

四川冕宁木落寨稀土矿床成岩成矿的⁴⁰Ar/³⁹Ar年代学研究^{*}

田世洪^{1,2} 侯增谦^{2,3} 袁忠信¹ 陈文^{2,3} 谢玉玲⁴ 费红彩¹ 尹淑苹⁴ 衣龙升⁴ 周肃⁵

TIAN ShiHong^{1,2}, HOU ZengQian^{2,3}, YUAN ZhongXin¹, CHEN Wen^{2,3}, XIE YuLing⁴, FEI HongCai¹, YIN ShuPing⁴, YI LongSheng⁴ and ZHOU Su⁵

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. 中国地质科学院地质研究所, 北京 100037

4. 北京科技大学土木与环境工程学院, 北京 100083

5. 中国地质大学(北京)地质过程与矿产资源国家重点实验室, 北京 100083

1. *Institute of Mineral Resource, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China*

2. *Key Laboratory on Isotope Geology, Ministry of Land and Resources, Beijing 100037, China*

3. *Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China*

4. *Civil & Environmental Engineering School, Beijing University of Science and Technology, Beijing 100083, China*

5. *State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083*

2006-03-27 收稿, 2006-06-25 改回.

Tian SH, Hou ZQ, Yuan ZX, Chen W, Xie YL, Fei HC, Yin SP, Yi LS and Zhou S. 2006. ⁴⁰Ar/³⁹Ar geochronology of rocks and ores from the Muluozhai REE deposit in Mianning County, Sichuan province. *Acta Petrologica Sinica*, 22(10): 2431–2436

Abstract The Muluozhai REE deposit is located in the Mianning County, Sichuan Province and at the western side of Yalongjiang River. The Muluozhai REE deposit is tectonically located on the northern Jinpingshan Mountains, a Cenozoic intracontinental orogenic belt in southwestern China. The orebodies occurred in the structural fracture zones and ore veins between the nordmarkite and metamorphic diabase or marble. The Muluozhai district, with an elevation more than 4000 m, is characterized by high mountain and dangerous roads and lower degree of geological research works and has no isotopic data reported on rocks and ores so far. The nordmarkite was previously considered to be formed during the Yanshanian. In this paper, we report ⁴⁰Ar-³⁹Ar dating on microcline from nordmarkite and phlogopite in ores, which yielded a plateau age of 31.2 ± 0.56Ma and inverse isochronal age of 30.6 ± 2.6Ma for microcline in nordmarkite, and a plateau age of 35.5 ± 0.5Ma and inverse isochronal age of 35 ± 1Ma for phlogopite in ores, respectively. The different closed temperature of argon isotope system of microcline (about 170°C) and phlogopite (350°C) resulted in the age of microcline younger than that of phlogopite. The relatively large differences suggested that both the orebodies and pluton were in a relatively slow cooling stage with a cooling rate of about 41.9°C/Ma during 35.5 ~ 31.2Ma. The results indicate that the ores and nordmarkite have identical formation ages, belonging to the Himalayan period. Confirmation of the diagenetic and metallogenic ages of the Muluozhai REE deposit is of great significance on understanding the formation ages of the regional igneous rocks and searching for REE mineral resources of the same kind.

Key words ⁴⁰Ar/³⁹Ar ages, Nordmarkite, Muluozhai REE deposit, Mianning County, Sichuan Province

摘 要 木落寨稀土矿床位于四川省冕宁县境内,雅砻江西侧。矿体产于英碱正长岩与变质辉绿岩和大理岩接触的构造破碎带中。此前,英碱正长岩被认为形成于燕山期,但没有任何同位素年龄资料的报道。本文通过⁴⁰Ar/³⁹Ar快中子活化分

^{*} 本文得到国家杰出青年基金(编号:40425014)、国家重点基础研究发展规划项目(编号:2002CG412610和G1999043211)、中国地质科学院重点开放实验室专项资金(编号:KL05-9)和中国地质大学(北京)地质过程与矿产资源国家重点实验室资金(编号:GPMR0548)联合资助。

第一作者简介:田世洪,男,1973年生,博士,副研究员,主要从事矿床学和同位素地球化学研究工作, E-mail:nfjj@mx.cei.gov.cn

析,得出英碱正长岩微斜长石的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 坪年龄为 $31.2 \pm 0.56\text{Ma}$,等时线年龄为 $30.6 \pm 2.6\text{Ma}$ 。矿石金云母的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 坪年龄为 $35.5 \pm 0.5\text{Ma}$,等时线年龄为 $35 \pm 1\text{Ma}$ 。微斜长石的年龄比金云母年龄偏小,是因为两者的Ar同位素封闭温度不同,前者约为 170°C ,而后者为 350°C 。两者年龄差较大表明在 $35.5 \sim 31.2\text{Ma}$ 之间,矿体和岩体均进入了较慢冷却阶段,冷却速率约为 $41.9^\circ\text{C}/\text{Ma}$ 。因此,木落寨矿床的矿石与英碱正长岩的形成年龄接近,均属新生代喜马拉雅期。木落寨矿床成矿年龄的确定,对于进一步了解该区域偏碱性火成岩的形成时代及拓宽区域稀土找矿远景,具有很大意义。

关键词 ^{40}Ar - ^{39}Ar 年龄;英碱正长岩;木落寨稀土矿床;四川冕宁

中图法分类号 P597.3;P618.7

木落寨矿床位于四川冕宁县雅砻江西侧,东经 $101^\circ50'$,北纬 $28^\circ22'$,为开采稀土和萤石的综合型矿床。矿床位于冕宁德昌稀土成矿带内。冕宁德昌稀土成矿带自北向南有冕宁三岔河、牦牛坪、木落寨、包子村、里庄、麦地至德昌大陆槽等大小矿床(见田世洪等,2005,图1),全长在150km以上,为我国三大稀土生产基地之一。带内的牦牛坪矿床及大陆槽矿床,前人在矿物学、岩石学和成矿作用等方面做了大量研究工作,有许多同位素地质年龄数据,确定这两个矿床的成岩成矿年龄属喜马拉雅期(施泽民,1993;袁忠信等,1993,1995;骆耀南和俞如龙,2001;蒲广平,2001;王登红,2005;杨光明,1998^①)。木落寨矿床海拔高度在4000m左右,地处山高谷深,工作难度大,矿床地质工作薄弱,从未有过地质年龄工作报告。在此以前,由于矿床位于中生代冕西花岗岩旁侧,被推定成矿于燕山期^②。本次 $^{40}\text{Ar} \sim ^{39}\text{Ar}$ 年龄测定,确定木落寨矿床成矿于喜马拉雅期,进一步证实冕宁德昌稀土成矿带是一条规模宏大而且完整的新生代稀土成矿带。

1 矿床地质

木落寨矿床位于攀西裂谷中段(骆耀南,1985)。矿区出露地层主要为二叠纪峨眉山统玄武岩及阳新统灰岩,前者因受变质被称为变质玄武岩或绿片岩,后者变质成大理岩。矿区出露岩浆岩主要有英碱正长岩、碱性花岗岩、碱性花岗斑岩、变质辉绿岩。其中英碱正长岩为作者最近定名(田世洪等,2006),在此以前它被归属于燕山期黑云母花岗岩^②。矿体主要位于英碱正长岩与变质辉绿岩和大理岩的接触带,沿构造破碎带以矿脉产出(图1)。矿石矿物主要是氟碳铈矿。脉石矿物主要有萤石、方解石和重晶石,其次有霓辉石、金云母、石英以及微斜长石。按照矿体产状及矿石结构构造的不同可分为3种矿石类型:①致密块状萤石—氟碳铈矿型,主要由萤石和氟碳铈矿组成,萤石含量有时可达75%以上,氟碳铈矿呈板状或细脉状与方解石穿插于萤石的解理中,此种类型大多产于英碱正长岩与变质辉绿岩的接触破碎带中;②浸染状氟碳铈矿型,主要产于变质辉绿岩内破碎带的矿脉中,其次产于大理岩与变质岩的接触带中,主要为氟碳铈矿,萤石少许;③条带状方解石-萤石-氟碳铈矿型,主要产于大理岩内断裂带的矿脉中,主要矿物为氟碳铈矿、萤石、方解石和斜长石,四者按定向排列相间组成条带状。矿石

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。矿石构造以致密块状、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。矿床产出的稀土金属主要是轻稀土矿物,稀土球粒陨石标准化曲线自左向右倾斜,Eu异常不明显,与内蒙白云鄂博稀土-铁矿床的稀土分布特征相似。矿体内萤石、方解石、氟碳铈矿、石英的C、H、O同位素及重晶石的S同位素研究指出,木落寨矿床的成矿物质来自富集地幔,具深源或幔源特征(田世洪等,2005)。

2 样品及分析方法

用于年龄测定的样品为微斜长石及金云母,样号分别为ML-001及ML-009。前者采于矿体外缘含萤石细脉的受蚀变英碱正长岩中,后者采于致密块状萤石—氟碳铈矿型矿石中。金云母在矿石中呈集合体散点分布。显微镜下检查,微斜长石和金云母均干净新鲜,两矿物的电子探针成分分析结果列入表1。

选纯的矿物(纯度>99%)用超声波清洗。超声清洗过程中要注意清洗液的选择和严格控制时间(陈文等,2002a;陈文等,2005)。一般先用经过两次亚沸蒸馏净化的纯净水清洗3次,每次3min,在此过程中矿物表面和解理缝中在天然状态下和碎样过程中吸附的粉末和杂质被清除。然后在丙酮中清洗两次,每次3min,在此过程中,矿物表面吸附的油污等有机物质被清除。要特别注意每次超声波作用的时间不要超过3min。过长时间的超声波作用会破坏矿物晶格导致放射成因 ^{40}Ar 逸出(陈文等,2002a)。

清洗后的样品被封进石英瓶中送核反应堆接受中子照射。照射工作是在中国原子能科学研究所的“游泳池堆”中进行的。使用H8孔道,其中子流密度约为 $6.0 \times 10^{12} \text{ ncm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 。照射总时间为3223min,积分中子通量为 $1.16 \times 10^{18} \text{ ncm}^{-2}$;监控标准样ZBH-25黑云母国内标样,其标准年龄为132.7Ma,K含量为7.60%。

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.

② 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.

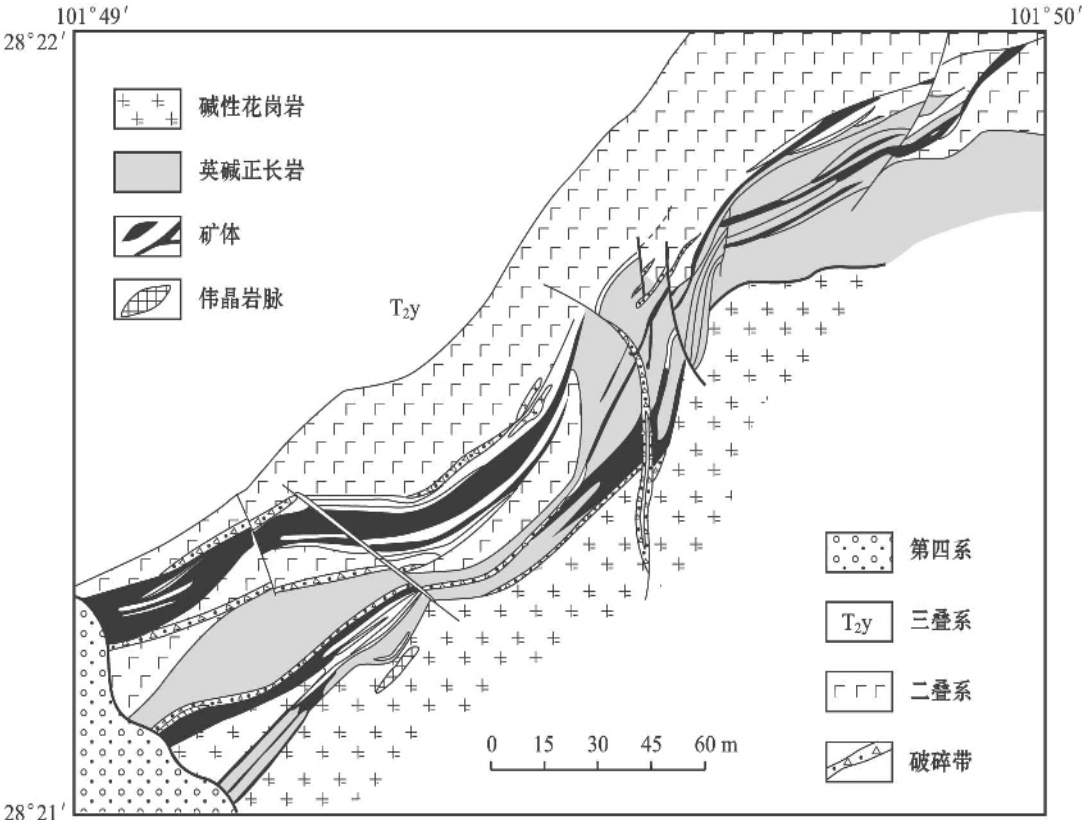


图1 四川木落寨稀土矿床地质略图(据田世洪,2005 修改)

Fig.1 Sketch geological map of the Muluozhai REE deposit , Sichuan Province (modified from Tian, 2005)

样品的阶段升温加热使用电子轰击炉,每一个阶段加热30 分钟,纯化30 分钟。质谱分析是在国土资源部同位素地质重点实验室 MM-1200B 质谱计上进行的,每个峰值均采集8 组数据。所有的数据在回归到时间零点值后再进行质量歧视校正、大气氦校正、空白校正和干扰元素同位素校正。系统空白水平 $m/e = 40, 39, 37, 36$ 分别小于 $6(10^{-15} \text{ mol}), 4 \times 10^{-16} \text{ mol}, 8 \times 10^{-17} \text{ mol}$ 和 $2 \times 10^{-17} \text{ mol}$ 。中子照射过程中所产生的干扰同位素校正系数通过分析照射过的 K_2SO_4

和 CaF_2 来获得,其值为: $(^{36}\text{Ar}/^{37}\text{Ar}_o)_{\text{Ca}} = 0.0002389$, $(^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_{\text{K}} = 0.004782$, $(^{39}\text{Ar}/^{37}\text{Ar}_o)_{\text{Ca}} = 0.000806$ 。 ^{37}Ar 经过放射性衰变校正; ^{40}K 衰变常数 $= 5.543 \times 10^{-10} \text{ 年}^{-1}$ (Steiger and Jager, 1977);坪年龄误差以2(给出。用 Ludwig 编写的 ISOPLOT 程序计算反等时线(Ludwig, v2. 49, 2001)。详细实验流程见有关文章(陈文等,2002a;陈文等,2002b;陈文等,2005;Chen *et al.*, 2002c)。

表1 四川木落寨稀土矿床微斜长石和金云母电子探针成分分析(%)

Table 1 Electric microprobe data for microcline (ML-001) in nordmarkite and phlogopite (ML-009) from the Muluozhai REE deposit, Sichuan Province

样号	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	TiO ₂	Cr ₂ O ₃	MnO	FeO	总量
ML-001	5.75	0.15	18.36	63.94	9.94	0.07	0.00	0.00	0.00	1.05	99.26
	4.69	0.00	18.68	63.10	11.61	0.12	0.00	0.03	0.00	0.26	98.49
	0.14	19.53	6.96	48.05	10.64	0.00	0.70	0.00	0.26	7.56	93.84
ML-009	0.15	20.45	5.75	50.10	11.12	0.00	0.34	0.01	0.21	5.26	93.40
	0.15	20.62	6.13	49.08	11.16	0.00	0.43	0.04	0.18	5.68	93.47

测试单位 中国地质科学院矿产资源研究所电子探针实验室

表2 四川木落寨稀土矿床英碱正长岩中微斜长石(ML-001)⁴⁰Ar/³⁹Ar 阶段升温测年结果

Table 2 The results of ⁴⁰Ar/³⁹Ar stepwise heating dating for microcline (ML-001) in nordmarkite from the Muluozhai REE deposit, Sichuan Province

<i>t</i> (°C)	(⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar) _m	(³⁶ Ar/ ³⁹ Ar) _m	(³⁷ Ar/ ³⁹ Ar) _m	(³⁸ Ar/ ³⁹ Ar) _m	<i>F</i>	³⁹ Ar (×10 ⁻¹⁴ mol)	³⁹ Ar (%)	年龄 (Ma)	±1σ (Ma)
Step = 14, <i>W</i> = 50.00mg, <i>J</i> = 0.011624, Total age = 28.9Ma, <i>t_p</i> = 31.2 ± 0.56Ma, <i>t_i</i> = 30.6 ± 2.6Ma, (⁴⁰ Ar/ ³⁶ Ar) ₀ = 307 ± 59									
500	19.2299	0.0295	0.0844	0.0803	10.5082	2.57	0.02	208	16
600	27.9269	0.0757	0.4672	0.0415	5.5752	3.27	0.04	113	22
700	11.7643	0.0235	0.0207	0.0221	4.8058	65.25	0.50	98.1	9.3
800	4.0538	0.0079	0.0076	0.0143	1.7199	274.93	2.43	35.7	1.0
900	2.1496	0.0033	0.0094	0.0134	1.1776	511.73	6.01	24.53	0.59
1000	1.4291	0.0017	0.0112	0.0131	0.9184	615.17	10.33	19.16	0.41
1100	1.3012	0.0014	0.0143	0.0132	0.8841	818.48	16.07	18.45	0.41
1150	1.5011	0.0020	0.0156	0.0135	0.8969	560.53	20.00	18.71	0.72
1200	1.7977	0.0025	0.0129	0.0134	1.0487	537.31	23.76	21.86	0.52
1250	2.0208	0.0027	0.0101	0.0135	1.2101	1247.17	32.51	25.20	0.35
1300	2.0815	0.0020	0.0075	0.0139	1.4728	1670.27	44.22	30.62	0.69
1350	1.9269	0.0015	0.0039	0.0132	1.4843	3110.82	66.03	30.86	0.42
1400	1.9755	0.0015	0.0028	0.0129	1.5332	2912.52	86.45	31.87	0.59
1450	3.0829	0.0052	0.0038	0.0133	1.5369	1933.01	100.00	31.94	0.77

注 表中下标 *m* 代表质谱测定的同位素比值; *F* = * ⁴⁰Ar/³⁹Ar, 是指放射性成因⁴⁰Ar 和³⁹Ar 比值; (⁴⁰Ar/³⁶Ar)₀ 指⁴⁰Ar 和³⁶Ar 初始比值; Total age = 总气体年龄; *t_p* = 坪年龄; *t_i* = 等时线年龄。

3 分析结果

微斜长石⁴⁰Ar/³⁹Ar 年龄的快中子活化分析数据列于表2。14 个温度阶段组成了一个年龄谱(图2), 总气体年龄为28.9Ma。其中1300~1450°C 的4 个中-高温阶段组成了一个受到扰动的年龄坪, 坪年龄 *t_p* = 31.2 ± 0.56Ma, 对应了67.5% 的³⁹Ar 释放量。相应的³⁹Ar/⁴⁰Ar ~ ³⁶Ar/⁴⁰Ar 等时线年龄 *t_i* = 30.6 ± 2.6Ma, ⁴⁰Ar/³⁶Ar 初始比值为307 ± 59 (MSWD = 2.2) (图3)。等时线年龄和坪年龄在误差范围内一致以及⁴⁰Ar/³⁶Ar 初始比值接近于现代大气氩比值的事实表明, 31.2Ma 的 Ar-Ar 坪年龄是有地质意义的, 它代表了岩体冷却降温穿过微斜长石 Ar 同位素封闭温度点(约170°C) 的年龄。

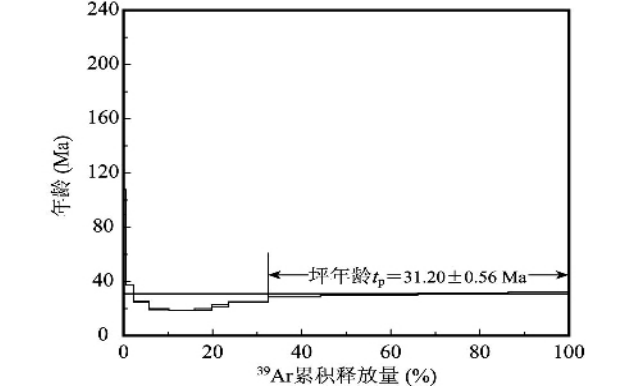


图2 四川木落寨稀土矿床英碱正长岩中微斜长石(ML-001)⁴⁰Ar/³⁹Ar 年龄坪谱图

Fig.2 ⁴⁰Ar/³⁹Ar age spectrum for microcline (ML-001) in nordmarkite from the Muluozhai REE deposit, Sichuan Province

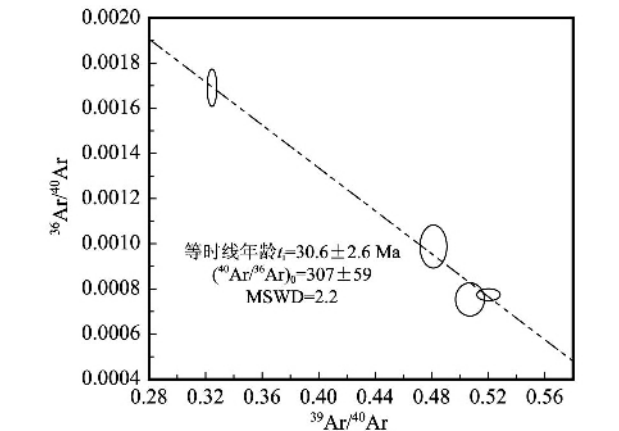


图3 四川木落寨稀土矿床英碱正长岩中微斜长石(ML-001)³⁹Ar/⁴⁰Ar ~ ³⁶Ar/⁴⁰Ar 等时线年龄图

Fig.3 ³⁹Ar/⁴⁰Ar vs. ³⁶Ar/⁴⁰Ar inverse isochron diagram for microcline (ML-001) in nordmarkite from the Muluozhai REE deposit, Sichuan Province

金云母⁴⁰Ar/³⁹Ar 的分析数据列于表3。12 个温度阶段组成了一个年龄谱(图4), 总气体年龄为40.4Ma。其中1250~1350°C 的3 个中-高温阶段组成了一个年龄坪, 坪年龄 *t_p* = 35.5 ± 0.50Ma, 对应了76.8% 的³⁹Ar 释放量。相应的³⁹Ar/⁴⁰Ar ~ ³⁶Ar/⁴⁰Ar 等时线年龄 *t_i* = 35 ± 1Ma, ⁴⁰Ar/³⁶Ar 初始比值为314 ± 25 (MSWD = 0.26) (图5)。等时线年龄和坪年龄在误差范围内一致以及⁴⁰Ar/³⁶Ar 初始比值接近于现代大气氩比值的事实表明, 31.2Ma 的 Ar-Ar 坪年龄是有地质意义的。由于金云母的 Ar 同位素封闭温度为350°C, 所以35.5Ma 代表了金云母形成以后冷却降温至350°C 时的年龄。

表 3 四川木落寨稀土矿床金云母(ML-009) ⁴⁰Ar/³⁹Ar 阶段升温测年结果

Table 3 The results of ⁴⁰Ar/³⁹Ar stepwise heating dating for phlogopite (ML-009) from the Muluozhai REE deposit, Sichuan Province

<i>t</i> (°C)	(⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar) _m	(³⁶ Ar/ ³⁹ Ar) _m	(³⁷ Ar/ ³⁹ Ar) _m	(³⁸ Ar/ ³⁹ Ar) _m	<i>F</i>	³⁹ Ar (× 10 ⁻¹⁴ mol)	³⁹ Ar (%)	年龄 (Ma)	± 1σ (Ma)
Step = 12, <i>W</i> = 50. 00mg, <i>J</i> = 0. 011986, Total age = 40. 4Ma, <i>t_p</i> = 35. 5 ± 0. 50Ma, <i>t_i</i> = 35 ± 1Ma, (⁴⁰ Ar/ ³⁶ Ar) ₀ = 314 ± 25									
500	20. 7716	0. 0222	0. 0967	0. 0531	14. 2275	28. 84	0. 26	284. 1	7. 9
600	19. 4987	0. 0186	0. 1128	0. 0533	13. 9925	23. 06	0. 46	280	35
700	20. 9521	0. 0222	0. 1663	0. 0544	14. 3986	19. 66	0. 64	287	11
800	18. 1493	0. 0307	0. 5782	0. 0570	9. 1073	13. 76	0. 76	187	26
900	16. 1507	0. 0222	0. 2676	0. 0270	9. 6007	17. 03	0. 92	196	16
1000	12. 0015	0. 0291	0. 0323	0. 0286	3. 4089	79. 46	1. 63	72	15
1100	4. 0570	0. 0053	0. 0062	0. 0141	2. 4950	763. 38	8. 47	53. 2	1. 6
1150	2. 9559	0. 0021	0. 0060	0. 0133	2. 3364	604. 32	13. 88	49. 82	0. 79
1200	2. 4052	0. 0014	0. 0030	0. 0130	1. 9877	1044. 82	23. 24	42. 47	0. 66
1250	2. 1651	0. 0016	0. 0011	0. 0127	1. 6853	2365. 79	44. 44	36. 08	0. 81
1300	1. 9602	0. 0010	0. 0007	0. 0127	1. 6611	2324. 08	65. 26	35. 56	0. 44
1350	1. 9035	0. 0009	0. 0004	0. 0130	1. 6359	3877. 46	100. 00	35. 03	0. 41

注 表中下标 *m* 代表质谱测定的同位素比值；*F* = * ⁴⁰Ar/³⁹Ar, 是指放射性成因⁴⁰Ar 和³⁹Ar 比值；(⁴⁰Ar/³⁶Ar)₀ 指⁴⁰Ar 和³⁶Ar 初始比值；Total age = 总气体年龄；*t_p* = 坪年龄；*t_i* = 等时线年龄。

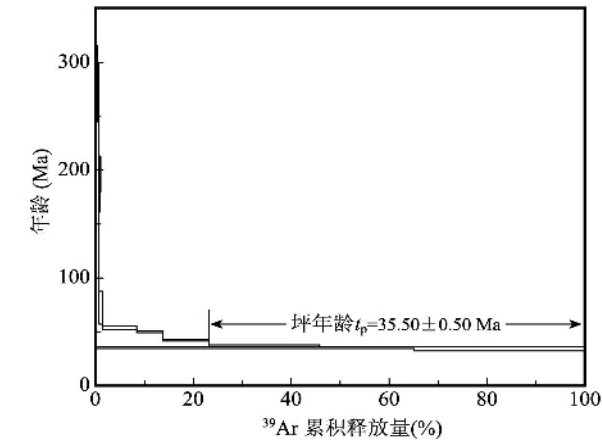


图 4 四川木落寨稀土矿床金云母(ML-009) ⁴⁰Ar/³⁹Ar 年龄坪谱图

Fig. 4 ⁴⁰Ar/³⁹Ar age spectrum for phlogopite (ML-009) from the Muluozhai REE deposit, Sichuan Province

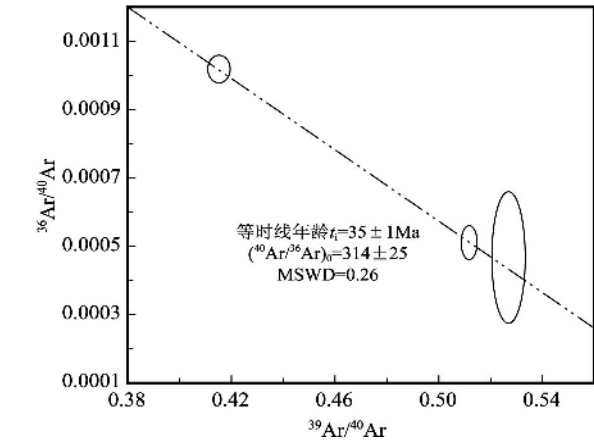


图 5 四川木落寨稀土矿床金云母(ML-009) ³⁹Ar/⁴⁰Ar ~ ³⁶Ar/⁴⁰Ar 等时线年龄图

Fig. 5 ³⁹Ar/⁴⁰Ar vs. ³⁶Ar/⁴⁰Ar inverse isochron diagram for phlogopite (ML-009) from the Muluozhai REE deposit, Sichuan Province

4 讨论与结论

上述分析结果表明,微斜长石的坪年龄为 31. 2Ma,金云母的坪年龄为 35. 5Ma,两者接近,同属喜马拉雅期。微斜长石的年龄比金云母年龄偏小,是因为两者的 Ar 同位素封闭温度不同,前者约为 170℃,而后者为 350℃。在 350 ~ 170℃ 区间,矿体和岩体均进入较慢冷却时期,冷却速率约为 41. 9℃/Ma。

木落寨稀土矿床矿体位于英碱正长岩与变质辉绿岩和大理岩的接触带上。英碱正长岩的⁸⁷Sr/⁸⁶Sr 为 0. 706811 ~ 0. 707272, ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd 为 0. 512368 ~ 0. 512369,矿石中方解石⁸⁷Sr/⁸⁶Sr 为 0. 706581 ~ 0. 706601, ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd 为 0. 512297 ~ 0. 512413,指示两者的成岩成矿物质来源相同,具深源或幔源特征(田世洪等,2006)。两者形成年龄也相同,说明矿床与英碱正长岩有密切的成因关系。冕宁德昌稀土成矿带的北段出露有两个较大的花岗岩岩体——冕宁岩体和里庄岩体,两个岩体出露面积在 200km² 以上。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,属印支期,里庄岩体形成于白垩纪,属燕山期。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,被认为是两个大岩体与地层岩石,主要是大理岩及变质玄武岩接触的同化混染产物,其形成时代当与两大岩体相同。本文确定与木落寨稀土矿床成矿有关的英碱正长岩形成于喜马拉雅期,矿床发育优质的稀土及萤石矿化,这对冕宁岩体及里庄岩体边缘的偏碱性火成岩的形成时代及有关找矿工作,无疑具有重大意义,因此在冕宁德昌稀土成矿带区的找矿远景还很大。

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.

致谢 野外工作期间,得到四川省地质勘查与开发局 109 地质队蒲广平总工、李小渝高工、余波高工等同志的大力支持和帮助;室内工作期间,得到国土资源部同位素地质重点实验室张彦、张思红、刘新宇等的大力支持。在此一并表示衷心感谢!

References

- Chen W, Guo YR, Cui B *et al.* 2002a. Research on the isotopic ages of the deformations and metamorphisms of the Xidatan rock series, East Kunlun Mountains. *Geological Review*, 48 (Supple.) : 103 – 109
- Chen W, Liu XY, Zhang Y. 2002b. Continuous laser stepwise heating $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating technique. *Geological Review*, 48 (Supple.) : 127 – 134
- Chen W, Sun S, Zhang Y *et al.* 2005. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronology of the Qiugemingtashi-Huangshan ductile shear zone in East Tianshan, Xinjiang, NW China. *Acta Geologica Sinica*, 79 (6) : 790 – 804
- Chen W, Zhang Y, Ji Q *et al.* 2002c. The magmatism and deformation times of the Xidatan rock series, East Kunlun Mountain. *Science in China (Series B)*, 45 (Supple.) : 20 – 27
- Ludwig KR. 2001. Isoplot/Ex, rev. 2.49 : A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel. Berkeley Geochronological Center, Special Publication, 1 : a
- Luo YN. 1985. Panzhuhua-Xichang paleo-rift zone, China. In : Zhang YX (Ed.). *Contribution to Panzhuhua-Xichang rift, China*. Beijing : Geological Publishing House. 1 – 25 (in Chinese with English abstract)
- Luo YN and Yu RL. 2001. Major features and dynamic model of the Himalayan tectonic-magmatism in the intracontinental orogenic belt in Longmenshan-Jingpingshan, Sichuan Province. In : Chen Yuchuan and Wang Denghong (Eds.). *Study on Himalayan Endogenic Minealization*. Beijing : Seismological Press. 88 – 96 (in Chinese with English abstract)
- Pu GP. 2001. The evolution history of rare earth elements mineralization and major features of Himalayan REE deposits in the Panzhuhua-Xichang area, Sichuan. In : Chen Yuchuan and Wang Denghong (Eds.). *Study on Himalayan Endogenic Minealization*. Beijing : Seismological Press. 104 – 116 (in Chinese with English abstract)
- Shi ZM. 1993. Age conjecture and meaning of Himalayan REE deposit in Maoniuping. *Sichuan Geology Acta*, 13 (3) : 247 – 254 (in Chinese with English abstract)
- Steiger RH. and Jager E. 1977. Subcommission on geochronology : convention on the use of decay constants in geo-and cosmochemistry. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 36 : 359 – 362
- Tian SH. 2005. The Himalayan Mianxi REE belt on the eastern margin of the Tibetan plateau : geology, geochemistry and geodynamics of the Mineralization, unpub. Ph. D dissertation. Institute of Mineral Resource, CAGS, Beijing, 1 – 131
- Tian SH, Zhang GL, Hou ZQ *et al.* 2005. Stable isotope data from Muluoizhai REE deposit in Mianning County, Sichuan Province, and their geological implications. *Mineral Deposits*, 24 (6) : 647 – 655 (in Chinese with English abstract)
- Tian SH, Yuan ZX, Zhang GL *et al.* 2006. Discussion on ore-forming-related granite in the Muluoizhai REE deposit, Sichuan Province and their significance. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 25 (2) : 110 – 118 (in Chinese with English abstract)
- Wang DH, Chen YC, Xu J *et al.* 2005. Cenozoic mineralization in China. Beijing : Geological Publishing House. 350 – 351 (in Chinese with English abstract)
- Yuan ZX, Bai G, Ding XS *et al.* 1993. U-Pb isotopic age of zircon from the Maoniuping alkali granite, Sichuan Province and its geological significance. *Mineral Deposits*, 12 (2) : 189 – 192, 147 (in Chinese with English abstract)
- Yuan ZX, Shi ZM, Bai G *et al.* 1995. The Maoniuping rare earth ore deposit, Mianning County, Sichuan Province. Beijing : Seismological Press. 19 – 22, 39 – 41 (in Chinese with English abstract)

附中文参考文献

- 陈文, 郭彦如, 崔彬等. 2002a. 东昆仑西大滩岩系变质和变形事件的同位素年代学研究. *地质论评*, 48 (增刊) : 103 – 109
- 陈文, 刘新宇, 张思红. 2002b. 连续激光阶段升温 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 地质年代测定方法研究. *地质论评*, 48 (增刊) : 127 – 134
- 陈文, 孙枢, 张彦等. 2005. 新疆东天山秋格明塔什—黄山韧性剪切带 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年代学研究. *地质学报*, 79 (6) : 790 – 804
- 骆耀南. 1995. 中国攀枝花-西昌古裂谷带. 见 : 张云湘主编. *中国攀西裂谷文集*. 北京 : 地质出版社. 1 – 25
- 骆耀南, 俞如龙. 2001. 龙门山-锦屏山陆内造山带喜马拉雅期构造-岩浆作用主要特征及其动力学模式. 见 : 陈毓川, 王登红主编. *喜马拉雅期内生成矿作用研究*. 北京 : 地震出版社. 88 – 95
- 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. 见 : 陈毓川, 王登红主编. *喜马拉雅期内生成矿作用研究*. 北京 : 地震出版社. 104 – 116
- 施泽民. 1993. 牦牛坪喜马拉雅期稀土矿床的厘定及其意义. *四川地质学报*, 13 (3) : 247 – 254
- 田世洪. 2005. 青藏高原东缘喜马拉雅期冕西稀土成矿带地质地球化学特征及其成矿动力学研究. *中国地质科学院博士论文*, 1 – 131
- 田世洪, 张桂兰, 侯增谦等. 2005. 四川冕宁木落寨稀土矿床稳定同位素研究及其意义. *矿床地质*, 24 (6) : 647 – 655
- 田世洪, 袁忠信, 张桂兰等. 2006. 四川木落寨稀土矿床与成矿有关的花岗岩问题及其意义. *岩石矿物学杂志*, 25 (2) : 110 – 118
- 王登红, 陈毓川, 徐珏等. 2005. 中国新生代成矿作用 (上). 北京 : 地质出版社. 350 – 351
- 袁忠信, 白鸽, 丁孝石等. 1993. 四川冕宁牦牛坪碱性花岗岩锆石 U-Pb 同位素年龄及其地质意义. *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. 北京 : 地震出版社. 19 – 22, 39 – 41