

川西可尔因矿集区稀有金属矿床成矿规律与 找矿方向*

岳相元¹, 张 贻¹, 周 雄¹, 龚大兴¹, 谭洪旗¹, 周 玉¹, 朱志敏¹

(1 中国地质科学院矿产综合利用研究所, 四川 成都 610059)

摘 要 为了解可尔因矿集区地质特征和成矿规律, 查明矿集区地质找矿方向, 对矿集区内成矿地质条件进行了系统分析和总结。研究表明稀有金属成矿主要与印支晚期—燕山早期的中-酸性花岗岩有关, 岩浆侵位与成矿伟晶岩脉之间具有结晶分异演化关系。含矿岩浆不均一的结晶分异作用, 导致了稀有金属矿化多分布在可尔因岩体东部和南部。在过铝质高挥发分的钙碱性-高钾钙碱性岩浆侵位和结晶分异演化过程中, 在岩体与地层的接触带构造发育地段, 形成了伟晶岩型稀有金属矿体, 具有“岩浆岩-地层-构造”控制成矿的特征。据此提出了矿集区内的找矿标志和岩体与地层接触部位为今后找矿重点区域。

关键词 地质学; 成矿规律; 伟晶岩型矿床; 找矿标志; 可尔因矿集区

中图分类号: P618.6

文献标志码: A

Metallogenic regularity and prospecting direction of rare metal deposits in Keeryin ore concentration area, western Sichuan

YUE XiangYuan¹, ZHANG Yi¹, ZHOU Xiong¹, GONG DaXing¹, TAN HongQi¹, ZHOU Yu¹ and ZHU ZhiMin

(1 Institute of Multipurpose Utilization of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Chengdu 610059, Sichuan, China)

Abstract

In order to understand the geological characteristics and metallogenic regularity of the Keeryin ore deposit, the authors determined the geological prospecting direction of the ore concentrating area, and systematically analyzed and summarized the metallogenic geological conditions. It is believed that the rare metal mineralization mainly occurred in the late Indosinian-Yanshanian period. The relationship between magmatic emplacement and mineralized pegmatite dykes is characterized by crystal differentiation and evolution. The inhomogeneous crystallization differentiation of ore-bearing magma resulted in the distribution of rare metal mineralization in the eastern and southern Koln intrusion. In the process of emplacement and crystallization differentiation of calc-alkaline-high potassium calc-alkaline magma with high volatility, a pegmatite-type rare metal orebody was formed in the contact zone between the rock mass and the strata. It has the characteristics of “magmatic rock-stratigraphy-structure” to control mineralization. Based on the above research, the authors put forward the ore-prospecting indicators and pointed out that the contact zone between rock mass and strata is the key ore-prospecting area in the future.

Key words: geology, metallogenesis, pegmatite deposit, prospecting indicator, Keeryin ore concentration area

* 本文得到四川九龙-可尔因大型锂资源基地综合调查评价项目(编号:DD20190185)资助

第一作者简介 岳相元,男,1985年生,硕士,工程师,主要从事岩石学、矿床学、地球化学研究工作。Email:yxyzs@126.com

收稿日期 2019-06-20;改回日期 2019-06-22。赵海杰编辑。

可尔因矿集区位于松潘-甘孜造山带北东部的玛多-金川北东陆缘复理石褶皱带内,西南侧为甘孜-理塘结合带,北侧为阿尼玛卿结合带(时章亮等,2009;张云湘等,1988)。研究区在中新元古代经历了基底的形成、大陆边缘的沉积增生以及晚二叠世以后的特提斯洋的裂解、闭合、碰撞、抬升等演化过程,具有复杂多变的构造演化特点(黄汲清等,1977)。20世纪70年代末,随着板块构造学说的兴起,进一步活跃了大地构造研究的学术思想,不少学者提出了不同的划分和认识。许志琴等(1992)提出研究区划归为“松潘-甘孜造山带”。潘桂棠等(2009)将研究区归于巴颜喀拉晚古生代一中三叠世弧后盆地。研究区内的造山带经历了自显生宙以来南、北大板块边缘一系列大小微陆块的多次裂解,多岛弧盆地的复杂演化,经历了洋陆转换重新缝合拼贴在一起的过程。

可尔因矿集区位于特提斯成矿域的东段,北东面相邻秦-祁-昆成矿域,属于北巴颜喀拉-马尔康Au-Ni-Pt-Fe-Mn-Pb-Zn-Li-Be-云母成矿带的金川-丹巴Li-Be-Cu-Pt-Ni-Pb-Zn-白云母成矿亚带中金川-可尔因锂成矿区(陈毓川,1994;王子平等,2018)。同时,该区亦属于由东西向南秦岭构造带南缘和以松潘-甘孜造山带北缘所围限的三角形地带,素有“金三角”之美称,成矿条件良好。是中国著名的有色金属、稀有金属等重要矿产成矿带,具有大型、超大型矿床产出的地质条件。

20世纪60年代,前人在丹巴、金川县观音桥等锂矿区进行了普查工作,初步查明研究区出露印支期燕山晚期中酸性岩体,面积达200 km²,花岗伟晶岩脉1000余条,分布于岩体周围,这些伟晶岩脉中仅10%~15%为锂辉石矿体,并先后发现了马尔康县集沐锂辉石矿床(中型)、金川县观音桥锂辉石矿床(中型)、金川县李家沟锂辉石矿床(特大型)、马尔康县党坝锂辉石矿床(大型)、金川县业隆沟锂辉石矿床(中型)(古城会,2014)(图1)。2016~2019年由自然资源部中国地调局部署开展的“川西稀有金属矿集区综合地质调查”、“四川九龙-可尔因大型锂资源基地综合调查评价”项目在马尔康可尔因地区外围稀有金属矿找矿获得重大突破,新发现多处极具前景的找矿线索(岳相等,2018)。可尔因矿集区内已经勘查评价了4处大型锂多金属矿床,确定它是印支末期—燕山早期北巴颜喀拉-马尔康成矿带的典型成矿事件(徐志刚等,2008)。

1 地质背景

可尔因矿集区地层主要为一套巨厚的三叠系西康群复理石建造(图1),岩性主要以岩屑砂岩、变质砂岩、云母类板岩类为主,靠近岩体则变质为角岩类和片岩类。矿集区内岩体和围岩地层的接触变质带内发育有含矿伟晶岩脉,矿石类型为块状的锂辉石钠长石花岗伟晶岩、锂云母钠长石花岗岩伟晶岩等。

研究区岩浆活动受造山带的制约,在特定的大地构造环境中,形成了一套时空上紧密共生、成因上相互联系的、并具有一致的岩石化学、地球化学特征的一种或几种侵入岩组合(图1)。由于特殊的构造部位,使该区既处于构造活动强烈的大背景之中,又因为其位于造山带主体中央且相对平静,这一环境为伟晶岩的形成提供了有利的条件。

2 矿床地质特征

矿集区属于四川省阿坝州金川县和马尔康县行政管辖,已经完成勘查的矿床:李家沟锂辉石矿床、党坝锂辉石矿床。分述如下(表1):

2.1 李家沟矿床

矿床出露在可尔因岩体的东南部岩体与地层的接触带内,出露地层为三叠系侏倭组,岩石类型为变质角岩类、片岩类;区域上位于地拉秋复式背斜南西翼的中心位置,地层倾向南,走向为东西向,倾角约25°~40°;矿床内并无岩浆岩出露,但出露较多的花岗伟晶岩脉、细晶岩脉、少量石英脉。

矿区的矿体形态简单,和伟晶岩脉基本一致、含锂辉石花岗伟晶岩脉基本上全脉锂矿化,以脉状为主,似层状次之,伟晶岩脉、矿体产状相同。矿体长50~400 m,最长可达2060 m,厚15~30 m,最厚可达124.15 m。目前,通过勘查区内新发现矿体15个,赋存于伟晶岩脉中(图2),其中I号为主矿体。I号矿体出露于矿区中部,呈东西向,长约2060 m,矿体倾向330°;倾角在局部有变化,矿体厚15~30 m,最厚可达124.15 m,平均27.65 m。矿石结构主要为微晶结构及细晶结构,少量粗晶结构(图3a),极少量交代结构和压碎结构。矿石构造为块状构造(图3b),次为条带状构造。

矿石矿物:锂辉石(5%~30%)、锂云母、含铷微斜长石,少量绿柱石、铌钽铁矿少量。脉石矿物为石

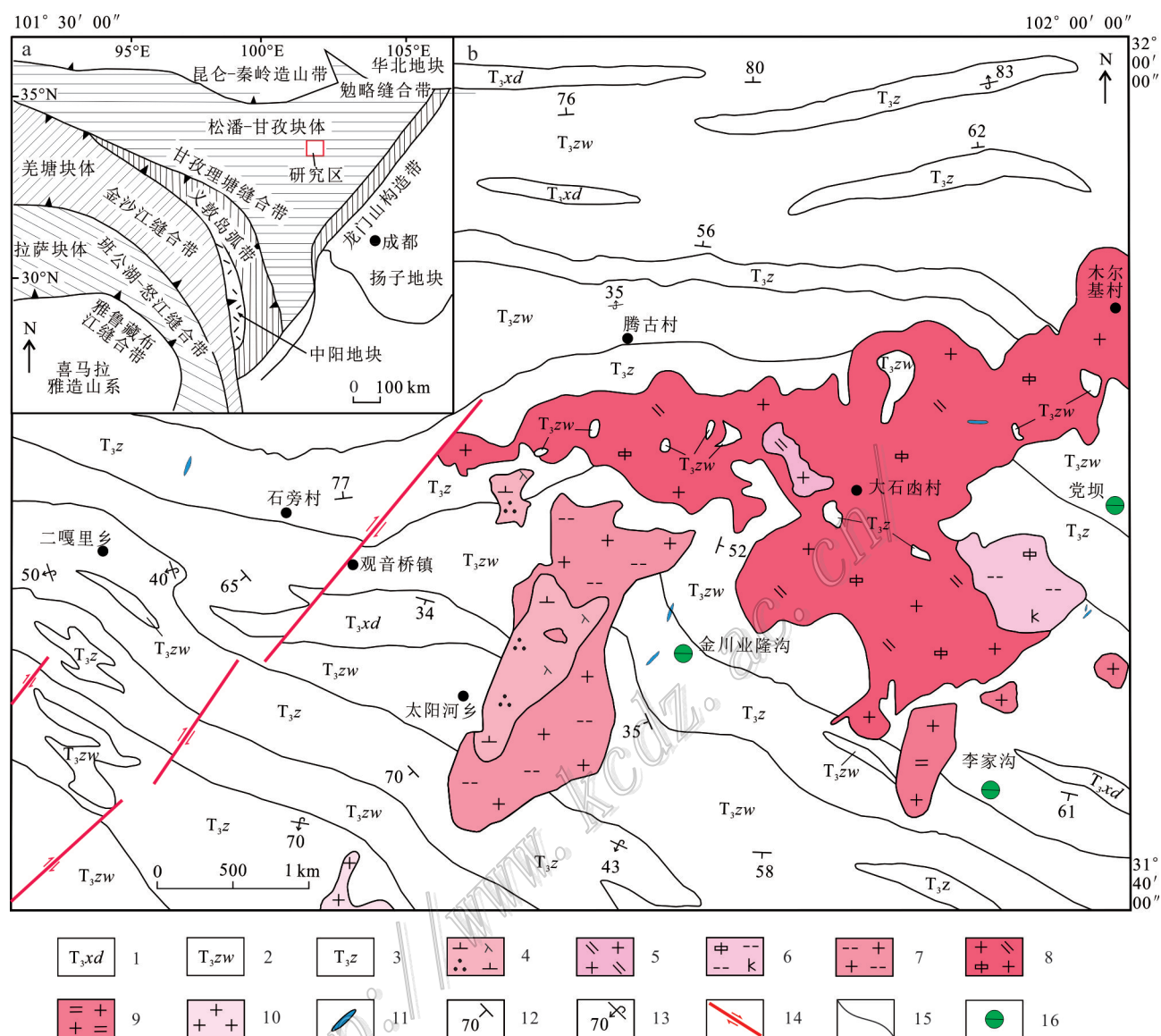


图1 可尔因矿集区构造位置图(a)和地质矿产简图(b)

1—上三叠统新都桥组;2—上三叠统休倭组;3—上三叠统杂谷脑组;4—黑云母石英闪长岩;5—黑云母二长花岗岩;6—斑状黑云母钾长花岗岩;7—黑云母花岗岩;8—二云母二长花岗岩;9—白云母花岗岩;10—二长花岗岩;11—花岗伟晶岩脉;
12—地层产状及编号;13—倒转地层产状及编号;14—实测平移断层;15—地质界线;16—矿床位置

Fig.1 Tectonic location(a) and geological and mineral resources map(b) of the Keeryin ore concentration area

1—Upper Triassic Xinduqiao Formation;2—Upper Triassic Zhuwo Formation;3—Upper Triassic Zagunao Formation;4—Biotite quartz diorite;
5—Biotite monzonite granite;6—Porphyritic biotite potash granite;7—Biotite granite;8—Biotite and muscovite monzonite granite;9—Muscovite granite;10—Monzonitic granite;11—Granite pegmatite dyke;12—Deposit location;13—Attitude and serial number of strata;
14—Attitude and serial number of inverted strata;15—Measured slip fault;16—Geological boundary

英、微斜长石、钠长石。副矿物和热液蚀变交代矿物,主要有锡石、锆石、锂透长石、锂电石、磁铁矿;矿石有用成分为 Li_2O 。矿床规模已达到超大型。

2.2 党坝锂辉石矿床

矿床位于可尔因复式岩体与地层的接触带内,

距离李家沟矿床约10 km,因此本矿床的地质背景、矿床地质特征等可以与李家沟矿床对比(图4)。

区内已经发现15条锂辉石矿体,均赋存在伟晶岩脉中,其中,Ⅷ号矿体为本区主含矿体。矿体呈北西-南东向展布,出露长度3340 m,走向 $134^\circ\sim 314^\circ$,

表1 可尔因矿集区锂矿床共性特征简表

Table 1 A brief table of the common characteristics of lithium deposits in the Keeryin ore

成矿特征		描述内容
成矿地质背景	矿床类型	与印支期岩浆岩有关的花岗伟晶岩型锂矿床
	岩浆岩类型	后碰撞型强过铝花岗岩(二云母花岗岩)及花岗伟晶岩脉
	岩石结构、构造	细粒、中粒结构、块状构造(主),流线构造
	成岩时代	印支期
	成矿环境	陆内汇聚、挤压、碰撞造山带环境
矿体产出特征	构造背景	松潘-甘孜造山带,马尔康被动陆缘中央褶皱-推复带。可尔因-日隆关复式短轴背斜倾没端,层间裂隙及节理裂隙发育
	矿体产出特征	围绕“母岩”内外接触带成群成带分布,矿体呈脉状(主)、透镜状(次),分枝脉状、板状、团块状;矿体一般长数十至数百米,不同脉群(矿床)矿脉倾向、倾角不同
矿床地质特征	矿物组合	由微斜长石、钠长石、石英、白云母和锂辉石、绿柱石、铌钽铁矿、锂云母、锡石及副矿物磷灰石、石榴子石、电气石、钛铁矿等三四十种矿物组成。
	矿石结构构造	中细粒结构(主),粗晶结构。自形结构、交代残余结构。带状构造、块状构造、斑杂状构造等。
	控矿条件	① 松潘-甘孜造山带,可尔因-日隆关复式背斜倾没端;② 二云母花岗岩,印支期。S型;③ 三叠系西康群复理石建造岩;④ 围绕岩体的透辉石、角闪石、十字石、红柱石、石榴子石、黑云母蚀变带;⑤ 层间剥离构造及节理裂隙构造
	成矿时代	152 Ma(燕山早期)
资源量(Li ₂ O)		李家沟:51.21万吨;党坝:22.94万吨

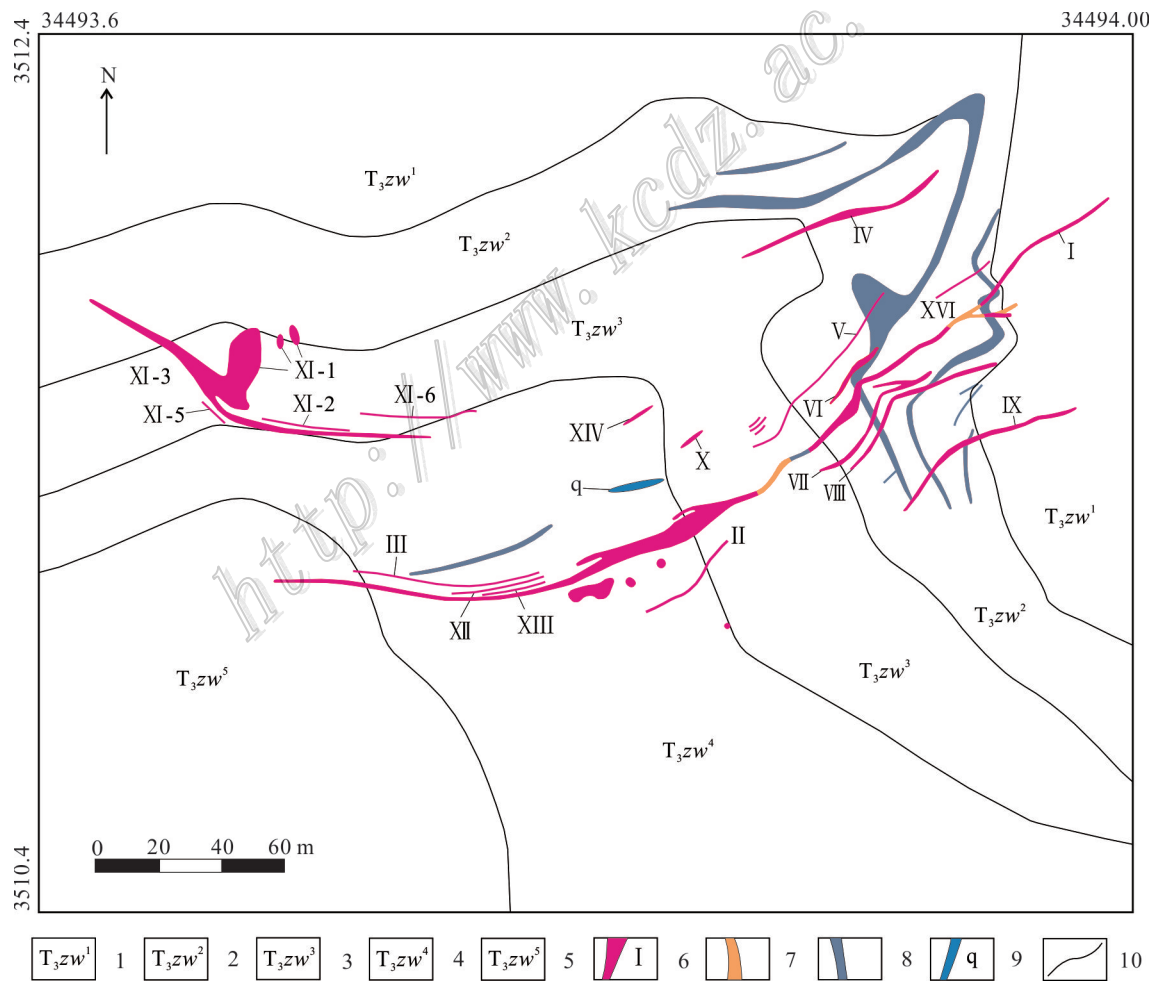


图2 李家沟锂辉石矿矿区地质简图(底图据四川省地质矿产勘查开发局化探队,2012,修编)
1—三叠系侏倭组一段;2—三叠系侏倭组二段;3—三叠系侏倭组三段;4—三叠系侏倭组四段;5—三叠系侏倭组五段;6—矿体及编号;
7—花岗伟晶岩脉;8—花岗细晶岩脉;9—石英脉;10—地质界线

Fig. 2 Geological sketch map of the Lijiagou ore deposit ((modified after Geochemistry Exploration Party of Sichuan Bureau of Exploration and Development of Geology and Minerals Resources, 2012)

1—1st part of Triassic Zhuwu Formation; 2—2nd part of Triassic Zhuwu Formation; 3—3rd part of Triassic Zhuwu Formation; 4—4th part of Triassic Zhuwu Formation; 5—5th part of Triassic Zhuwu Formation; 6—Orebody and its serial number; 7—Granite pegmatite dyke; 8—Granite fine-grained dike; 9—Quartz vein; 10—Geological boundary

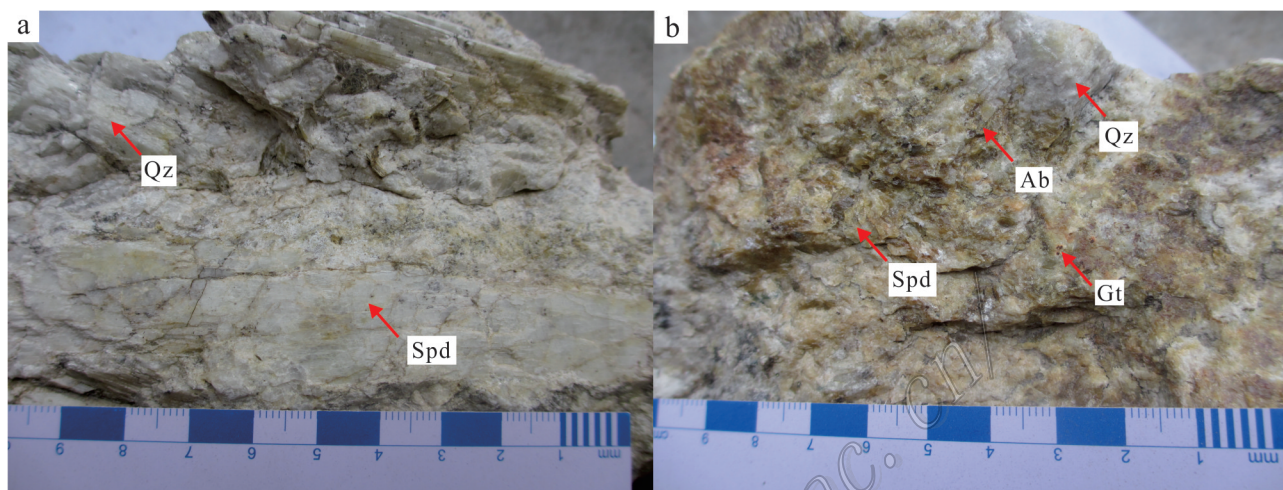


图3 李家沟矿区锂辉石矿石标本特征

a. 伟晶结构的锂辉石与长石、石英共生;b. 细晶结构的锂辉石、长石、石英、云母、石榴子石等矿物组成的块状构造的伟晶岩
Spd—锂辉石;Qtz—石英;Ab—钠长石;Gt—石榴子石

Fig. 3 Specimen characteristics of the Lijiagou ore deposit

a. Pegmatitic pyroxene associated with feldspar and quartz; b. Fine-grained pegmatite massive structure composed of minerals such as pyroxene, feldspar, quartz and mica

Spd—Spodumene; Qtz—Quartz; Ab—Sodium feldspar; Gt—Garnet

倾向 44°, 局部略有变化。矿体长为 7~35 m, 最薄 1.14 m, 厚达 66.84 m、平均 27.59 m, 变化稳定。

矿石结构: 细粒结构, 少量中粒和粗粒结构, 次为交代结构、熔蚀结构。矿石构造为块状构造, 次为斑杂状、浸染状。矿石矿物: 锂辉石, 锂云母, 少量绿柱石, 铌钽铁矿等。脉石矿物主要为石英 (10%~25%)、微斜长石、钠长石次之。矿床远景规模可达超大型。

3 成矿规律

3.1 矿床在空间上的分布规律特征

研究区内发现各类稀有金属矿床 (点) 16 处, 其中, 中-大型矿床 4 处。主要矿种是以锂为主的稀有多金属矿。区内的矿床、矿点具有集中成带分布的特点, 主要分布在金川-可尔因一带的观音桥幅、白湾乡幅、加达村幅、木尔宗乡幅区内, 矿化范围长 70

km, 宽 20 km, 呈东西向展布。地层与构造总体走向一致。从以上矿床 (矿点) 分布来看, 稀有金属矿化主要是围绕可尔因岩体分布, 其中可尔因岩体东部和南部成矿条件最为有利, 已发现多处中-大型矿床 (古城会, 2014)。

3.2 成矿时间演化特征

可尔因矿集区位于松潘-甘孜造山带的主体东缘, 区内地层主要发育一套巨厚的三叠纪复理石建造。区内岩浆活动始于印支期, 一直持续到燕山期, 岩性主要为黑云母花岗岩、白云母花岗岩等一系列与俯冲-碰撞作用密切相关的岛弧型钙碱性花岗岩类-富钾钙碱性花岗岩类-含白云母过铝质花岗岩类组合。通过对本区与邻区的岩浆岩锆石 U-Pb 定年分析, 大多数锆石 U-Pb 年龄集中在 192~205 Ma (岳相元等, 2018; 时章亮等, 2009)。对区内对可尔因地区根则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进行了 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 定年研究,

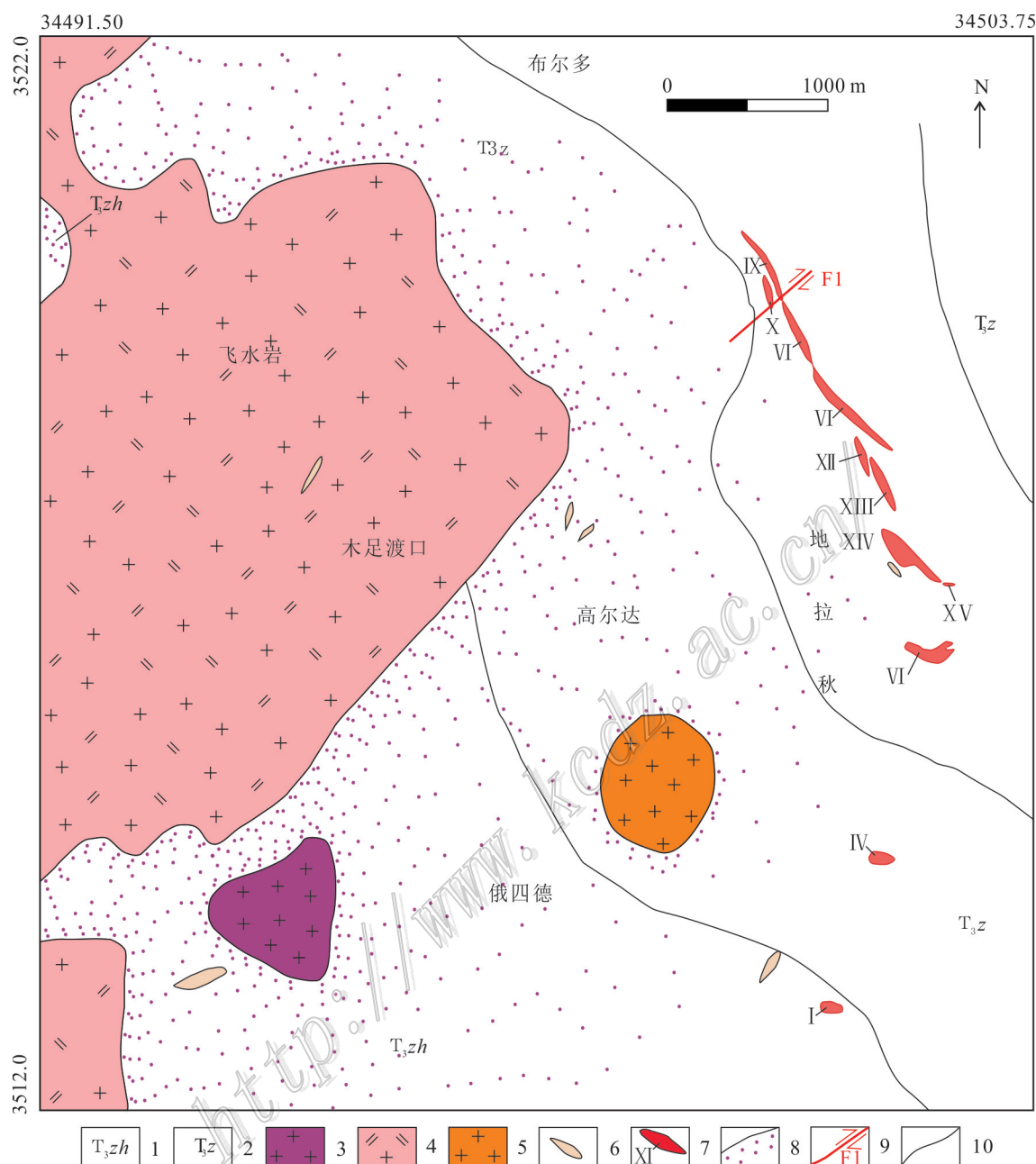


图4 党坝锂辉石矿矿区地质图(据四川省地质矿产勘查开发局化探队,2015,修编)

1—上三叠统侏倭组;2—上三叠统杂谷脑组;3—二云母花岗岩;4—二长花岗岩;5—花岗岩;6—花岗伟晶岩脉;7—矿体及编号;
8—角岩化带;9—地层产状及编号;10—平移断层及编号;11—地质界线

Fig. 4 Geological sketch map of the Dangba ore deposit (modified after Geochemical Exploration Party of Sichuan Bureau of Exploration and Development of Geology and Minerals Resources, 2013)

1—Upper Triassic Zhuwo Formation; 2—Upper Triassic Zagunao Formation; 3—Biotite and muscovite granite; 4—Monzonitic granite;
5—Granite; 6—Granite pegmatite dyke; 7—Orebody and its serial number; 8—Angle of lithification belt; 9—Attitude and serial
number of strata; 10—Measured slip fault; 11—Geological boundary

其白云母 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 坪年龄分别为 $(176.25 \pm 0.14)\text{Ma}$ 和 $(152.43 \pm 0.6)\text{Ma}$ (李建康等,2006)。成矿时代为中生代印支晚期—燕山早期成矿期。

3.3 控矿地质因素分析

研究区域综合找矿信息所反映的主要矿种为稀有金属锂、铍、铌钽等,主要赋存于锂辉石、绿柱

石、锂云母、铌铁矿、钽铁矿中。上述矿产均发育在印支末期—燕山早期酸性岩浆岩后期的伟晶岩脉中(李建康等,2017)。现就稀有金属矿产的控矿条件叙述如下:

3.3.1 沉积建造对伟晶岩型锂矿床形成的作用分析

区内沉积建造为三叠系西康群浊流沉积岩。岩性为变质砂岩类、板岩类,靠近岩体变质程度加深,变质为角岩类、片岩类。可尔因锂辉石矿床主要的成矿元素为Li、Rb、Nb、Ta、Be、Sn等,富含B、F等挥发分元素,与松潘甘孜造山带的甲基卡、扎乌龙等矿床相似,属于LCT型伟晶岩型矿床(李兴杰等,2018)。成矿物质来源为西康群变质泥岩的部分熔融,这可能是由于泥岩在沉积过程中,泥质岩的主要成分黏土类矿物更容易吸附锂(王登红等,2017),而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。与稀有金属成矿有关的变泥质岩的熔融作用一般是在造山过程中,稀有金属元素在多期次的岩浆活动中逐渐富集成矿。与成矿关系密切的可尔因S型花岗岩为西康群沉积岩部分熔融的产物(时章亮等,2009)。在岩浆演化后期以及伟晶岩脉侵位后期,沉积建造对矿床的形成又起到了圈闭和保存的作用。

3.3.2 岩浆岩建造对伟晶岩型锂矿床形成的作用分析

可尔因地区花岗伟晶岩型锂矿床的形成与可尔因复式岩体存在密切的成因联系。岩浆为锂的预富集和运移提供了物质和能量。一般认为二云母二长花岗岩为锂辉石花岗伟晶岩的母岩。但是需要特别注意的是野外地质调查表明,可尔因岩体内部的花岗伟晶岩脉为微斜长石花岗伟晶岩脉,不含锂辉石。在太阳河黑云母花岗岩岩体内发现有含锂辉石的伟晶岩脉,这可能是黑云母花岗岩不同演化阶段的产物。

伟晶岩浆是否能继承性也对伟晶岩的成矿有直接联系。因为伟晶岩是花岗岩分异作用后期的产物,和其花岗岩(母岩)有着继承性。由于本区伟晶岩和花岗岩有相似的化学成分以及地球化学背景,所以花岗岩直接影响着伟晶岩熔体-溶液的原始化学成分,这是控制伟晶岩矿化的主导因素。空间上,伟晶岩距离花岗岩(母岩)的远近直接导致伟晶岩矿化群的多少;时间上,花岗岩(母岩)结晶后的10~50

Ma平静期是伟晶岩岩脉集中产出的阶段(李建康等,2014),而伟晶岩演化和花岗岩(母岩)的成矿物质供应又导致伟晶岩矿化的好和差。因此,伟晶岩浆是否具有继承性是控制伟晶岩矿化程度和规模的重要因素。

3.3.3 变质岩建造对伟晶岩型锂矿床形成的作用分析

在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一系列的热接触变质岩,岩性为角岩和片岩。角岩有透辉石角岩、黑云母角岩、黑云长英质角岩、阳起石角岩、堇青石角岩,片岩主要包括黑云母片岩、二云母片岩、堇青石片岩。依据典型变质矿物组合特征,由岩体相外,依次可分为十字石+石榴子石带→红柱石+堇青石带→黑云母带。从已发现的矿床来看,矿床主要产于可尔因岩体外接触带的十字石+石榴子石带内,在十字石+石榴子石带与红柱石+堇青石带的接触部位附近也可见少量锂矿床分布,黑云母带内未见锂辉石花岗伟晶岩。

3.3.4 构造对伟晶岩型锂矿床形成的作用分析

可尔因穹窿的形成成为富锂含矿熔体的侵位提供了通道。伴随着穹窿的形成,大量花岗伟晶岩脉在岩体内部和周围变质岩中出露(许志琴等,2018)。含锂矿化脉体呈网状产在围岩中,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,工作区含矿伟晶岩浆主要沿节理裂隙贯入。例如,党坝锂矿区的Ⅷ号主矿体在倾向上呈陡缓相间出现的情况,这可能是X节理在某些方向发育,进而贯通,富锂含矿熔体沿这种方向的节理贯入,形成了锂矿体。此外,伟晶岩脉的含矿性还与构造裂隙的交叉和相对封闭有关,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 区域成矿模式

可尔因式锂矿分布在川西甘孜藏族自治州和阿坝藏族自治州两州,从北到南断续分布几百公里。大地构造位置属于松潘-甘孜造山带的巴颜喀拉地块,其西为西南三江弧盆系,东北接秦祁昆仑造山带。在印支晚期—燕山早期岩浆活动强烈,形成了不同类型、不同环境的岩石组合。主要有限扩张背景下形成的超基性-基性岩组合、俯冲消减过程中形

成的火山弧花岗岩组合及碰撞造山环境形成的同碰撞花岗岩组合。不同的岩石组合由于其形成环境的差异,具有不同的成矿专属性。对已发现的甲基卡大型稀有金属矿床的研究表明,岩浆作用与成矿作用关系密切(王登红等,2004;候江龙等,2018)。

在印支晚期—燕山早期,随着地槽的回返,同碰撞花岗岩(S型花岗岩)岩浆伴随大量富含稀有金属元素的酸性岩浆在雅江-甲基卡以及金川-可尔因一带侵入。金川-理县岩浆带内分布的同碰撞花岗岩多为重熔型花岗岩,多呈岩株或岩基产出,岩石类型主要有花岗闪长岩、二长花岗岩、二长岩和正长岩,岩石具有高硅、铝、钾的特点,成矿元素丰度与同类岩石的克拉克值相近,接触变质带普遍较宽且花岗岩中普遍发育有伟晶岩,成矿条件较好,是导致区内发现有较多稀有金属矿床的根本原因。值得一提的

是可尔因岩体中的微量元素Li、Sn、Be、W等普遍较高,可能为区内有价值矿产的形成提供了矿源,特别是岩浆期后热液活动,为有用元素的迁移聚集创造了条件,随着造岩矿物的大量结晶分离,在岩浆房的顶部局部富集富含挥发分、稀有金属的熔体-流体流。当该类型的熔体-流体流脉动侵入岩体周缘的地层中,在良好的圈闭条件下,形成了以锂为主的稀有金属矿床(图5)。

5 找矿方向与找矿标志

笔者通过对研究区内3年的地质调查工作总结,该区是寻找稀有金属多金属矿床的重要远景区(已发现李家沟、党坝、业隆沟、斯则木足等大型矿床),具有较好的找矿潜力。

笔者根据找矿经验,对花岗伟晶岩型锂矿床总

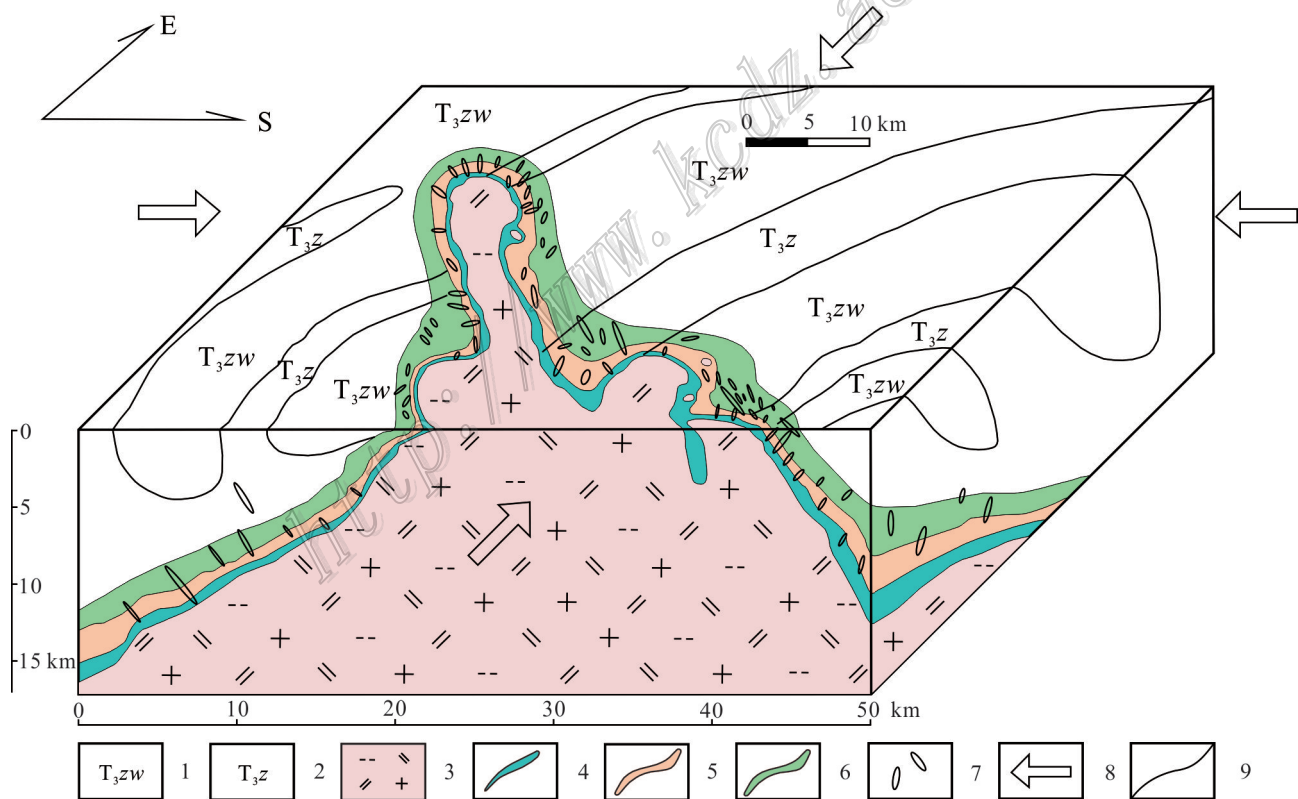


图5 可尔因矿集区稀有金属区域成矿模式图

1—上三叠统侏倭组;2—上三叠统杂谷脑组;3—黑云母二长花岗岩;4—微斜长石伟晶岩带;5—钠长石伟晶岩带;6—钠长石锂辉石伟晶岩带;
7—伟晶岩脉;8—应力方向;9—地质界线

Fig. 5 The regional metallogenic model of the Keeryin ore concentration area

1—Upper Triassic Zhuwo Formation; 2—Upper Triassic Zagunao Formation; 3—Biotite monzonite granite; 4—Microcline feldspar pegmatite belt;
5—Sodium feldspar pegmatite belt; 6—Sodium feldspar lithium pyroxene viritic belt; 7—Pegmatite veins; 8—Stress direction; 9—Geological boundary

总结出以下几个方面的找矿标志:

(1) 在二云母花岗岩的岩舌、岩枝及曲线缓斜接触地段,或其附近的岩体外接触带,背斜轴部和近轴部位,以及背斜倾末端,大量节理裂隙发育的地段,是花岗伟晶岩赋存的有利部位;

(2) 稀有金属伟晶岩,往往产于石英脉广泛分布地段的内侧;石英脉外侧及远离岩体地段稀有金属伟晶岩逐渐减少或绝迹;

(3) 稀有金属伟晶岩,往往远离岩体产出,一般在水平方向距离岩体1500~4000 m,在垂直方向上距离岩体1000~2000 m;

(4) 具Li、Be、Cs、Nb、Ta元素的化探异常;

(5) 由于伟晶岩脉抵抗风化能力比围岩强,常常形成突出的地貌或白色陡岩,也是寻找伟晶岩脉的标志;

(6) 热接触变质带是成矿有利的间接标志。

(7) 云母类过铝质花岗岩是寻找伟晶岩和含矿伟晶岩脉的间接标志。

6 结 论

(1) 可尔因矿集区内的锂多金属矿床主要与印支晚期—燕山早期的中酸性侵入岩有关,成矿母岩为二云母花岗岩、二云母二长花岗岩。

(2) 研究区内稀有金属成矿与印支晚期的可尔因复式岩体成矿关系极为密切,可尔因岩体的结晶分异作用和演化作用为含矿岩浆的成矿提供了最为基本的成矿物质和能量。

(3) 矿集区内的主要控矿因素受岩浆岩-地层-构造耦合控制,岩浆的结晶分异活动为稀有金属的预富集和运移提供了物质和能量,而分布于矿集区的大量节理、裂隙、断裂、片理构造为富锂含矿熔体的侵位提供了通道和赋矿空间。

(4) 可尔因矿集区内稀有金属矿床的成矿模式为:同碰撞花岗岩(S型花岗岩)在围岩地层中呈岩株或岩基产出,岩石地球化学特征表现出具有高硅、铝、钾的特点,岩浆期后热液活动伴随着造岩矿物的大量结晶分离,在岩浆房的顶部局部富集富含挥发分、稀有金属的熔-流体,并且侵入岩体周缘的地层中,形成以锂为主的稀有金属矿床。

(5) 可尔因矿集区内岩体与地层接触变质带范围内是今后找矿工作的重点区域,应当引起重视。

References

- Chen Y C. 1994. Metallogenic series of ore deposits[J]. Earth Science Frontiers(Beijing China University of Geosciences, Peking University), 41(3):90-94(in Chinese with English abstract).
- Gu C H. 2014. Metallogenic regularity of spodumene deposits in the closely spaced pegmatite field, Sichuan Province[J]. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 29(1):59-65(in Chinese with English abstract).
- Hou J L, Li J K, Zhang Y J and Li C. 2018. Li isotopic composition and its constraints on rare metal mineralization of Jiagika two-mica granite, Sichuan Province[J]. Earth Science, 43(6): 2043-2051 (in Chinese with English abstract).
- Huang J Q, Ren J S, Jiang C F, Zhang Z M and Xu Z Q. 1977. An outline of the tectonic characteristics of China[J]. Acta Geologica Sinica, 51(2):19-37(in Chinese with English abstract).
- Li J K, Wang D H and Fu X F. 2006. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ages of the Keeryin pegmatite type rare metal deposit, western Sichuan, and its tectonic significances[J]. Acta Geologica Sinica, 80(6): 845-848(in Chinese with English abstract).
- Li J K, Liu X F and Wang D H. 2014. The metallogenetic regularity of lithium deposit in China[J]. Acta Geologica Sinica, 88(12): 2270-2276(in Chinese with English abstract).
- Li J K, Zou T R, Wang D H and Ding X. 2017. A review of beryllium metallogenic regularity in China[J]. Mineral Deposits, 36(4): 951-978(in Chinese with English abstract).
- Li X J, Li J K, Liu Y C and Xiong C L. 2018. Geochemical features of muscovite granite in the Zhawulong granitic pegmatite type rare metal deposit, western Sichuan[J]. Geological Review, 64(4): 1005-1014(in Chinese with English abstract).
- Pan G T, Xiao Q H, Lu S N, Deng J F, Feng Y M, Zhang K X, Zhang Z Y, Wang F G, Xing G F, Hao G J and Feng Y F. 2009. Subdivision of tectonic units in China[J]. Geology in China, 36(1): 1-16 (in Chinese with English abstract).
- Shi Z L, Zhang H F and Cai H M. 2009. Petrogenesis of strongly peraluminous granites in Markan area, Songpan fold belt and its tectonic implication[J]. Earth Science-Journal of China University of Geosciences, 34(4):569-581(in Chinese with English abstract).
- Sichuan Bureau of Geology and Mineral Resources. 2012. General exploration report on lithium ores in Lijiagou minging Jinchuan County, Sichuan[R]. Chengdu: Sichuan Bureau of Geology and Mineral Resources(in Chinese).
- Sichuan Bureau of Geology and Mineral Resources. 2015. General exploration and resource verification report on lithium ores in Dangba minging of Maerkang County, Sichuan[R]. Chengdu: Sichuan Bureau of Geology and Mineral Resources(in Chinese).
- Wang D H, Zou T R and Xu Z G. 2004. Advance in the study of using pegmatite deposits as the tracer of orogenic process[J]. Advances in Earth Science, 19(4):614-620(in Chinese with English abstract).

- Wang D H, Wang C H, Sun Y, Li J K, Liu S B and Rao K Y. 2017. New progresses and discussion on the survey and research of Li, Be, Ta, ore deposits in China[J]. Geological Survey of China, 4(5): 1-8(in Chinese with English abstract).
- Wang Z P, Liu S B, Ma S C, Liu L J, Dai H Z, Guo W M and Chen B Z. 2018. Metall regularity, deep ang periphery prospecting of Dangba super larger spodumene deposit in A ba, Sichuan Province[J]. Earth Science, 43(6): 2030-2033(in Chinese with English abstract).
- Xu Z G, Chen Y C, Wang D H and Chen Z H. 2008. The features of minerogenetic units in China[M]. Beijing: Geological Publishing House. 35-40(in Chinese).
- Xu Z Q, Hou L W, Wang Z X. 1992. The orogenic process of the Songpan Ganzi orogenic belt in China[M]. Beijing: Geological Publishing House. 23-30(in Chinese).
- Xu Z Q, Wang R C, Zhao Z B and Fu X F. 2018. On the structural backgrounds of the large-scale "Hard-rock Type" lithium ore belts in China[J]. Acta Geologica Sinica, 92(6): 1091-1106 (in Chinese with English abstract).
- Yue X Y, Guo J, Mao S L, Zhu Z M and Tan H Q. 2018. Zircon U-Pb age and geochemistry of the Taiyanghe granitoid in western Sichuan, China and its geological significance[J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 37(6): 1142-1151(in Chinese with English abstract).
- Zhang Y X, Luo Y N and Yang C X. 1988. Panxi rift valley[M]. Beijing: Geological Publishing House. 415p(in Chinese).
- 李建康, 刘喜方, 王登红. 2014. 中国锂矿成矿规律概要[J]. 地质学报, 88(12): 2270-2276.
- 李建康, 邹天人, 王登红, 丁欣. 2017. 中国铍矿成矿规律[J]. 矿床地质, 36(4): 951-978.
- 李兴杰, 李建康, 刘永超, 熊昌利. 2018. 川西扎乌龙花岗伟晶岩型稀有金属矿床白云母花岗岩岩石地球化学[J]. 地质论评, 64(4): 1005-1011.
- 潘桂堂, 肖庆辉, 陆松年, 邓晋福, 冯益民, 张克信, 张智勇, 王方国, 邢光福, 郝国杰, 冯艳芳. 2009. 中国大地构造单元划分[J]. 中国地质, 36(1): 1-16.
- 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[J]. 地球科学-中国地质大学学报, 34(4): 569-581.
- 四川省地质矿产勘查开发局化探队. 2012. 四川省金川县李家沟锂辉石矿床补充地质勘探报告[R]. 成都: 四川省地质矿产勘查开发局化探队.
- 四川省地质矿产勘查开发局化探队. 2015. 四川省金马尔康县党坝矿区锂辉石补充详查报告及资源量核实报告[R]. 成都: 四川省地质矿产勘查开发局.
- 王登红, 邹天人, 徐志刚. 2004. 伟晶岩矿床示踪造山过程的研究进展[J]. 地球科学进展, 19(4): 614-620.
- 王登红, 王成辉, 孙艳, 李建康, 刘善宝, 饶魁元. 2017. 中国锂铍钽矿床调查研究进展及相关问题简述[J]. 中国地质调查, 4(5): 1-8.
- 王子平, 刘善宝, 马圣钊, 刘丽君, 代鸿章, 郭唯明, 陈备战. 2018. 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[J]. 地球科学, 43(6): 2030-2033.
- 徐志刚, 陈毓川, 王登红, 陈郑辉. 2008. 中国成矿区带划分方案[M]. 北京: 地质出版社. 35-40.
- 许志琴, 侯立玮, 王宗秀. 1992. 中国松潘甘孜造山带的造山过程[M]. 北京: 地质出版社. 23-30.
- 许志琴, 王汝成, 赵中宝, 付小方. 2018. 试论中国大陆“硬岩型”大型锂矿带的构造背景[J]. 地质学报, 92(6): 1091-1106.
- 岳相元, 郭佳, 毛树林, 朱志敏, 谭洪旗. 2018. 川西太阳河黑云母二长花岗岩的锆石 U-Pb 年龄、岩石地球化学特征及其地质意义[J]. 矿物岩石地球化学通报, 37(6): 1142-1151.
- 张云湘, 骆耀南, 杨崇喜. 1988. 攀西裂谷[M]. 北京: 地质出版社. 415.

附中文参考文献

- 陈毓川. 1994. 矿床的成矿系列[J]. 地学前缘, 41(3): 90-94.
- 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[J]. 地质找矿论丛, 29(1): 59-65.
- 侯江龙, 李建康, 张玉洁, 李超. 2018. 四川甲基卡矿床花岗岩体 Li 同位素组成及其对稀有金属成矿的制约[J]. 地球科学, 43(6): 2043-2051.
- 黄汲清, 任纪舜, 姜春发, 张之孟, 许志琴. 1977. 中国大地构造基本轮廓[J]. 地质学报, 51(2): 19-37.
- 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[J]. 地质学报, 80(6): 845-848.