

doi: 10.19388/j.zgdzdc.2019.06.05  
引用格式: 涂其军,李建康,王刚,等.中国西部主要伟晶岩型锂辉石矿床成矿作用对比及找矿前景[J].中国地质调查,2019,6(6): 35-47.

# 中国西部主要伟晶岩型锂辉石矿床 成矿作用对比及找矿前景

涂其军<sup>1</sup>, 李建康<sup>2</sup>, 王刚<sup>3</sup>, 马宏超<sup>3</sup>

(1. 新疆维吾尔自治区地质矿产勘查开发局第二区域地质调查大队, 昌吉 831100; 2. 中国地质科学院矿产资源研究所, 自然资源部成矿作用与资源评价重点实验室, 北京 100037;  
3. 新疆维吾尔自治区地质调查院, 乌鲁木齐 830000)

**摘要:** 为了解中国西部伟晶岩型锂矿床的成矿地质背景和矿床地质特征, 指导今后该类锂铍等稀有金属矿产资源勘查与评价, 总结研究了中国西部几个主要的大型、超大型伟晶岩型锂辉石矿床的成矿特点, 并简要对比这些矿床的成矿地质背景、矿床地质特征等。结果表明: 中国西部伟晶岩型锂辉石矿床所处的大地构造位置较为相似, 大多处于褶皱造山带中, 呈现集中成带分布, 稀有金属矿化均发育在岩浆岩后期的伟晶岩脉中, 围岩均为一套变质砂岩、板岩、片岩类, 伟晶岩脉的含矿性还与构造裂隙的交叉和相对封闭条件有关; 成矿时代集中分布在印支晚期—燕山早期。但不同地区的锂辉石矿床也表现出其特殊性, 矿物组合上以可可托海最为复杂, 甲基卡次之。今后勘查应以锂成矿带为重点, 伟晶岩型锂矿为首要勘查对象, 同时应因地制宜, 以现有的典型矿床为模型, 寻找最有效的找矿技术方法组合, 为后期找矿提供依据。

**关键词:** 伟晶岩型; 锂辉石; 典型矿床; 中国西部

**中图分类号:** P611.12; P618.71      **文献标志码:** A      **文章编号:** 2095-8706(2019)06-0035-13

## 0 引言

锂是一种重要的战略资源, 被誉为 21 世纪的能源金属。锂辉石矿床是锂矿的重要类型, 但曾经因为开采成本高于盐湖提锂而被停止勘查。近年来随着新兴产业快速发展, 对锂的需求成倍增长, 对锂辉石的重新开采已经成为锂资源的重要来源<sup>[1-3]</sup>。中国锂矿资源丰富, 矿床多, 规模大, 是我国的优势矿产之一, 其中花岗伟晶岩型是锂矿中最主要的类型, 储量、产量均占重要地位<sup>[4-5]</sup>, 该类型锂辉石矿床主要分布在中国西部的四川、新疆和青海等地。中国西部甲基卡、可尔因、大红柳滩和镜儿泉等伟晶岩型锂辉石矿床自 20 世纪 60—80 年代发现后做过勘查评价外, 再无大的勘查进展。近几年中央、地方和企业的各类资金加大投入, 在中国西部甲基卡、可尔

因、大红柳外围、阿尔金和玉树等地区均有重大找矿突破。众多学者对上述矿床的研究与讨论较多<sup>[6-16]</sup>, 但是综合性的对比却很少, 该类矿床虽在地理位置上相隔距离甚远, 但在大地构造背景和成矿带的方面较为相似, 具有关联性。本文通过对中国西部主要伟晶岩型超大型、大型锂铍矿床成矿特点的归纳总结, 从成矿地质背景、矿床地质特征等方面进行分析, 对比了该类矿床在空间上的分布规律、成矿时间演化和控矿地质因素等, 探讨了找矿方向, 为今后在该类地区找矿提供借鉴。

## 1 中国西部主要伟晶岩型锂辉石矿床分布

锂矿床类型以硬岩型为主, 硬岩型锂矿又以伟晶岩型为主(图1)。锂矿床在空间上的分布具有

收稿日期: 2019-11-08; 修订日期: 2019-11-14。  
基金项目: 中国地质调查局“松潘—甘孜成锂带锂铍多金属大型资源基地综合调查评价(编号: DD20190173)”“我国锂能源金属成矿规律、靶区优选与重点查证(编号: 2017YFC0602701)”“西部之光访问学者”项目联合资助。  
第一作者简方数据(1976—), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事基础地质调查研究和矿产勘查。Email: 511450217@qq.com。

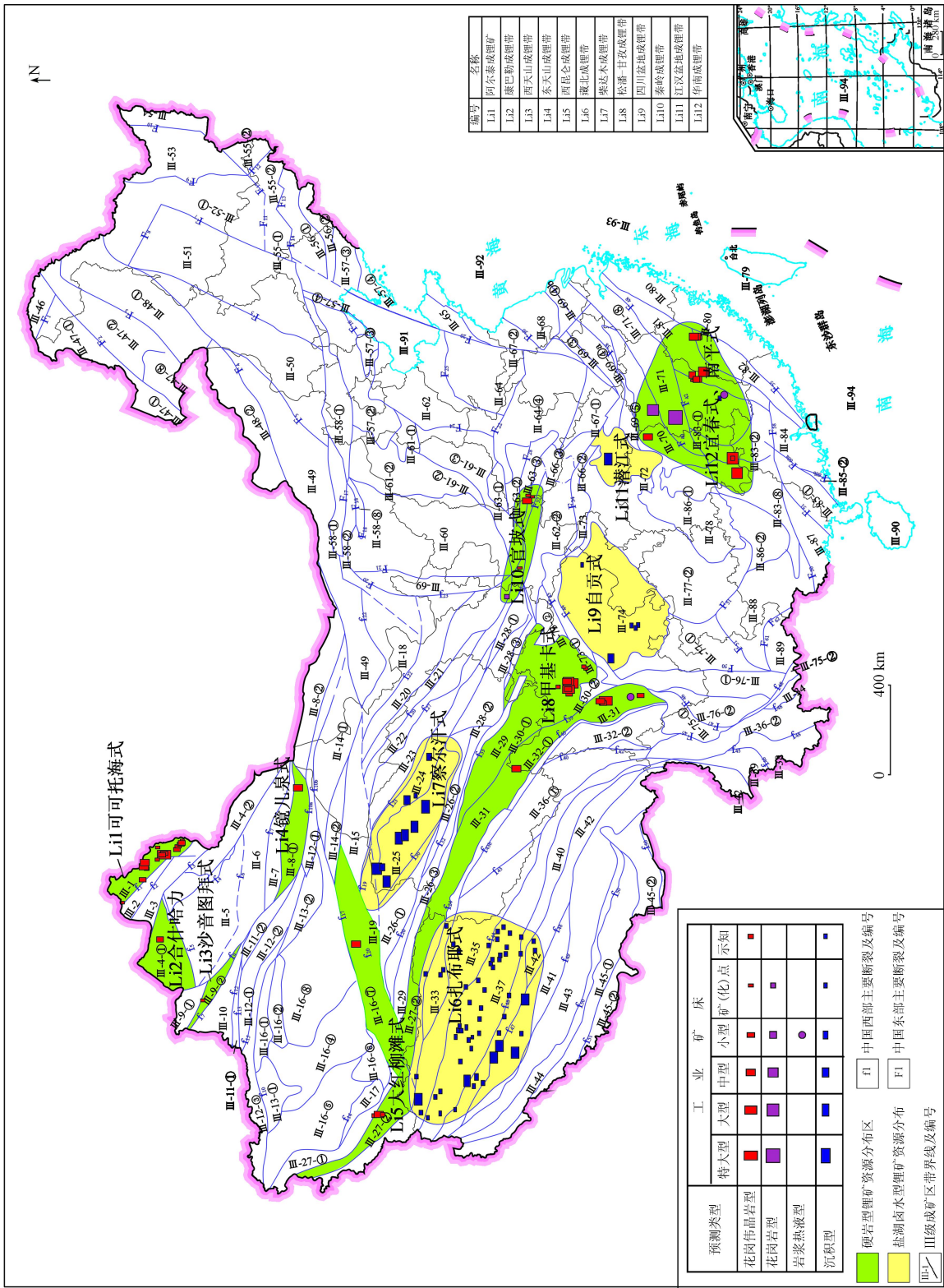


图 1 中国锂矿分布简图<sup>[5]</sup>  
Fig. 1 Distribution of lithium resources in China<sup>[5]</sup>

区域性集中的趋向,储量明显集中在青藏高原,所探明的锂矿床分布于中国 9 个省(自治区),主要集中在青海、西藏、四川、江西等 4 个省(自治区),4 个省(自治区)合计查明资源储量占全国锂查明资源储量的 96%(图 1)。锂矿资源主要集中于花岗岩型、花岗伟晶岩型和盐湖型中,其他类型锂矿床的规模较小<sup>[4-5]</sup>,此类矿床的共性是多种稀有金属共生,不同的历史时期偏重于开采某种矿床。伟晶岩型锂矿在我国各个重要的成矿区带内也都不同程度地发育,我国西部大型、超大型伟晶岩型锂矿床所属的锂成矿带为阿尔泰锂成矿带、东天山锂成矿带、西昆仑—阿尔金锂成矿带和松潘—甘孜锂成矿带<sup>[5]</sup>(图 1)。其中,阿尔泰锂成矿带内锂矿床资源丰富,是新疆重要的伟晶岩型稀有金属成矿地区,以著名的可可托海 3 号脉、库卡拉盖锂矿床和卡鲁安锂矿床为代表,其大地构造背景为阿尔泰造山带<sup>[17]</sup>;东天山锂成矿带内代表性的矿床为哈密镜儿泉锂矿,但是该矿床浅部资源已经开采殆尽,目前该矿床的深部和外围的勘查工作尚无找矿突破;西昆仑内锂成矿带以大红柳滩锂铍矿床、白龙山锂铷多金属矿床、509 道班锂铍矿床和大红柳滩南锂铍矿床为代表,目前已经形成了锂矿的勘查开发基地;阿尔金地区目前发现了瓦石峡南、吐格曼锂铍矿,该地区锂铍矿的发现对于西昆仑—阿尔金锂成矿带向东与松潘—甘孜锂成矿带相连,向东北是否延入青海境内的研究具有重要意义;松潘—甘孜锂成矿带内以甲基卡锂矿田和可尔因锂矿田为典型代表,尤其是近年来寻找伟晶岩型锂矿的成果非常显著,先后发现了众多大型、超大型锂矿床<sup>[14]</sup>。西昆仑—阿尔金锂成矿带与松潘—甘孜锂成矿带的大地构造位置位于松潘—甘孜—甜水海地体中,为古特提斯大洋闭合、地体汇聚碰撞形成的巨型印支碰撞造山带<sup>[17]</sup>。上述主要的伟晶岩型锂矿床空间分布具有明显的区带集中分布特点,大地构造位置较为相似,多处于各种大地构造单元内部的褶皱造山带,形成于岩浆活动中晚期高度演化的花岗岩体或花岗伟晶岩脉中,矿物组合上不尽相同,分带性也不一致。

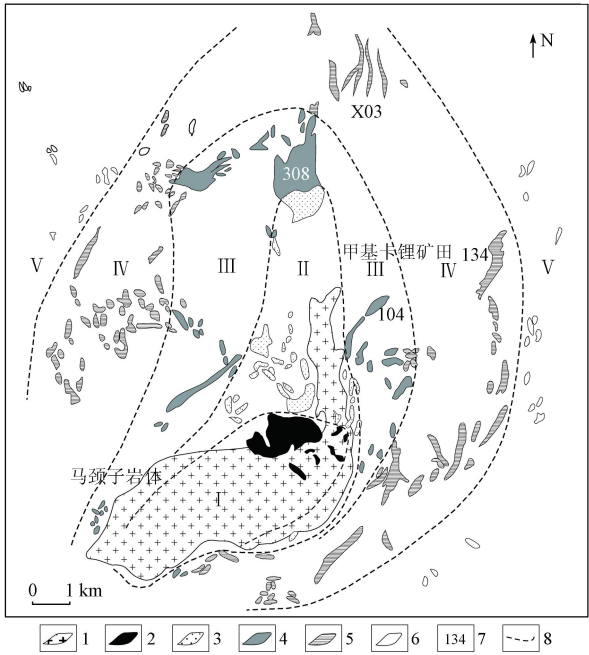
2 典型矿床特征

近几年的勘查工作先后在四川甲基卡矿田、可尔因锂矿田、大红柳滩锂矿区外围发现了众多的大型、超大型矿床,扩大了锂资源储量,同时在新疆阿尔金地区、青海玉树地区新发现瓦石峡南、草陇锂

铍矿床,掀起了该地区寻找锂铍稀有金属矿产的热潮。本文重点选取了甲基卡、可可托海、大红柳滩、瓦石峡南、草陇等具有代表性的伟晶岩型锂辉石矿床进行对比分析。

2.1 四川省康定县甲基卡锂矿田

该矿田位于四川省甘孜州康定与雅江两县交界处,它在川西众多花岗伟晶岩型锂矿中规模最大、品位富、共生矿产多、埋藏浅,是川西锂矿的典型代表。其大地构造位置处于松潘—甘孜造山带雅江被动陆缘中央褶皱—推覆带中段雅江构造—岩浆穹状变质体群内<sup>[18-20]</sup>。该矿区大面积被第四系覆盖,矿区中含矿伟晶岩脉(矿脉)环绕二云母花岗岩呈离心式环带状分布(图 2)。矿化类型也呈环带状分布,呈现从微斜长石伟晶岩带(I)→微斜长石—钠长石伟晶岩带(II)→钠长石伟晶岩带(III)→锂辉石伟晶岩带(IV)→锂(白)云母伟晶岩带(V)的分带性,富含铌、钽、锡者更靠近岩体,围绕成母岩发育区域性分带,但单一矿脉的分带性较差,含矿伟晶岩既可以顺层产出,也可以近垂直切



1. 二云母花岗岩; 2. 微斜长石型伟晶岩; 3. 微斜长石钠长石型伟晶岩; 4. 钠长石型伟晶岩; 5. 钠长石锂辉石型伟晶岩; 6. 钠长石锂云母型伟晶岩; 7. 伟晶岩脉编号; 8. 类型分带线; I. 微斜长石伟晶岩带; II. 微斜长石—钠长石伟晶岩带; III. 钠长石伟晶岩带; IV. 锂辉石伟晶岩带; V. 锂(白)云母伟晶岩带

图 2 四川省康定县甲基卡锂矿地质质简图<sup>[5]</sup>

Fig. 2 Geological sketch of Jiajika lithium deposit in Kangding County of Sichuan Province<sup>[5]</sup>

层产出,锂辉石等稀有金属矿物既有伟晶状又有细粒状<sup>[2-3]</sup>。上三叠统浅变质岩系围绕岩体形成了一套分布较广的接触变质岩带,自内向外分别是堇青石十字石电气石云母片岩、十字石红柱石二云母片岩和绿泥石黑云母片岩等。区内岩浆岩以印支期—燕山期为主,岩性以酸性为主,矿区内以马颈子二云母花岗岩体为主,围绕马颈子岩体分布了

上千条花岗质脉体。野外观测锂辉石矿物颜色为弱绿色、白色,呈梳状分布(图 3),稀有及稀土元素矿物包括锂辉石、钽铌铁矿、钍石、曲晶石、绿柱石、腐锂辉石、磷锂锰矿、褐帘石和氟碳铈矿。锂在甲基卡主要富集于锂辉石中,少量在锂云母、磷锂铝石及铁锰锂磷酸盐矿物中,其余呈分散状态主要赋存于白云母中<sup>[2-3]</sup>。



图 3 四川甲基卡锂矿区矿石和围岩特征照片

Fig. 3 Photographs of ores and surrounding rocks characteristics in Jiajika lithium mine area of Sichuan Province

2.2 新疆皮山县大红柳滩锂铍矿

该矿位于新疆皮山县的大红柳滩兵站(新藏公路 485 km)附近,其大地构造位置处于塔里木板块与华南板块结合部康西瓦大断裂南侧的大红柳滩大断裂带内。区域上出露地层主要有中元古界蓟县系塔昔达坂群、上石炭统、上三叠统及第四系。燕山期中酸性侵入岩较发育,大都沿断裂带分布,其长轴方向与区域构造线方向基本一致,主要岩性有二云母花岗岩、花岗闪长岩和石英闪长岩等。矿区出露地层为三叠纪巴颜喀拉山群,空间上以不规则长条形展布,总体走向 NW-SE,倾向 NE,局部倒转,倾角变化不大,为一套角闪岩相区域变质岩,主要岩性有斜长黑云母石英片岩、红柱斜长黑云母石英片岩、含石榴石绢云母石英片岩及石英岩等。南部分布晚三叠世二长花岗岩,岩体外接触带上发育大量花岗伟晶岩脉,顺层贯入围岩之中,稀有金属矿化与二长花岗岩关系密切,在与花岗岩接触处则有绿帘石化、黑云母化。矿区内构造与区域吻合,为一单斜构造,地层发育较多的扭曲,表现为小的褶皱。矿区内分布众多花岗伟晶岩脉,脉体形态一般为不规则扁豆状,具膨胀和收缩现象,走向大

多与地层走向一致或略有斜交,在花岗岩内外接触带处脉体密集分布,远离岩体则分布稀疏(图 4)。

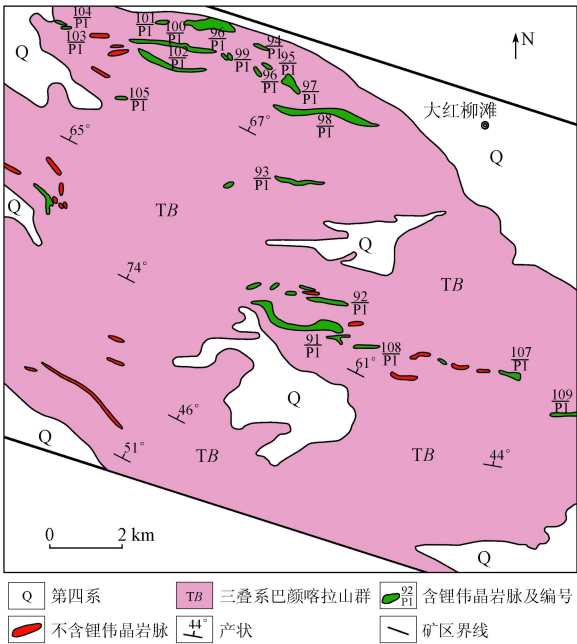
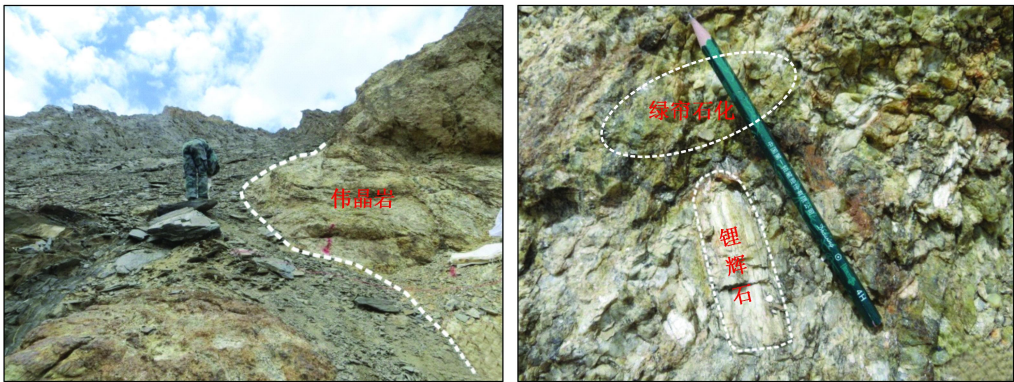


图 4 大红柳滩锂铍矿床地质略图

Fig. 4 Geological sketch of Dahongliutan lithium-beryllium deposit

锂辉石矿主要分布于中粗粒伟晶结构带中, 矿石矿物主要为锂辉石, 少量为锂云母、绿柱石及铌钽铁矿。锂辉石多呈灰白色, 此外, 还有紫红色—浅

红色和浅绿色, 呈薄板状、扁柱状以及等轴柱状产出(图 5)。锂主要赋存于锂辉石中, 少量赋存于锂云母中<sup>[10]</sup>。



(a) 伟晶岩脉分带 (b) 锂辉石、绿帘石化

图 5 大红柳滩锂铍矿矿石特征照片

Fig. 5 Photographs of ores characteristics in Dahongliutan lithium – beryllium deposit

2.3 新疆富蕴县可可托海锂铍钽铀稀有金属矿

新疆可可托海锂铍钽铀矿可可托海矿区位于新疆富蕴县可可托海镇,距县城 50 km,是国内外著名的大型稀有金属花岗伟晶岩矿床,富含锂、铷、铯、铍、铌、钽等,为我国开发最早的稀有金属矿产资源的基地。其大地构造位置处于西伯利亚板块西南缘阿尔泰陆缘活动带哈龙—青河古生代岩浆弧中部,位于哈龙—青河复背斜中部,可可托海—二台断裂的东侧,北邻诺尔特复向斜,以红山咀断裂为界,南靠克兰复向斜西段东端,以阿巴宫断裂为界。区域侵入岩十分发育,岩体多,类型较为齐全,岩性、产状、形态均复杂,具有多期次、多成因等特征,岩性以酸性花岗岩类为主。构造和花岗岩为区域伟晶岩的主要控制因素。区内大部分伟晶岩分布于花岗岩体的内、外(距花岗岩体 2~10 km 或更远)接触带,以及花岗岩体顶部的凹陷残山地段及捕虏体发育地段。矿区出露地层为下一中奥陶统青河岩群,主要岩性有棕色及灰色的含十字石黑云母斜长石石英片岩、含红柱石黑云母—石英片岩、棕色灰色石英黑云母片岩。矿区构造由一系列 NW 向(310°~330°)线性褶皱(倾角 65°~75°)和沿走向侵入其间的大量花岗岩岩体组成。相伴生的有一系列 NW 向压扭性高角度逆冲断裂,以及与之相垂直的张裂面和与之斜交的扭断裂面。区内侵入岩以变质基性岩为主,次为花岗岩。基性岩为辉长岩,变质岩岩性为角闪岩及斜长角闪岩,著名的可可托海 3 号脉即产于此,由外向内可以划分出

9 个伟晶岩分带(图 6),其中叶钠长石—锂辉石带、石英—锂辉石带稀有金属矿物较为集中<sup>[21]</sup>,锂的含量相对较高。含锂矿物主要是锂辉石,其次为锂云母、磷锰锂矿及锂磷铝石;含铍矿物主要是绿柱石,其次是金绿宝石(微量);铌、钽的主要矿物为铌、钽铁矿族矿物,其次是铀细晶石、铋细晶石等。同时,宝石级的海蓝宝石、水胆海蓝宝石、绿宝石猫眼石、绿碧玺、红碧玺、紫红碧玺和碧玺猫眼石等较为发育。

2.4 新疆若羌县瓦石峡南锂铍稀有金属矿

该矿位于新疆若羌县瓦石峡镇南约 65 km,交通条件差。该矿区地处塔里木盆地与阿尔金山结合部,区域构造、岩浆发育,断裂既有 NEE 向、NNW 向,又有 NW 向、NE 向,其中 NE 向、NNW 向断裂规模宏大,NW 向、NE 向断裂次之,形成了区内独特的构造格局。区域地层经历了多期造山运动,构造混杂岩相当发育,由于强烈的构造作用,在伸展滑脱、逆冲、走滑剪切等作用下,岩石遭受了强烈的变形变质作用改造,不同成因类型、不同时代、不同变形变质特征的岩层发生剪切位移、混杂拼贴,地层或岩体等多呈透镜体状分布,沿其走向追索往往出现尖灭消失。区域地层主要为古元古界阿尔金岩群的一套低角闪岩相的变质表壳岩,总体可分为片麻岩段和片岩段,矿体位于片岩段,围岩为黑云母斜长石英片岩。侵入岩以加里东期的为主,主要为奥陶纪石英二长岩、石英闪长岩和志留纪二长花岗岩。

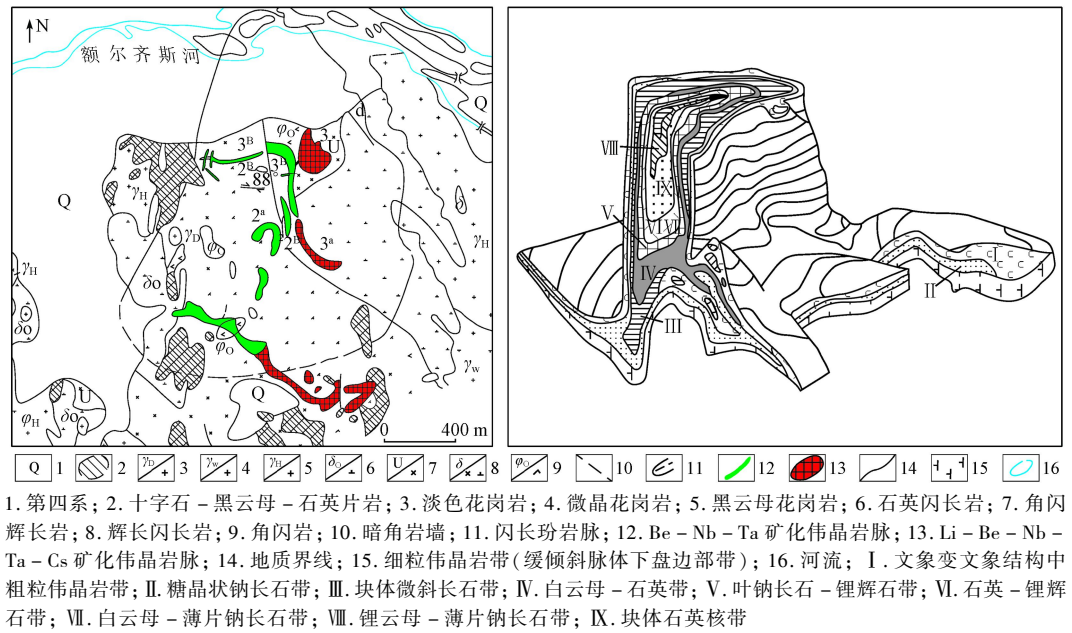


图 6 新疆富蕴县可可托海 3 号脉地质简图 (左) 和立体示意图 (右)<sup>[3]</sup>  
Fig. 6 Geological sketch (left) and stereoscopic diagram (right) of Koktokay No. 3 pegmatite vein in Fuyun County of Xinjiang<sup>[3]</sup>

目前新疆地矿局第三地质大队在该矿区开展探查工作,已发现 30 条花岗伟晶岩脉,第四系砂土覆盖严重,长一般 150 ~ 500 m,最长 2 400 m,宽一般 2 ~ 5 m,最宽 29 m。其中 p6、p7、p8 号 3 条伟晶岩脉被圈定为 3 个锂铍稀有金属矿体,断续出露长 300 ~

2 400 m (图 7),宽 0.6 ~ 10 m 不等,  $\text{Li}_2\text{O}$  平均品位 1.56%,  $\text{BeO}$  平均品位 0.073%,脉体西端被大量第四系覆盖,东端为尖灭点,脉体具有分支复合现象,为近 EW 走向,向南陡倾,该脉体可见锂云母、白云母及斜长石、石英矿物 (图 8)。

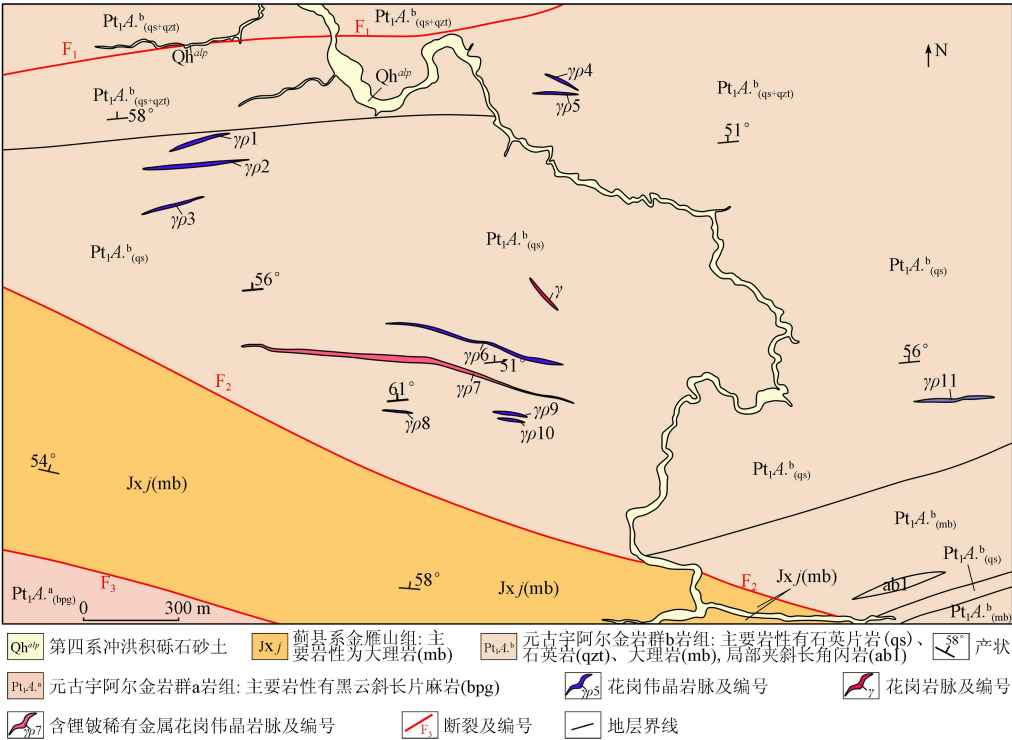


图 7 新疆若羌县瓦石峡南锂铍矿地质简图  
Fig. 7 Geological sketch of Washixianan lithium - beryllium deposit in Ruoqiang County of Xinjiang



草陇地区含锂云母锂辉石花岗伟晶岩为主要矿体,锂主要赋存于锂辉石、锂云母矿物中,锂矿脉中锂矿化一般连续稳定,常为全脉矿化,锂矿体主要产于石英钠长石锂辉石交代带以及石英锂辉石交代带<sup>[12]</sup>。

### 3 对比分析

通过开展中国西部阿尔泰锂矿带、西昆仑—阿尔金锂矿带、松潘—甘孜锂矿带内典型伟晶岩型锂辉石矿床成矿地质背景、矿床地质特征等方面的对比研究<sup>[12-13,15,20-28]</sup>(表1),加深了对上述成矿带内锂矿成矿作用的认识,对于指导中国西部地区锂铍等稀有金属矿产资源勘查与评价工作具有十分重要的意义。

#### 3.1 矿床空间分布规律

目前发现的超大型、大中型矿床(点),大地构造位置上较为相似,多处于各种大地构造单元内部的褶皱造山带,形成于岩浆活动中晚期高度演化的花岗岩体或花岗伟晶岩脉中。从西昆仑大红柳滩、阿尔金瓦石峡南、玉树草陇、松潘、甘孜甲基卡矿床(点)来看,成矿作用对比发现,其均为花岗伟晶岩型,具有一致性,成矿带上东西可以相连。此类伟晶岩型锂辉石矿床为集中成带分布,地层与构造总体走向一致,形成似层状、脉状锂矿,此类矿床的特点是容易识别、品位高、易于开采。锂矿化均发育在印支末期—燕山早期酸性岩浆岩后期的伟晶岩脉中,围岩均为一套发生了区域变质作用的板岩、片岩类。从典型矿床特征及其矿床(点)分布来看,稀有金属矿化主要围绕矿区内的主岩体分布,在离岩体1~3 km处矿化比较集中,为锂辉石富集地段,主要矿石矿物为锂辉石、绿柱石、锂云母和铌钽铁矿等。不同矿床的锂辉石的形态和颜色也有差异,如甲基卡的锂辉石为弱绿色、白色,呈柱状、梳状,大红柳滩的锂辉石多呈灰白色,此外还有紫红色—浅红色、浅绿色,呈薄板状、扁柱状、等轴柱状产出的。典型矿床的矿物组合对比发现,矿物种类以可可托海最为丰富,甲基卡次之,尤其是可可托海发育宝石级的海蓝宝石、碧玺等矿物,组合相对复杂,分带性也不一致。

#### 3.2 矿床成矿时间演化

从时间上看,甲基卡锂矿田内134号脉和104号脉中白云母片的Ar-Ar法坪年龄分别为195.7 Ma和198.9 Ma<sup>[12]</sup>;可尔因锂矿田内岩体中白云母微

斜长石伟晶岩脉和党坝白云母钠长石锂辉石伟晶岩脉白云母<sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar法坪年龄分别为(176.25±0.14)Ma和(152.43±0.6)Ma<sup>[23]</sup>;可可托海3号脉中的白云母K-Ar法坪年龄分别为160.38 Ma和194.51 Ma<sup>[21]</sup>;库卡拉盖锂铍稀有金属矿区内650号脉锆石LA-ICPMS U-Pb年龄为(207.9±5.1)Ma<sup>[24]</sup>;卡鲁安锂铍矿区内805、806、807号脉的锆石LA-MC-ICPMS U-Pb年龄分别为(216.0±2.6)Ma、(223.7±1.8)Ma和(221±15)Ma<sup>[25]</sup>,属三叠纪岩浆活动的产物;大红柳滩锂铍矿区90号脉中获得白云母Ar-Ar法坪年龄为190.1 Ma<sup>[21]</sup>;青海玉树地区草陇锂铍多金属矿14号、97号脉中获得白云母Ar-Ar法坪年龄为(180±1)Ma和(174±1)Ma<sup>[13]</sup>;镜儿泉锂铍稀有金属矿区中白云母的<sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar法坪年龄为(243±2)Ma<sup>[26]</sup>。上述几个著名的稀有金属矿床的成矿时代从243 Ma到152.43 Ma,成矿时代集中分布在印支晚期—燕山早期,中间最大跨越了91 Ma,说明至少存在多次的伟晶岩脉动侵入,中国西部处于造山作用高峰期(加里东期与海西早期)形成的伟晶岩脉含矿性较差,而造山后与非造山阶段(印支期—燕山期)形成的伟晶岩脉锂、铍、铌钽等稀有金属矿化较好,从而为该地区今后地质找矿指出了新的方向。

#### 3.3 矿床控矿地质因素

从典型矿床对比分析,矿区的围岩均为变质砂岩类、板岩类,靠近岩体的周缘由于受岩浆热的影响,遭受热接触变质作用形成了一系列的角岩类、片岩类,出现了一些特征的变质矿物,如堇青石、石榴子石、红柱石等。锂的成矿物质来源可能为此类浅变质沉积岩的部分熔融,这可能是由于此类沉积岩在沉积过程中,其内的黏土类矿物更容易吸附锂<sup>[3]</sup>,例如川西可尔因矿区的伟晶岩脉出露于三叠系西康群中,原岩为粉砂岩、泥岩等,是含矿伟晶岩脉的主要成矿物质来源<sup>[15]</sup>。伟晶岩是花岗岩分异作用后期的产物,与花岗岩(母岩)有着继承性关系,因此花岗伟晶岩型锂矿与岩浆作用密切相关,岩浆为锂的预富集和运移提供了物质和能量。不是岩浆演化的所有阶段都有锂辉石矿化出现,锂矿化也仅仅富集出现在几个特殊的结构带中,如:甲基卡锂矿伟晶岩的造岩矿物呈现5个分带,锂辉石仅在锂辉石伟晶岩带和锂(白)云母伟晶岩带中相对集中;可可托海3号脉分为9个结构分带,但是锂辉石也仅在叶钠长石-锂辉石带、石英-锂辉石

表 1 中国西部主要伟晶岩型锂辉石矿床简要比表

Tab.1 Comparison of the major pegmatite type spodumene deposits in West China

| 矿床名称                       | 成矿地质背景                                                         |                                                                            |                                                | 矿床地质特征                                                               |                                                                                                          |                                                                                                               | 资源量<br>(Li <sub>2</sub> O)                                                                        | 参考文献                                                                                                                              |
|----------------------------|----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                            | 所属成矿带                                                          | 构造背景                                                                       | 岩类类型                                           | 围岩特征                                                                 | 矿体产出特征                                                                                                   | 矿石矿物组合                                                                                                        | 矿石结构构造                                                                                            | 控矿条件                                                                                                                              |
| 内蒙古<br>达拉特旗<br>卡里木<br>钾盐矿床 | 北巴颜喀拉—<br>马尔康 Au—<br>Ni—Pt—Fe—<br>Mn—Pb—Zn—<br>Li—Be—云母<br>成矿带 | 与印支<br>期岩类<br>岩有关<br>的花岗<br>伟晶岩<br>型锂矿<br>床                                | 二云母<br>花岗岩<br>及花岗<br>伟晶岩<br>脉                  | 三叠系董青<br>石、红柱石<br>片岩                                                 | 含矿伟晶岩脉(矿脉)<br>环绕二云母花岗岩呈<br>环状分布,板状复<br>合矿脉,缓倾斜                                                           | 锂辉石、钮钨铁<br>矿、绿柱石、曲晶<br>锂辉石、磷锂锰<br>矿、褐帘石、氟<br>碳铈矿                                                              | 呈细粒结构,稀疏及<br>稠密浸染状、斑杂状、<br>条带状等构造                                                                 | 松潘—甘孜造山带甲<br>基卡穹隆状短轴背斜<br>中,三叠系西康群、印<br>支期二云母花岗岩,沿<br>穹隆周边的褶皱虚<br>脱部位和张性裂隙充<br>填成矿                                                |
| 可尔因<br>锂矿床                 | 北巴颜喀拉—<br>马尔康 Au—<br>Ni—Pt—Fe—<br>Mn—Pb—Zn—<br>Li—Be—云母<br>成矿带 | 与印支<br>期岩类<br>岩有关<br>的花岗<br>伟晶岩<br>型锂矿<br>床                                | 二云母<br>花岗岩<br>及花岗<br>伟晶岩<br>脉                  | 三叠系岩屑砂<br>岩、变质砂岩、<br>云母类板岩、<br>角闪岩类和片岩<br>类                          | 围绕“主岩体”内外接<br>触带成群成带分布,<br>矿体呈脉状(主)、透<br>镜状(次)、分支脉状、<br>板状、团块状;矿体<br>一般长数十至数百<br>米,不同脉群(矿床)<br>矿脉倾向、倾角不同 | 锂辉石为主,<br>次为锂云母、<br>含钨微斜长<br>石,少量绿柱<br>石,少量铁<br>矿                                                             | 中细粒结构(主),粗<br>晶结构、自形结构,交<br>代残余结构,带状构<br>造、块状构造、斑杂状<br>构造等                                        | 松潘—甘孜造山带,可<br>尔因—日隆关复式背<br>斜倾末端,印支期二云<br>母花岗岩,三叠系西康<br>群复理石建造岩,围绕<br>岩体的透辉石、角闪<br>石、十字石、红柱石、石<br>榴子石、黑云母蚀变<br>带,层间剥离构造及节<br>理裂隙构造 |
| 可托海<br>锂矿床                 | 北阿尔泰稀有—<br>Pb—Zn—Au—<br>白云母—宝石<br>成矿带                          | 与海西<br>期花岗岩<br>岩有关<br>的重熔<br>岩浆分<br>异成因<br>伟晶岩<br>型锂—<br>铍—钽<br>—钨—<br>铋矿床 | 以变质<br>基性岩<br>为主,黑<br>次为黑<br>长花岗<br>岩及花<br>岗岩脉 | 加里东期的变<br>辉长岩、震旦<br>系一下古生界<br>的片麻岩及片<br>岩                            | 伟晶岩脉形态与规模<br>除3号脉形态似岩钟<br>状(草帽状)大而复杂<br>外,绝大多数为脉状<br>及板状体                                                | 绿柱石、锂辉<br>石、钨钼矿、<br>钽铋矿、钽沸石<br>等,同时宝石级<br>的海蓝宝石、水<br>胆海蓝宝石、绿<br>宝石猫眼石、绿<br>碧玺、红碧玺、<br>紫红碧玺、碧玺<br>猫眼石等较为<br>发育 | 花岗伟晶结构、半自<br>形粒状结构、文像结<br>构为主,次为交代晶<br>体结构、花岗变晶结<br>构和包含结构等;构<br>造主要为块状构造、条带<br>状构造、环状构造和<br>晶簇构造 | 褶皱造山期重熔花岗<br>岩浆分异出来的富稀<br>有金属元素;一套中<br>深变质岩;受 NW<br>向、NE 向次级断裂带<br>控制                                                             |
| 库卡拉<br>盖锂矿床                | 北阿尔泰(山弧)<br>带)稀有(RM)—<br>Pb—Zn—Au—<br>白云母—宝石<br>成矿带            | 花岗伟<br>晶岩型<br>锂矿床                                                          | 二云母<br>花岗岩<br>及花岗<br>伟晶岩<br>脉                  | 中—上志留统<br>库尔木提岩群<br>一套绿片岩、<br>片麻岩、混合<br>岩组合                          | 沿片岩顺层的板状<br>脉,在沿走向和倾斜<br>方向上,偶尔有膨胀<br>和收缩现象                                                              | 绿柱石、锂辉<br>石、钽铋矿等                                                                                              | 花岗伟晶结构,它<br>形一半自形粒状结<br>构,带状构造、块状<br>构造                                                           | 早古生代片岩,固岩<br>片理,花岗伟晶岩围<br>绕二云母花岗岩呈同<br>心环带状分布                                                                                     |
| 卡鲁安<br>锂矿床                 | 北阿尔泰(山弧)<br>带)稀有(RM)—<br>Pb—Zn—Au—<br>白云母—宝石<br>成矿带            | 卡鲁安<br>伟晶岩<br>型锂矿<br>床                                                     | 片麻状<br>黑云母<br>花岗岩<br>及花岗<br>伟晶岩<br>脉           | 中—上志留统<br>库鲁木提群—<br>套浅海—半浅<br>海相类建造,受<br>区域变质作用,<br>多变质成石英—<br>黑云母片岩 | 呈透镜状、不规则状、<br>波状产出                                                                                       | 锂辉石、锂云<br>母、钨钼矿、氟<br>锂辉石、绿柱<br>石等                                                                             | 细粒结构、粗粒结构,<br>块状构造等                                                                               | 伟晶岩脉平行围岩片<br>理产出,走向近 NS<br>向,倾向 SW—W,陡<br>倾斜,受次级构造裂<br>隙控制                                                                        |

(续表)

| 矿床名称                                                                                                | 成矿地质背景                                                                                                               |          |                     | 矿床地质特征                                          |                                         |                                  | 资源量<br>(Li <sub>2</sub> O)        | 参考文献                                             |                           |                                                           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|---------------------|-------------------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------------------|---------------------------|-----------------------------------------------------------|
|                                                                                                     | 所属成矿区带                                                                                                               | 构造背景     | 矿床类型                | 岩类                                              | 围岩特征                                    | 矿体产出特征                           |                                   |                                                  | 矿石矿物组合                    | 控矿条件                                                      |
| 木孜塔格(南巴颜喀拉-雅江前陆盆地)RM - Fe - Mn - Pb - Zn - Sb - Hg - Au - Cu - Mo - Zn - Ni - Sn - 白云母 - 硫铁矿 - 煤成矿带 | 与印支期二长花岗岩相关的伟晶岩脉                                                                                                     | 甜水海造山带   | 二长花岗岩及伟晶脉           | 三叠系巴颜喀拉山群一套角闪岩相区域变质岩                            | 无规则形态分离体状伟晶岩,脉顶板倾角小,底板倾角大,向深部略有膨大的扁豆形状态 | 锂辉石、绿柱石、钽铌铁矿等                    | 自形、半自形—它形晶镶嵌状结构,星散状构造,次为矿巢状、团块状构造 | 晚三叠世二长花岗岩,岩体外接触带上发育大量花岗伟晶岩脉,顺层贯入围岩               | 190.1 Ma                  | 预测 200 m 以浅 Li <sub>2</sub> O 资源总量 375.56 万 t。<br>[21,27] |
| 觉罗塔格(裂隙槽)Cu - Ni - Fe - Mn - V - Ti Au - Ag - Mo - W - RM - 钠硝石 - 石膏 - 硅灰石 - 煤 - 硫铁矿 - 硅灰石 - 玉石成矿带  | 与海西期花岗岩相关的伟晶岩、石英脉、石英脉、英脉                                                                                             | 准噶尔地槽构造带 | 伟晶岩                 | 中元古界咸水泉岩组,岩性为一套角闪岩相区域变质岩                        | 矿体赋存于花岗岩顶部的花岗伟晶岩中,矿体顶底板均为花岗伟晶岩          | 锂辉石、锂云母、钽铌铁矿、绿柱石等                | 粒状结构、交代残余结构,块状构造等                 | NEE 向断裂、华力西晚期酸性花岗岩                               | (243 ± 2) Ma              | 0.146 9 万 t<br>[28]                                       |
| 瓦石峡南钨矿                                                                                              | 阿尔金(陆缘地块)Fe - Pb - Zn - Cu - Cr - RM - REE - Au - Ag - Ni - V - Ti - 石棉 - 玉石 - 白云母 - 白云岩 - 石英 - 石膏 - 煤 - 硫铁矿 - 盐类成矿带 | 秦祁昆造山带   | 与加里东期岩浆岩有关的花岗伟晶岩型矿床 | 奥陶纪石英、长英闪长岩、石英闪长岩、长石和闪长岩、含黑(二)云母石英片岩、含石榴石斜长角闪岩等 | 脉体形态复杂多变,矿体有分支复合,呈近 EW 走向,向南陡倾          | 锂辉石、锂云母、绿柱石等                     | 中细粒结构,稀疏及斑杂状构造                    | 多期造山运动,构造混杂岩相当发育,区域断裂控制及改造作用明显,强烈的变质变形改造         | 暂无                        | 预查阶段                                                      |
| 草陇钨矿                                                                                                | 南巴颜喀拉 Li - Be - Au - Cu - Zn - 水晶成矿带                                                                                 | 松潘—甘孜造山带 | 与印支期岩浆岩有关的花岗伟晶岩型矿床  | 白云母花岗岩                                          | 三叠系巴颜喀拉山群石英砂岩夹板岩及片岩                     | 含矿伟晶岩脉规模大小不等,形状不规则,多呈长条脉状,少数呈透镜状 | 锂辉石、绿柱石、钽铌铁矿等                     | 半自形—它形花岗岩伟晶结构,偶见粒状结构、文象结构,块状构造、条带状构造、浸染状构造及星散状构造 | (180 ± 1) Ma、(174 ± 1) Ma | 暂无<br>[12 - 13]                                           |

带、白云母-薄片钠长石带和锂云母-薄片钠长石带相对富集。从含锂矿化伟晶岩脉的构造产出部位对比,伟晶岩脉的形状和分布规律严格受断裂和多组节理、裂隙、片理控制,含矿伟晶岩浆主要沿节理裂隙贯入,伟晶岩脉的含矿性还与构造裂隙的交叉和相对封闭条件相关,前者有很多含矿物质的加入,后者有更大的分异、交代、富集的空间。

## 4 找矿前景

中国西部在经历了海西期强烈的褶皱造山运动之后,印支期逐渐进入稳定的演化阶段,构造上相对稳定,满足了伟晶岩型矿床形成所需要的相对稳定、封闭的构造条件,此时的岩浆侵入活动仍然有延续,并且形成了花岗伟晶岩型稀有金属矿床。应以锂成矿带为重点,以伟晶岩型锂矿为首要勘查对象,在川西、新疆等优势地区以“就矿找矿”的原则进行勘查,应该加强调查距离主岩体(母岩)1~3 km发育的伟晶岩脉,扩大资源储量。从目前发现的甲基卡、镜儿泉、大红柳滩、瓦石峡南等稀有金属矿床(点)来看,矿区外围伟晶岩脉分布甚为广泛,尚有发现新的矿脉的可能,找矿前景巨大。通过西昆仑的大红柳滩与川西的甲基卡锂矿床资料对比,两者具有类似的成矿地质背景和形成大型或超大型花岗伟晶岩型锂矿床的条件,说明了西昆仑的锂矿带向南东延伸与松潘-甘孜锂矿带相连,同时在阿尔金地区最近发现的瓦石峡南和吐格曼锂矿印证了西昆仑锂矿带向北东延伸有可能进入青海和甘肃,所以在该成矿带内具有相同的成矿地质背景条件及相同的成矿特征的区域开展伟晶岩型锂矿等多金属矿床的找矿工作具有重要的意义。

但是从现有的典型矿床对比发现,大多数锂矿区主岩体的外围第四系覆盖较严重,找矿难度加大,如四川省甲基卡矿区第四系残坡积物覆盖整个矿区,锂辉石伟晶岩转石随处可见,转石大小一般在0.3~2 m,此地区如此众多的锂辉石伟晶岩是否能够指导深部找矿,如何在该类地区寻找隐伏的伟晶岩型锂辉石矿成为该地区找矿工作亟须解决的问题。又如新疆阿尔金地区发育众多的花岗伟晶岩脉,新发现了瓦石峡南、吐格曼等伟晶岩型锂矿点,显示了该地区稀有金属找矿的潜力巨大,但是该地区属于深切、高海拔地区,大面积基岩山区都盖有厚达几十米的第四系砂土层,野外无

法识别花岗伟晶岩脉,在该地区进行大比例尺水系沉积物测量,根据沟底的锂辉石转石寻找上游和两侧花岗伟晶岩的野外工作方法比较有效,也为该类地区寻找花岗伟晶岩型稀有金属矿提供了借鉴。因此,因地制宜,以现有的典型矿床为模型,确定每个地区最有效的一套找矿方法组合,将有助于地质勘查工作的部署,对后期指导找矿具有重要意义。

## 5 结论

(1)中国西部典型的伟晶岩型锂辉石矿床所处的大地构造位置较为相似,多处于各种大地构造单元内部的褶皱造山带,形成于岩浆活动中晚期高度演化的花岗岩体或花岗伟晶岩脉中,具有集中成带分布的特点,稀有金属矿化主要围绕矿区内的主岩体(母岩)分布,在离岩体1~3 km处矿化比较集中,为锂辉石富集地段,矿物组合上以可可托海最为复杂,甲基卡次之。

(2)矿化均发育在印支末期—燕山早期酸性岩浆岩后期的伟晶岩脉中,围岩均为一套发生了区域变质作用的板岩、片岩类,伟晶岩脉的含矿性还与构造裂隙的交叉和相对封闭条件相关。

(3)成矿时代集中分布在印支晚期—燕山早期。

(4)今后勘查方向应当以锂成矿带为重点,以伟晶岩型锂矿为首要勘查对象。川西、新疆等优势地区典型矿床外围伟晶岩脉分布甚为广泛,尚有发现新的矿脉的可能,找矿前景巨大。

(5)从目前发现的典型矿床和勘查来看,因地制宜,以现有的典型矿床为模型,确定每个地区最有效的一套找矿方法组合,将有助于地质勘查工作的部署,对后期指导找矿具有重要意义。

## 参考文献:

- [1] 王登红,王成辉,孙艳,等.我国锂铍矿床调查研究进展及相关问题简述[J].中国地质调查,2017,4(5):1-8.
- [2] 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].地学前缘,2017,24(5):1-7.
- [3] 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.
- [4] 李建康,王登红,张德会,等.川西伟晶岩型矿床的形成机制及大陆动力学背景[M].北京:原子能出版社,2007:27-97.
- [5] 李建康,刘喜方,王登红.中国锂矿成矿规律概要[J].地质学

- 报,2014,88(12):2269-2281.
- [6] 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.
- [7] 付小方,侯立玮,王登红,等.四川甘孜甲基卡锂辉石矿矿产调查评价成果[J].中国地质调查,2014,1(3):37-43.
- [8] 王核,李沛,马华东,等.新疆和田县白龙山超大型伟晶岩型锂镭多金属矿床的发现及其意义[J].大地构造与成矿学,2017,41(6):1053-1062.
- [9] 徐仕琪,涂其军.矿床模型综合地质信息在稀有金属矿定量预测中的应用——以西昆仑大红柳滩为例[J].新疆地质,2017,35(3):285-289.
- [10] 涂其军,韩琼,李平,等.西昆仑大红柳滩一带锂辉石矿基本特征和勘查新进展[J].地质学报,2019,93(11):2862-2873.
- [11] 周兵,孙义选,孔德懿.新疆大红柳滩地区稀有金属矿成矿地质特征及找矿前景[J].四川地质学报,2011,31(3):288-292.
- [12] 白宗海,林浩,李善平,等.青海三江北段草陇伟晶岩型锂多金属矿特征及成因分析[J].青海大学学报:自然科学版,2018,36(4):86-93.
- [13] Li J K, Xiong X, Wang D H, et al. Mineralization epochs of granitic rare-metal pegmatite deposits in the Songpan-Ganze orogenic belt and their implications for orogeny[J]. Mineral, 2019, 9: 280-304.
- [14] 古城会.四川省可尔因伟晶岩田东南密集区锂辉石矿床成矿规律[J].地质找矿论丛,2014,29(1):59-65.
- [15] 岳相元,张贻,周雄,等.川西可尔因矿集区稀有金属矿床成矿规律与找矿方向[J].矿床地质,2019,38(4):867-876.
- [16] 彭海练,贺宁强,王满仓,等.新疆和田县大红柳滩地区509道班西稀有多金属矿地质特征与成矿规律探讨[J].新疆地质,2018,51(3):146-154.
- [17] 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.
- [18] 许志琴,侯立玮,王宗秀,等.中国松潘—甘孜造山带的造山过程[M].北京:地质出版社,1992:1-89.
- [19] 侯立玮,付小方.松潘—甘孜造山带东缘穹隆状变质地质体[M].成都:四川大学出版社,2002:5-98.
- [20] 付小方,袁瀚平,王登红,等.四川甲基卡矿田新三号稀有金属矿脉的成矿特征与勘查模型[J].矿床地质,2015,34(6):1172-1186.
- [21] 邹天人,李庆昌.中国新疆稀有稀土矿床[M].北京:地质出版社,2006:111-138.
- [22] 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.
- [23] 李建康,王登红,付小方.川西可尔因伟晶岩型稀有金属矿床的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年代及其构造意义[J].地质学报,2006,80(6):843-848.
- [24] 秦克章,申茂德,唐冬梅,等.阿尔泰造山带伟晶岩型稀有金属矿化类型与成岩成矿时代[J].新疆地质,2013,31(S1):1-7.
- [25] 马占龙,张辉,唐勇,等.新疆卡鲁安矿区伟晶岩锆石U-Pb定年、铀同位素组成及其与哈龙花岗岩成因关系研究[J].地球化学,2015,44(1):9-23.
- [26] 《中国矿床发现史·新疆卷》编委会.中国矿床发现史·新疆卷[M].北京:地质出版社,1996:105-109.
- [27] 燕洲泉,王怀涛,李元茂,等.西昆仑大红柳滩伟晶岩型锂铍矿产资源潜力评价[J].甘肃地质,2018,27(3/4):42-48.
- [28] 陈郑辉,王登红,龚羽飞,等.新疆哈密镜儿泉伟晶岩型稀有金属矿床 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 年龄及其地质意义[J].矿床地质,2006,25(4):470-476.

## Mineralization comparisons of the major pegmatite type spodumene deposits and their prospecting potential in West China

TU Qijun<sup>1</sup>, LI Jiankang<sup>2</sup>, WANG Gang<sup>3</sup>, MA Hongchao<sup>3</sup>

(1. No.2 Regional Geological Survey Party, Xinjiang Bureau of Geo-Exploration and Mineral Development, Changji 831100, China; 2. Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment, Ministry of Natural Resources, Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 3. Xinjiang Institute of Geological Survey, Urumqi 830000, China)

**Abstract:** This paper aims at exploring the metallogenic background and characteristics of pegmatite type lithium deposits and guiding the exploration and evaluation of rare metal mineral resources including Li and Be in West China in the future. The authors summarized the metallogenic characteristics of several major large-scale and superlarge pegmatite type spodumene deposits in West China, and briefly compared the metallogenic background and characteristics of these deposits. The results show that the pegmatite type spodumene deposits in West China are located in similar geotectonic positions, mostly in the fold orogenic belts, with centralized zonation distribution. The rare metal mineralization was all developed in the pegmatite vein in the late magmatic rock, and the surround-

ing rocks were a set of metamorphic sandstone , slate and schist. The ore-bearing properties of pegmatite vein are also related with the structural fractures and closure conditions . The metallogenic epoch is from late Indosinian to early Yanshanian , and spodumene-bearing deposits in different areas also show their particularities . For example , the mineral assemblage of Keotohai is the most complex , and followed by Jiajika. In the future , the exploration should focus on the lithium metallogenic belt , and the pegmatite type lithium deposit should be the primary exploration object. Meanwhile , we should take the existing typical deposits as the model to find the most effective combination of prospecting technology and methods according to local conditions , to provide a basis for further prospecting.

**Keywords:** pegmatite type ; spodumene ; typical deposits ; West China

(责任编辑：刘永权)