

中蒙边界地区成矿区带划分

李俊建¹, 唐文龙¹, 付 超¹, 陈 正², Orolmaa Demberel³,
Oyuntuya Namsraijavyn⁴, Delgersaikhan Adiya⁵, Enkhbat Tserendash⁴,
党智财¹, 赵泽霖^{1,6}, 张 锋¹, 任军平¹, 赵丽君¹
LI Junjian¹, TANG Wenlong¹, FU Chao¹, CHEN Zheng², OROLMAA Demberel³,
OYUNTUYA Namsraijavyn⁴, DELGERSAIKHAN Adiya⁵, ENKHBAT Tserendash⁴,
DANG Zhicai¹, ZHAO Zelin^{1,6}, ZHANG Feng¹, REN Junping¹, ZHAO Lijun¹

1. 中国地质调查局天津地质调查中心, 天津 300170;
 2. 中国地质调查局发展研究中心, 北京 100037;
 3. Institute of Geological and Mineral Resources, Mongolian Academy of Sciences, Ulaanbaatar 210351;
 4. Geological Information Center of Mineral Resources Authority of Mongolia, Ulaanbaatar 211238;
 5. Mineral Resources Authority of Mongolia, Ulaanbaatar 211238;
 6. 中国地质科学院研究生部, 北京 100037
1. Tianjin Center, China Geological Survey, Tianjin 300170, China;
2. Development and Research Center of China Geological Survey, Beijing 100037, China;
3. Institute of Geology and Mineral Resources, Mongolian Academy of Sciences, Ulaanbaatar 210351, Mongolia;
4. Geological Information Center of Mineral Resources Authority of Mongolia, Ulaanbaatar 211238, Mongolia;
5. Mineral Resources Authority of Mongolia, Ulaanbaatar 211238, Mongolia;
6. Graduate School of Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China

摘要: 中蒙边界地区成矿区带划分是近年来该区成矿规律研究中的重要科学问题之一。以板块构造-地球动力学理论为指导, 在中蒙合作完成的该区 1:100 万建造-构造图和成矿规律图的基础上, 对中蒙边界地区成矿区带进行了统一厘定和划分。该区 I 级成矿域隶属于古亚洲成矿域和滨太平洋成矿域。古亚洲成矿域可划分为阿尔泰、准噶尔-南蒙古和塔里木 3 个成矿省、12 个成矿带和 21 个成矿亚带。滨太平洋成矿域划分出大兴安岭和华北陆块 2 个成矿省、4 个成矿带和 15 个成矿亚带。研究提出, 蒙古的欧玉陶勒盖-查干苏布尔嘎大型-超大型斑岩型矿床成矿亚带向西与中国的东天山-北山成矿亚带相连, 为该区寻找同类型斑岩型矿床指明了方向。

关键词: 成矿域; 成矿省; 成矿带; 成矿亚带; 中蒙边界

中图分类号: P612 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-2552(2016)04-0461-27

Li J J, Tang W L, Fu C, Chen Z, Orolmaa D, Oyuntuya N, Delgersaikhan A, Enkhbat T, Dang Z C, Zhao Z L, Zhang F, Ren J P, Zhao L J. The division of metallogenic belts in Sino-Mongolian border area. *Geological Bulletin of China*, 2016, 35 (4):461-487

Abstract: The division of metallogenic belts in Sino-Mongolian border area has recently been one of the most important issues aimed at studying the metallogenic regularity. Based on the theories of plate tectonics-geodynamics and the results of informational-

收稿日期: 2015-10-23; 修订日期: 2016-02-26

资助项目: 中国地质调查局项目 (编号: 1212010561510、1212010811061、1212011120330、12120114001201、1212010781028、1212011085488、121201006000150015)、国土资源公益性行业科研专项 (编号: 200811010) 和国家国际科技合作项目 (编号: 2012DFB20220)

作者简介: 李俊建 (1962-), 男, 研究员, 博士生导师, 从事区域成矿学研究及矿产勘查工作。E-mail: junjianl@163.com

structural map and minerogenetic map (1:1000000) which were completed by experts from Mongolia and China, this paper firstly provides a unified division of the metallogenic belts in this area. The metallogenic domains of grade I belong to the Paleo-Asian and the Marginal Pacific Metallogenic Domains in this area. The Paleo-Asian metallogenic domain includes 3 metallogenic provinces comprising Altay, Junggar-Southern Mongolia and Tarim metallogenic provinces, 12 metallogenic belts and 21 sub-metallogenic belts, whereas the Marginal Pacific Metallogenic Domain includes 2 metallogenic provinces, 4 metallogenic belts and 15 sub-metallogenic belts. In addition, this paper suggests that the western part of the sub-metallogenic belt of Oyu Tolgai-Chagan Subuerga large-superlarge porphyry deposits in Mongolia is connected with the sub-metallogenic belt of the Chinese East Tianshan-Beishan sub-metallogenic belt, and this understanding provides the prospecting direction in search for porphyry deposits in this area.

Key words: metallogenic domains; metallogenic provinces; metallogenic belts; sub-metallogenic belts; Sino-Mongolian border area

中蒙边界地区成矿地质条件优越,分布有 Oyu Tolgoi 超大型斑岩型铜金矿、查干苏布尔嘎大型斑岩型铜钼矿等,为世界重要的斑岩型铜(金、钼)成矿带之一,资源潜力巨大,是目前国际、国内地质研究和勘查的热点地区之一。本文所指的中蒙边界地区包括中国的新疆、甘肃和内蒙古与蒙古国接壤的边界地区,其主体构造背景属阿尔泰-南蒙古-大兴安岭造山系。在中国诸多造山带中,该造山带可能是目前已知发展历史最长、构造岩浆活动最复杂的一条巨型造山带和成矿带。该区自西向东分属于古亚洲成矿域和滨西太平洋成矿域(叠加在古亚洲成矿域之上),前人对该区中国一侧^[1-10]^{①②}和蒙古境内^[11-21]的成矿区带划分积累了很多的资料,但将中蒙两国边界地区作为一个整体的成矿区带划分还没有一个成熟的方案。本文在新近中蒙合作编制完成的中蒙边界地区 1:100 万建造构造图和成矿规律图的基础上,参考前人工作成果,按照传统的成矿区带划分原则^[2-4],在研究区系统划分出 5 个 II 级成矿省、16 个 III 级成矿带和 34 个 IV 级成矿亚带,分属于古亚洲成矿域(I-1)和滨太平洋成矿域(I-2)。其中 I、II、III 级成矿区带中国一侧主要参考徐志刚等^[1]、陈毓川等^[2-4]、董连慧等^[5]成矿区带划分方案,蒙古一侧重点参考 Dejidmaa 等^[11-13]、Tomurtogoo 等^[14-16]、Badarch 等^[17-19]、李俊建等^[20-21]的资料,在此基础上本文对该区成矿区带进行了统一厘定,详见表 1 和图 1。

1 古亚洲成矿域(I-1)

中国边界西部地区的古亚洲成矿域,包括塔里木地块及其以北广大地区。依据研究区较大地块及其周缘造山带及其间结合带,划分出(中蒙)阿尔泰成矿省、准格尔-南蒙古成矿省和塔里木成矿省^[1-21]。

1.1 阿尔泰成矿省(II-1)

中蒙边界地区的阿尔泰成矿省包括阿尔泰微

陆块及周缘造山带,区域上属于中亚矿山阿尔泰多金属巨型成矿带的东段。阿尔泰成矿省以往多被认为是西伯利亚板块南缘早古生代大陆边缘,在成为加里东造山带后,于晚古生代早期南北两侧开裂、扩张成为裂谷和裂陷槽,后又演化为华力西造山带。该成矿省可进一步划分为北阿尔泰稀有-铜-铅-锌-钼-钨-银-铁-铋-汞-白云母-宝石成矿带(III-1)和南阿尔泰铜-铅-锌-铁-金-稀有-白云母-宝石成矿带(III-2)^[11-21]。

阿尔泰成矿省以稀有金属、白云母及铜-铅-锌-钼-钨-金-银-铁-铋-汞成矿作用为特征。晚古生代早期(D₁₋₂)在阿尔泰南缘形成阿舍勒裂陷槽,在其内形成海相火山岩型铁-铜-铅-锌矿床;在阿尔泰微陆块东北部红山嘴断裂北侧的诺尔特地区也发生裂陷,成为蒙古乌列盖上叠盆地(D-C)的一部分,以铅-锌-金矿为特征。在蒙古境内有与印支期花岗岩有关的银-铅-锌矿带及钨-钼矿带的分布。值得注意的是,阿尔泰地区成矿作用曾被认为发生在加里东期和华力西期,但近年已获得较多印支期、印支期—早燕山期和早燕山期碱性花岗岩类及相关稀有金属和白云母矿床的成矿年龄^[11-6,11-20]。

1.1.1 北阿尔泰稀有-铜-铅-锌-钼-钨-银-铁-铋-汞-白云母-宝石成矿带(III-1)

北阿尔泰成矿带(III-1)可划分出科布多金-铜-银-铁成矿亚带(IV-1)、诺尔特-库苏古尔金-银-钨-铋-汞-稀有金属成矿亚带(阿尔泰早古生代陆缘盆地)(IV-2)^[11-13,20]和可可托海-青河稀有金属-白云母-宝石成矿亚带(可可托海-青河古生代岩浆岩带,清河-Bodonch 早古生代岛弧)(IV-3)^[11-3] 3 个 IV 级成矿亚带。

(1) 科布多金-铜-银-铁成矿亚带(IV-1)

该带位于科布多(Hovd)增生楔,覆盖了蒙古阿勒泰山脉东部的大片地区,向西延伸到俄罗斯境

表 1 中蒙边界地区成矿区带划分

Table 1 Metallogenic belts in Sino-Mongolian border area

I 级	II 级	III 级	IV 级
古亚 洲成 矿域	阿尔泰 成矿省 (I-1)	北阿尔泰稀有-铅-锌-金-白云母- 宝石成矿带(III-1)	科布多金-铜-银-铁成矿亚带(科布多增生楔)(IV-1) 诺尔特-库苏古尔金-银-钨-钼-铅-锌-铋-汞-稀有金属成矿亚带(阿尔泰 早古生代陆缘盆地)(IV-2) 可可托海-青河稀有金属-白云母-宝石成矿亚带(可可托海-青河古生代 岩浆岩带,清河-bodonch 早古生代岛弧)(IV-3)
		南阿尔泰铜-铅-锌-铁-金-稀有- 白云母-宝石成矿带(III-2)	阿舍勒-冲乎尔-可可塔勒铁-铜多金属成矿亚带(额尔齐斯晚古生代 增生杂岩带)(IV-4)
	准噶尔- 南蒙古 成矿省 (II-2)	北准噶尔-Baruunhuurai 铜-镍-钼-金成矿带(III-3)	额尔齐斯金成矿亚带(额尔齐斯构造带)(IV-5) 萨吾尔-二台铜镍金成矿亚带(萨吾尔-二台晚古生代弧盆地)(IV-6) Baruunhuurai 金成矿亚带(IV-7)
		Edrengiin 铜-锌-锰-铁成矿带(III-4)	Edrengiin 铜-锌-锰-铁成矿亚带(IV-8)
		Edren-Zoolon 金成矿带(III-5)	Edren-Zoolon 金成矿亚带(IV-9)
		卡拉麦里(东准噶尔)铬-铜-金-锡-硫铁 矿-石墨-石棉-水晶成矿带(III-6)	卡拉麦里铬-铜-金-汞-锡-硫铁矿-石墨-水晶成矿带成矿亚带(IV-10)
		准噶尔盆地石油-天然气-铀-煤- 盐类-膨润土成矿带(III-7)	准噶尔盆地东部石油-天然气-铀-煤-盐类-膨润土成矿亚带(IV-11)
		准噶尔南缘-觉罗塔格-黑鹰山-七一 山-Tomortein Nuruu-查干苏布尔嘎 铜-钼-金-钨-铁-铬-锰-稀有-硼-沸石- 石墨-透闪石玉-滑石成矿带(III-8)	准噶尔南缘铜钼-金-钨-铁-铬-锰-稀有-硼-沸石-石墨-透闪石玉-滑石 成矿亚带(IV-12) 觉罗塔格铁-铜-钼-镍-金-银-石膏-硅灰石-膨润土-煤成矿亚带(IV-13) Tomortein Nuruu 铋-金成矿亚带(IV-14) 欧玉陶勒盖-查干苏布尔嘎铜-钼-金-银-稀土成矿亚带(IV-15) 狼娃山-黑鹰山-七一山铁-金-铜-钼-萤石成矿亚带(IV-16)
		雅干-Harmorit-Hanbogd-Lugiingol 锡-钨-铋-钼-钼-稀土- 铁-铜-金-镍成矿带(III-9)	Harmorit-Hanbogd-Lugiingol 锡-钨-铋-钼-钼-稀土-铁成矿亚带(IV-17) 珠斯楞-呼伦西白-雅干铜-铅-锌-金-镍成矿亚带(IV-18)
		乌力吉-欧布拉格铜-铁-金-镍- 钴-铀-油页岩成矿带(III-10)	乌力吉-欧布拉格铜-铁-金-镍-钴-铀-油页岩成矿亚带(IV-19)
	塔里木 成矿省 (II-3)	塔里木板块北缘铁-钛-锰-铜-钼-铅-锌- 锡-铋-白云母成矿带(III-11)	星星峡-早山铁-钛-银-铅-锌-白云母成矿亚带(IV-20)
		磁海-公婆泉铁-铜-金-铅-锌-锰- 钨-锡-钼-钒-铀-磷成矿带(III-12)	甘蒙北山南部(公婆泉)铁-锰-铜-金-铅-锌-钨-锡-钼-钒-铀-磷成矿亚带 (IV-21)
滨太 平洋 成矿 域(叠 加在 古亚 洲成 矿域 之上) (I-4)	大兴安 岭成矿 省(II-4)	克鲁伦-额尔古纳(拉张区)铜-钼-铅-锌- 银-金-萤石-煤(铀)成矿带(III-13)	克鲁伦-额尔古纳铜-钼-铅-锌-银-金-萤石成矿亚带(IV-22)
		努库特达班(Nukhetdavaa)-二连-东乌珠 穆沁旗-阿尔山(中强挤压区)铜-钼- 铅-锌-钨-锡-铬-铁成矿带(III-14)	海拉尔盆地煤-石油成矿亚带(IV-23) 根河铜-钼-铅-锌-银-金-萤石-煤(铀)成矿带(IV-24) 温都尔汗萤石-铁成矿亚带(IV-25) 努库特达班-查干敖包庙-吉尔嘎朗图铜-钼-钨-银-镍-金多金属矿 成矿亚带(IV-26) 奥尤特-朝不愣-阿尔山铁-铜-铅-锌-银-钼多金属矿成矿亚带(IV-27)
		Sulinheer-白乃庙-锡林浩特铁-铜- 钼-铅-锌-铬-金-锰-钴-煤- 天然碱-芒硝成矿带(III-15)	托托尚-艾里格庙-苏莫查干敖包铁-钨-钼-铅-锌-银-萤石成矿亚带(IV-28) Sulinheer-查干哈达庙铁-铜-钼-铬-金成矿亚带(IV-29) 查干此老-巴音杭盖金成矿亚带(IV-30) 脑木根-二连盆地群天然碱-芒硝-煤-铀成矿亚带(IV-31) 白乃庙-哈达庙铜-金-萤石成矿亚带(IV-32) 温都尔庙-红格尔庙铁-铜-钼-钴-煤成矿亚带(IV-33) 白音乌拉-毛登银-铅-锌-锡-钼-铜多金属成矿亚带(IV-34)
	华北陆块 成矿省 (II-5)	华北陆块北缘西段金-铁-铋- 稀土-铜-铅-锌-银-镍-铂-钨- 石墨-白云母成矿带(III-16)	狼山-渣尔泰山铅-锌-金-铁-铜-钼-镍成矿亚带(IV-35) 白云鄂博-商都金-铁-铋-稀土-铜-镍-铂成矿亚带(IV-36)

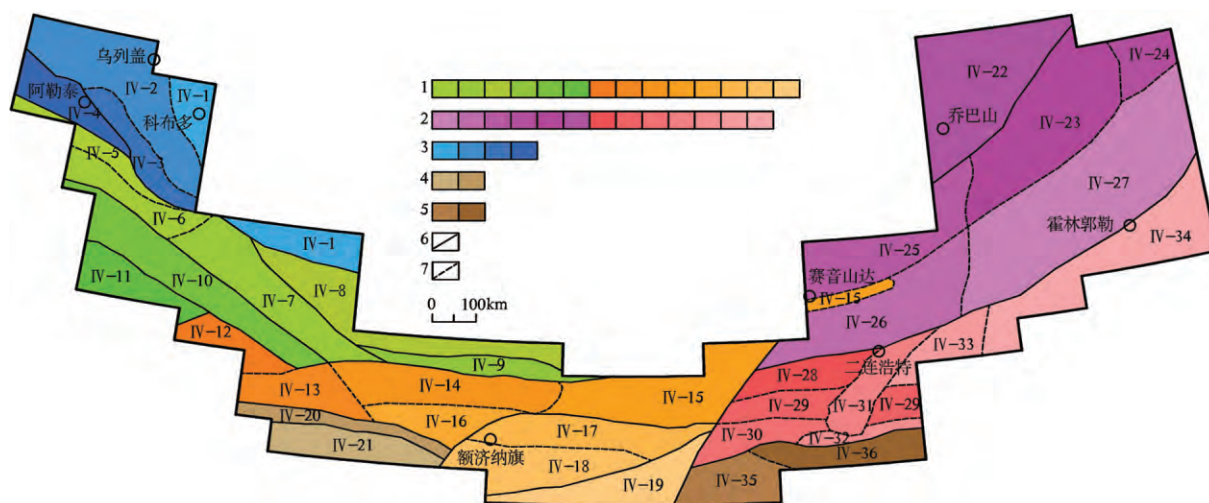


图1 中蒙边界地区成矿带分布

Fig. 1 Distribution of metallogenic belts in Sino-Mongolian border area

1—准噶尔—南蒙古成矿省; 2—大兴安岭成矿省; 3—阿尔泰成矿省; 4—塔里木成矿省;
5—华北陆块成矿省; 6—Ⅱ级成矿省和Ⅲ级成矿带的界限; 7—Ⅳ级成矿亚带的界线

内。主要为中寒武世—早奥陶世浊积岩建造,在其底部具有基性变火山岩^[14,22-23]。以乌列盖(Olgii)蛇绿混杂岩带与诺尔特—库苏古尔成矿亚带相隔。该带产出增生与碰撞构造背景下发育的矿床类型,如明显受构造控制、与同造山钙碱性花岗岩有关、赋存于变形变质陆源建造中 Sharhooloy 地区 Altant-sogts、科布多等石英脉型金矿床;另一种类型为含铜银石英脉或线性网脉型矿床,这种矿床类型广泛分布在科布多 Manhan 地区的 Bij 矿点群,主要赋存在奥陶系—志留系中;该带还产出化学沉积型的铁岩矿床,如 Uuregnuur 铁矿等^[11-13]。

(2) 诺尔特—库苏古尔金—银—钨—钼—铅—锌—铋—汞—稀有金属成矿亚带(阿尔泰早古生代陆缘盆地)(IV-2)

该成矿亚带(IV-2)西起俄罗斯的阿尔泰边疆区,沿中蒙阿尔泰山向东延伸,至蒙古戈壁阿尔泰省东部,是俄罗斯塔利察—阿尔泰成矿区的南延部分,东西长约1300km,总面积约 $20 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。该成矿亚带构造上位于阿尔泰早古生代陆缘盆地,出露地层以下古生界类复理石建造为主,形成于早古生代被动陆缘环境,晚古生代早期该区呈拉张环境,形成诺尔特断陷盆地,沉积了泥盆系和早石炭世陆缘碎屑岩及中酸性火山岩。该区早古生代晚期、晚古生代和燕山期花岗岩发育,花岗岩化和混合岩化强

烈,形成与华力西期花岗岩、伟晶岩有关的稀有金属矿床,主要矿床类型为伟晶岩型、交代花岗岩型,如阿斯卡尔特、别格巴依等稀有金属矿床。另外,诺尔特地区断裂构造发育,以北西向和北北西向为主,其次为北东向、近东西向和近南北向。沿断裂带两侧分布有较多的金、金铜及金多金属矿床(点),包括红山嘴金铜矿、小土尔根金铜矿、托格尔托别金矿、塔斯比伊克金矿、阿克提什坎金矿及库马苏金多金属矿床,这些矿床(点)基本受断裂构造和燕山期岩浆作用控制。周涛发等^[24]获得的阿克提什坎金矿床主成矿阶段的石英 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 坪年龄为 $138.5 \pm 2.1 \text{ Ma}$,等时年龄为 $135.4 \pm 4.2 \text{ Ma}$,表明燕山期可能是诺尔特地区金成矿的重要时期。

该带在蒙古境内主要有钨、钼、金、银、铅、锌等矿床。带内的钨—钼矿化主要是黑钨矿—石英脉型、黑钨矿—辉钼矿—石英脉型和白钨矿—绿柱石—石英脉型;其次,在晚泥盆世花岗岩侵入体内接触带的云英岩化花岗岩和云英岩中也有钨—钼矿化发育。该带的贵金属矿床主要有 Tsagaan Tolgoi、Sukhait、Khulman Nuur 等石英脉型金矿,阿斯加特(Asgat)大型低温热液型银铜铋矿床,以及呼拉河砂金矿和主要由扎马特、奇热尔特、奎屯河、乌尔特布拉克、Barlag Gol 等砂金矿构成的柯鲁木特砂金矿田。带内的铜铅锌矿床主要发育与泥盆纪细碧角斑岩和玄

武-流纹岩建造有关的火山热液型矿床,例如奥托尔山、汤希勒南小型铜矿床等,构成了奇热尔特附近的铜、铅、锌矿点群。该带西部以铁、铅锌和钨钼矿化为主,成因类型主要为火山成因块状硫化物铅锌铜矿,矽卡岩型铁矿和网脉型、石英脉型钨钼铍矿;东部以铜、银、铅、锌矿化为主,成因类型主要为沉积岩型铜矿床(如南戈壁 Umnugobi 铜矿)、矽卡岩型铜矿(如 Otoruul 铜矿),火山成因块状硫化物铅锌矿床及热液脉型金银矿、银锑矿床。阿斯加特银铜锑矿床发育在中-上泥盆统黑色页岩中,是延伸 25km 的 Ozero-Asgat 低温热液银多金属矿带中的典型代表,该矿床的资源量为银 1.2×10^4 t、锑 8.0×10^4 t、铜 15×10^4 t、铋 1.6×10^4 t。该矿带内生金属矿化主要发生在晚古生代早期和中生代,中生代形成的锡-钨、铜-钴-钨和钴-砷矿,在空间上与 Yustid 杂岩体中的花岗岩密切相关,产于其外接触带中,锡钨矿化的年龄 352Ma (Ar-Ar) 与 Yustid 花岗岩的年龄 ($355.7 \pm 8.6\text{Ma}$) 相当。中生代热液成矿形成了镍-钴-砷(约 250Ma)、银-锑(240Ma , Ar-Ar)、金-银-汞(234.4Ma , Ar-Ar) 和锑-汞(231Ma , Ar-Ar) 矿床^[25-26]。

(3) 可可托海-清河稀有金属-白云母-宝石成矿亚带(Ⅳ-3)

该成矿亚带构造上位于可可托海-清河古生代岩浆岩带和清河-Bodonch 早古生代岛弧。出露地层主要为奥陶系清河群和志留系库鲁木提群。清河群岩性为含石榴子石十字石云母石英片岩、石英岩、黑云斜长片麻岩及麻粒岩,库鲁木提群岩性为变质砂岩、石英片岩、黑云斜长片麻岩等。晚古生代、印支期侵入岩非常发育,主要为泥盆纪二长花岗岩和花岗闪长岩、石炭纪二长花岗岩、少量二叠纪花岗岩。该成矿亚带内华力西期、印支期伟晶岩密集分布,包括可可托海伟晶岩脉群、阿托拜伟晶岩脉群、库威伟晶岩脉群、柯鲁木特伟晶岩脉群、阿尔沙特伟晶岩脉群、科春托木斯克伟晶岩脉群、库吉尔特伟晶岩脉群、别也萨麻斯伟晶岩脉群,相应地形成了大量密集分布的伟晶岩型稀有金属、白云母和宝石矿田(床),其中不乏大型超大型矿床,如可可托海稀有金属矿田、柯鲁木特稀有金属宝石矿田、阿托拜稀有金属矿床等。矿床的形成与晚古生代、印支期交代型和重熔型花岗岩密切相关,刘锋等^[27]获得的可可托海 3 号伟晶岩脉边部带中的 6 件

辉钼矿 Re-Os 等时线年龄为 $208.8 \pm 2.4\text{Ma}$ 。除产出伟晶岩型稀有金属矿床外,还产有蚀变花岗岩型稀有金属矿床。

1.1.2 南阿尔泰铜-铅-锌-铁-金-稀有-白云母-宝石成矿带(Ⅲ-2)

该成矿带(Ⅲ-2)在研究区内仅涉及阿舍勒-冲乎尔-可可塔勒铁-铜多金属成矿亚带(Ⅳ-4)。

阿舍勒-冲乎尔-可可塔勒铁-铜多金属成矿亚带(Ⅳ-4)位于额尔齐斯晚古生代增生杂岩带,南以额尔齐斯断裂带为界与额尔齐斯金成矿带区分。该成矿带自东向西有 4 个斜列的火山沉积盆地,即麦孜、克兰-铁木尔特、冲乎尔及阿舍勒火山沉积盆地,相应形成了 4 个铁铜多金属成矿远景区,分别为可可塔勒(V-1)、阿勒泰(V-2)、冲乎尔(V-3)和阿舍勒成矿远景区(V-4)。出露地层主要为中、下泥盆统火山岩-沉积岩建造^[4-6],局部有少量下石炭统出露。在泥盆纪地层中发育晚古生代二长花岗岩、花岗闪长岩。可可塔勒成矿远景区位于麦孜火山沉积盆地内,呈北西走向,长约 100km,最宽达 20km。矿化赋存在康布铁堡组细碧角斑岩和钙质陆源建造中,目前已知的矿床有可可塔勒大型铅锌矿床、阿克哈仁和大桥中小型铅锌矿床、蒙库大型铁矿等。蒙库大型铁矿位于阿尔泰南缘麦兹盆地,赋存于晚志留世一早泥盆世变质火山-沉积岩系中,容矿岩石为石榴子石矽卡岩、变粒岩、浅粒岩和大理岩。杨富全等^[28]对蒙库铁矿 1 号矿体中含黄铁矿辉钼矿石英大脉 7 件辉钼矿样品进行定年,获得的 Re-Os 同位素模式年龄为 $261.6 \pm 3.7 \sim 264.0 \pm 3.6\text{Ma}$,限定了蒙库铁矿的主成矿时间应早于中二叠世。董永观等^[29]获得的可可塔勒铅锌矿区的黑云母花岗岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 $401.8 \pm 1.5\text{Ma}$,该黑云母花岗岩的侵入及其后期的岩浆热液活动可能对可可塔勒矿床成矿物质的活化、迁移、富集、成矿具有一定的贡献。

阿勒泰成矿远景区位于克兰-铁木尔特断陷盆地内,呈北西走向,长约 90km,最宽达 16km。矿化与康布铁堡组细碧角斑岩和钙质陆源建造相关。目前已发现矿床和矿点 10 多个,包括阿巴宫铁矿和铅锌矿、铁木尔特中型铜铅锌矿床、乌拉斯沟多金属矿、恰夏多金属矿等。阿巴宫铁矿床产于阿尔泰南缘晚志留世一早泥盆世的酸性火山岩中,属岩浆分异成因^[30]。铁木尔特-萨热阔布一带的矿床

均赋存于下泥盆统康布铁堡组的变质岩系中。早泥盆世的海相火山形成了锌-铅(铜)矿化,晚泥盆世—早石炭世的碰撞造山相应形成了铜-金石英脉矿化;前者以铁木尔特VMS型锌-铅(铜)矿床为代表,后者以造山型萨热阔布金矿为代表,与造山有关的脉状矿化还叠加在铁木尔特等VMS矿床中^[31]。恰夏铜多金属矿赋矿地层主要为下泥盆统康布铁堡组上亚组变质岩系,其脉状铜矿化早期含顺层石英脉,晚期含铜黄铁矿-石英脉,脉状铜矿化的成因与晚泥盆世—二叠纪造山-变质热液有关^[32]。

冲乎尔成矿远景区位于冲乎尔断陷盆地中,北西走向,长70km以上。主要矿床(点)有克因布拉克铜锌矿、海流滩铅锌矿和哲别特铜锌矿。克因布拉克铜锌矿床赋存于二长花岗岩外接触带的上志留—下泥盆统康布铁堡组黑云石英片岩、变质石英砂岩中,矿体呈似层状、透镜状及脉状,铜锌矿的形成与二长花岗质岩浆期后热液活动有密切关系。李香仁等^[33]采用LA-MC-ICP-MS U-Pb法测定其成岩时代为 278.6 ± 3.5 Ma,是华力西晚期岩浆活动产物。结合矿区石英脉中黑云母 Ar-Ar 坪年龄(245Ma)和阿尔泰山南缘二叠纪晚期—三叠纪时期区域变形、变质作用特征,限定该铜锌矿成矿时代为早—中二叠世。

阿舍勒成矿远景区位于阿舍勒火山沉积盆地内,铜多金属矿化赋存在中—下泥盆统阿舍勒组中,形成于火山活动间歇期。目前探明的有阿舍勒大型铜锌块状硫化物矿床,以及喀英德、桦树沟、床阿衣等多个铜、多金属矿床。阿舍勒铜锌矿床是典型的VMS型矿床,杨富全等^[34]应用LA-MC-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年法对矿体的直接围岩凝灰岩、玄武岩、潜英安岩和石英闪长岩进行了测定,获得年龄:凝灰岩为 387.0 ± 4.2 Ma,玄武岩为 388.2 ± 3.3 Ma,潜英安岩为 379.4 ± 0.8 Ma,石英闪长岩为 378.5 ± 0.9 Ma,限定了阿舍勒铜锌矿 I 号主矿体喷流沉积期形成于早泥盆世末期(388~387Ma);潜英安岩的 U-Pb 年龄为 379.4 ± 0.8 Ma,表明与潜火山岩有关的岩浆热液期矿化形成于中泥盆世。获得玄武岩、凝灰岩、潜英安岩和石英闪长岩中古老锆石 U-Pb 年龄变化于 743~2505Ma 之间,暗示了阿尔泰山造山带存在前寒武纪结晶基底^[34]。

1.2 准噶尔—南蒙古成矿省(Ⅱ-2)

准噶尔—南蒙古成矿省包括准噶尔地块及其周

缘造山带,其北界为额尔齐斯缝合带,南界为木扎尔特—白柳河缝合带,向东与南蒙古成矿省连为一体。在研究区内可进一步划分为北准噶尔—Baruunhuurai 铜-镍-钼-金成矿带(Ⅲ-3)(如喀拉通克铜-镍矿、索尔库都克铜-钼矿、萨尔布拉克金矿等),Edrengein 铜-锌-锰-铁成矿带(Ⅲ-4),Edren-Zoolon 金成矿带(Ⅲ-5),卡拉麦里(东准噶尔)铬-铜-金-锡-硫铁矿-石墨-石棉-水晶成矿带(Ⅲ-6),准噶尔盆地石油-天然气-铀-煤-盐类-膨润土成矿带(Ⅲ-7),准噶尔南缘—觉罗塔格—黑鹰山—七一山—Tomortein Nuruu—查干苏布尔嘎铜-钼-金-钨-铁-铬-锰-稀有-硼-沸石-石墨-透闪石玉-滑石成矿带(Ⅲ-8),雅干—Harmorit—Hanbogd—Lugingol 锡-钨-铌-钽-锆-稀土-铁-铜-金-镍成矿带(Ⅲ-9)和乌力吉—欧布拉格铜-铁-金-镍-钴-铀-油页岩成矿带(Ⅲ-10)。

1.2.1 北准噶尔—Baruunhuurai 铜-镍-钼-金成矿带(Ⅲ-3)

该成矿带可划分为额尔齐斯金成矿亚带(Ⅳ-5)、萨吾尔—二台铜镍金成矿亚带(Ⅳ-6)和 Baruunhuurai 金成矿亚带(Ⅳ-7)。

(1) 额尔齐斯金成矿亚带(Ⅳ-5)

额尔齐斯金成矿亚带位于额尔齐斯断裂构造带中,由西部的哈巴河地区延伸到东部富蕴地区。额尔齐斯深断裂带总体呈北西向延伸,东起中蒙边境,卡拉先格尔以东的南东段称玛因鄂博深断裂,北西进入哈巴河县称玛尔卡库里深断裂,再向北西进入哈萨克斯坦。成矿带内出露的地层有下泥盆统托让格库都克组,中泥盆统托克萨雷组、阿勒泰组、北塔山组,下石炭统南明水组等,以陆源碎屑岩为主夹有火山碎屑岩、火山岩,由于额尔齐斯构造带的挤压剪切作用,岩石挤压变形及韧性变形强烈,华力西晚期花岗岩侵入上述地层。沿额尔齐斯断裂构造带长约600km的范围内发育较多金矿床和金矿点,包括多拉纳萨依金矿、赛都金矿、阿可萨依金矿、托库孜巴依金矿、阿克西克金矿、萨尔布拉克金矿、乔夏哈拉金矿、阿克塔斯金矿、科克萨依、马热勒铁金矿等。矿床产出明显受额尔齐斯韧性剪切带及其次级断裂构造控制^[35-36],如多拉纳萨依金矿产于额尔齐斯断裂带的次级断裂多拉纳萨依韧性剪切带中,托库孜巴依金矿受托库孜巴依韧性剪切带控制,产于韧性剪切带的局部弯曲膨大部

位,萨尔布拉克金矿产在额尔齐斯断裂带的次级断裂萨尔布拉克韧性剪切带中。研究认为额尔齐斯金成矿带金矿的就位时间为310~250Ma,晚石炭世—早二叠世,成矿作用发生于碰撞造山体制下,属碰撞造山带型金矿^[37-38]。

(2) 萨吾尔—二台铜—镍—金成矿亚带(IV-6)

该成矿亚带位于萨吾尔—二台晚古生代弧盆带,区内构造岩浆活动强烈。出露地层主要为泥盆系—石炭系火山硅质建造和火山类复理石建造,侵入岩主要为石炭系花岗岩和花岗斑岩。在锡伯渡—清河县一带长200km、宽10~20km的范围内,分布有40多个基性杂岩体,大部分伴有铜、镍、钴、铂族矿化,包括喀拉通克大型铜镍矿床、2个中型矿床、4个小型矿及一系列矿点,形成喀拉通克铜镍矿集中区。韩春明等^[39]获得喀拉通克铜镍硫化物矿物的Re—Os同位素测年结果为305±15Ma,表明其形成于晚石炭世—早二叠世,与区内广泛发育的造山型金矿和浅成低温热液型金矿基本为同一时期。卡拉先格尔—二台断裂的交会部位,构造位置处于萨吾尔—二台晚古生代岛弧带,分布有中—晚华力西期岛弧型侵入岩,产出一系列中小型斑岩型铜矿床及矿点,包括卡拉先格尔铜矿、哈腊苏铜矿及哈腊萨依铜矿,形成卡拉先格尔斑岩铜矿集中区。卡拉先格尔斑岩铜矿由卡拉先格尔I、II、III号和玉勒肯矿区组成,其含矿斑岩主要为花岗闪长斑岩和石英闪长玢岩,围岩为中泥盆统北塔山组玄武岩。相鹏等^[40]对卡拉先格尔II和III铜矿区含矿斑岩进行了LA-ICP-MS锆石U—Pb定年,结果表明,含矿斑岩的锆石时代分别为390.2±4.9Ma和393.3±9.8Ma,反映了含矿斑岩侵入时代为中晚泥盆世,该斑岩铜矿的成矿构造背景为中晚泥盆世岛弧环境。哈腊苏铜矿是近年准噶尔北缘卡拉先格尔斑岩铜矿带发现的又一个中型斑岩铜矿,矿化主要受闪长玢岩控制,少部分赋存在似斑状黑云母石英二长岩和北塔山组火山岩、火山碎屑岩中。杨富全等^[41]利用LA-ICP-MS锆石U—Pb法和辉钼矿Re—Os法对矿区岩体和矿化进行了成岩成矿年代学研究,结合前人资料认为,矿区存在5次主要岩浆侵入事件:382Ma石英闪长岩侵入,379Ma形成含矿闪长玢岩,375~374Ma形成似斑状黑云母石英二长岩,348Ma形成黑云母石英斑岩脉,

266Ma形成二长斑岩,前3次岩浆侵入活动对应构造环境为板块俯冲阶段,后2次岩浆侵入活动为后碰撞阶段;获得9件辉钼矿样品Re—Os同位素等时线年龄为373.9±2.2Ma,表明铜钼成矿时代为中泥盆世晚期,与闪长玢岩侵入有关^[41]。在萨吾尔地区黑山头组中产出浅成低温热液型金矿,如阔尔真阔腊和布尔克斯岱金矿,矿床受火山机构控制。蔡红等^[42]通过对阔尔真阔腊金矿I号硅化石英岩型矿体中石英样品进行Rb—Sr年代学研究,获得其等时线年龄为341±30Ma,认为阔尔真阔腊金矿形成于晚泥盆世—早石炭世,成矿作用与区内火山和潜火山岩浆作用有关。曾庆栋等^[43]对布尔克斯岱金矿床成矿阶段2个石英样品进行快中子活化法测年,谱线特征均为马鞍型,其坪年龄分别为335.5±0.3Ma、336.2±0.4Ma,最小视年龄分别为334.9±8.3Ma、334.6±10.3Ma,等时线年龄分别为335.5±1.2Ma、336.8±0.5Ma,代表了该金矿形成于晚华力西期,其形成可能与碰撞造山作用有关。该带还可细分出喀拉通克铜镍矿(V-1)和卡拉先格尔铜矿(V-2)2个V级成矿远景区。

(3) Barunhurai 金成矿亚带(IV-7)

该成矿亚带分布在北准噶尔成矿带东延的蒙古境内靠边界地区,走向北西。该带内主要矿床类型为以khaltar uul矿点群为代表的剪切带型和石英脉型金矿床。该矿带位于早石炭世Baaran岛弧地体中,其形成与古岛弧增生有关的区域变质、岩浆侵入作用有关^[11-13,20]。

1.2.2 Edreniin 铜—锌—锰—铁成矿带(III-4)

该成矿带位于南蒙古境内,仅包含Edreniin铜—锌—锰—铁成矿亚带(IV-8),主要矿床类型为以Olgii nuruu为代表的火山成因铜—锌块状硫化物矿床(Urals型)和以Olgii bulag为代表的火山—沉积型锰和铁矿床。该带内产出的矿床赋存于早泥盆世岛弧型火山—沉积杂岩中,矿体赋存在枕状玄武岩和硅质岩中^[11-13,20]。

1.2.3 Edren—Zoolon 金成矿带(III-5)

该成矿带位于南蒙古境内,仅包含Edren—Zoolon金成矿亚带(IV-9)。主要矿床类型是分布在Nemegt、Edren山区的剪切带型和石英脉型金矿床。石英脉型金矿主要赋存在Edren岛弧和Zoolon增生楔中。该带内矿床的形成与早石炭世岛弧增生有关的区域变质、岩浆侵入作用有关^[11-13,20]。

1.2.4 卡拉麦里(东准噶尔)铬-铜-金-锡-硫铁矿-石墨-石棉-水晶成矿带(Ⅲ-6)

该成矿带位于准噶尔盆地以东,唐巴勒(西准噶尔)-卡拉麦里(东准噶尔)铬-铜-金-锡-硫铁矿-石墨-石棉-水晶成矿带(Ⅲ-6)的东段,北以阿尔曼太蛇绿岩带为界,南至卡拉麦里蛇绿岩带,东延进入蒙古边境地区。东西长 630km,南北宽 45~150km,面积 56000km²。带内主要由泥盆纪汇聚阶段沉积建造及石炭纪固结期沉积建造组成,奥陶系、志留系沉积地层出露面积较少。洋壳阶段蛇绿岩建造在南缘的卡拉麦里带和北缘阿尔曼太带出露。本带内花岗岩类面积 3962km²,占基岩出露区总面积的 10%。

本带已知最老地层为奥陶系荒草坡群变质碎屑岩建造,为被动陆缘拉张环境。近年来,在麦钦乌拉山原划荒草坡群的岩石中测得前寒武纪同位素年龄,在西部盆地边缘发现寒武纪化石,说明该区有前奥陶纪的地质体存在^①。志留纪的局部汇聚造成姜格库都克—纸房一线的不成熟陆壳,它成为后来的岛弧基底。早泥盆世起全面转入汇聚,沉积以火山类复理石—复理石建造为主,夹较厚的基—中—酸性连续分异的火山岩建造或安山岩建造。晚泥盆世出现海陆交互火山类复理石建造。汇聚阶段的花岗岩类主要在东端的琼河坝地区发育,为斜长花岗岩—花岗闪长岩建造,西段则为少量二长花岗岩类,早石炭世末固结。与局部磨拉石沉积伴随的是大面积异地型钾长花岗岩基,其后期自交代生成较多小的碱长—碱性花岗岩体。早二叠世在中线托让格库都克—北塔山南东坡—三塘湖一带形成上叠火山地堑,堆积厚 2~3km 的陆相安山岩—英安岩—流纹岩建造。晚二叠世沉积范围缩小,堆积磨拉石及少量中—酸性火山岩。中生代三塘湖地堑重新沉陷,有侏罗纪含煤建造及白垩纪磨拉石沉积。

本带主要成矿作用有:①与泥盆纪洋壳阶段蛇绿岩建造有关的铬、石棉矿;②与泥盆纪—早石炭世汇聚阶段中酸性火山—深成岩建造有关的铁、铜—多金属、金、硫铁矿;③与石炭纪末固结期钾长花岗岩有关的锡、金、水晶、石墨矿;④晚古生代热水沉积型汞矿。

研究区位于唐巴勒(西准噶尔)-卡拉麦里(东准噶尔)铬-铜-金-锡-硫铁矿-石墨-石棉-水晶成矿带(Ⅲ-6)的东段,仅包含东准噶尔卡拉麦里铬-

铜-金-汞-锡-硫铁矿-石墨-石棉-水晶成矿亚带(Ⅳ-10),代表性矿床如萨尔托海和琼鱼铬铁矿床、琼河坝斑岩铜矿、淖毛湖北山金矿和铁矿、齐依求 I 号大型金矿床、苏吉泉石墨矿床等。萨尔托海铬铁矿赋存于西准噶尔萨尔托海蛇绿岩中,该蛇绿岩与下石炭统呈逆冲断层接触,后被达尔布特走滑断层所改造,是西准噶尔地区时代最新、规模最大的蛇绿混杂岩带。张丽敏等^[44]获得侵入于萨尔托海蛇绿岩的二长花岗岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 309±3Ma,认为该年龄限定了蛇绿岩侵位时代上限。刘希军等^[45]获得的西准噶尔最大的一条达拉布特蛇绿岩中浅色辉长岩 LA-ICP-MS 锆石年龄为 302±1.7Ma,代表了晚古生代古亚洲洋的残片^[46]。王登红等^[47]对伊吾琼河坝地区的云英山斑岩铜矿和淖毛湖北山金矿床的岩体和矿体进行了年代学研究,获得云英山斑岩铜矿区内斜长花岗岩岩体 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 411.7±7.1Ma,该矿床的含矿石英脉石英矿物 Rb-Sr 等时线年龄为 357±15Ma;淖毛湖北山金矿含矿石英脉中石英矿物的 Rb-Sr 等时线年龄为 346±10Ma。显示该区斑岩型铜矿和破碎带蚀变岩型金矿的形成时间为晚泥盆世—早石炭世,表明云英山式斑岩型铜金矿和淖毛湖式金矿成矿作用与泥盆纪—石炭纪汇聚阶段的火山—次火山岩浆活动有关。东准噶尔苏吉泉石墨矿赋存于黄羊山华力西期复式花岗岩体的黑云母碱长花岗岩和角闪碱长花岗岩接触带,矿石具十分独特的球状构造,石墨的 δ¹³C 值分布范围为 -20.5‰~-23.9‰,平均值为 -22‰,表明该石墨矿床炭质为有机成因。围岩中,特别是晚石炭世早期的含炭沉积岩被华力西期花岗岩岩浆同化,使炭质聚集并重结晶成石墨^[48]。苏玉平等^[49]获得苏吉泉黑云母花岗岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年结果显示,其形成时代为 304±2Ma。

1.2.5 准噶尔盆地石油-天然气-铀-煤-盐类-膨润土成矿带(Ⅲ-7)

研究区仅涉及该准噶尔盆地成矿带东部的一小部分,划分为准噶尔盆地石油-天然气-铀-煤-盐类-膨润土成矿亚带(Ⅳ-11)。中生代之后该区处于陆内构造演化阶段,沉积有侏罗系—白垩系陆相磨拉石建造。新生界在山区发育一些陆相盐湖和山间陆相小盆地及河流相沉积、冰川沉积,在山

前发育新近系砂岩沉积。新生代,岩浆活动表现为哈拉乔拉式的大陆碱性玄武岩喷发,但影响范围较小。成矿作用以外生为主,是煤、油页岩、膨润土、盐类、砂金、粘土等矿产的主要成矿期。煤矿分布于西准噶尔铁厂沟、东准噶尔巴里坤等地,均产在侏罗纪地层中。铁厂沟煤矿有煤层12层,可采总厚31.4m,为长焰煤。巴里坤石炭窑煤矿有煤层14~21层,可采总厚46.74m,为气煤。油页岩分布在巴里坤三塘湖老煤窑、下湖区等地,在上二叠统卢草沟组中,有1~3层矿,长400m,厚10m,含油率13%。膨润土为本区优势矿产之一,具有类型多、分布广、规模大的特点,分布于准噶尔盆地的东北缘、西北缘及西南缘,在本区双井子隆起带内产有2处大型膨润土矿床。盐矿分布于东准噶尔的北塔山、巴里坤湖、伊吾盐池等地。北塔山有3处石盐矿,面积1800km²,厚1.3~1.5m,平均1.55m,资源量较大。巴里坤湖有南北两湖,面积分别为70~115km²、12km²,石盐层厚0.5~2m,芒硝层厚0.3~0.5m。伊吾盐池面积24km²,石盐层厚0.1m,芒硝层有3层,总厚0.6~4.5m。

1.2.6 准噶尔南缘-觉罗塔格-黑鹰山-七一山-Tomortein Nuruu-查干苏布尔嘎铜-钼-金-钨-铁-铬-锰-稀有-硼-沸石-石墨-透闪石玉-滑石成矿带(Ⅲ-8)

该成矿带(Ⅲ-8)细分出准噶尔南缘铜-钼-金-钨-铁-铬-锰-稀有-硼-沸石-石墨-透闪石玉-滑石成矿亚带(Ⅳ-12)、觉罗塔格铁-铜-钼-镍-金-银-石膏-硅灰石-膨润土-煤成矿亚带(Ⅳ-13),以及蒙古 Tomortein Nuruu 铋-金成矿亚带(Ⅳ-14)、蒙古欧玉陶勒盖-查干苏布尔嘎铜-钼-金-银-稀土成矿亚带(Ⅳ-15)和狼娃山-黑鹰山-七一山铁-金-铜-钼-萤石成矿亚带(Ⅳ-16)。

(1)准噶尔南缘铜-钼-金-钨-铁-铬-锰-稀有-硼-沸石-石墨-透闪石玉-滑石成矿亚带(Ⅳ-12)

该成矿亚带位于准噶尔地块南缘,与博格达晚古生代弧后裂陷盆地和哈尔力克-六驼山古生代岛弧带范围基本吻合。博格达晚古生代弧后拉张始于早石炭世,在七角井一带出现辉绿岩、枕状玄武岩夹硅质岩、英安斑岩的双峰式火山岩建造,向上在博格达一带则为滨海相火山碎屑-陆缘碎屑

岩。上石炭统为滨浅海相陆源碎屑岩夹碳酸盐岩和中酸性火山岩。下二叠统为滨浅海相正常碎屑岩,炭质页岩夹霏细岩,上二叠统转为陆相含磷、含油页岩的正常碎屑岩。该带侵入岩以拉张后期大量辉绿岩为主,仅有个别花岗闪长岩和钾长花岗岩小岩体和岩株,构造活动较弱。已知成型矿床不多,但铜矿化点星罗棋布,Cu元素化探异常成带分布,具有较好的找矿前景。含矿围岩主要为石炭系火山岩系,成因类型主要为火山热液型。哈尔力克-六驼山古生代岛弧带出露最老地层为奥陶系火山碎屑岩夹玄武岩、中酸性熔岩,属岛弧拉斑玄武岩系列和钙碱性系列。泥盆系以碎屑岩、钙碱性系列基性、中酸性火山岩、火山碎屑岩和灰岩组成,系复理石建造。石炭系分布于哈尔力克山的南北两侧,下统下部以正常碎屑岩为主,中上部主要为中基性火山熔岩和火山碎屑岩,上统除火山岩外还出现大量海陆交互正常沉积岩。二叠系为陆相火山岩和砂砾岩。该区侵入岩十分发育,形成贯穿全区的花岗岩链,以华力西中期为主,在哈尔里克山东段出现A型的碱性花岗岩。以铜、金矿化为主,铅、锌、钨矿化次之,成型矿床不多。主要为与中酸性火山岩有关的热液型矿床。

根据成矿特征该成矿亚带划分出七角井-金山铜铁(钼、钨)成矿远景区(V-1)和大夹山-小铺铜金钨锡成矿远景区(V-2)2个V级成矿远景区。七角井-金山铜铁(钼、钨)成矿远景区位于博格达裂陷盆地东段,区内主要分布上石炭统碎屑岩及火山碎屑岩,北部分布有少量元古宇变质岩系。区内已发现有锅底山钼钨磁铁矿、金山金矿、西地铜矿、克里库尔铜矿等,皆为热液型脉状矿化。此外区内还发育大量Au、Ni、Cu、Pb、Zn、Ag等化探异常。但工作程度较低,具较大找矿前景。大夹山-小铺铜金钨锡成矿远景区位于哈尔里克-六驼山古生代岛弧带西段,区内出露泥盆系火山岩、火山碎屑岩和碎屑岩,石炭系碎屑岩及碳酸盐岩,二叠系火山岩及碎屑岩。已发现有索尔巴斯陶金矿,八大石、头道沟、空道良等铜矿,琼塔什铅锌矿,琼洛克钨矿等,多为热液型矿化。对该带南部中酸性浅成岩体研究表明,区内具形成斑岩铜矿的成矿条件。此外,在该带北部大夹山一带圈出规模较大的Sn、Pb化探异常,显示该区亦具寻找锡矿的前景。

(2) 觉罗塔格铁-铜-钼-镍-金-银-石膏-硅灰石-膨润土-煤成矿亚带(Ⅳ-13)

该成矿亚带位于东天山北部,东西走向,与觉罗塔格晚古生代沟弧带范围一致,由康古尔海沟和雅满苏岛弧组成。海沟内为一套石炭系蛇绿岩及复理石建造,岛弧区石炭系以中酸性夹基性火山熔岩和火山碎屑岩为主,局部夹正常沉积的砂页岩和灰岩,岛弧带中火山机构较多且保存完整。二叠系该带侵入岩主要发育在岛弧带上,以华力西中期为主,并出现部分华力西晚期的小岩体。前者为闪长岩-花岗闪长岩-二长花岗岩侵入体,后者主要是钾长花岗岩。本带的构造变动异常强烈,褶皱紧闭,断裂十分发育,韧性变形尤为突出,以成矿带北界的康古尔巨型韧性剪切带最为著名,断续纵贯全区,对区内金成矿具明显的控制作用。该带北部,西段以金矿为主,东部以铜、镍、钼、金矿为主,南部以铁、铜矿化为主。该亚带为目前新疆已知矿产最丰富的矿带之一,已发现8处大型、4处中型、17处小型矿床^①。主要矿化:①与早石炭世拉张阶段双峰式火山岩建造有关的铁、铜矿化,如雅满苏等数处中型铁矿床。李华芹等^[50]对雅满苏矿区辉石安山玢岩进行全岩Rb-Sr等时线法测年,获得的年龄为 $374\pm 44\text{Ma}$;对石榴子石矽卡岩中的石榴子石和绿帘石进行Sm-Nd等时线法测年,获得的年龄为 $352\pm 47\text{Ma}$,成矿时代为早石炭世。②与早石炭世晚期汇聚阶段钙碱性花岗岩建造有关的斑岩型-接触交代型-热液型铜、钼、铅锌、金、铁矿化,以土屋-延东大型铜钼矿、东戈壁特大型斑岩钼矿为代表。土屋-延东矿区已经积累了大量的同位素年代学资料,土屋矿区,斜长花岗岩的单颗粒锆石U-Pb年龄为 $356\pm 8\text{Ma}$ 和 $361\pm 8\text{Ma}$ ^[51],辉钼矿Re-Os年龄为 $321\pm 3\sim 325\pm 3\text{Ma}$ ^[51]。延东矿区,闪长斑岩和斜长花岗斑岩的TIMS锆石U-Pb年龄分别为 $340\pm 3\text{Ma}$ 和 $332\pm 2\text{Ma}$,辉钼矿Re-Os年龄为 $318\pm 5\sim 321\pm 2\text{Ma}$ ^[52];延东细脉浸染状辉钼矿的Re-Os年龄为 343Ma ^[53]。延西矿区,含矿斜长花岗斑岩中的辉钼矿Re-Os年龄为 $326\pm 5\text{Ma}$ ^[54],含矿斜长花岗斑岩的SHRIMP锆石U-Pb年龄为 $333\sim 334\text{Ma}$ ^[55-56]。东戈壁斑岩钼矿与成矿有关的斑状(钾长)花岗岩年龄为 $227.6\pm 1.3\text{Ma}$ ^[57]。总的看,东天山斑岩铜钼的成矿时代为早石炭世;斑岩钼矿为印支期。③与晚石炭世固结期钾长花岗岩有关的钨、硅灰石矿化。④与石炭纪末

陆内堆叠韧性剪切带构造-岩浆作用有关的金矿化,发育有众多金矿床、矿点。⑤与石炭纪末弛张期镁铁-超镁铁质岩有关的铜镍矿化,如黄山等多个大中型镍铜矿床。黄山基性-超基性岩带铜镍矿床为东天山重要铜镍成矿带,受近东西向康古尔韧性剪切带控制,分布有黄山西、黄山东和香山3个中-大型铜镍矿床。矿体赋存于华力西晚期贫硅、贫碱、富镁铁超基性岩体中下部及相变部位,主要为隐伏矿体,呈板状、透镜状,成群分布^[58]。毛景文等^[59]通过对黄山东铜镍硫化物矿石的Re-Os同位素测年,获得等时线年龄为 $282\pm 20\text{Ma}$;李月臣等^[60]获得香山铜镍硫化物矿石中的镍黄铁矿Re-Os同位素等时线年龄为 $298\pm 7.1\text{Ma}$;韩宝福等^[61]获得黄山东岩体SHRIMP锆石U-Pb年龄为 $274\pm 3\text{Ma}$;表明该类矿床及其相关的镁铁质-超镁铁质岩并非泥盆纪一早石炭世洋底的蛇绿岩建造和相关成矿系统,而是形成于晚石炭世一早二叠世,与该区广泛发育的造山型金矿、矽卡岩型银铜矿床和火山岩型铁铜矿床为同一时期的产物。⑥与二叠纪上叠盆地火山岩有关的锰矿化。

(3) 蒙古 Tomortein Nuruu 铋-金成矿亚带(Ⅳ-14)

该成矿亚带位于甘蒙北山的北部,带内主要矿床类型为以Talynmeltes矿床为代表的碎屑沉积岩容矿的铋-金矿床、以Hatansuudal矿点群为代表的剪切带中的石英脉型金矿床和Uherchuluut金铂矿化带。Uherchuluut金铂矿化带总长20km,宽1~2km,其中含白垩纪砾岩型金铂矿、第四纪洞穴型金铂矿和与二叠纪岩浆活动有关的热液型金铂矿。成矿带形成于与增生有关的区域变质和岩浆侵入作用期。有关的绿片岩相变质作用时代为晚一中泥盆世^[11-13,20]。

(4) 蒙古欧玉陶勒盖-查干苏布尔嘎铜-钼-金-银-稀土成矿亚带(Ⅳ-15)

该成矿亚带形成于晚泥盆世一早石炭世成熟岛弧或大陆边缘弧中^[62-63],主要矿床类型为以欧玉陶勒盖为代表的超大型斑岩型铜-金矿床、以查干苏布尔嘎矿床为代表的斑岩型铜-钼矿床和以Alagtolgoi为代表的花岗岩有关脉型金矿床^[11-13,20]。所处的构造背景为Gurvansayhan岛弧,此岛弧构造复杂,以叠瓦状逆冲岩片、破碎地块、混杂岩、强应变带为主。有几个混杂岩带,包括枕状熔岩、富含

化石的灰岩、砂岩、辉长岩、辉绿岩墙和角闪岩的碎块。在该岛弧的东南部边缘 Hanbogd 地区分布着富含钠闪石的球形花岗岩体。该带内主要矿床包括蒙古第一大班岩铜-金矿床-欧玉陶勒盖矿床、查干苏布尔加大型斑岩铜-钼矿床、Shuteen 斑岩铜-金矿床、Nariinhudag 斑岩铜(金)矿床、Hongoot 斑岩铜-钼(金,银)矿、Uhaa hudag 和 Kharmagtai 斑岩金矿、Shine、Hatsar、Virgin、Biger、Zuun Mod、Shurtiin Khundii、Ovoot Hyar、Bor Khairkhan、Oyut Ovoo、Sairyn Khundii、Tsakhir、Bronze Fox 等和其他金-银-铜矿^[64]。同时,成矿区内还产有与碱性和钙碱性花岗岩有关的稀土矿床^[65]。Oyu Tolgoi 斑岩型铜金矿床位于该岛弧东南部边缘,欧玉陶勒盖铜金矿区与矿化有关的石英闪长岩年龄为 $371 \pm 2 \text{ Ma}$,矿化稍弱的花岗闪长岩的年龄约为 $365 \pm 2 \text{ Ma}$ ^[66-67];从西南欧玉区、中欧玉区和南雨果区采集的辉钼矿样品中确定的 Re-Os 的年龄为 $373 \sim 370 \pm 1.2 \text{ Ma}$ ^③。Tsagaan Suvarga 斑岩铜钼矿位于该岛弧东北部边缘,其矿石中绢云母 $\text{Ar}^{39}-\text{Ar}^{40}$ 年龄为 $364.9 \pm 3.5 \text{ Ma}$,辉钼矿 Re-Os 年龄为 $370.4 \pm 0.8 \text{ Ma}$ ^[68],花岗岩的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 $369 \pm 3 \text{ Ma}$ ^④。Shuteen 斑岩铜-金矿区深成岩由二长闪长岩,花岗闪长岩和花岗岩组成,Rb-Sr 全岩同位素年龄为 $321 \pm 9 \text{ Ma}$ ^[69]。Shuteen 斑岩铜-金矿床位于欧玉陶勒盖铜金矿与查干苏布尔嘎铜钼矿之间^[70],综合三者容矿岩体与辉钼矿 Re-Os 成矿年龄,结合该带向西延伸到新疆东天山土屋斑岩型铜钼矿的成矿年龄,发现该带至少存在 2~3 期(约 370 Ma、约 320 Ma)斑岩型矿床的成矿期。本文成矿区带的划分表明(图 1),蒙古的欧玉陶勒盖-查干苏布尔嘎大型-超大型斑岩型矿床成矿亚带是向西与中国的东天山-北山成矿亚带相连,而不是向东与内蒙古的二连-东乌旗成矿亚带相连,这为该区寻找同类型斑岩型矿床指明了方向。

(5)狼娃山-黑鹰山-七一山铁-金-铜-钼-萤石成矿亚带(IV-16)

该成矿亚带分布于觉罗塔格成矿带东段,呈东西向条带状展布,出露地层主要为石炭系海相火山碎屑岩-沉积岩建造。区内深大断裂纵横交错,花岗质侵入岩极为发育,有华力西期的二长花岗岩、英云闪长岩,分布形态呈同心圆状套叠的岩体群,显示出同源岩浆演化多次脉动上侵的特征。带内

金矿赋存于下石炭统白山组火山岩系中,成矿作用与华力西中、晚期花岗岩类的岩浆热液作用有关,矿体在岩体或围岩接触带中主要呈含金石英脉产出,其代表矿床有 460 金矿床、霍勒扎德盖东金矿床、狼娃山和扫子山金矿等,沿断裂带断续分布。铁矿赋存于下石炭统白山组海相火山-沉积岩建造的千枚岩、含铁石英岩中,为海相火山岩型铁矿。铁矿化带长 80 km,已发现十几处铁矿床,典型矿床有黑鹰山、碧玉山、狼娃山、跃进山铁矿等。聂凤军等^[71]获得的黑鹰山海相火山岩型铁矿富铁矿床致密块状铁矿石的磷灰石 Sm-Nd 等时线年龄为 $322.0 \pm 4.3 \text{ Ma}$ 。狼娃山式海相火山岩型铁矿赋矿地层为下石炭统雅满苏组、白山组、绿条山组,由玄武质-流纹质集块岩、角砾岩、凝灰岩、次火山岩及碳酸盐岩组成,该矿床形成于早石炭世裂谷海底热液喷流,略晚叠加矽卡岩化改造,根据含矿地层时代和切穿矿体脉岩同位素年龄($254.7 \sim 203.9 \text{ Ma}$)确定成矿时代为华力西中期。铜矿床主要分布在岩体的内部或外接触带的边缘附近,其形成均与华力西中期花岗闪长岩有密切的成因联系,空间分布均受裂隙构造控制,有野马泉北、呼尔格里呼都南东等铜矿。钼、钨矿分布于红尖兵山一带,围岩为下石炭统白山组火山岩系,代表矿床为红尖兵山黑钨矿床、额勒根钼铜矿、小狐狸山钼矿、流沙山斑岩型钼矿床,矿区围岩为下石炭统白山组火山岩系,并被华力西中期黑云母斜长花岗岩和黑云母二长花岗岩侵入,钼矿床产于二长花岗岩中,伴生有金,属于斑岩型钼矿。杨岳清等^[72]获得额勒根钼铜矿的花岗闪长岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 $341 \pm 5 \text{ Ma}$,而辉钼矿 Re-Os 年龄为 $332 \pm 9 \text{ Ma}$ ^[73];小狐狸山式斑岩型钼矿床成矿时代为印支期(LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄 $216.9 \text{ Ma} \pm 0.5 \text{ Ma}$;辉钼矿 Re-Os 模式年龄加权平均值为 $213.2 \pm 4.6 \text{ Ma}$ ^[74]);流沙山钼金矿 2 件角闪石的 K-Ar 表面年龄值为 $261 \pm 3 \text{ Ma}$ 和 $262 \pm 4 \text{ Ma}$,与辉钼矿的 Re-Os 同位素等时线年龄 $260 \pm 10 \text{ Ma}$ ^[75]一致。

该带最东段七一山地区,出露地层岩性主要有长城系变质石英砂岩、变质砂岩、碳酸盐岩,下寒武统硅质板岩、千枚岩,中奥陶统中基性火山岩,志留系中基性-中酸性火山岩、火山碎屑岩、碎屑岩等。在泥盆纪-石炭纪-二叠纪裂谷拉伸体系伴有强烈的火山喷发活动及大规模华力西期、印支期花岗质岩浆侵位,形成与重熔花岗岩有关的铜、钼、钨、

金、铅、锌矿床,如下陶勒盖砂卡岩型铜铁矿、鹰嘴红山钨矿、三个井蚀变岩型金矿、神螺山、玉石山萤石矿等。杨合群等^[76]获得的鹰嘴红山钨矿区含钨花岗岩体 TIMS 锆石 U-Pb 法同位素年龄为 $373.8 \pm 1.6 \sim 398.9 \pm 2.9$ Ma, 确定其形成时代为泥盆纪。神螺山、玉石山热液充填型萤石矿赋矿地层为下二叠统双堡堂组绿色复陆屑式杂砂岩、火山岩建造,由砂岩、砾岩、英安质泥灰岩、泥灰质砂岩夹英安质层凝灰岩、凝灰质砂岩和薄层状灰岩组成。中生代古陆壳活化是形成铁钨钼锡铋金属矿的有利条件,形成了燕山期七一山钨锡铋矿、阿木乌苏低温热液型铋矿、印支期索索井砂卡岩型铁铜矿、麻黄沟铁铜矿等。索索井砂卡岩型铁铜矿产于额济纳旗-北山弧盆系,成矿与印支期的斑状花岗岩和钾长花岗岩有关,围岩为青白口系大豁落山群白云石大理岩。七一山钨锡铋矿位于内蒙古西部额济纳旗-北山弧盆系,侵入岩以燕山期为主,少量华力西期中酸性侵入岩。燕山早期侵入岩为成矿岩体,与 W、Sn、Rb 等元素成矿有关的为钠长石化花岗岩,其钠长石化、锂云母化、磷云母化、黄玉化和萤石化强烈且普遍。经同位素测定,弱钠长石化似斑状黑云母花岗岩年龄为 156.8 Ma,成矿可能为燕山期。但聂凤军等^[77]获得的东七一山矿区 5 件萤石样品的 Sm-Nd 同位素等时线年龄为 511 ± 5 Ma。由此看来,该区成矿时代还需进一步厘定。

1.2.7 雅千-Harmorit-Hanbogd-Lugiingol 锡-钨-铌-钽-锆-稀土-铁-铜-金-镍成矿带(Ⅲ-9)

该成矿带位于中蒙边境两侧的阿拉善北部地区,由 Harmorit-Hanbogd-Lugiingol 锡-钨-铌-钽-锆-稀土-铁成矿亚带(Ⅳ-17)和珠斯楞-呼伦西白-雅干铜-铅-锌-金-镍成矿亚带(Ⅳ-18)组成。

(1) Harmorit-Hanbogd-Lugiingol 锡-钨-铌-钽-锆-稀土-铁成矿亚带(Ⅳ-17)

该成矿亚带主要位于中蒙边境的蒙古一侧,主要矿床类型是以 Khar morit 地区矿床和矿点为代表的云英岩型、网状及石英脉型锡-钨矿床;以 Khan Bogol 碱性花岗岩地块中的伟晶岩为代表的碱交代型铌-钽-稀土矿床;以 Lugiin Gol 矿床为代表的碳酸岩型稀土(钽,铌,铁)矿床^[11-13,20]。Lugiin Gol 霞石正长岩的 Rb-Sr 全岩等时线年龄为 244 Ma,全岩-单矿物等时线年龄分别为 222 Ma 和 180~199 Ma, K-Ar 年龄为 228~242 Ma^[78]。Khanbogd 稀土-铌-钽矿床

与二叠纪碱性岩体有关,其碱性花岗岩的 Rb-Sr 全岩等时线年龄为 295 ± 5.3 Ma^[65]。成矿带形成在晚古生代和早中生代沿被动大陆边缘的大陆裂谷环境中,成因上与钙碱性和碱性花岗岩有关。

(2) 珠斯楞-呼伦西白-雅干铜-铅-锌-金-镍成矿亚带(Ⅳ-18)

该成矿亚带位于内蒙古阿拉善地块的北部,即珠斯楞-呼伦西白-杭乌拉山-雅干-哈日敖日布格一带。该区构造-岩浆活动复杂,金及多金属化探异常发育,出露岩性主要为长城系古铜井群和蓟县系-青白口系园藻山群浅变质碎屑岩、碳酸盐岩系,古生界岩性以碎屑岩、碳酸盐岩、火山岩系为主。区内岩浆活动强烈,主要形成晚古生代华力西期和印支期花岗岩、花岗闪长岩,零星出露有石炭纪辉长岩、侏罗纪花岗岩。远景区北东向、北西向断裂发育,为成矿提供了有利条件。该区工作程度较低,已知矿点较多,但规模较小。近年在珠斯楞海尔罕一带进行的 1:5 万化探扫面,在西屏山一带发现了一个由 Au、Cu、Mo、Bi、W、Ag、As 等元素组成的综合异常,具有异常面积大、强度高、异常元素套合好的特点,经过初步检查,发现了一个长 900 m、宽 80 m 的金铜矿化体,找到了珠斯楞海尔罕铜金矿床。同时该区还初步评价出了呼伦西白金矿和铜铋矿,阿达日嘎金矿、亚干铜镍矿、沙尔德勒铅锌矿等。所以,该成矿带是寻找铜、镍、金多矿床矿床的有利地区。李俊建等^[5]获得的珠斯楞铜矿区矿化石英斑岩的 TIMS 锆石 U-Pb 年龄为 249.0 ± 45 Ma,呼伦西白金石英脉中的 SHRIMP 锆石的最低点 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄值为 231.0 ± 8.4 Ma^[79],表明印支期为该区重要的金铜成矿作用期。

1.2.8 乌力吉-欧布拉格铜-铁-金-镍-钴-铀-油页岩成矿带(Ⅲ-10)

该成矿带位于因格井-乌力吉-银根一带,为阿拉善地块北缘的岛弧增生带。出露的含矿地层主要为晚古生代石炭纪阿木山组海相碎屑岩夹碳酸盐岩及碎屑沉积岩夹火山岩,少量侏罗系火山岩及白垩系陆相沉积碎屑岩。该成矿带上矿产较为丰富,中小型矿床、矿点和矿化点分布广泛。前人发现的矿产有铁、铜、镍钴、铀及石灰岩、水晶、玛瑙等矿种;具工业价值的矿床有产于古生界次火山、火山岩中的欧布拉格次火山岩型中型铜金矿和查干楚鲁次火山岩型金矿,产于石炭系阿木山组火

山岩及碳酸盐岩中的保格切金矿点,以及二叠系花岗岩、花岗闪长岩与围岩阿木山组碳酸盐岩接触交代形成的矽卡岩型沙拉西别铜-铁矿、脑木洪铜矿、克布勒铁矿、呼口赛勒铜矿、呼和沙拉铜矿、呼兰哈达铜矿、巴尔布拉格铁矿、克克赛日铁矿。成矿与二叠纪火山岩、花岗岩、花岗闪长岩有关,受东西向深大断裂及北东向深大断裂控制。李俊建等^[80]获得查干楚鲁金矿石英斑岩的TIMS锆石U-Pb年龄为 234.0 ± 4.9 Ma,呼和沙拉的TIMS锆石U-Pb年龄为 254.4 ± 3.3 Ma、沙拉西别石英闪长岩体的TIMS锆石U-Pb年龄为 295.4 ± 1.7 Ma,欧布拉格铜金矿区石英斑岩的TIMS锆石U-Pb年龄为 277.4 ± 3 Ma、含金铜石英脉中石英 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄为 264.26 ± 0.46 Ma。可见该带主成矿期为华力期晚期—印支期。从成矿地质环境及形成的矿化类型分析,该区是寻找火山—次火山岩型、矽卡岩型及斑岩型铜金矿床的有利地区。该带仅包含乌力吉—欧布拉格铜—铁—金—镍—钴—铀—油页岩成矿亚带(IV-19)。

1.3 塔里木成矿省(Ⅱ-3)

塔里木成矿省范围相当于塔里木陆块及其北侧之大陆边缘^[1-4],研究区位于该成矿省的东部地区,仅涉及塔里木板块北缘铁—钛—锰—铜—钼—铅—锌—锡—铋—白云母成矿带(Ⅲ-11)和磁海(新疆北山)—公婆泉(甘—蒙北山南部)铁—铜—金—铅—锌—锰—钨—锡—铷—钒—铀—磷三级成矿带(Ⅲ-12)的一部分。

1.3.1 塔里木板块北缘铁—钛—锰—铜—钼—铅—锌—锡—铋—白云母成矿带(Ⅲ-11)

在研究区仅涉及该成矿带北东段的星星峡—早山铁—钛—银—铅—锌—白云母成矿亚带(IV-20)的一小部分。星星峡—早山成矿亚带位于觉罗塔格带南^[1-4],为东天山主脊。长480km,宽15~40km,面积14000km²。出露地层有古元古界星星峡群角闪岩相中基性、中酸性火山岩建造和碎屑—碳酸盐岩建造;蓟县系卡瓦布拉克群的富含叠层石白云质碳酸盐岩建造,青白口系厚层碳酸盐岩建造,中奥陶统分布于尾亚东沙泉子断裂南侧的变质橄榄辉石岩、辉长岩、闪长岩、玄武岩、安山岩、角斑岩及少许斜长岩块等杂乱堆积,可能为蛇绿混杂岩,上奥陶统出露于卡瓦布拉克地区的少量为厚层碳酸盐岩。侵入岩以华力西早、中、晚期侵入岩体为主,其次为新元古代花岗岩。元古宙侵入岩为片麻状、眼球状

的斜长花岗岩、花岗闪长岩、二长花岗岩和钾长花岗岩,东端转井山岩体的锆石U-Pb年龄为686~1271Ma,华力西中期侵入岩以黑云二长花岗岩、二云钾长花岗岩岩基为主,华力西晚期侵入岩分布有尾亚二叠纪辉长岩—正长岩—钾长花岗岩等小侵入体。该成矿带矿产以金、铁、钨、锡、银、铅、锌、铬、铜矿为主,已知矿化为元古宙沉积变质铁矿、与蛇绿岩有关的铬铁矿、碳酸盐岩中热液型银矿、与二叠纪碱性辉长岩有关的钒钛磁铁矿,与元古宙花岗岩类有关的白云母、稀土矿等,典型矿床有沙垄铁矿、尾亚钒钛磁铁矿、图兹雷克白云母矿、南金山金矿、白山泉铁矿、红尖兵山黑钨矿、乎尔格里银多金属矿等。长城系以发育岩漿型铅、锌(金、银)、钨(钼)、铜(铁)矿点为特征。成矿主要与碳酸盐岩建造和加里东期—华力西期中酸性岩漿热液成矿作用有关,在岩体和围岩接触带或构造断裂破碎带内,形成金、银、铅、锌、铜、铁、钨(钼)、锡等矿化,如红尖兵山云英岩—石英脉型钨矿床成矿时代为华力西期(锆石U-Pb年龄为 314.2 ± 2.4 Ma)^⑥。石炭系以发育构造蚀变岩型、海相火山岩型金矿床为特征。成矿与华力西晚期火山(英安凝灰岩、凝灰质砂砾岩)—次火山(流纹斑岩、英安斑岩)热液成矿作用和变质岩系有关,并受层位、岩性、构造蚀变破碎带(韧性剪切带)控制,以含金石英脉的形式产于岩体或围岩接触带中,形成马庄山构造蚀变岩型金矿床、南金山海相火山岩型金矿床,成矿形成时代为印支早期^[81]。

1.3.2 磁海(新疆北山)—公婆泉(甘—蒙北山南部)铁—铜—金—铅—锌—锰—钨—锡—铷—钒—铀—磷成矿带(Ⅲ-12)

该成矿带为前寒武纪基底陆壳上发展起来的早古生代裂谷系。基底由新太古代—古元古代变质杂岩构成,具震旦系、寒武系、奥陶系稳定型盖层。从志留纪开始,出现陆内裂谷,以粗碎屑岩开始,继而中酸性喷发,拉张到一定程度出现玄武岩、细碧岩、角斑岩,最后以陆缘碎屑岩夹中酸性火山岩和磨拉石出现而告终^[82]。该裂谷带除元古宙同构造期的片麻状花岗岩、混合花岗岩外,还出现加里东晚期I型英云闪长岩、闪长岩和花岗闪长岩。区内矿化以金、铜、铁、锰、磷、钒矿为主,铅、锌、钨、锡矿次之。在研究区内仅涉及该成矿带东段的甘蒙北山南部(公婆泉)铁—锰—铜—金—铅—锌—钨—锡—铷—

钒-铀-磷成矿亚带(Ⅳ-21)的一小部分,分布于中天山成矿带东段,北以明水-旱山近东西向展布的深大断裂带为界,南以鲤鱼梁-三道明水深大断裂带为界,呈近东西向带状展布。出露地层以早前寒武纪敦煌岩群海相陆源碎屑岩为主,夹火山岩建造、长城系碳酸盐岩-类复理石建造、蓟县系卡瓦布拉克群陆源碎屑岩-富硅镁碳酸盐岩建造、中志留统公婆泉群中酸性火山岩、二叠系双堡塘组海相火山岩-沉积建造、三叠系二断井组、珊瑚井组碎屑岩建造和下石炭统红柳园组变质碎屑岩、灰岩夹中酸性火山岩等。岩浆活动较为强烈,侵入岩有华力西期石英闪长岩、花岗闪长岩、斜长花岗岩、二长花岗岩、花岗岩等,加里东末期有超浅成相英安斑岩、石英闪长斑岩和浅成相花岗闪长斑岩等斑岩体,为主要含矿岩体,并存在马鬃山复式超镁铁-镁铁质杂岩体,其岩性主要为辉长苏长岩、含斜橄榄二辉岩和辉长苏长岩。地质构造发育,以近东西向延伸的深大断裂带为主,次为北西向、北东向、北北西向断裂。该成矿带以铜、金矿为主,铅、锌、铁矿、锰、磷次之。成矿类型主要以岩浆热液型、斑岩型为主,次为热液型、沉积变质型、沉积改造型等,典型矿床有公婆泉铜矿、大照壁金铜矿床、金窝子金矿床、红星山铁矿、塔水磷矿、白川锰矿等,新发现国宝山岩浆型大型钼矿产于华力西期花岗岩体中。该带铜矿、铜铁多金属矿以斑岩型、火山-热液型为主,以公婆泉斑岩型铜矿为代表,产于海相火山活动末期的次火山侵入体(花岗闪长斑岩)中,矿区碱金属交代作用极为明显,钾和钠的蚀变带成对出现,含铜矿物的形成主要与钾蚀变有关,其成矿与公婆泉岛弧型火山岩及花岗斑岩密切相关。王大为等^[83]获得公婆泉铜钼矿区石英闪长玢岩的K-Ar年龄为 372 ± 16 Ma,花岗闪长斑岩年龄为336~340 Ma。金矿主要分布于破城山一带,赋存于华力西期花岗岩体和下二叠统双堡塘组火山碎屑岩的构造断裂破碎带(糜棱岩带)中,代表矿床有大照壁金铜矿床、金窝子金矿床,属岩浆型,形成时代为华力西期。铁矿、铁铜矿为火山热液型和与沉积型铁矿,形成于若干东西向箕状断陷盆地,在箕底的断裂部位形成与次火山岩和中基性火山喷发有关的铁矿,而在箕状盆地的浅水部位则形成沉积型赤铁矿。这2种类型铁矿受后期热液作用改造而进一步富集成矿,代表矿床有红星山铁矿、茆茆台子山铁矿等。该区代表性锰矿

床有白川锰矿、玉石山沉积改造型锰矿和大红山沉积改造型锰矿,成矿时代主要为古生代。

2 滨太平洋成矿域(叠加在古亚洲成矿域之上)(Ⅰ-2)

2.1 大兴安岭成矿省(Ⅱ-4)

大兴安岭成矿省属古亚洲成矿域的组成部分,中生代又叠加有滨西太平洋大陆边缘活动的构造-岩浆带及其成矿特征,区域成矿作用的双重性十分明显。前寒武纪基底形成,华力西期古亚洲洋开合和燕山期大陆边缘活动3期成矿作用叠加一体,是本成矿省区域成矿的基本特征。大兴安岭成矿省北邻俄罗斯,以黑龙江为界,西延入蒙古,南接华北陆块北缘,东靠松嫩中生代盆地。自前寒武纪陆块形成开始至早古生代的地质构造特征基本上都被燕山期火山喷发岩和相应的地质变形构造或改造或遮掩,目前可见的特征不全。从晚古生代开始,华力西期旋回时,区内呈现的古亚洲洋开合作用明显;燕山期岩浆喷发侵入活动频繁,伴随的区域成矿作用强烈^[1-4]。

在研究区大兴安岭成矿省可划分为克鲁伦-额尔古纳(拉张区)铜-钨-钼-铅-锌-银-金-萤石-铀(煤)成矿带(Ⅲ-13)、努库特达班(Nukhetdavaa)-二连-东乌旗-阿尔山(中强挤压区)铜-钼-铅-锌-钨-锡-铬-铁成矿带(Ⅲ-14)和Sulinheer-白乃庙-锡林浩特铁-铜-钼-铅-锌-铬-(金、锰)锆-煤-天然碱-芒硝成矿带(Ⅲ-15)(图1)。

2.1.1 克鲁伦-额尔古纳(拉张区)铜-钨-钼-铅-锌-银-金-萤石-铀(煤)成矿带(Ⅲ-13)

该成矿带西起蒙古杭爱山,经中戈壁省、乔巴山,向东延伸至中国满洲里地区,并封闭于俄罗斯阿穆尔州东部。东西长约2400 km,总面积约 48×10^4 km²。成矿带主要受中蒙古-额尔古纳褶皱系及其相伴生的纵向、横向断裂带的控制。出露地层主要有新元古界、新元古界一下寒武统、泥盆系、石炭系、中石炭统一下二叠统、二叠系及侏罗系。中生代火山岩分布广泛,其中三叠纪岩浆作用主要以火山-深成岩浆作用形式出现,中、晚侏罗世沉积-火山杂岩从成矿带的西部向东部逐渐发育,东部延伸到俄罗斯外贝加尔地区及中国东北部,和大兴安岭火山岩带连在一起。与中、晚侏罗世火山岩同源的岩浆侵入岩体是成矿的主要母岩。该带矿产以铅、

锌、金、铀、萤石矿化为主,次为钨、钼、铜和银。区域成矿特点表现为,在成矿带的北部以热液型金银矿床和矽卡岩型铅锌矿床为主,中部以脉状萤石、铀矿化为主,东部则以火山沉积岩中的铁矿床、与花岗岩类侵入体有关的热液金矿床、火山成因块状硫化物铅锌矿床和火山岩型铀矿床为主。该成矿带受晚古生代—早中生代火山—侵入杂岩带的控制,成矿作用叠加特征显著。研究区内仅分布南克鲁伦—额尔古纳成矿亚带(Ⅳ-22)。

该成矿亚带位于肯特隆起区南东侧的克鲁伦—德尔布干成矿带的北西段,以哈乌尔断裂与德尔布干铜、铅、锌、银成矿亚带为界,该带是由前中生代地层和岩浆岩的隆起区,侏罗系和白垩系分布于其边缘。该带的矿化以铜钨钼、银铅锌等贵金属—多金属矿化及铀矿化和萤石矿化为主。区内发育的斑岩型铜钼矿床有蒙古喇嘛朝鲁图钼矿、瑞明特钼铜矿,中国的乌奴格吐山、八大关斑岩型铜钼矿。乌努格吐山含矿二长花岗斑岩的锆石U-Pb年龄为188~204Ma^[84-85],矿区辉钼矿Re-Os等时线年龄为177~180Ma^[85-87],与蚀变岩中的绢云母K-Ar年龄 $183.5\pm 1.7\text{Ma}$ ^[84]在误差范围内一致,反映了流体成矿年龄,由上乌努格吐山斑岩型铜钼矿的成矿时代为早侏罗世晚期。康永建等^[88]获得八大关矿区6件花岗岩样品的LA-ICP-MS锆石U-Pb年龄为243~231Ma;额仁陶勒盖银矿区细粒花岗岩的锆石U-Pb年龄为243Ma。火山—热液型铅锌银矿床包括蒙古Ulaan大型铅锌矿、Tsav大型铅锌银矿,中国甲乌拉—查干布拉根、三河铅锌银矿床。张璟等^[89]利用LA-ICP-MS锆石U-Pb同位素分析,获得乌兰铅锌矿围岩成岩时代为晚侏罗世($150.8\pm 4.4\sim 164.7\pm 3.1\text{Ma}$),前人曾对乌兰铅锌矿进行U-Pb测年,获得同位素年龄分别为136Ma、137Ma、143Ma和157Ma^[90],使用Ar-Ar法确定了乌兰铅锌矿绢云母的成矿年龄为 $161\pm 7\text{Ma}$,因此推断,乌兰铅锌矿成矿时间为140~160Ma。甲乌拉矿床属次火山热液脉状矿床—破碎带石英脉型,成矿时代矿石铅模式年龄值集中在102.39~133.05Ma之间,石英二长斑岩K-Ar年龄为121.02Ma,石英脉Rb-Sr等时线年龄为140Ma,成矿时间为早白垩世。银矿床有额仁陶勒盖浅成中温热液银矿,康永建等^[88]获得的额仁陶勒盖银矿区细粒花岗岩的锆石U-Pb年龄为243Ma。浅成低温热液型矿床有四五牧场石英明矾

石型金矿床和许多萤石矿床。陈旗四五牧场浅成中低温热液型金矿与侏罗纪—白垩纪浅成—超浅成岩体关系密切,构造—岩浆热液在上侵过程中萃取部分基底岩系中的成矿物质,并在粗安质隐爆角砾岩中富集成矿^[91]。该带还是著名的火山岩型铀矿集中区,位于中、俄、蒙三国交界部位,总体呈北东东向展布,受得尔布干和鄂嫩—埃基姆昌2条深断裂控制;成矿作用主要发生在前寒武纪古老地块及巨型花岗岩穹状隆起上的火山盆地内,北东、北北东、北西向多组断裂交会部位控制了矿田的定位;带内已发现超大型铀矿床5个,如斯特列利佐夫、安泰、阿尔汞、土卢库页夫、古尔万布拉克,大型铀矿床15个,如蒙古乔巴山附近的道尔脑德铀矿田等。带内还发育石英脉型黑钨矿床和云英岩型钨钼矿。金矿化主要为热液型和砂矿,已发现砂金矿11处,小伊诺盖沟、吉宝沟、小甘沟等岩金矿3处,岩金矿受北东向展布的额尔古纳河剪切变形变质带控制,已知金矿床(点)分布在其内或旁侧。此外,在额尔古纳河西侧俄罗斯境内有数个大型矽卡岩型铜、金矿。因而中生代构造和火山岩特征表明,该区具有良好的铜、钨—钼、铅—锌—银、铀、金成矿地质条件,是寻找该类矿床的远景地区。该成矿亚带中划分出乔巴山钨—钼—铅—锌—银—铀—萤石(V-1)、八大关—乌努格吐山钼—铜(V-2)和甲乌拉—额仁陶勒盖银—铅—锌(V-3)3个V级成矿远景区。

2.1.2 努库特达班(Nukhetdavaa)—二连—东乌旗—阿尔山(中强挤压区)铜—钼—铅—锌—钨—锡—铬—铁成矿带(Ⅲ-14)

该成矿带位于努库特达班(Nukhetdavaa)—东乌旗—阿尔山隆起中,沿蒙古东南边界延伸超过170km,宽30~40km,为大兴安岭成矿省(Ⅱ-12)东乌珠穆沁旗—嫩江铜—钼—铅—锌—钨—锡—铬—铁成矿带(Ⅲ-48)的一部分^[1-4]。带内出露元古宙变质杂岩、里菲期(Riphean)变质碳酸盐岩和砂质页岩、文德期(晚前寒武纪)和早寒武纪的碳酸盐岩和碎屑杂岩^[5],早中生代的侵入岩为黑云母花岗岩和锂—氟淡色花岗岩。该成矿带形成于晚古生代或早中生代晚碰撞或连续的后碰撞作用期和晚中生代板内花岗岩浆作用期,矿床的形成与碰撞拼贴后期的花岗岩侵入作用有关。已发现的主要矿床类型为矽卡岩型、斑岩型、与花岗岩有关的脉状热液充填型及火山—次火山热液型。成矿主要与古生界奥陶

系海相火山岩、泥盆系碳酸盐岩和石炭系一二叠系火山岩及晚古生代、中生代岩浆活动有关,并受控于北东东向断裂构造。成矿时代东部以中生代为主,西部以晚古生代为主、叠加中生代成矿。

该带由海拉尔盆地煤-石油-铀成矿亚带(IV-23)、根河(拉张区)铜-钼-铅-锌-银-金-萤石-煤(铀)成矿亚带(IV-24)、温都尔汗萤石-铁矿成矿亚带(IV-25)、努库特达班-查干敖包庙-吉尔嘎朗图铜-钼-银-镍-金多金属成矿亚带(IV-26)和奥尤特-朝不愣-阿尔山铁-铜-铅-锌-银-钼多金属成矿亚带(IV-27)组成。

(1)海拉尔盆地煤-石油-铀成矿亚带(IV-23)

海拉尔盆地位于额尔古纳-乔巴山前寒武纪中间地块的边缘,是在燕山运动Ⅱ幕形成引张裂隙、在得尔布干断裂走向滑动基础上形成的受北东东向断裂构造控制的多旋回、叠合式、断陷-拗陷的中新生代内陆型含煤盆地。盆地基底物质组成为奥陶纪-石炭纪变质地层和华力西期、燕山期花岗岩。盆地是在中生代陆相火山喷发盆地基础上发展起来的陆相拗陷盆地,区域成矿以沉积能源矿产为主,产出煤、石油,主要矿床有伊敏煤田和宝日希勒煤田,主要赋存于下白垩统大磨拐河组中。近年来,大庆油田在内蒙古海拉尔盆地和相邻的蒙古乔巴山以南的 Tamsag 盆地中均发现了工业油田^[21-22]。主要的含油层为上侏罗统一下白垩统沉积,巨厚的湖相页岩及煤层作为油源层,互层状或层状砂岩作为储油层,它们沉积在快速沉降的盆地中。这些沉积形成了生油层、盖层和储油层,当达到热成熟度时就形成了有利的含油圈闭。同时,海拉尔盆地也产出砂岩型铀矿,是外乌拉尔-蒙古可地浸砂岩型铀成矿区的组成部分。海拉尔盆地的地层自下而上为元古宇、下古生界、上古生界和中新生界,其中贝尔湖群大磨拐河组和伊敏组为海拉尔盆地的沉积盖层。其中白垩系下统大磨拐河组下段为厚层泥岩夹粉砂、细砂岩;上段为粉砂岩、砂岩夹黑色泥岩,顶部见煤或煤线。这一时期三角洲相发育,特别是大磨拐河组上段砂体发育,具有泥-砂-泥结构,形成于温暖潮湿的古气候条件下,是砂岩型铀矿成矿的有利层位。下白垩系伊敏组以浅湖相和沼泽相沉积为主,岩性主要为泥岩夹粉砂岩、砂砾岩、煤层等,也是砂岩型铀矿的富集层位。俄罗斯外乌拉尔成矿区(达尔马

托夫、霍赫洛夫铀矿床等)、西西伯利亚成矿区(马林诺夫、卡扎索矿田)、外贝加尔维季姆成矿区等主要的古河道型、潜水-层间氧化带型砂岩铀矿均分布在古老地块边缘的中新生代陆相沉积盆地中;蒙古中东部主要的古河谷型、潜水-层间氧化带型砂岩铀矿成矿区,如苏敏、哈拉特、赛因山达铀矿区等均分布于额尔古纳-乔巴山前寒武纪中间地块边缘的中新生代陆相沉积盆地内。因此,古老地块边缘的中新生代陆相沉积盆地是可地浸砂岩型铀成矿的有利盆地。

(2)根河(拉张区)铜-钼-铅-锌-银-金-萤石-煤(铀)成矿带(IV-24)

该成矿亚带北侧与俄罗斯接壤,属于额尔古纳非火山型被动陆缘环境。古元古代兴华渡口群和新元古代佳疙瘩组和额尔古纳组于600Ma左右拼合在西伯利亚地块东南边缘,成为西伯利亚板块东南大陆边缘的一部分。古生代一直处于非火山型被动陆缘环境,沉积了早-中奥陶世海相复理石建造,晚志留世浅海近岸相碎屑岩,早石炭世早期碎屑岩、碳酸盐岩夹凝灰岩的沉积和早二叠世陆相河湖沉积。中生代印支期-燕山期形成断陷盆地和断隆构造格局,强烈的双峰式火山作用(迥异于东部流纹-英安质火山作用)和花岗质岩浆侵入使其成为大兴安岭西坡火山岩带的一部分。本成矿带的铜(钼)、银、铅、锌、金的成矿主要与印支期-燕山期火山-深成岩相关,但不同的前中生代基底形成不同的矿种,因此可以认为,中生代的岩浆活动有效地提高了成矿元素的富集程度。本成矿带是Cu、Mo、Pb、Zn、Ag等成矿元素浓集区,组成大小不一的地球化学块体,所以本区是寻找这些矿种的有利地区。典型矿床有岔路口超大型斑岩型钼多金属矿床、莫尔道嘎中型钼矿等。岔路口矿床是迄今为止在中国北方发现的规模最大的钼多金属矿床,主要赋矿地层为中生界白垩系光华组流纹岩、流纹质晶屑岩屑凝灰熔岩、流纹质角砾凝灰熔岩,英安岩、英安质凝灰熔岩及少量含杏仁安山岩等,矿体以隐伏穹状为主,上部边缘共(伴)生有脉状铅锌银矿(化)体。岔路口矿床的形成与早白垩世光华期火山喷发旋回后期超浅成相侵入的次火山岩体及隐爆作用有关。刘军等^[92]采用LA-ICP-MS锆石U-Pb定年方法,获得了岔路口矿区内二长花岗岩、花岗斑岩、石英斑岩、细粒花岗岩、流纹斑岩、闪长

玢岩及安山斑岩的结晶年龄分别为 $162 \pm 1.6\text{Ma}$ 、 $149 \pm 4.6\text{Ma}$ 、 $148 \pm 1.6\text{Ma}$ 、 $148 \pm 1.2\text{Ma}$ 、 $137 \pm 3.3\text{Ma}$ 、 $133 \pm 1.7\text{Ma}$ 和 $132 \pm 1.6\text{Ma}$ 。聂凤军等^[93]获得辉钼矿 Re-Os 同位素等时线年龄为 $146.96 \pm 0.79\text{Ma}$, 成矿期为燕山中期。王召林等^[94]获得了与莫尔道嘎斑岩钼矿有关的花岗斑岩、花岗闪长斑岩的锆石 U-Pb 年龄, LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄测试结果显示, 太平川含矿斑岩体的形成年龄分别为 183.6Ma 、 193.7Ma 和 199.1Ma , 表明花岗岩及成矿主要形成于早侏罗世, 可能代表蒙古-鄂霍茨克洋闭合阶段的岩浆侵入事件。Tang 等^[95]在根河、莫尔道嘎及旧卡地区采集的 9 件酸性侵入岩体的锆石 U-Pb 年龄集中在 $241 \sim 247\text{Ma}$ 之间。余宏全等^[96]测得莫尔道嘎北部片麻状花岗岩的锆石 U-Pb 年龄为 243.9Ma 。

(3) 温都尔汗萤石-铁成矿亚带(IV-25)

该成矿亚带以产出脉状萤石矿和铁矿为主, 萤石矿主要分布在温都尔汗的 Abagaituiskoye 和 Solonechnoye 及邻近地区, 代表性矿床为该带西南部的 Abagaituiskoye 和中部的 Solonechnoye、Shakhmatnoye 石英-萤石脉状矿床; 该带东部则以火山沉积岩中的铁矿床和矽卡岩型铁矿床为主。

(4) 努库特达班-查干敖包庙-吉尔嘎朗图铜-钼-钨-银-镍-金-铀多金属成矿亚带(IV-26)

该成矿亚带位于努库特达班-二连-东乌旗-阿尔山成矿带西段, 出露地层主要为下古生界奥陶系海相、浅海相火山岩(细碧岩、石英角斑岩)及碎屑岩、碳酸盐岩组合; 上古生界泥盆系浅海相滨海碎屑岩、碳酸盐岩系, 上石炭统一二叠统陆相中酸性火山岩、火山碎屑岩夹黑色砂板岩。该分布区呈北东东向展布, 有查干敖包-东乌旗大断裂从区内通过。区内石炭纪-二叠纪花岗岩、花岗闪长岩极为发育。在蒙古境内产出玉古兹尔(Yuguzer)中型黑钨矿-辉钼矿矿床, 还产出 Nomorgiin gol 脉状钨矿、花岗岩中的钼矿、Modon ovoo 铅-锌-锡矿等^[11-16]。聂凤军等^[97]获得玉古兹尔辉钼矿 Re-Os 同位素等时线年龄为 $224 \pm 6.2\text{Ma}$, 岩体的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 $225.9 \pm 2.1\text{Ma}$; 中国二连北部地区产出乌兰德勒、达赖庙、乌花敖包、准苏记花斑岩型钼矿、乌日尼图热液型钨钼矿、赛汉高毕铀矿、苏崩铀矿等。李俊建等^⑦获得的乌日尼图钼矿中辉钼矿 Re-Os 同位素等时线年龄为 $143 \pm 50\text{Ma}$, 准苏记花钼矿中辉钼矿 Re-Os 同位素等时线年龄为 $297 \pm$

13Ma , 乌兰德勒钼矿中辉钼矿 Re-Os 同位素等时线年龄为 $131 \pm 11\text{Ma}$, 达来庙钼矿中辉钼矿 Re-Os 同位素等时线年龄为 $161.3 \pm 7.5\text{Ma}$ 。陶继雄等^[98]获得与乌兰德勒钼矿有关的细粒二长花岗岩的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 $131.3 \pm 1.6\text{Ma}$, 矿床中辉钼矿 Re-Os 同位素年龄为 $134.1 \pm 3.3\text{Ma}$ 。刘翠等^[99]获得的乌日尼图辉钼矿化细粒花岗岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 $133.6 \pm 3.3\text{Ma}$ 。白珏等^[100]获得的乌日尼图钼铜矿床 5 件辉钼矿样品 Re-Os 同位素等时线年龄为 $134 \pm 14\text{Ma}$ 。该带矿床类型主要为斑岩型、云英岩型、矽卡岩型、岩浆岩型及脉状热液型、网状及石英脉型钨-钼-铍矿床, 石英角斑岩型钼-锂矿床、二连东部盆地群中的砂岩型铀矿床等, 成矿时代为晚古生代和中生代。该带进一步划分出查干敖包庙(V-1)、达来庙(V-2)、阿登锡勒(V-3)和吉尔嘎朗图(V-4)4个V级找矿远景区。

(5) 奥尤特-朝不愣-阿尔山铁-铜-铅-锌-银-钼多金属成矿亚带(IV级-27)

该成矿亚带位于努库特达班-二连-东乌旗-阿尔山成矿带东段。该区是在加里东岛弧带基底上发育起来的华力西构造岩浆岩带, 并在中生代进入滨西太平洋活动大陆边缘构造发育阶段, 发育有中生代火山-深成岩。该区成矿地质条件好, 矿化以铁-铜-铅-锌-银-钼多金属为主。古生代碳酸盐岩、钙质粉砂岩是该区多金属矿床的容矿岩石, 与成矿有关的岩浆岩有华力西期花岗质岩石和燕山期花岗岩。这些与成矿相关的酸性岩浆以富含碱为特征, 已知的矿床类型有矽卡岩型、热液型、斑岩型、次火山岩-斑岩型和与花岗岩有关的石英脉型矿床。已知矿床有华力西期的梨子山铁钼矿床、塔尔其和中道山铁矿床、罕达盖林场铁铜多金属矿、小坝梁铜矿床等; 梨子山矽卡岩型铁钼矿产于华力西晚期白岗质花岗岩与奥陶系多宝山组大理岩及砂板岩的接触带内, 成矿时代为晚古生代。罕达盖林场铁铜多金属矿属于典型的矽卡岩型铁铜多金属矿床, 与成矿有直接关系的侵入体石英二长闪长岩单颗粒锆石 U-Pb 表面年龄为 $308.8 \pm 1.2\text{Ma}$ ^⑧, 其成矿时代为晚石炭世。小坝梁铜金矿与晚古生代岛弧火山岩关系密切, 赋矿围岩为下二叠系统格根敖包组安山质凝灰岩、石英角斑岩、凝灰质砂岩、凝灰质粉砂岩及少量粗安岩或石炭系本巴图组中酸性火山碎屑岩, 矿床成因类型为海相火山(次火山)

热液成因的黄铁矿型铜矿床,成矿时代为石炭纪—二叠纪。如燕山期朝不楞、八十公里和查干敖包大型铁多金属矿床,巴林铜锌矿床、热液型吉林宝力格大型银矿床、阿尔哈达大型及狼麦温都尔中型铅锌银矿床、次火山岩—斑岩型奥尤特铜多金属矿床,斑岩型迪延庆阿木大型钼矿、与花岗岩有关的中型石英脉型沙麦钨矿床。李俊建等^[7]获得朝不楞铁多金属矿床容矿花岗岩的颗粒锆石 U-Pb 年龄为 $135.1 \pm 3.6\text{Ma}$ 、辉钼矿的 Re-Os 年龄为 $135.3 \pm 2.9\text{Ma}$ 、 $135.5 \pm 3.4\text{Ma}$; 获得沙麦钨矿容矿花岗岩的 TIMS 锆石 U-Pb 年龄为 $141.1 \pm 0.8\text{Ma}$ 、黑钨矿 Sm-Nd 等时线年龄为 $137.9 \pm 1.7\text{Ma}$ 和绢云母 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 年龄为 $136.6 \pm 0.8\text{Ma}$; 获得奥尤特铜矿石中石英 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 年龄为 $187.11 \pm 3.0\text{Ma}$ 。聂凤军等^[101]获得的朝不楞铁矿中辉钼矿 Re-Os 年龄为 $140.7 \pm 1.8\text{Ma}$, 黑云母花岗岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 $136.9 \pm 1.5\text{Ma}$; 迪延庆阿木斑岩型钼矿的辉钼矿 Re-Os 年龄为 $140.7 \pm 1.8\text{Ma}$ (李继宏等提供, 未刊数据)。吉林宝力格银矿主要赋存在上泥盆统安格尔夫乌拉组的流纹质晶屑凝灰岩、泥岩、粉砂质泥岩中, 矿脉赋存于蚀变构造角砾岩中, 富矿体主要分布在石英二长花岗岩斑状岩脉与地层接触部位, 属中低温热液型脉状矿床, 成矿时代为燕山早期。从而构成一个以华力西晚期、燕山期接触交代型、斑岩型和热液型矿床为主的多金属成矿带。

该带南部边缘有近东西向展布的贺根山蛇绿岩带, 带内产出典型的蛇绿岩型铬铁矿床, 主要有赫格敖拉、呼和哈达等铬铁矿床。目前对该蛇绿岩的年龄仍有争议, 包志伟等^[102]获取贺根山蛇绿岩中 6 个样品 (纯橄岩、斜辉辉橄岩、2 件橄榄岩、辉橄岩和辉长岩) 的 Sm-Nd 等时线年龄为 $403 \pm 27\text{Ma}$; 苗来成等^[103]得到辉长岩中锆石的 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 年龄为 $295 \pm 15\text{Ma}$; 简平等^[104]和刘建峰^[105]认为该蛇绿混杂岩形成于早二叠世早期, 石炭系—二叠系格根敖包组不整合覆盖在超基性岩之上^⑨。因此, 贺根山超基性岩体的构造就位时间应该在格根敖包组之前, 暂定为泥盆纪, 该类铬铁矿床成因为分异式的晚期岩浆矿床。

2.1.3 Sulinheer-白乃庙-锡林浩特铁-铜-钼-铅-锌-铬-金-锰-锆-煤-天然碱-芒硝成矿带 (Ⅲ-15)

本区南界以华北陆块北缘断裂为界, 西北侧以

阿拉善东缘-东蒙古断裂为界, 北侧为二连-贺根山断裂, 东侧呈折线状与突泉-林西成矿带为界。本区分布有宝音图微地块, 托托尚、艾力格庙、锡林浩特微地块, 温都尔庙微地块等嵌布在造山带内, 同时这些组成微地块的地层中亦赋存与海相火山岩相关的铁、金、铜、钼等矿床, 这些矿床受到了古生代成矿作用的改造。早古生代古亚洲洋开合过程中, 本区处于火山岛弧环境, 堆积了钙碱性火山岩, 并有金、铜成矿作用。晚石炭世裂陷海槽沉降中心在本区堆积了碎屑岩、火山岩和碳酸盐岩, 并有与火山岩相关的铜、金、铅、锌成矿作用, 同时还有与晚石炭世侵位的蛇绿岩相关的铬、铜成矿作用。本区发育有加里东期闪长岩、花岗岩及华力西期花岗岩类侵入体, 后者与金、铜成矿作用密切相关。

中生代形成近东西和北东向展布的断陷盆地, 但火山活动较弱, 堆积了含煤建造和含铀砂岩建造, 但燕山期花岗岩类分布较广并与金、铜、萤石的成矿作用有重要的关系。本区分布有规模较大的金、钼、锌、锑地球化学块体, 预示本区具有寻找上述成矿元素矿种的巨大潜力。根据其成矿特征, 可分为 7 个Ⅳ级成矿亚带。

(1) 托托尚-艾里格庙-苏莫查干敖包铁-锰-铅-锌-银-萤石成矿亚带 (Ⅳ-28)

蒙古托托尚地块前寒武纪地层主要由一套碎屑岩-碳酸盐岩变质岩和花岗质片麻岩组成, 还可能少量变质火山岩。主要岩性为绢云石英片岩、石英岩、变粒岩、大理岩、化灰岩、大理岩、花岗片麻岩等。花岗片麻岩侵入表壳岩并与其有相同的片理, 表明侵入后二者经历了相同的变质变形作用。岩石变质程度为绿片岩相-角闪岩相。据最新对黑云斜长片麻岩的 SHRIMP 锆石定年资料^[106], 其形成年龄为 $983 \pm 6\text{Ma}$ 、 $956 \pm 3\text{Ma}$ 和 $954 \pm 8\text{Ma}$, 表明该套地层可能形成于中新元古代, 可与中国艾里格庙地块的哈尔哈达组和艾力格庙组地层对比。艾里格庙地区出露地层有蓟县系温都尔庙群哈尔哈达组、青白口系艾力格庙组、中下二叠统大石寨组、下侏罗统红旗组、上侏罗统满克头鄂博组、下白垩统大磨拐河组、上白垩统二连组、古近统脑木根组、新近统宝格达乌拉组、上更新统阿巴嘎组及上更新统半固结砂、砾石层和全新统洪冲积砂砾及砂土、湖积淤泥、风积砂土。哈尔哈达组岩石组合为石英钠长

绿泥绢云片岩夹斜长绿帘绿泥片岩、石英绿泥绿帘角闪片岩、含铁石英岩等。青白口系艾力格庙组岩石组合为大理岩、结晶灰岩、石英片岩、变质石英粉砂岩、板岩等,局部发育变质凝灰岩及变质流纹岩。该区产出的矿产主要有铁矿、锰矿、铅锌银矿、萤石、石膏、天青石、芒硝等。代表性矿床如苏莫查干敖包萤石矿、西里庙锰矿、芒和特、哈布其亥铁矿、艾力格庙铅锌银矿点等。

苏莫查干敖包萤石矿区包括苏莫查干敖包及其以西的敖包吐、伊和尔、贵勒斯太、额尔其格、温都尔努和等地,主要分布在该成矿亚带的南部,该区萤石矿资源丰富,矿床规模大,储量集中,形成了国内乃至亚洲少见的巨大萤石成矿区。矿床类型为层控热液型萤石矿床,矿床成因严格受层间构造和岩性的控制,属于碳酸盐岩受后期含氟热液交代而形成的似层状萤石矿床。赋矿围岩为下二叠统西里庙组二岩段片理化流纹岩、流纹斑岩、晶屑凝灰岩、英安玢岩,三岩段板岩、结晶灰岩,四岩段绢云母化流纹斑岩等。主矿层与三岩段底部结晶灰岩层位相当,两者在走向和倾向上均呈渐变过渡关系。矿床应属海底火山喷气沉积型矿床,华力西期和燕山期花岗岩浆活动对矿床进行了较强烈的改造,断裂和热液对富矿的形成起重要的作用。聂凤军等^[107]采用 SHRIMP 锆石 U-Pb 法分别对底板围岩中蚀变流纹岩和顶板围岩中未蚀变流纹岩样品进行了同位素测年,所获数据分别为 $276 \pm 10 \text{ Ma}$ 和 $271 \pm 8 \text{ Ma}$ 。该萤石成矿区包含 2 个 V 级成矿远景区,分别为白银脑包萤石成矿远景区和敖包图、苏莫查干敖包萤石成矿远景区。

西里庙小型锰矿位于内蒙古四子王旗北部卫井苏木额尔登西 6 km。矿区主要出露中二叠统大石寨组第一、二段的火山岩地层,锰矿均产在流纹斑岩内部或附近,说明锰矿的形成与潜火山岩的活动关系密切,成矿时代应为二叠纪。芒和特、哈布其亥沉积变质型小型铁矿产于元古宇温都尔庙群一岩段,岩石组合以石榴子石、绢云石英片岩、绿片岩为主夹石英岩、含铁石英岩。

(2) Sulinheer-查干哈达庙铁-铜-钼-铬-金成矿亚带(IV-29)

该成矿亚带大地构造位置属于华北板块与西伯利亚板块对接带的华北陆块北缘晚古生代陆缘增生带。

区域内出露地层以上古生界浅海相碎屑岩-碳酸盐岩夹海相中基性、中酸性火山岩建造为主。上石炭统本巴图组为活动陆缘类复理石、碳酸盐岩夹火山岩建造,中下二叠统大石寨组为陆缘弧火山岩、火山岩屑复理石建造,中二叠统哲斯组为残留陆表海碎屑岩、碳酸盐岩夹火山岩建造。北部中蒙边境索伦山一带有近东西向展布的志留纪-石炭纪基性、超基性岩,构成著名的索伦山蛇绿岩带,带内产出典型的蛇绿岩型铬铁矿床。主要由蒙古 Sulinheer、索伦山、满都拉、土克木、察汉奴鲁、阿不格、乌珠尔等矿床组成。索伦山蛇绿岩产于上石炭统阿木山组砂岩、板岩和砾岩地层中,主要由斜辉辉橄岩和斜辉辉橄岩组成。主要矿床集中分布于纯橄岩-斜辉辉橄岩相带内,并呈南北对称的 2 个带展布。矿体均产于纯橄岩体内。地球化学研究表明,索伦山变质橄辉岩具有低 Cr、Ti、Ca 和高 Mg 的特征, $\text{MgO}/(\text{MgO}+\text{FeO})$ 值为 0.86~0.89, 稀土元素总量极低,轻稀土元素(LREE)明显富集,具正 Eu 异常^[108]。镁铁质火山岩具有洋中脊玄武岩(MORB)的特征,其在满都拉地区的辉长岩和斜长花岗岩中锆石的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄分别为 $284.0 \pm 4.0 \text{ Ma}$ 和 $288.0 \pm 6.0 \text{ Ma}$ ^[109-110]。

该成矿亚带中南部主要优势矿化类型是与海相火山沉积岩系有关的铜金多金属矿床,矿带总体展布方向为北东 60°左右,带内已发现的铜矿床(点)有查干哈达庙小型铜矿、西察汗哈达庙铜矿、达茂旗克齐小型铜矿床、善丹铜金钼矿点等。与查干哈达庙铜多金属矿成矿关系密切的地层为上石炭统本巴图组。该类铜矿的形成严格受矿区内北东向断裂构造和本巴图组岩性的控制,矿区内铜矿体均赋存于本巴图组凝灰岩、凝灰质砂岩,夹正常沉积碎屑岩,该类矿床的成因类型是海相火山岩型。该成矿亚带中包含 2 个 V 级成矿远景区,分别为索伦山-乌珠尔铬成矿远景区和克齐-查干哈达庙铜成矿远景区。

(3) 查干此老-巴音杭盖金成矿亚带(IV-30)

该成矿亚带位于中蒙边境狼山北东向构造带的东北端,是古亚洲洋中的由古元古界宝音图岩群组成的一个古地块,在北端有中元古界温都尔庙群浅变质岩系及古生代奥陶纪和志留纪地层分布。该区在中生代经历了滨西太平洋活动大陆边缘构造发育阶段,形成了一批燕山晚期成矿的金矿床及

金矿点。目前已知的矿床有巴音杭盖、查干此老、图古日勒等热液型金矿床。该区由于地处边境,缺乏地球化学资料,但以地质构造特征综合分析,结合已发现的金矿床(点)特征,认为该区可作为一个重要的金矿找矿远景区。

(4) 脑木根-二连盆地群天然碱-芒硝-煤-铀成矿亚带(IV-31)

脑木根-二连盆地为中生代内陆盆地。基底由元古宇、古生界变质岩系及华力西期-燕山期的基性-中酸性侵入岩构成,主体构造线为东西向。中生代沉积盆地由侏罗纪一早白垩世早中期裂谷型盆地和早白垩世晚期-新生代拗陷型盆地叠合而成,主体构造线为北东向。盆地四周被古生代和中生代隆起围限,北西以华力西期巴音宝力格隆起为界,南界为加里东期的温都尔庙隆起,东界为燕山期北东向展布的大兴安岭隆起,西界以狼山隆起为界与巴音戈壁盆地相隔。盆地总体走向为北东向,在平面上呈向北东收敛、向南西撒开的三角形。

本区产出矿产主要为天然碱、芒硝、煤、油页岩等。近年该区砂岩型铀矿找矿取得了较大突破,发现一批古河谷中的砂岩型铀矿床,如巴音塔拉铀矿、巴彦乌拉铀矿、齐哈日格图铀矿等,表明该区具有很大的找铀前景。主要含铀层位为下白垩统巴彦花群腾格尔组,为一套泥岩夹砂质砾岩、砂岩及泥质白云岩、油页岩、泥灰岩等。上段主要由砂质砾岩、砂岩和泥岩组成,上部为砂质砾岩、砂岩夹泥岩,局部夹褐煤层,是寻找同沉积叠加潜水-层间氧化改造型砂岩铀矿的有利地区;另一含铀层位是巴彦花群赛汉组,为一套河流、湖沼等环境沉积的碎屑岩建造、含煤泥质岩建造等,其中湖沼沉积层岩性为泥岩夹砂岩、褐煤等,是寻找古河谷砂岩型铀矿的有利部位。上白垩统二连组亦为重要的含铀层位,为一套冲积平原和湖泊沉积地层,有举世罕见的恐龙(鸭嘴龙、似鸟龙、蜥脚龙、甲龙、霸王龙)、瓣鳃类动物、被子植物等化石,其上部为泥岩、粉砂岩、泥灰岩,顶部为膏盐层。第四系在盆地内广泛分布,沉积物主要有风成沙、湖积层以及玄武岩,在低洼汇水淖尔中有1~20m厚的湖积淤泥、粘土和粉砂,产出碱矿和芒硝矿。

(5) 白乃庙-哈达庙铜-金-萤石成矿亚带(IV-32)

该成矿亚带位于华北陆块北缘深断裂北侧白

乃庙-哈达庙早古生代弧盆系,东界被大兴安岭北北东向隆起带所截。区内出露的地层有中新元古界温都尔庙群,下古生界白乃庙群、上志留统西别河组、上石炭统阿木山组、上石炭统本巴图组活动陆缘类复理石和碳酸盐岩夹火山岩建造,下二叠统基性、中酸性火山岩及硅泥岩,中下二叠统大石寨组陆缘弧火山岩、火山岩屑复理石建造,中二叠统哲斯组残留陆表海碎屑岩、碳酸盐岩夹火山岩建造,上侏罗统大青山组及新近系、第四系。温都尔庙群为一套变质的海相火山-沉积岩系,组成一个洋壳层,构成较为典型的蛇绿岩套,温都尔庙铁矿赋存在其上部;最近有学者^[11]提出,温都尔庙群哈尔哈达组有一部分地层形成于中志留世,桑达来呼都格组可能形成于寒武纪-晚奥陶世。白乃庙群主要分布在白乃庙及谷那乌苏一带,为一套浅-中变质的绿片岩,原岩为一套海底喷发的基性-中酸性火山熔岩、凝灰岩夹少量正常沉积的碎屑岩、碳酸盐岩,为浅海沉积建造,具岛弧岩系特征,产与火山沉积变质-热液活动有关的白乃庙式铜金钼矿,与别鲁乌图VMS型铜矿关系密切的地层岩石主要为上石炭统本巴图组变质砂岩、变质粉砂岩。因此该区是寻找斑岩型和VMS型铜多金属矿和斑岩型铜金钼矿床的有利远景区。带内已发现的铜矿床有白乃庙铜金矿、别鲁乌图铜矿、都仁乌力吉苏木朱日铜矿、哈达庙斑岩型金矿和毕力赫、白乃庙热液型金矿等。

该成矿亚带包含4个V级成矿远景区,分别为黑沙图萤石成矿远景区、乌花敖包-宫胡洞铜、金成矿远景区、白乃庙-谷那乌素铜、金成矿远景区、别鲁乌图铜成矿远景区和毕力赫-哈达庙金成矿远景区。

白乃庙铜金矿床位于白乃庙早古生代岛弧带,赋矿围岩为白乃庙群岛弧火山-沉积岩系,受区域变质作用影响底部形成绿片岩系,其原岩为海底喷发的基性-中酸性火山熔岩、凝灰岩夹正常沉积的碎屑岩和碳酸盐岩。矿体呈似层状产出,与围岩产状一致。矿石类型有绿片岩型铜钼金矿石和变花岗闪长斑岩型铜钼金矿石。聂风军等^[12]测定了白乃庙群第三岩性段中残斑阳起斜长片岩的常规锆石U-Pb年龄,在U-Pb不一致年龄图上,获得上交点年龄为 $1130.5 \pm 16\text{Ma}$,下交点年龄值为 $384.5 \pm 6\text{Ma}$,认为上交点年龄值($1130.5 \pm 16\text{Ma}$)代表白乃

庙群火山岩的成岩年龄。李文博等^[113]对白乃庙铜金钼矿床含矿石英脉中的黑云母和白云母矿物进行了年龄测定,获得黑云母样品22点 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 等时线年龄为 $396\pm 2\text{Ma}$,白云母样品23点 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 等时线年龄为 $358\pm 2\text{Ma}$,认为该矿床形成于泥盆纪。赵云等^[114]采用Re-Os同位素定年法,获得白乃庙铜矿区7件辉钼矿样品的等时线年龄为 $451.2\pm 3.5\text{Ma}$,提出矿床成因应属多期叠加成矿。李俊建等^[115]获得白乃庙组第三岩性段绿泥斜长片岩的SHRIMP锆石U-Pb年龄为 $439.8\pm 6.7\text{Ma}$,花岗闪长斑岩的年龄为 $433.9\pm 2.2\text{Ma}$,辉钼矿的Re-Os同位素年龄为 $433.9\pm 3.1\text{Ma}$,据此提出白乃庙铜矿床的形成时代为晚奥陶世—早志留世。

聂凤军等^[116]获得别鲁乌图晚古生代火山岩Sm-Nd同位素等时线年龄为 $275\pm 5.2\text{Ma}$,代表了别鲁乌图组镁铁火山岩的形成时代。刘军等^[117]获得哈达庙矿区内花岗斑岩和闪长岩SHRIMP锆石U-Pb年龄分别为 $271\pm 3\text{Ma}$ 和 $267\pm 3\text{Ma}$ 。张文钊^[118]、卿敏等^[119]采集了毕力赫金矿斑岩体内6件辉钼矿样品,测得矿石中辉钼矿Re-Os等时线年龄为 $272.7\pm 1.6\text{Ma}$;路彦明等^[120]采用LA-ICP-MS锆石U-Pb测年,获得含金次火山侵入杂岩体和钾长花岗斑岩成岩年龄分别为 $283.8\pm 4.2\sim 279.9\pm 6.8\text{Ma}$ 和 264.2Ma ,为早中二叠世。因此,别鲁乌图铜矿、哈达庙斑岩型金矿和毕力赫热液型金矿形成于晚古生代。

(6)温都尔庙—红格尔庙铁—铜—钼—锆—煤成矿亚带(IV-33)

该成矿亚带位于苏尼特左旗温都尔庙—红格尔一带。大地构造位于大兴安岭弧盆系锡林浩特岩浆弧和包尔汉图—温都尔庙弧盆系。区域上大面积被新生界覆盖,古生界和中生界亦广泛出露,且以古生界为主。中新元古代温都尔庙群分布在温都尔庙以北和以东地区。下古生界白乃庙群分布在区域西南的白乃庙和谷那乌苏一带。其次尚有上古生界泥盆系、石炭系、二叠系和中生界侏罗系、白垩系等。温都尔庙群主要是指分布在集宁—二连浩特铁路以东,朱日和及其北部地区出露的一套中、浅变质海相火山—沉积岩系,前人把温都尔庙群的分布视为南、北2个带,北带指二道井—苏尼特左旗南部哈拉干—阿巴嘎旗南部红格尔庙一线;南带指苏尼特右旗以南的温都尔庙地区。该套地层因含铁矿层和发现蛇绿混杂岩、蓝闪石片岩而被地质

界一直将其视为残余洋壳和海沟存在的重要标志,其时代归属问题众说纷纭,时代从古元古代到古生代都有^[121-127]。聂凤军等^[122]从出露在乌兰沟和乌兰敖包一带的基性火山岩—碎屑岩组合获得的浅变质岩系年龄为 $807\pm 49\text{Ma}$;而出露在德言其庙一带斜长角闪岩—斜长片麻岩组合的深变质岩年龄仅为 $638\pm 14\text{Ma}$ ^[123];张臣等^[124]在北带苏左旗南部哈拉干地区温都尔庙群第1、2岩组和第3岩组变质基性火山岩中,获得Sm-Nd同位素等时线年龄为 $1151\pm 76\text{Ma}$ 和 821Ma ,时代应属于中、新元古代。唐克东等^[125]依据绿片岩和绢云母石英片岩Rb-Sr年龄($435\pm 61\text{Ma}$ 、 $509\pm 40\text{Ma}$)及K-Ar年龄($463\sim 473\text{Ma}$),认为温都尔庙群形成于震旦纪—寒武纪;李承东等^[111]对温都尔庙群洋内弧变质安山岩及变质碎屑岩进行锆石LA-MC-ICP-MS法U-Pb同位素测年表明:桑达来呼都格组上部洋内弧变质安山岩年龄为 $470\pm 2\text{Ma}$,哈日哈达组2个样品的碎屑锆石年龄主要集中在 $445\sim 480\text{Ma}$ 之间。考虑温都尔庙群蛇绿岩形成时代($497\sim 477\text{Ma}$)、高压变质时代($446\pm 15\sim 453\pm 1.8\text{Ma}$)及晚志留世西别河组不整合覆盖其上,认为桑达来呼都格组可能形成于寒武纪—晚奥陶世,哈日哈达组形成于晚奥陶世—中志留世,提出温都尔庙群是形成于寒武纪—中志留世的变质增生杂岩。温都尔庙铁矿主要赋存在温都尔庙群桑达来音呼都格组上部和哈日哈达组下部。由新到老哈日哈达组上部为绿泥绢云石英片岩夹少量方解绿帘绿泥片岩,下部为条纹状石英岩、变质碧玉岩、铁矿层。桑达来音呼都格组上部为具大理岩条带的细碧质凝灰岩夹细碧岩和角斑质凝灰岩、铁矿层、变质碧玉岩;下部为微细碧岩夹细碧质凝灰岩、少量角斑岩及角斑质凝灰岩。带内分布有温都尔庙白云敖包、哈尔哈达、白音敖包、红格尔庙等铁矿床。该成矿亚带中包含2个V级成矿远景区,分别为卡巴—红格尔庙铁成矿远景区和大敖包—小敖包铁成矿远景区。

(7)白音乌拉—毛登银—铅—锌—锡—钼—铜多金属成矿亚带(IV-34)

该成矿亚带位于大兴安岭西坡成矿带南段,区内成矿条件优越,与成矿有关的构造、岩浆活动发育,地球化学异常显著。出露地层有锡林郭勒杂岩,石炭系本巴图组、阿木山组,石炭系—二叠系格根敖包组,二叠系寿山沟组、大石寨组及哲斯组,中

生代河湖相碎屑岩及陆相火山岩广泛分布。侵入岩有泥盆纪蛇绿岩,石炭纪—二叠纪及燕山期中酸性侵入岩发育,早古生代侵入岩出露则相对较少。主要矿化类型包括热液脉状铜锡矿化、热液脉状银铅锌矿化、斑岩型矿化等。控制成矿的主要地质要素为侏罗纪花岗斑岩和二叠纪闪长岩+二叠纪地层+热液蚀变+断裂破碎带。区内已发现毛登中型铜锡矿床,近年来发现了白音乌拉大型银铅锌矿床、道伦达坝铜矿、拜仁达坝银铅锌矿、花敖包特铅锌矿等矿床,显示了巨大的成矿找矿潜力。该成矿亚带中包含3个V级成矿远景区,分别为白音乌拉银铅锌矿外围成矿远景区、毛登铜锡钼矿外围成矿远景区、太基敖包—乌兰五台金银铅锌成矿远景区。

毛登铜锡钼矿为与岩浆热液有关的锡矿床,近年在深部钼矿取得较大进展,围岩为二叠纪碎屑岩夹火山岩及碳酸盐建造,与成矿关系密切的侵入岩为燕山期中酸性花岗岩类。产于成矿侵入岩体围岩地层中的矿体多呈脉状,受构造裂隙控制,而产于侵入体内接触带的矿体多为网脉状。石得凤^[128]研究认为,毛登矿区的锡、铜、钼多金属矿具有多种成因,锡、铜矿是由于燕山晚期的花岗斑岩补充侵入而形成的,而辉钼矿是在矿区中生界上侏罗统兴安岭群火山角砾岩筒形成时期的岩浆期后热液活动阶段形成的。道伦达坝铜多金属矿产于花岗岩枝与地层接触带内,多产于岩枝两侧或其附近,且多成群出现,鲍庆中等^[129]获得岩体锆石 SHRIMP 年龄为 $280.8 \pm 3.6\text{Ma}$,成矿时代与岩体就位时代基本一致,为早二叠世。刘建明等^[130]对拜仁达坝矿床中的闪锌矿进行了 Rb—Sr 等时线定年,结果显示燕山中晚期(约 116Ma)的成矿年龄。因此该区金属矿床的形成时代主要为燕山期。

2.2 华北陆块北缘成矿省(Ⅱ-5)

华北陆块北缘北与大兴安岭、吉黑成矿省相邻,南连华北陆块,东延进入朝鲜和日本海,西与天山—北山成矿省相接,是一个地质构造活动强烈成矿作用复杂的成矿单元^[2-3]。华北陆块北缘是华北陆块和西伯利亚克拉通南缘之间的一个长期活动带,在每个发展阶段,成矿省内的构造变动、岩浆作用、断裂活动都很强烈。在每个构造旋回演化阶段出现了特有的成矿地质环境,控制了各类矿床的成因类型及其矿床成矿系列。前寒武纪的地质构造运动,构成了复杂的西伯利亚大陆活动带,

显生宙期间,又强烈卷入兴凯、加里东、华力西期和喜山期的构造运动,形成了区域成矿作用的复杂性和矿床成矿系列的多样性。在研究区内仅涉及华北陆块北缘西段金—铁—钨—稀土—铜—铅—锌—银—镍—铂—钨—石墨—白云母成矿带(Ⅲ-16)的一小部分。

本区位于华北陆块北缘中西段,是内蒙古矿产资源重要的产出地区之一,并具有一定的找矿潜力。在研究区内包括狼山—渣尔泰山铅—锌—金—铁—铜—铂—镍(Ⅳ-35)和白云鄂博—商都金—铁—钨—稀土—铜—镍—铂(Ⅳ-36)2个Ⅳ级成矿亚带。

(1)狼山—渣尔泰山铅—锌—金—铁—铜—铂—镍成矿亚带(Ⅳ-35)

本区北与索伦山—锡林浩特成矿带西段和白云鄂博—商都成矿带相邻,南与乌拉山—集宁成矿带相邻。本区是华北陆块太古宙、古元古代基底于 1800Ma 左右发生裂解而形成的中新元古代巨型裂陷槽。在狼山—渣尔泰裂谷系(裂陷海槽)中发育巨厚的,由浅变质石英岩、粉砂质板岩、板岩和白云岩组成的浅海相类复理石建造,局部夹中基性火山岩、凝灰岩,并普遍发育喷气沉积成因的燧石夹层和条带,在该裂谷系中已找到 5 处大型 Sedex 型多金属块状硫化物矿床,自西向东依次是霍各乞铜铅锌矿床、炭窑口铜铅锌矿床、东升庙铅锌铜矿床、山片沟铅锌矿床和甲生盘铅锌矿床。该类矿床成矿时代为中元古代,但华力西期辉长—闪长岩体对矿体局部有明显的富集改造作用。东升庙大型矿床具有多阶段成矿特点,矿床的形成主要由沉积向喷流热液沉积过渡。矿床成因类型属海底喷流沉积—弱改造型矿床,形成于中元古代。

矿体产于不同层位,但含矿岩系多为不纯的白云质灰岩、炭质板岩、暗色条带石英岩,特别是板岩与白云质灰岩互层反复出现时容矿最佳^[1-4,131]。岩相古地理资料表明^[132],裂陷槽由一系列受不同级别同生断裂控制的规模不一的断陷盆地组成,而且在三级断陷盆地中发生喷流沉积成矿作用。800Ma 左右晋宁运动裂陷槽闭合,渣尔泰山群构成华北陆块的准盖层。古亚洲洋的俯冲碰撞作用,导致本区发生构造岩浆活化作用,分布有加里东期和华力西期花岗质岩浆侵入体,华力西期花岗岩与铜、铁成矿密切相关,中生代形成受断裂控制的近东西向和北东向展布的断陷盆地,同时有印支期和燕山期花岗

质岩类侵位。本区有规模较大的Au、Pb、Zn等成矿元素的地球化学块体,指示本区是这些矿种的找矿潜力区。从霍各乞矿床($\text{Cu}/\text{Zn}=0.80$)和炭窑口矿床($\text{Cu}/\text{Zn}=0.42$)含铜较多、东升庙矿床($\text{Cu}/\text{Zn}=0.01$)含铜很少,到山片沟和甲生盘矿床不含铜这一金属分带特征,推测狼山-渣尔泰裂谷系之基底北薄(陆缘海槽)南厚(陆内裂陷槽),控制裂谷系之同生断裂切割深度由北向南、由西向东减小。

在研究区内包含霍各气-东升庙铜、铁、硫、铅、锌(V-1)、对门山-甲生盘铁、硫、铅、锌(V-2)和书记沟-西乌兰不浪铁金(V-3)3个V级成矿远景区。

(2)白云鄂博-商都金-铁-铌-稀土-铜-镍-铂成矿亚带(IV-36)

本区北以华北陆块北缘断裂与Sulinheer-白乃庙-锡林浩特成矿带为邻,南以乌拉特中旗-石崩-合教-三合明-集宁断裂为界。华北陆块北缘西段的中、新元古代狼山-白云鄂博裂谷系最早由王楫等^[133]提出,在白云鄂博巨型裂谷/裂陷海槽中,发育厚达9000m的石英砂岩、板岩、喷溢沉积碳酸岩夹碱性火山岩。岩相古地理研究表明^[132],裂槽由受断裂控制、规模不一的断陷盆地构成,在三级断陷盆地中发生喷流沉积形成了白云鄂博超大型铁、铌、稀土矿床。稀土、铌和铁矿产于东西长约18km、南北宽2~3km的碳酸岩浆喷发沉积的白云岩内,形成世界级的超大型矿床。关于白云鄂博矿床的成因有多种认识,主要有沉积变质说、热液交代说、喷流沉积说、碳酸岩岩浆说、多成因说等^[134],尽管沉积变质说、热液交代说、喷流沉积说都有成矿事实可以证明,但这些现象或认识不一定是白云鄂博矿床成矿的主导因素或关键因素。随着国内外许多稀土金属矿床成因上与碳酸岩有关的报道愈来愈多,目前接受碳酸岩岩浆成因说的学者也愈来愈多^[134-136],在碳酸岩岩浆阶段,在其导致的蚀变围岩(霓长岩)中及晚期的热液阶段都有稀土、铌、铁等的富集^[136]。该区在早、晚古生代时受到北侧兴蒙造山带的影响,有加里东期和华力西期花岗质岩浆侵位,带来少量成矿元素和挥发组分,尤其加里东期对白云鄂博矿床进行的热液叠加改造较强^[1-4,131,136]。800Ma晋宁运动裂陷槽闭合,白云鄂博群成为华北陆块的准盖层。本区加里东期深部成矿流体活动使中新元古代形成的矿体受到叠加改造。晚泥盆世早期,北侧古亚

洲洋闭合造山成陆,本区有较强烈的华力西期花岗质岩浆侵位。中生代受滨西太平洋构造域的影响,形成断陷盆地,其中有基性-酸性火山喷发活动,同时发育有印支期和燕山期花岗岩体,并发生金、钨的矿化作用。本区有较大规模的金、铅、钼地球化学块体及一定规模的钨地球化学块体,因此,本区亦具有较大的多金属矿找矿潜力。本区的岩浆型铜镍矿床主要分布在华北陆块北缘,与深大断裂密切相关,为与基性-超基性侵入岩有关的深部熔离-贯入型矿床,以克布、黄花滩、小南山、温更矿床为代表,铜镍常共生,且多数以镍为主,少数以铜为主,并常伴生有铂、钴、金、银等多种有用组分。李俊建等^③采用LA-ICP-MS锆石U-Pb法,测得克布辉长橄辉岩锆石U-Pb年龄为 $258.1\pm 1.8\text{Ma}$ 、黄花滩赋矿基性-超基性岩年龄为 $262.4\pm 1.1\text{Ma}$;赵磊等^[137]获得温更地区辉长岩体SHRIMP锆石U-Pb年龄为 $269\pm 8\text{Ma}$ 。因此,这一晚古生代超基性-基性岩浆活动时代主要集中在中二叠世(269~258Ma),成因上可能与晚华力西期-印支期兴蒙造山带形成后的拉张作用有关。

该区包含白云鄂博铁-稀土-金(V-1)、黄花滩-小南山铜-镍-铂(V-2)、老羊壕-白石头洼铁-金-钨-铜-镍(V-3)和三合明-伊胡赛铁-金-钨(V-4)4个V级成矿远景区。

3 结 论

(1)本文首次将中蒙边界地区分属于中国和蒙古的成矿区带进行了无缝对接。提出I级成矿域隶属于古亚洲成矿域和滨太平洋成矿域。

(2)古亚洲成矿域可划分为阿尔泰、准噶尔-南蒙古和塔里木3个成矿省、12成矿带和21个成矿亚带。滨太平洋成矿域划分出大兴安岭和华北陆块2个成矿省、4个成矿带和15个成矿亚带。为该区成矿规律研究提供了重要依据。

(3)提出蒙古的欧玉陶勒盖-查干苏布尔嘎大型-超大型斑岩型矿床成矿亚带向西与中国的东天山-北山成矿亚带相连,而不是与中国的二连-东乌旗成矿亚带相连,为该区寻找同类型斑岩型矿床指明了方向。

致谢:本文是在中国地质大学(北京)翟裕生院士鼓励下,并承蒙中国地质调查局肖庆辉研究员、叶天竺教授级高工,天津地质调查中心沈保丰、陆

松年研究员等专家和领导的指导和帮助,由中蒙政府间第一个地学合作项目“中蒙边界地区系列地质图件编制及相关地质研究”项目组成员通力合作完成的;沈保丰先生审阅了全文并提出了宝贵的修改意见,在此表示诚挚的谢意。

参考文献

- [1]徐志刚,陈毓川,王登红,等.中国成矿区带划分方案[M].北京:地质出版社,2008:1-11.
- [2]陈毓川.中国主要成矿区带矿产资源远景评价[M].北京:地质出版社,1999.
- [3]陈毓川,王登红,朱裕生,等.中国成矿体系与区域成矿评价[M].北京:地质出版社,2007.
- [4]陈毓川,王登红.重要矿产和区域成矿规律研究技术要求[M].北京:地质出版社,2010:1-179.
- [5]董连慧,冯京,刘德权,等.新疆成矿单元划分方案研究[J].新疆地质,2010,28(1):1-15.
- [6]王登红,陈毓川,李红阳,等.新疆阿尔泰造山带成矿规律成矿系列研究进展[J].地质论评,1998,44(1):62.
- [7]李俊建,张峰,任军平,等.中蒙边界地区构造单元划分[J].地质通报,2015,34(4):636-662.
- [8]潘桂堂,肖庆辉,陆松年,等.中国大地构造单元划分[J].中国地质,2009,36(1):1-28.
- [9]叶天竺,张智勇,肖庆辉,等.成矿地质背景研究技术要求[M].北京:地质出版社,2010:4-9.
- [10]李春昱,王荃.亚洲大地构造图说明书[M].北京:地质出版社,1982.
- [11]Dejidmaa G, Badarch G. Summary of preaccretionary and accretionary metallogenic belts of Mongolia[C]//Seltmann R, Gerel O, Kirwin D J. Geodynamics and Metallogeny of Mongolia with a Special Emphasis on Copper and Gold Deposits. IAGOD Guidebook Series 11, London, 2005: 25-30.
- [12]Dejidmaa G. Mineral Resources and Metallogenic Belts in southern Mongolia[C]//Seltmann R, Gerel O, Kirwin D J. Geodynamics and Metallogeny of Mongolia with a Special Emphasis on Copper and Gold Deposits. IAGOD Guidebook Series 11, London, 2005: 149-153.
- [13]Dejidmaa G, Dorjgotov D, Gerel O, et al. Preliminary description of mineral deposit models (types) for Mongolia[C]//Seltmann R, Gerel O, Kirwin D J. Geodynamics and Metallogeny of Mongolia with a Special Emphasis on Copper and Gold Deposits. IAGOD Guidebook Series 11, London, 2005: 31-52.
- [14]Tomurtogoo O, Badarch G. Stratigraphy of Mongolia. Geological map of Mongolia (at the Scale 1:1000000) and its explanatory note[M]. Mineral Resources Authority of Mongolia and Mongolian Academy of Sciences (MRAM-MAS). Ulaanbaatar, 1998: 4-20.
- [15]Tomurtogoo O. Tectonics and structural evolution of Mongolia. Geodynamic and metallogeny of Mongolia with a special emphasis on copper and gold deposits[C]//Seltmann R, Gerel O, Kirwin D J. Geodynamics and Metallogeny of Mongolia with a Special Emphasis on Copper and Gold Deposits. IAGOD Guidebook Series 11, London, 2005: 5-12.
- [16]Tomurtogoo O. Tectonic framework of Mongolia-- Structural and Tectonic Correlation Across the Central Asian Orogenic Collage: Implications for Continental Growth and Intracontinental Deformation[M]. Mongolian University of Science and Tectonology Press: Ulaanbaatar, 2006: 18-20.
- [17]Badarch G, Cunningham W D, Windley B F. A new terrane subdivision for Mongolia: implications for the Phanerozoic crustal growth of central Asia[J]. J. Asian Earth Sci., 2002, 20: 87-100.
- [18]Badarch G. Tectonics of South Mongolia[C]//Seltmann R, Gerel O, Kirwin D J. Geodynamics and Metallogeny of Mongolia with a Special Emphasis on Copper and Gold Deposits. IAGOD Guidebook Series 11, London, 2005: 119-130.
- [19]Badarch G, Badamgarav J, Tungalag N. Accreted terranes and mineral deposits of Mongolia. 1st international symposium on the state-of-the-art mineral resources and its technical cooperation in north east region of Asia[J]. Daejeon, Republic of Korea, 2005, 27/29: 46-60.
- [20]李俊建,韩九曦,唐文龙,等.蒙古地质矿产概况[M].天津:天津科学技术出版社,2013:1-273.
- [21]李俊建,刘新秒.蒙古地质矿产研究进展[M].天津:天津科学技术出版社,2013:1-265.
- [22]Dergunov A B. The Caledonides of the Central Asia[J]. Transactions, 1989, 437: 192.
- [23]Voznesenskaya T A, Ruzhentsev S V, Badarch G. The middle Paleozoic basalts of Transaltai zone of Mongolia[J]. Izvestiya Akademii Nauk SSSR, Geology Series, 1986, 9: 37-52.
- [24]周涛发,袁峰,岳书仓,等.新疆阿克提什坎金矿床石英⁴⁰Ar/³⁹Ar快中子活化年龄及其意义[J].地质论评,2000,46(5):467-471.
- [25]Borensenko A S, Vladimirov A G, Obolenskiy V A, et al. Geological structure, magmatism and metallogeny of Altai. Magmatism and metallogeny of the Altai and Adjacent Large Igneous Provinces[J]. London, 2007: 9-17.
- [26]Borensenko A S, Pavlova G G, Goverdovskiy V A, et al. Silver-antimony mineralization of SE Altai and NW Mongolia. Magmatism and metallogeny of the Altai and Adjacent Large Igneous Provinces[J]. London, 2007: 18-59.
- [27]刘锋,张志欣,李强,等.新疆可可托海3号伟晶岩脉成岩时代的限定:来自辉钼矿Re-Os定年的证据[J].矿床地质,2012,31(5):1111-1118.
- [28]杨富全,张志欣,屈文俊,等.新疆阿尔泰蒙库铁矿床的辉钼矿Re-Os年龄及意义[J].地质学报,2011,85(3):396-404.
- [29]董永观,张传林,周刚,等.新疆阿尔泰成矿带可可托勒花岗岩体锆石LA-ICP-MS U-Pb年龄及其地质意义[J].资源调查与环境,2012,33(1):16-21.
- [30]刘锋,杨富全,李延河,等.新疆阿勒泰市阿巴宫铁矿磷灰石微量和稀土元素特征及矿床成因探讨[J].矿床地质,2009,28(3):251-264.
- [31]王琳琳,徐九华,孙丰月,等.新疆阿尔泰萨热阔布-铁木尔特地区两类矿化及成因[J].世界地质,2012,31(1):100-112.
- [32]杨蕊,徐九华,林龙华,等.阿勒泰恰夏铜矿床的富CO₂流体与矿床成因[J].矿床地质,2013,32(2):323-336.

- [33]李香仁,刘锋,杨富全.阿尔泰克因布拉克铜锌矿区二云母正长花岗岩成岩时代及地质意义[J].新疆地质,2012,30(1):5-11.
- [34]杨富全,李凤鸣,秦纪华,等.新疆阿舍勒铜锌矿区(潜)火山岩LA-MC-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及其地质意义[J].矿床地质,2013,32(5):869-883.
- [35]刘悟辉,廖启林,戴塔根,等.阿尔泰南缘与韧性剪切带有关金矿床成矿特征浅析[J].地质找矿论丛,1999,14(3):42-49.
- [36]闫升好,陈文,王义天,等.新疆厄尔齐斯金成矿带的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄及其地质意义[J].地质学报,2004,78(4):500-506.
- [37]陈华勇,陈衍景,刘玉琳.新疆额尔齐斯金矿带的成矿作用及其与中亚型造山作用的关系[J].中国科学(D辑),2000,30(增刊):38-44.
- [38]沈远超,申萍,李光明,等.新疆额尔齐斯金矿带构造控矿规律研究[J].矿床地质,2007,26(1):33-42.
- [39]韩春明,肖文交,赵国春,等.新疆喀拉通克铜镍硫化物矿床Re-Os 同位素研究及其地质意义[J].岩石学报,2006,22(1):163-170.
- [40]相鹏,张连昌,吴华英,等.新疆青河卡拉先格尔铜矿带II-III 矿区含矿斑岩锆石年龄及地质意义[J].岩石学报,2009,25(6):1474-1483.
- [41]杨富全,张志欣,刘国仁,等.新疆准噶尔北缘玉勒肯哈腊苏斑岩铜矿床年代学研究[J].岩石学报,2012,28(7):2029-2042.
- [42]蔡红,李华芹,陈富文.准噶尔盆地西北缘阔尔真阔腊金矿床成矿作用年代学及矿床成因研究[J].华南地质与矿产,2000,4:19-22.
- [43]曾庆栋,沈远超,刘铁兵,等.新疆北部布尔克斯岱金矿床 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 同位素年代学研究[J].吉林大学学报(地球科学版),2005,35(1):12-16.
- [44]张丽敏,李永军,孙勇,等.西准噶尔萨尔托海花岗岩株锆石U-Pb 年代学及地质意义[J].新疆地质,2014,32(1):35-41.
- [45]刘希军,许继峰,王树庆,等.新疆西准噶尔达拉布特蛇绿岩E-MORB 型镁铁质岩的地球化学、年代学及其地质意义[J].岩石学报,2009,25(6):1373-1389.
- [46]董连慧,朱志新,屈迅,等.新疆蛇绿岩带的分布、特征及研究新进展[J].岩石学报,2010,26(10):2894-2904.
- [47]王登红,李华芹,应立娟,等.新疆伊吾琼河坝地区铜、金矿成矿时代及其找矿前景[J].矿床地质,2009,28(1):73-82.
- [48]张国新,胡霁琴,张鸿斌,等.新疆苏吉泉石墨矿床成因的碳同位素证据[J].地球化学,1996,25(4):379-385.
- [49]苏玉平,唐红峰,刘丛强,等.新疆东准噶尔苏吉泉铝质A型花岗岩的确立及其初步研究[J].岩石矿物学杂志,2006,25(3):175-184.
- [50]李华芹,陈富文,路远发,等.新疆东部印支期成岩成矿年代学新证据[J].地质学报,2005,79(2):266.
- [51]秦克章,方同辉,王书来,等.东天山板块构造分区、演化与成矿地质背景研究[J].新疆地质,2002,20(4):302-330.
- [52]芮宗瑶,刘玉琳,王龙生,等.新疆东天山斑岩铜矿带及其大地构造格局[J].地质学报,2002,76(1):83-94.
- [53]张连昌,秦克章,英基丰,等.东天山土屋-延东斑岩铜矿带埃达克岩及其与成矿作用的关系[J].岩石学报,2004,29(2):259-268.
- [54]张达玉,周涛发,袁峰,等.新疆东天山地区延西铜矿床的地球化学、成矿年代学及其地质意义[J].岩石学报,2010,26(11):3327-3338.
- [55]陈富文,李华芹,陈毓川,等.东天山土屋-延东斑岩铜矿田成岩时代精确测定及其地质意义[J].地质学报,2005,79(2):247-254.
- [56]刘德权,陈毓川,王登红,等.土屋-延东铜钼矿田与成矿有关问题的讨论[J].矿床地质,2003,22(4):334-344.
- [57]黄超勇,吴邦友,翁纪昌,等.天山东戈壁特大型钼矿床的发现及意义[J].地质调查与研究,2013,34(4):280-289.
- [58]李彤泰.新疆哈密市黄山基性-超基性岩带铜镍矿床地质特征及矿床成因[J].西北地质,2011,44(1):54-60.
- [59]毛景文,杨建民,屈文俊,等.新疆黄山东铜镍硫化物矿床Re-Os 同位素测定及其地球动力学意义[J].矿床地质,2002,21(4):323-330.
- [60]李月臣,赵国春,屈文俊,等.新疆香山铜镍硫化物矿床Re-Os 同位素测定[J].岩石学报,2006,22(1):245-251.
- [61]韩宝福,李建清,宋彪,等.新疆喀拉通克和黄山东含铜镍矿镁铁-超镁铁杂岩体的SHRIMP 锆石U-Pb 年龄及其地质意义[J].科学通报,2004,49(22):2323-2328.
- [62]Lamb M A, Badarch G. Paleozoic sedimentary basins and volcanic arc systems of southern Mongolia: new geochemical and petrographic constraints[C]//Hendrix M S, Davis G A. Geological Society of America (GSA), Boulder, CO, 2001: 117-149.
- [63]刘益康,徐叶兵.蒙古Oyu Tolgoi 斑岩铜金矿的勘查[J].地质与勘探,2003,39(1):1-4.
- [64]Kirwin D J, Wilson C C, Turmagnai D, et al. Exploration history, geology and mineralization of the Kharmagtai gold-copper porphyry district, South Gobi region, Mongolia[C]//Seltmann R, Gerel O, Kirwin D J. Geodynamics and Metallogeny of Mongolia with a Special Emphasis on Copper and Gold Deposits. IAGOD Guidebook Series 11, London, 2005: 175-192.
- [65]Gerel O, Munkhtsengel B, Enkhtuvshin H, et al. Mushgai Khudag and Bayan Khoshuu volcanic-plutonic alkaline complexes with REE \pm Ta, Nb, Fe carbonatite mineralization[C]//Seltmann R, Gerel O, Kirwin D J. Geodynamics and Metallogeny of Mongolia with a Special Emphasis on Copper and Gold Deposits. IAGOD Guidebook Series 11, London, 2005: 215-221.
- [66]Kirwin D J, Forster C N, Kavalieris L, et al. The Oyu Tolgoi copper-gold porphyry deposits, South Gobi, Mongolia[C]//Seltmann R, Gerel O, Kirwin D J. Geodynamics and Metallogeny of Mongolia with a Special Emphasis on Copper and Gold Deposits. IAGOD Guidebook Series 11, London, 2005: 5-12.
- [67]Wainwright A J, Tosdal R M, Wooden J L, et al. U-Pb (zircon) and geochemical constraints on the age, origin, and evolution of Paleozoic arc magmas in the Oyu Tolgoi porphyry Cu-Au district, southern Mongolia[J]. Gondwana Research, 2011, 19: 764-787.
- [68]Watanabe Y, Stein H J. Re-Os ages for the Erdenet and Tsagaan-Suvarga porphyry Cu-Mo deposits, Mongolia, and tectonic implications[J]. Economic geology, 2000, 95(7): 1537-1542.
- [69]Batkishig B, Iizumi S. Petrographical, petrochemical and geochronological study of the Carboniferous shuteen complex in South Mongolia[J]. Geology, 2001, 2: 135-145.
- [70]Bignall G, Batkishig B, Tsuchiya N, et al. The Shuteen Cu-Au porphyry deposits[C]//Seltmann R, Gerel O, Kirwin D J. Geody-

- namics and Metallogeny of Mongolia with a Special Emphasis on Copper and Gold Deposits. IAGOD Guidebook Series 11, London, 2005: 193–202.
- [71] 聂凤军, 江思宏, 刘妍, 等. 内蒙古黑鹰山富铁矿床磷灰石钐-钕同位素年龄及其地质意义[J]. 矿床地质, 2005, 24(2): 134–140.
- [72] 杨岳清, 赵金花, 孟贵祥, 等. 内蒙古北山地区斑岩型钼矿的成矿时代和形成环境探讨[J]. 地球学报, 2013, 34(4): 401–412.
- [73] 聂凤军, 屈文俊, 刘妍, 等. 内蒙古额勒根斑岩型(铜)矿化区辉钼矿-钼-钨同位素年龄及地质意义[J]. 矿床地质, 2005, 24(6): 638–646.
- [74] 张雨莲, 许荣科, 陕亮, 等. 内蒙古北山地区小狐狸山钼矿辉钼矿 Re-Os 年龄和 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄[J]. 地质通报, 2012, 31(2/3): 469–475.
- [75] 聂凤军, 江思宏, 赵省民, 等. 内蒙古流沙山(钼)矿床地质特征及矿床类型的划分[J]. 地质地球化学, 2002, 30(1): 1–7.
- [76] 杨合群, 赵国斌, 李文明, 等. 内蒙古盘陀山-鹰嘴红山含钨花岗岩带形成时代及源区示踪[J]. 地质与勘探, 2010, 46(3): 407–413.
- [77] 聂凤军, 江思宏, 刘妍, 等. 阿拉善东七一大型萤石矿床萤石钐-钕同位素年龄及地质意义[J]. 矿床地质, 2002, 21(1): 10–15.
- [78] Munkhtsengel B, Iizumi S. Petrology and geochemistry of the Lugina gol nepheline syenite complex, South Mongolia[C]//Seltmann R, Gerel O, Kirwin D J. Geodynamics and Metallogeny of Mongolia with a Special Emphasis on Copper and Gold Deposits. IAGOD Guidebook Series 11, London, 2005: 203–214.
- [79] 李俊建, 骆辉, 周学武, 等. 内蒙古阿拉善呼伦西白金矿的成矿时代[J]. 现代地质, 2004, 18(2): 193–196.
- [80] 李俊建, 翟裕生, 桑海清, 等. 内蒙古阿拉善欧布拉格铜-金矿床的成矿时代[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2010, 29(4): 324–327.
- [81] 殷先明. 甘肃北山印支燕山期花岗岩成矿作用与找矿工作再研究[J]. 甘肃地质, 2008, 17(3): 1–5.
- [82] 左国朝, 何国琦. 北山板块构造及成矿规律[M]. 北京: 北京大学出版社, 1990: 1–209.
- [83] 王大为, 邹治平, 李绍雄. 甘肃婆婆泉铜矿成矿地质特征及矿床成因[J]. 西北地质科学, 1995, 16(1): 115–122.
- [84] 秦克章, 李慧民, 李伟实, 等. 内蒙古乌努格吐山斑岩铜钼矿床的成岩、成矿时代[J]. 地质评论, 1999, 45(2): 180–185.
- [85] 王登红, 陈郑辉, 陈毓川, 等. 我国重要矿产地成岩成矿年代学研究新数据[J]. 地质学报, 2010, 84(7): 1030–1040.
- [86] 余宏全, 李红红, 李进文, 等. 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, 2009, 83(10): 1456–1472.
- [87] 李诺, 陈衍景, 赖勇, 等. 内蒙古乌努格吐山斑岩铜钼矿床流体包裹体研究[J]. 岩石学报, 2007, 23(9): 2177–2188.
- [88] 康永建, 余宏全, 向安平, 等. 内蒙古八大关矿区印支期岩浆活动及其找矿意义[J]. 中国地质, 2014, 41(4): 1215–1225.
- [89] 张璟, 邵军, 鲍庆中, 等. 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, 2014, 41(4): 1124–1135.
- [90] М ельников В И, Долгор Я, Мазилон Е В, et al. Ullan lead-zinc deposit(Eastern Mongolia)[M]. Mongolia: Cojbalsan, 1996.
- [91] 郑宝军, 付国立. 内蒙古陈巴尔虎旗四五牧场金矿地质特征及成因探讨[J]. 地质找矿论丛, 2010, 25(1): 43–49.
- [92] 刘军, 毛景文, 武广, 等. 大兴安岭北部岔路口斑岩钼矿床岩浆岩锆石 U-Pb 年龄及其地质意义[J]. 地质学报, 2013, 87(2): 208–226.
- [93] 聂凤军, 孙振江, 李超, 等. 黑龙江岔路口钼多金属矿床辉钼矿-钼-钨同位素年龄及地质意义[J]. 矿床地质, 2011, 30(5): 828–836.
- [94] 王召林, 金浚, 李占龙, 等. 大兴安岭中北段莫尔道嘎地区含矿斑岩的锆石 U-Pb 年龄、Hf 同位素特征及成矿意义[J]. 岩石矿物学杂志, 2010, 29(6): 796–810.
- [95] Tang J, Xu W L, Wang F, et al. Geochronology and geochemistry of Early-Middle Triassic magmatism in the Erguna Massif, NE China: Constraints on the tectonic evolution of the Mongol-Okhotsk Ocean[J]. Lithos, 2014, 184/187: 1–16.
- [96] 余宏全, 李进文, 向安平, 等. 大兴安岭中北段原岩锆石 U-Pb 测年及其与区域构造演化关系[J]. 岩石学报, 2012, 28(2): 571–594.
- [97] 聂凤军, 胡朋, 江思宏, 等. 中蒙边境沙麦-玉古兹尔地区钨和钼(钼)矿床地质特征、形成时代和成因机理[J]. 地球学报, 2010, 31(3): 383–394.
- [98] 陶继雄, 钟仁, 赵月明, 等. 内蒙古苏尼特左旗乌兰德钼(铜)矿床地质特征及找矿标志[J]. 地球学报, 2010, 31(3): 413–422.
- [99] 刘翠, 孔维琼, 邓晋福, 等. 内蒙古乌日尼图钼矿区细粒花岗岩的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年及对钼矿成矿时代的约束[J]. 矿床地质, 2010, 29(增刊): 243.
- [100] 白珏, 张可. 内蒙古乌日尼图铜钼矿床辉钼矿-钼-钨同位素定年及其地质意义[J]. 矿产勘查, 2013, 4(6): 471–477.
- [101] 聂凤军, 张万益, 杜安道, 等. 内蒙古朝不楞砂卡岩型铁多金属矿床辉钼矿-钼-钨同位素年龄及地质意义[J]. 地球学报, 2007, 28(4): 315–323.
- [102] 包志伟, 陈森煌, 张桢堂. 内蒙古贺根山地区蛇绿岩稀土元素和 Sm-Nd 同位素研究[J]. 地球化学, 1994, 23(4): 339–349.
- [103] Miao L C, Fan W M, Liu D Y, et al. Geochronology and geochemistry of the Hegenshan ophiolitic complex: implications for late-stage tectonic evolution of the Inner Mongolia-Daxinganling orogenic belt, China [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2008, 32: 348–370.
- [104] Jian P, Kronerv A, Windley B F, et al. Carboniferous and Cretaceous mafic-ultramafic massifs in Inner Mongolia (China): A SHRIMP zircon and geochemical study of the previously presumed integral “Hegenshan ophiolite” [J]. Lithos, 2012, 142/143: 48–65.
- [105] 刘建峰. 内蒙古林西—东乌旗地区晚古生代岩浆作用及其对区域构造演化的制约[D]. 吉林大学博士学位论文, 2009.
- [106] Demoux A, Kröner A, Liu D Y, et al. Precambrian crystalline basement in southern Mongolia as revealed by SHRIMP zircon dating[J]. International Journal of Earth Sciences, 2009, 98(6): 1365–1380.
- [107] 聂凤军, 许东青, 江思宏, 等. 内蒙古苏莫查干敖包特大型萤石矿床地质特征及成因[J]. 矿床地质, 2008, 27(1): 1–13.
- [108] 陶继雄, 苏茂荣, 宝音乌力吉, 等. 内蒙古达尔罕茂明安联合旗满都拉地区索伦山蛇绿混杂岩的特征及构造意义[J]. 地质通报, 2004, 23(12): 1238–1242.
- [109] Jian P, Liu D Y, Kröner A, et al. Evolution of a Permian intraoceanic

- anic arc-trench system in the Solonker suture zone, Central Asian Orogenic Belt, China and Mongolia[J]. Lithos. 2010, 118: 169-190.
- [110] Jian P, Liu D Y, Kröner A, et al. Time scale of an early to mid-Paleozoic orogenic cycle of the long-lived Central Asian Orogenic Belt, Inner Mongolia of China: Implications for continental growth[J]. Lithos, 2008, 101(3/4): 233-259.
- [111] 李承东, 冉焱, 赵利刚, 等. 温都尔庙群锆石的 LA-MC-ICPMS U-Pb 年龄及构造意义[J]. 岩石学报, 2012, 28(11): 3705-3714.
- [112] Nie F J, Zhang H T, Chen Q, et al. The zircon U-Pb age of metamorphosed basic volcanic rocks from the Bainaimiao group in Inner Mongolia[J]. Chinese Science Bulletin, 1991, 36(9): 738-742.
- [113] 李文博, 陈衍景, 赖勇, 等. 内蒙古白乃庙铜金矿床的成矿时代和成矿构造背景[J]. 岩石学报, 2008, 24(4): 890-898.
- [114] 赵云, 王建平, 杨增海, 等. 内蒙古白乃庙铜矿床辉钼矿铼-钨同位素定年及其地质意义[J]. 地学前缘, 2013, 20(3): 361-368.
- [115] 李俊建, 党智财, 赵泽霖, 等. 内蒙古白乃庙铜矿床成矿时代的研究[J]. 地质学报, 2015, 89(8): 1148-1157.
- [116] 聂凤军, 裴荣富, 吴良士. 内蒙古别鲁乌图晚古生代火山岩 Sm-Nd 同位素研究[J]. 岩石矿物学杂志, 1994, 13(4): 289-296.
- [117] 刘军, 武广, 李铁刚, 等. 内蒙古镶黄旗哈达庙地区晚古生代中酸性侵入岩的年代学、地球化学、Sr-Nd 同位素组成及其地质意义[J]. 岩石学报, 2014, 30(1): 95-108.
- [118] 张文钊. 内蒙古毕力赫大型斑岩型金矿床: 地质特征、发现过程与启示意义[D]. 中国地质大学博士学位论文, 2010.
- [119] 卿敏, 葛良胜, 唐明国, 等. 内蒙古苏尼特右旗毕力赫大型斑岩型金矿床辉钼矿 Re-Os 同位素年龄及其地质意义[J]. 矿床地质, 2011, 30(1): 11-20.
- [120] 路彦明, 潘懋, 卿敏, 等. 内蒙古毕力赫含金花岗岩类侵入岩锆石 U-Pb 年龄及地质意义[J]. 岩石学报, 2012, 28(3): 993-1004.
- [121] 李述靖, 高德榛. 内蒙古苏尼特左旗地区若干地质构造新发现及其构造属性的初步探讨[J]. 现代地质, 1995, 9(2): 130-141.
- [122] 聂凤军, 裴荣富, 吴良士. 内蒙古温都尔庙变沉积火山岩 Sm-Nd 同位素研究[J]. 科学通报, 1994, 39: 1211-1214.
- [123] 张臣, 李茂松, 何国琦. 内蒙古乌拉乌苏—德言其庙地区角闪岩相变质带 Sm-Nd 同位素等时线年龄及其意义[J]. 地质科学, 1996, 31(1): 65-70.
- [124] 张臣, 吴泰然. 内蒙古温都尔庙群变质基性火山岩 Sm-Nd、Rb-Sr 同位素年代研究[J]. 地质科学, 1998, 33(1): 25-30.
- [125] 唐克东, 颜竹筠, 张允平, 等. 论温都尔庙群及其构造意义[C]//中国北方板块构造文集1. 北京: 地质出版社, 1983: 186-208.
- [126] 徐备. 内蒙古北部温都尔庙群北带沉积环境及构造意义[J]. 地质科学, 1998, 33(4): 406-411.
- [127] 吴泰然, 张臣, 万基虎. 内蒙古温都尔庙地区温都尔庙群的形成环境和构造意义[J]. 高校地质学报, 1998, 4(2): 168-176.
- [128] 石得凤. 内蒙古锡林浩特市毛登多金属矿区地质特征及成矿模式研究硕士论文[D]. 中南大学硕士学位论文, 2007: 1-81.
- [129] 鲍庆中, 张长捷, 吴之理, 等. 内蒙古白音高勒地区石炭纪石英闪长岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年代学及其意义[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2007, 37(1): 15-23.
- [130] 刘建明, 张锐, 张庆洲. 大兴安岭地区的区域成矿特征[J]. 地学前缘, 2004, 11(1): 269-277.
- [131] 李俊建主编. 华北陆块主要成矿区带成矿规律和找矿方向[M]. 天津: 天津科学技术出版社, 2006.
- [132] 谭琳, 朱坤玉, 周盛德, 等. 内蒙古渣尔泰群山岩相古地理[M]. 北京: 地质出版社, 1991.
- [133] 王楫, 李双庆, 王保良, 等. 狼山—白云鄂博裂谷系[M]. 北京: 北京大学出版社, 1992: 1-132.
- [134] 袁忠信. 再谈白云鄂博矿床的成矿时代和矿床成因[J]. 地质学报, 2012, 86(5): 683-686.
- [135] 郝梓国, 王希斌, 李震, 等. 白云鄂博碳酸岩型 REE-Nb-Fe 矿床——一个罕见的中元古代破火山机构成岩成矿实例[J]. 地质学报, 2002, 76(4): 525-540.
- [136] 王凯怡, 杨奎峰, 范宏瑞, 等. 白云鄂博矿床研究若干问题的探讨[J]. 地质学报, 2012, 86(5): 687-699.
- [137] 赵磊, 吴泰然. 内蒙古乌拉特中旗温更辉长岩类的岩石学、地球化学特征及其构造意义[J]. 北京大学学报, 2008, 44(2): 201-211.
- ① 董连慧, 冯京, 杨在峰, 等. 新疆维吾尔自治区重要矿种区域成矿规律成果报告. 2013.
- ② 邵和明, 张履桥. 内蒙古自治区主要成矿区(带)和成矿系列. 2002.
- ③ Stein H J. Re-Os data and ages for moiybdenites from Mongolia and China. Report to Ivanhoe Mines Limited. 2003.
- ④ 李俊建, 唐文龙, 付超, 等. 中蒙边界地区重要成矿带成矿规律对比研究报告. 2015.
- ⑤ 李俊建, 孙正平, 骆辉, 等. 内蒙古阿拉善地区成矿规律和找矿方向综合研究报告. 2003.
- ⑥ 杨合群. 北山成矿带重大疑难问题研究报告. 2008.
- ⑦ 李俊建, 张连营, 刘晓阳, 等. 内蒙古二连—东乌旗成矿带铜矿找矿方向研究报告. 2005.
- ⑧ 许立权, 张彤, 张明, 等. 内蒙古自治区重要矿产区域成矿规律研究成果报告. 2013.
- ⑨ 沈阳地质矿产研究所. L50C004003 西乌珠穆沁旗幅 1:25 万区域地质调查报告. 2005.