

文章编号: 0258-7106(2012)06-1301-10

# 黑龙江鹿鸣钼矿床地质特征及成矿年龄\*

邵军 杨宏智 贾斌 彭明生

(沈阳地质矿产研究所, 辽宁 沈阳 110034)

**摘要** 黑龙江鹿鸣钼矿床位于小兴安岭-张广才岭多金属成矿带翠宏山-二股成矿亚带中南段。矿化发生在花岗岩体内, 矿石为石英细脉浸染状的花岗斑岩、二长花岗岩, 围岩蚀变具有岩浆热液蚀变的分带特征。成矿作用与花岗岩浆侵入活动密切相关, 矿床成因类型为斑岩型。岩石地球化学研究表明, 矿区花岗斑岩、二长花岗岩具有同一岩浆来源, 属于“A”型花岗岩, 是在伸展大地构造环境背景下岩浆侵入形成的岩体。通过锆石 SHRIMP U-Pb 年龄测定, 获得二长花岗岩年龄为  $(201.1 \pm 3.90)$  Ma 和  $(176.2 \pm 4.3)$  Ma, 获得花岗斑岩年龄为  $(182.3 \pm 4.0)$  Ma, 确定鹿鸣钼矿床的成矿年龄在 182~176 Ma 之间, 成矿时代为燕山早期。

**关键词** 地球化学 地质特征 花岗岩 成矿年龄 燕山早期 黑龙江鹿鸣钼矿床  
中图分类号 P618.65 文献标志码 A

## Geological characteristics and ore-forming age of Luming Mo deposit in Heilongjiang Province

SHAO Jun, YANG HongZhi, JIA Bin and PENG MingSheng

(Shenyang Institute of Geology and Mineral Resources, Shenyang 110034, Liaoning, China)

### Abstract

The Luming molybdenum deposit is located in the middle-south segment of the Cuihongshan-Ergu ore-forming subbelt along the Xiao Hinggan Mountains-Zhangguangcai Mountain polymetallic belt. Mo mineralization occurs in granitic pluton and monzonitic granite, and wall rock alterations are characterized by zoning of magmatic hydrothermal alterations. Mineralization is closely related to the intrusion of granitic magma. The ore deposit is genetically of the porphyry type. Petrogeochemical studies show that the granite porphyry and the monzonitic granite have the same magmatic source and belong to "A"-type granite, formed by magmatic invasion in the background of stretching geotectonic environment. SHRIMP U-Pb dating yielded the age  $(201.1 \pm 3.90)$  Ma and  $(176.2 \pm 4.3)$  Ma for monzonitic granite and  $(182.3 \pm 4.0)$  Ma for granite porphyry, suggesting that the Luming Mo deposit was formed between 182 and 176 Ma, belonging to Early Yanshanian period.

**Key words:** geochemistry, geological characteristics, granite, metallogenic age, Early Yanshanian, Luming molybdenum deposit in Heilongjiang

铁力市鹿鸣钼矿床位于小兴安岭-张广才岭多金属成矿带翠宏山-二股铁、有色金属成矿亚带(谭成印等, 2010)的中南段。2003年, 在中国地质调查局沈阳地质调查中心牵头的“黑龙江小兴安岭-张广

才岭成矿带铅锌多金属矿评价”计划项目实施过程中, 发现了鹿鸣钼矿床, 黑龙江省地质矿产局第五地质勘查院在2004年~2010年间先后进行了普查、详查和勘探工作; 截至2010年, 该矿床已控制钼金属

\* 本文由国土资源大调查项目(编号: 200310200052)资助

第一作者简介 邵军, 男, 1963年生, 研究员, 从事矿产勘查及矿产地质研究工作。Email: sysjun1963@126.com

收稿日期 2012-02-13; 改回日期 2012-11-01。秦思婷编辑。

储量 89.03 万吨,平均品位 0.084%,是一特大型钼矿床。笔者近年开展了小兴安岭成矿带伊春地区金、钼、铅锌多金属矿床成矿规律综合研究<sup>①</sup>,对鹿鸣钼矿床的成矿特征、成矿时代进行了较为详细的研究,认为其成矿作用与二长花岗岩、花岗斑岩有关,矿床成矿类型为斑岩型,成矿时代为燕山早期。鹿鸣钼矿床的研究成果对该成矿带内相似的钼矿床,如霍吉河钼矿床、高岗山钼矿床等的找矿工作有重要意义。

## 1 矿床地质

### 1.1 矿区地质

鹿鸣钼矿床地处西伯利亚板块和华北板块之间巨型兴蒙造山带的东端,区内 NW 向、NE 向及 NNE 向断裂构造发育,是区域上多金属矿的重要控矿、导矿构造(韩振新等,2003)。区内出露下寒武统西林群铅山组镁质碳酸盐岩和碎屑岩,中奥陶统大青组中性、中酸性熔岩夹凝灰质砂岩、粉砂岩及板岩,中奥陶统小金沟组大理岩、灰岩夹细砂岩及中酸性熔岩、下二叠统土门岭组砾岩、含砾粗砂岩、砂岩、粉砂岩和板岩夹透镜状大理岩,均呈残留体状分布(图 1)。侵入岩主要为二长花岗岩、花岗斑岩及脉岩,矿区内花岗斑岩形成晚于二长花岗岩,呈小的岩株状或岩脉侵入于二长花岗岩体中。

### 1.2 矿体地质

钼矿化发生在花岗斑岩小侵入体及二长花岗岩体内(图 2),与蚀变-热液角砾岩关系密切。蚀变-热液角砾岩发育在成矿斑岩体上边部,角砾之间无明显位移,粒度大小不等,从小于 1 厘米到数厘米;角砾岩的角砾主要为二长花岗岩,硅质胶结,形成几毫米到数厘米的石英网脉,并在这些石英网脉内及边部发生钼矿化,构成钼矿体。已探明的钼矿体在地表呈椭圆形,长轴、短轴长度均超过 1000 m,矿体分布面积约 1 km<sup>2</sup>。根据已有钻孔的实际资料,钼矿体深部边界基本控制,剖面上具有锅底形尖灭的趋势,但深部并未完全封闭,控制最大垂深 668.83 m。从勘探线剖面来看,矿体南部边界稍缓,而北侧边界较陡,呈现快速尖灭的趋势,F<sub>3</sub> 断裂对矿体有较大的破坏作用(图 3)。

### 1.3 矿化与围岩蚀变

矿床的钼矿化呈浸染状,伴有黄铁矿化、黄铜矿化、方铅矿化、闪锌矿化等。矿化期次大致可划分为石英-硫化物(辉钼矿-黄铁矿)阶段和绿泥石-碳酸盐化阶段。矿石矿物以辉钼矿为主,次为黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿、方铅矿等;脉石矿物有石英、斜长石、钾长石、绢云母、绿泥石、方解石及黏土矿物(近地表)等。

矿石为呈细脉浸染状、角砾状(硅质胶结)的二长花岗岩和花岗斑岩,具细脉浸染状结构、碎裂胶结结构等,块状及角砾状构造。

围岩蚀变有硅化、钾化(钾长石化、黑云母化)、绢云母化、绿泥石化、绿帘石化、黏土化、钠长石化。其中,硅化、钾化、绿泥石化具有面型蚀变特征,与钼矿化关系密切的蚀变为硅化和钾化。围岩蚀变具有分带特征(图 2),由内而外分为钾化带、硅化-绢云母化带和青磐岩化带,矿化发生在钾化带、硅化-绢云母化带内。

## 2 赋矿花岗岩特征

### 2.1 花岗岩地质特征

鹿鸣钼矿区出露的侵入岩,呈岩基状或规模较大的岩株状产出,岩石类型有二长花岗岩和花岗斑岩,以二长花岗岩为主,二者均为赋矿花岗岩。

二长花岗岩( $\eta\gamma$ ) 矿区内大面积出露(图 1,图 2)。岩石具中细粒花岗结构,块状构造。组成矿物有钾长石(含量 30%~40%)、斜长石(含量 20%~40%)、石英(含量 20%~30%)、黑云母(1%~3%)和少量角闪石,主要造岩矿物粒度变化较大。副矿物有磷灰石、锆石、褐帘石、榍石等。

花岗斑岩( $\gamma\pi$ ) 主要分布在矿区东部,也零散分布于中部和西南部。花岗斑岩呈细小岩株状、脉状分布在二长花岗岩体中,形成晚于二长花岗岩,具后期侵入特征。矿区东部的花岗斑岩呈大脉状产出,形态不规则,具分枝复合现象。花岗斑岩脉总体呈近 NNW 向分布并向东凸出的弧形,长度大于 2200 m,最大宽度 500 m(一般 100 m 以上),明显受 NNW 向、NE 向断裂及断裂交汇部位控制。矿区中部和西南部的花岗斑岩在地表呈不规则脉状分布,脉体长 300~700 m,宽 30~80 m。岩石具斑状结构、

① 邵军,赵山,贾斌,杨宏智,彭明生,马启波. 2006. 黑龙江小兴安岭-张广才岭成矿带铅锌多金属成矿规律研究报告.

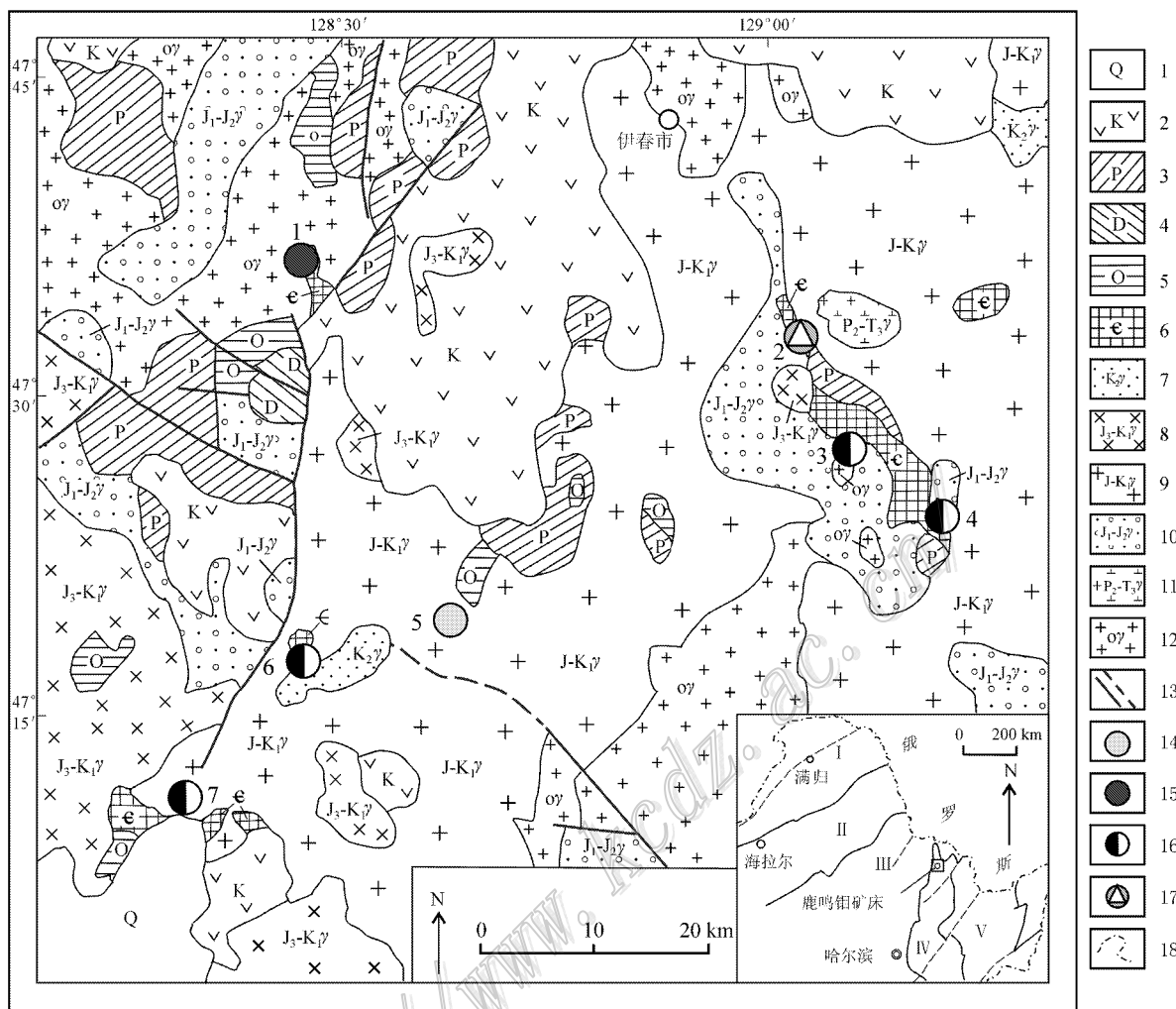


图 1 鹿鸣钼矿床区域地质简图

1—第四系砾石夹砂质黏土；2—白垩系中-酸性熔岩、凝灰岩；3—二叠系砂岩、中-酸性火山岩夹大理岩；4—泥盆系凝灰质砂岩、板岩夹大理岩；5—奥陶系中-酸性熔岩、凝灰质砂岩、板岩；6—寒武系大理岩、砂岩、板岩夹凝灰岩；7—晚白垩世花岗岩；8—晚侏罗世—早白垩世花岗岩；9—侏罗纪—早白垩世花岗岩（未分）；10—早—中侏罗世花岗岩；11—晚二叠世—晚三叠纪花岗岩；12—奥陶纪花岗岩；13—实测及推测断裂；14—钼矿床；15—铜矿床；16—铅锌多金属矿床；17—铁矿床；18—国界线  
 构造分区：I—额尔古纳地块；II—大兴安岭陆缘增生带；III—小兴安岭-松嫩地块；IV—小兴安岭-张广才岭陆缘活动带；V—佳木斯-兴凯地块；VI—完达山陆缘活动带  
 矿床：1—胜利铜矿床；2—大西林铁矿床；3—小西林二段铅锌多金属矿床；4—小西林铅锌多金属矿床；5—鹿鸣钼矿床；6—徐老九沟铅锌多金属矿床；7—二股铅锌多金属矿床

Fig. 1 Regional geological sketch map of the Luming molybdenum deposit

1—Quaternary gravel intercalated with sandy clay ;2—Cretaceous intermediate-acid lava and tuff ;3—Permian sandstone , intermediate-acid volcanic rock intercalated with marble ;4—Devonian tuffaceous sandstone , slate intercalated with marble ;5—Ordovician intermediate-acid lava , tuffaceous sandstone and slate ;6—Cambian marble , sandstone , slate intercalated with tuff ;7—Late Cretaceous granite ;8—Late Jurassic-early Cretaceous granite ;9—Jurassic-early Cretaceous granite (undefined) ;10—Early-middle Jurassic granite ;11—Late Permian-late Triassic granite ;12—Ordovician granite ;13—Fault and inferred fault ;14—Mo deposit ;15—Cu deposit ;16—Pb-Zn polymetallic deposit ;17—Fe deposit ;18—National boundaries

**Structure field :** I—Eerguna land mass ; II—Daxinganling continental marginal accretionary zone ; III—Xiaoxinganling-Songnen land mass ; IV—Xiaoxinganling-Zhanggangcai mountain continental marginal activity zone ; V—Jiamusi-Xingkai land mass ; VI—Wandashan continental marginal activity zone

**Deposit :** 1—Shengli Cu-deposit ; 2—Daxilin Fe-deposit ; 3—Xiaoxilin Erduan Pb-Zn polymetallic deposit ; 4—Xiaoxilin Pb-Zn polymetallic deposit ; 5—Luming Mo-deposit ; 6—Xulaojiugou Pb-Zn polymetallic deposit ; 7—Ergu Pb-Zn polymetallic deposit

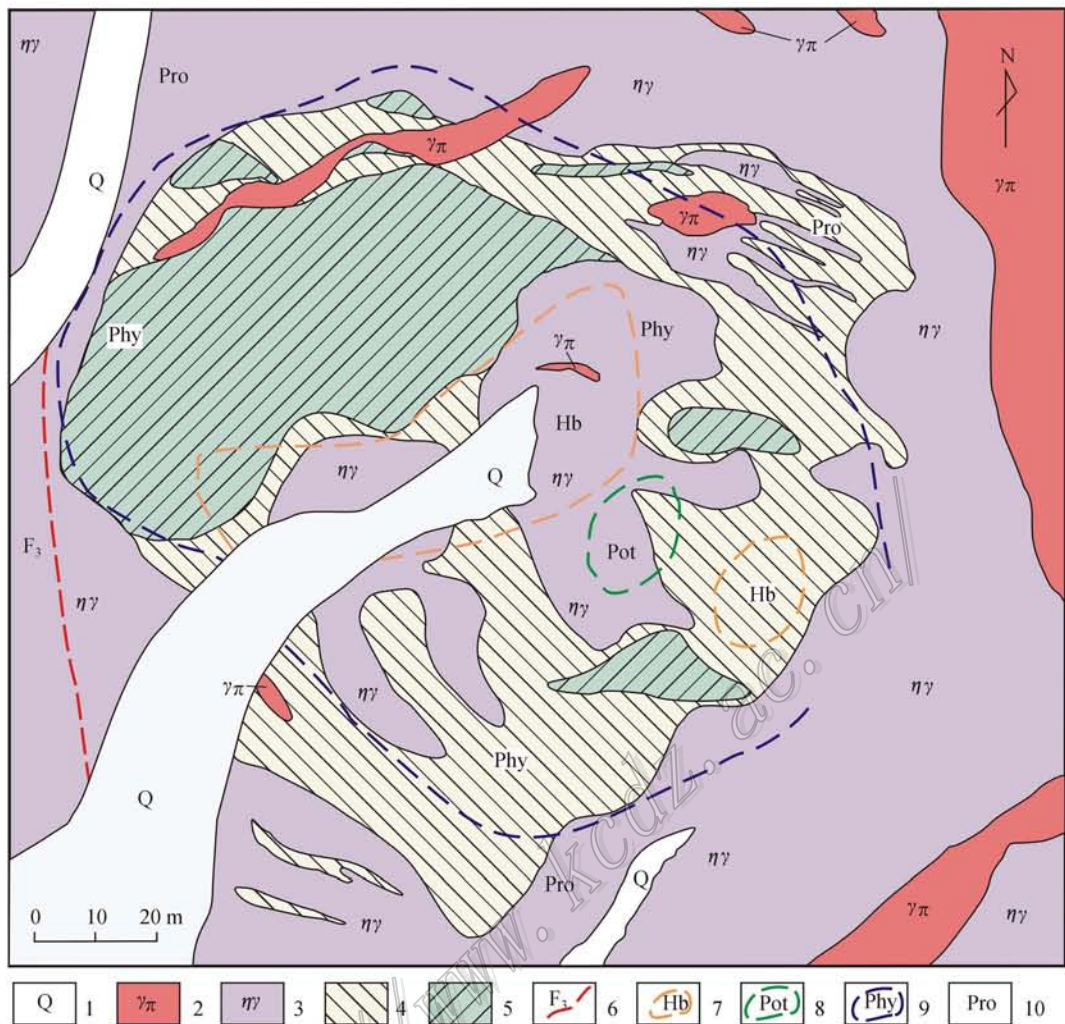


图2 鹿鸣钼矿床矿体地质图<sup>①</sup>

1—第四系；2—花岗斑岩；3—二长花岗岩；4—钼矿体( $\omega(\text{Mo})$ 为0.03%~0.06%)；5—钼矿体( $\omega(\text{Mo})$ >0.06%)；6—断裂及编号；7—热液角砾岩；8—钾长石化；9—黄铁绢英岩化；10—青磐岩化

Fig. 2 Geological map of ore body in the Luming molybdenum deposit (after Wang et al., 2010)

1—Quaternary; 2—Granite porphyry; 3—Monzonitic granite; 4—Mo ore body ( $\omega(\text{Mo})$ : 0.03%~0.06%); 5—Mo Ore body ( $\omega(\text{Mo})$ : >0.06%); 6—Fault and its serial number; 7—Hydrothermal breccia; 8—Potash feldspathization; 9—Berensitization; 10—Propylitization

块状构造；斑晶主要由他形条纹状长石和石英组成，次为半自形板状具聚片双晶的更长石，部分斑晶集合在一起形成聚合斑晶，斑晶大小在0.3~1.4 mm，含量25%左右；基质由他形粒状的条纹长石、石英、半自形板状的酸性斜长石及少量片状白云母组成，基质颗粒大小在0.05~0.2 mm，占岩石的75%左右。矿区中部硅化-绢云母化带内的花岗斑岩有钼矿化，而矿区外围的花岗斑岩则无蚀变和矿化现象。

经钻探证实，矿区内地表出露的花岗斑岩脉至

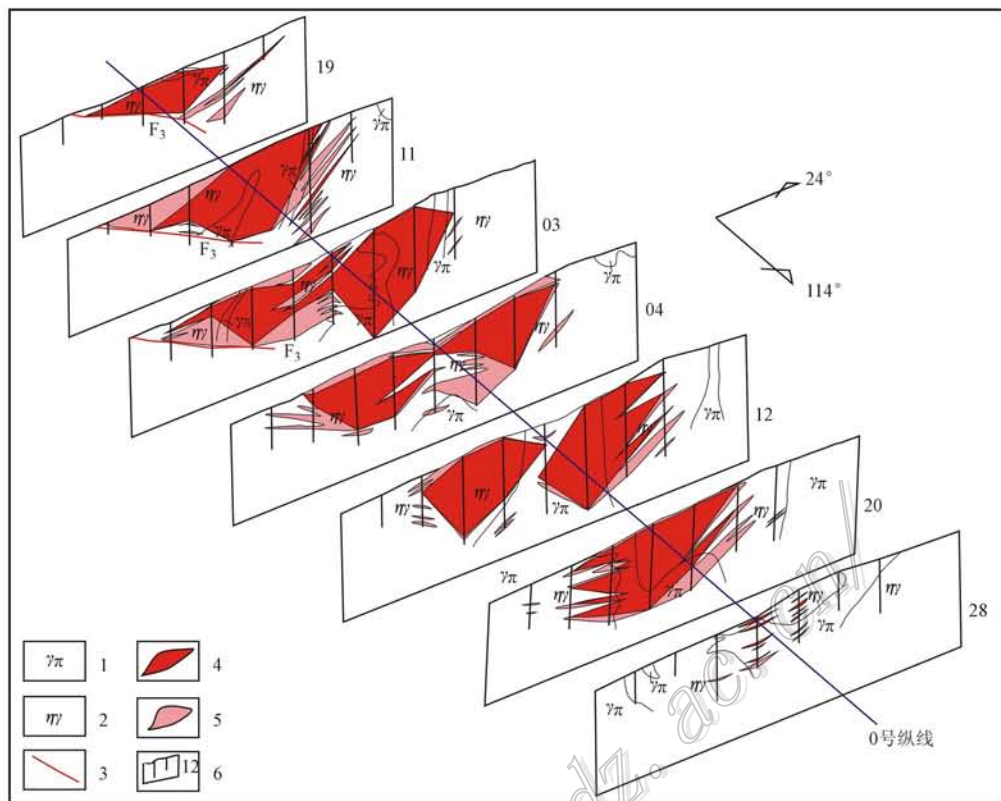
深部为一岩株状花岗斑岩体，岩石的斑晶以石英为主，长石次之，斑晶粒度与地表相比变小；花岗斑岩基质的粒度在深部也变细，而岩石总体成分无明显变化。深部钼矿体产在岩株状花岗斑岩体内及其与二长花岗岩的接触部位(图2)，在花岗斑岩体的边部矿化较强，构成主要钼矿体；而斑岩体内部矿化则较弱，形成矿体内部的弱矿化核。

## 2.2 花岗岩地球化学特征

### 2.2.1 主量元素

① 王 勇, 王维亮, 董方洵, 陈永波, 高帮飞, 陈修沁. 2010. 黑龙江省铁力市鹿鸣钼矿补充普查报告.



图3 鹿鸣钼矿床矿体剖面图<sup>①</sup>

1—花岗斑岩; 2—二长花岗岩; 3—断裂; 4—钼矿体( $w(\text{Mo}) > 0.06\%$ ); 5—钼矿体( $w(\text{Mo})$ 为 $0.03\% \sim 0.06\%$ ); 6—剖面及钻孔

Fig. 3 Geological section of ore body in the Luming molybdenum deposit

1—Granite porphyry; 2—Monzonitic granite; 3—Fault; 4—Mo ore body( $w(\text{Mo}) > 0.06\%$ ); 5—Mo ore body( $w(\text{Mo})$ :  $0.03\% \sim 0.06\%$ ); 6—Geological section and drill hole

对鹿鸣钼矿区采集的新鲜二长花岗岩、花岗斑岩样品,进行了主量元素、稀土元素分析及SHRAMP U-Pb 年龄测定。二长花岗岩、花岗斑岩石化学特征见表1。二长花岗岩  $w(\text{SiO}_2)$  平均  $72.53\%$ ;  $w(\text{Al}_2\text{O}_3)$  平均  $12.99\%$ ,  $(\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})/\text{Al}_2\text{O}_3$  值为  $0.54 \sim 0.77$ ; 岩石  $w(\text{FeO}^T)$  为  $1.15\% \sim 3.35\%$ , 平均  $2.53\%$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{MgO}$  比值在  $0.91 \sim 3.15$  之间;  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  在  $7.24\% \sim 9.18\%$  之间, 平均  $8.08\%$ ,  $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$  值为  $1.26 \sim 2.16$ 。岩石 A/NKC 值为  $1.01 \sim 1.08$ , 平均  $1.06$ ; 碱度率为  $2.80 \sim 7.22$ , 平均  $4.36$ 。

花岗斑岩  $w(\text{SiO}_2)$  平均  $68.86\%$ ;  $w(\text{Al}_2\text{O}_3)$  平均  $14.61\%$ ,  $(\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})/\text{Al}_2\text{O}_3$  值为  $0.49 \sim 0.60$ ; 岩石  $w(\text{FeO}^T)$  为  $1.73\% \sim 4.32\%$ , 平均  $2.73\%$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{MgO}$  比值在  $0.08 \sim 1.30$  之间;  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  在  $7.40\% \sim 8.40\%$  之间, 平均  $8.01\%$ ,  $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$  值

为  $1.26 \sim 2.02$ 。岩石 A/NKC 值为  $1.16 \sim 1.23$ , 平均  $1.20$ ; 碱度率为  $2.39 \sim 3.45$ , 平均  $2.89$ 。

### 2.2.2 稀土元素

矿区二长花岗岩、花岗斑岩稀土元素分析结果见表2, 球粒陨石标准化配分曲线见图4。岩石具明显的铈亏损, 稀土元素配分曲线表现为向右倾斜的“V”字型, 且二长花岗岩与花岗斑岩的稀土元素配分曲线特征基本一致, 稀土元素总量无明显变化, 表明二者具有相似或基本相同的岩浆来源, 且岩浆分异程度均较高。

岩石化学成分表明, 鹿鸣矿区的二长花岗岩、花岗斑岩以高硅、富碱质、富铝、富  $\text{FeO}^T$  和低钙镁为特点, A/NKC 值在  $0.95 \sim 1.09$  (平均值分别为  $1.01$  和  $1.04$ ), 在 A/NKC-A/NK 图中, 均落入偏铝质-过铝质岩石区; 岩石轻稀土元素富集, 且具有明显的铈亏损, 表明岩浆分异程度均较强烈。在 R1-R2 图解(图

① 王 勇, 王维亮, 董方浏, 陈永波, 高帮飞, 陈修沁. 2010. 黑龙江省铁力市鹿鸣钼矿补充普查报告.

表 1 鹿鸣钼矿区花岗岩主量元素分析结果

Table 1 Major element analyses of mineralization granite from the Luming ore deposit

| 样品编号   | 岩石名称  | $\sum(B) \%$     |                  |                                |                                |      |      |      |      |                   |                  |                               |
|--------|-------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|------|------|------|-------------------|------------------|-------------------------------|
|        |       | SiO <sub>2</sub> | TiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | FeO  | MnO  | MgO  | CaO  | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> |
| L05-1  | 二长花岗岩 | 77.13            | 0.18             | 11.86                          | 0.41                           | 0.74 | 0.02 | 0.13 | 0.27 | 2.91              | 6.27             | 0.04                          |
| L05-8  | 二长花岗岩 | 69.88            | 0.49             | 13.39                          | 1.33                           | 2.02 | 0.03 | 1.46 | 1.88 | 2.91              | 4.33             | 0.13                          |
| L05-11 | 二长花岗岩 | 70.58            | 0.39             | 13.71                          | 1.42                           | 1.67 | 0.07 | 1.20 | 1.71 | 3.46              | 4.35             | 0.16                          |
| L05-2  | 花岗斑岩  | 66.70            | 0.64             | 15.21                          | 1.72                           | 2.60 | 0.02 | 1.56 | 2.87 | 3.27              | 4.13             | 0.15                          |
| L05-9  | 花岗斑岩  | 68.78            | 0.35             | 14.63                          | 0.74                           | 0.99 | 0.05 | 0.57 | 2.55 | 3.42              | 4.80             | 0.09                          |
| L05-17 | 花岗斑岩  | 71.11            | 0.38             | 13.98                          | 0.08                           | 2.04 | 0.01 | 1.03 | 1.28 | 2.78              | 5.62             | 0.09                          |

注 样品由中国地质调查局沈阳地质调查中心实验室测试。Si 和烧失量采用重量法, Al、Fe 采用滴定法, Ti、P 采用比色法, K、Na、Ca、Mg、Mn 采用原子吸收光谱法。

表 2 鹿鸣钼矿区花岗岩稀土元素分析结果

Table 2 REE analyses of mineralization granite from the Luming ore deposit

| 岩石名称  | $\sum(B) \times 10^{-6}$ |      |     |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | $\sum REE$ |
|-------|--------------------------|------|-----|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------------|
|       | La                       | Ce   | Pr  | Nd   | Sm  | Eu   | Gd   | Tb   | Dy   | Ho   | Er   | Tm   | Yb   | Lu   | Y    |            |
| 二长花岗岩 | 11.8                     | 43.0 | 2.4 | 8.10 | 1.5 | 0.28 | 1.41 | 0.32 | 2.12 | 0.49 | 1.74 | 0.36 | 2.64 | 0.42 | 14.4 | 90.98      |
| 花岗斑岩  | 41.2                     | 84.0 | 9.8 | 35.3 | 6.2 | 1.14 | 5.41 | 0.94 | 5.13 | 1.03 | 3.14 | 0.53 | 3.56 | 0.52 | 27.8 | 225.70     |
| 二长花岗岩 | 39.1                     | 74.0 | 7.9 | 27.9 | 4.7 | 0.78 | 4.10 | 0.70 | 4.40 | 0.80 | 2.60 | 0.47 | 2.90 | 0.50 | 26.1 | 196.90     |
| 花岗斑岩  | 36.6                     | 67.5 | 7.3 | 25.7 | 4.3 | 0.59 | 3.80 | 0.65 | 3.90 | 0.80 | 2.40 | 0.42 | 2.70 | 0.50 | 24.0 | 181.10     |
| 二长花岗岩 | 42.8                     | 79.2 | 8.7 | 31.0 | 5.2 | 0.89 | 4.40 | 0.73 | 4.50 | 0.90 | 2.60 | 0.44 | 2.70 | 0.40 | 25.5 | 209.90     |
| 花岗斑岩  | 36.8                     | 71.3 | 7.8 | 28.2 | 4.9 | 0.73 | 4.30 | 0.73 | 4.60 | 0.90 | 2.80 | 0.50 | 3.10 | 0.50 | 27.5 | 194.80     |

注: 样品由中国地质调查局沈阳地质调查中心实验室测试。采用 PE Elan6000 型等离子体质谱仪测定, Nb 采用碱熔法测定, 其他元素均采用酸溶法测定, 以 AMH-1 和 GBPG-1 为参考标样, 相对误差(RSD)均小于 10%。

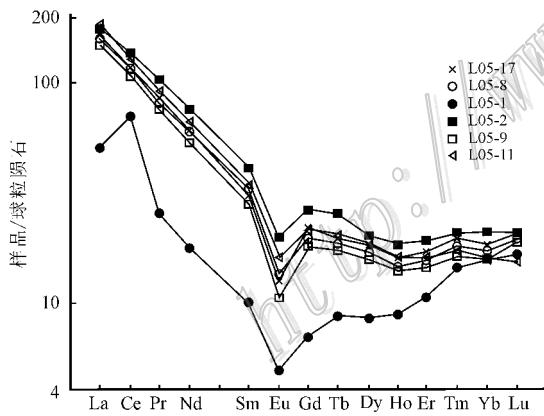


图 4 鹿鸣钼矿区花岗岩稀土元素配分曲线

Fig. 4 Chondrite-normalized REE patterns of granites in the Luming molybdenum deposit

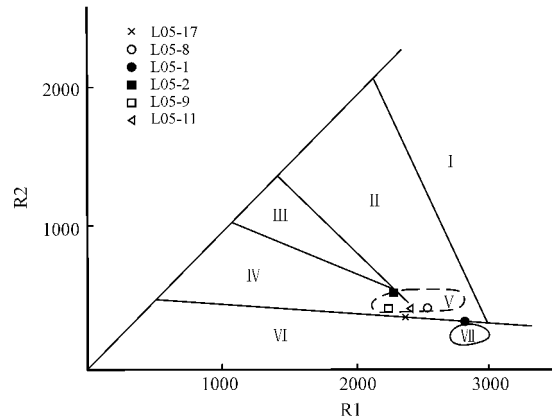


图 5 鹿鸣钼矿床花岗岩 R1-R2 图解

(底图据 Batchelor et al., 1985)

I—地幔分异产物; II—板块碰撞前; III—碰撞后的抬升; IV—造山晚期; V—同碰撞期; VI—非造山的; VII—造山期后的

Fig. 5 R1-R2 discrimination diagram showing tectonic setting of granites in the Luming molybdenum deposit (basemap after Batchelor et al., 1985)  
I—Mantle differentiation product; II—Pre-collision; III—Postcollision; IV—Late orogeny; V—Syn-collision; VI—Non-orogeny; VII—Post-orogenic period

5) 中, 二长花岗岩、花岗斑岩样品点均落入造山期后、同碰撞区内, 暗示花岗岩形成于同碰撞期向后造山构造体制转换过渡的伸展大地构造背景。上述特征与小兴安岭东南的晚三叠世—早侏罗世花岗岩类岩石化学特征基本一致(韩振哲等, 2008, 2010; 孙德有等, 2002, 2004)。

## 2.3 花岗岩形成的构造背景

从区域上看,鹿鸣地区二长花岗岩、花岗斑岩是伊春地区印支晚期-燕山期花岗岩类的组成部分,与区域上正长花岗岩-碱长花岗岩具有相同的岩石学特征,并且是在相同的大地构造背景下形成的。研究表明,伊春地区各类花岗岩在空间上紧密共生,二长花岗岩-正长花岗岩均为富钾的钙碱性花岗岩,岩石的  $Al_2O_3/(Na_2O+K_2O-CaO) < 1.1$ , 反映具有深源花岗岩浆的特征,而岩石  $^{87}Sr/^{86}Sr$  比值及  $\delta Eu$  值反映其源区为壳幔过渡区,  $\delta^{18}O$  测定值在  $5.5\% \sim 10\%$  之间,具壳幔混源的特点,表明二长花岗岩、花岗斑岩形成与下地壳的部分熔融或壳幔过渡区部分熔融作用有关<sup>①</sup> (韩振哲等 2010, 邵军等 2011, 刘宝山等 2005, 汪涛, 2000)。岩石富硅、碱,贫钙、镁、铝 ( $K_2O+Na_2O)/Al_2O_3$  和  $Fe_2O_3/MgO$  值高,  $\omega(FeO^T)$  均大于  $1.00\%$ ; 富 Rb、Th、Nb、Y, 具有显著的负 Eu 异常, 稀土元素配分曲线具有显著的“V”字型,与“A”型花岗岩岩石化学特征(贾小辉等 2009)相似,属于“A”型花岗岩,岩石的形成与古亚洲构造域的造山后伸展作用有直接关系(肖庆辉等 2002, 刘宝山等 2005)。

## 3 花岗岩体形成年龄及钼成矿年龄确定

### 3.1 样品制备与分析方法

笔者在详细的野外调查基础上,确定鹿鸣钼矿床矿化与岩体的关系,选择与成矿关系密切的矿区内新鲜的二长花岗岩、花岗斑岩进行样品采集和年龄测试。单矿物锆石分选由沈阳地质矿产研究所实验室完成。首先将采集的样品破碎至 100 目以下,经淘洗后用电磁和重液浮选方法分离出重矿物,在双目显微镜下手工挑选出无明显裂痕且晶形和透明度均较好的单颗粒锆石晶体。在中国地质科学院北京离子探针中心,将挑选出的锆石样品及锆石标准样品分别粘贴在环氧树脂表面,打磨抛光至露出锆石颗粒的中心部位,制成环氧树脂样品靶(宋彪等, 2002),并进行透射光、反射光和阴极发光(CL)显微照相。根据透射光、反射光和 CL 图像分析锆石颗粒显微结构特征,选择锆石晶体干净、无包裹体、无裂纹、CL 图像结构均匀或生长环带规则的部位,进行 SHRIMP U-Pb 年龄测定。

锆石 SHRIMP U-Pb 年龄测定在中国地质科学院北京离子探针中心 SHRIMP II 离子探针仪上进行,详细的仪器参数和具体测试流程、数据分析过程见宋彪等(2006)。测试过程中,采用锆石标样 91500 (年龄为  $(1065.4 \pm 0.6) Ma$ ) 进行同位素校正,使用宝石级标样 SL13 (年龄 572 Ma) 进行样品 U、Th、Pb 含量标定。测试获得的数据处理及年龄计算采用 Ludwig 博士(2003)编写的 SQUID1.0 及 ISOPLOT 程序,测试数据采用  $^{204}Pb$  进行普通铅校正。

二长花岗岩中的锆石呈柱状、浑圆状,未见熔蚀和增生现象(图 6),具有震荡环带特征,属于岩浆结晶形成。花岗斑岩中的锆石为短柱状锆石,部分颗粒具有明显的内核,在 CL 图像中可以看出内核颜色呈灰黑色,可能与这些锆石核部铀含量较高有关(图 6); 尽管各锆石颗粒之间老核的几何形态和体积大小存在一定差异,但老核与新壳结构明显,新壳的边界十分清晰,并且老核与新壳均具有明显的韵律环带结构,暗示此类锆石是岩浆成因的锆石。通过显微镜下观察认为,虽然锆石颗粒之间形态存在差异,但二长花岗岩、花岗斑岩中的锆石均系原生锆石,无后期蚀变再生现象,故对测试数据采用同一方法进行处理。

### 3.2 锆石测年结果

鹿鸣钼矿床二长花岗岩、花岗斑岩锆石 SHRIMP 铀-钍-铅同位素测试结果(表 3, 表 4)表明,二长花岗岩(L05-1)中的锆石 Th/U 比值在  $0.30 \sim 0.89$  之间,花岗斑岩(L05-2)中的锆石 Th/U 比值在  $0.53 \sim 0.86$  之间,说明 2 种岩石中的锆石均为岩浆成因锆石。对这些岩浆锆石进行 SHRIMP U-Pb 年龄测定,能够较为准确地确定岩体形成年龄。

二长花岗岩锆石 SHAIMP U-Pb 年龄测定获得  $(201.1 \pm 3.9) Ma$  和  $(176.2 \pm 4.3) Ma$  两组年龄(图 7, L05-1),暗示在二长花岗岩体侵入之后,又有一期次的岩浆活动,并对前期形成的岩体进行了改造,即二长花岗岩体是两期次岩浆活动的产物。花岗斑岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄测定获得  $(182.3 \pm 4.0) Ma$  年龄(图 7, L05-2),代表花岗斑岩体的形成年龄。

矿床研究表明,二长花岗岩、花岗斑岩体的侵入作用及其伴随的热液活动均与钼矿成矿密切相关<sup>①</sup> (韩振哲等 2010)。二长花岗岩年龄  $(201.1 \pm 3.9) Ma$  代表二长花岗岩体的第一期侵入年龄,从矿床

① 邵 军, 赵 山, 贾 斌, 杨宏智, 彭明生, 马启波. 2006. 黑龙江小兴安岭-张广才岭成矿带铅锌多金属成矿规律研究报告.

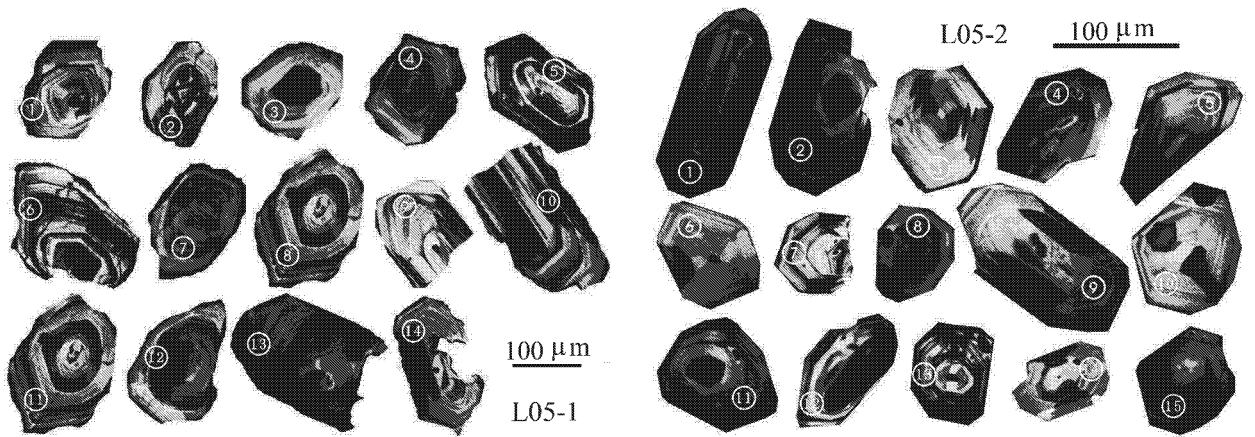


图6 鹿鸣钼矿床二长花岗岩(L05-1)花岗岩斑岩(L05-2)锆石阴极发光图像

Fig. 6 CL images of zircon grains from monzonitic granite(L05-1) and granite porphyry(L05-2) in the Luming molybdenum deposit

表3 鹿鸣钼矿床二长花岗岩内锆石 SHRIMP U-Pb 年龄

Table 3 Zircon SHRIMP U-Pb date of monzonitic granite in the Luming molybdenum deposit

| 测点       | $^{206}\text{Pb}_c$<br>/% | $\alpha(\text{U})$<br>$10^{-6}$ | $\alpha(\text{Th})$<br>$10^{-6}$ | $^{232}\text{Th}/$<br>$^{238}\text{U}$ | $\alpha(^{206}\text{Pb}^*/\text{U})$<br>$10^{-6}$ | $^{207}\text{Pb}^*/$<br>$^{206}\text{Pb}^*$ | $\pm 1\sigma/\%$ | $^{207}\text{Pb}^*/$<br>$^{235}\text{U}$ | $\pm 1\sigma/\%$ | $^{206}\text{Pb}^*/$<br>$^{238}\text{U}$ | $\pm 1\sigma/\%$ | $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$<br>年龄/Ma |
|----------|---------------------------|---------------------------------|----------------------------------|--|---|---|------------------|--|------------------|--|------------------|---|
| L05-1-1  | 0.04                      | 211                             | 148                              | 0.73                                   | 5.02  | 0.0652                                      | $\pm 5.8$        | 0.249                                    | $\pm 6.6$        | 0.0277                                   | $\pm 3.1$        | $176.2 \pm 5.3$                           |
| 05-1-2   | 0.00                      | 127                             | 81                               | 0.65                                   | 3.23  | 0.0825                                      | $\pm 12.0$       | 0.337                                    | $\pm 13.0$       | 0.0296                                   | $\pm 5.6$        | $188.0 \pm 10.3$                          |
| L05-1-3  | 0.01                      | 178                             | 128                              | 0.74                                   | 4.85  | 0.0657                                      | $\pm 7.0$        | 0.286                                    | $\pm 8.3$        | 0.0316                                   | $\pm 4.5$        | $200.7 \pm 8.8$                           |
| L05-1-4  | 0.05                      | 106                             | 58                               | 0.56                                   | 2.87  | 0.0829                                      | $\pm 7.1$        | 0.360                                    | $\pm 7.9$        | 0.0315                                   | $\pm 3.5$        | $199.8 \pm 6.8$                           |
| L05-1-5  | 0.03                      | 4285                            | 2989                             | 0.72                                   | 104.00  | 0.0510                                      | $\pm 1.4$        | 0.198                                    | $\pm 2.5$        | 0.0281                                   | $\pm 2.1$        | $178.8 \pm 3.8$                           |
| L05-1-6  | 0.87                      | 178                             | 154                              | 0.89                                   | 4.09  | 0.0477                                      | $\pm 13.0$       | 0.174                                    | $\pm 13.0$       | 0.0265                                   | $\pm 3.1$        | $168.4 \pm 5.1$                           |
| L05-1-7  | 0.18                      | 402                             | 310                              | 0.80                                   | 11.80   | 0.0594                                      | $\pm 7.7$        | 0.279                                    | $\pm 9.1$        | 0.0340                                   | $\pm 4.9$        | $215.8 \pm 10.3$                          |
| L05-1-8  | 0.09                      | 205                             | 111                              | 0.56                                   | 4.93  | 0.0743                                      | $\pm 7.7$        | 0.287                                    | $\pm 8.3$        | 0.0280                                   | $\pm 3.1$        | $177.9 \pm 5.5$                           |
| L05-1-9  | 0.00                      | 202                             | 156                              | 0.80                                   | 4.66  | 0.0778                                      | $\pm 11.0$       | 0.288                                    | $\pm 11.0$       | 0.0268                                   | $\pm 3.0$        | $170.6 \pm 5.0$                           |
| L05-1-10 | 0.03                      | 137                             | 78                               | 0.59                                   | 3.33  | 0.0906                                      | $\pm 8.6$        | 0.354                                    | $\pm 9.3$        | 0.0284                                   | $\pm 3.4$        | $180.2 \pm 6.0$                           |
| L05-1-11 | 0.00                      | 882                             | 376                              | 0.44                                   | 24.80   | 0.0756                                      | $\pm 3.3$        | 0.341                                    | $\pm 4.0$        | 0.0327                                   | $\pm 2.4$        | $207.6 \pm 4.9$                           |
| L05-1-12 | 0.07                      | 623                             | 181                              | 0.30                                   | 17.20   | 0.0592                                      | $\pm 3.5$        | 0.269                                    | $\pm 4.3$        | 0.0321                                   | $\pm 2.4$        | $203.8 \pm 4.9$                           |
| L05-1-13 | 0.15                      | 449                             | 332                              | 0.76                                   | 11.70   | 0.0643                                      | $\pm 4.2$        | 0.269                                    | $\pm 4.9$        | 0.0303                                   | $\pm 2.5$        | $203.1 \pm 6.5$                           |
| L05-1-14 | 0.98                      | 172                             | 115                              | 0.69                                   | 4.79  | 0.0720                                      | $\pm 17.0$       | 0.317                                    | $\pm 18.0$       | 0.0320                                   | $\pm 3.2$        | $195.1 \pm 7.4$                           |

注： $^{206}\text{Pb}_c$ 和 $^{206}\text{Pb}^*$ 分别为普通铅和放射性成因铅，年龄和同位素比值用 $^{204}\text{Pb}$ 校正。

表4 鹿鸣钼矿床花岗岩斑岩内锆石 SHRIMP U-Pb 年龄

Table 4 Zircon SHRIMP U-Pb date of granite-porphyry in the Luming molybdenum deposit

| 测点       | $^{206}\text{Pb}_c$<br>/% | $\alpha(\text{U})$<br>$10^{-6}$ | $\alpha(\text{Th})$<br>$10^{-6}$ | $^{232}\text{Th}/$<br>$^{238}\text{U}$ | $\alpha(^{206}\text{Pb}^*/\text{U})$<br>$10^{-6}$ | $^{207}\text{Pb}^*/$<br>$^{206}\text{Pb}^*$ | $\pm 1\sigma/\%$ | $^{207}\text{Pb}^*/$<br>$^{235}\text{U}$ | $\pm 1\sigma/\%$ | $^{206}\text{Pb}^*/$<br>$^{238}\text{U}$ | $\pm 1\sigma/\%$ | $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$<br>年龄/Ma |
|----------|---------------------------|---------------------------------|----------------------------------|--|---|---|------------------|--|------------------|--|------------------|---|
| L05-2-1  | 1.58                      | 161                             | 134                              | 0.86                                   | 4.08  | 0.0474                                      | $\pm 14.0$       | 0.189                                    | $\pm 14.0$       | 0.0290                                   | $\pm 3.5$        | $184.2 \pm 6.3$                           |
| L05-2-2  | 1.44                      | 153                             | 81                               | 0.55                                   | 3.60  | 0.0490                                      | $\pm 27.0$       | 0.183                                    | $\pm 27.0$       | 0.0269                                   | $\pm 3.7$        | $171.1 \pm 6.3$                           |
| L05-2-3  | 0.06                      | 103                             | 59                               | 0.59                                   | 2.30  | 0.0834                                      | $\pm 8.6$        | 0.299                                    | $\pm 9.4$        | 0.0260                                   | $\pm 3.9$        | $165.4 \pm 6.3$                           |
| L05-2-4  | 0.00                      | 118                             | 70                               | 0.62                                   | 2.92  | 0.0663                                      | $\pm 8.3$        | 0.264                                    | $\pm 11.0$       | 0.0289                                   | $\pm 6.9$        | $183.8 \pm 12.5$                          |
| L05-2-5  | 0.04                      | 131                             | 67                               | 0.53                                   | 3.31  | 0.0784                                      | $\pm 7.2$        | 0.318                                    | $\pm 8.0$        | 0.0295                                   | $\pm 3.4$        | $187.1 \pm 6.3$                           |
| L05-2-6  | 0.00                      | 84                              | 48                               | 0.60                                   | 1.94  | 0.1450                                      | $\pm 8.2$        | 0.567                                    | $\pm 9.3$        | 0.0284                                   | $\pm 4.3$        | $183.1 \pm 7.8$                           |
| L05-2-7  | 0.00                      | 146                             | 118                              | 0.83                                   | 3.69  | 0.1100                                      | $\pm 17.0$       | 0.464                                    | $\pm 17.0$       | 0.0306                                   | $\pm 3.9$        | $195.7 \pm 7.8$                           |
| L05-2-8  | 1.41                      | 119                             | 62                               | 0.54                                   | 2.87  | 0.0760                                      | $\pm 14.0$       | 0.289                                    | $\pm 15.0$       | 0.0277                                   | $\pm 6.4$        | $176.0 \pm 11.2$                          |
| L05-2-9  | 0.00                      | 151                             | 79                               | 0.54                                   | 3.73  | 0.0885                                      | $\pm 7.6$        | 0.352                                    | $\pm 8.2$        | 0.0288                                   | $\pm 3.3$        | $183.1 \pm 6.0$                           |
| L05-2-10 | 0.00                      | 110                             | 64                               | 0.60                                   | 2.76  | 0.098                                       | $\pm 13.0$       | 0.396                                    | $\pm 14.0$       | 0.0292                                   | $\pm 4.0$        | $185.7 \pm 7.4$                           |
| L05-2-11 | 0.05                      | 105                             | 60                               | 0.59                                   | 2.61  | 0.0990                                      | $\pm 15.0$       | 0.397                                    | $\pm 16.0$       | 0.0291                                   | $\pm 3.7$        | $184.7 \pm 6.8$                           |
| L05-2-12 | 0.09                      | 133                             | 75                               | 0.58                                   | 3.36  | 0.0960                                      | $\pm 7.5$        | 0.388                                    | $\pm 8.3$        | 0.0293                                   | $\pm 3.5$        | $186.4 \pm 6.4$                           |
| L05-2-13 | 2.75                      | 107                             | 67                               | 0.65                                   | 2.65  | 0.0800                                      | $\pm 0.31$       | 0.310                                    | $\pm 3.1$        | 0.0280                                   | $\pm 4.2$        | $177.4 \pm 7.5$                           |
| L05-2-14 | 0.09                      | 154                             | 119                              | 0.80                                   | 3.95  | 0.1026                                      | $\pm 6.1$        | 0.423                                    | $\pm 7.0$        | 0.0299                                   | $\pm 3.4$        | $190.1 \pm 6.4$                           |
| L05-2-15 | 0.01                      | 186                             | 119                              | 0.66                                   | 4.57  | 0.0920                                      | $\pm 14.0$       | 0.362                                    | $\pm 14.0$       | 0.0286                                   | $\pm 3.3$        | $182.0 \pm 6.0$                           |

注： $^{206}\text{Pb}_c$ 和 $^{206}\text{Pb}^*$ 分别为普通铅和放射性成因铅，年龄和同位素比值用 $^{204}\text{Pb}$ 校正。



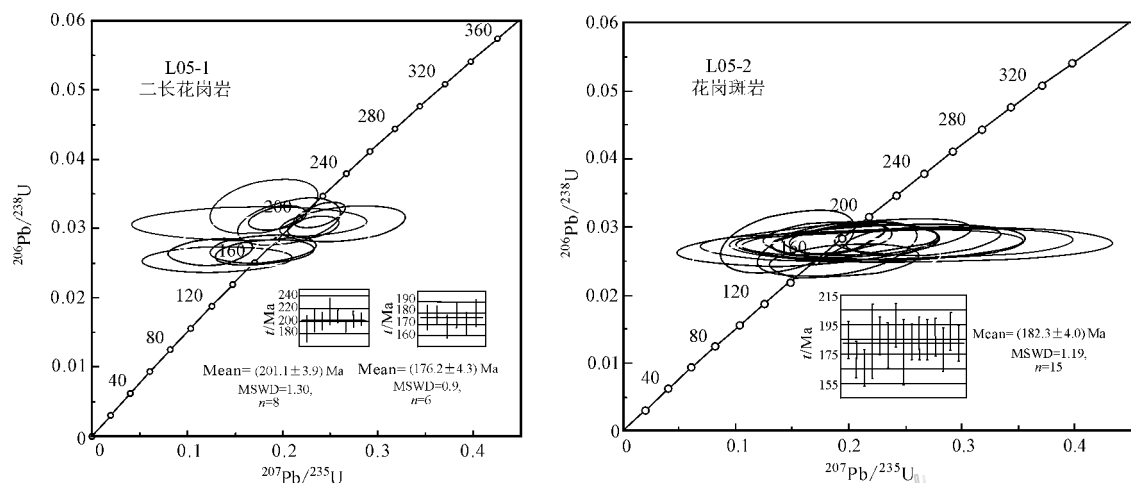


图 7 鹿鸣钼矿床赋矿二长花岗岩 (L05-1)、花岗斑岩 (L05-2) 锆石 U-Pb 年龄谐和图

Fig. 7 SHRIMP U-Pb zircon concordia diagram of ore-bearing monzonitic granite (L05-1) and granite porphyry (L05-2) in the Luming molybdenum deposit

的矿化特征来看,该期次的二长花岗岩侵入并没有发生钼矿化;而在  $(176.2 \pm 4.3)$  Ma 时,二长花岗岩体受到了岩浆活动的改造或叠加,这与花岗斑岩体的侵入作用年龄  $(182.3 \pm 4.0)$  Ma 基本一致。根据矿床的钼矿化发生在二长花岗岩体及花岗斑岩体内,且与花岗斑岩体更为密切的地质事实,推定钼矿化年龄在 182~176 Ma 之间,与该矿床的铯-钡同位素测定的年龄  $(177.6 \pm 1.4)$  Ma (舒广龙, 2009, 私人通信) 及杨言辰等 (2012) 获得的年龄  $(176 \pm 2.2)$  Ma (锆石 LA-ICPMS U-Pb 法) 基本一致,成矿时代为燕山早期。

## 4 结论

鹿鸣矿床的钼矿化主要发生在花岗斑岩体及其与二长花岗岩体的内外接触带部位,在花岗斑岩体内存在有明显的无矿化“核”。钼矿石为石英细脉浸染状、硅质胶结的角砾状花岗斑岩、二长花岗岩,具有细脉浸染状结构、碎裂胶结等结构,块状及角砾状构造。钼矿化主要表现为细脉浸染状辉钼矿,伴有黄铁矿化、黄铜矿化、方铅矿化、闪锌矿化等。围岩蚀变具有明显的钾化、硅化、绢云母化带和青磐岩化分带特征。矿化期次大致可划分为石英-硫化物 (辉钼矿-黄铁矿)、绿泥石-碳酸盐化阶段;成矿作用与花岗岩浆侵入期后的热液活动密切相关。通过成矿特征对比研究,本文认为鹿鸣矿床与典型的斑岩型钼矿床矿化特征基本一致,矿床成因类型属于斑

岩型。

鹿鸣地区的二长花岗岩大规模侵入活动发生在印支晚期 (年龄为  $(201.1 \pm 3.9)$  Ma), 多形成规模较大的岩体或岩基;至燕山早期 (约在  $(182.3 \pm 4.0)$  Ma ~  $(176 \pm 2.2)$  Ma 之间), 该区又发生了较为强烈的岩浆侵入活动, 叠加或改造了此期之前形成的岩体, 并在局部地区形成岩株或岩脉。岩石化学特征研究表明, 鹿鸣钼矿区的二长花岗岩、花岗斑岩均属于钙碱性花岗岩, 二者具有相似或基本相同的岩浆来源, 且岩浆分异程度均较高。岩浆源具有壳幔混源的特点, 是在碰撞后的伸展动力学机制下, 下地壳的部分熔融或壳幔过渡区部分熔融作用产生的, 形成的二长花岗岩、花岗斑岩属于“A”型花岗岩。区域上, 燕山早期的岩浆侵入活动与伊春地区的铅锌多金属、钼(铜)矿化有密切的成因联系。

通过对赋矿二长花岗岩、花岗斑岩进行锆石精确定年研究, 确定鹿鸣钼矿床钼矿化发生在 182~176 Ma 之间, 成矿时代为燕山早期。

## 参考文献/References

- 韩振新, 徐衍强, 郑庆道. 2003. 黑龙江省重要金属和非金属矿产的成矿系列及其演化 [M]. 哈尔滨: 黑龙江人民出版社.
- 韩振哲, 赵海玲, 苏士杰, 郎海涛, 于荣文, 尹志刚. 2008. 小兴安岭南南金山屯一带晚三叠世二长花岗岩成因及其地质意义 [J]. 现代地质, 22(2): 197-206.
- 韩振哲, 赵海玲, 李娟娟, 冷昌恩, 吕军, 李文龙. 2010. 小兴安

- 岭东南伊春一带早中生代花岗岩与多金属成矿作用[J]. 中国地质, 37(1): 75-87.
- 贾小辉, 王强, 唐功建. 2009. A型花岗岩的研究进展及意义[J]. 大地构造与成矿学, 33(3): 465-480.
- 刘宝山, 马永强, 吕军, 张金莲, 张大鹏, 郝永红. 2005. 伊春地区上游新村晚三叠世二长花岗岩体成因及就位机制[J]. 地质与资源, 2005(3): 170-175.
- 邵军, 李秀荣, 杨宏智. 2011. 黑龙江翠宏山铅锌多金属矿区花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 测年及其地质意义[J]. 地球学报, 33(2): 163-170.
- 宋彪, 张玉海, 万渝生. 2002. 锆石 SHRIMP 样品靶制作、年龄测定及有关现象讨论[J]. 地质论评, 48(增刊): 26-30.
- 宋彪, 张栓宏, 王彦武, 赵越. 2006. 锆石 SHRIMP 年龄测定数据处理是系统偏差的避免-标准锆石分段校正的必要性[J]. 岩石测试, 25(1): 9-14.
- 孙德有, 吴福元, 林强. 2002. 张广才岭燕山早期白石山岩体成因与壳幔相互作用[J]. 岩石学报, 17(2): 227-235.
- 孙德有, 吴福元, 高山. 2004. 小兴安岭东部清水岩体的锆石激光探针 U-Pb 年龄测定[J]. 地球学报, 25(2): 213-218.
- 谭成印, 杜杨松, 赵寒冬, 张文辉. 2010. 小兴安岭有色、贵金属成矿带确切的证据及其地质意义[J]. 地质与资源, 19(增): 46-55.
- 王涛. 2000. 花岗岩研究与大陆动力学[J]. 地学前缘, 7(增刊): 137-146.
- 肖庆辉, 邓晋福, 马大铨, 洪大卫, 莫宣学, 卢新祥, 李志昌, 汪雄武, 马昌前, 吴福元, 罗照华, 王涛. 2002. 花岗岩研究思维与方法[M]. 北京: 地质出版社.
- 杨言辰, 韩世炯, 孙德有, 郭嘉, 张苏江. 2012. 小兴安岭-张广才岭成矿带斑岩型钼矿床岩石地球化学特征及其年代学研究[J]. 岩石学报, 28(2): 379-390.
- Batchelor R A and Bowden P. 1985. Petrogenetic interpretation of granitoid rock series using multicationic parameters[J]. Chemistry Geology, 50: 63-81.
- Ludwig K R. 2003. User's manual for isoplot 3.00: A geochronological toolkit for microsoft excel[M]. Berkeley Geochronology Center Special Publication, 4: 25-34.

<http://www.kcdz.ac.cn/>