17.25‰) 和 $\delta^{13}\text{C}_{\text{CH}_4}$ (PDB标准, -27.00‰ — -37.28‰) 也显示出气体的大气和生物成因。

利用 SiO_2 、钠-钾和钾-钠-钙三种地球化学温标^[5]，计算获得的该区地热系统的热储平均温度大于 $180\text{--}210^\circ\text{C}$ 。矿物包裹体均一法测温表明，碑-(金)矿床成矿温度在 $100\text{--}230^\circ\text{C}$ 之间，与泉水热储温度相仿。产生如此高的热泉温度可用深构造导热机制解释。当深大断裂切穿至深部热流体时，热流体可沿断裂上升，将下降的大气降水加热。因此，古热泉和现代热泉多分布在断裂构造带中。

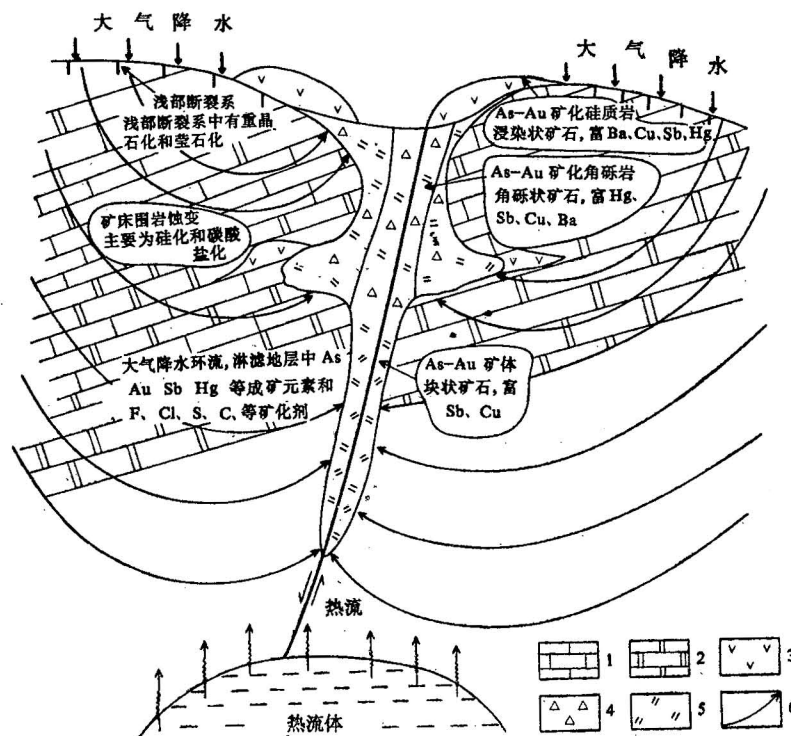


图 2 热泉型砷-(金)矿床成矿模式

Fig. 2 Metallogenetic model of hot spring type of As-(Au) deposit

1—灰岩；2—白云岩；3—硅质岩；4—角砾岩；5—砷-(金)矿化；6—溶液对流、循环

1—Limestone 2—dolomite 3—siliceous sinter 4—breccia 5—As-(Au) mineralization 6—direction of circulation of solution

综上所述,可得出热泉型砷-(金)矿床可能的成矿模式(图2):天水沿地层孔隙往下渗透,深部上升的热流体加热泉水;热泉水在地层中循环运移时,可淬取地层中的成矿元素砷、锑、金等;上涌的热泉水沉淀出的硅华阻塞热泉通道,由于聚气增压,气热爆破导致岩石爆破形成角砾岩;减压沸腾作用和物化条件改变可引起泉水中成矿元素淀积成矿。近年来的研究^[16]表明,热泉型金矿床的矿化机制与沸腾作用密切相关。

5 几点结论

(1) 矿床具有典型的三层结构模式:顶部为硅质岩层,中部为角砾岩层,下部为块状矿体;矿体呈近直立的筒状;矿床的地质地球化学特征与该区现代热泉沉积物的十分相似。

(2) 碳、氢、氧、氮、氩同位素及气体地球化学研究揭示,泉水由大气降水补给;来自于深部的热流体加热了泉水;泉水通过水-岩反应淬取地层中成矿元素和矿化剂,使元素活化转移。

(3) 矿床为古热泉成因;气热爆破作用形成了角砾岩层;硅质体实际是泉水中沉淀的硅华;砷-(金)矿化与沸腾作用及物化条件改变有关。

参 考 文 献

- 1 周志权. 湖南界牌峪雄黄矿区热液岩溶成矿作用初步探讨. 中国岩溶, 1986, (2): 71—77.
- 2 叶云树. 磺厂雄黄矿床地质特征及找矿方向. 湖南地质, 1990, 9(2): 52—60.
- 3 郭令智等. 中国东部地体构造研究. 南京大学学报(自然科学), 1984, (4): 732—739.
- 4 杨志坚. 横贯中国东部的一条古断裂带. 地质科学, 1987, (3): 221—230.
- 5 朱炳球, 朱立新, 史长义, 余慧. 地热田地球化学勘查. 北京: 地质出版社, 1992.
- 6 Taylor S R. The continental crust, its composition and evolution. Blackwell Scientific Publication, 1985.
- 7 Weissberg B G. Gold-silver ore-grade precipitates from New Zealand thermal water. Econ. Geol., 1969, 64(1): 95—108.
- 8 White D E, Muffler L J P, Truesdell A H. Vapor-dominated hydrothermal systems compared with hot-water systems. Econ. Geol., 1971, 66(1): 75—97.
- 9 Boyle R W. The geochemistry of gold and its deposits. Canada Geological Survey Bulletin 280. 1979.
- 10 Wedpohl K H, et al. Handbook of Geochemistry. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1969, .1: 309—311.
- 11 赵其渊等. 海洋地球化学. 北京: 地质出版社, 1989.
- 12 陈潭钧. 册亨板其金矿床地质特征及成因. 贵州地质, 1986, (4): 325—339.
- 13 Craig H. Isotopic variations in meteoric waters. Science, 1961, (133): 1702—1703.
- 14 沈子敏, 候法高, 倪葆龄, 林瑞芬. 腾冲热泉水的氢氧同位素组成. 见佟伟, 章铭陶编. 腾冲地热. 中国科学院青藏高原综合科学考察队. 北京: 科学出版社, 1989. 116—130页.
- 15 Kaneoka I C, Takaoka N O. Noble-gas stable in the earth's interior—some constraints on the present state. Chem. Geol., 1985, 52: 75—95.
- 16 Nelson C E, Giles D L. Hydrothermal eruption mechanism and hot spring gold deposit, Econ. Geol., 1985, 80(6): 1633—1639.

THE SHIMEN HOT SPRING-TYPE As-(Au) DEPOSIT, HUNAN PROVINCE

Zhang Jinrong, Lu Jianjun and Wang Wei

(Department of Earth Sciences, Nanjing University, Nanjing, Jiangsu)

Abstract

The Shimen As-(Au) deposit in Hunan Province, characterized by a pipe-shaped ore body and a typical structural model of three layers, is believed to be of hot spring origin. Silicalites in the ore body are most probably, silica sinters deposited from hot spring waters. Trace elements in ores are similar to those in sediments from modern hot springs, and the components of ore-forming fluids enriched in Na^+ , Ca^{2+} , Cl^- , HCO_3^- and SO_4^{2-} are also similar to those of modern spring waters in the area. O, H, Ar and He isotope studies of hot spring waters show that they came dominantly from meteoric water and, by analogy, the ore forming-fluids may be also mainly from meteoric water. A minerogenetic model of As-(Au) deposits of hot spring type is proposed in the paper: circulating, migrating in strata and being heated by the deep thermal flow system; the percolating meteoric water may scavenge ore elements and mineralizing agents from the strata, resulting in ore-forming fluid. As this fluid rise up along faults, boiling and precipitation of such ore elements as As and minor Au and Sb would be brought about owing to abrupt changes in physiochemical conditions.

Key words: hot spring type, As deposit, minerogenetic model, Shimen Hunan

作者简介

张景荣, 生于1938年10月, 1963年毕业于南京大学地质系地球化学专业, 现任南京大学地球科学系副教授, 长期从事地球化学方面的研究。通讯处: 南京汉口路南京大学地球科学系。邮政编码: 210093。