

福建古田县三保钨钼矿床地质地球化学

郑开旗 黄维新 周乐生

(福州大学地矿系)

内容提要:三保钨钼矿床位于政和一大浦大断裂之东侧。矿体产于花岗斑岩(85Ma)与侏罗系南园组流纹质晶屑凝灰熔岩的内、外接触带中,属中—高温石英脉型矿床。石英包裹体的 δD_{H_2O} 值为 -41‰ — -47‰ , $\delta^{18}O_{H_2O}$ 值为 -6.0‰ — -7.3‰ ,表明成矿热液是来自大气降水。根据矿体中 $\delta^{34}S$ 值和黑钨矿中富 Nb_2O_5 、贫 Ta_2O_5 ,辉钼矿中Re及黄铁矿中Co高、Ni低等特征,证实成矿物质与同熔型花岗斑岩是同一来源的。花岗斑岩中除W、Mo含量较高外,Cr、Ba、Re的含量和 $\Sigma Ce/\Sigma Y$ 比值、磁铁矿-榍石-锆石等副矿物组合都与华南过渡型地壳同熔型花岗岩系列成因相似。根据上述资料推测本矿床成矿模式是:同熔型花岗斑岩形成时初步富集了矿质→地下水循环热液与花岗斑岩作用淋滤出矿质→转移到构造有利部位沉淀形成矿体。

主题词:古田三保 微量元素 同位素 花岗斑岩 成矿模式

三保钨钼矿床位于闽浙粤中生代断陷内,政和一大浦大断裂的东侧,东南沿海强烈火山—岩浆活动带中。

矿区以天山堂花岗斑岩体为中心,四周为侏罗系南园组(J_3n)流纹质晶屑凝灰熔岩。矿区面积达 18km^2 ,由岩体向外共有五个矿段:三保、香峰、茶园矿段位于岩体内,即内接触带;梅坑和过溪矿段位于外接触带火山岩中(图2)。

一、矿床地质特征

花岗斑岩沿北东向展布,呈小岩株产出,据K-Ar法测定其年龄为 $81.5\text{—}85\text{Ma}$ ^①,于燕山晚期侵入于流纹质晶屑凝灰熔岩中,面积约 7.3km^2 。它与熔岩为陡波状侵入接触。矿体就产于该岩体内、外接触带中。

(一)矿体与构造的关系 矿体有二种形态,即云英岩型和石英脉型。云英岩型与北东向($40^\circ\text{—}70^\circ$)断裂关系密切。该组断裂共有六条,大的切过岩体内、外带,延伸可达 2km ,均存在W、Mo等元素异常。云英岩型矿体呈透镜状,断续分布于北东向($40^\circ\text{—}50^\circ$)断裂带中,宽几米至几十米,倾角 50° 以上,延伸达几百米,主要产于香峰至茶园之间,外接触带较少。其他方向的断裂如南东向、东西向,规模较小,且都未发现有矿化。石英脉型矿体是本矿床主要类型矿体,它产于岩体和火山岩中倾角较缓的一组原生节理中,矿脉的走向近东西,倾角一般为 $10^\circ\text{—}25^\circ$,不同的矿段倾向不同:三保矿段 $30^\circ\text{—}60^\circ$;香峰矿段 $92^\circ\text{—}140^\circ$;茶园矿段 $80^\circ\text{—}85^\circ$ 和 230° ;梅坑矿段 $315^\circ\text{—}320^\circ$;过溪矿段 $240^\circ\text{—}260^\circ$ 。脉幅总的说来较稳

① 据福建地质局303地质大队1965年初查报告

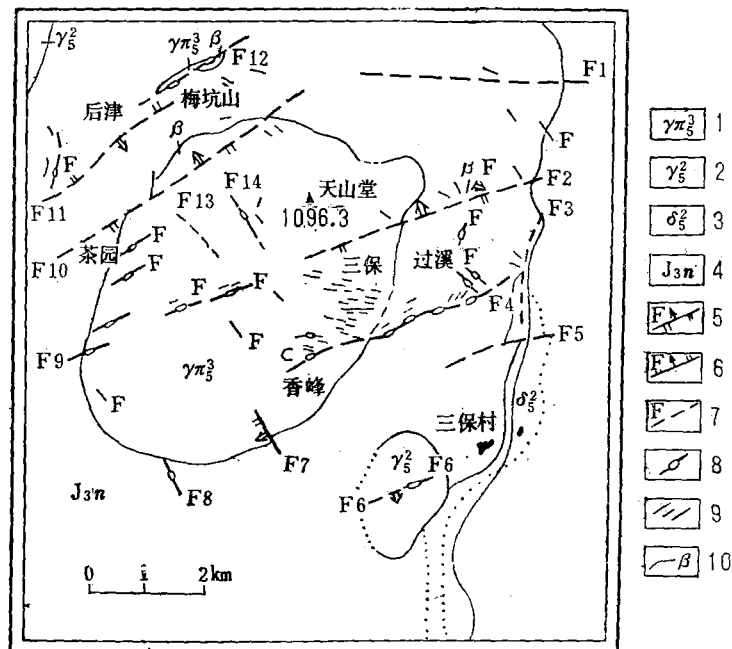


图 1 三保钨钼矿区地质示意图

1—花岗岩; 2—黑云母花岗岩; 3—闪长岩; 4—侏罗系南园组晶屑凝灰熔岩; 5—逆断层; 6—正断层; 7—断层; 8—含矿破碎带; 9—含矿石英脉; 10—辉绿岩脉

Fig. 1. Schematic geological map of the Sanbao tungsten-molybdenum ore district.

1—Granite porphyry; 2—Biotite granite; 3—Diorite; 4—Crystal fragment tufflava; 5—Reverse fault; 6—Normal fault; 7—Fault; 8—Ore-bearing fracture zone; 9—Ore-bearing quartz vein; 10—Diabase vein.

定, 大部分在10—20cm, 个别如三保Ⅲ号脉可达50—60cm, 走向延伸50—100m, 倾向延深不大。

(二) 矿石矿物组成和结构构造 两种类型矿体的矿石矿物组成和结构相似。金属矿物以黑钨矿和辉钼矿为主, 其次是黄铁矿、辉铋矿和白钨矿。脉石矿物为石英和云母, 以及极少量的萤石。

黑钨矿为半自形—自形板状晶体, 少数为他形不规则粒状晶体, 常被后期的辉钼矿、黄铁矿等交代或溶蚀呈残留体。黑钨矿常富集于脉的上部, 呈团块状或小砂包状产出。

辉钼矿多数为粉末状或细小鳞片状晶体, 少数呈结晶完好的大鳞片状晶形。辉钼矿与黄铁矿互有交代, 且常一起呈条带状或薄膜状分布于石英脉中, 但它们多富集于脉的下部。说明它们是同一阶段的产物。

(三) 成矿温度和成矿阶段 用爆裂法测定了各矿段不同矿脉中的主要金属矿物和脉石矿物的形成温度(表1)。由表1可知:

1. 黑钨矿主要成矿温度为270—297℃, 稍低于石英(大于300℃), 而且从内带至外带黑钨矿形成温度从297℃逐渐降至270℃。

2. 黄铁矿主要形成温度是240—265℃。镜下观察辉钼矿交代黑钨矿现象较普遍, 辉钼矿与黄铁矿有相互交代现象, 因此辉钼矿应晚于黑钨矿生成, 与黄铁矿是同时生成。

表1 主要矿物形成温度一览表

Table 1. Formation temperatures of major minerals

矿物及 形成温度(℃)	三 保	香 峰	茶 园	梅 坑	过 溪
石 英	318(21) 235(2)	314 (7) —	322 (7) 260 (1)	320 (4) —	316 (12) —
黑 钨 矿	297(19) 250(1)	294(7) 245(1)	284 (10) 255 (1)	270 (6) —	275 (4) 235 (2)
黄 铁 矿	248(8) 290(6)	— 295(1)	250 (7) 293 (5)	240 (2) —	265 (3) —
辉 钼 矿		230 (1)			215 (2)
云英岩带中黑钨矿			275 (3)		
云英岩带中石英			320 (4)		

括号内数字为样品数,系爆裂法测温数据未经压力校正。

3. 石英脉型与云英岩型的黑钨矿和石英形成的温度相近,同样证实它们是同一时期的产物。

4. 黑钨矿、黄铁矿(还有辉钼矿)都具有两个形成温度。

综上所述,本矿床成矿温度为中—高温,钨、钼矿化属于同期的两个不同阶段,即高温石英—黑钨矿阶段和中温石英—硫化物阶段。

(四) 围岩蚀变 围岩蚀变主要发生在矿脉顶、底板,而且顶板比底板发育,蚀变作用主要有云英岩化、绢英岩化、硅化和碱性长石化。

云英岩化和绢英岩化紧靠矿脉两旁发育。矿脉越厚蚀变宽度越大。一般宽几公分到几十公分。离开矿脉距离由近到远,蚀变由强到弱,白云母(或绢云母)含量减少,石英增多。

硅化范围较大,从几十公分到几米。与云英岩化呈过渡关系或叠加在其上。

再往外为碱性长石化,蚀变不很发育,大部分还保留原岩的成分和结构构造。部分长石或石英被钠长石或钾长石交代。

表2 三保Ⅲ号脉蚀变带化学成分和成矿元素含量

Table 2. Chemical composition and minerogenic element contents of No. Ⅲ alteration zone in Sanbao

蚀变 带岩石	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)	W (ppm)	Mo (ppm)	Nb (ppm)	Ta (ppm)
云英岩化花岗斑岩	74.54	14.21	2.41	4.87	38	11.7	22.5	2.4
硅化花岗斑岩	96.25	1.06	0.06	0.36	1400	524	4.5	1.5
硅化花岗斑岩	84.45	8.85	0.85	2.14	674	225.6	38.5	3.5
硅化花岗斑岩	77.67	12.52	2.68	4.62	46.5	34.1	20.0	3.1
原 岩	75.89	12.97	3.75	4.99	3.9	4.4	17.4	1.7

(由湖北省地矿局中心实验室分析)

在蚀变带内, 见有少量的黑钨矿、白钨矿、辉钼矿和黄铁矿等金属矿物。蚀变带内的化学成分和成矿元素含量见表 2。由表 2 可知: 蚀变带内 W、Mo、Nb、Ta 等元素富集与常量元素含量关系密切, 即 W、Mo 含量随着 SiO_2 含量的减少和 Al_2O_3 、 K_2O 、 Na_2O 等含量增加而减少。这表明 W、Mo 主要富集于云英岩化和硅化带内, 因此云英岩化(绢英岩化)和硅化是本区找矿的重要标志。

二、矿石及主要金属矿物中微量元素特征

研究矿石及矿物中微量元素, 不但能了解矿化过程、形成物化条件, 而且能判断矿质的来源。

(一) 矿石中微量元素 化学分析和光谱半定量分析结果(表 3)表明, 矿石中主要的伴生元素为 Bi、Sn、Nb、Cu、Pb、Zn。但除 Bi 外其他各元素含量均很低。故在矿石中很难见到这些元素的独立矿物。

表 3 矿石中微量元素的含量(%)

Table 3. Trace element contents of ores (in percentage)

矿段		W	Mo	Bi	Sn	Nb	Cu	Pb
内接触带	三保(19)	2.77	0.718	0.0028	10.9×10^{-4}	39.9×10^{-4}	1.4×10^{-4}	325×10^{-4}
	茶园(13)	3.21	0.778	0.114	25.5×10^{-4}	124.3×10^{-4}	7.0×10^{-4}	44.2×10^{-4}
	香峰(12)	8.76	1.21	0.30	4.5×10^{-4}	171.7×10^{-4}	26.7×10^{-4}	11.7×10^{-4}
外接触带	过溪(9)	5.76	0.829	2.66	5.33×10^{-4}		466.8×10^{-4}	218×10^{-4}
	梅坑(10)	3.59	0.902	0.208	32.7×10^{-4}	32.7×10^{-4}	40.4×10^{-4}	3.6×10^{-4}

除 Pb 为光谱半定量分析结果外, 其他元素为化学分析; 括号内数字为样品数

表 4 内外接触带矿石中微量元素正交因子解

Table 4. Orthogonal factor solutions of trace elements in ores of endo- and exo- contact zone

元	内 接 触 带				外 接 触 带			
	F_2	F_3	F_4		F_1	F_2	F_3	F_4
Pb	0.599	0.106	-0.025	-0.022	0.959	-0.112	-0.121	0.046
Sn	-0.047	0.172	0.909	0.067	-0.089	-0.092	-0.958	0.119
W	-0.122	0.070	0.283	-0.085	-0.036	0.956	0.108	0.014
Cr	0.325	0.731	-0.026	0.043	0.112	0.069	0.135	0.079
Bi	0.010	-0.049	-0.026	-0.985	0.974	0.091	0.038	-0.129
Mo	0.737	0.109	-0.493	0.224	0.114	0.034	-0.113	0.971
Cu	0.933	0.109	0.077	-0.120	0.891	0.123	-0.049	-0.164
Mn	0.175	0.904	0.142	0.025	0.058	0.947	-0.010	0.017
Nb	-0.147	0.842	0.078	0.072	0.043	-0.007	-0.132	-0.063
Ag					0.626	-0.301	0.249	0.193

矿石中微量元素的含量在内外接触带中的变化呈现了一定的规律性, Bi、Cu、Pb、Zn 等的含量由外带向内带逐渐减少, 而 Nb 含量恰恰相反由外带向内带逐渐增高。

内接触带矿石样品(31个样)和外接触带矿石样品(19个样)因子分析结果表明(表4), 不论在内带还是外带, 成矿元素及伴生元素都表现有三个不同阶段矿化过程, 而且内外带正交因子解的模式非常相似。其中 W、Mn(或 Sn) 为一个因子, 反映了一个阶段的矿化过程。Mo、Bi、Pb、Cu、Ag 及 Zn 等在内、外带分别表现为两个不同阶段的矿化过程。在内带 Mo 出现在两个因子中: 一个 Mo 与 W 呈负相关; 另一个 Mo 与 Cu、Pb(Zn) 关系密切为同一个阶段的产物, 而 Bi 则呈单独一个因子为另一阶段矿化的产物。在外带 Bi 与 Cu、Pb(Zn) 关系密切为同一阶段形成的, 而 Mo 即为另一个因子。

因子分析结果所揭示的规律和矿物测温结果是一致的。即本区矿化可分为两个不同的阶段(氧化物阶段和硫化物阶段)。但在硫化物阶段中 Bi 和 Mo 等还应有先后之分, 测温资料表明辉钼矿形成温度为 215—230℃, 比黄铁矿、辉钨矿低 30℃, Bi 应继 Mo 之后矿化。故 Bi、Mo 分别在不同因子中。

(二) 单矿物中微量元素

1. 黑钨矿: 通过化学和光谱分析, 测定了 21 个黑钨矿单矿物样品的 WO_3 (61.1—75.5%, 平均为 71.87%)、FeO、MnO、 Nb_2O_5 、 Ta_2O_5 及 La + Y 等的含量(表5)。由表5可见:

(1) 矿区的黑钨矿具有高锰、富铌、贫钽的特征。

表 5 黑钨矿的化学成分

Table 5. Chemical composition of wolframite

成岩成矿系列	矿段	矿床类型	成分及含量平均值及变化范围(%)						资料来源
			MnO	FeO	Nb_2O_5	Ta_2O_5	$\frac{\text{Ta}_2\text{O}_5}{\text{Nb}_2\text{O}_5}$	La + Y (ppm)	
	三保(7)	石英脉型黑钨矿	15.61 13.83—16.85	9.72 6.91—18.0	0.537 0.31—0.80	0.0104 0.0065—0.024	0.021	147	本文, 由江苏地矿局中心实验室分析
	香峰(3)		16.03 15.25—16.64	7.90 7.59—8.41	0.63 0.36—0.81	0.0071 0.0065—0.008	0.012	153	
	茶园(6)		19.31 18.21—20.3	4.33 3.43—5.01	0.43 0.33—0.54	0.0123 0.0079—0.018	0.029	108	
	过溪(2)		18.27 17.83—18.7	5.51 4.81—6.13	0.145 0.12—0.17	0.0033 0.0029—0.0036	0.024	60	
	梅坑(3)		16.75 11.3—19.48	8.33 4.74—17.46	0.177 0.21—0.21	0.0056 0.0017—0.0097	0.039	113	
重溶型花岗岩系列	赣南(72)	石英脉型黑钨矿	10.81	12.46	0.3084	0.0685	0.22	RE_2O_3 0.0339%	江西冶勘二队(1978)
	江西浒坑(43)	黑钨矿	18.88	5.21	0.4075	0.0508	0.12		章崇真(1980)
同熔型花岗岩系列	广东莲花山(3)	斑岩型黑钨矿	4.95	17.65	0.0430	0.0043	0.10	0.001—0.06%	谭运金(1981)

(2) 云英岩型和外接触带石英脉型黑钨矿为钨锰矿类, 而内接触带石英脉型黑钨矿为钨铁锰矿。表明了黑钨矿中 FeO 含量从内带向外带具降低趋势。

(3) Nb_2O_5 含量较高, 平均含量外带为 0.218%, 内带为 0.556%; Ta_2O_5 含量较低, 外带为 0.0064%, 内带为 0.0098%。

(4) 黑钨矿中 $\text{La} + \text{Y}$ 含量普遍较高, 平均在 100ppm 左右; 而 Sc 含量除三保矿段部分黑钨矿达几十到 100ppm 外, 光谱分析结果表明其它矿段黑钨矿都没有 Sc 的显示。

由于地壳中 Nb 、 Ta 及 TR 丰度大于地幔, 所以不同成因系列花岗岩及其钨矿床中黑钨矿所含的 Nb_2O_5 、 Ta_2O_5 及 RE_2O_3 的含量差别是很大的。据杨超群^①、章崇真^[1]等人研究认为重熔型花岗岩系列钨矿中黑钨矿的 Nb_2O_5 、 Ta_2O_5 、 RE_2O_3 含量比同熔型花岗岩的含量要高一个数量级。本矿区黑钨矿中的 Nb_2O_5 含量与重熔型花岗岩系列钨矿的黑钨矿中 Nb_2O_5 含量相似, 而 Ta_2O_5 和 Sc 则接近于同熔型系列的黑钨矿。

2. 辉钼矿: 本区辉钼矿有二种。主要为粉末状或细小鳞片状辉钼矿, 占 90% 以上。其次是形成温度较低结晶完好的大鳞片状辉钼矿。前者以条带状、薄膜状产出, 含 Re 较低 ($\text{Re} = 4\text{ppm}$), 晶体结构属于 2H_1 型。后者以团块状产出, 含 Re 稍高 ($1-15\text{ppm}$), 晶体结构既有 2H_1 型, 也有 3R 型。

一般认为与重熔型有关的矿床中辉钼矿含 Re 很低, 一般小于 5ppm, 很多都未检出; 与同熔型有关矿床的辉钼矿中含 Re 较高, 可达几十到几百 ppm。而本矿区辉钼矿含 Re 大部分都在 4ppm 以下, 其中有一个未检出。说明 Mo 、 Re 等矿质主要来自壳层。

3. 黄铁矿: 黄铁矿中 Co 和 Ni 也是判断矿质来源的依据之一。现有统计资料表明, 与同熔型花岗岩有关的黄铁矿中 Co 含量大于 100ppm, Ni 含量几十到几百 ppm, 比重熔型的高。本矿床黄铁矿中 Co 为 24—153ppm, Ni 低于 10ppm, 介于上述两者之间。

从三种单矿物中微量元素含量及它们之间的互相关系等特征综合分析, 可以认为本区矿质来源不是单一的, 它既有壳源, 也有幔源的, 但以壳源为主。

三、氢氧同位素组成特征

早期工作认为本矿床是岩浆热液型矿床, 但是从测定的 8 个石英、黑钨矿包裹体中氢氧同位素组成结果 (表 6) 表明并不如此。

由表 6 中看到, 2 个石英包裹体水 $\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}} = -41 \text{---} -47\text{‰}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}} = -6.0 \text{---} -7.0\text{‰}$; 6 个黑钨矿包裹体水的 $\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}} = -62 \text{---} -120\text{‰}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}} = -3.3 \text{---} -11.7\text{‰}$ 。它们都落在雨水溶液 ($\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}} = -40 \text{---} -160\text{‰}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}} = -17 \text{---} +5\text{‰}$) 的范围内。如果将其中 5 个样品的氢和氧同位素数据投影在已知 5 种类型介质的成矿热液的氢、氧同位素组成范围图上 (图 2)^[2], 则 5 个点都落在大气降水热液区及其附近, 其中 2 个石英样品恰好落在雨水线上。

根据对 5 个矿段的近 30 个薄片石英包裹体镜下观察, 其形态 (规则的椭圆形、假六边形, 沿晶带分布)、大小 ($5-10\mu\text{m}$)、气液比 ($10-30\%$) 等都比较一致。石英包裹体爆裂温度都在 300°C 以上。这些说明石英中的包裹体是原生的。由于它是最早形成的, 因此石英包裹体的氢、

① 杨超群, 1983, 中国斑岩矿床的成岩成矿系列及其找矿和评价问题, (广东地质科技)

表 6 石英、黑钨矿包裹体的氢、氧同位素组成

Table 6. Hydrogen and oxygen isotopic composition of fluid inclusions in quartz and wolframite

样 号	矿 物 名 称	采 样 位 置	δD_{H_2O} (‰)	$\delta^{18}O_{H_2O}$ (‰)
1	黑 钨 矿	三保12-1号脉	-116 ± 3	
2	黑 钨 矿	三保11-3号脉	-75 ± 2	
3	石 英	三保11-3号脉	-41 ± 2	-6.0 ± 0.2
4	黑 钨 矿	梅坑22号脉	-74 ± 2	-3.3 ± 0.2
5	黑 钨 矿	茶园20-1号脉	-91 ± 2	
6	黑 钨 矿	过溪4号脉	-62 ± 2	-10.8 ± 0.2
7	黑 钨 矿	香峰14号脉	-120 ± 3	-11.7 ± 0.3
8	石 英	香峰14号脉	-47 ± 2	-7.0 ± 0.2

注：由中国科学院地球化学研究所同位素研究室分析

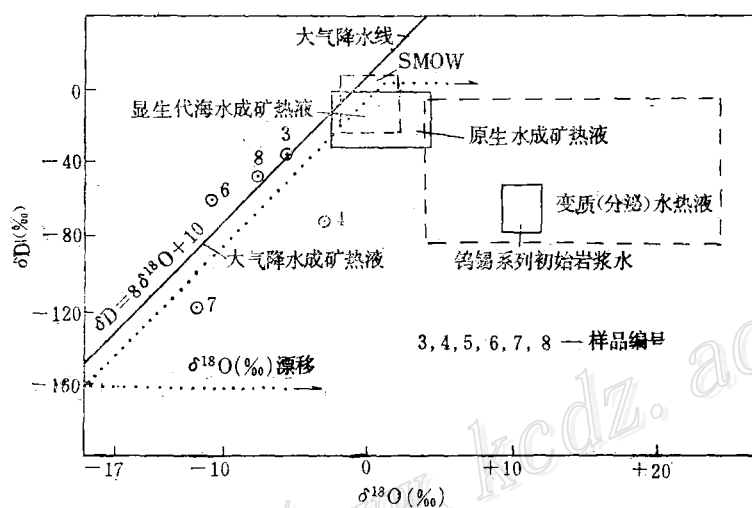


图 2 包裹体中流体氢、氧同位素组成投影图

Fig. 2. Hydrogen and oxygen isotope projection of fluids in inclusions of the ore district.

氧同位素组成可代表成矿热液初期的氢氧同位素组成。

黑钨矿包裹体中氢、氧同位素组成比石英包裹体更贫 ^{18}O 和D，这是因为随着石英大量结晶，热液中氢氧同位素组成发生变化之故。据 $1000 \ln \alpha_{\text{石英-水}} = 3.26 \times 10^6 \times T^{-2} - 2.98$ (Becker等, 1976)^[2]，以石英形成温度为300℃计算，三保矿段石英脉的 $\delta^{18}O$ 值为0.95‰，香峰矿段石英脉的 $\delta^{18}O$ 值为0.35‰，均比早期热液富 ^{18}O 。氢同位素亦如此。

总之，本矿床热液应属于大气降水热液，而不是岩浆热液。

四、硫同位素组成特征

5个矿段20个硫化物测定结果： $\delta^{34}\text{S}$ 值为1.89—9.88‰，最大离差7.99‰，其中11个辉钼矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 值为3.18—5.21‰，平均值为4.2‰；9个黄铁矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 值为1.89—9.88‰，平均值为4.04‰。据硫同位素温度计算结果其成矿温度为240℃、252℃，与爆裂法测定结果250—280℃（未经压力校正）相近。这说明硫同位素基本达到平衡。

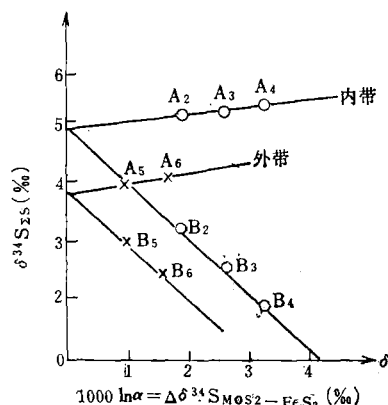


图3 内外带原始硫组分图解

A—辉钼矿；B—黄铁矿

Fig. 3. Initial sulfur components in inner zone and outer zone.

A—Molybdenite; B—Pyrite.

应用美国平志尼（1972）的高温外推法求得内带 $\delta^{34}\text{S}_{\text{ES}}$ 值为4.9‰，外带 $\delta^{34}\text{S}_{\text{ES}}$ 值为3.8‰（图3）。其结果表明内带总硫比外带更富 ^{34}S ，指示热液是从内接触带流向外接触带的。

从 $\delta^{34}\text{S}_{\text{ES}}$ 值偏离零值较远，且离差达7.9‰，表明热液中的硫与矿质一样是多源的，为壳源、幔源的混合物。

五、成矿母岩

花岗斑岩不仅与矿体空间关系密切，而且还是矿质的提供者。

（一）岩体中微量元素 岩体中微量元素的含量（表7）对比表明，花岗斑岩中微量元素组成与矿石是非常相似的。其中主要的成矿元素W、Mo在岩体中的含量都比较高，分别为3.9ppm和4.4ppm。因此岩体完全有可能为成矿提供W、Mo的矿源。同样Bi、Sn、Ta等是矿石中伴生元素，岩体中这些元素的含量也高于克拉克值。但是，其中Sn、Ta和Be比克拉克值高不多，而比华南燕山晚期花岗岩低得多。所以矿区未见这些元素组成的单矿物（如锡石、铌钽矿物）。同样，矿区也极少见Zn、Cu等的硫化物。这些伴生元素的低含量和矿石中反映的情况是一致的。

表7 花岗斑岩中微量元素含量(ppm)

Table 7. Trace element contents of the granite porphyry (in ppm)

岩体	W	Mo	Be	Sn	Nb	Ta	Cr	Ba	Cu	Zn	Pb	资料来源
本区花岗斑岩	3.9	4.4	3.7	4.5	17.4	1.7	6.2	670	<10	<20	65	本文
华南燕山晚期花岗岩	8	0.7	9.2	19.2	37.8	31.2	8.6	672	12			参考文献[3]
地壳丰度	1.5	1.5	2.8	2	19	1.6	25	425	48	48	12.5	同上

注：W、Mo、Be、Nb、Ta为化学分析，其余为光谱半定量分析

(二) 岩石的成因 花岗斑岩化学成分中 SiO_2 75.89%, $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} > 8.5\%$, 且 Na_2O (3.75%) $< \text{K}_2\text{O}$ (4.89%), Al_2O_3 为 12.97%, 属于超酸性铝过饱和富碱富钾系列花岗岩。

花岗斑岩的 $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ 比值为 0.77, $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} + \text{CaO})$ (分子数) 比值为 1.05, 副矿物以磁铁矿为主, 属磁铁矿-褐帘石-榍石-锆石型花岗岩, 与华南过渡型地壳同熔型花岗岩相似^①, 也与徐克勤教授的富磁铁矿富钙矿物(榍石)的存在可作为同熔型花岗岩的标志相一致。

从岩体的微量元素组成来看, Cr、Mo、Ba 含量偏高, 与同熔型特征吻合; 而另一些元素如 W、Sn、Be 含量高, Cu 含量低的特点又与陆壳改造型的特征相似。

岩体的稀土配分情况介于同熔型与陆壳改造型之间。但更接近后者。如岩体的 $\Sigma\text{REE} = 174\text{ppm}$, $\Sigma\text{Ce}/\Sigma\text{Y} = 4.7$, 接近同熔型的特点。而 $\delta\text{Eu} = 0.51$, 具有中等的铕亏损以及稀土组成分布曲线(图4)特征又与陆壳改造型的特点更相似。

综上所述, 可以认为三保花岗斑岩是属于过渡型地壳同熔型成因的。它的物质成分既有壳源的, 又有幔源的, 这与矿质来源相同。因此说它们之间存在着成因的联系, 即矿质来源于花岗斑岩。

(三) 成矿模式 从岩体由下至上存在面型钾长石化和钠长石化现象证实地下热液与岩体发生了广泛的交代作用。正如胡受奚教授等人^②指出的“碱质交代会使岩体中成矿元素 W、Mo 等被浸出, 转移到热液中, 而且经计算其数量是相当大的”。所以矿质来自花岗斑岩是无疑的。

据上述各方面的分析, 本矿床的成矿模式应是: 在燕山晚期由于构造运动的影响, 地壳深部的壳源与幔源的物质发生了同熔, 形成岩浆并侵入到浅部火山岩中。岩浆结晶分异过程中 W、Mo 等元素初步富集于花岗斑岩中。在岩浆凝固结同时释放出大量的热量, 对围岩中地下水(从构造裂隙渗入下来的雨水)加热。由于岩浆含水大大少于围岩中地下水, 故受热的水向岩体方向流动, 当溶液靠近岩体时, 温度显著升高, 含碱质也增加。这就大大增强了溶液的溶解能力^[4]。溶液变热或汽化, 便沿岩体向上迁移, 并溶解岩体中的矿质。当构造变动和岩体冷却过程中产生裂隙, 造成低压空间, 溶液便向其运动, 并迅速降温与围岩发生化学作用, 产生围岩蚀变, 矿质就沉淀下来形成矿体。

本文承蒙中国地质科学院矿床研究所研究员赵一鸣审阅, 并提出许多宝贵的意见。在此特表示衷心的感谢。

主要参考文献

- [1] 章崇真等 1981 赣中某矿田黑钨矿成分的时空变化特征 地质评论 第27卷 第3期
- [2] 张理刚 1985 《稳定同位素在地质科学中的应用》 陕西科技出版社

- 福建科技情报, 1983, 第一期 华南三种成因系列花岗岩类特征鉴别
- 南京大学地质系, 1972, 花岗岩化和碱质交代作用过程中的活化转移作用对稀有元素矿床形成的意义

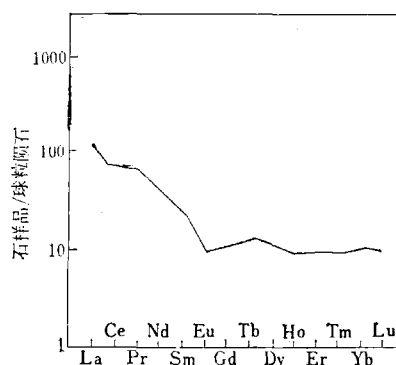


图4 花岗斑岩稀土元素组成分布模式图

Fig. 4. Chondrite-normalized REE pattern of granite porphyry.

〔3〕 中国科学院地球化学研究所 1977 简明地球化学手册 科学出版社

〔4〕 季克俭、吴学汉 1981 成矿热液中水的来源及其与成矿的关系 中国地质科学院院报 第2卷 第1期

GEOLOGY AND GEOCHEMISTRY OF THE SANBAO TUNGSTEN-MOLYBDENUM ORE DEPOSIT IN GUTIAN COUNTY, FUJIAN PROVINCE

Zheng Kaiqi, Huang Weixin and Zhou Lesheng

(Department of Geology and Mineral Resources, Fuzhou, Fujian)

Abstract

The ore deposit in question lies within the Fujian-Zhejiang-Guangdong Cenozoic fault depression, on the east side of Zhenghe-Dapu fault. The orebodies occur in endo- and exo- contact zones between a granite porphyry (85Ma) and the rhyolitic crystal tufflava of Upper Jurassic Nanyuan Formation.

The orebodies have the following characteristics: (1) $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}} = -3.3 \text{--} -11.7\text{‰}$, and $\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}} = -41 \text{--} -120\text{‰}$, within the field of meteoric hydrothermal fluids; $\delta^{34}\text{S} = 1.89 \text{--} 9.88\text{‰}$; $\delta^{34}\text{S}_{\text{ES}} = 4.9\text{‰}$ at the endocontact zone and 3.8‰ at the exocontact zone respectively, suggesting a mixed crust-mantle sulfur source; (2) wolframite is rich in Nb_2O_5 ($0.12 \text{--} 1.81\%$) and poor in Ta_2O_5 ($0.0017 \text{--} 0.0024\%$), with low $\text{Ta}_2\text{O}_5/\text{Nb}_2\text{O}_5$ ratios ($0.012 \text{--} 0.039$); except for very few samples, the Re contents of molybdenite are mostly lower than 15 ppm; Co contents of pyrite are $24 \text{--} 153$ ppm, and $\text{Ni} < 10$ ppm; (3) the ore-forming temperatures of wolframite and molybdenite are $270 \text{--} 297^\circ\text{C}$ and $240 \text{--} 265^\circ\text{C}$ respectively, showing gradually decreasing tendency from endo-contact zone to exocontact zone.

The granite porphyry has four features: (1) $\text{SiO}_2 > 75\%$, $(\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}) > 8.5\%$ and $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O} = 0.77$, $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} + \text{CaO}) (\text{mol}) = 1.05$; (2) it is of magnetite-orthite-sphene-zircon type granite with magnetite being dominant; (3) $\Sigma\text{REE} = 174$ ppm, $\Sigma\text{Ce}/\Sigma\text{Y} = 4.77$ and $\delta\text{Eu} = 0.51$, with moderate Eu deficiency and asymmetric "V"-shaped distribution curve; (4) the intrusive body is rich in W, Mo, Sn, Be, Ba etc. and poor in Cu, Ni.

The researches have led the author to the following conclusions: (1) The granite porphyry is genetically of transitional crustal syntectic type and also serves as the supplier of the ore materials; and (2) the infiltrating metasomatism of granite porphyry by meteoric-hydrothermal fluids leached out the ore materials which formed quartz vein type tungsten-molybdenite deposits at medium-high temperatures.