

粤北梅子窝钨矿区花岗岩体岩浆动力学特征分析

卞 霄¹, 田晗钰¹, 吴 限², 李社宏¹, 韦龙明¹

(1. 桂林理工大学 地球科学学院, 广西 桂林 541006;

2. 四川志德岩土工程有限责任公司, 四川 成都 610000)

摘 要:基于梅子窝钨矿床地质特征,以构造地质学、流体力学等为主要研究手段,结合前人对梅子窝钨矿隐伏花岗岩侵入体地球化学特征的研究数据,对矿区岩体形成时的温度、岩浆密度、岩浆粘度、岩浆冷凝速度等岩浆动力学参数进行计算分析岩浆动力学特征,得出有利于梅子窝钨矿形成的岩浆动力学性质,包括岩浆粘度的明显异差促使矿化分带;岩浆密度的不明显变化使岩浆侵位过程中不易发生对流,有利于能量聚;岩浆冷却速度缓慢使其有足够的时间满足矿物晶体生长,有利于成矿元素的充分聚集。通过对花岗岩体侵位机制岩浆动力学方面的深入探讨,查明了岩体侵位与钨矿化的关系,总结矿床成因的流体动力学依据,为矿床成因探讨和矿山可持续开发利用提供了科学依据。

关键词:梅子窝钨矿;花岗岩体;岩浆动力学;流体力学;侵位机制;粤北

中图分类号:P618.67;P588.12⁺1 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-5663(2018)04-0695-07

0 引言

粤北瑶岭—梅子窝钨成矿带地处华南湘、赣、粤、钨矿成矿区的南部,是华南钨矿区重要的组成部分^[1],该成矿带的主要赋矿地层为古生代和中生代地层,成矿岩体主要为燕山期中酸性隐伏花岗岩。众所周知,大多数稀有元素矿床空间上都与花岗岩类有着密切相关的联系,而花岗岩岩浆的上侵也是大陆地壳增生最主要的方式之一。前人对南岭钨矿区的研究大多以成矿花岗岩体的化学作用为主,分析成矿元素来源,成矿岩体侵位模式及年龄等^[1],而马昌前^[2]却提出岩浆活动不但是一个化学作用的过程,同时也是一个物理作用的过程。本文基于前人对粤北梅子窝钨矿区的研究^[3-5],通过对岩体形成时的温压条件、岩浆密度、岩浆粘度、岩浆冷凝速度等岩浆动力学参数进行计算,分析岩浆动力学特征,从岩浆本身物理性质出发,整合前人的分析研究结果,为矿床的成因分析提供了流体动力学依据。

1 地质概况

1.1 区域地质概况

中国南岭及其邻区是我国乃至全球最重要的钨成矿区,粤北地区是南岭钨矿成矿带的重要组成部分,同时也是我国第五大产钨区^[6]。该区位于近EW向的印支构造带和燕山期与太平洋板块俯冲有关的NNE向构造带的叠加转换部位,经历了加里东期、印支期以及燕山期的多期次构造、岩浆作用^[7-8]。

区域内发育近EW向、NE向、NNE向和NW向四组断裂,断裂活动具有多期性、继承性、复合性等特点^[3,10]。钨的成矿主要与NWW向断裂构造产生的张裂隙有关。同时,区域内侵入岩发育,出露有印支期的花岗闪长岩($\gamma\delta\frac{1}{5}$)、英安玢岩($\lambda\sigma\pi\frac{1}{5}$)、燕山早期的九峰花岗岩体($\gamma\frac{2}{5}$)、贵东花岗岩体($\gamma\frac{2}{5}$)、白基寨二长花岗岩体($\gamma\frac{2}{5}$)以及燕山晚期的二云母花岗岩($\gamma\frac{3}{5}$)等(图1)。

研究认为,与华南成矿关系最为密切的岩体为燕山期花岗岩,其中与成矿相关的花岗岩一般初期主要

收稿日期:2018-06-04; 修回日期:2018-06-21

基金项目:国家深部探测计划专项研究课题(SinoProbe-03-01-03)、全国危机矿山接替资源勘查专项典型矿床研究课题(20109908-1)资助。

第一作者简介:卞霄(1995—),女,在读本科生,资源勘查工程专业。E-mail:1969333627@qq.com

通信作者简介:韦龙明(1959—),男,博士,教授,从事成矿规律与矿床成因研究。E-mail:2004001@glut.edu.cn

引文格式:卞霄,田晗钰,吴限,等.粤北梅子窝钨矿区花岗岩体岩浆动力学特征分析[J].矿产与地质,2018,32(4):695-701.

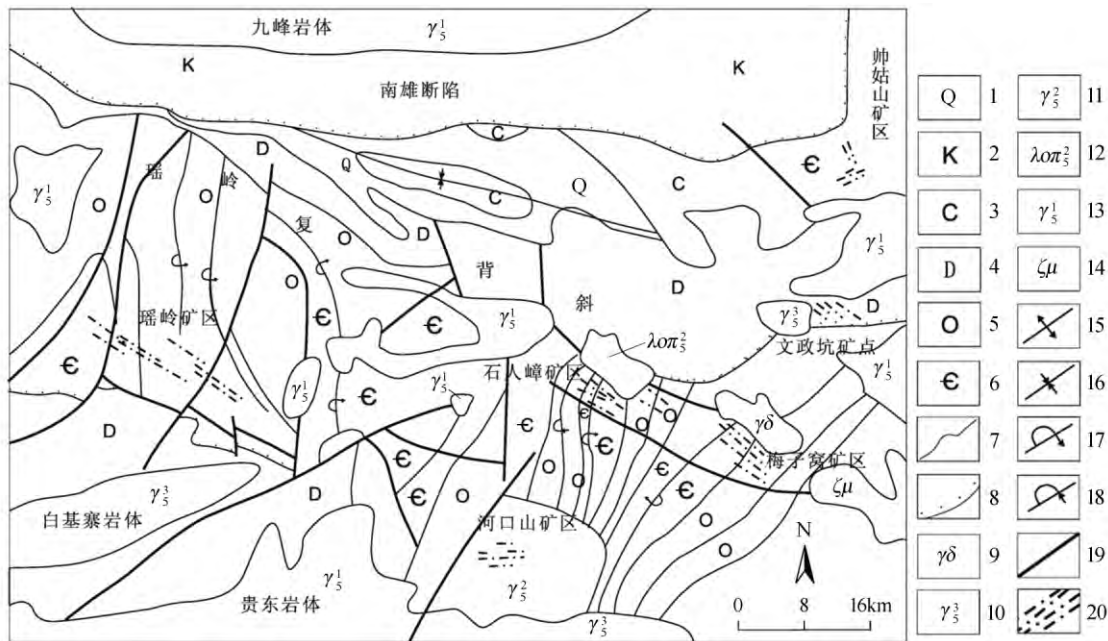


图1 瑶岭—梅子窝钨矿区域地质图(引自文献^[9],略有修改)

Fig.1 Regional geology map of Yaoling -Meiziwo tungsten mining area

1—第四系 2—白垩系 3—石炭系 4—泥盆系 5—奥陶系 6—寒武系 7—地质界线 8—不整合界线 9—花岗闪长岩
10—燕山晚期二云母花岗岩 11—燕山早期花岗岩 12—燕山早期石英斑岩 13—印支期花岗岩 14—英安玢岩 15—背斜 16—
向斜 17—倒转背斜 18—倒转向斜 19—断层 20—钨矿化带

为黑云母花岗岩,经过演化以后多为白云母花岗岩,整个演化顺序为黑云母花岗岩→二云母花岗岩→白云母花岗岩^[8]。在区域内一般呈中小花岗岩体出现,部分隐伏在地层或前期中酸性岩体之下。尽管对花岗岩存在一些争议^[11],但大部分人还是认为燕山期与成矿有关的花岗岩主要为壳源花岗岩^[12]。在加里东运动时期,研究区内最为重要的构造格架基础开始形成,在中生代构造体制开始发生转换这一动力学背景对本区成岩以及成矿起决定性作用^[13]。

瑶岭—梅子窝钨矿带具体位于 NE 向瑶岭复背斜的核部(图 1),西起瑶岭钨矿,东到梅子窝钨矿,南北宽约 12km,东西长约 30km。在瑶岭复背斜核部钨矿资源丰富,为钨矿床(点)集中区^[5]。成矿带自西向东分布着瑶岭、石人樟、梅子窝三个大-中型钨矿床,均为石英脉(脉带)型,除此之外,还有师姑山、河口山等小型矿床、矿点。矿带周围还分布着江西西华山、大吉山、岢美山、广东锯板坑等著名的大型钨矿床。该区域出露地层较为齐全,从寒武系~白垩系均有出露,其中最主要的赋矿地层为寒武系~奥陶系,岩石类型主要为浅变质石英岩、灰岩、细砂岩、板岩等;泥盆系、石炭系地层与寒武系~奥陶系呈角度不整合接触,分布于复背斜的南、北两翼。白垩系主要分布于北部的南雄盆地,为陆相碎屑岩及火山岩地层。

1.2 矿区花岗岩发育特征

在梅子窝矿区主要有 3 个期次岩浆活动。分别

为加里东期都坑英安玢岩;印支期樟下花岗闪长岩和隐伏于印支期下的燕山中期花岗岩(图 2)。其中印支期和燕山期岩体为本文的主要研究对象,细分为上部的中粗粒蚀变花岗闪长岩和下部的中细粒蚀变二长花岗岩,两者为渐变接触关系,均为灰色-浅灰色,为同源花岗岩分异结晶的不同。

印支期中粗粒蚀变花岗闪长岩在空间上分布于沉积变质岩石之下(图 2),两者为断层接触关系,一般断层的厚度在 1~3m 之间。

燕山期中细粒蚀变二长花岗岩(前人均归为花岗闪长岩,或定为二云母花岗岩),与上部花岗闪长岩为渐变接触。二长花岗岩呈灰-灰绿色,致密块状构造,中细粒花岗结构,岩石粒度向下有变小的趋势,一般出露在 150~350m 中段。由于后期岩石经历了热变质作用,使得黑云母基本绿泥石化,部分斜长石绢云母化和钾长石交代蚀变。薄片鉴定,41-1、41-14 和 43-7 三件样品的斜长石、钾长石和石英各占 30%左右,而 42-13 号样品中斜长石 85%~90%,钾长石 10%~15%。

细粒二长花岗岩与上部中细粒蚀变二长花岗岩呈侵入接触关系。细粒二长花岗岩呈块状构造,细粒花岗结构。岩石主要造岩矿物含量:斜长石 40%~45%,钾长石 30%~35%,石英>20%,白云母 3%~5%,黑云母 1%~5%。副矿物为磁铁矿等。次生矿物有绢云母、黄玉、石榴石、高岭土、萤石、石英等。

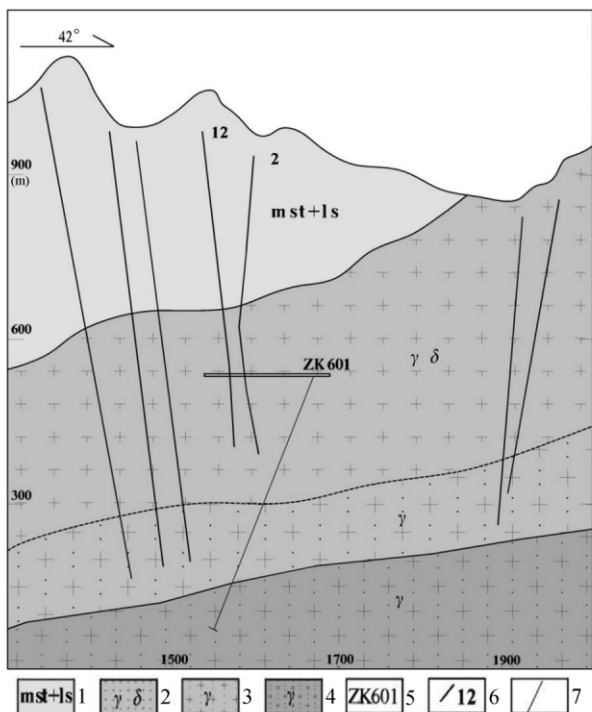


图 2 梅子窝 6 勘探线岩石剖面简图^[4]

Fig.2 Schematic diagram of rock-layer sectional map of Meiziwo exploration line No.6

1—变质砂岩、板岩 2—中粗粒花岗闪长岩 3—中细粒二长花岗岩 4—细粒二长花岗岩 5—钻孔编号 6—矿脉及编号 7—坑内钻孔位置

2 岩浆动力学特征及参数计算

流体可根据其力学性质分为牛顿流体和非牛顿流体。其中,牛顿流体是一种具有粘度恒定不变的流体,剪应力和流速梯度之间存在着线性关系,满足牛顿内摩擦定律;而非牛顿流体的粘性系数随流速梯度的变化而变化,剪应力和流速梯度间并不存在线性关系,也因此不满足牛顿内摩擦定律。因为牛顿流体的粘性系数是常数,故而使得相关计算和研究比较简便。当岩浆流体处于高于液相线温度的条件时,一般可作为牛顿流体来处理^[14],但当岩浆中悬浮晶体的体积分数达百分之几时,就可能表现出“宾汉型”塑性流体的流变学行为,具有一定的屈服强度。花岗质岩浆中一般含少量晶体,多表现出非牛顿流体行为,故本文相关研究均建立在将研究区岩浆定义为非牛顿流体的基础上。

2.1 岩体形成时的温度

研究岩体形成温度可以更直观的认识成岩作用发生时的物理化学条件,总结成岩、成矿规律,建立成岩、成矿模式。按照黄茂新^[15]提出的温度求取方法,首先按岩石化学成分(表 1)计算出二长石中钠长石分子的百分含量,之后运用公式求得两种共生长石结晶时的均衡温度,即为岩体形成温度的下限。

表 1 梅子窝矿隐伏花岗岩主量元素值

Table 1 Main element values of concealed granite of Meiziwo tungsten deposit

指标	细粒二长花岗岩及样号					中细粒二长花岗岩及样号				
	M601	M602	M603	M604	M605	41-16	41-14	43-7	42-13	P1
SiO ₂	75.54	77.66	76.54	75.82	75.1	67.64	67.32	67.04	52.2	67.88
Al ₂ O ₃	13.06	11.97	12.6	13.07	13.38	13.87	14.18	13.69	18.89	14.13
TiO ₂	0.01	0.01	0.001	0.001	0.001	0.39	0.39	0.56	0.5	0.41
Fe ₂ O ₃	0.02	0.03	0.001	0.01	0.5	0.62	0.67	0.78	1.00	0.79
FeO	0.55	0.57	0.46	0.53	0.91	3.07	3.28	3.93	2.68	2.97
CaO	1.19	1.23	1.11	0.96	1.11	3.12	3.60	2.46	7.59	3.38
MgO	0.09	0.12	0.08	0.08	0.08	1.53	1.60	1.95	1.80	1.59
K ₂ O	4.4	3.81	4.8	4.08	3.37	4.48	3.72	5.55	3.83	4.04
Na ₂ O	3.88	3.04	3.34	4	4.6	2.57	2.61	1.56	5.62	2.38
MnO	0.094	0.125	0.083	0.138	0.19	0.08	0.077	0.059	0.102	0.070
P ₂ O ₅	0.01	0.04	0.01	0.04	0.04	0.13	0.14	0.17	0.18	0.14
H ₂ O ⁺	0.62	0.82	0.71	0.52	0.62	1.24	1.18	1.42	2.06	1.32
H ₂ O ⁻	0.62	0.82	0.71	0.52	0.62	0.08	0.25	0.15	0.20	0.18
LOSS	0.87	1.24	0.89	0.87	0.85	2.16	2.12	2.63	5.12	1.82
TOTL	99.81	99.85	99.91	99.6	110.1	99.67	99.71	100.38	99.51	99.60
来源	翁海蛟 ^[16]					李社宏 ^[4]				

注:P1 为花岗闪长岩的平均值^[4],表中数据量单位为 $w_B/10^{-2}$ 。

根据花岗岩主量元素的重量比,得出梅子窝细粒二长花岗岩的 Al_2O_3 、 K_2O 、 Na_2O 、 CaO 的分子量分别为 0.149、0.037、0.061、0.022,花岗闪长岩分别为 0.164、0.037、0.038、0.065,两者都属于铝过饱和系列花岗岩。中细粒二长花岗岩的 Al_2O_3 、 K_2O 、 Na_2O 、 CaO 的分子量分别为 0.176、0.040、0.050、0.081,属于正常系列花岗岩。

根据标准溶液热力学原理得出下列关系式:

$$T(K) = (A + BP) / [-1.9872 \ln \times (X_{AB,AF} / X_{AB,PF}) + C] \quad (1)$$

式中: $X_{AB,PF}$ 、 $X_{AB,AF}$ 分别为 Na 分子在斜长石和碱性长石中的百分含量, T 为绝对温度($^{\circ}\text{C}$), P 为压力值(MPa), 参数 A 、 B 、 C 在高温结构态的透长石-高温斜长石系列中分别为:

$$A = 6926.7 - 99.63.2X_{AB,AF} + 943.3X_{AB,AF}^2 + 2690.2X_{AB,AF}^3;$$

$$B = 0.0925 - 0.1458X_{AB,AF} + 0.0141X_{AB,AF}^2 + 0.0392X_{AB,AF}^3;$$

$$C = 4.6321 - 10.815X_{AB,AF} + 7.7345X_{AB,AF}^2 - 1.5512X_{AB,AF}^3。$$

在低温微斜长石-低温斜长石系列中分别为:

$$A = 7973.1 - 16910.6X_{AB,AF} + 9901.9X_{AB,AF}^2;$$

$$B = 0.11 - 0.22X_{AB,AF} + 0.11X_{AB,AF}^2;$$

$$C = 6.48 - 21.58X_{AB,AF} + 23.72X_{AB,AF}^2 - 8.62X_{AB,AF}^3。$$

据上,计算得出花岗闪长岩的形成温度为 931.5°C ,

中细粒二长花岗岩的形成温度为 927.7°C ,细粒二长花岗岩的形成温度为 685.7°C 。结果显示细粒二长花岗岩的成岩温度远远低于花岗闪长岩和中细粒二长花岗岩的成岩温度。此外,中粗粒花岗闪长岩在中细粒二长花岗岩之上,与下部隐伏的浅色细粒二长花岗岩为侵入接触关系。

2.2 岩浆粘度

粘度是影响硅酸盐熔体动力学行为的最重要的参数之一。岩浆粘度制约着岩浆起源和演化等一系列动力学过程。地下深处岩浆的粘度是控制岩浆分异、上升、晶体下沉、岩浆混合等过程的重要物理因素之一^[17]。岩浆粘度与岩浆的分离程度成反比,相对低的粘度和密度有利于花岗岩浆的上升和侵位^[18],反之亦然。在此基础上,稳定的热力学环境和较强的活动性,更有利于岩浆分异作用的发生和成矿作用的进行^[19]。Shaw^[20]提出的粘度-温度关系计算公式如下:

$$\ln \eta = S(10^4/T) - 1.50S - 8.70$$

$$S = \sum X_i (S_i^0 X_{\text{SiO}_2}) / (1 - X_{\text{SiO}_2}) \quad (2)$$

其中 η 为粘度($\text{Pa} \cdot \text{s}$), T 为热力学温度($^{\circ}\text{C}$), S 为阿累尼乌斯斜率, S_i^0 为各主要氧化物的阿累尼乌斯斜距,是一个常数(表 2)。 X_{SiO_2} 为 SiO_2 的摩尔分数, X_i 为除 SiO_2 以外各主要氧化物的摩尔分数,其中 S_i^0 为常数(表 2)。根据上述粘度-温度关系计算公式计算细粒二长花岗岩与中细粒二长花岗岩溶体在 $700^{\circ}\text{C} \sim 1000^{\circ}\text{C}$ 时的粘度值,结果见表 3。

表 2 主要氧化物的阿累尼乌斯斜距

Table 2 Arrhenius slant distances of main oxides

主要氧化物	Al_2O_3	CaO	TiO_2	FeO	MgO	H_2O	K_2O	Na_2O	LiO_2
斜距(S_i^0)	6.7	4.5	4.5	3.4	3.4	2.0	2.8	2.8	2.8

表 3 梅子窝隐伏花岗岩体不同相带岩浆在不同温度下的粘度

Table 3 Magmatic viscosity of different faces at different temperatures of concealed granite in Meiziwo

岩相	样品数 (个)	S	$\ln \eta$			
			700°C	800°C	900°C	1000°C
花岗闪长岩	9	3.640	37.81	31.32	26.26	22.22
中细粒二长花岗岩	4	3.420	35.06	28.96	24.20	20.40
细粒二长花岗岩	5	4.101	43.73	36.41	30.72	26.16

注: S 为阿累尼乌斯斜率; 粘度 η 的量单位为 $\text{Pa} \cdot \text{s}$

中细粒二长花岗岩与细粒二长花岗岩均属于二长花岗岩,依据矿物颗粒的大小对其进行分类,结合肉眼观察矿物类型并根据化学成分投图确定岩石类型,化学成分完全相同的岩石不一定为同一类型的岩石。岩石的类型本身就是由岩浆的性质所决定的,所以该论述其实可认为是一倒推的过程,并不是无意义,并且同一岩体的各项岩浆性质也可以进行横向比较。

如上表所示,温度与粘度之间成明显的负相关关系。此外,燕山中期的隐伏花岗岩从早到晚,岩浆粘度升高,据此推测梅子窝隐伏岩体产生分带的原因之一为岩浆粘度的差异。

2.3 岩浆密度

岩浆密度同岩浆粘度一样,是影响硅酸盐熔体动力学行为的最重要的参数,对岩浆分异作用有着重要的作用,除此以外,也控制着岩浆上升或下降的速率,岩浆中密度梯度的存在可能会引发对流现象的产生^[21-22]。这也导致了岩浆冷却速度的大大提升,差值可达 24 倍。密度差异的存在使得携带挥发组分及其他物质的低密度流体将与主岩浆分离,上升至主岩浆

顶部不断富集,这往往直接导致了矿化作用的发生^[19]。

在计算硅酸盐熔体密度时需要将熔体的结构、成网和变网阳离子数以及温压条件等熔体密度的主控因素相结合进行整体分析,本文运用^[23]提出的利用氧化物摩尔体积求取多物质组成硅酸盐体系熔体密度的方式:

$$\rho = \sum X_i M_i / V_m(T) \quad (3)$$

其中: $V_m(T) = \{\sum X_i V_i^0 + X_A [V^* + X_A (\sum X_j K_j / \sum X_j)]\} \times \exp\{[\sum X_i \alpha_i^0 + X_A (\alpha^* + K_a (V^* + X_A (\sum X_j K_j / \sum X_j)))](T - T_r)\}$

式中: X_A 为 Al_2O_3 的摩尔分数, X_i 为除 Al_2O_3 以外所有氧化物组分的摩尔分数, M_i 为除 Al_2O_3 以外所有氧化物组分的摩尔质量, V^* 、 α^* 、 K_a 、 K_j ($j = Al_2O_3, CaO, Na_2O, MgO, Fe_2O_3, K_2O$)、 α_i^0 、 V_i^0 (除 Al_2O_3 以外各组分的偏摩尔体积)、 T_r (参考温度为 $1400^\circ C$) 为常数(严成文等, 2009), 对莲花山隐伏花岗岩体不同相带在不同温度下 ($700^\circ C \sim 1000^\circ C$) 熔体密度进行计算, 结果见表 4。

表 4 不同温度下的熔体密度

Table 4 Melted density at different temperatures

岩体	$\sum X_i M_i$	700°C		800°C		900°C		1000°C	
		$V_m(T)$	ρ	$V_m(T)$	ρ	$V_m(T)$	ρ	$V_m(T)$	ρ
花岗闪长岩	55.14	27.91	1.976	27.92	1.975	27.93	1.974	27.94	1.973
中细粒二长花岗岩	54.90	28.04	1.958	28.05	1.957	28.06	1.957	28.07	1.956
细粒二长花岗岩	55.88	27.89	2.004	27.90	2.002	27.91	2.002	27.92	2.001

注: 熔体密度 ρ 的量单位为 kg/m^3

由表 4 可见, 花岗闪长岩、中细粒二长花岗岩和细粒二长花岗岩的熔体密度均随着温度的升高而降低, 且每升高 $100^\circ C$, 熔体密度降低大约 0.001; 同时, 在不同温度下其熔体密度关系为细粒二长花岗岩的熔体密度 > 花岗闪长岩的熔体密度 > 中细粒二长花岗岩的熔体密度。我们将熔体粘度与熔体密度的计算结果(表 3、4)进行对比, 不难发现同一种岩体、不同温度, 熔体粘度随熔体密度的增加而增加, 为正相关关系, 且两者均与温度成负相关关系, 随温度的升高, 二者逐步降低。与此同时我们发现虽然相同温度下, 不同期次的岩体密度不同, 但其之间的密度值差值很小, 同样在温度发生变化时同种岩体的熔体密度值也没有太大的变化。由此推测当岩浆升温时, 其中

并未发生明显的对流现象以缩短冷凝时间, 同时较小的密度差表明岩浆在侵位过程中以自身膨胀所取得的空间并不大, 这意味着岩浆作用后期为与构造活动有关的被动侵位。

2.4 冷却速率

岩浆作用是一个动态的过程, 期间岩浆的温度会随着时间的变化而发生变化, 研究岩浆的分异演化的主要方法就是对侵入体进行温度-时间的热历史分析。当应用不同的同位素体系进行测年时, 会出现不同的结果, 这是由于元素扩散的漫长性及不同矿物之间结晶封闭温度的差异性。不同的冷却速率使得不同体系的同位素年龄测定具有不同的地质意义。前人在梅子窝钨矿的同位素年龄测定方面有着相对多

的研究数据。

研究表明:如若不同矿物不同手段测得的地质体形成年龄差距不大,则该地质体拥有极快的平均冷却速率,矿物封闭温度的差异对其的影响可以忽略不计,测得的时间可以直接被认为是地质体的形成年龄。如若测定结果不一致,拥有最高封闭温度的矿物,其年龄测定值通常最接近岩体形成年龄^[25]。对比 K-Ar 同位素体系和 Rb-Sr 同位素体系各矿物及全岩的封闭温度,可以得出 Rb-Sr 同位素体系的全岩测定温度即为岩浆成岩的下限温度的结论。

前人对梅子窝钨矿区的隐伏花岗岩成岩年龄分析研究比较详尽细致。地矿部在 1989 年通过 K-Ar 同位素法测得梅子窝矿区花岗岩的年龄为 141Ma, SRIMP 锆石 U-Pb 年龄为(158±2)Ma^[5]。南山花岗岩体的 SRIMP 锆石年龄为(158.1±1.8)Ma。梅子窝钨矿白云母³⁹Ar-⁴⁰Ar 等时线年龄为(155.67±0.68)Ma(MSWD=1.06)^[5],不同的封闭体系之间约有 19Ma,这 19Ma 之间岩体温度从近 1000℃冷却至 350℃,其冷却速率约为 34.7℃/Ma,瑶岭钨矿白云母样品³⁹Ar-⁴⁰Ar 等时线年龄为(149.35±1.26)Ma(MSWD=10.01),莲花山花岗岩这样缓慢的冷却速度使得花岗岩熔体的结晶分异作用有充分的时间完成,这对成矿而言是极为有利的。如果不考虑 K-Ar 年龄,那么锆石年龄和 Ar-Ar 年龄是很相近的,花岗岩体的云英岩化是钨矿化的重要指示标志,说明花岗岩中白云母和钨矿中白云母具有成因联系,成矿期与成岩期很接近,都是同一封闭体系下的产物。

2.5 岩浆对流分析

岩浆在结晶分异过程当中是否发生对流,对岩浆作用后期成矿有很大的影响。本文我们运用无量纲瑞利数 Ra (Rayleigh Number) 来分析梅子窝花岗岩岩浆作用过程的相对稳定性,表达式如下:

$$Ra = Pr \times Gr = \frac{v}{\alpha} \times (g\beta L^3 \Delta T / V^2) = \frac{g\beta L^3 \Delta T \rho}{\eta \alpha} \quad (4)$$

式中: α 为热扩散系数,取 $\alpha' = 5 \times 10^{-5} K^{-1}$; b 为膨胀系数,取 $b = 5 \times 10^{-7} m^2/s$; g 为重力加速度(m/s^2); η 为粘度($Pa \cdot s$); V 为运动粘度(cSt); L 为岩体直径(m); ρ 为岩浆密度(kg/m^3)。岩浆粘度、密度根据上文所求数值,则有 $Ra \approx 0.001L^3$ 。根据流体力学理论及前人研究表明,系统产生对流作用的条件是 $Ra > 1700$,徐晓春等^[22]提出岩浆熔体发生对流的条件是 $Ra > 10^4$,通过分析认为梅子窝花岗岩岩浆并没有发生岩浆对流的条件,这与我们通过计算冷却速率

得出的岩浆无对流现象的推测相吻合,保证了成矿作用过程有足够的能量和时间。

3 结论

(1)梅子窝隐伏花岗岩岩浆在上升侵位的过程中,岩浆的密度、温度、压力等逐渐增大,不同时期岩浆密度值相差甚小,即使逐渐增大,也无法形成密度梯度。表明岩浆在侵位过程中以自身膨胀所取得的空间并不大,岩浆作用后期为与构造活动有关的被动侵位。

(2)34.7℃/Ma 的缓慢冷却速率使得岩浆有充分结晶分异的时间,这有利于成矿元素的充分聚集,是梅子窝钨矿形成的又一重要条件。

(3)无量纲瑞利数计算结果否定了梅子窝钨矿花岗岩岩浆作用过程中发生岩浆对流作用的可能,所以在岩浆冷凝过程中,热量集中没有过多消散,花岗岩岩浆将有足够的能量与时间完成一系列成岩成矿作用。

参考文献:

- [1] 姜海,李文铅.梅子窝钨矿加里东期花岗闪长岩的地球化学特征及岩石成因探讨[J].中国钨业,2013,28(6):1-7.
- [2] 马昌前.一门新兴的边缘学科:岩浆动力学[J].世界科学,1987(6):45-47.
- [3] 李社宏,李文铅,赵凤生,等.瑶岭—石人嶂钨矿构造动力特征探讨[J].中国钨业,2008,23(3):1-6.
- [4] 李社宏.粤北梅子窝钨矿深部矿脉分布规律研究[D].广州:中国科学院广州地球化学研究所,2010:37-47.
- [5] 翟伟,孙晓明,郭云山,等.粤北梅子窝钨矿区隐伏花岗闪长岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄与⁴⁰Ar/³⁹Ar 成矿年龄及其地质意义[J].高校地质学报,2010,16(2):177-185.
- [6] 吴限,江晓龙,韦龙明,等.粤北石人嶂莲花山隐伏花岗岩侵入体岩浆动力学特征分析[J].地质与勘探,2018,54(1):31-40.
- [7] 华仁民,陈培荣,张文兰,等.华南中、新生代与花岗岩类有关的成矿系统[J].中国科学:D辑 地球科学,2003,33(4):335-343.
- [8] 华仁民.南岭中生代陆壳重熔型花岗岩类成岩-成矿的时间差及其地质意义[J].地质论评,2005,51(6):633-639.
- [9] 韦龙明,林锦富,李文铅,等.广东梅子窝钨矿“五层楼”叠加现象探讨[J].地质学报,2008,82(7):888-893.
- [10] 胡世杰.石人嶂钨矿构造应力分析[J].南方金属,2006(4):36-40.
- [11] 汪洋.南岭燕山早期花岗岩成因类型的进一步探讨[J].地质论评,2008,54(2):162-174.
- [12] 王德滋.华南花岗岩研究的回顾与展望[J].高校地质学报,2004,10(3):305-314.
- [13] 付建明,马丽艳,程顺波,等.南岭地区锡(钨)矿成矿规律及找

- 矿[J].高校地质学报,2013,19(2):202-212.
- [14] 马昌前.岩浆活动中某些动力学参数的估算方法:流体动力学原理的应用[J].地质科技情报,1986(3):47-54.
- [15] 黄茂新,朱自尊.对中、酸性岩浆岩形成温度计算问题的探讨[J].成都地质学院学报,1980(3):55-65.
- [16] 翁海姣.粤北梅子窝钨矿床构造叠加晕研究[D].桂林:桂林理工大学,2016.
- [17] 赵海玲.岩浆物理性质和流体动力学研究[J].地学前缘,1994,1(1/2):104-110.
- [18] CLEMENS J D, MAWER C K. Granitic magma transport by fracture propagation[J]. Tectonophysics,1992,204:339-360.
- [19] 冯佐海,王春增,王葆华.花岗岩侵位机制与成矿作用[J].桂林工学院学报,2009,29(2):183-194.
- [20] SHAW H R. Viscosity of magmatic silicate liquids: an empirical method of prediction[J]. American Journal of Science, 1972,272(5):870-893.
- [21] 侯增谦.岩浆密度及其重要意义[J].岩石矿物学杂志,1990,9(4):309-319.
- [22] 徐晓春,岳书仓,潘成荣,等.河南桐柏老湾花岗岩岩浆动力学与成矿[J].岩石学报,2001,17(2):245-253.
- [23] BOTTINGA Y, WEILL D F, RICHET P. Densities calculations for silicate liquids. I. Revised method for aluminosilicate compositions[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta. 1982,46:909-919.
- [24] 严成文,李文铅,李社宏,等.粤北石人峰钨矿成矿机理及成矿构造背景[J].中国钨业,2009,24(1):12-15.
- [25] 芦武长.年代学研究中封闭温度的计算及其应用[J].成都地质学院学报,1980,20(4):29-36.

Analysis of magmatic dynamics of granitic bodies in Meiziwo tungsten ore area, northern Guangdong

BIAN Xiao¹, TIAN Hanyu¹, WU Xian², LI Shehong¹, WEI Longming¹

(1.College of Earth Sciences, Guilin University of Technology, Guilin 541006, Guangxi, China;

2.Sichuan Zhide Geotechnical Engineering Co., Ltd., Chengdu 610000, Sichuan, China)

Abstract: Based on the geological characteristics of Muiziwo tungsten deposit, and the previous geochemical data of concealed granite bodies in the Meiziwo ore area, with the main research methods of structural geology and fluid dynamics, the temperature, magmatic density, viscosity, condensation velocity and other parameters, of the granite bodies are calculated and the characteristics of magmatic dynamics is also analyzed. It is inferred that the magmatic dynamic properties are favorable to the formation of Muiziwo tungsten deposit. The obvious difference of magmatic viscosity promotes mineralization zoning. The indistinct change of magma density makes it difficult for the magmatic convection during magma emplacement, which is favorable to energy accumulation, and the slow cooling rate of magma makes it to have enough time for the growth of mineral crystals, which is helpful to the full accumulation of ore-forming elements. In this paper, the magmatic dynamics of emplacement mechanism of the granite body is discussed, the relationship between the emplacement of the granite body and tungsten mineralization is found out. The hydrodynamic basis of deposit genesis is summarized. It provides a scientific basis for the ore genesis discussion and sustainable development and utilization of the deposit.

Keywords: Meiziwo tungsten deposit, granite body, magma dynamics, fluid dynamics, emplacement mechanism, Northern Guangdong