

新疆中亚造山带三叠纪矿床地质特征、时空分布及找矿方向*

杨富全¹, 张志欣², 刘国仁², 李 宁¹, 杨成栋¹, 杨俊杰³

(1 中国地质科学院矿产资源研究所 自然资源部成矿作用与资源评价重点实验室, 北京 100037; 2 中国科学院新疆生态与地理研究所, 新疆矿产资源研究中心, 新疆 乌鲁木齐 830011; 3 长安大学地球科学与资源学院, 陕西 西安 710054)

摘 要 中亚造山带以晚古生代成矿为特色, 但最近十几年来在新疆阿尔泰、东天山等发现越来越多的三叠纪矿床, 包括3个超大型矿床。在古生代造山带中为什么三叠纪能够成矿和成大矿, 不同类型矿产特征和分布规律是值得关注的重要科学问题。目前确定新疆中亚造山带19个三叠纪矿床主要为花岗伟晶岩型稀有金属矿床、斑岩型钼矿床和矽卡岩型钨矿床。花岗伟晶岩型稀有金属矿床分布于阿尔泰, 斑岩型钼矿床、矽卡岩型钨矿床和钨(钼)矿床分布于东天山。19个矿床的成矿年龄变化于193~248 Ma, 峰值为215 Ma。不同矿床类型成矿时代略有差别, 形成时间相对较早的有矽卡岩型, 其次是斑岩型, 伟晶岩型形成时间跨度最大, 多数形成于晚三叠世, 少数延续到早侏罗世。东天山沙东-小白石头一带钨矿和阿尔泰稀有金属矿最具找矿潜力。

关键词 地质学; 三叠纪矿床; 地质特征; 矿床类型; 时空分布; 中亚造山带; 新疆

中国分类号: P611

文献标志码: A

A review of geological characteristics and time-space distribution as well as prospecting direction of Triassic deposits in Central Asian Orogenic Belt, Xinjiang

YANG FuQuan¹, ZHANG ZhiXing², LIU GuoRen², LI Ning¹, YANG ChengDong¹ and YANG JunJie³

(1 Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment, Ministry of Natural Resources, Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 2 Xinjiang Research Center for Mineral Resources, Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, Xinjiang, China; 3 School of Earth Sciences and Resources, Chang'an University, Xi'an 710054, Shaanxi, China)

Abstract

The Central Asian Orogenic Belt is characterized by Late Paleozoic mineralization. However, more and more Triassic deposits, including three superlarge deposits, have been found in Altay and East Tianshan Mountains of Xinjiang in recent years. The mechanisms of mineralization and formation of large deposits in Triassic in the Paleozoic orogenic belt as well as characteristics and distribution regularity of different types of deposits constitute an important scientific problem. Up till now, nineteen Triassic deposits have been discovered in the Central Asian Orogenic Belt of Xinjiang, which are mainly granitic pegmatite rare metal deposits, porphyry Mo deposits, and skarn W deposits. The granitic pegmatite rare metal deposits, porphyry Mo deposits, and skarn W/(Mo) deposits are mainly distributed in Altay and East Tianshan Mountains. The metallogenetic ages of the nineteen deposits range from 248 Ma to 193 Ma with a peak of 215 Ma. In addition, there are slight differences in the metallo-

* 本文得到国家自然科学基金面上项目(编号:41672072、41972079)资助

第一作者简介 杨富全,男,1968年生,博士生导师,研究员,主要从事矿床地质和成矿规律研究。Email: fuquanyang@163.com

收稿日期 2019-07-18; 改回日期 2019-12-24。张绮玲编辑。

genic ages of different deposit types. The formation time of skarn is relatively early, followed by porphyry deposits. The granitic pegmatite deposits have the largest metallogenic age span; they were mostly formed in the Late Triassic with a few formed in the Early Jurassic. The Shadong-Xiaobaishitou tungsten deposits of East Tianshan Mountains and the rare metal deposits of the Alay metallogenic belts have the greatest prospecting potential.

Key words: geology, Triassic deposit, geological characteristics, types of ore deposits, time-space distribution, Central Asian Orogenic Belt, Xinjiang

中亚造山带(中国境内也被称为北方造山带)位于西伯利亚、东欧和塔里木-华北克拉通之间,由一系列大陆块体、岛弧和增生杂岩构成,是全球显生宙大陆地壳生长最典型的增生型造山带,经历了古亚洲洋复杂的大洋开裂、俯冲、碰撞、后碰撞和陆内造山作用(李锦轶等,2006;Xiao et al., 2015;高俊等,2019)。在陆缘增生造山和后碰撞地壳垂向增生过程中,发生了强烈的壳幔相互作用,形成了丰富的矿产资源,以晚古生代成矿为特色,主要形成了海相火山岩型、斑岩型、矽卡岩型、浅成低温热液型、造山型、岩浆型和伟晶岩型七大成矿系统(Daukeev et al., 2004; Mao et al., 2014; 朱永峰, 2014; Shen et al., 2018; Yang et al., 2018a)。三叠纪成矿作用在中国主要分布在昆仑-秦岭、红河-哀牢山两个三叠纪主造山带及其邻区(毛景文等,2012)。中亚造山带三叠纪矿床曾因数量较少,规模不大,并且分布较零散,未得到重视,成矿作用和成矿规律研究明显滞后,制约了中亚造山带构造演化与成矿过程研究。近十几年来在中国东天山、北山、大兴安岭地区和邻近的华北克拉通北缘发现了一批较大规模的三叠纪矿床,成矿元素有钨、钼、金、铜、镍、铅、锌、银、铁矿;利用高精度年代学在新疆阿尔泰识别出至少14个三叠纪稀有金属矿床(秦克章等,2013;张辉等,2014, 2019; Che et al., 2015; 王春龙等, 2015; 杨富全等, 2018),包括可可托海等超大型、大型矿床,这些矿床构成一条重要的三叠纪成矿带。在东天山-北山相对较小的范围内三叠纪钨矿、钼矿和金矿同时产出(其中超大型2个、大型4个),这在以晚古生代成矿为特色的中亚造山带十分少见。朱永峰(2007)总结了新疆印支运动与成矿作用,提出印支运动表现在岩浆侵入活动,韧性剪切带的形成和与剪切带有关金矿的形成。朱江等(2013)总结了东天山东段-北山地区三叠纪钼矿床地质特征、时空分布及成矿构造背景。

基于收集前人研究成果,结合项目组对大量三叠纪矿床(点)野外调研和少量矿床的详细研究,综合论述了新疆中亚造山带三叠纪金属矿床的成矿背

景、成因类型、矿床地质特征、空间分布规律、成矿时代和主要控矿因素,并提出进一步的找矿前景,旨在推动在新疆三叠纪的找矿勘查工作。

1 成矿地质背景

新疆中亚造山带三叠纪矿床集中分布于阿尔泰和东天山。中国阿尔泰造山带包括西伯利亚板块的北阿尔泰早古生代陆缘活动带、南阿尔泰晚古生代活动陆缘,前者进一步分为诺尔特泥盆纪—石炭纪上叠火山-沉积盆地、喀纳斯-可可托海古生代岩浆弧,后者进一步分为克兰泥盆纪—石炭纪弧后盆地、卡尔巴-纳雷姆石炭纪—二叠纪岩浆弧和西卡尔巴石炭纪弧前盆地。以额尔齐斯-布尔根板块缝合带为界,以南属于哈萨克斯坦-准噶尔板块(何国琦等,2004)。新疆阿尔泰地理上划分为北阿尔泰、中阿尔泰和南阿尔泰(图1)。北阿尔泰主要由泥盆纪—早石炭世火山-沉积岩系组成,中阿尔泰为早古生代变质岩系,南阿尔泰主要由上志留统—下泥盆统康布铁堡组和中-上泥盆统阿勒泰组变质火山-沉积岩系组成。海相火山岩型和矽卡岩型铜、铅、锌、铁、金矿床主要分布在南阿尔泰,稀有金属矿主要分布于中阿尔泰,其次是南阿尔泰。阿尔泰造山带侵入岩广泛分布,从早寒武世开始,到三叠纪末结束。岩浆侵入活动存在5期:即421~532 Ma,峰值为455 Ma;370~410 Ma,峰值为395 Ma,是阿尔泰造山带主要岩浆侵入时期;313~359 Ma,峰值不明显;252~300 Ma,峰值为275 Ma;202~247 Ma,峰值为215 Ma。

东天山包括博格达-哈尔克构造带、觉罗塔格构造带、中天山地块和北山地块,卡拉麦里、阿奇克库都克和星星峡断裂是其分界断裂。觉罗塔格构造带进一步划分为大南湖-头苏泉岛弧、康古尔弧后盆地和雅满苏岛弧,康古尔和雅满苏断裂是其分界(图2)。大南湖-头苏泉岛弧主要由泥盆纪—石炭纪火山岩和一些侵入岩组成,主要发育志留纪和石炭纪VMS型铜锌成矿系统、石炭纪斑岩型铜成矿系统。康古尔弧

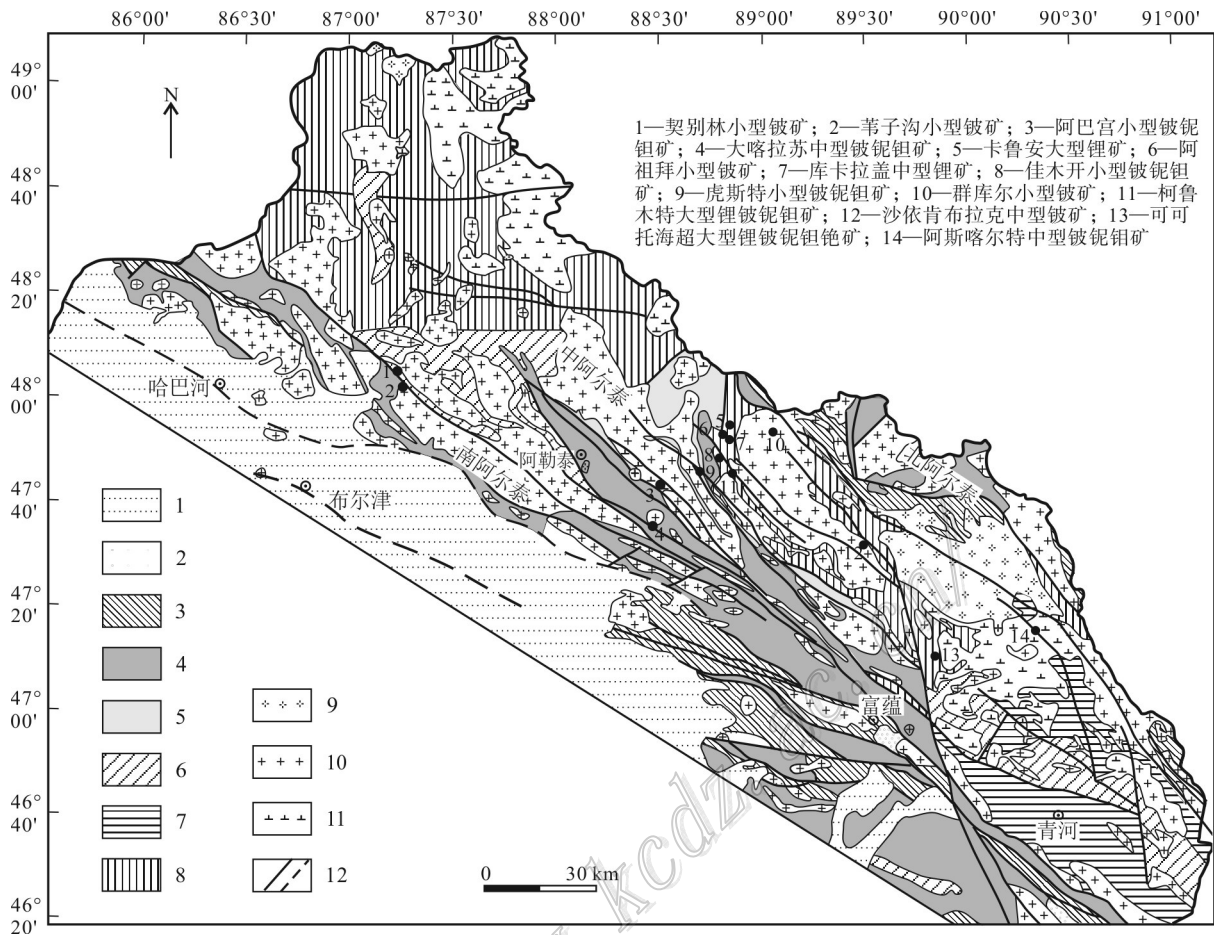


图1 新疆阿尔泰三叠纪稀有金属矿分布略图(据 Yang et al., 2018b)

1—第四系沉积物; 2—侏罗系含煤岩系; 3—石炭系火山-沉积岩; 4—泥盆系变质火山-沉积岩; 5—中-上志留统变质沉积岩和火山岩; 6—中-上奥陶统变质火山-沉积岩; 7—中寒武统一下奥陶统变沉积岩; 8—震旦系—寒武系变质沉积岩、变质火山岩; 9—侏罗纪—三叠纪花岗岩类; 10—二叠纪—泥盆纪花岗岩类; 11—志留纪—奥陶纪花岗岩类; 12—断裂和推测断裂

Fig. 1 Distribution of the Triassic rare metal deposits in Altay, Xinjiang (after Yang et al., 2018b)

1—Quaternary sediments; 2—Jurassic coal-bearing clastics; 3—Carboniferous volcanic-sedimentary rocks; 4—Devonian metavolcanic-sedimentary rocks; 5—Middle-Upper Silurian metasedimentary rocks and volcanic rocks; 6—Middle-Upper Ordovician metavolcanic-sedimentary rocks; 7—Middle-Cambrian to Early-Ordovician metasedimentary rocks; 8—Proterozoic-Cambrian metasedimentary rocks and volcanic rocks; 9—Jurassic-Triassic granite; 10—Permian-Devonian granitoid; 11—Silurian-Ordovician granitoid; 12—Fault and inferred fault

后盆地由具有绿片岩相变质作用和韧性变形的石炭纪火山岩以及二叠纪中-基性侵入体组成,主要发育岩浆型铜镍成矿系统、造山型金成矿系统,少量斑岩型钼成矿系统。雅满苏岛弧主要由石炭纪海相火山沉积岩系,少量二叠纪碎屑岩、火山岩和碳酸盐岩组成,发育晚石炭世—早二叠世侵入岩,主要发育与海相火山作用有关的铁矿,少量铜矿和金矿。中天山地块为中元古界星星峡群、卡瓦布拉格群和新元古界天湖群片岩、片麻岩、大理岩和石英岩等,经历了绿片岩相或角闪岩相变质作用。大多数侵入岩为I型花岗岩(王京彬等,2006),少量二叠纪镁铁-超镁铁质岩。中

天山地块矿产丰富,主要有铅锌矿(彩霞山)、铜镍矿(白石泉、天宇)、金矿(马庄山)、钒钛磁铁矿(尾亚)、铁矿(天湖)、钨矿(沙东)、钨钼矿(小白石头),成矿时代从中元古代(?) (彩霞山)到三叠纪(沙东)。

2 矿床成因类型及主要特征

新疆中亚造山带目前有年代学资料的三叠纪矿床主要有19个,按矿床成因类型主要划分为花岗伟晶岩型(简称伟晶岩型)、斑岩型、矽卡岩型,少量为花岗岩型和石英脉型,如阿斯喀尔特Be-Nb-Mo矿出

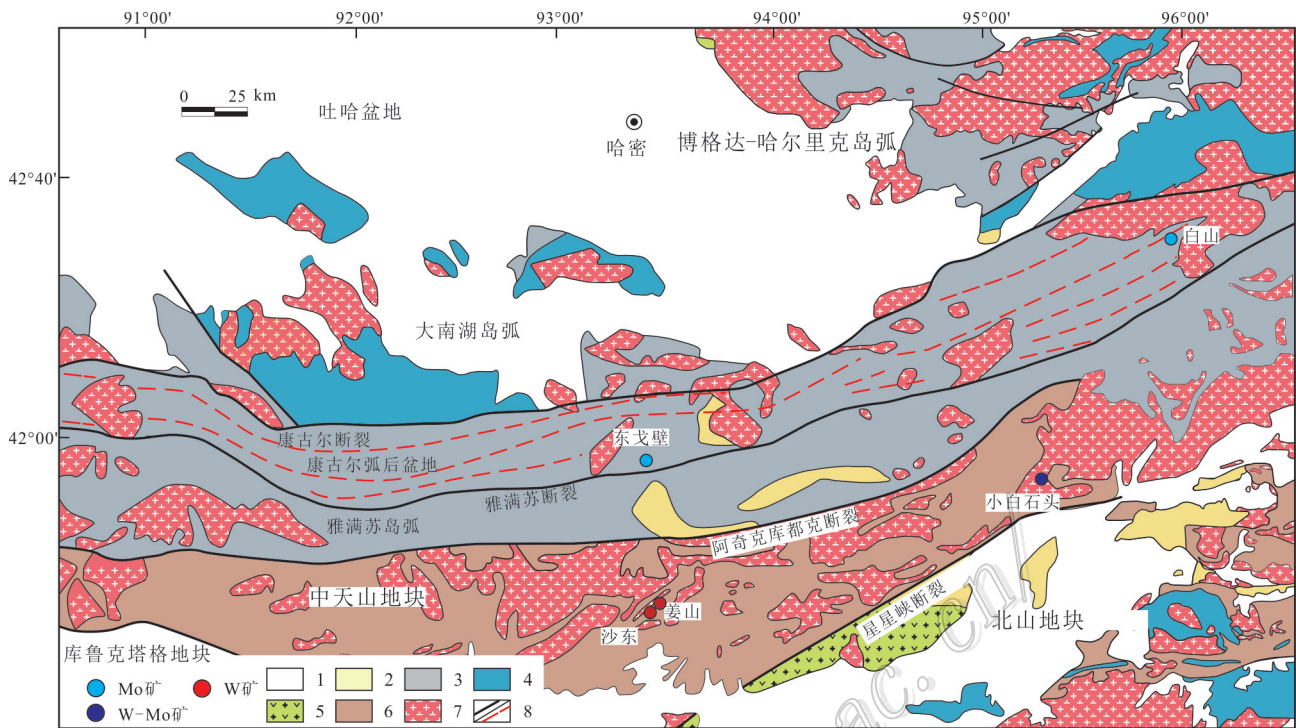


图2 东天山三叠纪矿床分布略图(据王京彬等,2006)

1—新生代沉积物;2—二叠纪火山沉积岩系;3—石炭纪火山沉积岩系;4—奥陶纪—泥盆纪火山沉积岩系;5—早古生代蛇绿岩带;
6—前寒武纪变质岩;7—花岗岩类;8—断层、剪切带

Fig. 2 Distribution of the Triassic deposits in East Tianshan (after Wang et al., 2006)

1—Cenozoic sediments; 2—Permian volcanic-sediments; 3—Carboniferous volcanic-sediments; 4—Ordovician-Devonian volcanic-sediments;
5—Early Paleozoic ophiolite belt; 6—Precambrian metamorphic rocks; 7—Granitoids; 8—Fault, shear zones

现了花岗伟晶岩型和花岗岩型2种矿化类型。有证据表明三叠纪可能发育造山型金矿(陈文等,2006;王义天等,2007;朱永峰,2007;王清利等,2008;袁霞等,2017),但需要高精度年代学限定成矿时代。

花岗伟晶岩型是稀有金属矿的主要矿床成因类型,伟晶岩具有明显的结构分带,一般为3~6个带,最长达9个带(可可托海),锂辉石一般位于中部带。可可托海稀有金属矿划分为文象变文象伟晶岩带、糖晶状钠长石带(富铍矿带,圈定出铍铌矿体)、块体微斜长石带、白云母-石英带(富铍铌矿带)、叶钠长石锂辉石带(富锂矿带,圈定出锂铍铌钽矿体)、石英-锂辉石带(富锂矿带,发现了锂铍铌钽矿体)、白云母-薄片状钠长石带(富钽矿带)、锂云母-薄片状钠长石带(富锂铷铯矿带)、石英铯沸石带(富铯矿带)、核部块体微斜长石带和块体石英带。沙依肯布拉克铍矿伟晶岩中可见石英-白云母带、细粒伟晶岩带、文象-准文象带、细粒钠长石带、块体石英带。同一条伟晶岩脉中往往只出现其中2~3个结构

带,铍矿化主要分布在石英-白云母带和细粒钠长石带中。阿尔泰伟晶岩赋存于早古生代地层和侵入岩中,后者主要有变质辉长岩、黑云母花岗岩、二云母钾长花岗岩、二云母花岗岩、白云母花岗岩。阿尔泰造山带侵入岩分布广泛,主要峰值在早泥盆世(395 Ma)和早二叠世(275 Ma),有精确年龄数据的三叠纪岩体只有阿拉尔岩体、阿斯喀尔特矿区岩体和尚克兰碱长花岗岩(Wang et al., 2008)等。阿斯喀尔特Be-Nb-Mo矿的钼成矿年龄(215~229 Ma)与伟晶岩(218~221 Ma)和白云母钠长花岗岩(219~231 Ma)一致,成矿与岩浆侵入活动有关(刘文政等,2015;王春龙等,2015;张亚峰等,2017)。可可托海3号伟晶岩赋存于辉长岩中,世界上赋存于基性岩中的伟晶岩比较少见,如阿富汗帕斯古斯塔锂辉石矿床部分伟晶岩赋存于辉长岩中(王登红等,2017)。可可托海矿区侵入岩年龄为393~409 Ma,伟晶岩年龄变化于180~220 Ma,其中铌钽矿 LA-ICP-MS U-Pb 年龄为218 Ma,辉钼矿 Re-Os 等时线年龄为208 Ma

(Wang et al., 2007; Liu et al., 2014; Che et al., 2015; Zhou et al., 2015), 伟晶岩形成年龄晚于矿区侵入岩 189~211 Ma, 3号伟晶岩及稀有金属矿的形成与矿区岩浆侵入作用没有成因关系。矿区外围阿拉尔花岗岩基的锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄为 210~233 Ma, 与可可托海稀有金属成矿时间较一致, 认为稀有金属矿形成与阿拉尔花岗岩基有关(Zhu et al., 2006; Liu et al., 2014; 张亚峰等, 2015), 但张辉等(2014)认为阿拉尔花岗岩不属于稀有金属花岗岩, 二者没有成因关系。库卡拉盖Li矿、卡鲁安Li矿、群库尔Be矿和佳木开Be-Nb-Ta矿的伟晶岩锆石U-Pb 年龄分别为 208~228 Ma、192~225 Ma、194~207 Ma 和 199~212 Ma, 4个矿区附近的侵入岩为哈龙花岗岩基, 其年龄为 397~400 Ma(任宝琴等, 2011; Lü et al., 2012; 秦克章等, 2013; 马占龙等, 2015; Zhang et al., 2016; Zhou et al., 2018), 稀有金属矿床的形成与哈龙花岗岩基无关, 目前4个矿区还未发现三叠纪侵入岩。柯鲁木特-吉得克伟晶岩田赋存于吉得克岩体中, 二云母花岗岩和黑云母花岗岩年龄为 446~456 Ma, 柯鲁木特Li-Be-Nb-Ta矿伟晶岩锆石U-Pb 年龄为 188~238 Ma, 稀有金属成矿与花岗岩侵位相差 218~258 Ma(任宝琴等, 2011; Lü et al., 2012; 秦克章等, 2013), 二者没有成因联系。沙依肯布拉克Be矿区花岗岩年龄为 406~531 Ma, 伟晶岩锆石U-Pb 年龄为 202 Ma, 伟晶岩形成远远晚于矿区花岗岩的形成(杨富全等, 2018)。

新疆中亚造山带三叠纪斑岩型矿床有东戈壁超大型钼矿和白山超大型钼矿。与成矿有关的岩体主要为花岗岩斑岩(白山)和似斑状花岗岩(东戈壁), 矿体产于斑岩体内、外接触带的黑云长英质角岩内(白山), 变质砂岩、变质泥质砂岩、变质砂质泥岩中(东戈壁)。矿体主要呈脉状、似层状和透镜状产出, 矿体与围岩呈过渡关系。白山矿化类型有钾长石-石英细脉、硫化物细脉和长英质角岩型; 东戈壁矿化类型以石英网脉型为主, 辉钼矿多呈薄膜状、浸染状赋存于围岩表面或石英脉与围岩接触面上。围岩蚀变主要有钾长石化、硅化、绢云母化、黑云母化、黄铁矿化、绿帘石化、绿泥石化、碳酸盐化、电气石化(东戈壁山)、萤石化(东戈壁)。围岩蚀变空间上有一定的分带, 每个矿床的蚀变分带存在一定的差异, 每个矿床热液蚀变各具特色。

矽卡岩型有沙东钨矿和小白石头钨(钼)矿, 矿体产于黑云二长花岗岩与中元古界卡瓦布拉格群大

理岩、条带状碳质灰岩接触带的矽卡岩中(沙东、小白石头), 黑云斜长片麻岩、大理岩、大理岩和片麻岩的接触带及剪切带中(沙东), 少量在黑云二长花岗岩中(小白石头)。矿化类型主要为矽卡岩型和石英大脉型。小白石头钨(钼)矿白钨矿主要赋存于矽卡岩中, 其次是在白钨矿辉钼矿石英脉、大理岩和黑云二长花岗岩中, 辉钼矿赋存于矽卡岩和石英脉中。围岩蚀变主要为矽卡岩化、硅化、云英岩化、碳酸盐化等, 矽卡岩化和硅化与成矿关系最密切。矽卡岩矿物组合有石榴子石、透辉石、硅灰石、透闪石、阳起石、绿泥石、绿帘石、石英、萤石、白云母、金云母、锂云母、方解石。金属矿物中有白钨矿、黑钨矿(沙东)、辉钼矿、黄铁矿、黄铜矿、磁铁矿、闪锌矿、方铅矿、磁黄铁矿、自然铋、辉铋矿、毒砂。成矿过程经历了早期矽卡岩阶段、退化蚀变阶段、石英硫化物阶段和碳酸盐阶段, 钨主要形成于退化蚀变阶段, 其次是石英硫化物阶段, 钼赋存于云母类矿物中, 形成于退化蚀变阶段, 钼和萤石主要形成于石英硫化物阶段。该类矿床共生或伴生元素组合有钨-萤石-钼(沙东钨、钼和萤石均达到大型)、钨-钼(小白石头), 并具有共生和分离特征, 如小白石头矿区出现钨矿体、钼矿体、钨钼矿体。

3 空间分布

新疆阿尔泰稀有金属矿床发育, 小型以上矿床有 89 处(刘国仁等, 2011), 其中超大型矿床 1 处, 大型矿床 2 处。据不完全统计, 有年龄数据的 27 个矿床 78 件年龄中(杨富全等, 2018 及相关文献), 三叠纪伟晶岩型稀有金属矿床有 14 个, 成为阿尔泰稀有金属主要成矿期, 也是中国中亚造山带三叠纪矿床数量最多的矿床类型和矿种, 主要分布于中阿尔泰(11 个)和南阿尔泰(3 个)(图 1)。14 个矿床中包括超大型矿床 1 个(可可托海 Li-Be-Nb-Ta-Cs-Rb-Hf 矿)、大型矿床 2 个(卡鲁安 Li 矿, 柯鲁木特 Li-Be-Nb-Ta 矿)、中型矿床 4 个(大喀拉苏 Be-Nb-Ta 矿、阿斯喀尔特 Be-Nb-Mo 矿、库卡拉盖 Li 矿、沙依肯布拉克 Be 矿)和小型矿床 7 个。成矿元素组合复杂, 主要有 Li、Be、Li-Be-Nb-Ta、Be-Nb-Ta、Be-Nb-Mo 和 Li-Be-Nb-Ta-Cs-Rb-Hf。邹天人等(2006)将新疆阿尔泰稀有金属成矿单元划分为哈龙-青河稀有金属、白云母、宝石成矿带, 进一步划分为哈龙-青河稀有金属成矿亚带和加曼哈巴-大喀拉苏稀有金属成矿亚带, 包括 9 个矿集区和 38 个矿田。阿尔泰 14 个三叠

纪稀有金属矿分布于可可托海、库威-结别特、柯鲁木特-吉得克、卡拉额尔齐斯、大喀拉苏-可可西尔和小喀拉苏-切别林6个矿集区中。哈龙-青河稀有金属成矿亚带(Ⅳ级)位于青格里河至卡拉额尔齐斯之间,呈北西-南东向延展,长270 km,宽50~60 km。区内主要地层是震旦系—寒武系喀纳斯群和库卫群,中-上奥陶统喀拉乔拉群,中-上志留统库鲁木提群的结晶片岩、片麻岩和混合岩,有关这些地层时代还缺乏精确年代学数据和生物化石限定,有待学者们深入研究。侵入岩主要为晚奥陶世、志留纪和泥盆纪的花岗岩,花岗岩出露面积占该亚带面积的40%以上。亚带内含有23个伟晶岩田,其结构-构造发育齐全,伟晶岩中产Be、Li、Nb、Ta、Cs,工业意义最大,是新疆稀有金属花岗伟晶岩最典型和找矿潜力最大的亚矿带,也是新疆中亚造山带三叠纪稀有金属矿最多的亚矿带。此外,新疆花岗岩型铍矿床(如阿斯卡尔特矿床)也产于此带内。

加曼哈巴-大喀拉苏稀有金属成矿亚带呈北西-南东向延伸,主要位于南阿尔泰,总长210 km,宽20~40 km。出露地层为中-上奥陶统深变质岩和泥盆纪变质火山-沉积岩。侵入岩时代有奥陶纪、泥盆纪、石炭纪和二叠纪。伟晶岩一般产于花岗岩内、外接触带及深变质的片岩、片麻岩和混合岩中。该亚带内含有15个伟晶岩田,稀有金属矿化主要是花岗伟晶岩型。伟晶岩的内部结构带与哈龙-青河稀有金属成矿亚带相比要差一些(邹天人等,2006),相对锂矿化较弱。该带三叠纪稀有金属矿床有苇子沟Be矿床、契别林Be矿床和大喀拉苏Be-Nb-Ta矿床。

三叠纪钨矿和钨钼矿有3个,其中大型1个(沙东钨矿)、中型2个(小白石头钨钼矿、姜山钨矿),分布于东天山,主要类型为矽卡岩型(沙东钨矿、小白石头钨钼矿)和石英脉型(姜山)。沙东一带除了沙东和姜山有年龄限定其成矿为三叠纪外,还有沙东东中型钨矿、明珠小型钨矿、吉山小型钨矿、黑焰山中型钨矿、望家山小型钨矿、HS-29钨锡金矿点和HS-42钨锡矿点(姜晓,2018),其成矿特征和控制因素与沙东钨矿相似,推测也可能形成于三叠纪,是同一成矿事件的产物。三叠纪钼矿分布于东天山,东戈壁和白山钼矿均为超大型斑岩型。

4 主要矿床特征

4.1 卡鲁安-库卡拉盖锂矿

卡鲁安-库卡拉盖锂矿位于中阿尔泰,据福海县

城NE48°直距137 km。库卡拉盖锂矿主要为650号脉,是该矿区最早发现的含锂伟晶岩脉。近年来在卡鲁安发现了多条含锂伟晶岩脉,包括802、803、806、807、809、813、814、815、816、817号脉,其中806、807号脉规模最大,这些脉被称为卡鲁安锂矿。

矿区出露地层为中-上志留统库鲁木提群下亚群红柱石、矽线石、堇青石、十字石黑云母-石英片岩(图3)。矿区内未出露侵入岩体和岩脉,矿区东侧外围出露哈龙花岗岩基(650脉距岩体距离2~3 km)。矿区内主构造线及伟晶岩脉群展布方向与围岩片理的方向基本一致。650号脉(库卡拉盖)为含锂辉石伟晶岩脉,产于黑云石英片岩、二云母石英片岩中,长约1230 m,平均厚度9.88 m,最大延深300 m。分为4个结构带:细粒钠长石-石英带、细粒石英-钠长石-粗大锂云母带、细粒石英-白云母-锂辉石带和粗大锂云母-锂辉石-石英带。与806和807脉的差别在于650脉发育较多的锂云母。

807脉产于黑云石英片岩中,倾向及走向上均呈弧形展布(图3)。地表露头长约10 m左右,厚1.5~2.7 m,深部伟晶岩脉长650 m,厚度为1.70~13.22 m,矿体长480 m,一般中部较厚边部变薄。发育垂向上分带,浅部岩性为含锂云母石英-钠长石-伟晶岩,至深部过渡为石英-钠长石-锂辉石伟晶岩。以Li矿化为主,Li₂O平均品位为1.2%,伴生BeO平均品位为0.046%、(Ta、Nb)₂O₅平均品位为0.0162%。806脉位于矿区北部,为隐伏矿脉,产于黑云石英片岩中,形态为脉状(图4),走向长约1600 m,延深200 m。脉体厚度变化范围较大,最厚处达20余m。该脉划分为3个结构带,其上下盘与围岩接触部位发育1~3 cm的细粒伟晶岩带,其内为30~50 cm厚的白云母-石英-钠长石中粗粒伟晶岩带,岩脉主体为锂辉石-石英-钠长石带。以Li矿化为主,Li₂O平均品位为1.2%,伴生BeO平均品位为0.047%、(Ta、Nb)₂O₅平均品位为0.017%(申茂德等,2016)。卡鲁安-库卡拉盖矿石中矿物有锂辉石、锂云母、白云母、石英、钠长石、铌钽矿、微斜长石、石榴子石、绿柱石、黄玉、磷灰石、电气石等。

4.2 小白石头钨(钼)矿

小白石头钨(钼)位于东天山造山带的中天山地块东南缘,距哈密市星星峡镇东北20 km处。矿区主要出露地层为中元古界卡瓦布拉格群大理岩、条带状碳质灰岩、石英片岩、黑云石英片岩等(见杨富全等,2019图2)。矿区断裂比较发育,主要为NE向

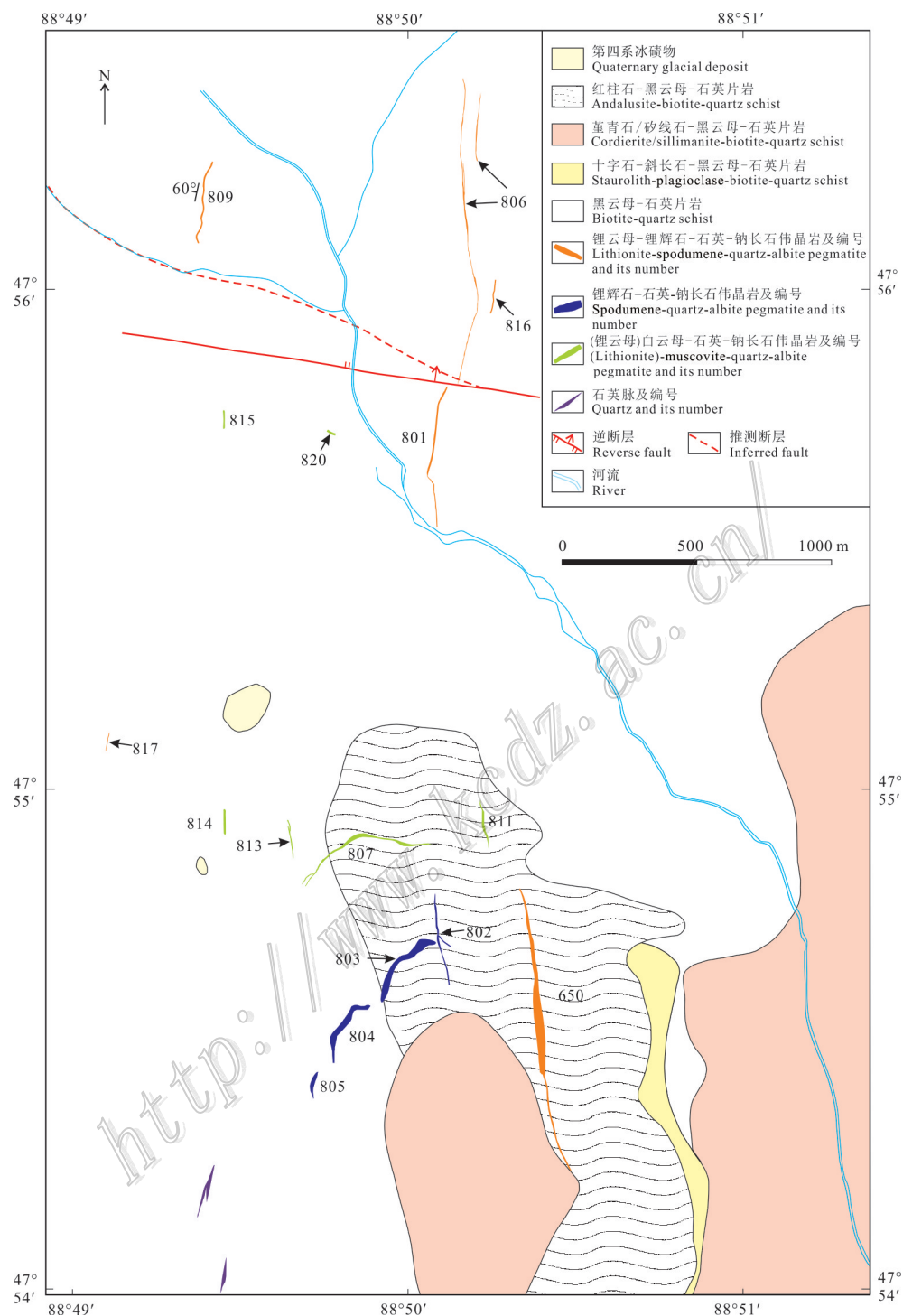


图 3 卡鲁安-库卡拉盖矿区地质略图(据申茂德等, 2016)

Fig. 3 Geological sketch map of the Kalu'an-Kukalagai Li deposit (after Shen et al., 2016)

断裂,少量NW向断裂。矿区内主要侵入岩为早泥盆世花岗闪长岩、早石炭世辉长闪长岩和中三叠世黑云母花岗岩,其中中三叠世黑云母花岗岩与钨钼成矿作用有关(Deng et al., 2017; Li et al., 2019)。小

白石头钨(钼)矿体主要分布于黑云母花岗岩与灰岩接触带的矽卡岩中,少数分布于黑云母花岗岩和大理岩中,矿化类型主要有矽卡岩型(钨矿、钨钼矿)和石英大脉型钨钼矿,以及少量云英岩型锡矿。

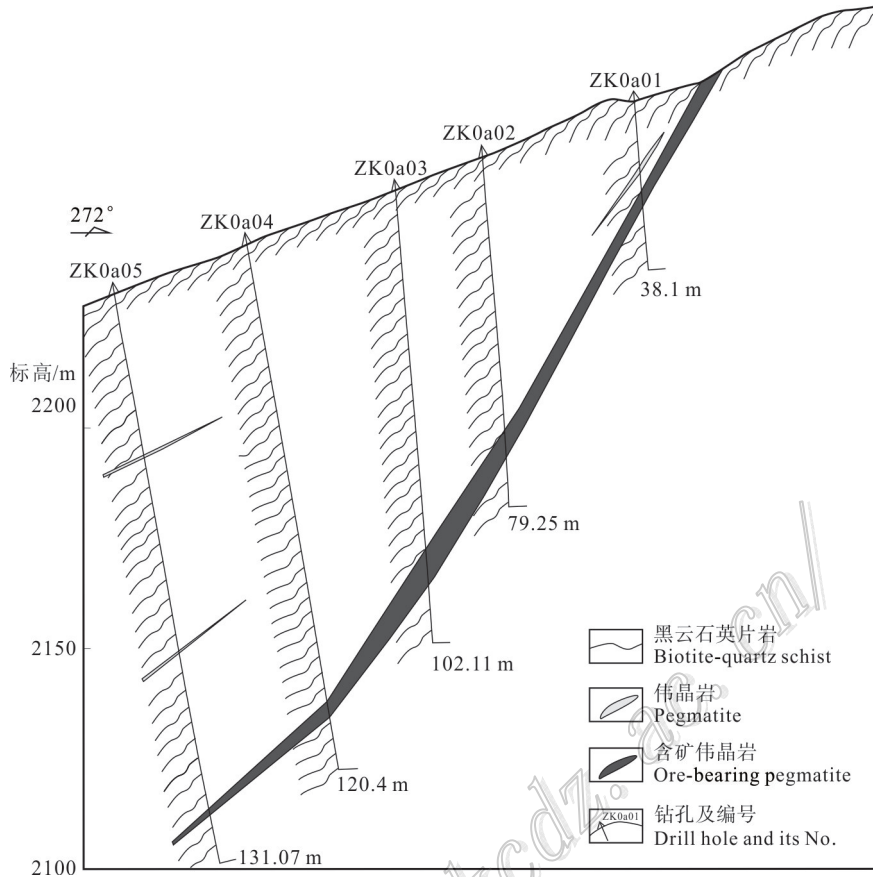


图4 卡鲁安锂矿806脉0a勘探线剖面图(据新疆维吾尔自治区有色地质工程公司,2013)

Fig. 4 Geological section along No. 0a exploration line of No. 806 pegmatite vein in the Kalu'an Li deposit (after Xinjiang Nonferrous Geological Engineering Company, 2013)

矿区圈定96条矿体,分布于5个矿段,大多数为钨矿体或钨钼矿体,部分钼矿体,少量锡矿体。I矿段44条矿体,II矿段25条矿体,III矿段10条矿体,IV矿段4条矿体,V矿段13条矿体。矿体多为透镜状、脉状、串珠状和似层状(图5),受矽卡岩产状、断

裂和裂隙控制。矿体长10~1600 m,厚1.00~4.34 m。钨平均0.76%,伴生钼平均品位0.057%。矿石构造为块状、浸染状、稠密浸染状、团块状、细脉状、网脉状、脉状。成矿过程经历了早期矽卡岩阶段(主要形成石榴子石、透辉石、硅灰石)、退化蚀变阶段(主要

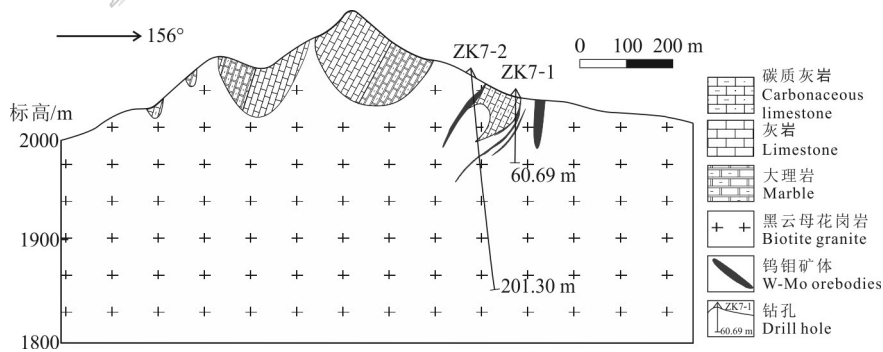


图5 小白石头矿床7勘探线剖面图(据甘肃有色金属地质勘探四队,1987修改)

Fig. 5 Geological section along No. 7 prospecting line of the Xiaobaishitou deposit (modified after No. 4 Team of Gansu Non-ferrous Metals, 1987)

形成绿帘石、阳起石、透闪石、绿泥石、白钨矿、锡石、磁铁矿)、石英硫化物阶段(形成辉钼矿、白钨矿、黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿、方铅矿、磁黄铁矿、自然铋、辉铋矿、毒砂、石英、萤石、方解石、绢云母)。围岩蚀变主要为矽卡岩化、硅化、钠长石化、钾长石化、云英岩化和碳酸盐化,其中矽卡岩化、硅化和云英岩化与成矿关系最密切。

4.3 东戈壁钼矿

东戈壁超大型钼矿位于东天山觉罗塔格带,距哈密市雅满苏镇西北约 40 km。矿区出露地层为下石炭统干墩组,下部为变质砂岩、细砂岩及薄层灰岩;中部为粗砂岩、千枚岩及细碧岩夹含铁碧玉岩;上部为中粗粒砂岩夹含铁碧玉岩及细碧岩。矿区地表出露少量的花岗斑岩脉,侵入岩主要为隐伏的三

叠纪似斑状钾长花岗岩(228~236 Ma, Wu et al., 2017),少量花岗斑岩脉(292 Ma, 杨志强等, 2011)。

矿区断裂按走向可分为 NE 向、NW 向和近 EW 向,以近 EW 向断裂最发育(图 6)。钼矿体赋存于隐伏斑状花岗岩东西两侧外接触带的干墩组浅变质砂岩、泥质砂岩、砂质泥岩中,包括 2 个矿段,东矿带只有 I 号主矿体,西矿段包括 4 个矿体。矿体平面为形状不规则的近圆形,剖面形态为近似层状-透镜状,总体产状平缓(图 7)。I 号主矿体距岩体边界一般在 100 m 以外,东西长 852~1448 m,南北长 834~1534 m。辉钼矿主要赋存于石英脉中,其次是钾长石脉、方解石石英脉和萤石石英脉中,大脉长 100~300 m,宽 5~50 cm,小脉长 1~10 m,宽 0.1~1 cm。矿石构造主要为细脉-浸染状、脉状、斑块状、薄膜状、角砾状、放射状。矿

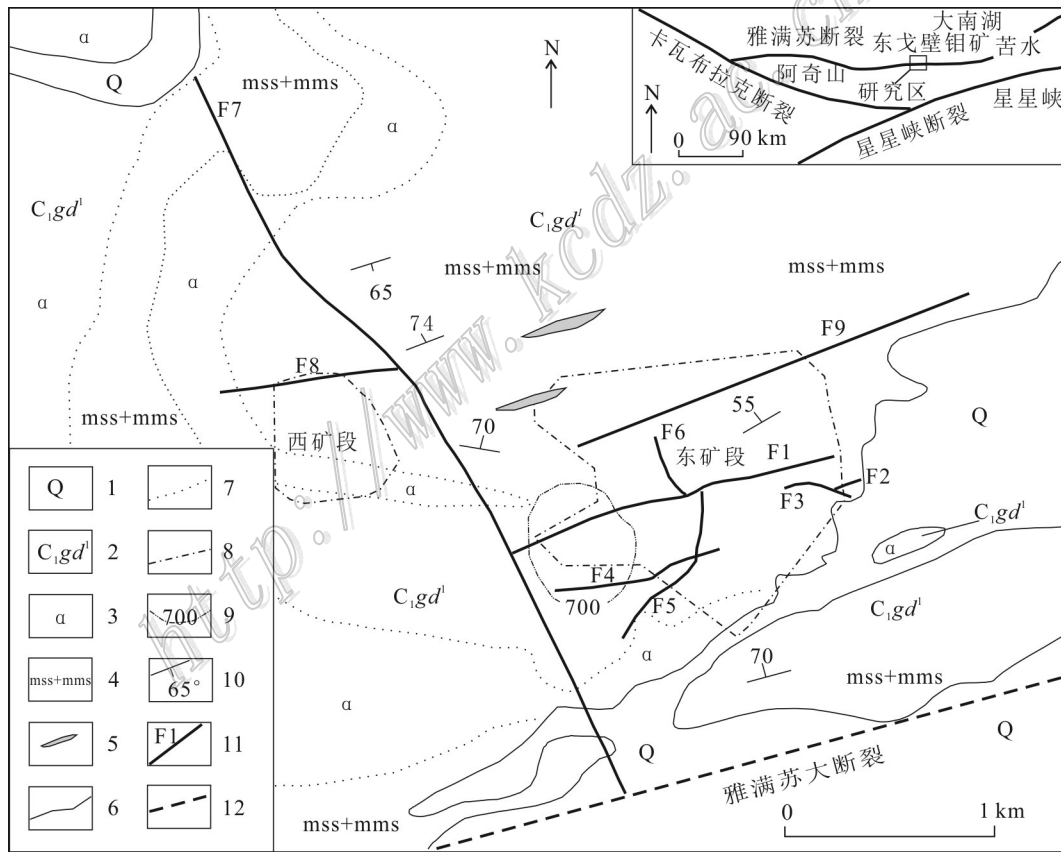


图 6 东戈壁钼矿区地质略图(据河南省地质矿产勘查开发局第二地质勘查院, 2010)

- 1—第四系沉积物; 2—下石炭统干墩组下段浅变质砂岩、泥质砂岩; 3—石炭系安山岩; 4—石炭系变质砂岩、泥岩; 5—花岗斑岩脉;
- 6—地质界线; 7—岩性界线; 8—矿体边界线; 9—700 m 高程斑状花岗岩体边界线; 10—地层产状; 11—断层及编号; 12—推测断层

Fig. 6 Generalized geological map of the Donggebi Mo ore district(after No. 2 Geo-Exploration Institute of Henan Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, 2010)

- 1—Quaternary sediments; 2—Metasandstone and meta-argillaceous sandstone of Lower Member of Gandun Formation; 3—Carboniferous andesite;
- 4—Carboniferous metasandstone and mudstone; 5—Granite porphyry dyke; 6—Geological boundary; 7—Lithologic boundary; 9—Orebody boundary; 10—Porphyritic granite boundary at the 700 m elevation; 11—Fault and its serial number; 12—Inferred fault

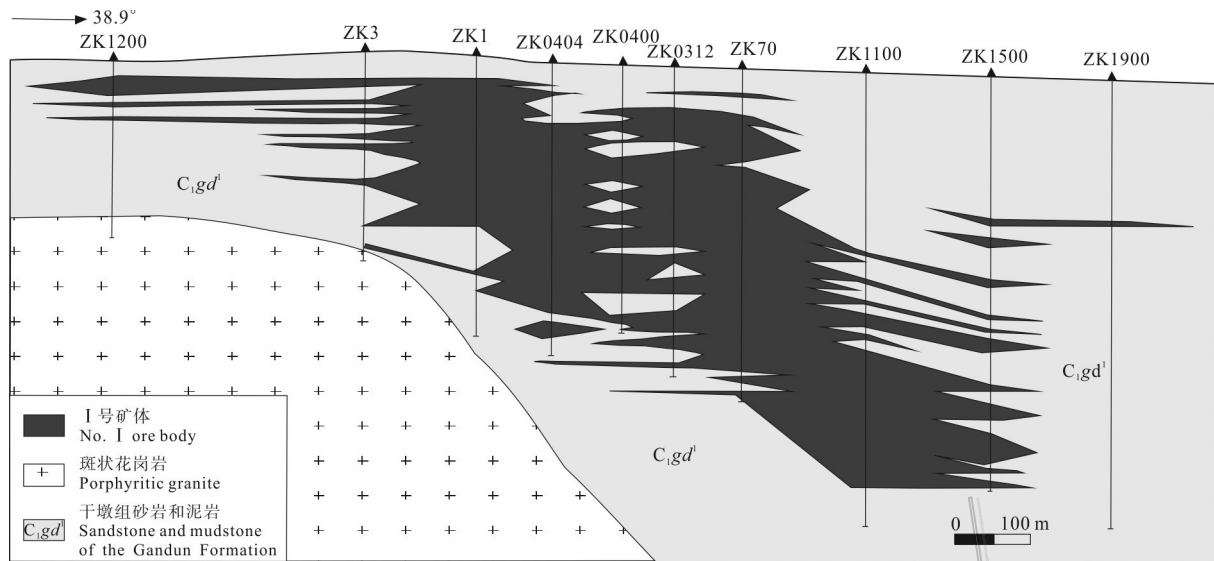


图7 东戈壁钼矿床 I 号勘探剖面图(据河南地质矿产勘查开发局第二地质勘查院,2010)

Fig. 7 Geological section along No. I exploration line of the Donggebi Mo deposit(after No. 2 Geo-Exploration Institute of Henan Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, 2010)

石中金属矿物主要为辉钼矿、黄铁矿,微量黄铜矿、磁黄铁矿、金红石、方铅矿、闪锌矿、白钨矿、黑钨矿、钛铁矿等,非金属矿物主要为石英、绢云母、黑云母、白云母、钾长石、斜长石、方解石等。围岩蚀变主要有钾化、硅化、黄铁矿化、电气石化、碳酸盐化、萤石化、云母化(绢云母、白云母化、黑云母),其中,硅化、钾长石化与钼矿化关系密切。

5 成矿时代

三叠纪(部分矿床延续到早侏罗世)形成的稀有金属矿床有14处,成矿年龄变化于193~248 Ma,峰值为215 Ma(表1),不同成矿元素组合的矿床成矿年龄差别不大。可可托海矿床主成矿作用发生在晚三叠世(198~222 Ma),但也出现了早侏罗世年龄,如VI和VII伟晶岩带中锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄为187~193 Ma,白云母 Ar-Ar 年龄为180~182 Ma(Zhou et al., 2015),这些年龄代表成矿年龄还是热液重结晶锆石所致年龄有待深入研究。卡鲁安锂矿、虎斯特铍钼矿、群库尔铍矿的成矿时代从晚三叠世延续到早侏罗世,分别是190~225 Ma、196~244 Ma和194~207 Ma(申茂德等,2016;Zhang et al., 2016;Zhou et al., 2018)。

斑岩型矿床有东戈壁超大型钼矿和白山超大

型钼矿,成矿年龄为223~234 Ma,峰值为230 Ma。东天山姜山石英脉型钨矿成矿与花岗岩有关,花岗岩年龄为248 Ma,限定成矿时间在248 Ma左右。东天山沙东大型矽卡岩型钨矿和小白石头中型矽卡岩钨(钼)矿成矿与黑云母花岗岩有关,沙东黑云母花岗岩年龄为239~245 Ma,限定钨成矿时代为239~245 Ma。小白石头黑云母花岗岩年龄为241~246 Ma,辉钼矿 Re-Os 年龄为244.9~245.5 Ma(Deng et al., 2017;Li et al., 2019),两个钨矿为同一岩浆活动和成矿事件的产物。

总之,新疆中亚造山带目前有年代学资料的三叠纪矿床年龄变化于193~248 Ma,峰值为215 Ma(图8)。不同矿床类型成矿时代略有差别,形成时间相对较早的有矽卡岩型钨矿和钨(钼)矿和石英脉型钨矿,其次是斑岩型钼矿,伟晶岩型稀有金属矿形成时间跨度最大,多数形成于晚三叠世,甚至延续到早侏罗世。

目前三叠纪金矿较少,只有西天山望峰、东天山红石和北山金窝子3个造山型金矿。望峰金矿石中白云母 Ar-Ar 等时线年龄为221~223 Ma(Zhu et al., 2007),绢云母 Ar-Ar 坪年龄为250~256 Ma(袁霞等, 2017),形成于晚二叠世—晚三叠世,但也有学者认为是形成于二叠纪(陈衍景等,1998;杨猛等,2012)。红石金矿石中绢云母 Ar-Ar 年龄为246.5~246.9 Ma

表 1 新疆中亚造山带三叠纪矿床成矿年龄

Table 1 Summary of geochronological data for Triassic deposits in the Central Asian Orogenic Belt, Xinjiang

矿床名称	矿种	位置	规模	成因类型	岩石/矿石	测试方法	年龄/Ma	参考文献
苇子沟	Be	阿尔泰	小型	伟晶岩型	伟晶岩	锆石 LA-ICP-MS U-Pb	248.2 ± 2.2	秦克章等, 2013
					伟晶岩	白云母 Ar-Ar 坪年龄	237.4 ± 1.2	Zhou et al., 2018
契别林	Be	阿尔泰	小型	伟晶岩型	伟晶岩	锆石 LA-ICP-MS U-Pb	240.5 ± 1.4	任宝琴等, 2011
阿巴宫	Be-Nb-Ta	阿尔泰	小型	伟晶岩型	伟晶岩	锆石 LA-ICP-MS U-Pb	246.8 ± 1.2	Lü et al., 2012
大喀拉苏	Be-Nb-Ta	阿尔泰	中型	伟晶岩型	伟晶岩	铌钽矿 LA-ICP-MS U-Pb	239.6 ± 3.8	Zhou et al., 2018
					伟晶岩	锆石 LA-ICP-MS U-Pb	231.8 ± 4.7	秦克章等, 2013
					伟晶岩	白云母 Ar-Ar 坪年龄	248.4 ± 2.1	王登红等, 2002
					伟晶岩	锆石 LA-ICP-MS U-Pb	216 ± 2.6	马占龙等, 2015
卡鲁安	Li	阿尔泰	大型	伟晶岩型	伟晶岩	锆石 LA-ICP-MS U-Pb	223.7 ± 1.8	马占龙等, 2015
					伟晶岩	锆石 LA-ICP-MS U-Pb	221 ± 1.5	马占龙等, 2015
					伟晶岩	锆石 LA-ICP-MS U-Pb	224.6 ± 2.3	Zhang et al., 2016
					伟晶岩	锆石 LA-ICP-MS U-Pb	192.6 ± 2.3	Zhang et al., 2016
库卡拉盖 650 号	Li-Be-Nb-Ta	阿尔泰	中型	伟晶岩型	伟晶岩	锆石 LA-ICP-MS U-Pb	207.9 ± 5.1	秦克章等, 2013
					伟晶岩	锆石 LA-ICP-MS U-Pb	227.9 ± 2.6	张辉等, 2014
群库尔	Be	阿尔泰	小型	伟晶岩型	伟晶岩	锆石 LA-ICP-MS U-Pb	211.3 ± 2.4	张辉等, 2014
					伟晶岩	锆石 LA-ICP-MS U-Pb	207.2 ± 1.6	Lü et al., 2012
					伟晶岩	锆石 LA-ICP-MS U-Pb	206.8 ± 1.6	任宝琴等, 2011
					伟晶岩	锆石 LA-ICP-MS U-Pb	194.3 ± 1.6	秦克章等, 2013
佳木开	Be-Nb-Ta	阿尔泰	小型	伟晶岩型	伟晶岩	锆石 LA-ICP-MS U-Pb	212.2 ± 1.7	任宝琴等, 2011
虎斯特	Be-Nb-Ta	阿尔泰	小型	伟晶岩型	伟晶岩	锆石 LA-ICP-MS U-Pb	244.3 ± 1.1	任宝琴等, 2011
					伟晶岩	锆石 LA-ICP-MS U-Pb	195.9 ± 2.4	秦克章等, 2013
阿祖拜	Be	阿尔泰	小型	伟晶岩型	伟晶岩	锆石 LA-ICP-MS U-Pb	198.5 ± 2.5	Zhou et al., 2018
					伟晶岩	锆石 LA-ICP-MS U-Pb	215.6 ± 0.9	张辉等, 2014
柯鲁木特	Li-Be-Nb-Ta	阿尔泰	大型	伟晶岩型	伟晶岩	铌钽矿 LA-ICP-MS U-Pb	207.9 ± 1.6	王春龙未刊数据
					伟晶岩	锆石 LA-ICP-MS U-Pb	202.9 ± 0.8	任宝琴等, 2011
					伟晶岩	锆石 LA-ICP-MS U-Pb	238.3 ± 2.0	Lü et al., 2012
					伟晶岩	锆石 LA-ICP-MS U-Pb	233.5 ± 3.7	Lü et al., 2012
					伟晶岩	锆石 LA-ICP-MS U-Pb	218.8 ± 1.9	Lü et al., 2012
沙依肯布拉克	Be	阿尔泰	中型	伟晶岩型	伟晶岩	锆石 LA-ICP-MS U-Pb	210.7 ± 1.6	Lü et al., 2012
					伟晶岩	锆石 LA-ICP-MS U-Pb	201.9 ± 2.3	杨富全等, 2018
阿斯喀尔特	Be-Nb-Mo	阿尔泰	中型	伟晶岩型、花岗岩型	伟晶岩	锆石 LA-ICP-MS U-Pb	202.2 ± 3.4	杨富全等, 2018
					伟晶岩	辉钼矿 Re-Os	218.6 ± 1.3	王春龙等, 2015
					伟晶岩	辉钼矿 Re-Os	228.7 ± 7.1	刘文政等, 2015
					伟晶岩	辉钼矿 Re-Os	214.9 ± 1.2	丁欣等, 2016
					伟晶岩	锆石 LA-ICP-MS U-Pb	220.6 ± 1.6	刘文政等, 2015
					伟晶岩	锆石 LA-ICP-MS U-Pb	218.2 ± 3.9	王春龙等, 2015
可可托海	Be-Li-Nb-Ta	阿尔泰	超大型	伟晶岩型	伟晶岩	铌钽矿 LA-ICP-MS U-Pb	218 ± 2	Che et al., 2015
					伟晶岩	辉钼矿 Re-Os	208.8 ± 2.4	Liu et al., 2014
					伟晶岩	锆石 SHRIMP U-Pb	220 ± 9	Wang et al., 2007
					伟晶岩	锆石 SHRIMP U-Pb	198 ± 7	Wang et al., 2007
					伟晶岩	锆石 SHRIMP U-Pb	213 ± 6	Wang et al., 2007
					伟晶岩	锆石 LA-ICP-MS U-Pb	210.7 ± 6.3	Zhou et al., 2015
					伟晶岩	锆石 LA-ICP-MS U-Pb	198.5 ± 4.2	Zhou et al., 2015
东戈壁	Mo	东天山	超大型	斑岩	钼矿石	辉钼矿 Re-Os	212.0 ± 1.8	陈剑锋, 2011
					钼矿石	辉钼矿 Re-Os	231.1 ± 1.5	涂其军等, 2012
					钼矿石	辉钼矿 Re-Os	231.9 ± 6.5	吴艳爽等, 2013
沙东	W	东天山	大型	矽卡岩型	黑云母花岗岩	辉钼矿 Re-Os	234.2 ± 1.6	Han et al., 2018
					花岗岩	锆石 LA-ICP-MS U-Pb	245.04 ± 0.5	唐俊林, 2014
姜山	W	东天山	中型	石英脉型	花岗岩	锆石 LA-ICP-MS U-Pb	239 ± 2.0	Chen et al., 2018
小白石头	W-Mo	东天山	中型	矽卡岩型	花岗岩	锆石 LA-ICP-MS U-Pb	248 ± 2	姜晓, 2018
					钼矿石	辉钼矿 Re-Os	244.9 ± 4.2	Deng et al., 2017
白山	Mo	东天山	超大型	斑岩型	钼矿石	辉钼矿 Re-Os	245.5 ± 4.3	李宇等, 2019
					钼矿石	辉钼矿 Re-Os	224.8 ± 4.5	Zhang et al., 2005
					钼矿石	辉钼矿 Re-Os	227.7 ± 4.3	张达玉等, 2009
					钼矿石	辉钼矿 Re-Os	223.2 ± 2.7	涂其军等, 2014

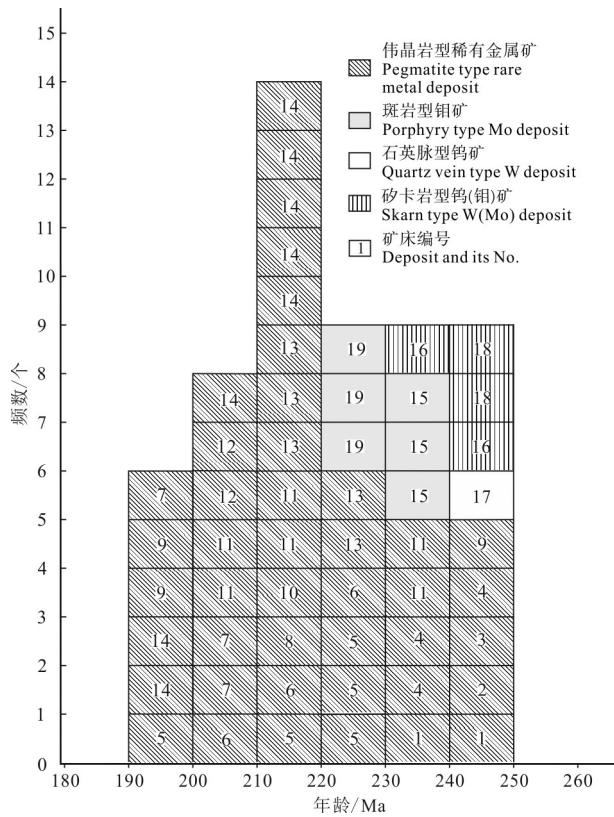


图8 新疆中亚造山带三叠纪矿床成矿年龄直方图
Fig. 8 Histogram of ore-forming ages of the Triassic deposits in the Central Asian Orogenic Belt, Xinjiang

(陈文等, 2006), 金窝子金矿石中绢云母 Ar-Ar 年龄为 243 Ma (陈文等, 2006), 两个金矿均形成于中三叠世。3 个金矿成矿年龄变化于 221~256 Ma, 峰值为 245 Ma, 相对于伟晶岩型稀有金属矿, 造山型金矿形成较早。

除了 19 个矿床形成于三叠纪外, 有些矿床的叠加成矿作用发生在三叠纪, 如西南天山的萨瓦亚尔顿超大型造山型金矿两期黄铁矿 Re-Os 年龄分别为 (324±4.8)Ma 和 (282±12)Ma, 前者代表了早期成矿作用发生在晚石炭世, 与区域变形和变质时间一致, 后者代表主成矿作用发生在早二叠世, 与剪切带中逆断层活动有关 (Zhang et al., 2017)。绢云母 Ar-Ar 加权平均年龄为 253 Ma (杨富全等, 2006), 含金石英脉的石英流体 ⁴⁰Ar/³⁹Ar 坪年龄为 212 Ma (刘家军等, 2002), 表明三叠纪仍然有热液活动及金叠加成矿作用。西南天山大山口造山型金矿含金石英脉中石英流体 ⁴⁰Ar/³⁹Ar 坪年龄为 207 Ma 和 212 Ma, 表明晚三叠世有金成矿作用 (刘家军等, 2004)。阿尔泰三叠纪除形成稀有金属矿外, 一些矿床叠加改造成

矿作用也发生在三叠纪, 如乌吐布拉克铁矿、蒙库铁矿和塔拉特铅锌铁矿中辉钼矿 Re-Os 年龄为 203~251 Ma (Yang et al., 2013; 袁玲玲等, 2017)。塔拉特铅锌铁矿石榴子石和榍石 U-Pb 年龄为 210~232 Ma (Li et al., 2018)。阿尔泰多数矿床中含钾矿物 ⁴⁰Ar/³⁹Ar 年龄也集中在三叠纪 (204~240 Ma), 如蒙库铁矿 (黑云母 ⁴⁰Ar/³⁹Ar 坪年龄为 216~221 Ma, 杨富全等, 2011)、加尔巴斯岛铁矿 (黑云母 ⁴⁰Ar/³⁹Ar 坪年龄为 226 Ma, 杨富全等, 2011)、阿巴宫铁(磷)矿 (黑云母 ⁴⁰Ar/³⁹Ar 坪年龄为 217 Ma, 杨富全等, 2011)、乌拉斯沟多金属矿 (白云母 ⁴⁰Ar/³⁹Ar 坪年龄为 220 Ma, Zheng et al., 2012)、大东沟铅锌矿 (黑云母 ⁴⁰Ar/³⁹Ar 坪年龄为 204~206 Ma, Zheng et al., 2017)、铁木尔特铅锌铜矿 (黑云母 ⁴⁰Ar/³⁹Ar 坪年龄为 239~240 Ma, Zheng et al., 2017)、萨尔阔布金矿 (黑云母 ⁴⁰Ar/³⁹Ar 坪年龄为 213.5 Ma, Zhang et al., 2014; 郑义等, 2014)。有的学者提出乌拉斯沟多金属矿、大东沟铅锌矿、萨尔阔布金矿为三叠纪造山型矿床 (Zheng et al., 2017), 铁木尔特铅锌铜矿早期为 VMS 型, 三叠纪叠加改造成矿 (Yu et al., 2019)。准噶尔北缘哈腊苏铜矿含铜石英闪长斑岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为 216 Ma, 铜矿石中钾长石 Ar-Ar 年龄为 198~206 Ma, 表明晚三叠世有陆内构造岩浆活化期叠加成矿作用 (薛春纪等, 2010)。乔夏哈拉铁铜矿钾长石 ⁴⁰Ar/³⁹Ar 法总气体年龄为 246 Ma (杨富全等, 2011), 暗示早三叠世矿区有构造热液活动。总之, 中国中亚造山带西段, 特别是在阿尔泰三叠纪发生过一次强烈的构造-热液-成矿事件, 造成了三叠纪成矿作用强烈, 除形成单独的矿床外, 还有较多的叠加成矿作用。

6 主要控矿因素

新疆中亚造山带三叠纪金属矿床空间上主要分布于阿尔泰和东天山, 前者主要形成伟晶岩型稀有金属矿床, 后者主要为矽卡岩型钨(钼)矿和斑岩型钼, 少量石英脉型钨矿, 西天山、东天山和北山的 3 个造山型金矿也是三叠纪成矿或三叠纪有成矿作用。阿尔泰伟晶岩型稀有金属矿主要分布在中阿尔泰, 多数分布在震旦-寒武系库卫群和中-上志留统库鲁木提群变质岩系中, 深变质岩较浅变质岩中伟晶岩数量多, 含矿性好的伟晶岩脉常出于深变质的地层中。尽管伟晶岩受层位控制, 但成矿年龄明显

晚于区域变质时代,这些伟晶岩及稀有金属矿不是区域变质的产物。变质岩为成矿提供了部分成矿物质来源,伟晶岩的岩浆在上侵过程中,萃取地层中的成矿物质,进入到成矿系统中。伟晶岩受构造、围岩岩性及界面、岩体顶部的起伏状态,剥蚀程度等因素的控制。矿床或含矿伟晶岩脉主要受北西-南东向(310~330°为主)断裂或裂隙控制,走向为NE向的次之,走向近EW向、SN向的伟晶岩相对较少。背斜构造的倾伏端、岩体外接触带,岩体内残留地层中伟晶岩数量多、规模大、白云母矿化好。前已述及,14个三叠纪稀有金属矿与同时代侵入岩有成因联系的只有阿斯喀尔特矿,可可托海稀有金属矿与似斑状黑云母花岗岩关系存在很大争议,其他三叠纪稀有金属矿与赋矿花岗岩不存在成因关系,岩体只是赋矿的围岩,岩体与地层接触带、岩体中断裂和裂隙仅为容矿提供了空间,对于三叠纪稀有金属矿的成因机制还有待深入研究。

矽卡岩型、石英脉型钨矿和钨(钼)矿只分布于东天山的中天山地块中,受岩体和矽卡岩控制,矿体主要产于黑云二长花岗岩与中元古界卡瓦布拉格群大理岩、条带状碳质灰岩接触带的矽卡岩中(沙东、小白石头),少量在黑云斜长片麻岩、大理岩、大理岩和片麻岩的接触带及剪切带中(沙东),少量在黑云二长花岗岩中(小白石头)和花岗岩中(姜山)。成矿与岩浆期后热液活动有关,中元古界卡瓦布拉格群提供钨的来源。

三叠纪斑岩型钼矿床仅分布于东天山觉罗塔格构造带的康古尔弧后盆地,成矿受花岗斑岩(白山)和似斑状花岗岩(东戈壁)控制,矿体产于斑岩体内、外接触带的黑云长英质角岩内(白山),变质砂岩、变质泥质砂岩、变质砂质泥岩中(东戈壁)。

7 找矿前景

新疆中亚造山带三叠纪矿床主要集中在阿尔泰和东天山,对东天山的多数矿床开展了较详细的勘查工作,但这些矿床外围的一些矿床(点)缺乏勘查工作。沙东是大型钨矿,共生的萤石和铀也达到大型规模,其周围还有黑焰山中型钨矿、姜山中型钨矿、沙东东中型钨矿、明珠小型钨矿、吉山小型钨矿、望家山小型钨矿、东南河钨矿、HS-29钨锡金矿点和HS-42钨锡矿点,构成了钨矿集区,是与沙东矿床同一成矿事件的产物,有地球化学异常,有同时代黑云

二长花岗岩,具有很大的成矿潜力。对这些中小型矿床和矿点进行详细的勘查,会取得找矿重要突破。尽管对沙东钨矿进行了详查工作,但深部矿化并没有控制,仍然有找矿空间。沙东钨矿和小白石头钨(钼)矿均位于中天山地块,二者直线距离155 km,二者中间为东南河钨矿,成矿岩体均为黑云母二长花岗岩,岩体时代相同(239~246 Ma),岩体围岩为长城系星星峡群和蓟县系卡瓦布拉克群片岩和大理岩,矿化均赋存于岩体与大理岩接触带的矽卡岩中,矿化特征相似,因此,沙东到东南河到小白石之间有较大的找矿远景。

阿尔泰有10万余条伟晶岩脉,分布于在9个伟晶岩矿集区的38个伟晶岩田中,已发现超大型矿床1处(可可托海),大型矿床2处(卡鲁安Li矿,柯鲁木特Li-Be-Nb-Ta矿),中型矿床5处,小型81处,众多矿点和矿化点(刘国仁等,2011)。包括14个三叠纪稀有金属矿在内的稀有金属矿床总体勘查程度不高,除可可托海、卡鲁安、柯鲁木特少数矿床进行过详查和勘探外,多数矿床,特别是小型和矿点,勘查程度低,只进行过地表少量工作,阿尔泰稀有金属矿资源潜力并没有查清楚。锂、铍、铌、钽、铯等稀有金属为中国关键矿产(王登红,2019),阿尔泰又是稀有金属成矿带之一,加大稀有金属找矿力度势在必行。

8 主要结论

(1) 新疆中亚造山带目前有年代学资料的三叠纪矿床有19个,主要为花岗伟晶岩型稀有金属矿、斑岩型钼矿和矽卡岩型钨矿,少数为石英脉型和花岗岩型(阿斯喀尔特Be-Nb-Mo矿),3个造山型金矿(望峰、红石和金窝子)可能也是三叠纪产物。花岗伟晶岩型稀有金属矿主要分布于中阿尔泰,其次是南阿尔泰,斑岩型钼矿分布于东天山觉罗塔格构造带,矽卡岩型钨矿和钨(钼)、石英脉型钨矿分布于东天山的中天山地块。西南天山和阿尔泰一些叠加成矿作用发生在三叠纪。

(2) 19个矿床三叠纪年龄变化于193~248 Ma,峰值为215 Ma。不同矿床类型成矿时代略有差别,形成时间相对较早的有矽卡岩型钨矿和钨(钼)矿、石英脉型钨矿,其次是斑岩型钼矿,伟晶岩型稀有金属矿形成时间跨度最大,但多数形成于晚三叠世,少数延续到早侏罗世。

(3) 东天山沙东-小白石头一带三叠纪钨矿成矿

潜力较大,加大阿尔泰稀有金属矿找矿力度,有望取得找矿新突破。

致谢 本文为综述文章,引用了大量前人公开发表的论文以及未出版的研究报告等,在此致以衷心的感谢。

References

- Che X D, Wu F Y, Wang R C, Gerdes A, Ji W Q, Zhao Z H, Yang J H and Zhu Z Y. 2015. In situ U-Pb isotopic dating of columbite-tantalite by LA-ICP-MS[J]. *Ore Geology Reviews*, 65: 979-989.
- Chen C, Lü X B, Wu C M, Jiang X and Mao C. 2018. Origin and geodynamic implications of concealed granite in Shandong tungsten deposit, Xinjiang, China: Zircon U-Pb chronology, geochemistry, and Sr-Nd-Hf isotope constraint[J]. *Journal of Earth Science*, 29: 114-129.
- Chen J F. 2011. Geochemistry of the plate part in Altai No. 3 pegmatite and its formation and evolution (Dissertation for the Degree of Master of Philosophy)[D]. Dissertation Supervisor: Zhang H. Guiyang: Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences. 1-86(in Chinese with English Abstract).
- Chen W, Zhang Y, Zhao H B, Han D and Wang C Y. 2006. Mineralization age of the Hongshan gold deposit, East Tianshan, Xinjiang[J]. *Geology in China*, 33(3): 632-640(in Chinese with English abstract).
- Chen Y J, Li X, Jing J, Gao X L, Chen H Y, Wu X D and Wu D H. 1998. Study of ore-forming fluid for the Wangfeng gold deposit of Xinjiang and its genetic implication[J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 19(2): 195-203(in Chinese with English abstract).
- Daukeev S Zh, Uzhkenov B S, Bespaev Kh A, Miroschnichenko L A, Mazurov A K and Saydukasov M A. 2004. Atlas of mineral deposit models of the republic of Kazakhstan[M]. Almaty: Printing House "Center for geoinformation of the Military Forces of the Republic of Kazakhstan". 1-141.
- Deng X H, Chen Y J, Santosh M, Wang J B, Li C, Yue S W, Zheng Z, Chen H J, Tang H S, Dong L H and Qu X. 2017. U-Pb zircon, Re-Os molybdenite geochronology and Rb-Sr geochemistry from the Xiaobaishitou W-(Mo) deposit: Implications for Triassic tectonic setting in eastern Tianshan, NW China[J]. *Ore Geology Reviews*, 80: 332-351.
- Ding X, Li J K, Ding J G, Wang S, Liu Y C and Wang X. 2016. Molybdenite Re-Os isochron age and geological implication in Asikaerte Be-Nb-Mo deposit of Xinjiang[J]. *Journal of Guilin University of Technology*, 36(1): 60-65(in Chinese with English Abstract).
- Gao J, Zhu M T, Wang X S, Hong T, Li G M, Li J L, Xiao W J, Qin K Z, Zeng Q D, Shen P, Xu X W, Zhang Z C, Zhou J B, Lai Y, Zhang X H, Sun J G, Wan B and Wang B. 2019. Large scale porphyry type mineralization in the Central Asian metallogenic domain: Tectonic background, fluid feature and metallogenic deep dynamic mechanism[J]. *Acta Geologica Sinica*, 93(1): 24-71(in Chinese with English abstract).
- Geoengineering Corporation of the Xinjiang Nonferrous Geoprospection Bureau. 2013. Exploration report of Kaluan spodumene deposit, Fuhai County, Xinjiang[R]. Unpublished Report(in Chinese).
- Han C M, Xiao W J, Su B X, Sakyi P A and Zhao N. 2018. Geology, Re-Os and U-Pb geochronology and sulfur isotope of the the Donggebi porphyry Mo deposit, Xinjiang, NW China, Central Asian Orogenic Belt[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 165: 270-284.
- He G Q, Cheng S D, Xu X, Li J Y and Hao J. 2004. An introduction to the explanatory text of the map of tectonics of Xinjiang and its neighbouring areas[M]. Beijing: Geological Publishing House. 1-65(in Chinese with English abstract).
- Jiang X. 2018. Study on metallogenic regularity and prospecting model of tungsten deposits in shalong area of East Tianshan[J]. *Mineral Exploration*, 9(4): 534-541(in Chinese with English Abstract).
- Li D F, Fu Y and Sun X M. 2018. Onset and duration of Zn-Pb mineralization in the Talate Pb-Zn (-Fe) skarn deposit, NW China: Constraints from spessartine U-Pb dating[J]. *Gondwana Research*, 63: 117-128.
- Li J Y, He G Q, Xu X, Li H Q, Sun G H, Yang T N, Gao L M and Zhu L X. 2006. Crustal tectonic framework of northern Xinjiang and adjacent regions and its formation[J]. *Acta Geologica Sinica*, 80(1): 148-168(in Chinese with English abstract).
- Li N, Yang F Q, Li C, Zhang Z X and Yang C D. 2019. Re-Os isotopic age of molybdenite from the Xiaobaishi W-(Mo) deposit, eastern Tianshan, Xinjiang and its geological implication[J]. *Rock and Mineral Analysis*, 38(1): 112-122(in Chinese with English Abstract).
- Li N, Yang F Q, Li C, Zhang Z X and Yang C D. 2019. Geochemistry and chronology of the biotite granite in the Xiaobaishitou W-(Mo) deposit, eastern Tianshan, China: Petrogenesis and tectonic implications[J]. *Ore Geology Reviews*, 107: 999-1019.
- Liu F, Zhang Z X, Li Q, Zhang C and Li C. 2014. New precise timing constraint for the Keketuohai No. 3 pegmatite in Xinjiang, China, and identification of its parental pluton[J]. *Ore Geology Reviews*, 6: 209-219.
- Liu G R, Zhang X T, Li X R, Ren C P, Dun S L, Qin J H, Zhang X K, Lang E D, Hao J, Lü X L, Deng J, Zhao H, Wang X, Hou X J, Ta M X and Shu H J. 2011. Study on mineral resources planning in Altay region of Xinjiang[R]. Unpublished Report(in Chinese).
- Liu J J, Long X R, Zheng M H, Li E D, Wang J Z, Sang H Q and Yin H X. 2002. The metallogenic age of sawayaerdun gold deposit in southwestern Tianshan mountains, Xinjiang[J]. *Journal of Mineral Petrology*, 22(3): 19-23(in Chinese with English abstract).
- Liu J J, Li E D, Long X R, Zheng M H, Wang J Z and Sang H Q. 2004. The metallogenic age of Dashankou gold deposit in Xinjiang, southwestern Tianshan Mountains[J]. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 34(1): 37-43(in Chinese with English ab-

- stract).
- Liu W Z, Zhang H, Tang H F, Tang Y and Lü Z H. 2015. Molybdenite Re-Os dating of the Asikaerte Be-Mo deposit in Xinjiang, China and its genetic implications[J]. *Geochimica*, 44(2): 145-154(in Chinese with English abstract).
- Lü Z H, Zhang H, Tang Y and Guan S J. 2012. Petrogenesis and magmatic-hydrothermal evolution time limitation of Kelumute No. 112 pegmatite in Altay, Northwestern China: Evidence from zircon U-Pb and Hf isotopes[J]. *Lithos*, 154:374-391.
- Ma Z L, Zhang H, Tang Y, Lü Z H, Zhang X and Zhao J Y. 2015. Zircon U-Pb geochronology and Hf isotopes of pegmatites from the Kaluan mining area in the Altay, Xinjiang and their genetic relationship with the Halong granite[J]. *Geochimica*, 44(1): 9-26(in Chinese with English abstract).
- Mao J W, Pirajno F, Lehmann B, Luo M C and Berzina A. 2014. Distribution of porphyry deposits in the Eurasian continent and their corresponding tectonic settings[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 79:576-584.
- Mao J W, Zhou Z H, Feng C Y, Wang Y T, Zhang C Q, Peng H J and Yu M. 2012. A preliminary study of the Triassic large-scale mineralization in China and its geodynamic setting[J]. *Geology in China*, 39(6):1437-1471(in Chinese with English abstract).
- Niu L, Li P, Ka H E, Zhang W J, Du Y F, Ren P and Lu L. 2014. Geological characteristics and mineralization conditions of the Jinwozi gold deposit, Xinjiang[J]. *Geology and Exploration*, 50(1):8-17(in Chinese with English abstract).
- No. 2 Geo-Exploration Institute of Henan Provincial Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development. 2010. Geological exploration report of the Dongebi Mo deposit in Hami City, Xinjiang[R]. Unpublished Report(in Chinese).
- No. 4 Team of Gansu Non-ferrous Metals (NTGNM). 1987. Geological report of the Xiaobaishitou W-Mo deposit in the Hami City of Xinjiang Uygur Autonomous Region[R]. Unpublished Report(in Chinese).
- Pan X F, Liu W and Hou Z Q. 2014. Ore-forming fluids as sampled by sulfide-and quartz-hosted fluid inclusions in the Jinwozi lode gold deposit, Eastern Tianshan Mountains of China[J]. *Resource Geology*, 64(3):183-208.
- Qin K Z, Shen M D, Tang D M, Guo Z L, Zhou Q F, Wang C L, Guo X J, Tian Y and Ding J G. 2013. Types, intrusive and mineralization ages of pegmatite rare element deposits in Chinese Altay[J]. *Xinjiang Geology*, 31(Suppl. 1): 1-7(in Chinese with English abstract).
- Ren B Q, Zhang H, Tang Y and Lü Z H. 2011. LA-ICP-MS U-Pb zircon geochronology of the Altai pegmatites and its geological significance[J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 31(3): 587-596(in Chinese with English abstract).
- Shen M D, Guo X J, Tang D M, Zhou Q F, Guo Z L, Wang C L and Tian Y. 2016. Study on rare metal metallogenic regularity and prospecting target prediction in the Altay, Xinjiang[R]. Inner Report(in Chinese).
- Shen P, Pan H, Hattori K, Cooke D R and Seitmuratov Eleonora. 2018. Large Paleozoic and Mesozoic porphyry deposits in the Central Asian Orogenic Belt: Geodynamic settings, magmatic sources, and genetic models[J]. *Gondwana Research*, 58: 161-194.
- Tang J L. 2014. Geological, geochemical characteristics and genesis of Shadong tungsten deposit, Hami, Xinjiang (Dissertation for the Degree of Master of Philosophy) [D]. Dissertation Supervisor: Dong L H. Urumchi: Xinjiang University. 1-56(in Chinese with English abstract).
- Tu Q J, Dong L H and Wang K Z. 2012. Molybdenite Re-Os dating and its geological implication for the East Gebi molybdenum deposit of the Eastern Tianshan Mountain in Xinjiang[J]. *Xinjiang Geology*, 30(3):272-276(in Chinese with English abstract).
- Tu Q J, Wang Y S and Dong L H. 2014. Re-Os dating of molybdenite from the Baishan molybdenum deposit in the eastern Tianshan area of Xinjiang and its geological significance[J]. *Xinjiang Geology*, 32(3):322-327(in Chinese with English abstract).
- Wang C L, Qin K Z, Tang D M, Zhou Q F, Shen M D, Guo Z L and Guo X J. 2015. Geochronology and Hf isotope of zircon for the Arskartor Be-Nb-Mo deposit in Altay and its geological implications[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 31(8): 2337-2352(in Chinese with English abstract).
- Wang D H, Chen Y C, Xu Z G, Li T D and Fu X J. 2002. Minerogenetic series and regularity of mineralization in the Altai Metallogenic Province, China[M]. Beijing: Atomic Press.1-493p(in Chinese).
- Wang D H, Liu L J, Dai H Z, Liu S B, Hou J L and Wu X S. 2017. Discussion on particularity and prospecting direction of large and super-large spodumene deposit[J]. *Earth Science*, 42(12):2243-2257 (in Chinese with English Abstract).
- Wang D H. 2019. Study on critical mineral resources: Significance of research, determination of types, attributes of resources, progress of prospecting, problems of utilization, and direction of exploitation[J]. *Acta Geologica Sinica*, 93(6): 1189-1209.
- Wang J B, Wang Y W and He Z H. 2006. Ore deposits as a guide to the tectonic evolution in the East Tianshan Mountains, NW China[J]. *Geology in China*, 33(3): 461-469(in Chinese with English abstract).
- Wang Q L, Chen W, Han D, Wang C Y, Liu X Y and Zhang S H. 2008. The age and mechanism of formation of the Jinwozi gold deposit, Xinjiang[J]. *Geology in China*, 35(2): 286-292(in Chinese with English Abstract).
- Wang T, Jahn B M, Zheng Y D, Li T B, Gao Y J and Kovachet V P. 2008. Mesozoic granitic magmatism in the Altai Paleozoic accretionary orogen, NW China, and its implications for crustal architecture and growth[C]. In: Abstract SE53-A010, AOGS 5th Annual General Meeting, Busan, Korea.
- Wang T, Tong Y, Jahn B M, Zou T R, Wang Y B, Hong D W and Han B F. 2007. SHRIMP U-Pb Zircon geochronology of the Altai No. 3 Pegmatite, NW China, and its implications for the origin and tectonic setting of the pegmatite[J]. *Ore Geology Reviews*, 32: 325-336.
- Wang Y T, Zhang W Z, Wang L, Mao J W, Yang F Q and Chen W. 2007. Tracing the sources of ore-forming fluids and materials of the Hong-

- shi gold deposit in the eastern Tianshan, Xinjiang, NW China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 23(8): 1998-2006(in Chinese with English Abstract).
- Wu Y S, Chen Y J and Zhou K F. 2017. Mo deposits in northwest China: Geology, geochemistry, geochronology and tectonic setting[J]. *Ore Geology Reviews*, 81: 641-671.
- Wu Y S, Xiang N, Tang H S, Zhou K F and Yang Y F. 2013. Molybdenite Re-Os isotope age of the Donggebi Mo deposit and the Indosinian metallogenic event in eastern Tianshan[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 29(1): 121-130(in Chinese with English abstract).
- Xiao W J, Sun M and Santosh M. 2015. Continental reconstruction and metallogeny of the Circum-Junggar areas and termination of the southern Central Asian Orogenic Belt[J]. *Geoscience Frontier*, 6: 137-140.
- Xue C J, Zhao Z S, Wu G G, Dong L H, Feng J, Zhang Z C, Zhou G, Chai G X and Gao J G. 2010. The multiperiodic superimposed porphyry copper mineralization in Central Asian tectonic region: A case study of geology, geochemistry and chronology of Halasu copper deposit, southeastern Altai, China[J]. *Earth Science Frontiers*, 17(2): 53-82(in Chinese with English abstract).
- Yang F Q, Mao J W, Wang Y T, Zhao C S, Ye H S and Chen W. 2006. Chronology and geochemical characteristics of helium, argon, carbon and oxygen isotope in fluid inclusion of the Sawayaerdun gold deposit, Xinjiang, northwestern China and their significance[J]. *Geological Review*, 52(3): 341-351(in Chinese with English abstract).
- Yang F Q, Zhang Z L, Wang R, Li Q, Ding J G, Su Z H and Ma K. 2018. Rare metal deposits in the Altay, Xinjiang: Geological characteristics and metallogenesis[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 42(6): 1010-1026(in Chinese with English abstract).
- Yang F Q, Liu F, Chai F M, Zhang Z X, Geng X X, Lü S J, Jiang L P and Ouyang L J. 2011. Iron deposits in Altay, Xinjiang: Geological characteristics, time-space distribution and metallogenesis[J]. *Mineral Deposits*, 30(4): 575-598(in Chinese with English abstract).
- Yang F Q, Geng X X, Wang R, Zhang Z X and Guo X J. 2018a. A synthesis of mineralization styles and geodynamic settings of the Paleozoic and Mesozoic metallic ore deposits in the Altay Mountains, NW China[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 159: 233-258.
- Yang F Q, Li Q, Yang C D and Zhang Z X. 2018b. A combined fluid inclusion and S-H-O-He-Ar isotope study of the Devonian Ashele VMS-type copper-zinc deposit in the Altay orogenic belt, northwest China[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 161: 139-163.
- Yang F Q, Mao J W, Liu F, Chai F M, Geng X X, Zhang Z X, Guo X J and Liu G R. 2013. A review of the geological characteristics and mineralization history of iron deposits in the Altay orogenic belt of the Xinjiang, northwest China[J]. *Ore Geology Reviews*, 54: 1-16.
- Yang F Q, Li N, Zhang Z X and Yang J J. 2019. The indicating significance of fluid inclusions and REE geochemistry for mineralization of Xiaobaishi W-(Mo) deposit, East Tianshan Mountains, Xinjiang[J]. *Mineral Deposits*, 38(6): 1189-1203(in Chinese with English abstract).
- Yang M, Wang J L, Wang J Q and Dang F P. 2012. Helium and argon isotopic tracing of ore-forming fluid from the Wangfeng gold deposit in Xinjiang[J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 33(5): 794-800(in Chinese with English abstract).
- Yang Z Q, Wu B Y, Zheng S S, An J L and Chang Y Q. 2011. Geological and geochemical characteristics of ore-forming granite porphyry in East Gobi porphyry molybdenum deposit in Xinjiang[J]. *Geology and Mineral Resources of South China*, 27(6): 208-214(in Chinese with English abstract).
- Yu P P and Zheng Y. 2019. Pb-Zn-Cu accumulation from seafloor sedimentation to metamorphism: Constraints from ore textures coupled with elemental and isotopic geochemistry of the Tiemurt in Chinese Altay Orogen, NW China[J]. *Gondwana Research*, 72: 65-82.
- Yuan L L and Liu F. 2017. Sulfide Re-Os age and Rb-Sr age of Talate Pb-Zn-Fe polymetallic deposit in southern Altay and their geological significance[J]. *Mineral Deposits*, 36(6): 1333-1351(in Chinese with English abstract).
- Yuan X, Chen W, Zhang B, Sun J B, Yu S, Yin J Y, Zhang Y, Liu X Y, Yang L and Zhang Y. 2017. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ age of sericite and genetic study of Wangfeng gold deposit, West Tianshan Mountains[J]. *Mineral Deposits*, 36(1): 57-67(in Chinese with English abstract).
- Zhang D Y, Zhou T F, Yuan F, Fan Y, Liu S and Qu W J. 2009. A genetic analysis of Baishan molybdenum deposit in East Tianshan area, Xinjiang[J]. *Mineral Deposits*, 28(5): 663-672(in Chinese with English Abstract).
- Zhang G Z, Xue C J, Chi G X, Liu J Y, Zhao X B, Zu B and Zhao Y. 2017. Multiple-stage mineralization in the Sawayaerdun orogenic gold deposit, western Tianshan, Xinjiang: Constraints from paragenesis, EMPA analyses, Re-Os dating of pyrite (arsenopyrite) and U-Pb dating of zircon from the host rocks[J]. *Ore Geology Reviews*, 81: 326-341.
- Zhang H, Tang Y, Lü Z H and Wen X P. 2014. Study on rare metal metallogenic regularity and prospecting target area prediction in Halong-Qinghe of the Altay metallogenic belt, Xinjiang[R]. Scientific research report of the Xinjiang Nonferrous Group. 1-154(in Chinese).
- Zhang H, Lü Z H and Tang Y. 2019. Metallogeny and prospecting model as well as prospecting direction of pegmatite-type rare metal ore deposits in Altay orogenic belt, Xinjiang[J]. *Mineral Deposits*, 38(4): 792-814(in Chinese with English abstract).
- Zhang L C, Xiao W J, Qin K Z, Qu W J and Du A D. 2005. Re-Os isotopic dating of molybdenite and pyrite in the Baishan Mo-Re deposit, eastern Tianshan, NW China, and its geological significance[J]. *Mineralium Deposita*, 39: 960-969.
- Zhang L, Chen H Y, Zheng Y, Qin Y J and Li D F. 2014. Geology, fluid inclusion and age constraints on the genesis of the Sarekuobu gold deposit in Altay, NW China[J]. *Geological Journal*, 49(6): 635-648.
- Zhang X, Zhang H, Ma Z L, Tang Y G, Lü Z H, Zhao J Y and Liu Y L.

2016. A new model for the granite-pegmatite genetic relationships in the Kaluan-Azubai-Qiongkuer pegmatite-related ore fields, the Chinese Altay[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 124: 139-155.
- Zhang Y F, Lin X W, Guo Q M, Wang X, Zhao D C, Dang C and Yao S. 2015. LA-ICP-MS Zircon U-Pb Dating and Geochemistry of Aral Granitic Plutons in Koktokay Area in the Southern Altay Margin and Their Source Significance[J]. *Acta Geologica Sinica*, 89(2): 339-354(in Chinese with English Abstract).
- Zhang Y F, Lin X W, Zhao Y M, Guo Q M, Zhao D C, Wang X and Zhu W P. 2017. Geochronology and geochemistry of granitoids of Asfalt beryllium deposit in Qinghe County, northern Xinjiang[J]. *Mineral Deposits*, 36(3): 643-658(in Chinese with English abstract).
- Zheng Y, Zhang L, Chen Y J, Qin Y J and Liu C F. 2012. Geology, fluid inclusion geochemistry, and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronology of the Wulasigou Cu deposit, and their implications for ore genesis, Altay, Xinjiang, China[J]. *Ore Geology Reviews*, 49: 128-140.
- Zheng Y, Li D F, Zhang L and Chen H Y. 2014. Biotite $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronology constraint on the genesis of the Sarekuobu gold deposit, Xinjiang[J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni*, 53(6): 10-18(in Chinese with English abstract).
- Zheng Y, Chen Y J, Cawood P A, Wang Y J, Chen H Y, Zhang L and Li D F. 2017. Late Permian-Triassic metallogeny in the Chinese Altay Orogen: Constraints from mica $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating on ore deposits[J]. *Gondwana Research*, 43: 4-16.
- Zhou Q F, Qin K Z, Tang D M, Tian Y, Cao M J and Wang C L. 2015. Formation age and evolution time span of the Koktokay No. 3 pegmatite, Altai, NW China: Evidence from U-Pb Zircon and $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ Muscovite Ages[J]. *Resource Geology*, 65(3): 210-231.
- Zhou Q F, Qin K Z, Tang D M, Wang C L and Sakyi P A. 2018. LA-ICP-MS U-Pb zircon, columbite-tantalite and $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ muscovite age constraints for the rare-element pegmatite dykes in the Altai orogenic belt, NW China[J]. *Geology Magazine*, 155(3): 707-728.
- Zhu J, Lü X B, Chen C, Chao X F and Hu Q C. 2013. Geological characteristics, metallogenic time and tectonic setting of the Triassic molybdenum deposits in the East part of the East Tianshan and the Beishan Area, NW China[J]. *Xinjiang Geology*, 31(1): 21-28 (in Chinese with English abstract).
- Zhu Y F, Zeng Y S and Gu L B. 2006. Geochemistry of the rare metal-bearing pegmatite No. 3 vein and related granites in the Keketuohai region, Altay Mountains, northwest China[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 27: 6-77.
- Zhu Y F, Zhou J and Zeng Y S. 2007. The Tianger (Bingdaban) shear zone hosted gold deposit, West Tianshan, NW China: Petrographic and geochemical characteristics[J]. *Ore Geology Reviews*, 32: 337-365.
- Zhu Y F. 2007. Indosinian movement and metallogeny in Xinjiang, China[J]. *Geological Bulletin of China*, 26(5): 510-519(in Chinese with English abstract).
- Zhu Y F. 2014. Geological evolution and division of giant metallogenic belts in core part of Central Asian Metallogenic Region[J]. *Mineral Deposits*, 33(3): 471-485(in Chinese with English abstract).
- Zou T R and Li Q C. 2006. The rare metal and the REE deposits in Xinjiang, China[M]. Beijing: Geological Publishing House. 1-264 (in Chinese).

附中文参考文献

- 陈剑锋. 2011. 阿尔泰3号脉缓倾斜部分的形成和演化(硕士论文)[D]. 导师: 张辉. 贵阳: 中国科学院地球化学研究所. 1-86.
- 陈文, 张彦, 赵海滨, 韩丹, 王成玉. 2006. 新疆东天山红山金矿成矿时代研究[J]. *中国地质*, 33(3): 632-640.
- 陈衍景, 李欣, 靖军, 高秀丽, 陈华勇, 吴锡丹, 吴德华. 1998. 新疆望峰金矿成矿流体研究及其成因意义[J]. *地球学报*, 19(2): 195-203.
- 丁欣, 李建康, 丁建刚, 王赛, 刘永超, 王嫒. 2016. 新疆阿斯特尔特 Be-Nb-Mo 矿床 Re-Os 同位素年龄及地质意义[J]. *桂林理工大学学报*, 36(1): 60-65.
- 甘肃有色金属地质勘探四队. 1987. 新疆维吾尔自治区哈密市小白石头钨铜矿评价地质报告[R]. 内部资料.
- 高俊, 朱明田, 王信水, 洪涛, 李光明, 李继磊, 肖文交, 秦克章, 曾庆栋, 申萍, 徐兴旺, 张招崇, 周建波, 赖勇, 张晓晖, 孙景贵, 万博, 王博. 2019. 中亚成矿域斑岩大规模成矿特征: 大地构造背景、流体作用与成矿深部动力学机制[J]. *地质学报*, 93(1): 24-71.
- 何国琦, 成守德, 徐新, 李锦轶, 郝杰. 2004. 中国新疆及邻区大地构造图(1:2500000)说明书[M]. 北京: 地质出版社. 1-65.
- 河南省地质矿产勘查开发局第二地质勘查院. 2010. 新疆哈密市东戈壁钨矿勘探报告[R]. 内部资料.
- 姜晓. 2018. 东天山沙垄一带钨矿成矿规律及找矿模型研究[J]. *矿产勘查*, 9(4): 534-541.
- 李锦轶, 何国琦, 徐新, 李华芹, 孙桂华, 杨天南, 高立明, 朱志新. 2006. 新疆北部及邻区地壳构造格架及其形成过程的初步探讨[J]. *地质学报*, 80(1): 148-168.
- 李宁, 杨富全, 李超, 张志欣, 杨成栋. 2019. 新疆东天山小白石头钨(铜)矿辉钨矿 Re-Os 同位素年龄及成矿时代[J]. *岩矿测试*, 38(1): 112-122.
- 刘国仁, 张新泰, 李香仁, 任春平, 段守礼, 秦纪华, 张新康, 郎恩德, 郝晶, 吕祥林, 邓江, 赵华, 王祥, 侯新建, 塔玛霞, 舒华军. 2011. 新疆阿勒泰地区矿产资源规划研究[R]. 内容报告.
- 刘家军, 龙训荣, 郑明华, 李恩东, 王奖臻, 桑海清, 尹怀信. 2002. 新疆萨瓦亚尔顿金矿床石英的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 快中子活化年龄及其意义[J]. *矿物岩石*, 22(3): 19-23.
- 刘家军, 李恩东, 龙训荣, 郑明华, 王奖臻, 桑海清. 2004. 西南天山大山口金矿床中石英 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 快中子活化年龄及其意义[J]. *吉林大学学报(地球科学版)*, 34(1): 37-43.
- 刘文政, 张辉, 唐红峰, 唐勇, 吕正航. 2015. 新疆阿斯特尔特钨铜矿床中辉钨矿 Re-Os 定年及成因意义[J]. *地球化学*, 44(2): 145-154.
- 马占龙, 张辉, 唐勇, 吕正航, 张鑫, 赵景宇. 2015. 新疆卡鲁安矿区伟晶岩锆石 U-Pb 定年、钨同位素组成及其与哈龙花岗岩成因关系研究[J]. *地球化学*, 44(1): 9-26.
- 毛景文, 周振华, 丰成友, 王义天, 张长青, 彭惠娟, 于森. 2012. 初论中国三叠纪大规模成矿作用及其动力学背景[J]. *中国地质*, 39(6): 1437-1471.

- 牛亮,李鹏,卡哈尔,张文璟,杜雁飞,任鹏,鲁麟. 2014. 新疆金窝子金矿田地质特征及成矿条件分析[J]. 地质与勘探, 50(1): 8-17.
- 秦克章,申茂德,唐冬梅,郭正林,周起凤,王春龙,郭旭吉,田野,丁建刚. 2013. 阿尔泰山造山带伟晶岩型稀有金属矿化类型与成岩成矿时代[J]. 新疆地质, 31(Z1): 1-7.
- 任宝琴,张辉,唐勇,吕正航. 2011. 阿尔泰山造山带伟晶岩年代学及其地质意义[J]. 矿物学报, 31(3): 587-596.
- 申茂德,郭旭吉,唐冬梅,周起凤,郭正林,王春龙,田野. 2016. 阿尔泰山稀有金属成矿规律研究与靶区优选评价[R]. 内部报告.
- 唐俊林. 2014. 新疆哈密沙东钨矿地质地球化学及矿床成因探讨(硕士学位论文)[D]. 导师:董连慧. 乌鲁木齐:新疆大学. 1-56.
- 涂其军,董连慧,王克卓. 2012. 东天山东戈壁钨矿辉钨矿 Re-Os 同位素年龄及地质意义[J]. 新疆地质, 30(3): 272-276.
- 涂其军,王杨双,董连慧. 2014. 新疆东天山白山钨矿辉钨矿 Re-Os 测年及地质意义[J]. 新疆地质, 32(3): 322-327.
- 王春龙,秦克章,冬梅,周起凤,申茂德,郭正林,郭旭吉. 2015. 阿尔泰山阿斯特格尔特 Be-Nb-Mo 矿床年代学、锆石 Hf 同位素研究及其意义[J]. 岩石学报, 31(8): 2337-2352.
- 王登红,陈毓川,徐志刚,李天德,傅旭杰. 2002. 阿尔泰山成矿省的成矿系列及成矿规律[M]. 北京:原子能出版社. 1-493.
- 王登红,刘丽君,代鸿章,刘善宝,侯江龙,吴西顺. 2017. 试论国内外大型超大型锂辉石矿床的特殊性与找矿方向[J]. 地球科学, 42(12): 2243-2257.
- 王登红. 2019. 关键矿产的研究意义、矿种厘定、资源属性、找矿进展、存在问题及主攻方向[J]. 地质学报, 93(6): 1189-1209.
- 王京彬,王玉往,何志军. 2006. 东天山大地构造演化的成矿示踪[J]. 中国地质, 33(3): 461-469.
- 王清利,陈文,韩丹,王成玉,刘新宇,张思红. 2008. 新疆金窝子金矿床形成时代研究及成因机制讨论[J]. 中国地质, 35(2): 286-292.
- 王义天,张文智,王磊,毛景文,杨富全,陈文. 2007. 新疆东天山红石金矿床成矿流体和成矿物质来源示踪[J]. 岩石学报, 23(8): 1998-2006.
- 吴艳爽,项楠,汤好书,周可法,杨永飞. 2013. 东天山东戈壁钨矿床辉钨矿 Re-Os 年龄及印支期成矿事件[J]. 岩石学报, 29(1): 121-130.
- 新疆维吾尔自治区有色地质工程公司. 2013. 新疆福海县卡鲁安锂辉石矿勘探报告[R]. 内部资料.
- 薛春纪,赵战锋,吴淦国,董连慧,冯京,张招崇,周刚,池国祥,高景岗. 2010. 中亚构造域多期叠加斑岩铜矿化:以阿尔泰山东南缘哈腊苏铜矿床地质、地球化学和成岩成矿时代研究为例[J]. 地学前缘, 17(2): 53-82.
- 杨富全,毛景文,王义天,赵财胜,叶会寿,陈文. 2006. 新疆萨瓦亚尔顿金矿床年代学、氩氩碳氧同位素特征及其地质意义[J]. 地质论评, 52(3): 341-351.
- 杨富全,刘锋,柴凤梅,张志欣,耿新霞,吕书君,姜丽萍,欧阳刘进. 2011. 新疆阿尔泰山铁矿:地质特征、时空分布及成矿作用[J]. 矿床地质, 30(4): 575-598.
- 杨富全,张忠利,王蕊,李强,丁建刚,苏振华,麻坤. 2018. 新疆阿尔泰山稀有金属矿地质特征及成矿作用[J]. 大地构造与成矿学, 42(6): 1010-1026.
- 杨富全,李宁,张志欣,杨俊杰. 2019. 新疆东天山小白石头钨(钼)矿流体包裹体及稀土元素地球化学对成矿作用的指示[J]. 矿床地质, 38(6): 1189-1203.
- 杨猛,王居里,王建其,党飞鹏. 2012. 新疆望峰金矿成矿流体的 He、Ar 同位素示踪[J]. 地球学报, 33(5): 794-800.
- 杨志强,吴邦友,郑松森,安全亮,常勇强. 2011. 新疆东戈壁斑岩型钨矿之斑岩体特征[J]. 华南地质与矿产, 27(6): 208-214.
- 袁玲玲,刘锋. 2017. 阿尔泰山南缘塔拉特铅锌铁多金属矿床硫化物 Re-Os 和 Rb-Sr 年龄及其地质意义[J]. 矿床地质, 36(6): 1333-1351.
- 袁霞,陈文,张斌,孙敬博,喻顺,尹继元,张彦,刘新宇,杨莉,张岩. 2017. 西天山望峰金矿床钨云母 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄及矿床成因研究[J]. 矿床地质, 36(1): 57-67.
- 张达玉,周涛发,袁峰,范裕,刘帅,屈文俊. 2009. 新疆东天山地区白山钨矿床的成因分析[J]. 矿床地质, 28(5): 663-672.
- 张辉,唐勇,吕正航,温兴平. 2014. 新疆阿尔泰山成矿带哈龙-青河一带稀有金属成矿规律及找矿靶区预测研究[R]. 新疆有色集团科研报告: 1-154.
- 张辉,吕正航,唐勇. 2019. 新疆阿尔泰山造山带中伟晶岩型稀有金属矿床成矿规律、找矿模型及其找矿方向[J]. 矿床地质, 38(4): 792-814.
- 张亚峰,蔺新望,郭岐明,王星,赵端昌,党晨,姚珊. 2015. 阿尔泰山南缘可可托海地区阿拉尔花岗 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年、岩石地球化学特征及其源区意义[J]. 地质学报, 89(2): 339-354.
- 张亚峰,蔺新望,赵玉梅,郭岐明,赵端昌,王星,朱伟鹏. 2017. 新疆北部青河县阿斯特格尔特钨矿区花岗岩岩石年代学及地球化学特征[J]. 矿床地质, 36(3): 643-658.
- 郑义,李登峰,张莉,陈华勇. 2014. 新疆萨热阔布金矿黑云母 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄及矿床成因启示[J]. 中山大学学报(自然科学版), 53(6): 10-18.
- 朱江,吕新彪,陈超,曹晓峰,胡庆成. 2013. 东天山东段-北山地区三叠纪钨矿床地质特征、时空分布及含矿花岗岩成岩-成矿构造背景[J]. 新疆地质, 31(1): 21-28.
- 朱永峰. 2007. 新疆的印支运动与成矿[J]. 地质通报, 26(5): 510-519.
- 朱永峰. 2014. 中亚成矿域核心区地质演化和巨型成矿带划分[J]. 矿床地质, 33(3): 471-485.
- 邹天人,李庆昌. 2006. 中国新疆稀有及稀土金属矿床[M]. 北京:地质出版社. 1-264.