

https://doi.org/10.3799/dqkx.2018.604



# 四川阿坝州党坝超大型锂辉石矿床成矿规律及深部和外围找矿方向

王子平<sup>1,2</sup>, 刘善宝<sup>3\*</sup>, 马圣钞<sup>3</sup>, 刘丽君<sup>4</sup>, 代鸿章<sup>3</sup>, 郭唯明<sup>3</sup>, 陈备战<sup>1</sup>

1. 四川省核工业地质局二八二大队, 四川德阳 618000
2. 四川阿坝马尔康鑫鑫矿业公司, 四川阿坝州马尔康县 624000
3. 中国地质科学院矿产资源研究所国土资源部成矿作用与资源评价重点实验室, 北京 100037
4. 中国地质大学地球科学与资源学院, 北京 100083

**摘要:** 党坝矿区位于松潘—甘孜稀有金属成矿带东段, 可尔因矿田的东南部, 是我国超大型锂辉石矿床之一。为了解该矿床地质特征及成矿规律, 查明工作区深部及外围地质找矿方向, 梳理了现有工作成果和野外地质观察结果, 总结工作区岩浆岩岩相的空间变化特征、控岩控矿构造力学特征, 对成矿规律进行了深入分析。研究表明: (1) 党坝矿区主矿脉 VIII 是 2 期成矿作用叠加、复合形成的钠长石锂辉石+锂云母型伟晶岩脉, 每期伟晶岩脉内构造分带明显, 自外向内分别是锂云母钠长石伟晶岩带、白云母钠长石伟晶岩带、锂辉石钠长石伟晶岩带; (2) 主成矿期的应力场为 EW 向挤压, 形成了矿区内的 NW 向和 NE 向 2 组剪裂隙, 伟晶岩脉充填其中, 形成了呈“X”型分布的伟晶岩脉带; (3) 以 VI 矿脉为成岩成矿中心, NW 走向的伟晶岩脉带向南东侧伏, NE 走向的伟晶岩脉带向北东侧伏, 为工作区开展深部及外围地质找矿指明了方向。

**关键词:** 党坝; 伟晶岩型锂辉石矿床; 成矿规律; 找矿方向; 矿床。

中图分类号: P612

文章编号: 1000-2383(2018)06-2029-13

收稿日期: 2017-12-11

## Metallogenic Regularity, Deep and Periphery Prospecting of Dangba Superlarge Spodumene Deposit in Aba, Sichuan Province

Wang Ziping<sup>1,2</sup>, Liu Shanbao<sup>3\*</sup>, Ma Shengchao<sup>3</sup>, Liu Lijun<sup>4</sup>, Dai Hongzhang<sup>3</sup>, Guo Weiming<sup>3</sup>, Chen Beizhan<sup>1</sup>

1. 282 Brigade, Sichuan Bureau of Geology for Nuclear Industry, Deyang 618000, China
2. Sichuan Aba Maerkang Jinxin Mineral Company, Maerkang 624000, China
3. MLR Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment, Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China
4. School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China

**Abstract:** The Dangba pegmatite-type spodumene deposit, located in the southeast of Keeryin orefield, also in the eastern part of Songpan-Ganze rare metal ore-forming belt, is one of super-large spodumene deposits in Sichuan, China. In order to find out the ore-forming potential in the deep and periphery, combining with the previous research results and field geological observation, this paper summarizes the spatial variation characteristics of magmatic rock facies and the mechanical characteristics of rock controlling structures in mining area, deeply analyzes the metallogenic regularity, and proposed the direction of geological prospecting. It is concluded as follows: (1) The main vein VIII in Dangba mining area is albite spodumene+lepidolite type pegmatite vein formed by two-stage mineralization of superposition and recombination. The pegmatite intrastructural zoning is ob-

**基金项目:** 国家重点研发计划项目(No.2017YFC0602701); 中国地质调查局工程项目(No.DD20160055); 华南重点矿集区稀有稀散和稀土矿产调查项目(No.DD20160056); 中国地质调查局中国矿产地质与成矿规律综合集成和服务(矿产地质志)项目(No.DD20160346)。

**作者简介:** 王子平(1967—), 高级工程师, 主要从事锂矿地质勘查工作。ORCID: 0000-0002-3769-3045. E-mail: 2878743629@qq.com

\* **通讯作者:** 刘善宝, E-mail: liubaoshan7002@163.com

**引用格式:** 王子平, 刘善宝, 马圣钞, 等, 2018. 四川阿坝州党坝超大型锂辉石矿床成矿规律及深部和外围找矿方向. 地球科学, 43(6): 2029-2041.

vious in each period, with the lepidolite albite pegmatite belt, the muscovite albite pegmatite belt, and the spodumene albite pegmatite zone distributed from the outside to the inside; (2) Being controlled by the NW-trending and NEE-trending structures, the mineralized pegmatite belts show a trend of "X" type distribution; (3) Being centered around the diagenetic mineralization, vein VI NW extensional veins pitch to southeast, and the NE extensional veins pitch to northeast. This study indicates the direction of the deep and peripheral geological prospecting for Dangba spodumene deposit.

**Key words:** Dangba; pegmatite-type spodumene deposit; metallogenic regularity; prospecting direction; ore deposits.

## 0 引言

四川西北部甘孜州和阿坝州是我国伟晶岩型锂辉石矿产资源最集中的产地,拥有丰富的资源,经历了 20 多年的开发,但一直没有形成大规模的产业化基地,与当今新兴产业高速发展不相匹配,当地也是多年贫困的老区,需要充分利用优质资源,带动当地经济发展。

党坝锂辉石矿床位于阿坝州西南 27 km 处可尔因矿田的东南端,是我国最大的锂辉石矿床之一。已探明的  $\text{Li}_2\text{O}$  规模达到超大型,依据最新的探矿工程揭露的矿体规模,预测其资源储量达 100 万 t 以上(四川省地质矿产勘查开发局化探队和马尔康金鑫矿业有限公司,2015),有望成为世界上最大的锂辉石矿床之一。前人已初步介绍过可尔因矿田及党坝矿区的地质特征(费光春等,2014;古城会,2014;庞博等,2014,2015;饶魁元,2016;罗典,2017);时章亮等(2009)和赵永久(2007)对可尔因岩体及其外围的印支期岩体的成因进行了系统研究;李建康等(2006)对可尔因花岗岩体及其相关的锂辉石伟晶岩型矿床的形成机制进行了深入研究,并提出相应的成岩成矿模式。但对典型矿床、区域成矿规律研究及成矿预测方面欠缺,明显滞后于地质勘查工作,迫切需要进一步对典型矿床的地质特征、成矿规律加以归纳总结,为下一步开展深部及外围地质找矿提出建议。本文以党坝矿区深部及其外围找矿突破为立足点,在梳理现有工作成果和野外地质观察的基础上,结合工作区岩浆岩岩相的空间变化特征、控岩控矿构造力学特征,对成矿规律进行了深入分析,明确其找矿方向,为实现区域地质找矿新突破提供参考和借鉴,把可尔因矿田建设成为国家级大型锂资源基地提供科学依据。

## 1 区域地质概述

党坝矿区在大地构造位置上处于松潘—甘孜造山带的东段(图 1),夹在羌塘—昌都、华北和扬子 3

个陆块之间的可尔因矿田内,该矿田也是我国大型、超大型伟晶岩型稀有金属矿床集中地。松潘—甘孜造山带是印支期、燕山期、喜山期等多期构造运动的结果,受到了印度板块、太平洋板块及欧亚板块共同作用的影响。同时,强烈的构造活动导致了多期多阶段岩浆岩的产出,伴有大规模的锂成矿作用,形成了松潘—甘孜独具特色的花岗伟晶岩型稀有金属成矿带,党坝锂矿床就是其中的典型代表。

区域上出露地层主要为三叠系中统杂谷脑组和上统侏儒组及新都桥组,其次是第四系零星分布。三叠系中统和上统为一套浅海相碎屑复理石建造,主要岩性为砂岩、千枚状板岩;在印支期,印支板块与欧亚、扬子板块发生碰撞,区域地层发生褶皱隆起,形成向 NE 方向凸起的弧形褶皱带,随后印支期、燕山期的岩浆岩沿背斜的轴部侵入,形成岩浆岩热穹窿。

侵入岩体与围岩接触部位,围岩在岩浆热力的烘烤作用下受热接触变质一角岩化,角岩带呈环状分布于岩体周围,其分布范围受围岩的地层产状、岩体与围岩接触产状的严格控制,一般宽度介于数百米至 4 000 余米。自岩体向外的热接触变质带具有明显的分带性,依次为辉石角岩带、角闪石角岩带和白云母角岩带,其中辉石角岩带属于高温变质带,其变质矿物为透辉石、透闪石为主,其次有硅灰石、堇青石、符山石、方柱石、矽线石、白云母和绿帘石等;角闪石角岩带呈半环状或近于环状分布于岩体的接触面到黑云角岩带以内的区间,宽约为 50~2 000 m,主要由透闪长英角岩、透辉阳起角岩、透闪方解角岩、含十字石黑云斑点状板岩、透闪石角页岩等组成,变质矿物以透辉石、透闪石、角闪石、纤闪石、阳起石、黑云母或方解石为主;黑云角岩带分布于角闪石角岩相之外,属角岩化带的外晕圈,主要由黑云长英角岩、角页岩、黑云石英角岩、二云角页岩、堇青石黑云角岩、红柱石黑云角岩、阳起长英角岩、黑云斑点状绢云板岩和炭质板岩等组成,变质矿物以黑云母、白云母、阳起石、绢云母和绿泥石为主,其次为红柱石和空晶石等。

区域上印支—燕山期岩浆岩广泛分布,主要有黑

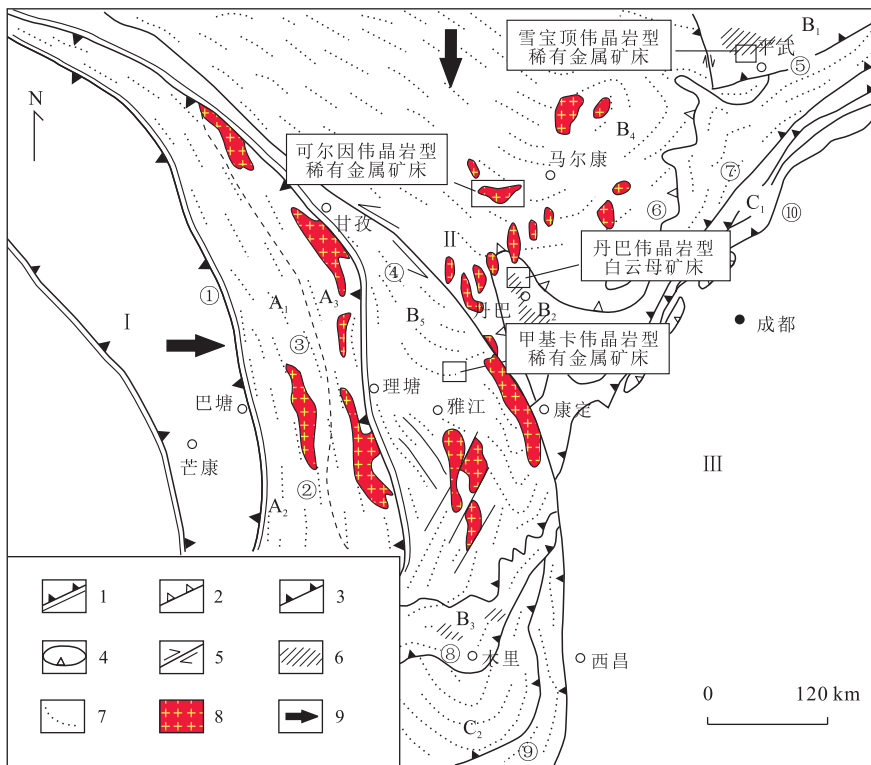


图 1 四川省马尔康党坝锂辉石矿床大地构造位置

Fig.1 Geotectonic location map of Dangba spodumene ore deposit, Maerkang county, Sichuan Province

据李建康和王登红(2007)修改;1.蛇绿混杂岩带;2.滑脱带;3.逆冲断层;4.飞来峰;5.平移断层;6.深层高温韧性滑脱剪切带出露范围;7.褶皱轴线;8.中生代花岗岩;9.韧性滑移矢量;I.羌塘—昌都陆块,II.松潘—甘孜造山带,III.扬子陆块;A<sub>1</sub>.中咱微板块,A<sub>2</sub>.白玉—义敦弧前(间)带,A<sub>3</sub>.沙鲁里主弧逆冲断裂带,B<sub>1</sub>.摩天岭逆冲滑脱—推覆带,B<sub>2</sub>.马尔康被动陆缘中央褶皱推覆带,B<sub>3</sub>.汶川—丹巴腹陆弧形滑脱—推覆带,B<sub>4</sub>.雅江被动陆缘中央褶皱带—推覆带,B<sub>5</sub>.木里腹陆弧形滑脱—推覆带,C<sub>1</sub>.龙门山前陆逆冲带,C<sub>2</sub>.盐源前陆逆冲带;①金沙江蛇绿混杂岩带,②定曲—盖玉冲断层,③甘孜—理塘蛇绿混杂岩带,④鲜水河平移剪切带,⑤青川逆冲带,⑥丹巴北缘滑脱带,⑦后龙门山断裂带,⑧木里断裂带,⑨北川—映秀断裂带,⑩金河—普河断裂带

云母花岗岩、黑云母正长花岗岩、石英闪长岩、二云母花岗岩等,呈岩基、岩株和岩滴产出,围绕岩基或岩株有伟晶岩脉、细晶岩脉、辉绿岩脉、闪长煌斑岩脉上千条,主要分布在伟晶岩密集分布区内(图 2)。

可尔因复式岩体位于党坝矿区的北西侧,大致沿可尔因背斜的核部侵入,呈不规则三叉状岩基出露,显示其受 NE 向和 NW 向构造的联合控制,其出露面积约为 250 km<sup>2</sup>。该岩体主要由热门达石英闪长岩、太阳河黑云二长花岗岩、木足渡和年克黑云母正长花岗岩、可尔因二云母花岗岩、根则及木足白云母钠长花岗岩等 10 余个岩体组成,可尔因二云母花岗岩为主体,除纳河和斯约武岩体离可尔因岩体较远外,其他岩体均围绕主体的外围产出(图 2)。与该地区含稀有金属花岗伟晶岩型矿床有着密切成因联系的白云母钠长花岗岩,呈岩滴或岩株零星分布于可尔因复式岩体的外侧或内部,如根则及木足白云母钠长花岗岩体分布于东南侧;温故白云母钠长花

岗岩株侵入于可尔因复式岩体内部(图 2)。一般认为白云母钠长花岗岩体边缘局部地段有似伟晶岩边缘相出现,可作为成矿岩体的显著标志。

岩石中出现大量过铝矿物白云母,副矿物中普遍出现磷灰石、锆石和钛铁矿。岩体的 SiO<sub>2</sub> 平均含量为 73.36%,总碱值为 8.11%,K<sub>2</sub>O > Na<sub>2</sub>O,属硅、铝过饱和的过碱性岩石,具有高分异型花岗岩的特征。与全球花岗岩相比,该岩体 SiO<sub>2</sub> 含量偏高,Na<sub>2</sub>O 含量偏低,K<sub>2</sub>O 含量偏高,MgO、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 等组分却稍偏高(李建康等,2006)。

可尔因岩体以富含 Li 元素为特征,其含量变化介于 (61.9 ~ 314.0) × 10<sup>-6</sup> (李建康和王登红,2007),最高达 400 × 10<sup>-6</sup> (廖远安和姚学良,1992),但低于甲基卡的重熔高分异型花岗岩 (418 × 10<sup>-6</sup>;唐国凡和吴盛先,1984);白云母钠长花岗岩的稀土元素含量低,轻重稀土分异不明显,其稀土配分曲线呈“海鸥型”,铀亏损强烈(李建康和王登红,2007),

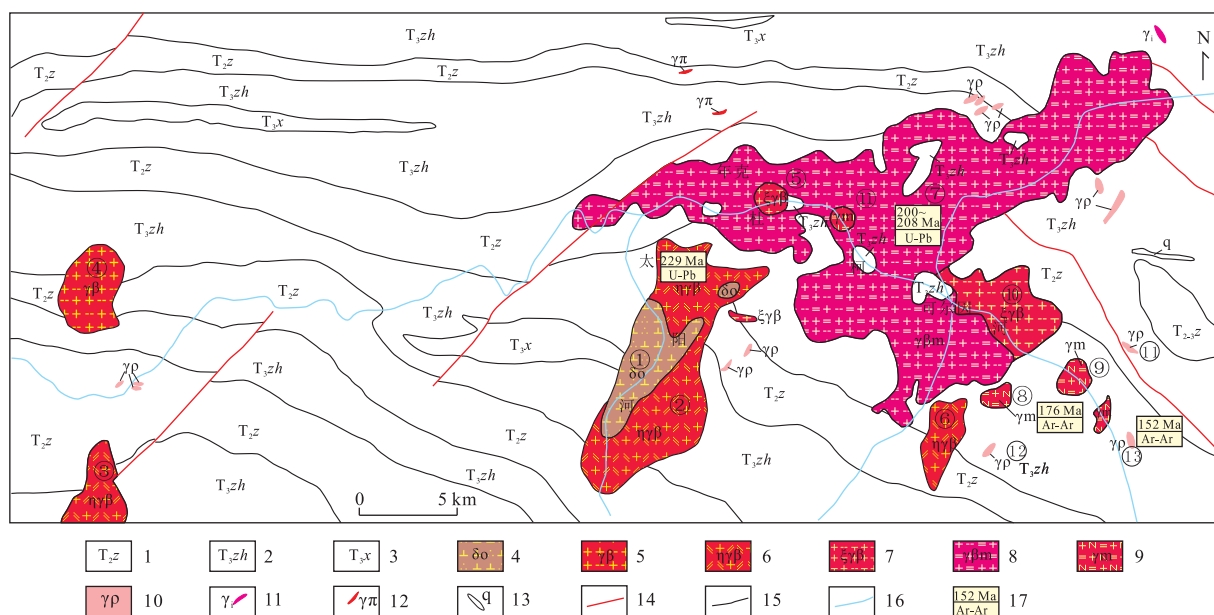


图 2 党坝锂辉石矿床区域地质简图

Fig.2 The regional geoligical sketch map of Dangba spodumene ore deposit

据李建康和王登红(2007)修编;1.杂谷脑组,2.侏倭组,3.新都桥组,4.石英闪长岩,5.黑云母花岗岩,6.黑云母二长花岗岩,7.黑云母正长花岗岩,8.二云母花岗岩,9.白云钠长花岗岩,10.花岗伟晶岩,11.花岗细晶岩,12.花岗斑岩,13.石英脉,14.断层,15.地质界线,16.河流,17.同位素年龄及测试方法(数据来源李建康等,2006;赵永久,2007;时章亮等,2009);①热门达岩体,②太阳河岩体,③纳河岩体,④斯约武岩体,⑤年克岩体,⑥斯曼措岩体,⑦可尔因岩体,⑧木足岩体,⑨根则岩体,⑩木足渡岩体;⑪党坝矿区,⑫李家沟矿区,⑬集沐矿区

与赣南黑钨矿石英脉型成花岗岩类似(郭春雨等, 2011),显示其为高分异型花岗岩。

区域上除中—酸性侵入岩外,还发育多种基性—酸性岩脉,花岗伟晶岩脉及其相伴生的细晶岩集中分布于可尔因复式岩体周围,金川县观音桥、太阳河、业隆沟、李家沟、根扎及马尔康县木尔宗、可尔因、热水塘、白湾等地为矿化集中区。

## 2 矿区地质特征

可尔因矿集区的大中型锂矿床主要分布于可尔因复式岩体的东南部,党坝矿区也不例外,北西距离可尔因复式岩体约为 3 km,产于地拉秋倒转向斜的北西端(图 3)。

矿区内出露地层有杂谷脑组及侏倭组,以侏倭组在区内分布最广,为本区矿体的赋矿围岩。侏倭组在矿区的岩性为一套灰、深灰色中厚层—块层状黑云长英角岩、黑云石英角岩、透辉长英角岩、角闪角岩、阳起长英角岩与角岩化灰色绢云母板岩、炭质绢云母板岩互层。其原岩为一套含碳泥质岩、钙质长石石英细砂岩、杂砂岩、粉砂岩等呈韵律式互层的沉积岩。后经可尔因岩体侵位冷凝过程中的烘烤进一步

变质形成。另有零星出露的第四系残坡积物堆积于沟谷坡地的低洼处,冰碛物堆积于海拔 3 800 m 以上的山坡上。

在构造上,矿区位于地拉秋倒转背斜北西端,矿区内地层总体走向为 NW-SE 向,次级褶皱发育,导致地层产状变化较大。地表可见部分石英脉和地层已被褶皱变形(图 4a),显示是左行剪切活动导致石英脉和地层发生褶皱。地拉秋复式向斜由高尔达向斜和高尔达沟背斜组成。

高尔达向斜:呈平行展布,轴线呈 NW-SE 向展布分布于矿区北西至喇嘛庙一带,轴线总体上呈 NW-SE 向展布,在 0 号勘探线 NW 呈 350°~170° 方向展布,在 0 号勘探线至喇嘛庙附近向南弯曲,呈 190°~10° 方向展布,出露长度约为 3 km,轴面向南西倾斜,两翼倾角介于 25°~40°,核部地层在平硐 PD04 以北和 0 号勘探线至喇嘛庙附近为侏倭组三段地层,在平硐 PD04 至 0 号勘探线为侏倭组四段地层,翼部为侏倭组三段和四段地层。

高尔达沟背斜:位于矿区中部,走向 NW-SE,出露长度约为 2 km,两翼基本对称,东翼倾角介于 10°~20°,西翼倾角介于 10°~20°;核部宽缓,由侏倭组二段组成,两翼由侏倭组三段组成,轴面倾向东,倾角介于 50°~70°。



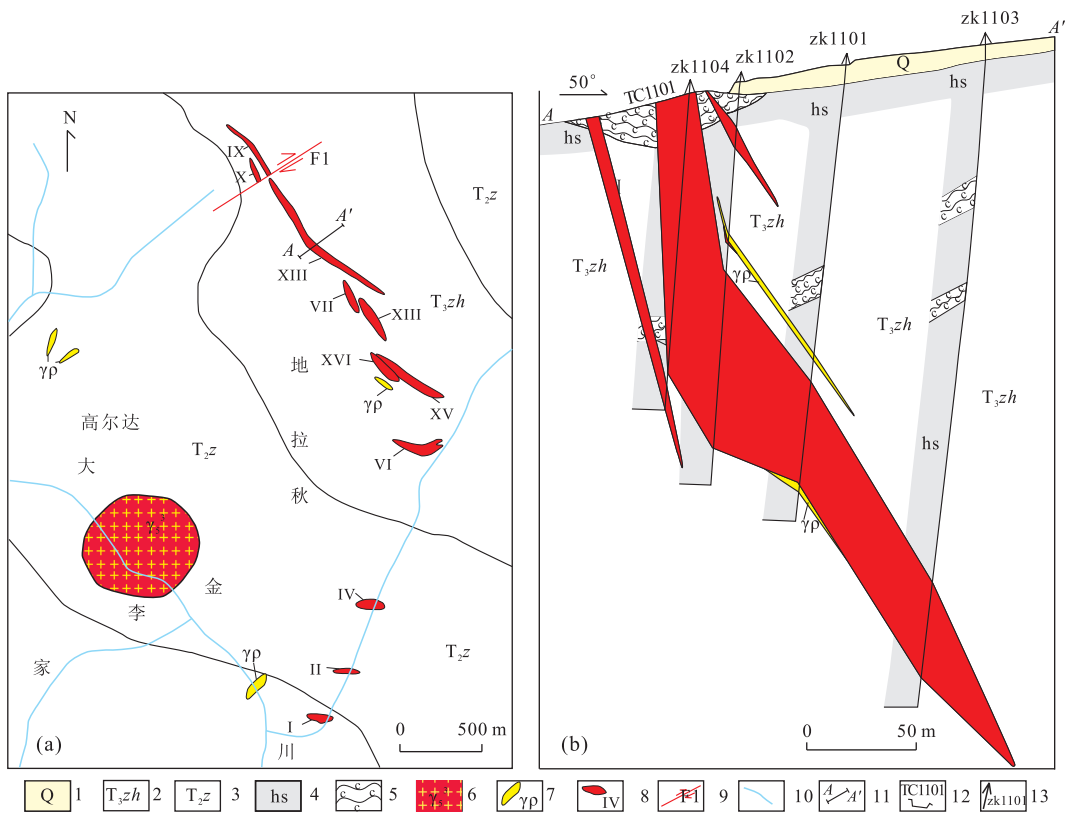


图 3 四川党坝锂辉石矿区平面图(a)和 11 线剖面图(b)

Fig.3 The geological plane of spodumene mine area(a) and the section of line 11 (b)

1.第四系;2.三叠系上统侏倭组;3.三叠系中统杂谷脑组;4.角岩;5.碳质板岩;6.白云母花岗岩;7.黑云母、电气石伟晶岩;8.矿脉及编号;9.构造;10.河流;11.剖面及编号;12.探槽及编号;13.钻孔及编号

地表断裂构造不发育,矿区北西部的 F<sub>1</sub> 断层右行错动了 VIII、IX、X、XI 号矿体(图 3)。断层走向 57°,倾向 148°,倾角 89°,错动平距为 26 m 左右。该断层可能是与 NW 走向的容矿构造配套的同期压性剪裂隙,成矿后在 EW 方向挤压作用下再次活动,错断矿脉。

区内发育不同规模的节理裂隙,主要由两期形成的。早期在南北挤压作用下,形成了走向 345°张剪性节理、近 SN 走向的张性裂隙和走向 15°压剪性节理,可能是 EW 走向可尔因背斜的配套构造裂隙,形成于印支期;晚期在 EW 向挤压作用下,形成了走向 NW 张剪性节理、近 EW 走向张性节理和走向 NE 的压剪性节理,可能属于地拉秋向斜的配套构造裂隙,形成于燕山期。由图 3 可知,矿区的矿脉主要充填在 NW 和 NEE 走向的张剪性构造裂隙中,NW 走向的矿脉呈向右侧现排列,NEE 走向的矿脉呈向左侧现排列,也进一步表明主成矿期的主应力场为近 EW 向。局部花岗伟晶岩脉和花岗岩脉近 SN 向构造裂隙中,如大金川河东岸根则岩体附近的伟晶岩脉和花岗岩脉充填于 NNW 走向的张剪性裂隙

构造中(图 4b),可能是根则岩体侵位时构造应力场与党坝锂辉石伟晶岩成矿时的不同,或根则岩体侵位时利用了早期的构造。

值得注意的是,从地表露头多处可见伟晶岩脉切割地层,除了追踪张剪性节理充填之外,还顺层充填、交代形成“工”字形的伟晶岩脉(图 4b)。这种“工”字形伟晶岩对于地质找矿很有启发意义,即在寻找陡倾斜伟晶岩脉的同时,还应特别注意产状平缓的“地下室”。在研究程度较高的甲基卡矿田已经建立了“五层楼+地下室”勘查模型,并取得了新的找矿突破(王登红等,2017)。

根则白云母钠长石花岗岩出露在矿区西部的大金川河东岸附近,岩体附近有一系列的花岗岩和伟晶岩脉产出,环绕在岩体的附近,岩脉主要产状为 40°∠15°(顺层构造)、0°∠80°、340°∠40°,不同方向的岩脉相互连接,呈“工”字形或“王”字形,脉体主要赋存于侏倭组中。虽然矿区未出露岩体,但根则岩体东北距离党坝 VIII 主矿脉 4.2 km,南距离党坝 I 矿脉 2.4 km,党坝矿区的矿脉呈弧形分布于根则岩体的外围(图 3),显示二者在空间上的联系。

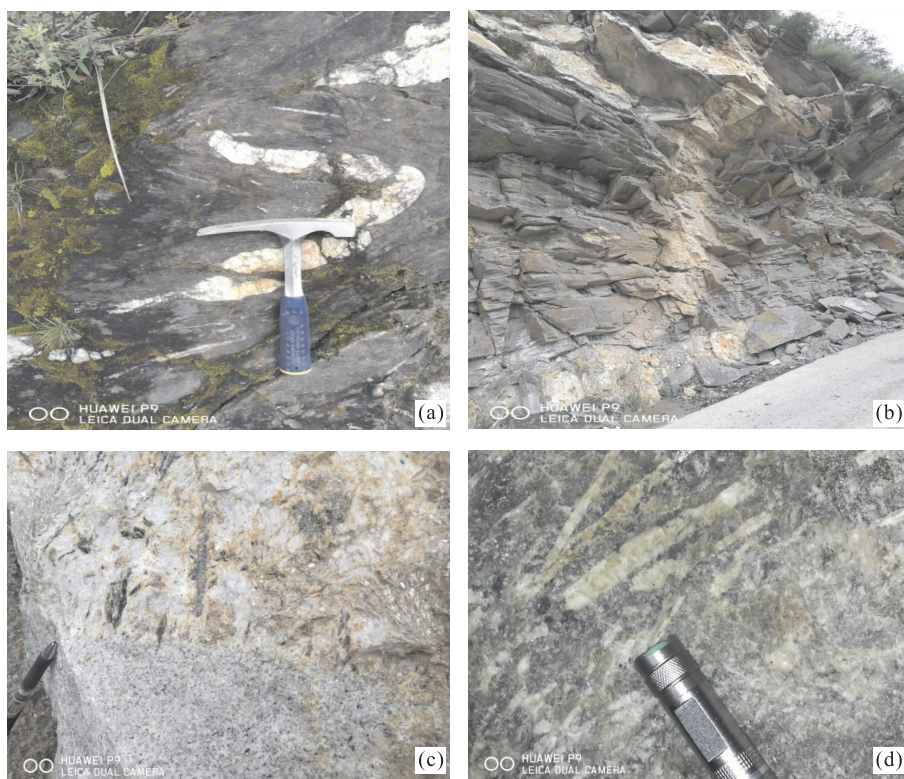


图 4 大渡河东岸伟晶岩脉围岩中揉皱石英脉(a)和“工”字型花岗岩伟晶岩脉(b);双江口附近可尔因岩体内锂云母伟晶岩脉(c);党坝 3 900 m 中段 VIII 号脉中部的锂辉石(d)

Fig.4 crumple structure of quartz vein (a) in wall rocks of pegmatite and the “工” shape-like granite pegmatite veins (b) on the eastern bank of Dadu river; the lepidolite pegmatite vein occurred in Keeryin rock mass near Shuangjiangkou (c); the spodumene formed in the VIII vein of the lever 3 900 m at Dangba (d)

自岩体由近到远,依次出现透辉石角岩(局部有石榴石矽卡岩、红柱石十十字石角岩)、角闪石(阳起石)角岩、黑云母角岩和角岩化板岩等,由于该区经历了多期多阶段的岩浆岩活动,不同期次的热接触变质作用相互叠加改造,导致热接触变质分带不明显。

### 3 矿体地质特征

党坝矿区及其邻近地段已发现花岗伟晶岩脉有 52 条,已知锂矿化的有 37 条,经过勘查的有 VI、VII、VIII、IX、X、XI 等 6 条伟晶岩脉,其中高尔达 VIII 号含锂辉石花岗伟晶岩脉为矿区最主要的矿脉(表 1 和图 4)。具工业价值的锂辉石伟晶岩脉规模大,长度一般介于 60~400 m,最长为 3 340 m,厚度一般介于 3~23 m,最厚为 67 m。形态一般以规则脉状、大脉状为主,少数呈透镜状,部分脉体局部出现分支现象。

由表 1 和图 3 可知,党坝矿区的锂辉石伟晶岩型矿脉划分为 2 组矿脉带,其中 NW 走向矿脉带分布于矿区北部,由 VII~XV 等 9 条矿脉组成,单条

矿脉走向 NW,倾向变化介于  $44^{\circ}\sim 78^{\circ}$ ,个别矿脉反倾,如 IX 矿脉倾向  $242^{\circ}$ ,矿脉与矿脉之间右行侧现分布;NE 走向矿脉带分布在矿区的南部,由 I~VI 等 4 条矿脉组成,单条矿脉走向近 EW,倾向介于  $2^{\circ}\sim 320^{\circ}$ ,矿脉与矿脉之间左行侧现分布。NW 走向相对于 NE 走向的矿脉带,最大为 VIII 矿脉,是党坝矿区的“王牌”矿脉。

VIII 号伟晶岩脉位于矿区北部的高尔达村,呈较规则的大脉状,沿 NW-SE 向出露展布,总体倾向为  $44^{\circ}$ ,局部反倾,倾角介于  $67^{\circ}\sim 85^{\circ}$ ,矿体延长为 3 340 m,控制长度为 2 580 m,矿体厚为 1.14~66.84 m,平均为 27.59 m,变化系数为 67.04%;矿体分布标高介于 +4 159~+3 412 m,沿倾向最大延深为 680 m,一般介于 220~350 m。VIII 号伟晶岩脉在倾向上,由地表向深部矿体厚度总体趋势是由薄变厚再变薄,呈巨大的透镜状。向上,由 NW 向 SE,矿脉总体趋势由厚变薄,35 线北西的矿脉厚度变化介于 3.8~8.8 m,最厚为 17.0 m,最薄为 1.7 m;35~27 线间的矿脉厚度变化介于 11.7~20.4 m,最厚为

表 1 党坝矿区主要含矿伟晶岩脉特征

Table 1 Characteristics of main ore-bearing pegmatite veins in Dangba

编号	长度(m)		深度(m)		厚度(m)			产状	
	伟晶岩脉	矿体	伟晶岩脉	矿体	伟晶岩脉	矿体(最厚)	矿体(最薄)	倾向(°)	倾角(°)
I	135	135	175	175	15	15	5	345	42
IV	120	120	100	100	12	12	4	2	55
V	192	192	150	150	13	13	4	320	57
VI	464	464	150	150	23	23	6	358	33
VII	1 020	400	285	285	9	9	2	42	
VIII	3 340	3 340	>780	680	67	67	1	44	
IX	304	130	150	65	5	2	—	242	85
X	185	185	122	40	4	4	—	55	71
XI	188	188	134	134	5	5	—	57	69
XV	1 012	1 012	500	500	12	12	—	55	80

注:资料来源四川省马尔康党坝乡锂辉石矿矿业评估报告,2012,成都(内部资料)。

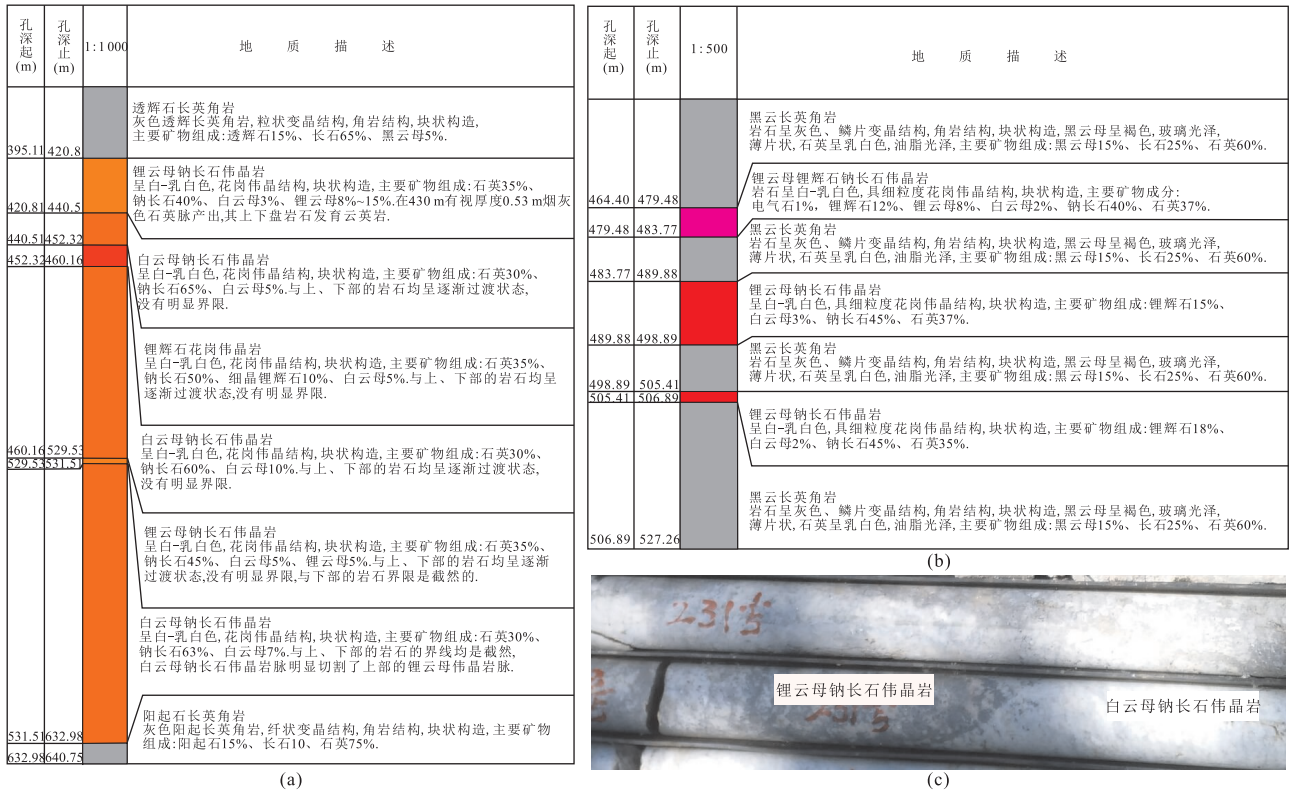


图 5 党坝矿区 zk1705(a)、zk1704(b) 钻孔部分柱状图及 zk1705 钻孔锂云母伟晶岩与白云母伟晶岩的接触界限照片(c)  
Fig.5 Partial drilling histogram of zk1705 (a),zk1704 (b) in Dangba mine area,and photo showing the contact line between lepidolite pegmatite and muscovite pegmatite in zk1705 (c)

21.5 m,最薄为 5.9 m;27~11 线间的矿脉厚度变化介于 13.2~47.0 m,最厚为 63.5 m,最薄为 5.0 m。矿体总体趋势向 SE 方向侧伏,锂辉石伟晶岩成矿流体(熔体)由 SE 向 NW 方向运移。

经对 2016 年施工的 zk1705 和 zk1704 钻孔的重点岩心进行地质编录(图 5),发现 VIII 号矿脉具有以下特征:(1)该矿脉是由 2 期岩浆岩活动的结

果,第一期岩浆岩作用形成的伟晶岩脉位于 VIII 号矿脉的上部(孔深介于 420.81~531.51 m),第二期白云母钠长石伟晶岩脉位于第一期的下部(孔深介于 531.51~632.98 m),并切割了早期的锂云母钠长石伟晶岩脉,二者之间的界限是截然的(图 5b);(2)早期形成的伟晶岩脉构造分带明显,自外向内可划分为 3 个结构构造带,即锂云母钠长石带、白云母钠



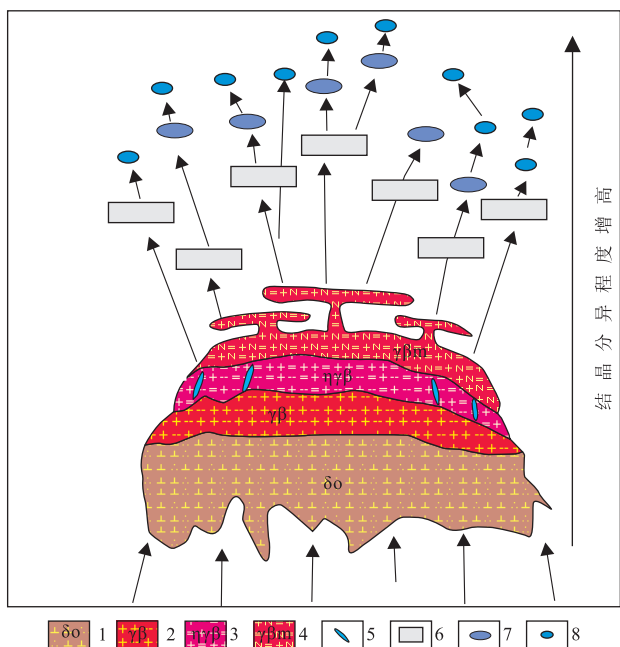


图 6 可尔因矿田伟晶岩型矿床的结晶分异式成岩成矿模式

Fig.6 The crystallization differentiation model of pegmatite type deposit in Keeryin area

1.石英闪长岩;2.黑云母花岗岩;3.二云母花岗岩;4.白云母花岗岩;5.二云母微斜长石型伟晶岩;6.白云母钠长石型伟晶岩;7.白云母钠长石锂辉石型伟晶岩;8.钠长石锂云母型伟晶岩;据李建康和王登红(2007)修改

长石带和锂辉石钠长石带,三者之间呈过渡状态,没有明显的界限;(3)晚期形成的伟晶岩构造分带在zk1705钻孔中不明显,但与其浅部的zk1704钻孔岩心相对应的分别是锂云母锂辉石钠长石伟晶岩、锂辉石钠长石伟晶岩(图5c),其间被黑云母长英角岩隔离,其总趋势是明显的,自上而下(或自外向内)分别是锂云母锂辉石钠长石伟晶岩、锂辉石钠长石伟晶岩。

综上所述,可得出如下认识:(1)矿体向东南方向侧伏,这一认识得到了钻探工程验证,其侧伏角约为 $20^{\circ}$ ;(2)VIII号伟晶岩矿脉是由2期岩浆岩作用叠加复合形成的,晚期的矿脉切割早期的矿脉,二者的界限是截然的;(3)2期伟晶岩脉内的构造分带明显,其浅部自外向内分别是锂云母钠长石伟晶岩带、锂辉石钠长石伟晶岩带,深部自外向内分别是锂云母钠长石伟晶岩带、白云母钠长石伟晶岩带、锂辉石钠长石伟晶岩带,其总趋势自外向内是锂云母钠长石伟晶岩带、锂辉石钠长石伟晶岩带、白云母钠长石伟晶岩带,复合伟晶岩型矿床的结晶分异模式(图6),上述三者之间呈过渡状态,没有明显的界限。

## 4 讨论

### 4.1 含锂伟晶岩的类型

Černý(1991a)将稀有金属伟晶岩型矿床划分为LCT型和NYF型:LCT型伟晶岩的母岩为S型和I型花岗岩,伟晶岩熔体来源于花岗岩体的上部,LCT型伟晶岩的主要元素为Li、Rb、Cs、Be、Ga、Sn、Nb<Ta、B、P和F;NYF型伟晶岩的主要元素为Nb>Ta、Y、REE、Sc、Ti、Zr、Be、Th、U和F;NYF型伟晶岩的母岩为A型花岗岩,下地壳原岩在较短时间内二次熔融产生的岩浆和流体参与了较多的NYF型伟晶岩的形成(Černý,1991b)。王联魁和黄智龙(2000)依据成矿岩体不同部位结构构造及组分的突变性特征,将南岭地区的大吉山、宜春、尖峰岭等地区的花岗岩归为液态不混溶成因。陈毓川等(2003)运用液态分离模式较好地解释了阿尔泰伟晶岩型矿床的成因,提出了伟晶岩浆2种来源:一是花岗岩浆的顶部“液态分离”,即在花岗质岩浆结晶过程中,随着温度降低,富含挥发分和水的气液流体逐渐增多,导致均一的岩浆产生氟化物熔体乳滴,发生液态分离,并逐步汇聚到岩浆房的顶部,形成低熔高温富含Si、Li、F、B、P、Al及其他稀有和碱金属元素的气液流体;另一种是花岗质岩浆中、下部分分离的结果,同原始花岗质岩浆顶部的液态分离相比较,岩浆内部由于相对贫水和挥发分及稀有、碱性元素组分,仍保持着原始岩浆的高温状态,随着岩体内部岩浆的结晶和固化,使内部(中部)的岩浆逐渐向偏酸、富碱和富含挥发分方向演化,同时在岩体下部形成一个相对低温的岩浆房,相对原始岩浆内部(中部)和下部集中富碱、水、挥发分及稀有元素组分,形成伟晶岩浆,在合适的条件下,如构造活动与构造断裂通道,伟晶岩浆可以上侵结晶成伟晶岩脉。李建康和王登红(2007)在对可尔因地区进行系统岩浆岩矿物学、岩石地球化学、流体包裹体学和同位素年代学研究的基础上,建立了可尔因矿田伟晶岩型矿床的结晶分异式成岩成矿模式(图6)。

依据岩浆结晶分异成因模式,该地区的花岗岩主要为过铝质的S型花岗岩,主要成矿元素为Li、Nb、Ta和Be等,党坝锂辉石伟晶岩型矿床应归为LCT型,但是Nb/Ta的比值变化介于1.14~0.37(表2),与Černý(1991a)也不完全对应,预示工作区可能存在A型花岗岩,与S型花岗岩混合、叠加改造导致Nb/Ta的比值变化范围大。古城会(2014)按照组成伟晶岩的主要造岩矿物(微斜长石、钠长石、



表 2 党坝矿区 zk1705 钻孔岩心样品铌钽测试结果 ( $10^{-6}$ )

Table 2 The Nb/Ta analysis results of zk1705 drilling in Dangba

样品编号	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Nb	Ta	Nb/Ta
zkH1	80	70	28.0	28.7	0.98
zkH2	80	60	28.0	24.6	1.14
zkH3	90	70	31.5	28.7	1.10
zkH4	60	140	21.0	57.3	0.37
zkH5	120	180	41.9	73.7	0.57
zkH6	50	40	17.5	16.4	1.07
zkH7	60	80	21.0	32.8	0.64

注:测试单位:国家地质实验测试中心.

锂辉石和锂云母等)的含量,把党坝锂辉石矿床的伟晶岩理想化的分为 5 类:微斜长石型(I类)、微斜长石钠长石型(包括含锂辉石微斜长石钠长石型和不含锂辉石微斜长石钠长石型)(II类)、钠长石型(包括含锂辉石钠长石型和不含锂辉石钠长石型)(III类)、钠长石锂辉石型(IV类)和钠长石锂云母型(V类).但在党坝矿区出现了许多混合型矿体,如 zk1705 和 zk1704 钻孔中,在锂辉石伟晶岩与白云母钠长石伟晶岩接触带附近存在锂云母锂辉石伟晶岩型、锂辉石锂云母伟晶岩型、锂云母钠长石伟晶岩型等.依据图 5 的成岩成矿模式,锂云母钠长石伟晶岩型应位于成矿岩体的顶部或最外侧,而党坝矿区 VIII 矿脉深部锂云母钠长石型矿体却产于矿体的底部的白云母钠长石伟晶岩接触带附近以及可尔因岩体内的锂云母钠长石脉(图 4c),出现“逆向”分带的现象,这是由 2 期成矿作用叠加复合的结果,可能出现以下几种情况:(1)早期形成的锂云母钠长石带被晚期的锂辉石钠长石带复合、叠加,或早期的锂辉石钠长石伟晶岩带被晚期的锂云母钠长石伟晶岩带复合、叠加,形成锂云母锂辉石钠长石带或锂辉石锂云母钠长石带(如 zk1704 钻孔);(2)早期含石榴石或电气石钠长石伟晶岩带被晚期的锂辉石钠长石带复合、叠加,或早期的锂辉石钠长石伟晶岩带被晚期的锂云母钠长石伟晶岩带复合、叠加,形成含石榴石或电气石锂辉石钠长石伟晶岩带、含石榴石或电气石锂云母钠长石伟晶岩带(如 zk1704 钻孔);(3)早期的锂云母钠长石伟晶岩带或锂辉石伟晶岩带被晚期的白云母钠长石伟晶岩复合、叠加,在白云母钠长石伟晶岩中形成锂云母钠长石伟晶岩或锂辉石钠长石伟晶岩“包体”,此类现象很少见,只在 zk1705 钻孔第二期白云母钠长石伟晶岩带的局部出现,二者的界限是截然的.

综上所述,VIII 矿脉同期形成的伟晶岩内部构

造分带明显,由外向内分别为锂云母钠长石伟晶岩带、锂辉石钠长石伟晶岩带、白云母钠长石伟晶岩带,与古城会(2014)提出的区域分带模式是一致的,但是因为后期成岩成矿作用的复合、叠加,导致伟晶岩内部构造分带的复杂化.本文工作区的找矿重点为锂辉石伟晶岩型、锂云母伟晶岩型及其二者的混合型.另外可尔因二云母花岗岩体内产出锂云母钠长石伟晶岩脉(图 4c),进一步佐证了工作区内至少有 2 期成矿作用的发生.

#### 4.2 含锂伟晶岩的空间分布规律

党坝矿区的花岗伟晶岩具有一定的垂直分带和水平分带特点,自二云母花岗岩体向外(水平方向)依次出露:微斜长石型伟晶岩带(I带)、微斜长石钠长石型伟晶岩带(II带)、钠长石型伟晶岩带(III带)、钠长石锂辉石型伟晶岩带(IV带)、钠长石锂云母型伟晶岩带(V带)、石英脉带.在垂直方向上,伟晶岩类型由二云母花岗岩切割最深的地段向上,仍按 I→II→III→IV→V→石英脉的分带性.可尔因矿田含锂伟晶岩的空间分布规律特征与岩浆岩连续结晶分异成岩成矿模式是对应的(图 6),该模式是建立在同源同期岩浆岩经过多阶段的演化而形成不同类型的伟晶岩型矿床的理论基础之上(图 7).

矿区以 IV 类伟晶岩为主,V 类伟晶岩局部出现,在空间上具有一定的分布规律.以 VI 脉(海拔高程 2 983 m)为中心(图 8c),锂辉石伟晶岩呈蜂窝状分布在白云母钠长石伟晶岩的中部,预示其已经到矿体的根部,向 NW 方向,伟晶岩类型由钠长石锂辉石型逐渐过渡到 VIII 脉的钠长石锂辉石+锂云母复合型,锂辉石的粒度由大变小,其矿化强度逐渐增强;向 SW 方向,伟晶岩类型虽然没有变化,但锂辉石粒度由小变大,其矿化强度逐渐增强.同一脉体中至多有 3 种类型伟晶岩,如 zk1705 和 zk1704 钻孔深部的锂辉石伟晶岩型与钠长石伟晶岩型接触带附近出现了锂云母型矿体.但上述分带不是绝对的,常在同一地段发现两种以上的伟晶岩类型同时存在,从而破坏了分带的完整性,可能是多期多阶段成矿作用造成的,尤其是矿床深部出现锂云母伟晶岩型时,可能预示深部有隐伏矿体产出.锂辉石+锂云母复合型伟晶岩可以作为寻找大型锂矿床的一个重要找矿标志之一.

伟晶岩脉的产状,主要受主节理裂隙的控制,规模较大的脉体因产状相近的节理裂隙之间的交替作用,无论是在走向上,还是在倾向上,其产状都是变化的.换言之,脉体受控于两组以上的节理裂隙,在无序

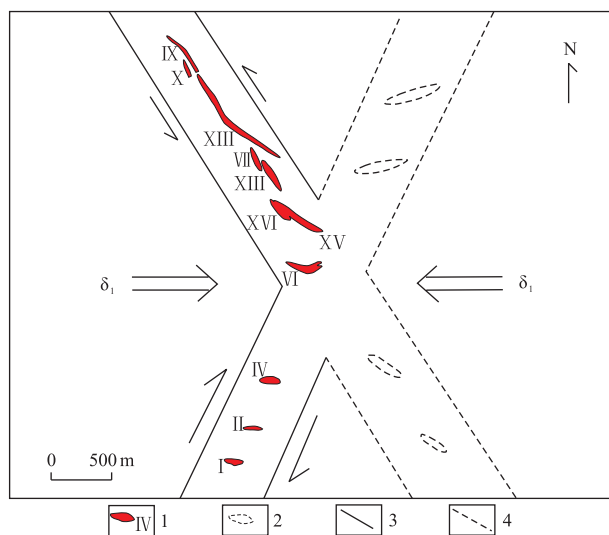


图 7 党坝矿区锂辉石伟晶岩型矿脉同期配套构造张剪裂隙及其找矿靶区预测示意

Fig.7 Sketch map of tenso-shear fractures of pegmatites in Dangba and predicting prospecting target

1.已知伟晶岩岩脉;2.推测伟晶岩脉;3.已知构造剪切带;4.推测构造剪切带

中显示有序,这是成岩成矿时期的古应力场决定的。

在众多伟晶岩脉中,除 I、II、IV、VI 号脉体产于近 EW 向节理裂隙外,其余脉体均产于 NW-SE 向的节理裂隙中,倾角一般介于  $45^{\circ}\sim 85^{\circ}$ 。其中 NW 走向的矿脉呈右侧现排列(图 3 和图 7),显示其受左行剪切应力场的控制,近 EW 走向的矿脉呈左侧现排列(图 7),显示其受右行剪切应力场的控制;在倾向上,图 3 中 11 勘探线剖面显示,矿体在由陡变缓的部位,其厚度变大,显示其控矿构造为逆断层。上述现象的出现是在近 EW 向挤压作用下,形成的同期配套的构造张剪裂隙控制(图 7),由此推断,NW 走向的矿脉带向 SE 方向侧伏(2016 年施工钻探工程已经证实了这一推断),NEE 走向的矿脉带向 NE 方向侧伏,在 VI 矿脉附近可能存在一个隐伏的成矿岩体。

#### 4.3 岩浆岩的时空演化规律

在空间上,由北向南,沿金川河分别出露的是可尔因复式岩体、根则岩体和地拉秋伟晶岩体,其岩性由二云母细粒花岗岩、含石榴石电气石白云母钠长石细粒花岗岩逐渐过渡到粗粒电气石白云母钠长石伟晶岩,伟晶岩化强度逐渐增强和矿化强度逐渐增加。岩体附近伴生岩脉的岩性也是逐渐变化,可尔因岩体附近岩脉主要为白云母花岗岩、含电气石石英伟晶岩;根则岩体附近的岩脉主要为钠长石花岗岩、

白云母钠长石伟晶岩,出现了伟晶岩壳(图 8a),白云母钠长石伟晶岩与细粒白云母钠长石花岗岩呈逐渐过渡,没有明显界限;在地拉秋伟晶岩体附近出现了一系列的钠长石锂辉石伟晶岩型矿脉,如党坝的 I、II、III、IV、V、VI 脉和集沐锂辉石矿床等。

依据岩体之间的侵入接触关系(1/20 观音桥),自早到晚依次是石英闪长岩(热门达岩体)、黑云母花岗岩(太阳河岩体)、二云母花岗岩(可尔因岩体)、白云母花岗岩(根则岩体);年代学研究表明,太阳河花岗岩闪长岩的锆石 U-Pb 年龄为  $229\pm 3$  Ma(赵永久,2007),可尔因二云母花岗岩锆石 U-Pb 年龄介于  $208\sim 200$  Ma(廖远安和姚学良,1992;时章亮等,2009),根则白云母钠长花岗岩分异形成的钠长石白云母伟晶岩党坝 I 矿脉岩白云母 Ar-Ar 平均年龄分别为 176 Ma、152 Ma(李建康和王登红,2007),与岩体相互之间的侵入先后顺序是一致的。根据甲基卡新三号锂辉石伟晶岩矿脉(锆石 U-Pb 年龄为 216 Ma;郝雪峰等,2015)和 104 号锂辉石伟晶岩矿脉(白云母 Ar-Ar 年龄为 199 Ma;王登红等,2005)用不同测试方法得到年龄的差别均为 17 Ma,可以推断:根则伟晶岩的成岩年龄约为 193 Ma、党坝 I 矿脉成岩年龄约为 169 Ma,表明该地区至少存在三期成岩成矿作用,晚期的岩浆岩对早期的岩浆岩进行叠加改造,在成岩成矿物质上具有一定的继承性,晚期的岩浆岩相对于早期岩浆岩演化程度更高,其成矿作用强度更大,成矿主期为 152 Ma。由北向南依次是可尔因二云母花岗岩、根则含石榴石白云母花岗岩+伟晶岩、地拉秋白云母钠长石伟晶岩和党坝 I 脉伟晶岩锂辉石矿,岩浆岩的成岩时代逐渐变年轻,由老到新,其矿化强度逐渐增强,矿化中心逐渐向南迁移,可能预示 NW 方向的矿体已经被剥蚀,而 SE 方向的矿体保存比较完好或隐伏在深部。在矿床规模上,自西向东,有李家沟特大型锂辉石矿床、集沐大型、党坝 I 矿脉(中型)、党坝 VI 矿脉(小型)和党坝 VIII 矿脉(特大型),即以党坝 VI 矿脉为中心,向 NW 和向 SW,矿床规模逐渐增大,矿化强度逐渐增强(图 8b 和图 8c);其矿床的产状由李家沟 EW 走向逐渐过渡到党坝 VIII 矿脉 NW 走向,围绕根则白云母钠长石花岗岩体形成了一个半圆弧状。

综上所述,依据岩浆岩的时空演化规律,矿床的地质特征、规模、产状特征及其空间分布特征,并且在党坝 VI 矿脉附近出现了粗粒、晶形很好的红柱石和堇青石(图 8d、8e),预示上述矿床的成矿岩体可能位于党坝 VI 矿脉附近,其外围的  $2\sim 5$  km 范



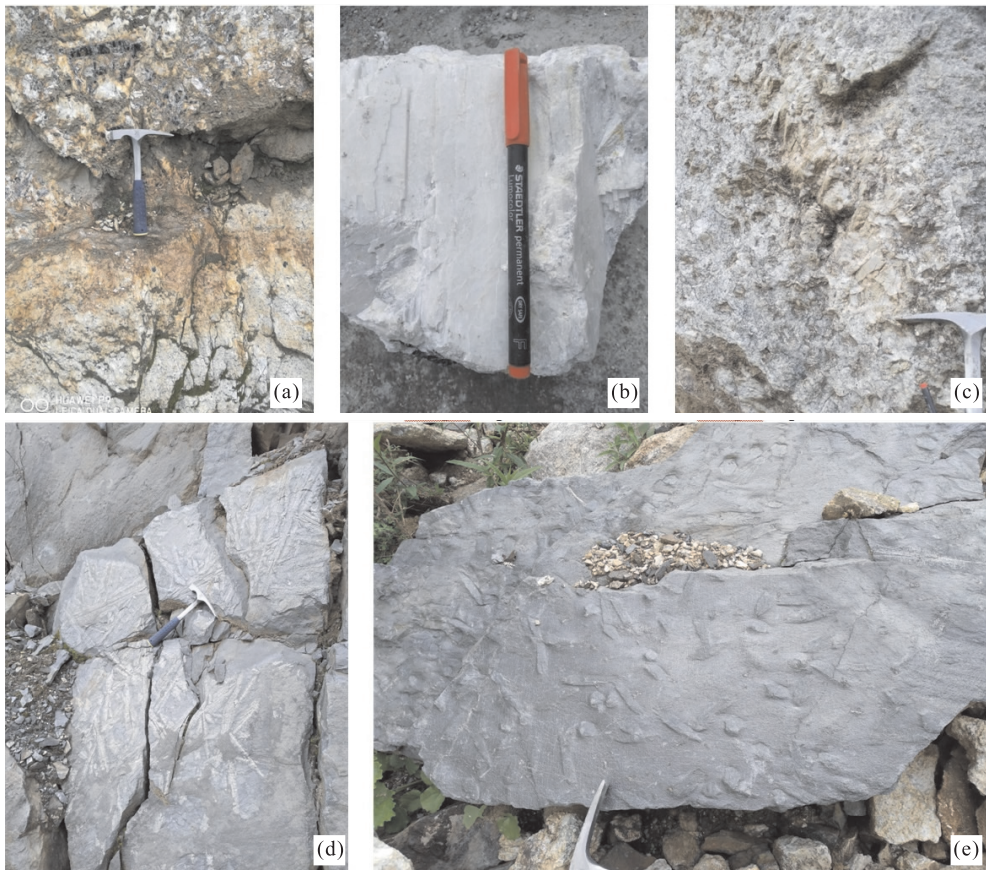


图 8 党坝矿区伟晶岩及其围岩产出特征

Fig.8 The occurrence characteristics of pegmatites and their wall rocks in Dangba area

a. 根则岩体附近的伟晶岩壳; b. 党坝 I 脉粗粒锂辉石晶体; c. 党坝 VI 脉蜂窝状锂辉石集合体; d. 党坝 VI 脉附近围岩中的红柱石集合体; e. 党坝 VI 脉附近围岩中的堇青石集合体

围内找矿潜力很大, 注重寻找锂辉石伟晶岩型和锂云母伟晶岩型矿床。

## 5 深部及外围找矿建议

党坝乡锂辉石矿位于可尔因花岗伟晶岩田东南密集区内, 1965 年曾由四川省地质局四〇四地质队进行普查, 提交了《四川省可尔因花岗伟晶岩田初步普查报告》, 估算在东南密集区内磨子沟矿段(现李家沟矿区)及集沐矿段有  $\text{Li}_2\text{O}$  的 D 级储量 113 425 t。2015 年, 党坝矿区通过补充详查及资源储量核实, 查明 VIII 号矿脉  $\text{Li}_2\text{O}$  资源总量达到 64.6 万 t, 是原可尔因花岗伟晶岩矿床东南部密集区 20 条脉查明资源总量的 6 倍, 由于探矿工程主要集中在 VIII 号矿脉上, 导致其地质找矿取得的突破性进展, 可为该矿区其他矿脉开展地质找矿及其工程部署提供参考与借鉴。

虽然党坝矿区已探明的资源储量达到了超大型规模, 但受各种因素的制约, 目前仅勘查了 VIII 号

矿脉的高尔达矿段, 其北西段及矿区喇叭庙矿段、地拉秋矿段的 XII、XIII、XIV、XV 等矿体尚未开展工程控制, 地质勘查工作程度低, 其远景资源量巨大, 需要今后进一步开展勘探工作, 以彻底查明矿区内的稀有金属资源储量, 进而为整体规划部署提供全面的依据。尤其是以 VI 矿脉为中心, 沿 NE 走向, 参考李家沟、集沐、I、II、III、IV、V 矿脉的空间分布规律, 注重寻找近 EW 走向的矿脉; 沿 SE 方向, 依据 VII、VIII 矿脉的空间分布规律, 注重寻找 NW 走向的矿脉(图 6)。

根据深部坑道和钻孔资料, 主矿脉 VIII 号伟晶岩受剥蚀程度低, 向深部厚度由逐渐变大再变小的趋势, 并向 SE 方向侧伏。地表出露高程介于 3 698 m(最北西端)至 4 159 m(矿体中部), 相对高差为 461 m, 深部工程最低控制标高为 3 462 m。从剖面看, VIII 号脉 SE 方向深部仍然具有很好的找矿前景(图 5), 尤其在 17 线和 7 线的深部揭露了锂云母伟晶岩型矿体, 可能预示其深部有隐伏矿体; 除寻找陡倾角的锂辉石伟



晶岩矿床,还特别注意寻找缓倾角的隐伏锂辉石伟晶岩矿床,在 zk1705 和 zk1704 钻孔揭露到许多缓倾角矿脉,其矿倾角变化介于  $10^{\circ}\sim 30^{\circ}$ 。

在区域找矿方面,可尔因二云母花岗岩体北西侧的倾角较陡,而南东侧倾角较缓,与之对应的是该岩体北西侧的变质相带的宽度较窄,而其南东侧的变质相带宽阔,显示该岩体向 SE 方向侧伏;预示北西侧的矿体已经剥蚀,而南东侧的矿体保存比较完整或存在隐伏矿体,这与细粒锂辉石矿点主要分布可尔因二云母花岗岩西北侧,而大型、超大型锂辉石矿床主要分布其南东是对应的。可尔因岩体周围显示 2 期变质相带的叠加现象,早期的变质相带主要围绕可尔因岩体分布,自岩体向外分别是辉石角岩相、角闪角岩相和钠长—绿帘角岩相;晚期变质相带主要出露在可尔因岩体的南东侧,自中心部位向外侧分别是低角闪岩相、高绿片岩相(红柱石带)和低绿片相(黑云母带)。由此推断:(1)可尔因岩体剥蚀程度较深,而晚期的岩体保存较为完整或隐伏,这与在党坝矿区 VI 矿脉附近和观音桥矿区发现了十字石和红柱石等蚀变矿物是一致;(2)早期岩浆岩的温度较高,其热变相最高为角闪角岩相——透辉石—角闪石带,甚至有少量的辉石角岩相——矽线石—辉石带,而晚期岩浆岩的温度较低,其热变质相最高为低角闪相——十字石—铝榴石带。党坝超大型锂辉石矿床的成矿年龄为 152 Ma(李建康等,2006),指示该地区今后的地质找矿重点应围绕晚期十字石—铝榴石带外部的红柱石带部署工作;同时,部署区域重磁地质调查工作,开展可尔因岩体西南侧黑云母带中隐伏岩体及矿体的成矿预测工作。

## 6 结论

(1)党坝 VIII 矿脉是由 2 期成矿作用复合、叠加改造形成的锂辉石+锂云母复合型伟晶岩矿床,同期形成的矿脉内部构造分带明显,自外向内分别是锂云母钠长石带、锂辉石钠长石带和白云母钠长石带。

(2)探讨了党坝矿床的成因类型及其空间分布规律,确定以 VI 脉为成岩成矿中心,NW 走向矿脉带向 SE 方向侧伏,NEE 走向矿脉带向 NE 方向侧伏,明确了在 VI 脉外围 2~5 km 范围内注重寻找锂辉石伟晶岩型、锂云母伟晶岩型及其二者混合型锂矿床。

致谢:首先感谢匿名审稿人提出了宝贵的建议,促使本人收集到大量的文献资料,对可尔因矿田及其川松潘—甘孜成矿带的成矿地质背景、成岩成矿

时代、岩浆岩的演化及成矿机制认识更深刻,理解更透彻,在此向审稿人表示衷心的感谢!

## References

- Černý, P., 1991a. Fertile Granites of Precambrian Rare-Element Pegmatite Fields: Is Geochemistry Controlled by Tectonic Setting or Source Lithologies? *Precambrian Research*, 51(1-4): 429-468. [https://doi.org/10.1016/0301-9268\(91\)90111-m](https://doi.org/10.1016/0301-9268(91)90111-m)
- Černý, P., 1991b. Rare-Element Granite Pegmatites: Part II. Regional to Global Environments and Petrogenesis. *Geoscience Canada*, 18(2): 68-81.
- Chen, Y. C., Ye, Q. T., Wang, J. B., et al., 2003. Geology, Metallogenic Regularity and Technical and Economic Evaluation of Ore Deposits in Altai Metallogenic Belt, Xinjiang, China. Geological Press, Beijing, 453 (in Chinese).
- Fei, G. C., Yuan, T. J., Tang, W. C., et al., 2014. Simple Division on Pegmatite-Type Rare Metal Deposits Ore-Bearing Pegmatites in Keeryin, Sichuan. *Mineral Deposits*, 33(Suppl.): 187-188 (in Chinese).
- Gu, C. H., 2014. Metallogenic Regularity of Spodumene Deposits in the Closely Spaced Pegmatite Area in the Southeastern Keeryin Pegmatite Field, Sichuan Province. *Contributions to Geology and Mineral Resources Research*, 29(1): 59-65 (in Chinese with English abstract).
- Guo, C. L., Chen, Y. C., Li, C. B., et al., 2011. Zircon SHRIMP U-Pb Dating, Geochemistry, Sr-Nd Isotopic Analysis of the Late Jurassic Granitoids in the Jiulongnao W-Sn-Pb-Zn Ore-Concentrated Areas in Jiangxi Province and Their Geological Significance. *Acta Geologica Sinica*, 85(7): 1188-1205 (in Chinese with English abstract).
- Hao, X. F., Fu, X. F., Liang, B., et al., 2015. Formation Ages of Granite and XO<sub>3</sub> Pegmatite Vein in Jiajika, Western Sichuan, and Their Geological Significance. *Mineral Deposits*, 34(6): 1199-1208 (in Chinese with English abstract).
- Li, J. K., Wang, D. H., 2007. Mineralizing Mechanism and Continental Geodynamics of Typical Pegmatite Deposits in Western Sichuan, China. Atomic Energy Press, Beijing, 1-20 (in Chinese).
- Li, J. K., Wang, D. H., Fu, X. F., 2006. <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar Ages of the Keeryin Pegmatite Type Rare Metal Deposit, Western Sichuan, and Its Tectonic Significances. *Acta Geologica Sinica*, 80(6): 843-848 (in Chinese with English abstract).
- Liao, Y. A., Yao, X. L., 1992. Evolution Feature and Mineralogical Relations Peraluminous Granites from Jinchuan, Western Sichuan. *Mineralogy and Petrology*, 12(1): 12-22 (in Chinese with English abstract).
- Luo, D., 2017. Spodumene Ore Deposit Geological Character-

- istics Analysis in Dangba, Barkam, Sichuan Province. *Sichuan Nonferrous Metals*, (1): 24—27 (in Chinese with English abstract).
- Pang, B., Gu, C. H., Li, L. B., et al., 2015. Geological Characteristics and Genesis of the Spodumene Deposit in Dangba, Barkam, Sichuan Province. *Sichuan Nonferrous Metals*, (4): 31—34 (in Chinese with English abstract).
- Pang, B., Luo, W., Li, J., 2014. Geological Features of Dangba Spodumene Deposit, in Maerkang, Sichuan. *Mineral Deposits*, 33(Suppl.): 245—246 (in Chinese).
- Rao, K. Y., 2016. The Geological Characteristics and Ore Exploration Targeting of Dilaqiu Lithium Deposit in Maerkang County, Sichuan Province. *Sichuan Nonferrous Metals*, (1): 54—57 (in Chinese with English abstract).
- Shi, Z. L., Zhang, H. F., Cai, H. M., 2009. Petrogenesis of Strongly Peraluminous Granites in Markan Area, Songpan Fold Belt and Its Tectonic Implication. *Earth Science*, 34(4): 569—584 (in Chinese with English abstract).
- Sichuan Bureau of Geology and Mineral Resources, Maerkang Jinxin Mining Ltd., 2015. General Exploration and Resource Reserve Verification Report on Lithium Ores in Dangba Minging, Maerkang County, Sichuan. Sichuan Bureau of Geology and Mineral Resources, Chengdu (in Chinese).
- Tang, G. F., Wu, S. X., 1984. Geological Study on Jiajika Granitic Pegmatite Lithium Deposits in Kangding County, Sichuan. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Wang, D. H., Li, J., K., Fu, X. F., 2005.  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  Dating for the Jiajika Pegmatite-Type Rare Metal Deposit in Western Sichuan and Its Significance. *Geochimica*, 34(6): 541—547 (in Chinese with English abstract).
- Wang, D. H., Liu, L. J., Hou, J. L., et al., 2017. A Preliminary Review of the Application of “Five Levels+Basement” Model for Jiajika-Style Rare Metal Deposits. *Earth Science Frontiers*, 24(5): 1—7 (in Chinese with English abstract).
- Wang, L. K., Huang, Z. L., 2002. Liquid Separation and Experiment of Li-F Granite. Science Press, Beijing, 280 (in Chinese).
- Zhao, Y. J., 2007. Mesozic Granitoids in Eastern Songpan-Ganze: Geochemistry, Petrogenesis and Tectonic Implications (Dissertation). Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Guangzhou (in Chinese).
- 床地质、成矿规律与技术经济评价.北京:地质出版社, 453.
- 费光春,袁天晶,唐文春,等,2014.西川西可尔因伟晶岩型稀有金属矿床含矿伟晶岩分类浅析.矿床地质,33(增刊):187—188.
- 古城会,2014.四川省可尔因伟晶岩田东南密集区锂辉石矿床成矿规律.地质找矿论丛,29(1):59—65.
- 郭春丽,陈毓川,黎传标,等,2011.赣南晚侏罗世九龙脑钨锡铅锌矿集区不同成矿类型花岗岩年龄、地球化学特征对比及其地质意义.地质学报,85(7):1188—1205.
- 郝雪峰,付小方,梁斌,等,2015.川西甲基卡花岗岩和新三号矿脉的形成时代及意义.矿床地质,34(6):1199—1208.
- 李建康,王登红,2007.川西伟晶岩型矿床的形成机制及大陆动力学背景.北京:原子能出版社,1—20.
- 李建康,王登红,付小方,2006.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.地质学报,80(6):843—848.
- 廖远安,姚学良,1992.金川一过铝多阶段花岗岩体演化特征及其与成矿关系.矿物岩石,12(1):12—22.
- 罗典,2017.四川省马尔康党坝锂辉石矿床地质特征分析.四川有色金属,(1):24—27.
- 庞博,古城会,李良波,等,2015.四川省马尔康党坝锂辉石矿床地质特征及成因研究.四川有色金属,(4):31—34.
- 庞博,罗伟,李剑,2014.四川省马尔康党坝锂辉石矿床地质特征.矿床地质,33(增刊):245—246.
- 饶魁元,2016.四川马尔康地拉秋锂矿床地质特征及找矿方向.四川有色金属,(1):54—57.
- 时章亮,张宏飞,蔡宏明,2009.松潘造山带马尔康强过铝质花岗岩的成因及其构造意义.地球科学,34(4):569—584.
- 四川省地质矿产勘查开发局化探队,马尔康金鑫矿业有限公司,2015.四川省马尔康县党坝矿区锂矿补充详查及资源储量核实报告.成都:四川省地质矿产勘查局.
- 唐国凡,吴盛先,1984.四川省康定县甲基卡花岗伟晶岩锂矿床地质研究报告.北京,地质出版社.
- 王登红,李建康,付小方,2005.四川甲基卡伟晶岩型稀有金属矿床的成矿时代及其意义.地球化学,34(6):541—547.
- 王登红,刘丽君,侯江龙,等,2017.初论甲基卡式稀有金属矿床“五层楼+地下室”勘查模型.地学前缘,24(5):1—7.
- 王联魁,黄智龙,2000.Li-F花岗岩液态分离与实验.北京:科学出版社,280.
- 赵永久,2007.松潘—甘孜东部中生代中酸性侵入体的地球化学特征、岩石成因及构造意义(博士学位论文).广州:中国科学院研究生院.

#### 附中文参考文献

陈毓川,叶庆同,王京彬,等,2003.中国新疆阿尔泰成矿带矿