

# 北山北部古生代两类花岗岩及有关矿床的 钕同位素特征\*

## Nd isotope features of two types of granitoids and related ore deposits in the northern part of Beishan Area, Northwest China

聂凤军, 胡朋, 江思宏, 刘妍, 张万益

(中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037)

NIE FengJun, HU Peng, JIANG SiHong, LIU Yan and ZHANG WanYi

(Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing 100037, China)

**摘要** 北山北部地处西伯利亚地台与哈萨克斯坦—北山板块汇聚带内, 区内各种类型花岗岩体分布广泛, 并且与金属矿床具密切空间分布关系。所有这些花岗岩可划分为两种成因类型, 即深源型和浅源型, 前者全岩样品  $\epsilon_{Nd}(t)$  值均为正值, 而后者的  $\epsilon_{Nd}(t)$  值均为负值。研究结果表明, 幔源岩浆活动导致了深源型花岗岩、铜、钼-金和铁矿床的形成, 而壳源岩浆活动为浅源型花岗岩、钨和钨-锡-铋矿床的形成提供了物质和动力来源。两种成因类型花岗岩的厘定对于探讨本区地壳演化历史、揭示成矿作用本质和指导找矿勘查均具有重要意义。

**关键词** 两类花岗岩; 钕同位素; 成因类型; 金属矿床; 北山北部

北山北部位于中国内蒙古、新疆和甘肃与蒙古国接壤地带, 大地构造位置属西伯利亚地台与哈萨克斯坦—北山(以下简称哈—北板块)汇聚带上, 东西长 500 km, 南北宽 50~80 km, 面积为 35 000 km<sup>2</sup>。受古亚洲洋壳与两大古板块长时期、多阶段俯冲、碰撞和对接作用影响, 区内前寒武系变质岩体分布广泛、古生界火山-沉积岩地层出露齐全、深大断裂纵横交错、花岗岩体十分发育, 各类金属矿床星罗棋布。该研究区不仅是中亚巨型成矿带的重要组成部分, 同时也是揭示古大陆地壳生长过程的理想窗口(洪大卫, 2000; 刘雪亚, 1995; 内蒙古自治区地质矿产局, 1991; 聂凤军, 2002)。

通过半个多世纪的地质工作, 人们先后在本区范围内完成 1/20 万和 1/5 万地质填图 35 幅, 圈定花岗岩类岩体数百处。统计数据表明, 北山北部花岗岩出露面积为 10 000 km<sup>2</sup>, 占整个岩(体)层面积的 48%, 其中海西期花岗岩约占全部花岗岩体数量的 2/3(内蒙古自治区地质矿产局, 1991)。在找矿勘查方面, 人们先后在本区发现各类矿床百余处, 代表性矿床有黑鹰山铁矿床、流沙山钼-金矿床、红尖兵山钨矿床、东七一山铷-钨-锡矿床、额勒根铜-钼矿床、马庄山金矿床和南金山金矿床。尽管上述金属矿床可在各种类型和不同时代的围岩中产出, 但是绝大多数矿床与海西期花岗岩体具密切时空分布关系, 其中蚀变花岗岩是良好的找矿标志。认真总结海西晚期花岗岩及有关矿床地质特征, 全面查明岩浆活动与金属成矿作用关系, 进一步厘定成岩环境与物质来源, 对于提高本区花岗岩及有关矿床研究水平和促进隐伏矿床找矿勘查均具有重要意义(洪大卫, 2000; 刘雪亚, 1995; 内蒙古自治区地质矿产局, 1991; 聂凤军, 2002)。

## 1 成岩(矿)地质环境

\*本文得到国家自然科学基金(40573025)的资助

第一作者简介 聂凤军, 男, 1956年生, 研究员, 博士生导师, 从事金属矿床地球化学研究。E-mail:nfj@mx.cei.gov.cn

研究区地处西伯利亚地台与哈—北板块之间的中亚—蒙古造山带内, 主要由一系列向南凸的弧形构造-岩浆岩带所构成。尽管地质学家在两大古板块运动机制的细节上仍存在有不同认识, 但是他们均认为, 该区的主体构造为古大陆边缘地体拼接带, 单个地体形成环境既可以是前寒武纪古陆块, 也可以是古生代岩浆弧、断陷盆地和古洋壳残片(洪大卫, 2000; 刘雪亚, 1995; 内蒙古自治区地质矿产局, 1991; 聂凤军, 2002; 2004; 2005a)。前寒武纪古陆块大多呈孤岛状或条带状为古生界火山-沉积岩地层所包裹, 岩石类型主要有片麻岩、斜长角闪岩和大理岩。相比之下, 古生界地层主要是一套海相碎屑沉积岩和中酸性火山岩, 并且以分布范围广、出露厚度大和层序齐全为特点。中生界为一套陆相沉积岩, 主要分布在一些山间盆地中。区内各类侵入岩十分发育, 除了少量镁铁质侵入岩外, 主要出露有面积海西期花岗岩。根据花岗岩体的产出环境, 大体将其划分为两大类, 即深源型和浅源型, 前者大多在晚古生代构造-地层单元内产出, 围岩为古生代碎屑沉积岩和中酸性火山岩, 并且以富含镁铁质火成岩包体为特征, 岩石类型有石英闪长岩、花岗闪长岩和二长花岗岩。全岩样品磁铁矿和碱质组份( $K_2O+Na_2O$ )含量相对较高; 后者大多在前寒武纪陆块及邻区产出, 围岩为中新元古代变质岩, 并且以富含硅铝质变质岩捕虏体为特点。岩石类型主要有花岗闪长岩、黑云母花岗岩和钾长花岗岩。全岩样品磁铁矿和碱质组份( $K_2O+Na_2O$ )含量相对较低。需要提及的是, 深源型花岗岩与铜、铁和钼-金矿床具密切时空分布关系, 而浅源型花岗岩则伴生有钨和铷-钨-锡矿床(聂凤军, 2004; 2005a)。

## 2 金属矿床地质特征

研究区金属矿床的产出特点可概述为分布广泛、类型繁多、成矿时代集中和容矿围岩复杂, 其中大多数矿床与中酸性火成岩具密切时空分布关系。初步统计数据显示, 在所调查的 48 处矿床中, 与海西晚期花岗岩有关的矿床为 38 处, 占总数的 79%, 相比之下, 与加里东期和燕山期花岗岩有关的矿床分别为 4 处和 6 处, 分别占总数的 8% 和 13%。限于篇幅, 这里着重对 4 处与海西期火成岩有关的矿床进行简要论述。

流沙山钼-金矿床和黑鹰山铁矿床均位于哈—北板块红石山—黑鹰山地体东段, 容矿围岩分别为海西期花岗闪长岩和石炭系英安岩。流沙山矿床由一组相互平行或大致平行的环状石英-钾长石脉或石英脉所构成, 金属矿物有辉钼矿、白钨矿、自然金、辉铋矿和黄铁矿, 脉石矿物有石英、长石和萤石, 其中 6 件辉钼矿样品铼-钨同位素等时线年龄为  $(260\pm 10)$  Ma ( $2\sigma$ ) (聂凤军, 2002)。相比之下, 黑鹰山铁矿床由似层状、囊状和透镜状矿体所构成, 金属矿物有磁铁矿和赤铁矿, 脉石矿物为磷灰石、石英、绿泥石和碧玉, 其中 6 件磷灰石样品钷-铷同位素等时线年龄为  $(322\pm 4.3)$  Ma ( $2\sigma$ ) (聂凤军, 2005a), 与其东南部花岗闪长斑岩辉钼矿铼-钨同位素等时线年龄相近  $(332\pm 9)$  Ma (聂凤军, 2005b)。

东七一山铷-钨-锡矿床和红尖兵山钨矿床分别是西北地区最大的稀有多金属矿床和重要钨矿床之一(聂凤军, 2002; 2004)。前者位于哈—北板块马鬃山中间地块北侧, 围岩为加里东期似斑状花岗岩株和新元古代大理岩, 后者地处哈—北板块红石山—黑鹰山地体与公婆泉—月牙山地体汇聚处, 围岩为石炭系流纹质凝灰岩和海西期二长花岗岩。东七一山矿床由一系列细脉浸染状块体、石英-萤石脉和石英脉所构成, 金属矿物有黑钨矿、白钨矿、辉铋矿和锡石, 脉石矿物有石英、长石、锂云母、萤石和条纹长石。5 件萤石样品钷-铷同位素等时线年龄为  $(511\pm 5)$  Ma ( $2\sigma$ )。相比这下, 红尖兵山矿床由黄玉-石英脉和云英岩化条带所组成, 金属矿物有黑钨矿、锡石、辉钼矿、辉铋矿和黄铁矿, 脉石矿物有石英、黄玉、月光榴石、长石、云母和萤石, 钨矿床成矿作用与海西晚期中酸性岩浆活动有关(聂凤军, 2002; 2004)。

## 3 钷同位素特征

### 3.1 古生代深源型花岗岩及有关金属矿床

对远离前寒武纪古陆块的花岗岩体及有关矿床的样品进行了钷同位素分析, 在此基础上, 结合野外地

质证据, 讨论了其物质来源和形成过程。前人同位素年代数据表明, 无论是深源型花岗岩, 还是与其相关的矿床, 它们的形成时代集中分布在两个时间段, 即 355~322 Ma 和 299~255 Ma (聂凤军, 2002; 2004; 2005a)。考虑到辉钼矿呈浸染状分布在花岗岩体中, 其铼-钨同位素年龄代表了岩体和矿体的形成时间, 因此, 采用两个年龄值 (332 Ma 和 260 Ma) 计算了花岗岩及有关矿床岩 (矿) 石样品的  $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$  值, 并且绘制了  $T_{\text{DM}}$  对  $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$  图 (图 1a 和 1b)。当  $t=332$  Ma 时, 9 件花岗岩样品的  $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$  值变化范围为 0.79~7.86, 平均值为 3.85; 黑鹰山铁矿床 8 件磷灰石样品  $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$  值为 1.67~7.35, 平均值为 3.50; 流沙山钨-金矿床 6 件含矿花岗岩样品  $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$  值为 1.79~11.54, 平均值为 6.88。在  $T_{\text{DM}}$  对  $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$  图 (图 1b) 中, 除少数几件样品外, 大部分样品数据点投绘在兴蒙造山带花岗岩区内, 其钕同位素组成特征与该区具有正  $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$  值的花岗岩相似 (洪大卫, 2000; 聂凤军, 2002)。采用同样方式, 以 260 Ma 为参照值, 对上述样品  $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$  值进行了计算, 所获结果与前述  $\epsilon_{\text{Nd}}(332 \text{ Ma})$  值基本相似。

### 3.2 古生代浅源型花岗岩及有关金属矿床

对前寒武纪古陆块内及邻区产出的花岗岩及有关矿床的岩 (矿) 石样品进行了钕同位素分析, 并且以 332 Ma 和 260 Ma 为参照值, 计算了样品的  $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$  值。当  $t=332$  Ma 时, 16 件花岗岩样品  $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$  值变化范围为 -0.03~-14.48, 平均值为 -5.33, 东七一山铷-钨-锡矿床 5 件萤石样品  $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$  值为 -5.81~-2.80, 平均值为 -4.06; 红尖兵山钨矿床的黑钨矿样品可分为 2 类: (1) 5 件样品  $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$  值为 -8.07~-4.22, 平均值为 -6.91; (2) 2 件样品  $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$  值为 4.11~5.77。无论是萤石, 还是黑钨矿样品, 其  $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$  和  $T_{\text{DM}}$  值变化较大, 很难用  $T_{\text{DM}}$  对  $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$  图表示。在  $T_{\text{DM}}$  对  $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$  图 (图 1b) 中, 浅源型花岗岩样品全部投绘在微陆块的花岗岩区或旁侧, 与兴蒙造山带具正  $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$  值的花岗岩存在有较明显的差别 (洪大卫, 2000; 聂凤军, 2002)。另外, 采用同种方式, 以 260 Ma 为参照值, 对上述样品的  $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$  值进行了计算, 所获结果与前述  $\epsilon_{\text{Nd}}(332 \text{ Ma})$  值基本相似 (图 1a)。

### 3.3 前寒武纪古陆块变质岩

如前所述, 本区各个时代和不同规模前寒武纪古陆块和变质岩杂岩体星罗棋布, 并且与古生代花岗岩和部分矿床具密切空间分布关系。交叉沟变质杂岩体中斜长角闪岩全岩钐-钕同位素等时线年龄为  $(1264 \pm 11) \text{ Ma}$  ( $2\sigma$ ) (聂凤军, 2002), 这是迄今为止在本区发现的最古老岩石。在本次研究中, 分别采用 1264 Ma、332 Ma 和 260 Ma 计算了各类变质岩样品的  $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$  值。当  $t=1264$  Ma 时, 4 件变质岩样品  $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$  值为 -1.5~1.18, 平均值为 0.20; 当  $t=332$  Ma 和  $t=260$  Ma 时, 样品  $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$  值变化范围分别为 -7.24~-9.59, 平均值 -8.51 和 -7.68~-10.42, 平均值 -9.16。在  $T_{\text{DM}}$  对  $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$  图 (图 1a 和 1b) 中, 各变质岩样品数据点均落在兴蒙造山带微陆块区花岗岩区或旁侧, 与华北陆台和塔里木地台前寒武纪变质岩钕同位素特征相似 (洪大卫, 2000; 聂凤军, 2002)。

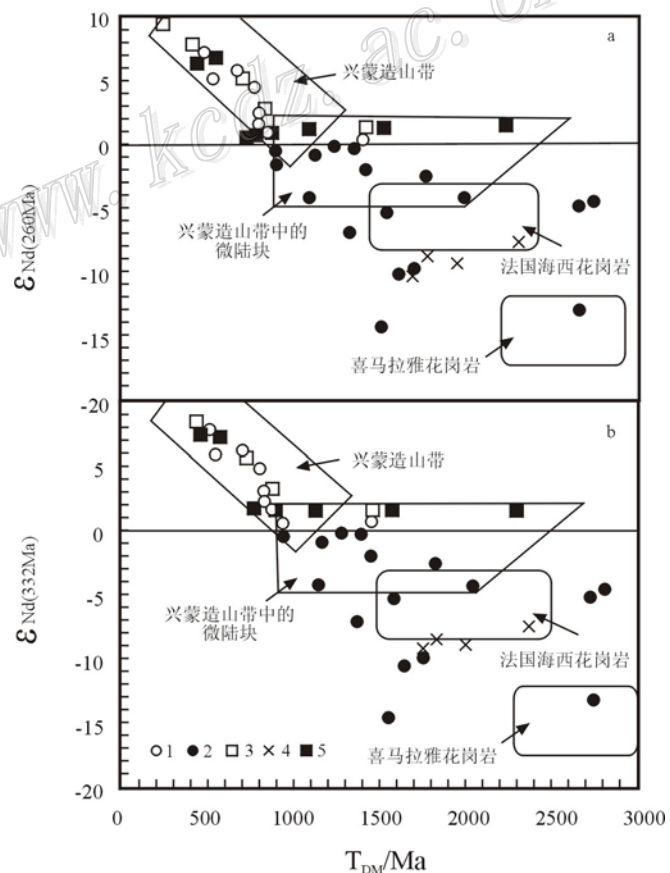


图 1 北山北部各类样品  $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$  对  $T_{\text{DM}}$  关系图

1—深源型花岗岩; 2—浅源型花岗岩; 3—含钨-金花岗岩; 4—前寒武纪变质岩; 5—磷灰石

## 4 讨论与结论

兴蒙造山带西段(新疆北部)和东段(内蒙古东部和辽—吉—黑地区)花岗岩的  $\varepsilon_{\text{Nd}}(t)$  值变化范围分别为-3.31~8.40 和-2.22~7.11(洪大卫, 2000; 聂凤军, 2002)。与上述几个地区相比, 研究区花岗岩样品具有更大的变化范围(7.86~-14.48)和更明显的负  $\varepsilon_{\text{Nd}}(t)$  值, 反映了更为复杂的成岩过程。通常情况下, 具有正  $\varepsilon_{\text{Nd}}(t)$  值的岩(矿)体被认为是其物质来源与幔源岩浆活动或幔源组分占优的地壳重熔作用有关(洪大卫, 2000; 聂凤军, 2002), 而具有明显负  $\varepsilon_{\text{Nd}}(t)$  的岩(矿)体则反映了其形成过程中有大量古陆壳物质的混入, 由此来看, 本区壳-幔物质相互作用的强度和复杂性要远高于新疆北部和东北地区。

众所周知, 晚古生代时期, 古亚洲洋壳对哈—北板块的多期次俯冲诱发了大规模构造-岩浆活动, 进而形成大面积分布的海西期花岗岩及有关金属矿床。各类花岗岩和金属矿床很可能是通过下述3种途径形成的, 其一、受洋壳与古大陆俯冲和碰撞作用影响, 幔源岩浆的上涌或年轻地壳(含大量地幔物质)与部分古大陆岩(体)层的重熔, 均可形成具有正  $\varepsilon_{\text{Nd}}(t)$  值的深源型花岗岩, 同源热液流体形成具有正  $\varepsilon_{\text{Nd}}(t)$  值的铜、铁和钼-金矿体(洪大卫, 2000; 聂凤军, 2002; 2005a); 其二、强烈的构造作用同样可以导致前寒武纪古陆块发生重熔, 进而形成具有负  $\varepsilon_{\text{Nd}}(t)$  值的浅源型花岗岩, 同源热液流体形成了具明显负  $\varepsilon_{\text{Nd}}(t)$  值的钨和铷-钨-锡矿体(洪大卫, 2000; 聂凤军, 2002; 2004; 2005a); 其三、受构造应力驱动, 以幔源组份为主的岩浆在上侵过程中遭受到古大陆岩(体)层的同化混染, 进而形成具有正  $\varepsilon_{\text{Nd}}(t)$  值或负  $\varepsilon_{\text{Nd}}(t)$  值的花岗岩。同源热液流体形成的金属矿床  $\varepsilon_{\text{Nd}}(t)$  值变化范围较大(洪大卫, 2000; 聂凤军, 2002; 2004; 2005b)。尽管到目前为止, 尚无确切地质证据来判定本区两类花岗岩究竟是通过哪种方式形成的, 但是有两点是可以肯定的: ①幔源组份为主导的岩浆或热液流体活动为深源型花岗岩及有关矿床的形成提供了动力和物质来源, 相比之下, ②壳源组份为主导的岩浆或热液流体活动在浅源型花岗岩及有关矿床的形成过程中发挥了重要作用。

通过前面的简要论述, 得到以下几点结论: ①与中亚造山带东段和西段花岗岩相比, 本区花岗岩  $\varepsilon_{\text{Nd}}(t)$  值具有更大的变化范围和更明显的负  $\varepsilon_{\text{Nd}}(t)$  值, 反映了较为复杂的成岩过程; ②本区花岗岩及有关矿床大体可划分为两种成因类型, 即具有正  $\varepsilon_{\text{Nd}}(t)$  值的深源型花岗岩以及铜、铁和钼-金矿床, 具有负  $\varepsilon_{\text{Nd}}(t)$  值的浅源型花岗岩以及钨和铷-钨-锡矿床; ③深源型花岗岩及有关矿床与幔源组份为主岩浆和热液活动有关, 而浅源型花岗岩及有关矿床中则含有更多的古陆壳组份; ④具有正  $\varepsilon_{\text{Nd}}(t)$  值的花岗岩是寻找铜、铁和钼-金矿床的良好找矿标志, 而具有负  $\varepsilon_{\text{Nd}}(t)$  值的花岗岩则可成为寻找钨和铷-钨-锡矿床的重要线索。

### 参 考 文 献

- 洪大卫, 王试光, 谢锡林, 等. 2000. 兴蒙造山带正  $\varepsilon_{\text{Nd}}(t)$  值花岗岩的成因和大陆地壳生长. 地学前缘, 7(2): 441~456.
- 刘雪亚, 王 荃. 1995. 中国西部北山造山带的大地构造及其演化. 地学研究, (28): 37~48.
- 内蒙古自治区地质矿产局. 1991. 内蒙古自治区区域地质志. 北京: 地质出版社. 1~725.
- 聂凤军, 江思宏, 白大明, 等. 2002. 北山地区金属矿床成矿规律及找矿方向. 北京: 地质出版社. 1~499.
- 聂凤军, 江思宏, 胡 朋, 等. 2004. 甘肃北山红尖兵山钨矿床地质特征及成矿物质来源. 矿床地质, 23(1): 11~19.
- 聂凤军, 江思宏, 刘 妍, 等. 2005a. 内蒙古黑鹰山富铁矿床磷灰石钐-钕同位素年龄及其地质意义. 矿床地质, 24(2): 134~140.
- 聂凤军, 屈文俊, 刘 妍, 等. 2005b. 内蒙古额勒根斑岩型铜(钨)矿化区辉钼矿铪-钨同位素年龄及地质意义. 矿床地质, 24(6): 638~646.