

湖南柿竹园钨多金属矿床 成矿机理的实验研究^①

梁祥济

(中国地质科学院地质研究所, 北京)

提 要:作者在深入柿竹园钨多金属矿床野外地质工作的基础上,采用矿区燕山期花岗岩和泥盆系灰岩作为试料,在含 $\text{pH}=4.0$ 的 $0.3 \text{ MNaCl}+0.7 \text{ MKF}$ 水溶液的高压釜中持续了 120 小时的交代作用。实验的结果表明了:在 $400\sim 700\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的温度和 $250\times 10^5\sim 900\times 10^5\text{ Pa}$ 的压力下,形成的交代岩及其钨、锡、钼、铋矿物基本上与矿区的矽卡岩及其矿石矿物共生组合相吻合,揭示了湖南柿竹园矽卡岩型钨多金属矿床成矿的机理。

主题词:实验研究 成矿机理 矽卡岩型钨多金属矿床 湖南柿竹园

湖南柿竹园钨多金属矿床是世界上罕见的巨型矿床。王昌烈、康永孚和王书凤等^[1~3]许多学者对矿床地质做了大量的研究工作,郭吉宝^[4]等人曾进行过有意义的模拟实验,他们对该矿床研究不断深入作贡献。然而,对该矿床的成矿机理的认识仍未清楚,分析讨论往往证据不足,成矿物质来源仍停留在来自花岗岩浆的传统观念上。因此,在“八五”期间针对这两个问题系统地进行了实验研究。有关成矿物质主要来自矿区围岩——前寒武系变质岩的最新研究成果已著入《水-岩相互作用和成矿物质来源》^[5]一书中,这里仅将交代成岩和成矿作用的实验结果总结成文,以供交流。

1 实验地质依据

湖南柿竹园钨多金属矿床位于华南褶皱系、湘东南加里东褶皱带与湘中—湘南印支褶皱带的衔接处。与成矿有关的区域地质为泥盆系和震旦系、寒武系。矿田内近 SN 和 NE 向的两组断裂很可能是钨多金属成矿热液的通道。燕山期复式岩体的千里山花岗岩是矽卡岩和钨、钼、锡、铋矿床形成密切相关的侵入岩。现将该矿床产出构造位置、矿床地质特征和成矿元素分布规律总结如下,作为实验地质依据。

(1)矿床位于千里山花岗岩和上泥盆统余田桥组灰岩接触带。矿体直接围岩为钙矽卡岩。矽卡岩主要由钙铝-钙铁榴石、透辉石、钙铁辉石、符山石和硅灰石等标型交代矽卡岩矿物所组成,其中含有少量的闪石类、帘石类和绿泥石类以及黑柱石、萤石等矿物。钨、锡、钼、铋矿化与

^① 梁祥济,男,1937 年生,研究员,长期从事实验岩石学、矿物学和地球化学研究。邮政编码:100037

1995-9-25 收稿,1995-12-22 修改回,徐川编辑

石榴石矽卡岩、辉石矽卡岩关系密切(图 1)。

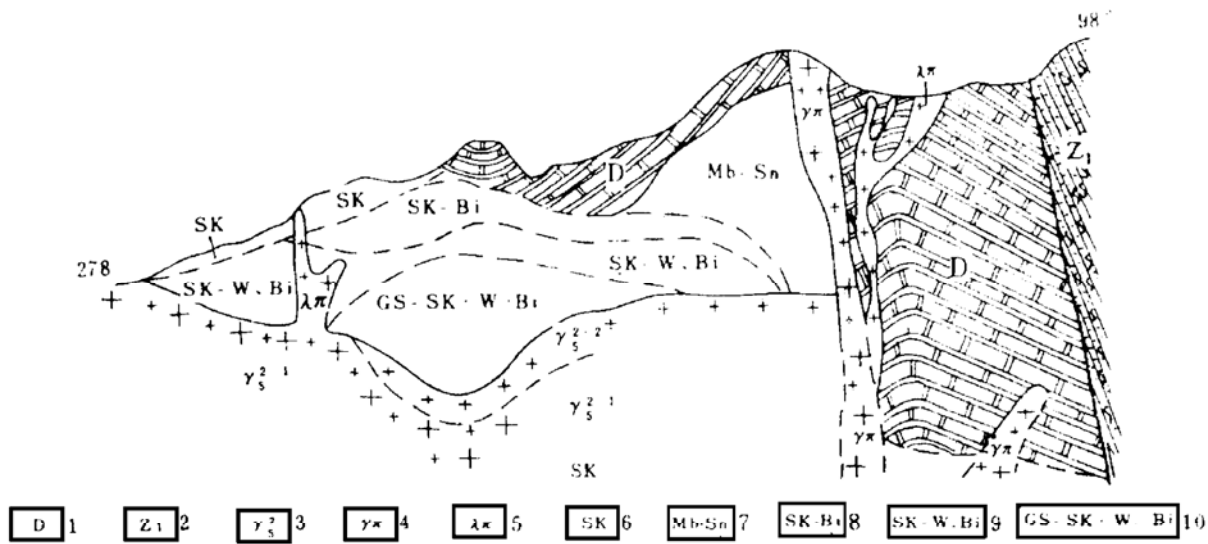


图 1 柿竹园矿床地质和矿化垂向分带剖面图
(据湖南地矿局湘南地质队,1986)

1—泥盆系碳酸盐岩;2—下震旦系变质碎屑岩;3—燕山期花岗岩;4—花岗斑岩;5—石英斑岩;6—矽卡岩;7—大理岩化锡矿带;8—矽卡岩铋矿带;9—矽卡岩钨、铋矿带;10—网脉状云英岩化矽卡岩钨、铋矿带

1. Sectional drawing for geology of the Shizhuyuan deposit and vertical zoning of mineralization. 1—Devonian carbonate rock; 2—Lower Sinian metamorphic clastic rock; 3—Yanshanian granite; 4—Granite porphyry; 5—Quartz porphyry; 6—Skarn; 7—Marbleized tin ore zone; 8—Skarn bismuth ore zone; 9—Skarn tungsten and bismuth ore zone; 10—Stockwork greisenized skarn tungsten and bismuth ore zone.

(2)钨多金属矿体连续呈舌状或似层状。矿体规模大小与矽卡岩一致。矿化程度与交代作用形成的矽卡岩和云英岩发育程度密切相关。从大理岩到花岗岩方向为:(Ⅰ)网脉状大理岩锡矿化带;(Ⅱ)矽卡岩钨、铋矿化带;(Ⅲ)云英岩网脉-矽卡岩钨、锡、钼、铋矿化带和(Ⅳ)云英岩钨、锡、钼、铋矿化带。其中(Ⅲ)带范围最大,分布最广,品位最高。组成矿石矿物主要是白钨矿、黑钨矿、锡石、黄锡矿、辉钼矿、辉铋矿和自然铋等(图 1)。

(3)与成矿有关的前寒武纪、泥盆纪地层和壳源重熔型的千里山花岗岩中 W、Sn、Mo、Bi 含量普遍高出地壳克拉克值和同类岩石平均值几倍到几千倍(表 1)。泥盆系碳酸盐岩中成矿元素含量与同类岩石相比,W、Sn 含量高出 5 倍以上,Pb、Zn 含量高出 10~16 倍。而且 W、Sn、Mo、Bi 成矿元素在离花岗岩体中等距离的前寒武纪地层内的含量最低,形成亏损带^[6]。

(4)根据宋学信^[7]等人对柿竹园-野鸡尾矿床流体包裹体成分分析,温度、压力和盐度的测定表明:矽卡岩-云英岩化的温度

表 1 前寒武系变质岩和花岗岩中 W、Sn、Mo、Bi 平均含量与其地壳平均值的对比

Table 1. Comparison between average W, Sn, Mo, Bi contents of Precambrian metamorphic rock and granite and their average values in the earth crust

元素含量 (10 ⁻⁶) 岩石名称	W	Sn	Mo	Bi
碎屑岩、浅变质岩	28.00	3.30	14.00	46.60
地壳平均值	1.30	2.50	1.10	0.009
花岗岩	17.30	209.30	19.15	50.80
地壳平均值	1.50	3.00	1.00	0.01

注:据王昌烈 1987 年数据整理

730~400℃,流体压力为 400×10⁵~500×10⁵Pa,含盐度为 18.5 wt%NaCl;矿化阶段的温度

为 $400\sim 150^{\circ}\text{C}$, 流体压力 $150\times 10^5\sim 250\times 10^5\text{Pa}$, 含盐度为 $2.9\text{wt}\%\sim 23.3\text{wt}\%\text{NaCl}$ 。流体成分为 Ca^{2+} 、 Na^{+} 、 K^{+} 、 Mg^{2+} 、 Cl^{-} 、 F^{-} 、 HCO_3^{-} 和 SO_4^{2-} , 其中 Ca^{2+} 、 Na^{+} 、 Cl^{-} 、 F^{-} 占主导地位。

2 实验技术方法

交代作用成岩成矿的实验是把样品焊封在金、银试管内, 放在快速淬火高温高压装置的卧式高压釜中进行。温度由精密自动控温仪控制, 一级标准热电偶测温(误差 $\pm 2^{\circ}\text{C}$), 压力直接在压力表上显示。

实验样品采自柿竹园矿区新鲜的千里山黑云母钾长花岗岩, 它主要由石英($35\%\sim 40\%$)、钾长石($25\%\sim 30\%$)、斜长石($15\%\sim 20\%$)和黑云母($3\%\sim 5\%$)组成。碳酸盐岩样品采自泥盆系上统余田桥组的结晶灰岩, 其中含 95% 以上的方解石和 $3\%\sim 4\%$ 的石英。它们的主要化学成分和成矿元素含量见表 2。

表 2 实验样品的化学成分和成矿元素的含量

Table 2. Chemical compositions and ore-forming element contents of experimental samples

样号	岩石名称	化 学 成 分 (%)												
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	CO ₂	H ₂ O ⁺
γ_5^{2-2a}	花岗岩	74.17	12.56	0.22	0.75	1.10	0.06	0.97	0.31	5.02	2.57	0.06	0.25	1.38
D _{3s}	结晶灰岩	11.27	2.26	0.10	0.43	0.36	0.03	46.43	1.05	0.50	0.02	0.03	36.93	0.60
样号	岩石名称	化学成分(%)				成矿元素含量(μg/g)								
		F	Cl	S	总量	W	Sn	Mo	Bi	Cu	Pb	Zn	B	
γ_5^{2-2a}	花岗岩	0.24	0.012	0.11	99.78	8.8	≤0.50	1.00	2.50	9.00	190.00	37.00	13.00	
D _{3s}	结晶灰岩				100.01	≤0.5	3.80	0.72	0.20	14.00	10.00	22.00		

注: 国家地质实验测试中心刘以建、苗新立和陈静分析, 1992

为了有利于金属矿物的形成, 试料中加入微量的含 W、Sn、Mo、Bi 的试剂^[8~13]。根据实验样品中挥发分和流体包裹体中 Cl^{-} 、 F^{-} 、 Na^{+} 、 K^{+} 等含量的特征, 结合矿区围岩蚀变等因素, 用二次蒸馏水和光谱纯化学试剂配制了 $\text{pH}=4.0$ 的 $0.3\text{MNaCl}+0.7\text{MKF}$ 水溶液(为主)作为实验的反应溶液。

实验温度考虑为 $250\sim 700^{\circ}\text{C}$, 压力为 $250\times 10^5\sim 900\times 10^5\text{Pa}$, 实验持续时间为 120 小时, 实验的氧化还原环境由缓冲剂矿物对来控制。实验的固相产物通过显微镜下油浸法鉴定和 X 光衍射分析相结合, 定出新形成矿物的正确名称。

实验结果的 $p-t$ 图的绘制是以矿物共生组合为基础的, 而划分共生组合的原则是根据特征的主要矿物相进行。特征矿物相则又是在一定的温度、压力范围内都出现的矿物。

3 实验结果及其在地质上的意义

以 100 mg 千里山花岗岩和 100 mg 余田桥组灰岩, 加入 15 mg Fe_2O_3 以及各自为 2.5 mg 的 $\text{Na}_2\text{OWO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{Na}_2\text{OMoO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{SnCl}_4\cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 和 $\text{Bi}(\text{OH})\text{SO}_4\cdot \text{H}_2\text{O}$ 作为试料, 以 $0.3\text{MNaCl}+0.7\text{MKF}$ 水溶液为反应溶液, 在 $300\sim 700^{\circ}\text{C}$ 的温度和 $250\times 10^5\sim 900\times 10^5\text{Pa}$ 的压力下, 持续了 120 小时的交代作用实验, 其结果列在表 2 上。现将实验出现的标型交代矿

物特征、矿物共生组合习性和金属矿物形成机理加以分析。

3.1 交代矿物的特征

标型交代矿物只在 $400\sim 700^{\circ}\text{C}$ 温度和 $250\times 10^5\sim 900\times 10^5\text{Pa}$ 压力下的实验产物中出现(见表 2)。其中造岩矿物主要为钙铁-钙铝榴石、透辉石、钙铁辉石、硅灰石、符山石、方柱

表 3 柿竹园燕山期花岗岩与泥盆系灰岩相互交代作用实验的结果

Table 3. Results of experiments on metasomatism between Yanshanian granite and Devonian limestone in the Shizhuyuan ore district

实验号 (No.)	实验温度 ($^{\circ}\text{C}$)	实验压力 (10^5Pa)	实验后 pH	新形成固相产物 ^①
2013, 17,27	300~ 375	900	9.0~ 7.5	试料基本不变,未形成新矿物
2018	380	700	6.5	试料基本不变,未形成新矿物
2009	400	300	7.0	试料基本不变,未形成新矿物
2001	400	500	6.0	试料基本不变,未形成新矿物
2005	400	700	6.7	试料基本不变,偶见有 Tre
2014	400	900	7.2	He、Gro-And、Wo、Sch、Wlm
2029	420	700	7.0	Wo、Gro-And、Tre
2025	425	500	6.5	试料基本不变,未形成新矿物
2024	430	600	7.5	Wo、Gro-And
2020	450	300	7.0	试料基本不变,未形成新矿物
2019	450	500	7.0	Wo、Gro-And、Mt
2030	450	700	6.8	Wo、Gro-And、Tre
2031	470	700	7.0	Gro-And、Wo、He、Sch、Wlm
2026	475	300	7.5	Wo、Gro-And
2021	500	250	6.0	Wo、Gro-And
2010	500	300	7.0	Gro-And、Wo、Tre、Sch、Bi
2002	500	500	8.0	Gro-And、Wo、Tre
2006	500	700	7.0	Gro-And、Wo、Di、Tre、Flu、Sch
2015	500	900	7.5	He、Gro-And、Wo、Tre、Sch、Wlm
2032	530	500	8.5	Gro-And、Wo、He、Sch、Mol
2033	550	700	7.0	Gro-And、Wo、Sca、Di、Ve、Sch、Wlm、Mol、Bi、Sta
2034	550	900	6.5	Gro-And、Wo、Sca、He、Ve、Di、Flu、Sch、Wlm、Mol、Bi、Cas
2022	600	250	6.0	Gro-And、Wo
2011	600	300	7.5	Gro-And、Wo、Tre、Di、Sch
2003	600	500	8.5	Gro-And、Wo、Tre、Di、Mt、Sch
2036	600	600	7.2	Gro-And、Wo、Sca、He、Ve、Sch、Wlm、Sta、Mol、Bi
2007	600	700	6.5	Gro-And、Wo、Sca、Di、Ve、Sch、Wlm、Bi
2016	600	900	7.5	Gro-And、Wo、Sca、Ve、Di、Tou、Sch、Wlm、Mol、Cas、Bi
2028	650	300	7.0	Gro-And、Wo、He、Sch、Wlm
2035	650	500	8.2	Gro-And、Wo、Sca、He、Ve、Sch、Wlm、Mol、Bi、Cas
2023	700	250	7.0	Gro-And、He、Wo、Sch、Wlm
2012	700	300	6.7	Gro-And、Wo、Di、He、Sch、Wlm
2004	700	500	8.7	Gro-And、Wo、Sca、Di、Ve、Sch、Wlm、Bi
2005	700	700	6.5	Gro-And、Wo、Sch、Di-He、Ve、Sch、Wlm、Bi

① 表中该栏内,矿物相对含量,前者为多,依次递减,最后者最少;矿物名称缩写(后文同此): And—钙铁榴石; Bi—自然铋; Cas—锡石; Di—透辉石; Flu—萤石; Gro—钙铝榴石; He—钙铁辉石; Mol—辉钼矿; Or—正长石; Qz—石英; Sca—方柱石; Sch—白钨矿; Sta—黄锡矿; Tre—透闪石; Tou—电气石; Ve—符山石; Wlm—黑钨矿; Wo—硅灰石; Mt—磁铁矿

石、透闪石和石英。含挥发分矿物有电气石、萤石、绿帘石和黄玉(?)。造矿的金属矿物为白钨矿、黑钨矿、辉钼矿、锡石、黄锡矿和自然铋等。它们与柿竹园矿床出现的主要矿物基本上相一致。由于文章篇幅所限,显微镜下矿物光学特征及其照片从略,仅附一幅 X 光衍射图(图 2)作为旁证。

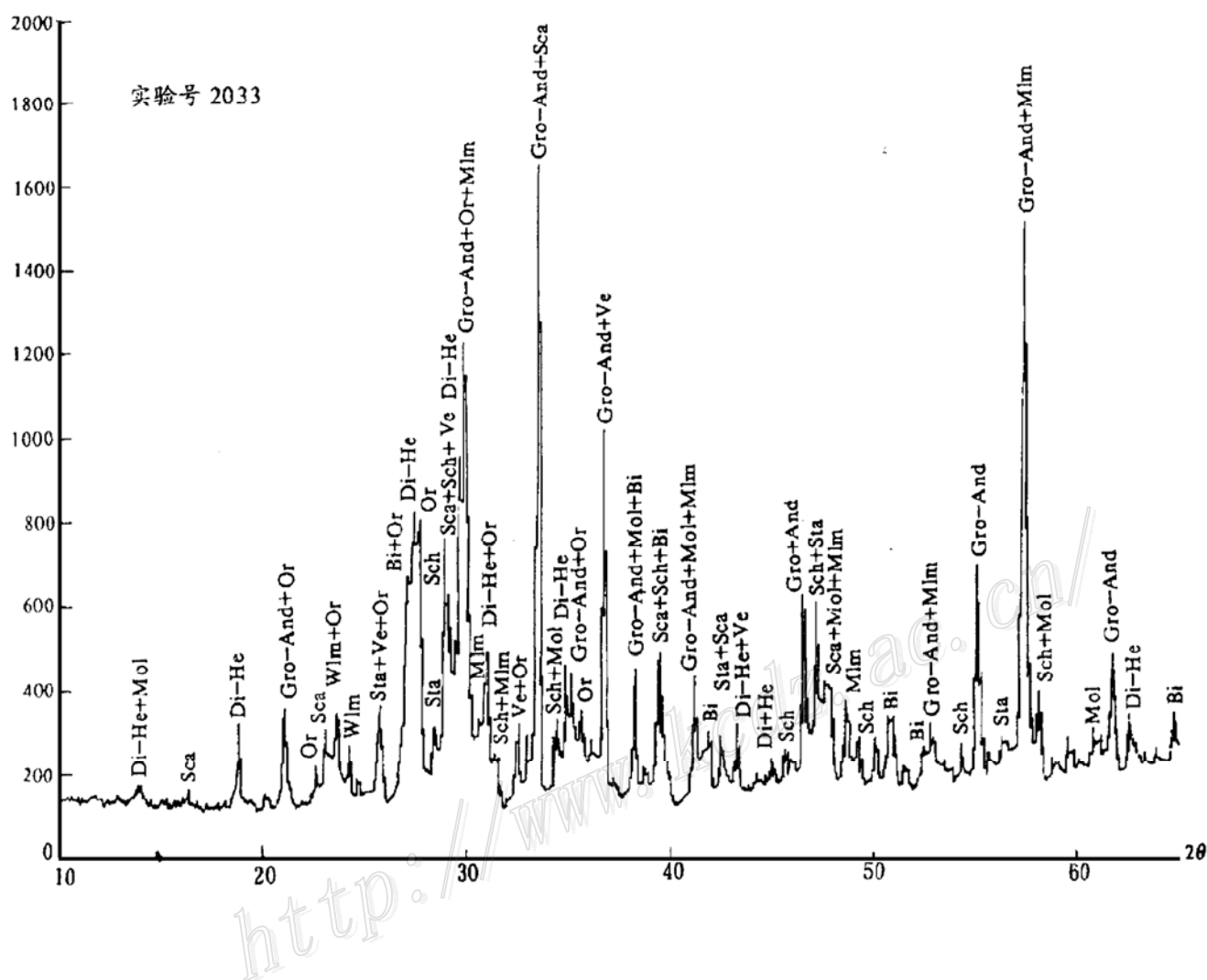


图 2 燕山期花岗岩与泥盆系灰岩相互交代作用实验结果所形成矿物的 X 光衍射图(No. 2033)

测试条件: CuK α 50 kV 40 mA

X 光衍射图上出现的正长石(Or)系试料残留矿物

Fig. 2. X-ray diffractogram of minerals formed by experiments on metasomatism between Yanshanian granite and Devonian limestone.

Experimental conditions: CuK α 50 kV 40 mA

Note: Orthoclase (Or) that appears on the X-ray diffractogram is relic mineral of starting material.

3.2 交代矿物的共生组合

根据实验所形成的标型特征矿物随温度和压力变化的特点,划分出三个矿物组合,作图 3。图 3 表明了柿竹园矽卡岩型钨多金属矿床形成的物理化学条件。该图上三个共生组合的矿物分别是:

I. Wo+Gro-And^①+Tre+Sch+Bi+Mt

① 底下加横线的矿物表示该组矿物的特征矿物,后文同此

Ⅱ. $\text{He-Di} + \text{Gro-And} + \text{Wo} + \text{Sch} + \text{Wlm} + \text{Flu} + \text{Mol} + \text{Tre} + \text{Mt}$

Ⅲ. $\text{Ve} + \text{Sca} + \text{Gro-And} + \text{He-Di} + \text{Sch} + \text{Wlm} + \text{Bi} + \text{Wo} + \text{Tou} + \text{Flu} + \text{Mol} + \text{Cas} + \text{Sta}$

在 I 组的实验产物中,反应进行不彻底,试料残留多,新形成的特征矿物量少,晶体发育不好,而且组合简单,偶而在显微镜下见到白钨矿和在 X 光衍射图上出现白钨矿和自然铋。该带相当于矿区的矽卡岩钨、铋矿化带。

在 II 组的实验产物中,反应进行比较彻底,试料内还残留有少量的钾长石和方解石。新形成的特征矿物量较多,晶体发育完善,而且组合趋向于复杂。在本组交代岩矿物组合中石榴石和钙铁辉石处于主导地位,白钨矿和黑钨矿普遍与它们共生,还见有含挥发分矿物的萤石,有时见到辉钼矿伴随出现。

在 III 组的实验产物中,反应进行得彻底,试料残留甚少,偶见有钾长石。新形成的特征矿物量多,晶体发育大而完善,组合体系复杂,其中石榴石、方柱石和符山石组成了交代岩的主体,伴随产出的金属矿物有白钨矿、黑钨矿和自然铋。含挥发分矿物增多,如粗大柱体的电气石和八面体的萤石常常出现,有时还见到锡石、黄锡矿和辉钼矿。该带相当于矿区的云英岩-矽卡岩钨、锡、钼、铋矿化带。

在实验形成的矿物共生组合演化过程中,温度起了主导的控制作用,压力仅对它们晶体发育程度有所影响。随着温度的升高(从 400~700℃),矿物的量由少逐渐增多,晶体发育由不好逐渐到完善,矿物组合由简单转为复杂。随着压力增加,晶体发育趋于完善,晶面、晶棱、柱面更显特征。尤其是电气石和萤石的量出现比较多的情况下,钨、锡、钼、铋矿物的含量相对地比较多,也就是说矿化比较富。

3.3 金属矿物形成的化学反应

关于实验形成矽卡岩矿物的机理,在以往发表的许多文章中已做过许多详细的叙述和分析。现仅对金属矿物形成过程进行探讨。

根据放进试料中的 Na_2WO_4 、 SnCl_2 、 Na_2MoO_4 和 $\text{Bi}(\text{OH})\text{SO}_4$ 化学试剂和试料有关化学成分,在 400~700℃ 的温度和 $250 \times 10^5 \sim 900 \times 10^5 \text{ Pa}$ 压力等物理化学条件下,形成了白钨矿、黑钨矿、锡石、黄锡矿、辉钼矿和自然铋。它们很可能通过下列化学反应而产生:

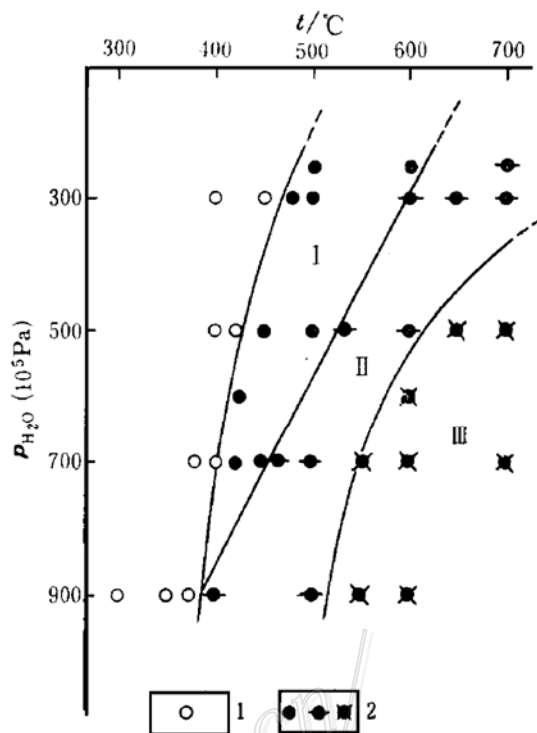


图 3 燕山期花岗岩与泥盆系灰岩相互交代

用实验所形成交代岩和钨多金属

矿床的 $p-t$ 图

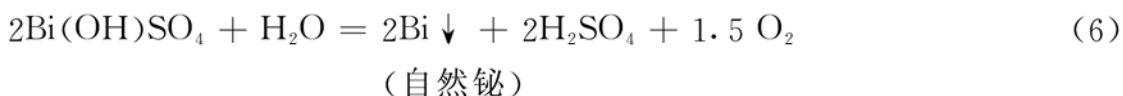
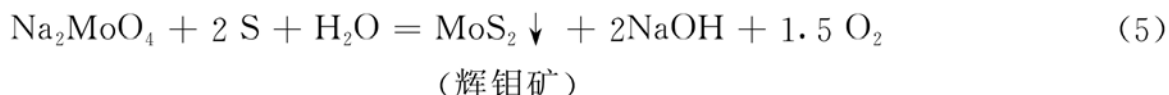
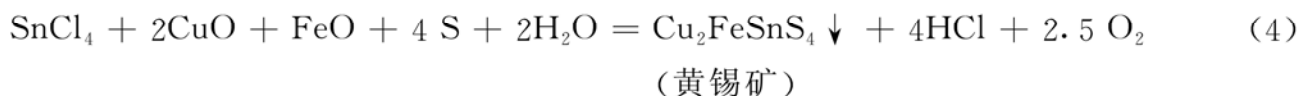
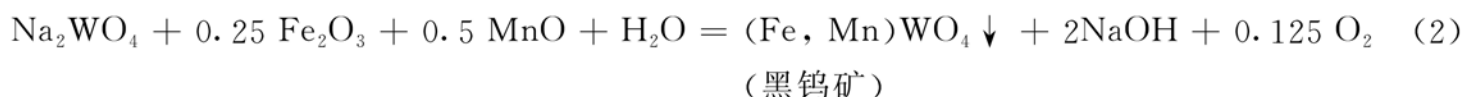
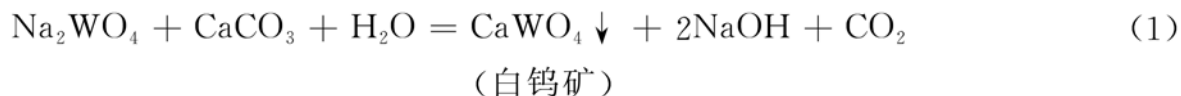
1—未形成新矿物;2—形成了新矿物; I — $\text{Wo} + \text{Gro-And} + \text{Tre} + \text{Sch} + \text{Bi} + \text{Mt}$; II — $\text{He-Di} + \text{Gro-And} + \text{Wo} + \text{Sch} + \text{Wlm} + \text{Flu} + \text{Mol} + \text{Tre} + \text{Mt}$; III — $\text{Ve} + \text{Sca} + \text{Gro-And} + \text{He-Di} + \text{Sch} + \text{Wlm} + \text{Bi}$

+ $\text{Wo} + \text{Tou} + \text{Flu} + \text{Mol} + \text{Cas} + \text{Sta}$

Fig. 3. $p-t$ diagram showing paragenetic associations of skarn minerals and metallic minerals formed by experiments on metasomatism between Yanshanian granite and De-

vonian limestone.

1—With no new minerals formed; 2—With new minerals formed.



上述诸反应中分别产生了少量的酸和碱,它们又发生了中和反应,保持了实验后反应溶液趋向于中性的特征。

实验中未能出现辉铋矿(Bi_2S_3),很可能是试料中有限的硫,先被辉钼矿和黄锡矿夺走,而 $\text{Bi}(\text{OH})\text{SO}_4$ 分解出的“ SO_4^{2-} ”又未能解体就形成 H_2SO_4 。显然,是硫不足之故。

实验业已证明,矿区内分布很广的前寒武系变质岩是柿竹园钨多金属矿床形成的主要矿源层,花岗岩是提供部分成矿元素的侵入岩^[5]。

4 结 论

通过对柿竹园矿区的野外地质工作,系统地进行了燕山期千里山花岗岩与泥盆系灰岩交代作用的实验,从而得出以下几点认识:

(1) 以千里山花岗岩和泥盆系灰岩作试料,加上微量的 Fe_2O_3 、 Na_2WO_4 、 Na_2MoO_4 、 SnCl_4 和 $\text{Bi}(\text{OH})\text{SO}_4$ 作为成矿物质,在 $400\sim 700^\circ\text{C}$ 的温度和 $250\times 10^5\sim 900\times 10^5 \text{Pa}$ 的压力条件下的 $\text{pH}=4.0$ 的 $0.3 \text{MNaCl}+0.7 \text{MKF}$ 水溶液中,经过了120小时的持续交代作用的实验,其结果形成了交代岩共生组合及其钨、锡、钼、铋的矿物与矿区出现的矽卡岩矿物和矿石矿物十分相似,说明柿竹园钨多金属矿床是在这种物理化学条件下形成。

(2) 实验形成的三组矿物共生组合,其中(I)组以石榴石、硅灰石为主,见有透闪石、白钨矿和辉铋矿。该组与矿区矽卡岩钨、铋矿化带的矿物组成相似;(II)组的特征矿物为钙铁辉石-透辉石、钙铝-钙铁榴石、硅灰石、白钨矿、黑钨矿,还有少量的透闪石、萤石、磁铁矿和辉钼矿;(III)组的特征矿物为符山石、方柱石、钙铝-钙铁榴石、钙铁辉石-透辉石、白钨矿、黑钨矿和自然铋,还见有硅灰石和少量的电气石、萤石等含挥发分矿物及辉钼矿、锡石、黄锡矿。该组相当于矿区云英岩-矽卡岩化钨、锡、钼、铋矿化带中的矿物共生组合。

(3) 实验形成的矿物共生组合演化过程中,温度对它控制十分明显,压力仅对它的晶体发育程度有所影响。随着温度升高($400\rightarrow 700^\circ\text{C}$),矿物量逐渐增多,晶体发育渐变完善,矿物组合趋于复杂。随着压力增大,晶体发育更趋完善,晶面、晶棱和柱面更显特征。含挥发分的矿物电气石和萤石出现或增多时,有利于钨、锡、钼、铋矿物的形成。实验中未出现辉

铋矿,很可能是试料中硫含量不足之故。

因此,我们有根据地认为:在 $400\sim 700^{\circ}\text{C}$ 的温度和 $250\times 10^5\sim 900\times 10^5\text{ Pa}$ 压力等物理化学条件下,壳源重熔型的燕山期千里山花岗岩侵入泥盆纪地层中,与其中灰岩发生接触交代形成了矽卡岩。与此同时,由于花岗岩浆上升,给周围岩石提供了热量,使之循环着的含 Na、K 氯(氟)化物的地下水变成热液,从前寒武系变质岩中活化出大量的和从花岗岩中活化出部分的 W、Sn、Mo、Bi 成矿元素,并迁移到接触带交代岩中富集成矿。

在完成此文过程中,中国地质科学院矿床地质研究所潘家华副研究员协助进行 X 光分析,王清新和王福生工程师帮助绘图和清稿,在此一并表示感谢。

参 考 文 献

- 1 王昌烈,罗仕徽,胥友志等. 柿竹园钨多金属矿床地质. 北京:地质出版社,1987,1~162
- 2 康永孚,苗树屏,李崇佑等. 中国钨矿床. 中国矿床(中册). 北京:地质出版社,1994,69~74
- 3 王书凤,张绮玲. 柿竹园矿床地质引论. 北京:北京科学技术出版社,1988,17~65
- 4 郭吉保,罗俊华. 湖南柿竹园矽卡岩形成条件的模拟实验研究. 南岭地质矿产文集,第二辑. 北京:地质出版社,1986,235~251
- 5 梁祥济. 水-岩相互作用和成矿物质来源. 北京:学苑出版社,1995,110~132
- 6 季克俭,吴学汉,张国炳. 热液矿床的矿源、水源和热源及矿床分布规律. 北京:北京科学技术出版社,1989,44~58
- 7 宋学信,张景凯. 柿竹园-野鸡尾钨、锡、钼、铋多金属矿床流体包裹体初步研究. 矿床地质,1990,9(4):332~338
- 8 赵斌,李维显,蔡元吉. 黑钨矿、锡石、铌铁矿、细晶石、铌钽矿生成条件及其黑钨矿和锡石中铌、钽含量变化的实验研究. 地球化学,1977,(2):123~135
- 9 Kovalenko H N et al. Thermodynamic properties of Sn (II) complexes in supercritical acidic fluoride solutions. Sci. Geol. Bull., 1989, 42: 343~350
- 10 Olin A. A thermochemical study of hydrolyzed $\text{Bi}(\text{ClO}_4)_3$ solutions. Acta chem. Scand. 1975, A29 (10): 907
- 11 Ивнова Г. Ф., Ходаковский И. Г. Формы миграции вольфрама в гидротермальных растворах. Геохимия, 1968, (8): 930~940
- 12 Кудрин А. В. Поведение молибдена в водных растворах хлоридов натрия и калия при температурах $300\sim 450^{\circ}\text{C}$. Геохимия, 1989, (1): 99~112
- 13 Калонин Т. Р., Чаятев Ю. В. Исследование процесса растворения $\alpha\text{-Bi}_2\text{O}_5$ (Висмута) и комплексообразования висмута в гидротермальных условиях. Геохимия, 1982, (11): 1621~1631

EXPERIMENTAL STUDY ON ORE-FORMING MECHANISM OF THE SHIZHUYUAN TUNGSTEN-POLYMETALLIC DEPOSIT, HUNAN PROVINCE

Liang Xiangji

(*Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037*)

Key words: experimental study, rock-forming and ore-forming mechanism, tungsten-poly-metallic deposit, Shizhuyuan of Hunan Province

Abstract

Based on a thorough field study on the Shizhuyuan tungsten-polymetallic deposit, the author, using Yanshanian granite and Devonian limestone as starting materials, carried out metasomatic experiments in pressure vessels containing solution of 0.3 M NaCl + 0.7 M KF (pH=4.0), with duration of the experimentation being 120 hours.

In the experiments under the conditions of 400~700°C and $250 \times 10^5 \sim 900 \times 10^5$ Pa, skarns consisting mainly of grossular-andradite, hedenbergite, diopside, wollastonite, vesuvianite and scapolite were formed in company with skarn-associated metallic minerals such as scheelite, wolframite, molybdenite, cassiterite, stannite and native bismuth. The skarn mineral assemblages as well as associated tungsten, tin, molybdenum and bismuth minerals formed in these experiments are basically consistent with minerals that occur in the ore district.

Furthermore, the author analysed and probed into skarn mineral assemblages formed in the experiments, chemical reaction in the ore-forming process and its physicochemical conditions. In this way, the author has brought to light the rock-forming and ore-forming mechanism of the Shizhuyuan tungsten-polymetallic deposit in Hunan Province.