

浙江漓渚地区栅溪—广山岩体地质地球化学特征、构造及找矿意义

张建芳 解怀生 许兴苗 龚瑞君

(浙江省地质调查院, 浙江 杭州 311203)

摘要:浙江漓渚地区位于钦杭成矿带北东段,发育矽卡岩型铁或铁多金属矿床或矿(化)点,成矿作用与沿北东走向褶皱-断裂带发育的晚侏罗世末栅溪—广山侵入岩密切相关;栅溪岩体岩石类型主要为中细粒石英(花岗)闪长岩,广山岩体岩石类型主要为中粒及细粒花岗岩;前者为含角闪石钙碱性(低钾-高钙)花岗岩类(ACG),具有低硅、贫碱、富钙、镁和铁的特征,相对富集 K、Rb、Ba、Th、U、Zr、Hf 等元素,弱亏损 Sr、Ti 等元素,具弱负钕异常及向右弱倾的稀土配分曲线特征,地球化学类似 I 型花岗岩特征;后者为富碱钙碱性(高钾-低钙)花岗岩类(KCG),具有高硅、富碱、低钙和镁铁的特征,富集 K、Rb、Th、U、Nb、Ta、Zr、Hf 等元素,强亏损 Ba、Sr、Ti 等元素,具强负钕异常及“V”型稀土配分曲线特征,地球化学类似 A 型花岗岩特征。成岩构造环境具有从俯冲碰撞作用向后碰撞或后造山作用转换的特征,转换时间与华南地区构造环境转换时间吻合,为华南构造-岩浆演化提供新的约束;且这两类侵入岩在浙江分布广,均具有较好的成矿潜力及找矿前景。

关键词:地球化学;构造意义;栅溪—广山岩体;漓渚地区;浙江

中图分类号:P588.12 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2013)02-0403-11

浙江漓渚地区广泛发育侵入岩,主要代表性岩体有栅溪岩体和广山岩体;漓渚矽卡岩型铁矿作为浙江省少数中型矿床之一,其成矿作用与栅溪—广山岩体具有密切关系,且在岩体内部及与围岩接触带上还发育有许多矿(化)点,具有较好的找矿前景。前人对栅溪和广山岩体的侵入时代存在 3 种认识:印支期和燕山期^①、燕山早期早侏罗世和晚侏罗世^②以及燕山晚期早白垩世^③,最近锆石 U-Pb 年龄研究表明栅溪岩体成岩时代为(150.1±2.6)Ma,广山岩体成岩时代为(147.2±1.7)Ma,均为燕山早期晚侏罗世末侵入^④,该时期侵入岩在浙江省报道较少。本文在前人研究的基础上,结合本次矿产远景调查工作对栅溪—广山岩体的岩石学特征、地球化学特征等方

面进行研究,探讨该区成岩成矿构造环境及其构造-找矿意义。

1 地质概况

研究区位于钦杭成矿带北东段的江绍断裂带东端北西侧边缘(图 1-a)^[2-3],区内出露地层较为连续,中部主要为南华系—奥陶系、泥盆系和侏罗系等地层,北西部及南东部主要为青白口纪地层及白垩纪黄尖组火山岩地层;区内印支期和燕山期褶皱及断裂构造作用发育,尤其是印支运动使早古生代及其之下的地层发生了剧烈的褶皱和构造变形^⑤。漓渚地区发育一系列北东向背斜及断裂带,如江藻—桃源背斜及断裂带,断裂性质以压扭性为主,核部为南华

收稿日期:2012-04-13;改回日期:2012-07-12

基金项目:中国地质调查局地质大调查项目(1212010011730)资助。

作者简介:张建芳,男,1985 年生,硕士,助理工程师,从事矿产资源调查与研究;E-mail:zhjianfang@126.com。

①浙江省地质局区域地质测量大队. 1:20 万诸暨幅区域地质调查报告. 1975.

②浙江省地质局浙江省地质职工大学. 1:5 万漓渚幅区域地质调查报告. 1981.

③南京地质矿产研究所. 1:25 万嵊县幅区域地质调查报告. 2004.

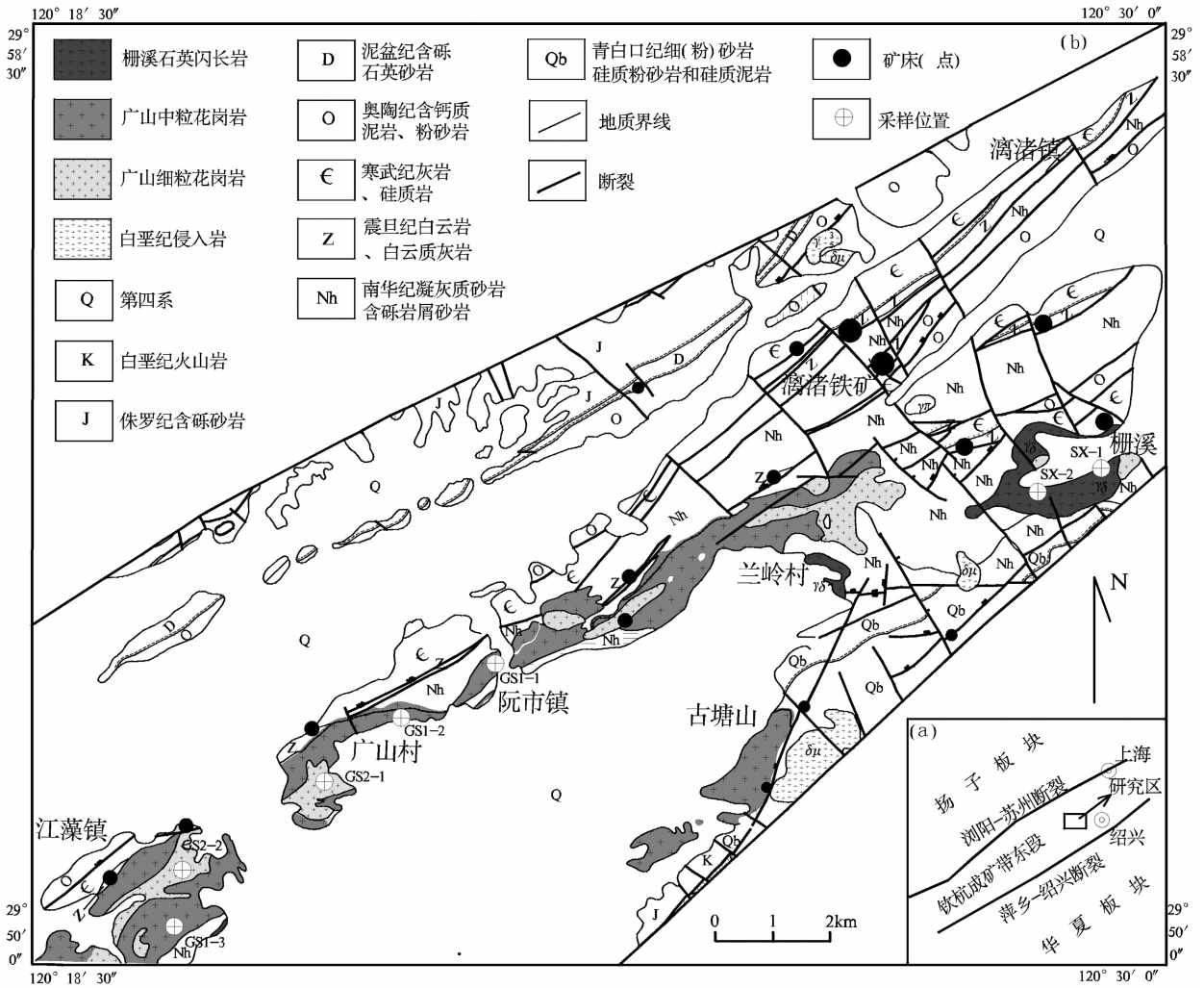


图 1 漓渚地区栅溪—广山岩体分布图(据①修编)

Fig.1 The distribution of Shanxi-Guangshan intrusions in Lizhu area

纪地层,两翼为震旦纪—奥陶纪地层,背斜的北西翼比南东翼完整,南西端倾伏,北东端撒开分岔为数支被切割的褶皱翼部,并向南东倒转;栅溪—广山岩体沿该背斜轴部及断裂带侵入,走向 NE 40~50°,总体向北西倾斜,总面积近 100 km²(图 1-b)。

栅溪岩体主要分布于褶皱北东端栅溪村一带,在南西部兰岭村、江藻村也有零星出露,呈小岩株形式产出,岩体内部几乎被人工完全开采,内部岩性主要为花岗闪长岩,往南东边缘过渡为石英闪长岩,局部有后期细粒花岗岩脉侵入;岩体与围岩侵入接触界面较平直(图 2-a),总体倾向北西,局部接触面向南东,倾角 50°左右。

广山岩体主要分布于褶皱南西端兰岭村—江藻一带及古塘山附近,受北东向构造带控制,呈长条状展布,岩体主要由中粒花岗岩及细粒花岗岩组成(图 1-b)。中粒花岗岩呈连续带状,边缘岩性渐变为中细粒斑状花岗岩;与围岩接触面一般比较平直,岩体总体倾向北西,倾角 40°以上;岩体两端剥蚀较浅,中间较深,具有向两端倾伏的特点;岩石中发育后期侵入的细粒花岗岩脉、花岗伟晶岩脉(图 2-c)等。细粒花岗岩呈断续带状,围岩主要为中粒花岗岩,局部与寒武系灰岩及南华系凝灰质粉砂岩接触;接触面产状不规则,局部成枝叉状(图 2-b),在岩体边缘常见有中粒花岗岩及灰岩捕虏体。

①浙江省地质局浙江省地质职工大学: 1:5 万漓渚幅区域地质调查报告, 1981.

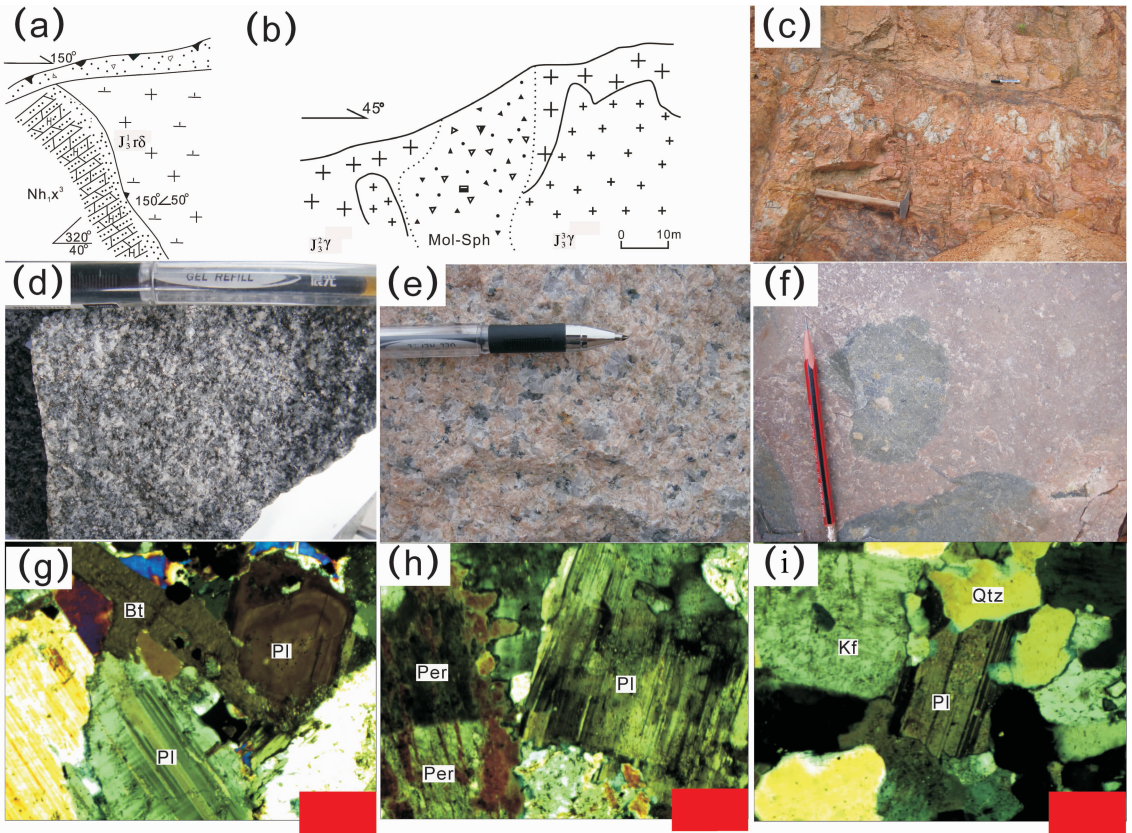


图 2 栅溪—广山岩体宏观及微观地质特征

a—栅溪石英闪长岩($J_3^1 \gamma \delta$)与休宁组(Nh_1x^3)侵入接触关系图;b—上檀中粒花岗岩($J_3^1 \gamma$)、细粒花岗岩($J_3^1 \gamma$)及铜锌破碎带(Mol-Sph)接触关系图;c—广山中粒花岗岩中侵入的花岗伟晶岩脉;d—栅溪石英闪长岩;e—广山中粒花岗岩;f—广山细粒花岗岩及其内的小包体;g—栅溪石英闪长岩中斜长石环带结构及聚片双晶;h—广山中粒花岗岩中条纹长石(Per)卡氏双晶及斜长石(Pl)聚片双晶;i—广山细粒花岗岩中石英(Qtz)、钾长石(Kf)、斜长石(Pl)

Fig.2 Macroscopic and microscopic geological features of Shanxi-Guangshan intrusions

a-Intrusive contact between Shanxi quartz diorite ($\gamma \delta^{20}$) and Xiuning Group (Nh_1x^3); b- Contact relationship of medium-grained granite (γ^{20}), fine-grained granite (γ^{20}) and Mo-Zn fracture zone in Shantan; c- Granitic pegmatite dykes in Guangshan medium-grained granite; d-Shanxi quartz diorite; e- Guangshan medium-grained granite; f- Guangshan fine-grained granite and packet body; g-Zoning structure and polysynthetic twin of plagioclase in Shanxi quartz diorite; h-Carlsbad twin of perthite and polysynthetic twin of plagioclase in Guangshan medium-grained granite; i-Quartz, K-Feldspar and plagioclase in Guangshan fine-grained granite

2 岩石学特征

2.1 栅溪岩体

石英闪长岩:灰白-暗灰色,半自形中细粒结构,块状构造(图 2-d),矿物粒度一般 $<2\text{ mm}$ 。岩石主要由斜长石(55%~60%)、钾钠长石(5%~10%)、石英(10%~25%)、角闪石(5%~15%)和黑云母(5%~10%)组成。斜长石呈自形-半自形板柱状,具明显环带结构(图 2-g),可见卡钠复合双晶及聚片双晶,主

要由中长石和更长石组成,具有轻微绢云母化;钾钠长石呈半自形-自形结构,具卡氏双晶;石英呈他形结构,充填于先结晶出的晶体之间;角闪石具多色性,部分已绿泥石化;黑云母呈片状,沿解理或边缘蚀变为绿泥石。副矿物主要为锆石、磷灰石、榍石、磁铁矿、褐帘石等,其次为金红石、毒砂、刚玉、独居石、辉钼矿、辉铋矿、白钨矿、钛铁矿等^①。

2.2 广山岩体

中粒花岗岩:浅肉红色,自形-半自形中粒至中

①浙江省地质局浙江省地质职工大学:1:5万漓渚幅区域地质调查报告,1981。

粒似斑状结构(图 2-e);岩石主要由钾钠长石(35%~50%)、斜长石(5%~15%)、石英(25%~35%)、黑云母(2%~5%)等组成,从内部相到边缘相钾钠长石及石英含量增加,斜长石及黑云母含量减少。岩石内部相晶粒均较大,粒径 2~5 mm,局部达 8 mm;似斑状结构,斑晶主要为自形厚板状钾钠长石,含量 5%~20%,粒径为 8~20 mm×10~30 mm,基质粒径为 2~4 mm。边缘相为中细粒似斑状结构,斑晶主要为条纹长石、石英和斜长石,含量 15%~25%,斑晶粒径 3~7 mm,基质粒径 0.2~0.5 mm。钾钠长石呈不规则板柱状,多具条纹结构,偶见格子双晶和卡氏双晶(图 2-h);斜长石呈半自形柱状,多具卡钠复合双晶和聚片双晶,粒度一般较钾钠长石小;石英呈他形粒状,边缘相石英多被熔蚀,内部相石英仍有自形较好的增生现象,晶体常见有裂纹,局部裂隙被绿泥石或绢云母次生交代充填。岩石副矿物组合复杂,主要为磁铁矿、黄铁矿、赤褐铁矿、锆石、磷灰石、萤石、褐帘石,其次为钛铁矿、锐钛矿、榍石、独居石、金红石、绿帘石、钍石、石榴石、刚玉、绿帘石、辉铜矿、闪锌矿,还见有少量的重晶石、磷钇矿、方铅矿、自然铅、磁黄铁矿等^①。中粒花岗岩蚀变较强,局部发育较强钾长石化;钠长石化微弱但普遍,主要沿钾长石的双晶纹和条纹长石的晶隙进行交代;在断层带及其附近发育较强云英岩化、绢云母化、黄铁矿化、绿泥石化、绿帘石化及高岭土化等。

细粒花岗岩:浅肉红-灰白色,自形-半自形细粒结构(图 2-f;i),矿物颗粒一般<1 mm,少数达 2 mm 左右;主要为钾钠长石(±40%)、斜长石(±30%)、石英(±30%)及少量黑云母等。钾钠长石呈半自形柱状,以微斜长石和条纹长石为主,偶见格子双晶和卡氏双晶,局部略有泥质及绢云母交代;斜长石主要为更长石,呈柱状晶体,以聚片双晶最为常见,另见有卡钠复合双晶,局部有少量绢云母交代;石英呈他形粒状,普遍具有微波状消光;黑云母呈不规则鳞片状,有的被绿泥石交代或褪色为白云母。细粒花岗岩中发育椭圆状或不规则状暗色细粒包体,大小一般为 10~20 cm,大者 30~40 cm(图 2-f)。副矿物主要为磁铁矿、钛铁矿、榍石、黄铁矿、褐帘石、辉钼矿、萤石、锆石、赤褐铁矿、闪锌矿,次有绿帘石、角闪石、独

居石、磷灰石、锐钛矿、方铅矿、钍石、自然铅、刚玉、辉石、毒砂、磷钇矿、褐钇铀矿以及白钛石等^①。

3 地球化学特征

3.1 主量元素

岩石主量、稀土和微量元素采样位置见图 1,分析结果列于表 1。栅溪石英闪长岩 SiO₂ 为 60.53%~60.71%;K₂O 为 1.48%~1.59%,K₂O+Na₂O 为 5.17%~5.18%;Al₂O₃ 为 14.95%~15.33%;CaO 含量较高,为 5.28%~5.50%;富铁,FeO^T(FeO+0.9 * Fe₂O₃)为 10.20%~10.37%;MgO 为 2.73%~2.99%。广山中粒花岗岩 SiO₂ 为 73.43%~74.92%;K₂O 为 4.23%~5.18%,K₂O+Na₂O 为 8.23%~9.32%;Al₂O₃ 为 12.49%~12.94%;CaO 含量低,为 0.39%~1.12%;FeO^T 为 2.00%~3.13%;MgO 为 0.06%~0.39%。广山细粒花岗岩 SiO₂ 为 72.53%~74.73%;K₂O 为 4.85%~4.89%,K₂O+Na₂O 为 8.06%~8.74%;Al₂O₃ 为 12.33%~13.33%;CaO 含量低,为 0.84%~1.62%;FeO^T 为 2.12%~2.95%;MgO 为 0.14%~0.40%。

栅溪石英闪长岩铝饱和指数 A/NCK 为 0.87,为准铝质;K₂O/Na₂O 为 0.40~0.44;里特曼指数(δ) 为 1.51~1.53,属钙碱性系列。广山花岗岩铝饱和指数 A/NCK 为 0.93~0.99,为准铝质-过铝质(图 3-a);K₂O/Na₂O 为 1.06~1.54;里特曼指数(δ)为 2.20~2.72,属高钾钙碱性系列(图 3-b)。随着岩浆的演化,碱质含量逐渐增高,从富钠逐渐向富钾演化。栅溪石英闪长岩 TFeO/(TFeO+MgO) 为 0.78~0.79(<0.8);TFeO/MgO 较低,为 3.47~3.74,平均值为 3.60;广山花岗岩 TFeO/(TFeO+MgO)为 0.88~0.97(0.8~1),TFeO/MgO 较高,为 7.37~33.30,平均值为 15.02,前者 TFeO/MgO 值与 I 型花岗岩的平均值(2.27)^[4]相近,后者 TFeO/MgO 值与 A 型花岗岩平均值(13.4)^[4]相近,与岩石 Na₂O-K₂O 图解(图 5-a)所落在的范围一致。

3.2 稀土、微量元素

栅溪石英闪长岩 ∑REE 为 155.32×10⁻⁶~156.70×10⁻⁶,轻重稀土分异较明显,LREE/HREE 为 8.23~9.24,La_N/Yb_N 为 9.26~11.61,δEu 为 0.74~0.80,具弱负铕异常,球粒陨石标准化稀土配分曲线

①浙江省地质局浙江省地质职工大学. 1:5 万滴渚幅区域地质调查报告. 1981.

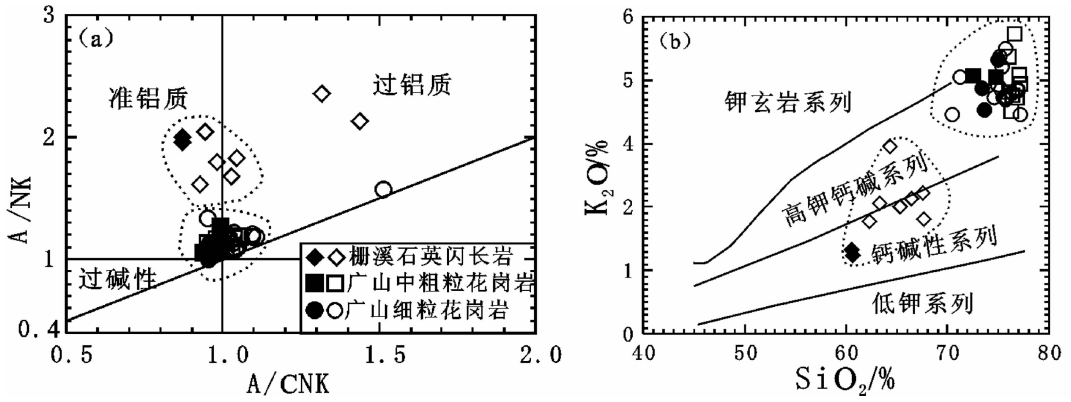


图 3 栅溪—广山岩体的 A/NK-A/NCK(a)和 K₂O-SiO₂(b)判别图解(其中空心数据源自①)
 Fig.3 Differentiation diagram of A/NK versus A/NCK (a) and K₂O versus SiO₂ (b) for Shanxi-Guangshan rocks

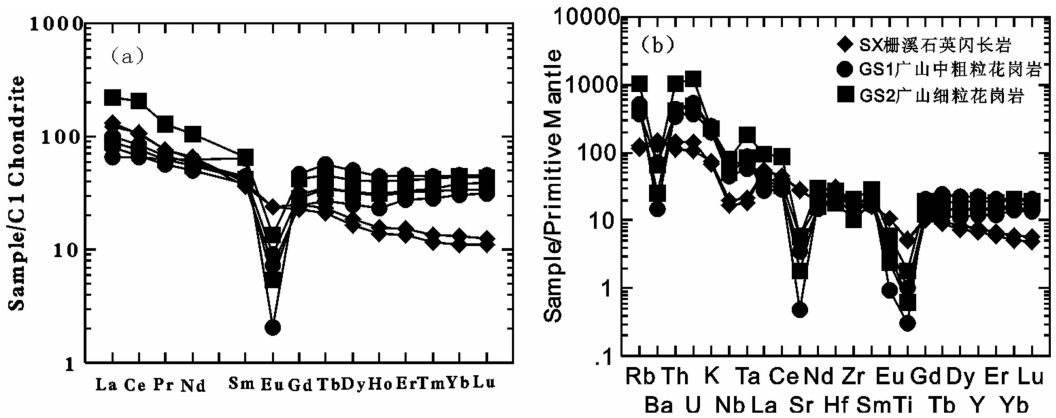


图 4 稀土元素球粒陨石标准化配分型式(a)及微量元素原始地幔标准化蛛网图(b)
 Fig.4 Chondrite-normalized REE patterns (a) and primitive mantle normalized trace element spidergram (b)

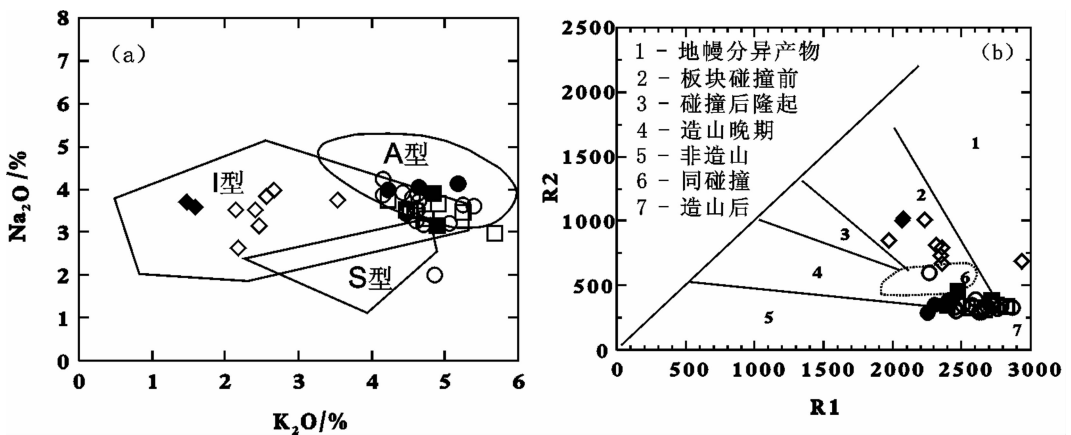


图 5 栅溪—广山岩体 Na₂O-K₂O 图解(a)和 R₁-R₂ 构造环境判别图解(b)(图例同图 3)
 Fig.5 Differentiation diagram of Na₂O versus K₂O (a) and R₁ versus R₂(b) for Shanxi-Guangshan rocks (legends as for Fig. 3)

①浙江省地质局浙江省地质职工大学: 1:5 万漓渚幅区域地质调查报告, 1981.

表 1 柵溪-广山岩体主要元素(10⁻²)、微量元素和稀土元素(μg/g)含量
Table 1 Analytical results of Major elements, trace element and REE for Shanxi-Guangshan intrusions

样号	SX-1	SX-2	GSI-1	GSI-2	GSI-3	GS2-1	GS2-2	样号	SX-1	SX-2	GSI-1	GSI-2	GSI-3	GS2-1	GS2-2
岩性	石英闪长岩	石英闪长岩	中粒花岗岩	中粒花岗岩	中粒花岗岩	细粒花岗岩	细粒花岗岩	岩性	石英闪长岩	石英闪长岩	中粒花岗岩	中粒花岗岩	中粒花岗岩	细粒花岗岩	细粒花岗岩
SiO ₂	60.71	60.53	73.43	74.94	73.62	72.53	74.73	Tm	0.3	0.34	0.72	1.14	0.83	1.07	0.88
Al ₂ O ₃	15.33	14.95	12.94	12.49	12.64	13.33	12.33	Yb	1.9	2.23	5.2	7.71	5.75	7.53	6.55
Fe ₂ O ₃	6.78	7.21	1.54	1.42	2.12	2.12	1.56	Lu	0.28	0.32	0.79	1.15	0.86	1.09	1
K ₂ O	1.48	1.59	4.65	5.18	4.23	4.89	4.85	ΣREE	155.32	156.7	120.71	145.45	146.26	290.34	136.39
Na ₂ O	3.69	3.59	4.04	4.14	4	3.17	3.89	LREE	140.15	139.72	95.79	101.04	116.16	250.81	105.6
CaO	5.5	5.28	0.8	0.39	1.12	1.62	0.14	HREE	15.17	16.99	24.92	44.42	30.11	39.53	30.79
MgO	2.73	2.99	0.2	0.06	0.39	0.4	0.14	L/H	9.24	8.23	3.84	2.27	3.86	6.35	3.43
MnO	0.14	0.16	0.1	0.07	0.11	0.06	0.1	La _{Nd} /Y _b	11.61	9.26	2.64	1.43	2.99	5.02	2.28
TiO ₂	0.8	0.85	0.11	0.05	0.16	0.29	0.1	δEu	0.8	0.74	0.23	0.04	0.25	0.26	0.15
P ₂ O ₅	0.24	0.25	0.019	<0.01	0.035	0.093	0.012	δCe	1.03	1.09	0.99	1.03	0.99	1.17	1.01
FeO	4.1	3.88	0.86	0.72	1.22	1.04	0.72	Zr	136	141	93	107	106	169	85
H ₂ O ⁺	0.98	1.2	0.78	0.22	0.8	0.62	0.56	Ga	21.8	21.5	17.9	21.6	17.5	19.5	17.3
烧失量	1.78	1.66	1.38	0.36	0.82	0.68	0.62	Y	22.5	25.9	40.4	75.5	50.1	68.3	51.5
K ₂ O+Na ₂ O	5.17	5.18	8.69	9.32	8.23	8.06	8.74	Nb	9.47	11.1	25.8	36.7	25.1	44.2	29
K ₂ O/Na ₂ O	0.4	0.44	1.15	1.25	1.06	1.54	1.25	Hf	8.84	9.55	7.45	8.76	6.57	8.56	5.63
TiFeO/(TiFeO+MgO)	0.79	0.78	0.92	0.97	0.89	0.88	0.94	Sc	13.2	14.6	3.98	8.47	5.32	6.73	3.55
NK/A	0.5	0.51	0.9	1	0.88	0.79	0.95	V	137.6	139.8	7.89	2.48	15.8	24.8	6.37
A/CNK	0.87	0.87	0.98	0.95	0.96	0.99	0.93	Cr	43.6	50.4	5.46	7.13	5.91	4.02	5.23
δ	1.51	1.53	2.48	2.72	2.21	2.2	2.41	Co	17.7	18.5	1.29	1.14	2.24	3.02	1.44
La	30.8	28.8	19.1	15.4	23.9	52.7	20.9	Ni	14.8	17.1	1.81	3.53	2.43	1.49	2.32
Ce	65	65.7	41.5	40.3	51.2	126	46.7	Rb	64.9	68.2	219	287	206	565	233
Pr	7.22	7.15	5.42	5.99	6.39	12.3	5.92	Sr	503	482	61.2	84.3	107	104	31.8
Nd	30.2	30.9	23.4	29.4	27.4	48.7	25.5	Cs	5.7	7.03	3.13	2.78	4.27	41.2	3.4
Sm	5.56	5.93	5.88	9.88	6.72	10	6.36	Ba	678	759	351	75.6	361	328	128
Eu	1.38	1.37	0.42	0.12	0.53	0.79	0.31	Ta	0.76	0.87	3.5	3.13	2.38	7.59	3.41
Gd	4.69	5.12	5.05	9.63	6.22	8.55	5.83	Pb	20	23.3	30.9	47.5	21.8	33.4	34.8
Tb	0.78	0.86	1	2.14	1.32	1.68	1.28	Th	9.27	7.06	24.2	28.1	21.4	65.7	26.4
Dy	4.21	4.69	6.32	12.6	8.16	10.5	8.05	U	2.58	1.93	6.56	9.44	7.15	21.8	8.84
Ho	0.79	0.89	1.33	2.51	1.7	2.25	1.75	Rb/Sr	0.13	0.14	3.58	34.01	1.93	5.41	7.33
Er	2.22	2.54	4.52	7.59	5.26	6.85	5.45	U/Th	0.28	0.27	0.27	0.34	0.33	0.33	0.34

注:由国土资源部杭州矿产资源监督检测中心(2011)测试分析;微量元素采用湿化学分析方法分析完成,测试仪器为 ZSX100eX 荧光光谱仪(BR00105),测试精度优于 1%;稀土微量元素采用 ICP-MS 方法分析完成,测试仪器为 Thermo X Series II 电感耦合等离子体质谱联用仪(SN01426C),测试精度优于 5%。

具有向右缓倾的特征(图 4-a)。广山花岗岩 ΣREE 为 $120.71 \times 10^{-6} \sim 290.34 \times 10^{-6}$, 轻重稀土分异不明显, LREE/HREE 为 2.27~6.35, La_N/Yb_N 为 1.43~5.02, δEu 为 0.04~0.26, 具强负铕异常, 球粒陨石标准化稀土配分曲线具有相似的“V”型特征(图 4-a)。

在微量元素组成上(图 4-b), 栅溪石英闪长岩富集 K、Rb、Ba、Th、U 等大离子亲石元素 (LILE) 及 Zr、Hf 等高场强元素(HFSE), Sr、Ti 亏损不明显。广山花岗岩强富集 K、Rb、Th、U 等大离子亲石元素 (LILE) 及 Nb、Ta、Zr、Hf 等高场强元素 (HFSE), 但强亏损 Ba、Sr、Ti 等元素, 具有 A 型花岗岩的特征。

4 讨论

4.1 岩浆成因及其构造环境分析

前人研究表明, 栅溪岩体 ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_i=0.70739$, $\delta^{18}\text{O}=7.38\text{‰}$); 广山岩体 ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_i=0.70968$, $\delta^{18}\text{O}=7.52\text{‰}$), 具靠近大陆内部之陆缘同熔型岩浆成因特征, 岩浆来源均为壳幔混源, 受到地壳物质的混染^[6]。如前面所述, 栅溪岩体的岩石学、地球化学特征与广山岩体迥然不同, 暗示两者成因有所不同, 根据 Barbarin^[7-9]对花岗岩构造环境判别方法, 栅溪石英闪长岩为含角闪石钙碱性 (低钾-高钙) 花岗岩类 (ACG), 具有类似 I 型花岗岩的特征, 而广山花岗岩为富碱钙碱性 (高钾-低钙) 花岗岩类 (KCG), 具有类似 A 型花岗岩的特征, 前者偏向于俯冲碰撞作用环境, 后者偏向于构造体制转换环境。根据 Maniar and Piccoli^[9]的判别构造环境方法, 广山岩体均落在

后造山花岗岩类 (POG) (图 6-a, b), 而栅溪岩体落在 IAG+CAG+CCG 区域中, 结合岩石类型、主量元素及 A/NCK 等特征, 判断其为大陆弧花岗岩类 (CAG), 这与岩体的 R_1-R_2 图解(图 5-b)所在区域相似; 在 Rb-Y+Nb 及 Rb/30-Hf-3Ta 构造图解中(图 7-a, b), 同样具有弧花岗岩向板内花岗岩演化趋势。

4.2 构造意义

花岗岩类型是地球动力学演变的示踪物, 同一地区常具有几种类型花岗岩同时存在, 其生成次序指示了地球动力学环境的变化^[10]。许多学者认为, 华南从中侏罗世开始岩石圈伸展, 持续性或周期性至白垩纪的区域性大规模岩石圈拉张减薄伸展^[11-13]。但近年来越来越多学者认为, 华南中侏罗世是一个重要的构造转折时期, 即从特提斯构造体制向太平洋构造体制进行转变^[3, 14-16], 约在 $(165 \pm 5)\text{Ma}$ 进入太平洋构造域的活动大陆边缘挤压造山阶段^[16-17], 而且构造地质研究表明该时期中国东部并非太平洋板块的单向作用, 而是多板块的多向汇聚作用, 形成以陆内俯冲和陆内造山为特征的东亚汇聚构造体系^[13]; 晚侏罗世在东南沿海地区发育南东-北西向的推覆构造, 并被早白垩世火山岩覆盖^[18]; 而早白垩世以后 $(140 \pm 5\text{Ma})$ 转换为后碰撞拉张环境, 进入持续大规模岩石圈伸展减薄作用^[11-13, 15, 19], 造成大规模火山喷发。

漓渚地区位于江绍断裂带北东端, 根据栅溪花岗闪长岩体局部有花岗岩岩脉侵入的地质特征及其定年结果^[1]显示, 侵入岩从早到晚演化序列为栅溪

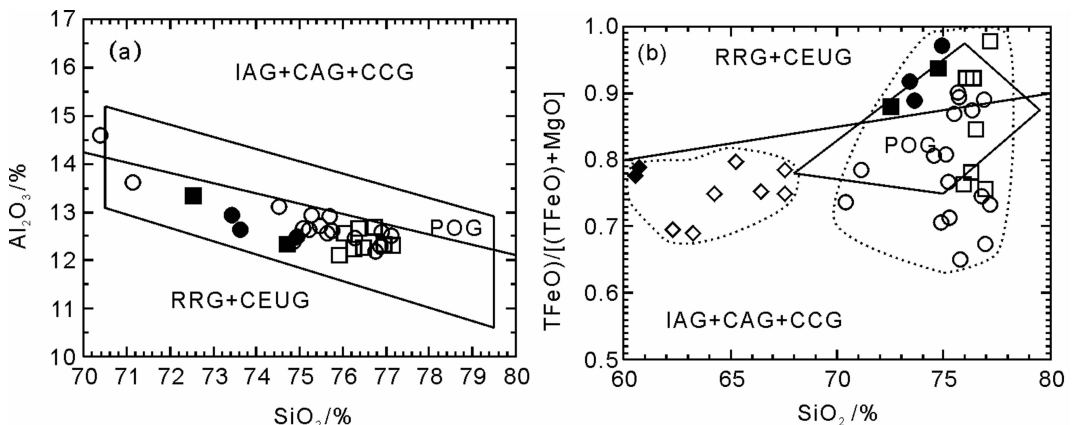


图 6 栅溪—广山岩体的 $\text{SiO}_2\text{--FeO}t/(\text{FeO}t+\text{MgO})$ 图解(a)和 $\text{SiO}_2\text{--Al}_2\text{O}_3$ 图解(b)(图例同图 3)

Fig.6 Diagram of $\text{TFeO}/(\text{TFeO}+\text{MgO})$ versus SiO_2 (a) and Al_2O_3 versus SiO_2 (b) for Shanxi-Guangshan intrusions (legends as for Fig. 3) IAG-岛弧花岗岩类(Island arc granite); CAG-大陆弧花岗岩类(Continent arc granite); CCG-大陆碰撞花岗岩类(Continent collision granite); POG-后造山花岗岩类(Post orogenic granite); RRG-与裂谷有关的花岗岩类(Granite related to rift); CEUG-与大陆的造陆抬升有关的花岗岩类(Continent emergence uplift granite)

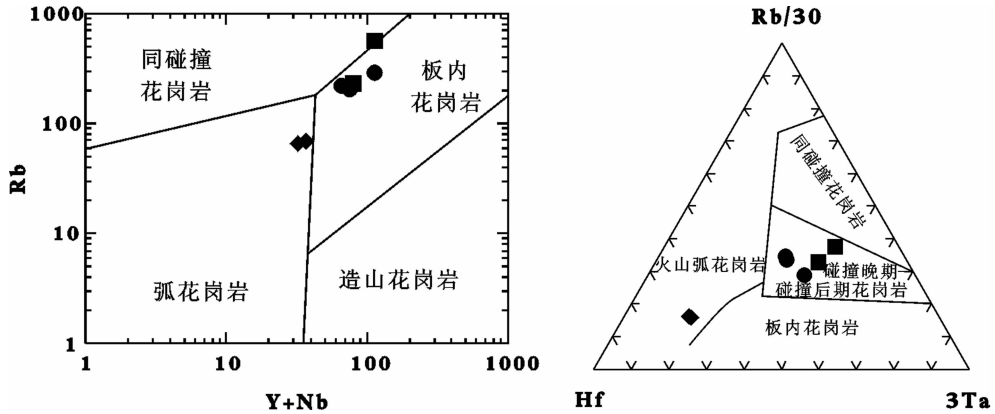


图7 栅溪—广山岩体 Rb-Y+Nb(a)和 Rb/30-Hf-3Ta(b)构造判别图(图例同图4)

Fig.7 Differentiation diagram of Rb versus Y+Nb (a) and Rb/30-Hf-3Ta (b) for Shanxi-Guangshan intrusions (legends as for Fig.4)

低钾高钙花岗(石英)闪长岩(150.1 ± 2.6 Ma)→广山高钾低钙富碱中粒及细粒花岗岩(147.2 ± 1.7 Ma),它们均属于晚侏罗世末岩浆活动的产物。综上所述,漓渚地区侵入岩类成因类型从早到晚为I型至A型演化,成岩构造环境具有从俯冲碰撞作用向后碰撞或后造山伸展作用演化的特征,表明漓渚地区构造环境的转换时间为晚侏罗世末($150.1 \sim 147.2$ Ma),与整个华南地区构造环境转换时间相吻合。

4.3 找矿意义

浙闽沿海地区发育许多后造山期I-A型复合花岗岩,如鼓山—魁歧($104 \sim 93$ Ma)、青田($107.96 \sim 101.2$ Ma)和普陀山—桃花岛($93.6 \sim 92.9$ Ma)等岩体^[20-21],其岩石地质地球化学特征与漓渚地区的复合侵入岩类似;此外还有石平川I型花岗岩(102.5 Ma)^[22],洪公石英正长岩(135 Ma)^[23],桐庐二长闪长岩(134 Ma)^[24],沐尘石英二长岩(112.1 Ma)^[25],曹门花岗岩(102 ± 1 Ma)^[24]以及瑶坑花岗岩(91.3 ± 2.5 Ma)^[27]等富碱或碱性高钾侵入岩沿NE向断裂带(如江山—绍兴断裂)发育,其成岩时代多为早白垩世,具有多期次特征^[28-29],且石平川I型花岗岩及曹门碱性花岗岩分别与石平川石英脉型钼矿和怀溪热液脉状充填型铜金矿床成矿密切相关^[22,26]。

以往在浙江中晚侏罗世花岗岩报道较少,漓渚地区栅溪—广山I型-A型花岗岩类地球化学及年代学的厘定表明浙江中晚侏罗世花岗岩发育且规模也比较大,围绕岩体接触带广泛发育矽卡岩型铁矿(如漓渚铁矿)、铁锌矿、铁钼矿、铜多金属矿以及沉积-改造型钼矿等,且通过此次调查工作在广山花岗岩内部也广泛发育岩浆-构造热液石英脉型钼

(锌)矿或细脉浸染状钼矿化,且近年来尤其是浙西地区不断有该时期花岗岩的发现,如浙西开岭脚—里陈家花岗闪长岩($151 \sim 148$ Ma)^[30],开化地区桐村花岗斑岩($167.6 \sim 155.6$ Ma)^[31],均发育Cu、Mo矿化,具有较好的找矿前景;这说明浙江这两类花岗岩均具有巨大的成矿潜力,今后应加大其找矿力度。

5 结论

(1) 栅溪—广山岩体主要沿北东走向褶皱-断裂带侵入,受构造控制明显,栅溪岩体岩石类型主要为花岗(石英)闪长岩,广山岩体岩石类型主要为中粒及细粒花岗岩。

(2) 栅溪岩体与广山岩体的地质地球化学特征迥然不同:栅溪岩体为含角闪石钙碱性(低钾-高钙)花岗岩类,具有类似I型花岗岩的特征;广山岩体为富碱钙碱性(高钾-低钙)花岗岩类,具有类似A型花岗岩的特征;前者偏向于俯冲碰撞作用环境,为大陆弧花岗岩类;后者偏向于构造体制转换环境,为后造山花岗岩类。栅溪—广山岩体为晚侏罗世末岩浆活动的产物,成岩构造环境具有从俯冲挤压碰撞作用向后碰撞或后造山伸展作用演化的特征,与整个华南地区的构造环境转换时间相吻合。

(3) 漓渚地区围绕岩体接触带及断裂带广泛发育矽卡岩型、沉积-改造型及岩浆-构造热液脉型矿床(点),且这类中晚侏罗世花岗岩在浙西也不断发现,均发育Cu、Mo矿化,具有较好的找矿前景。

参考文献(References):

[1] 顾明光,冯立新,胡艳华,等.浙江绍兴地区广山-栅溪岩体 LA-

- ICP-MS 锆石 U-Pb 定年:对漓渚铁矿成矿时代的限定[J].地质通报,2011, 30(8):1212-1219.
- Gu Mingguang, Feng Linxin, Hu Yanhua, et al. LA-ICP-MS U-Pb dating of zircons from Guangshan and Zhaxi plutons in Shaoxing area, Zhejiang Province: constraint on the ore-forming epoch of the Lizhu iron ore deposit[J]. Geological Bulletin of China, 2011, 30(8):1212-1219(in Chinese with English abstract).
- [2] 杨明桂, 黄水保, 楼法生, 等. 中国东南陆区岩石圈结构与大规模成矿作用[J]. 中国地质, 2009, 36(3):528-543.
- Yang Mingguai, Huang Shuibao, Lou Fasheng, et al. Lithospheric structure and large-scale metallogenic process in Southeast China continental area [J]. Geology in China, 2009, 36 (3):528-543(in Chinese with English abstract).
- [3] 毛景文, 陈懋弘, 袁顺达, 等. 华南地区钦杭成矿带地质特征和矿床时空分布规律[J]. 地质学报, 2011, 5(5):636-658.
- Mao Jingwen, Chen Maohong, Yuan Shunda, et al. Geological characteristics of the Qinhang (or Shihang) metallogenic belt in South China and spatial-temporal distribution regularity of mineral deposits[J]. Acta Geologica Sinica, 2011, 5(5):636-658(in Chinese with English abstract).
- [4] Whalen J B, Currie K L, Chappell B W. A-type granites: Geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis [J]. Contrib. Minera l. Petrol., 1987, 95:407-419.
- [5] Turner S P, Foden J D, Morrison R S. Derivation of some A-type magmas by fractionation of basaltic magma:an example from the Padthaway Ridge, South Australia[J]. Lithos, 1992, 28:151-179.
- [6] 胡永和, 朱兴盛, 徐有浪. 浙江燕山期主要 Cu(Mo)矿化岩体的地球化学特征[J]. 岩石矿物学杂志, 1995, 14(1):36-46.
- Hu Yonghe, Zhu Xingsheng, Xu Youlang. REE, trace element and stable isotope geochemistry of major Yanshanian Cu (Mo) mineralized Intrusives in Zhejiang Province [J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 1995, 14(1):36-46(in Chinese with English abstract).
- [7] Barbarin B. Granitoids main petrogenic classifications in relation to origin and tectonic setting[J]. Geol. J., 1990, 25:227-238.
- [8] Barbarin B. Genesis of the two main types of peraluminous granitoids[J]. Geology, 1996, 24:295-298.
- [9] Maniar P D, Piccoli P M. Tectonic discrimination of granitoids [J]. Geol. Soc. Amer. Bull., 1989, 101 (5):635-643.
- [10] 肖庆辉, 邓晋福, 马大铨, 等. 花岗岩研究思维与方法[M]. 北京:地质出版社, 2002:30-52.
- Xiao Qinghui, Deng Jinfu, Ma Daquan, et al. The Ways of Investigation on Granitoids [M]. Beijing:Geological Publishing House, 2002:30-53(in Chinese).
- [11] Chen Peirong, Hua Renmin, Zhang Bangtong, et al. Early Yanshanian post-orogenic granitoids in the Nanling region: Petrological constraints and geodynamic settings [J]. Science in China (SeriesD),2002, 45(8):756-768.
- [12] Li X H, Chen Z G, Liu D Y, et al. Jurassic gabbro-granite-syenite suites from southern Jiangxi Province, SE China: age, origin, and tectonic significance[J]. International Geological Review, 2003, 45: 898-921.
- [13] Li Xianhua, Li Wuxian, Li Zhengxiang. On the genetic classification and tectonic implications of the Early Yanshanian granitoids in the Nanling Range, South China [J]. Chinese Science Bulletin, 2007, 52(14):1873-1885.
- [14] 赵越, 徐刚, 张拴红, 等. 燕山运动与东亚构造体制的转变[J]. 地学前缘, 2004, 11(3):319-328.
- Zhao Yue, Xu Gang, Zhang Shuanhong, et al. Yanshanian movement and conversion of tectonic regimes in East Asia[J]. Earth Science Frontiers, 2004, 11 (3):319-328 (in Chinese with English abstract).
- [15] 董树文, 张岳桥, 龙长兴, 等. 中国侏罗纪构造变革与燕山运动新诠释[J]. 地质学报, 2007, 81(11):1449-1461.
- Dong Shuwen, Zhang Yueqiao, Long Changxing, et al. Jurassic tectonic revolution in China and new interpretation of the Yanshan movement[J]. Acta Geologica Sinica, 2007, 81(11):1449-1461(in Chinese with English abstract).
- [16] 邢光福, 卢清地, 陈荣, 等. 华南晚中生代构造体制转折时限研究——兼与华北燕山地区对比 [J]. 地质学报, 2008, 82(4): 451-463.
- Xing Guangfu, Lu Qingdi, Chen Rong, et al. Study on the ending time of Late Mesozoic tectonic regime transition in South China——Comparing to the Yanshan Area in North China [J]. Acta Geologica Sinica, 2008, 82 (4):451-463 (in Chinese with English abstract).
- [17] 张岳桥, 徐先兵, 贾东, 等. 华南早中生代从印支期碰撞构造体系向燕山期俯冲构造体系转换的形变记录 [J]. 地学前缘, 2009, 16(1):234-247.
- Zhan Yueqiao, Xu Xianbing, Jia Dong, et al. Deformation record of the change from Indosinian collision-related tectonic system to Yanshanian subduction-related tectonic system in South China during the Early Mesozoic[J]. Earth Science Frontiers, 2009, 16(1): 234-247(in Chinese with English abstract).
- [18] 关玉祥, 杨添水. 福建省推覆构造研究及其意义[J]. 福建地质, 1994, 13(4):248-277.
- Guang Yuxiang, Yang Tianshui. Nappe structure research of Fujian Province and its significance [J]. Geology of Fujian, 1994, 13(4): 248-277 (in Chinese with English abstract).
- [19] 毛景文, 谢桂青, 郭春丽, 等. 华南地区中生代主要金属矿床时空分布规律和成矿环境[J]. 高校地质学报, 2008, 14(4):510-526.
- Mao Jingwen, Xie Guiqing, Guo Chunli, et al. Spatial-temporal distribution of Mesozoic ore deposits in South China and their metallogenic Settings [J]. Geological Journal of China Universities, 2008, 14(4):510-526(in Chinese with English abstract).
- [20] Martin H, Bonin B, Capdevila R, et al. The Kuiu peralkaline granitic complex (SE China):petrology and geochemistry [J]. J. Petrol., 1994, 35 (4):983-1015.
- [21] 邱检生, 王德滋, McInnes B I A. 浙闽沿海地区 I 型-A 型复合花岗岩体的地球化学及成因[J]. 岩石学报, 1999, 15(2):237-246.
- Qiu Jiansheng, Wang Dezi, Brent I A McInnes. Geochemistry and

- petrogenesis of the I- and A-type composite granite masses in the coastal area of Zhejiang and Fujian Province [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 1999, 15(2):237-246(in Chinese with English abstract).
- [22] 李艳军, 魏俊浩, 姚春亮, 等. 浙东南石平川花岗岩体 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年代学及构造意义 [J]. *地质论评*, 2009, 55(5): 673-684.
- Li Yanjun, Wei Junhao, Yao Chunliang, et al. Zircon U-Pb dating and tectonic significance of the Shipingchuan granite in southeastern Zhejiang Province, SE China [J]. *Geological Review*, 2009, 55(5):673-684 (in Chinese with English abstract).
- [23] 浙江省地质矿产局. 浙江省区域地质志[M]. 北京:地质出版社, 1989:229-321.
- Bureau of Geology and Mineral Resources of Zhejiang Province. *The Regional Geological Memoirs* [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1989:229-321(in Chinese with English abstract).
- [24] 周金城, 王德滋, 汪相, 等. 对桐庐早白垩世火山-侵入岩成因的几点认识[J]. *岩石学报*, 1999, 15(2):263-271.
- Zhou Jincheng, Wang Dezi, Wang Xiang, et al. Several cognizances on the petrogenesis of Cretaceous volcanic-intrusive rocks in the Tonglu area[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 1999, 15(2):263-271(in Chinese with English abstract).
- [25] 刘亮, 邱检生, 李真. 浙江沐尘石英二长岩及其镁铁质包体的锆石 U-Pb 年龄和 Hf 同位素组成——对岩浆混合作用的示踪[J]. *地质论评*, 2011, 57(3):327-336.
- Liu Liang, Qiu Jiansheng, Li Zhen. Zircon U-Pb age and Hf isotopic compositions of quartz monzonite and enclosed mafic enclaves in Muchen Pluton, Zhejiang Province: Tracing magma mixing in their petrogenesis [J]. *Geological Review*, 2011, 57(3): 327-336(in Chinese with English abstract).
- [26] 李艳军, 魏俊浩, 姚春亮, 等. 浙东南怀溪铜金矿床与曹门碱性花岗岩体成因关系的年代学制约 [J]. *地球科学——中国地质大学学报*, 2010, 35(4):585-596.
- Li Yanjun, Wei Junhao, Yao Chunliang, et al. Genetic relationship of the Huaixi copper-gold deposit and the Caomen alkaline granite, Southeastern Zhejiang Province, China: Constraint from geochronologies [J]. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 2010, 35 (4):585-596 (in Chinese with English abstract).
- [27] 肖娥, 邱检生, 徐夕生, 等. 浙江瑶坑碱性花岗岩体的年代学、地球化学及其成因与构造指示意义 [J]. *岩石学报*, 2007, 23(6): 1431-1440.
- Xiao E, Qiu Jiansheng, Xu Xisheng, et al. Geochronology and geochemistry of the Yaokeng alkaline granitic pluton in Zhejiang Province: Petrogenetic and tectonic implications [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2007, 23 (6):1431-1440 (in Chinese with English abstract).
- [28] 王强, 赵振华, 熊小林, 等. 华南绍兴-恩平富碱侵入岩带的厘定及其动力学意义初探[J]. *地球化学*, 2002, 31(5):433-442.
- Wang Qiang, Zhao Zhenhua, Xiong Xiaolin, et al. Ascertainment of the Shaoxing-Enping alkali-rich intrusive rock zone and preliminary discussion on its geodynamic implications [J]. *Geochimica*, 2002, 31 (5):433-442 (in Chinese with English abstract).
- [29] 龚日祥, 卢成忠. 浙西晚中生代富碱高钾花岗岩类的岩石地球化学特征及构造意义[J]. *岩石学报*, 2008, 24(10):2343-2351.
- Gong Rixiang, Lu Chengzhong. Petrogeochemistry of Late Mesozoic alkali-rich potassium-high granitoid in western Zhejiang and its tectonic significance[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2008, 24(10): 2343-2351(in Chinese with English abstract).
- [30] 汪建国, 汪隆武, 陈小友, 等. 浙西开岭脚和里陈家花岗闪长岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其地质意义[J]. *中国地质*, 2010, 37 (6):1559-1565.
- Wang Jianguo, Wang Longwu, Chen Xiaoyou, et al. SHRIMP U-Pb ages of zircons from Kailingjiao and Lichenjia granodiorites in western Zhejiang and their geological implications[J]. *Geology in China*, 2010, 37(6):1559-1565(in Chinese with English abstract).
- [31] 邱骏挺, 余心起, 张德会, 等. 浙西开化地区桐村花岗斑岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及其地质意义[J]. *地质通报*, 2011, 30 (9):1360-1368.
- Qiu Junting, Yu Xinqi, Zhang Dehui, et al. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating of the Tongcun porphyry in Kaihua County, western Zhejiang Province, and its geological significance [J]. *Geological Bulletin of China*, 2011, 30(9):1360-1368(in Chinese with English abstract).

Geological and geochemical characteristics and tectonic and prospecting significance of the Shanxi–Guangshan intrusions in Lizhu area, Zhejiang Province

ZHANG Jian–fang, XIE Huai–sheng, XU Xing–miao, GONG Rui–jun

(*Geological Survey Institute of Zhejiang Province, Hangzhou 311203, Zhejiang, China*)

Abstract: Located in the northeastern part of the Qinhang metallogenic belt, Lizhu area in Zhejiang has developed a series of skarn type iron polymetallic deposits or ore spots, and mineralization is closely related to the late Jurassic intrusive rocks in the NE–trending fold–fault zone. Researches on the geological and geochemical characteristics of intrusive rocks show that the main rock types are middle–fine grained granodiorite and coarse–grained or fine–grained granite. The former type comprises amphibole–bearing calc–alkaline (low potassium–high calcium) granitoids (ACG) characterized by low SiO_2 , $\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$ and $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$, rich CaO, MgO and FeO^T , relative enrichment of K, Rb, Ba, Th, U, Zr, Hf, slight depletion of Sr, Ti, negative Eu anomalies along REE distribution curve with weakly right–oblique nature, similar geochemically to the I–type granite. The latter type consists of alkali–rich calc–alkaline (high potassium–low calcium) granitoids (KCG), characterized by high SiO_2 , $\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$ and $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$, low CaO, MgO and FeO^T , enrichment of K, Rb, Th, U, Nb, Ta, Zr, Hf, strong depletion of Ba, Sr, Ti, and obvious negative Eu and "V"–type REE patterns, thus similar geochemically to the A–type granites. The petrogenetic tectonic environment was converted from the subduction collision to post–collision or post–orogeny, consistent with the conversion of the tectonic environment in South China, thus providing a new constraint for the tectonic–magmatic evolution in South China. Furthermore, both the two types of granites widespread in Zhejiang have good prospecting potential.

Key words: geochemistry; tectonic significance; Shanxi–Guangshan intrusions; Lizhu area; Zhejiang

About the first author: ZHANG Jian–fang, male, born in 1985, master, assistant engineer, engages in the investigation and study of mineral resources; E–mail: zhjianfang@126.com.