

豫西崤山老里湾岩体年代学、地球化学特征及其成矿作用

王利功^{1,2}, 王全明^{1,3}, 常云真², 毕炳坤², 李智², 王通², 张帅军²
WANG Ligong^{1,2}, WANG Quanming^{1,3}, CHANG Yunzhen², BI Bingkun²,
LI Zhi², WANG Tong², ZHANG Shuaijun²

1. 中国地质大学地球科学与资源学院, 北京 100083;

2. 河南省地质矿产勘查开发局第一地质矿产调查院, 河南 洛阳 471000;

3. 中国地质调查局发展研究中心, 北京 100037

1. Faculty of Geosciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;

2. No. 1 Institute of Geological and Mineral Resources Survey, Henan Bureau of Geology and Mineral Resources Development, Luoyang 471000, He'nan, China;

3. Development and Research Center of China Geological Survey, Beijing 100037, China

摘要: 豫西崤山老里湾岩体位于华北陆块南缘崤山地区东部, 是河南省地矿局地矿一院近年新发现的二长花岗岩体。岩体内部已发现多个矿体, 为探寻岩体的形成机制及其与成矿作用的关系, 对岩体进行了岩石学、年代学、地球化学及岩体内部矿化特征研究, 揭示其形成机制及成矿作用。全岩 Rb-Sr 定年结果显示, 老里湾岩体的侵位时间是 149 ± 11 Ma。岩体的地球化学特征总体表现为高硅、高铝、富碱、低镁的钾玄质、准铝质-过铝质花岗岩; 轻稀土元素富集, 重稀土元素亏损, 轻、重稀土元素强烈分异; $\delta \text{Eu} = 0.62 \sim 0.66$, 具有中等的负 Eu 异常, 富集 Rb、Th、U、K 等大离子亲石元素, Nb、Ta、P、Ti 等高场强元素亏损; 岩体具有中等含量 Sr, 低 Yb、Y, 揭示源区除石榴子石外还有斜长石残留; 岩体形成于加厚地壳向正常地壳减薄的环境。岩体内部矿化特征具有斑岩型矿床的特征, 成矿时代属晚侏罗世, 老里湾岩体成矿是豫西地区晚侏罗世成矿事件在崤山东部地区的地质响应。老里湾岩体与成矿作用关系密切, 找矿前景较好, 岩体周边地区应被视为崤山东部重点找矿靶区之一。

关键词: 老里湾岩体; Rb-Sr 年代学; 地球化学; 崤山

中图分类号: P597+.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-2552(2017)07-1242-09

Wang L G, Wang Q M, Chang Y Z, Bi B K, Li Z, Wang T, Zhang S J. Rock mass dating, geochemical characteristics and metallogenic role of Laoliwan granite in Xiaoshan area, west He'nan Province. *Geological Bulletin of China*, 2017, 36(7): 1242-1250

Abstract: Laoliwan granite lies in Xiaoshan area on the southern margin of North China Block. It is a granite body discovered recently by Henan Provincial Bureau of Geology and Mineral Resources. This granite mainly consists of adamellite. In this granite body several ore deposits have been found. In order to investigate its formation mechanism and metallogenic role, the authors carried out a study in such aspects as petrology, chronology, geochemistry and mineralization. The formation time of Laoliwan granite is 149 ± 11 Ma, as shown by Rb-Sr dating. It is highly K calc-alkaline and metaluminous-peraluminous, enriched in silica ($\text{SiO}_2 = 65.81\% \sim 68.52\%$), aluminum ($\text{Al}_2\text{O}_3 = 14.52\% \sim 14.75\%$), alkali ($\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} = 6.52\% \sim 7.49\%$) and depleted in MgO ($0.21\% \sim 0.73\%$); LREE is relatively enriched while HREE is depleted ($\sum \text{LREE} / \sum \text{HREE} = 15.69 \sim 16.38$), with medium negative Eu anomalies ($\delta \text{Eu} = 0.63 \sim$

收稿日期: 2016-06-28; 修订日期: 2017-05-26

资助项目: 河南省地质勘查基金(周转金)招标项目《河南省崤山地区 1:5 万区域矿产调查(2012)》(编号: 豫国土资发[2009]93号)

作者简介: 王利功(1984-), 男, 在读博士生, 工程师, 矿产普查与勘探专业。E-mail: ligongwang@163.com

通讯作者: 王全明(1962-), 男, 博士, 研究员, 矿产普查与勘探专业。E-mail: 106357123@qq.com

0.66)。In addition, it is rich in large ion lithophile elements, such as K, U, and Th, poor in high field elements, such as Nb, Ta, P and Ti, and contains medium Sr ($265 \times 10^{-6} \sim 415 \times 10^{-6}$, averagely 315×10^{-6}), low Y ($14.7 \times 10^{-6} \sim 18.8 \times 10^{-6}$, averagely 16.7×10^{-6}) and Yb ($1.14 \times 10^{-6} \sim 1.37 \times 10^{-6}$, averagely 1.26×10^{-6}), suggesting it was formed during the transition from thickened crust to normal crust, with garnet and plagioclase relics. The inner mineralization is similar to feature of porphyry deposits and its metallogenetic age is Late Jurassic. Its metallogenetic role is a geological response to the Late Jurassic mineralization event in Yuxi area. So the Laoliwan granite has a close relationship with metallogenization. The ore-searching prospect is good, and the area around Laoliwan granite should be considered to be one of the prospecting targets in the east Xiaoshan region.

Key words: Laoliwan granite; Rb-Sr dating; geochemistry; Xiaoshan

崤山地区位于河南省西部,属于小秦岭-熊耳山-外方山金多金属成矿带的一部分。相对于小秦岭-熊耳山-外方山地区,崤山地区成矿规模较小,找矿成果长期未取得突破,与成矿关系密切的中酸性小岩体也未引起足够重视。近年来,一些学者陆续对这些小岩体展开了研究^[1-5],主要是岩石学、地球化学、年代学等方面的工作,对岩体的成因类型、岩浆源区特征、形成时代进行了研究,但未对岩体与成矿作用的关系进行探讨。本次研究的老里湾岩体位于崤山东部黄土浅覆盖地区,北西向西断裂F1穿过岩体,断裂穿过岩体部位矿化蚀变强烈,目前已发现多个矿体,找矿前景较好。本文对其展开Rb-Sr年代学、岩石学、地球化学研究,揭示老里湾岩体的形成年代及其与成矿作用的关系。

1 区域地质概况

崤山地区大地构造单元属于华北陆块南缘,华熊隆起中段崤山断隆。区内主要出露太古宇太华群变质岩系、中元古界熊耳群火山岩系及中元古界官道口群碳酸盐岩;其东、西两侧分别为熊耳山和小秦岭,区内断裂构造发育,崤山断隆呈北东-南西向展布,西北受朱阳断裂所限,东北被三门峡-鲁山断裂截切,东南侧发育卢氏-洛宁断陷,呈现四周断陷、核部断隆的构造格局;岩浆活动频繁,分布有中元古代辉绿岩、新元古代晋宁期闪长岩、古生代闪长岩和燕山期(石英)闪长岩、花岗(斑)岩小岩体及正长斑岩岩脉^[6],另外中元古界熊耳群火山岩在区内广泛出露;其中燕山期(石英)闪长岩、花岗(斑)岩小岩体与成矿关系密切,崤山地区发育柳关、赵家古洞、小妹河、后河、龙卧沟等燕山期小岩体(图1),地表出露面积0.2~1.3km²,主要岩性为二长花岗斑岩、花岗闪长岩^[7]。崤山地区主要形成与燕山期浅成、超浅成花岗斑岩相关的金、银、钼、钨、硫、铁多金属矿床^[8]。斑岩-矽卡岩型硫、铁、钼、钨、

铜、铅、锌等矿床在该区南部出露,如银家沟硫、铁、铜、钼、铅多金属矿床;崤山北部则主要出露石英脉型和构造蚀变岩型银、金、铅矿床,如半宽金(铅)矿、申家窑金矿、野乔河金矿、大方山金矿、葫芦峪金矿和唐山村金矿床^[7]。

2 岩体地质特征

老里湾岩体位于洛宁县城北北西11km的老里湾,呈近圆形小岩株,航片上呈明显的环状构造。其南北两侧被第四系覆盖,东西两侧侵入于熊耳群许山组杏仁状小斑安山岩中,西南部被北西向断裂切割破坏,岩体地表出露面积0.5km²,平面上呈不规则椭圆状,向北部和东南部略有突出,略呈弓形,长轴方向近北西向,长1000余米,东西宽580余米。垂向上呈向北东倾斜的歪斜桶状,西南部和东北部倾向北东,西南部倾角较陡,倾角80°左右,向深部略变缓,东北部倾角较缓,倾角65°左右。西北部倾向南东,倾角70°左右;北东部总体倾向南西,倾角75°左右。其与西邻罗岭乡韩沟二长花岗岩体相似。

岩体风化面多呈浅红色、浅褐色,原岩灰白色,斑状结构、花岗结构、交代残留、交代蠕虫结构,块状构造,斑晶主要矿物成分为钾长石、斜长石、石英,次要矿物为黑云母等,含量占岩石的25%~35%,粒度为2~10mm,一般长石斑晶颗粒较粗,局部可达30mm;石英颗粒较细,多呈圆形、椭圆形,有熔蚀现象。基质主要为细粒-微细粒的长英质,粒度为0.8~0.1mm,主要矿物成分为钾长石(35%~40%,占基质的比例,下同)、斜长石(30%~35%)、石英(25%~30%),次要矿物为黑云母、绿泥石(2%),微量矿物为白云母、褐铁矿、锆石、磷灰石、萤石、榍石、方解石,绢云母占1%左右。钾长石呈板状或粒状,可见卡氏双晶,有交代包裹斜长石现象,具较强高岭土化,个别颗粒与石英呈交代蠕虫结构;斜长石呈板状或粒状,具聚片双晶,多具绢云母化;石英呈他形粒状,分布在

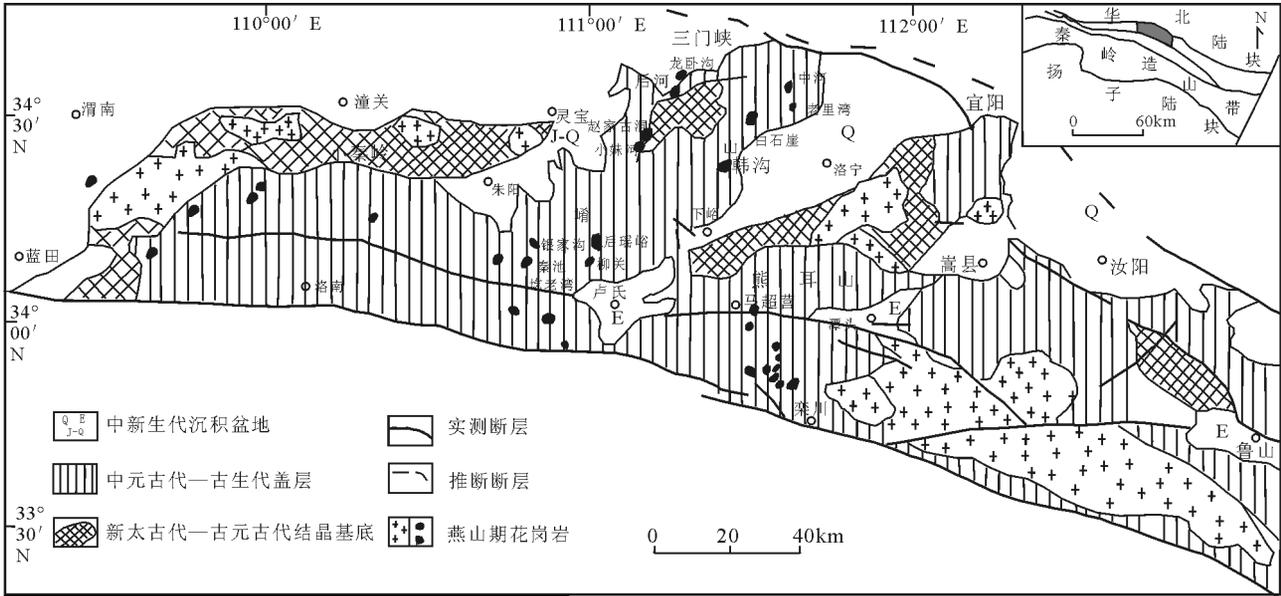


图1 崤山及邻区花岗岩类岩体地质图(据参考文献[7]修改)

Fig. 1 Geological map of granitoids in Xiaoshan area and adjacent areas

钾长石与斜长石粒间,有交代并包裹长石现象;黑云母呈细小鳞片状,有绿泥石化现象。

北西西向断裂F1穿过岩体,F1断裂具多期活动的特点,早期的初期该断裂以压扭性为主,末期为张性,在老里湾西侧形成Z字型的追踪张性断裂,与北东向断裂一起控制老里湾岩体的产出;中期该断裂表现为张扭性,切穿了老里湾岩体;晚期该断裂表现为压性,破碎带内形成平行的挤压带,其内充填有断层泥,并有一定的银多金属矿化。岩体内部已发现多个工业矿体。矿体位于老里湾岩体内部及岩体和围岩的接触带内,赋矿岩石的岩性主要为斑状二长花岗岩,次为花岗斑岩和安山岩,矿体的主体部位位于斑状二长花岗岩内,矿体与围岩没有明显的界线,矿体呈囊状、脉状、似层状、透镜状及不规则形态产出,主体呈脉状,倾向上呈叠层状,平面上有右行斜列的现象。主矿体F1-1总体为厚大的囊状,分支复合现象明显,底板围岩均为斑状二长花岗岩,局部为花岗斑岩、安山岩。矿石结构以碎裂结构、粒状结构为主,矿石构造为细脉状、浸染状构造,晚期成矿的脉状矿石仅在局部穿切早中期矿石;围岩蚀变在主矿体F1-1囊状矿体周围,围岩蚀变以面型蚀变为主,且在其周围蚀变带宽度较大,可达100m以上,自矿体向围岩表现为绢云母化-高岭土化-碳酸盐化-黄铁矿化带到

弱绢云母化-弱高岭土化-绿泥石化-绿帘石化-黄铁矿化的变化特征。

3 Rb-Sr 同位素组成测试

全岩Rb-Sr同位素组成测试在北京核工业地质研究所测试中心完成,采用同位素稀释法测定,实验过程中首先用铷锶稀释剂、混合酸(HF+HNO₃+HClO₄)将样品溶解,蒸干,然后用高浓度的盐酸将其转化为氯化物蒸干,最后用不同浓度的盐酸溶解、离心分离、淋洗、蒸干,进行质谱分析,质谱分析采用ISOPROBE-T热电离质谱计。质量分馏效应采用⁸⁶Sr/⁸⁸Sr=0.1194校正,标准测量结果:NBS987测定值为0.710250±0.00007,NBS607测定值为1.200598±0.000011,GBW0441测定值为0.760112±0.00002,Rb和Sr实验室流程本底值均为2×10⁻¹⁰g。Rb-Sr同位素测试结果列于表1,Rb含量为219×10⁻⁶~245×10⁻⁶,Sr含量为251×10⁻⁶~371×10⁻⁶,⁸⁷Rb/⁸⁶Sr值为1.839~2.5546,⁸⁷Sr/⁸⁶Sr值为0.7144±0.000012~0.712948±0.000013。

4 元素地球化学

本次对5件豫西崤山老里湾二长花岗岩样品进行主量和微量元素分析,样品测试均由北京核工业地质研究所测试中心完成,测试结果列于表

表 1 豫西崤山老里湾岩体 Rb-Sr 同位素组成结果

Table 1 Rb-Sr isotope data of the Laoliwan granite in Xiaoshan region

样品号	Rb/10 ⁶	Sr/10 ⁶	⁸⁷ Rb/ ⁸⁶ Sr	⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr	2σ
LLW-①	236	371	1.8390	0.711440	0.000012
LLW-②	219	289	2.1898	0.712208	0.000014
LLW-③	245	304	2.3286	0.712061	0.000011
LLW-④	222	251	2.5546	0.712948	0.000013

2. 取样过程中尽量选取新鲜、蚀变微弱的岩石, 但该岩体普遍存在绢云母化、绿泥石化, 高岭土化, 导致主量元素分析结果中烧失量较高。

4.1 主量元素

豫西崤山老里湾二长花岗岩的主量元素分析结果(表 1)表明, 该岩体总体表现为高硅($\text{SiO}_2=65.81\%\sim 68.52\%$)、高铝($\text{Al}_2\text{O}_3=14.52\%\sim 14.80\%$)、低镁($\text{MgO}=0.29\%\sim 0.84\%$)的特点; 岩体相对富碱($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}=6.52\%\sim 7.49\%$), 碱含量中富钾贫钠($\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}=10.41\sim 11.56$)。在 $\text{SiO}_2-\text{K}_2\text{O}$ 图解(图 2-a)中, 样品数据点落入钾玄岩系列范围内。岩体的 A/CNK ($\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{CaO}+\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$, 摩尔比) $=0.99\sim 1.43$, A/NK ($\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$, 摩尔比) $=1.71\sim 1.98$, 普遍大于 1.1, 属于准铝质-过铝质花岗岩(图 2-b)。

4.2 微量和稀土元素

豫西崤山老里湾二长花岗岩微量和稀土元素分析测试结果见表 3。岩体的稀土元素总量介于 $189.77\times 10^{-6}\sim 201.49\times 10^{-6}$ 之间, 在球粒陨石标准化图(图 3-a)上, 各样品的配分曲线近于平行向右陡倾斜, 显示出强分异的稀土元素组成模式, 以富集轻稀土元素和亏损重稀土元素为特征, $(\text{La}/\text{Yb})_N=25.60\sim 28.82$ ($\sum \text{LREE}/\sum \text{HREE}=15.69\sim 16.44$),

$\delta \text{Eu}=0.62\sim 0.66$, 具有中等的负 Eu 异常; 在微量元素蛛网图(图 3-b)中, 岩体相对富集 Sr($265\times 10^{-6}\sim 415\times 10^{-6}$), Yb 含量较低($1.14\times 10^{-6}\sim 1.37\times 10^{-6}$), Rb、Th、U、K 等大离子亲石元素较富集, Nb、Ta、P、Ti 等高场强元素亏损; Cu、Mo、W、Zn、Pb 等金属元素异常富集, 远高于该区背景值(表 2)。

5 讨论

5.1 老里湾岩体的形成时代

样品 TW1/LLW-①、TW1/LLW-②、TW1/LLW-④数据拟合出较好的等时线(图 4), TW1/LLW-③不在线上, 舍去, 样品数据相关系数 0.9998, 具有较好的相关性。拟合出的等时线方程为 $y=0.002107x+0.70755$, $\text{MSWD}=0.32$, 等时线质量较好。获得的表面年龄为 $149\pm 11\text{Ma}$, I_s 值为 0.70755 ± 0.00034 , 具有以地壳来源为主的特征。

老里湾岩体是新发现的小岩体, 前人未对该岩体进行过年代学研究。笔者通过查阅邻近地区资料发现, 崤山地区北部中河岩体的锆石 U-Pb 年龄为 $140\pm 2\text{Ma}$ ^①, 白石崖岩体的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 $135\pm 3\text{Ma}$ ^②, 崤山南部银家沟杂岩体的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 $142\pm 2\sim 148\pm 2\text{Ma}$ ^③, 与老里湾岩体形成的年代接近; 在小秦岭、外方山地区也存在与老里湾岩体形成年代接近的岩体, 华山岩体的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 $146\pm 15\text{Ma}$ ^④, 文峪岩体和华山岩体的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄分别为 $138\pm 2\text{Ma}$ 和 $141\pm 2\text{Ma}$ ^⑤。这表明, 崤山、小秦岭、外方山地区存在与老里湾岩体形成时代接近的花岗岩体, 岩体表面年龄 $149\pm 11\text{Ma}$ 具有地质意义, 可能代表了老里湾岩体的结晶年龄。因此推测, 老里湾岩体形成于 $149\pm 11\text{Ma}$, 为晚侏罗世岩浆活动的产物。

5.2 部分熔融源区特征

老里湾岩体的 SiO_2 含量介于 $65.81\%\sim 68.52\%$ 之

表 2 豫西崤山老里湾岩体主量元素分析结果

Table 2 Major element analyses of the Laoliwan granite in Xiaoshan area

样品号	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	烧失量	总和
LLW-①	66.72	0.33	14.52	1.01	1.43	0.10	0.84	2.57	0.61	6.88	0.16	4.60	99.77
LLW-②	65.81	0.32	14.60	1.83	0.95	0.10	0.82	2.97	0.57	6.61	0.15	5.14	99.87
LLW-④	68.52	0.33	14.80	2.29	0.50	0.34	0.66	1.38	0.57	6.39	0.16	3.97	99.91
LLW-⑦	67.87	0.33	14.75	2.42	0.18	0.08	0.29	2.62	0.59	6.13	0.16	4.54	99.96
LLW-⑧	66.20	0.34	14.67	1.94	0.20	0.09	0.40	4.04	0.56	5.96	0.16	5.38	99.93

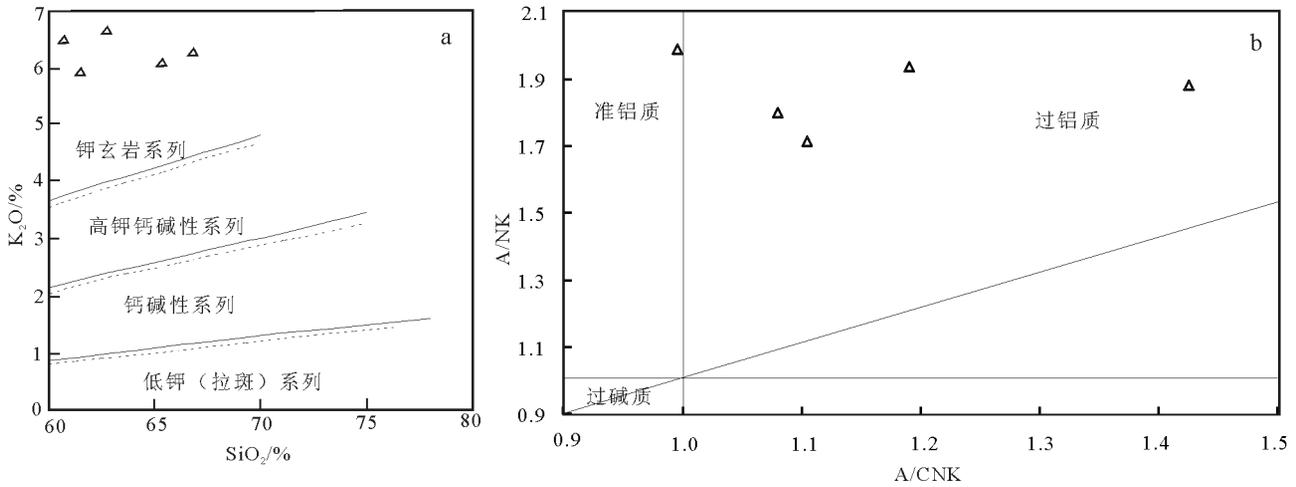


图2 豫西崤山老里湾岩体SiO₂-K₂O和A/CNK-A/NK图解

Fig. 2 SiO₂-K₂O and A/CNK-A/NK diagrams of the Laoliwan granite in Xiaoshan area

间, MgO 小于 3%, Yb 含量低于 1.9×10^{-6} , Y 含量低于 18×10^{-6} 等特征显示, 其具有埃达克质岩的属性(表 2; 图 5-a), 即起源深度较大^[13]。埃达克质岩石的形成有 4 种方式: 俯冲板块的部分熔融、玄武质岩浆的部分熔融、加厚的下地壳部分熔融和拆沉下地壳的部分熔融。前人通过对崤山地区燕山期区域构造演化及埃达克质岩石的主量、微量元素研究认为, 崤山地区燕山期埃达克质岩石为加厚的下地壳部分熔融形成^[4-5]; 在 SiO₂-MgO 图解中, 样品投点均

落入加厚下地壳部分熔融起源的埃达克质岩石区域内(图 5-a), 因此笔者认为, 老里湾埃达克质岩浆是加厚的下地壳部分熔融形成的。在 Yb-Sr 图解(图 5-b)中, 张旗将全球花岗岩大致分为埃达克型、喜马拉雅型、浙闽型和南岭型花岗岩 4 类^[14]。老里湾岩体样品点落入埃达克型和喜马拉雅型的过渡区域内及其周边, 属于埃达克型和喜马拉雅型之间的过渡型。

老里湾岩体 HREE(重稀土元素)、Y 强烈亏损,

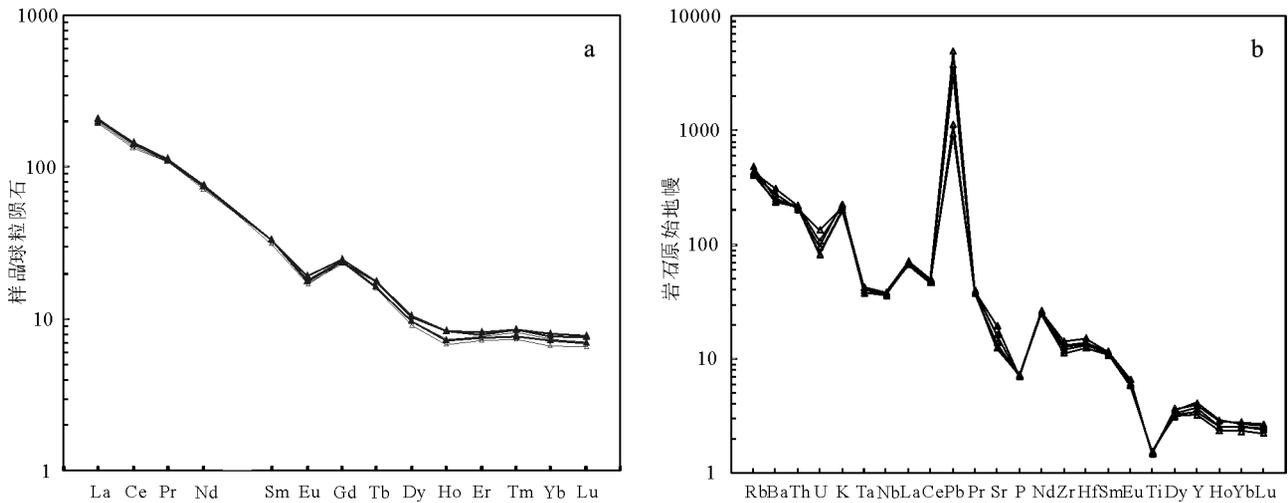


图3 豫西崤山老里湾岩体球粒陨石标准化稀土元素配分模式图(a)及原始地幔标准化微量元素蛛网图(b)(标准化值据参考文献[9])

Fig. 3 Chondrite-normalized REE patterns (a) and PM-normalized incompatible element patterns (b) of the Laoliwan granite in Xiaoshan area

表 3 豫西崤山老里湾岩体微量和稀土元素分析结果
Table 3 Trace element and rare earth element analyses
of the Laoliwan granite in Xiaoshan area

样品号	10 ⁻⁶											
	Mo	Zn	W	Cu	Co	V	Cr	Rb	Ba	Th	U	Ta
LLW-①	1.24	292	1.76	9.19	3.43	32.6	2.54	311	1795	17.4	2.03	1.56
LLW-②	0.763	443	2.36	0.778	3.4	34.6	3.15	272	2158	18.6	2.24	1.73
LLW-④	1.56	>5000	2.66	2.01	3.34	31.4	2.02	266	1942	17.8	2.82	1.54
LLW-⑦	4.56	350	2.07	2.85	2.57	32.6	3.21	260	1700	18.6	1.75	1.64
LLW-⑧	2.11	357	1.95	1.26	2.35	32.1	2.07	274	1643	17.9	1.70	1.72
样品号	Nb	Ce	Pb	Sr	Zr	Hf	Dy	Y	La	Ce	Pr	Nd
LLW-①	26.3	87.3	270	415	134	4.03	2.46	16.9	48.1	87.3	10.8	34.8
LLW-②	26.9	87.9	348	340	158	4.65	2.69	17.8	48.9	87.9	10.9	35.5
LLW-④	25.4	84.2	219	265	126	3.83	2.41	15.7	46.4	84.2	10.5	33.4
LLW-⑦	27.3	87.7	67	266	148	4.33	2.63	18.8	49.3	87.7	10.7	34.8
LLW-⑧	27.3	82.5	79.6	293	141	4.22	2.30	14.7	45.8	82.5	10.3	34.5
样品号	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	(La/Yb) _N	δEu
LLW-①	5.07	1.04	5.02	0.62	2.46	0.41	1.25	0.20	1.24	0.18	27.82	0.63
LLW-②	5.11	1.10	5.13	0.65	2.69	0.47	1.35	0.22	1.37	0.20	25.60	0.66
LLW-④	4.86	0.99	4.80	0.62	2.41	0.42	1.27	0.21	1.26	0.18	26.41	0.63
LLW-⑦	5.08	1.01	4.96	0.66	2.63	0.48	1.32	0.22	1.32	0.19	26.79	0.62
LLW-⑧	4.77	0.98	4.95	0.60	2.30	0.39	1.19	0.19	1.14	0.17	28.82	0.62

中等 Sr 含量 ($265 \times 10^{-6} \sim 415 \times 10^{-6}$), 轻、重稀土元素分馏明显, 中等负 Eu 异常 ($\delta \text{Eu} = 0.62 \sim 0.66$)。岩体 HREE、Y 的强烈亏损, 可能是部分熔融源区出现石榴子石残余相所致, 因为石榴子石是部分熔融体相中主要的控制因素, 而 HREE、Y 在石榴子石熔体中的分配系数最大; 稀土元素配分模式图中, HREE 具平坦型的分布, Ho_N 和 Yb_N 大体相当, 暗示角闪石可能是重要的残留相, 因为角闪石相比石榴子石相更富集中稀土元素 (MREE)^[16-17]; 岩体中等的 Sr 含量, 中等的负 Eu 异常, 表明源区可能存在少量的富 Ca 斜长石; 张旗^[14]认为, 与埃达克质岩对应的残留相是石榴子石, 无斜长石残留, 形成压力大于 1.5 GPa, 形成深度大于 50 km; 而与喜马拉雅型对应的是石榴子石和斜长石, 形成压力可能在 0.8~1.4 GPa 之间, 形成深度在 40~50 km 之间; 老里湾岩体属于埃达克型、喜马拉雅型之间的过渡型, 综合二者特征, 笔者推测, 老里湾花岗岩岩浆部分熔融压力下限约为 0.8 GPa, 形成深度大于 40 km, 可能在 40~50 km 之间,

为中等压力下形成的。

老里湾岩体与高昕宇等^[18]报道的文峪晚期侵入的第五期侵入体具有相似的特征, 均具有中等的 Eu 异常 ($\delta \text{Eu} = 0.63 \sim 0.70$, 平均 0.66), 中等的 Sr 亏损, 亏损 Y、Yb, 认为源区除石榴子石外还有斜长石残留, 侵入体形成于加厚地壳向正常地壳减薄的环境。

总之, 老里湾岩体属于埃达克型和喜马拉雅型之间的过渡型, 形成深度应大于 40 km, 可能在 40~50 km 范围, 形成深度略小于中国东部典型的 C 型埃达克岩^[19], 为中等压力下形成, 部分熔融源区残余相矿物包括石榴子石、角闪石和少量的斜长石。

5.3 构造背景

华北板块、秦岭微板块、扬子板块于中生代初期的早中三叠世完成了陆陆碰撞闭合^[20-21], 碰撞阶段早期发生陆内俯冲, 岩石圈强烈挤压缩短增厚, 在华北地块南缘形成自北而南逆冲推覆的洛南-

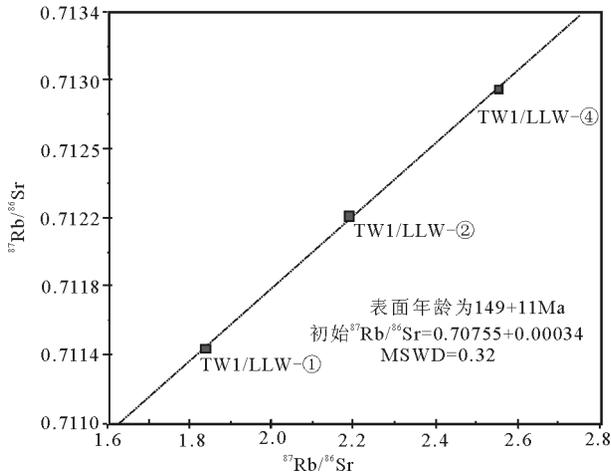


图4 豫西崤山老里湾岩体Rb-Sr等时线图
Fig. 4 Rb-Sr isochron of the Laoliwan granite in Xiaoshan area

栾川逆冲推覆构造,小秦岭地区在区域挤压构造体制下形成太华推覆体^[22-23],直至中侏罗世晚期完成全面拼合。中侏罗世一早白垩世(163~136Ma),区域构造体制发生转换^[24-26],碰撞后强烈增厚的地壳开始趋于伸展减薄,诱发了中国东部晚中生代巨量岩浆活动^[27-28]。老里湾岩体的形成年龄正对应于中侏罗世一早白垩世由挤压增厚向伸展减薄转换的阶段,形成于加厚地壳向正常地壳减薄的环境。

5.4 岩体成矿作用

矿体的产出受多期次构造影响,北西西向断裂

F1初期和北东东向断裂交会破碎部位控制了岩体的侵入部位,从而控制了矿床的产出部位,中期该断裂表现为张扭性,切穿了老里湾岩体,矿石相应表现为碎裂结构,晚期该断裂表现为压性,破碎带内形成了一些平行的挤压带,其内充填有断层泥,并有一定的银多金属矿化,影响了矿石、矿体的产出形态,矿石中矿化可见片状、鳞片状。断裂仅控制了岩体的产出,影响了矿体的形态,但对矿体的形成并未起到控制作用。

矿体的主体部位位于岩体内部及岩体和围岩的接触带内,矿体与围岩没有明显的界线,蚀变带宽度较大,矿石主要为浸染状矿石,其内有较多细脉-微细脉状矿石杂乱分布,主矿体F1-1围岩蚀变带厚度较大,可达100m以上,自矿体向围岩蚀变表现为绢云母化-高岭土化-碳酸盐化-黄铁矿化带到弱绢云母化-弱高岭土化-绿泥石化-绿帘石化-黄铁矿化的变化特征,岩体内微裂隙的发育密度控制了矿化程度,微裂隙越发育,矿化越好。总之,矿体的产出主要受岩体的控制,矿石的结构、构造及围岩蚀变具有斑岩型矿床的特征,初步推断其属于斑岩型矿床,岩体的形成年代可代表矿床的形成年代,形成时代为晚侏罗世。岩体与成矿作用关系密切,找矿前景较好,老里湾岩体周边地区应被视为崤山东部重点找矿靶区之一。

对比邻区,崤山地区南部硫、铁多金属矿床接

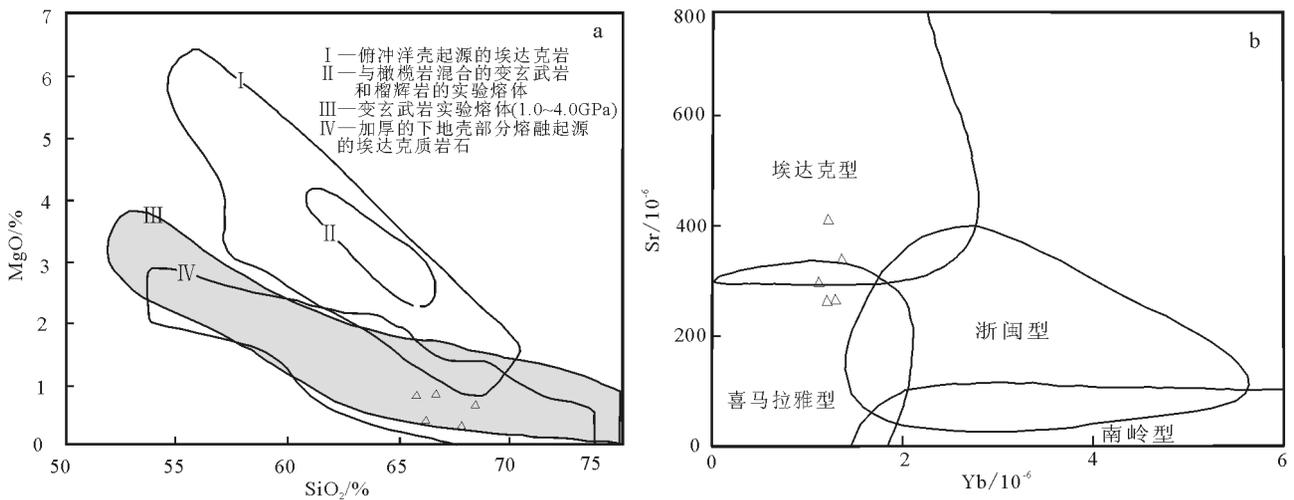


图5 豫西崤山老里湾岩体SiO₂-MgO(a)和Yb-Sr(b)图解(据参考文献[14-15]修改)

Fig. 5 Diagrams of SiO₂-MgO (a) and Yb-Sr (b) for the Laoliwan granite in Xiaoshan area

触带矽卡岩型钼矿体中的辉钼矿 Re-Os 模式年龄介于 $143\pm 2\sim 144\pm 2\text{Ma}$ 之间,等时线年龄为 $143\pm 1\text{Ma}$,矿床的形成时代在 143Ma 左右,矿床的成因类型为斑岩-矽卡岩型^[29-30],矿体位于银家沟杂岩体和围岩接触带内,成矿与晚侏罗世银家沟杂岩体关系密切;熊耳山地区沙沟铅锌多金属矿中 2 件近矿蚀变岩的 Ar-Ar 等时线年龄分别是 $145\pm 2\text{Ma}$ 和 $147.6\pm 2\text{Ma}$ ^[31];在卢氏-栾川地区,三道庄、南泥湖和上房沟 3 个大型斑岩-矽卡岩型矿床辉钼矿 Re-Os 模式年龄介于 $142\pm 2\sim 146\pm 2\text{Ma}$ 之间,等时线年龄为 $142\pm 8\text{Ma}$ ^[32]。说明崤山、熊耳山和卢氏-栾川地区存在与老里湾岩体形成时代接近的成岩、成矿事件,老里湾岩体成矿事件是豫西地区晚侏罗世成矿事件在崤山东部地区的地质响应。

6 结 论

(1)结合老里湾岩体 Rb-Sr 定年结果和周围岩体定年结果初步推测,老里湾岩体形成时间为 $149\pm 11\text{Ma}$,为晚侏罗世岩浆活动的产物。

(2)老里湾花岗岩属于埃达克型向喜马拉雅型过渡的花岗岩;源区残留矿物主要为石榴子石、角闪石,其次为少量的斜长石,形成深度大于 40km ,是加厚下地壳熔融的产物,形成于加厚地壳向正常地壳减薄的环境。

(3)矿体的产出主要受岩体控制,并受后期构造的影响,结合矿石结构、构造及围岩蚀变特征,初步推断矿床属于斑岩型矿床,成矿时代为晚侏罗世,是豫西地区晚侏罗世成矿事件在崤山东部地区的地质响应。

致谢: 成文过程中得到河南省地矿局第一地质矿产调查院赵留升、黄昊高级工程师的指导,中国地质大学(武汉)李磊博士对文章修改提出了宝贵的意见,在此深表谢意。

参考文献

[1]Liang T, Bai F J, Lu R, et al. LA-ICP-MS zircons dating of Baishiya body in xiao Mountain, west Henan Province, and its geologic implication[J]. Acta Geologica Sinica, 2013, 87(7): 722-725.
 [2]胡浩,李建威,邓晓东. 洛南-卢氏地区与铁铜多金属矿床有关的中酸性侵入岩锆石 U-Pb 定年及其地质意义[J]. 矿床地质, 2011, 30(6): 979-1001.
 [3]卢仁,梁涛,卢欣祥,等. 豫西崤山后河岩体 LA-ICP-MS 锆石

U-Pb 定年及其地质意义[J]. 地质调查与研究, 2013, 36(4): 263-270.

[4]卢仁,梁涛,卢欣祥,等. 豫西崤山龙卧沟岩体锆石 U-Pb 年代学、地球化学特征及地质意义[J]. 中国地质, 2014, 41(3): 756-772.
 [5]梁涛,卢仁. 豫西崤山小妹河岩体 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年、地球化学特征及地质意义[J]. 地质通报, 2015, 34(8): 1526-1540.
 [6]河南省地质矿产局. 河南省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1989: 1-772.
 [7]罗铭玖,黎世美,卢欣祥,等. 河南省主要矿产的成矿作用及矿床成矿系列[M]. 北京: 地质出版社, 2000: 1-125.
 [8]李磊,孙卫志,孟宪锋,等. 华北陆块南缘崤山地区燕山期花岗岩类地球化学、Sr-Nd-Pb 同位素特征及其地质意义[J]. 岩石学报, 2013, 29(8): 2635-2652.
 [9]Sun S S, Mc Donough W F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes[C]// Saunders A D, Norry M J. Magmatism in the Ocean Basin. Geological Society of London Special Publication, 1989, 42: 313-345.
 [10]李铁钢,武广,陈毓川,等. 豫西银家沟杂岩体年代学、地球化学和岩石成因[J]. 岩石学报, 2013, 29(1): 46-66.
 [11]毛景文,谢桂青,张作衡,等. 中国北方中生代大规模成矿作用的期次及其地球动力学背景[J]. 岩石学报, 2005, 21(1): 169-188.
 [12]王义天,叶会寿,叶安旺,等. 小秦岭文峪和娘娘山花岗岩体锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其意义[J]. 地质科学, 2010, 45(1): 167-180.
 [13]张旗,王焰,熊小林,等. 埃达克岩与花岗岩: 机遇与挑战[M]. 北京: 中国大地出版社, 2008: 1-178.
 [14]张旗,金惟俊,李承东,等. 再论花岗岩按照 Sr-Yb 的分类: 标志[J]. 岩石学报, 2010, 26(4): 985-1015.
 [15]Wang Q, Xu J F, Jian P, et al. Petrogenesis of adakitic porphyries in an extensional tectonic setting, Dexing, South China: Implications for the genesis of porphyry copper mineralization[J]. Journal of Petrology, 2006, 47: 119-144.
 [16]吴福元,葛文春,孙德有. 埃达克质岩的概念、识别标志及其地质意义[C]//肖庆辉,邓晋福,马大铨,等. 花岗岩研究思维与方法. 北京: 地质出版社, 2002: 172-191.
 [17]葛小月,李献华,陈志刚,等. 中国东部燕山期高 Sr 低 Y 型中酸性火成岩的地球化学特征及成因: 对中国东部地壳厚度的制约[J]. 科学通报, 2002, 47(6): 474-450.
 [18]高昕宇,赵太平,高剑峰,等. 华北陆块南缘小秦岭地区早白垩世埃达克质花岗岩的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄、Hf 同位素和元素地球化学特征[J]. 地球化学, 2012, 41(4): 302-319.
 [19]张旗,王焰,钱青,等. 中国东部燕山期埃达克岩的特征及其构造-成矿意义[J]. 岩石学报, 2001, 17(2): 236-244.
 [20]张国伟,张本仁,袁学诚,等. 秦岭造山带与大陆动力学[M]. 北京: 科学出版社, 2001: 1-855.

- [21] Meng Q R, Zhang G W. Geologic framework and tectonic evolution of the Qinling orogen, central China[J]. Tectonophysics, 2000, 323(3/4): 183–196.
- [22] 王清晨, 孙枢, 李继亮, 等. 秦岭的大地构造演化[J]. 地质科学, 1989, (2): 129–142.
- [23] 陈海泓, 侯泉林, 肖文交. 中国碰撞造山带研究[M]. 北京: 海洋出版社, 1999: 224–232.
- [24] 任纪舜. 论中国大陆岩石圈构造的基本特征[J]. 中国区域地质, 1991, 10(4): 289–293.
- [25] 赵越, 杨振宇, 马醒华. 东亚大地构造发展的重要转折[J]. 地质科学, 1994, 29(2): 105–119.
- [26] 卢欣祥. 秦岭花岗岩揭示的秦岭构造演化过程——秦岭花岗岩研究进展[J]. 地球科学进展, 1998, 13(2): 213–214.
- [27] 洪大卫, 王涛, 童英, 等. 华北地台和秦岭—大别—苏鲁造山带的中生代花岗岩与深部地球动力学过程[J]. 地学前缘, 2003, 10(3): 231–256.
- [28] Maruyama S, Isozaki Y, Kimura G, et al. Paleogeographic maps of the Japanese Islands: Plate tectonic synthesis from 752Ma to the present[J]. Island Arc, 1997, 6(1): 121–142.
- [29] 武广, 陈毓川, 李宗彦, 等. 豫西银家沟硫铁多金属矿床流体包裹体和同位素特征[J]. 地质学报, 2013, 87(3): 354–376.
- [30] 武广, 陈毓川, 李宗彦, 等. 豫西银家沟硫铁多金属矿床 Re-Os 和 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 年龄及其地质意义[J]. 矿床地质, 2013, 32(4): 809–822.
- [31] 毛景文, 郑榕芬, 叶会寿, 等. 豫西熊耳山地区沙沟银铅锌矿床成矿的 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 年龄及其地质意义[J]. 矿床地质, 2006, 25(4): 359–369.
- [32] 李永峰, 毛景文, 白凤军, 等. 东秦岭南泥湖钼矿 Re-Os 同位素年龄及其地质意义[J]. 地质论评, 2003, 49(6): 652–659.
- ① 河南省地质矿产勘查开发局第一地质矿产调查院. 河南省崮山地区 1:5 万区域矿产调查报告. 2012.