

文章编号:1000-4734(2003)01-0082-09

# 湘西沃溪钨锡金矿床辉锑矿脉矿物学特征及其矿床成因指示

彭 渤<sup>1</sup>, 陈广浩<sup>2</sup>, Adam Piestrzynski<sup>3</sup>

(1. 湖南师范大学 资源与环境学院, 湖南 长沙 410081; 2. 中国科学院 长沙大地构造研究所, 湖南 长沙 410013;

3. University of Mining and Metallurgy, Cracow, Poland)

**摘要:**辉锑矿脉为沃溪钨锡金矿床最具工业价值的矿石类型。本文报道了近期对该型矿石的主要矿石矿物如自然金、自然锑、辉锑矿、白钨矿、黑钨矿等的观察研究和电子探针分析结果。分析了矿石矿物微量化学成分特征及其所揭示的矿床成因信息。研究表明,矿床成矿应与区域构造-岩浆作用有成因联系。从而建立了该矿床新的成矿机理模式。

**关键词:**辉锑矿脉;矿石矿物;显微化学组分;湘西沃溪

**中图分类号:**P611 **文献标识码:**A

**作者简介:**彭 渤,男,博士,教授,从事构造地质学及环境地球化学等方面的科研和教学工作。

雪峰矿集区的沃溪矿床是典型的钨锡金型矿床。该矿床规模属大型,具有悠久的开采历史和很高的研究程度。对其成因认识也有多种。归纳起来可有如下三种主要观点:① 岩浆成因论,认为矿床成矿与岩浆期后的热液作用有关<sup>[1,2]</sup>;② 沉积-变质热液再造成矿论。认为成矿物质主要来自富矿围岩,成矿是区域变质作用促使富矿围岩中的成矿物质发生活化转移而再富集成矿的结果<sup>[3-6]</sup>,马东升<sup>[7]</sup>还从区域大规模流体活动的角度,进一步阐述了矿床成矿机理;③ 海底热卤水成矿论,认为成矿流体为渗流的中低温热卤水<sup>[8]</sup>,含矿硅质岩为海底热泉沉积所致<sup>[9]</sup>,矿床即为海底热水喷流沉积作用的产物<sup>[10]</sup>。

岩浆成因论提出后,很快遭到怀疑和否定,主要是由于在矿床范围内未发现有岩浆岩,一直无法找到矿体与岩体在空间上联系。而近年研究又表明,矿区内其实不存在矿源层<sup>[11,12]</sup>。那么成矿物质源于何处?同时,观点②和③一方面很难解释含矿石英脉及其围岩中广泛发育的诸如S-C构造、布丁构造、构造透镜体及构造角砾岩等各种宏观构造现象;另一方面又受到最新成矿年龄同位素测定结果<sup>[13]</sup>的挑战。看来,该矿床的成因问题

仍颇值得探讨。本文试图在对矿床范围内广泛发育的辉锑矿脉进行矿石矿物学观察和分析的基础上,综合以往的研究成果,重新认识成矿与构造-岩浆作用的关系,并建立新的矿床成矿机理模式。

## 1 辉锑矿脉产出特征

沃溪钨锡金矿床赋存于元古界板溪群马底驿组紫红色板岩中。已有很多文献<sup>[2-4,14]</sup>对矿床的地质特征进行了总结,在此不再赘述。以下着重阐述辉锑矿脉的一些基本特征。辉锑矿脉主要以块状辉锑矿脉、似层状辉锑矿脉和条带状辉锑矿脉等形式产出。块状辉锑矿脉一般视厚大于20 cm,多为厚板状、板柱状、囊状、透镜状的致密块状辉锑矿(图1a),在断裂交汇或褶皱虚脱部位形成大的矿包;似层状辉锑矿脉延伸稳定,视厚在5~20 cm之间,常与含矿石英脉相伴生;条带状辉锑矿脉一般视厚<5 cm,呈舒缓波状弯曲(参见文献[4]所附照片7)。辉锑矿脉的产出与围岩产状并不完全一致,通常矿脉两盘围岩中发育产状不同的劈理裂隙,且围岩中发育的劈理裂隙并不透过矿脉(图1a),显示矿脉的后成特征。辉锑矿脉在V<sub>1</sub>、V<sub>3</sub>、V<sub>4</sub>、V<sub>7</sub>等矿体中发育较好,这些矿体受层间断层或层间破碎带控制,一般单个矿体走向延伸:40~350 m,倾向延深:500~2300 m,平均厚度>0.5 m。矿体产状和品位都很稳定,经济价值明显。

收稿日期:2002-08-02

基金项目:国家自然科学基金(批准号:40002021);教育部留学回国科研启动基金

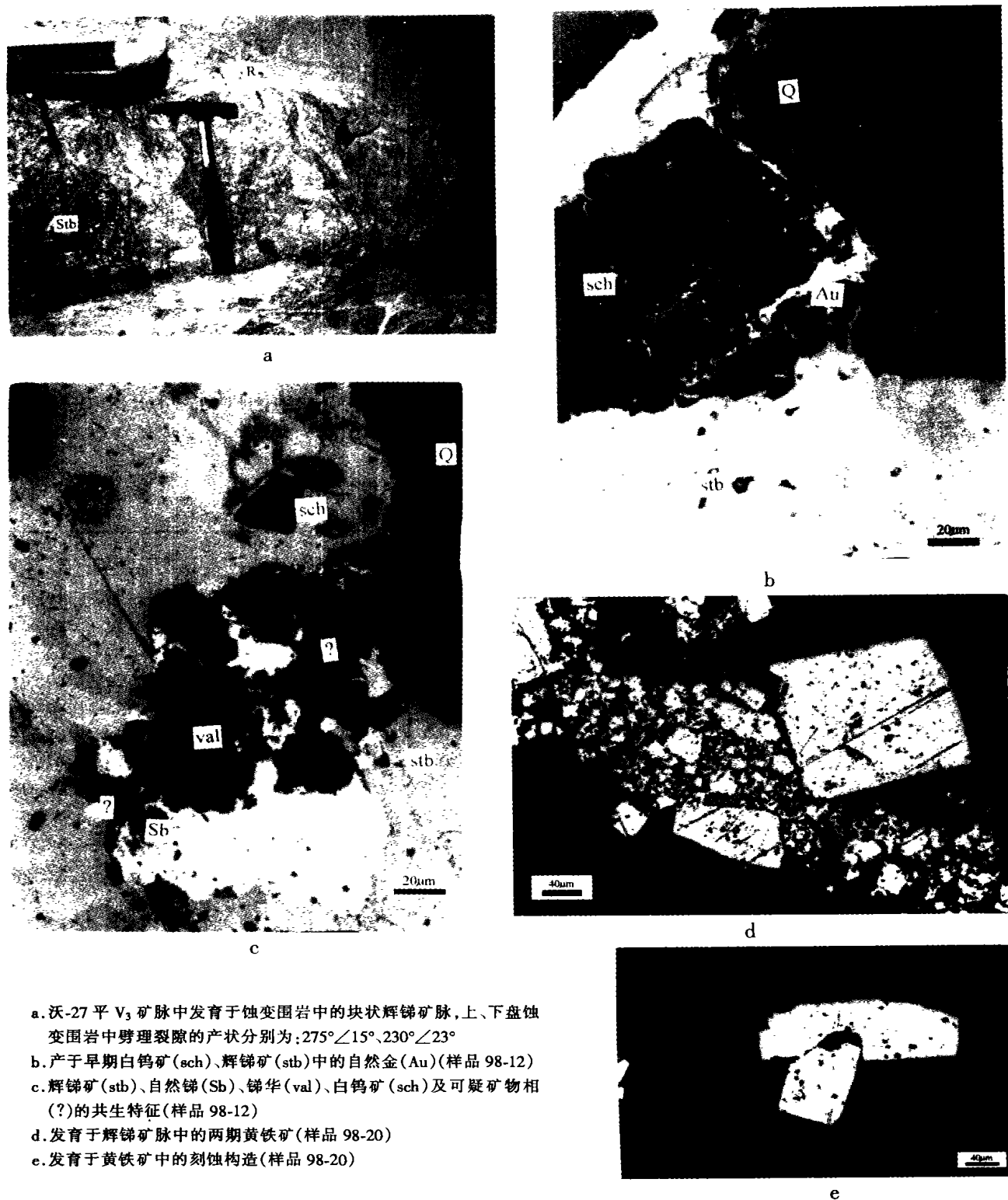


图 1 辉锑矿脉的产出和矿物组成特征

Fig. 1. Photograph showing the occurrences and mineral composition of the stibnite vein ores.

## 2 矿石矿物组成及其特征

样品采自沃溪 24 平  $V_7$  沿脉、I 号盲脉、II 号

盲脉, 及红岩溪矿区。经二次切片在反光显微镜下作常规观察后, 在波兰国家非金属研究所电子探针实验室的 Jeol-735 型电子探针仪上, 主要对

自然金、辉锑矿、白钨矿、黑钨矿等矿石矿物进行电子探针分析。工作电压为 20 kV, 电流为 15 nA。元素分析谱线分别为: Au-M<sub>α</sub> (100%)、Ag-L<sub>α</sub> (100%)、Cu-K<sub>α</sub> (100%)、Fe-K<sub>α</sub> (Fe)、Hg-L<sub>α</sub> (Hg)、Mn-K<sub>α</sub> (100%)、Mo-L<sub>α</sub> (100%)、Sb-L<sub>α</sub> (100%)、S-K<sub>α</sub> (FeS<sub>2</sub>)、W-M<sub>α</sub> (100%)、Zn-K<sub>α</sub> (100%)。分析结果作 ZAF 校正。以下概述主要矿石矿物的镜下观察和电子探针分析结果。

## 2.1 自然金与自然锑

镜下可见自然金(粒径可达 200 μm)主要以独立矿物形式存在于白钨矿、辉锑矿、闪锌矿及石英等矿物中(图 1b)。以往对自然金的产状、形态特征、晶面特征及其成色等作了较系统的观察和研

究<sup>[2,4,15,16]</sup>。本次工作对产于白钨矿、辉锑矿和闪锌矿等矿物中的自然金又进行了较系统的电子探针分析, 结果见表 1。可见: ①该矿床自然金中 Au 的含量多接近 100%, 平均达 99.18%。自然金的成色极高, 在 997 到 1000 之间, 平均达 998.7。②自然金含 Ag 极低, 在 0.09~0.7% 之间, 并含 As: 0.03%~0.09%、Bi: 0.05%~0.43%、Hg: 0.05%~0.32%、Cu: 0.03%~0.07%、Pb: 0.02%~0.26%、Zn: 1.16%~3.13%、Sb: 0.03%~0.15% 等其它微量杂质元素, 其中 Cu、Hg、Bi、Zn 等组分含量较高且变化较稳定。③自然金中 Fe、Se 的含量低于检测极限。另外, 一粗粒金的光谱分析结果<sup>[4]</sup>显示自然金除含上述亲硫元素外, 还含有 Ce(0.05%)、Ba(0.015%)、W(0.005%) 等亲石元素。

表 1 自然金的电子探针分析结果

Table 1. Electron microprobe analyses of native gold in stibnite ore veins from the Woxi deposit

产状	测点	As	Bi	Hg	Au	Ag	Cu	Pb	Zn	Sb	总和	成色
A	306E1	≤0.05	≤0.05	≤0.03	99.38	0.09	≤0.03	≤0.03	n.a.	≤0.03	99.47	999.10
	306E2	≤0.05	≤0.05	≤0.03	98.74	0.09	≤0.03	≤0.03	n.a.	≤0.03	98.81	999.10
	306E3	≤0.05	≤0.05	≤0.03	100.08	≤0.09	≤0.03	≤0.03	n.a.	≤0.03	100.08	1000
	306E5	≤0.05	≤0.05	≤0.03	100.19	≤0.09	≤0.03	≤0.03	n.a.	≤0.03	100.19	1000
B	307H1	≤0.05	0.40	0.26	99.77	0.09	≤0.05	n.a.	n.a.	≤0.03	100.52	999.10
	307H2	0.09	0.25	0.16	99.52	0.06	≤0.05	n.a.	n.a.	0.15	100.23	999.40
	307H3	≤0.05	0.28	0.32	99.53	0.18	0.07	n.a.	n.a.	≤0.03	100.38	998.19
C	307G1	≤0.05	0.29	0.10	99.58	0.27	≤0.05	≤0.02	1.42	0.09	101.75	997.30
	307G2	≤0.05	0.43	≤0.03	98.39	0.16	0.06	0.15	1.16	≤0.03	100.35	998.38
	307G4	≤0.05	0.36	≤0.03	96.87	0.18	≤0.05	0.26	3.13	0.08	100.88	998.15
	307G5	≤0.05	≤0.05	≤0.03	98.78	0.27	≤0.05	0.05	1.22	0.09	100.41	997.27
D	307I3a	≤0.05	0.21	0.30	99.12	0.04	≤0.05	≤0.02	n.a.	0.06	99.73	999.60
	307I4a	≤0.05	0.36	0.04	97.19	0.17	0.06	≤0.02	n.a.	≤0.03	97.82	998.25
	307I3b	0.05	≤0.05	0.29	100.46	0.23	0.07	0.10	n.a.	≤0.03	101.20	997.72
	307I4b	0.05	0.49	0.20	101.20	0.11	0.07	0.14	n.a.	0.05	102.31	998.91

注: A、B、C、D 依次为产于白钨矿、辉锑矿、闪锌矿、及辉锑矿和白钨矿中的自然金; n.a. 表示未测定; 成色 =  $1000w(\text{Au})/w(\text{Au} + \text{Ag})$ ; 对 Se、Fe 作了检测但未检测到。

自然锑在自然界中不常见, 也未见有该矿床产出自然锑的报道。本次工作发现的自然锑见于 98-12 号块状辉锑矿样品中, 它与辉锑矿、锑华交生成互嵌结构(图 1c), 同一样品中还见有自然金(图 1b)。自然锑  $w(\text{O}) = 0.45\% \sim 1.01\%$ ;  $w(\text{As}) = 0.44\% \sim 2.29\%$ , 平均 1.53%;  $w(\text{W}) = 0.38\% \sim 0.53\%$ , 平均 0.48%(表 2)。其含 O 可能是矿石切片时氧化所致或与之相关。自然锑的含 As 量可与湘南香花岭锡矿床中自然锑含 As 量(在 2.60%~2.86% 之间)<sup>[17]</sup> 相对比。

表 2 自然锑、锑华及未知矿物相的电子探针分析结果

Table 2. electron microprobe analyses of native antimony, valentinite, and an unidentified phase in stibnite ore veins from the Woxi deposit

测点	O	As	Sb	W	总量	计算分子式
306D1	0.45	2.03	95.09	0.51	98.08	Sb
306D3	1.01	1.35	97.08	0.48	99.92	Sb
306D4	0.46	0.44	97.48	0.53	98.91	Sb
306D5	0.56	2.29	95.25	0.38	98.48	Sb
306D6	20.36	≤0.12	45.40	33.64	99.52	Sb <sub>2</sub> WO <sub>7</sub> (?)
306D7	20.37	1.77	78.75	0.34	101.23	Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
306D8	18.58	1.47	78.38	0.44	98.87	Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
306D9	18.28	≤0.08	79.82	0.43	98.60	Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
306D10	19.35	1.40	79.44	0.54	100.73	Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>

## 2.2 辉锑矿与锑华

辉锑矿为该矿床主要的载金矿物之一。镜下辉锑矿呈块状、细脉状沿先成矿物(如白钨矿、黑钨矿、石英等)的边界、张开裂隙/或粒间裂隙充填,显示明显的后成特征。可见辉锑矿与黄铁矿、闪锌矿、方铅矿、黝铜矿、自然金等矿物共生。其中自然金主要以显微金、包裹金等形式产于辉锑

矿的裂隙、粒间裂隙和/或晶格中。电子探针分析(表 3)表明辉锑矿中含 As、Cu、Zn 等亲硫元素和 Mn、Ni、Fe 等亲铁元素。陈殿芬等<sup>[18]</sup>和刘英俊等<sup>[19]</sup>对包括该矿床在内的同类矿床辉锑矿矿石及矿物学特征作了系统的研究。结合已有研究成果<sup>[4,19]</sup>可以看出,该矿床辉锑矿除主要富含 Au、Ag、As、Cu、Hg、Pb、Se、Zn 亲硫元素外,还含有 Fe、Mn、Ni、Co 等亲铁元素和 Ba、Sr 等亲石元素。

表 3 辉锑矿、闪锌矿的电子探针分析结果

Table 3. Electron microprobe analyses of stibnite and sphalerite in stibnite ore veins from the Woxi deposit

样品	测点	S	Mn	Cu	Zn	As	Au	Sb	Ni	Fe	总量
辉锑矿	B2/6	25.50	0.23	≤0.03	≤0.03	≤0.03	n.a	73.29	≤0.03	0.21	99.22
	B2/10	25.05	0.18	≤0.03	≤0.03	≤0.03	n.a	73.96	≤0.03	0.09	99.37
	A1/1	25.17	0.22	≤0.03	≤0.03	≤0.03	n.a	74.61	≤0.03	≤0.03	100.00
	A1/2	26.96	≤0.03	≤0.03	≤0.03	≤0.03	n.a	72.75	≤0.03	≤0.03	99.72
	A1/3	27.07	≤0.03	≤0.03	≤0.03	≤0.03	n.a	72.54	≤0.03	≤0.03	99.61
	A1/4	26.78	≤0.03	≤0.03	≤0.03	≤0.03	n.a	72.92	≤0.03	≤0.03	99.70
	A1/5	27.11	≤0.03	≤0.03	≤0.03	≤0.03	n.a	72.58	≤0.03	≤0.03	99.61
	H1/c	25.65	0.20	0.10	≤0.03	≤0.03	n.a	73.90	0.19	≤0.03	100.00
	H1/d	25.55	0.20	0.10	≤0.03	0.03	n.a	73.50	0.19	≤0.03	99.50
	H3/a	25.49	0.26	0.08	≤0.03	0.05	n.a	73.95	0.14	≤0.03	100.00
	H3/b	25.49	0.26	0.08	≤0.03	0.05	n.a	73.95	0.14	≤0.03	100.00
	H-3	25.52	0.18	0.06	≤0.03	≤0.03	n.a	74.04	≤0.03	≤0.03	99.90
	307/G1	35.15	0.04	-	64.81	-	0.12	0.08	n.a	0.12	100.24
闪锌矿	307/G2	35.14	0.03	-	64.72	-	0.12	0.17	n.a	0.12	100.24
	307/G3	35.13	0.03	-	64.57	-	0.12	0.29	n.a	0.12	100.24

注: - 表示作了分析但未测到, n.a 表示未测; 另外对闪锌矿中的 Ag, Hg, Pb, Se 也作了分析但未检测到。

锑华呈不规则粒状, 粒径可达 150  $\mu\text{m}$ , 主要与自然锑、辉锑矿、及未知矿物(见后文)相共生(图 1c)。电子探针分析结果显示锑华含与自然锑具相同的杂质元素组成(表 2), 即含 As、W 等杂质成分。

## 2.3 白钨矿与黑钨矿

镜下可见大多数白钨矿发育碎裂纹, 且白钨矿

因碎裂而多呈细碎粒状产出。碎裂的白钨矿普遍被辉锑矿充填, 局部充填有自然金(图 1b)。未见白钨矿与黄铁矿之间的交生关系。电子探针分析结果(表 4)显示, 白钨矿的化学组成与其理想的晶体化学式( $\text{CaWO}_4$ )相比, 略亏 Ca 和 W。且白钨矿含 As(0.03% ~ 0.13%)、Mo(0.08% ~ 0.13%)、Sb(0.03% ~ 0.44%)等亲硫元素。本次分析结果显示白钨矿不含 Au、Fe、Zn 等显微化学组分。

表 4 白钨矿、黑钨矿的电子探针分析结果

Table 4. Electron microprobe analyses of scheelite and wolframite in stibnite vein ores from the Woxi deposit

测点	As	Ca	Au	Mn	Fe	W	O	Mo	Sb	Zn	总和	计算分子式
D-12	0.13	13.39	-	-	-	61.12	23.35	0.08	0.34	-	97.99	$\text{Ca}_{0.92}\text{W}_{0.85}\text{O}_4$
D-11	0.13	13.22	-	-	-	61.99	22.77	0.08	0.44	-	98.55	$\text{Ca}_{0.93}\text{W}_{0.95}\text{O}_4$
H-4	0.03	13.86	-	-	-	63.68	22.28	0.13	<0.03	-	99.82	$\text{Ca}_{0.99}\text{W}_{1.05}\text{O}_4$
308B2-1	n.a.	n.a.	-	7.04	11.99	58.50	22.47	≤0.03	n.a.	-	100.00	(Fe, Mn) <sub>0.98</sub> W <sub>0.95</sub> O <sub>4</sub>
308B2-5	n.a.	n.a.	-	6.30	12.39	58.81	22.51	≤0.03	n.a.	-	100.00	(Fe, Mn) <sub>0.96</sub> W <sub>0.91</sub> O <sub>4</sub>
308B-2-1	n.a.	n.a.	-	7.04	11.99	58.50	22.47	≤0.03	n.a.	-	100.00	(Fe, Mn) <sub>0.94</sub> W <sub>0.91</sub> O <sub>4</sub>
308A5-1	n.a.	n.a.	-	6.03	10.91	60.47	22.35	0.24	n.a.	-	100.00	(Fe, Mn) <sub>0.89</sub> W <sub>0.94</sub> O <sub>4</sub>
308A5-2	n.a.	n.a.	-	6.38	10.25	60.24	22.31	0.37	n.a.	-	100.00	(Fe, Mn) <sub>0.86</sub> W <sub>0.94</sub> O <sub>4</sub>
308A5-3	n.a.	n.a.	-	5.98	10.97	60.40	22.37	0.28	n.a.	-	100.00	(Fe, Mn) <sub>0.89</sub> W <sub>0.94</sub> O <sub>4</sub>
308A5-4	n.a.	n.a.	-	6.20	10.82	60.29	22.36	0.32	n.a.	-	100.00	(Fe, Mn) <sub>0.88</sub> W <sub>0.94</sub> O <sub>4</sub>
308A5-5	n.a.	n.a.	-	6.75	10.16	60.46	22.29	0.34	n.a.	-	100.00	(Fe, Mn) <sub>0.88</sub> W <sub>0.94</sub> O <sub>4</sub>

注: - 表示作了分析但未测到, n.a 表示未测。

黑钨矿主要以不同粒径的板柱状自形晶产出,亦普遍发育微裂隙,且微裂隙多为后期辉锑矿充填胶结。镜下未见有自然金与黑钨矿的交生关系。电子探针分析结果(表4)显示黑钨矿晶体化学组成与其理论晶体化学成分( $(\text{Fe}, \text{Mn})\text{WO}_4$ )近一致。黑钨矿  $\omega(\text{Mn}) = 5.98\% \sim 7.04\%$ ,  $\omega(\text{Mo}) = 0.24\% \sim 0.37\%$ 。黑钨矿中也不含 Au、Zn 等显微化学组分。

以往分析<sup>[4,15]</sup>未能测到白钨矿、黑钨矿中的微量元素 Mo,便通过对比将它们归为沉积成因的白钨矿和黑钨矿。本次分析结果表明,该矿床白钨矿和黑钨矿中的 Mo 含量较高,其含量值可与川口、司徒铺、柿竹园等典型岩浆热液型钨矿床中的白钨矿之 Mo 含量值(依文献[17]求得平均值依次为:  $5.33 \times 10^{-4}$ 、 $2.53 \times 10^{-3}$ 、 $1.13$ )相对比。因此,单从微量元素 Mo 的含量特征来看,沃溪矿床的白钨矿和黑钨矿具有岩浆热液矿床中白钨矿的标型特征。

## 2.4 黄铁矿与闪锌矿

黄铁矿也为本矿床最重要的载金矿物之一,

在辉锑矿矿脉中也广泛发育,主要有立方体、五角十二面体和聚形黄铁矿等晶形。镜下可至少可辨认出四期黄铁矿,图 1d 即显示有两期黄铁矿。反光显微镜下可见黄铁矿普遍发育:压溶、碎裂、刻蚀、粒间滑移等显微变形构造(图 1e)。笔者认为聚形黄铁矿应是早期黄铁矿受到压溶、碎裂、刻蚀、粒间滑移等显微变形作用的影响,发生碎裂流动而形成的粘连黄铁矿。上述黄铁矿的显微变形构造都是低级变形变质条件下黄铁矿的特征显微变形构造。晚期黄铁矿一般晶面光滑,以立方体晶形居多。自然金多沿早期黄铁矿的压溶裂隙、碎裂纹及粒间裂隙产出,或被吸附在其晶面上。已有研究<sup>[20]</sup>表明:该矿床不同晶形的黄铁矿含 Ag、As、Au、Cd、Cu、Pb、Sb、Se、Te、Tl、Zn 等亲硫元素,和 Co、Cr、Ni、V 等亲铁元素及 Ca、Ba、Bi、Mg、Sn 等亲石元素<sup>[20]</sup>。同时,自立方体到五角十二面体再到聚形黄铁矿,As、Au、Bi、Cd、Cu、Zn 等亲硫元素,Co、Ni、V 等亲铁元素及 Ba、Sn 等亲石元素含量趋于升高,而 Ag、Pb、Sb 的含量则趋于降低(表 5)。

表 5 不同晶形黄铁矿微量元素含量变化规律

Table 5. Trace elements content of pyrites of different crystal forms in stibnite vein ore from the Woxi deposit

$10^{-6}$

晶形	As	Au	Ba	Bi	Cd	Cu	Zn	Co	Ni	V	Sn	Ag	Sb	Pb
1	0.14	22.49	18.08	7.60	2.48	89.84	80.61	33.46	148.36	6.91	11.67	50.49	412.55	497.6
2	0.41	25.23	28.70	3.83	9.59	116.74	89.49	112.69	183.21	8.84	12.81	34.29	630.92	93.67
3	1.42	151.37	149.24	6.49	57.32	549.95	135.79	165.15	219.82	9.80	14.50	37.33	77.99	224.41

注:原始数据依文献[15];1.立方体黄铁矿,2.五角十二面体黄铁矿,3.聚形黄铁矿。

闪锌矿为辉锑矿脉中的次量矿物。镜下可见闪锌矿与辉锑矿、自然金的互生关系:辉锑矿中含闪锌矿,闪锌矿中包裹有自然金。电子探针分析结果(表3)显示,闪锌矿含 Au、Fe、Mn、Sb 等显微杂质成分,但不含 Ag、As、Cu、Hg、Pb、Se 等亲硫元素。本次工作在辉锑矿脉之矿石样品中未见到方铅矿,但根据资料<sup>①</sup>,矿区内铅锌矿化发育,在深部形成单独的工业矿体,其中方铅矿平均含 Ag 达 0.09%。

## 2.5 可能的 Sb-W-O 矿物相

在对 24 坪(-310 m 标高) V7 沿脉、98-12 号样品进行观察和电子探针分析时,发现一可疑矿物。该矿物镜下呈灰黑色,与锑华、自然锑、辉锑矿、白

钨矿等共生(图 1c)。其光学性质十分类似于白钨矿,但其电子探针分析结果显示其具完全不同于白钨矿的晶体化学组成(表 2)。计算其化学分子式为:  $\text{Sb}_{2.000}\text{W}_{0.9810}\text{O}_{6.8124}$ ,其 EDS 能量光谱图如图 2 所示。但本次工作只得到其一个测点的电子探针分析数据,这里初步将其定为 Sb-W-O 矿物相。仅在此列出,以引起注意。

## 3 矿床成因指示

### 3.1 复杂的矿物组成

综上并结合前人研究成果<sup>[2,4,14,15]</sup>,可以看出:该矿床矿石矿物组成包括了石英、白钨矿、辉锑矿、自然金、黄铁矿-II、黄铁矿-III 和黑钨矿等

① 谭碧富.湘西金矿沃溪矿区深部铅锌矿化分布调查报告.湘西金矿地测处,1994.

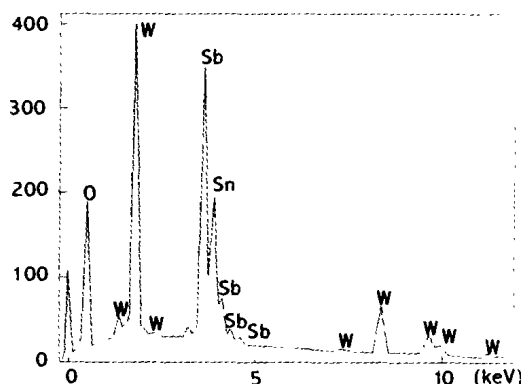


图 2 Sb-W-O 矿物相的能量色散谱线  
Fig.2. EDS spectra of the W-Sb-O phase from the massive stibnite ore

主要矿物,闪锌矿、方铅矿、自然锑、毒砂、辰砂、黄铜矿、斑铜矿、黝铜矿、金红石等次要矿物,以及方钨矿、车轮矿、红钨矿、黄铁矿-I、黄铁矿-IV、硫铜钨矿、磁黄铁矿、白铁矿、针铁矿、赤铁矿、锑华、钨华等次要或微量矿物,及可能存在的 W-Sb-O 矿物相。可见其矿物组成十分复杂。另外,矿石中除发育有四期黄铁矿外,辉钨矿和白钨矿也有两期<sup>[2,4]</sup>。似乎显示多期或多阶段成矿的特征。这两点又似乎在直觉上预示:矿床的形成成为单一-沉积-变质再造成矿和/或单一-热卤水喷流沉积成矿的可能性不大。

综合前人研究成果<sup>[2,4,8,14,15]</sup>,并参考世界其它地区同类矿床的研究结果<sup>[21-23]</sup>,本文用图 3 来表征矿床的矿化期次和主要矿石矿物的生成顺序。

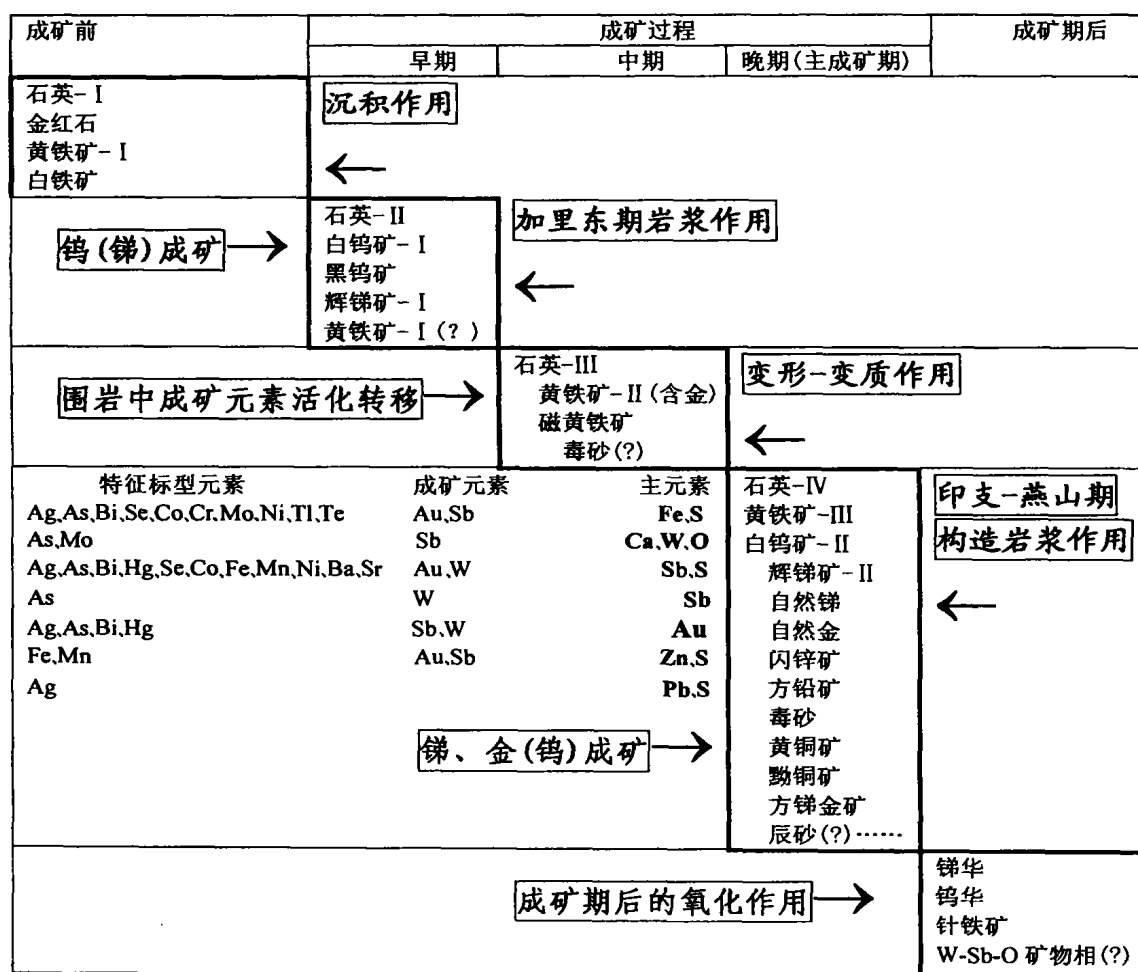
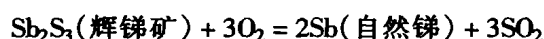


图 3 矿化期次及成矿机理模式图示

Fig.3. Sketch showing mineralizing stages, mineral paragenesis and model of ore formation.

### 3.2 特殊的矿物组合

在辉锑矿脉中,于同一样品(98-12)中发现有自然金和自然锑,暗示二者之间可能有联系。仔细观察表明:自然金主要形成于辉锑矿之后,而自然锑则与辉锑矿、白钨矿及可能的 W-Sb-O 矿物相等伴生(图 1c)。Dill<sup>[24]</sup>在研究同类矿床时推断辉锑矿中自然锑的形成与成矿流体的氧逸度升高有关,即辉锑矿被氧化生成自然锑,其反应式为:



辉锑矿中的自然金具有极高的纯度。这样极高纯度的自然金生成,无疑是成矿流体中的 Au 与 Ag 等其它杂质元素之间发生强烈分异的结果,即 Au 沉淀析出时,Ag 等杂质元素继续在成矿流体中以离子形式存在并迁移。而导致成矿流体中 Au 与 Ag 等其它杂质元素发生强烈分异的一个重要且必要的条件是:成矿流体应为具较强氧化性的流体。因此,矿石中自然金和自然锑的共生关系,在一定程度上似可表征:成矿过程中的成矿流体为具较强氧化性的流体,或者在成矿流体演化历程中有一个氧逸度明显升高的过程。

另外,辉锑矿脉中与辉锑矿共生的金属矿物有包括:黄铁矿、白钨矿、自然锑、自然金、闪锌矿、方铅矿、黄铜矿、黝铜矿、毒砂、磁黄铁矿、辰砂等。这种金属矿物组合特征与北美玻利维亚和中欧阿尔卑斯等典型地区众多锑金矿床的矿物组合特征相似<sup>[24]</sup>。

### 3.3 矿物显微化学组分的标型意义

矿物显微化学组成具有重要的标型意义。北美安第斯山脉玻利维亚地区锑金矿床锑矿石的微量组分研究<sup>[24]</sup>表明,矿石中 As、Ag、Bi 等微量组分的含量随矿床/体远离火成岩(安山质、英安质凝灰岩等)而降低。而中欧阿尔卑斯山脉一些产于花岗岩中的钨锑金矿床,如 Durbrava、Magurka、Male Zelezne 等,其矿石中 As、Ag、Bi 等组分的含量则明显高于玻利维亚地区远离火成岩体而产于碎屑沉积岩中的锑金矿床的相应值<sup>[24]</sup>。似乎预示矿石中 As、Ag、Bi 等微量组分的高含量与岩浆作用之间的内在联系。另外,赋存于火山岩中的锑金矿床,其锑矿石中明显富集 Hg、Se、Te、Tl 等微量化学组分<sup>[24]</sup>。

综上所述,沃溪矿床矿石矿物显微化学组分具有如下一些重要特征:① 大多数矿物中富含 As,其中自然锑的含 As 特征可与香花岭锡矿床自然锑的 As 含量相对比;② 白钨矿、黑钨矿中富含 Mo,且白钨矿的 Mo 含量具有岩浆热液矿床中白钨矿的标型特征;③ 黄铁矿、自然金、辉锑矿等主要矿石矿物中富含 As、Ag、Bi、Hg、Se、Te、Tl 等指示岩浆作用/火山作用的特征显微化学组分;④ 与同类矿床锑矿石的标型元素含量特征相比(表 6),该矿床辉锑矿脉中的黄铁矿、自然金、辉锑矿等矿物中都不同程度地富集 As、Ag、Bi、Hg、Se、Te、Tl 等特征标型元素。所有这些标型特征表明,矿床成矿应与岩浆作用有较密切的成因联系。

表 6 不同产状的(钨)锑金矿床锑矿物中标型元素含量

Table 6. Typomorphic element contents of tungsten minerals in (W) Au deposits differing in occurrence

10<sup>-6</sup>

矿床	产状	Ag	As	Bi	Hg	Se	Te	Tl	数据来源
Cosuno	锑金矿床/体	28.94	7 032	6 755	56.1	156	29.96	0.95	文献[24]
Miluri	产于火山岩	192 500	200	1	2	0.1	1		
Luruma		5.21	413	0.05	0.1	3.9	0.01	1.35	
Durbrava	锑金矿床/体	3.6	10	0.11	1	2	0.01	0.2	
Magurka	赋存于花岗岩中	402.5	10	0.01	28.5	5	0.01	0.45	
Male Zelezne		122	10	0.05	37	1	0.01	2	
沃溪矿床	黄铁矿	40.70	6 567.7	5.97		5.28	6.19	≤5.0	依文献[20]求平均值
	自然金	1 413	527	2 007	1 253				依本文表 1 求平均值
	辉锑矿	400	308		6	1 230	1.0		依本文及文献[4,19]

## 4 成矿模式

上述电子探针分析结果显示:白钨矿中含 Sb,但不含 Au;辉锑矿中含 Au,自然锑中含 W;自

然金中含 Sb、W(图 3)。据此似可推断:早期或早阶段的成矿流体可能不含 Au,而可能为含 Sb、W 等组分的流体。晚期或晚阶段的成矿流体则应为富含 Au、Sb、W 等组分的流体。如图 3 所示,其它

微量元素如 Ag、Cu、Pb、Zn 等可能也主要在晚期或晚阶段成矿流体中富集。

已有同位素成矿年龄的测定结果<sup>[3,4,13,25-28]</sup>显示主成矿期有两期:加里东期和印支-燕山期。而这两个成矿期又正好与区域(该矿所在的雪峰构造带南缘)广泛发育的两期大规模岩浆侵入事件<sup>[29,30]</sup>相对应。因此,虽然矿区范围内目前未发现有岩浆岩存在,但不能因此就可否定区域构造-岩浆作用对本矿床成矿的贡献。结合本次矿石矿物的研究结果,我们认为钨锡金成矿可能与区域构造-岩浆作用事件密切相关。进而建立如图3所示的成矿机理模式,特别强调钨锡金成矿与构造-岩浆作用,特别是印支-燕山期大规模的区域构造-岩浆作用之间的成因联系。

## 5 讨论与结论

Hedenquist 等<sup>[31]</sup>指出,对大多数热液矿床而言,由于后来大气降水的影响,有可能淡化、掩盖或抹灭岩浆作用的信息。沃溪矿床内渗透性断裂裂隙构造十分发育,如沃溪大断裂呈东西向横贯

整个矿区,并深延至地壳深处<sup>[2-4,14]</sup>,从而为地表大气降水下渗到地壳深处提供了通道。矿区范围内发育的白垩系巨厚层陆相红色碎屑建造<sup>[2-4,14]</sup>(混杂堆积),指示该区在中新生代印支-燕山期发生了大规模的构造塌陷,各种裂隙构造强烈扩容,导致大气降水有可能大规模渗入地壳深部,对深部流体进行强烈改造。从而完全有可能掩盖、抹灭或弱化成矿过程中的岩浆作用信息。加上矿区范围内至今未发现岩浆岩体/脉,使岩浆作用对成矿的贡献长期以来得不到应有的重视。从而一定程度上限制了对矿床成因问题的思考。本次研究表明,该矿床成矿应与深部或区域构造-岩浆作用有成因联系。另外,重新强调岩浆作用对成矿的重要贡献,不但在理论上有助于矿床成因问题研究的深化,而且在实践上对进一步的深部和边部找矿工作等都具有一定的指导意义。

致谢:中国科学院长沙大地构造研究所黄瑞华研究员对本次工作给予了帮助和指导,湘西金矿地测处雷鸣波、谭碧富、陈中平、刘升友等高级工程师指导并帮助了野外考察工作,谨此致谢。

## 参考文献:

- [1] 徐克勤. 矿床成因论[M]. 北京:地质出版社, 1965. 1~30.
- [2] 张振儒, 李健炎, 黄绪灿. 湖南桃源沃溪金钨矿床金的赋存状态[J]. 中南矿冶学院学报, 1978, 1: 58~71.
- [3] 罗献林, 梁金城, 易诗军. 论湘西沃溪金钨矿床的成因[J]. 地质与勘探, 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[J]. 北京:地震出版社, 1996. 3~89.
- [5] 马东升, 刘英俊. 江南金成矿带层控金矿的地球化学特征和成因研究[J]. 中国科学(B), 1991, 4: 424~433.
- [6] 刘英俊, 马东升. 湖南益阳—沅陵一带金矿床的成矿作用地球化学[J]. 地球化学, 1994, 4: 1~12.
- [7] 马东升. 地壳大规模流体运移的成矿现象和地球化学示踪:以江南地区低温热液矿床地球化学研究为例[J]. 南京大学学报(地质流体专辑), 1997, 33: 1~10.
- [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, 2: 114~120.
- [9] 张理刚. 湘西雪峰隆起区锡钨矿床稳定同位素地质学[J]. 地质与勘探, 1985, 21(11): 24~28.
- [10] 顾雪祥, 刘建明, 郑明华, 等. 湖南沃溪钨-锡-金建造矿床海底喷流热卤水沉积成因的组构学和地球化学证据[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2000, 19(4): 235~240.
- [11] Yang S X and Blum N. A fossil hydrothermal system or a source-bed in the Madiyi formation near the Xiangxi Au-Sb-W deposit, NW Hunan, PR China [J]. *Chemical Geology*. 1999, 155(1-2): 151~169.
- [12] 杨思学, 张振儒, 张哲儒. 湘西金-钨-锡矿深部矿化初步预测[J]. 矿物学报, 1999, 19(4): 435~445.
- [13] 史明魁, 傅必勤, 勒西祥, 等. 湘中锡矿[M]. 长沙:湖南科技出版社, 1993. 55.
- [14] 李健炎. 沃溪金钨矿床的地质特征[J]. 地质与勘探, 1989, 25(12): 1~7.
- [15] 梁博益, 张振儒. 湖南沃溪金钨矿床成因矿物学研究[J]. 地质与勘探, 1988, 24(8): 7~15.
- [16] 罗献林. 湖南主要金矿床的矿物标型特征[J]. 桂林冶金地质学院学报, 1986, 6(1): 75~80.
- [17] 姜胜章, 罗仕徽, 任湘眉, 等. 湖南金属矿物[M]. 长沙:中南工业大学出版社, 1992. 281~498.
- [18] 陈殿芬, 孙淑京. 湘桂地区锡矿石的主要特征[J]. 中国地质科学院矿床地质研究所刊, 1989, (1): 119~128.
- [19] 刘英俊, 季峻峰. 低温含金辉钨矿的某些特征[J]. 矿物学报, 1994, 14(1): 68~73.
- [20] 邵靖邦, 王濮, 陈代章. 湘西沃溪金钨矿床黄铁矿矿物学研究[J]. 湖南地质, 1996, 15(3): 151~158.
- [21] Afanaseva Z B, Ivanova G F and Rimbault L. Scheelite as an indicator of formation-conditions of gold-sulphide mineralization: The Olimpiada Au-(Sb-W) contact metamorphic deposit, Russia[A]. Pasava J, Kribek B and Zak K. *Mineral Deposits: From Their Origin to Their Environmental*



- Impacts [C]. Rotterdam: A. A Balkema, 1995. 835 ~ 838.
- [22] Chovan M, Hurai V, Sachan H K and Kantir J. Origin of the fluids associated with granodiorite-hosted Sb-As-Au-W mineralization at Dubrava (Nizle Tary Mts, western Carpathians) [J]. *Mineralium Deposita*, 1995, 30 (3): 48 ~ 54.
- [23] Guillemette N and Williams-Jones A E. Genesis of the Sb-W-Au deposit at the Ixtahuacan, Guatemala: evidence from fluid inclusions and stable isotopes [J]. *Mineralium Deposita*, 1993, 28 (3): 167 ~ 180.
- [24] Dill H G. Evolution of Sb mineralization in modern fold belts: a comparison of the Sb mineralization in the central Andes (Bolivia) and the western Carpathians (Slovakia) [J]. *Mineralium Deposita*, 1998, 33 (4): 359 ~ 378.
- [25] 刘继顺. 湘中地区长英质脉岩与锑(金)成矿关系[J]. 有色金属矿产与勘查, 1996, 5(6): 321 ~ 326.
- [26] 刘继顺. 关于雪峰山一带金成矿区的成矿时代[J]. 黄金, 1993, 14 (7): 7 ~ 12.
- [27] 吴良士, 胡雄伟. 湖南锡矿山区云斜煌斑岩及其花岗岩包体的意义[J]. 地质地球化学, 2000, 28 (2): 51 ~ 55.
- [28] 朱春斌, 姚振凯. 符竹溪金矿床断裂构造蚀变带特征及其控矿意义[J]. 中南矿冶学院学报, 1994, 25 (增 1): 127 ~ 130.
- [29] 贾宝华, 等. 湖南花岗岩体侵位机制初步研究[J]. 湖南地质, 1998, 增 (10): 136 ~ 138.
- [30] 童潜明. 湖南主要有色金属贵金属矿床成矿系列与成矿模式[J]. 湖南地质, 1997, 增 (9): 1 ~ 96.
- [31] Hedenquist J W and Lowenstern J B. The role of magmas in the formation of hydrothermal ore deposits [J]. *Nature*, 1994, 370 (18): 519 ~ 527.

## ORE MINERALOGY OF STIBNITE ORE-VEINS AND ITS GENETIC IMPLICATIONS FOR THE W-Sb-Au ORE DEPOSIT AT WOXI, WESTERN HUNAN, CHINA

PENG Bo<sup>1</sup>, CHEN Guang-hao<sup>2</sup>, Adam Piestrzynski<sup>3</sup>

(1. Faculty of Natural Resource and Environment, Hunan Normal University, Changsha 410081, China;

2. Changsha Institute of Geotectonics, Chinese Academy of Sciences, Changsha 410013, China;

3. University of Mining and Metallurgy of Krakow, Poland)

**Abstract:** The stibnite-ore vein is one of the major types of economic ores exploited throughout the Woxi mining district in western Hunan, China. The current contribution reports the results of recent microscope observation and microprobe analysis for major ore minerals including native gold, native antimony, stibnite, scheelite, wolframite, etc. Also, the authors deal with the genesis of the ore deposit in terms of the trace chemical composition of major ore minerals from the deposit. The results show that W-Sb-Au mineralization at Woxi might have a close genetic relation to the regional tectono-magmatism developed during the geological processes. Based on the data from this study and previous isotopic dating of ore mineralization in the deposit and of regional magmatic rocks/dykes, a new model has been put forward for the genesis of the deposit.

**Key words:** stibnite-ore vein; ore mineral; trace chemical composition; the Woxi deposit in western Hunan; China