

王加恩, 刘远栋, 姜禹, 等. 浙南双黄地区含钼岩体地球化学特征及 SHRIMP 锆石 U-Pb 定年[J]. 中国地质, 2014, 41(3): 814-823.
Wang Jiaen, Liu Yuandong, Jiang Yu, et al. Geochemistry and zircon SHRIMP U-Pb dating of Mo-bearing granite bodies in Shuanghuang area, southern Zhejiang[J]. Geology in China, 2014, 41(3): 814-823(in Chinese with English abstract).

浙南双黄地区含钼岩体地球化学特征及 SHRIMP 锆石 U-Pb 定年

王加恩 刘远栋 姜禹 汪建国

(浙江省地质调查院, 浙江 杭州 311203)

摘要: 在浙南双黄地区区域地质调查的基础上, 对该区域与钼矿成矿密切相关的花岗岩岩体进行了锆石 U-Pb SHRIMP 测年, 加权平均年龄为 (126.9 ± 3.5) Ma, 属早白垩世, 岩体化学成分显示其总体特征为高硅、富铝碱、相对富钾贫钠、贫钙镁。SiO₂ 含量为 70.98%~73.92%, K₂O 为 4.24%~5.12%, 铝指数 A/CNK=1.34~1.82, 属过铝质岩石。REE 具有中等负 Eu 异常, 总体呈现 LREE 富集的右倾“V”型配分模式。微量元素显示岩体具有后碰撞花岗岩的特征。岩浆具高硅高分异的特点, 控制了该区石英脉型钼矿床。

关键词: 浙江南部; 钼矿; SHRIMP 锆石 U-Pb 定年; 仙里花岗岩

中图分类号: P588.12¹; P597^{1.3} **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2014)03-0814-10

武夷山成矿带位于欧亚大陆东南部中国东南活动大陆边缘内带, 该区铜、铅、锌、金、银、锡、铁、锰等多金属矿产资源丰富, 大中小型多金属矿床及矿化点普遍分布, 矿床类型复杂多样。近年来, 对于武夷山成矿带中、南部分成矿地质背景研究较为深入^[1-6], 对岩浆侵入年龄测试分析较多^[7-10]; 北东段虽有矿产地质方面的研究^[11-13], 但与其他地区相比, 该区地质研究工作相对薄弱, 限制了岩浆作用的时空分布及成因认识。浙南丽水双黄地区位于武夷山成矿带东北部的浙西南—闽中裂谷铅锌多金属成矿远景区, 属于老竹—仙都萤石、沸石、珍珠岩、膨润土、铅、锌、钼四级成矿区与老竹—黄畈萤石、钼、铅、锌五级成矿远景区。其内部的矿床点和各类异常, 围绕核部成环状分布, 矿点类型由内而外为铁钼→黄铁矿→铅锌多金属→萤石^[14]。产于黄畈火山穹隆核部的辉钼矿矿床类型为石英脉型。前

人对该地区进行了地质找矿工作^[15], 认为与 40 km 以外的大中型石平川钼矿矿床类型上相似。但对双黄地区的地质构造、成矿背景及条件等研究程度较低。工作区已发现的钼矿床多产于围岩与岩体的接触蚀变带中, 与侵入岩体关系密切。加强该地区多金属矿成矿地质条件的研究, 不仅可以提高对石英脉型钼矿床成矿条件的认识, 而且对该地区进一步找矿也具有指导意义。本文在区域地质调查的基础上, 对与钼矿具紧密联系的岩体进行了岩相特征、地球化学特征、年龄特征等方面的研究。

1 双黄地区地质概况

双黄地区位于丽水—余姚深大断裂带的南西段, 大地构造位置属华南褶皱系, 浙东南褶皱带之丽水—宁波隆起南部, 处在双黄火山穹隆核部。主要出露地层为早白垩世高坞组、西山头组; 高坞组

收稿日期: 2013-05-10; 改回日期: 2014-04-23

基金项目: 中国地质调查局区调项目(1212010011601)资助。

作者简介: 王加恩, 男, 1971年生, 高级工程师, 长期从事区域地质工作; E-mail: 721117waje@163.com。

岩性主要以流纹质晶屑凝灰岩、流纹质晶玻屑熔结凝灰岩等块状岩石为主;西山头组岩性以杂色的流纹质晶玻屑熔结凝灰岩、流纹质玻屑凝灰岩等为主,间夹薄层状沉凝灰岩、砂岩等。

区内主要构造为褶皱和断裂构造。褶皱构造为双溪—葛渡倾伏背斜,轴向东西,向西倾伏,轴部在双溪—葛渡一带,核部为早白垩世高坞组火山碎屑岩,两翼为早白垩世西山头组火山碎屑岩。区域性梅田—仙里NNE向断裂构造贯穿全区,两侧发育NW、NE向压扭性次级断裂,属成矿期后断裂,常切割矿体(图1)。

燕山期岩浆岩侵入活动强烈,发育中酸性—酸性岩体十几个,大小不等。岩体外接触带普遍发育角岩化,近矿围岩蚀变为绢英岩化、黄铁矿化、钾化,常见辉钼矿与钾化共生。

2 岩体岩性与地球化学特征

2.1 岩性特征

工作区花岗岩呈肉红色,细粒花岗结构,块状构造。主要由钾长石、斜长石、石英及少量黑云母组成。钾长石、斜长石均呈半自形板柱状,钾钠长石45%,斜长石10%左右;石英呈他形粒状,含量

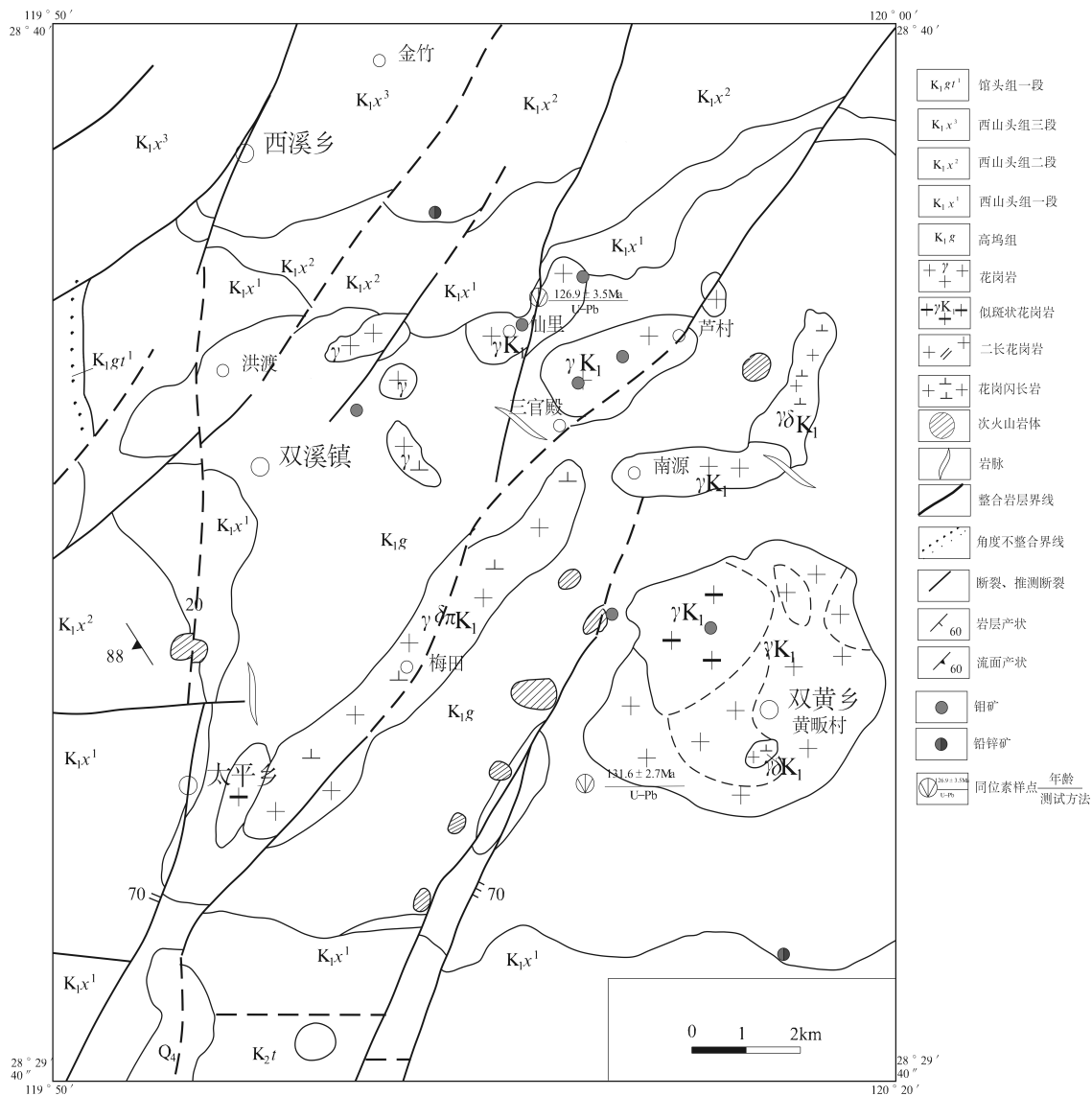


图1 双黄地区地质简图

Fig.1 Geological sketch map of Shuanghuang area

30%~40%;黑云母呈细小鳞片状个体或集合体状,含量3%;金属矿少量,锆石、磷灰石个别。矿物粒度大小比较均匀,一般都在0.6~1.2 mm,个别稍大(图2)。野外从细粒到中粒呈渐变过渡,无明显接触界线,其中以细中粒花岗岩与钼矿成矿关系最为密切,地表所见的辉钼矿体基本产于此类岩体中。另外岩石中普遍见有灰黑色闪长质析离体,大小从几厘米至几米。

2.2 地球化学特征

岩石的主量、微量及稀土元素测试由国土资源部杭州矿产资源监督检测中心完成,主量元素采用X荧光光谱法,微量及稀土元素分析采用电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)进行分析,元素分析的相对标准偏差和分析值与参考值之间的相对标准偏差(RSD)均 $\leq 10\%$ 。

本次工作选择了4个出露面积较大的岩体(芦村岩体、南源岩体、双黄岩体、仙里岩体)进行了岩石主量、微量及稀土元素分析测试,测试的数据见表1。

从主量元素来看,双黄地区的侵入岩为高钾钙碱性系列,高硅(70.98%~73.92%)、低钛(0.18%~0.39%)、富铝(12.36%~14.38%)、富碱(Na_2O 含量为3.14%~4%, K_2O 含量是4.24%~5.12%, $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 在1.06~1.63)、低镁(0.31%~0.65%)、贫钙(0.37%~1.09%)。4个岩体的DI指数与 SiO_2 含量总体上成正比关系,其中芦村岩体最低,双黄岩体最高。从碱度指数变异图中(图3),可见4个岩体均为碱性花岗岩,并且随着岩浆分异程度的增高,酸度和碱度也随着增高,总体表现出高硅、富铝碱、相对富钾贫钠、贫镁的特征。根据岩石中 Na_2O 和 K_2O 的数据做花岗岩 $\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}$ 成因图解(图4),除芦村岩体外,其余3个岩体均属于A型花岗岩。根据各个岩体的(Y+Nb)-Rb关系做花岗岩构造环境分析图,得出4个岩体的点均落于后碰撞花岗岩范围(图5)。4个岩体的稀土元素配分模式图均表现为右倾型,均表现出较明显的Eu负异常,其中双黄岩体Eu负异常较其他岩体明显(图6)。

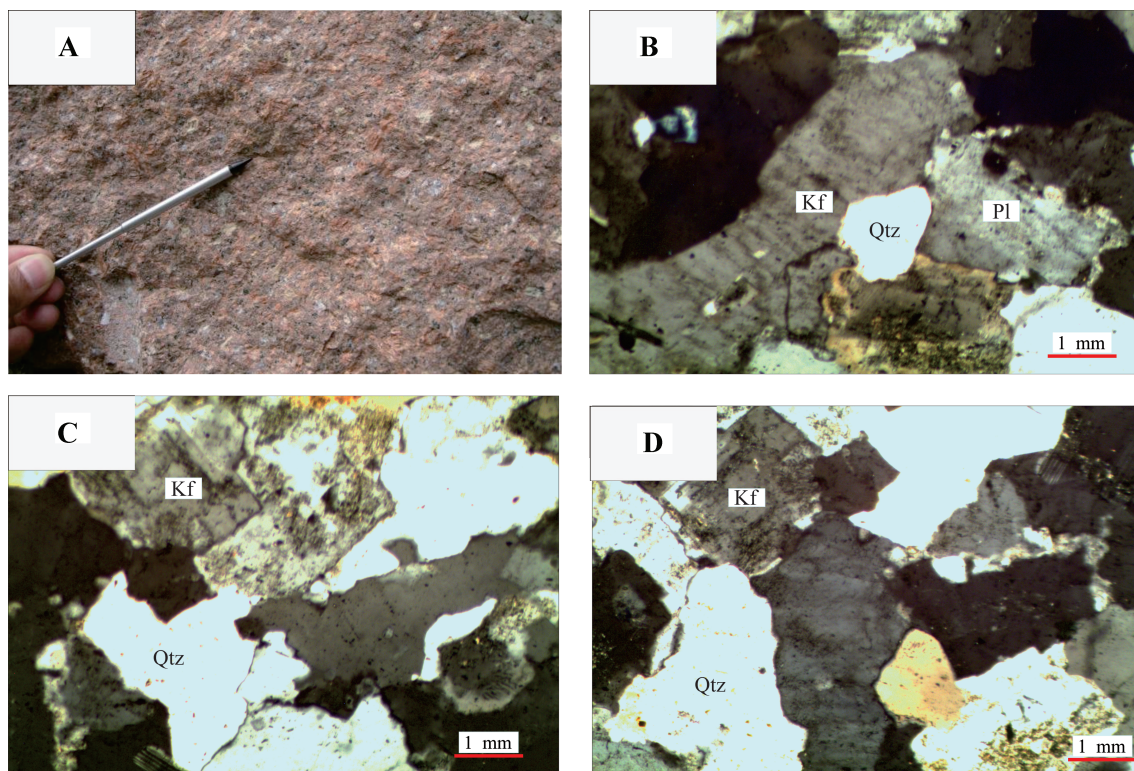


图2 仙里岩体岩石学特征

Fig.2 Petrological features of Xianli pluton

表1 双黄地区岩体主量元素(%),微量元素及稀土元素(10^{-6})分析结果
 Table 1 Major elements (%), trace elements and REE (10^{-6}) analyses of Shuanghuang area

分析项目	芦村岩体		双黄岩体			仙里岩体
	花岗岩	中细粒花岗岩	中粒花岗岩	中粗粒花岗岩	细粒花岗岩	花岗岩
SiO ₂	73.92	70.98	73.52	73.18	73.77	72.62
Al ₂ O ₃	12.71	14.38	13.55	13.55	12.36	13.57
Fe ₂ O ₃	2	2.85	1.61	2.15	2.14	2.55
KO ₂	4.93	4.29	5	4.24	5.12	4.61
NaO ₂	3.38	3.22	3.29	4	3.14	3.65
CaO	0.89	0.37	0.45	1.05	0.96	1.09
MgO	0.34	0.65	0.31	0.44	0.42	0.56
MnO	0.09	0.37	0.05	0.1	0.1	0.1
TiO ₂	0.21	0.32	0.18	0.25	0.22	0.39
P ₂ O ₅	0.073	0.12	0.031	0.052	0.073	0.11
FeO	0.72	0.54	0.75	0.75	0.75	0.68
烧失量	0.8	2	1.38	0.9	1.06	0.62
H ₂ O ⁺	0.22	1.86	1.28	1.04	0.68	0.78
DI指数	79.73	87.65	91.89	89.27	90.37	88.32
铝饱和指数(A/CNK)	1.38	1.82	1.55	1.46	1.34	1.45
Zr	121	129	119	141	107	203
Y	23	22.7	12.7	13.5	16.8	22.5
Nb	23.6	22	24.6	21.5	16.6	14
Hf	5.59	5.44	6.66	8.07	4.92	8.84
V	10.2	25.9	5.81	9.36	11.8	35
Cr	2.82	2.95	4.51	3.51	4.26	23
Co	2.15	2.86	1.54	2.15	2.99	5.4
Ni	1.36	1.46	1.77	1.47	1.46	3
Rb	188	180	187	162	198	156
Sr	167	136	61.7	173	157	257
Ba	652	431	413	1236	846	1143
Ta	2.72	2.12	1.8	1.64	1.67	0.91
Th	24.4	21.4	23.5	18.7	17.6	19.4
La	30.9	29.8	30	43.3	29.1	58.5
Ce	57.1	49.9	55.6	90.3	52.3	109
Pr	6.51	6.55	6.46	8.06	5.74	12.1
Nd	25.3	26.2	24.7	29.3	21.4	45.9
Sm	4.88	4.99	4.51	4.82	3.78	7.38
Eu	0.66	0.73	0.49	0.78	0.7	1.25
Gd	4.28	4.57	3.67	4.03	3.34	6.06
Tb	0.62	0.67	0.46	0.49	0.44	0.76
Dy	3.79	3.64	2.51	2.69	2.74	4.18
Ho	0.77	0.78	0.46	0.5	0.55	0.8
Er	2.39	2.3	1.38	1.5	1.76	2.29
Tm	0.38	0.35	0.2	0.2	0.27	0.31
Yb	2.69	2.42	1.44	1.4	1.87	2.14
Lu	0.4	0.37	0.22	0.22	0.29	0.3

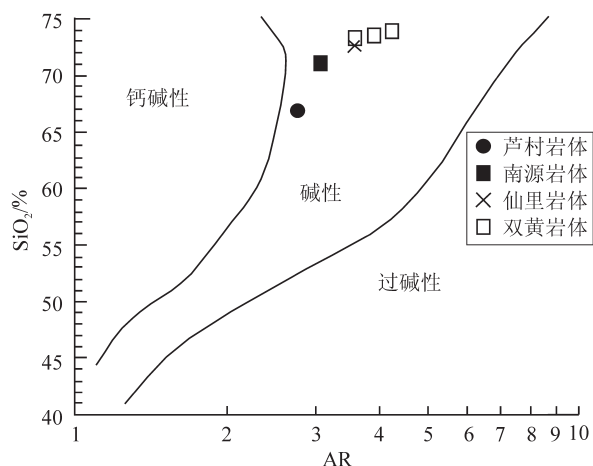


图3 SiO₂与岩石碱度指数变异图
Fig.3 SiO₂ versus alkalinity diagram of rocks

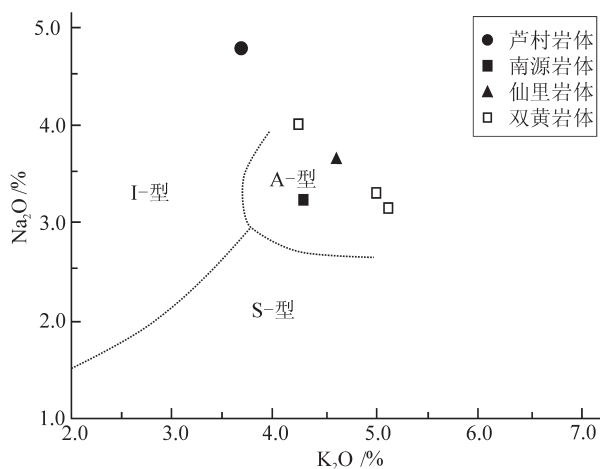


图4 Na₂O-K₂O图解
Fig.4 Na₂O-K₂O diagram

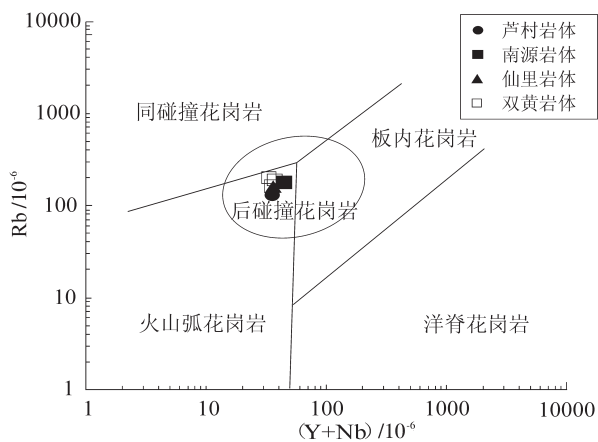


图5 (Y+Nb)-Rb图解
Fig.5 (Y+Nb)-Rb diagram

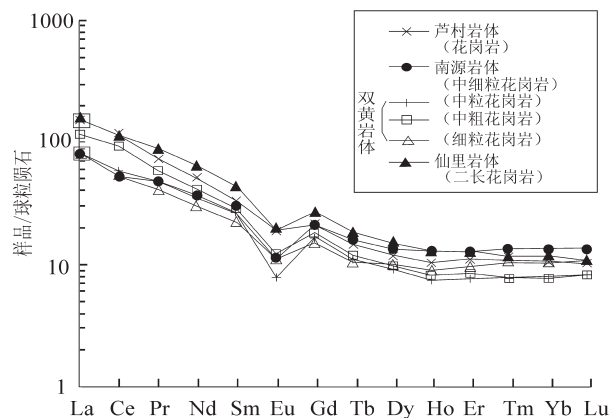


图6 稀土元素球粒陨石标准化配分型式图
Fig.6 Chondrite-normalized REE patterns

3 年代学

3.1 测试方法

同位素样品采于工作区西北部的仙里花岗岩岩体。将采集的新鲜岩石样品破碎, 锆石经双目镜下挑纯, 取约100粒锆石与一片RSES参考样SL13及数粒标准锆石TEM置于环氧树脂中, 然后磨至约一半, 使锆石内部暴露, 进行背散射电子照相以检查锆石内部的结构。锆石阴极发光照相在北京离子探针中心完成。

锆石U-Pb同位素分析在北京离子探针中心SHRIMP II上完成。详细的分析原理及实验流程参照Williams^[16]等和宋彪^[17]等文献。应用RSES标准锆

石TEM(417 Ma)进行元素间的分馏校正, 用参考样SL13(572 Ma, U含量为 238×10^{-6})标定样品的U、Th、Pb含量。数据处理采用Ludwing SQUID 1.01及ISOPLOT程序^[18,19], 应用实测²⁰⁴Pb和Cumming和Richard(1975)^[20]的模式铅成分校正普通铅。采用²⁰⁶Pb/²³⁸U年龄, 单个数据误差为 1σ , 所采用的加权平均年龄误差为 2σ , 具有95%的可信度。

3.2 锆石U-Pb年龄

阴极发光图像显示所测锆石具有岩浆结晶环带结构, 为岩浆成因锆石。对13颗锆石的13个点进行了测试, 分析位置见图7, 分析结果见表2、图8。测点的²⁰⁶Pb/²³⁸U年龄集中在 $(120.9 \pm 3.2) \text{ Ma} \sim (142.5 \pm 4.1) \text{ Ma}$, 变化较小, 在谐和图上获得加权平均年龄为

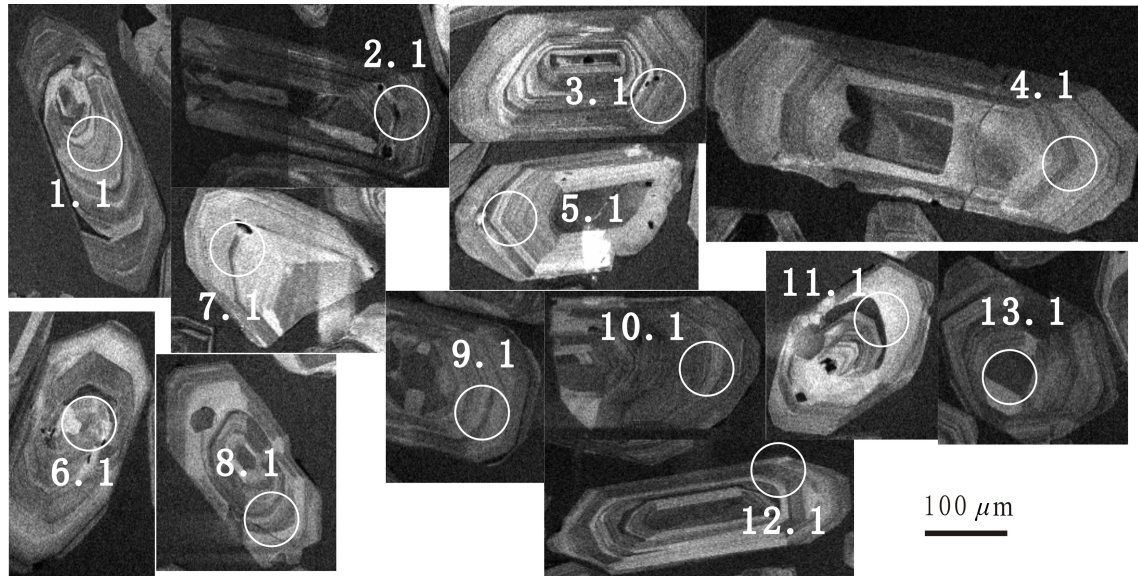


图7 仙里岩体锆石样品阴极发光图像

Fig.7 CL images of representative zircons from Xianli rock mass

(126.9±3.5) Ma,代表了仙里岩体的成岩年龄。

4 讨论

仙里花岗岩岩体中的锆石性质稳定,其U-Pb同位素体系具有很高的封闭温度,不易受蚀变的影响,测试的锆石为典型的环带状岩浆锆石,仙里岩体SHRIMP锆石U-Pb年龄为(126.9±3.5) Ma,代表了该岩体的成岩年龄。通过同一火山穹隆中火山

岩围岩年龄测试,高坞组流纹质晶屑熔结凝灰岩SHRIMP锆石U-Pb年龄为(131.6±2.7)Ma,西山头组流纹质玻屑熔结凝灰岩SHRIMP锆石U-Pb为(133.0±2.5)Ma(待发表)。即在火山喷发4~6 Ma后,随着岩浆房压力的变化,发生了岩浆侵入,也佐证了测定的侵入体年龄是可靠的。

大量地球化学研究表明,各种岩石中元素组合、比值的变化是该岩石形成时所处大地构造环境

表2 仙里岩体锆石SHRIMP U-Pb分析结果

Table 2 SHRIMP zircon U-Pb analytical results of Xianli intrusion

点位	²⁰⁶ Pb _c /%	U /10 ⁻⁶	Th /10 ⁻⁶	²⁰⁶ Pb* /10 ⁻⁶	²³² Th/ ²³⁸ U	²⁰⁷ Pb*/ ²⁰⁶ Pb*		²⁰⁷ Pb*/ ²³⁵ U		²⁰⁶ Pb*/ ²³⁸ U		²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U		误差 相关 系数
						比值	±%	比值	±%	比值	±%	年龄/Ma	误差/Ma	
T12-TW-1.1	1.33	641	706	11.9	1.14	0.0463	9.0	0.133	9.4	0.02089	2.6	133.7	±3.6	0.280
T12-TW-2.1	1.28	937	868	16.1	0.96	0.0461	14	0.124	14	0.01956	3.1	125.2	±3.8	0.216
T12-TW-3.1	2.08	762	710	13.3	0.96	0.0240	66	0.065	66	0.01940	3.2	127.6	±3.4	0.048
T12-TW-4.1	3.77	504	495	10.00	1.01	0.0538	14	0.167	14	0.02249	3.0	142.5	±4.1	0.207
T12-TW-5.1	2.71	741	488	12.9	0.68	0.0589	13	0.162	13	0.01991	2.8	125.5	±3.5	0.207
T12-TW-6.1	2.39	904	758	15.3	0.87	0.0451	18	0.118	18	0.01900	2.7	121.8	±3.1	0.151
T12-TW-7.1	3.98	425	376	7.76	0.91	0.0550	23	0.156	24	0.02071	3.2	131.2	±4.0	0.135
T12-TW-8.1	2.54	634	601	11.4	0.98	0.0170	100	0.047	100	0.01968	3.5	130.5	±3.7	0.034
T12-TW-9.1	5.20	449	470	8.10	1.08	0.128	46	-0.29	46	0.01650	6.6	128.7	±3.8	0.143
T12-TW-10.1	2.29	792	593	13.3	0.77	0.0586	11	0.155	11	0.01918	2.7	120.9	±3.2	0.238
T12-TW-11.1	5.77	264	235	4.61	0.92	0.0310	72	0.081	72	0.01875	4.1	122.3	±4.1	0.058
T12-TW-12.1	4.08	720	776	12.1	1.11	0.0470	22	0.125	22	0.01903	2.9	121.6	±3.3	0.131
T12-TW-13.1	3.50	482	527	8.32	1.13	0.0410	26	0.109	27	0.01932	4.0	124.5	±4.8	0.151

注:²⁰⁶Pb_c为属于普通²⁰⁶Pb占总²⁰⁶Pb的百分比;Pb*为放射成因Pb。

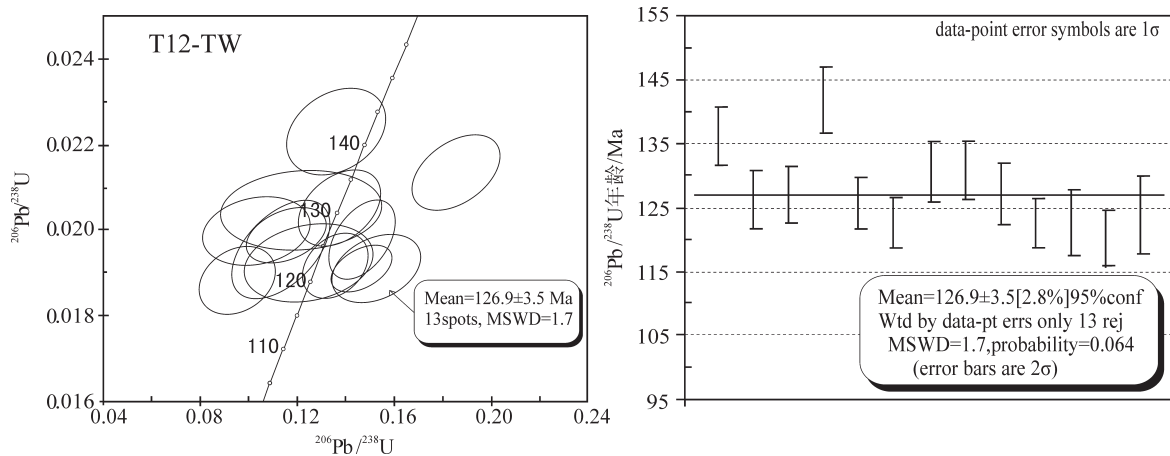


图8 仙里岩体锆石U-Pb谐和图

Fig.8 Zircon U-Pb concordia diagram of Xianli rock mass

的反映。同一类岩石产出的构造环境不同,相关的成岩过程的物理、化学条件也有明显的差异,造成了岩石中元素,特别是微量元素组合及比值等不同,这是构建常量和微量元素构造环境判别图解的基础^[21], (Y+Nb)-Rb图上,双黄地区4个岩体的数据点均落在了火山弧、同碰撞与板内花岗岩交界部位,这一范围也是后碰撞花岗岩的投影区域^[22-23]。高钾钙碱性花岗岩形成于板块碰撞汇集后的松弛或挤压向拉张转变阶段,上述岩石地球化学特征显示双黄地区花岗岩体为高钾钙碱性系列,表明其形成于张性构造环境。

浙江燕山期主要受太平洋构造体系的控制,处在太平洋板块俯冲带及其弧后扩张体系之中,总体是以太平洋板块的俯冲-挤压为主,由此引发了大规模的火山-侵入活动,形成大陆边缘广泛分布的钙碱性火山系列,并伴随大规模的成矿作用^[24-27];有观点认为自晚中生代时,即J₂开始,古太平洋板块对欧亚大陆板块的消减作用,使华南地壳整体上处于伸展应力环境,并先后经历了2个时期,即燕山早期(J₂-J₃)发生在华南内陆,特别是南岭的板内岩浆活动期(包括最初的板内裂谷型岩浆作用)和燕山晚期(K₁~K₂),主要发生在沿海的陆缘弧岩浆活动阶段(K₁为主)和内陆弧后阶段(K₂)。它们是大洋板片对大陆消减过程中伸展造山的早、晚2个时期,地壳伸展-减压熔融和作为热源的玄武岩底侵,是产生燕山期花岗质岩浆的2个主要原因^[28]。从工作区的岩体同位素测年资料来看,形成于约126 Ma,

处于K₁,也就是陆缘弧岩浆活动阶段,这从前面的构造环境判别图解中也有所体现。

从SiO₂含量、K₂O/Na₂O、A/CNK等特征地球化学参数和副矿物特征分析,双黄地区岩体类型与A型花岗岩较为接近。在K₂O-Na₂O图解中,绝大部分样品点均落入A型花岗岩范围(图4)。从前人资料看,邻区存在同时代的A型花岗岩,如洪公岩体^[29]、白菊花尖岩体^[30],它们应是同一构造背景下的产物。正是太平洋板块对中国东部的俯冲消减后的伸展作用,造成先前的杂砂岩等的部分熔融,产生双黄、仙里、洪公、白菊花尖等A型花岗岩。

工作区内已发现的含钼岩体以小型酸性侵入岩类为主,出露面积在0.5 km²到几平方千米,岩浆分异较好。岩体总体特征为高硅、富铝碱、相对富钾贫钠、贫镁。与东秦岭钼矿带岩体的元素特征相似^[31]。岩体中可见钾化、云英岩化,岩体化学成分与矿化种类之间具有关系,即随着SiO₂和DI值的增大,金属矿化依次更替为:CuAu-Cu多金属和CuAs多金属-CuFe-Cu-CuMo-Mo。SiO₂>70%, DI>84,金属矿化类型为钼;双黄地区的岩体SiO₂含量在70.98%~73.92%,DI除芦村岩体稍低为79.73,其余均在84以上,该地单钼型矿床出现符合此规律。浙江燕山期主要Mo矿化岩体大多为轻稀土元素富集,负Eu异常明显,微量元素中Ni、Cr等含量普遍较低,而Rb、Ba、Hf等元素含量普遍较高^[32],双黄地区岩体稀土元素配分曲线呈平缓右倾斜,其中花岗岩体不直接含矿,为成矿母岩。

5 结 论

(1)仙里岩体SHRIMP锆石U-Pb年龄显示,岩体形成于(126.9±3.5)Ma,是早白垩世岩浆活动的产物。

(2)岩石地球化学为高钾钙碱性花岗岩,轻重稀土元素分异不明显,铀钍异常明显,岩石地球化学特征表明具A型花岗岩特征,由于太平洋板块对中国东部的俯冲消减后的伸展作用,造成先前的杂砂岩等的部分熔融。

(3)岩体化学成分显示其总体特征为高硅,富铝碱,相对富钾贫钠,贫镁,REE具有中等负Eu异常,总体呈现LREE富集的右倾“V”型配分模式。岩浆地球化学性质控制了该区域单钼型矿床形成。该类岩体为浙南地区石英脉型钼矿重要的找矿标志。

致谢:北京离子探针中心刘建辉博士在锆石SHRIMP测年方面给予了大力帮助,在此表示诚挚的感谢。

参考文献(References):

- [1] 陈世忠, 马明, 陈刚, 等. 夷山成矿带桃溪隆起、岩浆侵入和区域铜多金属矿成矿作用[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2010, 35(6): 969-984.
Chen Shizhong, Ma Min, Chen Gang, et al. Taoxi uplift, its tectonics, magmatism and metallogeny, Wuyi metallogenic belt[J]. Earth Science—Journal of China University of Geoscience, 2010, 35(6): 969-984(in Chinese with English abstract).
- [2] 赵希林, 刘凯, 毛建仁, 等. 华南燕山早期晚阶段两类花岗岩体与成矿作用: 以赣南—闽西南地区为例[J]. 中国地质, 2012, 39(4): 871-886.
Zhao Xilin, Liu Kai, Mao Jianren, et al. Metallogeneses of two types of late Early Yanshanian granitoids in South China: Case studies of south Jiangxi and southwest Fujian[J]. Geology in China, 2012, 39(4): 871-886(in Chinese with English abstract).
- [3] 陈世忠, 黄正清, 朱筱婷, 等. 武夷山成矿带桃溪环形构造区典型矿床成矿背景[J]. 中国地质, 2013, 40(5): 1569-1582.
Chen Shizhong, Huang Zhengqing, Zhu Xiaoting, et al. Magmatism and ore-forming background of the main deposits in Taoxi circular structure along the Wuyishan ore belt[J]. Geology in China, 2013, 40(5): 1569-1582(in Chinese with English abstract).
- [4] 刘成忠, 尹维青, 张婧, 等. 武夷山成矿带锡铜多金属矿床控矿条件和找矿预测标志[J]. 矿产与地质, 2009, 23(2): 124-128.
Liu Chengzhong, Yin Weiqing, Zhang Jing, et al. Ore-controlling factors and prospecting prediction criteria of the Sn-Cu polymetallic deposit in Wuyishan metallogenic zone[J]. Mineral Resources and Geology, 2009, 23(2): 124-128(in Chinese with English Abstract).
- [5] 毛建仁, 许乃政, 胡青, 等. 福建省上杭—大田地区中生代成岩成矿作用与构造环境演化[J]. 岩石学报, 2004, 20(2): 285-296.
Mao Jianren, Xu Naizheng, Hu Qing, et al. The Mesozoic rockforming and ore-forming processes and tectonic environment evolution from Shanghang-Datian region, Fujian, SE China[J]. Acta Petrologica Sinica, 2004, 20(2): 285-296(in Chinese with English abstract).
- [6] 黄凡, 陈毓川, 王登红, 等. 中国钼矿主要矿集区及其资源潜力探讨[J]. 中国地质, 2011, 38(5): 1111-1134.
Huang Fan, Chen Yuchuan, Wang Denghong, et al. A discussion on the major molybdenum ore concentration areas in China and their resource potential[J]. Geology in China, 2011, 38(5): 1111-1134(in Chinese with English abstract).
- [7] 王磊, 胡明安, 屈文俊, 等. 粤北大宝山多金属矿床LA-ICP-MS锆石U-Pb和辉钼矿Re-Os定年及其地质意义[J]. 中国地质, 2012, 39(1): 29-42.
Wang Lei, Hu Ming'an, Qu Wenjun, et al. Zircon LA-ICP-MS U-Pb and molybdenite Re-Os dating of the Dabaoshan polymetallic deposit in northern Guangdong Province and its geological implications[J]. Geology in China, 2012, 39(1): 29-42(in Chinese with English abstract).
- [8] 李良林, 周汉文, 陈植华, 等. 福建太姥山地区花岗岩岩石地球化学特征及其地质意义[J]. 岩石矿物学杂志, 2011, 30(4): 593-609.
Li Lianglin, Zhou Hanwen, Chen Zhihua, et al. Geochemical characteristics of granites in Taimushan area, Fujian Province, and their geological significance[J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 2011, 30(4): 593-609(in Chinese with English abstract).
- [9] 毛建仁, 陶奎元, 李奇崛, 等. 闽西南晚中生代四方岩体同位素年代学、地球化学及其构造意义[J]. 岩石学报, 2002, 18(4): 449-458.
Mao Jianren, Tao Kuiyuan, Lee C Y, et al. Geochronology and geochemical characteristics in late Mesozoic Sifang pluton, southwestern Fujian, and their significance[J]. Acta Petrologica Sinica, 2002, 18(4): 449-458(in Chinese with English abstract).
- [10] 赵希林, 毛建仁, 陈荣, 等. 闽西南地区紫金山岩体锆石SHRIMP定年及其地质意义[J]. 中国地质, 2008, 35(4): 590-597.
Zhao Xilin, Mao Jianren, Chen Rong, et al. SHRIMP zircon dating of the Zijinshan pluton in southwestern Fujian and its implications[J]. Geology in China, 2008, 35(4): 590-597(in Chinese with English abstract).
- [11] 李艳军, 魏俊浩, 伍刚, 等. 浙西南毛断铅锌多金属矿床辉钼矿Re-Os年代学及地质意义[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2011, 36(2): 289-298.
Li Yanjun, Wei Junhao, Wu Gang, et al. Re-Os dating of molybdenite from the Maoduan lead zinc polymetallic deposit in southwestern Zhejiang Province and its geological significance[J].

- Earth Science—Journal of China University of Geoscience, 2011, 36(2): 289–298(in Chinese with English abstract).
- [12] 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 Southeastern Zhejiang Province, SE China[J]. Geological Review, 2009, 55(5), 673–684.
- [13] 肖广玲, 孙晓雁, 王启, 等. 浙东南石平川钼矿床地质特征、成矿时代及成因[J]. 地质科技情报, 2010, 29(1): 74–85.
- Xiao Guangling, Sun Xiaoyan, Wang Qi, et al. Geology mineralization age and genesis of the Shipingchuan Molybdenum deposit, southeastern Zhejiang Province[J]. Geological Science and Technology Information, 2010, 29(1): 74–85(in Chinese with English abstract).
- [14] 朱安庆, 张永山, 陆祖达, 等. 浙江省金属、非金属矿床成矿系列和成矿区带研究[M]. 北京, 地质出版社: 2009: 1–422.
- Zhu Anqing, Zhang Yongshan, Lu Zhuda, et al. Metallogenic Series and Metallogenic Belts Research of Metal and Non-metal Ore Deposits in Zhejiang Province[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2009: 1–422(in Chinese).
- [15] 朱柏松, 王成良, 张方君. 石英脉型辉钼矿矿床多建造地球化学异常特征[J]. 物探与化探, 2004, 28(2): 114–118.
- Zhu Baisong, Wang Chengliang, Zhang Fangjun. Multi-formation geochemical anomalies of quartz vein type molybdenite deposits[J]. Geophysical & Geochemical Exploration, 2004, 28(2): 114–118(in Chinese with English abstract).
- [16] Williams I S. U-Th-Pb geochronology by ion microprobe[C]// Mckibben M A, Shanks W C, Ridle W I (eds.). Applications of Microanalytical Techniques to Understanding Mineralizing Processes. Reviews of Economic Geology, 1998, 7, 1–35.
- [17] 宋彪, 张玉海, 万渝生, 等. 锆石 SHRIMP 样品靶制作/年龄测定及有关现象讨论[J]. 地质论评, 2002, 48(增刊): 26–30.
- Song Biao, Zhang Yuhai, Wan Yusheng, et al. Mount Making and procedure of the SHRIMP Dating[J]. Geological Review, 2002, 48 (Supp.): 26–30(in Chinese).
- [18] Ludwi K R. Suidl. 02: A user's manual[J]. Berkeley Geochronology Centr. Special Publication, 2001, 2: 1–19.
- [19] Ludwi K R. User's manual for Isoplot 3.00 a geochronological toolkit for Microsoft exce l. Berkeley, California[J]. Berkeley Geochronology Centr. Special Publication, 2003, 4: 70.
- [20] Cumming G L, Richards Jr. Ore lead isotope ratios in a continuously changing earth[J]. Earth Planet. Sci. Letters, 1975, 28: 155–171.
- [21] 赵振华. 关于岩石微量元素构造环境判别图解使用的有关问题[J]. 大地构造与成矿学, 2007, 31(1): 92–103.
- Zhao Zhenhua. How to use the trace element diagrams to discriminate tectonic settings[J]. Geotectonica et Metallogenia, 2007, 31(1): 92–103(in Chinese with English abstract).
- [22] Pearce J A. Source and settings of granitic rocks[J]. Episodes., 1996, 19: 120–125.
- [23] Förster H J, Tischendorf G, Trumbull R B. Anevaluation of the Rb vs. (Y + Nb) discrimination diagram to infer tectonic setting of silicic igneous rocks[J]. Lithos, 1997, 40 : 261–293.
- [24] 李武显, 周新民. 浙闽沿海晚中生代火成岩成因的地球化学制约[J]. 自然科学进展, 2000, 10(7): 630–641.
- Li Wuxian, Zhou Xinmin. Geochemical constraints on the Mesozoic volcanic rocks genesis from the coast of Zhejiang and Fujian[J]. Progress in Natural Science, 2000, 10(7): 630–641(in Chinese with English abstract).
- [25] 毛景文, 谢桂青, 李晓峰, 等. 华南地区中生代大规模成矿作用与岩石圈多阶段伸展[J]. 地学前缘, 2004, 11(11): 45–55.
- Mao Jingwen, Xie Guiqing, Li Xiaofeng, et al. Mesozoic large scale mineralization and multiple lithospheric extension in South China[J]. Earth Science Frontiers, 2004, 11(1): 45–55(in Chinese with English abstract).
- [26] 崔建军, 张岳桥, 董树文, 等. 华南陆缘晚中生代造山及其地质意义[J]. 中国地质, 2013, 40(1): 86–105.
- Cui Jianjun, Zhang Yueqiao, Dong Shuwen, et al. Late Mesozoic ore genesis along the coast of Southeast China and its geological significance[J]. Geology in China, 2013, 40(1): 86–105(in Chinese with English abstract).
- [27] 华仁民, 毛景文. 试论中国东部中生代成矿大爆发[J]. 矿床地质, 1999, 18(4): 300–307.
- Hua Renmin, Mao Jingwen. A preliminary discussion on the Mesozoic metallogenic explosion in east China[J]. Mineral Deposits, 1999, 18(4): 300–307(in Chinese with English abstract).
- [28] 舒良树, 周新民, 邓平, 等. 南岭构造带的基本地质特征[J]. 地质论评, 2006, 52(2): 251–265.
- Shu Liangshu, Zhou Xinmin, Deng Ping, et al. Principal geological features of Nanling tectonic belt, South China[J]. Geological Review, 2006, 52(2): 251–265(in Chinese with English abstract).
- [29] 卢成忠, 汪庆华, 董传万, 等. 浙江洪公铝质A型花岗岩类的岩石地球化学及其构造环境[J]. 高校地质学报, 2006, 12(4): 500–506.
- Lu Chengzhong, Wang Qinghua, Dong Chuanwan, et al. Geochemical characteristics of the Honggong aluminous A type granite pluton in Zhejiang Province and its tectonic setting[J]. Geol. J. China Univ. , 2006, 12(4): 500–506(in Chinese with English abstract).
- [30] Jean Wong, Sun M, Xing G F, et al. Geochemical and zircon U-Pb and Hf isotopic study of the Baijuehuan metaluminous A-type granite: Extension at 125–100 Ma and its tectonic significance for South China[J]. Lithos, 2009, 112: 289–305.
- [31] 杨晓勇, 卢欣祥, 杜小伟, 等. 河南南沟钼矿矿床地球化学研究兼论东秦岭钼矿成岩成矿动力学[J]. 地质学报, 2010, 84(7): 1049–1079.

- Yang Xiaoyong, Lu Xinxiang, Du Xiaowei, et al. Ore geochemistry petrogenesis and metallogenic dynamics of the Nangou molybdenum district in the East Qinling orogenic belt[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2010, 84(7): 1049–1079(in Chinese with English abstract).
- [32] 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).

Geochemistry and zircon SHRIMP U–Pb dating of Mo-bearing granite bodies in Shuanghuang area, southern Zhejiang

WANG Jia-en, LIU Yuan-dong, JIANG Yu, WANG Jian-guo

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

Abstract: Based on regional geological survey of Shuanghuang area in southern Zhejiang Province, the authors carried out SHRIMP zircon U–Pb dating of the intrusion which has close relationship with the molybdenum mineralization. The result shows that the granite was formed at (126.9 ± 3.5) Ma, i.e., in Early Cenozoic. The rock is rich in silicon, aluminum and alkali, relatively rich in potassium, depleted in sodium, low in calcium and magnesium, and has data $\text{SiO}_2=70.98\%–73.92\%$, $\text{K}_2\text{O}=4.24\%–5.12\%$ and $A/\text{CNK} = 1.34–1.82$, suggesting peraluminous rock. The total rare earth elements show a moderate negative Eu anomaly, and on the whole present the distribution pattern of LREE enrichment and right-oblique ‘V’ shape. The trace elements features show that the intrusive is post-collision granite. Magma characterized by high silicon and high differentiation controls quartz vein type molybdenum deposits of this area.

Key words: southern Zhejiang Province; molybdenum deposit; SHRIMP zircon U–Pb dating; Xianli granite

About the first author: WANG Jia-en, male, born in 1971, senior engineer, engages in regional geological survey; E-mail: 721117waje@163.com.