

四川木落寨稀土矿床与成矿有关的花岗岩问题及其意义

田世洪^{1,2}, 袁忠信¹, 张桂兰³, 侯增谦^{2,4}, 丁悌平^{1,2}, 白 鸽¹, 邹天人¹, 谢玉玲⁵

(1. 中国地质科学院 矿产资源研究所, 北京 100037; 2. 国土资源部 同位素地质重点实验室, 北京 100037;
3. 内蒙古自治区国土资源信息院, 内蒙 呼和浩特 010020; 4. 中国地质科学院 地质研究所, 北京 100037;
5. 北京科技大学 土木与环境工程学院, 北京 100083)

摘 要:通过对四川木落寨稀土矿床及与成矿有关的花岗岩的岩石特征、岩石化学以及稀土元素地球化学研究表明,与成矿有关的岩石是英碱正长岩,而不是前人认为的黑云母花岗岩。岩石 Pb-Sr-Nd 同位素研究说明矿区英碱正长岩及矿石具深源、甚至幔源特征,不同于通常具壳源特征的黑云母花岗岩。木落寨矿床与邻近的冕宁牦牛坪大型稀土矿床的成矿岩石相同,都为英碱正长岩,它们的矿床特征也相似。木落寨英碱正长岩的厘定对研究区域岩浆活动、寻找同类型的稀土金属矿产有重要意义。

关键词:岩石学 岩石化学 稀土元素地球化学 岩石成因 Pb-Sr-Nd 同位素 四川木落寨稀土矿床

中图分类号: P588.12⁺1; P618.7

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2006)02-0110-09

A discussion on the mineralization-related granite in the Muluozhai REE ore deposit, Sichuan Province and its significance

TIAN Shi-hong^{1,2}, YUAN Zhong-xin¹, ZHANG Gui-lan³, HOU Zeng-qian^{2,4},
DING Ti-ping^{1,2}, BAI Ge¹, ZOU Tian-ren¹ and XIE Yu-ling⁵

(1. Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 2. Key Laboratory on Isotope Geology, Ministry of Land and Resources, Beijing 100037, China; 3. Academy of Information of Land and Resources of Inner Mongolia, Hohhot 010020, China; 4. Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 5. Civil & Environmental Engineering School, Beijing University of Science and Technology, Beijing 100083, China)

Abstract: Based on studies of petrology, petrochemistry and REE geochemistry of the Muluozhai REE ore deposit in Sichuan and the granite related to REE mineralization, it is known that the granite is nordmarkite instead of previously-considered biotite granite. From the study of Pb-Sr-Nd isotopic geochemistry, it is shown that the nordmarkite and ores in this area are characterized by deep source or even mantle source rocks. Obviously, the granite is different from the biotite granite which is generally regarded as a rock with crust source. Igneous rock related to mineralization of the Muluozhai ore deposit in Mianning County is similar to that of the Maoniuping ore deposit, a large-size REE ore deposit in the same county. They are both nordmarkite and have similar metallogenic features. The confirmation of the Muluozhai nordmarkite is of great significance in under-

收稿日期: 2005-04-19; 修订日期: 2005-11-08

基金项目: 国家杰出青年基金资助项目(40425014); 国家重点基础研究发展规划项目(2002CG412610, G1999043211); 中国地质科学院重点开放实验室专项资金资助项目(KL05-9); 中国地质大学(北京)地质过程与矿产资源国家重点实验室基金资助项目(GPMR0548)

作者简介: 田世洪(1973-), 男, 副研究员, 主要从事矿床学和同位素地球化学研究工作。

standing regional magmatism and searching for REE mineral resources of the same kind.

Key words: petrology; petrochemistry; REE geochemistry; petrogenesis; Pb-Sr-Nd isotope; Muluozhai REE deposit in Sichuan Province

木落寨稀土矿床位于四川省冕宁县雅砻江西侧(东经 101°50' 北纬 28°22')(图 1)属于中型稀土金属矿床,矿石中稀土矿物与萤石共生,萤石矿也达中型矿床规模。与牦牛坪和大陆槽等稀土矿床构成了我国三大稀土生产基地之一,即“西南稀土矿床生产基地”。前人在矿床地质、矿物学、岩石学、地球化学

和成矿作用等方面对牦牛坪和大陆槽等稀土矿床做了大量的研究工作(袁忠信等,1993,1995,2001;蒲广平,1995,2001;牛贺才等,1995,1996,2002;阳正熙等,2000,2001;Yuan *et al.*,2000;Wang *et al.*,2001;许成等,2002,2003,2004;王登红等,2002a,2002b;田世洪等,2003;杨光明等^①;万德芳等,

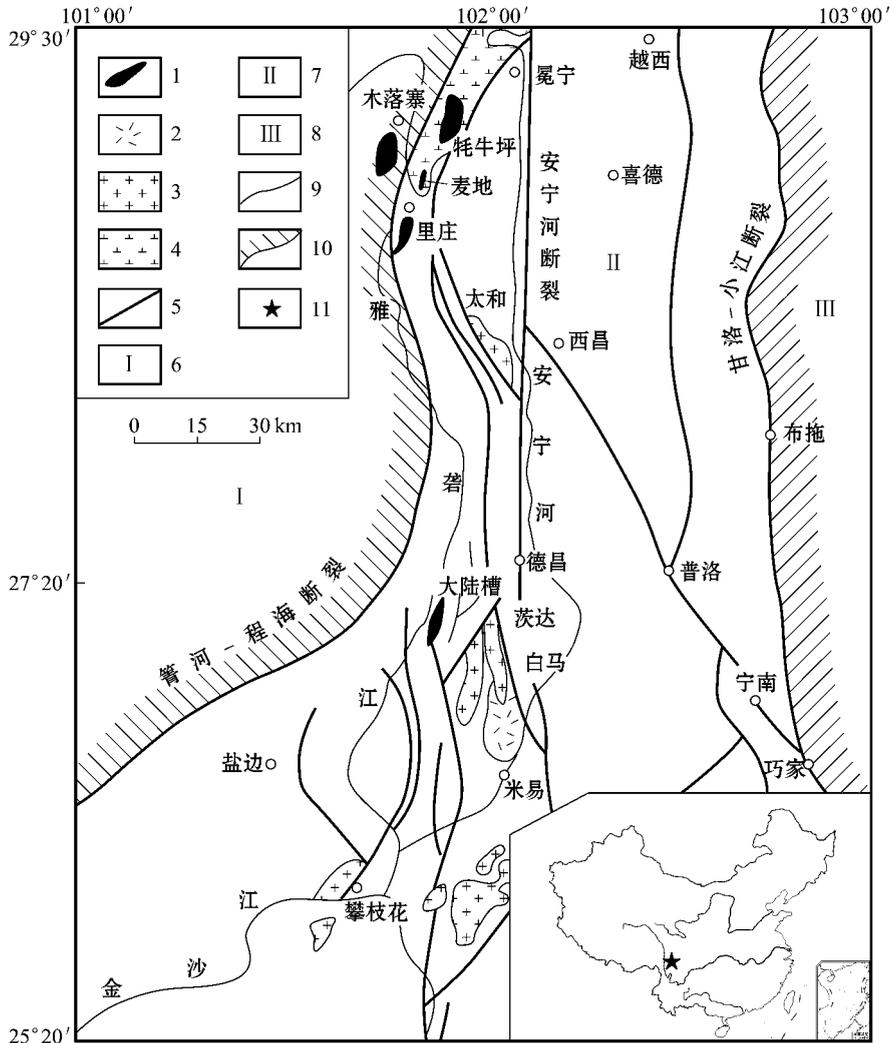


图 1 攀西裂谷稀土矿带地质构造位置略图[据 Wang Denghong 等(2001)修改]

Fig. 1 Geological and tectonic sketch map of the REE ore belt in Panxi rift(modified after Wang Denghong *et al.*,2001)

- 1—喜马拉雅期富稀土碱性杂岩 2—印支期正长岩 3—印支期碱性花岗岩 4—燕山期碱性花岗岩 5—基底断裂 6—陆缘海相中生界分布区 7—前震旦系古陆分布区 8—古生界及陆相中生界分布区 9—河流 10—构造单元分界线 11—研究区
- 1—Himalayan REE-rich alkaline complex ; 2—Indosinian syenite ; 3—Indosinian alkaline granite ; 4—Yanshanian alkaline granite ; 5—basement fracture ; 6—area of the Mesozoic pericontinental marine facies ; 7—area of the Presinian old land ; 8—area of the Palaeozoic and Mesozoic continental strata ; 9—river ; 10—boundary of tectonic unit ; 11—working area

① 杨光明,常 诚,左大华,刘学良. 1998. 四川省德昌县 DL 稀土矿床成矿条件研究. 1~89

2004)取得了丰硕的研究成果。而对于木落寨稀土矿床,由于海拔在4000 m以上,地区山高谷深,交通十分不便,矿床地质研究工作薄弱,目前还没有矿床专题研究论文公开发表。四川省地矿局西昌地质队提交的普查报告认为,木落寨稀土矿床的形成与燕山期黑云母花岗岩有密切关系^①。另据四川省地矿局1:20万金矿幅区域地质调查报告,木落寨萤石稀土矿床在成因上与木落寨黑云母花岗岩有关^②。黑云母花岗岩体边缘产出含霓石的碱性花岗岩,两者之间为渐变接触,后者为前者与碳酸盐岩石接触的同化混染产物。木落寨黑云母花岗岩的成岩时代归属于白垩纪^③。

本区出露的地层仅有二叠纪地层,包括上二叠统峨眉山玄武岩组和阳新统。因受区域动力变质影响,上二叠统峨眉山玄武岩已变成绿片岩,下二叠统阳新灰岩多变质成大理岩。本区主要构造方向与大地构造方向一致,近于NS向,位于锦屏山前缘基底隆起带东翼。由于受雅砻江深断裂的应力影响,在其上盘形成了很多次一级的同向排列的正断层,以NNE-SSW走向的正断层为主,倾角60~70°,为成矿的主要构造。稀土萤石矿体主要分布在花岗岩内外接触带的变质玄武岩及大理岩中,常沿破碎带展布。矿石矿物主要为氟碳铈矿,脉石矿物以萤石、重晶石、方解石、长石、石英、云母和霓辉石为主。矿脉结构以他形不等粒-板柱状镶嵌结构为主,少部分为半自形粒状。矿脉以致密块状、条带状等构造为主。围岩蚀变主要为接触蚀变和热液蚀变,后者主要有绢云母化、黄铁矿化、重晶石化、碳酸盐化等。

笔者对上述与成矿有关的花岗岩进行进一步研究,并提出有关认识供讨论。借助1:20万金矿幅区域地质调查报告提供的木落寨黑云母花岗岩与稀土萤石成矿关系剖面图^④(图2),供读者对矿床地质有一个大致的了解。

1 岩石特征

笔者于木落寨碉楼山矿区萤石稀土矿体外侧原定名为黑云母花岗岩的岩石中取样,经室内研究大体有如下3组岩石:

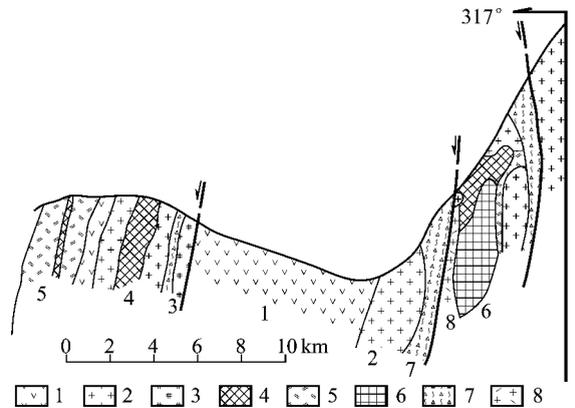


图2 木落寨英碱正长岩与稀土萤石成矿关系剖面图
Fig. 2 Cross section showing the relationship between nordmarkite and REE and fluorite mineralization in the Muluozhai REE deposit

- 1—变质基性岩 2—英碱正长岩 3—伟晶花岗岩 4—块状萤石;
5—碳酸盐化变质基性岩 6—稀土萤石矿脉;
7—破碎带 8—碱性花岗岩
1—metamorphic basic rock; 2—nordmarkite; 3—pegmatitic granite; 4—massive fluorite; 5—carbonatized metamorphic basic rock; 6—REE and fluorite ore vein; 7—fracture zone; 8—alkali granite porphyry

第1组:白色、黄白色,细-中粒结构,块状构造。镜下鉴定组成矿物有微斜长石及条纹长石70%~75%,钠长石2%~3%,石英8%~10%,霓辉石10%~12%,钠铁闪石2%~3%,褐铁矿或赤铁矿2%~3%。微量矿物有榍石、磷灰石、黄铁矿、重晶石、萤石等。霓辉石集合体呈细脉状或细网脉状围绕或穿插长英矿物(图3a、3b)。霓辉石的形成晚于长石或石英,这是碱性岩的一种特征矿物形成顺序。

第2组:颜色、结构构造与第1组岩石大体类似。组成矿物有微斜长石及条纹长石60%~65%,钠长石或钠奥长石2%~4%,石英20%~22%,霓辉石2%~10%,褐铁矿或赤铁矿2%~8%。霓辉石和赤铁矿的含量变化较大,部分氧化铁可能是由霓辉石氧化而成。微量矿物有榍石、锆石、磷灰石、黑云母(或金云母)、重晶石和氟碳铈矿(图3c)。镜下岩石具不等粒似斑状结构,石英呈细小颗粒的单晶或集合体围绕或穿插粗晶长石(图3d)。

按照国际地科联火成岩分类学分委会提出的Q-A-P分类,木落寨的上述两组岩石应归属于英碱

① 四川省地质局西昌地质队, 1961. 冕宁木落寨稀土矿区地质普查报告, 1~81.

② 四川省地质局, 1974. 1:20万金矿幅区域地质调查报告, 90~105.

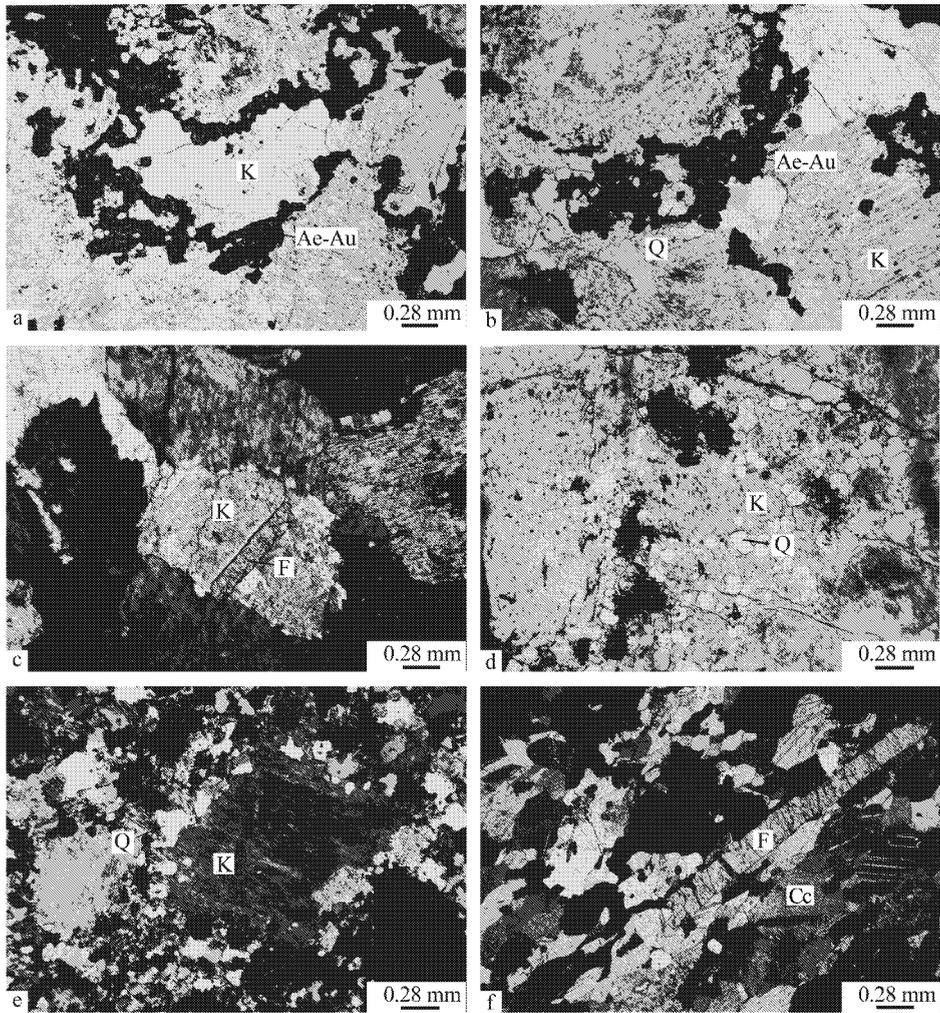


图 3 赋矿岩石的显微照片

Fig. 3 Microphotos of ore-bearing rocks

a—英碱正长岩中的霓辉石(Ae-Au)集合体呈网脉状穿插长石(K),单偏光;b—英碱正长岩中的霓辉石集合体呈网脉状穿插他形石英(Q),单偏光;c—碱性花岗岩中的氟碳铈矿(F),正交偏光;d—碱性花岗岩中的石英呈细小颗粒集合体穿插粗晶长石,单偏光;e—碱性花岗岩中的细小石英颗粒沿长石斑晶颗粒边缘分布,构成珠边结构,正交偏光;f—细粒方解石(Cc)矿石中的氟碳铈矿,正交偏光

a—feldspar penetrated by aegirine-augite aggregates distributed as networks innordmarkite , single polarized ; b—allotype quartz penetrated by aegirine-augiteaggregates distributed as networks in nordmarkite , single polarized ; c—bastnaesite in alkali granite , cross polarized ; d—coarse-grained feldspar penetrated by quartz distributed as fine-grained aggregates in alkali granite , single polarized ; e—fine-grained quartz distributed around the grains of feldspar phenocryst in alkali granite porphyry , forming pearlitic texture , cross polarized ; f—bastnaesite in fine-grained calcite ores , cross polarized

正长岩以及与英碱正长岩接近的碱性花岗岩。英碱正长岩因含霓辉石又可称为石英霓辉正长岩。1:20 万金矿幅区域地质调查报告指出^① 木落寨碱性花岗岩的石英含量为 12%~20% ,斜长石含量为<10%。按照上述 Q-A-P 分类,也属于英碱正长岩。

第 3 组:碱性花岗斑岩,岩石呈脉状产出,以其粒度细小,结构不清,野外定名为硅质岩。镜下鉴定

矿物组成为微斜长石及条纹长石含量 65% ,石英 25% ,霓辉石及钠铁闪石 4% ,褐铁矿或赤铁矿 3% ,重晶石 2%。微量矿物有萤石、榍石、黑云母(或金云母)。岩石具微细珠边结构,细小石英颗粒沿长石斑晶周围分布(图 3e)。图 3f 为英碱正长岩外接触带断裂破碎带中的方解石萤石氟碳铈矿矿体。

① 四川省地质局. 1974. 1:20 万金矿幅区域地质调查报告. 90-105.

2 岩石化学

英碱正长岩、碱性花岗斑岩和碱性花岗岩的主要元素含量及计算的 CIPW 标准矿物百分含量列于表 1。英碱正长岩 SiO_2 含量为 66.82%~67.07%，平均为 66.95%， $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ 为 10.05%~11.00%，平均为 10.53%， $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ 为 0.80~1.08，平均为 0.94，AKI [即过碱指数，为 $(\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})/\text{Al}_2\text{O}_3$ 的分子比] 为 0.97~1.02，平均为 1.00，碱度率 (A. R.) 为 4.13，分异指数 (DI) 为 88.43~88.44，平均为 88.44。所有这些特征均类似于牦牛坪英碱正长岩 (袁忠信等, 1995)。在火成岩分类的 Q-A-P 图上

(图 4) 英碱正长岩成分点落在石英含量低于 20%、高于 5% 的 Q-A 线上或附近。该岩石以前被称为黑云母花岗岩^①。按照国际地科联火成岩分类学分会的规定，在成分点投图时应以实测矿物含量为准。结合上述显微镜下岩石学特征，同时以实测矿物含量的 Q-A-P 投图，表明该类岩石应称为英碱正长岩，而不是黑云母花岗岩。在不同 $p_{\text{H}_2\text{O}}$ 条件下的 Q-Ab-Or 体系等温图上 (图 5)，英碱正长岩的成分点落在 750~800℃ 温度区间内，表明岩石是由较高温的岩浆结晶形成的。

碱性花岗斑岩 SiO_2 含量为 75.94%， $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ 为 9.24%， $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ 为 1.47，AKI 为 1.01，碱度率 (A. R.) 为 5.52，分异指数 (DI) 为 97.74，其

表 1 四川木落寨稀土矿床火成岩主要元素成分

$\omega_B/\%$

Table 1 Major element compositions of the igneous rocks in the Muluozhai REE deposit, Sichuan Province

岩石名称 样号	英碱正长岩			碱性花岗斑岩		碱性花岗岩
	ML-001	ML-011	MO*	ML-012	MLZ-8	MLZ-9
SiO_2	67.07	66.82	67.52~69.15	75.94	71.37	71.82
TiO_2	0.27	0.53	0.15~0.24	0.09	0.22	0.20
Al_2O_3	14.30	14.29	14.20~14.80	13.02	14.52	15.21
Fe_2O_3	2.22	2.27	1.25~1.68	0.16	1.08	0.59
FeO	1.06	1.13		0.52	0.95	0.64
MnO	0.08	0.12	0.03~0.05	0.01	0.06	0.04
MgO	1.32	0.85	0.30~0.45	0.10	0.27	0.05
CaO	1.69	2.18	1.17~1.87	0.31	0.89	0.15
Na_2O	4.88	5.21	5.07~6.18	5.50	5.36	5.07
K_2O	6.12	4.84	4.43~5.94	3.74	4.74	5.72
P_2O_5	0.35	0.21	0.07~0.12	0.02	0.13	0.05
H_3O^+	0.52	0.66		0.30	0.24	0.50
CO_2	0.10	0.23		0.19	0.19	0.16
烧失量	0.42	0.52	1.24~2.66	0.47	0.30	0.38
F	0.18	0.12	—	0.12	0.07	0.07
总计	100.58	99.98	98.83~100.00	100.49	100.39	100.65
AKI	1.02	0.97	0.97~1.69	1.01	0.96	0.96
$\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$	11.00	10.05	10.05~11.02	9.24	10.10	10.79
$\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$	0.80	1.08	1.02~1.40	1.47	1.13	0.89
A. R.	4.13	4.13	4.04~4.91	5.52	4.80	4.89
Q	12.30	14.60	12.49~17.07	29.08	20.34	20.07
C	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.52
Or	36.40	29.05	26.18~35.10	22.23	28.12	33.96
Ab	39.73	44.78	42.90~48.58	46.42	45.54	43.10
An	0.00	1.33	0.00~1.28	0.00	1.57	0.45
Hm	0.00	0.56	0.39~1.51	0.00	0.00	0.00
Ac	1.61	0.00	0.00~3.27	0.35	0.00	0.00
Di	5.00	5.66	1.50~2.20	1.23	1.73	0.00
Mt	2.44	2.54	2.34~2.48	0.06	1.57	0.86
DI	88.44	88.43	83.93~98.36	97.74	94.00	97.12

注 主要元素含量用 X 光荧光光谱法 (XRF) 测定，其中烧失量通常用 1g 样品加热 1000℃ 保持 5h 的方法测定，FeO 用化学滴定法测定，分析工作在国家地质实验测试中心完成；* 数据为牦牛坪样品 (袁忠信等, 1995)。

① 四川省地质局西昌地质队, 1961. 冕宁木落寨稀土矿区地质普查报告, 1~81.

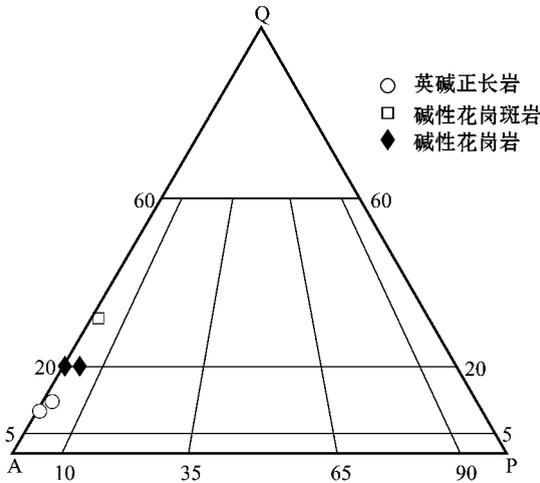


图 4 英碱正长岩、碱性花岗斑岩和碱性花岗岩的 Q-A-P 图 (Le Maitre, 2002)
Fig. 4 Q-A-P diagram of nordmarkite, alkali granite porphyry and alkali granite (after Le Maitre, 2002)

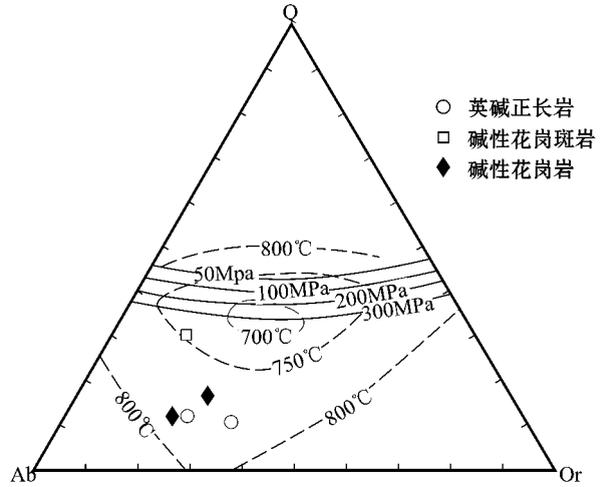


图 5 英碱正长岩、碱性花岗斑岩和碱性花岗岩的 Q-Ab-Or 图 (Tuttle and Bowen, 1958)
Fig. 5 Q-Ab-Or diagram of nordmarkite, alkali granite porphyry and alkali granite (after Tuttle and Bowen, 1958)

碱质高,硅质也高,应归于花岗岩之列。碱性花岗斑岩在 Q-A-P 图上的投点仍落在 Q-A 线上(图 4)。在不同 p_{H_2O} 条件下的 Q-Ab-Or 体系等温图上(图 5),碱性花岗斑岩的成分点落在 700~750°C 温度区间内。

碱性花岗岩 SiO_2 含量为 71.37%~71.82%, 平均为 71.60%, K_2O+Na_2O 为 10.10%~10.79%, 平均为 10.45%, Na_2O/K_2O 为 0.89~1.13, 平均为 1.01, AKI 为 0.96, 碱度率(A.R.)为 4.80~4.89, 平均为 4.85, 分异指数(DI)为 94.00~97.12, 平均为 95.56。碱性花岗岩在 Q-A-P 图上的投点落在 Q-A 线附近(图 4)。将换算得出的标准矿物成分投影在不同 p_{H_2O} 条件下的 Q-Ab-Or 体系等温图上(图 5),落在 750~800°C 温度区间内。

3 稀土元素地球化学

英碱正长岩、碱性花岗斑岩和碱性花岗岩的稀土元素含量列于表 2。相应的稀土元素球粒陨石标准化曲线示于图 6。由表 2 和图 6 可以看出,英碱正长岩的稀土元素总量很高,最高为 1266.6×10^{-6} , 最低为 895.3×10^{-6} , 平均为 1080.95×10^{-6} 。岩石的轻稀土元素含量高于重稀土元素, $LREE/HREE$ 为 20.79~29.76, 平均为 25.28。在图上呈较陡的右倾曲线, Eu 和 Ce 异常不明显, Eu/Eu^* 为 0.82~

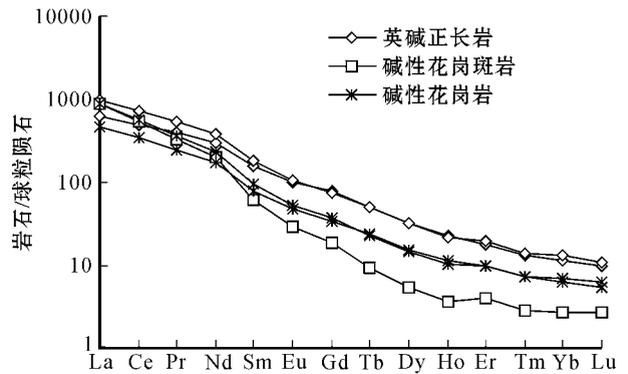


图 6 碱性花岗岩、英碱正长岩和碱性花岗斑岩的稀土球粒陨石标准化曲线
Fig. 6 Chondrite-normalized REE patterns of alkali granite, nordmarkite and alkali granite porphyry

0.86, 平均为 0.84, Ce/Ce^* 为 0.95~0.97, 平均为 0.96。岩石的稀土元素含量分布显示形成英碱正长岩的岩浆未经多少分异作用,其特征类似于深源岩石。所有这些特征均类似于牦牛坪英碱正长岩(袁忠信等,1995)。

碱性花岗斑岩的稀土元素总量为 888.4×10^{-6} 。岩石的轻稀土元素含量远高于重稀土元素, $LREE/HREE$ 为 99.95。图上呈陡的右倾曲线, Eu 和 Ce 异常不明显, Eu/Eu^* 为 0.73, Ce/Ce^* 为 0.88。

碱性花岗岩的稀土元素含量最高为 955.2×10^{-6} , 最低为 586.3×10^{-6} , 平均为 770.75×10^{-6} 。

表 2 四川木落寨稀土矿床火成岩稀土元素浓度和特征值

 $\omega_B/10^{-6}$

Table 2 REE contents and characteristic values of igneous rocks in the Muluozhai REE deposit, Sichuan Province

岩石名称 样号	英碱正长岩			碱性花岗岩斑岩		碱性花岗岩
	ML-001	ML-011	MO*	ML-012	MLZ-8	MLZ-9
La	191	307	158~1124	274	143	280
Ce	397	586	285~1725	431	274	450
Pr	47.8	65.1	32~188	40.3	29.9	44.2
Nd	181	225	94~528	120	101	139
Sm	30.1	34.7	14~44	12.1	15.2	18.4
Eu	7.34	7.64	0.75~7.5	2.16	3.51	3.86
Gd	20.0	19.4	9.3~31	4.82	8.92	9.42
Tb	2.35	2.36	1.1~2.4	0.45	1.12	1.05
Dy	10.3	10.3	3.6~5.8	1.70	4.97	4.68
Ho	1.60	1.58	0.5~0.8	0.26	0.81	0.73
Er	3.77	4.02	1.3~2.4	0.83	2.02	2.09
Tm	0.43	0.44	0.2~0.3	0.09	0.24	0.24
Yb	2.32	2.72	1.3~2.4	0.56	1.43	1.31
Lu	0.32	0.36	0.2~0.3	0.09	0.21	0.18
∑REE	895.3	1266.6	605.70~3205.4	888.4	586.3	955.2
LREE/HREE	20.79	29.76	14.33~56.33	99.95	28.73	47.49
Eu/Eu*	0.86	0.82	0.52~0.96	0.73	0.85	0.80
Ce/Ce*	0.97	0.95	0.83~0.92	0.88	0.96	0.88

注 稀土元素含量用等离子质谱法(ICP-MS)测定,分析工作在国家地质实验测试中心完成; * 数据为牦牛坪样品,据袁忠信等(1995)。

岩石的轻稀土含量大于重稀土, LREE/HREE 为 28.73~47.49, 平均为 38.11。图上呈较陡的右倾曲线, Eu 和 Ce 异常不明显, Eu/Eu* 为 0.80~0.85, 平均为 0.83, Ce/Ce* 为 0.88~0.96, 平均为 0.92。

4 Pb-Sr-Nd 同位素

岩石中长石及矿石中方解石的 Sr、Nd、Pb 同位素组成列于表 3 相应的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ - $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 关系示于图 7。由表 3 可以看出, 木落寨稀土矿床岩石和矿石的同位素地球化学组成变化很小, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.706598 \sim 0.707272$, $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.512297 \sim$

0.512393 , $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 18.2894 \sim 18.4329$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 15.6169 \sim 15.6682$, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 38.6077 \sim 38.8963$, 与 EM I 型地幔源区的同位素组成基本一致, 且在 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ - $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 图(图 7)上样品点落于 EM I 附近, 表明矿床成岩成矿物质来自富集地幔, 具深源甚至幔源特征, 与深部动力学过程有关。这与具壳源特征的黑云母花岗岩或钾长花岗岩迥然不同。

5 结语

扬子板块西缘雅砻江断裂带与安宁河断裂带间

表 3 四川木落寨稀土矿床长石和方解石的锶、钕、铅同位素组成

Table 3 Sr, Nd and Pb isotope compositions of feldspar and calcite in the Muluozhai REE deposit, Sichuan Province

样号	矿物名称	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$
ML-001	微斜长石	0.706811	0.512369	18.3156	15.6231	38.6239
ML-011	微斜长石	0.707272	0.512368	18.4329	15.6235	38.8963
ML-008	方解石	0.706581	0.512413	18.2894	15.6172	38.6077
ML-009	方解石	0.706601	0.512297	18.2948	15.6208	38.6205
MLZ-6	方解石	0.706598	0.512356	18.3457	15.6682	38.7865
MLZ-8	斜长石	0.706946	0.512393	18.2787	15.6169	38.6209

方解石和长石样品的 Pb、Sr、Nd 同位素分析由南京大学地球科学系成矿作用国家重点实验室同位素地球化学实验室濮巍、赵葵东利用 Finnigan 公司 TRITON TI 型热电离质谱仪完成, 实验全流程空白 $\text{Pb} < 1 \text{ ng}$, 标样 NBS-981 的分析结果为 $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} = 2.16441 \pm 0.00097$, $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} = 0.91439 \pm 0.00017$, $^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} = 0.059003 \pm 0.000084$, $^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 和 $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 的分析误差分别优于 0.05% 和 0.005%。Sr、Nd 同位素分析流程相似, 分析全流程空白 $\text{Rb} = 50 \times 10^{-11} \text{ g/g}$, $\text{Sr} = 50 \times 10^{-11} \text{ g/g}$, $\text{Sm} = 7 \times 10^{-11} \text{ g/g}$, $\text{Nd} = 8 \times 10^{-11} \text{ g/g}$, 标样 NBS-987 的分析结果为 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.710234 \pm 7$, $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.511838 \pm 8$; Rb/Sr 和 Sm/Nd 分析误差均优于 0.1%。

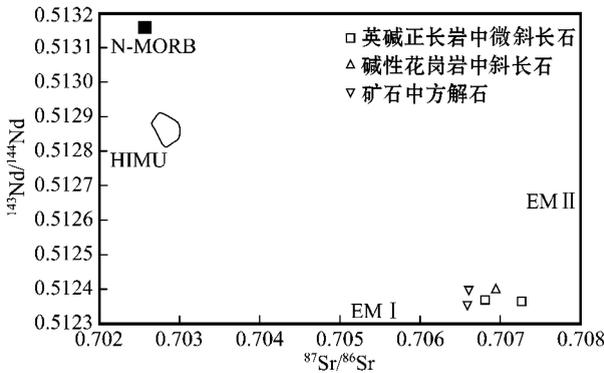


图 7 四川木落寨稀土矿床长石和方解石的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ - $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 图(原图据 Hart, 1988)

Fig. 7 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ - $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ diagram of feldspar and calcite in the Muluozhai REE deposit, Sichuan Province

的一条狭长带内,岩浆活动异常频繁。带的北段出露有两个较大的岩体——冕宁岩体和里庄岩体。两个岩体出露面积均在 200 km² 以上,呈北北东向狭长带状展布。按 1:20 万冕宁幅^①及金矿幅^②区域地质调查报告,岩石主要由黑云母花岗岩及钾长花岗岩组成。冕宁岩体形成于三叠纪,为印支期岩浆活动产物,里庄岩体形成于白垩纪,为燕山期岩浆活动产物。两个岩体边缘常产出碱性花岗岩、石英正长岩、正长岩等偏碱性火成岩,并常伴有稀土金属矿化。这些偏碱性的小岩体被认为是两个大岩体与地层岩石,主要是大理岩或玄武岩接触的同化混染产物,其形成时代与主岩体相同。但是,据笔者室内外研究结果,认为木落寨矿床的花岗岩不是黑云母花岗岩,而是英碱正长岩。英碱正长岩的成岩时代很可能不是印支期或燕山期,而是喜马拉雅期(英碱正长岩中微斜长石 Ar-Ar 法坪年龄为 31.2 Ma,另文发表)。

与木落寨矿床邻近的冕宁牦牛坪矿床是一个国内知名的大型轻稀土矿床。该矿床产于钾长花岗岩体边缘与稀土成矿有关的小岩体中,原定名为碱性花岗岩,并被认为其形成时代为燕山期。后经研究确定为英碱正长岩,形成时代为喜马拉雅期(40.3~12.2 Ma)。Sr、Nd 同位素研究得知成岩成矿物质具深源特征(袁忠信等,1995)。区域南侧德昌县大陆槽大型稀土矿床也产于英碱正长岩、石英正长岩中,成矿时代为 15.9~10.4 Ma^③。木落寨矿床在成矿

岩石组成和结构构造、矿体产状及组成以及矿床地球化学特征等方面与冕宁牦牛坪和德昌大陆槽矿床很相似,故推测木落寨矿床英碱正长岩可能是喜马拉雅期岩浆活动产物。

木落寨矿床英碱正长岩的岩石、岩石化学、稀土元素及 Pb-Sr-Nd 同位素的研究对了解和确定区域偏碱性小岩体的性质、成因、形成时代,尤其是对有关稀土金属矿产的寻找有很大意义。

致谢 野外工作得到骆耀南、蒲广平、余波等同志的大力支持和帮助,室内工作得到国家地质实验测试中心有关同志的热情帮助,在此一并表示衷心感谢!

References

- Hart S R. 1988. Heterogeneous mantle domains: signatures, genesis and mixing chronologies [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 90: 273~296.
- Le Maitre R W. 2002. *Igneous Rocks: A Classification and Glossary of Terms* [M]. Cambridge University Press, 1~250.
- Niu Hecai, Chen Fanrong and Lin Maoqing. 1996. REE geochemistry of magmatogenic barite and fluorite [J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 16(4): 382~388 (in Chinese with English abstract).
- Niu Hecai and Lin Chuanxian. 1995. Study on the fluid-melt inclusions in fluorite [J]. *Geological Review*, 41(1): 28~33 (in Chinese with English abstract).
- Niu Hecai, Shan Qiang, Chen Xiaoming, et al. 2002. Relationship between light rare earth deposits and mantle processes in Panxi rift, China [J]. *Science in China (Series D)*, 32(Supp.): 33~40 (in Chinese).
- Pu Guangping. 1995. Metallogenic conditions in metallogenic belt of REE in west Mianning region [J]. *Acta Geologica Sichuan*, 15(1): 60~65 (in Chinese with English abstract).
- Pu Guangping. 2001. The evolution history of rare earth elements mineralization and major features of Himalayan REE deposits in the Panzhilua - Xichang area, Sichuan [A]. Chen Yuchuan, Wang Denghong. *Study on Himalayan Endogenic Mineralization* [C]. Beijing: Seismological Press, 104~116 (in Chinese with English abstract).
- Tian Shihong, Ding Tiping and Mao Jingwen. 2003. Mantle fluids involved in the ore-forming process of the Maoniuping REE deposit, Sichuan: Evidence of C, H, O and S isotopes [J]. *Acta Geoscientifica Sinica*, 24(6): 543~547 (in Chinese with English abstract).

① 四川省地质局. 1966. 1:20 万冕宁幅区域地质调查报告. 85~102.

② 四川省地质局. 1974. 1:20 万金矿幅区域地质调查报告. 90~105.

③ 杨光明,常诚,左大华,刘学良. 1998. 四川省德昌县 DL 稀土矿床成矿条件研究. 1~89

- Tuttle O F and Bowen N L. 1958. Origin of granite in the light of experimental studies in the system $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8\text{-KAlSi}_3\text{O}_8\text{-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$ [J]. Geological Society of America , 74 : 1~200.
- Wan Defang and Tian Shihong. 2004. Stable isotope evidence of deep source ore-forming fluid in the Dalucao REE deposit of the Panxi rift [J]. Acta Geoscientica Sinica , 25(2): 161~164 (in Chinese with English abstract).
- Wang Denghong , Yang Jianmin , Yan Shenghao , *et al.* 2001. A special orogenic-type rare earth element deposit in Maoniuping , Sichuan , China : Geology and Geochemistry [J]. Resource Geology , 15(3): 177~188.
- Wang Denghong , Yang Jianmin , Yan Shenghao , *et al.* 2002a. Dynamics of the REE mineralization in Maoniuping area , Sichuan Province : Isotopic geochemistry of carbonatites [J]. Journal of Chengdu University of Technology , 29(5): 539~544 (in Chinese with English abstract).
- Wang Denghong , Yu Jinjie , Yang Jianmin , *et al.* 2002b. Inert gas isotopic studies and dynamic background of Cenozoic ore-forming process in China [J]. Mineral Deposits , 21(2): 179~186 (in Chinese with English abstract).
- Xu Cheng , Huang Zhilong , Liu Congqiang *et al.* 2003. Indicator of fluorite Sr and Nd isotope to mantle-derived ore-forming fluids in Maoniuping REE deposit , Sichuan Province , China [J]. Earth Science , 28(1): 41~46 (in Chinese with English abstract).
- Xu Cheng , Huang Zhilong , Liu Congqiang , *et al.* 2004. Pb isotopic geochemistry of carbonatites in Maoniuping REE deposit , Sichuan Province , China [J]. Acta Petrologica Sinica , 20(3): 495~500 (in Chinese).
- Xu Cheng , Huang Zhilong , Qi Liang , *et al.* 2002. REE and isotopic geochemistry of fluorites in the Maoniuping rare-earth deposit , Sichuan Province [J]. Geochimica , 31(2): 180~190 (in Chinese with English abstract).
- Yang Zhengxi , Williams-Jones A E and Pu Guangping. 2000. Geological features of Maoniuping REE deposit , Sichuan , China [J]. Journal of Mineral Petrology , 20(2): 28~34 (in Chinese with English abstract).
- Yang Zhengxi , Williams-Jones A E and Pu Guangping. 2001. A fluid inclusion study of Maoniuping REE deposit , Sichuan , China [J]. Journal of Mineral Petrology , 21(2): 26~33 (in Chinese with English abstract).
- Yuan Zhongxin and Bai Ge. 2001. Temporal and spatial distribution of endogenic rare and rare earth mineral deposits of China [J]. Mineral Deposits , 20(4): 347~354 (in Chinese with English abstract).
- Yuan Zhongxin , Bai Ge , Ding Xiaoshi , *et al.* 1993. U-Pb isotopic age of zircon from the Maoniuping alkali granite , Sichuan Province and its geological significance [J]. Mineral Deposits , 12(2): 189~192 , 147 (in Chinese with English abstract).
- Yuan Zhongxin , Bai Ge and Zhang Zongqing. 2000. Trachytic rock and associated fenitization in the Bayan Obo ore deposit , Inner Mongolia , China : Evidence for magmatic-hydrothermal mineralization related to a carbonatitic complex [J]. Acta Geologica Sinica (English Edition) , 74(2): 148~153.
- Yuan Zhongxin , Shi Zemin , Bai Ge , *et al.* 1995. The Maoniuping Rare Earth Ore Deposit , Mianning County , Sichuan Province [M]. Beijing : Seismological Press , 1~150 (in Chinese).

附中文参考文献

- 牛贺才,陈繁荣,林茂青. 1996. 岩浆成因重晶石、萤石的稀土元素地球化学特征 [J]. 矿物学报, 16(4): 382~388.
- 牛贺才,林传仙. 1995. 萤石中流体-熔融包裹体的研究 [J]. 地质论评, 41(1): 28~33.
- 牛贺才,单强,陈小明,等. 2002. 攀西裂谷带轻稀土矿床与地幔过程的关系 [J]. 中国科学(D辑), 32(增刊): 33~40.
- 蒲广平. 1995. 冕西稀土成矿带成矿条件探讨 [J]. 四川地质学报, 15(1): 60~65.
- 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 [A]. 陈毓川,王登红. 喜马拉雅期内生成矿作用研究 [C]. 北京:地震出版社, 104~116.
- 田世洪,丁悌平,毛景文. 2003. 四川牦牛坪轻稀土矿床地幔流体成矿的碳、氢、氧、硫同位素证据 [J]. 地球学报, 24(6): 543~547.
- 万德芳,田世洪. 2004. 攀西大陆槽稀土矿床深源成矿流体的稳定同位素证据 [J]. 地球学报, 25(2): 161~164.
- 王登红,杨建民,闫升好,等. 2002a. 四川牦牛坪碳酸岩的同位素地球化学及其成矿动力学 [J]. 成都理工学院学报, 29(5): 539~544.
- 王登红,余金杰,杨建民,等. 2002b. 中国新生代成矿作用的情性气体同位素研究与动力学背景 [J]. 矿床地质, 21(2): 179~186.
- 许成,黄智龙,刘丛强,等. 2003. 四川牦牛坪轻稀土矿床萤石 Sr、Nd 同位素对地幔成矿流体的指示意义 [J]. 地球科学, 28(1): 41~46.
- 许成,黄智龙,刘丛强,等. 2004. 牦牛坪轻稀土矿床碳酸岩 Pb 同位素地球化学 [J]. 岩石学报, 20(3): 495~500.
- 许成,黄智龙,漆亮,等. 2002. 四川牦牛坪轻稀土矿床萤石稀土元素、同位素地球化学 [J]. 地球化学, 31(2): 180~190.
- 阳正熙, Williams-Jones A E, 蒲广平. 2000. 四川冕宁牦牛坪轻稀土矿床地质特征 [J]. 矿物岩石, 20(2): 28~34.
- 阳正熙, Williams-Jones A E, 蒲广平. 2001. 四川牦牛坪轻稀土矿床矿物流体包裹体研究 [J]. 矿物岩石, 21(2): 26~33.
- 袁忠信,白 鸽. 2001. 中国内生稀有稀土矿床的时空分布 [J]. 矿床地质, 20(4): 347~354.
- 袁忠信,白 鸽,丁孝石,等. 1993. 四川冕宁牦牛坪碱性花岗岩锆石铀-铅同位素年龄及其地质意义 [J]. 矿床地质, 12(2): 189~192 , 147.
- 袁忠信,施泽民,白 鸽,等. 1995. 四川冕宁牦牛坪轻稀土矿床 [M]. 北京:地震出版社, 1~150.