

<http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx>

桂北含锡花岗岩形成机理的实验研究

梁祥济 乔 莉 王福生 杨崇辉

(中国地质科学院地质研究所, 北京)



实验证明雪峰期含锡黑云母花岗岩是由元古宙四堡群变质岩在 $500 \times 10^5 - 2\,000 \times 10^5 \text{ Pa}$ 的压力和 $750 - 570^\circ \text{C}$ 的温度范围内, 经过重熔再结晶而成, 而且进一步证实含 F 和 B 的水溶液对降低成岩的温度起了重要的作用。实验的结果与野外实际情况相符, 揭示了含锡黑云母花岗岩形成的机理, 阐明了它的形成在中国南方地壳动力学上的意义。

关键词 实验研究 含锡黑云母花岗岩 形成机理 广西北部

中国南部不同时代的花岗岩分布很广, 它们与 W、Mo、Sn、Bi 等金属元素成矿关系十分密切^[1-3]。对于这些花岗岩的成因, 众说纷纭, 归纳起来有 3 种, 即: 幔源、壳源和重熔型, 但往往证据不足。笔者试图通过在高温高压条件下, 与 Sn 成矿有关的元古宙变质岩重熔再结晶的实验, 研究该类花岗岩的成因, 以便探讨我国南方同类花岗岩的形成机理, 以及它们在地球动力学上的意义。

1 实验的地质依据

桂北宝坛-九万大山地区位于江南古岛弧的西南缘。该岛弧上出露最古老的岩石为元古宙四堡群的变质岩 (2 600 Ma)。与 Sn 成矿有关的黑云母花岗岩-平英、田蓬、清明山、元宝山和三防岩体出现在这些古老变质岩中, 它们属于元古宙雪峰期 (730—894 Ma)。区内四堡期的褶皱和断裂多呈近东西向, 雪峰运动使构造线变为近南北和北北东向, 这些构造控制着四堡群和黑云母花岗岩的分布^[4, 5] (图 1)。

四堡群自下而上由九小组、文通组和鱼西组组成, 主要岩性为变质砂岩、千枚岩、石英云母片岩和少量的片麻岩。雪峰期含 Sn 黑云母花岗岩相带发育完善, 它们主要由石英 (25%—50%)、钾长石 (主要是微斜条纹长石, 20%—50%)、斜长石 (钠长石和奥长石, 20%—30%)、黑云母 (1%—5%)、锡石 (1%±) 和电气石 (2%—5%) 组成。

1) 彭大良, 洗柏琪等. 广西罗城宝坛地区花岗岩与锡矿成矿作用的关系的研究报告. 1986。

注: 广西地矿局定向基金资助项目: 桂北地区成矿系列和成矿预测。

本文 1991 年 9 月收到, 12 月改回, 刘淑森编辑。

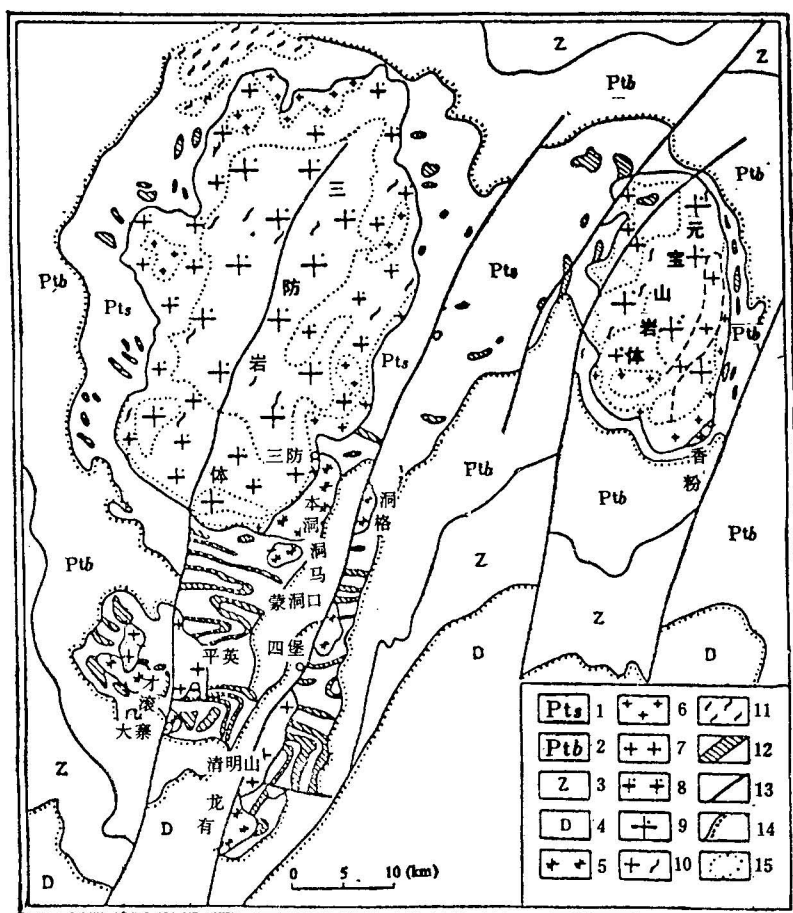


图1 桂北宝坛-九万大山地区地质略图(据莫柱孙等修编, 1980)

Fig. 1 Schematic geological map of the Baotian-Jiuwandashan region in northern Guangxi

(modified from Mo Zhusun et al., 1980)

1. 四堡群; 2. 板溪群; 3. 震旦系; 4. 泥盆系; 5. 花岗闪长岩; 6. 细粒黑云母花岗岩; 7. 中粒黑云母花岗岩; 8. 中粒斑状黑云母花岗岩; 9. 中粗粒斑状黑云母花岗岩; 10. 片麻状花岗岩; 11. 混合岩; 12. 铁镁质超铁镁质岩; 13. 断层; 14. 不整合面; 15. 岩体相带界线

1. Sibao Group; 2. Banxi Group; 3. Sinian; 4. Devonian; 5. granodiorite; 6. fine-grain biotite granite; 7. medium grain biotite granite; 8. medium grain porphyritic biotite granite; 9. medium-coarse grain porphyritic biotite granite; 10. gneissic granite; 11. migmatite; 12. mafic-ultramafic rocks; 13. fault; 14. unconformity; 15. boundary of petrographic zones in granite

雪峰期含 Sn 黑云母花岗岩和四堡群变质岩具有成因关系, 其主要特点归纳如下:

1. 黑云母花岗岩中含有四堡群变质岩的熔融残留体, 有的岩体中出现了堇青石、石榴石和紫苏辉石变质岩的标型矿物。

2. 黑云母花岗岩、盖层变质岩熔融残留体和四堡群的主要岩石化学成分十分相近(表 1)。

表 1 桂北雪峰期黑云母花岗岩和四堡期变质岩岩石化学成分对比
Table 1 Chemical compositions of Xuefengian biotite granites
and Sibao an metamorphic rocks in northern Guangxi

岩石或地层名称	样品数量	化 学 成 分									
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	MnO
雪峰期黑云母花岗岩	50	75.19	12.91	0.10	0.55	1.50	0.50	0.48	4.27	2.61	0.04
四堡期变质岩盖层	3	73.33	12.50	0.25	1.01	2.00	0.43	1.49	4.18	2.60	0.06
四堡期变质岩熔融残留体	2	74.21	13.15	0.39	0.89	2.21	0.13	0.81	4.73	1.59	0.06
四堡群鱼西组变质岩	1	66.61	16.11	0.79	1.03	5.25	0.57	2.61	3.54	0.72	0.10
四堡群文通组变质岩	1	65.15	16.09	0.79	0.75	5.35	0.59	2.71	3.59	1.09	0.10
四堡群九小组变质岩	1	71.06	12.97	0.59	1.31	3.45	0.66	2.18	3.06	1.58	0.14
四堡期地层	6	68.30	15.08	0.72	1.07	4.30	0.51	2.16	3.56	0.94	0.10
中国黑云母花岗岩	52	71.99	13.81	0.21	1.37	1.72	1.55	0.81	3.81	3.42	0.12

岩石或地层名称	品样数量	化学成分(重量%)									资料来源
		P ₂ O ₅	H ₂ O ⁺	H ₂ O ⁻	CO ₂	F	Cl	SO ₄ ²⁻	S	总量	
雪峰期黑云母花岗岩	50	0.16	1.08	0.13	0.16	0.36	0.019	0.026	0.0087	100.58	广西地质七队(1984), 梁祥济(1990)
四堡期变质岩盖层	3	0.16		1.76	0.31					99.98	赵子杰(1985)
四堡期变质岩熔融残留体	2	0.04	1.70	0.41	0.22	0.10	0.02	0.04	0.0032	100.66	梁祥济(1990)
四堡群鱼西组变质岩	1	0.08	2.44	0.26	0.09	0.076	0.045	0.44	0.15	100.56	梁祥济(1990)
四堡群文通组变质岩	1	0.10	3.76	0.36	0.05	0.13	0.039	0.005	0.0017	100.65	梁祥济(1990)
四堡群九小组变质岩	1	0.04	2.13	0.49	0.09	0.09	0.003	0.13	0.043	100.01	梁祥济(1990)
四堡期地层	6	0.08	2.66	0.29	0.11	0.10	0.026	0.056	0.032	100.09	梁祥济(1990)
中国黑云母花岗岩	52	0.20	0.64		0.35					100.00	岩浆岩石学(1985)

注: 样品系中国地质科学院测试技术研究所谢秀英、徐枫等分析。

3. 黑云母花岗岩和四堡群变质岩中, Sn、微量元素、稀有元素和稀土元素含量相近, 变化规律一致。稀土元素丰度值在球粒陨石标准化模式图上为对称的“V”字形曲线, 属于 Eu 亏损型。

4. 在四堡群与上覆板溪群不整合面上的底砾岩的砾石内含有锡石。

5. 黑云母花岗岩中的黑云母成分, 在 Si 的原子数对 $Mg/(Mg + Fe^{3+} + Fe^{2+} + Mn)$ 图解上的投影点落在 <0.5 的 S 型花岗岩范围内。

6. 黑云母花岗岩中浑圆状锆石与四堡群中下部变质岩中的锆石特征相似, 年龄相同 (2 860Ma)。

7. 黑云母花岗岩中 $\delta^{18}O$ 为 10.1‰—14.1‰, 部分熔融公式计算 $F = 0.75 - 0.98$, 花岗岩成因判别式 $Y_{\text{岩体}} > Y_{\text{交代}}$ 。

上述的地质特征和理论计算的结果说明, 在四堡-雪峰运动中很可能是四堡群变质岩部分熔融重结晶形成含 Sn 黑云母花岗岩。

2 实验的技术和方法

实验样品选用桂北地区代表性强的平英黑云母花岗岩作为雪峰期花岗岩初熔实验的代表, 采集宝坛四堡群鱼西组、文通组和九小组变质岩作为形成含 Sn 黑云母花岗岩的实

验试料。同时为了保证样品的质量、代表性和化学分析的精确性,笔者对每个地层组都沿着钻孔岩芯或沿着地层剖面,每隔 $5\text{m} \pm$ 采集一块直径约 $3\text{—}4\text{cm}$ 的石块,组成 $5\text{—}8\text{kg}$ 的大样。然后把这些大样磨碎至 200 目,反复缩分拌匀,其中一部分送做岩石化学、微量元素和稀土元素分析,另一部分留作实验样品。

实验分两条途径进行: 1. 用粉末状(200 目)的四堡群文通组变质岩作为实验试料,该变质岩主要由变质砂岩(石英 $50\% \text{—} 60\%$, 斜长石 $30\% \text{—} 35\%$, 正长石 $5\% \text{—} 10\%$)、板岩(石英 $65\% \text{—} 70\%$, 绿泥石 $10\% \text{—} 15\%$, 绢云母 $5\% \text{—} 10\%$, 斜长石 $3\% \pm$)和千枚岩(石英 $35\% \text{—} 40\%$, 绢云母 $30\% \text{—} 40\%$, 绿泥石 $10\% \text{—} 15\%$)组成,其岩石化学成分见表 1。2. 根据四堡群岩石化学成分(表 1 中四堡期地层一栏),用化学试剂配制样品作为实验试料,其中 Sn 以一定量($5\text{—}10\text{mg}$)的纯锡或粉末状氧化锡试剂混入试料内并拌匀。实验样品放在十万分之一的分析天平上称重,样品总量为 $200\text{—}210\text{mg}$ 。

O. F. Tuttle, H. И. Хитаров 和 H. G. F. Winkler 等^[5-9]认为花岗岩在形成中含有少量的 H_2O 。考虑到桂北黑云母花岗岩和四堡群变质岩中含 F 较高和黑云母花岗岩中普遍发育电气石化的特点,笔者采用了 3 种介质: 1. 二次蒸馏水; 2. $0.3\text{M KF} + 0.1\text{M NaCl}$ 水溶液; 3. $0.2\text{MH}_3\text{BO}_3$ 水溶液。前者用于含 Sn 黑云母花岗岩形成的实验,后两者用于含 F 卤盐和含 B 溶液对成岩温度和压力影响的实验。

在含有实验试料的金或银试管中,放入少量的 H_2O ($0.069\text{—}0.40\text{ml}$)或含 F($0.070\text{—}0.44\text{ml}$)或含 B($0.084\text{—}0.37\text{ml}$)的水溶液,然后封闭试管。

所有实验在高温高压装置快速淬火的高压釜中进行。温度由自动的精密控温仪(DWK-703)控制,一等标准铂-铂铑热电偶测温,精度达 1°C ,压力由压力表显示。实验温度为 $550\text{—}800^\circ\text{C}$,实验压力为 $500 \times 10^5\text{—}2\,000 \times 10^5\text{Pa}$ 。实验过程中先在 850°C 重熔 $3\text{—}4\text{h}$,然后以 $1^\circ\text{C}/\text{min}$ 的速率冷却到给定温度。实验持续时间为 $120\text{—}144\text{h}$ 。

实验产物首先在显微镜下用油浸法进行鉴定。在显微镜下观察文通组变质岩作试料的实验产物,经破碎,过 200 目的原始样品呈碎块或碎片状;熔化了但未结晶的呈团浆状。结晶出的新矿物一般晶形均很好。用化学试剂配制试料的实验产物易于区别出新晶出矿物。然后对于新形成的矿物测出其光性和折光率,初步定出矿物名称,最后作 X 光衍射分析,相互验证。

判别黑云母花岗岩是否形成的标志是看其实验产物中是否出现长石(钾长石或斜长石)-石英-黑云母 3 种造岩矿物。如果实验产物中该 3 种矿物一起结晶出,说明黑云母花岗岩已形成;如果只结晶出该 3 种矿物中任何 1 种或 2 种,都划为未形成黑云母花岗岩之列。后面实验结果的诸表和图中,只列出造岩矿物或画出黑云母花岗岩是否形成的符号,不再重复上述的判别标志。

3 实验结果及其在地质上的意义

通过四堡群文通组变质岩- H_2O 体系和用化学试剂配制四堡群岩石化学成分 的试料- H_2O 、试料-含 F 卤水溶液和试料-含 B 水溶液体系的上百次系统实验,其结果反映在图版 I-1—6、表 2,3,4,5 和图 2,3,4,5,6 上。

这些照片、表和图说明了:

1. 四堡群文通组变质岩-H₂O (不饱和)体系在 500×10^5 — $2\,000 \times 10^5$ Pa 的压力和 750—620℃ 的温度范围内, 用化学试剂配制四堡群岩石化学成分的试料-H₂O (不饱和)

表 2 桂北四堡群文通组变质岩-H₂O 体系的实验结果

Table 2 Experimental results of the metamorphic rocks of the Wentong Formation, Sibao Group in northern Guangxi in addition to water

实验号	实验温度 (°C)	实验压力 (10^5 Pa)	实验后的 pH	新形成的矿物
6 002	700	500	6.5	未出现新形成的矿物
6 008	730	500	5.5	未出现新形成的矿物
6 003	750	500	6.5	钠长石-石英-正长石-黑云母-锡石- α 堇青石
6 000	650	1 000	5.5	奥长石-中长石
6 009	680	1 000	5.5	奥长石-石英-正长石-黑云母-堇青石
6 001	700	1 000	5.5	奥长石-钠长石-石英-正长石-黑云母- α 堇青石-锡石
6 012	750	1 000	7.0	奥长石-钠长石-石英-正长石-黑云母- α 堇青石
6 004	600	1 500	5.7	未出现新形成的矿物
6 010	630	1 500	5.7	奥长石-石英-黑云母-白云母- α 堇青石-锡石
6 005	650	1 500	6.0	奥长石-中长石-石英-正长石-黑云母- α 堇青石
6 006	550	2 000	6.2	未出现新形成的矿物
6 007	600	2 000		未出现新形成的矿物
6 011	620	2 000	6.2	奥长石-钠长石-石英-正长石-黑云母-白云母- α 堇青石-锡石

其他实验条件: 实验样品为天然四堡群文通组变质岩 200mg; 挥发分: 二次蒸馏水; pH = 5.5; 实验持续时间为 168h。

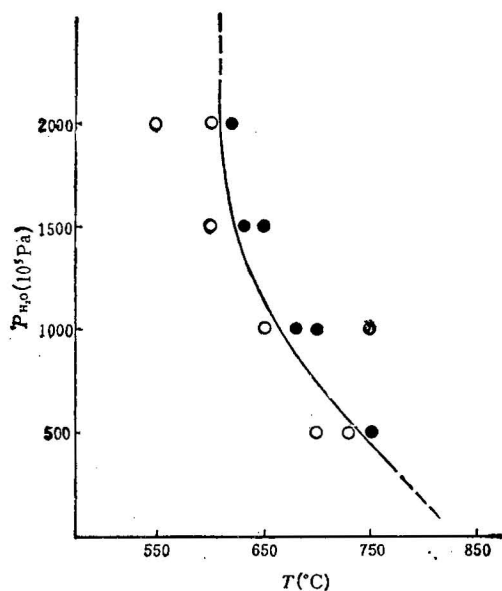


图 2 桂北四堡群文通组变质岩-H₂O 体系形成黑云母花岗岩的 P-T 图

Fig. 2 P-T diagram for the biotite granites formed by metamorphic rocks of the Wentong Formation of Sibao Group in northern Guangxi in addition to water

○ 未形成黑云母花岗岩; ● 形成了黑云母花岗岩

○ biotite granite not formed; ● biotite granite formed

体系在 $500 \times 10^5 - 2\,000 \times 10^5 \text{ Pa}$ 的压力和 $750 - 600^\circ\text{C}$ 的温度条件下, 用化学试剂配制四堡群岩石化学成分试料-含 F 卤水溶液(不饱和)体系在 $500 \times 10^5 - 2\,000 \times 10^5 \text{ Pa}$ 和

表 3 用化学试剂配制四堡群变质岩化学成分- H_2O 体系的实验结果

Table 3 Experimental results of the chemical components of the metamorphic rocks of the Sibao Group prepared by chemical reagents in addition to water

实验号	实验温度 ($^\circ\text{C}$)	实验压力 (10^5 Pa)	实验后的 pH	新形成的矿物
6 024	700	500	6.5	只出现长石晶质
6 036	725	500	6.5	只出现正长石-钠长石
6 025	750	500	6.3	钠长石-石英-正长石-黑云母-锡石
6 022	650	1 000	8.5	未出现新形成的矿物
6 030	670	1 000	6.7	石英-钠长石-正长石-黑云母-锡石
6 031	685	1 000	7.0	钠长石-石英-正长石-黑云母-锡石
6 023	700	1 000	7.0	透长石-石英-黑云母-锡石
6 029	600	1 500	6.5	烧结成块, 未形成新的矿物
6 028	620	1 500	6.5	钠长石-石英-正长石-黑云母-锡石
6 027	580	2 000	6.3	只出现了少量钠长石
6 037	600	2 000	6.5	奥长石-石英-正长石-黑云母-锡石
6 026	630	2 000	6.5	奥长石-石英-正长石-黑云母-锡石

其他实验条件: 实验样品为根据四堡群变质岩岩石化学成分配制 200mg 试料; 挥发分: 二次蒸馏水; pH=5.5 实验持续时间为 168h。

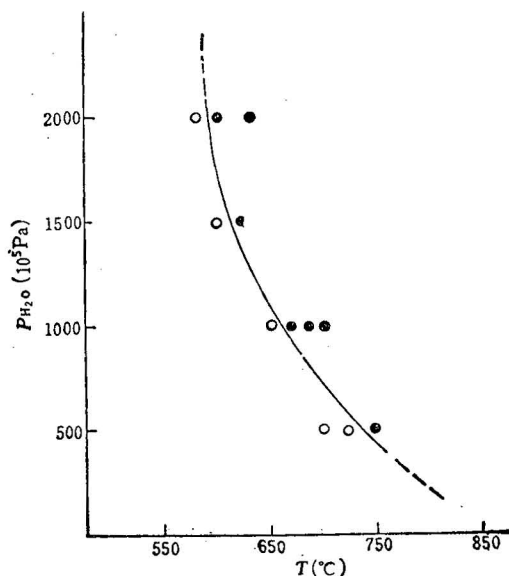


图 3 用化学试剂配制四堡群岩石化学成分- H_2O 体系形成黑云母花岗岩的 $P-T$ 图

Fig. 3 $P-T$ diagram for the biotite granites formed by the chemical components of the metamorphic rocks of the Sibao Group prepared by chemical reagents in addition to water

○. 未形成黑云母花岗岩; ●. 形成了黑云母花岗岩

○. biotite granite not formed; ●. biotite granite formed

表 4 用化学试剂配制四堡群变质岩石化学成分-含 F 卤水溶液体系的实验结果

Table 4 Experimental results of the chemical components of the metamorphic rocks of the Sibao Group prepared by chemical reagents in addition to F-bearing brine solutions

实验号	实验温度 (°C)	实验压力 (10 ⁵ Pa)	实验后的 pH	新形成的矿物
6 046	700	500	5.0	仅出现石英,未见斜长石和正长石
6 039	730	500	5.0	奥长石-石英-正长石-透长石-黑云母-锡石
6 035	770	500	6.7	钠长石-石英-正长石-黑云母-锡石
6 045	625	1 000	5.0	偶见正长石
6 040	650	1 000		钠长石-石英-黑云母-锡石
6 042	670	1 000	5.0	钠长石-石英-正长石-黑云母-锡石
6 034	710	1 000	6.5	钠-奥长石-石英-正长石-黑云母-锡石
6 044	575	1 500	5.0	未见形成新矿物
6 041	600	1 500	5.0	奥长石-石英-正长石-透长石-黑云母-锡石
6 033	630	1 500	6.7	奥长石-石英-黑云母-锡石
6 015	650	1 500	5.0	钠-奥长石-石英-正长石-黑云母-锡石
6 043	550	2 000	5.0	仅出现少量钠长石-正长石,未见石英产出
6 038	580	2 000	4.5	奥长石-石英-正长石-黑云母-锡石
6 026	630	2 000	6.5	钠-奥长石-石英-正长石-黑云母-锡石

其他实验条件: 实验样品为根据四堡群变质岩石化学成分配制 200mg 试料;挥发分 0.3M KF+0.1M NaCl 水溶液; pH = 6.5;实验持续时间 168h。

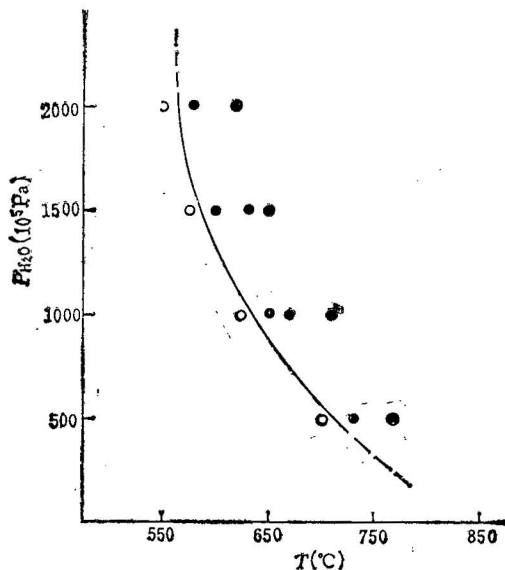


图 4 用化学试剂配制四堡群岩石化学成分-含 F 卤水溶液体系
形成黑云母花岗岩的 P-T 图

Fig. 4 P-T diagram for the biotite granites formed by the chemical components of the metamorphic rocks of the Sibao Group Prepared by chemical reagents in addition to F-bearing brine solution

○. 未形成黑云母花岗岩; ●. 形成了黑云母花岗岩

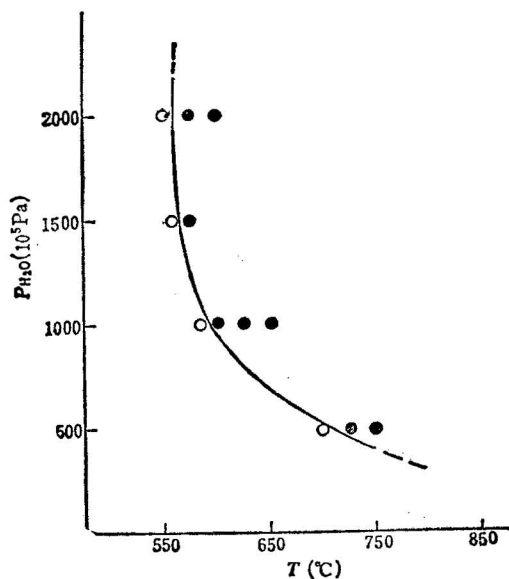
○. Biotite granite not formed; ●. biotite granite formed

表 5 用化学试剂配制四堡群变质岩石化学成分-含 B 水溶液体系的实验结果

Table 5 Experimental results of the chemical components of the metamorphic rocks of Sibao Group prepared by chemical reagents in addition to B-bearing aqueous solution

实验号	实验温度 (°C)	实验压力 (10 ³ Pa)	实验后的 pH	新形成的矿物
6 050	700	500	6.0	仅出现极少量的黑云母
6 056	725	500	7.0	正长石-石英-黑云母
6 057	750	500	6.7	石英-正长石-黑云母-电气石
6 055	585	1 000	7.0	偶见正长石
6 048	600	1 000	6.0	石英-(玉髓)-奥长石-正长石-锡石-黑云母
6 058	625	1 000		石英-正长石-奥长石-黑云母-锡石-电气石
6 049	650	1 000	6.0	石英-正长石-奥长石-黑云母-锡石-电气石
6 059	560	1 500	6.7	未形成新的矿物
6 053	575	1 500	6.7	石英-正长石-锡石-电气石-黑云母
6 047	550	2 000	6.0	未形成新的矿物
6 051	575	2 000	6.7	石英-钠长石-正长石-锡石-黑云母-电气石
6 052	600	2 000	6.7	石英-锡石-钠长石-正长石-黑云母-电气石

其他实验条件: 实验样品为根据四堡群变质岩石化学成分配制 200mg; 挥发分 0.2M H₃BO₃; pH = 4.8; 实验持续时间 168h。

图 5 用化学试剂配制四堡群岩石化学成分-含 B 水溶液体系形成黑云母花岗岩 P - T 图Fig. 5 P - T diagram for the biotite granites formed by chemical components of the metamorphic rocks Sibao Group prepared by chemical reagents in addition to B-bearing aqueous solution

○. 未形成黑云母花岗岩; ●. 形成了黑云母花岗岩

○. Biotite granite not formed; ●. biotite granite formed.

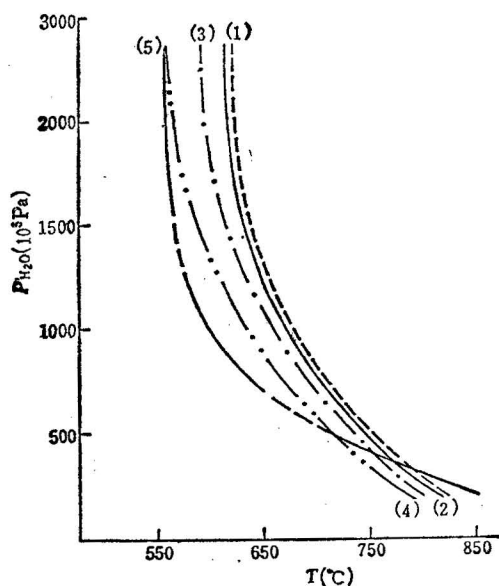


图 6 桂北四堡群变质岩形成黑云母花岗岩曲线(2)、(3)、(4)、(5)与雪峰期平英黑云母花岗岩初熔温度曲线(1)的对比

Fig. 6 Comparison of curves (2), (3), (4) and (5) of the biotite granite formed by the Sibao Group metamorphic rocks with curve (1) of the temperature of the starting melting for the Xuefengian Pingying biotite granite in northern Guangxi

- (1) 雪峰期黑云母花岗岩初熔温度曲线;
- (2) 四堡群文通组变质岩-H₂O 体系形成黑云母花岗岩曲线;
- (3) 用化学试剂配制四堡群变质岩化学成分-H₂O 体系形成黑云母花岗岩曲线;
- (4) 用化学试剂配制四堡群变质岩化学成分-含 F 卤水溶液体系形成黑云母花岗岩曲线;
- (5) 用化学试剂配制四堡群变质岩化学成分-含 B 水溶液体系形成黑云母花岗岩曲线

(1) Curve of starting melting temperature for the Xuefengian Pingying biotite granite; (2) curve of biotite granite formed by metamorphic rocks in the Wentong Formation of the Sibao Group-H₂O system; (3) curve of biotite granite formed by the chemical composition of metamorphic rocks of the Sibao Group prepared by chemical reagents-H₂O system; (4) curve of biotite granite formed by the chemical composition of the metamorphic rocks of the Sibao Group prepared by chemical reagents-F-bearing solution system; (5) curve of biotite granite formed by the chemical composition of metamorphic rocks of the Sibao Group prepared by chemical reagents in addition to B-bearing aqueous solution

730—580℃ 温度条件中和用化学试剂配制四堡群岩石化学成分的试料-含 B 水溶液 (不饱和)体系在 500×10^5 — 2000×10^5 Pa 压力和 725—575℃ 温度范围内,经过 168h 持续实验形成了含 Sn 黑云母花岗岩。

2. 实验形成的含 Sn 黑云母花岗岩中主要矿物成分是石英(图版 I-1)30%—40%、钾长石(主要是正长石,图版 I-2)20%—25%、斜长石(钠长石和奥长石,图版 I-3,4)15%—20%、黑云母(图版 I-5)5%—7%、锡石(图版 I-6)2%—3%、堇青石(图版 I-5) 3%—5% 和黑色电气石<1%。这些矿物的共生组合及其相对含量与桂北雪峰期含 Sn 黑云母花岗岩的矿物共生组合和它们的相对含量基本相同。

3. 实验形成的含 Sn 黑云母花岗岩的温度-压力曲线随着压力的增大, 温度逐渐降低, 这种变化规律与雪峰期平英黑云母花岗岩初熔温度曲线变化规律相一致。

4. 实验证明了在相同的 500×10^5 — $2000 \times 10^5 \text{Pa}$ 的压力下, 天然四堡群文通组变质岩-H₂O 体系形成黑云母花岗岩的温度与雪峰期平英黑云母花岗岩的初熔温度相近; 用化学试剂配制的四堡群岩石化学成分试料-H₂O 体系的成岩温度比前两者低 5—20℃; 用含 F 卤水溶液时, 成岩温度较前两者低 20—30℃; 用含 B 水溶液时, 成岩温度较前两者低 25—40℃。这就进一步说明 F、B、H₂O 等挥发分引起成岩温度的降低^[10-12]。

含 Sn 黑云母花岗岩形成实验的结果进一步阐明岩石化学成分中主要 8 种氧化物 (SiO₂、Al₂O₃、FeO、Fe₂O₃、CaO、MgO、K₂O、Na₂O) 的含量决定岩石类型的不同, 它们是成岩的内在因素, 温度和压力是成岩的主要外界条件, 而 F、B、Li 和 H₂O 等挥发分在降低成岩温度中起了重要的作用。

实验证明了桂北雪峰期含 Sn 黑云母花岗岩是在压力为 500×10^5 — $2000 \times 10^5 \text{Pa}$ 、温度在 750—850℃ 的范围内, 由四堡群变质岩部分重熔、再结晶而成, 属于壳源重熔型。

壳源重熔型花岗岩在华南分布很广, 它们与造山运动和断裂活动有着密切的空间联系。通过笔者和其他人^[13-17]的实验业已证明, 该类花岗岩浆不可能是从地幔橄榄岩或俯冲的辉长岩质洋壳最初熔融物中派生出来的原始岩浆, 也不可能从“玄武岩浆”分离出来的原始岩浆, 而是在不同时期的构造运动中, 在较低的压力下, 在区域变质温度范围内, 含有 1.5% 的 H₂O, 由具有斜长石-石英组合的地壳岩石熔融产生的花岗岩浆(图 7)。在成岩之前, 这类岩浆穿过 H₂O 过饱和界线, 到达近地表部位, 冷凝结晶成岩, 而其中的水在生成气泡中减少到 1.5% ±。或者当时华南深海或大洋沟沉积物被截聚, 并与大洋壳一起俯冲, 当发生高温逆进变质作用时, 这些沉积物熔融形成主要由云母、石英和 2 种长石组成的花岗岩。它们的形成是地槽沉积物或地壳物质局部熔融的结果, 或俯冲下去时沉积岩第一幕熔融、重结晶的产物。

4 结论

元古宙, 桂北宝坛-九万大山地区发生了四堡-雪峰运动。四堡群(8 200m)和上覆板溪群(2 582m)和震旦系长安组(970 m)的巨厚沉积物下降到超过 5 km 的区域变质作用深度, 沉积物孔隙中的水和矿物结晶水被挤压出, 在 800—850℃ 的温度范围

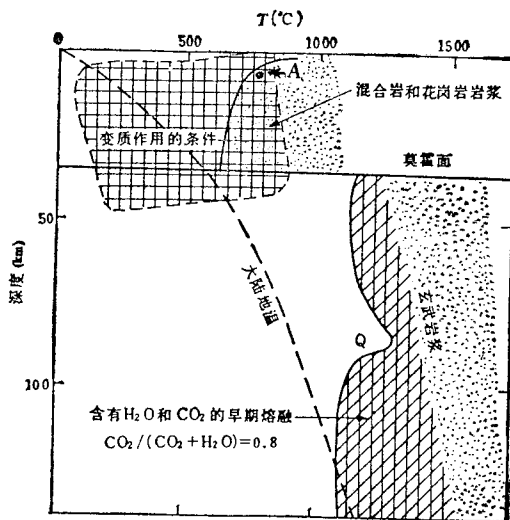


图 7 大陆地壳及其下伏地幔岩浆生成和变质作用深度-温度图(据 Wyllie, 1971, 1981)

Fig. 7 Depth-temperature diagram for metamorphism and magma generation in continental crust and underlying mantle (after Wyllie, 1978, 1981)

图中 A 点是桂北含 Sn 黑云母花岗岩形成的温度和压力条件
A. the conditions for the temperature and pressure of the Sn-bearing biotite granite formation in northern Guangxi

内,参与区域变质作用,导致四堡群中下部发生部分熔融形成花岗岩浆(图7)。而这些岩浆随着雪峰运动晚期的地壳隆起上升,侵位于四堡群上部鱼西组内,在750—570℃和 500×10^5 — 2000×10^5 Pa条件下形成雪峰期含Sn黑云母花岗岩。

参 考 文 献

- 1 涂光炽. 华南花岗岩类的地球化学. 北京: 科学出版社, 1979. 357—373页.
- 2 徐克勤, 孙雍等. 华南两类不同成因花岗岩岩石学特征. 岩矿测试, 1982, 1(2): 1—12.
- 3 毛景文, 宋叔和, 陈毓川. 桂北地区火成岩系列和锡多金属矿床成矿系列. 北京: 北京科学技术出版社, 1990.
- 4 刘昌实, 朱金初, 沈渭洲, 徐士进. 华南陆壳改造系列花岗岩类型划分和成岩物质来源. 地质学报, 1990, 64(2): 41—52.
- 5 Tuttle O F, Bowen N L. Origin of granite in the light of experimental studies in the system $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ — KAlSi_3O_8 — SiO_2 — H_2O . Soc. Am. Mem., 1958, 74: 153—164.
- 6 Хитаров Н И. К истории развития экспериментальных исследований в геохимии. Геохимия, 1962, 5: 471—472.
- 7 Winkler H G F, Lindemann W. The system $\text{Qz} - \text{Or} - \text{Ab} - \text{H}_2\text{O}$. Application to granitic magam formation. Neues Jahrb. Mineral Monatsh, 1972. 49—61.
- 8 Johannes W. Melting of plagioclase-quartz assemblages at 2 Kbar water pressure. Contrib. Mineral. Petrol., 1989, 103: 270—276.
- 9 吴福元, 林强. 天然花岗岩块的熔融实验及其岩石学意义. 长春地质学院学报, 1990, 20(2): 139—145.
- 10 Wyllie P J, Tuttle O F. Experimental investigation of silicate systems containing two volatile components, part III The effects of SO_2 , P_2O_5 , HCl , and Li_2O , in addition to H_2O on the melting temperatures of albite granite. Am. J. Sci., 1964, 262: 930—939.
- 11 Салова Т П. Влияние температуры на кислотную агрессивность флюида по отношению к силикатному Расплаву, Очерки Физико-Химической Петрологии, Выпуск IX. Москва: Издательство «Наука», 1980. 175—179.
- 12 Manning D A C. The effect of fluorine on liquidus phase relationships in the system $\text{Qz} - \text{Ab} - \text{Or}$ with excess water at 1 Kbar. Contrib. Mineral. Petrol., 1981, 76: 206—216.
- 13 Winkler H G F, V platen H. Experimentelle Gesteinsmetamorphose II. Bildung von anatektischen Granitischen Schmelzen bei der Matamorphose van NaCl -führenden Kalkfreien Tonen. Geochim. Cosmochim. Acta, 1958, 15: 91—112.
- 14 Winkler H G F, V platen H. Experimentelle Gesteinsmetamorphose III. Anatische Ultrametamorphose Kalkhaltiger Tonen. Geochim. Cosmochim. Acta, 1960, 18: 294—316.
- 15 Winkler H G F, V Platen H. Experimentelle Gesteinsmetamorphose IV, Bildung anatektischer Schmelzen aus metamorphisierten Grauwacken. Geochim. Cosmochim. Acta, 1961, 24: 48—69.
- 16 Huang W L, Wyllie P J. Melting reactions in the system $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ — KAlSi_3O_8 — SiO_2 to 35 Kilo-bars, dry and with excess water. J. Geol., 1975, 83: 737—748.
- 17 Johnston A D, Wyllie P J. Interaction of granitic and basic magmas: Experimental observations on contamination processes at 10 Kbar with H_2O . Contrib. Mineral., Petrol. 1988, 98: 352—362.

图 版 说 明

1. 实验形成的石英(Q)和正玉髓晶体(Ort) (No. 6041), 油浸, 单偏光, $\times 1360$.
2. 实验形成的正长石晶体 (Or) (No. 6038), 油浸, 单偏光, $\times 1360$.
3. 实验形成的奥长石晶体 (Oli) (No. 6015), 油浸, 单偏光, $\times 1360$.
4. 实验形成的钠长石(Ab)、正长石(Or)和石英(Q)共生 (No. 6015), 油浸, 单偏光, $\times 1360$.
5. 实验形成的黑云母(Alb)和堇青石(Im)的晶体 (No. 6011), 油浸, 单偏光, $\times 1360$.
6. 实验形成绿色假六边形或浑圆状的锡石 (Cas) (No. 6028), 油浸, 单偏光, $\times 1360$.

EXPERIMENTAL STUDY ON THE MECHANISM FOR THE FORMATION OF Sn-BEARING GRANITE IN NORTHERN GUANGXI

Liang Xiangji, Qiao Li, Wang Fusheng and Yang Chonghui
(*Institute of Geology, Chinese Academy of Geological sciences, Beijing*)

Abstract

The authors intensively studied natural granites and metamorphic rocks of the Sibao Group in northern Guangxi, and found the genetic relation between Xuefengian Sn-bearing granite and Sibao'an metamorphic rocks in many macroscopic and microscopic respects through observations of field geology, study of the remains for melted metamorphic rocks, comparison of the mineralogy, petrological chemistry, trace elements, rare earth elements in granites with those in wallrocks, isotopic analysis of granites and calculation of partial melting formula. On that basis experiments of rock formation were performed.

All experiments were carried out in instruments of quick quenching at high temperatures and high pressures. Experimental samples were those collected from natural metamorphic rocks in northwestern Guangxi and the mixtures prepared by chemical reagents according to the chemical compositions of the metamorphic rocks of the Sibao Group, which contained a little water. Experimental products were studied under the microscope and by X-ray.

Experimental results proved that Xuefengian Sn-bearing granites in northern Guangxi are formed by melting of the Proterozoic metamorphic rocks of the Sibao Group at $(500-2000) \times 10^5 \text{Pa}$ and $750-575^\circ\text{C}$. The results of experiments tally with the reality of the field geology. The authors have brought to light the mechanism of the formation of Sn-bearing granites, and expounded its significance in the crust dynamics of South China.

Key words: experimental study, Sn-bearing granite, formation mechanism, northern Guangxi

作 者 简 介

梁祥济, 生于1937年12月。1964年毕业于北京地质学院三系稀有和分散元素专业。长期从事实验岩石学、矿物学和地球化学方面的研究, 现任中国地质科学院地质研究所副研究员。通讯地址: 北京百万庄路26号中国地质科学院地质研究所。邮政编码: 100037。

