

川西九龙地区两期伟晶岩型稀有金属成矿作用

谭洪旗¹, 朱志敏¹, 周雄¹, 胡军亮^{1,2}

(1. 中国地质科学院矿产综合利用研究所, 中国地质调查局稀土资源应用技术创新中心, 四川 成都 610041; 2. 成都理工大学地球科学学院, 四川 成都 610059)

摘要: 川西是我国重要的稀有金属产地之一, 有李家沟、业隆沟、甲基卡等超大型-大型锂铍矿床, 其形成时代为 220~200 Ma。本文总结了九龙地区主要稀有金属矿床特征及其相关花岗岩的成岩成矿时代, 发现九龙地区以铍矿为主, 且锂矿与燕山早期 A 型花岗岩有关, 并存在两期稀有金属成矿 (165~150 Ma、200~180 Ma), 明显不同于甲基卡、可尔因、扎乌龙稀有金属矿集区。九龙地区因深切切割、剥蚀程度高而缺失锂, 暗示与九龙地区同处雅江盆地的甲基卡深部可能以赋存铍铌钽矿体为主。上述发现挑战了 LCT (Li-Cs-Ta) 与 S 型和 I 型花岗岩有关的观点, 丰富了花岗岩与稀有金属成矿理论, 为九龙地区稀有金属找矿指明了方向。

关键词: 松潘-甘孜; 川西; 九龙; 稀有金属; A 型花岗岩

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2022.01.003

中图分类号: TD989; P617 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532 (2022) 01-0015-10

花岗岩 (泛指“花岗质岩石”) 是陆壳岩石的重要组成部分之一, 在内生金属矿床成因研究方面具有重要的科学意义^[1]。研究认为, 花岗岩与岩浆-热液矿床 (如斑岩型铜钼矿床、伟晶岩型稀有金属矿床、矽卡岩型铜铁和钨矿床等) 在时间、空间上密切相关, 其中伟晶岩型稀有金属矿床是我国硬岩型锂、铍等稀有金属的重要成矿类型^[2-7]。

最常用的花岗岩成因分类方案为 M、I、S 和 A 型, 其中 I 型花岗岩的源来自于火成岩, S 型来自沉积岩, M 型来自幔源。而 A 型花岗岩以高硅、富碱、低钙为特征, 具碱性、贫水、非造山和铝质特点, 以碱性长石和石英为其主要矿物, 次要矿物以含有霓石、钠铁闪石等碱性暗色镁铁矿物为特征^[8]。A 型花岗岩形成于伸展的构造背景中, 主要与锡、锆、铅、铌、钽及稀土矿产有关^[9]。

London 等^[10] 认为伟晶岩主要由花岗质岩浆形成的火成岩, 传统上伟晶岩被认为是花岗质岩浆分异演化晚期固结的产物。研究发现, 伟晶岩通常与母质岩浆具有密切的时空关系, 可以靠近母

质花岗岩的部位, 也可以赋存于变质沉积围岩中, 但不少也与母岩浆无成因关系^[11]。与母质花岗岩浆无关的伟晶岩主要由地壳物质部分熔融或深熔, 并沿深部岩石圈断裂带的熔体循环而成^[12]。

伟晶岩型稀有金属矿床可分为 LCT 型 (Li-Cs-Ta)、NYF 型 (Nb-Y-F) 及复合型, 其中 NYF 型与 A 型花岗岩有关, LCT 型 (Li-Cs-Ta) 则与 S 型和少量 I 型花岗岩有关^[13]。LCT 型伟晶岩主要形成于伸展背景下的晚造山和造山后阶段^[14], 同造山阶段形成的 LCT 型稀有金属伟晶岩矿化规模较小。LCT 型伟晶岩岩浆的源区主要来自未亏损 LCT 元素的中-上地壳的变沉积岩或变火成岩的深熔作用^[13] 和基底 (变) 火成岩的低程度部分熔融作用^[15]。LCT 伟晶岩型锂矿床成因存在争论, 主流观点认为花岗质岩浆高度结晶分异作用可导致 LCT 伟晶岩形成, 少数学者认为地壳岩石部分熔融可直接形成伟晶岩岩浆^[16]。LCT 伟晶岩型稀有金属成矿机制主要有分离结晶作用、岩浆不混溶、超临界流体和组成带状纯化^[17]。

川西地区发现了甲基卡、扎乌龙、九龙地区

收稿日期: 2021-12-01

基金项目: 中国地质调查项目 (DD20190185、DD20221697) 资助

作者简介: 谭洪旗 (1984-), 男, 博士, 高级工程师, 主要从事基础地质调查工作。

和可尔因四大稀有金属矿集区^[18-19]，主要以锂、铍矿为主。与锂矿有关的甲基卡马颈子花岗岩（约 223 Ma）、马尔康的可尔因花岗岩（226~211 Ma）为 S 型花岗岩，而马尔康太阳河岩体为 I 型闪长岩。甲基卡和可尔因矿集区目前已探明李家沟、党坝、业隆沟、甲基卡等多个大型和超大型矿床^[18-19]。

四川九龙地区与花岗岩有关的稀有金属矿床（点）大多处于勘查阶段，主要有打枪沟锂铍矿床、洛莫铍矿床、白台铍铌钽矿床、若登铍矿点、盐水塘铍铷矿点、上基拱铍矿点^[18-19]。本文总结了九龙地区花岗岩成岩成矿时代，发现与稀有金属有关的花岗岩-伟晶岩形成时代为 165~150 Ma、200~180 Ma，与川西甲基卡、可尔因、石渠地区在成矿时代上完全不同。九龙地区与锂铍等稀有金属有关的岩石为 A 型花岗岩，非传统认为的 LCT 型与 I 型和 S 型花岗岩有关，并在此基础上讨论了九龙地区稀有金属成矿作用，为九龙河流域及其周缘的稀有金属找矿勘探工作提供指导依据。

1 区域地质背景

松潘—甘孜地块西侧以金沙江缝合带与青藏高原毗邻，东南缘以龙门山-锦屏山逆冲构造带与扬子地块西缘相连，东北部与华北地块以秦岭造山带相连接。松潘-甘孜地块为特提斯-喜马拉雅造山系中重要组成部分之一，曾经历古特提斯和新特提斯两大连续造山事件，总体呈倒三角形。松潘-甘孜地块的主要特征是“双向”造山极性和变形构造体制。造山带内部由甘孜-理塘缝合带、后龙门山断裂和木里前缘逆冲带分割成义敦岛弧碰撞带、造山带主体和造山带前陆三部分（图 1）。川西九龙花岗岩-伟晶岩位于扬子地块西缘与松潘-甘孜造山带的结合部位，有印支期（220~205 Ma）I 型花岗岩（兰尼巴岩体、羊房沟岩体、三岩龙-放马坪岩体、嘎啦子岩体等）和燕山早期（165~160 Ma）A 型花岗岩（新火山岩体、乌拉溪岩体及桥棚子岩体）。岩体内部及其周边发育节理（断裂）、石英脉、伟晶岩脉等，其周缘分布三叠纪西康群地层、花岗岩脉及其伟晶岩脉，多以复向斜和复背斜出现。该区变质作用较弱，早期以印支期区域变质作用（低绿片岩相）为主，后期围绕岩体周边发育接触交代变质作用。仅江浪

穹隆发育巴罗式变质作用，变质程度为高绿片岩相-低角闪岩相^[19]。

2 主要稀有金属矿床特征

川西九龙地区以伟晶岩型铍（锂）矿床为主，主要有打枪沟锂铍矿床、洛莫铍矿床、若登铍矿、埃今铍矿、上基拱铍矿等中小型矿床（点）。

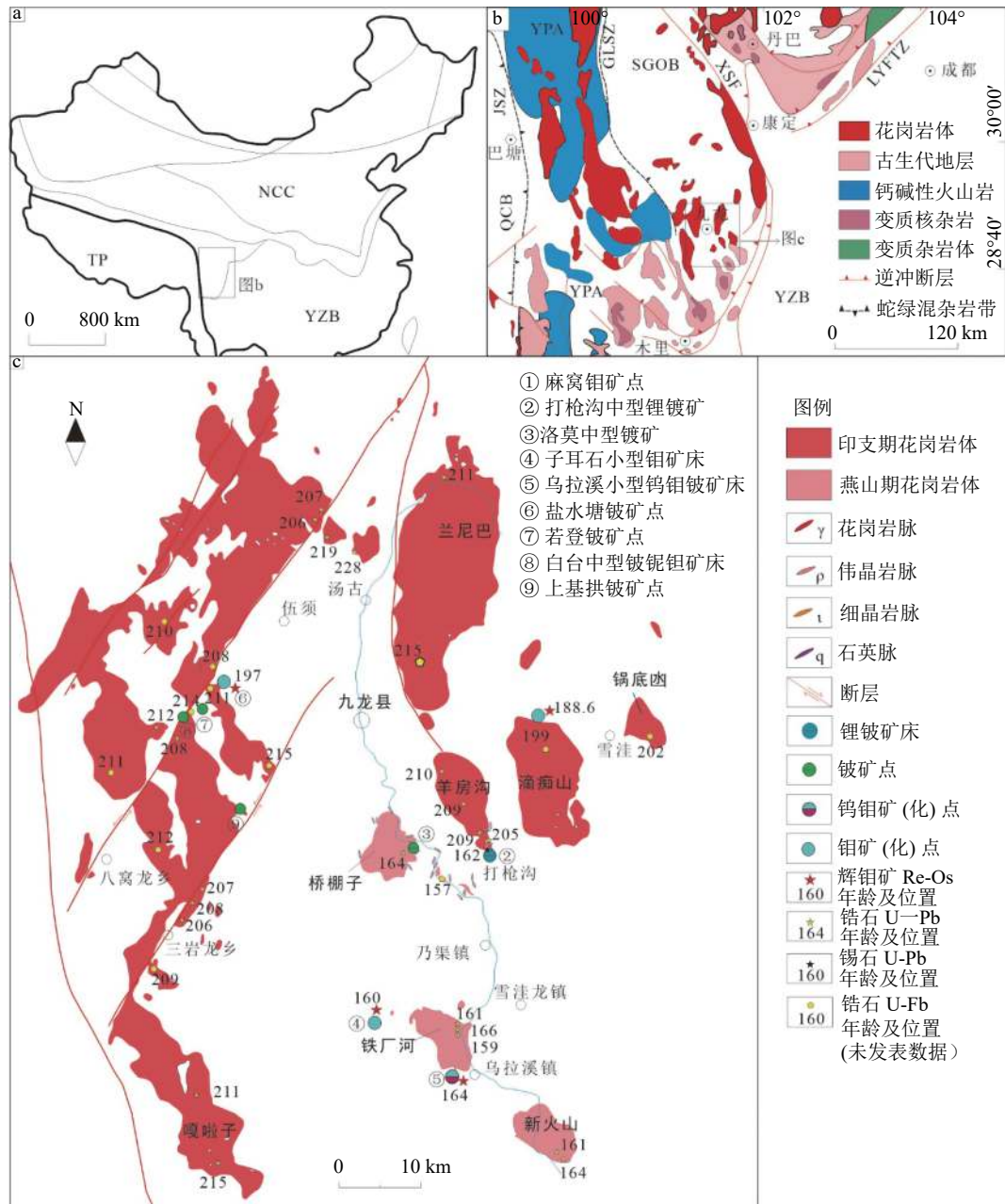
2.1 打枪沟锂铍矿床

打枪沟锂铍矿床，又称三岔河矿床^[19]，该矿床氧化锂资源量 3.3 万 t，氧化铍资源量 5946 t，达到中型规模。打枪沟锂铍矿床位于洋房沟岩体的南缘，距离桥棚子岩体约 5~7 km，主要产于西康群的片岩节理及燕山早期石英闪长岩（锆石 U-Pb 为 200 Ma）内北东向和近东西向节理中，受燕山期花岗伟晶岩脉控制，产状与伟晶岩脉基本一致，呈板状、楔状、透镜状，赋存于钠长石-锂辉石伟晶岩脉和钠长石伟晶岩脉中，成群产出。打枪沟锂铍矿床中锂矿化分布在海拔 3600~4100 m，铍矿化则分布在 4100~4600 m。这些伟晶岩脉中产出锂、铍矿体 14 条，其中锂铍矿体 1 条，锂矿体 5 条，铍矿体 8 条；为硅化、云英岩化、碳酸盐化、绿泥石化以及褐铁矿化等围岩蚀变。矿石具文象结构、细粒结构、半自形-自形粒状结构、交代结构等；以块状构造为主，少部分具有斑杂状构造。金属矿物主要有锂辉石、褐铁矿、赤铁矿、磁赤铁矿、磁铁矿、铌钽铁矿、锂云母、锂霞石、绿柱石等（图 2）；非金属矿物主要有石英、斜长石、钾长石、白云母、高岭石、磷灰石等。研究表明，Li₂O 主要赋存在锂辉石中，少量分布于锂云母、锂霞石、腐锂辉石、锂电气石、云母、长石、石英中；BeO 主要赋存于绿柱石中^[20]。图 2（a）伟晶岩脉中铌钽铁矿和锡石 U-Pb 定年，其年龄分别为 163 Ma、157 Ma，暗示打枪沟矿床成矿时代限制为燕山早期。

2.2 白台铍铌钽矿床

白台铍铌钽矿床位于八窝龙花岗岩岩体边部，围岩为马场二长花岗岩。矿物内有 115 条伟晶岩脉，其中含铍矿化伟晶岩脉有 13 条。区内伟晶岩钠长石含量>10%，微斜长石含量>15%，应属微斜长石-钠长石型。本区伟晶岩分异分带较好，可划分五个结构带，以中粗粒带及块状带最发育。

（1）细粒边缘带（包括细粒石英钠长石



YZB-扬子地块; NCC-华北克拉通; TP-青藏高原; LYFTZ-龙门山-盐源前陆逆冲带; SGOB-松潘-甘孜地块; GLSZ-甘孜-理塘蛇绿混杂岩带; JSZ-金沙江蛇绿混杂岩带; YPA-义敦岛弧; QCB-羌塘-昌都陆块; XSF 鲜水河走滑断层

图1 川西九龙及其邻区地质略图^[20-25]

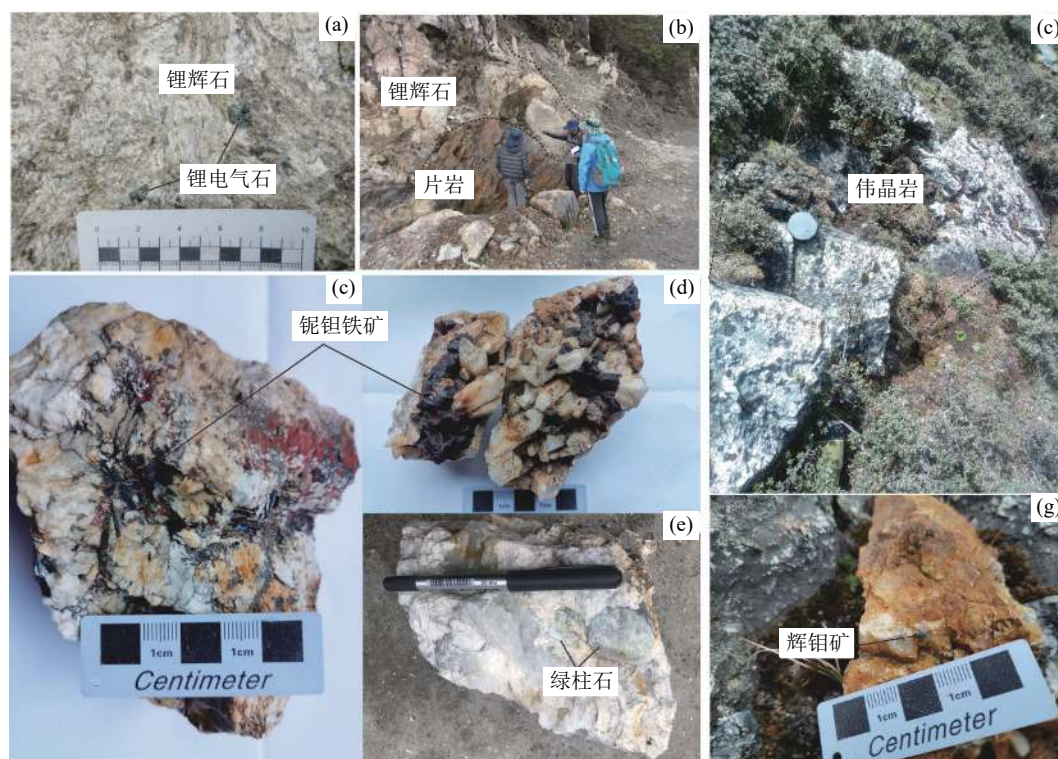
Fig.1 Geological sketch map of the Jiulong region and its adjacent areas in western Sichuan

带)：于脉壁及顶部断续出现，厚几厘米至几十厘米。主要由石英(30%~40%)、微斜长石(20%~30%)、钠-奥长石(20%~25%)、白云母(5%~10%)及少量石榴石组成，偶见细晶绿柱石、针状铌-钽铁矿。

(2) 中粒石英微斜长石钠长石带：分布于上下盘或占据整个脉体，带厚0.2~3 m。由石英(30%)、钠长石(35%~45%)、微斜长石

(20%~25%)、白云母(5%)等组成，偶见黑云母、绿泥石。稀有矿物以细晶绿柱石为主，次为薄片状、针状铌-钽铁矿。

(3) 中粗粒石英微斜长石钠长石带：为脉上下盘的主要结构带，厚一至数米。矿物成分为石英(25%~35%)、钠长石(25%~40%)、微斜长石(15%~35%)、白云母(5%~10%)，偶见黑云母。副矿物有石榴石、磷灰石、锆石、闪锌



a-No.1 锂辉石矿体, 打枪沟; b-锂辉石、锂电气石矿物, 打枪沟; c, d-铌钽铁矿, 白台; e-伟晶岩中绿柱石, 白台; f-伟晶岩露头, 盐水塘; g-伟晶岩中辉钼矿, 盐水塘

图2 九龙地区打枪沟、白台及盐水沟伟晶岩型稀有金属露头

Fig.2 Pegmatite type rare metal outcrops at Daqianggou, Baitai and Yanshuitang in Jiulong area

矿、褐铁矿等。稀有矿物常见细中粒绿柱石和针状、薄片状铌-钽铁矿。

(4) 粗粒石英微斜长石带: 成带性差, 常于脉中心、顶部或尖灭端代替块状带。矿物成分为石英 (30%)、微斜长石 (40%~60%)、钠长石 (10%~20%)、少量白云母。副矿物有少量石榴石, 偶见褐铁矿、黄铁矿。稀有矿物主要是粗晶绿柱石, 偶见板状、板柱状、粒状铌-钽铁矿。

(5) 块状石英微斜长石带 (包括块状微斜长石带及块状石英带): 主要分布在脉体中心。矿物成分为石英 (20%~80%)、微斜长石 (15%~70%)、钠长石 (5%~10%)、白云母 (3%~5%)。副矿物见石榴石、磷灰石、辉钼矿等。稀有矿物主要为粗、巨晶绿柱石 (0.01%~5.12%), 还见少量板状、短柱状、粒状铌-钽铁矿。

二长花岗岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 213.4 ± 0.9 Ma, 铌钽铁矿 U-Pb 年龄为 188.9 ± 1.6 Ma。铌钽成矿年龄较二长花岗岩成岩年龄年轻近 25 Ma, 与川西甲基卡地区成岩成矿年龄基本一致, 暗示稀有金属成矿与岩浆-热液的晚期阶段有关。

2.3 洛莫铍矿床

洛莫铍矿床位于桥棚子二云母花岗岩体的外接触带中, 该矿床远景储量为 534 t, 达到中型铍矿床规模。洛莫铍矿床有 50 条伟晶岩脉, 其中具矿化的脉体为 30 条。伟晶岩脉长为 40~600 m, 以 100~150 m 为主, 厚为 80~1 m, 一般在 4 m 左右。其中, 两条脉体具有工业价值, 101 号脉为 227 m, 厚 3.25 m, 平均含 BeO 为 0.326%; 102 号脉长 120 m, 厚 3.95 m, 平均含 BeO 为 0.233%。围岩主要为西康群云母石英片岩, 呈眼球状或条带状构造, 局部具不同程度的角岩化。岩体的外接触带中有大量的花岗伟晶岩脉分布, 从洛莫-长草坪一带分布伟晶岩脉 55 条。产于外接触带围岩中的岩脉多沿片理裂隙产出, 与片理斜交或垂直者甚少, 脉长而厚, 呈膨胀脉状, 而在内接触带或岩体内的脉短而窄, 呈规则板状。岩脉的蚀变和交代作用主要呈钠长石化, 与矿化关系密切。其次是白云母化, 云英岩化, 与矿化也有一定关系。矿化脉中主要产绿柱石, 主要富集在中粒带、粗粒带和块体带中。与矿有成因联系的二云母二长花岗岩, 其锆石 U-Pb 年龄为 168 Ma。

2.4 上基拱钼矿点

上基拱钼矿点位于三岩龙断层的西侧，产于区内二长花岗岩的接触带上，围岩主要为三叠系西康群的变质砂岩、粉砂岩及石英片岩中，在接触带附近分布有50余条伟晶岩脉。这些伟晶岩脉一般长5~150 m，厚1~5 m，多为石英微斜条纹长石型、石英白云钠长石型，分异性差，分带现象不明，以中粗粒结构为主，局部呈块状结构。蚀变交代作用以钠长石化为主，次为白云母化和云英岩化。初步调查，有11条具钼矿化，1条铍矿化，2条铌矿化^[21]。二长花岗岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 214~216 Ma。该地区绿柱石的 SiO₂ 含量为 64.25%~67.19%（平均 65.82%），Al₂O₃ 含量为 16.71%~18.54%（平均 17.40%），BeO 含量为 14.97%~16.46%（平均 15.67%），富含 Li、S、Zn、Se、Cs 等微量元素。

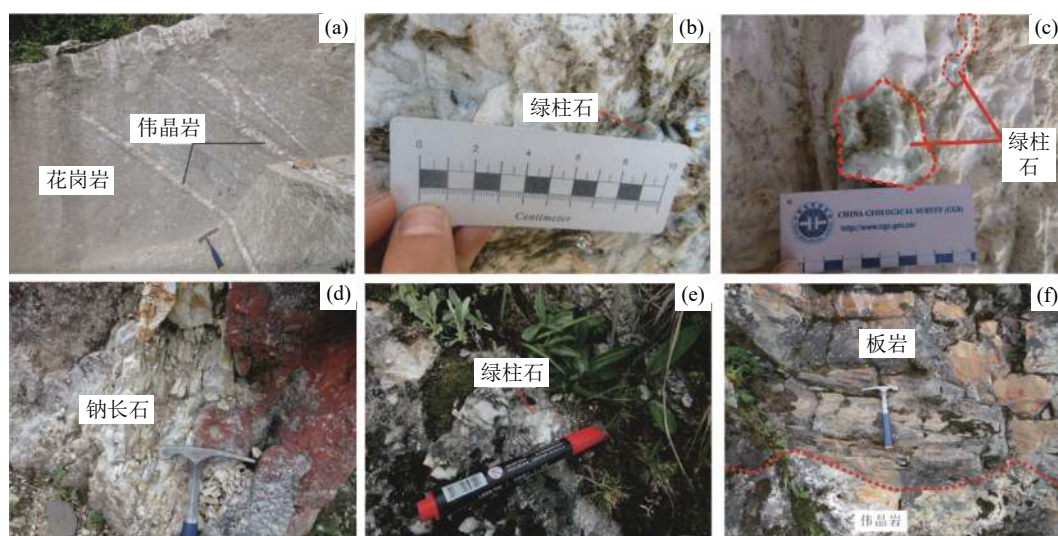
2.5 若登矿点

若登岩体位于九龙县八窝龙公社北东 22°，平距约 17.5 km。产于区内二长花岗岩的接触带上，围岩主要为三叠系西康群的变质砂岩、粉砂岩及石英片岩中，在接触带附近分布有 40 余条伟晶岩脉。按矿物共生组合，可分石英微斜条纹长石型（石英 20%~30%+微斜长石 50%~60%+白云母 5%）及石英白云钠长石型（石英 20%~30%+白云

母 5%~10%+叶片状钠长石 60%~70%）。二长花岗岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 214 Ma。若登地区的绿柱石主要为六方短柱的板状晶体，呈淡蓝色和无色透明晶体两种，以后者为主。绿柱石中富 BeO 为 12.76%~13.60%（平均 13.14%）。

2.6 盐水塘铍钽铷矿点

盐水塘位于上团乡附近，已发现伟晶岩脉体 30 余条，分带性差，大多为钠长石伟晶岩。该地区发现含铍钽铷伟晶岩脉 1 条（BeO 品位 0.052%~0.063%）。花岗伟晶岩为灰白色，细—粗粒伟晶结构、文象、交代结构，块状、带状构造。矿物成分为斜（钠）长石 5%~50%；碱性长石 10%~45%，以微斜长石为主；石英 20%~55%，白云母 5%~15%，铁质及金属矿物 1%~5%。另外，含少量堇青石，微量的绿柱石、石榴石等其他矿物。根据长石类型、含量不同可划分为微斜长石伟晶岩、微斜长石-钠长石伟晶岩、钠长石伟晶岩三类。其中铍、铷矿体主要赋存于微斜长石-钠长石伟晶岩、钠长石伟晶岩中。伟晶岩常见蚀变为硅化、钠长石化、白云母化、钾长石化及高岭土化和碳酸盐化。No.19 脉体中发现辉钼矿化，其辉钼矿 Re-Os 年龄为 197.3±2.8 Ma。周边花岗岩年龄为 208~211 Ma，暗示研究区约 197 Ma 钼矿化事件，可能为岩浆热液演化的产物。



a, b-桥棚子花岗岩及其产于伟晶岩中的绿柱石，洛莫，c, d-上基拱中绿柱石及钠长石，e, f-若登伟晶岩中绿柱石

图3 九龙洛莫、上基拱及若登地区伟晶岩及其绿柱石

Fig.3 Pegmatite and its beryl from Luomo, Shangjigong and Ruodeng in Jiulong area

3 花岗岩的成岩成矿时代综述

通过收集川西地区的各花岗岩体的成岩年

龄，川西地区中新生代花岗岩主要分为四期：230~200 Ma、170~150 Ma、~100 Ma、18~14 Ma（图4）。其中，第一高峰期锆石 U-Pb 年龄为

230~200 Ma, 主要分布在藏东江达、义敦岛弧带、康定松林口-塔公、马尔康、九龙放马坪-三岩龙等地^[23-28], 大多数为 I 型花岗岩和 S 型花岗岩, 仅年保玉则为 A 型花岗岩^[29]; 第二期为九龙乌拉溪、新火山及桥棚子花岗岩 (170~150 Ma)^[21-23]; 第三期为川西德格雀儿山地区 (~100Ma)^[30]; 第四期为喜马拉雅期 (18~14 Ma), 主要以折多山为主的新生代花岗岩体^[31]。其中, 与锂矿有关的甲基卡马颈子花岗岩 (约 223 Ma)、马尔康的可尔因花岗岩 (211~226 Ma) 为 S 型花岗岩^[32], 马尔康太阳河岩体为 I 型闪长岩^[33]。

九龙地区花岗岩年龄主要有三期: 225~200 Ma、~190 Ma、170~140 Ma (图 4)。九龙放马坪-三岩龙-嘎啦子、顶天柱、日鲁库、兰尼

巴、羊房沟岩体锆石 U-Pb 年龄为 225~206 Ma^[24], 为 I 型花岗岩, 部分还具埃达克岩性质; 铁厂河、新火山、桥棚子岩体为 168~150 Ma^[21-23], 具有高 SiO_2 、 Na_2O 和 K_2O 含量, 高 FeO/MgO 、 Ga/Al 比值, 以及低 TiO_2 、 CaO 和 MgO 含量特征, 为铝质 A 型花岗岩^[22]。因此, 九龙地区以 I 型花岗岩为主, 其次是 A 型花岗岩 (图 1)。与打枪沟锂铍矿床有关的桥棚子花岗岩为过铝质、钙碱性-高钾钙碱性系列, 温度为 732~819℃ (平均 767℃), 明显高于 S 型和 I 型花岗岩, 其成岩年龄为 $(168.2 \pm 1.0) \text{ Ma}$, 具有 A 型花岗岩特征, 代表当时松潘—甘孜地块南缘岩石圈处于伸展构造时期, 形成于碰撞造山后环境。

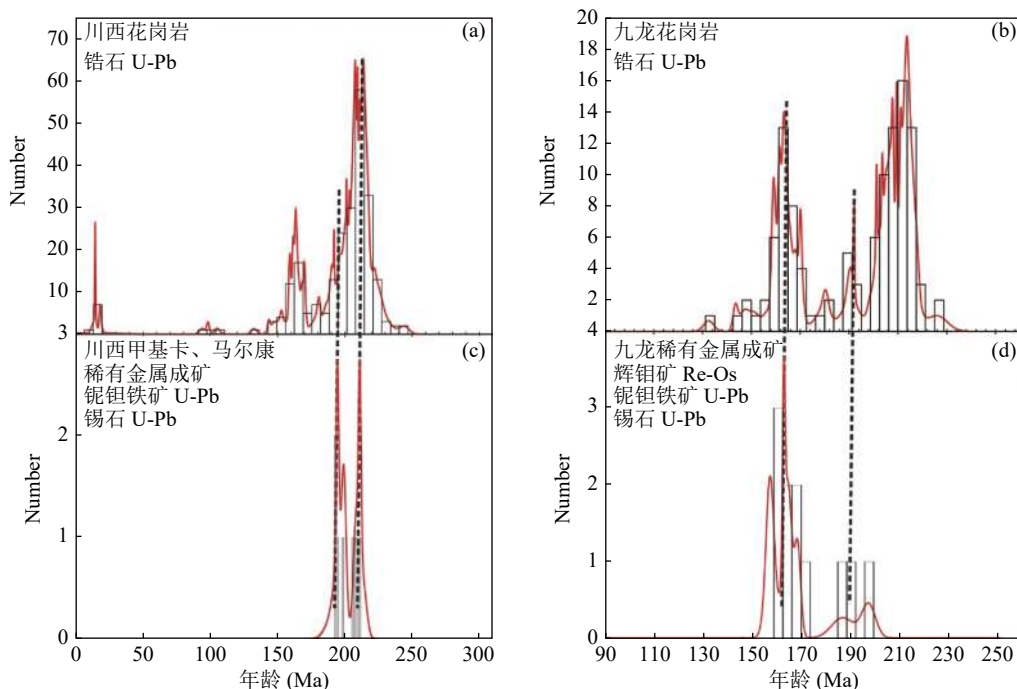


图 4 川西地区花岗岩与稀有金属成矿时代对比

Fig.4 Comparison map of granite and rare metal metallogenic ages in western Sichuan area

4 稀有金属成矿时代

川西稀有金属成矿带中党坝锂矿成矿年龄为 199~208 Ma^[34], 李家沟锂矿成矿年龄约为 211 Ma^[27], 甲基卡 134 号脉、308 号脉锡石 U-Pb 年龄分别为 $203.7 \pm 4.6 \text{ Ma}$ ^[35]、 $210.9 \pm 4.6 \text{ Ma}$ ^[36]。甲基卡、可尔因稀有金属矿集区, 成矿年龄限制在 215~195 Ma^[2,19], 且成矿与 S 型或 I 型花岗岩有关, 普遍晚于花岗岩成岩年龄约 5~25 Ma (图 4)。

九龙打枪沟 NO.01 号含锂铍伟晶岩脉体中锡

石和铌钽铁矿 U-Pb 年龄为 163、157 Ma; 王伟等^[37] 获得另一条伟晶岩型稀有金属矿床中铌钽铁矿 U-Pb 同位素年龄为 $157.1 \pm 2.1 \text{ Ma}$ 。赋矿岩体羊房沟花岗闪长岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄 $205.3 \pm 1.3 \sim 209.4 \pm 3.3 \text{ Ma}$, 明显早于伟晶岩型稀有金属约 40 Ma, 年龄跨度大, 从年代学上证实与锂铍等稀有金属成矿无直接关系。因此, 我们认为九龙打枪沟锂铍成矿主要与燕山早期 (约 160 Ma) 的岩浆活动有关, 成矿时代上明显不同于甲基卡、

扎乌龙、可尔因稀有金属矿集区。另外，八窝龙白台地区的铌钽铁矿 U-Pb 年龄为 188.9 ± 1.6 Ma，较母岩二长花岗岩（LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 213.4 Ma）年轻约 25 Ma。因此，九龙地区以 ~ 190 Ma、165~150 Ma 的稀有金属矿化年龄为主，具二期稀有金属成矿作用（图 4）。

结合区域地质背景，打枪沟与洛莫矿区已证实与桥棚子 A 型花岗岩有关。因此，川西九龙地区发现与锂矿有关的燕山早期 A 型花岗岩，而甲基卡、可尔因地区锂铍成矿则与印支晚期 S 型、I 型花岗岩有关。这一发现挑战了 LCT（锂铍）成矿与 S 型及少量 I 型花岗岩的认识，丰富了花岗岩与稀有金属的成矿理论。

5 深切割对稀有金属保存的制约

野外调查发现，桥棚子岩体缺失白云母花岗

岩，打枪沟部分伟晶岩产于羊房沟花岗闪长岩体中（图 5）。从已有含锂铍伟晶岩矿化分带分布来看，洛莫矿区具有缺失锂，富铍的矿化特征（图 5）^[38-39]。前人研究认为，稀有金属在垂向上为 Be、Be-Nb-Ta、Li-Be-Nb-Ta、Li-Cs-Be-Nb-Ta 的分布形式，是 S 型花岗质岩浆高度的结晶分异的产物^[39]。打枪沟矿床 3600~4100 m 以锂为主，4100~4600 m 以铍为主，上“铍”下“锂”恰与高温花岗岩-伟晶岩锂铍成矿系统组构类型矿化分带相反（图 5）^[38-39]。结合洛莫矿区与打枪沟矿区所处的构造环境来看，洛莫至打枪沟为背斜向向斜过渡的环境，又因洛莫以铍矿为主，缺失锂，暗示洛莫矿区遭受强烈剥蚀而使锂消失不在；打枪沟上“铍”下“锂”，暗示了锂铍成矿可能在褶皱构造之前，或者打枪沟下部蕴含有与桥棚子岩体相似的另一花岗岩体。

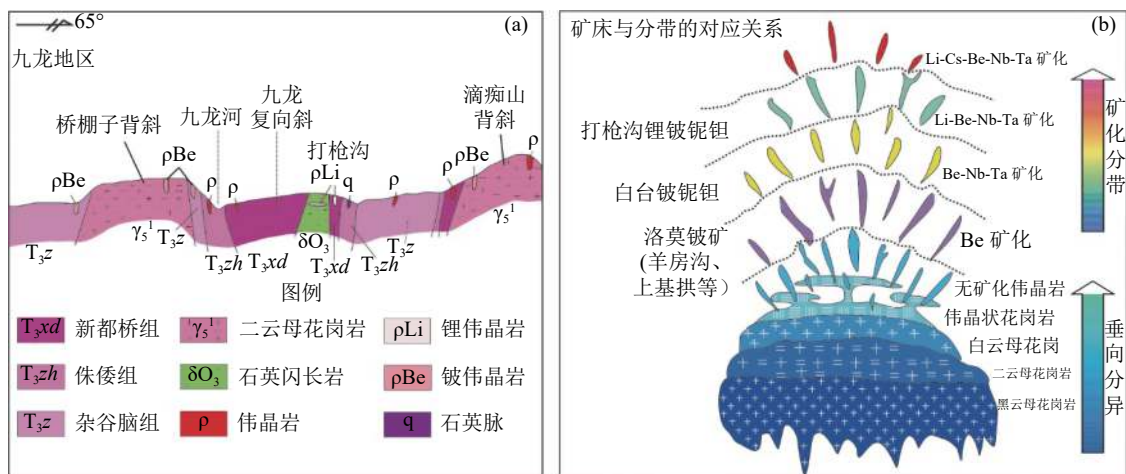


图 5 九龙地区伟晶岩型稀有金属分布模式

Fig.5 Distribution pattern of pegmatite rare metals in Jiulong area

从垂向和矿化分带来看，川西九龙地区分布有白台铍钽矿床、洛莫铍矿床、打枪沟锂铍矿床、上基拱铍矿床、若登铍矿床等稀有金属矿床（点），正好与矿化分带相对应（图 5），暗示含锂矿床可能因该区隆升和强烈剥蚀不复存在。前人一般采用构造-热年代学来研究山脉、高原隆升和剥蚀是较为有效的方法^[40]，特别是通过磷灰石、锆石的裂变径迹、云母和长石 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 数据相结合^[25]，成为重建 100-300℃ 浅-中地壳热历史和研究地壳表层与构造有关的热演化的有效手段^[40]。初步研究表明，羊房沟岩体锆石裂变径迹为 65~78 Ma；打枪沟中型矿床 1 号矿体和羊房沟

岩体的磷灰石裂变径迹分别为 23~18 Ma，明显不同于洛莫地区烂碛花岗岩中磷灰石裂变径迹年龄（11~8.2 Ma）。因此，锂铍矿体的隆升剥蚀开始时间为 65~78 Ma，且打枪沟矿床出露时间要早于洛莫地区，但未开展细致的裂变径迹研究，无法定量评估岩（矿）体隆升高或剥蚀的深度。通过上述分析，与九龙地区同处雅江盆地的甲基卡，因其剥蚀程度低，暗示甲基卡深部可能以赋存铍钽矿体为主。

6 结 论

（1）九龙地区稀有金属具两期成矿作用

(165~150 Ma 和 185~200 Ma), 成矿年龄较花岗岩成岩年龄晚约 5~25 Ma。

(2) 九龙地区发现锂矿与 A 型花岗岩有关, 挑战了传统认为的 LCT (Li-Cs-Ta) 与 S 型和 I 型花岗岩成矿的观点, 也是对伟晶岩与稀有金属成矿理论的补充。

(3) 九龙地区以铍矿为主攻对象, 围绕岩体及周边伟晶岩开展找矿工作。

(4) 与九龙地区同处雅江盆地的甲基卡深部可能以铍铌钽矿体为主。

参考文献:

- [1] 翟明国, 吴福元, 胡瑞忠, 等. 战略性关键金属矿产资源: 现状与问题[J]. 中国科学基金, 2019, 33(2):4-9.
- ZHAI M G, WU F Y, HU R Z, et al. Critical metal mineral resources: current research status and scientific issues[J]. China Science Foundation, 2019, 33(2):4-9.
- [2] 王登红, 李健康, 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.
- [3] 赖杨, 田恩源, 龚大兴, 等. 川西斯跃武锂-铍-钽稀有金属矿集区自然重砂异常特征及其找矿潜力[J]. 矿产综合利用, 2019(3):65-70.
- LAI Y, TIAN E Y, GONG D X, et al. Natural heavy mineral anomaly characteristics and ore potential analysis of the Siyuewu Li-Nb-Ta rare metals ore-concentrated area in western Sichuan Province[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2019(3):65-70.
- [4] 周雄, 周玉, 谭洪旗, 等. 四川措拉锂多金属矿的矿物学特征研究[J]. 矿产综合利用, 2020(6):142-147.
- ZHOU X, ZHOU Y, TAN H Q, et al. Mineralogical study on Cuola lithium polymetallic mining area, Western Jijika, Sichuan[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2020(6):142-147.
- [5] 程仁举, 李成秀, 刘星, 等. 川西某伟晶岩型锂辉石矿浮选试验研究[J]. 矿产综合利用, 2020(6):148-152.
- CHENG R J, LI C X, LIU X, et al. Experimental research on the flotation of a pegmatite type spodumene ore in Western Sichuan[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2020(6):148-152.
- [6] 陈超, 张裕书, 张少翔, 等. 川西九龙地区低品位锂辉石浮选试验研究[J]. 矿产综合利用, 2019(4):55-58.
- CHEN C, ZHANG Y S, ZHANG S X, et al. Flotation test of low-grade spodumene in the Jiulong area of West Sichuan[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2019(4):55-58.
- [7] 吴西顺, 王登红, 黄文斌, 等. 全球锂矿及伴生铍铌钽的采选冶技术发展趋势[J]. 矿产综合利用, 2019(1):1-6.
- WU X S, WANG D H, HUANG W B, et al. Global technical development trends of lithium minerals and associated beryllium-niobium-tantalum exploitation[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2019(1):1-6.
- [8] Loiselle M C and Wones D R. Characteristics of anorogenic granite: Geological Society of America[J]. Abstracts with Programs, 1979, 11:468.
- [9] Dall'Agnol R, Frost C D, Tapani Rämö O. IGCP Project 510 "A-type granites and related rocks through time": project vita, results, and contribution to granite research[J]. Lithos, 2012, 151:1-16.
- [10] London D Pegmatites[M]. Canada, Québec: The Canadian Mineralogist, Special Publication, 2008, 10: 1-347.
- [11] Lv Z H, Zhang H, Tang Y, et al. Petrogenesis of syn-orogenic rare metal pegmatites in the Chinese Altai: evidences from geology, mineralogy, zircon U-Pb age and Hf isotope[J]. Ore Geology Reviews, 2018, 95:161-181.
- [12] Müller A, Romer R L, Pedersen R B. The Sveconorwegian pegmatite province: thousands of pegmatites without parental granites[J]. The Canadian Mineralogist, 2017, 55:283-315.
- [13] Černý P, Ercit T S. The classification of granitic pegmatites revisited[J]. The Canadian Mineralogist, 2005, 43(6):2005-2026.
- [14] Černý P, London D, Novak M. Granitic pegmatites as reflections of their sources[J]. Elements, 2012, 8(4):289-294.
- [15] Walker R J, Hanson G N, Papiker J J, et al. Nd, O and Sr isotopic constraints on the origin of Precambrian rocks, southern Black Hills, South Dakota[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1986, 50:2833-2846.
- [16] 陈衍景, 薛莅治, 王孝磊, 等. 世界伟晶岩型锂矿床地质研究进展[J]. 地质学报, 2021, 95(10):2971-2995.
- CHEN Y J, XUE L Z, WANG X L, et al. Progress in geological study of pegmatite type lithium deposits in the world[J]. Acta Geologica Sinica, 2021, 95(10):2971-2995.
- [17] 张辉, 吕正航, 唐勇. LCT 型伟晶岩及其锂矿床成因概述[J]. 地质学报, 2021, 95(10):2955-2970.
- ZHANG H, LÜ Z H, TANG Y. A review of LCT pegmatite and its lithium ore genesis[J]. Acta Geologica Sinica, 2021, 95(10):2955-2970.
- [18] 王登红, 刘善宝, 于扬, 等. 川西大型战略性新兴产业矿产基地勘查进展及其开发利用研究[J]. 地质学报, 2019,

93(6):1444-1453.

WANG D H, LIU S B, YU Y, et al. Exploration progress and development suggestion for the large scale mining base of strategic critical mineral resources in western Sichuan[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2019, 93(6):1444-1453.

[19] 谭洪旗, 周雄, 罗林洪, 等. 四川九龙锂铍矿床地质特征及找矿方向 [C]. 第九届全国成矿理论与找矿方法学术讨论会论文摘要集, 2019, 169.

TAN H Q, ZHOU X, LUO L H, et al. Geological characteristics and prospecting direction of Jiulong Lithium beryllium deposit, Sichuan Province[C]. Abstracts of the 9th National Symposium on Metallogenic Theory and Prospecting Methods, 2019, 169.

[20] 胡军亮, 谭洪旗, 周雄, 等. 川西九龙打枪沟锂铍矿床赋矿伟晶岩矿物学和矿物化学特征 [J]. 地质通报, 2020, 39(12):2013-2028.

HU J L, TAN H Q, ZHOU X, et al. A study of mineralogy and mineral chemistry of ore-bearing pegmatites in the Daqianggou lithium-beryllium deposit, Western Sichuan[J]. *Geological Bulletin of China*, 2020, 39(12):2013-2028.

[21] 谭洪旗. 松潘-甘孜地块南缘穹隆体物质组成、变形-变质特征及成矿响应 [D]. 成都: 成都理工大学. 2019.

TAN H Q. The composition, deformation-metamorphic characteristics and metallogenic response of the dome geological bodies on the south margin of Songpan-Garze Block[D]. Chengdu: Chengdu University of Technology. 2019.

[22] 周家云, 谭洪旗, 龚大兴, 等. 川西江浪穹窿核部新火山花岗岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年和 Hf 同位素研究 [J]. 矿物岩石, 2013, 33(4):42-52.

ZHOU J Y, TAN H Q, GONG D X, et al. Zircon LA-ICP-MS U-Pb dating and Hf isotopic composition of Xinhushan granite in the core of Jianglang Dome, Western Sichuan, China[J]. *Mineral petrol*, 2013, 33(4):42-52.

[23] 周家云, 谭洪旗, 龚大兴, 等. 乌拉溪铝质 A 型花岗岩: 松潘—甘孜造山带早燕山期热隆伸展的岩石记录 [J]. 地质论评, 2014, 60(2):348-362.

ZHOU J Y, TAN H Q, GONG D X, et al. Wulaxi aluminous a-type granite in Western Sichuan, China: recording early Yanshanian lithospheric thermo-upwelling extension of Songpan-Garze Orogenic Belt[J]. *Geological review*, 2014, 60(2):348-362.

[24] 袁静, 肖龙, 万传辉, 等. 松潘-甘孜南部放马坪-三岩龙花岗岩的成因及其构造意义 [J]. 地质学报, 2011, 85(2):195-206.

YUAN J, XIAO L, WAN C H, et al. Petrogenesis of Fangmaping-Sanyanlong Granites in Southern Songpan-Garze

Fold Belt and its tectonic implication[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2011, 85(2):195-206.

[25] 李同柱, 代堰铨, 马国桃, 等. 扬子陆块西缘乌拉溪花岗岩体 SHRIMP 锆石 U-Pb 定年及地质意义 [J]. 矿物岩石地球化学通报, 2016, 35(4):743-749.

LI T Z, DAI Y P, MA G T, et al. SHRIMP zircon U-Pb dating of the Wulaxi Granite in the Western Margin of the Yangtze Block and its geological significance[J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 2016, 35(4):743-749.

[26] 胡健民, 孟庆任, 石玉若, 等. 松潘-甘孜地体内花岗岩锆石 SHRIMP 定年及其构造意义 [J]. 岩石学报, 2005, 21(3):867-880.

HU J M, MENG Q R, SHI Y R, et al. SHRIMP U-Pb dating of zircons from granitoid bodies in the Songpan-Ganzi Terrane and its implications[J]. *Acta petrological Sinica*, 2005, 21(3):867-880.

[27] 叶亚康, 周家云, 周雄. 川西塔公松林口岩体 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄与地球化学特征 [J]. 岩矿测试, 2020, 39(6): 921-933.

YE Y K, ZHOU J Y, ZHOU X. Zircon LA-ICP-MS U-Pb age and geochemical features of the Songlinkou pluton, Western Sichuan[J]. *Rock and Mineral Analysis*, 2020, 39(6): 921-933.

[28] Roger F, Jolivet M, Malavieille J. Tectonic evolution of the Songpan-Garze (North Tibet) and adjacent areas from proterozoic to present: a synthesis[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2010, 39:254-269.

[29] Zhang H F, Parrish R, Zhang L, et al. A-type granite and adakitic magmatism association in Songpan-Garze Fold Belt, Eastern Tibetan Plateau: implication for lithospheric delamination[J]. *Lithos*, 2007, 97(3-4):323-335.

[30] Yang F C, Li W C, Jiang X J, et al. Late cretaceous granitic intrusions and associated deposits in the Yidunarc of the Eastern Tibetan Plateau[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2020, 192:1-23.

[31] 刘树文, 王宗起, 闫全人, 等. 折多山花岗岩时代、成因及其动力学意义 [J]. 岩石学报, 2006, 22(2):343-352.

LIU S W, WANG Z Q, YAN Q R, et al. Timing, Petrogenesis and geodynamic significance of Zheduoshan Granitoids[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2006, 22(2):343-352.

[32] Zheng Y L, Xu Z Q, Li G W, et al. Genesis of the Markam gneiss dome within the Songpan-Ganzi orogenic belt, eastern Tibetan Plateau[J]. *Lithos*, 2020, 362-363:1-12.

[33] Yuan C, Zhou M F, Sun M, et al. Triassic granitoids in the Eastern Songpan Ganzi Fold Belt, SW China: magmatic response to geodynamics of the deep lithosphere[J]. *Earth and*

Planetary Science Letters, 2010, 290(3-4):481-492.

[34] 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 the 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.

[35] 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 X, ZHOU Y, SUN B W, 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.

[36] 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.

[37] 王伟, 侯可军, 王登红, 等. 川西燕山期稀有金属成矿的铌钽铁矿 U-Pb 年龄报导[J]. 中国地质, 2020, 47(3):890-891.

WANG W, HOU K J, WANG D H, et al. Columbite-tantalite U-Pb dating of Yanshanian rare metal mineralization in Western Sichuan[J]. Geology in China, 2020, 47(3):890-891.

[38] 徐兴旺, 洪涛, 李杭, 等. 初论高温花岗岩-伟晶岩锂铍成矿系统: 以阿尔金中段地区为例[J]. 岩石学报, 2020, 36(12):3572-3592.

XU X W, HONG T, LI H, et al. Concept of high-temperature granite-pegmatite Li-Be metallogenic system with a primary study in the middle Altyn-Tagh[J]. Acta Petrologica Sinica, 2020, 36(12):3572-3592.

[39] Selway J B, Breaks F W, Tindle A G. A review of rare-element (Li-Cs-Ta) pegmatite exploration techniques for the superior Province, Canada, and large worldwide tantalum deposits. Exploration and Mining Geology, 2005, 14(1-4): 1-30.

[40] Tian P T, Yuan W M, Yang X Y, et al. Multi-stage tectonic events of the Eastern Kunlun Mountains, Northern Tibetan Plateau constrained by fission track thermochronology[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2020, 198:1-13.

Two Periods Rare Metal Mineralization of the Pegmatite in Jiulong Area, Western Sichuan

Tan Hongqi¹, Zhu Zhimin¹, Zhou Xiong¹, Hu Junliang^{1,2}

(1. Institute of Multipurpose Utilization of Mineral Resources, CAGS, Technical Innovation Center of Rare Earth Resources, China Geological Survey, Chengdu, Sichuan, China; 2. College of Earth Sciences, Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan, China)

Abstract: Western Sichuan is one of the important rare metal producing areas in China. There are Lijiagou, Yelonggou, Jiajika and other super-large lithium beryllium deposits, which are formed at the age of 220~200 Ma. The paper summarizes the characteristics of rare metal deposit, the diagenetic and metallogenic ages of the related granites in Jiulong area. Jiulong is dominated by beryllium deposit, and the lithium deposits are mainly related to the Early Yanshanian A-type granite in Jiulong area. There may be two periods rare metal mineralization (165~150 Ma and 200~180 Ma) in Jiulong area, which is obviously different from that rare metal ore concentration area in the Jiajika, Keeryin, Zhawulong. The absence of lithium in Jiulong area due to deep cut and denudation suggests that beryllium-niobium and tantalum ore bodies may be mainly located in the deep of Jiajika ore concentration area in Yajiang Basin. This discovery poses a challenge to the traditional view that rare metals mineralization is associated with S- and I- Type granite, enriched the theory of granite and rare metal mineralization and pointing out the direction of rare metal prospecting in the Jiulong region.

Keywords: Songpan-Ganzi; Western Sichuan; Jiulong; Rare metal; A-Granite