境外矿产

doi:10.12134/j.dzykt.2021.01.19

中蒙俄跨境区域铜、金、铅、锌、铀成矿特征对比及意义

高 阳[1,2],周振华[3],张义波[4],韩世炯[1],张冬冬[1]

(1.吉林大学地球科学学院,吉林长春 130061;2.自然资源部东北亚矿产资源评价重点实验室,吉林长春 130061;3.中国地质科学院矿产资源研究所,国土资源部成矿作用与资源评价重点实验室,北京 100037;4.蒙古正元有限责任公司,山东济南 250101)

[摘 要] 本次研究的中蒙俄跨境区在大地构造位置上位于中亚造山带东部,是多种矿产的成矿密集区。本区成矿区带包括2个Ⅰ级成矿域、2个Ⅱ级成矿省和9个Ⅲ级成矿带。区内金属矿床的分布主要受北东-北北东向及北西向两组断裂的控制。研究区重点金属矿产中,铜矿床以斑岩型为主;金矿床以岩浆热液型为主,也有部分作为伴生矿种产于斑岩型铜(金)矿床之中;铅、锌矿床以热液脉型为主;铀矿床以火山岩型为主。铜、金、铅、锌、铀成矿作用与燕山期岩浆及其热液活动关系最为密切。本研究区具有良好的成矿地质条件和巨大的找矿前景,是进一步开展铜、金、铅、锌、铀等金属矿产找矿工作的重点地区。

[关键词] 中蒙俄跨境区 铜金铅锌铀 资源分布 成矿作用 找矿潜力

[中图分类号] P618.2 [文献标识码] A [文章编号] 0495-5331(2021)01-0198-12

Gao Yang,Zhou Zhenhua,Zhang Yibo,Han Shijiong,Zhang Dongdong. Comparison of metallogenic characteristics and its significance of Cu,Au,Pb,Zn and U in a cross-border area of China,Mongolia and Russia[J]. Geology and Exploration,2021,57(1):0198-0209.

0 引言

矿产资源是社会经济发展的重要物质基础,寻求全球资源配置是实现当今社会经济快速可持续发展的重要保障。亚洲大陆是经多陆块多次裂解、汇聚、增生、拼合而成,在复杂的地质演化过程中,形成了丰富的矿产资源。本次研究区为东北亚地区的中国、蒙古、俄罗斯三国跨境区域(以下简称跨境区),地理上位于亚洲东北部。本区地质构造演化复杂,矿产资源丰富,尤其是金属矿产,具有矿种多、密度大、强度高等特点。本文以铜、金、铅、锌、铀等金属为主要研究对象,主要论述了矿产资源的时空分布特征和成矿作用规律,并对成矿潜力和找矿前景进行初步讨论,希望为区域重要金属矿产的找矿勘查提供依据。

1 区域大地构造及成矿区带划分

本文研究的中蒙俄跨境区的俄罗斯境内部分主要包括西伯利亚后贝加尔边疆区东部地区及远东地区阿穆尔州南部地区,蒙古境内部分主要包括东方省乔巴山地区,中国境内部分主要包括内蒙古自治区东北部及黑龙江省西北部地区(大兴安岭北部)。大地构造分区隶属于中亚造山带东部(图1)。中亚造山带位于西伯利亚克拉通与华北克拉通之间,是由古亚洲洋消减而形成的巨型缝合带,在10亿年来的演化过程中,经历了陆缘增生、后碰撞和陆内造山作用3个阶段(Windley et al.,2007;肖文交等,2008;Xiao and Kusky,2009)。研究区内主要断裂构造以北东向-北北东向为主,构成了本区基本构造格架,从北西向南东方向主要有蒙古

[收稿日期] 2019-09-26;[改回日期] 2020-10-24;[责任编辑] 陈伟军。

[基金项目] 国家科技基础资源调查专项(编号:2017FY101300、2017FY101302)、中央公益性科研院所基本业务费项目(编号:YYWF201714)和自然资源部东北亚矿产资源评价重点实验室自主课题基金(编号:DBY-ZZ-18-01)联合资助。

[第一作者] 高 阳(1984年-),男,2014年毕业于中国地质科学院,获博士学位,现为吉林大学地球科学学院讲师,矿床学专业,主要从事金属矿床成矿作用及矿产资源潜力评价研究。E-mail:gy.36@163.com。

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

－鄂霍茨克缝合带(F1) 、得尔布干断裂(F2) 、头道桥－鄂伦春断裂(F3) 和二连－贺根山－黑河断裂(F4) (图 2) 。

本区矿产资源十分丰富,是一个产有多种金属、非金属矿床的成矿密集区。根据研究区的区域地质演化背景,以及区域成矿作用,将本区金属成矿作用划分为 2 个全球性成矿域(Ⅰ级) ,即中亚成矿域和叠加在其上的环太平洋成矿域。在Ⅰ级成矿域的基础上进一步划分出了 2 个Ⅱ级成矿省和 9 个Ⅲ级成矿带(表 1 和图 2) 。通过大量详细的矿产勘查工作,已查明本区的铜、金、铅、锌、铀等重点金属矿床主要分布在跨越中蒙边境的克鲁伦－满洲里(ME4) 、跨越中俄边境的额尔古纳－上黑龙江－岗仁(俄) (ME5) 以及俄罗斯境内的结雅－科尔宾(ME6) 三条Ⅲ级成矿带内(图 2) 。

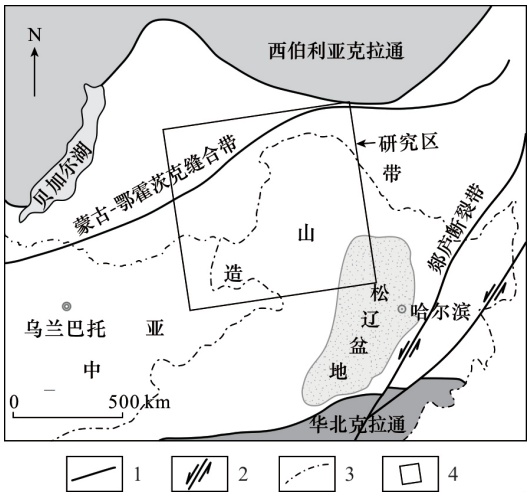

图 1　研究区大地构造位置(据 Li et al. ,2016 修改)

Fig. 1　Tectonic setting of the study area(modified from Li et al. ,2016)

1－断层; 2－走滑断层; 3－国界线; 4－研究区

1－fault; 2－strike－slip fault; 3－national border; 4－study area

表 1　中蒙俄跨境区成矿区带划分(据邱瑞照等,2013)

Table 1　Metallogenetic zoning in the cross border area of China,Mongolia and Russia(after Qiu et al. ,2013)

成矿省(Ⅱ级)	成矿带(Ⅲ级)	主要构造单元
蒙古－鄂霍茨克成矿省(ME)	谢林津－雅布洛诺夫成矿带(ME1)	北蒙古－维季姆造山带
	涅尔恰－奥廖克姆成矿带(ME2)	西斯塔诺夫地块及蒙古－鄂霍次克缝合带
	达乌尔－阿金成矿带(ME3)	蒙古－鄂霍次克造山带的海西期－印支期缝合构造带
	克鲁伦－满洲里成矿带(ME4)	中蒙古－额尔古纳造山带的西南段; 克鲁伦－近额尔古纳构造－岩浆带
	额尔古纳－上黑龙江－岗仁(俄) 成矿带(ME5)	中蒙古－额尔古纳造山带东北段; 克鲁伦－近额尔古纳构造－岩浆带
	结雅－科尔宾成矿带(ME6)	蒙古－鄂霍次克造山带
南蒙古－大兴安岭成矿省(MD)	南蒙古成矿带(MD1)	南蒙古－兴安造山带西段南蒙古带
	乌奴尔－阿龙山－加林(俄) 成矿带(MD2)	南蒙古－兴安造山带东段鄂伦春早－中华力西期增生带; 大兴安岭西部构造－岩浆带
	南戈壁(蒙) －东乌珠穆沁旗－嫩江成矿带(MD3)	南戈壁－伊尔施－多宝山加里东造山带; 阿巴嘎旗－东乌珠穆沁旗早华力西期造山带

克鲁伦－满洲里成矿带是蒙古国的中蒙古成矿带沿克鲁伦河地区延伸至中国满洲里地区的一条北东向跨境成矿带。该成矿带向北东方向延伸至额尔古纳河－黑龙江上游两侧地区,即额尔古纳－上黑龙江－岗仁(俄) 成矿带。该成矿带地质构造复杂,属于中蒙古－额尔古纳造山带的东北段,呈北东向展布(图 2) 。

两条成矿带总体上位于西北侧的蒙古－鄂霍茨克断裂和东南侧的得尔布干断裂之间并在北东方向相连,整体上西起蒙古杭爱山,向东经中戈壁省、乔巴山地区延伸至中国大兴安岭北段的满洲里－呼玛一带,一直到延伸到俄罗斯阿穆尔州,东西长约 2400km,其在中国境内部分包括了大兴安岭成矿省的上黑龙江 Au(Cu－Mo) 成

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

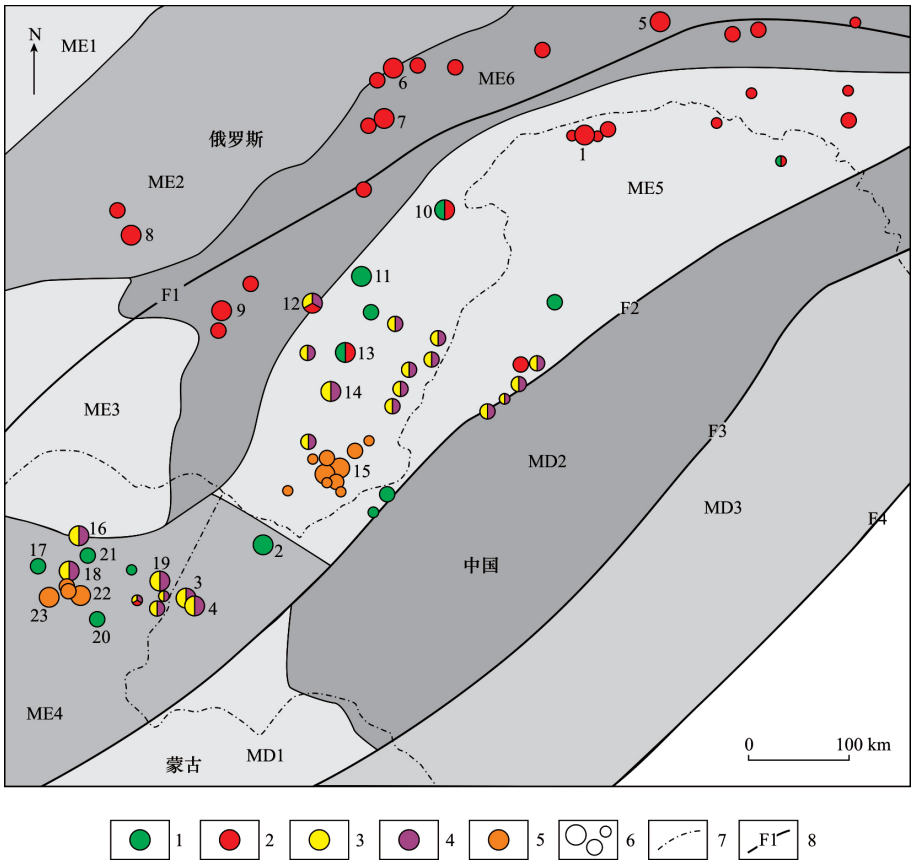

图 2　研究区成矿区带划分及区内铜、金、铅、锌、铀矿床分布特征(成矿区带划分同表 1; 部分矿床位置据朱群等,2001; 毛景文等,2013; 邱瑞照等,2013; 武广等,2014)

Fig. 2　Metallogenetic zoning and distribution of main nonferrous metal deposits in the study area (metallogenetic zoning is Metallogenetic zoning and distribution of main nonferrous metal deposits in the study area (metallogenetic zoning is same as Table 1; locations of some deposits after Zhu et al. ,2001; Mao et al. ,2013; Qiu et al. ,2013; Wu et al. ,2014)

1 – 铜; 2 – 金; 3 – 铅; 4 – 锌; 5 – 铀; 6 – 矿床规模(大型 – 超大型、中型、小型); 7 – 国界线; 8 – 断裂带: F1 – 蒙古 – 鄂霍茨克缝合带; F2 – 得尔布干断裂; F3 – 头道桥 – 鄂伦春断裂; F4 – 二连 – 贺根山 – 黑河断裂

1 – copper; 2 – gold; 3 – lead; 4 – zinc; 5 – uranium; 6 – deposit scale (large – and superlarge – scale, medium – scale, small – scale); 7 – national border; 8 – fault; F1 – Mongolia – Okhotsk suture; F2 – Derbugan fault; F3 – Toudaoqiao – Elunchun fault; F4 – Erlian – Hegenshan – Heihe fault

矿带和额尔古纳 Cu – Mo – Pb – Zn – Ag – Au – 萤石成矿亚带(徐志刚等,2008)。结雅 – 科尔宾成矿带位于额尔古纳 – 上黑龙江 – 岗仁(俄)成矿带西北侧,与克鲁伦 – 满洲里成矿带和额尔古纳 – 上黑龙江 – 岗仁(俄)成矿带同属于蒙古 – 鄂霍茨克成矿省。结雅 – 科尔宾成矿带在空间上叠加在蒙古 – 鄂霍茨克缝合带之上(图 2),其内分布的大量金矿床的形成与蒙古 – 鄂霍茨克洋的演化具有内在的成因联系。

研究区内的内生金属成矿带的展布明显受区域北东向 – 北北东向主干断裂带的控制。由不同方向的断裂组成的网格状断裂构造系统控制了该区岩浆岩及金属矿床的分布。

2　区域重点金属资源分布特征

研究区位于中蒙俄交界部位,由大兴安岭北段到蒙古东部和俄罗斯东后贝加尔地区,是多种矿产的成矿密集区,已发现铀、金、银、铜、钼、铅、锌、铁及萤石等矿种的大型 – 超大型矿床几十处。本区重点金属(铜、金、铅、锌、铀)矿床主要形成于中生代,并且以晚中生代最重要,成矿时代集中于侏罗纪,成矿与此时期的火山侵入活动密切相关,具有成矿强度大、频率高、密度大、品位高的特点,本区内重要铜、金、铅、锌、铀矿床见表 2。本区成矿期次多、区域成矿特征复杂,就矿种而言,铜矿以斑岩(– 矽

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

卡岩) 型为主; 金矿以岩浆热液型为主,也有部分作为伴生矿种产于斑岩型铜(金) 矿床之中; 铅、锌矿以热液脉型为主; 铀矿以火山岩型为主。

表 2　中蒙俄跨境区主要铜、金、铅、锌、铀矿床列表

Table 2　Major nonferrous metal deposits in the cross – border area of China, Mongolia and Russia

序号	矿床名称	矿种	规模	成矿时代/Ma	成因类型	所属国家
1	砂宝斯	金	大型	130(Liu et al. ,2014)	热液脉型	中国
2	乌奴格吐山	铜(钼)	大型	177.4(余宏全等,2009)	斑岩型	中国
3	甲乌拉	铅、锌	大型	142.7(李铁刚等,2014)	热液型	中国
4	查干布拉根	铅、锌	大型	137.7(李铁刚,2016)	热液型	中国
5	苏塔姆	金	大型	中生代	热液型	俄罗斯
6	伊塔京	金	大型		热液型	俄罗斯
7	克留切夫	金	大型	中生代	热液型	俄罗斯
8	达拉松	金	大型	晚侏罗世	热液型	俄罗斯
9	巴列伊	金	超大型	中生代	热液型	俄罗斯
10	鲁戈卡因	铜(金)	超大型	晚侏罗世	斑岩 – 矽卡岩型	俄罗斯
11	贝斯特里	铜	超大型	晚侏罗世	斑岩 – 矽卡岩型	俄罗斯
12	布格达因	金、铅、锌	超大型			俄罗斯
13	库尔图明	铜(金、银)	大型	晚侏罗世	斑岩 – 矽卡岩型	俄罗斯
14	诺依昂 – 塔格格	铅、锌	超大型			俄罗斯
15	斯特列里措夫	铀	超大型	早白垩世	火山岩型	俄罗斯
16	木哈尔	铅、锌	大型			蒙古
17	脑名特	铜(金)	中型	侏罗纪	岩浆热液型	蒙古
18	乌兰	铅、锌	大型	中生代	岩浆热液型	蒙古
19	查夫	铅、锌(银)	大型	中生代	岩浆热液型	蒙古
20	喇嘛朝鲁图	铜(钼)	中型	中生代	岩浆热液型	蒙古
21	阿布达尔陶勒盖	铜(钼)	中型			蒙古
22	多尔诺特	铀	超大型	晚侏罗世	火山岩型	蒙古
23	古尔万布拉克	铀	大型	晚侏罗世	火山岩型	蒙古

本区金属成矿作用实际上主要受两个 NE 向断裂(系) ,即蒙古 – 鄂霍茨克缝合带和得尔布干断裂,以及多个 NW 向断裂带的双重控制。北东 – 北北东向断裂构造总体上控制着区域成矿带的展布,多组断裂的交汇部位是矿化的有利部位。区域上金属矿床整体表现出“北东成带”和“北西成行”的展布特征。

2.1　跨境区铜矿资源分布特征及典型矿床

本区在不同时代地体的相互作用以及多期次岩浆活动的过程中,形成北东 – 北北东向断裂控制的火山 – 侵入岩带,与北西向断裂交汇部位往往形成巨大的斑岩(– 矽卡岩) 型铜矿床。本区最重要的铜矿床类型为斑岩型,其次还有矽卡岩型及斑岩 – 矽卡岩复合型。区域上,斑岩(– 矽卡岩) 型铜矿床形成时代主要为燕山早期,中国境内有部分为印支晚期成矿(武广等,2014) 。

在中蒙俄跨境区金属成矿密集的克鲁伦 – 满洲里成矿带和额尔古纳 – 上黑龙江 – 岗仁(俄) 成矿带内,形成了大量的斑岩(– 矽卡岩) 型铜矿床。中国境内的典型矿床如乌努格吐山、八大关等斑岩型铜矿床。蒙古境内的典型矿床有喇嘛朝鲁图、脑名特等铜矿床。俄罗斯加积穆尔 Cu – Au 矿集区内产出有鲁戈卡因、贝斯特里和库尔图明等大型 – 超大型斑岩(– 矽卡岩) 型铜矿。这些矿床既包括发现多年的老矿区,也包括近几年的找矿勘查的新成果,如蒙古东部新发现的与中酸性侵入岩有关的 Cu –

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

Au 和 Cu – Mo 矿床(江思宏等,2019)。

区内典型铜矿床乌奴格吐山铜(钼)矿位于中国内蒙古自治区新巴尔虎右旗,构造上位于西伯利亚板块与华北板块之间的中亚造山带的额尔古纳地块(武广等,2014),得尔布干断裂带西北侧(图 2)。矿床以铜钼矿化为主,伴有铅、锌、银等矿化。探明铜储量为 2.23×10^6 t,平均品位 0.46%;另外探明钼储量为 0.26×10^6 t,平均品位 0.019%(陈志广等,2008)。矿区内地层主要出露上元古界额尔古纳组浅变质岩系(图 3)。矿区内铜钼矿化主要以细脉浸染型产于二长花岗斑岩内部及接触带。乌奴格吐山铜(钼)矿属于典型的斑岩型矿床,成矿斑岩侵入印支期黑云母花岗岩基内。矿床围岩蚀变具有分带性,自内向外依次是石英钾长石化带、石英绢云母化带和伊利石水白云母化带。组成矿石的金属矿物主要为黄铜矿、辉钼矿、黄铁矿,其次为方铅矿、闪锌矿、斑铜矿等;脉石矿物有石英、绢云母、水白云母、黑云母、钾长石、伊利石等。矿石结构主要有自形 – 半自形 – 他形粒状结构、交代结构等;矿石构造主要为浸染状和细脉浸染状构造。同位素测年结果显示乌奴格吐山含矿斑岩的年龄为 188 Ma,矿床的形成时代为 177 Ma(秦克章等,1999;佘宏全等,2009),即成岩和成矿发生于早侏罗世。乌奴格吐山斑岩型铜(钼)矿床形成于蒙古 – 鄂霍茨克洋向南俯冲的陆缘弧环境(武广等,2014),俯冲板片为铜(钼)矿的形成提供了大量的矿质和流体。巨量的矿质和流体随岩浆上侵,最终在地壳浅部形成了矿床。

2.2 跨境区金矿资源分布特征及典型矿床

研究区内金矿资源十分丰富,尤其在俄罗斯境内,分布有数十个大中型金矿床,另外在中俄边境的中国境内也有部分重要金矿床的分布。从成矿带分布角度来看,本区金矿床主要分布在结雅 – 科尔宾成矿带(ME6)和额尔古纳 – 上黑龙江 – 岗仁(俄)成矿带(ME5)内,特别是在结雅 – 科尔宾成矿带内的金成矿作用强度大、数量多。本区已查明成矿时代的金矿床主要形成于中生代。本区金矿的形成与中生代尤其是中 – 晚侏罗世的岩浆作用密切相关,金矿的成因类型以岩浆热液型为主,另外也有部分作为伴生金产出于一些重要的斑岩型铜(金)矿床中,如俄罗斯的鲁戈卡因和库尔图明等斑岩型铜(金)矿。研究区内大部分重要金矿床在空间上主要分布于蒙古 – 鄂霍茨克缝合带附近,金矿床的形成与蒙古 – 鄂霍茨克洋的演化具有内在的成因联系。

研究区代表性金矿床如俄罗斯境内的苏塔姆、伊塔京、克留切夫、达拉松等金矿床,以及中国境内的砂宝斯金矿等。研究区蒙古境内金矿成矿作用较弱,尚未发现规模较大的金矿床。

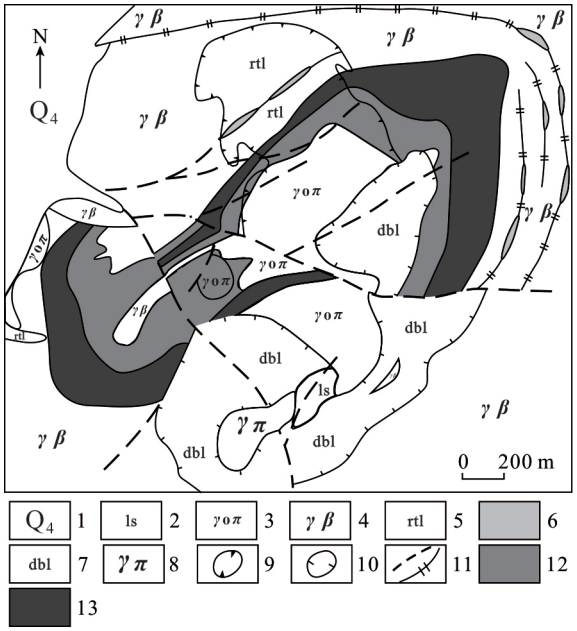

图 3 中国乌奴格吐山铜(钼)矿床地质简图(据陈志广等,2008)

Fig. 3 Geological sketch map of the Wunugetushan Cu(Mo) deposit, China (after Chen et al., 2008)

1 – 第四系;2 – 下石炭统安山岩结晶灰岩;3 – 斜长花岗斑岩;4 – 黑云母花岗岩;5 – 流纹质晶屑凝灰熔岩;6 – 流纹斑岩;7 – 次英安质角砾熔岩;8 – 花岗斑岩;9 – 火山管道构造;10 – 爆发角砾岩筒;11 – 断裂;12 – 钼矿化;13 – 铜矿化

1 – Quaternary; 2 – Lower Carboniferous andesite and crystalline limestone; 3 – plagiogranite porphyry; 4 – biotite granite; 5 – rhyolite crystalline debris tuff lava; 6 – rhyolite porphyry; 7 – subdacitic breccia lava; 8 – granite porphyry; 9 – volcanic pipeline structure; 10 – explosive breccia tube; 11 – fault; 12 – molybdenum mineralization; 13 – copper mineralization

区内典型金矿床达拉松金矿位于俄罗斯后贝加尔边疆区赤塔市,已探明黄金储量约为 250 t,平均品位 12 g/t(沈存利,1998)。矿区内出露岩浆岩主要有早古生代变质辉长岩、中古生代 – 早中生代花岗闪长岩、闪长岩及花岗斑岩(图 4)。矿区内断裂构造主要分为北东向和北西向两组。矿床金矿脉形态比较简单,具有长度大、厚度小、品位富、数量多的特点,已发现工业矿体 140 多条,大部分金矿脉分布在剪切裂隙中。矿床中规模较大的金矿脉主要受北东向断裂控制,矿脉长达 2 ~ 3 km,间距 200 ~ 300 m;北西走向矿脉规模相对较小,脉间距一般为数十米。矿脉与接触带附近的浸染状矿石一起厚度为 0.6 ~ 1.5 m。矿区内金矿石类型主要为石英硫化

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

物型和绢云母化黄铁矿化糜棱岩型。矿石结构主要为结晶粒状结构,构造主要有块状、条带状、透镜状、角砾状构造。围岩蚀变主要有电气石化、绢云母化、黄铁矿化、青磐岩化、泥化等,蚀变带厚度从几厘米到几米不等。达拉松金矿床类型为与侵入岩有关的热液脉型金矿,金矿化形成于晚侏罗世,其形成与蒙古 – 鄂霍茨克洋的闭合及其引发的构造体制密切相关(Zorin et al.,2001)。

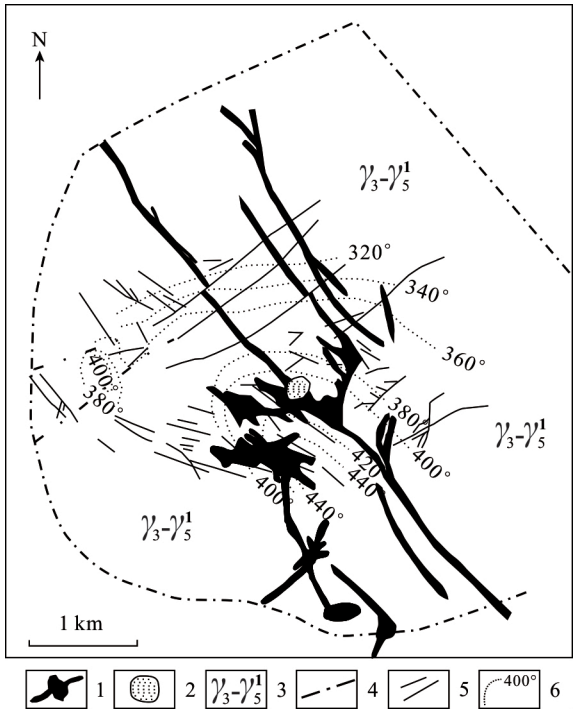

图 4　俄罗斯达拉松金矿床地质简图(据 Zorin et al.,2001)

Fig. 4　Schematic geological map of the Darasun gold deposit, Russia (after Zorin et al., 2001)

1 – 中 – 晚侏罗世斑岩体和岩脉; 2 – 中侏罗世角砾岩筒; 3 – 早古生代 – 三叠纪侵入岩; 4 – 主断裂; 5 – 石英 – 硫化物脉; 6 – 成矿温度

1 – Middle – Late Jurassic porphyry and dike; 2 – Middle Jurassic breccia tube; 3 – Early Paleozoic – Triassic intrusive rock; 4 – main fault; 5 – quartz – sulfide vein; 6 – metallogenic temperature

2.3　跨境区铅 – 锌矿资源分布特征及典型矿床

研究区内铅锌矿资源丰富,铅锌矿集中分布于克鲁伦 – 满洲里成矿带和额尔古纳 – 上黑龙江 – 岗仁(俄)成矿带内,多数铅锌矿受北东 – 北北东向深大断裂旁侧的次级断裂控制,形成了重要的铅锌(多金属)成矿区。区内铅锌矿成矿作用主要与侏罗纪 – 早白垩世中酸性 – 酸性火山 – 次火山岩浆热液活动有关。不同时期的地质体,只要受到燕山期岩浆活动的叠加,常有矿床(点)或矿化的产出。

火山 – 次火山热液型是本区分布最广泛的铅锌矿床类型,在中蒙俄跨境区内有大量此类型铅锌矿床的分布。代表性矿床如中国境内的甲乌拉、查干布拉根、得尔布尔、二道河等大中型铅锌矿床; 蒙古境内如乌兰、查夫等大型铅锌矿床; 俄罗斯境内分布有诺依昂 – 塔格格、新谢罗津、沃兹得仁等大中型铅锌矿床。

区内典型铅 – 锌矿床乌兰铅锌矿位于蒙古国东方省乔巴山市北 125 km 处,距中蒙阿日哈沙特口岸约 180 km,大地构造位置位于都尔诺特中生代火山岩构造带北翼。矿石中主要有益组分为铅、锌、银,伴生有镉、铜、金、砷等。矿床铅 + 锌金属量为 120 万 t,银金属量为 2000t。矿石铅品位为 0.18% ~ 7.2%,平均为 1.1%; 锌品位为 0.23% ~ 7.9%,平均为 1.92%; 银品位为 13 ~ 1390 g/t,平均为 51 g/t(邱瑞照等,2013)。矿区出露地层由基底和盖层组成。基底为元古宙花岗片麻岩、片麻岩和斜长角闪岩; 盖层主要由中生代火山岩和火山沉积岩组成(图 5)。矿区内构造主要发育 NW 向断裂构造,为

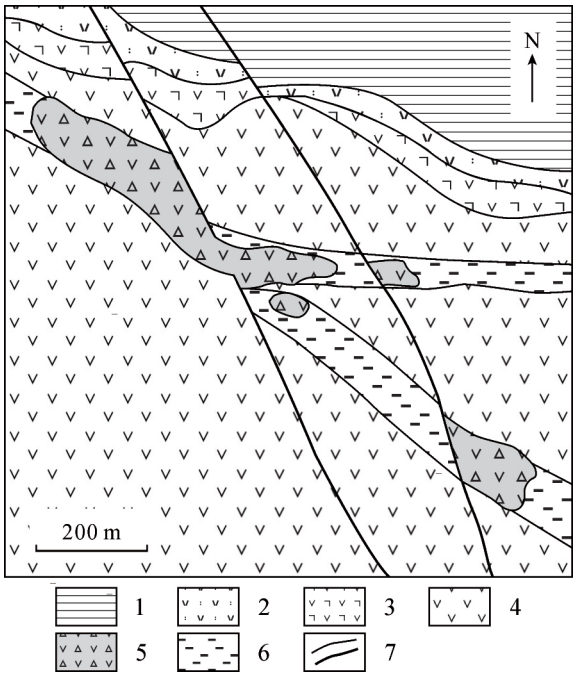

图 5　蒙古乌兰铅锌(银)矿床地质简图(据邱瑞照等,2013)

Fig. 5　Geological sketch map of the Ulaan Pb – Zn (Ag) deposit, Mongolia (after Qiu et al., 2013)

1 – 元古宙花岗片麻岩、片麻岩、斜长角闪岩; 2 – 熔结凝灰岩; 3 – 安山玄武岩; 4 – 酸性火山岩; 5 – 爆破角砾岩; 6 – 平缓断裂、陡倾断裂; 7 – 密集的裂隙带

1 – Proterozoic granite gneiss, gneiss, and amphibolite; 2 – ignimbrite; 3 – andesite basalt; 4 – acid volcanic rock; 5 – explosive breccia; 6 – gentle fault, steep fault; 7 – dense fracture zone

矿区内主要控矿构造。断裂带由断层泥和构造角砾岩组成,其中充填有石英斑岩脉和铅锌银多金属硫

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

化物矿化。石英斑岩脉是主要的赋矿岩脉。岩脉中的角砾由周围的火山岩组成,胶结物为绿帘石、阳起石、硫化物、石英和萤石等,角砾岩化部位经历了热液蚀变和矿化作用。矿体大多呈脉状,呈近 EW – NW 向展布,倾向南或北,倾角 70° ~85°。矿体走向延长 200 ~400 m,厚度为 10 ~15 m。矿石结构主要有半自形 – 他形粒状、交代残余、包含结构等;矿石构造主要有块状、角砾状、浸染状和脉状构造等。矿石中主要金属矿物为方铅矿和闪锌矿,其次为自然银、黄铁矿、黄铜矿、毒砂、白铁矿等。脉石矿物主要有绿帘石、阳起石、石英、钾长石、萤石等。石英斑岩脉由内向外发育 3 个蚀变带:绿帘石 – 阳起石化带、石英 – 正长石化带、青磐岩化带。同位素测年结果显示乌兰铅锌矿围岩形成于晚侏罗世(张璟等,2014)。乌兰铅锌(银)矿的成因类型为受爆破角砾岩控制的热液脉型矿床,矿床的形成可能与晚侏罗世的构造 – 岩浆活动具有内在的成因联系。

2.4 跨境区铀矿资源分布特征及典型矿床

研究区内铀矿资源丰富,集中分布于克鲁伦 – 满洲里成矿带和额尔古纳 – 上黑龙江 – 岗仁(俄)成矿带内,在中蒙俄三国交界附近的蒙古和俄罗斯境内均分布有重要的铀矿集中区及超大型铀矿床。研究区的蒙古境内分布有多尔诺特铀矿集区,包括多尔诺特、古尔万布拉克、马尔代、尼莫尔等 4 处铀矿床和众多铀矿化点,探明铀资源量超过 5 万吨(吴涛涛等,2018)。矿集区内规模最大的铀矿是多尔诺特铀矿。研究区的俄罗斯境内分布着一个由 20 多个铀矿床构成的大型铀成矿区,其中包括世界最大的火山岩型铀矿床斯特列里措夫铀矿(周永恒等,2018a)。研究区蒙古和俄罗斯铀矿集区内的铀矿床均为火山岩型铀矿,矿床严格受火山机构控制,铀矿化主要产于火山 – 沉积岩建造中。研究区的中国境内虽然分布有一些铀矿化点,但铀矿找矿一直没有较大的突破。

区内典型铀矿床斯特列里措夫超大型铀矿床位于俄罗斯赤塔州红石镇东南约 12 km 处,距中俄边境约 30 km,矿床铀储量近 6×10^4 t,品位一般为 0.2% ~1%。该矿床产在中蒙俄交界附近的乌鲁留圭火山沉积盆地中(周永恒等,2018a),盆地中已发现铀矿床 20 多处,构成了一个大型铀成矿区。斯特列里措夫铀矿床的形成严格受火山机构控制,矿床具上下双层结构特征(图 6)。下部主要为前寒武纪变质岩及二叠纪花岗岩,为成矿提供了丰富的铀源。上部主要为火山沉积岩,厚度达上千米。矿区内发育多组断裂构造,其中北西向断裂为主要的赋矿构造。矿床中分为六个矿段和百余个矿体,矿体主要呈脉状、网脉状及似板状。矿区内 1 号矿体规模最大,该矿体产于断裂带内,延深 700 m,厚度为 0.5 ~20 m,铀品位为 0.076% ~14%。矿床内矿石矿物主要为沥青铀矿和铀石,常与辉钼矿、方铅矿、闪锌矿等矿物共生(聂凤军等,2014),脉石矿物主要有石英、钠长石、萤石和方解石等。围岩蚀变类型主要有钾长石化、钠长石化、水云母化、硅化、萤石化、绢云母化等。对矿区内蚀变水云母、正长斑岩及流纹岩的同位素测年结果表明,矿床的成矿作用发生在晚侏罗世 – 早白垩世(周永恒等,2018a)。

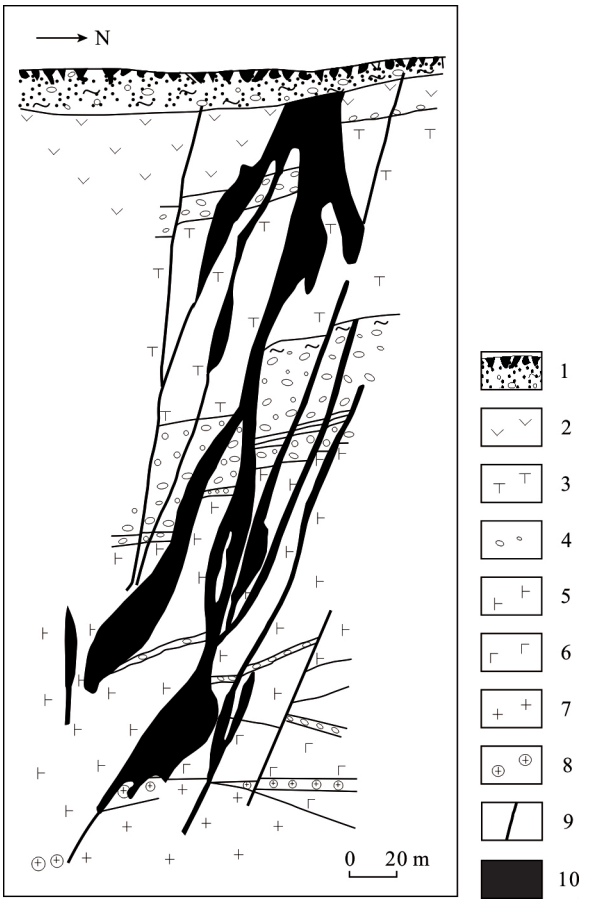

图 6 斯特列里措夫铀矿床中部矿段剖面图(据周永恒等,2018a)

Fig. 6 Geological profile of mining section in the central Streltsovka deposit(after Zhou et al. ,2018a)

1 – 第四系沉积物;2 – 霏细岩;3 – 粗面玄武岩;4 – 砾岩;5 – 中层玄武岩;6 – 下层玄武岩;7 – 二叠纪花岗岩;8 – 底砾岩;9 – 断层;10 – 铀矿脉

1 – Quaternary sediments; 2 – felsite; 3 – trachybasalt; 4 – conglomerate; 5 – middle – layer basalt; 6 – lower – layer basalt; 7 – Permian granite; 8 – basal conglomerate; 9 – fault; 10 – uranium veins

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

3　成矿作用和成矿规律

位于西伯利亚克拉通与华北克拉通之间的中亚造山带经历了多次俯冲、拼贴、碰撞、开合的复杂演化过程(Li et al.,2006; 肖文交等,2008; 李锦轶,2009)。研究区在大地构造位置上位于中亚造山带的东段,根据区域大地构造演化,本区成矿作用主要与三大构造体系有关,即: 古亚洲洋、蒙古-鄂霍茨克洋和古太平洋。古亚洲洋在 1000 Ma 之前已经打开(Khain et al.,2002),多数学者认为其最终闭合于晚二叠世-中三叠世(Xiao et al.,2003; 李大鹏等,2012; Wang et al.,2017)。蒙古-鄂霍茨克洋被认为是从古亚洲洋的一个志留纪弧后盆地发育而来的(Bussien et al.,2011),并于二叠纪至早白垩世由东向西逐渐闭合(Kravchinsky et al.,2002),随后进入后碰撞阶段。古太平洋板块对研究区东部影响的时限大约从早侏罗世开始(许文良等,2013)。所以根据区域上三大构造体系的演化历史,研究区一些形成于中生代之前(主要为晚古生代)的斑岩型铜(-钼-金)矿床可能主要形成于古亚洲洋板块的俯冲背景。而中蒙俄跨境区内的铜、金、铅、锌、铀成矿作用基本集中在晚三叠世-早白垩世,所以这些矿床的形成可能与蒙古-鄂霍茨克洋和古太平洋的演化关系更为密切。从空间分布来看,研究区内的铜、金、铅、锌、铀矿床的产出位置与蒙古-鄂霍茨克缝合带更为接近,而古太平洋板块在中生代时期向欧亚大陆的俯冲由于距离本区比较远,可能影响较小。所以,本区内铜、金、铅、锌、铀矿床的形成主要受控于蒙古-鄂霍茨克洋板块的俯冲碰撞及后碰撞作用。

在板块碰撞过程中,含矿的中酸性岩浆携带来自于俯冲板片的成矿物质(Cooke et al,2005; 毛景文等,2013),从深部上升并侵入到地壳浅部从而形成斑岩型铜(金)矿。研究区内金矿主要受中生代蒙古-鄂霍茨克造山过程中形成的超壳断裂带控制(Zorin et al.,2001),造山过程中的板块相互作用引起强烈的岩浆活动。深部岩浆沿断裂带上涌,在地壳浅部形成一系列侏罗纪-早白垩世岩浆热液型金矿床。研究区热液型铅锌矿床主要形成于侏罗纪-早白垩世,可能形成于蒙古-鄂霍茨克洋闭合后的碰撞后伸展环境。大规模地壳伸展引起岩石圈拆沉,并导致软流圈上涌和壳幔相互作用,进而导致火山-侵入岩浆活动及与之相关的火山-次火山热液型铅锌矿床的形成。研究区火山岩型铀矿床主要形成于晚侏罗世-早白垩世,在区域伸展的构造背景下,富碱的酸性岩浆有关的热液活动叠加在早期富铀岩层之上导致铀进一步富集,最终在火山机构中形成高品位超大型铀矿床。

自太古宙以来,研究区经历了多次构造运动,形成了一系列不同规模和性质的断裂构造(邱瑞照等,2013)。本区断裂构造十分发育,主要分为 NE-NNE 向及 NW 向两组断裂,控制了中生代岩浆活动和内生成矿作用的空间分布。其中 NE-NNE 向断裂构造规模较大,切割较深,且具有多期活动的特征,并于晚侏罗世-早白垩世达到顶峰,形成了大规模火山喷发-岩浆侵入活动(集中于 160 ~ 120 Ma)。研究区内铜、金、铅、锌、铀矿化在时间、空间上主要与这一火山喷发-岩浆侵入活动具有密切的成因联系(朱群等,2001; Zorin et al.,2001; 段瑞炎等,2012; 聂凤军等,2014; 江思宏等,2019),随着深部岩浆的分异、上侵及成矿物质迁移、沉淀,最终导致 NE 向多金属成矿带的形成。NW 向断裂规模相对较小,常作为 NE-NNE 向断裂的次级断裂,与 NE-NNE 向断裂的交汇部位控制了燕山期火山岩、侵入岩及金属矿床的形成和分布。

4　成矿潜力及找矿前景分析

在中蒙俄跨境区的俄罗斯后贝加尔地区、蒙古乔巴山地区及中国大兴安岭北部地区,已经发现多处大型、超大型铀、贵金属、有色金属、铁及萤石等矿床,构成了一个多种矿产成矿密集区(阎鸿铨等,1998; 陈喜峰等,2017; 张福祥等,2020)。

从成矿区带划分来看,本次研究的中蒙俄跨境区的铜、金、铅、锌、铀等金属矿床主要分布在中蒙古-额尔古纳成矿带和结雅-科尔宾成矿带。中蒙古-额尔古纳成矿带内矿床基本都产在中生代火山岩和次火山岩中。在中国境内发现的重要金属矿床主要有乌努格吐山、太平川、八大关等铜矿床,砂宝斯等金矿床,以及甲乌拉、查干布拉根、上护林等铅锌(银)矿床,均是与燕山期浅成侵入岩及火山-次火山岩有关的热液矿床。在相邻的蒙古和俄罗斯境内更多大型-超大型金属矿床被发现,如蒙古境内的乌兰、查夫等大型热液铅锌(银)矿床和多尔诺特铀矿集区,俄罗斯境内的鲁戈卡因、库尔图明等大型-超大型斑岩(-矽卡岩)型铜(金)矿床以及斯特列里措夫超大型铀矿(周永恒等,2018a,2018b)。结雅-科尔宾成矿带内以金矿床大量产出为特征,金矿在空间上主要分布于蒙古-鄂霍茨克缝合带附

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

近。研究区铜、金、铅、锌、铀矿床均与中生代(集中于侏罗纪 - 早白垩世)侵入 - 火山岩浆作用具有密切的成因联系。因此,本区是大型斑岩(-矽卡岩)型铜(金)矿、岩浆热液型金矿、火山 - 次火山热液型铅锌矿、以及火山岩型铀矿的集中分布区,具有良好的寻找中生代大型 - 超大型铜、金、铅、锌、铀等内生金属矿床的地质条件。

中国大兴安岭北部地区在中新生代发育强烈的火山 - 岩浆活动,与蒙古东部和俄罗斯后贝加尔地区具有相似的区域构造 - 岩浆及成矿背景,重要金属矿床的找矿勘探工作已取得重要进展。但其矿床规模,尤其是中国紧缺的铜、金、铅锌(富)、铀等矿产不及邻国。目前,在中国境内已发现一系列早古生代矿床,这些矿床主要形成于古亚洲洋板块俯冲环境。这些矿床能够被保存下来,说明研究区的中国境内整体剥蚀程度不高,所以中国境内仍具有较大的找矿潜力。本区属于森林沼泽覆盖区,勘查程度低,所以长期以来未能取得较大成果。随着 20 世纪 90 年代国土资源大调查的实施,森林沼泽荒漠覆盖区物化探探矿技术不断完善,大兴安岭北部地区的有色金属和贵金属勘查工作得到进一步重视,矿产勘查工作取得了突破性进展。连同相邻的蒙古、俄罗斯的边境地区的找矿突破(周永恒等,2018b;江思宏等,2019),显示出本区具有巨大的成矿潜力和找矿前景。

研究区内铜矿床类型以斑岩(-矽卡岩)型为主,成矿岩体顶部与围岩接触带是斑岩型铜矿成矿作用的中心,成矿元素在岩体顶部沿裂隙充填交代形成细脉浸染型矿化及工业矿体。当围岩为碳酸盐岩等岩石时,则形成矽卡岩型铜矿化,可与斑岩型铜矿伴生产出。斑岩型铜矿以岩体为中心可发育围岩蚀变分带,如在乌奴格吐山斑岩型铜矿中,以二长花岗斑岩为中心自内向外依次发育石英 - 钾化带、石英 - 绢云母化带和伊利石 - 水白云母化带(谭钢等,2013)。特定的围岩蚀变类型和分带性与矿化作用具有密切的关系,同时也是重要的找矿标志。

研究区内金矿床类型以岩浆热液型为主,成矿地质体为侵位较深的中酸性侵入体。矿脉大多长数十米至数百米,主要发育在侵入体的外接触带。区域内多组断裂交汇部位以及多次活动的断裂构造是成矿流体运移和矿质沉淀的有利部位,往往形成重要矿体,受陡倾斜断裂控制的矿脉延深较大。围岩蚀变一般较发育,并且根据围岩岩性及成矿阶段的不同,发育不同的蚀变类型和蚀变矿物组合。另外,本区还有一部分金矿是产于斑岩型铜(金)矿床中作为伴生矿种产出,此类型矿床往往由多期次岩浆侵入作用形成,可形成经济价值巨大的斑岩型铜 - 金(-钼)矿床,其勘查模型可参照斑岩型铜矿。

研究区内铅、锌矿床类型以火山 - 次火山热液型为主,铅锌矿体一般产在火山沉积盆地边缘的火山岩 - 次火山岩中,成矿地质体为火山机构和次火山岩体。浅部可发育强烈的面状热液蚀变、爆破角砾岩体和次火山岩脉,在火山机构附近以陡倾斜脉状矿体和爆破角砾岩矿体为主;在深部火山岩和沉积岩接触面以及次火山岩体顶部可发育缓倾斜似层状矿体。成矿早期在次火山岩体及围岩中发育强烈的钾化/钠化、角岩化、青磐岩化及硅化蚀变,主成矿阶段在近矿部位可发育绢英岩化。铅锌矿体一般位于次火山岩体内外接触带 500 ~ 1000 m 内。矿床在纵向上延伸一般较小,部分矿床深部有可能存在斑岩型铜(钼 - 金)矿床。

研究区内铀矿床类型主要为火山岩型,矿床的形成是火山作用及相关热液活动的产物。铀矿床主要产在火山岩 - 沉积盆地中,矿床分布严格受火山机构控制。矿区内断裂破碎带发育,是主要的导矿和容矿构造,多组断层的交汇部位是厚大矿体产出的有利部位。铀矿床内发育晚侏罗世 - 早白垩世酸性岩体和岩脉,岩浆热液叠加在早期富铀岩层之上导致铀进一步富集,同时形成强烈的热液蚀变。

综上所述,铜、金、铅、锌、铀应作为本区找矿的主攻矿种。本区良好的成矿地质条件揭示了该区巨大的找矿前景,是进一步开展铜、金、铅、锌、铀等金属矿产找矿工作的重点地区。在利用先进的成矿规律和找矿勘查理论及方法的基础上,建立合理的矿床勘查模型(池顺都,1995;施俊法等,2010),有望在本区取得重要的找矿突破。

5 结语

中蒙俄跨境区内铜、金、铅、锌、铀等重点金属矿床主要分布在克鲁伦 - 满洲里、额尔古纳 - 上黑龙江 - 岗仁(俄)以及结雅 - 科尔宾三条 III 级成矿带内,成矿作用主要受两个 NE 向断裂带(蒙古 - 鄂霍茨克缝合带和得尔布干断裂)以及多个 NW 向断裂带的双重控制。

研究区内铜矿床主要为斑岩(-矽卡岩)型,形成时代主要为燕山早期,其形成可能与蒙古 - 鄂霍茨克洋的俯冲及之后的碰撞造山作用有关。金矿以岩浆热液型为主,另外也有部分作为伴生金产出于

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

一些重要的斑岩型铜 – 金矿床中,成矿作用主要受晚中生代尤其是中 – 晚侏罗世的岩浆期后热液活动控制。铅锌矿床主要为火山 – 次火山热液型,矿床主要形成于侏罗纪 – 早白垩世,可能形成于蒙古 – 鄂霍茨克洋闭合后的碰撞后伸展环境。铀矿床主要为火山岩型,晚侏罗世 – 早白垩世的酸性岩浆热液叠加在早期富铀岩层之上,形成大规模高品位铀矿床。

本区具有良好的成矿地质条件以及巨大的找矿前景,是进一步开展铜、金、铅、锌、铀等金属矿产找矿工作的重点地区,有望取得重要的找矿突破。

[References]

Bussien D, Gombojav N, Winkler W, Von Q A. 2011. The Mongol – Okhotsk Belt in Mongolia – An appraisal of the geodynamic development by the study of sandstone provenance and detrital zircons [J]. Tectonophysics, 510(1 – 2): 132 – 150.

Chen Xifeng, Shi Junfa, Chen Xiufa, Ye Jinhua. 2017. Distribution characteristic and potential analysis of important solid mineral resources in "Belt and Road" area [J]. China Mining Magazine, 26(11): 32 – 41(in Chinese with English abstract).

Chen Zhiguang, Zhang Lianchang, Wan Bo, Zhang Yutao, Wu Huaying. 2008. Geochemistry and geological significances of ore – forming porphyry with low Sr and Yb value in Wunugetushan copper – molybdenum deposit, Inner Mongolia [J]. Acta Petrologica Sinica, 24(1): 115 – 128(in Chinese with English abstract).

Chi Shundu. 1995. Exploration model of porphyry copper [J]. Earth Science, 20(2): 149 – 155(in Chinese with English abstract).

Cooke D R, Hollings P, Walshe J L. 2005. Giant porphyry deposits: Characteristics, distribution, and tectonic controls [J]. Economic Geology, 100(5): 801 – 818.

Duan Ruiyan, Kang Zhuang, Liu Zhongcheng. 2012. Metallogenesis and prospects of gold – copper – molybdenum deposits on both sides of Erguna River and the upper reaches of Heilongjiang River [J]. Geology and Resources, 21(1): 105 – 113(in Chinese with English abstract).

Jiang Sihong, Han Shijiong, Chen Zhenhui, Mei Yanhong, Wu Yudong, Yang Yanchen, Liu Yifei, Zhang Lili, Kang Huan. 2019. Summary on metallogeny of copper deposits in Mongolia [J]. Geological Science and Technology Information, 38(5): 1 – 19(in Chinese with English abstract).

Khain E V, Bibikova E V, Kröner A, Zhuravlev D Z, Sklyarov E V, Fedotova A A, Kravchenko – Berezhnoy I R. 2002. The most ancient ophiolite of the Central Asian fold belt: U – Pb and Pb – Pb zircon ages for the Dunzhugur Complex, eastern Sayan, Siberia, and geodynamic implications [J]. Earth and Planetary Science Letters, 199(3): 31 – 325.

Kravchinsky V A, Cogne J P, Harbert W P, Kuzmin M I. 2002. Evolution of the Mongol – Okhotsk Ocean as constrained by new palaeomagnetic data from the Mongol – Okhotsk suture zone, Siberia [J]. Geophysical Journal International, 148(1): 34 – 57.

Li Chengming, Zhang Changhou, Cope Tim D, Yi Lin. 2016. Out – of – sequence thrusting in polycyclic thrust belts: An example from the Mesozoic Yanshan belt, North China Craton [J]. Tectonics, 35(9): 2082 – 2116.

Li Dapeng, Chen Yuelong, Wang Zhong, Lin Yu, Zhou Jian. 2012. Paleozoic sedimentary record of the Xing – Meng Orogenic Belt, Inner Mongolia: Implications for the provenances and tectonic evolution of the Central Asian Orogenic Belt [J]. Chinese Science Bulletin, 57(7): 550 – 559(in Chinese with English abstract).

Li Jinyi. 2009. Cycles and stages of geological history of China Mainland [J]. Geology in China, 36(3): 504 – 527(in Chinese with English abstract).

Li Jinyi. 2006. Permian geodynamic setting of northeast China and adjacent regions: Closure of the Paleo – Asian Ocean and subduction of the Paleo – Pacific Plate [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 26(3): 207 – 224.

Li Tiegang, Wu Guang, Liu Jun, Hu Yanqing, Zhang Yunfu, Luo Dafeng. 2014. Rb – Sr isochron age of the Jiawula Pb – Zn – Ag deposit in the Manzhouli area and its geological significance [J]. Acta Petrologica Sinica, 30(1): 257 – 270(in Chinese with English abstract).

Li Tiegang. 2016. Metallogenesis of the Jiawula – Chaganbulagen Pb – Zn – Ag orefield, Inner Mongolia, China [D]. Beijing: China University of Geosciences(Beijing): 1 – 129(in Chinese with English abstract).

Liu Jun, Wu Guang, Qiu Huaning, Li Yuan. 2014. $^{40}Ar/^{39}Ar$ dating, fluid inclusions and S – Pb isotope systematics of the Shabaosi gold deposit, Heilongjiang Province, China [J]. Geological Journal, 50(5): 592 – 606.

Mao Jingwen, Zhou Zhenhua, Wu Guang, Jiang Sihong, Liu Chenglin, Li Houmin, Ouyang Hegen, Liu Jun. 2013. Metallogenic regularity and minerogenetic series of ore deposits in Inner Mongolia and adjacent areas [J]. Mineral Deposits, 32(4): 716 – 730(in Chinese with English abstract).

Nie Fengjun, Li Qiangfeng, Wang Jiaxin, Jiang Zhe, Zhang Xiaokang, Wu Kerui, Ding Chengwu, Cao Yi. 2014. Geological setting, features, origin and exploration criteria of uranium deposits occurring within the China – Mongolia border region and its neighboring areas [J]. Geology in China, 41(4): 1037 – 1058(in Chinese with English abstract).

Qin Kezhang, Li Huimin, Li Weishi, Shunso Ishihara. 1999. Intrusion and mineralization ages of the Wunugetushan porphyry Cu – Mo deposit, Inner Mongolia, northwestern China [J]. Geological Review, 45(2): 180 – 185(in Chinese with English abstract).

Qiu Ruizhao, Tan Yongjie, Zhu Qun, Li Baoqiang, Lin Fangcheng, Shu Siqi, Chen Xiufa, Qi Shijun, Chen Yongqing, Jiang Qigang. 2013. Metallogenic regularity of important metallogenic belts in China and adjacent areas [M]. Beijing: Geological Publishing House: 1 – 596(in Chinese).

She Hongquan, Li Honghong, Li Jinwen, Zhao Shibao, Tan Gang, Zhang Dequan, Jin Jun, Dong Yingjun, Feng Chengyou. 2009. The metallogenetical characteristics and prospecting direction of the copper – lead – zinc polymetal deposits in the northern – central Daxing'anling Mountain, Inner Monglia [J]. Acta Geologica Sinica, 83(10):

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

1456 – 1472(in Chinese with English abstract) .

Shen Cunli. 1998. Inspection report of the mines in Chita,Russia [J] . Inner Mongolia Geology,(3) : 3 – 5 (in Chinese with English abstract) .

Shi Junfa,Tang Jinrong,Zhou Ping,Jin Qinghua,Dai Zixi,Xiang Renjie,Yang Zongxi,Zhu Lili,Jin Xi. 2010. The prospecting model and the mineral exploration in the world [M] . Beijing: Geological Publishing House: 1 – 465(in Chinese) .

Tan Gang,She Hongquan,Yin Jianping,Yang Yuncheng,Li Jinwen,Xiang Anping,Zhang Bin. 2013. Source and evolution of ore – fluid in Wunugetushan large Cu – Mo deposit,Inner Mongolia: Evidence from fluid inclusions and hydrogen and oxygen isotopic geochemistry [J] . Global Geology,32 (3) : 463 – 482 (in Chinese with English abstract) .

Wang Tao,Tong Ying,Zhang Lei,Li Shan,Huang He,Zhang Jianjun,Guo Lei,Yang Qidi,Hong Dawei,Donskaya T,Gladkochub D,Tserendash N. 2017. Phanerozoic granitoids in the central and eastern parts of Central Asia and their tectonic significance [J] . Journal of Asian Earth Sciences,145: 368 – 392.

Wu Taotao,Zhou Yongheng,Chen Cong,Bao Qingzhong,Chai Lu. 2018. Geological features and resource potential of uranium deposits in Mongolia [J] . Geology and Exploration,54 (6) : 1247 – 1255 (in Chinese with English abstract) .

Windley B F,Alexeiev D,Xiao W J,Kröner A,Badarch G. 2007. Tectonic models for accretion of the Central Asian Orogenic Belt [J] . Journal of the Geological Society,164(1) : 31 – 47.

Wu Guang,Wang Guorui,Liu Jun,Zhou Zhenhua,Li Tiegang,Wu Hao. 2014. Metallogenic series and ore – forming pedigree of main ore deposits in northern Great Xing' an Range [J] . Mineral Deposits,33(6) : 1127 – 1150(in Chinese with English abstract) .

Xiao W J,Kusky T. 2009. Geodynamic processes and metallogenesis of the Central Asian and related orogenic belts: Introduction [J] . Gondwana Research,16(2) : 167 – 169.

Xiao Wenjiao,Shu Liangshu,Gao Jun,Xiong Xiaolin,Wang Jingbin,Guo Shaojie,Li Jinyi,Sun Min. 2008. Continental dynamics of the central Asian orogenic belt and its metallogeny [J] . Xinjiang Geology,26 (1) : 4 – 8(in Chinese with English abstract) .

Xiao W J,Windley B F,Hao J,Zhai M G. 2003. Accretion leading to collision and the Permian Solonker suture,Inner Mongolia,China: Termination of the central Asian orogenic belt [J] . Tectonics,22(6) : 1069 – 1089.

Xu Wenliang,Wang Feng,Pei Fuping,Meng En,Tang Jie,Xu Meijun,Wang Wei. 2013. Mesozoic tectonic regimes and regional ore – forming background in NE China: Constraints from spatial and temporal variations of Mesozoic volcanic rock associations [J] . Acta Petrologica Sinica,29(2) : 339 – 353(in Chinese with English abstract) .

Xu Zhigang, Chen Yuchuan, Wang Denghong, Chen Zhenghui, Li Houmin. 2008. The scheme of the classification of the minerogenetic units in China [M] . Beijing: Geological Publishing House: 1 – 138 (in Chinese) .

Yan Hongquan,Hu Shaokang,Ye Mao,Xiang Weidong. 1998. Metallogenic focus – area and superlarge mineral deposits in the bordering zones between China,Russia and Mongolia [J] . Science in China(Series D: Earth Sciences) ,(S2) : 43 – 48 (in Chinese with English abstract) .

Zhang Fuxiang,Zhao Sha,Wang Fengxiang,Liu Cheng,Nie Fengjun,Zhao Yuanyi. 2020. Geological characteristics and analysis of ore potential of China – Mongolia – Russia Economic Corridor [J] . Geological Bulletin of China,39(Z1) : 365 – 386(in Chinese with English abstract) .

Zhang Jing,Shao Jun,Bao Qingzhong,Zhou Yongheng,Wang Hongbo. 2014. Geological and rock geochemical characteristics and U – Pb age of the Ullan lead – zinc deposit in Mongolia [J] . Geology in China,41(4) : 1124 – 1135(in Chinese with English abstract) .

Zhou Yongheng,Liu Changchun,Wu Taotao,Bao Qingzhong,Wu Datian. 2018a. Geological characteristics and prospecting model of volcanic type uranium deposits in the Post – Baikal region of Russia [J] . Geology and Exploration,54(6) : 1238 – 1246(in Chinese with English abstract) .

Zhou Yongheng,Zhang Sen,Wu Taotao,Bao Qingzhong,Wu Datian,Chai Lu,Liu Jinlong. 2018b. Current situation,potential and investment proposal of copper deposit exploitation and utilization in Russia [J] . Geology and Exploration,54(6) : 1227 – 1237(in Chinese with English abstract) .

Zhu Qun,Wu Fei,Zhang Jiongfei,Shao Jun,Zhu Hongchen. 2001. The research progress of metallogenetic divisions and prospecting techniques of the De'erbugan metallogenic belt [J] . Geology in China,28(5) : 19 – 27(in Chinese with English abstract) .

Zorin Y A,Zorina L D,Spiridonov A M,Rutshtein I G. 2001. Geodynamic setting of gold deposits in Eastern and Central Trans – Baikal(Chita Region,Russia) [J] . Ore Geology Reviews,17(4) : 215 – 232.

[附中文参考文献]

陈喜峰,施俊法,陈秀法,叶锦华. 2017. “一带一路”沿线重要固体矿产资源分布特征与潜力分析 [J] . 中国矿业,26(11) : 32 – 41.

陈志广,张连昌,万博,张玉涛,吴华英. 2008. 内蒙古乌奴格吐山斑岩铜钼矿床低 Sr – Yb 型成矿斑岩地球化学特征及地质意义等 [J] . 岩石学报,24(1) : 115 – 128.

池顺都. 1995. 斑岩铜矿的勘查模式 [J] . 地球科学,20 (2) : 149 – 155.

段瑞炎,康庄,刘忠诚. 2012. 额尔古纳河 – 黑龙江上游两岸金铜钼成矿作用对比与普查预测远景 [J] . 地质与资源,21 (1) : 105 – 113.

江思宏,韩世炯,陈郑辉,梅燕雄,吴昱东,杨言辰,刘翼飞,张莉莉,康欢. 2019. 蒙古国铜矿床成矿规律 [J] . 地质科技情报,38(5) : 1 – 19.

李大鹏,陈岳龙,王忠,林宇,周建. 2012. 内蒙古中 – 东部兴蒙造山带古生代沉积记录: 对物源特征及中亚造山带构造演化的指示 [J] . 科学通报,57(7) : 550 – 559.

李锦轶. 2009. 中国大陆地质历史的旋回与阶段 [J] . 中国地质,36(3) : 504 – 527.

李铁刚,武广,刘军,胡妍青,张云付,罗大峰. 2014. 大兴安岭北部甲乌拉铅锌银矿床 Rb – Sr 同位素测年及其地质意义 [J] . 岩石学报,30(1) : 257 – 270.

李铁刚. 2016. 内蒙古甲乌拉 – 查干布拉根铅锌银矿田成矿作用 [D] . 北

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

京: 中国地质大学(北京): 1 – 129.

毛景文,周振华,武广,江思宏,刘成林,李厚民,欧阳荷根,刘军. 2013. 内蒙古及邻区矿床成矿规律与成矿系列[J]. 矿床地质,32(4): 716 – 730.

聂凤军,李强峰,王佳新,蒋喆,张晓康,吴科锐,丁成武,曹毅. 2014. 中蒙边境及邻区铀矿床产出环境、地质特征、形成作用和找矿标志[J]. 中国地质,41(4): 1037 – 1058.

秦克章,李惠民,李伟实,Shunso Ishihara. 1999. 内蒙古乌奴格吐山斑岩铜钼矿床的成岩、成矿时代等[J]. 地质论评,45(2): 180 – 185.

邱瑞照,谭永杰,朱群,李宝强,林方成,舒思齐,陈秀法,祁世军,陈永清,姜琦刚. 2013. 中国及邻区重要成矿带成矿规律对比研究[M]. 北京: 地质出版社: 1 – 596.

佘宏全,李红红,李进文,赵世宝,谭刚,张德全,金俊,董英君,丰成友. 2009. 内蒙古大兴安岭中北段铜铅锌金银多金属矿床成矿规律与找矿方向[J]. 地质学报,83(10): 1456 – 1472.

沈存利. 1998. 赴俄罗斯赤塔州矿山考察报告[J]. 内蒙古地质,(3): 3 – 5.

施俊法,唐金荣,周平,金庆花,戴自希,项仁杰,杨宗喜,朱丽丽,金玺. 2010. 世界找矿模型与矿产勘查[M]. 北京: 地质出版社: 1 – 465.

谭钢,佘宏全,印建平,杨郧城,李进文,向安平,张斌. 2013. 内蒙古乌奴格吐山大型铜钼矿床成矿流体来源及演化: 流体包裹体及氢氧同位素地球化学证据[J]. 世界地质,32(3): 463 – 482.

吴涛涛,周永恒,陈聪,鲍庆中,柴璐. 2018. 蒙古国铀矿地质特征及资源潜力[J]. 地质与勘探,54(6): 1247 – 1255.

武广,王国瑞,刘军,周振华,李铁刚,吴昊. 2014. 大兴安岭北部主要金属矿床成矿系列和区域矿床成矿谱系[J]. 矿床地质,33(6): 1127 – 1150.

肖文交,舒良树,高俊,熊小林,王京彬,郭召杰,李锦轶,孙敏. 2008. 中亚造山带大陆动力学过程与成矿作用[J]. 新疆地质,26(1): 4 – 8.

许文良,王枫,裴福萍,孟恩,唐杰,徐美君,王伟. 2013. 中国东北中生代构造体制与区域成矿背景: 来自中生代火山岩组合时空变化的制约[J]. 岩石学报,29(2): 339 – 353.

徐志刚,陈毓川,王登红,陈郑辉,李厚民. 2008. 中国成矿区带划分方案[M]. 北京: 地质出版社: 1 – 138.

阎鸿铨,胡绍康,叶茂,向伟东. 1998. 中、俄、蒙边境成矿密集区与超大型矿床[J]. 中国科学(D 辑: 地球科学),(S2): 43 – 48.

张福祥,赵莎,王丰翔,刘成,聂凤军,赵元艺. 2020. 中蒙俄经济走廊地质矿产特征及找矿潜力[J]. 地质通报,39(Z1): 365 – 386

张璟,邵军,鲍庆中,周永恒,王宏博. 2014. 蒙古国乌兰铅锌矿地质特征、岩石地球化学特征及 U – Pb 年龄[J]. 中国地质,41(4): 1124 – 1135.

周永恒,刘长纯,吴涛涛,鲍庆中,吴大天. 2018a. 俄罗斯后贝加尔地区火山岩型铀矿地质特征与找矿模型[J]. 地质与勘探,54(6): 1238 – 1246.

周永恒,张森,吴涛涛,鲍庆中,吴大天,柴璐,刘金龙. 2018b. 俄罗斯铜矿资源勘查开发现状、潜力及投资建议[J]. 地质与勘探,54(6): 1227 – 1237.

朱群,武广,张炯飞,邵军,祝洪臣. 2001. 得尔布干成矿带成矿区划与勘查技术研究进展[J]. 中国地质,28(5): 19 – 27.

Comparison of Metallogenic Characteristics and Its Significance of Cu, Au, Pb, Zn and U in A Cross – Border Area of China, Mongolia and Russia

GAO Yang[1,2], ZHOU Zhenhua[3], ZHANG Yibo[4], HAN Shijiong[1], ZHANG Dongdong[1]

(1. *College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun, Jilin* 130061; 2. *Key Laboratory of Mineral Resources Evaluation in Northeast Asia, Ministry of Natural Resources, Changchun, Jilin* 130061; 3. *MLR Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment, Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing* 100037; 4. *Mongolia Zhengyuan Limited Liability Company, Jinan, Shandong* 250101)

Abstract: The cross border area of China, Mongolia and Russia in this study is located in the eastern part of Central Asian orogeni belt, which hosts massive multiple mineral resources. The mineralization belts in the study area include two giant metallogenic regions of class I, two metallogenic provinces of class II, and nine metallogenic belts of class III. The distribution of nonferrous metal mineral deposits is mainly controlled by two sets of faults trending in NE – NNE and NW. The major types of copper, gold, lead – zinc, and uranium deposits in the study area are porphyry type, magmatic hydrothermal type (with some gold formed in some porphyry type copper(gold) deposits as associated mineral), hydrothermal vein type, and volcanic type, respectively. The metallogenesis of copper, gold, lead – zinc, and uranium deposits were closely related with the magmatism and hydrothermal processes in the Yanshanian period. This area has good metallogenic conditions and great prospecting potential. Therefore, the study area is a focused district to launch further prospecting of nonferrous metal mineral resources such as copper, gold, lead, zinc, and uranium.

Key words: cross border area of China, Mongolia and Russia, Cu – Au – Pb – Zn – U, distribution of mineral resources, metallogenesis, prospecting potential

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net