

王核, 黄亮, 马华东等. 2023. 西昆仑大红柳滩-白龙山矿集区锂矿成矿特征与成矿规律初探. 岩石学报, 39(07): 1931-1949, doi: 10.18654/1000-0569/2023.07.04

# 西昆仑大红柳滩-白龙山矿集区锂矿成矿特征与成矿规律初探\*

王核<sup>1,2,3,4</sup> 黄亮<sup>1,2</sup> 马华东<sup>3</sup> 李永<sup>5</sup> 王威<sup>3</sup> 肖飞<sup>6</sup> 白洪阳<sup>1,2</sup> 王堃宇<sup>1,2</sup>

WANG He<sup>1,2,3,4</sup>, HUANG Liang<sup>1,2</sup>, MA HuaDong<sup>3</sup>, LI Yong<sup>5</sup>, WANG Wei<sup>3</sup>, XIAO Fei<sup>6</sup>, BAI HongYang<sup>1,2</sup> and WANG KunYu<sup>1,2</sup>

1. 中国科学院广州地球化学研究所, 广州 510640

2. 中国科学院大学, 北京 100049

3. 新疆自然资源与生态环境研究中心, 乌鲁木齐 830000

4. 中国科学院地球化学研究所, 贵阳 550002

5. 新疆维吾尔自治区有色地质勘查局地质矿产勘查研究院, 乌鲁木齐 830000

6. 新疆昆仑蓝钻矿业开发有限责任公司, 和田 848012

1. Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

3. The Research Center Resource and Environment of Xinjiang, Urumqi 830000, China

4. Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China

5. Geological and Mineral Prospecting Research Institute of Nonferrous Geological Prospecting Bureau of Xinjiang, Urumqi 830000, China

6. Xinjiang Kunlun Blue Diamond Mining Development Co., Ltd., Hetian 848012, China

2022-12-14 收稿, 2023-03-01 改回.

Wang H, Huang L, Ma HD, Li Y, Wang W, Xiao F, Bai HY and Wang KY. 2023. Geological characteristics and metallogenic regularity of lithium deposits in Dahongliutan-Bailongshan area, West Kunlun, China. *Acta Petrologica Sinica*, 39(7): 1931-1949, doi: 10.18654/1000-0569/2023.07.04

**Abstract** Dahongliutan-Bailongshan area is the most important rare-metal concentration area in the West Kunlun-Karakorum where there are most concentrated granite pegmatites and most developed rare-metal mineralization. This paper comprehensively and systematically summarized 21 lithium polymetallic deposits in this area based on the achievements of years of research, and divided the ore concentration area into the Dahongliutan ore field and Bailongshan ore field. The ore-bearing strata in the ore concentration area is the Bayankala Group, whose formation age is 214 ~ 223Ma. Meanwhile, the age of granite rock mass is 208 ~ 214Ma, the ages of non-ore pegmatites and the ore-bearing pegmatites are 210 ~ 213Ma and 206 ~ 213Ma, respectively, which reflects the coupling relationship between the rare metal minerals and the Mesozoic magmatic rocks. The Li-bearing rare metal pegmatite veins formed by differentiation of the ore-forming parent rocks (biotite granite, biotite granite, etc.) in the late evolutionary stage are distributed in schistose zone or structurally weak area 500 ~ 2000m away from the intermediate-acid rock mass in the ore-forming strata of the Bayankala Group (or Kangxiwa Group), which conforms to the "trinity" ore-controlling law of structure-magma-horizon. At the same time, the project team divided the Dahongliutan-Bailongshan ore concentration area into five rare-metal mineralized pegmatite vein group belts from north to south, namely, the Aksayi rare-metal mineralized pegmatite vein group belt, the Dahongliutan north rare-metal mineralized pegmatite vein group belt, the Dahongliutan south rare-metal mineralized pegmatite vein group belt, the Bailongshan-Xuefengling lithium mineralized pegmatite vein group belt and the Fulugou-Shuangya lithium mineralized pegmatite vein group belt. Among them, the Bailongshan-Xuefengling and the Fulugou-Shuangya lithium mineralized pegmatite vein group belts are about 18km and 25km long,

\* 本文受第二次青藏高原综合科学考察(2019QZKK0802)、国家重点研发计划项目(2019YFC0605200)、国家自然科学基金项目(91962215、41972088)和新疆维吾尔自治区科技重大专项、重点研发专项(2019B00011、2020A03005)联合资助。

第一作者简介: 王核,男,1966年生,研究员,博士生导师,矿床学专业,E-mail: wanghe@gig.ac.cn

respectively, which are symmetrically zoned in the north and south of this area. The Fulugou-Shuangya lithium mineralized pegmatite vein group belt shows great prospecting potential, so it is an important belt for the next prospecting.

**Key words** Lithium ore deposit; Pegmatite; Mineralized pegmatite vein group belt; Metallogenic regularity; Dahongliutan; Bailongshan; West Kunlun

**摘要** 大红柳滩-白龙山一带是西昆仑-喀喇昆仑花岗伟晶岩分布最为集中、稀有金属矿化最好的地区。通过多年的研究,本文对大红柳滩-白龙山矿集区 21 个锂多金属矿床进行了全面系统的梳理,将矿集区划分为大红柳滩矿田和白龙山矿田。矿集区内赋矿地层巴颜喀拉山群的形成时代为 214 ~ 223Ma,花岗岩岩体年龄 208 ~ 214Ma,不含矿伟晶岩年龄为 210 ~ 213Ma,含矿伟晶岩年龄为 206 ~ 213Ma,反映出稀有金属矿产与中生代岩浆岩具有耦合关系。成矿母岩(二云母花岗岩、黑云母花岗岩等)演化后期分异的含锂稀有金属伟晶岩脉沿着片理化带或构造薄弱地段就位成矿,成矿空间为距离中酸性岩体 500 ~ 2000m 的巴颜喀拉山群(或康西瓦岩群)地层中,符合构造-岩浆-层位“三位一体”控矿规律。同时,项目组将大红柳滩-白龙山矿集区从北至南划分为 5 个稀有金属矿化伟晶岩脉群带,分别为:阿克萨依稀有金属矿化伟晶岩脉群带、大红柳滩北稀有金属矿化伟晶岩脉群带、大红柳滩南稀有金属矿化伟晶岩脉群带、白龙山-雪凤岭锂矿化伟晶岩脉群带、俘虏沟-双牙锂矿化伟晶岩脉群带。其中,白龙山-雪凤岭锂矿化伟晶岩脉群带长约 18km,俘虏沟-双牙锂矿化伟晶岩脉群带长约 25km,这 2 个带呈南北对称分带。而俘虏沟-双牙锂矿化伟晶岩脉群带显示了巨大的找矿潜力,是下一步找矿的重要地段。

**关键词** 锂矿;伟晶岩;矿化伟晶岩脉群带;成矿规律;大红柳滩;白龙山;西昆仑

**中图法分类号** P588.131; P612; P618.71

能源安全与环境协调是全人类共同关心的问题,也是我国社会经济可持续发展的关键。随着国家能源转型和“碳达峰碳中和”国家重大战略目标的逐步推进,国家对低碳能源和可控核聚变技术产品的需求达到了前所未有的高度。作为一种紧缺战略性关键金属矿产资源,锂(Li)具有优异的储能功能,在动力电池、航空航天燃料等领域发挥了关键作用(李建康等, 2014; 刘丽君等, 2017; Li *et al.*, 2019; 翟明国等, 2019; 王核等, 2021);同时, Li 还具有极其重要的生能功能,是可控核聚变技术不可或缺的物质基础(王登红等, 2018)。因此, Li 已成为保障我国新能源建设的核心战略金属资源。

我国可用的锂铍等矿产资源非常短缺,而我国锂的消费量却占全球消费量的 50%,目前主要依赖进口,对外依存度高达 80%。全球锂矿主要有三种类型:伟晶岩型、盐湖卤水型和黏土型(Benson *et al.*, 2017),其中伟晶岩型锂矿由于品位高、易开采成为最经济的锂矿类型,且常伴生 Be、Nb、Ta、Rb、Cs 等多种稀有元素可综合利用(王登红等, 2019),是目前主要利用的矿床类型之一。

近年来,伟晶岩型锂铍等稀有金属找矿在川西、昆仑山、阿尔金山、平江、茶卡北山、喜马拉雅等地均取得了重大突破(付小方等, 2015; 王核等, 2017, 2020; 刘翔等, 2018; 徐兴旺等, 2019; 王秉璋等, 2020; 秦克章等, 2021)。笔者所在的项目组也在西昆仑大红柳滩-白龙山一带发现了白龙山超大型伟晶岩型锂多金属矿床及雪凤岭、雪盆、双牙等若干稀有金属矿床(点),预测其资源量  $\text{Li}_2\text{O} > 500$  万 t(Wang *et al.*, 2020),认为该地区为一个超大型锂多金属矿集区,有望成为我国 21 世纪重要的稀有金属矿产资源基地,具有重大的经济与科研价值。

近年来,大红柳滩地区已成为锂矿研究的热点。然而,不同研究者对区内各矿床的命名不同,矿床划分也比较混

乱,这对后续研究造成了一定的困惑。本文以其最初发现时的称谓为主对大红柳滩-白龙山地区锂多金属矿床的名称进行了厘定,在此基础上对区内各主要矿床的地质特征、成矿时空、分布规律进行了研究,并探讨了该地区稀有金属矿床的成矿条件。

## 1 区域稀有金属成矿地质背景

西昆仑-喀喇昆仑造山带位于青藏高原西北缘,是古亚洲构造域和古特提斯构造域的交汇部位(潘裕生, 1990, 1994; 姜春发等, 2000; Xiao *et al.*, 2002, 2003, 2005; 计文化等, 2004, 2011; 张传林等, 2005, 2019; Jiang *et al.*, 2013; Zhang *et al.*, 2018),从北到南分为四个构造单元:北昆仑地体、南昆仑地体、甜水海地体和喀喇昆仑地体(Yan *et al.*, 2018, 2022; 张传林等, 2019; Wang *et al.*, 2020; 吴福元等, 2020)(图 1)。西昆仑也是欧亚大陆重要的稀有金属富集区,资源潜力巨大(孙海田等, 2003; Hu *et al.*, 2016, 2017; 胡军等, 2016)。西昆仑地区经历了完整的原特提斯到古特提斯构造演化(Yuan *et al.*, 2004, 2005; Xiao *et al.*, 2005; Wang *et al.*, 2017),期间发育了多期的花岗岩,并且发现大量与岩浆活动有关的铜、铅、锌、铁、锂、铍、玉石等矿床。

西昆仑-喀喇昆仑地区中生代花岗伟晶岩发育,是中国重要的伟晶岩成矿带。花岗岩类岩体和伟晶岩沿麻扎-康西瓦缝合带广泛分布(图 1),花岗伟晶岩中产出白云母和锂铍(铌钽)稀有金属矿床。

在 2017 年之前,西昆仑地区锂稀有金属矿产研究程度非常低,主要工作包括:1958 ~ 1961 年新疆地质局和田地质大队先后在大红柳滩一带进行了 1/5 万地质路线调查、1/2.5 万地质简测和 1/1 万地形地质测量,发现了阿哈兰干、大

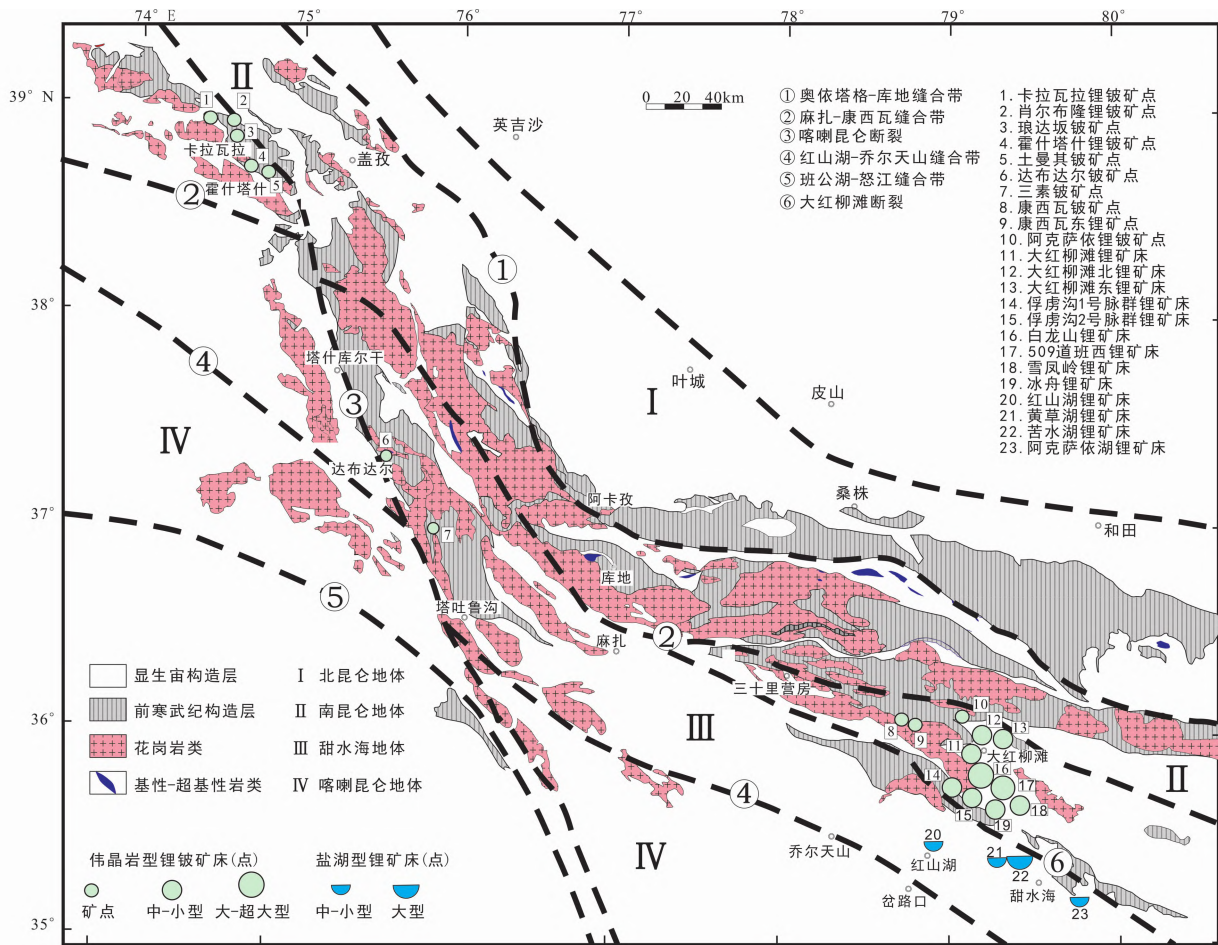


图1 西昆仑构造单元划分与稀有金属分布图(据 Wang et al., 2020)

Fig.1 Simplified geological map of the West Kunlun Orogenic Belt and distribution of rare metal deposits, Xinjiang, Northwest China (after Wang et al., 2020)

红柳滩、考孜沙依、阿克沙依沟、452南沟、康西瓦及小盐池等白云母矿,并证实大红柳滩为一大型白云母矿区,而在大红柳滩、阿克沙依沟、阿哈兰干均发现较多锂辉石伟晶岩脉;1958~1962年,新疆地质局喀什地质大队六分队在康西瓦-大红柳滩一带进行了1/1万~1/2.5万比例尺的勘探及路线地质普查工作,评价了一些白云母矿脉并计算了一定储量级别的白云母和稀有元素的地质储量;1980~1985年新疆地勘局喀什地质二大队,对西昆仑地区开展1/50万地质调查,对木吉-布伦口一带的霍什塔什锂矿、塔什库尔干一带的木林场白云母矿、三素锂矿等进行了调查;1990~1993年,新疆地勘局第十地质大队编写了《和田地区1/50万铜、金、宝石、稀有金属成矿预测报告》,将康西瓦-大红柳滩一带划为稀有金属成矿带。

2017年以来在大红柳滩一带先后发现了白龙山超大型伟晶岩型锂多金属矿(王核等, 2017, 2021; Wang et al., 2020)、雪凤岭锂矿(王核等, 2020)、双牙-雪盆锂矿、冰舟锂矿、白龙山南锂矿、大红柳滩东(496)锂矿(图1)等。2018年新疆地勘基金在大红柳滩的白龙山-509道班西地区开展了

预普查,通过钻探工程验证,取得了较好的找矿成果(彭海练等, 2018)。笔者所在的项目组通过对大红柳滩锂矿(Yan et al., 2018)和白龙山锂矿(Wang et al., 2020)成矿年代学研究,认为该地区稀有金属成矿伟晶岩主要集中在晚三叠世,与三叠纪花岗岩演化密切相关,从而划分出一条西自木吉,经塔什库尔干、塔吐鲁沟、康西瓦、大红柳滩,东至奇台大阪,长度大于600km的与三叠纪花岗岩相伴的稀有金属成矿带(王核等, 2017)。

## 2 大红柳滩-白龙山锂矿集区成矿地质特征

大红柳滩-白龙山超大型锂稀有金属矿集区主要位于新藏公路大红柳滩驿站到新藏公路462~509km路段处的公路两侧,以南侧为主。其地理坐标为79°00'~79°20'E,35°46'~35°59'N,面积近1000km<sup>2</sup>。行政区划隶属于和田地区的和田县、皮山县。

矿集区出露的地层主要有古元古界康西瓦岩群(PtK)、新元古界甜水海群(Pt<sub>3</sub>T)、二叠系黄羊岭群(PH)及三叠系

巴颜喀拉山群(TB)、新近系上新统泉水沟组(N<sub>2</sub>q),第四系(Q)各类沉积物主要零散分布于地势相对平缓的沟谷处。古元古界康西瓦岩群(PtK)岩性主要为深灰色石榴二云石英片岩夹含石榴黑云斜长石英粒岩、十字石榴二云石英片岩、石榴红柱二云石英片岩等,岩石变质变形强烈,变质程度可达高角闪岩相,与上覆地层呈脆韧性断层接触关系;新元古界甜水海群(P<sub>3</sub>T)岩性主要为一套滨海相-浅滨海相浅变质碎屑岩夹碳酸盐岩,夹持于大红柳滩-郭札错断裂与肖尔克谷地断裂之间;二叠系黄羊岭群(PH)岩性主要为长石岩屑杂砂岩、层状泥灰岩、长石石英砂岩、粉砂岩、绢云粉砂质板岩、绢云母千枚岩等;三叠系巴颜喀拉山群(TB)岩性主要为黑云母石英片岩、变砂岩、二云母石英片岩、阳起斜长片岩、黑云母斜长片岩、含石榴石二云母石英片岩、红柱石黑云石英片岩等。

区内断裂构造较为发育,主要呈北西-南东向展布,主要断裂有康西瓦断裂、大红柳滩-郭札错断裂、奇台达坂断裂等。褶皱构造主要发育于三叠系巴颜喀拉山群内,区域上主要分布在阿合栏杆-黄草湖褶皱的两翼发育一系列的同构造期的层间小褶皱。区内变形作用强烈,其中康西瓦岩群变形程度最强,岩层中常见石英等脉体,被压扁、拉长、弯曲、褶皱,形成各种透镜状、石香肠构造;岩石片理化、片麻理化及糜棱岩化极为发育,发生强烈的面理置换,说明该岩群在发生低角闪岩相变质作用的同时遭受了较强的变形改造。黄羊岭群岩石地层轻微变质,但变形较强,变形样式主要表现为发育同斜褶皱和尖棱褶皱,并伴生有轴面劈理构造,具有中浅构造层次的变形特征。巴颜喀拉山群岩石于黄草沟一带发育一宽缓的复式背形。矿集区平卧褶皱发育,岩层中片理化强烈。

区域内岩浆岩主要为中生代三十里营房-泉水沟构造-岩浆岩带,中酸性侵入岩规模较大,多呈规模巨大的岩基状产出,复式岩体位于喀拉喀什河(墨玉河)上游南岸,呈狭长北西-南东向带状展布,走向与区域康西瓦断裂一致。岩体中岩石类型多样,主要有二云母花岗岩、黑云母花岗岩、石英闪长岩等。岩体侵入于三叠系巴颜喀拉山岩群(TB)、二叠系黄羊岭岩群(PH)及古元古界康西瓦岩群(PtK)之中,接触界线陡倾。

矿集区主要锂矿床、矿点围绕大红柳滩花岗岩体、俘虏沟花岗岩体外侧分布,沿北西向延伸30余千米,形成多个矿床(带),含矿伟晶岩脉成群、成带分布,分段集中,主要可划分2个矿田,即大红柳滩矿田和白龙山矿田,共计20个矿床(点)(图2)。在大红柳滩外围还有阿克萨依锂矿和4处盐湖型锂矿(苦水湖锂硼矿、黄草湖钾硼锂矿、红山湖锂矿、阿克萨依湖锂矿),它们与前者共同组成大红柳滩-白龙山锂矿集区(表1)。

## 2.1 大红柳滩锂多金属矿田

大红柳滩矿田位于大红柳滩兵站一带,79°08′~79°18′

E,35°56′~35°61′N,面积约150km<sup>2</sup>,主要由南北2个锂铍矿化带组成。

大红柳滩北带西自阿克萨依铁矿14区,东至496北沟的大红柳滩东锂矿,主要由阿克萨依东锂矿、大红柳滩北锂矿、喀什塔格锂矿、大红柳滩东锂矿4个矿床组成。

大红柳滩南带由大红柳滩兵站喀拉喀什河南岸的伟晶岩脉带群组成,包括大红柳滩锂矿的90号、91号脉群、102号脉群以及俘虏沟北锂矿。

目前在大红柳滩矿田可圈定34条含锂铍矿伟晶岩脉,其中北带的大红柳滩北4条、喀什塔格锂矿6条、大红柳滩东锂矿5条;南带的大红柳滩锂矿17条、俘虏沟北锂矿2条。

### 2.1.1 大红柳滩锂矿床

大红柳滩锂矿床位于和田县大红柳滩喀拉喀什河南岸,面积20km<sup>2</sup>,北依大红柳滩兵站,新藏公路219国道通过矿区北侧喀拉喀什河北岸,矿区交通条件较好。

1958-1962年,新疆地质局喀什地质大队六分队在康西瓦-大红柳滩一带进行了1/1万~1/2.5万比例尺地质勘探及路线地质普查工作,发现了大红柳滩锂辉石矿。2002-2003年,新疆地矿局第二区调队对大红柳滩一带的伟晶岩型铌钽矿进行了专项普查,并提交了普查报告,提交333+334铌钽金属资源量146.20t。2006年新疆有色矿业技术有限公司完成了《新疆和田县大红柳滩锂辉石矿普查报告》,张新国等(2008)最早对大红柳滩锂矿地质特征进行了报道,认为其规模可观。2012年以来,山东冶金地勘局对大红柳滩锂辉石矿(改名阿克塔斯)进行勘查工作,使其达到中型规模(周兵等,2011; Yan *et al.*, 2018)。大红柳滩锂矿床目前已累计探明氧化锂资源量85665.21t, (Nb, Ta)<sub>2</sub>O<sub>5</sub>氧化物量1387.03t,伴生氧化铍量2387.84t,氧化铷量5242.88t。共生锂、铌钽达到中型规模,伴生铍达到中型规模,伴生铷达到大型规模(中国地质调查局西安地质调查中心,2016<sup>①</sup>)。

矿体主要赋存于上三叠统巴颜喀拉山群中,含矿岩性为花岗伟晶岩,断续分布在斜长黑云石英片岩与二云片岩中。总体呈北西向展布。根据地表花岗伟晶岩出露分布及含矿情况,在区内分为90与91号两个矿脉群,彼此平行,相距约1000m,地质特征十分相似。其中90号脉群中分布有6条矿体,而91号脉群中分布有4条矿体(图3)。

90号脉群6条矿体在平面上分成平行的两列,各矿脉首尾相接呈尖灭再现。矿体地表出露长113.2~348.8m,厚4.6~20.9m,呈不规则脉状产出,沿走向呈具膨大缩小现象或舒缓“S”型展布。

91号脉群各单脉均呈不规则脉状或脉状,多沿片理化产出,沿走向有分枝复合现象。矿体地表出露长240.2~378.1m,厚11.2~20.3m。

① 中国地质调查局西安地质调查中心. 2016. 南疆工程及西昆仑成矿带矿产勘查部署与综合研究报告

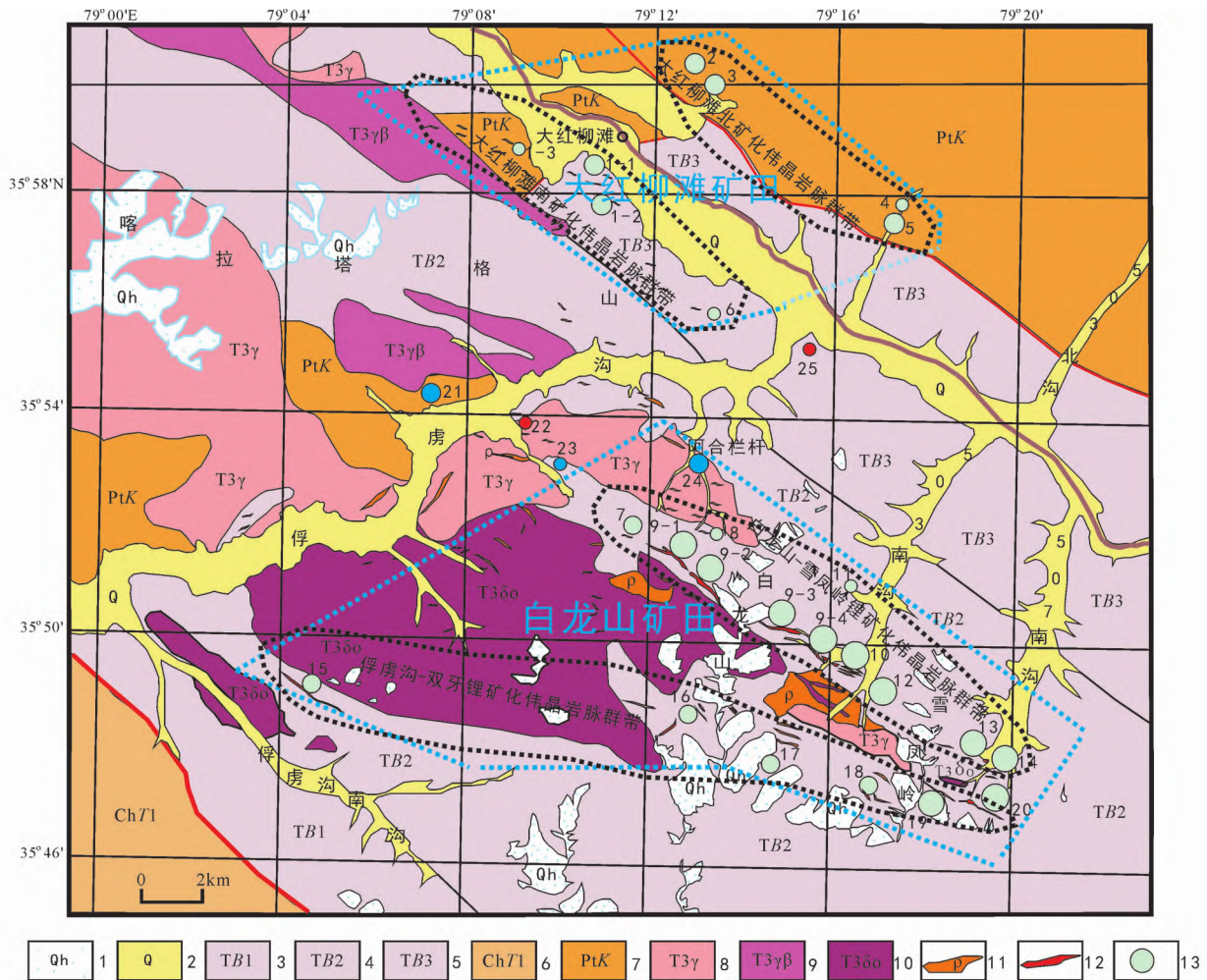


图2 大红柳滩-白龙山矿集区地质及锂矿床分布简图

1-第四系冰川及冰碛物；2-第四系冲洪积物；3,4,5-三叠系巴颜喀拉山群第一、第二、第三岩性段；6-新元古界长城系甜水海群；7-古元古界康西瓦岩群；8-二云母花岗岩；9-黑云母花岗岩；10-石英闪长岩；11-伟晶岩；12-锂铍矿体；13-锂矿床(点)及编号(1-1. 大红柳滩锂矿90号脉群；1-2. 大红柳滩锂矿91号脉群；1-3. 大红柳滩锂矿102号脉群；2. 阿克萨依东锂矿；3. 阿克塔斯北锂矿；4. 喀什塔格锂矿；5. 大红柳滩东锂矿；6. 俘虏沟北锂矿；7. 阿克塔斯南锂矿；8. 阿合栏杆锂矿；9-1. 白龙山锂矿1号脉群；9-2. 白龙山锂矿2号脉群；9-3. 白龙山锂矿3号脉群；9-4. 白龙山锂矿4号脉群；10. 509道班西锂矿；11. 白龙山北(503)锂矿；12. 505锂矿；13. 雪风岭锂矿；14. 龙门山锂矿；15. 俘虏沟1号脉群锂矿；16. 俘虏沟2号脉群锂矿；17. 白龙山南锂矿；18. 冰舟锂矿；19. 雪盆锂矿；20. 双牙锂矿；21. 百利铅银矿；22. 俘虏沟铁矿点；23. 四川矿业沟铅银矿；24. 阿合栏杆铅银矿；25. 俘虏沟口铁矿点)

Fig.2 Geological map and lithium deposits in Dahongliutan-Bailongshan ore concentration area

1-Quaternary glaciers and moraines; 2-Quaternary rushed to proluvial; 3, 4, 5-the first lithologic member, the second lithologic member, the third lithologic member of the Triassic Bayan Har Group; 6-Neoproterozoic Changcheng System Tianshuihai Group; 7-Paleoproterozoic Kangxiwa Rock Group; 8-mica granite; 9-biotite granite; 10-quartz diorite; 11-pegmatite; 12-Li-Be orebody; 13-lithium deposit (point) and number (1-1. No. 90 vein group of Dahongliutan lithium deposit; 1-2. No. 91 vein group of Dahongliutan lithium deposit; 1-3. No. 102 vein group of Dahongliutan lithium deposit; 2. Akesay East Lithium deposit; 3. Aketasi North lithium deposit; 4. Kashitage East lithium deposit; 5. Dahongliutan East lithium deposit; 6. Fulugou North lithium deposit; 7. Aketasi South lithium deposit; 8. Ahe Langan lithium deposit; 9-1. No. 1 vein group of Bailongshan lithium deposit; 9-2. No. 2 vein group of Bailongshan lithium deposit; 9-3. No. 3 vein group of Bailongshan lithium deposit; 9-4. No. 4 vein group of Bailongshan lithium deposit; 10. 509 Daobanxi lithium deposit; 11. Bailongshan North (503) lithium deposit; 12. 505 lithium deposit; 13. Xuefengling lithium deposit; 14. Longmenshan lithium deposit; 15. No. 1 vein group of Fulugou lithium deposit; 16. No. 2 vein group of Fulugou lithium deposit; 17. Bailongshan South lithium deposit; 18. Bingzhou lithium deposit; 19. Xuepeng lithium deposit; 20. Shuangya lithium deposit; 21. Baili lead and silver deposit; 22. Fulugou iron deposit; 23. Sichuankuangyegou lead and silver deposit; 24. AheLang lead and silver deposit; 25. Fulugoukou iron deposit)

矿石矿物主要有锂辉石、锂白云母、磷锂铝石、绿柱石、钽铌铁矿、钽铌铁矿、锡石、氧化锰铁、铁锰磷酸盐、电气石、纤铁矿、氯银矿等。脉石矿物主要由斜长石、石英、钾长石、

白云母等组成。

含矿伟晶岩  $Li_2O$  品位 1.26% ~ 1.83% ,  $BeO$  品位 0.041% ~ 0.061% ,  $Ta_2O_5$  品位 0.003% ~ 0.009% ,  $Nb_2O_5$  品位

表1 大红柳滩-白龙山矿集区锂矿床一览表

Table 1 List of lithium deposits in Dahongliutan-Bailongshan ore concentration area

编号	矿床名称(别名)	地质特征	规模及成因类型	资料来源
1	大红柳滩(阿克塔斯)锂铍铌矿	矿体主要赋存于三叠纪巴颜喀拉山群,分为90与91号两个矿脉群,相距约1000m;其中90号脉群中分布有6条矿体,而91号脉群中分布有4条矿体,石英辉石伟晶岩中最富集,如在90号矿脉的样品中,大部分样品Li <sub>2</sub> O品位>1%,单样最高品位可达3.20%,平均1.40%	中型,伟晶岩型	周兵等,2011
2	阿克萨依东(阿克萨依铁矿14区)锂矿点	含矿伟晶岩脉主要分布于古元古界康西瓦岩群含石榴子石红柱石二云石英片岩;见1条的含锂辉石伟晶岩矿化脉,宽约4~8m,长500~700m,向东延入大红柳滩北锂矿	矿点,伟晶岩型	课题组野外检查
3	阿克塔斯北(大红柳滩北)锂矿	含矿伟晶岩脉赋存于古元古界康西瓦岩群含石榴子石红柱石二云石英片岩;见锂铍矿体4条,矿体长100~1200m,厚1.02~7.44m, Li <sub>2</sub> O平均品位1.05%~2.16%, BeO平均品位0.044%~0.062%	中型,伟晶岩型	李永等,2021 <sup>①</sup>
4	喀什塔格锂矿	见6条含锂辉石伟晶岩脉,其顶底板围岩皆为含十字石、石榴子石二云石英片岩	小型,伟晶岩型	课题组野外检查
5	大红柳滩东(496北)锂矿	见5条含锂辉石伟晶岩脉,其顶底板围岩皆为含十字石、石榴子石二云石英片岩,长90~420m,矿体厚度4~14m。Li <sub>2</sub> O品位0.55%~2.02%	中型,伟晶岩型	课题组野外检查
6	俘虏沟北锂矿	矿体主要赋存于三叠纪巴颜喀拉山群,主要见锂铍矿体2条,矿体地表断续出露长770~820m,真厚度1.00~4.85m, Li <sub>2</sub> O平均品位1.10%~2.25%, BeO平均品位0.042%~0.070%	中型,伟晶岩型	李永等,2021
7	阿克塔斯南(喀拉卡北)锂矿	矿体主要赋存于三叠纪巴颜喀拉山群,见6条锂铍矿体,矿体地表出露长40~550m,厚1.05~7.05m, Li <sub>2</sub> O平均品位1.44%~2.52%, BeO平均品位0.041%~0.067%	小型,伟晶岩型	李永等,2021
8	阿合栏杆锂铍铌矿	见3条含锂伟晶岩脉,脉长约80~100m,宽约1.82~4m。矿体Li <sub>2</sub> O平均品位为0.9%~1.8%;铍铌矿体位于碱长花岗岩体内,矿体呈不规则椭圆状,长163m,厚64.07m, Rb <sub>2</sub> O品位0.1%~0.205%,平均品位0.157%, Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 品位0.018%~0.023%,平均品位0.019%	矿点,伟晶岩型/花岗岩型	课题组野外检查
9	白龙山(喀拉喀、大红柳滩南、盘龙、雪龙山1号区)锂矿	可划分出4个伟晶岩脉群矿化区段,地表主要锂多金属矿体47条,铍矿体5条。主要矿体I-1矿体出露长约1230m,厚度17~61.86m,平均Li <sub>2</sub> O品位为1.26%, II-1号矿体地表出露长约730m,地表最宽81m, Li <sub>2</sub> O平均品位为1.47%, III-2矿体出露长约990m,地表最宽157m,钻孔控制厚度39m,平均Li <sub>2</sub> O品位为1.60%	超大型,伟晶岩型	王核等,2017;冯京等,2021
10	509道班西锂矿	地表出露13条矿体及数量众多的伟晶岩透镜体,钻孔圈定隐伏矿体锂(铷)矿体45条,铍矿体4条。矿体长160~750m,斜深37.4~335m,平均厚度1.07~11.26m, Li <sub>2</sub> O平均品位0.85%~2.93%	大型,伟晶岩型	彭海练等,2018
11	白龙山北(503、509道班北)锂矿	见3条含锂辉石伟晶岩脉,长20~80m,厚2.3~2.9m,含锂辉石较富。取样Li <sub>2</sub> O品位为2.15%	矿点,伟晶岩型	课题组野外检查

① 李永等. 2021. 新疆和田县大红柳滩北-阿克塔斯锂铍、铌矿普查项目报告

续表 1

Continued Table 1

编号	矿床名称(别名)	地质特征	规模及成因类型	资料来源
12	505 锂矿	锂辉石花岗伟晶岩脉矿体 10 条,长 196 ~ 672m,控制锂(铷)矿体长 81 ~ 160m,厚 1.03 ~ 24.28m, $\text{Li}_2\text{O}$ 品位 1.09% ~ 4.67%, 平均品位 2.29%; 铍矿体 2 条,长 160m,厚 2.98 ~ 4.47m, $\text{BeO}$ 平均品位 0.089% ~ 0.090%	大型,伟晶岩型	李侃等,2019
13	雪风岭(507)锂矿	由 3 个含矿伟晶岩脉群共计 47 条锂多金属矿体组成,矿体长 32 ~ 360m,厚 0.9 ~ 8m,走向 $110^\circ \sim 120^\circ$ , 倾角 $49^\circ \sim 78^\circ$	大型,伟晶岩型	王核等,2020
14	龙门山锂矿	围岩为片状变质砂岩、长石石英砂岩、岩屑砂岩。含矿伟晶岩脉 18 条,呈脉状、似层状,走向 $111^\circ \sim 141^\circ$ , 倾向北东,倾角 $62^\circ \sim 78^\circ$ ,长 90 ~ 1170m, $\text{Li}_2\text{O}$ 平均品位 0.57% ~ 1.83%, $\text{BeO}$ 平均品位 0.033% ~ 0.051%	大型,伟晶岩型	冯京等,2021
15	俘虏沟 1 号脉群(俘虏沟南、九龙、喀拉喀什河南)锂矿	见 10 条含锂伟晶岩脉,单矿体地表出露厚度为 0.8 ~ 17.8m,长度为 260 ~ 2400m, $\text{Li}_2\text{O}$ 平均品位为 1.19% ~ 3.87%。	中型,伟晶岩型	李侃等,2019;冯京等,2021
16	俘虏沟 2 号脉群(谷顶雪山、雪龙山 2 号区)锂矿	共发现含矿伟晶岩 8 条,长 120 ~ 1100m,宽 2.1 ~ 12m, $\text{Li}_2\text{O}$ 品位 0.90 ~ 2.60%	中小型,伟晶岩型	李侃等,2019
17	白龙山南锂矿	见 8 条含矿伟晶岩脉,长 30 ~ 300m,宽 2 ~ 25m, $\text{Li}_2\text{O}$ 品位 0.94% ~ 3.41%	中小型,伟晶岩型	2017 年课题组新发现
18	冰舟锂矿	发现 5 条含矿伟晶岩脉,主要是含锂, $\text{Li}_2\text{O}$ 品位 0.96% ~ 2.46%	中小型,伟晶岩型	2018 年课题组新发现
19	雪盆锂矿	雪盆矿区 3 条锂矿,长 800(1200m),厚 4(8m),向西合成一个矿体,厚 12(20m); $\text{Li}_2\text{O}$ 平均品位为 2.24%	大型,伟晶岩型	王核等,2020
20	双牙锂矿	主矿体,长 850m,厚 12m,出露最宽处近 100m; $\text{Li}_2\text{O}$ 品位为 1.96%, 伴生 $\text{BeO}$ 品位为 0.037%, $\text{Nb}_2\text{O}_5$ 品位为 0.010%, $\text{Ta}_2\text{O}_5$ 品位为 0.006%	大型,伟晶岩型	王核等,2020
21	阿克萨依锂矿点	含矿伟晶岩脉主要分布于古元古界康西瓦岩群含石榴子石二云石英片岩、角闪斜长片麻岩; 合计见 12 条锂辉石矿脉、1 条白云母锂辉石矿脉及 12 条锂辉石矿化脉、1 条白云母绿柱石矿化脉、35 条白云母矿化脉	矿点,伟晶岩型	课题组野外检查
22	苦水湖锂硼矿	盐湖面积 290 $\text{km}^2$ ,全新统湖积化学沉积石盐层及新盐湖沉积 94 $\text{km}^2$ ,厚度一般 12 ~ 30m,平均厚度 31.52m, $\text{LiCl}$ 平均含量 889 $\text{mg/L}$	大型,盐湖卤水型	谭克彬等,2016
23	黄草湖钾锂硼矿	盐湖面积 120 $\text{km}^2$ ,在盆地下部圈定了 W1、W2 两个卤水钾锂硼矿层,矿层面积分别为 20.37 $\text{km}^2$ ,2 矿层平均厚度 17.10m 和 50.13m, $\text{LiCl}$ 平均品位 675 ~ 681 $\text{mg/L}$	中型,盐湖卤水型	刘建等,2019
24	红山湖锂矿	见全新统湖积化学沉积石盐层及新盐湖沉积,地表卤水平均深度 1.41m, $\text{LiCl}$ 平均品位 313 $\text{mg/L}$ ; 潜藏卤水平均厚度 3.07m, $\text{LiCl}$ 平均品位 316 $\text{mg/L}$	矿点,盐湖卤水型	课题组野外检查
25	阿克萨依湖锂矿	位于甜水海南东,为工业品级中型卤水锂矿,主要以湖表水形式分布,面积 160 $\text{km}^2$ ,平均深度 5m,卤水中 $\text{LiCl}$ 平均品位 430 $\text{mg/L}$	中型,盐湖卤水型	陕西省地质调查中心,2006 <sup>①</sup>

① 陕西省地质调查中心. 2006. 新疆阿克萨依湖 1:25 万区域地质调查报告

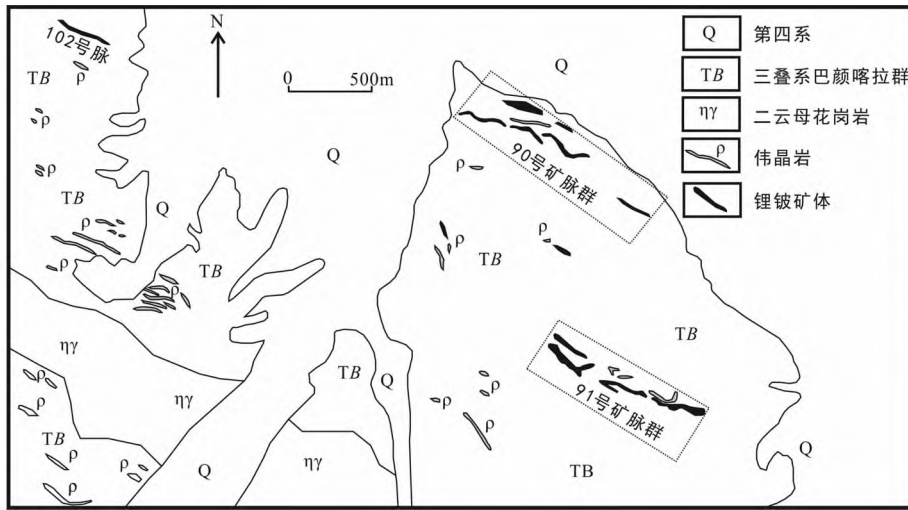
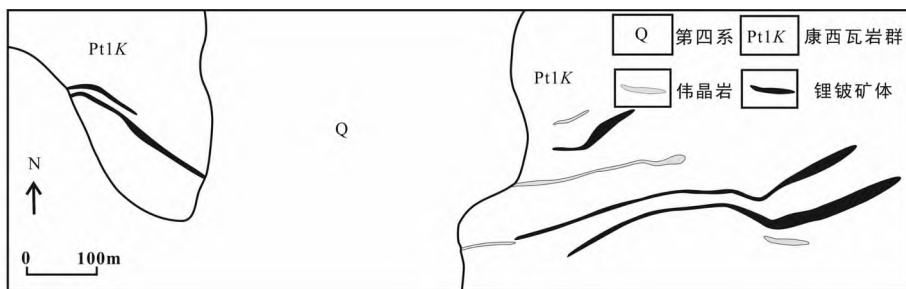
图3 大红柳滩锂矿床地质简图(据 Yan *et al.*, 2018)Fig. 3 Geologic map of Dahongliutan lithium deposit (after Yan *et al.*, 2018)

图4 大红柳滩东锂矿地质简图

Fig. 4 Geologic map of East Dahongliutan lithium deposit

为 0.01% ~ 0.014%。

通过采集伟晶岩样品,分选出单颗粒锡石及铌钽铁矿进行年代学研究,得到了的年龄分别为铌钽铁矿 212Ma、锡石 218Ma (Yan *et al.*, 2018)。

#### 2.1.2 大红柳滩东锂矿床

笔者在承担“十二五”国家科技支撑计划项目专题“黑恰-大红柳滩铁铅锌多金属成矿带成矿地质条件与找矿远景预测”时,通过野外调查,于2016年在大红柳滩东496北沟发现的1处锂铍矿床,当时取名为496锂矿,预测334氧化锂资源量3.43万t(中国科学院广州地球化学研究所,2017<sup>①</sup>)。2020年和谐昆仑公司进一步勘探发现大红柳滩东锂矿床锂资源量达到大中型以上规模。

矿区内出露岩性主要为灰-灰褐色二云母石英片岩、灰色斜长黑云母石英片岩、灰白色含十字石石榴石二云母石英片岩夹薄层红柱石黑云母石英片岩、石榴石石英岩等。

通过野外地质填图,划分出5个矿体(图4)。矿体顶底板围岩皆为含十字石、石榴石二云母石英片岩,周边还分布许多伟晶岩脉。矿体呈大透镜体状产出,地表出露长90~420m,矿体平均厚度4~14m, Li<sub>2</sub>O品位0.55%~4.37%。

#### 2.1.3 大红柳滩北锂矿床

大红柳滩北(阿克塔斯北、大红柳滩北-阿克塔斯II区)锂矿(79°12'15"~79°14'15"E、35°59'40"~36°00'30"N)为2021年新疆有色地质勘查局地质矿产勘查院所发现。

矿区地层主要为古元古界康西瓦岩群,主要岩性为黑云母石英片岩、大理岩、含石榴石红柱石黑云母石英片岩。区内含矿花岗伟晶岩脉整体呈北西-南东向带状展布,地表出露长度30~1700m,宽1~20m,倾向10°~35°,倾角50°~81°。

矿区出露锂铍矿体4条(图5)。锂铍矿体呈脉状产出,总体北倾,产状5°~25°∠55°~80°,矿体长100~1200m,厚度1.02~7.44m, Li<sub>2</sub>O平均品位1.05%~2.16%, BeO平均品位0.044%~0.062%。初步估算,锂资源量可达中型规模。

#### 2.2 白龙山锂多金属矿田

白龙山矿田由南北2个矿化伟晶岩脉群带组成,北矿带

① 中国科学院广州地球化学研究所. 2017. 黑恰-大红柳滩铁铅锌多金属成矿带成矿地质条件与找矿远景预测报告



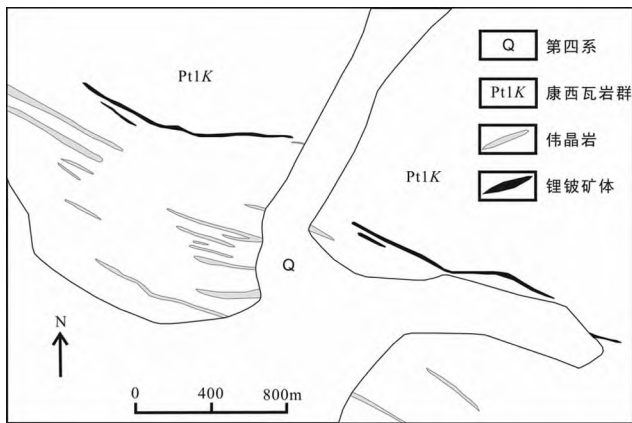


图5 大红柳滩北锂矿床地质简图(据李永等, 2021)

Fig.5 Geologic map of North Dahongliutan lithium deposit

为白龙山-雪风岭锂矿化带,从西自东由阿克塔斯南锂矿、阿合栏杆锂矿、白龙山锂矿、509道班西锂矿、白龙山北(503)锂矿、505锂矿、雪风岭锂矿、龙门山锂矿组成,矿化伟晶岩脉带长约18km。南矿带为俘虏沟-双牙锂矿化带,从西自东由俘虏沟1号脉锂矿、俘虏沟2号脉锂矿、白龙山南锂矿、冰舟锂矿、雪盆锂矿、双牙锂矿组成,矿化伟晶岩脉带长约25km。

目前在白龙山矿田可圈定287条含锂铍矿伟晶岩脉,其中北带的白龙山-雪风岭锂矿化带计245条,包括阿克塔斯南锂矿6条、阿合栏杆锂矿3条;白龙山锂矿-509道班西锂矿共发现含矿伟晶岩脉166条、白龙山北(503)锂矿3条、505锂矿10条、雪风岭锂矿47条、龙门山锂矿18条。南带的俘虏沟-双牙锂矿化带共计42条,包括俘虏沟1号脉锂矿10条、俘虏沟2号脉锂矿8条、白龙山南锂矿8条、冰舟锂矿5条、雪盆锂矿3条、双牙锂矿8条。

### 2.2.1 白龙山锂矿-509道班西锂矿-505锂矿

白龙山锂矿包括1、2、3、4号脉群(图6)是2017年由中国科学院广州地球化学研究所发现的超大型矿床,当时提交的334资源量为氧化锂345万t(王核等, 2017);此外,新疆地质矿产勘查开发局第六、第十地质大队在阿合栏杆发现3条锂矿体,在白龙山1、2号脉群发现多条铍矿体(新疆地质矿产勘查开发局第六、第十地质大队, 2017<sup>①</sup>)。509道班西锂矿是2017年由陕西省地质调查院发现(彭海练等, 2018),而505锂矿则是由西安地质调查中心于2018年发现(李侃等, 2019)。

自发现以来,地勘部门对这三个矿又进行了进一步勘查。其中,2018年新疆地矿局第六地质大队(新疆勘查基金项目)对白龙山锂矿1号脉群和2号脉群西段的部分地段进行评价;2021年新疆地质矿产勘查开发局第三地质大队将白龙山2号脉群东段命名为盘龙山,将白龙山3号脉群命名为雪山山1区进行了勘查工作。2018年陕西省地质调查院(新疆勘查基金项目)对509道班西锂矿及白龙山4号脉群部分地段进行评价。2020-2021年,新疆昆仑蓝钻矿业开发有限责任公司委托新疆有色地勘局矿产勘查研究院分2个片区

对白龙山一带锂矿开展勘探,一组对白龙山4号脉群和3号脉群部分地段、509道班西锂矿、505锂矿开展勘探(509道班西项目);另一组对白龙山锂矿1号脉群和2号脉群西段的部分地段进行勘探(大红柳滩南项目)。

509道班西项目勘探区自西向东分为4个脉群,其中I号脉群即白龙山VI脉群和白龙山III脉群东段部分(王核等, 2021;王威等, 2022),地表残坡积覆盖面积大,矿体总体北东倾,长160~2300m,平均厚度1.92~37m,  $\text{Li}_2\text{O}$ 平均品位0.9%~1.45%,  $\text{BeO}$ 平均品位0.036%~0.047%,总体产状北东倾 $30^\circ\sim 35^\circ\angle 52^\circ\sim 59^\circ$ ,主要呈脉状、枝杈状;II号脉群即509道班西锂矿(彭海练等, 2018),锂铍矿体控制长160~960m,矿体平均厚度0.82~12.45m,  $\text{Li}_2\text{O}$ 平均品位0.52%~3.27%,  $\text{BeO}$ 平均品位0.020%~0.088%。I号脉群和II号脉群为选定的首采区,共120余条锂铍矿体,目前已备案  $\text{Li}_2\text{O}$ 资源量68万t。III号脉群(505锂矿,李侃等, 2019)残坡积物发育,多为含锂辉石花岗岩伟晶岩转石,锂铍矿体10条,地表露头长480~960m,厚3~15m,最厚达27m,  $\text{Li}_2\text{O}$ 平均品位0.5%~1.99%,  $\text{BeO}$ 平均品位0.048~0.05%,矿体倾向 $15^\circ\sim 45^\circ$ ,矿体倾角 $53^\circ\sim 79^\circ$ ;铍矿体规模均较小,长160m,厚0.1~0.5m,  $\text{BeO}$ 平均品位0.046%~0.087%。主要呈脉状、似层状、枝杈状产出,少数矿体有分支变薄、复合膨胀等现象,矿体与围岩界线清晰。III号脉群目前  $\text{Li}_2\text{O}$ 资源量在30万t以上, I、II、III号脉群勘探  $\text{Li}_2\text{O}$ 资源量超过100万t。VI号脉群为雪风岭锂矿。

大红柳滩南项目勘探区包括白龙山锂矿1号脉群和2号脉群西段的部分地段以及阿合栏杆锂矿,目前正在勘探中。

白龙山2号脉群的西段和3号脉群西段的大矿体未在昆仑蓝钻的勘探范围。

### 2.2.2 雪风岭一带的锂矿

雪风岭一带主要由雪风岭锂矿、龙门山锂矿、双牙锂矿、雪盆锂矿(图7)。其中雪风岭锂矿、龙门山锂矿与白龙山锂矿、509道班西锂矿、505锂矿均在白龙山矿田的北矿带,即白龙山-雪风岭锂矿化带。双牙锂矿、雪盆锂矿则属于白龙山南矿带。

雪风岭锂矿是2017年中国科学院广州地球化学研究所发现的大型矿床(王核等, 2020),2018年通过进一步的工作,项目组共圈定出锂多金属矿体47条,通过对其矿床地质特征进行了初步研究,并开展对EH4电磁测深工作以期对资源量进行预测。同年,西安地质调查中心矿调项目委托新疆地质调查院也对雪风岭海拔较低的III号含矿脉群带进行了调查工作,取名507锂矿。雪风岭锂矿由3个含矿伟晶岩脉群共计47条锂多金属矿体组成,矿体长32~360m,厚0.9~8m,倾向 $20^\circ\sim 30^\circ$ ,倾角 $49^\circ\sim 78^\circ$ 。矿体一般长32(360m,宽度2.80(8.00m)。各矿体  $\text{Li}_2\text{O}$ 品位0.6%~

① 新疆地质矿产勘查开发局第六、第十地质大队. 2017. 新疆和田县大红柳滩南金、锂铍矿调查评价报告

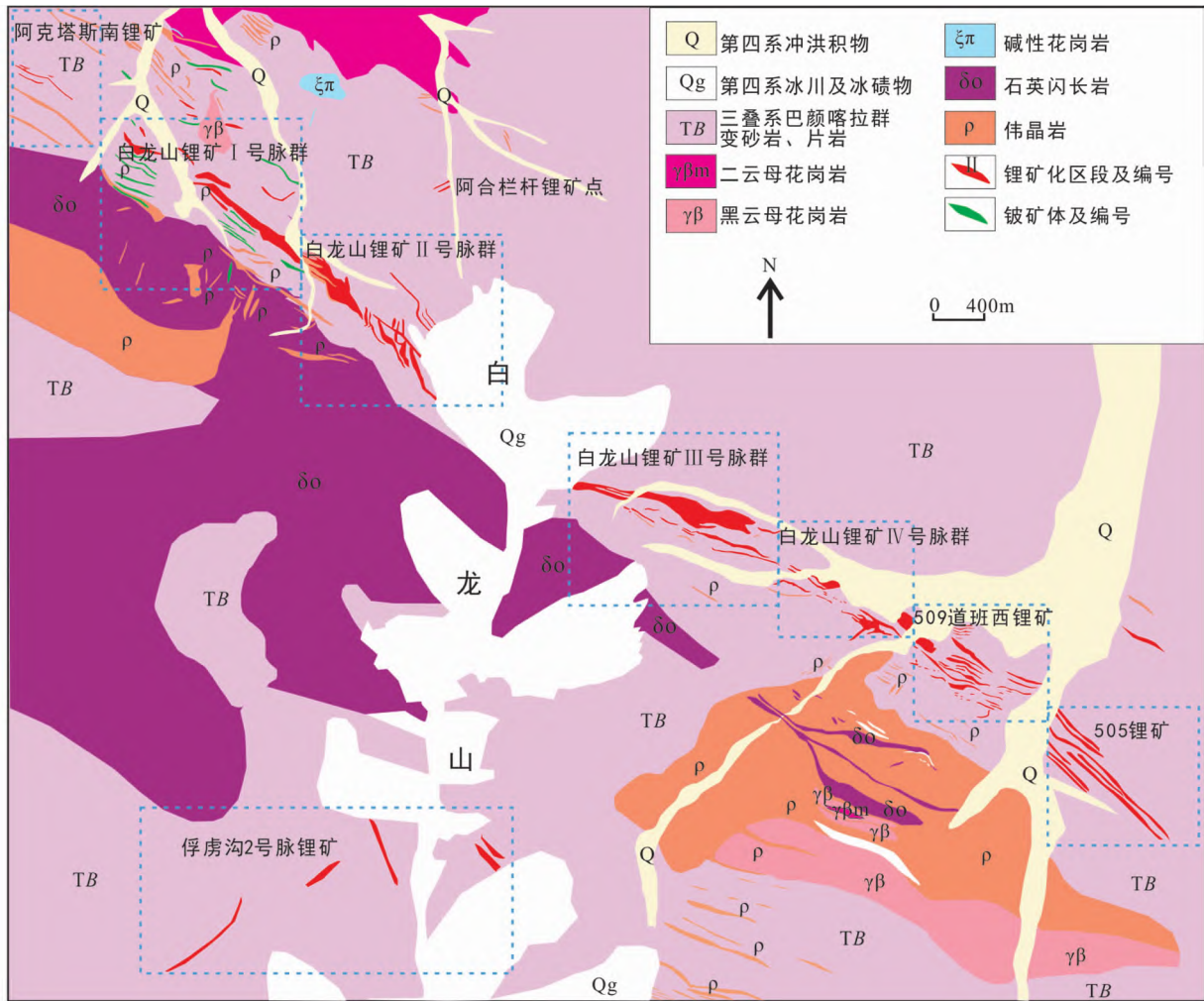


图6 西昆仑白龙山一带主要矿体地质简图(据王核等, 2021)

Fig. 6 Simplified geological map of main ore bodies in Bailongshan deposit (after Wang *et al.*, 2021)

4.02%。伴生 BeO 品位 0.04% ~ 0.15%, Rb<sub>2</sub>O 品位 0.10% ~ 0.23%, Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 品位 0.007% ~ 0.047%, Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 品位 0.003% ~ 0.046%。

双牙锂矿区主矿体长 850m, 厚 12m, 出露最宽处近 100m, 矿体主要为石英-锂辉石-钠长石伟晶岩脉, Li<sub>2</sub>O 品位为 1.96%, 伴生 BeO 品位为 0.037%, Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 品位为 0.010%, Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 品位为 0.006%。

雪盆锂矿区圈定 3 条锂矿, 长 800 ~ 1200m, 厚 4 ~ 8m, 向西合成一个矿体, 厚 12 ~ 20m, 矿体主要为石英-锂辉石-钠长石伟晶岩脉。Li<sub>2</sub>O 平均品位为 2.24%, 伴生 BeO 品位为 0.036%, Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 品位为 0.009%, Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 品位为 0.004%。

龙门山锂矿区内共圈定含矿伟晶岩脉共 24 条, 呈脉状、似层状, 走向 111° ~ 141°, 倾向北东, 倾角 62° ~ 78°, 长 90 ~ 1170m, 含矿伟晶岩脉主要为锂辉石花岗伟晶岩脉, 围岩为片状变质砂岩、长石石英砂岩、岩屑砂岩。含锂矿物主要为锂辉石、锂磷铝石、锂云母等, 含矿伟晶岩脉中 Li<sub>2</sub>O 平均品位 0.574% ~ 1.826%, BeO 平均品位 0.033% ~ 0.051% (冯京

等, 2021)。

### 2.2.3 白龙山南一带的锂矿

白龙山南一带的锂矿, 主要包括由西安地调中心发现的俘虏沟 1 号、2 号脉锂矿(李侃等, 2019)和笔者项目组发现的白龙山南锂矿和冰舟锂矿, 下面重点介绍白龙山南锂矿和冰舟锂矿。

#### 2.2.3.1 白龙山南锂矿

通过野外调查, 追踪白龙山锂矿南部花岗岩体的南部, 在 509 道班西锂矿南西 3km 处新发现 1 处锂矿床(图 8), 见 15 条伟晶岩脉, 其中含锂辉石伟晶岩脉 8 条, 不含锂辉石伟晶岩脉 7 条, 对其中 2 条不含锂辉石伟晶岩脉查证取样为含铍矿化的伟晶岩, 另外几条未采样。含矿伟晶岩长 30 ~ 400m, 地表出露厚 2.6 ~ 30m。Li<sub>2</sub>O 品位 0.94% ~ 2.59%, BeO 品位 0.47% ~ 0.068%, 其它元素 Nb、Ta、Rb、Cs 品位均较低, 大多达不到伴生要求。

I 号锂矿脉在西段地表出露宽 6 ~ 10m, 向西段变宽, 膨大处最宽 60m, 一般 20m 宽, 伟晶岩主要为长石、石英、磷锂

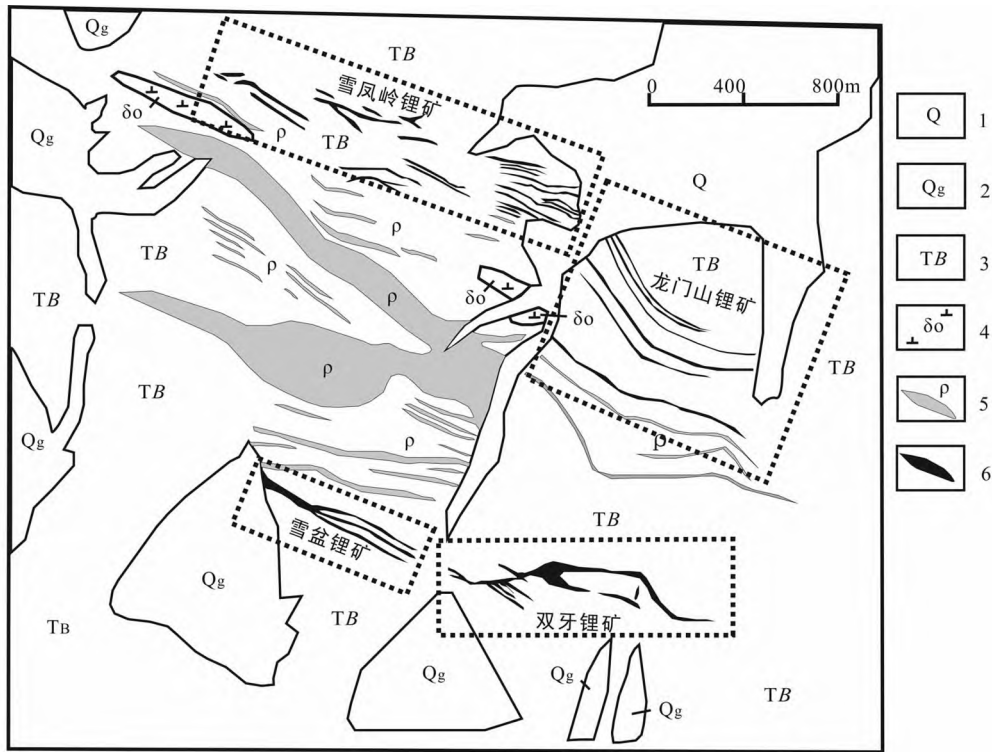


图7 雪凤岭一带锂矿床地质简图(据王核等,2020)

1-第四系冲洪积物;2-第四系冰川及冰碛物;3-三叠系巴颜喀拉山群变砂岩、片岩;4-石英闪长岩;5-伟晶岩;6-锂铍矿体

Fig.7 Geologic map of lithium deposit in Xuefengling area (after Wang *et al.* , 2020)

1-Quaternary system rushed to proluvial; 2-Quaternary glaciers and moraines; 3-Triassic Bayan Har Group metamorphic sandstone and schist; 4-quartz diorite; 5-pegmatite; 6-Li-Be orebody

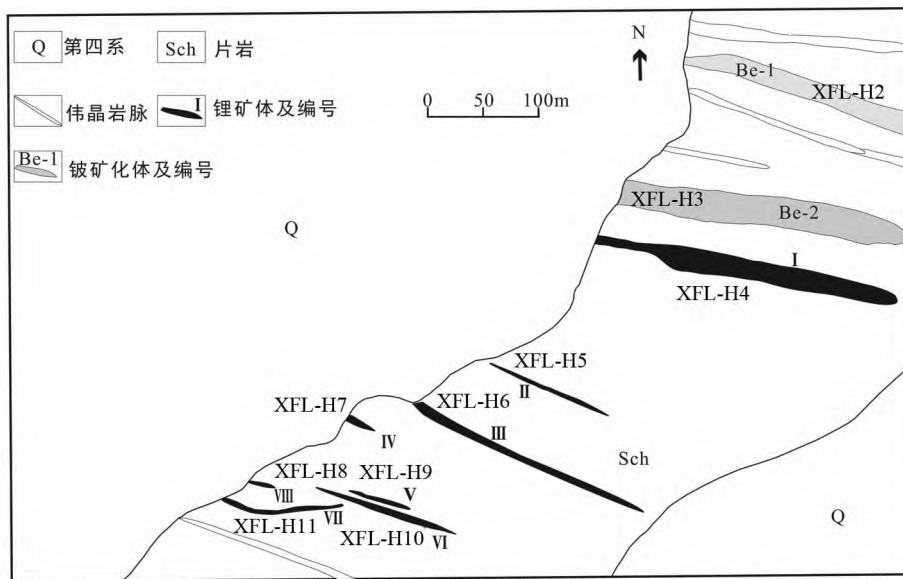


图8 白龙山南锂矿实测地质简图

Fig.8 Measured geologic map of South Blongsan lithium deposit

铝石、白云母组成,  $\text{Li}_2\text{O}$  品位 2.59%。伟晶岩中见绿泥石化。II-Ⅷ号锂矿脉均为石英锂辉石伟晶岩脉, 白云母含量低。Be-1、Be-2 号脉为含白云母的长石石英伟晶岩脉, 白云母局部含量可达 20%。其特征简述如下:

(1) I 号矿体: 长 220m, 平均厚度 16.45m,  $\text{Li}_2\text{O}$  平均品位 2.59%。

(2) II 号矿体: 长 70m, 平均厚度 6.93m,  $\text{Li}_2\text{O}$  平均品位 1.80%, BeO 平均品位 0.077%。

(3) III 号矿体: 长 210m, 平均厚度 15.59m,  $\text{Li}_2\text{O}$  平均品位 1.75%。

(4) IV 号矿体: 长 31m, 平均厚 7.79m,  $\text{Li}_2\text{O}$  平均品位 1.30%, BeO 品位 0.041%。

(5) V 号体: 长 60m, 厚 3.90m,  $\text{Li}_2\text{O}$  品位 0.94%, BeO 品位 0.080%。

(6) VI 号矿体: 长 160m, 平均厚度 5.20m,  $\text{Li}_2\text{O}$  品位 1.59%, BeO 品位 0.068%,  $\text{Rb}_2\text{O}$  品位 0.039%。

(7) VII 号矿体: 长 115m, 宽度 2.6m, 厚度 2.25m,  $\text{Li}_2\text{O}$  品位 1.66%, BeO 品位 0.052%。

(8) Be-1 号矿体: 长 400m, 平均厚度 21.65m, BeO 平均品位 0.049%。

(9) Be-2 矿体: 长 290 平均厚度 25.98m, BeO 平均品位 0.067%。

白龙山南锂矿上述 9 个矿化体初步估算的锂资源量可达中型规模。

### 2.2.3.2 冰舟锂矿床

通过地质调查和填图, 在 503 南沟的冰舟一带发现 6 条含矿伟晶岩脉(图 9), 主要含锂,  $\text{Li}_2\text{O}$  品位 0.96% ~ 2.46%。各矿体特征如下:

I-1 号矿体: 长 312m, 平均厚度 5.44m,  $\text{Li}_2\text{O}$  平均品位 0.60%, BeO 平均品位 0.066%,  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  0.011%,  $\text{Ta}_2\text{O}_5$  0.004%。

I-2 号矿体: 长 352m, 平均厚度 3.62m,  $\text{Li}_2\text{O}$  平均品位 0.78%, BeO 平均品位 0.074%,  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  0.011%,  $\text{Ta}_2\text{O}_5$  0.003%。

I-3 号矿体: 长 352m, 平均厚度 9.06m,  $\text{Li}_2\text{O}$  平均品位

1.01%, BeO 平均品位 0.066%,  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  0.013%,  $\text{Ta}_2\text{O}_5$  0.004%。

II 号矿体: 长 528m, 平均厚度 9.5m,  $\text{Li}_2\text{O}$  平均品位 1.51%, BeO 平均品位 0.049%,  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  0.007%,  $\text{Ta}_2\text{O}_5$  0.003%。

III 号矿体: 长 296m, 平均厚度 5.44m,  $\text{Li}_2\text{O}$  平均品位 1.47%, BeO 平均品位 0.066%,  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  0.014%,  $\text{Ta}_2\text{O}_5$  0.003%。

IV 号矿体: 长 440m, 平均厚度 4.53m,  $\text{Li}_2\text{O}$  平均品位 1.20%, BeO 平均品位 0.047%,  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  0.012%,  $\text{Ta}_2\text{O}_5$  0.004%。

初步估算, 冰舟锂矿的锂资源量可达中型规模。

## 3 大红柳滩-白龙山矿集区稀有金属成矿规律初探

### 3.1 含矿伟晶岩脉群带的划分及分布规律

大红柳滩-白龙山矿集区从北至南可以分为 5 个稀有金属矿化伟晶岩脉群带, 分别为: 阿克萨依稀有金属矿化伟晶岩脉群带、大红柳滩北稀有金属矿化伟晶岩脉群带、大红柳滩南稀有金属矿化伟晶岩脉群带、白龙山-雪凤岭锂矿化伟晶岩脉群带、俘虜沟-双牙锂矿化伟晶岩脉群带。

阿克萨依稀有金属矿化伟晶岩脉群带位于直线距大红柳滩兵站北 16km 的阿克萨依河南岸, 在长 35km 的伟晶岩脉带中发现 636 条伟晶岩脉, 伟晶岩脉多沿片理贯入, 多为不规则脉状、透镜状、串珠状, 一般长 40 ~ 80m, 宽 1 ~ 5m, 最长 1000m, 最宽 150m。阿克萨依矿区(图 10)中见 12 条锂辉石矿脉、1 条白云母锂辉石矿脉、1 条白云母绿柱石矿化脉。含锂伟晶岩脉多呈脉状产出, 具膨胀收缩现象, 宽窄不一。矿脉长 50 ~ 370m, 宽 1 ~ 14m, 走向多为北西向。锂辉石矿化呈巢状及星散状出现, 其中产于石英锂辉石伟晶岩脉中锂辉石较富集,  $\text{Li}_2\text{O}$  平均品位 1.776%, BeO 平均品位 0.0454%。初步估算, 锂资源量可达中小型规模。

大红柳滩北稀有金属矿化伟晶岩脉群带位于大红柳滩兵站北 2km 至 496 北沟(即大红柳滩东锂矿)一带, 矿化伟晶岩脉群带长大于 16km, 主要由阿克萨依东锂矿、大红柳滩北锂矿、喀什塔格锂矿、大红柳滩东锂矿 4 个矿床组成, 含矿伟晶岩脉走向北西西, 主要向北东倾。

大红柳滩南稀有金属矿化伟晶岩脉群带位于大红柳滩兵站喀拉喀什河南岸一带, 矿化伟晶岩脉群带长大于 18km, 由大红柳滩兵站喀拉喀什河南岸的伟晶岩脉群带组成, 包括大红柳滩锂矿和俘虜沟北锂矿, 含矿伟晶岩脉走向北西西, 主要向南东倾。

白龙山-雪凤岭锂矿化伟晶岩脉群带位于阿合栏杆背斜的北翼, 矿化伟晶岩脉群带长约 18km, 包括阿克塔斯南锂矿、阿合栏杆锂矿、白龙山锂矿、509 道班西锂矿、白龙山北(503)锂矿、505 锂矿、雪凤岭锂矿、龙门山锂矿, 含矿伟晶岩脉走向北西西, 主要向北东倾。

俘虜沟-双牙锂矿化伟晶岩脉群带位于阿合栏杆背斜的南翼, 矿化伟晶岩脉群带长约 25km, 包括俘虜沟 1 号脉锂矿、俘虜沟 2 号脉锂矿、白龙山南锂矿、冰舟锂矿、雪盆锂矿、

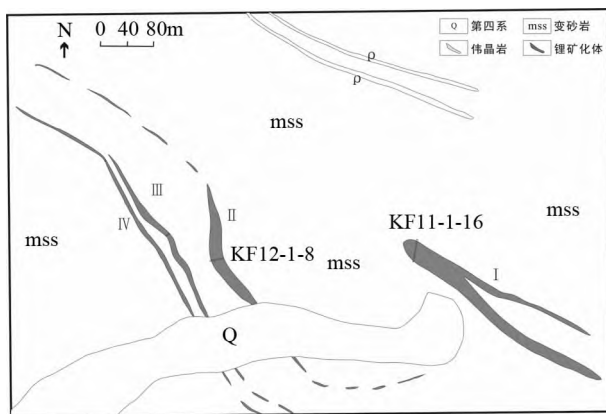


图 9 冰舟锂矿实测地质简图

Fig. 9 Geologic map of Bingzhou lithium deposit

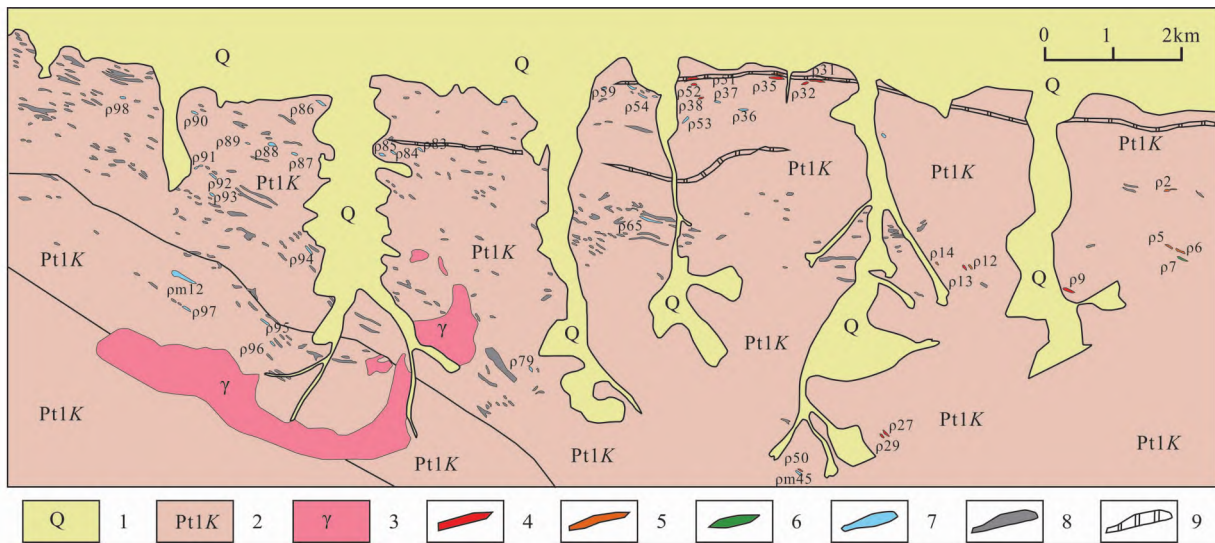


图 10 阿克萨依锂矿点地质简图

1-第四系;2-康西瓦岩群;3-花岗岩;4-锂辉石伟晶岩脉;5-白云母锂辉石伟晶岩脉;6-白云母绿柱石矿化伟晶岩脉;7-白云母矿化伟晶岩脉;8-无矿伟晶岩脉;9-大理岩

Fig. 10 Geologic map of Akesayi lithium deposit

1-Quaternary; 2-Paleoproterozoic Kangxiwa Rock Group; 3-granite; 4-spodumene pegmatite vein; 5-muscovite spodumene pegmatite vein; 6-muscovite beryl mineralized pegmatite vein; 7-muscovite mineralized pegmatite vein; 8-mineral-free pegmatite vein; 9-marble

双牙锂矿,含矿伟晶岩脉走向北西西,主要向南东倾。俘虏沟-双牙锂矿化伟晶岩脉群带由于海拔高,多在 5300 ~ 5900m,特别是冰舟锂矿和白龙山南锂矿一带覆盖严重,勘探工作较为薄弱。该处具有巨大的找矿潜力,是下一步找矿的重要地段。

### 3.2 伟晶岩脉群对称分带分布规律

研究区的含锂辉石伟晶岩主要为分为 2 类:一类为全脉锂辉石矿化的伟晶岩,主要矿物为石英、锂辉石,另有少量钠长石、白云母,全脉锂辉石矿化的伟晶岩一般呈脉状、脉群带分布,如在白龙山的 3、4 号伟晶岩脉群、509 道班西锂矿、505 锂矿、雪风岭锂矿中的含矿伟晶岩大部分均为全脉锂辉石矿化,没有明显的内部结构带,这类锂辉石伟晶岩脉一般品位高、成规模,往往一个脉群带就可达到大型锂矿的规模;另一类具有明显的内部结构带的伟晶岩,其中比较明显的如白龙山 1 号脉群中宽度大于 280m 的厚大伟晶岩脉,该伟晶岩脉内部结构带分为 5 个带,由南向北分别为含电气石石英-钠长石-白云母带、石英-白云母带、块体长石-石英带、钠长石-石英-锂辉石带和石英-锂辉石带 (Wang *et al.*, 2020)。

通过研究认为围绕着白龙山成矿母体花岗岩,岩体北部存在含黑色电气石伟晶岩脉群-块体石英长石伟晶岩脉群-含白云母伟晶岩脉群-含矿伟晶岩脉群-石英脉群,岩体南部同样会出现对称分带的伟晶岩脉群,表现为“伟晶岩脉对称分带模式”,这对指导白龙山-雪风岭一带找矿具有重要意义 (王核等, 2020),在该理论的指导下,项目组也先后在南对称带发现了双牙、雪盆、冰舟和白龙山南锂矿床。

### 3.3 成矿时控性

目前,对大红柳滩一带花岗岩及伟晶岩的成岩成矿时代已做了较多的研究工作,其中最早报道大红柳滩花岗岩年龄的是第一次青藏科考期间张玉泉等在俘虏沟的大红柳滩岩体中利用白云母 K-Ar 法测年分析获得了 172Ma 的年龄值 (中国科学院青藏高原综合科学考察队, 2000)。随着现代定年方法精度的提高,本文统计的花岗岩成岩年龄主要为锆石 U-Pb 年龄,伟晶岩的成岩成矿年龄主要是铌钽铁矿、锡石的 U-Pb 年龄 (表 2)。

研究区赋矿地层主要为三叠系巴颜喀拉山群和古元古界康西瓦岩群。通过对巴颜喀拉山群中的石英砂岩、石英片岩中碎屑锆石的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年,其年龄集中在 223 ~ 235Ma (董瑞等, 2019)。侵入于巴颜喀拉山群中的大红柳滩花岗岩年龄数据较多,最早报到的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 217.4Ma (乔耿彪等, 2015),这也是目前报到的最大年龄,但由于只有 2 颗有效锆石年龄,在此只做参考。结合 Zhou *et al.* (2021) 在白龙山矿田测得的侵入到巴颜喀拉山群的白龙山石英闪长岩岩体年龄  $214.7 \pm 2.0$  Ma, 本文认为该地区巴颜喀拉山群的形成时代为 214 ~ 223Ma。而另一个赋矿层位古元古界康西瓦岩群的 LA-ICP-MS 独居石 U-Pb 年龄为 205 ~ 209Ma (张传林等, 2019),明显较后期侵入的花岗岩及含矿伟晶岩的年龄偏年轻,并不能代表康西瓦岩群的地层年龄,这也反映应用独居石 U-Pb 年龄来确定较老地层或岩浆岩年龄时可能会偏年轻。

矿集区与稀有金属成矿有关的岩体为大红柳滩岩体和

表2 大红柳滩地区地层、花岗岩及伟晶岩年龄统计表

Table 2 Age statistical table of strata, granite and pegmatite in Dahongliutan area

岩性	岩体或矿床	测年方法	测年结果(Ma)	资料来源
二云母石英片岩	巴颜喀拉山群	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	223.0 ± 3.0	董瑞等, 2019
变质长石石英砂岩	巴颜喀拉山群	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	231 ± 3.0	董瑞等, 2019
黑云母石英片岩	巴颜喀拉山群	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	235 ± 3.0	董瑞等, 2019
石榴黑云片岩	康西瓦岩群	LA-ICP-MS 独居石 U-Pb	205.8 ± 1.2	Zhang <i>et al.</i> , 2019
变形的淡色岩脉	康西瓦岩群	LA-ICP-MS 独居石 U-Pb	209.3 ± 1.3	Zhang <i>et al.</i> , 2019
石英闪长岩	阿克苏依岩体	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	216.7 ± 1.8	魏小鹏等, 2018
石英闪长岩	白龙山岩体	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	213.7 ± 2.0	魏小鹏等, 2018
石英闪长岩	白龙山岩体	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	212.3 ± 1.6	Wang <i>et al.</i> , 2020
石英闪长岩	白龙山岩体	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	210.8 ± 1.7	王核, 未发表
石英闪长岩	白龙山岩体	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	214.7 ± 2.0	Zhou <i>et al.</i> , 2021
石英闪长岩	白龙山岩体	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	214.5 ± 2.8	Zhou <i>et al.</i> , 2021
石英闪长岩	白龙山岩体	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	211.3 ± 3.3	谭克彬等, 2021
石英闪长岩	大红柳滩	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	209.9 ± 1.3	Liu <i>et al.</i> , 2020
黑云母花岗岩	大红柳滩岩体	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	214 ± 1.8	丁坤等, 2020
黑云母花岗岩	白龙山岩体	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	211.8 ± 2.3	王核, 未发表
黑云母花岗岩	雪凤岭锂矿	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	209.3 ± 1.3	Yan <i>et al.</i> , 2022
二云母花岗岩	白龙山	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	210.3 ± 1.7	王核, 未发表
二云母花岗岩	大红柳滩	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	209.6 ± 1.5	魏小鹏等, 2017
二云母花岗岩	白龙山锂矿	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	208.3 ± 1.5	Yan <i>et al.</i> , 2022
二云母花岗岩	509道班西锂矿	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	208.8 ± 1.7	谭克彬等, 2021
二长花岗岩	大红柳滩	SHRIMP 锆石 U-Pb	217.4 ± 2.2	乔耿彪等, 2015
二长花岗岩	大红柳滩	SHRIMP 锆石 U-Pb	214 ± 1.8	丁坤等, 2020
二长花岗岩	大红柳滩	白云母 K-Ar 年龄	172	中国科学院青藏高原综合科学考察队, 2000
不含矿伟晶岩	白龙山锂矿	LA-ICP-MS 锡石 U-Pb	212.9 ± 3.6	王核, 未发表
不含矿伟晶岩	白龙山锂矿	LA-ICP-MS 铌铁矿 U-Pb	212.3 ± 0.9	Zhou <i>et al.</i> , 2021
不含矿伟晶岩	大红柳滩北锂矿	LA-ICP-MS 铌铁矿 U-Pb	208.8 ± 1.6	王核(未发表)
锂辉石伟晶岩	大红柳滩锂矿	LA-ICP-MS 铌铁矿 U-Pb	211.9 ± 2.4	Yan <i>et al.</i> , 2018
锂辉石伟晶岩	大红柳滩锂矿	LA-ICP-MS 锡石 U-Pb	223.5 ± 7.9	李侃等, 2019
锂辉石伟晶岩	大红柳滩锂矿	LA-ICP-MS 锡石 U-Pb	218 ± 12	Yan <i>et al.</i> , 2018
锂辉石伟晶岩	白龙山锂矿	LA-ICP-MS 铌钽铁矿 U-Pb	208.1 ± 1.5	Wang <i>et al.</i> , 2020
锂辉石伟晶岩	白龙山锂矿	LA-ICP-MS 铌铁矿 U-Pb	213.7 ± 0.7	Zhou <i>et al.</i> , 2021
锂辉石伟晶岩	白龙山锂矿	LA-ICP-MS 铌钽铁矿 U-Pb	208.3 ± 1.5	Yan <i>et al.</i> , 2022
锂辉石伟晶岩	白龙山锂矿	LA-ICP-MS 锡石 U-Pb	211 ± 4.1	王核, 未发表
锂辉石伟晶岩	白龙山锂矿	LA-ICP-MS 独居石 U-Pb	204.8 ± 0.8	王核, 未发表
锂辉石伟晶岩	雪凤岭锂矿	LA-ICP-MS 铌铁矿 U-Pb	208.2 ± 2.1	白洪阳等, 2022
锂辉石伟晶岩	雪凤岭锂矿	LA-ICP-MS 铌铁矿 U-Pb	208.4 ± 1.7	王核, 未发表
锂辉石伟晶岩	雪凤岭锂矿	LA-ICP-MS 铌铁矿 U-Pb	206.3 ± 1.3	Yan <i>et al.</i> , 2022
锂辉石伟晶岩	雪凤岭锂矿	LA-ICP-MS 锡石 U-Pb	208 ± 15	白洪阳等, 2022
锂辉石伟晶岩	大红柳滩北锂矿	LA-ICP-MS 铌铁矿 U-Pb	206.2 ± 1.2	王核, 未发表
锂辉石伟晶岩	509道班西锂矿	LA-ICP-MS 独居石 U-Pb	200.8 ± 1.6	谭克彬等, 2021

白龙山岩体,其岩性主要为石英闪长岩、黑云母花岗岩、二云母花岗岩、白云母花岗岩和二长花岗岩。其中石英闪长岩、黑云母花岗岩和二长花岗岩为高分异的I型花岗岩,年龄集中在210~214Ma;二云母花岗岩、白云母花岗岩为壳幔岩浆混合成因(丁坤等, 2020),年龄集中在208~210Ma。

本区伟晶岩及其成矿年龄数据较多,如前所述,本文主

要统计伟晶岩中铌钽铁矿、锡石和独居石的U-Pb测年数据,同时剔除个别锡石年龄误差大的年龄(Yan *et al.*, 2018; 李侃等, 2019)。结果显示,不含矿伟晶岩年龄集中在210~213Ma,含矿伟晶岩年龄集中在206~213Ma。说明不含矿伟晶岩形成稍早于含矿伟晶岩,含矿伟晶岩是不含矿伟晶岩连续分异演化形成。

表3 大红柳滩-白龙山一带稀有金属成矿、控矿特征表

Table 3 Metallogenic and ore-controlling characteristics of rare metals in Daliutan-Bailongshan area

控矿条件	成矿有利主要特征
大地构造环境	造山作用晚期,造山带中的“岩浆热隆”带,即喀喇昆仑晚三叠世岩浆弧带
成矿年代	晚三叠世
赋矿层位	三叠系巴颜喀拉山群、古元古界康西瓦岩群
岩浆岩	主要为二云母花岗岩、黑云母花岗岩、石英闪长岩
构造	矿带分布于两个大断裂间次级断裂带中的强片理化带,局部节理控制
围岩	变石英砂岩、二云石英片岩、黑云母石英片岩、红柱石黑云母石英片岩、十字石石榴子石二云石英片岩等
与花岗岩距离	距花岗岩 500 ~ 2000m
伟晶岩岩性	石英-锂辉石伟晶岩、石英-钠长石-锂辉石伟晶岩锂成矿好,以全脉状矿化成矿;白云母-电气石伟晶岩脉铍成矿好
伟晶岩形态	主要为脉状、透镜状、扁豆状
伟晶岩结构	含矿结构主要为小块体或块体伟晶岩、石英-锂辉石带、钠长石-石英-锂辉石带等;非含矿结构为花岗岩结构、文象变文象结构、黑色电气石伟晶岩带
交代作用	与稀有金属成矿密切的交代作用,有叶钠长石-锂辉石化、钠长石-石英-锂辉石化等。交代作用,特别是钠化作用往往与矿化成正比

综上,矿集区内赋矿地层巴颜喀拉山群的形成时代为 214 ~ 223Ma,与稀有金属成矿有关的岩体年龄 208 ~ 214Ma,不含矿伟晶岩年龄为 210 ~ 213Ma,含矿伟晶岩年龄为 206 ~ 213Ma。

### 3.4 构造-岩浆-层位“三位一体”控矿规律

通过笔者课题组研究,研究区伟晶岩稀有金属矿床的成矿控矿因素(表3)较多,但可以总结为三个最重要的找矿要素:(1)发育在片理化带中的伟晶岩脉群,在白云母伟晶岩脉带与石英脉之间为锂辉石伟晶岩脉发育地段;(2)距印支期(210 ~ 218Ma)二云母花岗岩 0.5 ~ 2km 的范围内;(3)围岩为巴颜喀拉山群地层。

由 NW 向 SE,西昆仑稀有金属成矿带分为:木吉-塔什库尔干铍稀有金属成矿亚带、谢依拉-大红柳滩锂稀有金属成矿亚带。大红柳滩-白龙山矿集区位于谢依拉-大红柳滩锂稀有金属成矿亚带,与成矿相关的晚三叠世花岗岩和稀有金属矿床均受康西瓦断裂与大红柳滩-郭扎错断裂控制,呈北西-南东向展布。

通过对大红柳滩一带典型矿床解剖发现,构造对伟晶岩具有重要的控制作用。大多数含矿伟晶岩脉产于距离岩体 500 ~ 2000m 的巴颜喀拉山群地层的片理化带中,顺片理产出,有些受层间褶皱控制,如在大红柳滩东锂矿产于无根褶皱中的含矿伟晶岩脉(图 11a);在白龙山锂矿深部钻孔岩芯中可见到含矿伟晶岩受到后期剪切作用形成压力影(图 11b);也可见含矿伟晶岩脉沿背斜轴部挤压作用形成的断裂充填(图 11c, d)。

研究表明,一些贯通性的矿物,如黑云母、白云母、长石(周楷麟,2021)、石榴子石(Zhang *et al.*, 2022),往往显示出异常高的锂含量。白龙山石英闪长岩中的黑云母 Li 含量为  $737 \times 10^{-6} \sim 801 \times 10^{-6}$ ,黑云母花岗岩的黑云母 Li 含量 1069

$\times 10^{-6} \sim 2297 \times 10^{-6}$ ,二云母花岗岩的黑云母 Li 含量则高达  $3844 \times 10^{-6} \sim 5941 \times 10^{-6}$ (周楷麟,2021),该岩体成岩年龄 208 ~ 214Ma,伟晶岩成矿年龄 206 ~ 213Ma,反映出白龙山河体可能是锂多金属矿伟晶岩的成矿母岩体。

受康西瓦大断裂带和三叠纪花岗岩带的联合控制,锂稀有金属矿化主要集中分布于大红柳滩-白龙山花岗岩穹窿南北两侧的地层中。区内变质岩至花岗岩带中既具有利的地层条件(三叠纪巴颜喀拉山群、元古代康西瓦岩群变质岩系),又是准原地交代和岩浆侵入形成的多期成矿岩体,成型的矿床则分带产出,受更局部的有利成矿因素(强片理化带等)所控制。

稀有金属矿产与中生代岩浆岩具有耦合关系,成矿的母岩为 208 ~ 214Ma 的中酸性岩浆岩(二云母花岗岩、黑云母花岗岩等),在其演化后期分异的含锂稀有金属伟晶岩脉沿着片理化带的薄弱地段就位成矿,成矿空间为距离中酸性岩体 500 ~ 2000m 的巴颜喀拉山群(或康西瓦岩群)地层中,符合构造-岩浆-层位“三位一体”的控矿规律。

## 4 结论

(1)白龙山-大红柳滩矿集区从北至南划分为 5 个稀有金属矿化伟晶岩脉群带,分别为阿克萨依稀稀有金属矿化伟晶岩脉群带、大红柳滩北稀有金属矿化伟晶岩脉群带、大红柳滩南稀有金属矿化伟晶岩脉群带、白龙山-雪风岭锂矿化伟晶岩脉群带、俘虏沟-双牙锂矿化伟晶岩脉群带。

(2)稀有金属矿产与中生代岩浆岩具有耦合关系,围绕着白龙山成矿母体花岗岩,伟晶岩脉群表现为“伟晶岩脉对称分带模式”,对指导进一步找矿具有重要意义。

(3)成矿母岩(二云母花岗岩、黑云母花岗岩等)演化后期分异的含锂稀有金属伟晶岩脉沿着片理化带或构造的薄

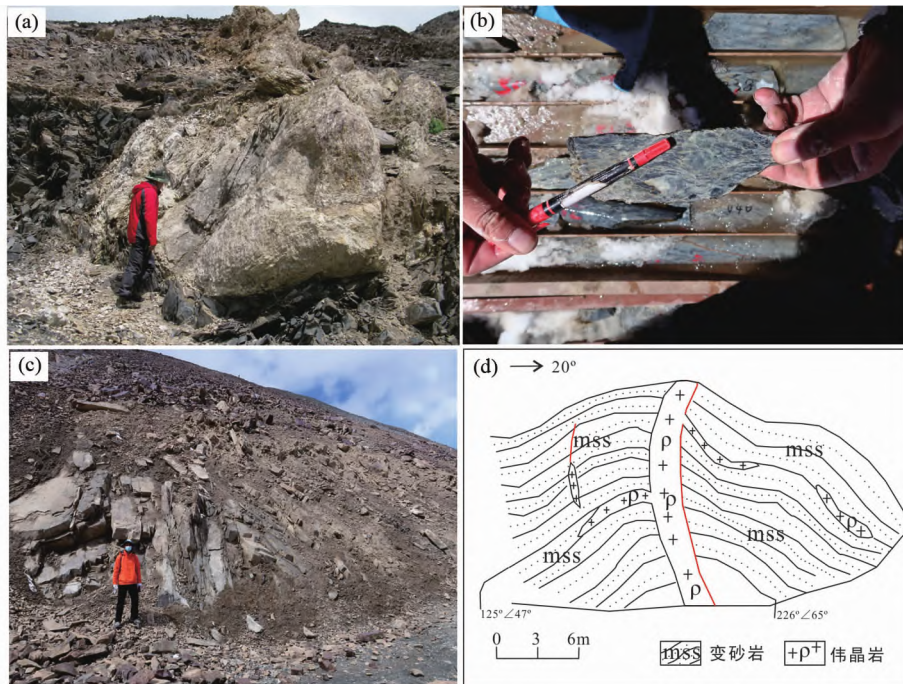


图 11 伟晶岩脉的变形特征

(a) 大红柳滩东锂矿产于无根褶皱中的含矿伟晶岩脉; (b) 白龙山锂矿钻孔中含矿伟晶岩中的压力影; (c) 龙门山锂矿含矿伟晶岩脉产于背斜轴部的断裂带中; (d) 产于背斜轴部的断裂带中含矿伟晶岩脉素描

Fig. 11 Deformation characteristics of pegmatite vein

(a) ore-bearing pegmatite vein in rootless fold in Dahongliutan East lithium deposit; (b) pressure shadow in ore-bearing pegmatite in borehole of Bailongshan lithium deposit; (c) ore-bearing pegmatite vein occurs in the fault zone of anticline axis, Longmengshan lithium deposit; (d) sketch of ore-bearing pegmatite vein in fault zone of anticline axis

弱地段就位成矿,成矿空间为距离中酸性岩体 500 ~ 2000m 的巴颜喀拉山群(或康西瓦岩群)地层中,具有构造-岩浆-层位“三位一体”控矿规律。

(4) 俘虏沟-双牙锂矿化伟晶岩脉群带由于海拔高,多在 5300 ~ 5900m,特别是冰舟锂矿和白龙山南锂矿一带覆盖严重,勘探工作较为薄弱,显示了巨大的找矿潜力,是下一步找矿的重要地段。

**致谢** 野外工作得到西安地质调查中心任广利教授级高工、新疆地矿局三大队韩红卫教授级高工等的大力支持和帮助;论文撰写过程中得到了李建康研究员、陈正乐研究员等人的悉心帮助;在此一并致以诚挚的谢意。由于涉及的研究资料和文献实在太多,无法一一注明,笔者对此深表歉意。

## References

- Bai HY, Wang H, Yan QH, Wang SM, Wang ZH, Zhang XY, Gao H and Qin Y. 2022. Columbite-tantalite and cassiterite ages of Xuefengling lithium deposit in West Kunlun, Xinjiang and their geological significance. *Acta Petrologica Sinica*, 38 (7): 2139 – 2152 (in Chinese with English abstract)
- Benson TR, Coble MA, Rytuba JJ and Mahood GA. 2017. Lithium enrichment in intracontinental rhyolite magmas leads to Li deposits in caldera basins. *Nature Communications*, 8: 270
- Chinese Academy of Sciences Comprehensive Scientific Expedition Team of Qinghai-Tibet Plateau. 2000. *Karakorum Mountain: Geological Evolution of Kunlun Mountain Area*. Beijing: Science Press (in Chinese)
- Ding K, Liang T, Zhou Y, Feng YG, Zhang Z, Ding L and Li K. 2020. Petrogenesis of Dahongliutan biotite monzogranite in Western Kunlun Orogen: Evidence from zircon U-Pb age and Li-Hf isotope. *Northwestern Geology*, 53 (1): 24 – 34 (in Chinese with English abstract)
- Dong R, Wang H, Yan QH, Zhang XY, Wei XP, Li P and Zhou KL. 2019. Geochemical characteristics and zircon U-Pb ages of the Bayankalashan Group in the Tianshuihai Terrain of the West Kunlun Orogenic Belt: Implication for its provenance and tectonic environment. *Geotectonica et Metallogenia*, 43 (6): 1236 – 1257 (in Chinese with English abstract)
- Feng J, Jia HX, Xu SQ, Chen JZ, Tan KB, Wang HF and Zhang P. 2021. Prospecting model of pegmatite type lithium beryllium deposit in Dahongliutan ore concentration area of West Kunlun and its geological implications. *Xinjiang Geology*, 39 (3): 410 – 417 (in Chinese with English abstract)
- Fu XF, Yuan LP, Wang DH, Hou LW, Pan M, Hao XF, Liang B and Tang Y. 2015. Mineralization characteristics and prospecting model of newly discovered X03 rare metal vein in Jiajika orefield, Sichuan. *Mineral Deposits*, 34 (6): 1172 – 1186 (in Chinese with English abstract)
- Hu J, Wang H, Huang CY, Tong LX, Mu SL and Qiu ZW. 2016. Geological characteristics and age of the Dahongliutan Fe-ore deposit in the western Kunlun orogenic belt, Xinjiang, northwestern China. *Journal of Asian Earth Sciences*, 116: 1 – 25
- Hu J, Wang H, Han HW, Wei Y and Mu SL. 2016. Genesis of the Dahongliutan iron deposit in the Tianshuihai Terrane, West Kunlun



- and its prospecting significance. *Geotectonica et Metallogenia*, 40 (5): 949–959 (in Chinese with English abstract)
- Hu J, Wang H and Wang M. 2017. Geochemistry and origin of the Neoproterozoic Dahongliutan banded iron formation (BIF) in the western Kunlun orogenic belt, Xinjiang (NW China). *Ore Geology Reviews*, 89: 836–857
- Ji WH, Han FL, Wang JC and Zhang JL. 2004. Composition and geochemistry of the Subashi ophiolitic mélange in the West Kunlun and its geological significance. *Geological Bulletin of China*, 23 (12): 1196–1201 (in Chinese with English abstract)
- Ji WH, Li RS, Chen SJ, He SP, Zhao ZM, Bian XW, Zhu HP, Cui JG and Ren JG. 2011. The discovery of Palaeoproterozoic volcanic rocks in the Bulunkuoler Group from the Tianshuihai Massif in Xinjiang of Northwest China and its geological significance. *Science China (Earth Sciences)*, 54(1): 61–72
- Jiang CF, Wang ZQ and Li JY. 2000. Opening-Closing Tectonics of the Central Orogenic Belt. Beijing: Geological Publishing House, 1–54 (in Chinese)
- Jiang YH, Jia RY, Liu Z, Liao SY, Zhao P and Zhou Q. 2013. Origin of Middle Triassic high-K calc-alkaline granitoids and their potassic microgranular enclaves from the western Kunlun orogen, Northwest China: A record of the closure of Paleo-Tethys. *Lithos*, 156–159: 13–30
- Li JK, Liu XF and Wang DH. 2014. The metallogenic regularity of lithium deposit in China. *Acta Geologica Sinica*, 88(12): 2269–2283 (in Chinese with English abstract)
- Li JK, Li P, Wang DH and Li XJ. 2019. A review of niobium and tantalum metallogenic regularity in China. *Chinese Science Bulletin*, 64(15): 1545–1566
- Li K, Gao YB, Teng JX, Jin MS and Li W. 2019. Metallogenic geological characteristics, mineralization age and resource potential of the granite-pegmatite-type rare metal deposits in Dahongliutan Area, Hetian County, Xinjiang. *Northwestern Geology*, 52(4): 206–221 (in Chinese with English abstract)
- Liu J, Cao ZJ, Zhao JZ, Cheng R and Zhang Z. 2019. Geological characteristics and genesis of the Huangcaohu potassium boron lithium deposit in Hetian, Xinjiang. *West-China Exploration Engineering*, 31 (12): 125–127 (in Chinese with English abstract)
- Liu LJ, Wang DH, Liu XF, Li JK, Dai HZ and Yan WD. 2017. The main types, distribution features and present situation of exploration and development for domestic and foreign lithium mine. *Geology in China*, 44(2): 263–278 (in Chinese with English abstract)
- Liu X, Zhou FC, Huang ZB, Li JK, Zhou HX, Xiao GQ, Bao YH, Li P, Tan LM, Shi WK, Su JN, Huang XQ, Chen H, Wang XM, Lin Y and Liu XM. 2018. Discovery of Renli superlarge pegmatite-type Nb-Ta polymetallic deposit in Pingjiang, Hunan Province and its significances. *Geotectonica et Metallogenia*, 42(2): 235–243 (in Chinese with English abstract)
- Liu XQ, Zhang CL, Zou HB, Wang Q, Hao XS, Zhao HX and Ye XT. 2020. Triassic-Jurassic granitoids and pegmatites from Western Kunlun-Pamir Syntax: Implications for the Paleo-Tethys evolution at the northern margin of the Tibetan Plateau. *Lithosphere*, 2020: 7282037
- Pan YS. 1990. Tectonic features and evolution of the Western Kunlun Mountain region. *Scientia Geologica Sinica*, (3): 224–232 (in Chinese with English abstract)
- Pan YS. 1994. Discovery and evidence of the fifth suture zone of Qinghai-Xizang plateau. *Acta Geophysica Sinica*, 37(2): 184–192 (in Chinese with English abstract)
- Peng HL, He NQ, Wang MC, Du B, Li WJ and Liu YQ. 2018. Geological characteristics and metallogenic regularity of west Track 509 rare polymetallic deposit in Dahongliutan Region, Hetian, Xinjiang. *Northwestern Geology*, 51(3): 146–154 (in Chinese with English abstract)
- Qiao GB, Zhang HD, Wu YZ, Jin MS, Du W, Zhao XJ and Chen DH. 2015. Petrogenesis of the Dahongliutan monzogranite in western Kunlun: Constraints from SHRIMP zircon U-Pb geochronology and geochemical characteristics. *Acta Geologica Sinica*, 89(7): 1180–1194 (in Chinese with English abstract)
- Qin KZ, Zhao JX, He CT and Shi RZ. 2021. Discovery of the Qiongiagang giant lithium pegmatite deposit in Himalaya, Tibet, China. *Acta Petrologica Sinica*, 37(11): 3277–3286 (in Chinese with English abstract)
- Sun HT, Li CJ, Wu H, Wang HJ, Qi SJ, Chen GM, Liu ZT and Gao P. 2003. Introduction to West Kunlun Metallogenic Province. Beijing: Geological Publishing House, 1–255 (in Chinese)
- Tan KB, Deng G, Liu J, Tiao LL, Cao ZJ, Wang DY and Li J. 2016. The new-found super large boron and lithium saline lake deposits in the Kushi Lake of the Western Kunlun Mountains, Xinjiang. *Xinjiang Geology*, 34(4): 488–490 (in Chinese with English abstract)
- Tan KB, Guo QM and Guo YM. 2021. U-Pb age of granite from Li-beryllium polymetallic deposit and its tectonic significance in 509 Daobanxi of Hotan, Xinjiang. *Nonferrous Metals of Xinjiang*, 44(2): 6–10 (in Chinese)
- Wang BZ, Han J, Xie XL, Chen J, Wang T, Xue WW, Bai ZH and Li SP. 2020. Discovery of the Indosinian (beryl-bearing) spodumene pegmatitic dike swarm in the Chakaibeishan area in the northeastern margin of the Tibetan Plateau: Implications for Li-Be mineralization. *Geotectonica et Metallogenia*, 44(1): 69–79 (in Chinese with English abstract)
- Wang DH, Sun Y, Liu XF, Tian SH, Dai JJ, Liu LJ and Ma SC. 2018. Deep exploration technology and prospecting direction for lithium energy metal. *Geological Survey of China*, 5(1): 1–9 (in Chinese with English abstract)
- Wang DH, Sun Y, Dai HZ, Guo WM, Zhao Z, Zhao T, Li JK, Wang CH, Huang F, Yu Y and Li DX. 2019. Characteristics and exploitation of rare earth, rare metal and rare-scattered element minerals in China. *Strategic Study of CAE*, 21(1): 119–127 (in Chinese with English abstract)
- Wang H, Li P, Ma HD, Zhu BY, Qiu L, Zhang XY, Dong R, Zhou KL, Wang M, Wang Q, Yan QH, Wei XP, He B, Lu H and Gao H. 2017. Discovery of the Bailongshan superlarge lithium-rubidium deposit in Karakorum, Hetian, Xinjiang, and its prospecting implication. *Geotectonica et Metallogenia*, 41(6): 1053–1062 (in Chinese with English abstract)
- Wang H, Gao H, Ma HD, Zhu BY, Xing CH, Zhou KL, Zhu BZ, Wang ZH, Wang M, Dong R, Yan QH and Zhang XY. 2020. Geological characteristics and pegmatite vein group zoning of the Xuefengling, Xuepen, and Shuangya lithium deposits in Karakorum, Hetian, Xinjiang. *Geotectonica et Metallogenia*, 44(1): 57–68 (in Chinese with English abstract)
- Wang H, Gao H, Zhang XY, Yan QH, Xu YG, Zhou KL, Dong R and Li P. 2020. Geology and geochronology of the super-large Bailongshan Li-Rb-(Be) rare-metal pegmatite deposit, West Kunlun orogenic belt, NW China. *Lithos*, 360–361: 105449
- Wang H, Xu YG, Yan QH and Zhang XY. 2021. Research progress on Bailongshan pegmatite type lithium deposit, Xinjiang. *Acta Geologica Sinica*, 95(10): 3085–3098 (in Chinese with English abstract)
- Wang J, Hattori K, Liu JG, Song Y, Gao YB and Zhang H. 2017. Shoshonitic- and adakitic magmatism of the Early Paleozoic age in the western Kunlun orogenic belt, NW China: Implications for the early evolution of the northwestern Tibetan Plateau. *Lithos*, 286–287: 345–362
- Wang W, Du XF, Liu W, Li Y, Chen ZL, Ma HD, Qiu L and Xiao F. 2022. Geological characteristic and discussion on metallogenic age of the West 509-Daoban Li-Be rare metal deposit in the West Kunlun Orogenic Belt. *Acta Petrologica Sinica*, 38(7): 1967–1980 (in Chinese with English abstract)
- Wei XP, Wang H, Hu J, Mu SL, Qiu ZW, Yan QH and Li P. 2017. Geochemistry and geochronology of the Dahongliutan two-mica granite pluton in western Kunlun orogen: Geotectonic implications. *Geochimica*, 46(1): 66–80 (in Chinese with English abstract)
- Wei XP, Wang H, Zhang XY, Dong R, Zhu SB, Xing CH, Li P, Yan

- QH and Zhou KL. 2018. Petrogenesis of Triassic high-Mg diorites in western Kunlun orogen and its tectonic implication. *Geochimica*, 47(4): 363–379 (in Chinese with English abstract)
- Wu FY, Wan B, Zhao L, Xiao WJ and Zhu RX. 2020. Tethyan geodynamics. *Acta Petrologica Sinica*, 36(6): 1627–1674 (in Chinese with English abstract)
- Xiao WJ, Windley BF, Chen HL, Zhang GC and Li JL. 2002. Carboniferous-Triassic subduction and accretion in the western Kunlun, China: Implications for the collisional and accretionary tectonics of the northern Tibetan Plateau. *Geology*, 30(4): 295–298
- Xiao WJ, Han FL, Windley BF, Yuan C, Zhou H and Li JL. 2003. Multiple accretionary orogenesis and episodic growth of continents: Insights from the Western Kunlun Range, central Asia. *International Geology Review*, 45(4): 303–328
- Xiao WJ, Windley BF, Liu DY, Jian P, Liu CZ, Yuan C and Sun M. 2005. Accretionary tectonics of the Western Kunlun Orogen, China: A Paleozoic-Early Mesozoic, long-lived active continental margin with implications for the growth of southern Eurasia. *The Journal of Geology*, 113(6): 687–705
- Xu XW, Li H, Shi FP, Yao FJ, Chen JZ, Yang ZQ, Hong T and Ke Q. 2019. Metallogenic characteristics and prospecting of granitic pegmatite-type rare metal deposits in the Tugeman area, middle part of Altyn Tagh. *Acta Petrologica Sinica*, 35(11): 3303–3316 (in Chinese with English abstract)
- Yan QH, Qiu ZW, Wang H, Wang M, Wei XP, Li P, Zhang RQ, Li CY and Liu JP. 2018. Age of the Dahongliutan rare metal pegmatite deposit, West Kunlun, Xinjiang (NW China): Constraints from LA-ICP-MS U-Pb dating of columbite-(Fe) and cassiterite. *Ore Geology Reviews*, 100: 561–573
- Yan QH, Wang H, Chi GX, Wang Q, Hu H, Zhou KL and Zhang XY. 2022. Recognition of a 600-km-long Late Triassic rare metal (Li-Rb-Be-Nb-Ta) pegmatite belt in the western Kunlun orogenic belt, western China. *Economic Geology*, 117(1): 213–236
- Yuan C, Sun M, Yang JS, Zhou H and Zhou MF. 2004. Nb-depleted, continental rift-related Akaz metavolcanic rocks (West Kunlun): Implication for the rifting of the Tarim craton from Gondwana. *Geological Society, London, Special Publications*, 226(1): 131–143
- Yuan C, Sun M, Zhou MF, Xiao WJ and Zhou H. 2005. Geochemistry and petrogenesis of the Yishak volcanic sequence, Kudi ophiolite, West Kunlun (NW China): Implications for the magmatic evolution in a subduction zone environment. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 150(2): 195–211
- Zhai MG, Wu FY, Hu RZ, Jiang SY, Li WC, Wang RC, Wang DH, Qi T, Qin KZ and Wen HJ. 2019. Critical metal mineral resources: Current research status and scientific issues. *Bulletin of National Natural Science Foundation of China*, 33(2): 106–111 (in Chinese with English abstract)
- Zhang CL, Yu HF, Wang AG and Guo KY. 2005. Dating of Triassic granites in the western Kunlun Mountains and its tectonic significance. *Acta Geologica Sinica*, 79(5): 645–652 (in Chinese with English abstract)
- Zhang CL, Zou HB, Ye XT and Chen XY. 2018. Tectonic evolution of the NE section of the Pamir Plateau: New evidence from field observations and zircon U-Pb geochronology. *Tectonophysics*, 723: 27–40
- Zhang CL, Zou HB, Ye XT and Chen XY. 2019. Tectonic evolution of the West Kunlun Orogenic Belt along the northern margin of the Tibetan Plateau: Implications for the assembly of the Tarim terrane to Gondwana. *Geoscience Frontiers*, 10(3): 973–988
- Zhang CL, Ma HD, Zhu BY, Ye XT, Qiu L, Zhao HX, Liu XQ, Ding T, Wang Q and Hao XS. 2019. Tectonic evolution of the Western Kunlun-Karakorum Orogenic Belt and its coupling with the mineralization effect. *Geological Review*, 65(5): 1077–1102 (in Chinese with English abstract)
- Zhang XG, Xiao BX and Yang BZ. 2008. Geological characteristics and genesis of spodumene deposit in Dahongliutan, Xinjiang. *Xinjiang Nonferrous Metals*, (Suppl. 1): 18–20, 23 (in Chinese)
- Zhang XY, Wang H and Yan QH. 2022. Garnet geochemical compositions of the Bailongshan lithium polymetallic deposit in Xinjiang Province: Implications for magmatic-hydrothermal evolution. *Ore Geology Reviews*, 150: 105178
- Zhou B, Sun YX and Kong DY. 2011. Geological features and prospecting potential of rare metallic deposits in the Dahongliutan region, Xinjiang. *Acta Geologica Sichuan*, 31(3): 288–292 (in Chinese with English abstract)
- Zhou KL. 2021. Pegmatite evolution characteristics and constraints on genesis of Bailongshan lithium deposit, West-Kunlun, China. Ph. D. Dissertation. Guangzhou: Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences (in Chinese with English abstract)
- Zhou JS, Wang Q, Xu YG, Cempírek J, Wang H, Ma JL, Wei GJ, Huang TY, Zhu GH and Zhang L. 2021. Geochronology, petrology, and lithium isotope geochemistry of the Bailongshan granite-pegmatite system, northern Tibet: Implications for the ore-forming potential of pegmatites. *Chemical Geology*, 584: 120484

### 附中文参考文献

- 白洪阳, 王核, 闫庆贺, 王赛蒙, 王振宏, 张晓宇, 高昊, 秦艳. 2022. 新疆西昆仑雪风岭锂矿床铌钽铁矿、锡石年龄及其地质意义. *岩石学报*, 38(7): 2139–2152
- 丁坤, 梁婷, 周义, 凤永刚, 张泽, 丁亮, 李侃. 2020. 西昆仑大红柳滩黑云母二长花岗岩岩石成因: 来自锆石 U-Pb 年龄及 Li-Hf 同位素的证据. *西北地质*, 53(1): 24–34
- 董瑞, 王核, 闫庆贺, 张晓宇, 魏小鹏, 李沛, 周楷麟. 2019. 西昆仑甜水海地块巴颜喀拉山群地球化学特征和碎屑锆石 U-Pb 年代学特征: 对物源及构造环境的启示. *大地构造与成矿学*, 43(6): 1236–1257
- 冯京, 贾红旭, 徐仕琪, 陈建中, 谭克彬, 王厚方, 张朋. 2021. 西昆仑大红柳滩矿集区伟晶岩型锂铍矿床找矿模型及意义. *新疆地质*, 39(3): 410–417
- 付小方, 袁蔺平, 王登红, 侯立玮, 潘蒙, 郝雪峰, 梁斌, 唐屹. 2015. 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. *矿床地质*, 34(6): 1172–1186
- 胡军, 王核, 韩红卫, 魏勇, 慕生禄. 2016. 西昆仑甜水海地块大红柳滩铁矿成因浅析及找矿意义. *大地构造与成矿学*, 40(5): 949–959
- 计文化, 韩芳林, 王炬川, 张俊量. 2004. 西昆仑于田南部苏巴什蛇绿混杂岩的组成、地球化学特征及地质意义. *地质通报*, 23(12): 1196–1201
- 计文化, 李荣社, 陈守建, 何世平, 赵振明, 边小卫, 朱海平, 崔继岗, 任绍刚. 2011. 甜水海地块古元古代火山岩的发现及其地质意义. *中国科学(地球科学)*, 41(9): 1268–1280
- 姜春发, 王宗起, 李锦轶. 2000. 中央造山带开合构造. 北京: 地质出版社, 1–154
- 李建康, 刘喜方, 王登红. 2014. 中国锂矿成矿规律概要. *地质学报*, 88(12): 2269–2283
- 李侃, 高永宝, 滕家欣, 金谋顺, 李伟. 2019. 新疆和田县大红柳滩一带花岗岩伟晶岩型稀有金属矿成矿地质特征、成矿时代及找矿方向. *西北地质*, 52(4): 206–221
- 刘建, 曹子健, 赵建忠, 程瑞, 张站. 新疆和田县黄草湖钾硼锂矿床地质特征及矿床成因. 2019. *西部探矿工程*, 31(12): 125–127

- 刘丽君,王登红,刘喜方,李建康,代鸿章,闫卫东. 2017. 国内外锂矿主要类型、分布特点及勘查开发现状. 中国地质, 44(2): 263-278
- 刘翔,周芳春,黄志彪,李建康,周厚祥,肖国强,包云河,李鹏,谭黎明,石威科,苏俊男,黄小强,陈虎,汪宣民,林跃,刘晓敏. 2018. 湖南平江县仁里超大型伟晶岩型铌钽多金属矿床的发现及其意义. 大地构造与成矿学, 42(2): 235-243
- 潘裕生. 1990. 西昆仑山构造特征与演化. 地质科学, (3): 224-232
- 潘裕生. 1994. 青藏高原第五缝合带的发现与论证. 地球物理学报, 37(2): 184-192
- 彭海练,贺宁强,王满仓,杜彪,李武杰,刘幼骥. 2018. 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. 西北地质, 51(3): 146-154
- 乔耿彪,张汉德,伍跃中,金谋顺,杜玮,赵晓健,陈登辉. 2015. 西昆仑大红柳滩岩体地质和地球化学特征及对岩石成因的制约. 地质学报, 89(7): 1180-1194
- 秦克章,赵俊兴,何畅通,施睿哲. 2021. 喜马拉雅琼嘉岗超大型伟晶岩型锂矿的发现及意义. 岩石学报, 37(11): 3277-3286
- 孙海田,李纯杰,吴海,王宏军,祁世军,陈贵民,刘振涛,高鹏. 2003. 西昆仑金属成矿省概论. 北京:地质出版社, 1-255
- 谭克彬,邓嗣,刘建,跳列力,曹子健,王丹阳,李建. 2016. 西昆仑新发现盐湖型卤水硼锂矿床. 新疆地质, 33(4): 488-503
- 谭克彬,郭岐明,郭勇明. 2021. 新疆和田509道班西锂铍多金属矿床花岗岩U-Pb年龄及其构造意义. 新疆有色金属, 44(2): 6-10
- 王秉璋,韩杰,谢祥镭,陈静,王涛,薛万文,白宗海,李善平. 2020. 青藏高原东北缘茶卡北山印支期(含绿柱石)锂辉石伟晶岩脉群的发现及Li-Be成矿意义. 大地构造与成矿学, 44(1): 69-79
- 王登红,孙艳,刘喜方,田世洪,代晶晶,刘丽君,马圣钞. 2018. 锂能源金属矿产深部探测技术方法与找矿方向. 中国地质调查, 5(1): 1-9
- 王登红,孙艳,代鸿章,郭唯明,赵芝,赵汀,李建康,王成辉,黄凡,于扬,李德先. 2019. 我国“三稀矿产”的资源特征及开发利用研究. 中国工程科学, 21(1): 119-127
- 王核,李沛,马华东,朱炳玉,邱林,张晓宇,董瑞,周楷麟,王敏,王茜,闫庆贺,魏小鹏,何斌,卢鸿,高昊. 2017. 新疆和田县白龙山超大型伟晶岩型锂铍多金属矿床的发现及其意义. 大地构造与成矿学, 41(6): 1053-1062
- 王核,高昊,马华东,朱炳玉,邢春辉,周楷麟,朱宝彰,王振宏,王敏,董瑞,闫庆贺,张晓宇. 2020. 新疆和田县雪凤岭锂矿床、雪盆锂矿床和双牙锂矿床地质特征及伟晶岩脉群分带初步研究. 大地构造与成矿学, 44(1): 57-68
- 王核,徐义刚,闫庆贺,张晓宇. 2021. 新疆白龙山伟晶岩型锂矿床研究进展. 地质学报, 95(10): 3085-3098
- 王威,杜晓飞,刘伟,李永,陈正乐,马华东,邱林,肖飞. 2022. 西昆仑509道班西锂铍稀有金属矿地质特征与成矿时代探讨. 岩石学报, 38(7): 1967-1980
- 魏小鹏,王核,胡军,慕生禄,丘增旺,闫庆贺,李沛. 2017. 西昆仑大红柳滩二云母花岗岩地球化学和地质年代学研究及其地质意义. 地球化学, 46(1): 66-80
- 魏小鹏,王核,张晓宇,董瑞,朱世波,邢春辉,李沛,闫庆贺,周楷麟. 2018. 西昆仑东部晚三叠世高镁闪长岩的成因及其地质意义. 地球化学, 47(4): 363-379
- 吴福元,万博,赵亮,肖文交,朱日祥. 2020. 特提斯地球动力学. 岩石学报, 36(6): 1627-1674
- 徐兴旺,李杭,石福品,姚佛军,陈建中,杨智全,洪涛,柯强. 2019. 阿尔金中段吐格曼地区花岗岩伟晶岩型稀有金属成矿特征与找矿预测. 岩石学报, 35(11): 3303-3316
- 翟明国,吴福元,胡瑞忠,蒋少涌,李文昌,王汝成,王登红,齐涛,秦克章,温汉捷. 2019. 战略性关键金属矿产资源: 现状与问题. 中国科学基金, 33(2): 106-111
- 张传林,于海锋,王爱国,郭坤一. 2005. 西昆仑西段三叠纪两类花岗岩年龄测定及其构造意义. 地质学报, 79(5): 645-652
- 张传林,马华东,朱炳玉,叶现韬,邱林,赵海香,刘晓强,丁腾,王倩,郝晓姝. 2019. 西昆仑-喀喇昆仑造山带构造演化及其成矿效应. 地质论评, 65(5): 1077-1102
- 张新国,肖北西,杨本忠. 2008. 新疆大红柳滩锂辉石矿床的地质特征及成因. 新疆有色金属, (增1): 18-20, 23
- 中国科学院青藏高原综合科学考察队. 2000. 喀喇昆仑山-昆仑山地区地质演化. 北京:科学出版社
- 周兵,孙义选,孔德懿. 2011. 新疆大红柳滩地区稀有金属矿成矿地质特征及找矿前景. 四川地质学报, 31(3): 288-292
- 周楷麟. 2021. 西昆仑白龙山锂矿伟晶岩演化特征及对矿床成因的制约. 博士学位论文. 广州:中国科学院广州地球化学研究所