

攀西大陆槽稀土矿床深源成矿流体的 稳定同位素证据

万德芳 田世洪

(中国地质科学院矿产资源研究所, 北京, 100037)

摘 要 通过对大陆槽矿床的成矿流体稳定同位素研究表明, 矿体石英中流体包裹体的 δD 、 $\delta^{18}O$ 和 $\delta^{13}C$ 值分别为 -87‰ 、 $+6.0\text{‰}$ 和 -8.4‰ , 矿石(氟碳铈矿)的 $\delta^{13}C$ 为 -8.0‰ , 矿体萤石中流体包裹体的 δD 和 $\delta^{18}O$ 分别为 -99‰ 和 -11.6‰ 。研究表明, 矿床的成矿流体应为少量大气降水混合的深源成矿流体, 流体包体中和矿石中的碳则可能源自较深的壳幔混熔源区。

关键词 稳定同位素 稀土矿床 大陆槽

Stable Isotope Evidence of Deep Source Ore-forming Fluid in the Dalucao REE Deposit of the Panxi Rift

WAN Defang TIAN Shihong

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

Abstract The features of the ore-forming fluid and the origin of the metallogenic material in the Dalucao REE deposit of Panxi rift were studied by means of H, O and C isotope analyses. The $\delta^{13}C$ values of the bastnaesite change narrowly from -8.1‰ to -8.0‰ , while the δD values vary from -89‰ to -79‰ . The δD , $\delta^{18}O$ and $\delta^{13}C$ of the quartz-fluid inclusions in the orebody are -87‰ , $+6.0\text{‰}$ and -8.4‰ , whereas the δD and $\delta^{18}O$ of the fluorite-fluid inclusions in the orebody are -99‰ and -11.6‰ , respectively. The study shows that the ore-forming fluid was a mixture of magmatic water and meteoric water. The carbon isotopic features suggest that the carbon in the bastnaesite was derived from the mantle, while the carbon in fluorite-fluid inclusions of the orebody came from a mixed carbon source.

Key words stable isotope REE deposit Dalucao

大陆槽矿床地处攀西裂谷中南段的西侧。攀西裂谷区构造作用频繁、岩浆活动强烈, 其内有相当数量的富稀土岩体呈超浅成小侵入体产出。沿攀西裂谷从北向南, 已发现富含稀土小侵入体的有冕宁牦牛坪、里庄英碱正长岩和木洛碱性花岗岩, 西昌太和碱性花岗岩, 德昌茨达碱性花岗岩和大陆槽霓辉正长岩等。稀土矿是攀西裂谷带内的特征矿产之一, 目前区内已发现牦牛坪、麦地、里庄、木洛和大陆槽等大中型稀土矿床(唐若龙等, 1985)。这些矿床在裂谷带内构成了一条呈近 SN 向展布的攀西稀土成矿带。该稀土成矿带的成矿条件优越, 稀土矿产资源潜力颇大, 向南尚有经攀枝花后延入云南之势(蒲广平, 2001)。

尽管攀西稀土成矿带已初具规模, 但除带内北部的冕宁牦牛坪矿床做了较深入的矿床地质研究(袁忠信等, 1995), 大陆槽矿区近年做过一些矿床学、成矿年龄、矿石物质组分和矿石开发利用等方面的研究工作外, 其他稀土矿区的研究程度较低, 大陆槽矿床的成矿流体稳定同位素地球化学等方面的研究尚未进行。

1 矿区地质概况

大陆槽矿床地处扬子地台西南缘、攀西裂谷中南段西侧, 位于晋宁期石英闪长岩体(大陆乡岩体)中部。区内地层出露不全, 主要出露前震旦系、震旦-寒武系和侏罗系地层。前震旦系主要为会理群

盐边组地层组成,震旦-寒武系地层主要为观音崖组和灯影组,侏罗系则主要为白果湾群和益门组地层构成。区内出露地层因岩浆岩侵入、断裂破坏和褶皱叠置等作用而显得零乱不全。

矿区处于顺河向斜与新村向斜的南北转折段之间。区内构造较复杂,大部分断裂与近 SN 向的雅砻江构造带平行,区内断裂以 SN 向为主,NE 向次之,NW 近 EW 向的少见。矿区位于大陆槽(F_1)、张门峡(F_7)和南木河(F_6)结合部,普威断裂(F_5)发育在矿区西部,NE 向的大陆槽断裂(F_1)从 I、III 号矿体间穿过。矿床受断裂构造影响明显,区内控制矿体的构造裂隙主要为 NW、近 SN 和近 EW 向 3 组。成矿期后构造裂隙发育,常在矿体中产生碎裂、粒化现象,且后期构造裂隙多被晚期碳酸盐矿物充填。

矿区附近出露的岩浆岩主要为:晋宁期石英闪长岩(大陆乡岩体)、印支期花岗岩、碱性花岗岩和辉长岩,以及喜马拉雅期的霓辉正长岩、正长斑岩及其派生脉岩。大陆乡石英闪长岩体侵入于前震旦系会理群中,其上为下侏罗统白果湾沉积覆盖,同位素年龄为 853 Ma(K-Ar 法)^①,属晋宁期产物。矿体产于霓辉正长岩内,霓辉正长岩的 K-Ar 法年龄为 64.9 Ma^②,系喜马拉雅期产物,该霓辉正长岩呈长轴方向为 110°的岩株侵入在大陆乡石英闪长岩体中。

区内现已发现大小矿体 20 余个,具工业意义的矿体两个(I、III 号矿体)。主矿体(I、III 号矿体)中的稀土矿石多呈透镜状、不规则网脉状充填于霓辉正长岩株内的构造裂隙中。I 号矿体总体呈 NW—SE 走向,出露宽度 80~180 m,沿走向长度为 420 m。III 号矿体呈近 SN 走向,宽度为 26~90 m,沿走向长度大于 200 m。构成矿体的主要矿石类型有:含霓辉萤石锶重晶石型矿石、含霓辉萤石钡天青石型矿石以及上述两类矿石组成的细脉型矿石。矿石矿物中主要矿物组合为氟碳铈矿、锶重晶石、钡天青石、萤石、霓辉石等,次要矿物为方解石、石英、黑(白)云母、次闪石以及少量金属硫化物和稀土楣石等。

2 成矿流体稳定同位素分析

此次工作对大陆槽稀土矿床进行了氧同位素(7 件)、氢同位素(12 件)和碳同位素(9 件)分析,测试的同位素样品采自大陆槽矿床的主矿体。测试工作

在中国地质科学院矿产资源研究所同位素实验室完成。

样品的氧同位素分析,除氟碳铈矿样品采用磷酸法外,余者皆采用 BrF_5 法。氧同位素分析时,先将选好的样品与 BrF_5 反应、提取氧,分离出的氧气导入 CO_2 转化系统产生 CO_2 ,最后收集 CO_2 气体在质谱仪上进行质谱测试。

矿物流体包裹体的氢同位素分析采用热爆法和金属锌法。首先将样品加热至爆裂温度,打开石英流体包裹体、释放其内的挥发份。提取水蒸气并将其在高温条件下与金属锌进行反应、产生 H_2 ,将 H_2 采集后送至质谱仪,测定 D/H 值。

样品中流体包裹体的碳同位素分析亦采用加热爆破法。分析时,先将制备好的样品加热至爆裂温度,其内的流体包裹体被打开,同时释放出挥发份,收集挥发份内的 CO_2 气体并纯化后,直接在质谱仪内测试其相对于工作标准的碳同位素组成。所有质谱测试均在 MAT-251EM 型质谱仪上进行,该质谱仪的测试精度为 $\pm 0.02\text{‰}$ 。

3 成矿流体稳定同位素特征

大陆槽稀土矿床某些矿物流体包裹体的 H、C 和 O 同位素组成(表 1)具有明显的深源成因特征。

表 1 大陆槽矿区矿物流体包裹体的 H、C 和 O 同位素组成
Table 1 Hydrogen, carbon and oxygen isotopic compositions of minerals-hosted fluid inclusions in Dalucao REE deposit

样号	产状	测定矿物	$\delta\text{D}_{\text{V-SMOW}}$	$\delta^{18}\text{O}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$	‰
Dlx-4	围岩(石英闪长岩)	石英	-96	—	-11.9*	
Dlx-7	I 号矿体	石英	-87	+6.0	-8.4*	
Dlx-2-1	I 号矿体	萤石(白)	-83	+13.6	-17.1*	
DLx-2-2	I 号矿体	萤石(浅绿)	-104	—	-19.0*	
DLx-2-3	I 号矿体	萤石(紫)	-91	—	-17.0*	
Dlx-14	I 号矿体	萤石(白)	-119	-9.6	-160*	
Dlx-8	I 号矿体	氟碳铈矿	-89	+19.3	-8.0	
Dlx-23	I 号矿体	氟碳铈矿	-79	+19.2	-8.1	
牦牛坪矿区地表溪水		水	-83 ^①	-14.7 ^②	—	

注:石英的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 为计算值,计算采用公式为: $\delta^{18}\text{O}_{\text{石英}} - \delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}} = 3.34 \times 10^6 T^{-2} - 3.31$ (Matsuhisa, 1979);萤石 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 为其流体包裹体的实测值;氟碳铈矿的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 为矿物实测值,其 $\delta^{18}\text{O}$ 为实测值,系矿物中包裹体 CO_2 的实测值。^①据牦牛坪矿区地表溪水分析资料(袁忠信等,1995)。

① 施泽民等,1997,四川省德昌县大陆乡稀土矿床稀土元素的赋存状态及综合利用研究报告(未刊)。

② 杨光明等,1998,四川省德昌县 DL 槽稀土矿床成矿地质条件研究报告(未刊)。

矿体围岩(石英闪长岩)中石英流体包裹体的 δD 为 -96‰ , 其 CO_2 的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 值为 -11.9‰ , 表明成岩流体中有大气降水的参入。

矿体中石英流体包裹体的 δD 为 -87‰ , 其包裹体内的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 采用包裹体均一温度(杨光明等, 1998), 并据 Matsuhisa(1979)的公式计算, 其值为 $+6.0\text{‰}$, 二者皆显示出典型岩浆水的 H_2O 同位素组成特征。矿体石英中流体包裹体的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 值为 -8.4‰ , 与岩浆水的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 值接近。

矿体中氟碳铈矿流体包裹体的 δD 为 $-89\text{‰} \sim -79\text{‰}$, 平均值为 -84‰ , 具有岩浆水的 H 同位素组成特征。矿体中氟碳铈矿样品的 $\delta^{18}\text{O}$ 值在 $+19.2\text{‰} \sim +19.3\text{‰}$, 平均值为 $+19.3\text{‰}$, 高于矿区的各类矿物和岩石值。据氟碳铈矿 O 同位素组成的特征推测, 可能与成矿物质的深部成因有关, 其流体包裹体的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 为 $-8.1\text{‰} \sim -8.0\text{‰}$, 平均值为 -8.0‰ 。

矿体中萤石流体包裹体的 δD 为 $-83\text{‰} \sim -119\text{‰}$, 其平均值(-99‰)低于岩浆水 δD 值的下限, 有的样品(DLx-2-1)的 δD 值(-83‰)竟与牦牛坪矿区地表水(袁忠信等, 1995)的 δD (-83‰)完全一致。萤石流体包裹体的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 为 $-13.6\text{‰} \sim -9.6\text{‰}$, 平均值为 -11.6‰ , 表明成矿流体内有一定数量的大气降水混合。萤石流体包裹体内的 CO_2 的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 值则集中分布在 $-19.0\text{‰} \sim -16.0\text{‰}$, 平均值为 -17.3‰ 。

4 研究结果及其分析

据研究(杨光明等, 1998)大陆槽稀土矿床的成矿年龄为 $9.8 \sim 11.3 \text{ Ma}$ ^①(K-Ar 法), 可以牦牛坪(距大陆槽矿区不远)地表水和现代海水的 H_2O 同位素组成为矿区现代雨水线, 做成矿流体的 $\delta^{18}\text{O}$ - δD 图解, 并将上表中矿体石英和萤石包裹体的 $\delta^{18}\text{O}$ 、 δD 数据投入图内。从该图解不难看出, 矿体中石英的流体包裹体数据落入原生岩浆水范围, 而萤石的流体包裹体则位于以牦牛坪(距大陆槽矿区不远)地表水和现代海水构成的矿区现代雨水线附近, 表明石英的流体包裹体内水为岩浆水, 而萤石的流体包裹体内水更接近大气降水(图 1)^②。

矿体中氟碳铈矿流体包裹体的 δD 为 $-89\text{‰} \sim -79\text{‰}$, 平均值为 -84‰ , 显示出典型的岩浆水 H

同位素组成特征。因此, 就矿物流体包裹体的 H_2O 同位素组成而言, 该图解反映了大陆槽矿区存在属性完全不同的两种端员成矿流体, 推测大陆槽矿区的成矿流体应为有少量大气降水混合的深源成矿流体。

矿体石英中流体包体的 CO_2 的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 值为 -8.4‰ , 与深源碳的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 值接近。矿体中萤石流体包裹体内 CO_2 的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 则集中分布在 $-19.0\text{‰} \sim -16.0\text{‰}$, 其碳同位素组成仍属火成岩还原碳($-36.7\text{‰} \sim -13.0\text{‰}$)的范畴(沈渭洲, 1987)。这种碳同位素组成特点表明, 大陆槽矿床的成矿流体中既有来自深部的深源碳组份, 又有来自于火成岩的还原碳组分。氟碳铈矿样品的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 值为 $-8.1\text{‰} \sim -8.0\text{‰}$, 平均值为 -8.0‰ , 仍显示出深源碳同位素组成的特点, 暗示矿石(氟碳铈矿)中的碳来自深部(上地幔)。

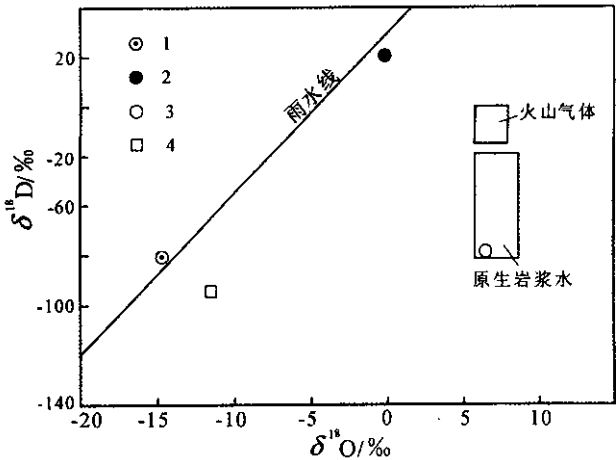


图 1 成矿流体的 $\delta^{18}\text{O}$ - δD 图解

Fig. 1 Graph of $\delta^{18}\text{O}$ vs δD for ore-forming fluids

1-牦牛坪地表水 2-现代海水 3-石英包裹体 4-萤石包裹体
1-surface water in Maoniuping 2-standard mean ocean water ;
3-quartz inclusion 4-fluorite inclusion

大陆槽矿床的矿石和氟碳铈矿的稀土配分皆属 $\text{Ce} > \text{La} > \text{Nd}$ 富 ΣCe 的强选择配分型^②。REE 分布形式为富集 LREE 的向右陡倾斜线, 与幔源成因的金伯利岩、钾镁煌斑岩等相似, 反映出成矿物质的幔源特征。此外, 该矿区矿石的 Nd 同位素研究表明, 矿床 $^{134}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 为 $0.512313 \sim 0.512297$, 与陨石值($0.511836 \sim 0.512638$)相当, 显示了 REE 元素来自地幔源区的特点(蒲广平, 2001)。因此, 矿床的

① 杨光明等, 1998, 四种省德昌县 DL 槽稀土矿床成矿地质条件研究报告(未刊)。
② 施泽民等, 1997, 四川省德昌县大陆乡稀土矿床稀土元素的赋存状态及综合利用研究报告(未刊)。

REE 成矿物质应该说主要来自上地幔。

5 讨论与结论

大陆槽矿床的成矿流体稳定同位素组成分析表明,矿体石英中流体包裹体的 δD 、 $\delta^{18}O$ 和 $\delta^{13}C$ 值分别为 -87‰ 、 $+6.0\text{‰}$ 和 -8.4‰ ,矿石(氟碳铈矿)的 $\delta^{13}C$ 为 -8.0‰ ,矿体萤石中流体包裹体的 δD 和 $\delta^{18}O$ 分别为 -99‰ 和 -11.6‰ 。上述成矿流体的稳定同位素组成表明,大陆槽矿床的成矿流体应为有少量大气降水混合的深源成矿流体。矿石(氟碳铈矿)的 $\delta^{13}C_{PDB}$ 值为 $-8.1\text{‰} \sim -8.0\text{‰}$,平均值为 -8.0‰ ,显示具有深源碳同位素组成特点,暗示矿石(氟碳铈矿)中的碳来自深部(上地幔)。根据获得的成矿物质中硅同位素组成数据(将另文讨论),以及矿体内石英流体包裹体和矿石的碳同位素组成差异,推测成矿过程中的碳元素极有可能源自较深的混合碳源区,即壳幔混熔源区。大陆槽矿床的 REE 成矿物质主要来自上地幔。

因此,可以认为大陆槽稀土矿床应属上地幔混熔物质上侵并与碱性杂岩有关的热液脉型轻稀土矿床。

参 考 文 献

丁悌平主编. 1994. 硅同位素地球化学. 北京: 地质出版社, 27~30.
骆耀南. 1985. 中国攀枝花-西昌裂谷带. 中国攀西裂谷文集. 北京: 地质出版社, 1~25.
蒲广平. 1993. 牦牛坪稀土矿床成矿模式及找矿方向探讨. 四川地质学报, 13(1): 46~57.
蒲广平. 2001. 攀西地区稀土成矿历史演化与喜马拉雅期成矿基本特征. 陈毓川, 王登红编. 喜马拉雅期内生成矿作用研究. 北京: 地震出版社, 104~113.
沈渭洲主编. 1987. 稳定同位素地质. 北京: 原子能出版社, 125.
施泽民. 1993. 四川昌北 M 稀土矿床稀土元素的赋存状态及配分特征. 稀土, 13(3): 247.
唐若龙, 杨登文, 刘述前等. 1985. 攀西裂古的双重构造特征. 中国攀

西裂谷文集. 北京: 地质出版社, 72~84.
袁忠信, 施泽民, 白鸽. 1995. 四川冕宁牦牛坪稀土矿床. 北京: 地震出版社, 103~105.

References

Clayton R N, O'Neil J R, Mayeda T K. 1972. Oxygen isotope exchange between quartz and water. J. Geophys. Res., 77: 3057.
Ding Tiping. 1994. Silicon isotope geochemistry. Beijing: Geological Publishing House, 23~30 (in Chinese).
Luo Yaonan. 1985. Panzhihua-Xichang rift in China. The collected Works of Panxi Rift, China. Beijing: Geological Publishing House, 1~25 (in Chinese).
Matsuhisa Y, Goldsmith J R, Clayton R N. 1979. Oxygen isotopic fractionation in the system quartz-albite-water. Geochim. Cosmochim. Acta, 43: 1131~1140.
O'Neil J R, Taylor H P. 1967. The oxygen isotope and cation exchange chemistry of feldspars. Am. Mineralogist, 52: 1414.
Pu Guangping. 1993. Study on metallogenic model and prospecting direction of Maoniuping REE deposit. Acta Geologica Sichuan, 13(1): 46~57 (in Chinese).
Pu Guangping. 2001. REE mineralization evolution in Panxi rift and basic metallogenic feature in Himalaya age. Study on the Ndogenetic Mineralization in Himalaya age, China. Beijing: Seismological Press, 104~113 (in Chinese with English abstract).
Shen Weizhou. 1987. Geology of stable isotope. Beijing: Atomic Energy Publishing House, 123~125 (in Chinese).
Shi Zemin. 1993. Occurrence shape and partition feature on REE deposit in Changbei Sichuan. Journal of Rare Earths, 13(3): 247 (in Chinese).
Taylor H P. 1968. $^{18}O/^{16}O$ ratios coexisting minerals in glaucophane-bearing metamorphic rock: Bull. Geol. Soc. Am., 79, 1727~1756.
Tang Luolong, Yang Denwen, Liu Shuqian et al. 1985. The double structural feature of Panxi rift. The Collected Works of Panxi Rift, China. Beijing: Geological Publishing House, 72~84 (in Chinese).
Yuan Zhongxin, Shi Zemin, Bai Ge et al. 1995. Mouniuping REE deposit, Mianning county, Sichuan province. Beijing: Seismological Press, 103~105 (in Chinese with English abstract).