

长坑大型金银矿成矿流体 N₂-Ar-He 示踪体系*

孙晓明^{1,2} D I Norman³ 孙凯¹ 陈炳辉¹ 陈敬德¹

(1 中山大学地球科学系, 广州 2 南京大学成矿作用国家重点实验室, 南京

3 美国新墨西哥矿业技术学院地球与环境科学系)

提 要:长坑金银矿是新近发现的新型大型贵金属矿床。较系统的 N₂-Ar-He 示踪体系和 He 同位素组成研究表明:该矿床成矿流体主要来源于建造水(或称沉积热卤水),而不是前人所普遍认为的大气降水。成矿流体中幔源岩浆水的比例也很低,一般不超过 10%。在晚侏罗纪到早白垩纪,粤中三洲盆地由于巨厚沉积物的聚积,其中建造水受到挤压加温,顺层侧向迁移,并最终沿盆地边缘缓倾斜的层间断裂向上运移,由于温、压下降等原因导致矿质在断裂中沉淀。该矿的成矿机制与卡林型(Carlin-type)金矿明显不同。

关键词:成矿流体 N₂-Ar-He 示踪体系 He 同位素组成 建造水(沉积热卤水) 长坑金银矿

Giggenbach (1986) 在对新西兰等地大量的热温泉研究基础上,首先提出地热体系中 N₂、Ar 和 He 等微量气体之间的比值可以用来确定热温泉水中岩浆水、地壳水和大气降水之间的相互比例,因为这三种不同来源的水在 N₂-Ar-He 三角图上具有完全不同的投影范围(图 1)^[6]。后来, Giggenbach 等人又发现:在 NAH 三角图上,与裂谷中玄武岩或流纹岩有关的岩浆水也落在地壳水的范围,但两者完全可以 He 同位素组成的明显不同来加以区别^[7-9]。80 年代中期以来, Norman 等人利用四极质谱仪测定了各种不同矿床成矿流体包裹体中的气相组成^[10],积累了大量的数据,并在 Giggenbach 等人工作的基础上,提出成矿流体中 N₂、Ar 和 He 之间的比值可作为成矿流体的示踪体系(图 1)^[11,12],从而开辟了成矿流体示踪研究的一个新领域。本文报道了粤中长坑大型金银矿成矿流体 N₂-Ar-He 示踪体系研究的最新结果,这在中国境内矿床中尚属首次。

1 矿床地质背景

长坑金银矿位于广东省高明、高要和三水三县交界,是 90 年代以后中国新发现的一个大型金银矿床。大地构造位置上,该矿位于华南褶皱系粤中拗陷三洲上古生代断陷盆地之北西边缘。矿体主要受 T₃ 之陆相碎屑岩和 C₁ 之海相含化石和碳质灰岩之间层间断裂控制。该

* 国家自然科学基金(编号 49502029)、中山大学自然科学基金、南京大学成矿作用国家重点实验室开放基金(编号 039704)和岭南基金会优秀青年教师培养基金联合资助
孙晓明,男,35岁,教授,主要从事矿床地球化学研究。邮政编码:510275

控矿断裂为倾向 SSE、倾角较缓的正断层，地表延伸达十几公里。矿体见明显上金下银的矿化分带现象，其中金矿已达大型，而银矿则达超大型。金矿石类型主要是各类矿化硅质岩，金矿物为自然金，见较多雄黄、雌黄、重晶石和辉锑矿等；银矿体主要矿石类型为贱金属硫化物-方解石-石英网脉；银矿物组成相当复杂，但均含锑，如深红银矿、辉锑银矿等。矿区未出露任何火成岩。这是一种新型的贵金属矿床类型，国内外尚无类似者。目前几乎所有研究者认为该矿属微细浸染型（或卡林型），其成矿流体来源于大气降水^[1-4]。

2 分析方法

矿物中流体包裹体的微量气相分析在美国新墨西哥矿业技术学院（NMT）完成。将 100 mg 左右的矿物样品置于螺旋式手动压碎装置中，并将样品在 100℃ 左右条件下烘烤 8 小时，同时将气体处理和提取系统抽成高真空（ $<2 \times 10^{-7}$ Pa）。在高真空条件下压碎样品，矿物流体包裹体中释放的气体被送入 Balzer QMS 420 型质谱仪进行测定。测试精度一般小于 10%。详细过程见^[10]；He 同位素用乌克兰生产的 MI-1201 IG 型惰性气体质谱仪测定，测定精度为 1%~5%。具体过程见 [13]。

3 分析结果和讨论

3.1 N₂-Ar-He 示踪体系

长坑金银矿成矿流体中微量气体 N₂、Ar、He 和 He 同位素组成见表 1。可见在同一样品中 N₂、Ar 和 He 的分析值重合性较好，变化范围不大。这一方面说明了分析方法的可靠性，同时也说明样品中流体包裹体的分布较均匀，且气相和液相比比例变化不大，因此沸腾作用不应是该矿成矿的主导因素。这是因为在手动压样的过程中，每次只能将样品中局部和少量的流体包裹体压碎，如果样品中存在较多因沸腾等作用形成的气液比很不均匀的流体包裹体，则表现在测定数据上必然是差异很大^[11]。

表 1 长坑金银矿成矿流体包裹体中 N₂、Ar、He 及 He 同位素组成 (10^{-6})

样号	矿物	采样位置	碎样次数	N ₂	Ar	He	³ He/ ⁴ He	R/R _a ^①
9629	含金石英	金矿 ZK0406, 132 m	1	0.642500	4.52E-04	3.63E-03	0.0076	0.0054
			2	0.638432	1.48E-03	6.01E-03		
			3	0.841124	1.20E-03	6.45E-03		
9767	含金石英	金矿 ZK0406, 135 m	1	1.579015	3.57E-03	1.19E-02	0.0240	0.0171
			2	3.083491	7.39E-03	2.62E-02		
			3	0.861116	4.00E-03	9.28E-03		
9698	石英	银矿 ZK3206, 132.15 m	1	2.95E-02	3.19E-04	2.99E-03	1.1700	0.8357
96107	石英	银矿 ZK3206, 177.34 m	1	0.143524	1.68E-03	5.35E-03	0.8500	0.6071
			2	0.094718	5.40E-04	2.53E-03		
			3	0.103830	1.80E-04	2.95E-03		
F03	闪锌矿	银矿 ZK1609, 179 m	1	n.d. ^②	5.66E-05	8.07E-04	0.8300	0.5930
			2	0.00195	6.99E-05	4.26E-06		

① R 指样品中的 ³He/⁴He 比值，而 R_a 指大气中的 ³He/⁴He 比值，取 1.4×10^{-6} ；② n.d. 指低于检测限

在 NAH 三角图上 (图 1), 可见除一个数据外, 绝大多数数据落在 B 和 C 范围内, 即落在建造水和裂谷中玄武岩或流纹岩有关的岩浆水范围内。但从表 1 可见, 所有样品的 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比值均低于大气 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比值 (1.4×10^{-6}), 即 R/R_a 均小于 1, 因而完全可以排除成矿流体来源于裂谷玄武岩或流纹岩有关岩浆水的可能性, 因为大量研究已证实: 如果成矿流体来源于 C, 则样品 R/R_a 肯定高于 4^[7-9]。同时, 该矿成矿流体也不可能主要来源于大气降水, 否则大部分数据应该落在图 1 的 E 或 D 范围内。因而, 长坑金银矿成矿流体只可能主要来源于建造水 (或称沉积热卤水)。

3.2 岩浆水混入的可能性

一些研究者认为长坑金银矿东部存在燕山期的隐伏岩体, 因此不能排除岩浆水加入成矿流体的可能性^[5]。从表 1 可见, 金矿样品的 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 低于或相似于地壳氦 ($^3\text{He}/^4\text{He} = 0.01 \sim 0.05 R_a$)^[14]。假设本区隐伏岩体分异流体的 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 相似于地幔流体 ($^3\text{He}/^4\text{He} = 6 \sim 9 R_a$), 则即使只有 1% 的幔源岩浆水加入, 也会使成矿流体的 $^3\text{He}/^4\text{He} > 0.06 R_a$, 远超过金矿样品的实测值。因此, 金矿成矿流体中基本不含岩浆水。对银矿样品来说, 其成矿流体 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 介乎 $0.593 \sim 0.8357 R_a$, 平均 $0.6786 R_a$, 表明其成矿流体中幔源岩浆水的比例也很小, 一般不会超过 10%, 最多不超过 15%。事实上, 图 1 中还可见到, 几乎所有数据落点都远离岩浆水范围 (A), 也充分说明了其中岩浆水的比例很小。

3.3 矿床成因探讨

前人的工作普遍认为长坑金银矿成矿流体来源于大气降水, 大气降水下渗到地壳深部, 受到燕山期隐伏岩体的加热而发生对流循环, 最后在断裂中成矿, 其成矿机制相似于卡林型金矿^[1-3]。但从前文可知, 长坑金银矿成矿流体主要来源于沉积盆地热卤水或称建造水, 而不是大气降水, 且幔源岩浆水的比例也很低, 因此, 有必要对其成因重新进行探讨。作者认为该矿的形成与其所在的三洲沉积盆地的形成和演化有密切的成因上的联系。三洲盆地在早石炭纪晚期受到地壳运动影响而抬升, 形成沉积间断, 直到晚三叠纪才又开始下降, 接受巨厚 (>600 m) 的碎屑沉积, 直到早白垩纪才停止。随着盆地中沉积物的变厚, 沉积岩中所含的建造水受到挤压和加温, 将顺层侧向迁移, 同时汲取成矿物质。成矿流体在盆地边缘

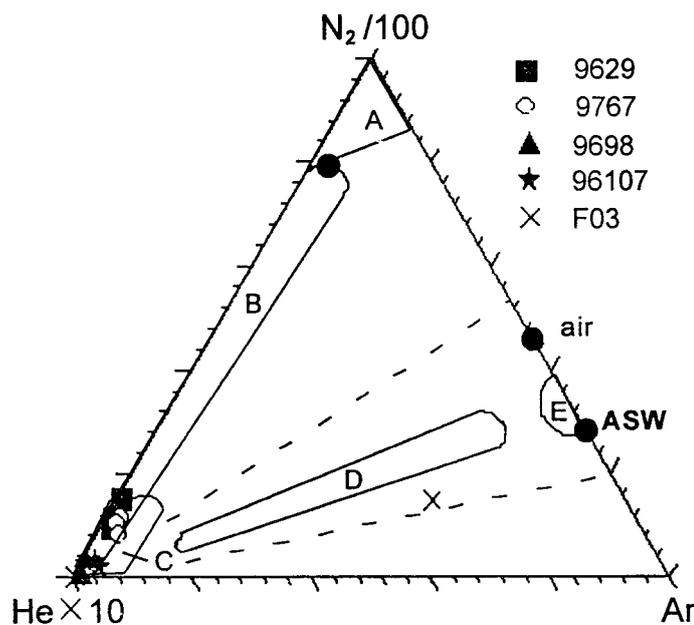


图 1 长坑金银矿成矿流体 N₂-Ar-He 三角图

A—岩浆水范围; B—建造水 (沉积热卤水) 范围; C—裂谷玄武岩或流纹岩有关岩浆水范围; D—深部循环的大气降水范围; E—浅部循环的大气降水 (包括海水) 范围 (图中各种流体范围据 Norman D I, et al 1994)

顺 C_1 和 T_3 之间低角度断层向地表运移, 并因温度和压力下降等原因导致矿质在断裂中沉淀。这个过程最可能发生在盆地沉积演化的最晚期, 即晚侏罗纪到早白垩纪。事实上, 同位素地质年代学研究表明长坑金银矿成矿时代是 $132.2 \times 10^6 \sim 136.8 \times 10^6$ a^[3], 与笔者的推测相当一致。因此, 长坑金银矿的成矿机制实际上相似于美国著名的密西西比型 (Mississippi-valley-type) 矿床^[15], 而与卡林型金矿存在很明显的区别。

本文第一作者在美国合作科研期间, 得到美国新墨西哥矿业技术学院 (NMT) Andrew Campbell 教授和 Beverly Chomiak 女士等的大力支持; 野外工作中得到广东省地矿局 757 地质大队张国恒总工等的鼎力相助, 在此一并致谢!

参 考 文 献

- 1 杜均恩, 马超槐, 张国恒. 广东长坑金银矿成矿特征. 广东地质, 1993, 8, 1~8.
- 2 杜均恩, 马超槐. 长坑微细粒型金矿与银矿的地质特征. 见: 中国卡林型 (微细浸染型) 金矿 (刘东升主编). 南京: 南京大学出版社, 1994, 343~355.
- 3 杜均恩, 马超槐, 魏琳. 广东长坑金银矿地球化学特征. 广东地质, 1996, 11, 49~59.
- 4 关康, 裘有守, 颜竹筠. 长坑金矿床地质特征与成因探讨. 贵金属地质, 1997, 6, 27~37.
- 5 张生, 李统锦, 王联魁. 粤中坑金银矿的碳、氧、氢同位素研究. 地质地球化学, 1997, 4, 13~19.
- 6 Giggenbach W F. The use of gas chemistry in delineating the origin of fluid discharges over the Taupo volcanic: A review. Proc Intel Volcanol Congress, New Zealand, 1986, 5: 47~50.
- 7 Giggenbach W F, Matsuo S. Evaluation of results from Second and Third IAVCEI Field Workshops on Volcanic Gases, Mt. Usu, Japan, and White Island, New Zealand. Appl Geochem, 1991, 6: 125~141.
- 8 Giggenbach W F, Glover R B. Tectonic and major processes governing the chemistry of water and gas discharges from the Rotorua Geothermal Field, New Zealand. Geothermics, 1992, 21: 121~140.
- 9 Giggenbach W F. The composition of gases in geothermal and volcanic systems as a function of tectonic setting. Water-Rock Interaction, Kharata & Maest (eds). Balkema, 1992, 873~878.
- 10 Norman D I, Sawkins F J. Analysis of gases in fluid inclusions by mass spectrometer. J Chem Geol, 1987, 61: 1~10.
- 11 Norman D I, Musgrave J. N_2 -Ar-He compositions in fluid inclusions: indicators of fluid source. Geochim Cosmochim Acta, 1994, 58: 1119~1131.
- 12 Norman D I, Moor J N, Yonaka B, et al. Gaseous species in fluid inclusions: a tracer of fluids and indicator of fluid processes. Proceedings of 21st Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, Stanford, 1996, 1~8.
- 13 Li Y H, Song H B, Li J C. et al. Relation between polymetallic modules and submarine hydrothermalism in the central Pacific Ocean. Chin Sci Bull, 1997, 42: 1980~1983.
- 14 Stuart F M, Burnard P G, Taylor R P, et al. Resolving mantle and crustal contributions to ancient hydrothermal fluids: He-Ar isotopes in fluid inclusions from Dae Hwa W-Mo mineralization, South Korea. Geochim Cosmochim Acta, 1995, 59: 4663~4673.
- 15 Norman D I, Ting W P, Putnam III B R, et al. Mineralization of the Hansonburg Mississippi-type deposit, New Mexico: insight from composition of gases in fluid inclusions. Canadian Mineralogist, 1985, 23: 353~368.