

# 中蒙俄经济走廊地质矿产特征及找矿潜力

张福祥<sup>1,2</sup>, 赵 莎<sup>3</sup>, 王丰翔<sup>1,2</sup>, 刘 成<sup>4</sup>, 聂凤军<sup>2</sup>, 赵元艺<sup>2</sup>

ZHANG Fuxiang<sup>1,2</sup>, ZHAO Sha<sup>3</sup>, WANG Fengxiang<sup>1,2</sup>, LIU Cheng<sup>2,4</sup>, NIE Fengjun<sup>2</sup>, ZHAO Yuanyi<sup>2</sup>

1. 河北地质大学, 河北 石家庄 050031;

2. 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037;

3. 河北地质职工大学地质系, 河北 石家庄 050081;

4. 河北省地矿局国土资源勘查中心, 河北 石家庄 050081

1. College of Resource Science, Hebei GEO University, Shijiazhuang 050031, Hebei, China;

2. Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China;

3. Geological staff University of Hebei Province, Shijiazhuang 050081, Hebei, China;

4. The Center of Land and Resource Exploration, Hebei Bureau of Geology and Mineral Exploration, Shijiazhuang 050081, Hebei, China

**摘要:** 通过总结中蒙俄经济走廊产出的 198 个大型-超大型(或代表性)矿床的产出环境、地质特征和矿产类型,以及走廊腹地矿产资源的分布规律和找矿潜力认为,中蒙俄经济走廊可划分为中朝成矿段、乌拉尔-蒙古成矿段、西伯利亚成矿段和欧洲成矿段。其中,中朝和乌拉尔-蒙古成矿段以产出大型-超大型铜-金、银、铅锌和锡矿床为特征,欧洲段以镍-铜、铁、金和铅-锌矿床(点)为特征,西伯利亚成矿段则以富产镍-铜-铂族元素和钨多金属及金刚石矿床为特征。太古宙-新生代,该区不同构造单元经历了 6 次主要的构造演化及成矿时期,主要有前寒武纪的 BIF 型铁矿、加里东期的斑岩型铜-金、岩浆型钨钛磁铁矿和古老与侵入体有关的热液脉型金矿、华力西期的钨-锡多金属矿化、中生代金、银-铅-锌、钨锡等多金属的成矿大爆发、新生代岩浆热液矿床。走廊中东部优势矿种为铜、钼、金、银、铅-锌和金刚石,主攻矿床类型为斑岩型、热液脉型、低硫化浅成低温热液型、冲积型、海相火山岩型;西部优势矿种则为铁-铜、镍-铜、铅-锌,主攻矿床为 IOCG 型、斑岩型和热液脉型。

**关键词:** 矿产特征;成矿区带;找矿潜力;中蒙俄经济走廊;一带一路

**中图分类号:** P618.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-2552(2020)02/03-0365-22

Zhang F X, Zhao S, Wang F X, Liu C, Nie F J, Zhao Y Y. Geological characteristics and analysis of ore potential of China-Mongolia-Russia Economic Corridor. *Geological Bulletin of China*, 2020, 39(2/3): 365-386

**Abstract:** The purpose of this study is to enhance the knowledge of the distribution and acquire information on research and exploration of ore resources in the hinterland of the corridor. Preliminary study shows that China-Mongolia-Russia Economic Corridor can be divided into four metallogenic zones: Sino-Korea metallogenic zone, Ural-Mongolian metallogenic zone, Siberian metallogenic zone and European metallogenic zone. Among them, the Sino-Korean and Ural-Mongolian metallogenic belts are characterized by wide distribution of large-scale Cu-Au, Ag, Pb-Zn and Sn-polymetallic deposits, the European metallogenic zone is characterized by enrichment of Ni-Cu, Fe, Au and Pb-Zn deposits, and the Siberian metallogenic sections are characterized by wide distribution of the Ni-Cu-PGE, Nb-polymetalland diamond deposits. A study of ore-forming pedigree shows that the different tectonic units in this region mainly underwent six stages of crust evolution from the Archaean to the Cenozoic, corresponding to six periods of ore deposits:

收稿日期: 2019-03-21; 修订日期: 2019-09-17

资助项目: 中国地质调查局项目《“一带一路”矿产资源信息采集与综合研究项目》(编号: DD20160119)、《中蒙边境大型-特大型铜-金、铀和稀有金属矿集区对比研究》(编号: 12120115065904)、河北省自然科学基金项目(编号: D2019403015)、河北省高等学校科学技术研究项目(编号: ZD2019003)和河北省研究生示范课(编号: KCJSX2018089)

作者简介: 张福祥(1982-),男,讲师,从事矿产勘查和评价的教学和科研。E-mail: szlzf@hgu.edu.cn

通讯作者: 赵元艺(1966-),男,研究员,从事金属矿床地质和地球化学研究。E-mail: yuanyizhao2@sina.com

the TIF-type Fe-deposits formed in Precambrian, the porphyry Cu-Au and magmatic V-bearing titanomagnetite deposits formed in Caledonian, the hydrothermal vein-type Au deposits related to the intrusions, Sn-polymetal mineralization, Au, Ag-Pb-Zn, Sn-W and other polymetallic deposits formed in Yanshanian period and some hydrothermal deposits formed in Cenozoic. Main ore species in eastern and central part of the corridor are Cu, Mo, Au, Ag, Pb, Zn and diamond. The main types of deposits are porphyry, hydrothermal vein, LS epithermal, alluvial, and marine volcanic rock types, and main ore species in the western part of the corridor are Fe-Cu, Ni-Cu, Pb-Zn, with the main deposits being of IOCG, porphyry and hydrothermal vein types.

**Key words:** geological features; metallogenic zone; ore potential; China-Mongolia-Russia economic corridor; the Belt and Road

中蒙俄经济走廊是“一带一路”战略确定的六大经济走廊之一,区域成矿背景优越、资源潜力巨大、开发条件较好。该经济走廊主要涵盖中国、蒙古和俄罗斯三国,桥接的主要城市包括北京、天津、大连、哈尔滨、满洲里、乌兰巴托、伊尔库茨克、新西伯利亚、叶卡捷琳堡、莫斯科、圣彼得堡等。因此,中蒙俄经济走廊东部涵盖活跃的中国新首都经济圈、东北经济区,中部辐射了蒙古乌兰巴托经济区,西部则涉及到俄罗斯西南部 and 西部经济区(表 1)。据统计,中蒙俄经济走廊面积为  $2085 \times 10^4 \text{ km}^2$  (涉及中蒙俄域内面积分别为  $218 \times 10^4 \text{ km}^2$ 、 $156 \times 10^4 \text{ km}^2$  和  $1709 \times 10^4 \text{ km}^2$ ) ,涉及的人口约 3.93 亿人(中蒙俄人口分别为 2.38 亿、290 万和 1.52 亿)。

从全球成矿单元的角度看,中蒙俄经济走廊(以下简称“走廊”)覆盖中朝成矿区、西伯利亚成矿区、乌拉尔蒙古成矿区和欧洲成矿区的主要部分<sup>[1]</sup>,主要的矿产资源有铁、金、铜-金(钼)、银、铅-锌等金属资源及铀矿、石油、煤炭等能源资源。在工业方面,主要有中国的钢铁、水泥、石油加工业,蒙古国的铜-金矿业,俄罗斯的煤炭、石油、钢铁加工业等。

表 1 中蒙俄经济走廊经济简表

Table 1 Economic data table of China-Mongolia-Russia Economic Corridor

序号	省市	面积/ $10^4 \text{ km}^2$	人口/万人	GDP/亿元人民币
1	河北省	18.77	7287	13387
2	辽宁省	14.59	4390	10418
3	黑龙江省	45.48	3835	7081
4	吉林省	18.74	2699	4693
5	内蒙古	118.30	2497.61	6140
6	北京市	1.68	2114.8	8879
7	天津市	1.13	1007	5014
中国合计		218.69	23830.41	55612
蒙古国		156.65	290	344.1
俄罗斯		1709.8242	15200	63860
中蒙俄经济走廊		2085.164	39320.41	119816.1

前人对“走廊”所涉及的区域和局部的基本地质特征、矿产资源禀赋、矿产投资前景开展过较系统的研究,积累了大量资料<sup>[2-14]</sup>。但从走廊整体的角度进行地质矿产的分析相对缺乏。因此,本文收集整理“走廊”的地质矿产资料,分析总结“走廊”找矿潜力,对加快推进走廊建设,促进各国更充分地利用走廊沿线的市场和国际资源,推动沿线经济共同发展繁荣,增进与沿线国家特别是周边国家政治互信和睦邻友好有着重要意义。

## 1 区域地质矿产概况

从大地构造位置看,“走廊”跨俄罗斯克拉通、乌拉尔构造带、阿尔泰造山系、贝加尔褶皱系、西伯利亚克拉通、楚克图造山系、滨太平洋的尼旁带、满洲里造山带等多个构造单位。区内寒武系、古生代和中生代地层出露广泛,深大断裂纵横交错,岩浆岩发育,据梅燕雄等的成矿区带划分<sup>[1]</sup>,“走廊”位于中朝成矿区、西伯利亚成矿区、乌拉尔-蒙古成矿区、欧洲成矿区。由于跨越多个造山带,区域构造-岩浆活动强烈,岩浆、热液多金属矿产丰富,区内发育多个盆地,因此沉积相关矿产亦丰富,主要矿产有天然气、石油、铁、锰、铬、铜、金、锑、磷、煤、铀、银、钨、锡、铅、锌、钼、汞等。其中,金、银、铜、铅、锌和富铁矿为中蒙俄东部边境相邻地区的优势矿种(图 1)。

中国是全球矿产资源生产大国和消费大国。截至 2018 年底,中国共发现 171 种矿产资源<sup>[7]</sup>,查明资源储量的有 158 种,在国民经济中占有较重要地位的矿产储量及潜在价值居世界第三位,仅次于俄罗斯和美国。其中十几种矿产,如稀土、钨、铝、钨、锡、锑、石膏、重晶石等人均占有量超过世界人均水平。在国民经济中有重要地位的矿产金、银、铜、铅、铁、锰、铝、镍、铀、硼、金刚石、铂、铬、钾盐、石油、天然气等探明储量相对不足,无法适应国民经济发展的需要<sup>[7]</sup>。

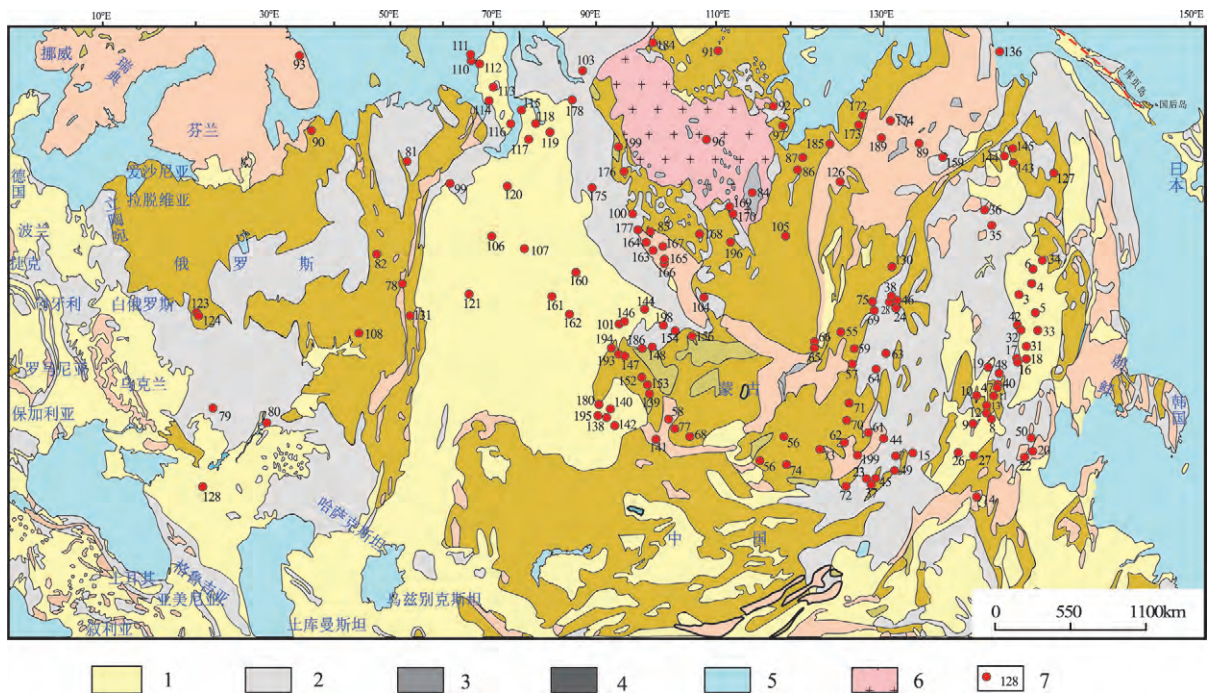
图 1 中蒙俄经济走廊大型-特大型矿产地分布简图<sup>[13,15]</sup>

Fig. 1 The distribution of large-superlarge mineral resources along China-Mongolia-Russia Economic Corridor

1—新生界; 2—中生界; 3—古生界; 4—前寒武系; 5—海洋湖泊沉积; 6—岩浆岩省; 7—矿床及序号

蒙古国矿产主要以铜、煤、铁等有色金属及黄金、萤石为主。其中额尔登特铜钼矿是蒙古最大的企业和经济支柱<sup>[8]</sup>, 位居世界十大铜矿之列。蒙古国还拥有欧玉陶勒盖铜矿及查干苏布拉格铜矿, 其中欧玉陶勒盖铜矿位于南戈壁省, 矿区铜矿石储量约  $20 \times 10^8$  t。蒙古铁矿的地质储量约  $20 \times 10^8$  t, 铅锌矿主要分布在东北和东南, 其中图木尔廷敖包锌矿矿石储量约  $755 \times 10^4$  t, 锌品位为 14% 左右。金矿主要有砂金矿、脉金矿、浸染金矿三大类, 分成 16 条金成矿带, 总储量约为 3100 t。蒙古煤炭的总储量约  $500 \times 10^8$  t, 而目前开采的 17 处煤矿的年总产量不足  $500 \times 10^4$  t<sup>[9]</sup>; 蒙古石油总储量约在 60 亿桶左右<sup>[10-11]</sup>。

俄罗斯矿产资源丰富, 是世界上最重要的矿产资源国之一。目前已发现的矿产有石油、天然气、煤炭、金、银、铂族、铁、锰、铜、铅、锌、镍、钒、钛、稀土、金刚石、钾岩、钨、锡、铝土矿、硼、锑、钴、钼、铀、石膏、重晶石等。其中在世界上占重要地位的矿产有石油、天然气、煤炭、铁矿石、钒、镍、钾盐、钨、锡、金刚石、锑、硼、铀、菱镁矿、硒、镓等。截止 2016 年底, 俄罗斯探明储量的矿床约有 2 万个, 其中约 1/3 的矿床已得到开发利用。在上述 2 万个矿床中, 大

型、特大型矿床约占 5%, 探明储量约占总储量的 70%。较知名的有俄罗斯奥伦堡 (Orenburg) 气田、俄罗斯库尔斯克铁矿等<sup>[12]</sup>。

## 2 成矿区带及典型矿区

关于“走廊”区域的成矿区带划分<sup>[13]</sup>, 前人多有研究, 如吴振寰等对周边及相邻国家进行了成矿区带的划分<sup>[14]</sup>, 本文按照梅燕雄等成矿区带划分方案<sup>[1]</sup>, “走廊”主要位于横跨北美洲、欧洲和亚洲三大洲的劳亚成矿域内, 分属于欧洲成矿区、乌拉尔-蒙古成矿区、西伯利亚成矿区、中朝成矿区。

### 2.1 欧洲成矿区

该成矿区位于“走廊”的西段, 俄罗斯西部主要位于欧洲成矿区内, 在大地构造上主要由东欧地块及斯堪的纳维亚造山带组成。主要出露中生代—古生代岩石地层, 该成矿区内主要大型—超大型矿产有钾盐、铁、锰、石油、天然气、铬、汞等<sup>[1]</sup>。代表矿床有卡姆-索利卡姆斯克、伯朝拉超大钾盐, 库尔斯克、米哈依洛夫超大铁矿, 奥伦堡大型天然气、罗马什金大型石油、尼基托夫斯克大型汞、阿尔汉格尔斯克大型金刚石、希宾大型磷矿等<sup>[13-18]</sup> (表 2)。

表 2 中蒙俄经济走廊欧洲成矿区大型-超大型矿

Table 2 The large and superlarge ore deposits in European metallogenic region of China-Mongolia-Russia Economic Corridor

序号	矿床(区)	规模	矿种	类型	成矿时代	成矿域	成矿区带	资料来源
79	尼基托夫斯克, Nikitovskoye	大	汞	热液型	新生代	劳亚成矿域	欧洲成矿区	①
80	埃尔顿, Alton	大	钾盐	蒸发岩型	古生代	劳亚成矿域	欧洲成矿区	①
81	伯朝拉, Pechora	超大	钾盐	蒸发岩型	古生代	劳亚成矿域	欧洲成矿区	①
82	卡姆-索利卡姆斯克, Kam-Solikamsk	超大	钾盐	蒸发岩型	古生代	劳亚成矿域	欧洲成矿区	①
83	阿克布拉克, Akbulak	大	钾盐	蒸发岩型	古生代	劳亚成矿域	欧洲成矿区	①
90	阿尔汉格尔斯克, Arkhangelsk	大	金刚石	金伯利岩型	古生代	劳亚成矿域	欧洲成矿区	[17]
93	希宾, Khibiny	大	磷矿	岩浆型	古生代	劳亚成矿域	欧洲成矿区	[18]
108	罗马什金, Romashinskoye	大	石油	沉积型	古生代	劳亚成矿域	欧洲成矿区	①
122	奥伦堡, Orenburg	大	天然气	沉积型	古生代	劳亚成矿域	欧洲成矿区	①
123	米哈依洛夫, Mikhaylovskoye	超大	铁	BIF 型	元古宙	劳亚成矿域	欧洲成矿区	①
124	库尔斯克, Kursk	超大	铁	沉积型	古元古代	劳亚成矿域	欧洲成矿区	[15]①
131	杰格佳尔斯克, Degtyarsk	大	铜	火山岩型	古生代	特提斯成矿域	欧洲成矿区	[15-16]

### 2.1.1 俄罗斯奥伦堡(Orenburg)气田(TNK-BP 公司)(序号 122)

奥伦堡气田发现于 1966 年,位于伏尔加-乌拉尔盆地乌拉尔山前拗陷带南端的西侧。其东界为乌拉尔褶皱山系,南濒里海盆地,西接沃罗涅什地块,面积  $69 \times 10^{-4} \text{ km}^2$ ,属俄罗斯地台内部盆地。奥伦堡气田受奥伦堡长垣构造控制,储层类型属裂缝-孔隙型,气藏类型为受水侵影响的边、底水碳酸盐岩气藏。赋气岩性为二叠纪碳酸盐岩<sup>[19]</sup>,含气面积达  $1500 \text{ km}^2$ 。奥伦堡隆起区主要出露灰岩和白云岩 2 种岩性,气田沉积盖层地层有新元古界、泥盆

系一二叠系,局部地段有中、新生界,上奥陶统岩性为优质的石膏岩,是良好的盖层(图 2),并使气藏保存至今;二叠系广泛出露于地表,石炭系零星出露<sup>[20-21]</sup>。

奥伦堡凝析气藏为原生凝析气藏,烃源岩直接生成凝析气相,并且以凝析气相运移进入到下二叠统一—中石炭统碳酸盐岩储集层中,聚集成藏,储层岩性为碳酸盐岩。气田具有含气面积广、储量大、储层非均质性强、产能差别大、见水早等特点,气田最高年产量为  $450 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。目前年产天然气约  $180 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。天然气主要产在盆地的东南地区,气藏平

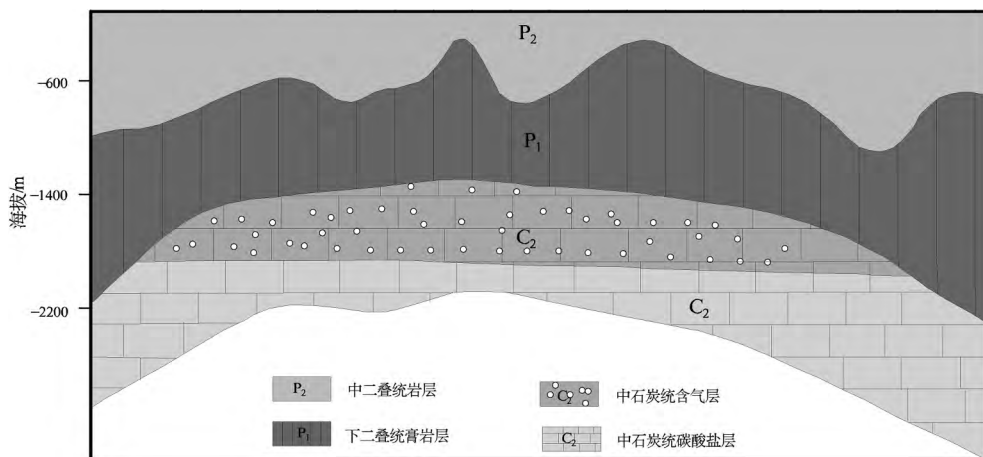
图 2 奥伦堡原生凝析气田剖面<sup>[21]</sup>

Fig. 2 Geological section of Orenburg primary condensate gas field



均埋深为 1700 m, 主要产气深度介于 90~254 m 深, 地层温度达 60℃, 孔隙度 11.3%, 气藏的原始地层压力为 20.33 MPa, 露点压力 18.6 MPa, 圈闭类型为构造圈闭, 天然气储量<sup>[21-22]</sup> 为  $1.9 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 。

### 2.1.2 俄罗斯库尔斯克铁矿区 (Kursk Magnetic Anomaly) (序号 124)

俄罗斯拥有世界上最大的铁矿区—库尔斯克磁力异常区, 以及乌拉尔、西伯利亚铁矿区。绝大部分铁矿床为变质铁硅建造铁矿, 主要分布在科拉半岛; 其次是砂卡岩型磁铁矿床, 主要分布在乌拉尔地区、库兹巴斯地区、安加拉河流域和南雅库梯地区<sup>[23-25]</sup>。

库尔斯克磁异常区为目前世界最大的铁矿盆地, 面积  $15 \times 10^4 \text{ km}^2$ , 延伸达 600 km, 主要包含 4 个矿区, 分别为别尔哥罗德、库尔斯克—奥尔洛夫、米哈伊洛夫、奥斯科尔矿区。矿区总体埋藏深度大, 但上覆围岩的沉积层含水量大。

从大地构造位置看, 库尔斯克铁矿集中区位于俄罗斯中部沃罗涅什地块西部。矿集区前寒武纪变质岩被泥盆纪或早石炭世、侏罗纪、白垩纪、古近纪和第四纪的砂页岩和碳酸盐岩覆盖, 基底老构造层为太古宙黑云母、石榴子石—黑云母、斜长石片麻岩组成。片麻岩发生了强烈的花岗岩化和混合岩化, 偶见条带状磁铁石英岩, 其上不整合覆盖着古元古代云母片岩、蛇纹岩, 云母片岩上部为库尔斯

克含铁岩系, 厚 1000~2000 m, 自下而上分别为变质石英砂岩、石英长石砂岩、千枚岩、石英绢云片岩, 有时可见炭质千枚岩; 此外, 还有磁铁石英岩、白云岩、石英绢云母片岩、片理化和绢云母化石英斑岩夹凝灰岩、砂岩和沉积角砾岩、变质石英斑岩、斜长花岗岩及其混合岩, 总厚度超过 1000 m<sup>[26]</sup>。

库尔斯克矿区是一个隐伏的磁铁石英岩型铁矿区, 区内古生代变质岩和磁铁石英岩几乎全部被 28~70 m 厚的时代较新的地层覆盖, 磁铁石英岩在地表形成磁异常<sup>[27]</sup>, 在前寒武纪基底中多呈宽 100~600 m、长 1~80 km 的狭窄条带出现, 有时则组成面积很大的异常带(图 3)。其中磁铁石英岩在前寒武纪基底上出露的面积约占整个磁异常盆地总面积的 1%<sup>[28]</sup>。矿石矿物主要有赤铁矿、氢氧化铁矿物, 脉石矿物有石英、硅酸盐、碳酸盐等<sup>[23]</sup>。

### 2.2 乌拉尔—蒙古成矿带

“走廊”中部地段属于乌拉尔—蒙古成矿带, 该成矿带地处欧亚大陆腹地, 在大地构造上主要由乌拉尔造山带、天山—兴蒙造山带等组成<sup>[29-68]</sup>。主要出露新生代—古生代岩石地层, 构造运动强烈, 岩浆岩发育, 该成矿带主要矿产有天然气、石油、铁、锰、铬、铜、金、锑、磷、煤、铀等<sup>[16]</sup>, 代表矿山有乌连戈伊、波瓦尼柯夫等超大型天然气, 大庆、马蒙托夫大型油田, 卡奇卡纳尔超大型铁矿、中国白涧铁矿, 阿穆尔超大型金矿, 额尔登特超大型铜矿等<sup>①</sup>(表 3)。

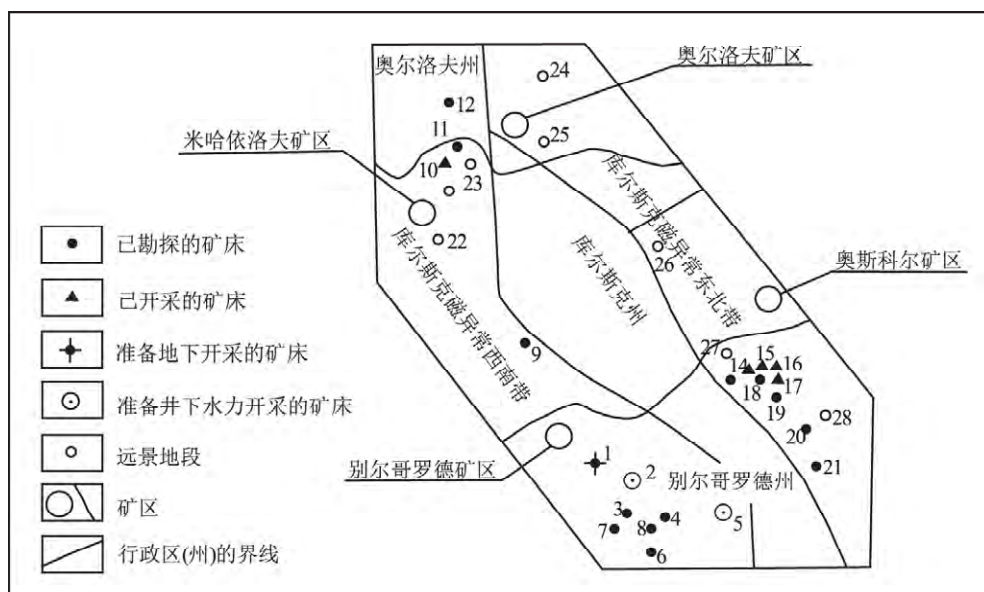


图 3 库尔斯克磁异常区米克哈依洛夫斯基大铁矿开采模型<sup>[27]</sup>

Fig. 3 Mining model of the Mick Ha Bea Lovskey iron ore deposit in Kursk magnetic anomaly area

表 3 中蒙俄经济走廊乌拉尔-蒙古成矿带大型-超大型矿  
Table 3 The large and superlarge ore deposits in Mongolia-Ural metallogenic belt of  
China-Mongolia-Russia Economic Corridor

序号	矿床(区)	规模	矿种	类型	成矿时代	成矿域	成矿区带	资料来源
1	黄岗 ,Huanggang	大	铁锡	矽卡岩型	中生代	劳亚成矿域	乌拉尔-蒙古成矿带	[15]①
2	大庆 ,Daqing	大	石油	沉积型	中生代	劳亚成矿域	乌拉尔-蒙古成矿带	[15]①
3	大黑山 ,Daheishan	超大	钼	斑岩型	中生代	劳亚成矿域	乌拉尔-蒙古成矿带	[54]
5	板石沟 ,Banshigou	大	铁	BIF 型	太古宙	劳亚成矿域	乌拉尔-蒙古成矿带	[55]
6	塔东 ,Tadong	大	铁	BIF 型	新元古代	劳亚成矿域	乌拉尔-蒙古成矿带	[56]
7	白云鄂博 ,Bayan Obo	超大	稀土	叠生	中元古代	劳亚成矿域	乌拉尔-蒙古成矿带	[56]
8	司家营 ,Sijiaying	大	铁	BIF 型	新太古代	劳亚成矿域	乌拉尔-蒙古成矿带	[56]
9	沙厂 ,Shachang	大	铁	BIF 型	太古宙	劳亚成矿域	乌拉尔-蒙古成矿带	[57-58]
10	黑山 ,Heishan	大	铁	岩浆岩型	元古宙	劳亚成矿域	乌拉尔-蒙古成矿带	[59-60]
11	柞栏杖子 ,Zuolanzhangzi	大	铁	BIF 型	元古宙	劳亚成矿域	乌拉尔-蒙古成矿带	[34]
12	迁安 ,Malanzhuang	大	铁	BIF 型	太古宙	劳亚成矿域	乌拉尔-蒙古成矿带	[59]
13	石人沟 ,Shirengou	大	铁	BIF 型	中新太古代	劳亚成矿域	乌拉尔-蒙古成矿带	[34]
14	西石门 ,Xishimen	大	铁	矽卡岩型	元古宙	劳亚成矿域	乌拉尔-蒙古成矿带	[30]
15	三合明 ,Sanheming	大	铁	BIF 型	新太古代	劳亚成矿域	乌拉尔-蒙古成矿带	[34]
16	弓长岭 ,Gongchangling	超大	铁	BIF 型	新太古代	劳亚成矿域	乌拉尔-蒙古成矿带	[34]
19	宝(保)国 ,Baoguo	大	铁	BIF 型	—	劳亚成矿域	乌拉尔-蒙古成矿带	[34]
23	霍各乞 ,Huogeqi	大	铜	海相黑色页岩系型	元古宙	劳亚成矿域	乌拉尔-蒙古成矿带	[56 ,61]
24	乌奴格吐山 ,Wunugetushan	超大	铜	斑岩型	中生代	劳亚成矿域	乌拉尔-蒙古成矿带	[16]
26	大湾 ,Dawan	大	铅锌	矽卡岩型	中生代	劳亚成矿域	乌拉尔-蒙古成矿带	[58]
27	蔡家营 ,Caijiaying	大	铅锌	热液型	中生代	劳亚成矿域	乌拉尔-蒙古成矿带	[58 ,62]
29	白音诺 ,Baiyinnuo	大	铅锌	矽卡岩型	中生代	劳亚成矿域	乌拉尔-蒙古成矿带	[56]
30	浩布高 ,Haobugao	大	铅锌	矽卡岩型	中生代	劳亚成矿域	乌拉尔-蒙古成矿带	[63-64]
37	炭窑口 ,Tanyaokou	大	银	BIF 型	元古宙	劳亚成矿域	乌拉尔-蒙古成矿带	[63]
40	八家子 ,Bajiazi	大	银	矽卡岩型	中生代	劳亚成矿域	乌拉尔-蒙古成矿带	[63]
44	白彦花 ,Baiyanhua	大	煤	沉积型	古近纪—新近纪	劳亚成矿域	乌拉尔-蒙古成矿带	[64]
45	东升庙 ,Dongshengmiao	超大	铅锌	沉积型	元古宙	劳亚成矿域	乌拉尔-蒙古成矿带	[65]
46	额仁陶勒盖 ,Eren Tolgoi	大	银	火山岩型	中生代	劳亚成矿域	乌拉尔-蒙古成矿带	[56]
47	杨家杖子 ,Yangjiazhangzi	大	钼	矽卡岩型	中生代	劳亚成矿域	乌拉尔-蒙古成矿带	[16]
48	兰家沟 ,Lanjiagou	大	钼	斑岩型	中生代	劳亚成矿域	乌拉尔-蒙古成矿带	[16]
49	甲生盘 ,Jiashengpan	大	铅锌	Sedex	元古宙	劳亚成矿域	乌拉尔-蒙古成矿带	[16]
51	库苏古尔 ,Khubsugul	超大	磷	沉积型	古生代	劳亚成矿域	乌拉尔-蒙古成矿带	[16]
52	额尔登特 ,Erdenet	超大	铜	斑岩型	中生代	劳亚成矿域	乌拉尔-蒙古成矿带	[8]
53	博洛 ,Boroo	大	金	岩金型	早侏罗世	劳亚成矿域	乌拉尔-蒙古成矿带	[66]
54	额仁 ,Eren	大	金	岩金型	中生代	劳亚成矿域	乌拉尔-蒙古成矿带	[9]
55	赫木尔 ,Humul	大	金	砂金型	—	劳亚成矿域	乌拉尔-蒙古成矿带	[67]
56	达布金卡尔 ,Davkhayn khar	大	金	浅成热液	—	劳亚成矿域	乌拉尔-蒙古成矿带	[67]
57	温都尔—查干 ,Ondor-Tsagaan	大	钨钼	脉型	中生代	劳亚成矿域	乌拉尔-蒙古成矿带	[67]

续表 3-1

序号	矿床(区)	规模	矿种	类型	成矿时代	成矿域	成矿区带	资料来源
58	阿斯加特 ,Asgat	超大	银	热液型	—	劳亚成矿域	乌拉尔-蒙古成矿带	[67]
59	孟根温都尔 ,Mungun under	大	银	热液型	—	劳亚成矿域	乌拉尔-蒙古成矿带	[67]
60	欧玉陶勒盖 Oyu Tolgoi	超大	铜	斑岩型	古生代	劳亚成矿域	乌拉尔-蒙古成矿带	[38]
61	查干苏布尔加 ,Tsagaan Suvarga	大	铜( 钼)	斑岩型	晚古生代	劳亚成矿域	乌拉尔-蒙古成矿带	[38]
62	卡玛格泰 ,Khamargtai	大	金	砂岩型	—	劳亚成矿域	乌拉尔-蒙古成矿带	[38]
63	图木廷敖包 ,Tumurtiin Ovoo	大	锌	矽卡岩型	—	劳亚成矿域	乌拉尔-蒙古成矿带	[9]
64	布伦佐格特 ,Buren Tsogt	大	钨	石英脉新	—	劳亚成矿域	乌拉尔-蒙古成矿带	[9]
65	图木尔泰 ,Tumurtei	大	铁	沉积型	—	劳亚成矿域	乌拉尔-蒙古成矿带	[67]
66	巴彦戈尔 ,Bayan Gol	大	铁	矽卡岩型	晚古生代	劳亚成矿域	乌拉尔-蒙古成矿带	[67]
67	鲁金郭勒 ,Lugin Gol	大	稀土	碳酸盐型	—	劳亚成矿域	乌拉尔-蒙古成矿带	[67]
68	哈尔扎-布尔格泰 ,Halzan Buregtei	大	稀土	碱性岩型	—	劳亚成矿域	乌拉尔-蒙古成矿带	[16]
69	多尔脑德( 包括马尔岱 ,古尔万布拉克) ,Dornod	超大	铀	火山沉积型	—	劳亚成矿域	乌拉尔-蒙古成矿带	[16]
70	海尔罕 ,Hairhan	大	铀	砂岩型	晚古生代	劳亚成矿域	乌拉尔-蒙古成矿带	[16 ,67]
71	哈拉特 ,Haraat	大	铀	砂岩型	—	劳亚成矿域	乌拉尔-蒙古成矿带	[16 ,67]
72	卡道尔戈依 ,Khartolgoi	大	铅	多金属脉型	古生代	劳亚成矿域	乌拉尔-蒙古成矿带	[16 ,67]
73	奥隆奥夫塔 ,Olon Ovoot	大	金	热液型	—	劳亚成矿域	乌拉尔-蒙古成矿带	[15]
74	白山 ,White Hill	超大	铜	火山岩型	中生代	劳亚成矿域	乌拉尔-蒙古成矿带	[16]
75	乌兰 ,Ulaan	超大	银	火山岩型	古生代( 泥盆纪)	劳亚成矿域	乌拉尔-蒙古成矿带	[16]
76	察布 ,Tsav	大	银	火山岩型	中生代( 白垩纪)	劳亚成矿域	乌拉尔-蒙古成矿带	[16]
77	杜兰卡尔乌兰 ,Dulaan khar uul	大	银	热液型	—	劳亚成矿域	乌拉尔-蒙古成矿带	[15]
78	萨拉诺夫 ,Saranov	大	铬	岩浆型( 豆荚状型)	古生代	劳亚成矿域	乌拉尔-蒙古成矿带	[16]
89	阿穆尔 ,Amur	超大	金	砂矿型	新生代	环太平洋成矿域	乌拉尔-蒙古成矿带	[15]①
98	库兹涅茨克 ,Kuznetsk	大	煤	沉积型	古生代	劳亚成矿域	乌拉尔-蒙古成矿带	[15]①
99	北乌拉尔盆地矿群 ,North Ural	超大	锰	海相沉积型	新生代	劳亚成矿域	乌拉尔-蒙古成矿带	[15]①
101	乌萨 ,Usa	大	锰	沉积型	新生代	劳亚成矿域	乌拉尔-蒙古成矿带	[15]①
102	伊尔尼密依 ,Irnimiyyi	大	锰	沉积型	元古宙	劳亚成矿域	乌拉尔-蒙古成矿带	[15]①
106	马蒙托夫 ,Mamontovskoye	大	石油	沉积型	中生代	劳亚成矿域	乌拉尔-蒙古成矿带	[15]①
107	萨莫特洛尔 ,Samotlor	大	石油	沉积型	中生代	劳亚成矿域	乌拉尔-蒙古成矿带	[15]①
110	克鲁扎尔希腾 ,Kruzershtern	大	天然气	沉积型	中生代	劳亚成矿域	乌拉尔-蒙古成矿带	[15]①
111	卡拉索夫 ,Kharasaveyskoye	大	天然气	沉积型	中生代	劳亚成矿域	乌拉尔-蒙古成矿带	[15]①
112	波瓦尼柯夫 ,Bovanekov	超大	天然气	沉积	—	劳亚成矿域	乌拉尔-蒙古成矿带	[15]①
113	阿尔克提契 ,Arkticheskoye	大	天然气	沉积型	中生代	劳亚成矿域	乌拉尔-蒙古成矿带	[15]①
114	哈拉萨威 ,Halasavy	大	天然气	沉积型	中生代	劳亚成矿域	乌拉尔-蒙古成矿带	[15]①
115	亚姆堡 ,Yamburg	超大	天然气	沉积型	中生代	劳亚成矿域	乌拉尔-蒙古成矿带	[15]①
116	麦德维热 ,Medvezhye	大	天然气	沉积型	中生代	劳亚成矿域	乌拉尔-蒙古成矿带	[15]①
117	乌连戈伊 ,Urengoy	超大	天然气	沉积型	中生代	劳亚成矿域	乌拉尔-蒙古成矿带	[15]①
118	塔佐夫斯科耶 ,Tazovskoye	大	天然气	沉积型	中生代	劳亚成矿域	乌拉尔-蒙古成矿带	[15]①
119	扎波梁尔 ,Zapolyarnoye	大	天然气	沉积型	中生代	劳亚成矿域	乌拉尔-蒙古成矿带	[15]①

续表 3-2

序号	矿床(区)	规模	矿种	类型	成矿时代	成矿域	成矿区带	资料来源
120	尤别连, Yubileynoye	大	天然气	沉积型	中生代	劳亚成矿域	乌拉尔-蒙古成矿带	[15]①
121	基尔塔依奥尔, Kyrtaaiolskoye	大	天然气	沉积型	古生代	劳亚成矿域	乌拉尔-蒙古成矿带	[15]①
125	卡奇卡纳尔, Kachkanarskoye	超大	铁	岩浆型	古生代	劳亚成矿域	乌拉尔-蒙古成矿带	[15]①
127	沃斯托克, Vostok	大	钨	矽卡岩型	中生代	劳亚成矿域	乌拉尔-蒙古成矿带	[15]①
130	斯特列利佐夫, Streltsovskaya	大	铀	火山岩型	中生代	劳亚成矿域	乌拉尔-蒙古成矿带	[15]①
132	安尼斯克, Anenskoye (Anensky, Annenskoe, Yenisei)	大	金	砂矿型	—	环太平洋成矿域	乌拉尔-蒙古成矿带	[15]
133	可凡尔舍凡亚, Kvarsevaya Gora (Severo-Yeniseisk district)	大	金	砂矿型	—	劳亚成矿域	乌拉尔-蒙古成矿带	[15]
135	卡琳斯克, Kharlinskoye	超大	铝	沉积型	—	劳亚成矿域	乌拉尔-蒙古成矿带	[15]
137	因斯克, Inskoye	大	铁	矽卡岩型	—	劳亚成矿域	乌拉尔-蒙古成矿带	[15]
138	彼罗雷斯克, Beloretskoye	大	铁	矽卡岩型	—	劳亚成矿域	乌拉尔-蒙古成矿带	[15]
139	亚雷斯获, Jaryshol	大	铁	矽卡岩型	—	劳亚成矿域	乌拉尔-蒙古成矿带	[15]
140	蒂姆非斯克, Timofeevskoye	大	铁	矽卡岩型	—	劳亚成矿域	乌拉尔-蒙古成矿带	[15]
141	卡尔古丁斯克, Kalgutinskoye	大	铁	矽卡岩型	—	劳亚成矿域	乌拉尔-蒙古成矿带	[15]
142	可可兴斯克, Koksinskoye	大	铁	火山沉积型	—	劳亚成矿域	乌拉尔-蒙古成矿带	[15]
147	拉乌仁乌斯克, Lavrenovskoye	大	铁	矽卡岩型	—	劳亚成矿域	乌拉尔-蒙古成矿带	[15]
148	特伊斯克, Teiskoye	大	铁	矽卡岩型	—	劳亚成矿域	乌拉尔-蒙古成矿带	[15]
149	卡伊莱洛夫斯克, Khaileolovskoye	大	铁	矽卡岩型	—	劳亚成矿域	乌拉尔-蒙古成矿带	[15]
150	卡茨斯克, Kazskoye	大	铁	矽卡岩型	—	劳亚成矿域	乌拉尔-蒙古成矿带	[15]
151	安扎斯, Anzass	大	铁	矽卡岩型	—	劳亚成矿域	乌拉尔-蒙古成矿带	[15]
152	舍仁格斯, Sheregesh	大	铁	矽卡岩型	—	劳亚成矿域	乌拉尔-蒙古成矿带	[15]
153	塔什塔盖, Tashtagol	大	铁	矽卡岩型	—	劳亚成矿域	乌拉尔-蒙古成矿带	[15]
154	伊宾斯克, Irbinskoye	大	铁	矽卡岩型	—	劳亚成矿域	乌拉尔-蒙古成矿带	[15]
155	赛丁斯克, Sydinskoye	大	铁	BIF 型	—	劳亚成矿域	乌拉尔-蒙古成矿带	[15]
156	塔布拉斯克, Tabratskoye	大	铁	矽卡岩型	—	劳亚成矿域	乌拉尔-蒙古成矿带	[15]
157	贝洛克塔特斯克, Belokitatskoye	大	铁	BIF 型	—	劳亚成矿域	乌拉尔-蒙古成矿带	[15]
158	阿巴坎斯克, Abakanskoye	大	铁	矽卡岩型	—	劳亚成矿域	乌拉尔-蒙古成矿带	[15]
180	卡尔洛夫斯克, Kharlovskoye	超大	铁	基性超基性岩型	—	劳亚成矿域	乌拉尔-蒙古成矿带	[15]
186	乌兴斯克, Usinskoye	超大	锰	火山沉积型	—	劳亚成矿域	乌拉尔-蒙古成矿带	[15]
192	可托伊多, Khotoidokh	大	铅锌	火山岩块状硫化物型	—	劳亚成矿域	乌拉尔-蒙古成矿带	[15]
193	萨拉尔斯克, Salairskoye	大	铅锌	火山变质岩型	—	劳亚成矿域	乌拉尔-蒙古成矿带	[15]
194	乌尔斯克区, Urskoye district	大	铅锌	火山变质岩型	—	劳亚成矿域	乌拉尔-蒙古成矿带	[15]
195	可尔巴里因斯克, Korbalihinskoye	大	锌铅	火山岩快状硫化物型	—	劳亚成矿域	乌拉尔-蒙古成矿带	[15]
197	科斯托姆克什, Kostomuksha	超大	铁	BIF 型	前寒武纪	劳亚成矿域	乌拉尔-蒙古成矿带	[16]
198	索尔斯克, Sorskoe	大	钼	斑岩型	—	劳亚成矿域	乌拉尔-蒙古成矿带	[16]
199	塔本陶勒盖煤矿, Tavantolgoi deposit	特大型	煤	沉积型	中生代	劳亚成矿域	乌拉尔-蒙古成矿带	[16]

注: “—” 无时代资料



### 2.2.1 中国河北省沙河市白涧铁矿床(序号 14)

白涧铁矿地处太行山东麓中段的河北省沙河市白涧村,距邯郸市北约 25 km。白涧铁矿床处于赞皇隆起东南武安拗陷北东部的中关-窑坡背斜(图 4),为一隐伏的、深埋藏的铁矿,属于典型的邯邢式铁矿<sup>[29]</sup>。邯邢式铁矿是中国著名的铁矿类型之一,华北中南部地区是中国重要的富铁矿产区,主要包括河北邯郸、邢台地区,山东莱芜、淄博、济南地区,河南安林地区,山西临汾等地。该区主要矿种为接触交代型磁铁矿,累计探明资源储量近  $1.8 \times 10^8$  t,主要集中于河北邯郸、邢台一带,故称为“邯邢式铁矿”。

白涧铁矿床埋藏深、规模大、品位较高,矿体主要产于中关-窑坡背斜东翼,已发现矿体 2 个,分别是赋存于岩浆岩与灰岩接触部位的 II 号矿体和灰岩层间的 I 号矿体。I 号矿体分布于中奥陶统灰

岩中,呈不规则透镜状,为该矿的主矿体,走向近 SN 向;II 号矿体分布在中关-窑坡背斜东翼,沿闪长岩体与中奥陶统灰岩上接触带呈似层状分布。矿石成分以磁铁矿为主,次为少量黄铁矿、赤铁矿、假象赤铁矿等;主要非金属矿物有透辉石、金云母、蛇纹石,次为绿泥石、方解石、白云石、透闪石、石榴子石等。岩体与围岩钠长石化发育,并明显呈带状分布,主要成矿围岩是中奥陶统马家沟组和磁县组白云质灰岩、泥质、白云质角砾状灰岩、硅化灰岩及结晶灰岩,地层中发育多层含膏盐角砾岩层<sup>[30-33]</sup>。区内与成矿关系密切的褶皱构造为中关-窑坡背斜,轴向近 NNW 向,略向西凸出的弧形展布,由北往南逐渐倾没,是区内主要控岩、控矿构造。矿区岩浆岩为寨村岩体的组成部分,属于燕山期成矿率最高的中期侵入的中性、中偏碱性的闪长岩-二长岩体<sup>[32]</sup>。矿

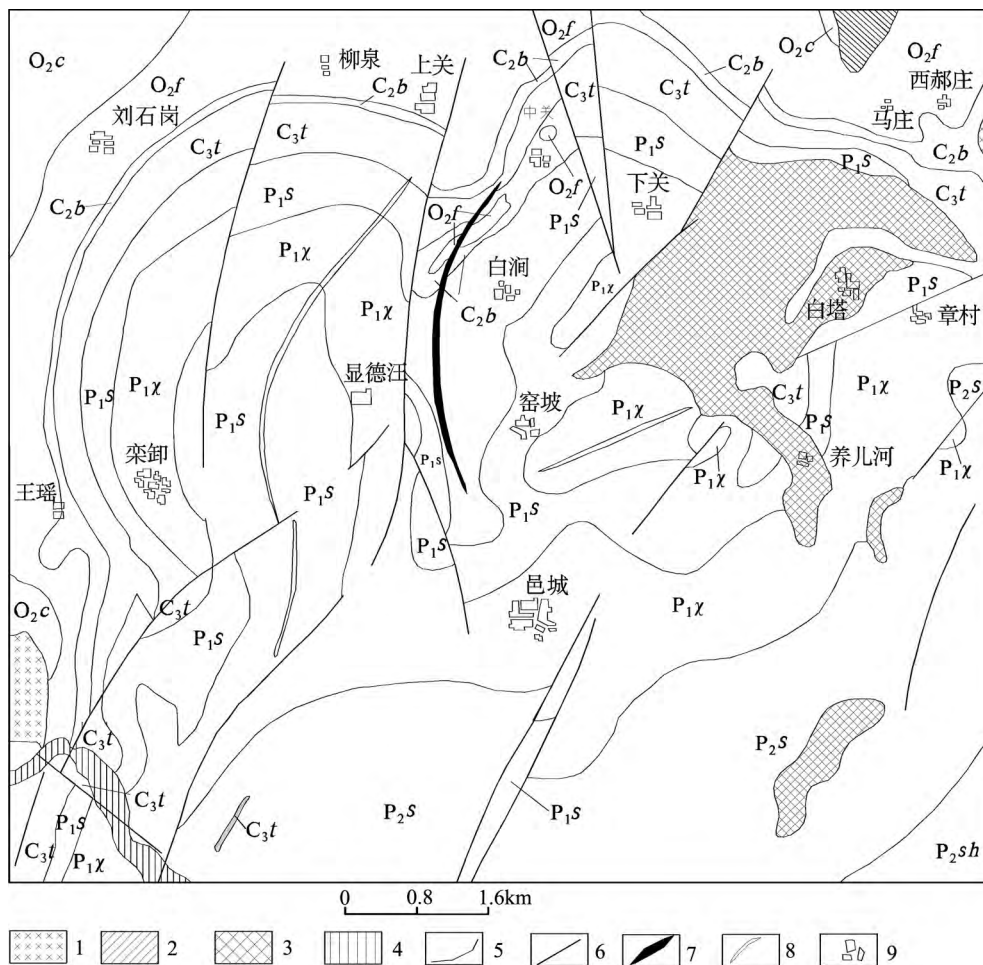


图 4 白涧铁矿床地质简图<sup>[29]</sup>

Fig. 4 Geological sketch map of the Baijian iron deposit

$P_2sh$ —石千峰组;  $P_2s$ —上石盒子组;  $P_1x$ —下石河子组;  $P_1s$ —山西组;  $C_3t$ —太原组;  $C_2b$ —本溪组;  $O_2f$ —峰峰组;  $O_2c$ —磁县组;  
1—二长岩; 2—二长闪长岩; 3—闪长玢岩; 4—闪长岩; 5—地质界线; 6—断层; 7—背斜; 8—向斜; 9—居民点

区零星出露石炭系—二叠系, 钻孔揭示自上至下依次包括二叠系、石炭系和中奥陶统, 其中, 中奥陶统的 3 组 8 段地层是铁矿的赋矿层位<sup>[33]</sup>。铁矿石资源储量为  $18 \times 10^8$  t, 矿石平均品位为 40.80%~53.54%。

白涧铁矿床为邯邢地区典型的矽卡岩型铁矿床, 与成矿有关的岩浆岩为闪长玢岩、二长岩, 其次为石英闪长玢岩。铁矿体与中性富钠质似斑状闪长岩不仅在空间上, 而且在成因上具有密切的联系<sup>[28]</sup>。矿石成分以磁铁矿为主, 并含少量黄铁矿、黄铜矿、赤铁矿等, 局部黄铁矿较多, 呈脉状穿切早期形成的磁铁矿石; 主要的脉石矿物为透辉石、金云母、透闪石、阳起石、蛇纹石、方解石、绿帘石等<sup>[32]</sup>。矿床围岩蚀变有钠长石化、矽卡岩化、大理岩化, 由岩体到灰岩, 可分为钠长石化闪长岩带、矽卡岩带、铁矿带、大理岩带, 它们之间不仅有时空关系, 而且有一定的成因关系<sup>[33]</sup>。伴生金属元素单一, 主要伴生 Co, 矿体呈透镜状产于燕山期闪长岩与中奥陶统白云质大理岩接触带<sup>[29]</sup>。矿区内地层由老到新为中奥陶统马家沟组、磁县组、峰峰组, 石炭系—二叠系煤系地层, 其中, 马家沟组和磁县组结晶灰岩、白云质大理岩和白云石大理岩是该矿区重要的控矿地层围岩, 铁矿体均受其控制。矿体一般呈似层状、透镜状、囊状产于闪长岩与白云质大理岩接触带及其附近, 矿石矿物主要为磁铁矿, 少量赤铁矿、黄铁矿、黄铜矿等; 脉石矿物主要有透辉石、透闪石、蛇纹石、金云母、白云石、方解石, 次为阳起石、绿泥石、石英等<sup>[34]</sup>。

#### 2.2.2 蒙古国额尔登特铜矿床(序号 52)

矿床距首都乌兰巴托西北 240 km, 是蒙古最大的在产露天开采铜矿山, 属额尔登特矿业公司所有。矿床在 1978 年投入生产, 主矿体矿石量达  $17.81 \times 10^8$  t, 铜金属量为  $1.18 \times 10^8$  t, 品位 0.62%, 此外, 还含有 Mo、Ag、Au 元素, 金属量分别为 0.3 Mt、4154 t 和 114.75 t。矿山每年生产  $27 \times 10^5$  t 矿石, Cu 和 Mo 的金属产量分别为  $0.13 \times 10^5$  t、1500 t, 精铜矿主要出口中国<sup>[35-36]</sup>。

从大地构造位置看(图 5), 该矿床位于蒙古鄂霍次克缝合带的北侧, 蒙古国色楞格地体内的鄂尔浑色楞格海沟<sup>[37]</sup>。矿区岩浆活动强烈, 著名的色楞格侵入杂岩体出露面积达 2800 km<sup>2</sup>, 矿区出露的岩石(体)有二叠纪早期的火山沉积岩、二叠纪—三叠纪的辉长岩、正长岩及由三叠纪晚期花岗岩和花岗

正长岩组成的额尔登特杂岩体。含矿岩体为三叠纪的斜长花岗斑岩、花岗闪长斑岩、花岗斑岩、花岗正长斑岩的岩株和小侵入体。铜矿化沿赋存在含矿岩体内的 NW 向断裂带及其相伴的裂隙呈细脉浸染状、网脉状产出, 构成长 25~30 km、宽 1.5~3 km 由北向南延伸的额尔登特含矿带; 铜含量从网脉中心到边缘逐渐减低, 钼含量则由中心到边缘逐渐增大, 在矿床中部深 500m 的 Cu 品位为 0.4~0.5%<sup>[37]</sup>。

矿床产出在色楞格侵入杂岩体的额尔登特岩体中, 额尔登特岩体由石英闪长岩、花岗闪长岩和花岗岩组成。矿床受 NW 向构造控制, 与石英闪长岩花岗闪长斑岩体具有密切的空间分布关系, 矿体产在 NE 向、NW 向、SN 向和 EW 向断层交会处, 断层导致岩石产生了强烈的破碎, 矿化与热液蚀变均受构造控制。矿床从中心到边部可划分出 3 个蚀变带: 绢云母(石英绢云母)蚀变带、泥化(绿泥石绢云母)蚀变带、青磐岩化(绿泥石和绿帘石绿泥石)和绿泥石化蚀变带。含矿斑岩体—石英闪长岩的锆石 U-Pb 同位素测年结果表明, 含矿岩体的形成年龄为 240 Ma, 与矿石中辉钼矿 Re-Os 等时线年龄一致, 表明成矿主要发生在早中三叠世<sup>[38]</sup>。Rb-Sr 等时线年龄值为 220~253 Ma, Re-Os 等时线年龄值为  $240.6 \pm 0.6$  Ma, <sup>39</sup>Ar-<sup>40</sup>Ar 年龄值为  $207.4 \pm 5$  Ma<sup>[37]</sup>。

该矿床的最大特点是具有次生硫化物富集带, 且铜储量的 86% 集中在该带内。矿床矿石矿物有黄铁矿、黄铜矿、辉铜矿、铜蓝、辉钼矿等, 斑铜矿含量很少; 脉石矿物有绢云母、绿泥石、石英、长石等。矿床呈垂直分带, 自上而下分为淋滤带和氧化带、次生硫化物富集带、原生矿带 3 个带。淋滤带厚度较小, 平均 10~90 m, 含铜矿物有孔雀石和蓝铜矿; 次生硫化物富集带是主要赋矿带, 厚度达 300 m, 金属矿物有辉铜矿、铜蓝、斑铜矿、辉钼矿等; 原生矿带矿化不均匀, 但连续性较好, 铜含量在 0.3%~0.7% 之间, 矿石金属矿物主要为黄铁矿、黄铜矿和辉钼矿, 其次含有黝铜矿、闪锌矿和方铅矿。矿床矿化程度与蚀变强度呈正相关, 蚀变围岩有绢云母、强烈硅化和绢云母化的交代岩、硅化绢云母化花岗岩等<sup>[37]</sup>。

#### 2.2.3 蒙古国塔本陶勒盖煤矿(Tavantolgoi deposit)(序号 199)

蒙古国在 15 个含煤盆地中拥有超过 300 个煤

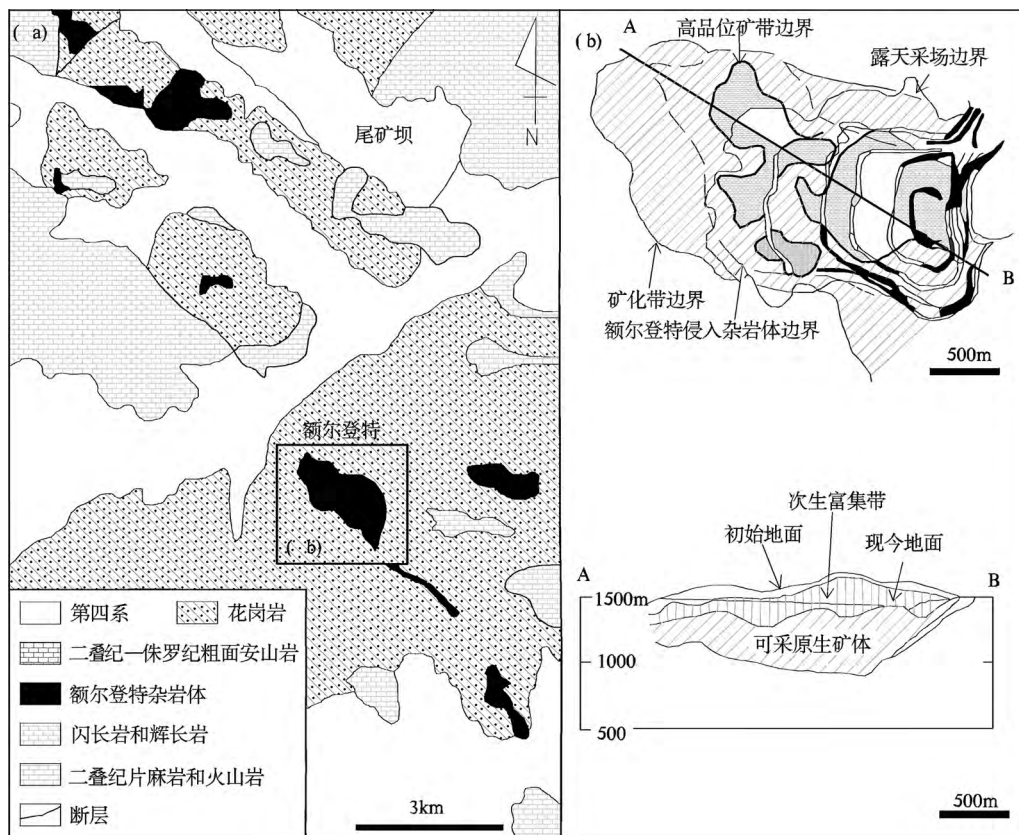
图 5 额尔登特矿区地质简图<sup>[37]</sup>

Fig. 5 Geological map of the Erdenet mining area

矿,且 60%集中在东戈壁省<sup>[9]</sup>。蒙古国自西向东、由南往北有多个煤炭分布带<sup>[39]</sup>,其中由西向东,成煤时代由老至新,泥盆纪—白垩纪,煤质也几乎同步由焦煤渐变为褐煤<sup>[40]</sup>。

蒙古国南戈壁省中蒙边界地区分布多个二叠纪大型—特大型煤矿,为一套以砾岩为主的粗碎屑岩和含煤系地层夹火山岩建造。矿区内二叠系分布广泛,整合覆盖于石炭系之上,自下而上划分为 3 个岩组:下岩组为以砂砾岩为主的碎屑岩夹火山岩,中岩组为以泥岩为主的含煤系地层夹火山岩(相变为暗色泥页岩为主的细碎屑岩),上岩组为以砾岩为主的粗碎屑岩夹火山岩,火山岩主要为流纹质玻屑晶屑岩屑凝灰岩、凝灰岩和流纹状熔岩。煤矿南部流纹质玻屑晶屑岩屑凝灰岩取样获得的火山岩年龄值为  $289.7 \pm 8.2$  Ma,地层时代为早二叠世隆林期。受蒙古国南戈壁省阿尔泰山的褶皱造山作用及沉积期火山活动的影响,矿区内碎屑岩具有成分成熟度和结构成熟度低的特点<sup>[41]</sup>。

塔本陶勒盖煤矿,位于蒙古国南戈壁省达兰扎

德盖图市东 100 km,北距蒙古首都乌兰巴托 540 km,南距中国巴彦淖尔市乌拉特中旗甘其毛都口岸 190 km。煤炭储量丰富,矿区煤炭储藏面积达  $400 \text{ km}^2$ ,煤系地层厚 1050 m,含有 18 层煤,其中具工业意义的煤层有 4 层,矿床呈平板状和缓波状,相对海拔为 1500~1600 m,煤层总厚度为 20~110 m。该煤矿的煤属优质炼焦用煤,原煤出焦率达 60% 以上,是世界上的紧缺煤种。初步探明的焦煤储量约为  $6.4 \times 10^8 \text{ t}$ ,其中主焦煤  $1.8 \times 10^8 \text{ t}$ ,动力煤  $4.6 \times 10^8 \text{ t}$ ,价值高达 3000 多亿美元。矿床煤质的水分 0.6%、灰分 22%、硫分 0.5~0.8%、发热量  $32.66 \sim 34.76 \text{ MJ/kg}$ ,适于露天开采的储量达  $1.8 \times 10^8 \text{ t}$ 。主矿区可划分成 8 个开采区,其中一采区属省采矿区,其他采区属蒙古国能源公司管理<sup>[42]</sup>。

#### 2.2.4 俄罗斯 Berezitovoye 金矿(序号 89)

俄罗斯的黄金资源非常丰富,探明储量约 3500 t。俄罗斯多数金矿石的含金量为  $5 \times 10^{-6} \sim 15 \times 10^{-6}$  或更高<sup>[39]</sup>。目前,已探明的金矿储量 25% 是砂矿床,50% 是金矿与银共生,其余 25% 是与有色金属共生

的复合型金矿,金作为伴生矿物产出。俄罗斯的东北部地区是黄金的主要产地,当地的金矿主要分为砂金矿和原生金矿 2 种<sup>[44-49]</sup>。

俄罗斯阿穆尔省存在着一个巨大的含金构造,面积约有 250 km<sup>2</sup>,位于阿穆尔河中游地段的图库林格拉和贾格德山范围内,呈近 EW 方向延伸。该含金构造位于阿尔丹-斯坦洛沃依地块的刚性板块与阿穆尔复合地的中生代碰撞地区<sup>[37]</sup>。

Berezitovoe 金矿位于阿穆尔省中部地区,蒙古-鄂霍次克成矿带东部,蒙古-鄂霍次克岩体的花岗闪长岩中(图 6)。Au 平均品位为  $3.3 \times 10^{-6}$ ,金金属储量估计为 42.3 t。矿石中伴生锌(0.97%)、铅(0.92%)。Berezitovoye 矿田与造山带成矿及含黄铁矿石英脉有关,Berezitovoye 矿区主矿体是类透镜的 Khaikta 岩体及相关花岗斑岩脉的 Rb-Sr 年龄为 133~126 Ma,流体包裹体均一温度为 450~150℃,压力为 13~2.5 kPa<sup>[50]</sup>。

#### 2.2.5 蒙古国古尔班布拉格铀矿(序号 69)

铀矿床(点)主要分布在蒙古-额尔古纳前寒武纪地块的中生代裂陷盆地内,与晚侏罗世—早白垩世火山-次火山岩或沉积岩(物)具有密切的时空分布关系<sup>[51]</sup>。其中古尔班布拉格铀矿床(图 7)位于蒙古国乔巴山北部 90 km 处。包含 3 个矿段,每个矿段含有多个矿带,每个矿带含有多个矿体,矿体为不整合、扁平状、小脉状-网脉状结构。铀资源总量约 17000 t<sup>[52]</sup>。

班布拉格铀矿床位于西部的多尔勒德火山机构中。元古宙基底的角闪岩、片岩、片麻岩被古生

代的辉长岩-闪长岩、闪长岩、花岗岩侵入,多尔诺德组的晚侏罗世—早白垩世的沉积岩(物)和火山相物质不整合在元古宙基底上。地层产状整体平坦,局部倾角为 5°~20°SE 向单斜岩层,由多尔诺德组由 3 段连续的火山物质组成。上段仅存在于矿床东南部分,粗安岩岩床被陆源沉积物覆盖;中段为厚达 300~800 m 的连续的长英质火山岩,向南方向逐渐加厚,从顶部到底部为:流纹状长英质凝灰岩、块状长英质凝灰岩、流纹质凝灰岩(包括火山玻璃和玻璃质霏细岩)、粗面英安岩、泥岩、砂岩和砾岩层,在基底火山岩中呈脉状产出;下段从顶部到底部为:安山岩-玄武岩、粗面英安岩、石英-长石斑岩,层间赋存有碎屑沉积岩和凝灰岩,古坳陷被砾岩、砂岩等地层单元充填<sup>[53]</sup>。

矿床主要受陡倾斜的 NE—SW 向断裂系统控制,NE—SW 向断裂带最宽可达 300 m,延伸达数 30~50 km。含矿构造一般为 NE—SW 向小构造,但强破碎带的宽度可达 30 m。断裂和层间破碎带作为不整合构造出现,特别是在火山沉积相组合中,侧延伸和厚度在不同地方变化很大。古尔班布拉格断层是最大的断层,可以延伸 2~5 km,断距达 80 m,倾向 SE(5°~15°),是最主要的含矿断裂。此断裂带位于粗流体霏细岩顶板和凝灰岩底板之间。断裂带有复杂的内部分支构造,浅倾斜断裂与近平行和斜的破碎带、剪切带和节理相关联。

区域蚀变现象有长石化、硅化,与矿化有关的蚀变有碳酸盐化、水云母化、蒙脱石化、高岭土化、

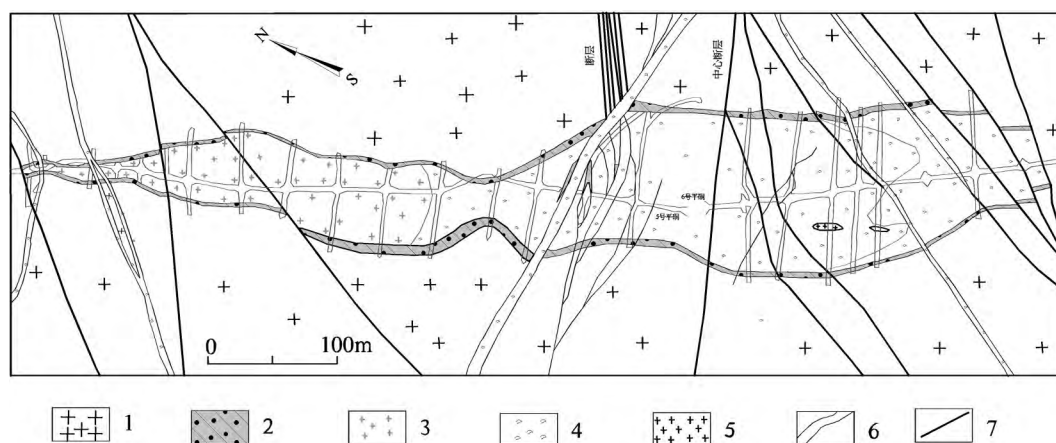


图 6 Berezitovoye 金矿矿体平面地质简图<sup>[50]</sup>

Fig. 6 Geological sketch map of the Berezitovoye gold deposit

1—古生代花岗岩;2—蚀变矿化带;3—斑岩体;4—煌斑脉岩;5—蚀变花岗岩捕虏体;6—平洞;7—断层/剪切带

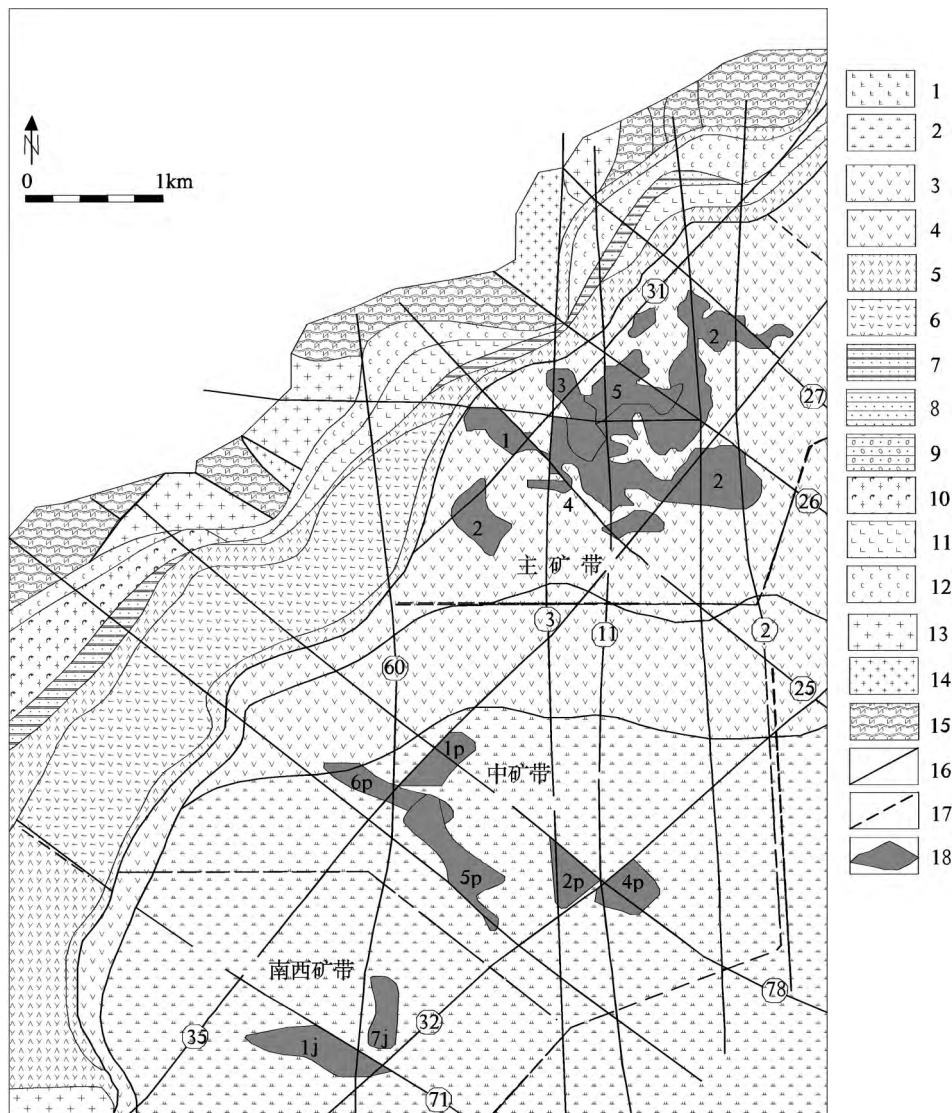
图 7 古尔班布拉格铀矿地质图<sup>[53]</sup>

Fig. 7 Geological map of the Gurvanbulag uranium deposit

1—粗安岩; 2—粗面流纹岩; 3—流纹质熔结凝灰岩; 4—粗粒凝灰岩; 5—流纹凝灰岩; 6—斑晶流纹岩; 7—砂岩; 8—粉砂岩; 9—砾岩;  
10—安山玄武岩; 11—粗面英安岩; 12—流纹斑岩; 13—晚古生代花岗岩; 14—早古生代花岗岩;  
15—片岩、片麻岩、角闪岩; 16—陡倾断层; 17—平移断层; 18—铀矿带及编号

绿泥石化和赤铁矿化。水云母化和蒙脱石化是最强烈的蚀变。赤铁矿化与矿化带直接相关, 它的强度与矿化品位相关<sup>[53]</sup>。

铀矿化主要发生在多尔诺德组中的层间段, 矿体受高角度的断层限制, 断层同时控制着 9 个矿段的扁平状矿体, 余 3 个含脉状-网脉状矿体。扁平状矿体比较大, 占有矿床绝大多数资源量, 边界品位为 0.06%~0.6%, 平均品位 0.11%~0.2%。脉状-网脉状矿体品位低, 储量小, 伴生矿为 0.6% 碳酸盐岩和 2%

萤石。铀石、沥青铀矿、硅钙铀矿是主要的含铀矿物。

### 2.3 西伯利亚成矿区

西伯利亚成矿区位于“走廊”的北部, 其展布范围包括中西伯利亚高原及泰梅尔半岛, 在大地构造上属于西伯利亚地块<sup>[1]</sup>。该成矿区主要矿产有煤、金、金刚石, 其次是铜、锑、铅、锌、镍、锰、钾盐等, 代表性矿床有俄罗斯的通古斯卡超大型煤田、苏霍依洛克大型金矿床、艾哈儿-成功大型金伯利岩金刚石矿床、诺里尔斯克铜镍硫化物矿床、涅帕超大型钾盐矿床等<sup>[69-74]</sup> (表 4)。

表 4 中蒙俄经济走廊西伯利亚成矿带大型-超大型矿

Table 4 The large and superlarge ore deposits in Siberia metallogenic belt of China-Mongolia-Russia Economic Corridor

序号	矿床(区)	规模	矿种	类型	成矿时代	成矿域	成矿区带	资料来源
4	老牛沟 ,Laoniugou	大	铁	BIF 型	太古宙	劳亚成矿域	西伯利亚成矿带	[57]
18	翁泉沟 ,Wengquangou	大	硼	矽卡岩型	古元古代	劳亚成矿域	西伯利亚成矿带	[63]
28	甲乌拉 ,Jiawula	大	铅锌	热液型	古生代	劳亚成矿域	西伯利亚成矿带	[38]
31	青城子 ,Qingchengzi	大	铅锌	热卤水型	中生代	劳亚成矿域	西伯利亚成矿带	[56]
32	柴河(关门山) ,Chaihe	大	铅锌	热液型	震旦系	劳亚成矿域	西伯利亚成矿带	[69]
33	桓仁 ,Huanren	大	铜锌	矽卡岩型	中生代	劳亚成矿域	西伯利亚成矿带	[69]
34	天宝山 ,Tianbaoshan	大	铅锌	矽卡岩型	晚古生代	劳亚成矿域	西伯利亚成矿带	[65]
35	小西林 ,Xiaoxilin	大	铅锌	矽卡岩型	寒武系	劳亚成矿域	西伯利亚成矿带	[65]
36	翠宏山 ,Cuihongshan	大	铁	矽卡岩型	寒武系	劳亚成矿域	西伯利亚成矿带	[65]
38	查干布拉根 ,Tsaiganbulagen	大	银	陆相火山岩性	古生代	劳亚成矿域	西伯利亚成矿带	[56]
39	拜仁达坝 ,Baierendaba	超大	银	热液型	中生代	劳亚成矿域	西伯利亚成矿带	[56]
41	山门 ,Shanmen	大	银	热液型	中生代	劳亚成矿域	西伯利亚成矿带	[69]
42	红透山 ,Hongtoushan	大	铜	BIF 型	太古宙	劳亚成矿域	西伯利亚成矿带	[69]
43	巴尔哲 ,Bazheer	大	稀土	花岗岩型	中生代	劳亚成矿域	西伯利亚成矿带	[65]
84	涅帕 ,Nepa	超大	钾盐	蒸发岩型	古生代	劳亚成矿域	西伯利亚成矿区	[15]①
85	奥林匹亚达 ,Olimpiada	大	金	黑色岩系型	元古宙	劳亚成矿域	西伯利亚成矿区	[15]
86	博代博 ,Bodaybo	大	金	砂矿型	新生代	劳亚成矿域	西伯利亚成矿区	[15]①
87	苏霍伊洛克(干谷) ,Sukhoi Log	大	金	黑色岩系型	元古宙	劳亚成矿域	西伯利亚成矿区	[15]①
91	艾哈儿一成功 ,Aihar-Succeeds	大	金刚石	金伯利岩型	中生代	劳亚成矿域	西伯利亚成矿区	[15]①
92	和平 ,Peace	大	金刚石	金伯利岩型	中生代	劳亚成矿域	西伯利亚成矿区	[15]①
94	勒拿 ,Lena(还有个铜矿)	大	煤	沉积型	古生代	劳亚成矿域	西伯利亚成矿区	[15]①
95	坎斯克-阿钦斯克 ,Kansk-Achinsk	大	煤	沉积型	古生代	劳亚成矿域	西伯利亚成矿区	[15]①
96	通古斯卡 ,Tunguska	超大	煤	沉积型	古生代	劳亚成矿域	西伯利亚成矿区	[15]①
97	连斯克 ,Lensk	大	煤	沉积型	古生代	劳亚成矿域	西伯利亚成矿区	[15]①
100	波罗任 ,Bolory	大	锰	火山沉积型	古生代	劳亚成矿域	西伯利亚成矿区	[15]①
103	诺里尔斯克 ,Norilsk	超大	镍	铜镍硫化物型	中生代	劳亚成矿域	西伯利亚成矿区	[15]①
104	金咖石 ,Kingash	超大	镍	岩浆硫化物型	—	劳亚成矿域	西伯利亚成矿区	[15]
105	霍洛德宁斯克 ,Kholodninskoye	超大	铅锌	SEDEX 型	古生代	劳亚成矿域	西伯利亚成矿区	[15]
109	萨利克 ,Sarylakh	超大	锑	热液型	中生代	劳亚成矿域	西伯利亚成矿区	[16]
126	乌多坎 ,Udokan	大	铜	砂页岩型	元古宙	劳亚成矿域	西伯利亚成矿区	[16]
134	普朗格诺日 ,Prognoz	超大	银	热液脉型	—	劳亚成矿域	西伯利亚成矿区	[15]
136	伊斯基斯克 ,Iskinskoe (Askum)	大	铝	沉积型	—	劳亚成矿域	西伯利亚成矿区	[15]
143	可斯特因斯克 ,Kostenginskoye	大	铁	BIF 型	—	劳亚成矿域	西伯利亚成矿区	[15]
144	巴拉达斯克 ,Barandatskoye	超大	铁	沉积型菱铁矿	—	劳亚成矿域	西伯利亚成矿区	[15]
145	苏塔斯克 ,Sutarskoye	大	铁	BIF 型	—	劳亚成矿域	西伯利亚成矿区	[15]



续表 4

序号	矿床(区)	规模	矿种	类型	成矿时代	成矿域	成矿区带	资料来源
146	安帕里克 ,Ampalyk	大	铁	矽卡岩型	—	劳亚成矿域	西伯利亚成矿区	[15]
159	噶尔 ,Gar	大	铁	火山沉积型	—	劳亚成矿域	西伯利亚成矿区	[15]
160	可尔帕舍夫斯克 ,Kolpashevskoye	超大	铁	沉积型	—	劳亚成矿域	西伯利亚成矿区	[15]
161	帕拉贝尔-楚茨克斯克 Parabel-Chuzikskoye	超大	铁	沉积型菱铁矿	—	劳亚成矿域	西伯利亚成矿区	[15]
162	巴克察斯克 ,Bakcharskoye	超大	铁	BIF 型	—	劳亚成矿域	西伯利亚成矿区	[15]
163	伦达克斯克 ,Lendakhskoye	大	铁	矽卡岩型	—	劳亚成矿域	西伯利亚成矿区	[15]
164	伊拿什明斯克 ,Enashiminskoye	大	铁	矽卡岩型	—	劳亚成矿域	西伯利亚成矿区	[15]
165	乌多荣戈夫斯克 ,Udorongovskoye	超大	铁	火山沉积型	—	劳亚成矿域	西伯利亚成矿区	[15]
166	尼茨-安戈尔斯克 ,Nizhne-Angarskoye	超大	铁	沉积菱铁矿型	—	劳亚成矿域	西伯利亚成矿区	[15]
167	伊什姆宾斯克 ,Ishimbinskoye	大	铁	沉积菱铁矿型	—	劳亚成矿域	西伯利亚成矿区	[15]
168	塔戈尔斯克 ,Tagarskoye	大	铁	矽卡岩型	—	劳亚成矿域	西伯利亚成矿区	[15]
169	涅俊丁斯克 ,Nerjundinskoye	超大	铁	矽卡岩型	—	劳亚成矿域	西伯利亚成矿区	[15]
170	卡帕夫斯克 ,Kapaevskoye	超大	铁	矽卡岩型	—	劳亚成矿域	西伯利亚成矿区	[15]
171	可尔舒诺夫斯克 ,Korshunovskoe	超大	铁	矽卡岩型	—	劳亚成矿域	西伯利亚成矿区	[15]
172	塔尤茨诺 ,Tayozhnoe	超大	铁	矽卡岩型	—	劳亚成矿域	西伯利亚成矿区	[15]
173	戴尤索夫斯克 ,Dyosovskoe	超大	铁	矽卡岩型	—	劳亚成矿域	西伯利亚成矿区	[15]
174	奥林匹斯克 ,Olimpiyskoe	超大	铁	BIF 型	—	劳亚成矿域	西伯利亚成矿区	[15]
175	伊洛古伊斯克 ,Eloguiskoye	超大	铁	火山沉积型	—	劳亚成矿域	西伯利亚成矿区	[15]
176	苏英达可斯克 ,Suringdakonskoye	超大	铁	矽卡岩型	—	劳亚成矿域	西伯利亚成矿区	[15]
177	伊萨可夫斯克 ,Isakovskoye	大	铁	BIF 型	—	劳亚成矿域	西伯利亚成矿区	[15]
178	土耳坎斯克 ,Turukhanskoye	超大	铁	火山沉积型	—	劳亚成矿域	西伯利亚成矿区	[15]
179	阿拿基茨克 ,Anakitskoye	超大	铁	矽卡岩型	—	劳亚成矿域	西伯利亚成矿区	[15]
181	古林斯克 ,Gulinskoye	超大	铁	碳酸盐型	—	劳亚成矿域	西伯利亚成矿区	[15]
182	伊日亚斯 ,Iriaas	超大	铁	碳酸盐型	—	劳亚成矿域	西伯利亚成矿区	[15]
183	库格达 ,Kugda	大	铁	碳酸盐型	—	劳亚成矿域	西伯利亚成矿区	[15]
184	伊赛伊 ,Essey	超大	铁	碳酸盐型	—	劳亚成矿域	西伯利亚成矿区	[15]
185	塔日拿可 ,Tarynnakh	超大	铁	BIF 型	—	劳亚成矿域	西伯利亚成矿区	[15]
187	土目土耳其 ,Tomtor	大	稀土	风化壳	—	劳亚成矿域	西伯利亚成矿区	[15]
188	戈尔诺伊-奥泽诺 ,Gornoye Ozero	超大	稀土	碳酸盐型	—	劳亚成矿域	西伯利亚成矿区	[15]
189	卡凡卡塔 ,Kavakta	超大	稀土	基性超基性岩型	—	劳亚成矿域	西伯利亚成矿区	[15]
190	玛格泽伊卡 ,Mangazeika	大	银	热液脉型	—	劳亚成矿域	西伯利亚成矿区	[15]
191	萨尔达纳 ,Sardana	大	铅锌	密西西比河谷型	—	劳亚成矿域	西伯利亚成矿区	[15]
196	安加拉 ,Angara	大	铁	火山岩型	古生代—中生代	劳亚成矿域	西伯利亚成矿带	[16]

俄罗斯诺里尔斯克铜镍硫化物矿床(序号 103)位于俄罗斯北极圈内,莫斯科北东 2800 km 处,是目前已知全球最大的 Ni-Cu-PGE 硫化物成矿省。赋存于西伯利亚大火成岩省中,位于俄罗斯西伯利亚

地台西北角诺里尔斯克矿集区主要开采 3 处矿床,分别为诺里尔斯克 1 号矿床、塔尔纳赫矿床和十月矿床<sup>[70-74]</sup>。

诺里尔斯克矿床成因与典型的超碱性侵入体

有关,属于中生代,主要包括 5 个侵入体,每个侵入体有 3 个岩相。上部辉长岩系列由闪长粒玄岩、斜长岩和这些岩石的变种组成,上层岩石中有用组分含量低,中层由斜辉岩组成,下层由闪长粒玄岩组成<sup>[53]</sup>。

诺里尔斯克铜-镍-铂族金属矿床埋藏于地下 500~1500 m 深处的玄武岩。主要矿石类型分 3 种类型:致密硫化物矿石(富矿石)、脉状浸染矿石(铜矿石)、致密块状硫化矿体,主要赋存于塔尔纳赫侵入杂岩中。矿集区内的矿石矿物包括磁黄铁矿、黄铜矿、方黄铜矿、镍黄铁矿、辉铜矿、褐硫铁铜矿,以及含铂的砷化物、锑矿化和碲化物。块状硫化物矿体以磁黄铁矿、黄铜矿和镍黄铁矿为主;浸染状硫化物矿体除这些矿石矿物外,还发育含铂的砷化物和碲化物;角砾状硫化物矿体则以辉铜矿为主。块状硫化物矿体内部存在分带现象,核部为富铜的硫化物,边部为镍黄铁矿和磁黄铁矿<sup>[70-74]</sup>。

#### 2.4 中朝成矿区

中朝成矿区位于“走廊”东段。其展布范围与包括中国中部和朝鲜半岛。该成矿区主要矿产有

煤、铁、磷、铜、镍、金等<sup>[1]</sup>,代表性矿床有中国的东胜-神府煤田、鞍山-本溪 BIF 型铁矿床、金川铜镍硫化物矿床、多宝山铜矿、焦家金矿等<sup>[75-82]</sup>(表 5)。

中国黑龙江多宝山铜矿(序号 25)位于嫩江县北部,矿区位于小兴安岭西北段西南山坡,是中国四大斑岩铜矿之一。矿区出露地层为中奥陶统多宝山组( $O_2d$ ),中一下志留统八十里小河组和黄花沟组,中、下泥盆统泥鳅河组和乌奴尔组,上石炭统花朵山组、上二叠统八站组、下白垩统龙江组及第四系。矿区地层经强烈区域构造、热液蚀变、变质等作用(图 8)岩层产状陡,纵横向变化大,层理、节理发育,多出现破碎岩层<sup>[75]</sup>。

从大地构造位置看,该矿床位于蒙古-鄂霍茨克古生代地槽系东部的大兴安岭隆起带与松辽沉降带的衔接部位,属大兴安岭金、铜多金属成矿带的东北部,是目前正在开采的大型斑岩型铜矿,铜金属量为 3 Mt<sup>[76]</sup>。多宝山弧形构造带与多宝山倒转背斜轴部及几组构造在多宝山矿区复合出现,比较明显的控岩控矿构造形迹有北西向弧形构造和近东西构造。多宝山连同其南东 4 km 的铜山铜矿探明

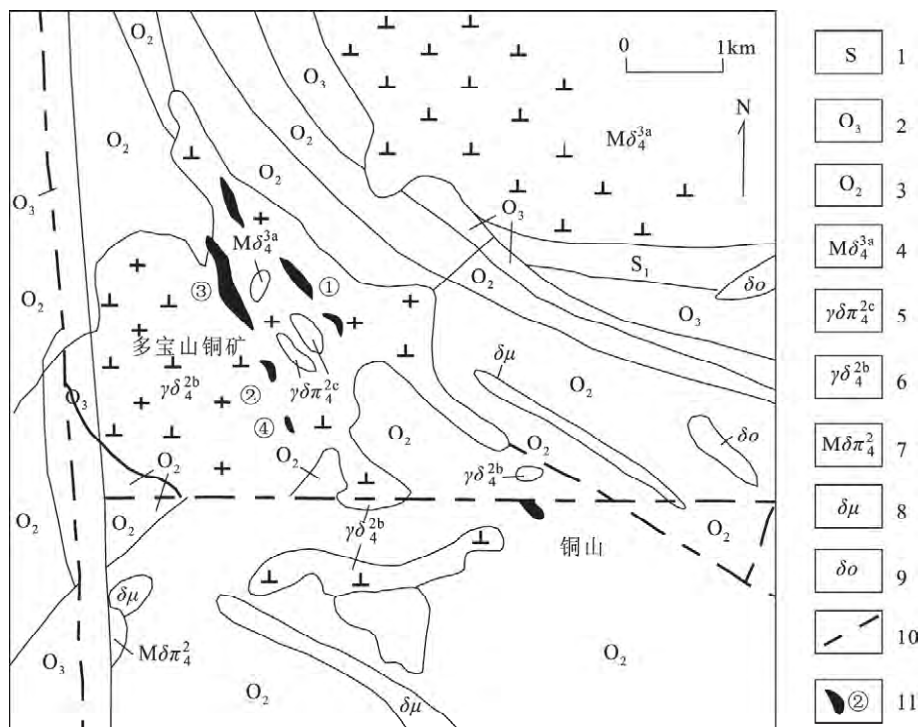


图 8 多宝山铜矿区地质图<sup>[77]</sup>

Fig. 8 Geological map of the Duobaoshan copper mining area

1—下志留统粉砂质页岩; 2—上奥陶统砂岩、页岩、板岩; 3—中奥陶统中性火山岩及火山碎屑岩; 4—华力西晚期英云闪长岩; 5~7—华力西中期复式岩体; 5—花岗闪长斑岩; 6—花岗闪长岩; 7—英云闪长斑岩; 8—闪长玢岩; 9—石英闪长岩; 10—断层; 11—矿体及编号

表 5 中蒙俄经济走廊中朝成矿区大型-超大型矿  
Table 5 The large and superlarge ore deposits in Sino-Korean metallogenic zone of  
China-Mongolia-Russia Economic Corridor

序号	矿床(区)	规模	矿种	类型	成矿时代	成矿域	成矿区带	资料来源
17	本溪-鞍山 Benxi-Anshan	超大	铁	BIF 型	元古宙-太古宙	劳亚成矿域	中朝成矿区	[34]
20	韩旺 Hanwang	大	铁	BIF 型	前寒武	劳亚成矿域	中朝成矿区	[57]
21	金岭 Jinling	大	铁	矽卡岩型	古生代	劳亚成矿域	中朝成矿区	[57]
22	莱芜 Laiwu	大	铁	矽卡岩型	早古生代	劳亚成矿域	中朝成矿区	[57]
25	多宝山 Duobaoshan	超大	铜	斑岩型	古生代	劳亚成矿域	西伯利亚成矿带	[82]
50	焦家 Jiaojia	超大	金	蚀变岩型	中生代	劳亚成矿域	中朝成矿区	[65]

储量累计达到  $335 \times 10^5$  t, 钼  $15335 \times 10^5$  t, 金 73 t。

矿区内已知矿床(点)出露的地层主要为奥陶系和志留系,主要赋矿地层为中奥陶统多宝山组( $O_2d$ ),由一套安山岩和中酸性凝灰岩所组成的火山岩系。多宝山组正常场平均含铜质量分数明显高于矿田内其他地层的含铜量,是矿田成矿物质的主要来源。矿区内热液活动具有多期叠加的特征,它们在空间和时间上与花岗闪长岩、花岗闪长斑岩和斜长花岗岩岩浆的活动具有密切的关系。矿床 Cu 平均品位为 0.4% 以上,Mo 的平均品位为 0.02% 以上。矿石金属矿物有黄铁矿、黄铜矿、斑铜矿、辉钼矿、闪锌矿、方铅矿等,脉石矿物有石英、绢云母、绿泥石、绿帘石、方解石等,主要蚀变有硅化、钾长石化、钠长石化、黑云母化、绢云母化、绿帘石化、绿泥石化、碳酸盐化等,蚀变分带明显<sup>[76-81]</sup>。对矿床花岗闪长岩进行 SHRIMP 锆石 U-Pb 测年,年龄值为  $453.2 \sim 486.9$  Ma,这一年龄是多宝山斑岩铜矿床的成岩成矿年龄,其他学者对花岗闪长岩进行 SHRIMP 锆石 U-Pb 测年,年龄值为  $485 \pm 8$  Ma,利用 Re-Os 对矿床测年,年龄值为  $476 \sim 521$  Ma<sup>[82-83]</sup>。

### 3 典型矿床对比与区域成矿潜力分析

综合“走廊”198 个超大-大型矿床,单从矿种来看铁矿个数最多,其中铁、铅锌、银、铜、油气、煤等为“走廊”的优势矿产资源(图 9),综合区域构造分区、赋矿地层等时空分布特点,矿床产出有以下特征。

#### 3.1 典型矿床对比

“走廊”矿产资源分布具有特定的地域性和规律性。中朝成矿区分布着地球上最古老的岩石,

在寒武纪以前经过多次剧烈褶皱变动和岩浆活动,形成丰富多样的矿床,具有十分优越的成矿地质条件,该成矿带是寻找铁矿、贵金属、宝石等矿种的理想场所。蒙古-乌拉尔成矿区主要由乌拉尔造山带和天山-兴蒙造山带组成,岩浆活动、构造运动强烈,在其东段中生代受环太平洋构造域叠加,矿床数量远超过古陆块区。这些矿床多兼具 2 种以上矿床地质特征,其形成过程由多个阶段构成,是多期岩浆作用及相关流体活动的产物,是寻找银、铅锌、钼、铀及铜多金属矿床的目标之一。欧洲成矿区展布范围为欧亚大陆西北部,主要矿产有钾盐、铁、锰、汞,其次是铬、金刚石、磷、煤、银等<sup>[1]</sup>。

基于“走廊”沿线探明矿产的成矿条件、成矿时代、控矿因素及成矿理论,“经济走廊”沿线腹地的铜、金、铅锌、铁储量巨大。其中,沿线腹地内的铜-金矿以斑岩型为主,横贯中国东北,并延伸至境外蒙古境内。铁矿以 BIF 型铁矿为主,主要分布在古老地块,以中国的弓长岭和俄罗斯的尔斯克铁矿为代表<sup>[84]</sup>。金、铅锌矿则以矽卡岩型、浅成低温热液矿床为主,典型矿床为中国的焦家金矿和俄罗斯的 Berezitovoye 金矿(表 6;图 10)。

##### 3.1.1 斑岩型矿床

蒙古的斑岩型铜矿床主要受晚古生代(蒙古南部地区)及早中生代(蒙古北部)构造-火山岩带及呈 NW 走向延展的额尔登特-查干苏布尔加聚矿构造控制。近 EW 向延展的构造火山岩带与 NW 向展布的聚矿构造交叉处形成容矿空间,这是斑岩铜-钼矿床非常有利的成矿部位。蒙古查干苏布尔大型斑岩铜钼矿床、阿累怒尔铜钼矿床及额尔登特

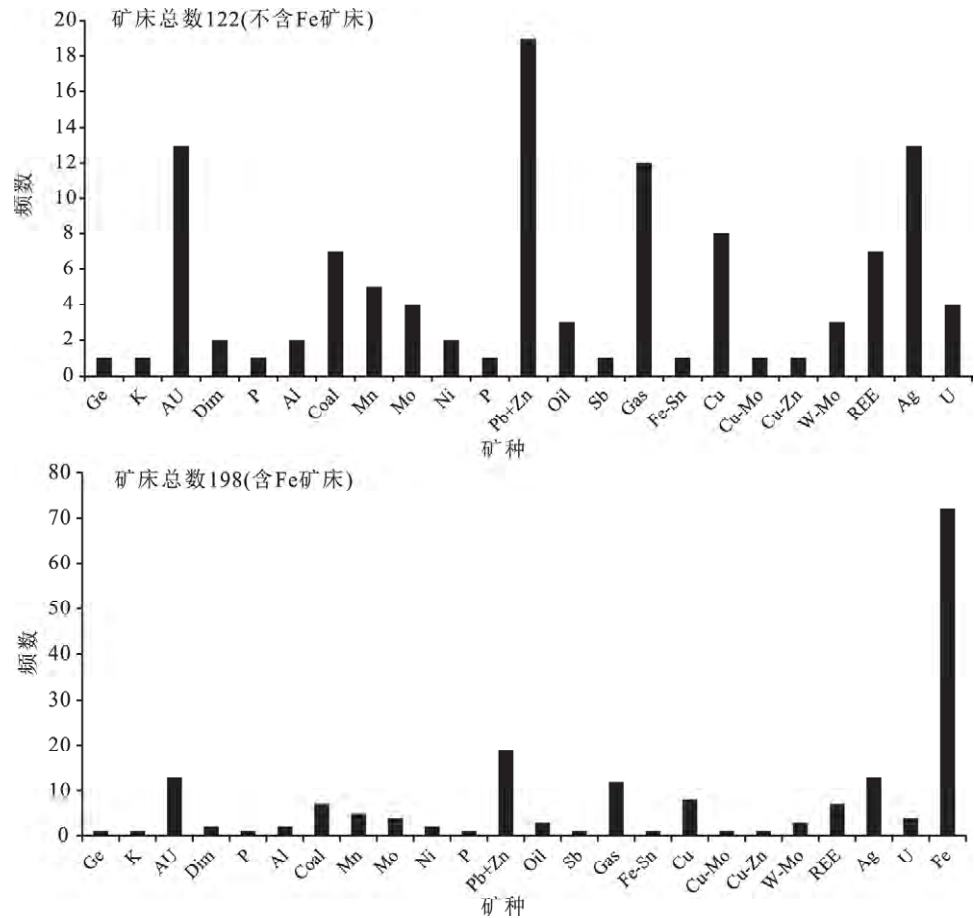


图9 中蒙俄经济走廊矿产种类分布特征

Fig. 9 Distribution characteristics of mineralresources in China-Mongolia-Russia Economic Corridor

铜钼矿床分布在这一巨大的聚矿构造带。蒙古东部NW 向的横切断裂及蒙古西部NE 向的横切构造都是聚矿构造的组成部分。额尔登特-查干苏布尔聚矿构造是最大的一个。横贯整个蒙古,不同时期地槽构造及元古宙基底控制着蒙古北、中、南各部分的绝大多数矿床。俄罗斯的诺里尔斯克铜镍矿床也有相同点。

表6 中蒙俄经济走廊典型矿床对比  
Table 6 Comparison of typical deposits in China-Mongolia-Russia Economic Corridor

矿床成因类型	斑岩型铜矿床		沉积变质型磁铁矿矿床		岩浆热液型金矿	
矿床名称	蒙古国额尔登特	中国多宝山铜矿	俄罗斯库尔斯克铁矿	中国弓长岭磁铁矿	俄罗斯 Berezitovoye 金矿	中国焦家金矿
成矿区带	乌拉尔-蒙古成矿带	西伯利亚成矿区	欧洲成矿区	中朝成矿区	乌拉尔-蒙古成矿带	中朝成矿区
区域构造环境	蒙古-鄂霍茨克缝合带的北侧	兴安岭隆起带与松辽沉降带的衔接部位	俄罗斯中部沃罗涅什地块西部	华北地台辽东台中部	阿尔丹-斯坦诺沃依地块的刚性板块与阿穆尔复合地的中生代碰撞地区	华北地台东缘胶北隆起区
成矿地质体	花岗岩和花岗正长岩组成的额尔登特杂岩体	花岗闪长岩	含铁石英岩	太古宙鞍山群沉积变质岩系	花岗闪长岩	花岗岩
成矿时代	早—中三叠世	早奥陶世	前寒武纪	古元古代	早白垩世	早白垩世
矿床规模	超大型	超大型	超大型	超大型	超大型	超大型

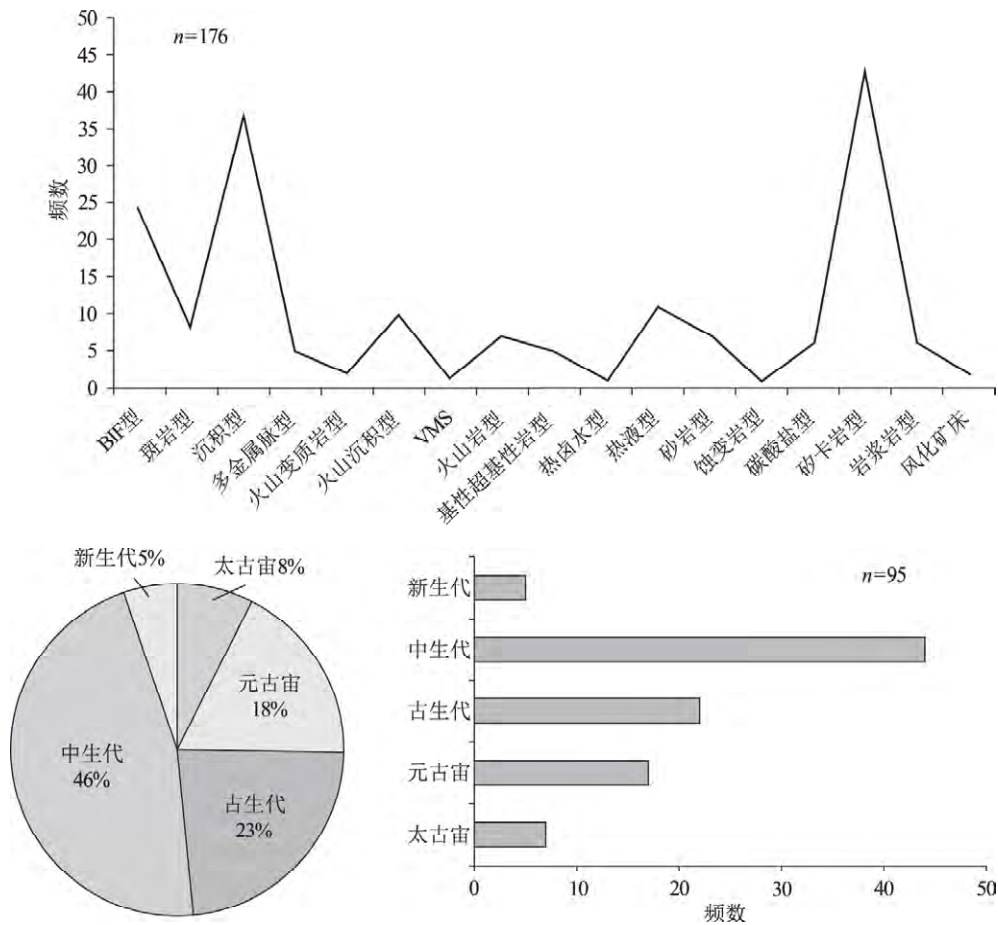


图 10 中蒙俄经济走廊主要矿床成矿类型与特征

Fig. 10 Characteristics of mineralization and types of deposits in China-Mongolia-Russia Economic Corridor

### 3.1.2 沉积变质型铁矿床

铁矿在俄罗斯分布较广,俄罗斯地台具含铁建造的结晶基底形成后,有较长时间的剥蚀期(元古宙—泥盆纪)。出露在地表的条带状磁铁贫矿层遭受了长时间的古风化淋滤作用,形成多孔状假象赤铁矿层。此后又沉积了石炭系、侏罗系、白垩系等沉积盖层,使富矿得到较好地保存,俄罗斯的库尔斯克铁矿就是典型代表。

鞍本矿集区、冀东矿集区属于中国重要的铁矿产地,以古元古代沉积变质型铁矿床为主<sup>[84]</sup>。

### 3.1.3 岩浆热液矿床

深断裂构造是“走廊”的重要控矿构造之一,特别是对 Au、Cu、Mo 等控制极为典型和明显。由于深断裂构造的特点,空间上延长极远,深度很大,并与岩石建造有一定关系,是控制区域构造和成岩成矿的主导因素之一,由于构成区域构造格架,往往

是不同构造单元的分界线。板块结合带、不同地体拼接带、裂谷边缘、板块转换带等,延长和延深规模巨大,长可达数千千米到数百千米不等,“走廊”内的乌拉尔—蒙古弧巨型构造带,位于俄罗斯地台和中朝地台、西伯利亚地台之间。其西北翼呈近 SN 向,东南翼则呈 EW 向。乌拉尔—蒙古弧构造带为全球性构造单元,在新元古代—古生代形成了亚洲中部和西部活化地槽带<sup>[14]</sup>,与构造活动过程对应形成各种矿产。

金矿床的主要成因类型为岩浆热液型、砂岩型,大型矿床如苏塔姆、克留切夫、伊塔京和达拉松,均为岩浆热液型,雅纳—科累马、卡玛格泰为砂岩型;其次为火山热液型,如大型的谢尔加奇矿床。

从成矿区带看,岩浆岩热液型金矿主要位于地质体的“活化”部位,岩金矿分布与巨型深断裂体系的构造控制有关,金矿在空间上主要集中于古老地

台区。赋存金矿的主岩多集中产在某一特定岩层中,金矿化区的展布与岩层分布总体一致。主要金矿带(区)在空间上大都分布在大陆(或地台)及基底构造层隆起区的边缘。断裂构造对金矿成矿具有分级控制规律,深大断裂控制金矿集中区,大断裂控制矿区(田),一般断裂控制矿床(体),控矿构造控制金矿化的富集段。金矿成矿与花岗岩类岩石有密切关系,中生代,尤其是燕山期岩浆活动对金矿的成矿作用更重要<sup>[85-89]</sup>。

其中,鄂霍茨克-楚科奇火山-深成岩带已成为俄罗斯的金银矿、锡、钨、汞、锑矿的重要找矿远景区。俄罗斯东北部金-银矿省属于环太平洋边缘火山带的组成部分,符合一般中-新生代构造活动和构造演变的规律。

#### 3.1.4 能源矿产

中蒙俄“走廊”典型的石油和天然气矿床,主要分布在俄罗斯,17个典型矿床中俄罗斯占16个。一般位于陆架区和非复杂冰区的浅水海域,散布于俄边缘和油气资源省,重油在俄罗斯分布广泛,而且集中分布在一些独特的地层里<sup>[90]</sup>。成油时代为古生代—中生代—新生代,储油盆地主要由俄罗斯地台、西西伯利亚地块、西伯利亚地块等规模大且相对稳定的大地构造单元组成,可分为前寒武纪基底的地台平原凹陷边缘盆地与古生代基底的地台平原凹陷边缘盆地。

煤矿主要分布在俄罗斯与中国,时代跨越志留纪—白垩纪,以石炭纪—侏罗纪为主,主要分布于俄罗斯的伏尔加与乌拉尔西坡,中国的内蒙古、山西等地区。

中蒙边境火山岩型铀矿床(点)大多在前侏罗纪地层(体)为基底的中生代断陷盆地内产出,且与侏罗纪—白垩纪碱性和富碱性火山岩地层和侵入岩体具有密切的时空分布关系。

#### 3.2 成矿时代及特征

##### (1) 太古宙成矿期

“走廊”内太古宙成矿主要以铁、金为主,主要以含铁石英岩变质成因的磁铁矿为主,包括刚玉、石墨、黄铁矿等矿床。

##### (2) 元古宙成矿期

元古宙成矿期主要以铁、镍、铜、锌、金等矿床为主,矿床主要类型包括磁铁石英岩、伟晶岩矿床、碳酸盐矿床、硫化物矿床,如黑山岩浆热液的铁床

等。新元古代中期地台边缘褶皱带内多发育矽卡岩型、伟晶岩型矿床。

##### (3) 加里东成矿期

加里东期“走廊”内岩浆活动频繁,尤其辉长岩—辉岩—橄榄岩系列岩浆活动广泛发育,以岩浆热液型钛铁矿—磁铁矿及热液型金矿床为主。

##### (4) 华力西成矿期

华力西期由于“走廊”构造活动强烈,大陆边缘部位裂解、缝合增生导致岩浆活动强烈,是一个重要的成矿期,以铁、铬、钼、锡、铋、金等矿种为主,矿床类型包括与基性岩体有关的钨多金属矿产,陆相火山岩中热液矿床等。

##### (5) 中生代成矿期

中生代“走廊”内主要有俄罗斯的外高加索、中国的环太平洋活动带等,以中酸性岩体有关的岩浆热液、矽卡岩型矿产为主,以金、多金属、钨锡矿矿种为主。

##### (6) 新生代成矿期

新生代“走廊”内成矿期以岩浆岩热液矿床为主,铜、多金属、钨、钼、锡等矿种分布较广。

#### 3.3 找矿潜力初步分析

“走廊”跨多个构造单元和重要成矿带,成矿潜力大,从成矿背景和特点大多可进行对比分析,例如中国、俄罗斯、蒙古国交界的额尔古纳上黑龙江流域地区,燕山期岩浆活动频繁,尤其金、铜、铅锌矿床分布广、储量规模大,是找寻相关矿产的有利地段。内蒙古乌拉尔山地区具有热液—沉积及矽卡岩型铁矿床,沉积—变质热液型铜矿良好的找矿前景。

## 4 结 论

(1) 中蒙俄经济走廊在大地构造上跨西伯利亚陆块、塔里木陆块、中朝陆块、乌拉尔—蒙古造山带、昆仑—祁连—秦岭造山带、斯堪的纳维亚造山带,构造岩浆强烈,有很好的成矿地质背景,跨中朝成矿区、西伯利亚成矿区、乌拉尔—蒙古成矿区、欧洲成矿区等多个成矿区带,矿产资源丰富,区带分布特征明显。

(2) 通过198个大型矿床地质矿产特征分析,大型矿床的分布与大型构造关系密切,大型盆地往往是油气资源聚集区,金属类矿产资源的分布在时空、位置上与岩浆活动关系更密切。

(3) 整理了中蒙俄经济走廊主要矿床的产出特征,分析了典型矿山成矿特征,初步总结找矿规律



和方向,并与国内相关区域进行对比,有利于相关矿产勘查工作的开展。

(4) 综合分析 198 个大型矿床相关资料,中蒙俄经济走廊 3 个国家矿产有一定的共性和互补性。

致谢:本文资料收集过程得到了中国地质科学院矿产资源研究所刘翼飞博士和黄道衰博士、研究生汪傲的大力协助,写作过程中中国地质调查局发展研究中心张万益研究员提出很多宝贵意见,在此一并致谢。

## 参考文献

- [1] 梅燕雄,裴荣富,杨德凤,等.全球成矿域和成矿区带[J].矿床地质,2009,4: 383-389.
- [2] 于洪洋,欧德卡,巴殿君.试论“中蒙俄经济走廊”的基础与障碍[J].东北亚论坛,2015,1: 96-106.
- [3] 柴璐,朱群,周永恒.中俄蒙毗邻地区主要金属矿产分布特征[J].地质与资源,2010,10(5): 397-402.
- [4] 娜琳,额尔敦.中蒙合作开发蒙古国矿产资源的重要意义[J].内蒙古大学学报,2005,5(3): 57-60.
- [5] 赵鹏迪.中蒙俄国际贸易与内蒙古沿边经济带的建设研究[D].内蒙古大学硕士学位论文,2013.
- [6] 李靖宇,雷杨,马平,等.中蒙两国加强矿产资源合作开发问题探析[J].和平与发展,2013,(6): 67-82.
- [7] 崔彬,葛新权,邹瑜,等.编著.矿产资源产业发展[M].北京:中国发展出版社,2015:2-4.
- [8] 江思宏,聂凤军,苏永江,等.蒙古国额尔登特大型铜-钼矿床年代学与成因研究[J].地球学报,2010,3: 289-306.
- [9] 韩九曦.蒙古国地质矿产与矿业开发[M].北京:地质出版社,2013: 52-56.
- [10] 马国君.中蒙矿产资源合作开发研究[D].内蒙古大学硕士学位论文,2007.
- [11] 王楠,张本明.中俄蒙跨界次区域矿产资源合作开发机制与模式研究[J].世界地理研究,2009,(3): 18-24.
- [12] 何金祥.俄罗斯矿产工业与矿业投资环境[J].国土资源情报,2005,(9): 45-50.
- [13] 裴荣富.1:25000000 世界大型超大型矿床成矿图[M].北京:地质出版社,2011.
- [14] 吴振寰,唐昌韩,等.中国周边国家的地质与矿产[M].北京:中国地质大学出版社,1993: 21-88.
- [15] McFaul E J, Mason G T, Ferguson W B, et al. U.S. Geological Survey mineral databases: MRDS and MAS/MILS[J]. Data, 2000.
- [16] 施俊法,李友枝,金庆花,等.世界矿情[M].北京:地质出版社,2006: 81-142.
- [17] Markwick A J W, Downes H. Lower crustal granulite xenoliths from the Arkhangelsk kimberlite pipes: petrological, geochemical and geophysical results[J]. Lithos, 2000, 51(1/2): 135-151.
- [18] Lukichev S V, Nagovitsin O V. Information support of mineral mining and exploitation in the Khibiny mountains area[J]. Journal of Mining Science, 2012, 48(6): 1025-1030.
- [19] 仇衍铭.世界油气资源分布特征及战略分析[D].中国地质科学院硕士学位论文,2019.
- [20] 梅燕雄,叶锦华,张金良,等.“一带一路”能源资源合作基础与前景[J].中国矿业,2016,(25): 12-15.
- [21] 杨德彬,朱光有,刘家军,等.全球大型凝析气田的分布特征及其形成主控因素[J].地质前缘,2010,1: 339-349.
- [22] 贾爱林,闫海军,郭建林,等.全球不同类型大型气藏的开发特征及经验[J].天然气工业,2014,34(10): 33-46.
- [23] Verplanck P L, VanGosen B S. Carbonatite and Alkaline Intrusion - Related Rare Earth Element Deposits - A Deposit Model [J]. U. S. Geological Survey, 2011: 1-6.
- [24] 聂凤军,石成龙,赵元艺,等.北极圈及邻区金属矿床地质特征、形成作用与找矿潜力[J].中国地质,2012,8(39): 855-870.
- [25] 韩丕兰.俄罗斯铁矿工业概况[J].本钢技术,2013,2: 37-40.
- [26] 张承帅,李莉,李厚民.世界铁资源利用现状述评[J].资源与产业,2011,3: 34-43.
- [27] 刘畅.东北三省主要矿产资源接替战略研究[D].吉林大学博士学位论文,2009.
- [28] Sidorov A A, Eremin R A. Metallogeny and Gold Lode deposits of Northeastern Russia [J]. Icam - 94 Proceedings: Resource Potential Minerals, 1994: 247-256.
- [29] 孟贵祥,严加永,吕庆田,等.邯邢式铁矿深部探测技术及综合找矿模式研究——以河北省沙河市白洞铁矿床为例[J].矿床地质,2009,4: 493-502.
- [30] 贾木欣,于方,冯钟燕.邯邢式铁矿成因机理探讨[J].矿冶,2006,2: 80-84.
- [31] 郝俊杰,莘建宏,赵新卫,等.河北省沙河市白洞铁矿床稀土元素地球化学特征[J].现代地质,2011,3: 545-552.
- [32] 张聚全,李胜荣,王吉中,等.冀南邯邢地区白洞和西石门矽卡岩型铁矿磁铁矿成因矿物学研究[J].地质前缘,2013,3: 76-87.
- [33] 孔凡合,孙富海.用五位一体找矿模式实现白洞铁矿深部找矿新突破[J].地质与资源,2011,1: 67-69.
- [34] 赵一鸣.中国主要富铁矿床类型及地质特征[J].矿床地质,2013,4: 686-705.
- [35] Hu S K, Yan H Q, Ye M, et al. Metallogenic focus area and superlarge mineral deposits in the bordering zones between China, Russia and Mongolia [J]. Science in China, 1998, (41): 28-36.
- [36] Wu G Y. Palaeospastic reconstruction and geological evolution of Permian residual marine basins bordering China and Mongolia [J]. Journal of Palaeogeography, 2014, 3(2): 219-232.
- [37] 肖伟,王义天,江思宏,等.南蒙古及邻区地质矿产简图及地形地貌特点[J].地球学报,2010,3: 473-484.
- [38] 聂凤军,刘勇,刘翼飞,等.中蒙边境查夫-甲乌拉地区中生代银多金属矿床成矿作用[J].吉林大学学报(地球科学版),2011,41(6): 1715-1725.
- [39] 张智明,苏新旭编著.海外煤炭资源开发前景研究上[M].北京:煤炭工业出版社,2017: 393-402.
- [40] 于波,朱丽娜,郭卫江.蒙古国煤炭资源及其开发条件[J].山东工业技术,2015,16: 55-56.
- [41] 卢进才,魏仙样,魏建设,等.蒙古国南戈壁省二叠系岩性组合特征及其与内蒙古银额盆地的对比[J].地质通报,2014,33(9): 1400-1408.

- [42] 秦增刚,孙树光.浅谈蒙古国煤炭资源[J].西部资源,2014,2:136-137.
- [43] 李华,杨恺.俄罗斯矿产资源现状及开发[J].中国煤炭地质,2012,12(12): 69-72.
- [44] 汪傲,赵元艺,许虹,等.俄罗斯贝辰加镍-铜硫化物矿床研究进展[J].地质通报,2015,34(6): 1110-1118.
- [45] 权志高.俄罗斯古河道型铀矿床特征及找矿预测标志[J].西北铀矿地质,2003,4(1)25-31.
- [46] 金昭,等.俄罗斯后贝加尔边疆区矿产资源[M].中国商务出版社,2009: 42-100.
- [47] 李振超.俄罗斯矿产资源勘查开发投资环境分析[J].中国矿业,2013,4(22): 34-37.
- [48] 郭艳玲.俄罗斯矿产资源现状[J].矿业快报,2008,12(12): 9-11.
- [49] 李华,杨恺.俄罗斯矿产资源现状及开发[J].中国煤炭地质,2012,12(12): 69-72.
- [50] Sorokin A A, Melnikov A V, Ponomarchuk V A, et al. Age and magmatism relationship of Berezitovoye gold-base metal deposit from west part of Selenga-Stanovoy superterrane [J]. Reports of Russian Academy of Sciences, 2008, 421(1): 86-89.
- [51] 柴璐,周永恒,鲍庆中,等.俄罗斯斯特列里措夫火山岩型铀矿床地质特征及启示[J].地质与资源,2013,6(3): 250-254.
- [52] 赵凤民.俄罗斯外贝加尔山地铀矿床地质概况及其成因[J].世界核地质科学,2005,12(4): 198-202.
- [53] Tauchid M, Underhill D H. Uranium deposits of the world [C]// Proceeding of Exploration, 1997, 97: 177-180.
- [54] 王成辉,松权衡,王登红,等.吉林大黑山超大型钼矿辉钼矿铼-钼同位素定年及其地质意义[J].岩矿测试,2009,28(3): 269-273.
- [55] 王新.吉林省白山市板石沟铁矿构造变形与成矿预测[D].吉林大学硕士学位论文,2015.
- [56] 《中国矿床发现史·内蒙古卷》编委会编.中国矿床发现史内蒙古卷[M].北京:地质出版社,1996: 49-50.
- [57] 姚培慧.中国铁矿志[M].北京:冶金工业出版社,1993: 94-95.
- [58] 张德生,魏文通,徐焱焱.河北省成矿地质背景研究[M].武汉:中国地质大学出版社,2015.
- [59] 沈保丰.中国 BIF 型铁矿床地质特征和资源远景[J].地质学报,2012,86(9): 1376-1395.
- [60] 孙静,杜维河,王德忠,等.河北承德大庙黑山钒钛磁体矿床地质特征与成因探讨[J].地质学报,2009,83(9): 1344-1364.
- [61] 朱正勇,彭润民,宋崇宇,等.内蒙古狼山造山带海西期岩浆对霍各乞矿床的叠加改造研究[J].矿床地质,2014,33(S1): 493-494.
- [62] 胡小蝶,沈保丰,毛德宝,等.冀北蔡家营铅锌矿床成因探讨[J].地质调查与研究,2005,(4): 221-227.
- [63] 戴自希.矿产勘查百年[M].北京:地震出版社,2004: 44-69.
- [64] 《中国煤炭志》编纂委员会编.中国煤炭志内蒙古卷[M].北京:煤炭工业出版社,1999: 70-77.
- [65] 陈毓川,王登红,徐志刚,著.中国重要矿产和区域成矿规律[M].北京:地质出版社,2015: 649-657.
- [66] 侯万荣,聂凤军,江思宏,等.蒙古国博洛大型金矿区花岗岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 测年及地质意义[J].地球学报,2010,31(3): 331-342.
- [67] 李俊建.蒙古地质矿产概况[M].天津:天津科学技术出版社,2013: 53-190.
- [68] Sidorov A A, Volkov A V, Chekhov A D, et al. Volcanogenic belts of the marginal sea lithosphere in the Russian Northeast and their ore potential[J]. Journal of Volcanology and Seismology, 2011, 5(6): 386-398.
- [69] 《中国矿床发现史·辽宁卷》编委会编.中国矿床发现史辽宁卷[M].北京:地质出版社,1996: 7-10.
- [70] 罗照华,马拉库舍夫 AA,潘妮娅 H A,等.铜镍硫化物矿床的成因——以诺里尔斯克(俄罗斯)和金川(中国)为例[J].矿床地质,2000,19(4): 330-339.
- [71] 舒思齐,裴荣富,邢波等.俄罗斯诺里尔斯克铜镍硫化物矿床研究进展[J].地质通报,2015,34(6): 1100-1109.
- [72] 李长根.俄罗斯诺里尔斯克镍矿冶公司北极圈分公司镍-铜-铂族金属矿山[J].矿产综合利用,2013,(6): 69-75.
- [73] Dahlkamp, Franz J. Uranium Deposits of the World II [J]. 2010, 10: 978-1007.
- [74] 汤艳艳,张铭杰,何佩佩,等.诺里尔斯克 Cu-Ni-PGE 硫化物矿床成矿过程流体组成示踪[C]//第五届全国成矿理论与找矿方法学术讨论会论文集,2011: 172-173.
- [75] 冷亚星,王建平,郑德文.黑龙江多宝山铜矿赋矿岩体中一新生代隆升研究[J].矿物学报,2015,35(S1): 29.
- [76] 赵一鸣,毕承思,邹晓秋,等.黑龙江多宝山、铜山大型斑岩铜(钼)矿床中辉钼矿的铼-钼同位素年龄[J].地球学报,1997,(1): 62-68.
- [77] 杜琦.多宝山斑岩铜矿床成矿规律的研究及应用[J].中国地质,1984,6: 12-16.
- [78] 宋国学,秦克章,王乐,等.黑龙江多宝山矿田争光金矿床类型、U-Pb 年代学及古火山机构[J].岩石学报,2015,31(8): 2402-2416.
- [79] 金山岩,杜英杰,丁小津,等.多宝山矿田铜山铜矿资源潜力及深部勘查方向[J].地质与勘探,2014,4: 666-674.
- [80] 王小昆,王耀,吴发云.多宝山铜矿开发的必要性及对其资源环境的影响[J].宁夏农林科技,2011,12: 217-220.
- [81] 姜涛.黑龙江多宝山铜矿区植物地球化学特征及找矿指标研究[D].吉林大学硕士学位论文,2013.
- [82] 赵元艺,赵广江.黑龙江多宝山铜矿田稀土元素地球化学特征及多宝山铜矿床成因模式[J].吉林地质,1995,2: 71-78.
- [83] 赵焕利,朱春艳,刘海洋,等.黑龙江多宝山铜矿床中花岗闪长岩锆石 SHRIMP U-Pb 测年及其构造意义[J].地质与资源,2012,5: 421-424.
- [84] 李厚民,王登红,李立兴,等.中国铁矿成矿规律及重点矿集区资源潜力分析[J].中国地质,2012,3: 559-580.
- [85] 陈良玺,陈正,金玺,等.俄罗斯联邦矿业投资环境分析[J].中国矿业,2013,7(7): 37-41.
- [86] 梁鸽,于靖.国内对中蒙矿产资源合作研究述评[J].北方经济,2010,(11): 78-80.
- [87] 李昱言.蒙俄和黑龙江矿产资源优势比较与矿产投资环境评价[D].中国地质大学博士学位论文,2006: 55-94.
- [88] 聂凤军,江思宏,肖大明,等.蒙古国南部及临区金属矿床类型及其时空分布特征[J].地球学报,2010,6(3): 267-288.
- [89] 曹秋香,郭福生,崔京钢,等.俄罗斯油气资源现状及其发展趋势[J].东华理工大学学报(社会科学版),2015,34(3): 207-211.
- ①中国地质科学院矿产资源研究所.1/2500 万世界大型超大型矿床成矿图编制及全球矿产成矿规律研究与评价.2007.