

文章编号: 0258-7106 (2002) 01-0010-06

阿拉善东七一山大型萤石矿床萤石钐-钕同位素年龄及地质意义*

聂凤军 江思宏 刘妍

林源贤

(中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 10037)

(天津地质矿产研究所, 天津 300170)

摘 要 为了查明东七一山矿床的形成过程, 对主矿体中的 5 件萤石样品进行了钐-钕同位素测定, 所获得的等时线年龄为 $(511 \pm 5) \text{ Ma}$ 和 MSWD 值为 0.10。此外, $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 初始比值为 $0.511760 \pm 5(2\sigma)$ 和 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 为 $-4.2 \pm 0.5(2\sigma)$ 。依据上述同位素分析数据, 同时结合容矿围岩和矿体的地质特征, 可以推测, 东七一山萤石矿床是加里东期构造-岩浆活动的产物。成矿热液来源与壳源岩浆结晶分异作用有关。该矿床属侵入岩为主岩的中高温热液萤石矿床。

关键词 钐-钕同位素 等时线年龄 萤石 矿床成因 东七一山

中图分类号: P597+.1; P619.21+.5

文献标识码: A

东七一山萤石矿床位于甘肃省酒泉市东北方向 210 km 处, 归属内蒙古额济纳旗管辖。该矿床是原祁连山地质队于 1958 年进行百万分之一区域地质调查时发现和圈定的^①。70 年代中期, 原甘肃省地质局第四地质队对该矿床的部分矿段进行过地表评价, 先后提交了 CaF_2 远景地质储量 500 万吨, 其中高品位 CaF_2 (81.7%) 储量为 68 万吨, 其巨大的经济价值是不言而喻的。研究区内除了产出有大量萤石脉外, 钨、锡、铷和钼异常带(点)也星罗棋布, 经查证, 其中部分异常的金属储量已达中到大型规模(刘洪, 1986)。此外, 笔者(2001)^②在执行国家地质调查项目(编号 K1.3.32)期间, 在东七一山萤石矿区内发现和圈定了金银矿化带多处, 矿化带内的金、银含量分别高达 5.78×10^{-6} 和 136×10^{-6} 。对该矿床的大量室内外地质、物探和化探调查结果表明, 东七一山不仅是我国西北地区最大的萤石产地, 同时也是最重要的钨、锡、铷、钼和金矿化集中区。萤石钐-钕同位素测年研究对于厘定本区构造-岩浆活动演化历史、查明成矿物质来源、恢复成矿流体演化历史和指导隐伏矿床找矿勘查均具有重要的理论意义和实际意义。

1 地质概况

研究区位于哈萨克斯坦—北山板块东部边缘早山古陆块内, 属东西向旱山—凤尾山复式向斜轴部的斜山—东七一山向斜(刘雪亚等, 1995; 左国朝等, 1992)。除各种规模不等的褶皱外, 区内各类断裂和断层构造亦十分发育, 其中由北东向、北西向和近南北向断裂所构成的棋盘格状构造是最重要的控矿构造体系。矿区范围内出露的地层主要为早志留系斜山群混合岩化角闪斜长片岩、二云石英片岩、混合岩、变粒岩和大理岩。左国朝等(1992)认为, 旱山—东七一山地区出露的这套变质岩地层, 无论是在岩性组合和变形特征上, 还是在变质级序和含矿性方面, 均可与中天山隆起带东段玉山地区前寒武纪变质岩层相对比(周济元等, 1996)。此外, 在东七一山萤石矿区北侧 30 km 处的交叉沟地区, 前寒武纪斜长角闪岩、黑云母斜长片麻岩和各类混合岩十分发育, 其成岩环境、空间分布形态及岩相学特征均与研究区范围内的变质岩相似, 斜长角闪岩 Sm-Nd 同位素年龄值变化范围为 $1159 \sim 1499 \text{ Ma}$ ^③。由此

* 本文得到国家自然科学基金项目(编号: 40073015)和国家地质调查项目(编号: K1.3.32)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。

收稿日期 2001-05-2; 改回日期 2001-11-28。李岩编辑。

① 甘肃省地质矿产局, 1977. 区域地质调查报告(1:20 万), 路井幅(K-47-XXII)(矿产部分), 1~74。

② 聂凤军, 等, 2001. 地调项目执行情况汇报. 中国地质科学院矿产资源研究所(内部资料)。

③ 聂凤军, 江思宏, 白大明, 等, 2002. 内蒙古交叉沟前寒武纪古陆块钐同位素和稀土元素地球化学研究. 地球学报(待刊)。

可见,东七一山萤石矿区范围内的变质岩层应划属为前寒武系构造-地层单元,而不应该将其置于早古生代地层范畴内。区内海西期和燕山期花岗岩类岩脉、岩墙和岩株分布广泛,代表性岩石类型有闪长岩、石英闪长岩、花岗闪长岩、斜长花岗斑岩和似斑状花岗岩,其中呈串珠状分布的似斑状花岗岩为萤石、钨、锡、铷、钼和金矿床(点)的容矿围岩,对其岩石学和同位素年代学的研究倍受地质学家的关注。左国朝等(1992)对本区西部旱山地区代表性燕山期花岗岩进行过详细的全岩铷-锶同位素分析,所获等时线年龄为 (649 ± 56) Ma,属澄江期 S 型花岗岩。需要提及的是,部分晚期黑云母花岗岩株和岩脉群常侵位于上述澄江期花岗岩中,并且向东延伸至东七一山萤石矿区。此类黑云母花岗岩株黑云母的钾-氩年龄为 (512 ± 3) Ma (杨崇文,个人通讯,2001),其成岩环境和岩相学特征与东七一山含矿花岗岩株

相似。东七一山似斑状花岗岩株呈串珠状侵位于前寒武纪变质岩地层中(图 1),岩体呈近 NE—SW 向分布,长约 1.5 km,宽 0.3~0.6 km,出露面积约为 0.9 km²,为萤石矿床的最重要容矿围岩。似斑状花岗岩为浅肉红色,中粗粒似斑状结构,块状构造,主要造岩矿物有钾长石、斜长石、石英和黑云母,副矿物组合为锆石、烧绿石、黄玉和萤石,局部地段萤石含量高达 10%。迄今为止,在东七一山似斑状花岗岩株及旁侧的变质岩地层中,共发现和圈定各种类型的萤石脉 200 余条,其中 37 条规模较大、品位较高,具有重要工业价值。萤石脉大都呈 NE 向和近 SN 向展布,长度变化范围为数十米到 800 m,宽约 0.8~3.46 m。萤石脉、网脉和浸染状团块常常在两组或三组断裂构造交汇部位构成规模较大的透镜状或囊状矿体,并且形成高品位萤石矿石。近矿体围岩蚀变为高岭石化、碳酸盐化、硅化、绿泥石化和绢

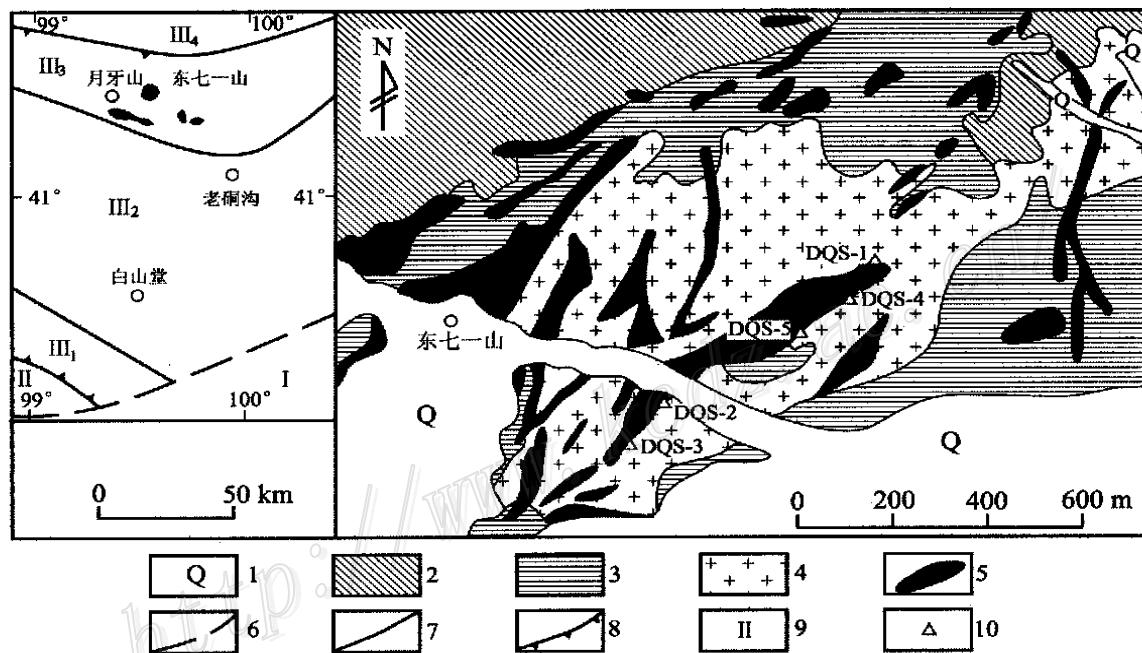


图 1 阿拉善东七一山大型萤石矿床位置及地质简图

1—第四系沉积物; 2—长英质片岩、混合岩和绿片岩; 3—大理岩; 4—似斑状花岗岩; 5—萤石矿体; 6—推测断层; 7—断层; 8—古板块俯冲带; 9—构造-地层单元编号; 10—采样点。I—华北板块; II—塔里木板块; III—哈萨克斯坦-北山板块; III₁—柳园-大奇山地块; III₂—马鬃山地块; III₃—公婆泉-月牙山地块; III₄—红石山-黑鹰山地块

Fig. 1 Simplified geological map of the Dongqi-yishan fluorite deposit, Alxa, western Inner Mongolia, with the insert showing its locality

1—Quaternary sediments; 2—Felsic schist, green schist, migmatite; 3—Marble; 4—Caledonian porphyritic granite; 5—Fluorite orebodies; 6—Inferred fault; 7—Fault; 8—Subduction zone of ancient plate; 9—Number of tectonostratigraphic unit; 10—Sampling location. I—North China plate; II—Tariim plate; III—Kazakhstanian-Beishan plate; III₁—Liuyuan-Daqishan terrane; III₂—Mazongshan terrane; III₃—Gongpoquan-Yueyashan terrane; III₄—Hongshishan-Heiyingshan terrane

云母化,蚀变带的宽度与矿体的宽度呈正比。此外,在岩体蚀变强烈地段,钨、锡、钼、铷和金含量可达到或接近工业品位,进而构成稀有和贵金属矿床(点)。就萤石矿石而言,其矿物组成比较简单,主要有萤石、石髓、石英和方解石。萤石为紫色、黑紫色、黄色、绿色、烟色和紫红色等,呈透明或半透明状,具粒状-半自形粒状结构,块状、条带状、同心圆状和晶簇状构造。全矿石 CaF_2 含量 [$w(\text{CaF}_2)$] 变化范围为 56.06%~98.89%,平均值为 81.7%,属优质萤石矿石。

2 钐-钕同位素分析方法

2.1 样品采集与处理

用于钐-钕同位素年龄测定的萤石样品采自该矿床主矿体的同一条石英-萤石矿脉中,其容矿围岩为似斑状花岗岩(图1)。石英-萤石脉长约 350 m,宽约 2.8 m,未见强烈构造作用或热液蚀变现象。萤石样品是通过全岩样品粉碎、过筛、手工淘洗、电磁选和实体显微镜检查等工序获取的,单矿物样品的纯度(体积分数)大于 98%。

2.2 分析方法

萤石样品分析是在天津地质矿产研究所同位素年代学实验室完成的,详细的化学处理流程和质谱测定技术可参阅 Mearns(1986)的文献。钐同位素比值测定的内校正因子采用 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.7219$,对 Johnson-Mathey Nd_2O_3 的测定结果为 0.511125 ± 8 。样品的 Sm-Nd 分析采用双流程工艺:I.D 流程的用样量在 0.15 g 左右;I.C 流程的用样量以取得 1.0 μg 左右的纯 Nd 为准,采用 HDEHP 反色层技术取得纯净的 Nd。实验用水为四次纯化的纯净水。各种实验用高纯试剂从市场上购得,这些试剂在空气

净化实验室中分别用“双瓶蒸馏法”和“亚沸蒸馏法”进行再次纯化。实验用具和器皿用聚四氟乙烯(teflon)或石英材料制作。全实验室流程 Sm 和 Nd 的空白本底分别为 4.5×10^{-11} g 和 5.6×10^{-11} g。国家一级标准岩石样品的 Sm-Nd 结果是: $\text{Sm} = 3.017 \mu\text{g/g}$, $\text{Nd} = 10.066 \mu\text{g/g}$, $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.512739 \pm 5$ 。BCR-1 的结果是 $\text{Sm} = 6.571 \mu\text{g/g}$, $\text{Nd} = 28.753 \mu\text{g/g}$, $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.512644 \pm 5$ 。Sm-Nd 同位素等时线年龄是采用 Ludwig(1992)计算机软件计算的,衰变常数为 $\lambda(^{147}\text{Sm}) = 6.54 \times 10^{-12}/\text{a}$ (Jacobsen et al, 1984)。

3 结果与讨论

东七一山矿床的 5 件萤石样品钐-钕同位素分析数据及其特征比值列于表 1,在 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ - $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ 图上(图 2),所有 5 件萤石样品的数据均排列在一条直线上,相关系数为 0.995,该直线对应的等时线年龄为 $(511 \pm 5) \text{ Ma}$ (2 σ) 和 MSWD 为 0.10。此外,等时线 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 初始比值为 $0.511760 \pm 2(2\sigma)$ 和 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 为 $-4.2 \pm 0.5(2\sigma)$ 。一般来讲,判别同位素等时线是否具有地质意义的主要理论依据有 3 条,即所测样品同期形成、具同样物质来源和同位素体系处于封闭状态。本此研究用于钐-钕同位素年龄测定的萤石样品基本可满足上述条件。主要理由有以下几点:①所有萤石样品均采自同一条萤石脉的不同部位。从岩(矿)相学证据看,它们属同源和同期热液流体活动的产物。此外,5 件样品数据点 Sm/Nd 比值和比照钐-钕同位素等时线年龄(511 Ma)所计算的 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值变化范围很小(表 1),同样佐证了上述推论;②萤石脉未遭到任何强烈变形和热液交代活动影响;③从区域花岗岩类侵入岩时空分

表 1 阿拉善东七一山萤石矿床萤石样品钐-钕同位素分析数据及特征值

Table 1 Sm-Nd isotopic analyses and characteristic ratios of the fluorite separates from the Dongqi-yishan fluorite deposit, Alxa, Western Inner Mongolia

样号	矿物	Sm/ 10^{-6}	Nd/ 10^{-6}	Sm/Nd	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	2 σ	ϵ_{Nd} (511 Ma)	ϵ_{Nd} (0 Ma)
DQS-1	萤石	0.4309	1.8795	0.22	0.1299	0.512195	6	-4.28	-8.64
DQS-2	萤石	0.7735	2.2875	0.33	0.2044	0.512444	4	-4.29	-3.78
DQS-3	萤石	0.4159	1.2426	0.33	0.2024	0.512438	4	-4.27	-3.90
DQS-4	萤石	0.3167	0.8216	0.39	0.2330	0.512540	5	-4.28	-1.91
DQS-5	萤石	1.1730	2.7180	0.43	0.2609	0.512634	6	-4.27	-0.08

测试单位:天津地质矿产研究所同位素年代学实验室。

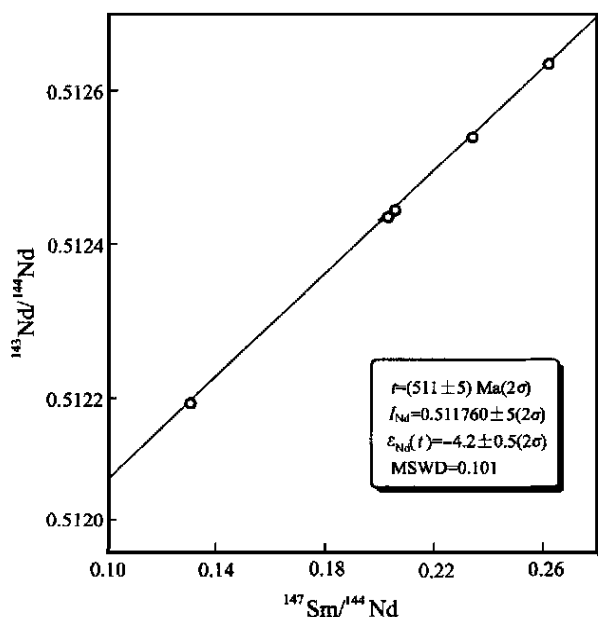


图 2 阿拉善东七一山大型萤石矿床萤石

 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ - $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ 图Fig. 2 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ versus $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ diagram of the fluorite separates from the Dongqiysan fluorite deposit, Alxa, western Inner Mongolia

布特点看,东七一山矿区范围内分布的似斑状花岗岩体完全可与其西侧的旱山地区黑云母花岗岩[(512±3) Ma]相对比,应该属同期和同类花岗岩类侵入岩。基于上述原因,并且考虑到(511±5) Ma 的年龄值与野外观察到的地质证据相吻合,故将该数据解释为萤石从含矿质热流体中沉淀与富集的时间,本区萤石、钨、锡、铷、钼和金矿床(点)很可能是加里东期构造-岩浆活动的产物。

如前所述,在(511±5) Ma 时,5 件萤石样品的 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值分别为 -4.28, -4.29, -4.27, -4.28 和 -4.27(表 1),明显低于同时期亏损地幔(DM)值而高于古大陆地壳(AC) $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值(图 3)。此外,矿区北部交叉沟地区斜长角闪岩和黑云母斜长片麻岩的 $\epsilon_{\text{Nd}}(511 \text{ Ma})$ 值分别为 7.31 和 -7.53^①,位于 De Paolo(1988) 亏损地幔(DM)和古大陆地壳(AC) $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 演化线上(图 2),同样暗示了东七一山萤石矿床的混源特征。如以 0 Ma 为始点,过 $\epsilon_{\text{Nd}}(t) = -4.28$ 点,将各萤石样品的 Nd 增长线加以延长,那么就会发现,除样品 DQS-1 可延拓至亏损地幔源区(与之对应

的时间为 1 528 Ma)外,其余 4 件样品均延拓至古大陆地壳源区(De Paolo, 1988)。根据上述各萤石样品的钐同位素特征,可以推测,东七一山萤石矿床的形成过程如下:①大量陆壳源物质与少量亏损地幔源物质在 551 Ma 前发生物理或化学混合作用;②受加里东期(551 Ma)强烈构造-岩浆活动影响,混合物质发生重熔,并且形成大体积花岗质熔浆;③岩浆上侵定位形成东七一山地区广泛分布的花岗岩株或脉群,同时派生出大量含矿热液。受成矿体系物理-化学条件变化影响,含矿流体沉淀形成大量萤石脉。另外,从本区花岗岩类的高 $\delta^{18}\text{O}$ 值(10‰)和高 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 初始值(大于 0.7072)(左国朝等, 1992)及其变质岩围岩岩性组合看,本区花岗岩、片麻岩、变粒岩、大理岩和混合岩分布广泛,局部地段出露有斜长角闪岩和磁石英岩,成岩环境与华北陆台北缘西段乌拉山群变质岩地层相似(Nie et al., 1994),具有形成混源花岗岩的条件。从某种意义上讲,东七一山萤石矿床萤石 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值为将本区构造-岩体(层)单元划属为前寒武纪古陆块提供了有利判据。

4 结 论

(1) 首次对我国西北地区最大的萤石矿床的萤石进行了钐-钕同位素分析,所获等时线年龄为(511±8) Ma, MSWD 为 0.10,因此,东七一山萤石矿床的成矿时代为加里东期,本区构造-岩浆活动历史可追溯到早古生代。

(2) 5 件萤石样品的 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值为 -4.2±0.5 (2σ),明显低于同期亏损地幔 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值,略高于同期古大陆地壳 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值,这表明该矿床成矿物质起源于早古生代亏损地幔和古大陆地壳源,成矿作用与加里东期壳-幔源花岗质岩浆上侵定位和结晶分异过程有关。

(3) 依据东七一山萤石矿床的萤石钐-钕同位素年龄,同时结合矿区外围已有的花岗岩体的铷-锶同位素年龄值和氧同位素数据,可以认为,东七一山地区是哈萨克斯坦—北山板块于早古生代解体形成的古陆块。

致 谢 本研究的野外地质调查与采样工作得

① 聂凤军,江思宏,白大明,等. 2002. 内蒙古交叉沟前寒武纪古陆块钐同位素和稀土元素地球化学研究. 地球学报(待刊).

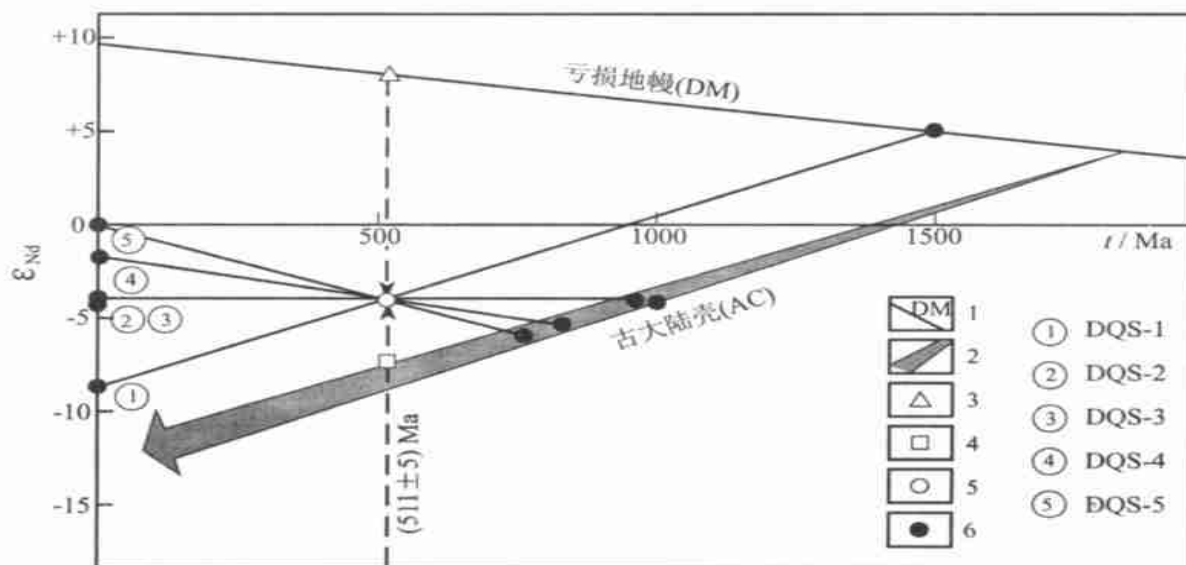


图3 阿拉善东七—山大型萤石矿床萤石 $\epsilon_{Nd}(t)$ 值随时间演化图

1—亏损地幔 $\epsilon_{Nd}(t)$ 演化线(据 De Paolo, 1988); 2—古大陆壳 $\epsilon_{Nd}(t)$ 演化线(据 De Paolo, 1988); 3—交叉沟地区斜长角闪岩 $\epsilon_{Nd}(511 \text{ Ma})$ 值; 4—交叉沟地区黑云母斜长片麻岩 $\epsilon_{Nd}(511 \text{ Ma})$ 值; 5—东七—山萤石矿床萤石 $\epsilon_{Nd}(511 \text{ Ma})$ 值; 6—东七—山萤石矿床萤石样品投绘点

Fig. 3 $\epsilon_{Nd}(t)$ versus time (Ma) plot for the fluorite separates from the Dongqiyishan fluorite deposit, Alxa, western Inner Mongolia

1— $\epsilon_{Nd}(t)$ evolution curve of depleted mantle (DM) (after De Paolo, 1988); 2— $\epsilon_{Nd}(t)$ evolution curve of ancient continental crust (AC) (after De Paolo, 1988); 3— $\epsilon_{Nd}(511 \text{ Ma})$ value of amphibolite from the Jiaochagou district; 4— $\epsilon_{Nd}(511 \text{ Ma})$ value of the biotite-plagioclase gneiss from the Jiaochagou district; 5— $\epsilon_{Nd}(511 \text{ Ma})$ value of the fluorite separates from the Dongqiyishan fluorite deposit; 6—Fluorite separates from the Dongqiyishan fluorite deposit

到了原内蒙古地质矿产局108地质队杨崇文高级工程师、内蒙古地质调查院王新亮和苏新旭高级工程师的帮助,室内研究得到中国地质科学院矿产资源研究所白大明和赵省民副研究员支持。文字录入和图件清绘由贾秀敏和樊莉女士完成,在此谨表衷心感谢。

References

- De Paolo D J. 1988. Neodymium isotope geochemistry [M]. Berlin: Springer. 181 p.
- Jacobsen S and Wasserburg G J. 1984. Sm-Nd isotopic evolution in chondrite and achondrite II [J]. Earth Planet. Sci. Lett., 67: 137 ~ 150.
- Liu H. 1986. Metal element distribution model of the polymetallic ore deposits occurring in the Dongqiyishan district, Inner Mongolia [J]. Geol. and Prospecting, 22(7): 60 ~ 62 (in Chinese with English abstract).
- Liu X Y and Wang Q. 1995. Tectonics of the orogenic belts in Beishan Mt. Western China and their evolution [J]. Geological Research, 28: 37 ~ 48 (in Chinese with English abstract).
- Ludwig K R. 1992. Isoplot V. 2.57: A plotting and regression program for radiogenic isotope data [CP]. U.S. Geological Survey Open File Report 91-445, rev., March, 1992. 40p.
- Mearns E W. 1986. Sm-Nd ages for Norwegian garnet peridotite [J]. Lithos, 19: 269 ~ 278.
- Nie F J and Bjorlykke. 1994. Lead and sulfur isotope studies of the Wulashan quartz-K feldspar and quartz vein gold deposit, south western Inner Mongolia, People's Republic of China [J]. Econ. Geol., 89: 1289 ~ 1395.
- Zhou J Y, Zhang B, Zhang C W, et al. 1996. Geology of silver, rhenium-molybdenum, gold and copper deposits occurring within the eastern Tianshan ancient continent and along its margin [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1 ~ 191 (in Chinese).
- Zuo G C, Liu C Y, Feng Y Z, et al. 1992. Discovery of Chengjiang period granitoid in Hanshan area of Beishan and its geochemical Features [A]. Modern Geological Selections (Upper Part) [C]. Beijing: Geol. Pub. House. 68 ~ 73 (in Chinese).

附中文参考文献

- 刘洪. 1986. 东七—山地区多金属矿床元素分带模式 [J]. 地质与勘探, 22(7): 60 ~ 62.

- 刘雪亚, 王 荃. 1995. 中国西部北山造山带的大地构造及其演化 [J]. 地学研究, 28: 37 ~ 48.
- 周济元, 张 斌, 张朝文, 等. 1996. 东天山古大陆及其边缘银、铍、钼、金和铜矿地质 [M]. 北京: 地质出版社. 1 ~ 191.
- 左国朝, 刘春燕, 冯永忠, 等. 1992. 北山地区早山一带澄江期花岗岩的发现及其地球化学特征 [A]. 现代地质学研究文集(上) [C]. 北京: 地质出版社. 68 ~ 73.

Sm-Nd Isotopic Dating of Fluorite Separates from Dongqiyishan Fluorite Deposit, Alxa, Western Inner Mongolia

Nie Fengjun, Jiang Sihong, Liu Yan

(Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China)

Lin Yuanxian

(Tianjin Institute of Geology and Mineral Resources, Tianjin 300170, China)

Abstract

Located at the easternmost part of the Kazakhstanian-Beishan plate, the Dongqiyishan deposit is the largest fluorite deposit with the highest ore-grade in Northwest China. A great number of quartz-fluorite and fluorite veins, veinlets and stockworks occur within the Dongqiyishan porphyric granitoid stock and its metamorphic wall rocks. With a Rb-Sr isochron of (649 ± 56) Ma, the granitoid stock has been considered as a product of Caledonian igneous activity. Five fluorite samples from one of the major orebodies of the Dongqiyishan deposit give a Sm-Nd isochron age of (511 ± 5) Ma with $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ value of (-4.2 ± 0.5) (2σ). As the Sm-Nd fluorite age is in agreement with field geological evidence, it is thought to be the ore-forming age of the Dongqiyishan deposit. The $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ values of the fluorite separates indicate that the Dongqiyishan deposit might have been formed through the following stages: (1) re-melting of the old continental block, (2) differentiation and crystallization of crust-derived magma and (3) emplacement and precipitation of hydrothermal fluids. Moreover, the Sm-Nd age data and $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ values of the fluorite separates also indicate that the major ore-bearing granitoid intrusions and their related ore deposits were formed at a transitional continental margin during Caledonian orogeny.

Key words: Sm-Nd isotope, isochron age, fluorite, ore genesis, Dongqiyishan