

湘西沃溪金锑钨矿床流体包裹体特征及矿床成因

彭南海^{1,2,3}, 黄德志^{1,2}, 辛宇佳^{1,2}, 刘忠法^{1,2}, 柳永康^{1,2}

- (1. 中南大学 有色金属成矿预测教育部重点实验室, 长沙 410083;
2. 中南大学 地球科学与信息物理学院, 长沙 410083;
3. 湖南省有色地质勘查研究院, 长沙 410015)

摘要: 对沃溪金锑钨矿床含金石英脉流体包裹体温度、成分进行研究, 并结合井下矿体特征对流体来源及矿床成因进行了探讨。结果表明, 沃溪矿区含金石英脉中的流体包裹体均为 LV 型富液相原生包裹体, 并具有中低温(均一温度集中在 170~220 °C 之间)、低盐度(3%~6%, 质量分数)及低密度(0.88~0.92 g/cm³)的特征。从包裹体成分上看, 流体包裹体同时具有变质流体(中温、低盐度、高 CO₂ 含量)与大气降水 $w(\text{Na}^+)/w(\text{K}^+) > 2$, $w(\text{F}^-)/w(\text{Cl}^-) \geq 1$, 明显地富集 Ca^+ ($w(\text{Ca}^+) > w(\text{Na}^+) > w(\text{K}^+)$) 或 Ca^+ 含量较高 ($w(\text{Na}^+) > w(\text{Ca}^+) > w(\text{K}^+)$) 的成分特征, 显示可能为混合流体; 从矿脉地质特征来看, 沃溪矿区矿脉既发育顺层脉体, 又发育切层脉体, 亦显示变质分异与热液充填的特征。

关键词: 湘西沃溪金锑钨矿床; 流体包裹体; 成矿流体来源; 矿床成因

中图分类号: P588.121

文献标志码: A

Characteristics of fluid inclusions and genesis of Woxi Au-Sb-W deposit in western Hunan, China

PENG Nan-han^{1,2,3}, HUANG De-zhi^{1,2}, XIN Yu-jia^{1,2}, LIU Zhong-fa^{1,2}, LIU Yong-kang^{1,2}

- (1. Key Laboratory of Metallogenic Prediction of Nonferrous Metals, Ministry of Education, Central South University, Changsha 410083, China;
2. School of Geosciences and Info-Physics, Central South University, Changsha 410083, China;
3. Hunan Nonferrous Metals Geological Exploration Institution, Changsha 410015, China)

Abstract: The study on the composition and temperature of fluid inclusions inside quartz-vein from Woxi Au-Sb-W deposit and wild observation of the relationships between quartz veins and ore body were carried out to discuss the origin of ore-forming fluid and deposit genesis. The results indicate that, in Woxi mine area, fluid inclusions in gold-bearing quartz veins are all LV-type liquid-rich ones, and the fluid has the characteristics of moderate or low temperature (in homogeneous temperature range of 170–220 °C), low salinities (3%–6%, mass fraction) and low density (0.88–0.92 g/cm³). The composition of fluid inclusions of Woxi Au-Sb-W deposit shows that they have characteristics of both metamorphic (moderate temperature, low salinity and high content of CO₂) and meteoric water ($w(\text{Na}^+)/w(\text{K}^+) > 2$, $w(\text{F}^-)/w(\text{Cl}^-) \geq 1$, $w(\text{Ca}^+) > w(\text{Na}^+) > w(\text{K}^+)$ or $w(\text{Na}^+) > w(\text{Ca}^+) > w(\text{K}^+)$), which represents mixing of metamorphic water and meteoric water. The study of quartz veins shows that veins and bedded veins both exist in Woxi Au-Sb-W deposit, which also represents characteristics of both metamorphic deposit and mesothermal deposit related to meteoric water.

Key words: Woxi Au-Sb-W deposit in western Hunan; fluid inclusions; ore-forming fluid origin; deposit genesis

湘西沃溪矿床是扬子地台南缘江南元古宙造山带内产出的为数众多的 W-Sb-Au 建造矿床的典型代表, 也是世界上极为罕见的在同一矿床中 W、Sb 和 Au 3 种元素均构成大型矿床规模的典型实例。沃溪矿床开

采历史悠久, Au、Sb 储量大, 具大型规模。

湘西沃溪金锑钨矿床以其独特的白钨矿-辉锑矿-自然金密切共生的矿物组合, 产于浅变质沉积岩系中完美的整合层状矿化以及显著的层控性, 吸引了

众多中外学者浓厚的研究兴趣。有关该矿床的成因, 一直以来争论极为热烈。争论的问题可概括为岩浆热液成矿^[1-2]、沉积-变质热液成矿^[3-4]、变质水和大气降水混合热液成因^[5-7]和海底热卤水喷流沉积成矿^[8-10]等。

本文作者主要对湘西沃溪金矿所采集样品中的流体包裹体进行测温及相关研究, 并结合沃溪矿区井下矿脉的地质特征, 分析沃溪金矿含矿流体的来源, 以探讨沃溪金矿的矿床成因。

1 矿床地质概况

沃溪 Au-Sb-W 矿床位于湘西地区, 距长沙约 20 km。在构造上, 矿床位于江南元古宙造山带西段雪峰山弧形隆起带向北西凸出的转折部位。矿区位于轴向近东西的仙鹅抱蛋穹窿状背斜的北东翼, 区内出露地层自下而上有中元古界冷家溪群(Pt₂lj)、新元古界板溪群(Pt₃bx)以及上白垩统(K₂)陆相红色砂砾岩^[10](图 1)。

中元古界冷家溪群(Pt₂lj)是一套由海相碎屑岩组成的复理石建造, 局部夹火山熔岩; 新元古界板溪群(Pt₃bx)又分为马底驿组(Pt₃bxm)和五强溪组(Pt₃bxw), 两者以横贯全区的沃溪断层为界, 以北为五强溪组, 以南为马底驿组, 是一套由板岩和千枚岩组成的复理石建造, 局部夹变细碧岩等火山碎屑物质。矿体仅赋存于马底驿组中段的紫红色含钙绢云母板岩中, 受层间破碎带控制。区域上岩浆活动微弱, 矿区及其外围无岩浆岩出露。

该矿床现已发现 7 条以上的含矿层间脉, 由下而

上依次为 V₆、V₅、V₂、V₁、V₃、V₄、V₇ 及 V₈。其中, V₄、V₇ 及 V₈ 为盲矿脉, 这些层间脉全部受脆-韧性层滑剪切断裂控制。矿脉具有沿层间断裂、裂隙和破碎蚀变带充填的特征。矿体主要呈层间石英脉的形式产出, 其次为网脉和节理脉及破碎蚀变岩。近矿脉围岩蚀变发育, 有褪色化、硅化、黄铁矿化、绿泥石化和碳酸盐化等。该矿床金属矿物主要为自然金、辉铋矿、白钨矿、黑钨矿和黄铁矿等, 前三者为有用矿物; 脉石矿物主要为石英, 次为绢云母和方解石等^[11]。

2 样品采集与分析方法

本次流体包裹体研究所取的 22 件样品均采自沃溪矿坑井下含矿石英脉, 样品均为新鲜的含金石英脉。

研究工作中南大学地球科学与信息物理学院实验中心测试研究室完成。样品均被磨制成两面抛光、略厚于普通薄片的测温片(0.05~0.1 mm), 用于包裹体观察和描述以及均一温度和冰融温度(换算为盐度)的测定。流体包裹体气液相成分的测定则选取其中 8 件代表性样品进行测定。其中, 3 件样品(样品号 F071、F077、F086-1)采自沃溪坑口 30 平及 28 平 V₃ 号矿脉; 2 件样品(样品号 F090、F091)采自沃溪坑口 29 平 V₁ 号矿脉; 其余 3 件样品(F096-1、F097-2、F098)均采自沃溪坑口 31 平 V₇、V₈ 号矿脉。流体包裹体气相色谱实验使用的仪器为 Varian-3400 型气相色谱仪(美国), 流体包裹体离子色谱实验使用的仪器为 DX-120 Ion Chromatograph 离子色谱仪(美国)。

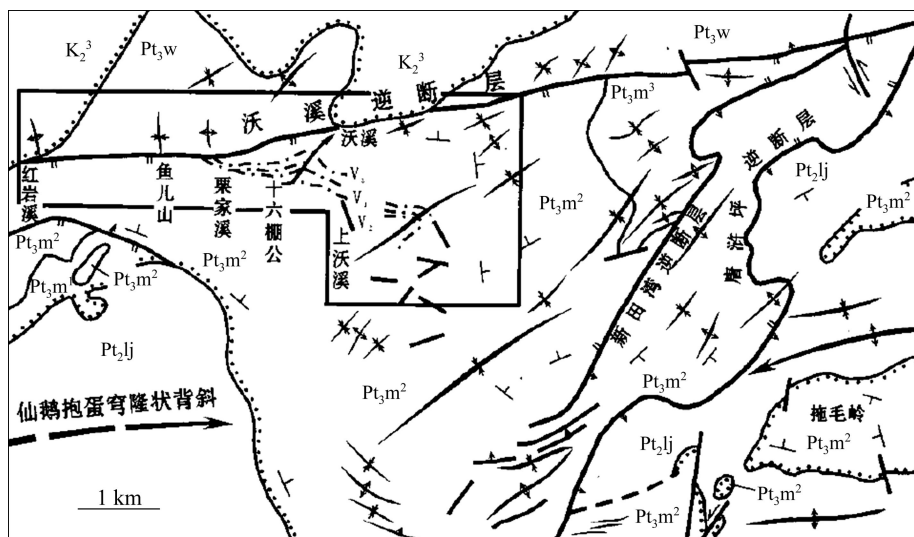


图 1 沃溪矿田及邻区地质构造略图^[10]

Fig. 1 Sketch map showing geological-structural features of Woxi ore field and neighbouring areas^[10]

3 流体包裹体特征

3.1 流体包裹体形态

研究表明, 石英脉中的流体包裹体比较丰富, 但类型单一, 基本均为主要为 LV 型富液相包裹体, 多为原生包裹体, 该类型包裹体粒径多数为 3~8 μm, 少数为 9~12 μm, 呈椭圆状、不规则状和四边形, 气液相比多数为 10%~25%, 少数为 25%~40%。

3.2 流体包裹体的温度、盐度和密度

流体包裹体部分参数和测温结果以及盐度(w%, NaCl)、密度(g/cm³)换算结果列于表 1; 包裹体均一温度、盐度和密度统计直方图分别见图 2~4。

成矿流体盐度采用 POTTER 等^[12]提出的盐度计算公式($w(\text{NaCl})=0.00+1.78T_m-0.044\ 2T_m^2+0.000\ 557\ T_m^3$, T_m 为冰点温度)计算, 密度据刘斌等^[13]提出的密

度计算公式($\rho=A+BT_h+CT_h^2$, T_h 为均一温度, A 、 B 、 C 为盐度的函数)计算。

从图 2~4 可以看出, 所取含金石英脉均一温度具

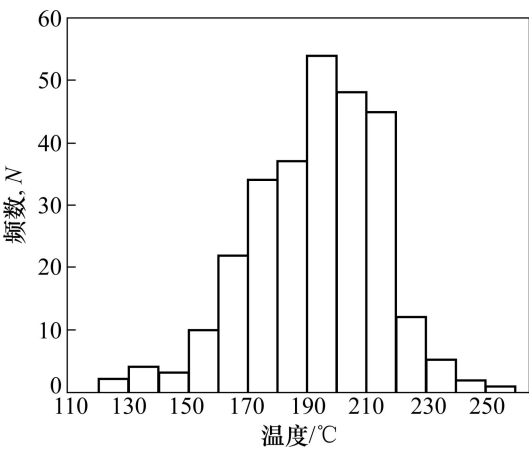


图 2 流体包裹体均一温度直方图
Fig. 2 Histogram of homogenization temperature for fluid inclusions

表 1 流体包裹体均一温度、盐度、密度及部分其他参数

Table 1 Homogenization temperature, salinity, density and some other parameters of fluid inclusions						
矿点(沃溪坑口)	样品号	组成	气液相比/%	均一温度/℃	盐度/%	密度/(g·cm ⁻³)
7 平 I 号脉	D028	气液两相	15~40	175~220	4.035~5.58	0.88~0.92
27 平 V3-2 节理脉	D052	气液两相	15~30	185~240	3.716~4.66	0.85~0.92
-50 西沿脉 12 矿块	F064-1	气液两相	20~40	175~205	3.07~4.97	0.90~0.92
-25 平 08 矿块	F066-2	气液两相	10~15	190~208	4.66~5.28	0.90~0.91
-50 平 503 矿块	F067-1	气液两相	10~40	130~190	3.23~5.733	0.91~0.96
16 平 1609 作业点	F070	气液两相	10~25	160~220	0.18~6.48	0.88~0.94
30 平 V3 脉靠近轴部	F071	气液两相	15~35	160~215	3.23~4.97	0.88~0.94
30 平 V3-3 349 采场	F072	气液两相	10~35	165~227	2.41~5.13	0.85~0.92
30 平 V7 北沿脉节理脉	F077	气液两相	15~30	123~205	3.07~6.62	0.90~0.99
34 平 V3 西	F083	气液两相	15~40	225~154	4.19~6.03	0.86~0.96
28 平 3 号脉穿脉 V3 北	F086-2	气液两相	15~40	143~215	3.23~4.97	0.88~0.96
29 平 V3 号脉转折端南翼	F089-1	气液两相	15~35	155~220	3.88~6.48	0.88~0.92
29 平 V3 号脉转折端北翼	F089-2	气液两相	15~40	176~225	3.88~4.97	0.87~0.93
距 D089 号点以 N 约 20 m 处	F090	气液两相	15~33	145~220	4.19~7.2	0.88~0.96
距 V1 号脉北约 300 m	F091	气液两相	10~20	175~235	6.62~9.27	0.87~0.95
37 平 VIII 号脉	F092-1	气液两相	10~35	135~215	1.74~5.28	0.88~0.95
37 平 VIII 号脉	F092-2	气液两相	15~35	155~205	4.19~5.73	0.89~0.95
38 平 V3 号脉	F094	气液两相	15~35	173~220	3.39~4.51	0.87~0.92
31 平 V7 号脉北沿脉 3187 采场	F096-1	气液两相	15~35	160~220	3.87~4.97	0.87~0.94
距 3178 号采场 NE 约 50 m 处	F097-2	气液两相	15~45	182~250	3.72~4.82	0.84~0.92
31 平 V8 矿脉	F098	气液两相	15~20	187~204	4.04~4.35	0.89~0.91

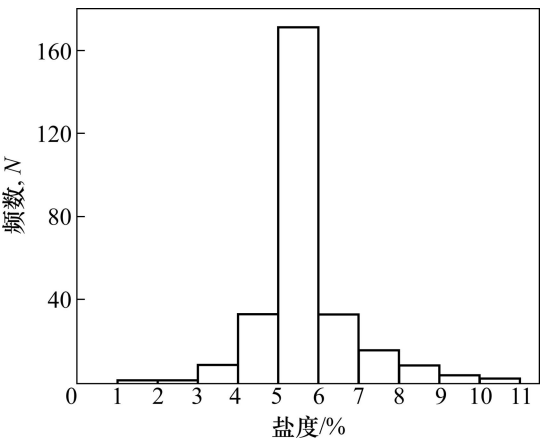


图 3 流体包裹体盐度直方图

Fig. 3 Histogram of salinity of fluid inclusions

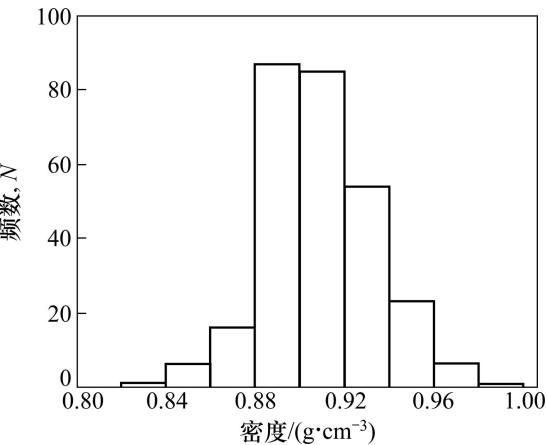


图 4 流体包裹体密度直方图

Fig. 4 Histogram of density of fluid inclusions

表 2 流体包裹体气液相成分(μg/g)

Table 2 Gas and liquid compositions of fluid inclusions (μg/g)

成分	样品号							
	F071	F077	F086-1	F090	F091	F096-1	F097-2	F098
H ₂ O	1007	1615	1072	987	856	1993	1731	1189
CO ₂	628.71	344.64	128.83	405.27	804.00	781.42	323.24	940.41
CH ₄	28.175	13.493	3.266	9.125	10.860	10.886	24.736	99.137
F ⁻	0.348	0.178	0.053	0.412	0.182	0.273	0.163	0.170
SO ₄ ²⁻	75.874	42.963	46.674	44.529	10.975	37.418	22.562	86.496
Li ⁺	0.663	0.045	0.902	0.321	痕量	0.459	0.521	1.337
Na ⁺	4.904	2.496	5.490	1.877	1.271	2.434	6.055	5.255
Cl ⁻	0.827	1.724	2.059	11.911	13.029	9.333	9.084	4.750
K ⁺	8.176	5.627	3.782	1.674	1.047	0.842	1.825	1.764
Mg ²⁺	痕量	痕量	痕量	1.503	3.479	1.271	0.592	0.862
Ca ²⁺	6.829	10.255	2.524	4.983	4.196	5.842	1.457	2.313
w(Na ⁺)/w(K ⁺)	0.60	0.443	1.45	1.12	1.21	2.89	3.31	2.98
w(F ⁻)/w(Cl ⁻)	0.42	0.10	0.026	0.03	0.01	0.03	0.02	0.035

有单峰的特点，均一温度集中在 170~220 ℃ 之间，属于中低温型热液。各样品盐度相近，多在 3%~6% 之间，具低盐度特征。密度集中在 0.88~0.92 g/cm³ 之间，属低密度流体。

3.3 流体包裹体成分

本次研究选取 8 件代表性的样品进行流体包裹体气液相成分分析，分析结果列于表 2。

由表 2 可以看出，各样品流体包裹体具有的特点如下：以 H₂O 和 CO₂ 为主，并含有一定量的 CH₄ 和 H₂，与有地下水或地表水向下参与的浅变质带流体相似^[14]。离子色谱实验结果显示，各样品流体包裹体的阳离子以 Na⁺、K⁺ 和 Ca⁺ 为主，阴离子以 SO₄²⁻、Cl⁻ 和 F⁻ 为主。

且各样品的 w(F⁻)/w(Cl⁻) 均很小，显示大气降水的特征^[15]。w(Na⁺)/w(K⁺) 均较大，一般都大于 1，部分具有较高的 w(Na⁺)/w(K⁺) 值 (> 2.5)。一般认为，w(Na⁺)/w(K⁺) < 1，w(F⁻)/w(Cl⁻) ≥ 1 的流体与岩浆热液有关，w(Na⁺)/w(K⁺) > 2，w(F⁻)/w(Cl⁻) ≥ 1 的流体与沉积或热卤水有关^[15-21]。另外，各样品均具有明显的富集 Ca⁺ (w(Ca⁺) > w(Na⁺) > w(K⁺)) 或 Ca⁺ 含量较高 (w(Na⁺) > w(Ca⁺) > w(K⁺)) 的特征，一方面 Ca⁺ 含量较高可能与沃溪矿区特定的容矿围岩即含钙(铁)质板岩有关^[22]，热液流经围岩萃取成矿元素的同时亦萃取围岩中的钙质，因而具有较高的 Ca⁺ 含量；另一方面，前人研究显示，富钙或钙含量较高的热液可能与大气降水转化而成的地热水或热卤水有关^[15, 23]，因此，样品

富集 Ca^{+} 也可能与大气降水转化而成的地热水或热卤水的加入有关。

4 讨论

4.1 均一温度与盐度变化关系

已有研究显示,在流体混合过程中捕获的流体包裹体其均一温度与盐度以及盐度与焓值在一定程度上均表现出正相关的关系;而在流体沸腾或相分离过程中捕获的流体包裹体其均一温度与盐度以及盐度与焓值则均呈负相关性^[24-26]。沃溪矿区含金石英脉流体均一温度与盐度散点图如图5所示。由图5可以看出,沃溪矿区含金石英脉流体均一温度与盐度显示较良好的正相关趋势,由此可以说明沃溪矿区成矿流体曾发生过流体的混合作用,这与前文所述的流体成分分析结果相吻合。

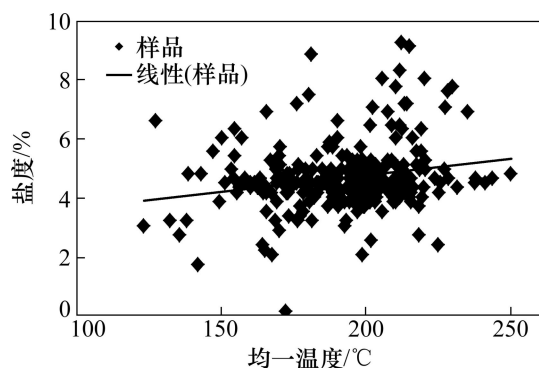


图5 沃溪矿区含金石英脉盐度与均一温度散点图

Fig. 5 Diagram showing temperature and salinity diversification of quartz veins from Woxi deposit

4.2 沃溪矿区流体来源与矿床成因分析

陈衍景等^[27]根据以主导成矿系统发育的地质作用特征划分为如下5种类型:①浆控高温热液型,包括斑岩型、爆破角砾岩型、铁氧化物型、夕卡岩型等岩浆热液型矿床;②造山型,即变质热液型;③浅成低温热液型,即陆相火山岩-次火山岩中的改造热液型;④微细粒浸染型(卡林型或类卡林型),即沉积岩容矿的改造热液型;⑤热水沉积型(VMS型和SEDEX型),即水下喷出地表的改造热液型。并将成矿流体分为改造、变质和岩浆3个端元性成分^[27]。本文作者所述及的沃溪矿区含金石英脉的流体特征(中低温、低盐度、低密度、高 CO_2 含量)则与变质热液端元成分(中温、低盐度、高 CO_2 含量)极为相似。然而,从流体包裹体液相成分分析可知,沃溪矿区含金石英

脉流体兼具与大气降水转化而成的地热水或热卤水特征($w(\text{F}^-)/w(\text{Cl}^-)$ 很小; $w(\text{Na}^+)/w(\text{K}^+)$ 较大,部分大于2.5;明显地富集 Ca^{+} ($w(\text{Ca}^{+}) > w(\text{Na}^{+}) > w(\text{K}^{+})$)或 Ca^{+} 含量较高($w(\text{Na}^{+}) > w(\text{Ca}^{+}) > w(\text{K}^{+})$)。并且,样品盐度与均一温度散点图显示,沃溪矿区含金石英脉流体温度与盐度明显呈正相关性,显示流体混合的特征。

从矿脉地质特征来看,沃溪矿区矿脉发育有许多顺层脉体,矿脉基本沿板理充填,而且矿脉与围岩界限不是很清晰(图6),甚至矿体亦随岩层发生褶皱构造,两翼产状在较小的距离内明显发生变化(图7和8),显示变质热液成矿的特征。另外,在沃溪矿区井下又可见大量热液型脉体,脉体切层发育(切过板理),与围岩界限清晰截然(图9),甚至具明显的热液充填形成的烘烤边构造(图10)。由图11可以看出,沃溪矿区矿井内同时存在顺层及切层脉体,显示变质分异和热液充填共生的特征。

因此,由包裹体数据及矿脉特征可以推断,沃溪



图6 沃溪矿区顺层矿脉(与围岩界限不清晰)

Fig. 6 Bedded veins from Woxi deposit (unclear boundary of country rocks)



图7 沃溪坑口29平V3号矿脉南(产状: 335° ∠ 31°)

Fig. 7 South of No. V3 veins from Woxi deposit with attitude of 335° ∠ 31°

矿区含金石英脉流体并非为单一的变质流体, 而可能是变质流体与大气降水转化而成的中低温热液流体的



图 8 沃溪坑口 29 平 V3 号矿脉北(产状: $195^{\circ}\angle 44^{\circ}$)

Fig. 8 North of No. V3 veins from Woxi deposit with attitude of $195^{\circ}\angle 44^{\circ}$



图 9 沃溪坑口 V8 号矿脉(沿裂隙充填, 明显切过板理, 并包裹围岩角砾)

Fig. 9 No. V8 veins from Woxi deposit cutting cleavage and package gravels



图 10 沃溪坑口 29 平 V1 号矿脉(矿脉与围岩界限清晰, 并发育类似烘烤边构造)

Fig. 10 No. V1 veins with baking edge structure from Woxi deposit with clear boundary of country rocks



图 11 沃溪坑口 31 平 V7 号矿脉北岩脉 3187 采场(顺层和切层脉体同时发育)

Fig. 11 No. V7 veins and bedded veins from 3187 stope, Woxi deposit

混合流体。

一般认为, 变质流体形成的金矿床属于造山型金矿床, 而造山型金矿床是与增生型或碰撞型造山作用密切相关的, 成矿时间同步于或尾随于造山事件, 成矿系统发育在造山带内部或受到造山事件影响强烈的地区^[27]。沃溪矿床处于江南古陆西南端的雪峰山弧形隆起带, 产在该隆起带由北东转向东西向的转折部位^[28-29], 地处华夏与扬子板块碰撞汇聚部位。并且据前人资料, 沃溪矿区成矿时间为 $(402 \pm 6) \text{ Ma}$ ^[28], 属加里东晚期。加里东期是扬子和华夏两个古地块碰撞汇聚时期, 是华南一次重要的构造运动, 在雪峰古陆主要表现为花岗岩的侵入和脆韧性剪切带的形成, 这些脆韧性剪切带的形成过程与成矿元素的活化转移及成矿空间的形成密切相关^[30]。加里东晚期处于扬子和华夏板块碰撞后期的应力松弛阶段, 伸展作用形成了一系列张性的断裂^[31]。沃溪金矿床则正是在此时间段形成, 早期造山作用形成的变质流体顺层充填并萃取围岩中的成矿物质; 造山晚期的一系列张性断裂则为大气降水的渗滤提供了通道, 渗入的大气降水继而转变为地热水或热卤水, 萃取围岩中的成矿元素而形成成矿热液。变质热液与大气降水形成的含矿热液在某些特定的条件下混合, 导致 Au 等成矿元素的沉淀, 最终形成矿体。因此, 沃溪矿区的成矿流体既具有变质热液的特征, 又显示中低温大气降水形成的热液特征。

5 结论

1) 沃溪矿区含金石英脉具有中低温、低盐度、高

CO₂含量的特征,显示变质热液的特点;同时,含金石英脉还具有 $w(F^-)/w(Cl^-)$ 很小, $w(Na^+)/w(K^+)$ 较大, 部分 >2.5 , 明显的富集 Ca^{+} 含量较高($w(Ca^{+}) > w(Na^{+}) > w(K^{+})$) 或 $Ca^{+}(w(Na^{+}) > w(Ca^{+}) > w(K^{+}))$ 的特征, 显示大气降水形成的热液的特点。而沃溪矿区含金石英脉的均一温度和盐度明显呈正相关关系, 显示流体混合的特征。因此, 沃溪矿区的流体可能为变质流体与大气降水形成的中低温热液流体的混合流体。

2) 据矿脉地质特征研究可以看出, 沃溪矿区矿脉明显具有变质热液(矿脉顺层发育, 与围岩界限不清晰)和中低温热液充填(矿脉切层, 与围岩界限明显, 并发育类似烘烤边构造)的特征, 亦显示矿床流体来源可能为混合来源。

3) 沃溪矿区既显示与变质热液有关的造山带型金矿床特征, 又显示大气降水参与的中低温热液型矿床的特征。因此, 沃溪金矿可能为与变质热液有关的造山带型金矿床和大气降水参与的中低温热液型矿床的叠加复合型矿床。

REFERENCES

- [1] 张振儒, 李健炎, 黄绪灿. 湖南桃源沃溪金锑钨矿床金的赋存状态[J]. 中南矿冶学院学报, 1978, 9(1): 58-71.
ZHANG Zhen-ru, LI Jian-yan, HUANG Xu-can. The genesis and ore-forming mechanism of the Woxi Au-Sb-W deposit, Taoyuan[J]. Journal of Central-South Institute of Mining and Metallurgy, 1978, 9(1): 58-71.
- [2] 彭 渤, 陈广浩, ADAM P. 湘西沃溪锑金矿床辉锑矿脉矿物学特征及其矿床成因指示[J]. 矿物学报, 2003, 23(1): 82-90.
PENG Bo, CHEN Guang-hao, ADAM P. Ore mineralogy of stibnite ore-veins and its genetic implications for the W-Sb-Au ore deposit at Woxi, Western Hunan, China[J]. Acta Mineralogica Sinica, 2003, 23(1): 82-90.
- [3] 罗献林, 梁金城, 易诗军. 论湘西沃溪金锑钨矿床的成因[J]. 地质与勘探, 1984, 20(1): 1-10.
LUO Xian-lin, LIANG Jin-cheng, YI Shi-jun. On the genesis of the Woxi Au-Sb-W deposit, Western Hunan[J]. Geology and Exploration, 1984, 20(1): 1-10.
- [4] 罗献林, 钟东球, 李高生. 湖南沃溪式层控金矿地质[M]. 北京: 地震出版社, 1996: 3-89.
LUO Xian-lin, ZHONG Dong-qi, LI Gao-sheng. Geology of the Woxi-type stratabound gold deposits in Hunan Province[M]. Beijing: Seismic Press, 1996: 3-89.
- [5] 杨 燮. 湖南沃溪金锑钨矿床成矿物质来源及成矿元素的共生机制[J]. 成都地质学院学报, 1992, 9(2): 2-28.
YANG Xie. Source of ore material and paragenesis of ore building elements in Woxi Au-Sb-W deposit, Hunan[J]. Journal of Chengdu College of Geology, 1992, 9(2): 2-28.
- [6] 牛贺才, 马东升. 湘西层控金矿床成因机制的研究[J]. 矿床地质, 1992, 11(1): 65-75.
NIU He-cai, MA Dong-sheng. Metallogenesis of strata bound gold deposits in Western Hunan[J]. Mineral Deposits, 1992, 11(1): 65-75.
- [7] 刘英俊, 孙承轅, 马东升. 江南金矿及其成矿地球化学背景[M]. 南京: 南京大学出版社, 1993: 1-260.
LIU Ying-jun, SUN Cheng-yuan, MA Dong-sheng. Jiangnan-type gold deposits and their ore-forming geochemical background[M]. Nanjing: Nanjing University Press, 1993: 1-260.
- [8] 丁碧英, 杨燕征, 廖凤先. 湘西金矿矿物包裹体研究及矿床成因探讨[J]. 中南矿冶学院学报, 1981, 12(2): 114-120.
DING Bi-ying, YANG Yan-zheng, LIAO Feng-xian. The fluid inclusion study and metallogeny review on gold deposits in Western Hunan district[J]. Journal of Central South Institute of Mining and Metallurgy, 1981, 12(2): 114-120.
- [9] 张理刚. 湘西雪峰隆起区钨锑金矿床稳定同位素地质学[J]. 地质与勘探, 1985, 21(11): 24-28.
ZHANG Li-gang. Stable isotope geology of the tungsten-antimony-gold deposits in the Xuefeng upgoing, west Hunan[J]. Geology and Exploration, 1985, 21(11): 24-28.
- [10] 顾雪祥, OSKAR S, FRANZ V, 刘建明, 郑明华. 湖南沃溪钨锑金矿床的矿石组构学特征及其成因意义[J]. 矿床地质, 2003, 22(1): 108-120.
GU Xue-xiang, OSKAR S, FRANZ V, LIU Jian-ming, ZHENG Ming-hua. Ore fabric characteristics of Woxi W-Sb-Au deposit in Hunan and their genetic significance[J]. Mineral Deposits, 2003, 22(1): 108-120.
- [11] 刘正庚, 余景明, 刘升友, 曾德斌, 雷鸣波, 滕 雁. 湖南沃溪金锑钨矿床稀土元素特征研究[J]. 矿床地质, 2000, 19(3): 270-280.
LIU Zheng-geng, YU Jing-ming, LIU Sheng-you, ZENG De-bin, LEI Ming-bo, TENG Yan. REE characteristics of the Woxi gold-antimony-tungsten deposit, Hunan Province[J]. Mineral Deposits, 2000, 19(3): 270-280.
- [12] POTTER R W, CLYNNE M A. Freezing point depression of aqueous sodium chloride solution[J]. Economic Geology, 1978, 73: 284-285.
- [13] 刘 斌, 段光贤. NaCl-H₂O 溶液包裹体的密度式和等容式及其应用[J]. 矿物学报, 1987, 7(4): 345-352.
LIU Bin, DUAN Guang-xian. The density and isochoric formulae for NaCl-H₂O fluid inclusions(salinity $\leq 25wt\%$) and their applications[J]. Acta Mineralogica Sinica, 1987, 7(4): 345-352.
- [14] 刘建明, 赵善仁, 刘 伟, 储雪蕾, 常 旭. 成矿地质流体体系的主要类型[J]. 地球科学进展, 1998, 13(2): 161-165.
LIU Jian-ming, ZHAO Shan-ren, LIU Wei, CHU Xue-lei, CHANG Xu. Ore-forming fluid systems in crust[J]. Advance in Earth Sciences, 1998, 13(2): 161-165.

- [15] 黄德志, 戴塔根, 孔 华, 邱瑞龙, 徐 祥, 王奎仁. 安徽张八岭构造带石英脉型金矿成矿流体来源研究[J]. 大地构造与成矿学, 2000, 24(3): 231–236.
- HUANG De-zhi, DAI Ta-gen, KONG Hua, QIU Rui-long, XU Xiang, WANG Kui-ren. Study on the origin of ore-forming fluid of quartz-vein-type gold deposits in Zhangbaling tectonic belt, Anhui[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2000, 24(3): 231–236.
- [16] 李 杰, 陈必河, 安江华, 谭仕敏, 张孝国, 姚宇军. 湖南黄金洞金矿成矿流体包裹体特征[J]. 华南地质与矿产, 2011, 27(2): 163–168.
- LI Jie, CHEN Bi-he, AN Jiang-hua, TAN Shi-min, ZHANG Xiao-guo, YAO Yu-jun. Characteristics of fluid inclusions of the Huangjindong gold deposit, Hunan Province[J]. *Geology and Mineral Resources of South China*, 2011, 27(2): 163–168.
- [17] 张连昌, 赵伦山. 成矿流体研究的若干进展与动态[J]. 地质与勘探, 2001, 37(1): 7–10.
- ZHANG Lian-chang, ZHAO Lun-shan. Some advances and trends in ore-forming fluid research[J]. *Geology and Prospecting*, 2001, 37(1): 7–10.
- [18] 邵 军, 张 哲. 内生金矿床的成矿流体[J]. 地质与资源, 2001, 10(1): 50–55.
- SHAO Jun, ZHANG Zhe. Mineralizing fluids of endogenetic gold deposits[J]. *Geology and Resources*, 2001, 10(1): 50–55.
- [19] 张德全, 刘 伟. 流体包裹体成分与金矿床流体来源——以河南西峡石板沟金矿床为例[J]. 地质科技情报, 1998, 17(S): 67–71.
- ZHANG De-quan, LIU Wei. Fluid inclusion compositions of Au deposits and their ore genesis significance: The discussion on the origin of ore-forming fluid of Shibangou gold deposit, Xixia, Henan Province[J]. *Geological Science and Technology Information*, 1998, 17(S): 67–71.
- [20] ROEDDER E. Fluid-inclusion evidence on the genesis of ores in sedimentary and volcanic[M]. Amsterdam: Elsevier Scientific Publishing Company, 1976: 76–110.
- [21] ROEDDER E. Fluid inclusion[J]. *Res Mineralogy*, 1984, 12: 337–359.
- [22] 陈明辉, 杨洪超, 娄亚利, 包正相, 鲍珏敏. 湘西沃溪钨锡金矿床成矿的独特性[J]. 地质找矿论丛, 2008, 23(1): 32–42.
- CHEN Ming-hui, YANG Hong-chao, LOU Ya-li, BAO Zheng-xiang, BAO Jue-min. Minerogenic particularity of Woxi W-Sb-Au deposit in west Hunan[J]. *Contributions to Geology and Mineral Resources Research*, 2008, 23(1): 32–42.
- [23] 季克俭, 王立本. 热液源研究的重要进展和“三源”交代热液成矿学说[J]. 地学前缘, 1994, 1(3/4): 126–132.
- JI Ke-jian, WANG Li-ben. The significant research progress of the source of hydrothermal solution and “triple-source” metasomatic hydrothermal metallogeny[J]. *Earth Science Frontiers: China University of Geosciences*, 1994, 1(3/4): 126–132.
- [24] 马星华, 刘家军, 李立兴, 毛光剑, 郭玉乾. 甘肃寨上金矿床成矿流体性质与成矿作用探讨[J]. 岩石学报, 2008, 24(9): 2069–2078.
- MA Xing-hua, LIU Jia-jun, LI Li-xing, MAO Guang-jian, GUO Yu-kun. Zhaishang gold deposit in Gansu Province: Characteristic, evolution of ore-forming fluids and their metallogenic implication[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2008, 24(9): 2069–2078.
- [25] DANIEL O H. Environment of ore deposition in the Greende mining district, San Juan Mountains, Colorado. Part III: Progress toward interpretation of the chemistry of the ore-forming fluid for the OH vein[J]. *Economic Geology*, 1997, 92: 29–44.
- [26] SHEPHERD T J, RANKIN A H, ALDERTON D H M. A practical guide to fluid inclusion studies[M]. London: Blackie & Son Ltd., 1985: 1–239.
- [27] 陈衍景, 倪 培, 范宏瑞, PIRAJNO F, 赖 勇, 苏文超, 张辉. 不同类型热液金矿系统的流体包裹体特征[J]. 岩石学报, 2007, 23(9): 2085–2108.
- CHEN Yan-jing, NI Pei, FAN Hong-rui, PIRAJNO F, LAI Yong, SU Wen-chao, ZHANG Hui. Diagnostic fluid inclusions of different types hydrothermal gold deposits[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2007, 23(9): 2085–2108.
- [28] 彭建堂, 胡瑞忠, 赵军红, 符亚洲, 林源贤. 湘西沃溪 Au-Sb-W 矿床中白钨矿 Sm-Nd 和石英 Ar-Ar 定年[J]. 科学通报, 2003, 48(18): 1976–1981.
- PENG Jian-tang, HU Rui-zhong, ZHAO Jun-hong, FU Ya-zhou, LIN Yuan-xian. Sm-Nd dating of scheelite and Ar-Ar dating of quartz from the Woxi Au-Sb-W deposit, western Hunan[J]. *Chinese Bulletin of Sciences*, 2003, 48(18): 1976–1981.
- [29] 董树义, 顾雪祥, OSKAR S, FRANZ V, 刘建明, 郑明华, 程文斌. 湖南沃溪 W-Sb-Au 矿床成因的流体包裹体证据[J]. 地质学报, 2008, 82(5): 641–647.
- DONG Shu-yi, GU Xue-xiang, OSKAR S, FRANZ V, LIU Jian-ming, ZHENG Ming-hua, CHENG Wen-bin. Fluid inclusion evidence for the genesis of the Woxi W-Sb-Au deposit, Hunan Province[J]. *Acta Geological Sinica*, 2008, 82(5): 641–647.
- [30] 彭建堂, 胡瑞忠. 雪峰古陆加里东期金的成矿作用[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2000, 19(4): 246–247.
- PENG Jian-tang, HU Rui-zhong. Xuefeng terrain Caledonian gold mineralization[J]. *Bulletin of Mineralogy Petrology and Geochemistry*, 2000, 19(4): 246–247.
- [31] 邱元喜, 张渝昌, 马文璞. 雪峰山的构造性质与演化[M]. 北京: 地质出版社, 1999: 122–131.
- QIU Yuan-xi, ZHANG Yu-chang, MA Wen-pu. The tectonic nature and evolution of Xuefeng mountains[J]. Beijing: Geological Publishing House, 1999: 122–131.

(编辑 陈卫萍)