

川西北马脑壳金矿床流体包裹体研究及对成矿条件的制约*

付绍洪¹ 王莘²

1. 重庆地质勘查局 205 地质队, 永川 402160; 2. 中国地质大学资源学院, 武汉 430074.

1. No. 205 Geological Team, Chongqing Bureau of Geology and Exploration, Yongchuan 402160, China;

2. Faculty of Earth Resource, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China.

2000-06-28 收稿, 2000-09-20 改回.

Fu Shaohong and Wang Ping. 2000. Study of fluid inclusions and the constraint for ore-forming conditions of gold deposit at Manaoke, northwestern Sichuan province. *Acta Petrologica Sinica*, 16(4):569~574

Abstract Manaoke gold deposit situated in Northwestern Sichuan is hosted in mid-Triassic detrital and carbonate rocks. Through the synthetical study in field and indoor, the hydrothermal mineralization can be subdivided into four stages. The homogenization temperatures of four stages are 175~230 C, 179~255 C, 157~207 C, 120~200 C, respectively; population values are 190~210 C, 200~230 C, 170~190 C, 130~170 C, respectively. The salinities of I、II、IV stages are 4.9~11.0, 4.0~9.5, 0.85~5.85 eq. wt%NaCl, respectively. The components of vapor phase are H₂O and CO₂ mainly, and the CO, CH₄, H₂ only a little, the components of liquid phase are HCO⁻, Ca²⁺, K⁺, Na⁺, and Cl⁻ mainly, and the SO₄²⁻, Li⁺, F⁻ only a little. The pH of ore-forming fluid is 6.7~7.2, and Eh = -0.69~-0.73. From these data, it can be concluded that the characters of ore-forming fluid are mid-low temperature, low salinity, rich H₂O, CO₂, HCO⁻, Ca²⁺, K⁺, Na⁺, and Cl⁻, middle pH and weak reduction. From the early period to late period of hydrothermal mineralization the temperature becomes lower gradually in general; however, in stage II the temperature becomes higher, maybe this is the result of introduction of magma water occurred in the processes of mineralization. The salinity becomes lower from early to late period and the pH and Eh change a little in all processes of hydrothermal mineralization.

Key words Fluid inclusion, Ore-forming condition, Gold deposit, Manaoke, Northwestern Sichuan

摘要 川西北的马脑壳金矿床为一赋存于三叠系碎屑岩、碳酸盐岩系的大型微细浸染型金矿床。通过详细野外地质调查和室内综合研究,可将矿床的热液成矿作用划分为四个阶段。应用均一法测得:I、II、III、IV阶段的成矿温度分别为175~230 C, 179~255 C, 157~207 C, 120~200 C;峰值分别为190~210 C, 200~230 C, 170~190 C, 130~170 C。盐度变化范围,I、II、IV阶段分别为4.9~11.0, 4.0~9.5, 0.85~5.85 eq. wt%NaCl。流体包裹体的气相组分以H₂O和CO₂为主,含有少量CO、CH₄和H₂;液相组分以HCO⁻、Ca²⁺、K⁺、Na⁺和Cl⁻为主,SO₄²⁻、Li⁺、F⁻的含量较低。成矿热液的pH值介于6.7~7.2, Eh为-0.69~-0.73。由此反映出:成矿流体具有中低温,中低盐度,富含H₂O、CO₂、HCO⁻、Ca²⁺、K⁺、Na⁺、Cl⁻,中性,弱还原的特点。从成矿作用早期至晚期,流体的总体演化趋势是温度逐渐降低,但在II阶段温度呈现出相反的变化,可能是在热液成矿作用过程中加入岩浆热液的结果;热液的盐度从早期到晚期逐渐下降;而酸碱度和氧化还原电位在整个成矿作用过程中仅有微小变化。

关键词 流体包裹体;成矿条件;金矿床;马脑壳;川西北

中图法分类号 P618.51

* 本文受国土资源部“九五”资源与环境科技攻关项目(No. 95-02-002)资助。

第一作者简介:付绍洪,男,1964年生,硕士,工程师,矿床地质专业。

1 引言

位于川西北的马脑壳金矿床为赋存于中三叠统碎屑岩、碳酸盐岩系的一大型微细浸染型金矿床。矿床受控于北西西向的玛曲—略阳大断裂的前锋断裂,即洋布梁断裂及其次级构造(图1)。矿体总体产状呈北西西向,主要矿体均沿断裂产出。依据矿物的共生组合及矿脉的穿插关系结合室内光薄片鉴定,将热液成矿作用划分为四个阶段,依次是:Ⅰ阶段,黄铁矿—毒砂—白钨矿—石英;Ⅱ阶段,辉锑矿—雄黄—石英;Ⅲ阶段,雄黄—石英—方解石;Ⅳ阶段石英—方解石。矿石中主要载金矿物为黄铁矿、毒砂、辉锑矿和雄黄,矿物组合体现典型的中低温特点。各阶段的组合矿物中均产出有富含包裹体的石英,其中Ⅲ、Ⅳ阶段还产有大量方解石,方解石中也赋存有一定量的流体包裹体。马脑壳金矿床在容矿岩石、蚀变特征、矿物组合、金的赋存状态及元素地球化学特征上类似于与美国西部的卡林型金矿床(Radtke, 1980; Kuehn, 1992; Simon, 1999),但由于矿床所形成的地质构造背景及时代存在着差异,成矿热液的物理化学条件也有所不同。对形成于各矿化阶段的石英、方解石矿物中的包裹体的研究即可有效地限定成矿流体的性质及物理化学条件,从而为研究矿床的成因和成矿模式提供可靠的基础性资料。

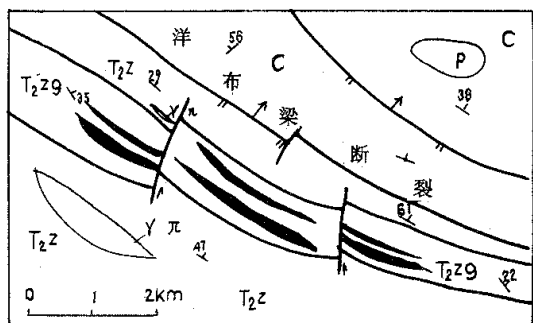


图1 马脑壳金矿床地质构造简图

1. 中三叠统杂谷脑组长石石英砂岩、灰岩; 2. 中三叠统扎尕山组钙质板岩、变质砂岩; 3. 二叠系角砾状灰岩、白云质灰岩; 4. 石炭系结晶灰岩、生物碎屑灰岩; 5. 花岗闪长斑岩; 6. 金矿体; 7. 断层; 8. 地层产状

1. 中三叠统杂谷脑组长石石英砂岩、灰岩; 2. 中三叠统扎尕山组钙质板岩、变质砂岩; 3. 二叠系角砾状灰岩、白云质灰岩; 4. 石炭系结晶灰岩、生物碎屑灰岩; 5. 花岗闪长斑岩; 6. 金矿体; 7. 断层; 8. 地层产状

Fig. 1 Sketch map of geology and structure in Manaoko gold deposit

2 实验方法

用于包裹体鉴定和测温的仪器为 Olympus-BH-2 和 Leitz1350 显微镜。先在 Olympus-BH-2 上观察、鉴定不同阶

段的包裹体,识别出包裹体的类型,确定需要测温的包裹体,然后用酒精将薄片浸泡出,再在 Leitz1350 冷热台显微镜上测温。

均一温度的测定条件是将升温梯度调为 10 C/min,升温过程中详细观察气液二相的变化,当出现均一相时,立即锁定读数仪,记录下均一温度;然后降温,当均一相分离成二相时,用同样的方法获得温度数据。同一阶段的包裹体,通常测 25~50 组数据,所测包裹体以富液二相居多,少量为富气二相;基本能客观反映热液成矿作用的温度。

冷冻测温时先对冷冻台进行校准,然后利用液氮对包裹体降温,冷冻速度为 1 C/min;所测温度的精度为 0.1 C。在温度下降过程中观察液相的变化,出现固体冰时,记录冰点温度;之后升温,待冰完全溶化时又记录一温度。通常一个阶段的包裹体测试 30~50 个冰点数据。利用包裹体的冰点温度查表(张文淮等,1993)求得流体的盐度。

3 流体包裹体形态及类型划分

马脑壳金矿床的包裹体形态多样,主要呈椭圆形、近圆形、长条形,其次为纺锤形、菱形、梯形和不规则形等;包裹体大小通常为 4~8 μm,最大可达 15 μm。

在光学显微镜下对包裹体进行详细鉴定,识别出五种不同类型的包裹体,即富液二相,富气二相,含 CO₂ 三相,纯 CO₂ 相和有机质包裹体。总体上以群状及线状分布的富液二相包裹体为主;呈线状及孤立状分布的富气二相包裹体次之;而后三类包裹体含量较少,呈孤立状分布。镜下观察显示,线状包裹体的分布受限于单个矿物内,表明为原生包裹体。各类型包裹体的具体特征列于表 1。

4 物理化学参数界定

4.1 均一温度

通过测试富液二相和富气二相包裹体的均一温度,所得测试结果如表 2。各阶段均一温度直方图如图 2。

4.2 成矿流体的盐度确定

应用冷热台测得包裹体的冰点温度,通过图表法(张文淮等,1993)求得成矿流体的盐度。其结果为:Ⅰ阶段 4.9~11.0 eq. wt% NaCl, 峰值 6.5~8.0 eq. wt% NaCl; Ⅱ阶段 4.0~9.5 eq. wt% NaCl, 峰值 5.0~6.5 eq. wt% NaCl; Ⅳ阶段 0.85~5.85 eq. wt% NaCl, 峰值 1.5~3.5 eq. wt% NaCl。结合均一温度和盐度(张文淮等,1993; 王可勇,1999),求得Ⅰ、Ⅱ、Ⅳ阶段成矿作用的深度分别为 2.9、2.3 和 1.2 km。

4.3 包裹体化学成分

分别对流体包裹体的气相成分和液相成分进行了测试,

表 1 马脑壳金矿床流体包裹体基本特征

Table 1 Basic characteristics of fluid inclusions of Manaoko gold deposit

形态	类型	主矿物	大小	分布	充填度	产出阶段
富液二相	石英,方解石	长条形,椭圆形,近圆形,纺锤形等。	长轴一般为 4~8 μm ,最大 15 μm	群状,线状	0.8~0.95	I、II、III、IV
富气二相	石英,方解石	椭圆形,圆形,长条形,菱形等。	长轴一般为 3~5 μm ,最大 10 μm	线状,孤立状	0.3~0.4	I、II、III、IV
含 CO ₂ 三相	石英	圆形,长条形,菱形等	长轴一般为 7~12 μm	孤立状	CO _{2(g)} :CO _{2(l)} :H ₂ O(l) 约 15:35:50	I、II
纯 CO ₂	石英	长条形,近圆形,椭圆形等	10~15 μm	孤立状	0.6	II、III
有机质	石英	椭圆形,长条形等	5~15 μm	孤立状		II、III

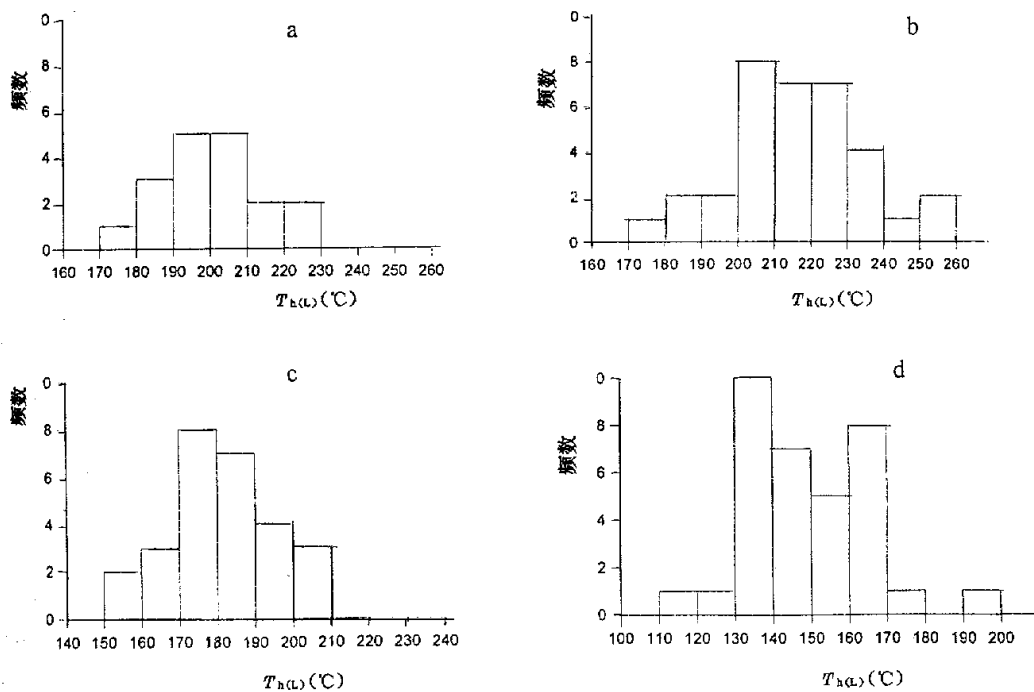


图 2 各阶段包裹体均一温度直方图

a. I 阶段, b. II 阶段, c. III 阶段, d. IV 阶段

Fig. 2 The histograms of homogenization temperature in every stage

a. stage I, b. stage II, c. stage III, d. stage IV.

测试结果如表 3。从中反映出：气相组分以 H₂O 和 CO₂ 为主,CO、CH₄ 和 H₂ 的含量较少；液相组分以 HCO⁻、Ca²⁺、K⁺、Na⁺ 和 Cl⁻ 为主,而 SO₄²⁻、Li⁺、F⁻ 的浓度较低。

4.4 流体 pH 值的确定

通过实验测得成矿流体的 pH 值为 6.8~7.2(表 4),属中性条件。

表 2 流体包裹体均一温度

Table 2 Homogenization temperature of fluid inclusions

阶段	液相		气相	
	均一温度 C	峰值 C	均一温度 C	峰值 C
I	175~230	190~210	180~238	200~210
II	179~255	200~230	185~258	210~220
III	157~207	170~190	155~203	170~180
IV	120~200	130~170	135~195	140~160

表 3 流体包裹体成分

Table 3 The composition of fluid inclusion

阶段	气相组分($\times 10^{-6}$)					液相组分($\times 10^{-6}$)								
	H ₂ O	CO ₂	CO	CH ₄	H ₂	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Li ⁺	F ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻
I	1200.50	305.68	0.35	0.10	0.12	4.89	3.64	7.80	0.62	0.62	0.20	5.20	0.0	141
I	1120.90	352.62	0.55	8.12	0.10	3.90	7.12	11.08	2.26	0.70	0.36	11.08	5.0	282
I	920.30	312.42	0.40	1.22	0.14	0.50	2.37	2.93	0.22	0.33	0.20	4.60	0.0	36
I	622.60	117.14	0.34	0.40	0.08	1.74	3.56	100.84	4.00	0.04	0.44	6.35	0.0	341
II	1000.60	381.75	1.45	3.57	0.11	3.15	10.01	15.65	0.89	3.73	0.42	17.15	6.0	282
II	1050.00	515.25	0.50	0.15	0.08	15.69	6.08	14.44	1.36	0.64	0.35	11.50	2.5	220
II	950.80	228.40	0.25	0.05	0.10	8.47	4.45	32.88	1.73	2.40	0.40	9.30	5.0	280
II	860.60	285.86	1.25	5.25	0.12	2.49	5.05	12.72	5.97	2.35	0.35	6.80	10.0	187
IV	670.10	125.23	0.25	0.55	0.06	0.58	1.93	97.84	2.05	0.26	0.60	2.20	0.0	326
IV	600.30	120.00	0.30	0.37	0.07	0.33	1.71	109.06	2.81	0.04	0.22	2.20	0.0	340

测试单位: 国土资源部宜昌地质矿产研究所

表 4 热液体系逸度参数、酸碱度及氧化-还原电位

Table 4 The fugacity of oxygen sulfur etc and pH, Eh value of hydrothermal system

成矿阶段	$\lg f_{O_2}$	$\lg f_{CO_2}$	$\lg f_{CH_4}$	$\lg f_{H_2}$	$\lg f_{CO}$	$\lg f_{S_2}$	pH	Eh(eV)
I	-41.71~-49.72	-12.2~-8.07	-4.6	-0.265	-13.97~-5.85	-14.8~-17	6.8	-0.73
II	-41.87~-49.5	-12.02~-7.78	-4.3	-0.275	-13.04~-5.84	-16~-25.02	6.9	-0.75
IV	-47.77~-57.38	-15.41~-9.26	-3.0	-0.252	-17.05~-6.86		7.2	-0.69

表 5 石英、方解石中流体包裹体氢氧同位素值

Table 5 The hydrogen and oxygen isotope data of fluid inclusion in quartz and calcite

成矿阶段	矿物	均一温度 (C)	$\delta^{18}O$ (SMOW, ‰)	δD (SMOW, ‰)	$\delta^{18}O_{H_2O}$ (SMOW, ‰)
I	石英	235	11.40	-57.9	3.52
	石英	230	10.82	-76.1	1.04
	石英	205	22.00	-70.6	10.61
II	石英	205	23.50	-76.3	12.11
	方解石	205	10.80	-64.4	2.70
III	石英	191	19.60	-100.7	7.30
	石英	191	21.50	-84.8	9.20
	石英	181	22.50	-73.3	7.01

测试单位: 中国地质科学院宜昌同位素研究与测试中心

4.5 逸度参数及 Eh 值的确定

依据所测得的温度、pH 值及成分等求得热液体系的逸度参数及氧化还原电位(徐文欣,1991,王可勇等,1999),如表 4。

4.6 氢氧同位素组成

测试了流体包裹体中水的氢氧同位素值进行,用以判断成矿流体的来源,所测结果如表 5,投图于图 3。

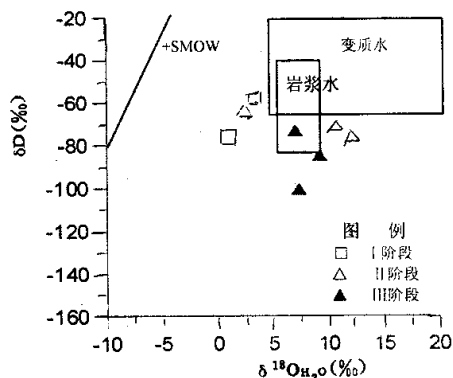


图3 流体包裹体氢氧同位素组成 $\delta D-\delta^{18}O_{H_2O}$ 图

Fig. 3 The $\delta D-\delta^{18}O_{H_2O}$ diagram of hydrogen and oxygen isotope value of fluid inclusion

5 问题讨论

从均一温度反映出,矿床形成于中低温条件。从成矿早期至晚期,温度总体呈下降趋势,但Ⅱ阶段略高于Ⅰ阶段,显示可能在热液成矿进行过程之中,受某种地质事件的影响。考虑到矿区附近出露有一花岗闪长斑岩脉,其侵入年代与热液成矿Ⅱ阶段的样品所测定的年龄相近。因此Ⅱ阶段成矿温度的升高可能是岩浆活动所致。

成矿流体具有低盐度的特点,并且随着成矿作用的进行,盐度的变化趋势是从高到低,与邻区东北寨的特征相反(郑明华等,1990);可能是热液体系中大气降水逐渐增高所致。

鉴于成矿Ⅰ、Ⅱ、Ⅳ阶段的深度分别为2.9、2.3和1.2km,表明热液成矿是在地壳抬升的背景下进行的。

流体包裹体的气相组分以 H_2O 和 CO_2 为主,含有少量 CO 、 CH_4 和 H_2 ;Ⅰ、Ⅱ阶段气相组分的浓度较高,且仅有微小变化;Ⅳ阶段与Ⅰ、Ⅱ阶段相比,其浓度明显下降,可能与成矿作用后期温度的下降相关。液相组分以 HCO_3^- 、 Ca^{2+} 、 K^+ 、 Na^+ 和 Cl^- 为主, SO_4^{2-} 、 Li^+ 、 F^- 的含量较低;同时Ⅳ阶段的 HCO_3^- 、 Ca^{2+} 的浓度又明显高于Ⅰ、Ⅱ阶段,这与矿源层中富含碳酸盐矿物及成矿后期形成大量方解石脉的地质事实相一致。

成矿流体为中性、弱还原条件,且在整个成矿作用过程中仅有微小变化。由此表明酸碱度和氧化还原电位的变化不是金沉淀的主控制因素。

包裹体的氢氧同位素测试结果显示:氢氧同位素均具有较大的变化范围, δD 变化范围 $-57.9 \sim -100.7\%$, $\delta^{18}O_{H_2O}$ 变化范围 $1.04 \sim 12.11\%$ 。取平均值, δD 从Ⅰ阶段至Ⅲ阶段,其值分别为 -67% 、 -70.43% 、 -86.27% ;而 $\delta^{18}O_{H_2O}$ 值Ⅰ阶段的 2.28% 增至Ⅱ阶段的 8.47% ,到Ⅲ阶段

则下降至 7.8% 。

将氢氧同位素值投于 $\delta D-\delta^{18}O$ 图上,其点主要落入变质水下侧,一点落入岩浆水区域。与同处川西北的东北寨金矿床相比(郑明华等,1990),同位素值比较接近。以氢氧同位素值为基础,结合矿床形成的地质条件以及在流体演化过程中的水岩相互作用,认为成矿流体具有如下特点:伴随区域变质作用,地层中所赋存的孔隙水及矿物结构水被释放出,作为早期热液的来源;其后是大气降水沿断裂系统向下渗透,进入热液循环系统。鉴于一点落入岩浆水区域,并且矿区内出露有花岗闪长斑岩脉,因此,在热液演化过程中,可能有一定的岩浆水加入。

6 结论

通过对马脑壳金矿床热液成矿作用所形成的流体包裹体的研究获得如下认识:

(1) 流体包裹体分为五类,分别为富液二相、富气二相、含 CO_2 三相、纯 CO_2 相和有机质包裹体。

(2) 热液成矿作用温度为中低温,中低盐度,伴随热液演化,温度和盐度总体呈下降趋势;仅Ⅱ阶段的温度略高于Ⅰ阶段。

(3) 流体包裹体的气相组分以 H_2O 和 CO_2 为主,含有少量 CO 、 CH_4 和 H_2 ;液相组分以 HCO_3^- 、 Ca^{2+} 、 K^+ 、 Na^+ 和 Cl^- 为主, SO_4^{2-} 、 Li^+ 、 F^- 的含量较低。成矿热液具中性、弱还原的特点。

(4) 早期成矿流体为变质水,晚期为大气降水,其间有少量岩浆水加入。

致谢 包裹体测试和分析得到中国地质大学(武汉)资源学院栗春芳老师和王可勇副教授的帮助和指导,深表感谢。

References

- Kuehn CA and Rose AW. 1992. Geology and geochemistry of wall-rock alteration at the Carlin gold deposit, Nevada. *Economic Geology*, 87:1697~1721
- Radtke AS, Rye RO and Dickson FW. 1980. Geology and stable isotope studies of the Carlin gold deposit, Nevada. *Economic Geology*, 75(5):641~672
- Simon G, Kesler SE and Chryssoulis S. 1999. Geochemistry and textures of gold-bearing arsenian pyrite, Twin Creeks, Nevada: Implications for deposition of gold in Carlin-Type deposits. *Economic Geology*, 94:405~422
- Wang Keyong, Yao Shuzhen and Lü Xubiao. 1999. Geological features and metallogenic physicochemical conditions of Manaoke gold deposit in Northwestern Sichuan Province. *Earth Science*, 24 (sup.):46~51 (in Chinese with English abstract)
- Xu Wenxin. 1991. Figures of physicochemical parameter of water-

soluble gas composition in inclusions of minerals. *Mineral Resources and Geology*, 5(3):200~206 (in Chinese with English abstract)

Zhang Wenhui, Cheng Ziyang. 1993. The geology of fluid inclusion. Wuhan: China University of Geosciences Press, 246:138~143 (in Chinese)

Zheng Minghua, Gu Xuexiang and Zhou Yufeng. 1990. An analysis of metallogenic physicochemical conditions and metallogenic processes of the Dongbeizhai micro-disseminated gold deposit in Sichuan Province. *Mineral Deposits*, 9(5): 129~140 (in Chinese with English abstract)

附中文参考文献

王可勇,姚书振,吕新彪. 1999. 川西北马脑壳金矿床成矿物理化学条件. *地球科学*,24(增刊):46~51

徐文欣. 1991. 矿物包裹体中水溶气体成分的物理化学参数图解. *矿产与地质*, 5(3):200~206

张文淮, 陈紫英. 1993. 流体包裹体地质学. 武汉:中国地质大学出版社,246:138~143

郑明华,顾雪祥,周渝峰. 1990. 四川东北寨微细浸染型金矿床成矿物理化学条件和成矿过程分析. *矿床地质*, 9(2):129~140