

·“双清论坛”专题:战略性关键矿产资源·

中亚及邻区战略性关键矿产的分布规律与主要科学问题

李文渊* 洪俊 陈博 刘江 马中平 杨博

(中国地质调查局西安地质调查中心, 西安 710054;
中国地质调查局西北地质科技创新中心, 西安 710054;
自然资源部中国-上海合作组织地学合作研究中心, 西安 710054)

[摘要] 上海合作组织成员国和观察员国所在的中亚及邻区, 横跨特提斯和古亚洲造山带, 战略性关键矿产资源潜力较大、地理位置优越, 是境外矿产风险勘查和开发利用的优先地区之一。开展该地区战略性关键矿产的成矿规律研究和资源潜力评价, 能有力推动成矿理论和找矿技术手段的进步, 为境外战略性关键矿产大型资源基地的建设和开发利用奠定基础, 保障国家资源安全, 符合“一带一路”建设的要求。本文综述了古亚洲和特提斯构造带的基本构造格架和成矿单元划分, 梳理了区域内战略性关键矿产的分布特征和研究进展, 并对研究的重要科学问题进行了阐述。

[关键词] 中亚及邻区; 战略性关键矿产; 分布规律; 科学问题

随着第四次工业革命兴起, 作为战略性关键矿产资源的地位凸显, 各主要大国围绕矿产资源控制力的争夺日趋激烈。其中, 稀有、稀土和稀散金属(简称“三稀金属”), 以及铬、镍、钴和铂族元素等金属对新材料、新能源和信息技术等新兴产业十分关键, 是现代工业、国防和尖端科技领域不可缺少的重要支撑材料, 对国民经济、国家安全和科技发展具有重要战略意义。上海合作组织成员国和观察员国所在的中亚及邻区, 横跨特提斯和古亚洲造山带, 地质背景复杂, 成矿条件优越, 矿业也是这些国家最重要的支柱产业。近年来, 我们与中亚吉尔吉斯斯坦、塔吉克斯坦、乌兹别克斯坦和南亚巴基斯坦等国深入开展地学双边合作, 包括区域跨境成矿带基础图件编制、成矿地质条件和成矿规律对比、国家/区域尺度地球化学调查和资源潜力评价等, 同时, 与哈萨克斯坦和西亚伊朗、土耳其签订了地学谅解备忘录(MoU), 正在开展进一步合作。2014年, 经外交部倡议, 依托中国地质调查局西安地质调查中心成立了中国-上海合作组织地学合作研究中心。

本文以近年来已开展的双边地学合作成果为依

托, 在已有的大宗矿产成矿带划分和成矿规律研究基础上, 对过去未开展或开展较少研究的“三稀”金属以及铬、镍、钴和铂族元素等战略性关键矿产的分布和地质背景进行概述, 初步梳理了中亚及邻区战略性关键矿产成矿规律和找矿潜力研究中的关键科学问题, 旨在加强今后境外地质调查国际合作中相关方面的研究。

1 中亚及邻区成矿带划分及主要特征

1.1 区域地质演化与成矿带划分

欧亚大陆是新元古代-晚古生代古亚洲洋裂解、闭合, 古生代-中生代特提斯洋裂解、闭合, 并于中生代末期最终形成的统一大陆。古亚洲增生型造山带是从约1000 Ma到250 Ma(或更早?)各种岛弧、洋岛、海山、增生楔以及微陆块的集合体; 众多形成于古亚洲洋的岛弧增生到西伯利亚(Siberia)古陆和波罗的(Baltica)古陆的边缘; 从冈瓦纳(Gandwana)大陆和/或西伯利亚古陆中分离出的前寒武纪陆块与增生边缘对接, 分布在造山带^[1-4]。特提斯造山带包括原特提斯、古特提斯和新特提斯三个阶段, 对应冈

代的弧盆系,二叠系碰撞后中酸性侵入岩广泛分布,可划分4个成矿亚带和24个成矿区,成矿时代主体为石炭纪至二叠纪。

(4) 科克舍套-北天山成矿省。科克舍套-北天山成矿省是中亚地区重要的有色金属成矿省,而且稀有金属、铀和金也有显著的优势,包括科克舍套-乌鲁套和卡拉套-伊塞克湖两个成矿带、7个成矿亚带和42个成矿区。伊塞克湖有色和稀有金属成矿亚带位于吉尔吉斯斯坦境内,其西南边界为费尔干纳大断裂。稀有和稀土元素矿床主要分布在伊塞克湖地块西北部边缘,成因类型是与早二叠世辉长岩、花岗岩有关的中温热液脉、网状脉型,Kutessai II 和阿克兹兹(Aktyuz)两个大型稀土矿床都是此种类型。此外,该区还分布有若干与过碱性岩相关的小型稀土矿床、与晚二叠世花岗岩有关的热液脉型铍矿^[5]。

(5) 乌拉尔-南天山成矿省。在哈萨克斯坦境内的别洛戈尔-拜穆鲁(Belogorskoye-Baimurskoye) 铌-钽-锡矿位于东乌拉尔卡尔巴-纳霍姆矿带,稀有金属矿化与卡尔巴岩基有关,具有多成因、多阶段成矿特点。卡尔巴岩基由早二叠世的花岗闪长岩-淡色花岗岩组成,侵入晚泥盆世-早石炭世陆源碎屑沉积岩中。在卡尔巴岩基内及附近已发现300余个矿床和矿点,其中锡、钨、钽、铌、铍和锂具有工业价值。矿床类型主要有伟晶岩型(钽-铌、钽-锡-碱土金属)、云英岩-石英脉(锡-钨)和石英脉型(锡-钨)。中亚地区铬、镍、钴矿主要分布在哈萨克斯坦境内的乌拉尔成矿带。目前该带内已发现大型-超大型镍-钴矿5个、大型-超大型铬铁矿床5个。铬铁矿包含两种成因类型,一类与志留纪、泥盆纪的蛇绿岩相关,如肯皮尔赛,含有160个矿床和矿点,储量巨大,居世界第二位,目前已开采60余年,远景储量达 10×10^8 t^[6]。另一类铬铁矿与镁铁质、超镁铁质杂岩相关,如Molodezhnoe和Saranovsk,也位于西乌拉尔地区,赋矿的基性、超基性岩体规模非常小,却具有相当大的储量。镍-钴矿均是残留富集型,形成时代为晚三叠世到早侏罗世,其原岩为早古生代基性-超基性岩,如Novo-Taiketken和Oktyabrskoe大型镍-钴矿,前者平均品位Ni—1.32%,Co—0.026%,后者平均品位为Ni—1.14%,Co—0.037%,该成矿带中镍矿探明储量46.65万吨,资源量31万吨;钴探明储量15.14万吨,资源量12万吨^[6]。

(6) 特提斯南部边缘成矿省。特提斯南部边缘成矿省可进一步划分为米特拉姆-红其拉浦地块成

矿带、加尼兹-迈丹地块成矿带、瓦济里斯坦-科西斯坦-拉达克铜、金、铬成矿带、喀布尔地块铁、铜、铬银成矿带等,其中铬铁矿是特斯提构造域中重要优势矿种之一,产出若干超大型铬铁矿,包括伊朗的法尔亚(Faryah)矿床,巴基斯坦的穆斯林巴赫(Muslimbagh)、Bela矿床^[7],这些矿床多为豆荚状铬铁矿,其超基性-基性杂岩体都是在晚白垩世-古新世就位^[8-9],矿体产于蛇纹石化的纯橄榄岩中,其构造环境应该是岛弧和洋中脊过渡地区的边缘海和仰冲带等^[9-10]。

1.3 地球化学调查进展及找矿潜力

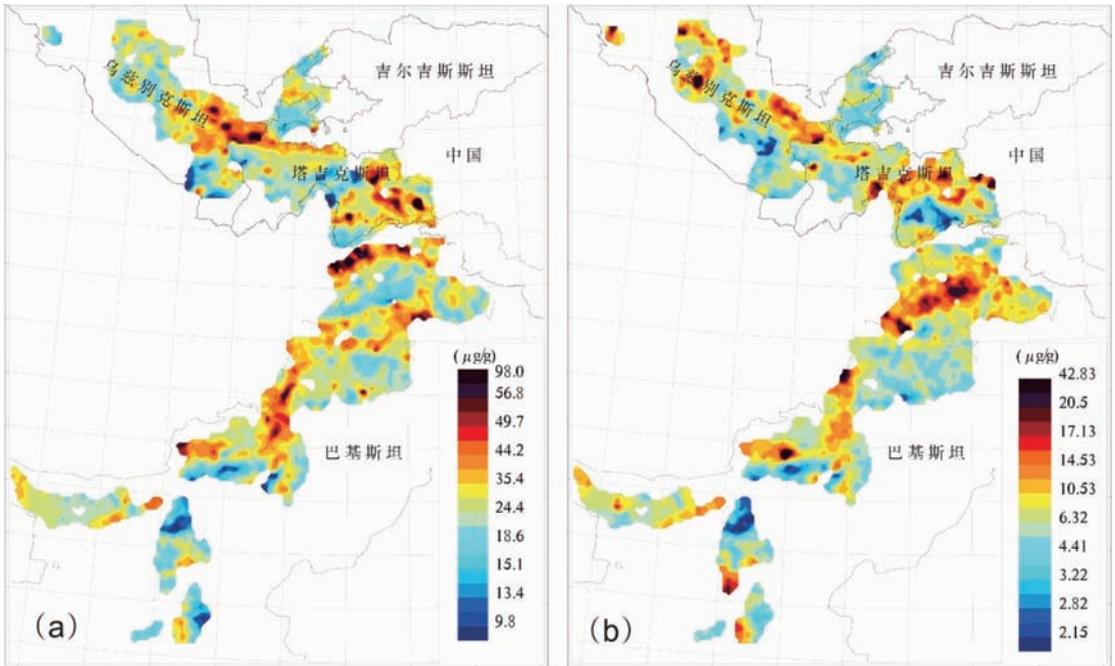
自2006年以来,中国地质调查局西安地质调查中心先后与吉尔吉斯斯坦、塔吉克斯坦、巴基斯坦、乌兹别克斯坦及西亚的伊朗等国家合作开展元素地球化学调查(图2),元素地球化学调查的比例尺以1:100万为主(分析69种元素),部分国家和地区还开展了1:25万(分析40种元素)和1:5万元素地球化学调查,按照合作国别建立了系统的地球化学数据库,编制了系列地球化学图件,依据地球化学调查结果结合成矿地质背景分析圈定了多个找矿有利区,在吉尔吉斯圈定了金、铜、铅锌等找矿预测区(A类)41处,在塔吉克斯坦圈定银、金、铅锌、铁、钨锡、钼、稀土以及铀钍等矿种综合异常区25个。根据综合分析选区,在塔吉克斯坦帕米尔构造带的Dunkeldik地区识别出~11 Ma的碳酸岩-碱性岩杂岩体,并发现萤石、稀土和铀的找矿线索^[11]。在巴基斯坦西北部白沙瓦地区圈定稀有、稀土元素综合异常,在该区针对3处碳酸岩-碱性杂岩体开展详细查证,表明异常主要受碳酸岩-碱性杂岩控制,具有形成稀土-铌-铀矿床的潜力。

2 主要科学问题

2.1 成矿带划分及构造归属

中亚及邻区成矿带划分及其归属,离不开对古亚洲洋和古特提斯洋的关系判断。两个古生代大洋的形成演化和关系是理清重要地质构造和成矿事件的关键^[12],也是影响境内外构造单元连接问题的关键。

以往的研究,多是对古亚洲洋或古特提斯洋形成演化和成矿作用开展各自独立的研究。近来,我们对古亚洲洋和古特提斯洋之间的时空关系进行了初步探讨^[12],认为原特提斯洋与古亚洲洋在早古生代是一个大洋的不同称谓而已,而古特提斯洋开启于早古生代的古亚洲洋或原特提斯洋闭合过程中,



(a) Li 元素地球化学图;

(b) Co 元素地球化学图

图 2 中亚及邻区 1 : 100 万元素地球化学图

在冈瓦纳大陆北侧裂解而成,直至石炭纪发育成熟,呈面向泛大洋的喇叭状大洋存在,二叠纪后强烈消减,于中三叠世末陆-陆碰撞闭合,其在晚古生代的演化可能是对先存古亚洲洋造山带成矿作用的叠加改造^[12]。例如,西昆仑甜水海造山带为古特提斯造山带的重要组成,是青藏高原松潘-甘孜地体的西延伸部分,其北侧的库地古特提斯缝合带与东昆仑-阿尔玛卿缝合带相连,其南部的康西瓦-麻扎古特提斯缝合带为金沙江-哀牢山-红河缝合带的西延。西昆仑超大型锂矿带位于甜水海地体中,认为可能是与古特提斯洋闭合后的地质过程有关,该带向境外的延伸情况尚不清楚,其中,中亚及邻区的卡拉库姆过渡域南带应是探讨此种伟晶岩型锂矿的重要地区。

2.2 战略性关键矿产的富集机理

在乌拉尔、阿尔泰、南天山等缝合带保存的地质记录均显示最终的碰撞发生在晚石炭世-早二叠世^[13-16]。这一时期也构成了中亚内生金属矿床的主要成矿期,如哈萨克斯坦的阿克斗卡(Aktogai)铜矿、乌兹别克斯坦的穆龙套金矿、阿尔马雷克铜矿、吉尔吉斯斯坦的库木托尔金矿等。中亚地区的稀有金属、稀土元素成矿也大多与这一时代的岩浆活动相关,一些重要的矿床发育在增生杂岩带内,如额尔齐斯-斋桑带的 Verkhnee Espe 超大型锆-铌矿;东乌拉尔地区的别洛戈尔-拜穆鲁钽(Belogorskoye-

Baimurskoye) 铌-锡矿。然而也有一些与碱性、过碱性岩浆作用相关的稀土、稀有金属矿床形成于板内环境。例如,吉尔吉斯斯坦阿克秋兹稀土矿和 Kalesai 铍矿所在的伊塞克湖地块,在早古生代末期已经与其他微陆块、岛弧、蛇绿岩等地质体拼合形成统一的北天山-哈萨克斯坦地体^[17],与二叠纪成矿相关的碱性花岗岩的侵入被解释为板内岩浆活动^[18]。因此,在中亚地区除了与板块消减、增生、碰撞过程相关的成矿作用之外,还存在与其他动力学过程如地幔柱相关的成矿作用。

塔里木地区二叠纪地幔柱已被广泛接受,新疆北疆地区同时代的岩浆铜-镍硫化物矿床与此相关。在中亚及其邻区尚未发现同时期地幔柱岩浆活动及相关成矿作用,但一些石炭纪-二叠纪钾玄质-超钾质岩石系列的发现,如吉尔吉斯斯坦南天山阿赖地区发育的钾玄岩(shoshonite)^[19]、乌兹别克斯坦南天山发育的含金刚石的钾玄岩-橄榄安粗岩-苦橄岩系列^[20],都说明在局部地区也存在热异常。因此,来自深部地幔的物质与能量为那些远离增生杂岩带的稀有、稀土元素成矿作用提供了新的解释机制。

2.3 成矿规律与找矿潜力

我国新疆北部主要发育喀拉通克、西南天山菁布拉克、东天山图拉尔根、中天山白石泉、坡北等铜镍矿带,主要形成于早二叠世,属于岩浆硫化物熔离

型,与分异较充分的镁铁质-超镁铁质杂岩相关,具有“小岩体成大矿”的特点。中亚地区的镍-钴矿则以风化残留富集型为主,形成时代为晚三叠世到早侏罗世,品位低、规模大,但岩浆型铜镍硫化物矿床报导较少。中亚地区的铬铁矿床主要分布在乌拉尔造山带南段的古生代蛇绿岩中,特提斯-喜马拉雅造山带中,铬铁矿主要赋存在新特提斯蛇绿岩带底部的变质地幔橄榄岩中,时代为白垩纪-古近纪。蛇绿岩形成的大地构造背景、超镁铁质岩的部分熔融程度高、岩体具有一定的规模以及纯橄岩+方辉橄榄岩特定的岩相组合是形成豆荚状铬铁矿的重要因素。

中亚地区的稀有金属矿床,包括较为丰富的锂、铍、铌、钽,分散在哈萨克斯坦境内的东乌拉尔、额尔齐斯-斋桑、科克舍套-乌鲁套、吉尔吉斯斯坦北天山的卡拉套-伊塞克湖以及乌兹别克斯坦中天山恰特卡尔地区,其成矿时代主要为二叠纪,主体为伟晶岩型,成矿元素组合为 Li-Be-Ta-Nb,部分矿床与过碱性岩石(碳酸岩)相关,元素组合为 REE-Nb(Ta),形成于陆内拉张环境。

3 结 语

中亚及邻区国家地处“一带一路”丝绸之路经济带的核心区范围,与我国有着良好的合作关系,且蕴含着丰富的矿产资源,特别是“三稀”、铬、镍、钴、钼族元素等战略性关键矿产的找矿潜力巨大,亟待展开调查评价研究工作。如何将宝贵的自然资源财富转变成综合国力的提升和人民生活水平的提高,是中亚及邻区国家的共同愿望。目前,全球化进入了一个新的时代,我国提出的“一带一路”建设和构建人类命运共同体的倡议,对矿产资源的需求也提出了新的要求。中国将努力通过更广泛的国际合作,建立与“一带一路”国家良好的科技合作关系,以“三稀”、铬、镍、钴、钼族元素等战略性关键矿产为主要调查研究对象,因此,积极合作开展中亚及邻区战略性关键矿产的调查评价是极有意义的。通过系统的成矿潜力的调查评价研究,圈定一批可供开展风险勘查的找矿靶区,引导中国企业“走出去”,建立稳定的境外战略性关键矿产资源供应基地,不仅有利于保障我国的资源安全,更有利于中亚及邻区国家社会经济发展水平的提高。新一轮的合作需要从战略性关键矿产的成矿背景入手,分析矿产资源的形成和分布规律,为我国战略性关键矿产评价研究工作的积极开展提供有益的补充。

致谢 感谢翟明国院士、侯增谦院士邀请我们撰写此文,使我们有机会较为深入地思考这一问题。蒋少涌、秦克章、范宏瑞、李文昌等教授对本文提出了宝贵修改意见,特此表示感谢。

参 考 文 献

- [1] Sengör AC, Natal'in BA, Burtman VS. Evolution of the Altaid tectonic collage and Paleozoic crustal growth in Eurasia. *Nature*, 1993, 364: 299—307.
- [2] Yakubchuk A, Shatov VV, Kirwin D, Badarch EA. Gold and base metal metallogeny of the Central Asian orogenic supercollage. *Economic Geology*, 2005, 100: 1035—1068.
- [3] Windley B F, Alexeiev D, Xiao WJ, et al. Tectonic models for accretion of the Central Asian Orogenic Belt. *Journal of the Geological Society of London*, 2007, 164: 31—47.
- [4] Wilhem C, Windley BF, Stampfi GM. The Altaiids of Central Asia: A tectonic and evolutionary innovative review. *Earth-Science Reviews*, 2012, 113: 303—341.
- [5] Djenchuraev RJ, Borisov FI, Pak NT, et al. Metallogeny and geodynamics of the Aktiuz-Boordu Mining District, Northern Tien Shan, Kyrgyzstan. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2008, 32: 280—299.
- [6] Kazhegeldin AM. Chrome, Nickel, Cobalt, and vanadium Deposits of Kazakhstan. Reference Book. Almaty. 1998. 109.
- [7] 张洪瑞, 侯增谦, 杨志明. 特提斯成矿域主要金属矿床类型与成矿过程. *矿床地质*, 2010, 29(1): 113—133.
- [8] Misra, KC. Understanding mineral deposits. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2000. 845.
- [9] Arif M, Jan MQ. Petrotectonic significance of the chemistry of chromite in the ultramafic-mafic complexes of Pakistan. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2006, 27: 628—646.
- [10] 洪俊, 姚文光, 张晶, 等. 新特提斯缝合带中段豆荚状铬铁矿成矿规律对比研究. *地质学报*, 2015, 89(9): 1618—1628.
- [11] 洪俊, 计文化, 张辉善, 等. 帕米尔东缘杜格里富碱斑岩锆石 U-Pb 定年、地球化学特征及构造意义. *地质学报*, 2015, 89(9): 1643—1654.
- [12] 李文渊. 古亚洲洋与古特提斯洋关系初探. *岩石学报*, 2018, 34(8): 2201—2210.
- [13] Filippova IB, Bush VA, Didenko AN. Middle Paleozoic subduction belts: the leading factor in the formation of the Central Asian fold-and-thrust belt. *Russian Journal of Earth Sciences*, 2001, 3: 405—426.

- [14] Buslov MM, Fujiwara Y, Iwata, et al. Late Paleozoic—Early Mesozoic geodynamics of Central Asia. *Gondwana Research*, 2004, 7: 791—808.
- [15] Biske, Yu S, Seltmann R. Paleozoic Tian-Shan as a transitional region between the Rheic and Urals—Turkestan oceans. *Gondwana Research*, 2010, 7: 602—613.
- [16] Han BF, He GQ, Wang XC, Guo ZJ. Late Carboniferous collision between the Tarim and Kazakhstan—Yili terranes in the western segment of the South Tian Shan Orogen, Central Asia, and implications for the Northern Xinjiang, western China[J]. *Earth-Science Reviews*, 2011, 109: 74—93.
- [17] Kröner A, Alexeiev DV, Hegner E, et al. Zircon and muscovite ages, geochemistry, and Nd—Hf isotopes for the Aktyuz metamorphic terrane: evidence for an Early Ordovician collisional belt in the northern Tianshan of Kyrgyzstan. *Gondwana Research*, 2012, 21: 901—927.
- [18] Seltmann R, Konopelko D, Biske G, et al. Hercynian post-collisional magmatism in the context of Paleozoic magmatic evolution of the Tianshan orogenic belt. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2011, 42: 821—838.
- [19] Solomovich LI. Postcollisional magmatism in the South Tien Shan Variscan orogenic belt, Kyrgyzstan: evidence for high-temperature and high-pressure collision. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2007, 30: 142—153.
- [20] Golovko AV, Kaminsky FV. The Shoshonite-Absarokite-Picrite Karashoho Pipe, Uzbekistan: An Unusual Diamond Deposit in an Atypical Tectonic Environment. *Economic Geology*, 2010, 105: 825—840.

Distribution regularity and main scientific issues of strategic mineral resources in Central Asia and adjacent regions

Li Wenyuan Hong Jun Chen Bo Liu Jiang Ma Zhongping Yang Bo

(Xi'an Center of Geological Survey, CGS, Xi'an 710054; Northwest Center of Geoscience and Technology Innovation, CGS, Xi'an 710054; China-SCO Cooperative Research Center on Geoscience, Ministry of Natural Resources, Xi'an 710054)

Abstract Central Asia and adjacent countries, which are members or observers of SCO, crossing the Tethys and Altaids, have great potential in strategic mineral resources development. Because of its advantageous geography, this region should be given high priority for venture exploration and exploitation. Metallogenic research and potential evaluation on these strategic mineral resources in this region can forcefully promote related ore genetic theories and mineral exploration techniques, and lay a solid foundation for construction of oversea resource bases. All these also meet the demands of “Belt and Road” Initiative. In this context, this paper reviews basic tectonics of the Tethys and Altaids, and distributions and research progress of critical metal mineral resources in Central Asia and adjacent countries. Several key issues on future studies are also suggested that should be focused on.

Key words Central Asia; strategic mineral resources; distribution regularity; key scientific issues