

周雄, 周玉, 孙宝伟, 等. 四川甲基卡稀有金属矿床 134 号脉锡石 U - Pb 定年与地质意义[J]. 岩矿测试, 2021, 40(1): 156 - 164.
ZHOU Xiong, ZHOU Yu, SUN Bao - wei, et al. Cassiterite U - Pb Dating of No. 134 Pegmatite Vein in the Jiajika Rare Metal Deposit, Western Sichuan and Its Geological Significances[J]. Rock and Mineral Analysis, 2021, 40(1): 156 - 164.

【DOI: 10.15898/j.cnki.11-2131/td.202005060006】

四川甲基卡稀有金属矿床 134 号脉锡石 U - Pb 定年与地质意义

周雄^{1,2,3}, 周玉^{1,2,3}, 孙宝伟⁴, 谭洪旗^{1,2,3}, 岳相元^{1,2,3}, 朱志敏^{1,2,3}

- (1. 中国地质科学院矿产综合利用研究所, 四川 成都 610041;
2. 中国地质调查局稀土资源应用技术创新中心, 四川 成都 610041;
3. 中国地质调查局金属矿产资源综合利用技术研究中心, 四川 成都 610041;
4. 四川省地质矿产勘查开发局四〇五地质队, 四川 都江堰 611830)

摘要: 伟晶岩型锂矿是重要的新兴产业资源, 具有重要的战略价值, 是我国亟需紧缺的关键矿产。然而, 成矿年代学制约了该类型锂矿的成矿作用和成矿机理研究。四川甲基卡稀有金属矿床是我国最大的锂矿床, 以 134 号伟晶岩脉为典型代表。134 号伟晶岩脉主要由锂辉石、钽铌铁矿、锆石、曲晶石、绿柱石、锡石、微斜长石、正长石、石英、白云母等组成。本文采集了 134 号脉中部矿石样品, 分选获得锡石, 通过 LA - MC - ICP - MS 锡石 U - Pb 测年, 获得 134 号伟晶岩脉的锡石 U - Pb 年龄为 $203.7 \pm 4.6\text{Ma}$ ($n = 19$, $\text{MSWD} = 2.8$), 代表了该伟晶岩型锂矿床的成矿年龄, 表明其成矿作用发生在印支晚期。印支运动晚期稳定的构造环境, 为稀有金属的聚集、成矿创造了有利条件, 有助于形成甲基卡超大型稀有金属矿床。

关键词: 锡石 U - Pb 定年; 年代学; 伟晶岩型锂矿床; 甲基卡; 川西

要点:

- (1) 锡石 LA - MC - ICP - MS U - Pb 法可以准确约束花岗岩伟晶岩锂矿床成矿年龄。
- (2) 甲基卡 134 号伟晶岩脉成矿时代为 $203.7 \pm 4.6\text{Ma}$, 形成于印支晚期。
- (3) 松潘—甘孜造山带稀有金属成矿受控于同一构造岩浆演化过程。

中图分类号: P575.4 **文献标识码:** B

稀有金属矿床的成矿作用通常为多期多阶段, 伟晶岩矿床的成矿时代是矿床学研究的重要内容和难点。精确厘定伟晶岩矿床成岩成矿年龄, 对于研究稀有金属成矿作用、与成矿有关的构造演化、靶区优选、成矿模式乃至勘查模型具有至关重要的作用。伟晶岩型矿床传统的定年方法包括锆石、磷灰石、独居石 U - (Th) - Pb 及白云母 Ar - Ar 法等。Ar - Ar 法测定与成矿有关的热液蚀变矿物(如云母、长石), 可以得出精确的等时线年龄, 但由于封闭温度的限制, 云母类矿物的 K - Ar 法和 $^{40}\text{Ar} - ^{39}\text{Ar}$ 法通常不能给出花岗岩的“结晶年龄”^[1]; 伟晶岩中锆石通常蚀变为高 U 锆石, 其放射性导致锆石内部

U - Pb 同位素破坏, 亦很难获得精准的同位素年龄; 锡石作为伟晶岩中常见的矿物, 对 U - Pb 体系的封闭温度比较高, 其 U - Pb 同位素体系不易因扩散迁移而导致同位素信息丢失, 锡石 U - Pb 同位素定年方法更加可靠^[2], 锡石 U - Pb 与伟晶岩同期结晶生长, 能够准确约束伟晶岩的成岩成矿年龄^[3-4]。稀有金属花岗岩伟晶岩中云母类矿物 Ar - Ar 年龄不宜作为直接的成矿年龄, 更适合作为岩浆作用过程中热液活动的年龄^[5], 伟晶岩中锡石、钽铌铁矿可作为直接定年的理想矿物, 可直接作为伟晶岩型矿床的成矿年龄^[6-10]。

四川甲基卡伟晶岩型稀有金属矿床由 114 条伟

收稿日期: 2020 - 04 - 25; 修回日期: 2020 - 07 - 14; 接受日期: 2020 - 09 - 19

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目(DD20190185)

作者简介: 周雄, 博士, 副研究员, 矿物学、岩石学、矿床学专业。E - mail: zhouxiong27@163.com。

晶岩脉组成,其中134号脉规模最大,探明 Li_2O 资源储量51.22万吨^[11]。自2015年以来,由于战略新兴产业的兴起和发展,锂资源的需求逐步加大。随着勘探规模的持续加大,甲基卡稀有金属找矿不断取得突破,甲基卡新三号脉的发现^[12-13],使甲基卡矿床 Li_2O 的资源总量已达到188.77万吨^[12-15],为超大型花岗伟晶岩型稀有金属矿床。甲基卡锂矿床自发现起,不同学者针对伟晶岩脉的成矿时代、流体包裹体、成矿作用、勘查模型等方面进行了深入研究^[11,13-21],极大地丰富了该区稀有金属成矿理论。

作为最早发现、勘查程度最高的134号脉,王登红等^[11]首先利用白云母获得了该脉精确的Ar-Ar法坪年龄为 $195.7 \pm 0.1 \text{ Ma}$,限定其为早侏罗世成矿,并认为伟晶岩形成于燕山早期。随着测试技术的进步,越来越多的证据显示该区含矿伟晶岩脉形成于印支期,如308脉锡石U-Pb年龄为 $210.9 \pm 4.6 \text{ Ma}$ ^[20],新三号脉铌钽矿物U-Pb年龄为 $216 \pm 2 \text{ Ma}$ 和 $214 \pm 2 \text{ Ma}$ ^[17]。为进一步精确厘定134脉含矿伟晶岩成岩成矿年龄,本文在前人研究的基础上,选取134号伟晶岩中锡石开展U-Pb年代学,讨论其成岩成矿年代学及其演化,进一步揭示其成矿动力学,限定区域稀有金属成矿背景。

1 矿床地质概况

甲基卡稀有金属矿床位于松潘—甘孜造山带东缘^[11],区域上的主断裂,多属切穿地壳的深大断裂,控制了区内沉积地层的分布和岩浆活动。区内主要发育上三叠统侏倭组和新都桥组陆源碎屑沉积岩系,以复理石砂、泥质碎屑岩为主,后经多期变质作用形成不同类型的变质岩,岩性为含十字石绢云石英片岩、粉砂质片岩、变质粉砂岩、黑云母片岩等。受区域构造影响,区内发育有相对紧闭的小型复式背斜和向斜构造,区内主要发育大量张性裂隙,在锂辉石伟晶岩脉的两侧多呈羽状排列^[22]。甲基卡二云母花岗岩体与稀有金属伟晶岩矿床关系密切。二云母花岗岩体出露部分呈镰刀状,南部近东西向延伸,北部近南北向延伸。组成岩体的岩石类型主要为二云母钾长花岗岩和二云母二长花岗岩,岩石中普遍含有白云母和黑云母,可见电气石等矿物。

134号矿脉呈北北东—南南西展布,矿脉形态受控于伟晶岩脉,伟晶岩脉由一组密集的北东向雁行状剪切构造控制,为一分支的大透镜、大脉状矿体,并显示东侧向北、西侧向南分支的特点。矿脉整体规模大,长1003m,控制长度921m,两端被第四系

掩盖。矿脉整体呈现为中段膨大,两端变薄分支尖灭,矿脉中部形态相对稳定,厚度变化较小,呈较规整的透镜状,矿脉向两端延伸出现分枝、分叉现象。

134号矿脉中的主要金属矿物有锂辉石、钽铌铁矿、锆石、曲晶石、绿柱石、锡石、腐锂辉石、磷锂锰矿、褐帘石、氟碳铈矿等;脉石矿物主要有微斜长石、正长石、叶钠长石、糖钠长石、板状钠长石、石英、白云母、绿帘石、绿泥石及电气石等^[13,23]。

2 实验部分

2.1 实验样品

本次研究之样品主要采自134号脉中部,样品质量约10kg。样品主要呈块状,样品颜色以灰白色为主,局部带浅灰绿色、浅灰紫色调。样品主要用于挑选锡石单矿物,少量用X射线粉晶衍射(XRD)分析矿物组成。样品(编号134-11)经X射线粉晶衍射分析,查明矿石中主要矿物组成为:石英、钠长石、锂辉石、钽铌铁矿、 α -石英、硅钽锂钙石、硒铜银矿、尖晶石、独居石、硅铍钙石等。

2.2 分析测试方法

样品破碎及锡石单矿物挑选由河北省廊坊市诚信地质服务公司完成。锡石制靶、抛光、照相、实验分析等均在地质调查局天津地质调查中心完成。测年所用分析仪器为ThermoFisher Neptune型多接收器电感耦合等离子体质谱仪及SIUPI93FXArF型激光剥蚀系统(LA-MC-ICP-MS)。激光剥蚀斑束 $35 \mu\text{m}$,激光量密度 10^{-13} J/cm^2 ,频率 $8 \sim 10 \text{ Hz}$ 。采用实验室锡石工作标样(AI-4)作为测试外标^[24],实验方法参照涂家润等^[25]文献。数据处理软件为ICPMSDataCal^[26],谐和年龄采用Ludwing的Isoplot进行计算^[27]。

3 结果与讨论

3.1 锡石矿物学特征

锡石多呈自行—半自形粒状及柱状,粒径小,大小为 $120 \sim 300 \mu\text{m}$ (多为 $150 \mu\text{m}$ 左右);锡石成分均一,未见明显环带,透射光下多为棕色及棕褐色,且颜色分布不均匀,阴极发光下呈灰黑色,可见少量裂纹及其他矿物细粒包体(图1)。134号伟晶岩脉中锡石大小与甲基卡308脉^[20]、党坝矿床^[28]具有相似性,该类锡石可用LA-ICP-MS法获得U-Pb同位素年龄^[29]。

3.2 锡石测年结果

锡石LA-MC-ICP-MS U-Pb测年结果见表1。

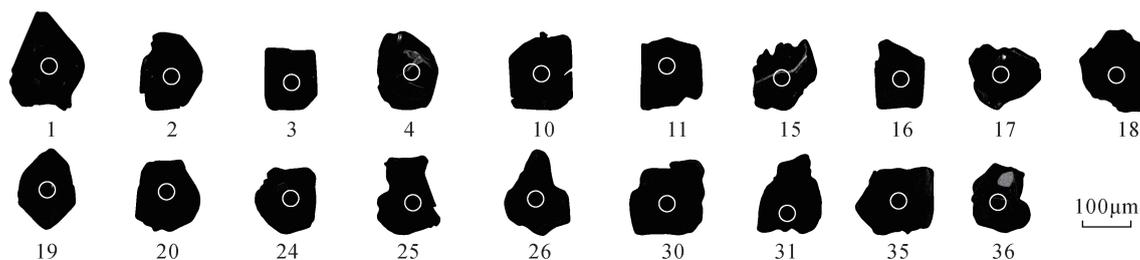


图1 锡石阴极发光图像

Fig. 1 Cathode luminescence images of cassiterite

表1 134号伟晶岩脉锡石 LA-MC-ICP-MS U-Pb 同位素测试数据

Table 1 LA-MC-ICP-MS U-Pb isotopic data of cassiterite in the No. 134 pegmatite vein

样品编号	含量(10^{-6})			同位素比值			
	Pb	Th	U	$^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}$	误差(2σ)	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	误差(2σ)
134-11.01	0.28	0.14	11.92	31.69	2.21	0.06	9.29
134-11.02	0.90	0.16	36.35	30.28	1.36	0.05	5.57
134-11.03	0.07	0.02	1.70	24.20	5.36	0.19	18.09
134-11.04	0.07	0.26	2.94	32.00	4.54	0.07	19.73
134-11.05	0.08	0.33	2.95	30.07	5.32	0.08	24.96
134-11.06	0.16	0.04	6.54	31.66	3.04	0.07	12.06
134-11.07	0.50	0.18	7.52	14.48	2.81	0.14	8.76
134-11.08	0.30	0.02	11.74	29.69	2.00	0.06	9.66
134-11.09	0.16	0.08	2.76	14.81	3.44	0.12	9.77
134-11.10	0.21	0.05	1.13	9.16	4.76	0.49	11.20
134-11.11	0.21	0.02	7.13	29.28	2.81	0.12	9.70
134-11.12	-	-	-	0.78	149.93	1.18	63.70
134-11.13	0.47	0.21	19.05	30.40	1.80	0.05	7.54
134-11.14	0.28	0.02	1.05	8.00	6.07	0.67	9.24
134-11.15	0.09	0.05	3.15	29.55	4.00	0.09	17.59
134-11.16	0.34	0.13	13.60	30.45	2.05	0.06	9.34
134-11.17	0.10	0.17	3.94	30.05	3.98	0.06	17.90
134-11.18	0.67	0.03	27.73	31.04	1.43	0.05	6.93
134-11.19	0.20	0.19	8.36	30.81	2.53	0.05	12.79
134-11.20	0.56	0.08	22.88	30.69	1.59	0.05	7.72
134-11.21	0.06	0.38	2.39	31.95	5.08	0.08	24.38
134-11.22	0.38	0.02	13.69	28.14	2.14	0.07	8.36
134-11.23	0.31	0.04	7.95	26.27	3.18	0.17	7.34
134-11.24	0.02	0.11	0.51	27.11	10.22	0.10	36.51
134-11.25	0.89	0.17	36.59	30.76	1.33	0.05	5.74
134-11.26	0.29	0.02	10.33	30.20	2.54	0.09	7.44
134-11.27	0.15	0.03	3.30	23.00	5.03	0.21	12.10
134-11.28	0.59	0.13	12.60	22.85	2.14	0.17	4.71
134-11.29	0.22	0.02	6.20	28.45	2.85	0.15	9.25
134-11.30	0.07	0.02	2.08	27.34	6.85	0.11	29.08
134-11.31	0.01	0.06	0.39	27.24	10.45	0.10	37.10
134-11.32	0.13	0.06	5.15	31.21	3.50	0.06	14.70
134-11.33	0.69	0.03	11.83	17.38	2.24	0.15	4.85
134-11.34	0.24	0.18	9.65	30.18	2.42	0.05	12.06
134-11.35	0.02	0.03	0.42	21.56	10.39	0.24	28.30
134-11.36	0.18	0.02	2.85	21.29	4.85	0.32	12.32

注：“-”表示未检出。

本次共进行了36个点的测试, Th含量变化范围为 $0.02 \times 10^{-6} \sim 0.38 \times 10^{-6}$ (平均为 0.1×10^{-6}), U含量变化范围为 $0.39 \times 10^{-6} \sim 36.59 \times 10^{-6}$ (平均为 9.10×10^{-6}), $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 变化范围为 $0.05 \sim 1.18$ (平均为 0.16), 表明该样品中普通铅含量相对较低。崔玉荣等^[6]研究认为, 该类型锡石选用T-W图解法(Tera-Wasserburg)比用等时线年龄获得的年龄更准确。因此, 本文通过T-W图解获得的锡石LA-MC-ICP-MS U-Pb年龄结果为 $203.7 \pm 4.6\text{Ma}$ (MSWD=2.8, 图2), 表明甲基卡134号含锂伟晶岩脉形成于印支晚期, 成矿作用发生于 $203.7 \pm 4.6\text{Ma}$ 。

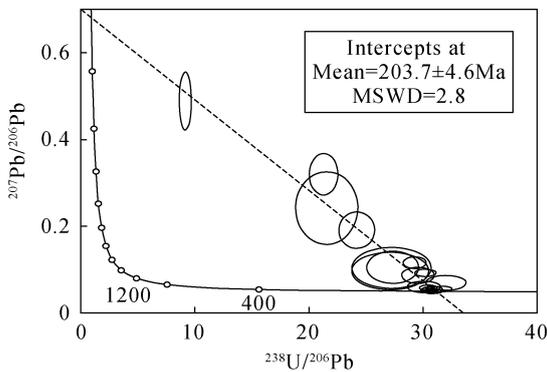


图2 甲基卡134号伟晶岩脉含锂辉石伟晶岩锡石U-Pb年龄谐和图

Fig. 2 U-Pb isochron corresponding concordia diagram of cassiterite in spodumene-bearing pegmatite from the No. 134 pegmatite vein from Jiajika

表2 甲基卡地区稀土金属矿床同位素年龄统计

Table 2 Isotope ages for rare metal deposits in Jiajika area

年龄	测试对象	矿物	测试方法	年龄 (Ma)	资料来源
成矿年龄	104 钠长石伟晶岩脉	白云母	$^{40}\text{Ar} - ^{39}\text{Ar}$	198.88 ± 0.3	[11]
	134 锂辉石伟晶岩脉	白云母	$^{40}\text{Ar} - ^{39}\text{Ar}$	195.67 ± 0.14	[11]
	308 号伟晶岩脉	锡石	LA-MC-ICP-MS	210.9 ± 4.6	[20]
	X03 伟晶岩脉	锆石	LA-ICP-MS	216 ± 2	[17]
	X03 伟晶岩脉	铌钽铁	LA-ICP-MS	214 ± 2	[17]
	134 号伟晶岩脉	锡石	LA-MC-ICP-MS	203.7 ± 4.6	本文
成岩年龄	马颈子二云母花岗岩	锆石	LA-ICP-MS	223 ± 0.3	[17]
	容须卡石英闪长岩	锆石	LA-ICP-MS	214.4 ± 1.2	[28]
	长征二长花岗岩	锆石	LA-ICP-MS	202.2 ± 1.3	[29]
	长征二长花岗岩	锆石	LA-ICP-MS	202.2 ± 1.5	[29]
	松林口二长花岗岩	锆石	LA-ICP-MS	208.9 ± 1.1	[32]
	松林口二长花岗岩(中部)	锆石	LA-ICP-MS	222.4 ± 1.1	[33]
	松林口花岗岩闪长岩(边部)	锆石	LA-ICP-MS	212.6 ± 1.0	[33]
	松林口中部暗色包体	锆石	LA-ICP-MS	225.2 ± 1.0	[33]

3.3 甲基卡及松潘甘孜造山带稀有金属花岗岩伟晶岩成矿时代及构造背景

3.3.1 甲基卡地区花岗伟晶岩成矿时代及构造背景

甲基卡稀有金属矿床由马颈子二云母花岗岩岩浆结晶分异过程中含矿岩浆沿着热穹窿周边的张性空间充填形成^[14]。前人已针对该区的花岗岩、花岗伟晶岩的形成时代开展了锆石 LA-ICP-MS U-Pb、锡石 LA-MC-ICP-MS U-Pb、铌钽矿 LA-ICP-MS U-Pb 及 $^{40}\text{Ar} - ^{39}\text{Ar}$ 法等研究工作(表2)。尽管不同的测试方法有各自的局限性, 所代表的地质意义有所不同, 但这些高精度的分析结果, 可为区域地质演化及成矿规律研究提供精确的数据支撑。从这些年龄来看, 成矿年龄范围为 $216 \pm 2\text{Ma} \sim 195.67 \pm 0.14\text{Ma}$ ^[11,17,20], 可分为 $\sim 214\text{Ma}$ 、 $\sim 204\text{Ma}$ 和 $\sim 195\text{Ma}$ 三个年龄段; 成岩年龄分布范围为 $225.2 \pm 1.0 \sim 202.2 \pm 1.3\text{Ma}$ ^[17,30-31], 又可细分为三个年龄段: $\sim 223\text{Ma}$ 、 $\sim 214\text{Ma}$ 和 205Ma , 成岩成矿年龄在误差范围内趋于一致, 可能代表成岩-成矿作用是一个连续的过程, 区域内甲基卡地区含矿花岗伟晶岩的形成可能与马颈子二云母花岗岩岩体具有时空关系和成因关系。

本文获得的134号伟晶岩脉锡石 LA-MC-ICP-MS U-Pb 年龄($203.7 \pm 4.6\text{Ma}$)可直接作为该脉的成矿年龄, 表明该伟晶岩型锂矿床形成于印支晚期。

3.3.2 松潘—甘孜造山带构造背景及成矿规律

松潘—甘孜—甜水海古特提斯碰撞造山带的三

叠纪复理石岩系为硬岩型含锂伟晶岩脉的形成提供了大地构造背景,在造山过程中,“岩浆—熔融—变质—变形”四个系统相互调整,使锂富集于花岗岩或者伟晶岩中^[34],但锂等稀有金属元素由于活动性较强,只能在造山后相对稳定且连续演化阶段,才会发生大规模稀有金属聚集,稀有金属矿床代表造山后的产物^[11],而这个造山期后印支运动高峰期(230Ma)之后的漫长期持续了约15Ma^[14],也正是漫长的稳定构造环境,为稀有金属的聚集成矿创造了有利条件,从而形成了巴颜喀拉—松潘成矿省中稀有金属矿床的代表——甲基卡超大型稀有金属矿床。

许志琴等^[34]研究认为,以马尔康、甲基卡伟晶岩型锂矿床为代表的锂矿带的形成与印支造山期花岗质岩浆作用、局部熔融的花岗伟晶脉侵位以及“片麻岩穹窿”构造有关,并根据含锂伟晶岩脉的年龄和其他矿化年龄指出马尔康片麻状穹窿形成于212~170Ma之间,甲基卡片麻状穹窿形成至少是在216~214Ma之间^[35]。区域上,可尔因稀有金属矿田Li-Be-Nb-Ta-Sn矿床、党坝Li-Be-Nb-Ta-Sn矿床含矿伟晶岩脉锡石LA-MC-ICP-MSU-Pb年龄分别为 $203 \pm 5\text{Ma}$ (MSWD = 4.1)^[36]、 $208.1 \pm 1.9\text{Ma}$ (MSWD = 2.5)和 $199.3 \pm 1.6\text{Ma}$ (MSWD = 0.68)^[28],表明该矿田稀有金属成矿事件发生在印支晚期及燕山早期。正如前文研究,甲基卡成矿事件亦发生在印支晚期及燕山早期($216 \pm 2\text{Ma} \sim 195.67 \pm 0.14\text{Ma}$),花岗岩形成时代与穹窿形成近于一致,表明松潘—甘孜造山带稀有金属成矿事件可能受控于一个连续的构造岩浆演化过程,变形、变质、岩浆作用和矿化作用同期发生,具有集中成矿的特点,形成于同一成矿系统。无论是甲基卡还是可尔因成矿母岩——二云母花岗岩,均为S型花岗岩,具有相似的地球化学特征^[28],造山带内的花岗伟晶岩型稀有金属矿床都是巴颜喀拉—松潘造山带在印支运动之后相对稳定的构造背景下,由二云母花岗岩岩浆结晶分异过程中,含矿岩浆沿着热穹窿构造周边的张性空间充填形成了一系列矿床,具有“五层楼+地下室”的模型特点^[19]。

3.3.3 研究展望

矿石X射线粉晶衍射结果表明,伟晶岩锂矿中除了含有锂辉石、铌钽铁等稀有金属矿物外,还指示含有硒铜银矿、硅钛锂钙石、硅铍钙石等矿物,但目前在该区或松潘—甘孜带上这类矿物的矿物学研究尚非常薄弱,建议在今后的工作过程中加强矿物学特征研究。

4 结论

为进一步精确厘定亚洲最大的含锂伟晶岩脉——134脉含矿伟晶岩成矿年龄,本文通过锡石LA-MC-ICP-MSU-Pb年代学,对其成岩—成矿年龄进行了限定。结果表明,134号伟晶岩脉的锡石U-Pb年龄为 $203.7 \pm 4.6\text{Ma}$ ($n = 19$, MSWD = 2.8),代表了该伟晶岩型锂矿床的成矿年龄,表明其成矿作用发生在印支晚期。正是印支运动晚期漫长的稳定构造环境,为本区稀有金属的聚集成矿创造了有利条件,从而形成了巴颜喀拉—松潘成矿省中稀有金属矿床的代表——甲基卡超大型稀有金属矿床。

松潘—甘孜造山带典型稀有金属矿床的年代学结果显示,甲基卡、可尔因稀有金属矿集区内稀有金属矿床具有相似的成矿类型、成矿年龄和构造背景,成矿事件发生在印支晚期及燕山早期,都是巴颜喀拉—松潘造山带在印支运动之后相对稳定的构造背景下,在二云母花岗岩岩浆结晶分异过程中,含矿岩浆沿着热穹窿构造周边的张性空间充填所形成,具有“五层楼+地下室”的模型特点。矿石X射线粉晶衍射分析结果亦为今后的研究提供了新的方向。

致谢: 锡石制靶、阴极发光、年龄测试、数据处理过程中,均得到中国地质调查局天津地质调查中心涂家润博士的帮助;耿海涛硕士清绘了部分图件;匿名审稿人提出了诸多修改建议,在此一并表示感谢。

5 参考文献

- [1] 李献华,桂训唐. 花岗岩的定年方法学初论[J]. 地球化学,1990(4):303-311.
Li X H, Gui X T. Discussion on the methodology of granite dating[J]. *Geochimica*, 1990(4):303-311.
- [2] 张东亮,彭建堂,胡瑞忠,等. 锡石U-Pb同位素体系的封闭性及其测年的可靠性分析[J]. 地质论评,2011,57(4):549-554.
Zhang D L, Peng J T, Hu R Z, et al. The closure of U-Pb isotope system in cassiterite and its reliability for dating[J]. *Geological Review*, 2011, 57(4): 549-554.
- [3] Zhang R Q, Lu J J, Wang R C, et al. Constraints of in situ zircon and cassiterite U-Pb, molybdenite Re-Os and muscovite $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ages on multiple generations of granitic magmatism and related W-Sn mineralization in the Wangxianling area, Nanling range, South China[J]. *Ore Geology Reviews*, 2015, 65:1021-1042.

- [4] Yan Q H, Qiu Z W, Wang H, et al. Age of the Dahongliutan rare metal pegmatite deposit, West Kunlun, Xinjiang (NW China): Constraints from LA - ICP - MS U - Pb dating of columbite - (Fe) and cassiterite[J]. *Ore Geology Reviews*, 2016. [http://dx. doi. org/10.1016/j. oregeorev.2016.11.010](http://dx.doi.org/10.1016/j.oregeorev.2016.11.010).
- [5] 王倩,侯可军,邹天人. 适合于稀有金属矿床的同位素定年方法及其应用[J]. *地质学报*, 2019, 93(6): 1523 - 1532.
Wang Q, Hou K J, Zou T R. Isotopic dating method suitable for rare metal deposits and its application[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2019, 93(6): 1523 - 1532.
- [6] 崔玉荣,涂家润,陈枫,等. LA - (MC) - ICP - MS 锡石 U - Pb 定年研究进展[J]. *地质学报*, 2017, 91(6): 1386 - 1399.
Cui Y R, Tu J R, Chen F, et al. The research advances in LA - (MC) - ICP - MS dating of cassiterite[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2017, 91(6): 1386 - 1399.
- [7] Du G F, Yang X Y, Cao G Y, et al. Genesis and timing of the Sungai Lembing tin deposit in Pahang, East Malaysia: Constraints from LA - ICP - MS zircon and cassiterite U - Pb dating, geochemical compositions and Sr - Nd - Hf isotopes[J]. *Ore Geology Reviews*, 2020, 119: 1 - 18.
- [8] Lehmann B, Zoheir B A, Neymark L A, et al. Monazite and cassiterite U - Pb dating of the Abu Dabbab rare - metal granite, Egypt: Late Cryogenian metalliferous granite magmatism in the Arabian-Nubian Shield[J]. *Gondwana Research*, 2020, 84: 71 - 80.
- [9] Kendall - Langley L A, Kemp A I S, Grigson J L, et al. U - Pb and reconnaissance Lu - Hf isotope analysis of cassiterite and columbite group minerals from Archean Li - Cs - Ta type pegmatites of western Australia[J]. *Lithos*, [https://doi. org/10. 1016/j. lithos. 2019. 105231](https://doi.org/10.1016/j.lithos.2019.105231).
- [10] Carr P A, Zink S, Bennett V C, et al. A new method for U - Pb geochronology of cassiterite by ID - TIMS applied to the Mole Granite polymetallic system, eastern Australia[J]. *Chemical Geology*, 2020, 539: 1 - 10.
- [11] 王登红,李建康,付小方. 四川甲基卡伟晶岩型稀有金属矿床的成矿时代及其意义[J]. *地球化学*, 2005, 34(6): 541 - 547.
Wang D H, Li J K, Fu X F. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating for the Jiajika pegmatite - type rare metal deposit in western Sichuan and its significance[J]. *Geochimica*, 2005, 34(6): 541 - 547.
- [12] 王登红,付小方. 四川甲基卡外围锂矿找矿取得突破[J]. *岩矿测试*, 2013, 32(6): 987.
Wang D H, Fu X F. Breakthrough of lithium ore prospecting in Jiajika, Sichuan[J]. *Rock and Mineral Analysis*, 2013, 32(6): 987.
- [13] 刘丽君,王登红,侯可军,等. 锂同位素在四川甲基卡新三号矿脉研究中的应用[J]. *地质前缘*, 2017, 24(5): 167 - 171.
Liu L J, Wang D H, Hou K J, et al. Application of lithium isotope to Jiajika X03 pegmatite lithium polymetallic vein in Sichuan[J]. *Earth Science Frontiers*, 2017, 24(5): 167 - 171.
- [14] 刘丽君,付小方,王登红,等. 甲基卡式稀有金属矿床的地质特征与成矿规律[J]. *矿床地质*, 2015, 34(6): 1187 - 1198.
Liu L J, Fu X F, Wang D H, et al. Geological characteristics and metallogeny of Jiajika - style rare metal deposits[J]. *Mineral Deposits*, 2015, 34(6): 1187 - 1198.
- [15] 刘丽君,王登红,杨岳清,等. 四川甲基卡新三号稀有金属矿脉成矿特征的初步研究[J]. *桂林理工大学学报*, 2016, 36(1): 50 - 59.
Liu L J, Wang D H, Yang Y Q, et al. Metallogenic characteristics of X03 rare metal vein in Jiajika of Sichuan[J]. *Journal of Guilin University of Technology*, 2016, 36(1): 50 - 59.
- [16] 唐国凡,吴盛先. 四川省康定县甲基卡花岗伟晶岩锂矿床地质研究报告[R]. 西昌:四川省地质矿产局攀西地质大队, 1984.
Tang G F, Wu S X. Geological study report of Jiajika granite - pegmatite type lithium deposit in Kangding, Sichuan[R]. Xichang: Sichuan Geological and Mineral Bureau (Panxi Geological Brigade), 1984.
- [17] 郝雪峰,付小方,梁斌,等. 川西甲基卡花岗岩和新三号矿脉的形成时代及意义[J]. *矿床地质*, 2015, 34(6): 1199 - 1208.
Hao X F, Fu X F, Liang B, et al. Formation ages of granite and X03 pegmatite vein in Jiajika, western Sichuan, and their geological significance[J]. *Mineral Deposit*, 2015, 34(6): 1199 - 1208.
- [18] 王登红,刘丽君,代鸿章,等. 试论国内外大型超大型锂辉石矿床的特殊性与找矿方向[J]. *地球科学*, 2017, 42(12): 2243 - 2257.
Wang D H, Liu L J, Dai H Z, et al. Discussion on particularity and prospecting direction of large and super - large spodumene deposits[J]. *Earth Science*, 2017, 42(12): 2243 - 2257.
- [19] 王登红,刘丽君,侯江龙,等. 初论甲基卡式稀有金属矿床“五层楼+地下室”勘查模型[J]. *地质前缘*, 2017, 24(5): 1 - 7.

- Wang D H, Liu L J, Hou J L, et al. Preliminary review of the application of 'five levels + basement' model for Jiajika - style rare metal deposits [J]. *Earth Science Frontiers*, 2017, 24(5): 1 - 7.
- [20] 代鸿章, 王登红, 刘丽君, 等. 川西甲基卡 308 号伟晶岩脉年代学和地球化学特征及其地质意义[J]. *地球科学*, 2018, 43(10): 3664 - 3681.
- Dai H Z, Wang D H, Liu L J, et al. Geochronology, geochemistry and their geological significances of No. 308 pegmatite vein in the Jiajika deposit, western Sichuan, China[J]. *Earth Science*, 2018, 43(10): 3664 - 3681.
- [21] 杨岳清, 王登红, 刘善宝, 等. 四川甲基卡两类锂辉石矿体共存机制及其找矿意义[J]. *地质学报*, 2020, 94(1): 287 - 302.
- Yang Q Y, Wang D H, Liu S B, et al. The cooccurrence mechanism of two types of spodumene ore bodies and their prospecting significance in Jiajikan, Sichuan Province [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2020, 94(1): 287 - 302.
- [22] 四川省地质矿产勘查开发局 108 地质队. 四川省康定县甲基卡锂辉石矿区 No. 134 矿脉延深勘探报告[R]. 2011.
- Bureau of Geology and Minerals Exploration of No. 108 in Sichuan Province. Deepening exploration report of No. 134 ore vein in Kangding County, Sichuan Province [R]. 2011.
- [23] 周雄, 张贻, 赵开乐, 等. 四川甲基卡锂辉石矿 134 矿脉工艺矿物学特性[J]. *矿产综合利用*, 2018(3): 104 - 108.
- Zhou X, Zhang Y, Zhao K L, et al. Technological mineralogy characteristics of 134 vein in spodumene mine at Jiajika, Sichuan Province [J]. *Multipurpose Utilization of Mineral Resources*, 2018(3): 104 - 108.
- [24] Yuan S D, Peng J T, Hao S, et al. *In situ* LA - MC - ICP - MS and ID - TIMS U - Pb geochronology of cassiterite in the giant furong tin deposit, Hunan Province, South China: New constraints on the timing of tin - polymetallic mineralization[J]. *Ore Geology Reviews*, 2011, 43(1): 235 - 242.
- [25] 涂家润, 崔玉荣, 郝爽, 等. 同位素稀释热电离质谱法测定锡石 U - Pb 年龄探索[J]. *地球学报*, 2016, 37(6): 779 - 783.
- Tu J R, Cui Y R, Hao S, et al. An investigation of U - Pb isotope dating of cassiterite with isotope dilution - thermal ionization mass spectrometry [J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 2016, 37(6): 779 - 783.
- [26] Liu Y S, Gao S N, Hu Z C, et al. Continental and oceanic crust recycling - induced melt - peridotite interactions in the Trans - North China Orogen: U - Pb dating, Hf isotopes and trace elements in zircons from mantle xenoliths [J]. *Journal of Petrology*, 2010, 51(1 - 2): 537 - 571.
- [27] Ludwig K R. Isoplot/Ex, Version 3: A geochronological toolkit for Microsoft Excel [M]. California: Geochronology Center Berkeley, 2003: 1 - 70.
- [28] 费光春, 杨峥, 杨继忆, 等. 四川马尔康党坝花岗伟晶岩型稀有金属矿床成矿时代的限定: 来自 LA - MC - ICP - MS 锡石 U - Pb 定年的证据[J]. *地质学报*, 2020, 94(3): 836 - 849.
- Fei G C, Yang Z, Yang J Y, et al. New precise timing constraint for Dangba granitic pegmatite type rare - metal deposit, Markam, Sichuan Province, evidence from cassiterite LA - MC - ICP - MS U - Pb dating [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2020, 94(3): 836 - 849.
- [29] 郝爽, 李惠民, 李国占, 等. LA - ICP - MS 测定锡石 U - Pb 同位素年龄时两种普通铅扣除方法的原理及适用性比较[J]. *地质通报*, 2016, 35(4): 622 - 632.
- Hao S, Li H M, Li G Z, et al. The comparison of the principle and applicability between two methods of deducting the initial common lead for *in situ* LA - ICP - MS U - Pb isotope dating of cassiterite [J]. *Geological Bulletin of China*, 2016, 35(4): 622 - 632.
- [30] 周雄, 周玉, 罗丽萍, 等. 川西容须卡锂辉石矿床石英闪长岩锆石 LA - ICP - MS 测年及构造意义[J]. *矿物岩石*, 2018, 38(4): 88 - 97.
- Zhou X, Zhou Y, Luo L P, et al. LA - ICP - MS dating and tectonic significance of quartz diorite zircon in the Rongxuka podumene deposit, western Sichuan [J]. *Mineralogy and Petrology*, 2018, 38(4): 88 - 97.
- [31] 周玉, 周雄, 张贻, 等. 川西长征穹窿高分异花岗岩地球化学、锆石 U - Pb 定年、Lu - Hf 同位素特征: 对区域稀有金属成矿背景的限定[J]. *矿床地质*, 2019, 38(4): 815 - 836.
- Zhou Y, Zhou X, Zhang Y, et al. Geochemistry of the Changzheng high - distribution granite in west Sichuan, zircon U - Pb dating, Lu - Hf isotope characteristics: Limitation of regional rare metal mineralization [J]. *Mineral Deposits*, 2019, 38(4): 815 - 836.
- [32] Chen Q, Sun M, Zhao G C, et al. Origin of the mafic microgranular enclaves (MMEs) and their host granitoids from the Tagong Pluton in Songpan - Garze Terrane: An igneous response to the closure of the Paleo - Tethys Ocean [J]. *Lithos*, 2017, 290 - 291: 1 - 17.
- [33] 叶亚康. 松潘 - 甘孜造山带东缘松林口岩体岩石地球化学、锆石 U - Pb 年代学及其构造意义[D].

成都:成都理工大学,2019.

Ye Y K. Rock geochemistry, zircon U - Pb geochronology and tectonic significance of the Songlinkou rock mass in the eastern margin of the Songpan—Garze Orogenic Belt [D]. Chengdu:Chengdu University of Technology,2019.

- [34] 许志琴,王汝成,赵中宝,等. 试论中国大陆“硬岩型”大型锂矿带的构造背景[J]. 地质学报,2018,92(6):1091-1106.

Xu Z Q, Wang R C, Zhao Z B, et al. On the structure backgrounds of the large - scale ‘hard - rock’ type lithium ore belts in China[J]. Acta Geologica Sinica, 2018,92(6):1091-1106.

- [35] Xu Z Q, Fu X F, Wang R C, et al. Generation of lithium - bearing pegmatite deposits within the Songpan—Ganze orogenic belt, East Tibet[J]. Lithos, 2020;354-355.

- [36] 许家斌,费光春,覃立业,等. 四川可尔因矿田李家沟伟晶岩型稀有金属矿床锡石 LA - MC - ICP - MS U - Pb定年及地质意义[J]. 地质与勘探,2020,56(2):346-358.

Xu J B, Fei G C, Qin L Y, et al. LA - MC - ICP - MS U - Pb dating of cassiterite from the Lijiagou pegmatite - type rare - metal deposit in the Ke’eryin orefield, Sichuan Province and its geological implication [J]. Geology and Exploration, 2020,56(2):346-358.

Cassiterite U - Pb Dating of No. 134 Pegmatite Vein in the Jiajika Rare Metal Deposit, Western Sichuan and Its Geological Significances

ZHOU Xiong^{1,2,3}, ZHOU Yu^{1,2,3}, SUN Bao - wei⁴, TAN Hong - qi^{1,2,3}, YUE Xiang - yuan^{1,2,3}, ZHU Zhi - min^{1,2,3}

- (1. Institute of Multipurpose Utilization of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Chengdu 610041, China;
2. Technology Innovation Center of Rare Earth Resources Application, China Geological Survey, Chengdu 610041, China;
3. Technology Innovation Center of Rare Earth Resources Development and Utilization, China Geological Survey, Chengdu 610041, China;
4. The 405 Geological Brigade of Sichuan Bureau of Geology & Mineral Resources, Dujiangyan 611830, China)

HIGHLIGHTS

- (1) The mineralization age of granite pegmatite lithium deposits can be accurately constrained by the cassiterite LA - MC - ICP - MS U - Pb dating method.
- (2) The mineralization age of No. 134 pegmatite vein of Jiajika was 203.7 ± 4.6 Ma.
- (3) The mineralization of rare metals in the Songpan—Ganzi orogenic belt was controlled by the same tectono - magmatic evolution.

ABSTRACT

BACKGROUND: The pegmatite lithium deposit has become important for modern industries with strategic value, which is a key mineral resource in urgent need in China. However, the mineralization age restricts the research on the mineralization process and mechanism of this type of lithium deposit. The Jiajika rare metal deposit is the largest pegmatite lithium deposit of China in the western Sichuan, and the No. 134 vein is the most typical pegmatite vein. The No. 134 pegmatite vein is mainly composed of spodumene, tantalite, zircon, beryl, cassiterite, plagioclase, orthoclase, quartz and muscovite.

OBJECTIVES: To accurately constrain the mineralization age of the No. 134 pegmatite vein.

METHODS: Laser ablation – multiple collector – inductively coupled plasma – mass spectrometry (LA – MC – ICP – MS) U – Pb geochronology was used on cassiterite.

RESULTS: The concordant age in the ore samples was 203.7 ± 4.6 Ma, which represented the mineralization age of No. 134 pegmatite vein. This age indicated mineralization in the Late Indosinian period.

CONCLUSIONS: The stable tectonic environment in the Late Indosinian movement is the favorable condition for accumulation and mineralization of rare metals, which is beneficial for the formation of the super – large Jiajika rare metal deposit.

KEY WORDS: cassiterite U – Pb dating; geochronology; pegmatitic lithium deposit; Jiajika; western Sichuan