

湘南大义山花岗岩地质地球化学特征 及其与成矿的关系

伍光英^{1,2} 潘仲芳² 李金冬^{1,3} 肖庆辉¹ 车勤建^{1,3}

(1.中国地质大学地球科学与资源学院,北京 100083;2.宜昌地质矿产研究所,湖北 宜昌 443003;

3.湖南省地质矿产勘查开发局,湖南 长沙 410011)

摘要:通过岩体地质地球化学等特征的调查研究,对大义山花岗岩体进行了岩石谱系单位划分,认为它是由印支期和燕山期 3 期次多阶段岩浆活动形成的复式岩体。成矿作用主要与中侏罗世—晚侏罗世的花岗质岩浆活动相关。并对含锡多金属花岗岩提出了如下认识:①同一超单元内花岗质岩浆演化从早到晚次单元有由酸性向(贫钙富碱)酸碱性演化的规律;即晚期次更具弱钙碱性—偏碱性岩系,成矿专属性明显。②斜长石的 A_n 值常为 4~15;以钠长石为主;黑云母 M_f 值 <0.12 ,属铁叶云母—铁质黑云母。具高硅 $SiO_2 > 73 \times 10^{-2}$,富碱 $Na_2O + K_2O > 7.5 \times 10^{-2}$, $K_2O / Na_2O > 1.20$,贫钙 $CaO < 0.80 \times 10^{-2}$;过铝指数 $AKNC > 1.10$,碱度指数 $AR > 2.5$,分异指数 $DI > 90$,氧原子数与分子总数比大于 1.98 及富 F、B 的特征。轻稀土相对重稀土富集, Eu 亏损值小于 0.30。③岩石中 Sn、W、F、As、Sb、Pb、Zn、Cu、U 等有高的综合异常和重砂有锡石、黑钨矿、铋矿物、辰砂及铅、锌、铜矿物异常。④印支—燕山期北西向郴州—邵阳断裂有早期为左行压扭剪切,晚期为张扭的复合多次转换特征,与断裂同活动的花岗质岩浆有沿北西向构造带从南东向北西斜上方先后 3 期次顺序侵位的规律。岩体内部构造及接触带围岩的构造位态显示为“被动”侵位特征,岩体定位方式属剪切扩张型。锡多金属矿床(点)有围绕岩体展布的规律;矿床类型主要有蚀变花岗岩体型、云英岩脉型、断裂破碎带型等,并总结分析了成矿条件和找矿标志。

关键词:成矿条件;锡多金属矿;地球化学背景;花岗岩;大义山;湖南

中图分类号: P584 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3657(2005)03-0434-09

大义山岩体位于郴州—邵阳北西向基底断裂带中段与阳明山—塔山—上堡近东西向隆起带交会部位,因与李四光^[1]厘定的“大义山式构造”紧密相连,称其为“大义山式”花岗岩。此前岩体地质、岩体构造及成矿条件研究程度不高^[2];近年来随着区域地质调查和矿产资源评价等项目的开展,取得了突破性进展^[3-5] 1000;已初步探明了锡铋铅锌等的资源量,其中以蚀变花岗岩型锡矿为主。笔者在调查岩体内各侵入体的产出状态和岩体构造及接触带围岩构造位态基础上,通过大义山岩体岩石学、矿物学、岩石地球化学等特征的深入研究,建立了岩石谱系单位;认为印支—燕山期北西向郴州—邵阳断裂

有早期为左行压扭剪切,晚期为张扭的复合多次转换特征,与断裂同活动的花岗质岩浆有沿北西向构造带从南东向北西斜上方先后 3 期次顺序侵位的规律,岩浆演化从南东向西、从早期至晚期有由酸性向酸碱性演化的规律;分析了岩体剪切扩张型“被动”侵位机制,总结了燕山期花岗岩地质、地球化学背景与大规模锡多金属矿成矿关系。

1 区域地质概况

大义山地区区域上经历了多期次的构造活动,印支期至燕山期,湘中地块与湘东南地块沿炎陵—郴州—蓝山一线陆

收稿日期:2004-05-28;改回日期:2005-01-07

基金项目:中国地质调查局重大基础地质调查项目(1212010310206)和工作项目(200213000035)资助。

作者简介:伍光英,男,1965年生,博士生,高级工程师,从事基础地质调查研究工作;E-mail:ycwguangying@cgs.gov.cn 或 wguangying@163.com。

① 湖南省地质矿产勘查开发局.湖南 1:5 万白沙镇幅区域地质矿产调查报告,1988.

② 湖南省地质调查院.湖南 1:5 万罗家桥幅、阳嘉洲幅区域地质调查报告,2000.

③ 湖南省地质调查院.湖南阳明山—大义山锡铋铅锌矿评价报告,2003.

④ 湖南省地质调查院.湖南 1:25 万郴州市幅、衡阳市幅区域地质调查,2002-2004.

内挤压走滑俯冲会聚时,在郴州—邵阳一线形成了北西向应力集中带;沿北西向带从南东向北西,由香花岭—骑田岭—千里山、阳明山—塔山—大义山、关帝庙、白马山—龙山近东西向隆起及其间断陷带构成。由于应力的作用,大量超酸性、中酸性花岗岩浆在深部形成大型岩体,局部上升时形成了相应的岩体(群)。并在香花岭—骑田岭—千里山、阳明山—塔山—大义山近东西向隆起带相应形成白云仙钨矿田、界牌岭锡矿田、瑶岗仙钨矿田、东坡钨锡铅铋矿田、大义山锡矿田、水口山铅锌矿田,由此形成了著名的郴州—邵阳北西向构造岩浆成矿带;从南东向北西形成郴州(柿竹园、瑶岗仙)的钨锡向衡阳(水口山、杨林坳)铅锌向湘中邵阳(锡矿山、唐洪坪)的锑、金,呈高温→低温的带状演变特点。

大义山地区围绕岩体出露的地层,主要有青白口纪—奥陶纪类复理石建造的砂岩、页岩,泥盆纪—三叠纪碳酸盐岩和部分砂页岩,第四纪洪积、冲积及残坡积层。

大义山地区构造以断裂为主,褶皱次之,褶皱分布在岩体周边,多呈近南北向展布。断裂以北西向“大义山式断裂”为主体,控制了大义山岩体的分布。近南北向和北东向断裂分布在岩体周边地层中,与褶皱相伴而生,少部分北东向断裂穿过接触带进入岩体(图 1)。

2 花岗岩体地质特征

2.1 花岗岩体构造时序

大义山花岗岩体受北西向郴州—邵阳构造带严格控制,呈长条状侵入于印支期构造层之中,总面积约 210 km²。根据岩体的岩石学、矿物学、岩石化学、地球化学特征和各侵入体接触关系,岩体侵入时代属印支期(210~278 Ma)至燕山期(156~185 Ma, 128~148 Ma),解体为 76 个侵入体,划分为 12 个单元,归并成 3 个超单元(图 1、表 1)。即观音阁超单元构成大义山岩体南岩体的主体,总面积约 50 km²;泥板田超单元区构成大义山北岩体的主体,总面积约 118 km²;泥板田超单元主要分布在大义山岩体北(西)端,出露面积约 42 km²。

2.2 花岗岩体构造特征

(1) 岩体近围岩构造

大义山岩体周边褶皱轴向除基底层褶皱——泗洲山复背斜呈北北东向展布外,其余多呈近南北向—北北西向展布,与岩体长轴走向北西 325°,与区域北西向郴州—邵阳基底断裂带一致。背斜多具线型紧密性质,向斜则较开阔;当其紧靠岩体部位时,多被走向断层所破坏而形态不完整。与锡多金属矿化关系密切的主要是上述诸背斜。大义山岩体接触带宽 300~500 m,最宽处达 2 km 左右。平面上岩体与接触带构成宽 8~13 km 的呈北西向延伸的左行发辫状构造^[6]。该构造因岩体的同时侵入而分成东西两部分:东部发辫状构造由 4 个发辫状结块和环绕结块的 5 条剪切面带组成,结块呈似菱状并以北西 320°~330°相近方位排列,这些结块的岩片主要是斑状花岗岩和长条状北西向延伸的大理岩、大理岩化灰岩

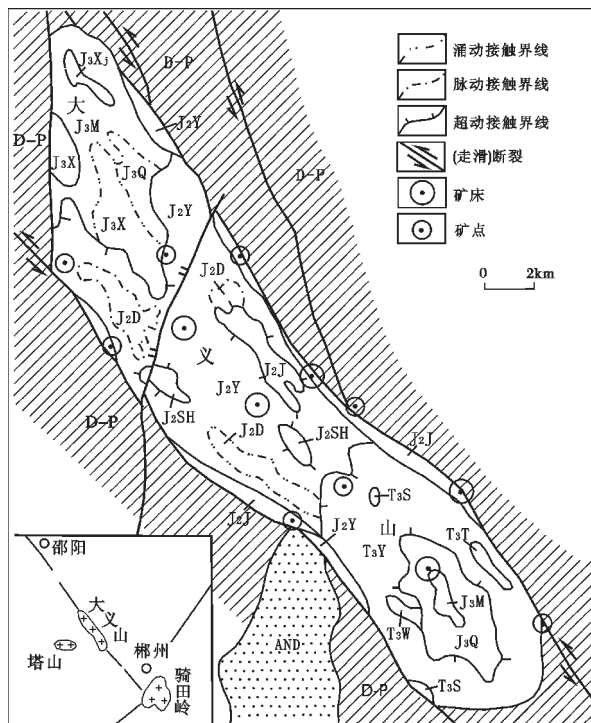


图 1 湘南大义山岩体地质略图

J₃X_j—小江单元; J₃X—下螺形单元; J₃M—墨烟瑶单元; J₃Q—青洞单元; J₂J—介头单元; J₂SH—杉树排单元; J₂D—道士仙单元; J₂Y—岩前单元; T₂T—党田单元; T₂W—王茶冲单元; T₂Y—银岗岭单元; T₂S—三渡江单元; D—P—泥盆纪—二叠纪; AnD—前泥盆纪

Fig. 1 Geological sketch map of the Dayishan granite body intrusion in southern Hunan

J₃X_j—Xiaojiang unit; J₃X—Xialuoxing unit;

J₃M—Moyanyao unit; J₃Q—Qingdong unit. J₂J—Jietou unit;

J₂SH—Shashupai unit; J₂D—Daoshixian unit; J₂Y—Yanqian unit;

T₂T—Dangtian unit; T₂W—Wangchachong unit; T₂Y—Yingangling unit;

T₂S—Sandujiang unit; D—P—Devonian - Permian; AnD— pre-Devonian

等,剪切面带为线状强应变带,主体倾向北东,倾角陡;西部发辫状构造主要由 3 个发辫状结块和环绕结块的 4 条剪切面带组成,剪切面带倾角近于直立。纵向上,北西向发辫状构造剪切面带总体倾向北东,结合地球物理资料,发辫状结块的剪切面带往下逐步收敛并在下壳层结晶基底会聚为狭窄的陡倾断裂构造带^[6]。

(2) 岩体内部构造及侵位机制

大义山岩体平面上呈长轴走向北西 325°扁长椭圆状,与区域北西向邵阳—郴县基底深断裂带一致,且各侵入体长轴走向亦呈北西向。岩体出露长 35 km,宽 5.8~7.5 km;东、西两边均被同期断层围陷。勘探资料表明岩体深部南西边界受倾

表1 大义山岩体岩石谱系单位划分

Table 1 Hierarchical units of the Dayishan granite body

超单元	单元	代号	产状	结构	岩性	年龄/Ma
泥板田	小江	J ₃ Xj	岩枝	微晶	(微)细粒电气石二云母正长花岗岩	
	下螺形	J ₃ X	岩枝	斑状	细粒斑状电气石二云母正长花岗岩	B143
	墨烟瑶	J ₃ M	岩枝	似斑状花岗岩结构	细中粒斑状含电气石二长-正长花岗岩	B141, M137 ^①
	青洞	J ₃ Q	岩枝	似斑状花岗岩结构	中细粒斑状二云母(正长)二长花岗岩	B148, Z128 ^①
汤市铺	介头	J ₂ J	岩枝(墙)	微晶	(微)细粒少斑状电气石二云母正长花岗岩	B156
	杉树排	J ₂ SH	岩枝	斑状	(微)细粒斑状二云母(正)二长花岗岩	
	道士仙	J ₂ D	岩枝	似斑状花岗岩结构	(中)细粒斑状二云母(正)二长花岗岩	B169
	岩前	J ₂ Y	岩株,岩枝	似斑状花岗岩结构	(粗)中细粒斑状(黑)二云母二长花岗岩	B181, B177 ^①
观音阁	党田	T ₂ T	岩枝	斑状	(微)细粒斑状黑云母二长花岗岩	Z210 ^①
	王茶冲	T ₂ W	岩枝	似斑状花岗岩结构	中细粒斑状黑云母二长花岗岩	
	银岗岭	T ₂ Y	岩枝	似斑状花岗岩结构	细中粒斑状(含角闪石)黑云母二长花岗岩	Z278 ^①
	三渡江	T ₂ S	岩株	似斑状花岗岩结构	中细粒少斑状含角闪石黑云母花岗岩闪长岩	Z223 ^①

注:宜昌地质矿产研究所同位素研究室测定;B-黑云母 K-Ar 法, M-白云母 K-Ar 法, Z-锆石 U-Pb 法。

向北东, 倾角 70°~85°断裂破碎带控制; 北东边界受倾向北东, 倾角 45°~60°断裂控制, 深延约 1 km 后, 受该组断裂的影响, 接触面呈波状。较年轻的侵入体呈齿状侵入位于大义山早期岩体或边界断裂内, 平面形状不规则, 或呈岩墙产出; 尤其是与花岗岩型锡多金属矿密切相关的介头单元侵入体多呈席状或岩墙。岩体流动构造不发育; 岩体内部及边缘接触带岩浆热动力变形构造不发育。

岩体内部断裂构造主要有北东向、北西向、南北向 3 组, 尤以北西和北东向断裂最为发育, 不但规模大、数量多, 是重要的断裂破碎带型 Sn, W, Pb, Zn, Sb, (Cu) 矿化断裂带。

印支—燕山期北西向郴州—邵阳断裂早期为左行压扭剪切, 晚期为张扭的复合多次转换特征。北西向(320°)的左旋会聚走滑作用, 在上壳层内形成“大义山式”发辫状构造, 包括北西向 P 型剪切裂隙和北东向 S 型逆断层; 压扭性逆断层与 P 型剪切裂隙之间形成了一个相对扩容区——“拉伸岩桥区”, 其张开方向平行于 P 型剪切裂隙, 而下壳层内因断裂的剪切生热、重熔作用形成的花岗质岩浆从南东向北西斜上方先后 3 期次顺序“被动”侵入位于大义山北西向构造带中, 形成所谓“大义山式”花岗岩。岩体内部构造和接触带围岩的构造位态即显示为“被动”侵入特征, 定位方式属剪切扩张型^[4-5]。而每期岩浆活动末期, P 型剪切裂隙和 S 型逆断层又成了导矿或扩容构造。

3 花岗岩岩石学和地球化学特征

3.1 花岗岩岩石学和矿物学特征

观音阁超单元岩石类型主要为含角闪石黑云母花岗岩闪长岩和黑云母二长花岗岩。造岩矿物成分主要为石英、斜长

石、钾长石、黑云母, 早次单元含少量角闪石。斜长石和黑云母经电子探针分析结果表明, 斜长石的 An 值为 8~26; 早次单元 An 值大, 以更长石为主; 黑云母 Mf 值 0.32 左右, 属铁质黑云母。副矿物为钛铁矿+锆石+独居石组合类型。

汤市铺超单元和泥板田超单元岩石类型相似, 为(黑)二云母二长花岗岩、二云母正长花岗岩。造岩矿物主要为石英、斜长石、钾长石、黑云母、白云母, 含少量电气石; 电子探针分析结果表明斜长石 An 值在花岗结构岩石中为 4~20, 常为 4~15; 在其他主要成矿单元花岗岩石中为 4~10, 斜长石以钠长石为主。黑云母 Mf 值 < 0.15, 属铁质黑云母。副矿物为钛铁矿+锆石+独居石组合类型; 黄玉、锡石、黑钨矿、磷钇矿、黄铜矿、萤石、辉钼矿等含量特高。

3.2 花岗岩岩石地球化学特征

(1) 岩石化学特征

观音阁超单元岩石化学成分(表 2)与戴里的世界花岗岩及黎形的中国酸性侵入岩平均值^[6-7]相比, 在花岗结构单元中, SiO₂、Al₂O₃、Na₂O 含量略低; K₂O、FeO+Fe₂O₃ 略高; CaO、MgO 则相近。AKNC(过铝指数)为 1.0 左右, δ(组合指数)为 1.60~2.05, AR(碱度指数) < 2.2, DI(分异指数)为 76~85, 氧原子数与分子总数比 < 1.97, 在 AR—SiO₂ 碱度关系图中表明早期单元花岗岩属钙碱性岩系, 晚期单元花岗岩属钙碱性偏碱性岩系。

汤市铺超单元岩石 SiO₂、K₂O 含量显高; MgO、CaO、Al₂O₃ 显低, CaO < 0.80 × 10⁻² 明显。AKNC > 1.10, δ 为 1.74~2.25, AR > 2.5, DI > 88, 氧原子数与分子总数比大于 1.98, AR—SiO₂ 碱度关系图表明花岗岩具有弱钙碱性偏碱性岩系特点。

① 湖南省地质矿产勘查局, 湖南 1: 万白沙镇幅区域地质调查报告, 1988。

表 2 大义山岩体各单元花岗岩化学成分

Table 2 Petrochemical composition of granitoids of various units in the Dayishan granite body

序号	单元	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	灼失	Σ
1	J ₃ Xj	74.28	0.06	15.93	1.71	0.92	0.03	0.42	0.22	0.55	3.37	0.04	1.90	99.43
2		73.85	0.03	14.22	0.17	1.46	0.12	0.10	0.27	3.42	4.68	0.05	0.84	99.21
3		74.14	0.13	14.66	0.55	1.48	0.09	0.27	0.58	2.58	3.96	0.08	0.79	99.31
4		75.33	0.04	13.31	0.25	2.38	0.04	0.08	0.17	3.47	4.04	0.03	0.26	99.40
5	J ₃ X	74.79	0.05	12.98	0.26	2.04	0.08	0.10	0.33	3.66	4.82	0.06	0.12	99.29
6		74.29	0.08	13.21	0.28	2.17	0.07	0.15	0.60	2.82	4.9	0.016	0.90	99.49
7		73.52	0.05	13.42	0.27	3.20	0.06	0.18	0.55	2.12	4.34	0.04	1.42	99.17
8	J ₃ M	74.46	0.21	12.59	0.84	2.10	0.07	0.38	0.73	2.94	4.49	0.08	0.38	99.27
10	J ₃ Q	71.80	0.2	13.56	0.64	2.84	0.05	0.23	0.66	3.34	5.13	0.12	1.04	99.61
11	J ₃ J	74.24	0.08	13.99	0.60	1.12	0.06	0.31	0.37	3.24	4.65	0.06	0.62	99.34
12		76.09	0.06	11.92	0.23	2.58	0.03	0.13	0.66	2.87	4.77	0.01	0.12	99.47
13	J ₃ SH	73.72	0.12	14.40	0.39	1.80	0.01	0.15	0.58	3.30	4.55	0.06	0.62	99.80
14		75.05	0.094	12.04	2.07	1.00	0.03	0.10	0.62	2.82	5.08	0.02	0.27	99.19
15		72.64	0.38	12.83	0.25	3.40	0.05	0.58	0.89	2.55	5.25	0.13	0.38	99.33
16	J ₃ D	73.13	0.26	13.81	0.41	3.80	0.06	0.20	1.09	1.92	5.02	0.14	0.15	99.99
17		73.38	0.11	14.49	0.54	1.16	0.07	0.23	0.51	3.66	4.52	0.10	0.59	99.36
18		73.66	0.18	13.22	1.26	2.08	0.07	0.23	0.80	3.3	4.26	0.06	0.31	99.43
19	J ₃ Y	72.64	0.16	13.00	0.17	2.94	0.06	0.25	1.00	3.18	5.22	0.053	0.41	99.08
20		72.69	0.22	13.12	0.21	2.96	0.06	0.15	0.74	3.26	5.34	0.069	0.36	99.12
21		74.87	0.08	12.96	0.17	2.17	0.07	0.10	0.47	3.26	5.02	0.04	0.27	99.48
22	T ₃ T	70.66	0.34	13.08	0.46	3.87	0.05	0.40	1.09	1.72	6.58	0.10	0.26	98.61
23		70.66	0.43	12.65	3.39	1.07	0.07	0.45	1.70	2.76	5.22	0.16	1.01	99.57
24	T ₃ W	67.40	0.66	14.79	0.43	4.92	0.04	0.96	1.64	2.45	4.55	0.20	0.81	98.85
25		67.54	0.55	13.35	1.38	4.88	0.10	0.45	1.91	2.36	5.36	0.22	0.13	98.23
26		69.41	0.54	13.68	0.16	4.65	0.03	0.77	1.63	2.24	4.42	0.17	0.55	98.25
27	T ₃ Y	68.24	0.37	13.30	0.49	4.27	0.07	0.40	1.95	2.87	4.61	0.13	2.58	99.28
28	T ₃ S	66.83	0.47	13.64	1.05	5.17	0.11	0.35	1.98	3.20	5.62	0.19	0.31	98.92

注:含量单位为 10^{-2} 。资料来源:1,3,5,8,10,11,12,14,15,18,19,28 号样为自采,由湖南省地质实验室测试;其余引用湖南省地质矿产勘查开发局(湖南 1:5 万白沙镇幅区域地质矿产调查报告,1988)。

泥板田超单元岩石 SiO₂、K₂O 含量显著;MgO、CaO、Al₂O₃ 明显偏低,CaO<0.66×10⁻² 更明显。其他指数亦反映花岗岩具有偏弱碱性岩系特点。

总之,大义山花岗岩浆从南东向北西侵入并演化,从早期至晚期超单元或同一超单元内从早至晚次单元有由偏酸性向(贫钙富碱)酸碱方向演化的规律;即晚期超单元或晚次单元更具有偏弱碱性岩系特点。

(2) 岩石稀土和微量元素特征

岩石的稀土和微量元素测试结果(表 3)表明:印支期的观音阁超单元岩石的微量元素与世界普通花岗岩的克拉克值相比没有明显的异常;而燕山期的汤市铺超单元和泥板田超单元岩石的微量元素则具有明显的异常。

燕山期的汤市铺超单元岩石微量元素与世界普通花岗岩

的克拉克值相比 Li 为 4~8,Be 为 2~4,Rb 为 2.5~3.5,Cs 为 8~15,Nb 为 1.2~2.0,Ta 为 1.5~3.1,Pb 为 1.5~2.3,Sn 为 5~10,W 为 12~30 等倍数增高;而明显贫 Sr、Ba、Mo;其他元素相近;Rb/Sr 值一般为 20~40,尤以晚期二单元岩石更大(大于 80)。各单元中赋锡多金属矿的蚀变花岗岩中 Sn、As、Be、F、W、Bi 等元素(表 4)以 10 倍甚至是上百倍。而泥板田超单元岩石的微量元素异常与汤市铺超单元有相似特点;岩石微量元素尤以 Sn 为 15~27,Pb 为 2~5,W 为 5~15,Cu 为 2~3.5 等倍数增高;亦明显贫 Sr、Ba、Mo;Rb/Sr 值一般大于 30,甚至 130 以上。

燕山期的汤市铺超单元岩石的稀土元素总量为 $102.3 \times 10^{-6} \sim 323.5 \times 10^{-6}$,La/Yb 值为 2.19~5.48,δEu 为 0.09~0.29,稀土元素球粒陨石标准化图表现为“V”字形,钫亏损强烈。泥板

表 3 大义山岩体各单元花岗岩微量和稀土元素含量

Table 3 Trace element and REE analyses of granitoids of various units in the Dayishan granitic body

单元 序号	J ₅ X _j 1	J ₅ X 2	J ₅ M 3	J ₅ Q 4	J ₅ J 5	J ₅ J 6	J ₅ SH 7	J ₅ D 8	J ₅ Y 9	J ₅ Y 10	T ₃ 平均 5个
W	10.50	21.60	21.40	7.10	40.60	35.00	70.80	40.60	39.80	5.69	8.73
Sn	13.30	74.20	28.20	44.00	21.50	33.20	49.30	22.10	15.10	34.10	20.30
Mo	0.80	1.10	2.00	2.30	0.90	8.96	1.00	0.80	2.40	6.72	14.01
Cu	10.90	76.50	12.10	43.30	19.80	408.00	40.70	8.00	16.10	192.20	153.60
Pb	66.90	114.70	40.10	42.10	39.50	59.20	45.00	30.30	39.30	54.80	38.50
Zn	56.80	50.10	47.90	63.30	36.90	86.00	55.90	39.20	49.00	74.00	89.00
Sr	13.80	14.90	20.70	34.00	6.40	12.00	7.00	8.40	19.40	86.00	99.00
Ba	9.0	37.0	71.0	229.0	2.0	61.0	17.0	25.0	14.6	549.0	510.0
V	6.20	12.20	17.00	12.90	7.20	9.20	10.90	8.20	14.60	33.40	24.50
Th	29.60	39.60	26.60	27.90	15.00	58.70	27.20	11.40	26.20	36.30	35.00
Co	4.80	5.80	5.80	6.30	5.00	3.70	5.60	4.50	6.80	8.20	8.20
Ni	9.50	11.60	12.80	14.00	11.00	8.60	11.70	9.00	14.10	14.70	15.00
Be	86.40	6.00	10.80	19.70	15.90	8.60	36.60	21.90	14.50	4.50	6.20
Ta	12.30	4.50	3.10	1.30	9.10	6.20	14.20	9.60	5.50	1.70	2.40
Nb	31.00	25.40	27.20	28.60	32.10	28.10	44.60	29.50	26.10	21.70	27.40
Rb	525	610	557	392	705	427	907	709	495	326	313
Cs	8.00	39.60	72.80	43.00	44.30	12.60	88.60	74.40	46.40	23.60	21.40
Cr	77.90	45.50	130.00	105.00	41.70	14.40	52.90	54.60	152.10	23.70	20.90
Li	105.0	211.0	222.0	118.0	167.0	56.0	541.0	305.0	189.0	10.3	87.6
La	15.58	51.70	59.72	90.04	7.38	36.19	13.98	12.64	29.36	65.73	54.56
Ce	15.94	51.70	59.72	90.04	15.45	79.78	29.66	23.37	66.05	127.80	100.80
Pr	2.31	6.35	8.15	10.36	2.23	10.39	4.41	3.36	7.94	14.84	12.25
Nd	8.23	21.37	26.71	35.07	7.14	39.25	14.29	11.08	27.01	51.35	42.49
Sm	2.27	5.88	7.03	6.99	2.63	11.64	4.39	3.07	6.99	9.58	9.40
Eu	0.08	0.18	0.18	0.49	0.02	0.28	0.07	0.08	0.20	1.32	1.65
Gd	1.91	6.38	6.90	5.80	2.53	13.15	4.43	3.22	6.79	7.32	8.83
Tb	0.46	1.36	1.37	0.97	0.62	2.45	0.98	0.72	1.41	1.09	1.48
Dy	2.91	9.94	9.97	5.95	4.28	15.80	6.84	5.04	9.53	5.63	8.78
Ho	0.54	2.05	1.94	1.13	0.83	3.26	1.26	0.97	1.93	1.01	1.67
Er	1.64	6.56	5.87	3.14	2.44	9.26	4.07	3.04	6.03	2.64	4.44
Tm	0.30	1.10	0.92	0.48	0.49	1.51	0.75	0.57	1.03	0.38	0.66
Yb	2.22	6.56	5.55	2.96	3.37	9.76	5.35	3.62	6.59	2.26	0.59
Lu	0.39	1.08	0.95	0.47	0.56	1.50	0.83	0.55	0.97	0.31	42.24
Y	15.20	60.63	58.68	32.86	24.89	88.41	41.68	31.04	60.71	24.73	293.98
ΣREE	69.98	205.70	224.37	243.60	74.86	322.64	132.99	102.38	232.55	316.00	293.98
ΣCe/ΣY	1.74	1.15	1.43	3.53	0.87	1.22	1.01	1.10	1.45	5.96	3.04
δEu	0.13	0.10	0.09	0.25	0.03	0.08	0.05	0.09	0.10	0.51	0.60

注:由湖北省地质实验室测试;含量单位为 10^{-6} 。

田超单元岩石的稀土元素总量为 $169.9 \times 10^{-6} \sim 243.6 \times 10^{-6}$, La/Yb 值为 2.81~15.84, δEu 为 0.05~0.25, 稀土元素球粒陨石标准化图亦表现为“V”字形, 铕亏损强烈。2 个超单元各单元中

无矿化的花岗岩与锡多金属矿化花岗岩的稀土元素特征及其配分模式基本一致, 说明这种矿化的形成并无明显的外来物质的加入。

表 4 大义山岩体蚀变花岗岩微量元素特征

Table 4 Trace element analysis of altered granitoides in the Dayishan granitic body

岩性	样数	Sn	Cu	Zn	W	As	Ti	Be	B	Bi	Pb	Mn	Mo	Ag	Ga	备注
云英岩化花岗岩	4	410	750	5140	240	1300	800	40	60	20	570	70	7	40	10	北部
云英岩化花岗岩	15	700	90	140	18	1460		10	390	17		680	3	1	30	中部
云英岩化花岗岩	10	500	80	110	150		220	1	2380	150	10	780	30	1	160	南部
黄玉云英岩	4	2330	3060	880	240	630	30	45	80	10	40	200	2	22	4	
云英岩	2	3500	7000	1600	50	3000	300	50	10	10	50	500	7	5	20	

注:含量单位为 10^{-6} 。部分引用湖南省地矿局 408 队《大义山岩体东南部多金属矿地质特征及成矿规律研究报告》,1979。

总之,与众多不含矿燕山期花岗岩相比,大义山燕山期花岗岩内部及接触带盛产锡多金属矿之主因是其具有低钙偏弱碱性岩系和富锡锑铅锌多金属元素的独特地球化学背景。

4 花岗岩与成矿关系

4.1 岩体与矿产分布的时空关系

大义山岩体锡多金属矿的成矿与岩浆侵位、演化和热液蚀变、构造活动直接关联,时间上,从同位素定年结果说明岩体是三叠世的印支晚期和中侏罗世及晚侏罗世的燕山期 3 期岩浆活动形成的复式岩体,而成矿作用主要与中侏罗世及晚侏罗世的燕山 2 期 8 次岩浆定位活动密切相关,而第 4 次介头单元岩浆活动(160±5)Ma 与成矿最密切。与区域上北西向郴州—邵阳构造岩浆成矿带各产锡多金属矿花岗岩的成矿期是一致的;如千里山花岗岩成岩成矿时代分别是(183.17±0.7) Ma、(162.55±3.3) Ma、(158.07±3.2) Ma、(144.41±2.8) Ma、(142.34±2.9) Ma;(160.8±2.4) Ma 是中侏罗世岩浆活动和矿床形成高峰期^[9]。其他产锡多金属矿成岩成矿期如湖南骑田岭岩体特大型锡多金属矿的岩体精确的 SHRIMP 年龄为(160±5)Ma^[9-10],都证明中侏罗世燕山期是最

主要的成岩成矿期^[11-14]。

空间上,锡多金属矿床(点)大致呈中、东、西 3 个北西向带展布。云英岩(脉)型锡(钨)矿及蚀变花岗岩型锡矿均产于岩体内,构成矿田的“中”矿化带;“东”、“西”两个矿化带分别处于岩体北东和南西两侧内、外接触带,矿产以锡多金属矿为主,次有铜、铅、锌、硼、砷等。不同类型的锡多金属矿的分布,在垂直和水平方向上表现出分带特征(图 2)。在垂向上,自上而下依次为:云英岩细脉带型、云英岩薄脉带型、云英岩中—大脉型、伟晶岩壳型、蚀变花岗岩型、云英岩脉型;岩体上覆地层中自下而上有夕卡岩型、似层状锡石—硫化物型、断裂破碎带型等。在水平方向上,自晚期岩体至早期岩体到围岩,依次分布有蚀变花岗岩型、云英岩脉型、夕卡岩型、似层状锡石—硫化物型、断裂破碎带型等锡多金属矿。

侵入体的形态、产状也影响了矿化的空间分布。蚀变花岗岩型锡矿往往分布在长条形的介头单元侵入体的上拱部位,即东西、南北两方向的“背形”部位。当其上有伟晶岩盖时,矿化富集(图 2)。夕卡岩型锡多金属矿主要分布于岩体产状比较平缓的一侧,尤其是岩体接触面出现凹陷曲折、超覆的地段,矿化富集。似层状锡石—硫化物型锡矿主要产于岩体



图 2 大义山岩体中各类型锡矿体分布示意图^①

D—C—泥盆—石炭纪地层;J₂Y—岩前单元;J₂J—介头单元;ρ—伟晶岩;SK—夕卡岩;1—蚀变花岗岩型锡矿;2~3—(细—大)云英岩(脉)型锡矿;4—伟晶岩型锡矿;5—夕卡岩型锡矿;6—似层状硫化物型锡矿;7—断裂破碎带型锡矿;8—风化壳型锡矿;9—冲积型锡矿

Fig. 2 Distribution of various types of tin orebody in the Dayishan granite

D - C - Devonian - Carboniferous; J₂Y - Yanqian unit; J₂J - Jietou unit; ρ - Pegmatite; SK - Skarn; 1 - Altered granitic type; 2 - 3 - Greisen (vein) type tin deposit; 4 - Pegmatite vein type tin deposit; 5 - Skarn type tin deposit; 6 - Stratiform sulfide type tin deposit; 7 - Fractured type tin deposit; 8 - Weathering crust type tin deposit; 9 - Alluvial type tin deposit

① 湖南地质调查研究院.湖南阳明山—大义山锡锑铅锌矿评价报告,勘探资料总结,2003.

接触界面,总体产状平缓、但往深部有较大变化的外接触带内,尤其是背斜靠岩体一翼的沉积岩(主要是碳酸盐岩)的层间破碎带中。

4.2 矿化类型与矿石结构构造

主要有蚀变花岗岩体型、云英岩(脉)型、断裂破碎带型和部分石英脉型、夕卡岩型、细粒花岗岩脉型、似层状锡石硫化物型等,以蚀变花岗岩体型为主。矿石中金属矿物主要有锡石、毒砂、黄铁矿、黄铜矿、黑钨矿、黝铜矿等;非金属矿物主要有石英、云母、电气石、黄玉。相对而言,蚀变花岗岩体型锡矿石中云母类矿物较多,且含较多长石。

蚀变花岗岩体型和云英岩(脉)型矿床的矿石结构、构造大体一致,矿石结构主要因组成矿石的蚀变的粒、片、柱状矿物的含量分配和原岩花岗岩结构的残余程度的差别而异。变余花岗岩结构多出现在矿体边缘和夹块中,矿化略弱,品位较低。粒柱状变晶结构、柱纤状变晶结构出现于矿脉中心和矿化极强的团块中,尤其是富矿体中。蚀变花岗岩体型的矿石以鳞片花岗变晶结构、变余花岗结构、片粒状变晶结构为主,而云英岩(脉)型的矿石以粒柱变晶结构、柱纤变晶结构、鳞片粒柱变晶结构为主。

蚀变花岗岩体型和云英岩(脉)型矿床矿石构造有浸染状构造,锡石与黄玉、金属硫化物等星点状分布于矿石中。块状构造主要分布于矿体的富矿包(囊)内。脉状构造主要是大量锡石与少量金属硫化物、电气石等聚集成细脉状分布于矿脉带内具云英岩化的劈理、裂隙(面)中。

4.3 含矿花岗岩石学地球化学特征

蚀变花岗岩体型锡矿的成矿母岩主要是汤市铺超单元晚期介头单元细粒电气石二云母正长花岗岩;而云英岩脉型矿床围岩是中侏罗世及晚侏罗世的燕山期花岗岩,又以汤市铺超单元二长—正长花岗岩为主。据本岩体及郴州—邵阳北西向构造岩浆成矿带主要产锡多金属矿花岗岩体的研究^[15-17],产花岗岩岩石具细粒、中细粒花岗结构,由石英 $>30\times 10^{-2}$;钾长石(条纹长石) $>30\times 10^{-2}$;斜长石的An值常为4~15,以钠长石为主(更钠长石、钠长石) $<30\times 10^{-2}$;黑云母Mf值 <0.15 ,属铁叶云母—铁质黑云母(白云母、铁叶云母、铁锤云母、黑鳞云母) $3\times 10^{-2}\sim 8\times 10^{-2}$;黄玉及榍石 $<1\times 10^{-2}$ 等组成。

花岗岩具高硅($\text{SiO}_2>73\times 10^{-2}$),富碱($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}>7.5\times 10^{-2}$, $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}>1.20$),贫钙($\text{CaO}<0.8\times 10^{-2}$, $\text{FeO}+\text{MnO}+\text{CaO}+\text{MgO}_2<2.0\times 10^{-2}$); $\text{AKNC}>1.10$, $\text{AR}>2.5$, $\text{DI}>88$,氧原子数与分子总数比大于1.98,及富F、B的特征。轻稀土浓度相对重稀土富集,Eu强烈亏损, δEu 小于0.30。这些特征都反映该花岗岩为超酸性铝过饱和S型或陆壳改造型花岗岩^[7,18-19]。

汤市铺超单元经过了多阶段的分异演化,在其晚期介头单元岩石中Sn、F、B、As等与矿化相关元素含量显著增高;其中Sn含量为早期单元的2~15倍(表2~3)。早期次侵入体Sn一般不形成异常,当花岗岩蚀变时,Sn元素形成异常,一般 $1000\times 10^{-6}\sim 10000\times 10^{-6}$,当Sn含量大于 500×10^{-6} 时,可直接圈为矿化

体。矿化体上F、As有形成低缓异常,F含量一般 $4000\times 10^{-6}\sim 10000\times 10^{-6}$,平均 8000×10^{-6} ,高于背景值1~2倍;As含量 $30\times 10^{-6}\sim 150\times 10^{-6}$,平均 80×10^{-6} ,高于背景值2~3倍^[17]。

4.4 变质作用

变质作用有岩体内的自变质作用、岩浆期后气—液蚀变作用和围岩的热接触变质作用、接触交代变质作用等。蚀变种类主要有云英岩化、白云母化、电气石英云岩化、钠长石化、绢云母化、绿泥石化、钾化、硅化、电气石化、黄玉化及多种硫化物化等,其中云英岩化、钠长石化、电气石化在大义山北岩体燕山期花岗岩中最发育。

岩体自变质作用主要发育于介头单元侵入体上拱部位,多呈带状或面状分布,宽数米至数百米,厚数米至数十米。空间上具有明显的垂直分带性,通常自上而下蚀变分带依次为脉状云英岩化、浅色云母带(I),伟晶岩带(II),含锡(钨)云英岩化、黄玉化、金属硫化物带(III),钠长石化、绢云母化带(IV),绿泥石化、叶腊石化带(V)。其中云英岩化、黄玉化及金属硫化物化与锡矿呈正相关关系。

岩浆期后气—液蚀变主要沿成矿断裂带或劈理(节理)带线状分布,与锡多金属成矿有关的主要有云英岩化、电气石英云岩化、硅化,次为钠长石化、电气石化及多种硫化物化。热接触变质作用发生于岩体周边外接触带,从岩体边缘向外变质作用强度减弱。

除热接触变质作用外,蚀变种类越复杂、蚀变越强、矿化越好。

5 结 论

(1)大义山岩体是印支—燕山期经多期多阶段岩浆活动形成的,由多以岩枝产出的数十个侵入体构成的复式岩体。产锡多金属矿花岗岩属燕山期的贫钙富碱的弱钙碱性至弱碱性岩系岩石,特征如下:

①同一超单元内花岗质岩浆演化从早至晚次单元有由酸性向(贫钙富碱)碱性演化的规律;即晚次单元更具有贫钙富碱的弱钙碱性—偏碱性岩系特点。晚期次的岩浆活动有利成矿,成矿专属性明显。

②花岗岩斜长石的An值常为4~15;以钠长石为主。黑云母Mf值 <0.15 ,属铁叶云母—铁质黑云母。具高硅($\text{SiO}_2>73\times 10^{-2}$),富碱($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}>7.5\times 10^{-2}$, $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}>1.20$),贫钙($\text{CaO}<0.8\times 10^{-2}$, $\text{FeO}+\text{MnO}+\text{CaO}+\text{MgO}<2.0\times 10^{-2}$); $\text{AKNC}>1.10$, $\text{AR}>2.5$, $\text{DI}>88$,氧原子数与分子总数比大于1.98,及富F、B的岩石化学特征。稀土元素中轻稀土浓度显著偏低,相对重稀土富集,Eu强烈亏损, δEu 小于0.30。

③岩体岩石中有Sn、W、F、As、Sb、Pb、Zn、Cu、U等高的综合异常和重砂有锡石、黑钨矿、铋矿物、辰砂及铅、锌、铜矿物为主的异常。

(2)大义山花岗岩体受郴州—邵阳北西向构造带的严格控制;印支—燕山期北西向断裂早期为左行压扭剪切,晚期

为张扭的复合特征;花岗质岩浆有沿北西向构造带从南东向北西斜上方先后顺序侵位的规律;岩体定位模式属剪切扩张型的被动侵位。

(3)岩体周边的盖层构造中的区域性断裂的主动盘及背斜部位是矿床就位的有利场所。脉状锡矿均产于“大义山式断裂”构造体系派生的各方向组次级剪性(或先剪后张)断裂、裂隙中,区域性构造派生的次级构造是矿脉(体)就位的容矿构造。从而构成了深断裂控岩—区域性断裂导(配)矿—次级断裂容矿的构造成矿配套系统。

(4)大义山花岗岩体原生锡多金属矿主要有蚀变花岗岩体型、云英岩脉型、断裂破碎带等类型。找矿标志除上述产锡多金属矿燕山期花岗岩成矿专属标志外,其他如下:

①锡多金属矿床(点)有以岩体为中心,大致呈中、东、西 3 个北西向矿带围绕岩体展布;东矿带矿化最好。

②汤市铺超单元最有利于锡矿成矿,蚀变花岗岩体型锡矿多与介头单元有关,岩体内及其缓倾斜内外接触带矿化最好。

③岩体内节理发育地段是寻找蚀变花岗岩体型锡矿的有利标志。次级断裂是脉状锡矿良好的容矿空间,其产状急剧变化、分枝复合、叠加改造地段是大富矿体产出部位。

④花岗岩围岩蚀变有云英岩化、黄玉化、锂云母化、金属硫化物化、萤石化、电气石化、绿泥石化、硅化等。

参考文献(References):

- [1] 李四光.地质力学概论[M].北京:科学出版社,1973.
Li Siguang.Introduction to Geomechanics[M].Beijing:Science Press, 1973(in Chinese with English abstract).
- [2] 湖南地质矿产勘查开发局.湖南省区域地质志[M].北京:地质出版社,1988.
Hunan Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development. Regional Geology of Hunan Province[M].Beijing: Geological Publishing House,1988(in Chinese with English abstract).
- [3] 湖南区域地质调查所.湖南花岗岩单元—超单元划分及其成矿属性[J].湖南地质,1995,8(增刊).
Hunan Institute of Regional Geological Survey.The mineralization property and units—superunits partition of the granitic in Hunan Province[J].Beijing: Geology in Hunan,1995,8(supp.)(in Chinese with English abstract).
- [4] 彭和求,伍光英.湘南“大义山式构造”的厘定及地质意义[J].湖南地质,2000,19(2):87~90.
Peng Heqiu, Wu Guangying. Characteristics and geological significance of the Qitianling tectonics in South Hunan [J].Hunan Geology, 2000,19(2):87~90(in Chinese with English abstract).
- [5] 伍光英,彭和求,贾宝华.湘南大义山岩体构造及其侵位机制分析[J].华南地质与矿产,2000,(3):1~7.
Wu Guangying,Peng Heqiu, Jia Baohua.Geological features and emplacement mechanism of the Dayishan granitic intrusiton in South Hunan [J].Geology and Mineral Resources of South China, 2000,(3):1~7(in Chinese with English abstract).
- [6] 贵阳地球化学研究所.华南花岗岩类的地球化学[M].北京:科学出版社,1979.
Guiyang Institute of Geochemistry.Geochemistry of Granitoids in South China[M].Beijing:Science Press,1979(in Chinese).
- [7] 地质矿产部南岭项目花岗岩专题组.南岭花岗岩地质及其成因和成矿关系[M].北京:地质出版社,1989.
Granitoid Research Group of Nanling Project.Geology of Granitoids of Nanling Range and Their Petrogenesis and Mineralization [M]. Beijing:Geological Publishing House,1989(in Chinese).
- [8] 刘义茂,戴樟模,卢焕章,等.千里山花岗岩成岩成矿的⁴⁰Ar/³⁹Ar和Sm-Nd同位素年龄[J].中国科学(D辑)1997,27(5):425~430.
Liu Yimao, Dai Tongmo, Lu Huanzhang, et al. Isotopic date of ⁴⁰Ar/³⁹Ar and Sm-Nd for diagenesis—metallogenesis of the Qianlishan granite[J]. Science in China(Series D),1997,27(5):425~430(in Chinese).
- [9] 付建明,马昌前,谢才富,等.湖南骑田岭岩体东缘菜岭岩体的锆石 SHRIMP 定年及其意义[J].中国地质,2004,31(1):96~100.
Fu Jianming, Ma Changqian, Xie Caifu,et al.Zircon SHRIMP dating of the Cailing granite on the eastern margin of the Qitianling granite,Hunan,South China,and its significance[J].Geology in China, 2004,31(1):96~100(in Chinese with English abstract).
- [10] 李金冬,柏道远,伍光英,等.湖南郴州地区骑田岭花岗岩锆石 SHRIMP 定年及其地质意义[J].地质通报,2005,24(5):411~414.
Li Jindong,Bai Daoyuan,Wu Guangying, et al.Zircon SHRIMP dating of the Qitianling granite,Chenzhou,southern Hunan, and its geological significance [J].Geological Bulletin of China2005,24(5): 411~414.(in Chinese with English abstract).
- [11] 伍光英,马铁球,柏道远,等.湖南宝山花岗岩闪长质隐爆角砾岩的岩石学、地球化学特征及锆石 SHRIMP 定年[J].现代地质,2005,19(2):198~204.
Wu Guangying, Ma Tieqiu ,Bai Daoyuan,et al.Petrological and geochemical characteristics of granodioritic crytoexplosion breiaia and zircon SHRIMP dating in Baoshan eara,Hunan Province [J]. Geoscience,2005,19(2):198~204 (in Chinese with English abstract).
- [12] 朱金初,黄革非,张佩华,等.湘南骑田岭岩体菜岭超单元花岗岩侵位年龄和物质来源研究[J].地质论评,2003,49(3):245~252.
Zhu Jinchu,Huang Gefei, Zhang Peihua, et al.The emplacement age and material sources for the granites of Cailing superunit, Qitianling Pluton,south Hunan Province [J].Geological Review, 2003,49(3):245~252(in Chinese with English abstract).
- [13] 毛景文,李晓峰,Bernd Lehmann,等.湖南芙蓉锡矿床锡矿石和有关花岗岩的⁴⁰Ar-³⁹Ar年龄及其地球动力学意义[J].矿床地质,2004,23(2):164~174.
Mao Jingwen, Li Xiaofeng,Bernd Lehmann, et al. ⁴⁰Ar-³⁹Ar dating of tin ores and related granite in Furong tin orefield,Hunan Province,and its geodynamic significance[J]. Mineral Deposits,2004, 23(2):164~174(in Chinese with English abstract).
- [14] 蔡锦辉,韦昌山,孙明慧.湖南骑田岭白腊水锡矿床成矿年龄讨论[J].地球学报,2004,25(2):235~238.

- Cai Jinhui, Wei Changshan, Sun Minghui. A discussion on the ore-forming age of the Bailashui tin deposit in Qitianling, Hunan [J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 2004, 25 (2): 235~238 (in Chinese with English abstract).
- [15] 王登红, 陈毓川, 李华芹, 等. 湖南芙蓉锡矿的地质地球化学特征及找矿意义[J]. *地质通报*, 2003, 22(1): 50~56.
- Wang Denghong, Chen Yuchuan, Li Huaqin, et al. Geological and geochemical features of the Furong tin deposit in Hunan and their significance for mineral prospecting[J]. *Geological Bulletin of China*, 2003, 22(1): 50~56 (in Chinese with English abstract).
- [16] 魏绍六, 曾钦旺, 许以明, 等. 湖南骑田岭地区锡矿床特征及找矿前景[J]. *中国地质*, 2002, 29(1): 67~75.
- Wei Shaoliu, Zeng Qinwang, Xu Yiming, et al. Characteristics and ore of deposits in the Qitianling area, Hunan [J]. *Geology in China*, 2002, 29(1): 67~75 (in Chinese with English).
- [17] 刘铁生. 大义山矿田岩体型锡矿地质特征及矿床成因[J]. *中国地质*, 2002, 29(4): 411~415.
- Liu Tiesheng. Geological characteristics and genesis of rock body-type tin deposits in the Dayishan ore field [J]. *Geology in China*, 2002, 29(4): 411~415 (in Chinese with English abstract).
- [18] 南京大学地质系. 华南不同时代花岗岩类及其与成矿的关系[M]. 北京: 科学出版社, 1981.
- Geology Department of Nanjing University. *Granitoids of Different Ages in South China and Their Metallogenic Relations* [M]. Beijing: Science Press, 1981 (in Chinese).
- [19] 莫柱孙, 叶伯丹. 南岭花岗岩地质学[M]. 北京: 地质出版社, 1980.
- Mo Zhusun, Ye Bodan. *Geology of Granite in Nanling Range* [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1980 (in Chinese).

Geological and geochemical characteristics of the Dayishan granitoids in southern Hunan and their relations to mineralization

WU Guang-ying^{1,2}, PAN Zhong-fang², LI Jin-dong^{1,3},
XIAO Qing-hui¹, CHE Qin-jian^{1,3}

(1. *China University of Geosciences, Beijing 100083, China;*

2. *Yichang Institute of Geology and Mineral Resources, Yichang 443003, Hubei, China;*

3. *Hunan Bureau of Geology and Mineral Resources Exploration and development, Changsha 410011, Hunan, China*)

Abstract: Hierarchical units of the Dayishan granite are determined through geological and geochemical survey and study of the rock body. The authors think that the Dayishan granite is a composite intrusion formed by three phases and multiple stages of Indosinian and Yanshanian magmatic activities. Mineralization is mainly related to Mid-Late Jurassic granitic magmatism. The authors give the following points of understanding of tin-polymetallic ore-bearing granite: (1) Granitic magma in the same super-unit evolved from acid to acid-alkaline (calcium-poor and alkali-rich) composition from early to late times, i.e. the later-stage acid-alkaline intrusions show more marked metallogenic specialization. (2) Plagioclase commonly has An=4 to 15, with albite predominating; biotite has $Mf < 1.20$, belonging to siderophyllite-ferruginous biotite; the granite has high silica with $SiO_2 > 73\%$, higher alkalis with $Na_2O + K_2O > 7.5\%$ and $K_2O / Na_2O > 1.20$ and lower calcium with $CaO < 0.80\%$, and the peralumina index $AKNC > 1.10$, alkalinity $AR > 2.5$ and differentiation index $DI > 50$; the ratio of the number of oxygen atoms to the total number of molecules is > 1.98 and is rich in F and B; LREE is enriched relative to HREE and the value of Eu depletion is < 0.30 . (3) The rock shows higher Sn, W, F, As, Sb, Pb, Zn, Cu and U anomalies and the placer minerals are cassiterite, wolframite, antimony minerals and cinnabar, as well as lead, zinc and copper minerals. (4) The Indosinian-Yanshanian NW-trending Chenzhou-Shaoyang fault is of sinistral compresso-shear origin in the early stage and shows tenso-shear, compounding and multiple transition features; the syntectonic granitic magma was emplaced sequentially in three phases obliquely along the NW-trending tectonic belt from southeast to northwest. Tin-polymetallic deposits (occurrences) are distributed around the intrusion. The deposit types mainly include the altered granite type, greisen dike type and fractured type. The metallogenic conditions and ore indications are also summarized and analyzed.

Key words: metallogenic condition; tin-polymetallic deposit; geochemical background; Dayishan granite; Hunan

About the first author: WU Guang-ying, male, born in 1965, doctor candidate, senior engineer, specializes in mineralogy, petrology and geology of mineral deposits, engages in geological survey and research; E-mail: ycwguanying@cgs.gov.cn.