

doi: 10.19388/j.zgdzdc.2024.03.03

引用格式: 张朋, 刘豹, 杨晓飞, 等. 新疆阿尔金西段瓦石峡南锂铍稀有金属矿成矿背景与勘查进展[J]. 中国地质调查, 2024, 11(3): 17–24. (Zhang P, Liu B, Yang X F, et al. Metallogenic background and exploration progress of the southern Waishixia lithium–beryllium rare metal deposit in the western Altyn Tagh of Xinjiang Province[J]. Geological Survey of China, 2024, 11(3): 17–24.)

新疆阿尔金西段瓦石峡南锂铍稀有金属矿 成矿背景与勘查进展

张朋¹, 刘豹¹, 杨晓飞¹, 罗新涛¹, 邓浪江¹, 樊自春¹, 刘兴忠¹,
陈建中^{1*}, 刘善宝², 王登红², 代鸿章^{2*}

(1. 新疆维吾尔自治区地质矿产勘查开发局第三地质大队, 新疆 库尔勒 841000; 2. 自然资源部
成矿作用与资源评价重点实验室, 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037)

摘要: 锂、铍等稀有金属矿产是重要的战略矿产资源。近年来, 在阿尔金地区发现了多处稀有金属伟晶岩型矿床, 已成为我国一处新的稀有金属成矿带, 但调查研究水平总体较低。通过对阿尔金造山带的成矿动力背景的讨论, 得出阿尔金造山带的稀有金属成矿作用涵盖了多个不同的造山运动构造演化阶段, 证明该区域具备良好的稀有金属成矿条件, 并具有巨大的找矿潜力。通过对位于阿尔金西段的瓦石峡南锂铍稀有金属矿进行勘查评价, 发现其具有大型远景: 瓦石峡南锂铍稀有金属矿体主要赋存于绿片岩相–角闪岩相变质岩系中的伟晶岩脉中, 矿床类型为花岗伟晶岩型稀有金属矿床; 已有勘查成果显示此矿床目前推断的稀有金属资源量达到中型以上矿床规模, 并且随着勘查工作的进行, 在深部及外围还有极大增储空间。研究成果对在阿尔金造山带内寻找同类型矿床具有借鉴意义。

关键词: 阿尔金; 瓦石峡南锂铍稀有金属矿; 花岗伟晶岩型稀有金属矿床; 成矿动力背景; 找矿前景

中图分类号: P618.6

文献标志码: A

文章编号: 2095–8706(2024)03–0017–08

0 引言

稀有金属指在地壳中含量较低的金属元素, 其产量有限且具有珍稀性和稀缺性, 它们在现代工业、科技和制造业中扮演着重要角色。近年来, 在新疆西昆仑已发现多处具有大型—超大型找矿前景的锂辉石型伟晶岩矿床, 以大红柳滩锂铍矿床、509道班锂铍矿床和大红柳滩南锂铍矿床为代表, 目前已经形成了锂矿的勘查开发基地。相对而言,

虽在阿尔金地区也发现了多处稀有金属伟晶岩型矿床, 但调查研究水平总体较低。阿尔金西段位于塔里木盆地与阿尔金—昆仑山脉的过渡地带, 其北部的山前地带, 地形抬升极为强烈。阿尔金地区因长期以来受限于其恶劣的交通条件和复杂的地质环境, 矿产勘查开发一直受到严重制约。过去, 该地区发现的矿床主要以玉石、石英岩、萤石等非金属矿产为主, 并且规模较小, 其他矿产一直未有突破性进展^[1]。但自2015年在阿尔金地区首次发现含绿柱石伟晶岩脉以来, 情况逐渐发生变化, 随着

收稿日期: 2024–03–14; 修订日期: 2024–04–15。

基金项目: 中华人民共和国科学技术部“我国西部伟晶岩型锂等稀有金属成矿规律与勘查技术项目(编号: 2021YFC2901900)”, 中国地质调查局“战略新兴产业矿产地质调查(编号: DD20230034)”、“锂铍铌钽等战略新兴矿产调查与潜力评价(编号: DD20230055)”、“松潘—甘孜成锂带锂铍多金属大型资源基地综合调查评价(编号: DD20190173)”和新疆维吾尔自治区地质勘查基金项目管理中心“新疆若羌县瓦石峡南锂铍矿预查项目(编号: K20–3–XJ006)”联合资助。

第一作者简介: 张朋(1986—), 男, 高级工程师, 主要从事稀有金属成矿规律与勘查评价方面的工作。Email: 442551178@qq.com。

通信作者简介: 陈建中(1971—), 男, 高级工程师, 主要从事稀有金属成矿规律与勘查评价方面的工作。Email: 948126694@qq.com。

代鸿章(1985—), 男, 副研究员, 主要从事成矿规律和矿产勘查评价方面的工作。Email: Daihz_cags@163.com。

吐格曼锂铍矿^[2-4]、瓦石峡南锂铍矿(砂锂沟)^[5]、卡尔恰尔西南萤石矿^[6]等矿床的相继发现,引发了阿尔金西段以稀有金属为主攻方向的矿产勘查工作热潮。2016—2017 年期间,河南省地矿局第二地质勘查院在开展“新疆阿尔金北缘拜什托格拉克一带 1:5 万三幅区域地质矿产调查”项目时,在瓦石峡南发现了稀有金属伟晶岩脉^[7],为该地区稀有金属矿产勘查工作提供了重要参考依据。新疆若羌县瓦石峡南锂矿近期以 11.258 3 亿元的价格竞拍成功,公益性调查成果带动商业勘查取得重大成效。2018 年以来,笔者及项目团队通过国家重点研发计划“战略性矿产资源开发利用”专项、新疆维吾尔自治区地质勘查基金和中国地质调查等项目,对瓦石峡南锂铍稀有金属矿进行勘查评价,发现瓦石峡南锂铍稀有金属矿为一中型矿床,并具有大型远景,其成果对在阿尔金造山带内寻找同类型矿床具有重要借鉴意义。

1 研究区概况

1.1 区域地质背景

阿尔金造山带作为中国中央造山带的西延,在地质演化历史中经历了复杂的构造运动和岩浆活动,形成了丰富的稀有金属等矿产资源,已成为我国一处新的具有重要战略地位的稀有金属成矿带。

阿尔金造山带经历了早期的古板块和地块的相互俯冲—碰撞作用,以及中、新生代的走滑运动,是由不同时期、不同构造层次及形成于不同构造环境地质体所组成的复合造山带^[8-12]。阿尔金造山带由北向南依次划分为阿中地块、江嘎萨依巴什瓦克高压变质增生杂岩带和阿帕—茫崖蛇绿混杂岩带^[13-14](图 1)。其中,呈 EW 向和 NE 向延伸的阿中地块为该区域内的主要构造地块,区内 EW 向和 NE 向断裂构造发育。本文研究区大地构造位置位于阿尔金造山带西段北部的阿中地块西部(图 1),隶属阿尔金陆缘地块成矿亚带。该区域的构造性质相对稳定,目前已发现的金属矿产主要有铁和金,非金属矿产主要为石棉、萤石和玉石^[14]。近期研究显示,该造山带在中晚奥陶世就已有稀有金属的矿化活动,尤其是基于中国地质科学院矿产资源研究所牵头负责、新疆维吾尔自治区地质矿产勘查开发局第三地质大队参与的中国地质调查项目的最新成果,新发现稀长沟锂辉石伟晶岩型锂铍矿床,与此同时,区内还发现一系列新的伟晶岩型锂矿化线索(图 1),极大拓展了整个阿尔金成矿带内稀有金属的找矿空间和资源前景。这些研究成果可有力推动对阿尔金造山带中西部稀有金属成矿的关联分析研究,可为未来的矿产勘探和开发提供重要参考,有望在阿尔金造山带实现以锂为代表的稀有金属找矿新突破^[15]。

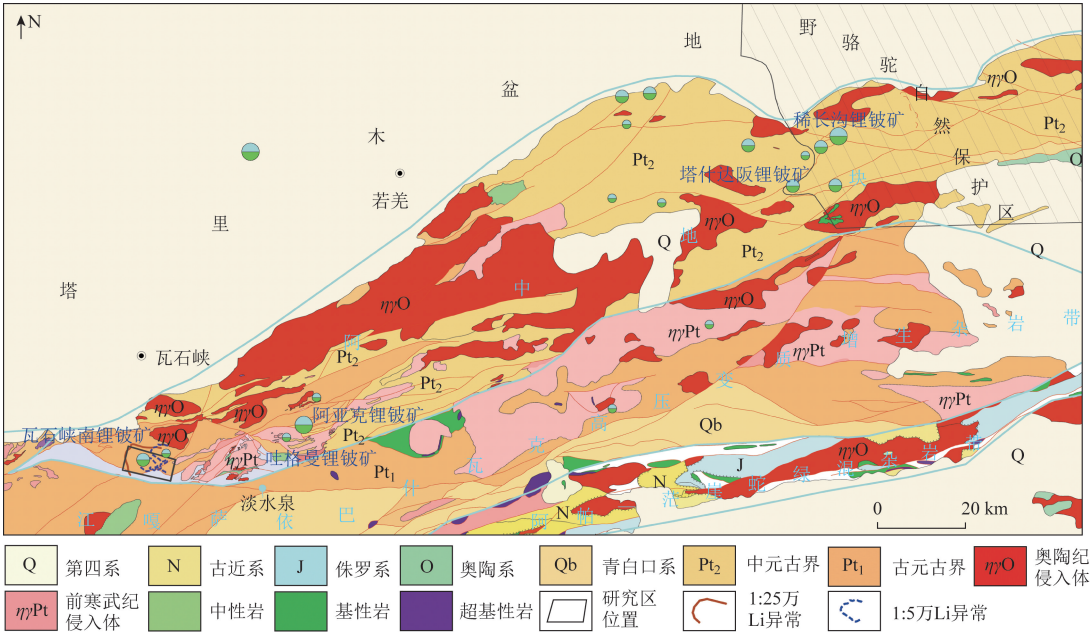


图 1 阿尔金北缘区域地质简图

Fig.1 Geological sketch of the northern Altyn mountains

1.2 研究区地质背景

近年来,在新疆阿尔金成矿带上,相继发现了与加里东期岩浆岩有关的伟晶岩型锂矿点,如塔什达坂、吐格曼等,出露的地层主要为古元古界阿尔金岩群和中元古界长城系扎斯勘赛河岩组、贝壳滩组、蓟县系金雁山岩组等,主要岩性为片麻岩、变粒岩、片岩、大理岩等。岩浆岩主要为加里东期的花岗闪长岩和黑云母花岗岩(年龄为400~500 Ma),少量的火山岩主要为古元古代阿尔金岩群和中元古代扎斯勘赛河岩组。典型矿床、矿点如下。

(1)塔石达坂矿点。该矿点位于研究区东北端约160 km处,锂辉石伟晶岩脉走向为NE向,倾向南东,呈串珠状,出露长度为700 m,厚度变化为0.8~10 m,围岩为石榴石云母片岩。伟晶岩主要矿物为长石、石英、锂辉石,白云母少量。锂辉石呈板状自形晶,长轴的长度一般为10~15 cm。另外,在距离塔石达坂矿点东南10 km处的黑云母花岗岩的接触带上,产有二云母微斜长石伟晶岩,呈不规则状产出,类似于伟晶岩壳。

(2)吐格曼矿点。该矿点位于研究区东35 km处,锂辉石伟晶岩脉走向为NE向,倾向SE,倾角变化为78°~86°,地表出露长度约500 m(两端被沙尘浮土覆盖),厚度为9 m,上盘与围岩接触呈不规则状,主要矿物为长石、锂辉石、白云母和石英,以含有大量的白云母区别于塔石达坂矿点,锂辉石含量明显偏高,石英含量明显偏低。

(3)瓦石峡南稀有金属矿床。该矿床位于新疆若羌县瓦石峡镇南约65 km处,为高海拔、深切割无人区,交通条件恶劣。研究区内地层主要为古元古界阿尔金岩群的一套低角闪岩相的变质岩,总体可分为片麻岩段和片岩段,矿体赋存于片岩段,岩性总体为黑云母斜长石英片岩。该矿区地处塔里木盆地与阿尔金山结合部,区内构造运动及岩浆活动较为频繁,发育多组断裂构造,形成了区内独特的构造格局,主要表现为以NEE向和NWW向断裂为主,以NW向和NE向断裂为辅。区内多期造山运动导致构造混杂岩异常发育,在伸展滑脱、逆冲、走滑剪切等强烈的构造作用下,岩石普遍遭受了强烈的变形、变质作用改造,地层或岩体多呈透镜状产出,常沿走向逐渐尖灭。区内主要发育加里东期侵入岩^[16],主要为石英二长岩、石英闪长岩和二长花岗岩。在1:1万土壤测量范围内存在3条主要

伟晶岩脉,编号分别为 ρ_3 、 ρ_4 、 ρ_5 (图2)。其中 ρ_3 号脉体地表出露长约1 600 m,脉宽为3~35 m,以往野外勘查观察到脉体的西端被厚层风成沙覆盖,向东地表尖灭,其形状呈现不规则脉状,西段走向近EW向,东段走向为NW向,呈向北凸出的弧形,脉体产状近乎直立,脉中含有丰富的锂云母,分布较均匀,其主要成分包括锂云母(15%~40%)、白云母(5%~10%)、斜长石和石英等,由西向东沿走向观察到伟晶岩的矿物呈逐渐减小的趋势,西端脉体矿物粒径变化在2~3 cm之间,东端脉体矿物粒径变化在5~8 mm之间,其中西端的海拔为2 600 m,东端的海拔为3 130 m,二者之间有530 m的高差,暗示(含)锂云母伟晶岩脉的垂直延深超过500 m^[17]。经刻槽及劈心取样分析,瓦石峡南矿床为Li、Be、Ta共生矿体, Li_2O 品位为0.814%~2.065%,BeO品位为0.008%~0.350%, Nb_2O_5 品位为0.007 1%~0.025 5%, Ta_2O_5 品位为0.006 2%~0.086 4%,BeO含量由西向东逐渐降低。

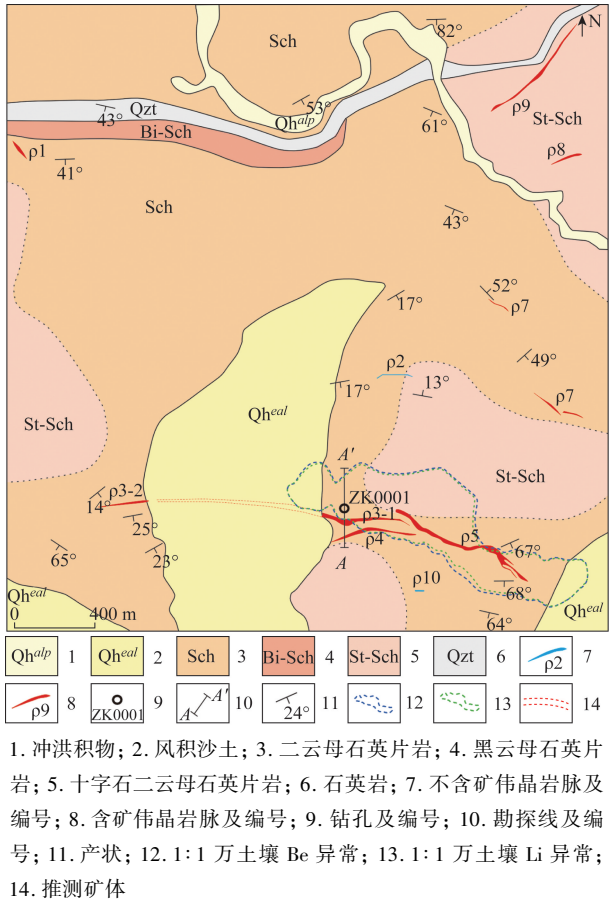


图2 瓦石峡南锂铍矿地质简图
Fig. 2 Geological sketch of the southern Waishixia lithium – beryllium deposit

2 研究方法

结合已有 1:25 万和 1:5 万化探异常优选研究区,针对性开展矿产专项填图、1:2.5 万高分遥感解译、1:1 万地质草测和 1:1 万土壤地球化学等调查评价工作,了解区内地层、构造、岩浆岩等成矿地质条件,圈定找矿靶区;采用 1:2 000 地质测量和槽探等方法手段,对矿(化)体进行地表控制,大致查明地表矿(化)体数量、规模、产状、品位及厚度变化特征;采用钻探对矿(化)体进行深部验证,结合化学分析,圈定锂铍等稀有金属矿体,了解矿体深部延伸及品位变化情况。以成矿理论为指导,综合讨论了成矿带成矿动力学背景,梳理了瓦石峡南矿区取得勘查进展,结合典型矿床对比研究,进一步探讨了阿尔金造山带伟晶岩型稀有金属矿床成矿潜力及找矿前景。

3 成矿动力学背景讨论

阿尔金造山带是新元古代与早古生代古板块(地块)之间相互俯冲-碰撞、中生代走滑断裂所改造的复合造山带^[9,18-19]。其中,早古生代是南阿尔金洋向北俯冲,以及塔里木板块与中阿尔金微陆块焊接在一起的统一古陆与柴达木地块完成拼合的重要时期。这一时期除了形成我国重要的铜铁铅锌多金属矿床^[20-25],许多花岗伟晶岩型稀有金属矿床也相继被发现,如吐格曼和吐格曼北锂铍矿^[2,26-28],尤其是在瓦石峡南矿区(砂锂沟)已经钻探验证,发现了该区首例古生代的锂云母工业矿体。阿尔金地区出露大量早古生代花岗质岩体,它们作为阿尔金造山带在这一时期构造运动的岩浆响应,记录了各个阶段地壳演化的关键信息。对南阿尔金俯冲碰撞杂岩带中的早古生代花岗岩岩浆活动,杨文强等^[29]将其划分为 3 个时期:第 1 期约 500 Ma,对应于陆壳深俯冲引起的陆陆碰撞造山、地壳加厚阶段,其时代与超高压变质作用相当;第 2 期为 466 ~ 451 Ma,形成于深俯冲陆壳断离后的伸展背景,其时代与超高压岩石变质作用相当;第 3 期为 426 ~ 385 Ma,形成于造山后的伸展背景。而刘良等^[30]则认为存在 4 期花岗岩质岩浆作用:第 1 期约 517 Ma 的高锆低钇中酸性岩(埃达克质岩石),代表先期俯冲洋壳的部分熔融;第 2 期为

501 ~ 496 Ma 的高锆低钇花岗岩,代表陆壳深俯冲导致的加厚下地壳的部分熔融;第 3 期为 462 ~ 451 Ma,形成于陆壳俯冲碰撞挤压向伸展抬升转换过程中应力释放导致的中、上地壳物质部分熔融这一过程中;第 4 期为 426 ~ 385 Ma,形成于造山后的伸展减薄阶段。对于南阿尔金茫崖地区早古生代花岗岩岩浆活动,吴才来等^[31]根据此地区早古生代花岗岩锆石 SHRIMP U - Pb 定年结果,将其划分为 3 个时期:第 1 期为 469 ~ 465 Ma,为具有岛弧火山岩化学属性的石英闪长岩 + 花岗闪长岩 + 花岗岩岩石组合,认为其形成可能与洋壳俯冲作用有关;第 2 期为 411 ~ 404 Ma,为具有 A 型花岗岩特征的花岗闪长岩 + 二长花岗岩 + 正长花岗岩岩石组合,认为其形成可能与板块碰撞后造山带块体均衡调整有关;第 3 期约为 264 Ma,为具有 I 型花岗岩属性的石英闪长岩 + 二长花岗岩 + 正长花岗岩组合,认为其形成与阿尔金断裂的活动有关。此外,吴锁平等^[32]在阿尔金断裂南侧吐拉花岗岩体中获得了(385 ± 8.1) Ma 的 SHRIMP U - Pb 锆石年龄,确认其具有偏铝质 A 型花岗岩的特征,形成于造山后的伸展环境,并可能与阿尔金断裂左行走滑引起的拉分作用有关。尽管前人研究对象有所出入,但仍得到了许多一致性的认识。总体上可认为,阿尔金造山带可能在约 426 Ma 开始已经进入伸展阶段,并持续到约 385 Ma。

在本研究中,通过对瓦石峡南锂云母型花岗伟晶岩的白云母 Ar - Ar 定年,获得了 405 ~ 402 Ma 的坪年龄(未发表数据),表明该锂矿床形成于造山后伸展阶段。年代学数据表明,同一区域内吐格曼与吐格曼北花岗岩伟晶岩型锂铍矿床形成于 470 ~ 460 Ma^[1,26],与之相伴的黑云母花岗岩年龄为 480 ~ 470 Ma^[26],对应俯冲-碰撞的构造背景。伟晶岩可以形成于任何构造背景中,且多数形成于碰撞或后碰撞背景^[33-36]。俯冲-碰撞构造背景下花岗伟晶岩型锂铍矿床的形成表明,阿尔金造山带的稀有金属成矿作用涵盖了多个不同的造山运动构造演化阶段,这表明该区域具备良好的稀有金属成矿条件,并具有巨大的找矿潜力。

4 取得勘查成果及成矿潜力分析

瓦石峡南一带出露的地层主要为古元古界阿尔金岩群片岩组(含石榴石)二云母石英片岩、十字

石二云母石英片岩和第四系风积,侵入岩主要为二云母花岗岩,发育花岗伟晶岩及少量辉绿岩脉、辉长岩脉。

1:1 万土壤地球化学成果显示研究区西部 Li、Be、Ta、Cs、Sn 等元素异常强度高,元素异常套合好,浓集中心明显,其中 Li、Be 为异常区内主要成矿元素,均具有三级浓度分带。通过 1:2 000 地质测量、槽探和钻探,在瓦石峡南一带已发现 20 条伟晶岩脉,岩脉地表出露长为 50 ~ 740 m,宽为 1.5 ~ 32 m,在伟晶岩脉中圈定出锂矿体 2 条(ρ8、ρ9),锂铍钽矿体 4 条(ρ3 - 1、ρ3 - 2、ρ4、ρ5),锂铍矿体 1 条(ρ7),其中 ρ3、ρ4 和 ρ5 为主矿体(图 3,图 4)。矿体的主要矿石矿物为锂云母、锂辉石、绿柱石,矿体主要赋存于绿片岩相 - 角闪岩相变质岩系中的伟晶岩脉中,与围岩接触界线明显。矿石的主要结构为中细粒结构,主要构造为稀疏及斑杂状构造。矿体 Li₂O 品位为 0.40% ~ 1.88%、BeO 品位为 0.04% ~ 0.197%,伴生 Ta₂O₅ 品位为 0.007% ~ 0.050 6%、Rb₂O 品位为 0.175% ~ 0.454%、Cs₂O 品位为 0.050 7% ~ 0.110 9%、Nb₂O₅ 品位为 0.003 8% ~ 0.032 9%。对有深部工程控制的 ρ3 - 1、ρ9 号矿体进行资源量估算,推断矿石资源量为 3 650 000 t, Li₂O 资源量为 41 300 t, BeO 资源量为 2 641 t,伴生 Ta₂O₅ 资源量为 411 t, Nb₂O₅ 资源量为 495 t^[37],已有工作程度表明瓦石峡南锂铍矿床已达到中型以上稀有金属矿床规模。

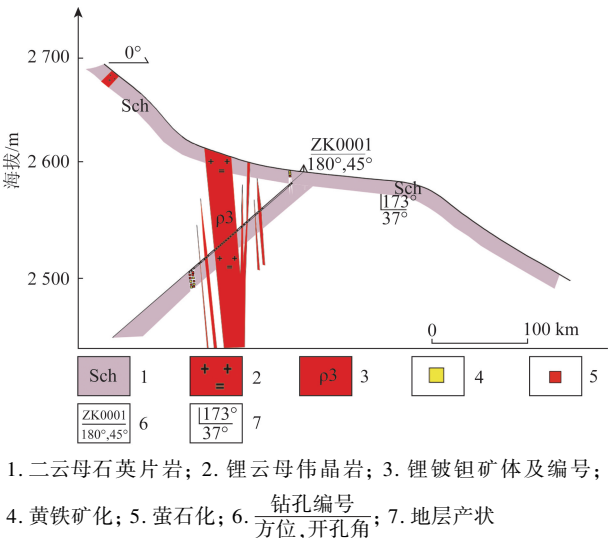


图3 瓦石峡南锂铍矿 AA'勘探线剖面

Fig.3 Profile of AA' exploration line of the southern Waishixia lithium - beryllium deposit

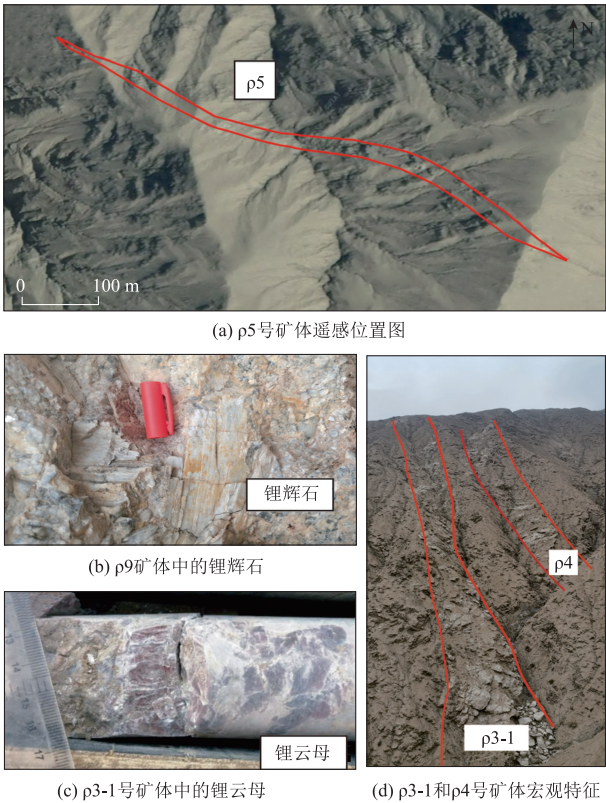


图4 瓦石峡南锂铍矿矿体矿石照片

Fig.4 Ore photos of the southern Waishixia lithium - beryllium deposit

1:25 万化探工作在阿尔金地区圈出大量 Li 和 Be 异常,其中瓦石峡南、库木萨依、沙梁西、库木塔什萨依、塔木切、稀长沟及塔什达坂锂铍矿均位于 Li 异常中心或异常边部,而吐格曼、阿亚克和阿亚克东锂铍矿区域化探工作为采样空白区^[1]。Li、Be 化探异常对成矿带内稀有金属找矿工作具有重要指示意义,区域上还有大量异常有待查证,找矿潜力巨大。已发现的矿床仅有吐格曼锂铍矿和库木萨依锂铍矿正在开展详查工作,塔木切、库木塔什萨依和塔什达坂 3 个矿床(点)仅开展过调查工作,其他 4 个矿床仅开展了普查工作,投入的勘查工作极为有限,矿床的深边部还未进行有效控制^[1]。阿尔金西段锂铍稀有金属成矿条件优越,与新疆若羌工业园建设进度相对比,找矿勘查工作亟待加强。相信随着工作程度地进一步深入,在已知矿床的深部及外围还有极大增储空间,找矿工作有望取得更大突破。

5 结论

(1)阿尔金造山带的稀有金属成矿作用经历了

多个不同的造山运动构造演化阶段,表明该区域具备良好的稀有金属成矿条件,并具有巨大的找矿潜力。

(2)新疆瓦石峡南锂铍稀有金属矿体为含锂云母、锂辉石、绿柱石伟晶岩脉,矿体主要赋存于绿片岩相-角闪岩相变质岩系中的伟晶岩脉中,与围岩接触界线明显,该矿床成矿类型为花岗伟晶岩型稀有金属矿床。

(3)勘查成果显示已发现的锂铍矿体与已圈定的大比例尺化探异常对应性较好,目前已控制+推断的稀有金属资源量达到中型以上矿床规模,随着勘查工作的进行,在深部及外围还有极大增储空间。

参考文献(References):

- [1] 张朋,王敬国,刘兴忠,等.阿尔金地区伟晶岩型稀有金属矿勘查进展及找矿前景分析[C]//第十届全国成矿理论与找矿方法学术讨论会论文摘要集.西安:中国矿物岩石地球化学学会矿床地球化学专业委员会,2023:87-88.
Zhang P, Wang J G, Liu X Z, et al. Exploration progress and prospecting prospect analysis of pegmatitic rare metal deposits in Altun area[C]//Abstracts of the 10th National Metallogenic Theory and Prospecting Method Symposium. Xi'an: Chinese Society for Mineralogy Petrology and Geochemistry, 2023: 87-88.
- [2] 徐兴旺,李杭,石福品,等.阿尔金中段吐格曼地区花岗伟晶岩型稀有金属成矿特征与找矿预测[J].岩石学报,2019, 35(11):3303-3316.
Xu X W, Li H, Shi F P, et al. Metallogenic characteristics and prospecting of granitic pegmatite-type rare metal deposits in Tugeman area, the middle part of Altyn Tagh[J]. Acta Petrologica Sinica, 2019, 35(11): 3303-3316.
- [3] 杨智全,李磊,王超.新疆若羌县吐格曼稀有金属矿地质特征及找矿标志初探[J].中国金属通报,2020(1):38-39.
Yang Z Q, Li L, Wang C. A preliminary study on the geological characteristics and prospecting signs of Tugeman rare metal deposits in Ruoqiang County, Xinjiang[J]. China Metal Bulletin, 2020(1): 38-39.
- [4] 李杭,洪涛,杨智全,等.阿尔金中段吐格曼北花岗伟晶岩型锂铍矿床多阶段岩浆-成矿作用[J].岩石学报,2022,38(10):3085-3103.
Li H, Hong T, Yang Z Q, et al. Multi-stage magmatism-mineralization and tectonic setting of the North Tugeman granitic pegmatite lithium-beryllium deposit in the middle of Altyn Tagh[J]. Acta Petrologica Sinica, 2022, 38(10): 3085-3103.
- [5] 代鸿章,刘善宝,王登红,等.新疆阿尔金稀有金属成矿带探获首例工业规模砂锂沟锂矿[J].中国地质,2023,50(4):1283-1284.
Dai H Z, Liu S B, Wang D H, et al. The first industrial scale Sha-
- ligou lithium deposit was discovered in Altun rare metal metallogenic belt, Xinjiang[J]. Geology in China, 2023, 50(4): 1283-1284.
- [6] 吴益平,张连昌,袁波,等.新疆阿尔金地区卡尔哈尔超大型萤石矿床地质特征及成因[J].地球科学与环境学报,2021, 43(6):962-977.
Wu Y P, Zhang L C, Yuan B, et al. Geological characteristics and genesis of the super-large kalcifer fluorite deposit in Altyn Tagh Area of Xinjiang, China[J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2021, 43(6): 962-977.
- [7] 河南省地矿局第二地质勘查院.新疆阿尔金北缘拜托格拉克一带1:5万三幅区域地质矿产调查报告[R].2018:1-200.
Henan Provincial Bureau of Geology and Mineral Resources Second Geological Exploration Institute. Three 1:50 000 Regional Geological and Mineral Survey Reports on the Northern Edge of Altun, Xinjiang in the Baishitograk area[R]. 2018: 1-200.
- [8] 董顺利,李忠,高剑,等.阿尔金-祁连-昆仑造山带早古生代构造格架及结晶岩年代学研究进展[J].地质论评,2013, 59(4):731-746.
Dong S L, Li Z, Gao J, et al. Progress of studies on Early Paleozoic tectonic framework and crystalline rock geochronology in Altun-Qilian-Kunlun orogen[J]. Geological Review, 2013, 59(4): 731-746.
- [9] Dai S, Dai W, Zhao Z B, et al. Timing, displacement and growth pattern of the Altyn Tagh fault: a review[J]. Acta Geologica Sinica (English Edition), 2017, 91(2): 669-687.
- [10] 曾忠诚,边小卫,赵江林,等.阿尔金南缘冰沟南组火山岩锆石U-Pb年龄及其前寒武纪构造演化意义[J].地质论评, 2019, 65(1):103-118.
Zeng Z C, Bian X W, Zhao J L, et al. U-Pb geochronology of zircons from the volcanic rocks in Binggounan formation, southern Altyn Tagh: implication for the Precambrian tectonic evolution[J]. Geological Review, 2019, 65(1): 103-118.
- [11] 何鹏,杨睿娜,陈培伟,等.阿尔金北缘尧勒萨依片麻岩锆石LA-ICP-MS U-Pb年龄、地球化学特征及其地质意义[J].地质论评,2021,67(3):803-815.
He P, Yang R N, Chen P W, et al. Zircon LA-ICP-MS U-Pb ages, geochemical features and their geological implications of Yaolesayi gneiss in north Altyn Tagh[J]. Geological Review, 2021, 67(3): 803-815.
- [12] 何鹏,芦西战,杨睿娜,等.阿尔金北缘尧勒萨依河口I型花岗岩岩石地球化学、锆石U-Pb年代学研究[J].矿产勘查, 2020, 11(9):1822-1830.
He P, Lu X Z, Yang R N, et al. Petrogeochemistry, zircon U-Pb chronology of I type granite from Yaolesayi estuary, northern Altyn Tagh[J]. Mineral Exploration, 2020, 11(9): 1822-1830.
- [13] 校培喜,高晓峰,胡云绪,等.阿尔金-东昆仑西段成矿带基础地质综合研究报告[R].西安:中国地质调查局西安地质调查中心,2012.
Xiao P X, Gao X F, Hu Y X, et al. Comprehensive research report

- on basic geology of Altyn Tagh – western section of east Kunlun metallogenic belt [R]. Xi'an: China Geological Survey Xi'an Geological Survey Center, 2012.
- [14] 冯京, 朱志新, 赵同阳, 等. 新疆大地构造单元划分及成矿作用[J]. 中国地质, 2022, 49(4): 1154 – 1178.
- Feng J, Zhu Z X, Zhao T Y, et al. Subdivision of tectonic units and its metallogenesis in Xinjiang [J]. *Geology in China*, 2022, 49(4): 1154 – 1178.
- [15] 何鹏. 新疆阿尔金北缘拜什托格拉克一带 1:5 万三幅区域地质矿产调查新进展[J]. 中国矿业, 2021, 30(S1): 255 – 259.
- He P. New achievements on regional geological survey of three 1:50 000 sheets of Bextograk in north Altyn – Tagh, Xinjiang [J]. *China Mining Magazine*, 2021, 30(S1): 255 – 259.
- [16] 涂其军, 李建康, 王刚, 等. 中国西部主要伟晶岩型锂辉石矿床成矿作用对比及找矿前景[J]. 中国地质调查, 2019, 6(6): 35 – 47.
- Tu Q J, Li J K, Wang G, et al. Mineralization comparisons of the major pegmatite type spodumene deposits and their prospecting potential in West China [J]. *Geological Survey of China*, 2019, 6(6): 35 – 47.
- [17] 王成辉, 王登红, 刘善宝, 等. 战略新兴矿产调查工程进展与主要成果[J]. 中国地质调查, 2022, 9(5): 1 – 14.
- Wang C H, Wang D H, Liu S B, et al. Progresses and main achievements on strategic emerging minerals survey project [J]. *Geological Survey of China*, 2022, 9(5): 1 – 14.
- [18] 车自成, 刘良, 刘洪福, 等. 阿尔金山地区高压变质泥质岩石的发现及其产出环境[J]. 科学通报, 1995, 40(14): 1298 – 1300.
- Che Z C, Liu L, Liu H F, et al. Discovery of high – pressure metamorphic argillaceous rocks in the Altun Mountains and their production environment [J]. *Chinese Science Bulletin*, 1995, 40(14): 1298 – 1300.
- [19] 许志琴, 杨经绥, 张建新, 等. 阿尔金断裂两侧构造单元的对比及岩石圈剪切机制[J]. 地质学报, 1999, 73(3): 193 – 205.
- Xu Z Q, Yang J S, Zhang J X, et al. A comparison between the tectonic units on the two sides of the Altun sinistral strike – slip fault and the mechanism of lithospheric shearing [J]. *Acta Geologica Sinica*, 1999, 73(3): 193 – 205.
- [20] 陈柏林, 蒋荣宝, 李丽, 等. 阿尔金山东段喀腊大湾地区铁矿带的发现及其意义[J]. 地球学报, 2009, 30(2): 143 – 154.
- Chen B L, Jiang R L, Li L, et al. Discovery of iron ore zones in the Kaladawan area within the eastern part of the Altun Mountains and its significance [J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 2009, 30(2): 143 – 154.
- [21] 陈柏林, 祁万修, 崔玲玲, 等. 阿尔金北缘喀腊达坂火山岩型铅锌矿床研究[J]. 地质学报, 2017, 91(8): 1818 – 1835.
- Chen B L, Qi W X, Cui L L, et al. The Kaladaban volcanogenic massive sulfide – type Pb – Zn deposit in northern Altun Mountains, NW China [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2017, 91(8): 1818 – 1835.
- [22] 乔耿彪, 杨合群, 杜玮, 等. 阿尔金成矿带成矿单元划分及成矿系列探讨[J]. 西北地质, 2014, 47(04): 209 – 220.
- Qiao G B, Yang H Q, Du W, et al. Discussion on metallogenic series and metallogenic unit division in Altun metallogenic belt [J]. *Northwestern Geology*, 2014, 47(4): 209 – 220.
- [23] 王岩, 邢树文, 肖克炎. 西昆仑 – 阿尔金 Fe – Pb – Zn – Au – 稀有金属成矿带成矿特征及资源潜力[J]. 地质学报, 2016, 90(7): 1353 – 1363.
- Wang Y, Xing S W, Xiao K Y. Metallgoenic features and resource potential of the west Kunlun to Altun Fe – Pb – Zn – Au – rare metals metallogenic belt [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2016, 90(7): 1353 – 1363.
- [24] 陈柏林, 孟令通. 阿尔金喀腊大湾铁矿田褶皱构造特征及找矿意义[J]. 大地构造与成矿学, 2018, 42(1): 32 – 49.
- Chen B L, Meng L T. Characteristics of folds in the Kaladawan Iron Orefield, Altun Mountains, northwestern China and its prospecting implication [J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2018, 42(1): 32 – 49.
- [25] 张辉善, 李艳广, 全守村, 等. 阿尔金喀腊达坂铅锌矿床金属硫化物元素地球化学特征及其对成矿作用的制约[J]. 岩石学报, 2018, 34(8): 2295 – 2311.
- Zhang H S, Li Y G, Quan S C, et al. Geochemical characteristics of metallic sulfides from the Kaladaban deposit in Xinjiang and its implications for Pb – Zn ore – forming mechanism [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2018, 34(8): 2295 – 2311.
- [26] 徐兴旺, 洪涛, 李杭, 等. 初论高温花岗岩 – 伟晶岩锂铍成矿系统: 以阿尔金中段地区为例[J]. 岩石学报, 2020, 36(12): 3572 – 3592.
- Xu X W, Hong T, Li H, et al. Concept of high – temperature granite – pegmatite Li – Be metallogenic system with a primary study in the middle Altyn – Tagh [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2020, 36(12): 3572 – 3592.
- [27] 李杭, 洪涛, 杨智全, 等. 稀有金属花岗伟晶岩锆石、锡石与钽铌铁矿 U – Pb 和白云母 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 测年对比研究——以阿尔金中段吐格曼北锂铍矿床为例[J]. 岩石学报, 2020, 36(9): 2869 – 2892.
- Li H, Hong T, Yang Z Q, et al. Comparative studying on zircon, cassiterite and coltan U – Pb dating and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of muscovite rare – metal granitic pegmatites: A case study of the northern Tugeman lithium – beryllium deposit in the middle of Altyn Tagh [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2020, 36(9): 2869 – 2892.
- [28] 张焕, 何鹏, 芦西战, 等. 阿尔金北缘瓦石峡南部稀有金属、稀土矿点的发现及意义[J]. 现代矿业, 2022(1): 34 – 36, 87.
- Zhang H, He P, Lu X Z, et al. Discovery and significance of rare and rare earth metal deposits in the south of Washixia, northern margin of Altun [J]. *Modern Mining*, 2022(1): 34 – 36, 87.
- [29] 杨文强, 刘良, 丁海波, 等. 南阿尔金迪木那里克花岗岩地球化学、锆石 U – Pb 年代学与 Hf 同位素特征及其构造地质意义[J]. 岩石学报, 2012, 28(12): 4139 – 4150.
- Yang W Q, Liu L, Ding H B, et al. Geochemistry, geochronology and zircon Hf isotopes of the Dimunlike granite in South Altyn Tagn and its geological significance [J]. *Acta Petrologica Sinica*,

2012,28(12):4139–4150.

[30] 刘良,康磊,曹玉亭,等.南阿尔金早古生代俯冲碰撞过程中的花岗质岩浆作用[J].中国科学:地球科学,2015,45(8):1126–1137.

Liu L,Kang L,Cao Y T,et al. Early Paleozoic granitic magmatism related to the processes from subduction to collision in south Altyn,NW China[J]. Science China:Earth Sciences,2015,58(9):1513–1522.

[31] 吴才来,郗源红,雷敏,等.南阿尔金茫崖地区花岗岩类锆石 SHRIMP U–Pb 定年、Lu–Hf 同位素特征及岩石成因[J].岩石学报,2014,30(8):2297–2323.

Wu C L,Gao Y H,Lei M,et al. Zircon SHRIMP U–Pb dating, Lu–Hf isotopic characteristics and petrogenesis of the Palaeozoic granites in Mangya area, southern Altyn,NW China[J]. Acta Petrologica Sinica,2014,30(8):2297–2323.

[32] 吴锁平,吴才来,陈其龙.阿尔金断裂南侧吐拉铝质 A 型花岗岩的特征及构造环境[J].地质通报,2007,26(10):1385–1392.

Wu S P,Wu C L,Chen Q L. Characteristics and tectonic setting of the Tula aluminous A–type granite at the south side of the Altyn Tagh fault,NW China[J]. Geological Bulletin of China,2007,26(10):1385–1392.

[33] Harris N B W,Pearce J A,Tindle A G. Geochemical Characteristics of Collision–Zone Magmatism[M]//Coward M P,Ries A C. Collision Tectonics. London:The Geological Society by Blackwell Scientific Publications,1986,19:67–81

[34] Pitcher W S. The Nature and Origin of Granite[M]. 2nd ed. London:Springer Dordrecht,1997,1–387.

[35] Barbarin B. A review of the relationships between granitoid types, their origins and their geodynamic environments[J]. Lithos, 1999,46(3):605–626

[36] 吴福元,刘志超,刘小驰,等.喜马拉雅淡色花岗岩[J].岩石学报,2015,31(1):1–36.

Wu F Y,Liu Z C,Liu X C,et al. Himalayan leucogranite: Petrogenesis and implications to orogenesis and plateau uplift[J]. Acta Petrologica Sinica,2015,31(1):1–36.

[37] 新疆维吾尔自治区地质矿产勘查开发局第三地质大队.新疆若羌县瓦石峡南铍锂矿预查报告[R].2021.

The Third Geological Branch, Xinjiang Geological and Mineral Bureau. Preliminary Survey Report of South Waishixia Lithium Beryllium Deposit, Ruoqiang County, Xinjiang[R]. 2021.

Metallogenic background and exploration progress of the southern Waishixia lithium – beryllium rare metal deposit in the western Altyn Tagh of Xinjiang Province

ZHANG Peng¹, LIU Bao¹, YANG Xiaofei¹, LUO xintao¹, DENG Langjiang¹, FAN Zichun¹,
LIU Xingzhong¹, CHEN Jianzhong¹, LIU Shanbao², WANG Denghong², DAI Hongzhang²

(1. The Third Geological Branch, Xinjiang Geological and Mineral Bureau, Xinjiang Kuerle 841000, China; 2. Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment MNR, Institute of Mineral Resource CAGS, Beijing 100037, China)

Abstract: Rare metal minerals such as lithium and beryllium are important strategic mineral resources. In recent years, several rare metal pegmatite – type deposits have been discovered in Altyn area, which have emerged as a new rare metal metallogenic belt, but with relatively low investigation and research level. Through the discussion of the metallogenic dynamic background of the Altyn orogenic belt, the authors concluded that the rare metal metallogenesis in the Altyn orogenic belt covered many different tectonic evolution stages of the orogenic movement, indicating good metallogenic conditions for rare metals and great prospecting potential. The southern Waishixia lithium – beryllium rare metal deposit located in the western Altyn Tagh has a large prospect, based on the exploration and evaluation of this deposit. The lithium – beryllium rare metal ore body in the southern Washixia mainly occurs in the pegmatite veins of greenschist facies and amphibolite facies metamorphic rock series, and the deposit type is granite – pegmatite type rare metal deposit. According to the existing exploration results, the inferred rare metal resources of this deposit have reached the scale of medium and above, and there is still a great space for increasing storage in the deep and peripheral areas with the progress of exploration. The research results are of great reference significance to the deposit search of similar types in the Altyn orogenic belt.

Keywords: Altyn Tagh; the southern Washixia lithium – beryllium rare metal deposit; granite – pegmatite type rare metal deposit; mineralization dynamic background; prospecting potential

(责任编辑: 刘丹)