



内蒙古自治区重要矿种成矿规律综述*

许立权 张彤 张明 张玉清 张永清 康小龙 许展 韩宗庆

(内蒙古自治区岩浆活动成矿与找矿重点实验室 内蒙古自治区地质调查院, 内蒙古 呼和浩特 010020)

摘要 2007~2013 年开展的内蒙古矿产资源潜力评价项目,对铁、铜、铅锌、金、银、钨、钼、铬、镍等重要矿种进行了区域成矿规律总结,为矿产资源潜力评价提供了基础资料。文章即是对该项工作部分成果的概括总结。主要进展包括:在全国Ⅲ级成矿区带划分的基础上,首次进行了覆盖全自治区的Ⅳ级成矿亚带的划分,共划分出 34 个Ⅳ级成矿亚带;对内蒙古铁、铜等 11 个重要矿种的主要矿床类型及成矿特征进行了概述,对其时空分布规律做了归纳,认为全区 70% 以上的矿床数量和资源储量均集中在Ⅲ-5、Ⅲ-6、Ⅲ-8、Ⅲ-10 和Ⅲ-11 五个成矿区带。此外,不同矿种甚至同一矿种,由于成矿地质背景的差异,在不同的三级区带中的分布也不一样。主要成矿期为元古宙和中生代,次为太古宙和晚古生代,不同矿种的重要成矿期也不完全相同。从区域演化的角度探讨了构造与成矿的关系,认为不同的构造演化阶段形成不同的矿床类型和不同矿种的矿床,其中,古大陆边缘裂谷带以白云鄂博式铁-稀土元素矿床为代表,而大兴安岭岩浆岩带则以产出与燕山期中酸性火山侵入杂岩有关的多金属矿产为特点。

关键词 地质学 铁、铜等重要矿种 成矿规律 成矿区带 内蒙古

中图分类号: P618.41 P618.31

文献标识码: A

Summary of ore-forming regularity of important mineral resources in Inner Mongolia

XU LiQuan, ZHANG Tong, ZHANG Ming, ZHANG YuQing, ZHANG YongQing, KANG XiaoLong,
XU Zhan and HAN ZongQing

(Inner Mongolia Key Laboratory of Magmatic Mineralization and Ore-prospecting, Geological Survey of Inner Mongolia,
Huhhot 010020, Inner Mongolia, China)

Abstract

Regional metallogenic regularity of important resources such as iron, copper, lead, zinc, gold, silver, tungsten, molybdenum, chromium and nickel were summarized by the Mineral Resources Potential Evaluation Project in Inner Mongolia which was carried out from 2007 to 2013, and the result provides the basic information for the mineral resources potential prediction. In this paper, some results of the work are summarized. The main ore deposit types and mineralization characteristics of 11 kinds of important mineral resources such as iron and copper in Inner Mongolia are summarized. On the basis of the national Ⅲ-grade ore-forming belts, Inner Mongolia was for the first time divided into 34 Ⅳ-grade ore-forming sub-belts covering the whole autonomous region. The temporal and spatial distribution of important minerals are summarized, and generally Ⅲ-5, Ⅲ-6, Ⅲ-8, Ⅲ-10 and Ⅲ-11 subbelts concentrate more than 70% of Inner Mongolia's mineral deposits and reserves. In addition, due to differences of geological background, the distribution of different types of minerals and even the

* 本文得到中国地质调查局中国矿产地质与区域成矿规律综合研究项目(编号:[2015]08-01-04-033)子项目内蒙古矿产资源调查成果综合集成与服务产品开发(编号:12120114040301)内蒙古自治区矿产资源潜力评价项目(编号:1212011121003)和“内蒙古重要成矿带成矿规律及找矿预测”创新人才团队(2015)的资助

第一作者简介 许立权,男,1971 年生,博士,正高级工程师,从事区域地质调查及资源潜力评价工作。Email: xuliqian2005@163.com

收稿日期 2015-08-10; 改回日期 2016-08-05。秦思婷编辑。

same type of mineral is not the same. The main metallogenic epochs include Proterozoic and Mesozoic, followed by Archean and late Paleozoic, and the metallogenic epochs of different minerals are not exactly the same. The relationship between mineralization and tectonic evolution is discussed, and different types of ore deposits were formed due to different tectonic evolution stages.

Key words: geology, important mineral resources, metallogenic regularity, mineralization belts, Inner Mongolia

内蒙古的成矿规律研究始于 20 世纪 80 年代,但多是对于局部地区、某个矿区或某个矿种的,对全区矿产进行全面总结的工作还不多。其中,内蒙古地质矿产局(1995)曾对全区 76 个探明储量的矿种的地质特征和分布规律进行过总结;邵和明等(2002)、毛景文等(2013)分别对重要矿产划分了成矿系列,建立了区域成矿谱系;邵和明等(2002)将内蒙古划分为 2 个Ⅱ级成矿区,10 个Ⅲ级、46 个Ⅳ级、115 个Ⅴ级成矿带;2007~2013 年间开展的内蒙古矿产资源潜力评价项目,对铁、铝、铜、铅锌、金、银、钨、钼、铬、镍等重要矿种进行了区域成矿规律的总结,划分了成矿区带和成矿系列,构建了区域成矿谱系,为矿产资源潜力评价提供了基础资料,本文即是对该项工作部分成果的总结与概括。

1 成矿地质背景与资源概况

内蒙古地质构造背景复杂,以高家窑-乌拉特后旗-化德-赤峰深断裂(传统的槽台断裂)为界,南为华北陆块,北为天山-兴蒙造山系,西南部涉及塔里木陆块和祁连造山系。华北陆块具典型的二元结构,结晶基底由太古宙(麻粒岩相-绿片岩相)兴和岩群、乌拉山岩群、集宁岩群和色尔腾山岩群构成,中元古代—古生代为稳定陆表海碳酸盐岩-碎屑岩建造,中生代陆相盆地沉积。在古生代,陆块北缘还发育有岩浆岩。兴蒙造山系是古亚洲洋发生、发展及消亡的重要场所。中生代在东部(包括陆块区和造山带)叠加了北北东向的巨型火山岩带。在整个地质历史中,地层发育、岩浆活动、热水作用、变质作用、构造作用等具有长期性、多样性、复杂性,因此,成矿作用也必然是复杂的、多期次的、多样性的(内蒙古地质矿产局,1991;1996;邵和明等,2002)。

内蒙古地处古亚洲成矿域和滨太平洋成矿域,前者呈近东西向带状分布,后者呈北东向叠加在前者之上,西南端有一小部分跨入秦祁昆成矿域(徐志刚等,2008)。矿产资源集中分布于“四带”和“三盆”

内。“四带”指华北陆块北缘成矿带、突泉-翁牛特旗成矿带、东乌旗-嫩江成矿带和新巴尔虎右旗-根河成矿带,蕴藏了内蒙古两大稀土稀有金属矿床,95%以上的有色金属储量和 90% 以上的铁矿石储量。“三盆”即鄂尔多斯盆地、二连盆地(群)和海拉尔盆地(群),集中了全区 90% 以上的煤炭资源,亦是石油、天然气和铀矿的主要产地。从地域分布上,东部区以有色多金属为主,其次为能源和非金属矿产;中部区以能源、黑色金属、有色金属、贵金属、稀有稀土金属为主,其次是非金属矿产;西部区以能源、非金属矿产为主,其次为金属矿产。

2 重要矿种的矿床类型及其主要特征

2.1 铁矿

内蒙古的铁矿从太古宙—中生代均有分布,但以华北陆块北缘西段包头至集宁地区较集中。成因类型主要包括沉积变质型、矽卡岩型、海相火山岩型、热液型、沉积型(包括陆相沉积型和海底喷流沉积型),矿产地数量上以沉积变质型最多,次为接触交代型及热液型,资源储量以喷流沉积型(本文将白云鄂博铁矿归为此类)和沉积变质型为主,成矿谱系见图 1。

沉积变质型铁矿是区内重要的铁矿床类型,主要分布在华北陆块北缘的包头-集宁地区和赤峰地区。赋存于新太古界色尔腾山岩群、中太古界乌拉山岩群及古太古界兴和岩群。中、大型矿床主要产于色尔腾山岩群,主要有三合明、书记沟。赋矿围岩主要为麻粒岩类(兴和岩群)、片麻岩类(乌拉山岩群和色尔腾山岩群)。矿体多呈层状、似层状、透镜状及马鞍状等。延深及延长一般不稳定,几十米至几百米不等,厚度变化大,在褶皱轴部变厚,向两翼逐渐变薄,甚至拉断。一般几米到几十米。刘利等(2012)对选自三合明铁矿的斜长角闪岩中的锆石进行 SIMS U-Pb 定年,具有核边结构、Th/U 比值大于 0.4 的锆石,其核部给出了 (2562 ± 14) Ma 的上交点

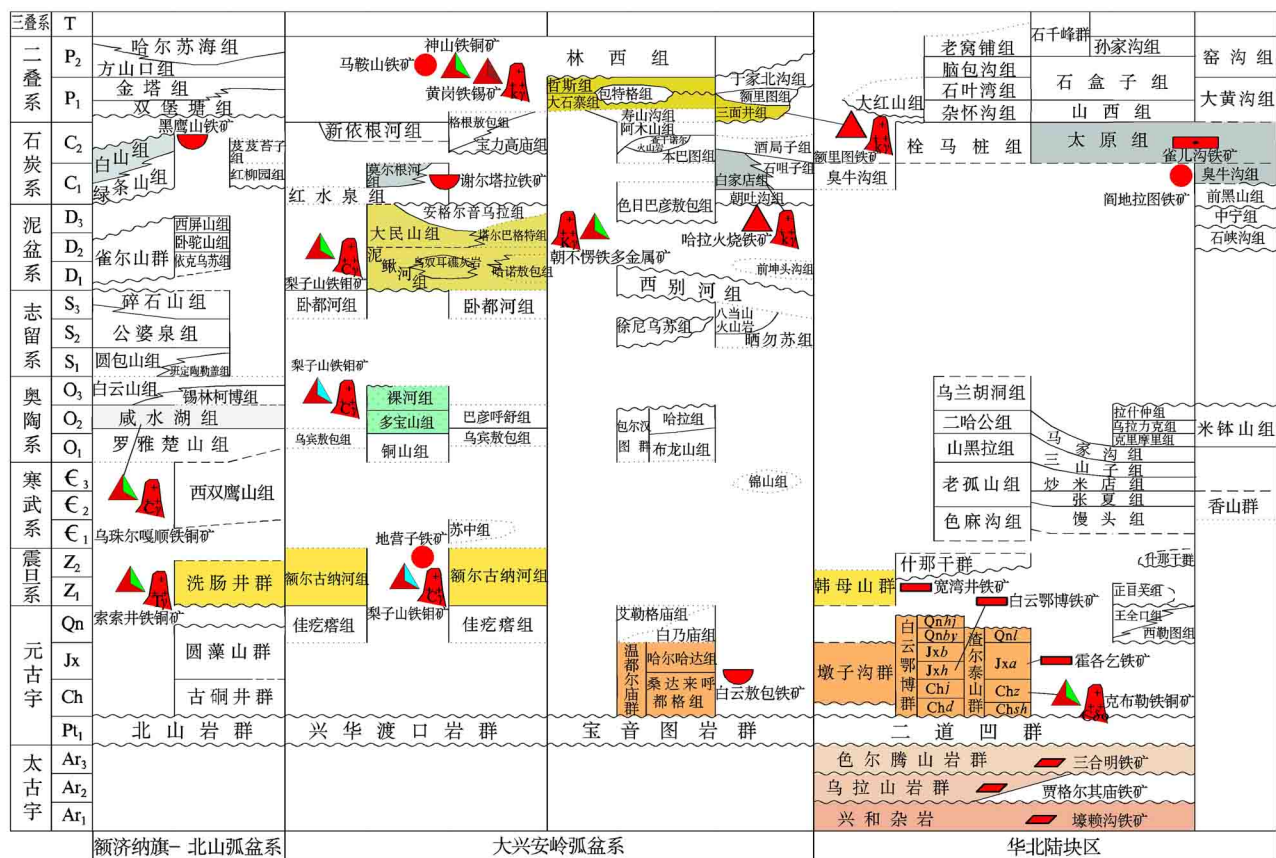


图1 内蒙古自治区铁矿成矿谱系图

Fig. 1 Mineralization pedigree of iron deposits in Inner Mongolia

年龄,可大致作为色尔腾山岩群的形成时代,限定铁矿成矿于新太古代。

海底喷流沉积型铁矿床出露在华北陆块北缘中元古代裂陷槽内。其中,霍各乞铁铜铅锌矿分布在狼山-渣尔泰山中元古代裂陷槽内,赋矿为渣尔泰山群阿古鲁沟组。矿体形态呈层状及似层状,与碳质板岩围岩产状一致。白云鄂博铁铌稀土元素矿床分布在白云鄂博中元古代裂陷槽内,赋矿围岩为白云鄂博群哈拉霍格特组白云岩(亦称H8段),矿区内侵入岩比较发育,有古元古代钾长花岗岩、含钠闪石正长岩,加里东期花岗岩、辉绿岩、闪长岩,华力西期花岗岩,印支期花岗岩,燕山期花岗岩,此外,还有较多的方解石碳酸岩及白云石碳酸岩侵入体。矿体受褶皱构造(向斜)控制明显。矿体与围岩产状一致,呈层状产出。本次工作共搜集到白云鄂博矿床的近50个同位素年龄数据,大体可分为4组:①中元古代早期(1500~1700 Ma),是与海底喷流有关热水成矿时代(曹荣龙等,1994);②中新元古代,主东矿同位素年龄1300~1000 Ma(张宗清等,1994;2003;任英忱

等,1994;刘玉龙等,2005;范宏瑞等,2006;Yang et al.,2011),西矿为800 Ma(刘玉龙等,2005),这一年龄反映了火成碳酸岩活动,与火成碳酸岩有关的富稀土元素的流体交代了先期沉积的稀土元素铁矿,使稀土元素进一步富集;③加里东期(550~400 Ma),矿石受到明显改造,并有新的稀土元素矿物形成(任英忱等,1994;刘玉龙等,2005;张宗清等,2003);④华力西期(270~250 Ma),发生矽卡岩化伴有稀土元素矿化(裴愉卓等,2009),也有部分学者认为该期岩浆活动与成矿无关(范宏瑞等,2009;杨晓勇等,2014;赖小东,2013)。

矽卡岩型铁矿床可根据矿床所处大地构造位置及与成矿有关的侵入岩的岩性组合大致分为:①与海西期中性和中偏基性(或偏碱性)侵入体有关的矽卡岩铁矿,主要分布在华北陆块西段的边缘凹陷带,成矿岩体为海西期辉长岩(卡休他他铁钴矿)和石英闪长岩(沙拉西别铁铜矿),围岩为震旦系及前震旦系的含大理岩的各类沉积建造,磁铁矿矿体均呈似层状、透镜状产出;②与海西期中酸性侵入岩有关

的铁矿,主要分布于东乌旗-多宝山岛弧,成矿岩体为海西晚期花岗岩、二长花岗岩、白岗岩等,围岩为奥陶系多宝山组,铁矿体平面上呈透镜状、脉状、似薄层状,如梨子山、罕达盖;③与燕山期中酸性侵入体有关的铁矿,主要分布于锡林浩特岩浆弧(黄岗、神山、哈拉火烧)和东乌旗-多宝山岛弧(朝不愣),在华北陆块上及北山弧盆系也有出露(额里图、乌珠尔嘎顺)。其中,朝不愣铁锌多金属矿的成矿岩体为燕山期黑云母花岗岩(锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为 136.9 Ma,许立权等,2010),围岩为中泥盆统塔尔巴格特组,矿体呈扁豆体、条带状及豆荚状成群成带平行断续分布,辉钼矿 Re-Os 等时线年龄(140.7 ± 1.8)Ma(聂凤军等,2007)。黄岗铁锡矿的成矿岩体为(黑云母)正长花岗岩,围岩为大石寨组顶部火山岩和哲斯组下部碳酸盐岩,矿体呈似层状、透镜状、马鞍状及楔状,金属矿物以磁铁矿、锡石、锡酸矿、闪锌矿、黄铜矿、斜方砷铁矿、白钨矿、辉钼矿为主,辉钼矿模式年龄为 133.6~141.2 Ma(张梅等,2011;周振华等,2011;翟德高等,2012);花岗岩锆石 LA-ICP-MS 年龄为(139.96 ± 0.87)Ma(翟德高,2012)。

2.2 铜矿

主要分布在大兴安岭弧盆地,少量分布在华北陆块北缘。成因类型包括斑岩型、海底喷流沉积-改造型、火山-次火山岩型、热液型(狭义)、矽卡岩型以及超基性岩有关的铜镍硫化物型等,其中以斑岩型和喷流-沉积改造型为主。它们在数量上以热液型居多,储量上则以斑岩型最多,矿床规模以小型和矿点为主,大型和特大型仅各发现 1 处;成矿以中生代为主,次为中元古代和古生代。

斑岩铜矿主要与燕山期斑状中酸性侵入岩体有成因联系,分布在大兴安岭地区,如乌努格吐山铜钼矿、敖瑙达巴铜锡矿、车户沟铜钼矿。多与钼矿共伴生。矿体主要赋存在斑岩体的内接触带,矿体形态不规则状、脉状及透镜状,具明显分带性,由蚀变中心向外,从以细粒浸染状为主到细脉浸染状为主。乌努格吐山含矿二长花岗斑岩的锆石 U-Pb 年龄为 188~204 Ma,矿区辉钼矿 Re-Os 年龄为 177~183 Ma(赵一鸣等,1997;秦克章等,1999;李诺等,2007;余宏全等,2009;汪登红等,2010)。

与基性-超基性侵入杂岩体有关的硫化物型铜矿床,主要分布在华北陆块北缘,与深大断裂(槽台断裂)密切相关,多为深部熔离-贯入型矿床。克布闪长岩中锆石的 SHRIMP U-Pb 年龄为 291 Ma(罗

红玲等,2007),温更七哥陶橄榄辉长岩中锆石的 SHRIMP-U-Pb 年龄为 269 Ma(赵磊等,2011),温更辉长岩中锆石的 SHRIMP-U-Pb 年龄为 272 Ma(赵磊,2008),显示成矿于晚古生代。矿体可以分为 2 种:一是熔离型,如克布、额布图,铜镍矿矿体呈层状或透镜状,多位于岩体底部或中下部;另一种是熔离-贯入型,如小南山矿体受岩体与围岩的接触带或围岩中的断裂控制,多呈脉状、透镜状及不规则状。

2.3 铅锌矿

铅锌矿是内蒙古的优势矿种,多为多组分共生复合矿床,铅和锌很少单独产出。铅锌矿主要分布于华北陆块北缘西段乌拉特中旗、大兴安岭中南段和得尔布干地区。成因类型主要有矽卡岩型、热液型、海底喷流沉积型等。矿床规模以小型和矿点为主,古元古代和中生代是重要的成矿期。

矽卡岩型铅锌矿是内蒙古最主要的铅锌矿床,主要分布在大兴安岭中南段,如白音诺尔、浩布高等。在突泉-林西一带,赋矿地层为下二叠统大石寨组碳酸盐岩-安山岩建造和中二叠统哲斯组砂板岩-碳酸盐岩建造,在东乌旗朝不愣一带,赋矿地层为泥盆系塔尔巴格特组碎屑岩-碳酸盐岩建造;构造上通常产于基底隆起和断陷火山盆地交接带的基底隆起一侧或隆坳交接带位置;与成矿关系密切的岩体主要是印支期、燕山期的中酸性火山-侵入杂岩或中酸性侵入岩(张德全等,1991;江思宏等,2011;易建等,2012;毛景文等,2005;武广,2005;汪登红等,2010)。

热液型铅锌矿是内蒙古分布最广的铅锌矿,包括:①与燕山期中酸性侵入-火山杂岩有关的热液型铅锌矿,如甲乌拉($142 \sim 143$ Ma,李铁刚等,2014)、比利亚古、李清地、二道河。矿床主要产于隆坳交接带附近,NE 向和 NW 向断裂构造系统控矿。成矿与酸性、浅成、浅剥蚀的侵入-火山杂岩体有关,矿脉周围发育强烈的硅化、铁锰碳酸盐化、绢英岩化蚀变。②与中生代火山岩有关的层控热液型铅锌矿床,如扎木钦,铅锌矿体赋存于凝灰岩及凝灰质角砾岩中,矿体呈层状或似层状,赋存于地表以下 300~500 m 之间,为隐伏矿体。

2.4 钼矿

近几年内蒙古在钼矿勘查方面取得了重大突破,新发现的有岔路口、曹四天和迪彦钦阿木 3 个超大型钼矿,以及查干花、大苏计等大型钼矿,显示了巨大的找矿潜力。矿床类型以斑岩型和热液型为主,中生代是重要的成矿期。其中,斑岩型钼矿是内

蒙古最为重要的钼矿类型,多与铜矿共生,主要形成于印支期和燕山期。与中酸性浅成超浅成侵入岩有关的铜钼矿,成矿时代为燕山期,如乌努格吐山、八大关等;与酸性浅成超浅成侵入岩有关的钼多金属矿,与中生代的石英斑岩、花岗斑岩及隐爆角砾岩具有成因联系,如岔路口(辉钼矿-钨同位素等时线年龄为146.96 Ma,聂凤军,2011)、大苏计(辉钼矿-钨等时线年龄为222.5 Ma,石英斑岩中锆石的SHRIMP U-Pb年龄为 (228.1 ± 3.0) Ma,张彤等,2009)。另外,海相沉积型钼镍矿近年来也有发现,如阿拉善盟的元山子钼镍矿,其含矿岩系为中寒武统香山群黑色含碳石英绢云母千枚岩,矿体与围岩产状完全一致,矿体呈似层状(板状)产出,层位比较稳定。

2.5 金矿

内蒙古的金矿床主要分布在华北陆块北缘乌拉特中旗-包头-赤峰地区,成因复杂,类型多样,主要有岩浆热液型、火山岩型、斑岩型、绿岩型和砂金等,以岩浆热液型为主,规模以小型及矿点为主。中生代是最重要的金矿成矿期,其次为元古宙和古生代。

岩浆热液型金矿床较为普遍,主要分布在陆块区,与华力西期—燕山期侵入岩浆期后热液有密切关系。陆块区内太古宇—元古宇含金元素较高的地层受华力西期—燕山期岩浆活动的影响,在地层或岩体的内外接触带中富集成矿,如赋存在乌拉山岩群中的金厂沟梁、乌拉山及色尔腾山岩群中的十八顷壕等金矿,成矿于燕山期(侯万荣等,2011;苗来成等,2000)。赋存在中元古代的金矿具有层控特点,成矿于华力西期,如白云鄂博群中的浩尧尔忽洞金矿(267~270 Ma,王建平等,2011;267~290 Ma,肖伟等,2012)和渣尔泰山群中的朱拉扎嘎金矿(279~282 Ma,李俊建等,2004;2010;275 Ma,江思宏等,2001)。

斑岩型金矿床分布在锡林浩特岩浆弧内,如哈达庙、毕力赫等。成矿与晚古生代的闪长玢岩、石英闪长岩和花岗斑岩有关(张文钊,2010;卿敏等,2011;路彦明等,2012;郝百武等,2010)。矿体产在侵入岩的内外接触带上,广泛发育硅化、电气石化、绢英岩化和黄铁矿化。

绿岩型金矿床分布在华北陆块区大青山东段,如油篓沟、新地沟(1991~1988 Ma,李俊建等,2005),主要赋存在古元古界二道洼岩群绿泥绢云石英片岩、糜棱岩、千糜岩、花岗质糜棱岩中,赋矿围岩

主要为绿泥石英片岩,矿体呈层状、似层状、脉状、似脉状及透镜状与容矿围岩渐变过渡,产状与岩层一致,且多数分布在褶皱翼部近核部。

2.6 稀土元素矿

内蒙古是中国乃至世界上最重要的稀土元素生产加工基地,产有世界级的白云鄂博铁稀土元素矿床和巴尔哲大型稀有稀土元素矿床。元古宙和中生代是2个重要的稀土元素成矿期。成因类型主要有沉积型、岩浆型和沉积变质型,以前两种为主。其中,巴尔哲(八〇一)大型稀有稀土矿与燕山期(岩浆分异晚期)过碱性花岗岩(钠闪石花岗岩)有关(122.7 Ma,丘志力等,2014;122~125 Ma,王登红等,2010)。

2.7 铬铁矿

铬铁矿主要分布于索伦山、贺根山及柯单山蛇绿岩带内的超镁铁质岩块内,类型为产于蛇绿岩中变质地幔岩局部熔融改造型。

矿体赋存于纯橄榄岩相内的异离体中,也有少数矿体围岩为斜辉辉橄岩,矿体呈透镜状、豆荚状等断续分布。矿体往往集中在纯橄榄岩异离体的中上部,向下逐渐减弱。矿体规模不等,产状在各超基性岩块内也不相同。矿石主要结构为等粒浸染状自形-半自形结构,构造主要为浸染状、显微网环状、网状构造,其次为条带状和斑杂状构造。

2.8 锰矿

内蒙古锰矿床成因类型主要有热液型和沉积变质型。热液型锰矿分布广,但多为矿点、矿化点,共伴生矿多,有西里庙锰矿和额仁陶勒盖银锰矿等。西里庙锰矿位于四子王旗卫井苏木,矿体主要产于中二叠统大石寨组第二段第一岩石组合下部的凝灰质砂砾岩与青灰色厚层状微晶灰岩接触处,矿体顶板岩石为厚层状含砂屑微晶灰岩,层理清楚,底板岩石为凝灰质砂砾岩或流纹质岩屑晶屑凝灰岩。矿体呈层状,形态规则,与围岩界线明显。沉积变质型锰矿分布少,但储量大,主要有乔二沟中型锰矿、东加干锰矿等,赋存于地层中但受到后期变质作用的改造。乔二沟锰矿床位于华北陆块区巴彦淖尔市乌拉特前旗,赋矿地层为中元古界阿古鲁沟组粉砂质板岩,矿体形态较为简单,与围岩产状一致,主要呈似层状,局部有分枝复合现象。

2.9 银矿

银多与金铅锌等多金属共伴生,单独银矿较少,多与燕山期火山-侵入岩浆活动有关,成因类型主要

为热液型和矽卡岩型。其中,热液型银矿(额仁陶勒盖银矿、比利亚谷、三河、甲乌拉、查干布拉根银铅锌矿等)分布在大兴安岭中南段和德尔布干地区,成矿与燕山晚期火山、次火山岩等浅成斑岩有关(王登红等 2010;许立权等 2014),矿体呈脉状产于中、晚侏罗世火山岩系中,并严格受断裂构造控制。主要工业银矿物为自然银、辉银矿(螺状硫银矿)、银黝铜矿、深红银矿和辉锑银矿等。

矽卡岩型银多金属矿床主要产于白音诺尔-浩布高一带,近年发现双尖山大型银矿床。矿床均产于中生代火山凹陷与二叠系隆起交接处的隆起一侧。矿体产于燕山期花岗闪长斑岩与大理岩接触带的矽卡岩中,呈透镜状、似层状、脉状。

2.10 锡矿

内蒙古的锡矿主要为热液型和矽卡岩型,少量斑岩型,并具有热液型分布广泛,成矿规模较小,矽卡岩型分布集中、成矿规模大的特点。没有单一的锡矿床,多与 1 种或 2 种以上金属矿物共生。其中,热液型锡矿集中分布于突泉-林西成矿带,包括与岩浆热液有关的锡矿(如毛登、孟恩陶勒盖)和与火山-次火山热液有关的锡矿(如大井子)。毛登铜锡矿的围岩为二叠系碎屑岩夹火山岩及碳酸盐岩建造,与成矿关系密切的侵入岩则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。矿石类型以锡石-石英脉细网脉型矿石为主,次为锡石-硫化物型。大井子铜锡多金属矿在空间上与燕山期次火山岩相伴,地表及深部的次火山岩顶部均看见隐爆角砾岩。围岩主要为二叠系碎屑岩建造,无较大的岩体出露,断裂构造发育,且多被中酸性脉岩及矿脉充填,其控岩、控矿作用十分明显。矿床水平及垂直元素分带明显,中部以铜锡矿化为主,向外逐渐过渡为以铅锌矿化为主;剖面上,浅部铅锌矿化相对发育,向深部铜锡矿化逐渐增强。矿化主要呈充填脉状产出,仅局部有浸染状和细脉-浸染状,矿体则由矿脉组成。

此外,矽卡岩型锡矿也是内蒙古大型锡矿的一种主要类型,成矿时代为燕山期,如黄岗铁锡矿(共生锡)和朝不楞铁锌多金属矿(伴生锡)等。斑岩型锡矿则罕见,仅有奥瑙达巴斑岩型锡铜矿,地处大兴安岭中南段的黄岗-甘珠尔庙-乌兰浩特复背斜中部,与侵入于二叠系碎屑岩建造中的燕山期石英斑岩密切相关。矿体主要呈不规则脉状、囊状、透镜状分布

于岩体内外接触带。岩体顶部及边部发育隐爆角砾岩,岩体边部及接触带裂隙十分发育,是主要的容矿构造。围岩蚀变非常强烈,岩体中心钾硅酸盐化核,其外侧发育绢英岩带,岩体顶部是黄玉云英岩带,外接触带为青盘岩带,最外侧则是较厚大的角岩化带。在后三个蚀变带中,金属矿物呈浸染状、细脉浸染状分布,形成全岩型、面型矿化,而在钾硅酸盐化核中仅见少量黄铁矿化。锡矿体主要赋存在岩体顶部的黄玉云英岩化带及绢英岩化带中,独立的银矿体见于黄玉云英岩化带,铜矿体主要赋存于青磐岩带中。

2.11 镍矿

内蒙古的镍矿有风化壳型、铜镍硫化物型和海相沉积型,以基性-超基性岩型铜镍硫化物矿床为主。风化壳型仅见于锡林郭勒盟西乌珠穆沁旗的白音胡硕苏木一带,包括白音胡硕和珠尔很沟中型镍矿及乌斯尼黑矿点,与中泥盆世—晚泥盆世超基性岩关系密切,矿体赋存在超基性岩——斜辉、二辉辉橄岩体中,矿体平面形态为不规则纺锤形,矿石类型为绿高岭石黏土型及风化蛇纹岩型。

3 成矿区带划分

内蒙古横跨古亚洲成矿域(Ⅰ-1)、秦祁昆成矿域(Ⅰ-2)和滨太平洋成矿域(叠加在古亚洲成矿域之上)(Ⅰ-4)三大成矿域,共涉及到 6 个Ⅱ级成矿省和 14 个Ⅲ级成矿(区)带(徐志刚等 2008)。本次工作在全国Ⅲ级成矿区带的基础上,首次进行全覆盖Ⅳ级成矿亚带的划分。成矿区带划分见图 2 及表 1。

4 重要矿种的时空分布规律

4.1 矿床的空间分布规律

截至 2010 年底,内蒙古铁铜等矿床列于储量平衡表的共计 862 处(单矿种统计为 1232 处)。其中,在Ⅲ-5、Ⅲ-6、Ⅲ-8、Ⅲ-10 和Ⅲ-11 成矿带集中了全区 70% 以上的矿床(图 3),铅资源储量的 96%,锌资源储量的 97%,稀土元素资源储量的 99.5%,铁资源储量的 92%,金资源储量的 72%,钼资源储量的 85%,铜资源储量的 88%,钨资源储量的 92%,锡资源储量的 99%,银资源储量的 98%,硫铁矿资源储量的 81%,磷资源储量的 82%。此外,不同矿种甚至同一矿种,由于成矿地质背景的差异,在不同的三级区带中的分布特征也不一样。如对

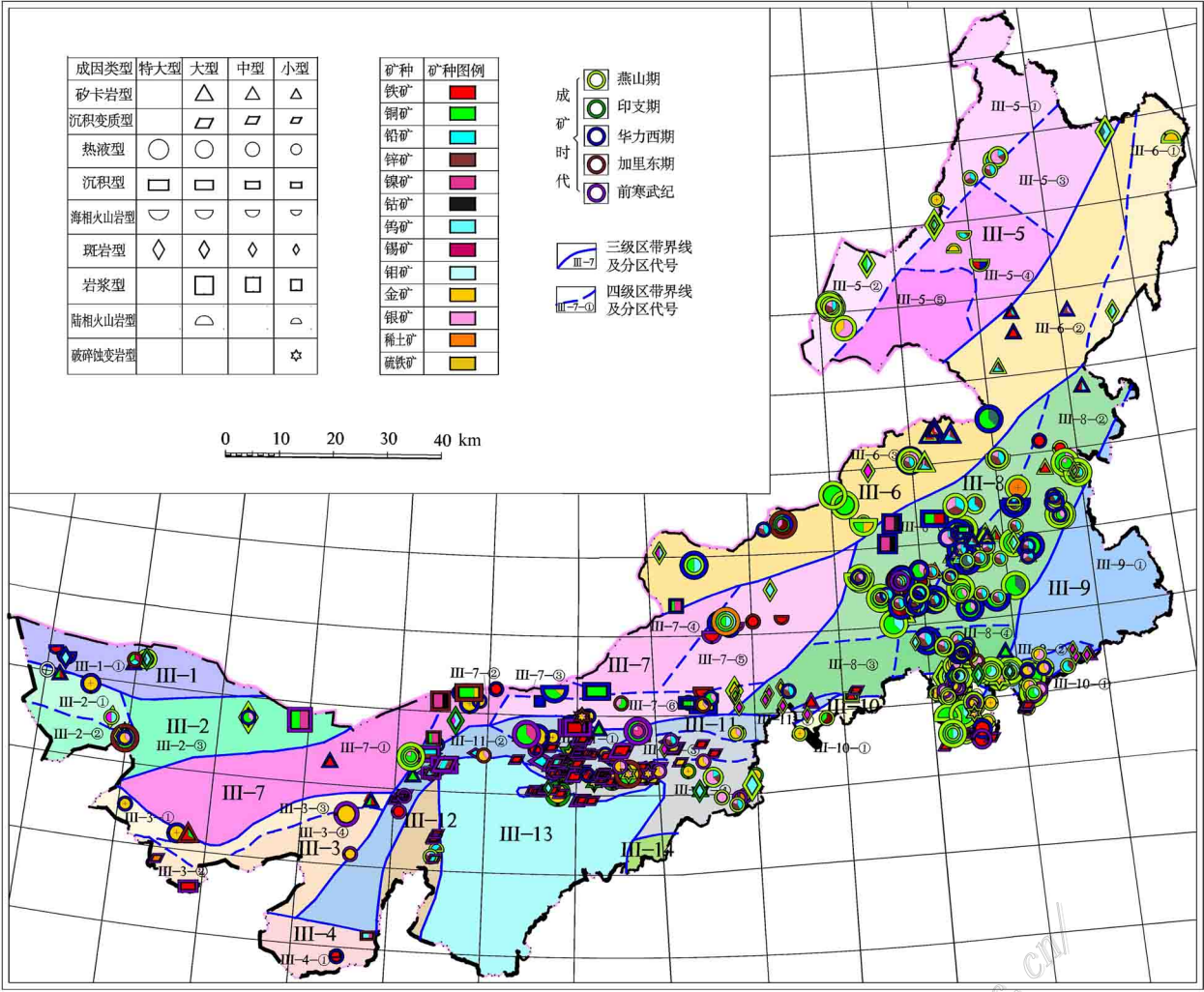


图 2 内蒙古成矿区带划分及重要矿产地分布简图(Ⅲ级区带据徐志刚等,2008 修改)

Fig. 2 Map of mineralization belts and deposits distribution in Inner Mongolia(modified after Xu et al. , 2008)

铁矿而言,沉积变质型主要分布在Ⅲ-11,海相火山岩型分别出露在Ⅲ-1(黑鹰山)和Ⅲ-7(温都尔庙),砂卡岩型、热液型则分布在Ⅲ-6 和Ⅲ-8 区带。铅锌矿主要分布在Ⅲ-8 区带。

综上所述,内蒙古矿床的空间分布表现为“一老一新”。“一老”即华北陆块,出露有前寒武纪结晶基底,古生代及中生代遭受不同程度的构造岩浆活化;“一新”指大兴安岭中生代构造岩浆带,呈北东向展布,叠加在近东西向古生代基底之上。

4.2 矿床的时间分布规律

根据对 862 个矿床成矿时代的统计(图 4),包括太古宙 235 个、元古宙 89 个、早古生代 43 个、晚古生代 145 个、印支期 32 个、燕山期 276 个、喜马

雅期 33 个、时代不明者 9 个。内蒙古大型和特大型矿床共 32 个,以元古宙和燕山期最多,分别为 9 个和 16 个。由此可见,内蒙古境内主要成矿期为元古宙和中生代,次为太古宙和晚古生代。不同矿种的重要成矿期也不完全相同,如铁矿主要形成于前寒武纪,铜、铅、锌、金、银主要形成于元古宙和中生代。从区域地质演化看,内蒙古在古生代经历了古亚洲洋的发生、发展与闭合,但已发现的古生代矿床无论是数量上还是规模上,均与地质事件的强度不符(也可能与后期的剥蚀作用有关)。邻省在古生代(尤其是晚古生代)是重要成矿期,内蒙古境内应加强古生代地质构造演化的研究,并重视在不同构造单元内的找矿工作。

表 1 内蒙古自治区成矿区带划分表
Table 1 A list of mineralization belts in Inner Mongolia

I 级成矿单元	II 级成矿单元	III 级成矿单元	IV 级成矿单元	代表性矿床	全国划分方案
I-1: 古亚洲成矿域	II-2: 准噶尔成矿省	III-1: 觉罗塔格-黑鹰山 Cu-Ni-Fe-Au-Ag-Mo-W-石膏-硅灰石-膨润土-煤成矿带	III-1-①黑鹰山-小狐狸山 Fe-Au-Cu-Mo-Cr 成矿亚带	黑鹰山铁矿床、小狐狸山钼矿床	III-8
			III-2-①石板井-东七-山 W-Sn-Rb-Mo-Cu-Fe-Au-Cr-萤石成矿亚带	三个井金矿床、索索井铁铜多金属矿床、七一山钨钼铜矿床	
			III-2-②阿木乌苏-老铜沟 Au-W-Sb-萤石成矿亚带	老铜沟金多金属矿床、阿木乌苏锑铁矿床、鹰嘴红山钨矿床	
	II-4: 塔里木成矿省	III-2: 磁海-公婆泉 Fe-Cu-Au-Pb-Zn-Mn-W-Sn-Rb-V-U-磷成矿带	III-2-③珠斯楞-乌拉尚德 Cu-Au-Ni-Pb-Zn-煤成矿亚带	亚干铜镍矿床、珠斯楞海拉尔罕铅锌铜多金属矿床	III-14
			III-3-①碱泉-卡休他他 Au-Cu-Fe-Co 成矿亚带	碱泉子金矿、卡休他他铁矿、特拜金矿	
			III-3-②龙首山 Cu-Ni-Fe-Zn-REE-石墨-磷成矿亚带	桃花拉山稀土元素铌矿床、宽湾井铁矿床、哈马胡头沟磷矿床	
	II-14: 华北(陆块)成矿省(最西部)	III-3: 阿拉善(隆起) Cu-Ni-Pt-Fe-REE-磷-石墨-芒硝-盐类成矿亚带	III-3-③雅布赖-沙拉西别 Fe-Cu-Pt-萤石-石墨-盐类-芒硝成矿亚带	克布勒铁矿床、沙拉西别铜铁矿床、恩格勒萤石矿床	III-17
			III-3-④图兰泰-朱拉扎嘎 Au-盐-芒硝-石膏成矿亚带	朱拉扎嘎金矿床、乌兰呼都格金矿床	
			III-4-①阔地拉图 Fe-Mo-Ni 成矿亚带	阔地拉图铁矿床、元山子镍钼矿床	
			III-5-①莫尔道嘎 Fe-Pb-Zn-Ag-Au 成矿亚带	吉兴沟砂金矿床、于里亚河铁矿床、地营子铁矿床、小伊诺盖沟金矿床、三河铅锌银矿床	
	II-5: 阿尔金-祁连成矿省	III-4: 河西走廊 Fe-Mn-萤石-盐类-凹凸棒石-石油成矿带	III-5-②八大关-陈巴尔虎旗 Cu-Mo-Pb-Zn-Ag-Mn 成矿亚带	乌奴格吐山铜钼矿床、额仁陶勒盖银金锰矿床、甲乌拉铅锌多金属矿床	III-47
			III-5-③根河-甘河 Mo-Pb-Zn-Ag 成矿亚带	岔路口钼矿床	
			III-5-④额尔古纳 Au-Fe-Zn-硫-萤石成矿亚带	谢尔塔拉铁锌矿床、四五牧场金矿床	
			III-5-⑤海拉尔盆地油气成矿亚带		
	II-12: 大兴安岭成矿省	III-6: 东乌珠穆沁旗-嫩江 Cu-Mo-Pb-Zn-Au-W-Sn-Cr 成矿带	III-6-①大杨树-古利库 Au-Ag-Mo 成矿亚带	古利库金矿床、太平沟钼铜矿床	III-48
			III-6-②罕达盖-博克图 Fe-Cu-Mo-Zn-Pb-Ag-Be 成矿亚带	梨子山铁钼矿床、二道河银铅锌矿床、罕达盖铜铁矿床	
			III-6-③二连-东乌旗 W-Mo-Fe-Zn-Pb-Au-Ag-Cr 成矿亚带	朝不楞铁锡多金属矿床、阿尔哈达铅锌银矿床、吉林宝力格很多金属矿床、迪安钦阿木钼矿床、沙麦钨矿床、乌日尼图钨钼矿床	
			III-7-①乌力吉-欧布拉格 Cu-Au 成矿亚带	欧布拉格铜金银矿床	
I-4: 滨太平洋成矿域(叠加在古亚洲成矿域之上)	II-12: 大兴安岭成矿省	III-7: 白乃庙-锡林郭勒 Fe-Cu-Mo-Pb-Zn-Mn-Cr-Au-Ge-煤-天然碱-芒硝成矿带	III-7-②查干此老-巴音抗盖 Fe-Au-W- Mo-Cu-Ni-Co 成矿亚带	达布逊镍钴矿床、东加干锰矿床、查干此老金矿床、查干花钼矿床、额布图镍钴金矿床	III-49
			III-7-③索伦山-查干哈达店 Cr-Cu 成矿亚带	索伦山铬铁矿床、查干哈达店铜矿床	
			III-7-④苏木查干敖包-二连 Mn-萤石成矿亚带	西里庙锰矿床、苏莫查干敖包萤石矿床	
			III-7-⑤温都尔庙-红格尔庙 Fe-Au-Mo 成矿亚带	必鲁甘干钼矿床、巴彦宝力道金矿床、白云敖包铁矿床	
	II-12: 大兴安岭成矿省	III-8: 突泉-翁牛特 Pb-Zn-Ag-Cu-Fe-Sn-REE 成矿带	III-7-⑥白乃庙-哈达庙 Cu-Au-萤石成矿亚带	白乃庙铜钼矿床、别鲁乌图铜硫铁矿床、毕力赫金矿床、哈达庙金矿床	III-50
			III-8-①索伦镇-黄岗 Fe-Sn-Cu-Pb-Zn-Ag 成矿亚带	拜仁达坝锌铅矿床、道伦达坝铜多金属矿床、黄岗梁铁锡多金属矿床、花敖包特铅锌银矿床	
			III-8-②神山-大井子 Cu-Pb-Zn-Ag- Fe-Mo- SnREE-Nb-Ta-萤石成矿亚带	布敦花铜矿床、八〇一稀土元素钽铌铅矿床、双尖子山铅锌银矿床、白音诺尔铅锌银矿床、大井子铜锡矿床	
			III-8-③卯都房子-毫义哈达 W-Pb-Zn-Cr-萤石成矿亚带	毫义哈达钨矿床、达盖滩萤石矿床	

续表 1
Continued Table 1

I 级成矿单元	II 级成矿单元	III级成矿单元	IV级成矿单元	代表性矿床	全国划分方案
I-4: 太平洋成矿域(叠加在古亚洲成矿域之上)	II-13: 吉黑成矿省	III-9: 松辽盆地石油-天然气-油成矿区	III-8-④小东沟-小营子 Mo-Pb-Zn-Cu 成矿亚带	小东沟铅矿床、小营子铅锌银矿床、官地金银矿床、鸡冠山铝铜矿床	III-51
			III-9-①通辽科尔沁盆地煤-油气成矿亚带	库里吐铅矿床、撰山子金银矿床、哈拉火烧铁矿床	
			III-9-②库里吐-汤家杖子 Mo-Cu-Pb-Zn-W-Au 成矿亚带	车厂沟铜矿床、索虎沟金矿床、柴火栏子金矿床、红花沟金银矿床、金蟾山金矿床、陈家杖子金铜-铅矿床、曲家梁铁矿床、金厂沟梁金矿床	III-57
			III-10-①内蒙古隆起东段 Fe-Cu-Mo-Pb-Zn-Au-Ag-Mn-U-磷-煤-膨润土成矿带	白云鄂博铁稀土元素矿床、克布镍铜钴矿床、浩尧尔忽洞金矿床	
			III-11-①白云鄂博-商都 Au-Fe-Nb-REE-Cu-Ni 成矿亚带	叠布斯格铁矿床、东升庙硫铁铅锌矿床、霍各乞铜铁矿床、书记沟铁矿床	III-58
			III-11-②狼山-洮尔泰山 Pb-Zn-Au-Fe-Cu-Pt-Ni-硫成矿亚带	乔二沟锰矿床、十八顷缘金矿床、二合明铁矿床、新地沟金矿床	
			III-11-③固阳-白银查干 Au-Fe-Cu-Pb-Zn-石墨成矿亚带	贾格尔其店铁矿床、乌拉山金矿床、李清地银铅锌矿床、曹四天钨矿床、三道沟磷稀土元素铁矿床	
			III-11-④乌拉山-集宁 Fe-Au-Ag-Mo-Cu-Pb-Zn-石墨-白云母成矿亚带	正日观磷矿床、代兰塔拉铅锌银矿床、察子郭勒铁矿床	III-59
			III-12: 鄂尔多斯西缘(陆缘拗褶带) Fe-Pb-Zn-磷-石膏-芒硝成矿带		III-60
			III-13 鄂尔多斯(盆地) U-石油-天然气-煤-盐类成矿区		III-61
			III-14 山西(断隆) Fe-铝土矿-石膏-煤-煤层气成矿带	城坡铝土矿床、戚家沟硫铁矿床	
	II-14: 华北成矿省	III-11: 华北陆块北缘西段 Au-Fe-Nb-REE-Cu-Pb-Zn-Ag-Ni-Pt-W-石墨-白云母成矿带			

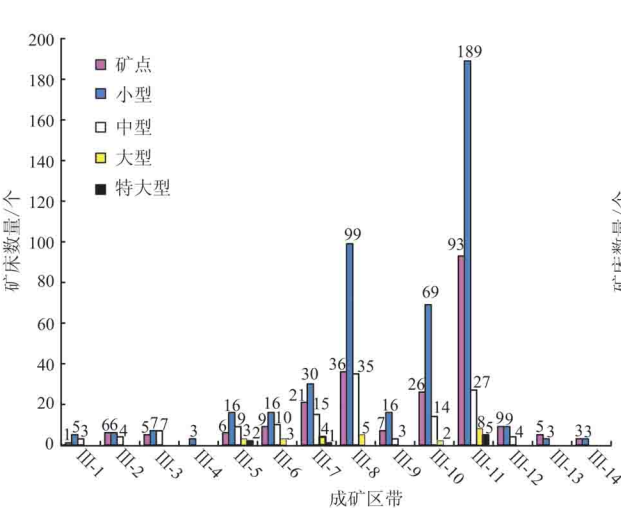


图 3 内蒙古三级成矿区带矿床数量与规模统计图
Fig. 3 Statistical map of the quantity and scale of mineral deposits in different III-grade mineralization belts

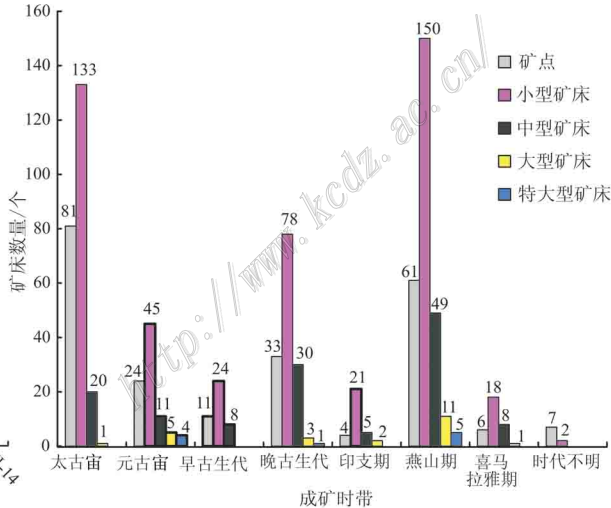


图 4 内蒙古不同时代矿床规模统计
Fig. 4 Statistical map of mineral deposits in different mineralization epochs

5 区域地质构造演化对成矿的控制作用

内蒙古既有古老的陆块,也有年轻的造山带。从太古宙到中生代经历了复杂的地质构造演化,

不同的构造演化阶段由于地质构造背景的差异,形成了不同的地质建造和含矿建造。

5.1 陆块区

内蒙古境内主要出露有华北陆块,作为中国最古老的陆块之一,经历了陆核形成(2500 Ma)、陆块

形成(1800 Ma)及其后的盖层发育阶段。古生代以来沿华北陆块北缘发生构造岩浆活化,形成内蒙古地轴(内蒙古地质矿产局,1991;内蒙古潜力评价项目组,2013)。不同的阶段形成不同的建造构造,赋存有不同的矿产。

在太古宙陆核形成时期,原始小陆片边缘增生形成成和岩群,地壳逐步增厚。迁西运动使之发生强烈变形和麻粒岩相变质作用,并伴随混合岩化和花岗岩化作用。2600 Ma左右的阜平运动,使地壳首次克拉通化,华北陆核形成。在此期间有与海相基性火山岩相关的条带状铁矿及富含碳质的岩石经后期变质形成石墨矿,如产在成和岩群中的壕赖沟铁矿、乌拉山岩群中的贾格尔其庙铁矿、集宁群中黄土窑石墨矿等。

在新太古代晚期—古元古代原地台形成阶段,五台运动使华北地区再次克拉通化,陆块规模进一步扩大,期间形成有条带状硅铁建造,如三合明铁矿。与古元古代末期的吕梁运动相关的矿产有条带状硅铁建造-沉积变质型铁矿(多为矿点)、绿岩型金矿(赋存在二道洼岩群、新地沟金矿)与花岗伟晶岩有关的白云母矿(天皮山)与透辉石伟晶岩有关的稀土元素磷矿(旗杆梁)。

在中新元古代陆缘裂谷阶段,在华北陆块的北缘主要形成与海底喷流沉积作用有关的矿床,南部裂谷由渣尔泰山群组成,主要赋存有的铜铅锌铁金硫铁矿如霍各乞、东升庙、甲生盘、朱拉扎嘎等,北支自白云鄂博向东经四子王旗至化德县一带,由白云鄂博群组成,形成白云鄂博铁铌稀土元素矿。

在寒武纪—二叠纪,陆块区盖层阶段,古生代地层的沉积仅出露在鄂尔多斯坳陷盆地的周缘一带,代表了华北陆块区最稳定的沉积环境,形成有煤、油气、铁、磷、铝土矿、硫铁矿等沉积型矿产。石炭纪、二叠纪时期,伴随古亚洲洋板块的向南俯冲,形成砂卡岩型铁铜矿床(沙拉西别、卡休他他)、硫化物型铜镍矿床(小南山)和层控热液型金矿(浩尧尔忽洞)。

在三叠纪—白垩纪陆内盆地演化阶段,受中国东部造山-裂谷活动带的影响,在鄂尔多斯形成了大型坳陷盆地,蕴藏着丰富的煤、油气资源。

5.2 天山-兴蒙造山系

天山-兴蒙造山系记录了古亚洲洋发生、发展及消亡的全过程,经历了从中、新元古代离散到古生代汇聚碰撞及造山的洋陆转化过程,形成了一系列与沉积事件、火山事件、侵入事件有密切关系的赋存在

不同建造构造中的矿产。其中,微陆块区发育有沉积变质型铁矿,元古代在陆缘裂谷带形成与海底火山喷发有关的铁矿(温都尔庙式),早古生代在中间地块形成了与岛弧火山侵入作用有关的白乃庙斑岩型铜钼矿(李俊建等,2015),晚古生代在蛇绿岩带(洋壳残片)中赋存有铬铁矿,遭受后期风化后可形成风化壳型镍矿和菱镁矿(索伦山、赫格敖拉、柯单山等)。在早华力西期、晚华力西期造山带(增生带)发育岛弧火山沉积建造及同时代的侵入岩,形成与海相火山岩有关的硫铁矿(六一、驼峰山)、铁矿(黑鹰山)、铁锌矿(谢尔塔拉)、铜矿(查干哈达庙)、萤石矿(苏莫查干脑包),及与岛弧或碰撞花岗岩类有关的铁铜矿(罕达盖)、铜矿(珠斯楞)、金矿(毕力赫)等。

中生代受古太平洋板块及蒙古鄂霍次克洋板块俯冲影响,叠加了北东向的大兴安岭岩浆岩带,形成了与燕山期中酸性火山侵入杂岩有关的多金属矿产。在燕山早期阶段,与中酸性浅成-超浅成岩浆岩有关的铜、钼、铜金矿分布在德尔布干地区的乌努格吐山-八大关一带及大兴安岭中南段的布敦花-莲花山等地。在燕山晚期早阶段,与(中)酸性火山侵入杂岩有关的铁锡铜钼铅锌银金矿主要分布在大兴安岭中南段突泉-黄岗梁地区,在大兴安岭北段的三河等地也有分布。燕山晚期晚阶段,与碱性花岗岩有关的稀土元素铌矿分布在大兴安岭中南段的巴尔哲地区。

6 小 结

内蒙古的铁、锰矿主要与沉积变质作用有关,类型有沉积变质型和沉积型,铬铁矿为产于蛇绿岩中的变质地幔岩局部熔融改造型;铜、金等有色金属、贵金属多与岩浆热液活动有关,类型有斑岩型、热液型、砂卡岩型等。

在全国Ⅲ级成矿区带的基础上,首次进行了覆盖内蒙古全自治区的Ⅳ级成矿亚带的划分,共划分了34个Ⅳ级成矿亚带。统计表明,Ⅲ-5、Ⅲ-6、Ⅲ-8、Ⅲ-10和Ⅲ-11集中了全区70%以上的矿床,是内蒙古的主要成矿区带。20个主要矿种总体上表现为“一老一新”的空间分布规律,“一老”即华北陆块,“一新”即大兴安岭中生代构造岩浆带。内蒙古境内主要成矿期为元古宙和中生代,次为太古宙和晚古生代。不同矿种的重要成矿期也不完全相同。

从区域构造演化的角度看,不同的构造演化阶段、同一演化阶段的不同构造位置,形成不同类型、不同矿种的矿床,如白云鄂博式的铁稀土元素矿形成于大陆边缘裂谷带,而与燕山期中酸性火山侵入杂岩有关的多金属矿产集中在大兴安岭岩浆岩带。

志 谢 本文是内蒙古重要矿产资源潜力评价的部分成果,在项目实施过程中还有很多人参与了这项工作,王登红老师在成文过程中给予了悉心指导,在此一并表示感谢!同时也感谢两位审稿人的宝贵意见!

References

- Cao R L, Zhu S H and Wang J W. 1994. Material sources and formation theory of Bayan Obo iron and rare earth deposit [J]. *Science in China (B)*, 24(12): 1298-1307 (in Chinese).
- Fan H R, Hu F F, Chen F K, Yang K F and Wang K Y. 2006. Intrusive age of No. 1 carbonatite dyke from Bayan Obo REE-Nb-Fe deposit, Inner Mongolia: With answers to comment of Dr Le Ba [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 22(2): 519-520 (in Chinese with English abstract).
- Fan H R, Hu F F, Yang K F, Wang K Y and Liu Y S. 2009. Geochronology framework of Late Paleozoic dioritic-granitic plutons in Bayan Obo area, Inner Mongolia, and tectonic significance [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 25(11): 2933-2938 (in Chinese with English abstract).
- Hao B W and Jiang J. 2010. Geochronology, geochemistry and its formation mechanism of Hadamiao complex in Xianghuangqi, Inner Mongolia [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 29(6): 750-762 (in Chinese with English abstract).
- Hou W R, Nie F J, Du D A, Liu Y F, Yun F, Zhang K, Liu Y, Bian H Y and Liu H L. 2011. Isotopic evidence for determining the Devonian gold and molybdenum mineralization in the Hadamengou area, Baotou, Inner Mongolia [J]. *Geological Review*, 57(4): 583-590 (in Chinese with English abstract).
- Jiang S H, Yang Y Q, Nie F J, Zhang J H, Liu Y, Li F X and Jia L Z. 2001. Geological characteristics of the Zhulazhaga gold deposit in Inner Mongolia, China [J]. *Mineral Deposit*, 20(3): 234-243 (in Chinese with English abstract).
- Jiang S H, Nie F J, Bai D M, Liu Y F and Liu Y. 2011. Geochronology evidence for Indosinian mineralization in Baiyinnuoer Pb-Zn deposit of Inner Mongolia [J]. *Mineral Deposits*, 30(3): 787-798 (in Chinese with English abstract).
- Lai X D. 2013. Study on genesis of Bayan Obo REE-Nb-Fe deposit, Inner Mongolia [D]. Supervisor: Chang Y F. Beijing: University of Science and Technology of China. 29-35 (in Chinese with English abstract).
- Li J J, Luo H, Zhou H Y, Sang H Q, Tan Z A, Wang S G and Sun Z P. 2004. Metallogenic epoch of Zhulazaga gold deposit in Alxa area Inner Mongolia Autonomous Region [J]. *Geochemica*, 33(6): 663-669 (in Chinese with English abstract).
- Li J J, Zhou X W, Shen B F, Hu F X, Sang H Q, Liu X Y, Wang J M and Li T J. 2005. Metallogenic age of the Xindigou green stone belt-type gold deposit in the Daqingshan area, Central Inner Mongolia [J]. *Geology and Prospecting*, 41(5): 1-4 (in Chinese with English abstract).
- Li J J, Zhai Y S, Yang Y Q, Wang Y B, Li C D, Cui L W, Zhou H Y, Liu X Y, Liu X X and Li S. 2010. Further discussion on the metallogenic epoch of Inner Mongolia Alashan Zhulazaga gold deposit: New evidences from SHRIMP U-Pb age [J]. *Frontier Geoscience*, 17(2): 178-184 (in Chinese with English abstract).
- Li J J, Dang Z C, Zhao Z L, Shi Y R, Liu D Y, Li C, Qu W J, Wang C X, Fu C, Tang W L, Zhang T, Wang S G, Zhou H Y, Zhao L J and Liu X X. 2015. The metallogenic epochs of Bainaimiao copper deposit in Inner Mongolia [J]. *Acta Geologica Sinica*, 89(8): 1448-1457 (in Chinese with English abstract).
- Li N, Sun Y L, Li J and Li W B. 2007. Molybdenite Re/Os isochron age of the Wunugetushan porphyry Cu/Mo deposit in Inner Mongolia and its implication for metallogenic geodynamics [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 23(11): 2881-2888 (in Chinese with English abstract).
- Li T G, Wu G, Hu Y Q, Zhang Y F and Luo D F. 2014. Rb-Sr isochron age of the Jiawula Pb-Zn-Ag deposit in the Manzhouli area and its geological significance [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 30(1): 257-270 (in Chinese with English abstract).
- Liu L, Zhang L C, Dai Y P, Wang C L and Li Z Q. 2012. Formation age, geochemical signatures and geological significance of the Sanheming BIF-type iron deposit in the Guyang greenstone belt, Inner Mongolia [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 28(11): 3623-3637 (in Chinese with English abstract).
- Liu Y L, Chen J F, Li H M, Qian H, Xiao G W and Zhang T R. 2005. Single-grain U-Th-Pb-Sm-Nd dating of monazite from dolomite type ore of the Bayan Obo deposit [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 21(3): 881-888 (in Chinese with English abstract).
- Lu Y M, Pan M, Qing M, Zhang Y J, Han X J and Chao Y Y. 2012. Zircon U-Pb age of gold-bearing granitic intrusive rocks in Bilihe gold deposit of Inner Mongolia and its geological significance [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 28(3): 993-1004 (in Chinese with English abstract).
- Luo H L, Wu T R and Li Y. 2007. Geochemistry and SHRIMP dating

- of the Kebu massif from Wulatezhongqi, InnerMongolia: Evidence for the Early Permian underplating beneath the North China Craton[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 23(4):755-766 (in Chinese with English abstract).
- Mao J W, Xie G Q, Zhang Z H, Li X F, Wang Y T, Zhang C Q and Li Y F. 2005. Mesozoic large-scale metallogenic pulses in North China and corresponding geodynamic settings[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 21(1):169-188 (in Chinese with English abstract).
- Mao J W, Zhou Z H, Wu G, Jiang S H, Liu C L, Li H M, Ouyang H G and Liu J. 2013. Metallogenic regularity and minerogenetic series of ore deposits in Inner Mongolia and adjacent area[J]. *Mineral Deposits*, 34(4):715-729 (in Chinese with English abstract).
- Miao L C, Yumin Qiu, Guan K, Neal McNaughton, Qiu Y S, Luo Z K and David G. 2000. SHRIMP chronological study of the granitoids and mineralization in the Hadamengou gold deposit, Inner Mongolia[J]. *Mineral Deposits*, 19(2):182-190 (in Chinese with English abstract).
- Mineral Resources' Potential Evaluation Project of Inner Mongolia. 2013. Research report on metallogenic geological background[R]. (in Chinese).
- Nie F J, Zhang W Y, Du D A, Jiang S H and Liu Y. 2007. Re-Os isotopic age dating of molybdenite separates from the Chaobuleng skarn iron-polymetallic deposit, Dong Ujimqin Banner, Inner Mongolia[J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 28(4):315-323 (in Chinese with English abstract).
- Nie F J, Sun Z J, Li C, Liu Y F, Liu K P, Zhang K and Liu Y. 2011. Re-Os isotopic dating of molybdenite separates from Chalukou porphyry Mo polymetallic deposit in Heilongjiang Province[J]. *Mineral Deposits*, 30(5):828-836 (in Chinese with English abstract).
- Qin K Z, Li H M, Li W S and Shunso I. 1999. Intrusion and mineralization ages of the Wunugetushan porphyry Cu-Mo deposit, Inner Mongolia, northwestern China[J]. *Geological Review*, 45(2):181-185 (in Chinese with English abstract).
- Qing M, Ge L S, Tang M G, Qu W J, Yuan S S and Zhao Y S. 2011. Molybdenite Re-Os isotope age of Bilihe large-size porphyry gold deposit in Sunid Right Banner of Inner Mongolia and its geological significance[J]. *Mineral Deposits*, 30(1):11-20 (in Chinese with English abstract).
- Qiu Y Z, Qing C J and Zhou G F. 2009. The new data of the Baiyunebo deposit geochronology[A]. *Proceedings of the ninth national conference on mineral deposits*[C]. Beijing: Geological Publishing House. 477-479 (in Chinese).
- Qiu Z L, Liang D Y, Wang Y F, Sun Y and Li L F. 2014. Zircon REE, trace element characteristics and U-Pb chronology in the Baerzhe alkaline granite: Implications to the petrological genesis and mineralization[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 30(6):1757-1768 (in Chinese with English abstract).
- Ren Y C, Zhang Y C and Zhang Z Q. 1994. Study on heat events of ore-forming Bayan Obo deposits[J]. *Acta Geoscientia Sinica*, (1-2):95-101.
- Shao H M and Zhang L Q. 2002. Main metallogenic (area) belt and metallogenic series in Inner Mongolia[M]. Beijing: The Bureau of Geology and Mineral Resources of Inner Mongolia (in Chinese).
- She H Q, Li H H, Li J W, Zhao S B, Tan G, Zhang D Q, Jin J, Dong Y J and Feng C Y. 2009. The metallogenetic characteristics and prospecting direction of the copper-lead-zinc polymetal deposits in the northern Central Daxinganling Mountain, Inner Mongolia[J]. *Acta Geological Sinica*, 83(10):1456-1472 (in Chinese with English abstract).
- The Bureau of Geology and Mineral Resources of Inner Mongolia. 1991. Regional geological annals in Inner Mongolia[M]. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese).
- The Bureau of Geology and Mineral Resources of Inner Mongolia. 1995. Summary of regional mineral resources in the Inner Mongolia Autonomous Region[R]. (in Chinese).
- The Bureau of Geology and Mineral Resources of Inner Mongolia. 1996. The Inner Mongolia Autonomous Region rock stratigraphy[M]. Beijing: China University of Geosciences press (in Chinese).
- Wang D H, Chen Z H, Chen Y C, Tang J X, Li J K, Ying L J, Wang C H, Liu S B, Li L X, Qin Y, Li H Q, Qu W J, Wang Y B, Chen W and Zhang Y. 2010. New Data of the rock forming and ore-forming chronology for China's important mineral resources areas[J]. *Acta Geologica Sinica*, 84(7):1030-1040 (in Chinese with English abstract).
- Wang J P, Liu J J, Jiang X D, Wang B and Jiang S M. 2011. Biotite Ar-Ar age and its geological significance of Haoraerhudong gold deposit, Inner Mongolia[J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 31(S1):405-407 (in Chinese with English abstract).
- Wu G. 2005. Regional metallogenic background and the mineralization of precious metal deposits in northern Greater Khingan Range[D]. Supervisor: Sun F Y. Changchun: Jilin University (in Chinese with English abstract).
- Xiao W, Nie F J, Liu Y F and Liu Y. 2012. Isotope geochronology study of the granitoid intrusions in the Changshanbao gold deposit and its geological implications[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 28(2):535-543 (in Chinese with English abstract).
- Xu L Q, Chen Z Y, Chen Z H, Zhang T and Zhang Y Q. 2010. SHRIMP dating of medium-coarse-grained granite in Chaobuleng iron deposit, Dong Ujimqin Banner, Inner Mongolia[J]. *Mineral Deposits*, 29(2):317-323 (in Chinese with English abstract).
- Xu L Q, Liu C, Deng J F, Li N, Dai M and Bai L B. 2014. Geochemical characteristics and zircon U-Pb SHRIMP age of igneous rocks in

- Erentaolegai silver deposit, Inner Mongolia[J]. Acta Petrologica Sinica, 30(11): 3203-3212(in Chinese with English abstract).
- Xu Z G, Chen Y C, Wang D H, Chen Z H and Li H M. 2008. Division scheme of the China metallogenic belt[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- Yang K F, Fan H R, Santosh M, Hu F F and Wang K Y. 2011. Meso-proterozoic carbonatitic magmatism in the Bayan Obo deposit, Inner Mongolia, North China: Constraints for the mechanism of super accumulation of rare earth elements[J]. Ore Geology Reviews 40: 122-131.
- Yang X Y, Lai X D, Ling M X, Liu Y L and Zhang Y X. 2014. The genesis of the Banya Obo Fe-REE deposit[A]. 2014 annual meeting of the Chinese Academy of Earth Sciences-Subject 32: Plate subduction and ore forming[C]. 1767-1768(in Chinese with English abstract).
- Yi J, Wei J H, Yao C L, Zhao S Q, Yu C L and Li Q Y. 2012. Discovery and geological significance of the Triassic intrusive rocks in the Baiyinnuoer lead-zinc deposit, Inner Mongolia: Evidence from zircon U-Pb age[J]. Geological Science and Technology Information, 31(4): 11-16(in Chinese with English abstract).
- Zhai D G, Liu J J, Yang Y Q, Wang J P, Ding L, Liu X W, Zhang M, Yao L J, Su L and Zhang H Y. 2012. Petrogenetic and metallogenic ages and tectonic setting of the Huanggangliang Fe-Sn deposit, Inner Mongolia[J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 31(4): 513-523(in Chinese with English abstract).
- Zhang D Q, Lei Y F, Luo T Y, Bao X P and Wang S L. 1991. Geological characteristics and metallogeny of the Baiyinnuo lead-zinc deposit, Inner Mongolia[J]. Mineral Deposits, 10(3): 204-216(in Chinese with English abstract).
- Zhang M, Zhai Y S, Shen C L, Liu Y H, Yang S S, Zhai D G, Yao M J, Wang J P, Wang S G, Gao Z X and Zhang L. 2011. Metallogenic system of copper polymetallic deposits in the middle-southern part of Da Hinggan Mountains, China[J]. Geoscience, 25(5): 819-831(in Chinese with English abstract).
- Zhang T, Chen Z Y and Xu L Q. 2009. The Re-Os isotopic dating of molybdenum from the Dasuji molybdenum deposit in Zhuozhi County of Inner Mongolia and its geological significance[J]. Rock and Mineral Analysis, 28(3): 279-282(in Chinese with English abstract).
- Zhang W Z. 2010. The Bilihe big porphyry Au deposit in Inner Mongolia: Geological character, its discovery and significance[D]. Beijing: China University of Geoscience. 1-185(in Chinese with English abstract).
- Zhang Z Q, Tang S H, Wang J H, Yuan Z X and Bai G. 1994. New data for Ore-forming age of the Bayan Obo REE ore deposit, Inner Mongolia[J]. Acta Geoscientia Sinica, (21): 85-94(in Chinese).
- Zhang Z Q, Yuan Z X, Tang S H, Bai G and Wang J H. 2003. Age and geochemistry of Baiyunebo[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- Zhao L. 2008. Geochemistry and tectonic implications of the Late Palaeozoic mafic-ultramafic rocks belt on the middle segment of the northern margin of the north China Plate[D]. Supervisor: Wu T R. Beijing: Beijing University. 1-73(in Chinese with English abstract).
- Zhao L, Wu T R and Luo H L. 2011. SHRIMP U-Pb dating. geochemistry and tectonic implications of the Beiaigetao gabbros in Urad Zhongai area, Inner Mongolia[J]. Acta Petrologica Sinica, 27(10): 3071-3082(in Chinese with English abstract).
- Zhao Y M and Zhang D Q. 1997. Metallogenic regularity and prospective evaluation of Cu polymetallic deposit in Greater Khingan Range and its adjacent area[M]. Beijing: Earthquake Press(in Chinese).
- Zhou Z H. 2011. Geology and geochemistry of Huanggang Sn-Fe deposit in Inner Mongolia[D]. Supervisor: Mao J W. Beijing: Chinese Academy of Geological Sciences(in Chinese).

附中文参考文献

- 曹荣龙, 朱寿华, 王俊文. 1994. 白云鄂博铁-稀土矿床的物质来源及成因理论问题[J]. 中国科学(B 辑), 24(12): 1298-1307.
- 范宏瑞, 胡芳芳, 陈福坤, 杨奎峰, 王凯怡. 2006. 白云鄂博超大型 REE-Nb-Fe 矿床碳酸岩墙的侵位年龄——兼答 LeBas 博士的质疑[J]. 岩石学报, 22(2): 519-520.
- 范宏瑞, 胡芳芳, 杨奎峰, 王凯怡, 刘勇胜. 2009. 内蒙古白云鄂博地区晚古生代闪长质-花岗质岩石年代学框架及其地质意义[J]. 岩石学报, 25(11): 2933-2938.
- 郝百武, 蒋杰. 2010. 内蒙古镶黄旗哈达庙金矿杂岩体年代学、地球化学及其形成机制[J]. 岩石矿物学杂志, 29(6): 750-762.
- 侯万荣, 聂凤军, 杜安道, 刘翼飞, 云飞, 张可, 刘勇, 边红业, 刘洪利. 2011. 内蒙古哈达门沟地区泥盆纪金(钼) 矿化事件厘定的同位素证据[J]. 地质论评, 57(4): 583-590.
- 江思宏, 杨岳清, 聂凤军, 张建华, 刘妍, 李福喜, 贾林柱. 2001. 内蒙古朱拉扎嘎金矿床地质特征[J]. 矿床地质, 20(3): 234-243.
- 江思宏, 聂凤军, 白大明, 刘翼飞, 刘妍. 2011. 内蒙古白音诺尔铅锌矿床印支期成矿的年代学证据[J]. 矿床地质, 30(5): 787-798.
- 赖小东. 2013. 内蒙古白云鄂博 REE-Nb-Fe 矿床成因问题研究[D]. 导师: 常印佛, 杨晓勇. 北京: 中国科技大学. 29-35.
- 李俊建, 路辉, 周红英, 桑海清, 覃志安, 王守光, 孙政平. 2004. 内蒙古阿拉善地区朱拉扎嘎金矿的成矿时代[J]. 地球化学, 33(6): 663-669.
- 李俊建, 周学武, 沈保丰, 胡凤翔, 桑海清, 刘晓阳, 王建民, 李铁军. 2005. 内蒙古中部大青山新地沟绿岩带型金矿的成矿时代[J]. 地质与勘探, 41(5): 1-4.
- 李俊建, 翟裕生, 杨永强, 王彦斌, 李承东, 崔来旺, 周红英, 刘晓阳, 刘

- 晓雪,李生. 2010. 再论内蒙古阿拉善朱拉扎嘎金矿的成矿时代: 来自锆石 SHRIMP U-Pb 年龄的新证据[J]. 地学前缘, 17(2): 178-184.
- 李俊建, 党智财, 赵泽霖, 石玉若, 刘敦一, 李超, 屈文俊, 王存贤, 付超, 唐文龙, 张彤, 王守光, 周红英, 赵丽君, 刘晓雪. 2015. 内蒙古白乃庙铜矿床的成矿时代——来自 SHRIMP 锆石 U-Pb 和辉钼矿 Re-Os 年龄的新证据[J]. 地质学报, 89(8): 1448-1457.
- 李诺, 孙亚莉, 李晶, 李文博. 2007. 内蒙古乌努格吐山斑岩铜钼矿床辉钼矿铼钨等时线年龄及其成矿地球动力学背景[J]. 岩石学报, 23(11): 2881-2888.
- 李铁刚, 武广, 刘军, 胡妍青, 张云付, 罗大峰. 2014. 大兴安岭北部甲乌拉铅锌银矿床 Rb-Sr 同位素测年及其地质意义[J]. 岩石学报, 30(1): 257-270.
- 刘利, 张连昌, 代堰铭, 王长乐, 李智泉. 2012. 内蒙古固阳绿岩带三合明 BIF 型铁矿的形成时代, 地球化学特征及地质意义[J]. 岩石学报, 28(11): 3623-3637.
- 刘玉龙, 陈江峰, 李惠民, 钱卉, 肖国望, 张台荣. 2005. 白云鄂博矿床白云石型矿石中独居石单颗粒 U-Th-Pb-Sm-Nd 定年[J]. 岩石学报, 21(3): 881-888.
- 路彦明, 潘懋, 卿敏, 张玉杰, 韩先菊, 朝银根. 2012. 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, 28(3): 993-1004.
- 罗红玲, 吴泰然, 李毅. 2007. 乌拉特中旗克布岩体的地球化学特征及 SHRIMP 定年: 早二叠世华北克拉通底侵作用的证据[J]. 岩石学报, 23(4): 755-766.
- 毛景文, 谢桂青, 张作衡, 李晓峰, 王义天, 张长青, 李永峰. 2005. 中国北方中生代大规模成矿作用的期次及其地球动力学背景[J]. 岩石学报, 21(1): 169-188.
- 毛景文, 周振华, 武广, 江思宏, 刘成林, 李厚民, 欧阳荷根, 刘军. 2013. 内蒙古及邻区矿床成矿规律与成矿系列[J]. 矿床地质, 34(4): 715-729.
- 苗来成, Yumin Q, 关康, Neal M N, 裘有守, 罗镇宽, David G. 2000. 哈达门沟金矿床成岩成矿时代的定点定年研究[J]. 矿床地质, 19(2): 182-190.
- 内蒙古地质矿产局. 1991. 内蒙古区域地质志[M]. 北京: 地质出版社.
- 内蒙古地质矿产局. 1995. 内蒙古自治区区域矿产总结[R].
- 内蒙古地质矿产局. 1996. 内蒙古岩石地层清理[M]. 北京: 中国地质大学出版社.
- 内蒙古潜力评价项目组. 2013. 成矿地质背景研究报告[R].
- 聂凤军, 张万益, 杜安道, 江思宏, 刘妍. 2007. 内蒙古朝不楞砂卡岩型铁多金属矿床辉钼矿-钨同位素年龄及地质意义[J]. 地球学报, 28(4): 315-323.
- 聂凤军, 孙振江, 李超, 刘翼飞, 吕克鹏, 张可, 刘勇. 2011. 黑龙江岔路口钨多金属矿床辉钼矿-钨同位素年龄及地质意义[J]. 矿床地质, 30(5): 828-836.
- 秦克章, 李惠民, 李伟实, Shunso I. 1999. 内蒙古乌努格吐山斑岩铜钼矿床的成岩、成矿时代[J]. 地质论评, 45(2): 181-185.
- 卿敏, 葛良胜, 唐明国, 屈文俊, 袁士松, 赵玉锁. 2011. 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, 30(1): 11-20.
- 丘志力, 梁冬云, 王艳芳, 孙媛, 李榴芬. 2014. 巴尔哲碱性花岗岩锆石稀土微量元素、U-Pb 年龄及其成岩成矿指示[J]. 岩石学报, 30(6): 1757-1768.
- 裴愉卓, 秦朝建, 周国富. 2009. 白云鄂博矿床年代学新资料[A]. 第九届全国矿床会议论文集[C]. 北京: 地质出版社. 477-479.
- 任英忱, 张英臣, 张宗清. 1994. 白云鄂博稀土超大型矿床的成矿时代及其主要热事件[J]. 地球学报, 15(1): 95-101.
- 邵和明, 张耀桥. 2002. 内蒙古自治区主要成矿(区)带和成矿系列[R].
- 余宏全, 李红红, 李进文, 赵士宝, 谭刚, 张德全, 金俊, 董英君, 丰成友. 2009. 内蒙古大兴安岭中北段铜铅锌金银多金属矿床成矿规律与找矿方向[J]. 地质学报, 83(10): 1456-1472.
- 王登红, 陈郑辉, 陈毓川, 唐菊兴, 李建康, 应立娟, 王成辉, 刘善宝, 李立兴, 秦燕, 李华芹, 屈文俊, 王彦斌, 陈文, 张彦. 2010. 我国重要矿产成岩成矿年代学研究新数据[J]. 地质学报, 84(7): 1030-1040.
- 王建平, 刘家军, 江向东, 王彬, 姜胜梅. 2011. 内蒙古浩尧尔忽洞金矿床黑云母氩氦年龄及其地质意义[J]. 矿物学报, 31(增刊): 405-407.
- 武广. 2005. 大兴安岭北部区域成矿背景与有色、贵金属矿床成矿作用[D]. 导师: 孙丰月. 长春: 吉林大学.
- 肖伟, 聂凤军, 刘翼飞, 刘研. 2012. 内蒙古长山壕金矿区花岗岩同位素年代学研究及地质意义[J]. 岩石学报, 28(2): 535-543.
- 徐志刚, 陈毓川, 王登红, 陈郑辉, 李厚民. 2008. 中国成矿区带划分方案[M]. 北京: 地质出版社. 1-138.
- 许立权, 陈志勇, 陈郑辉, 张彤, 张玉清. 2010. 内蒙古东乌旗朝不楞铁矿区中粗粒花岗岩 SHRIMP 定年及其意义[J]. 矿床地质, 29(2): 317-322.
- 许立权, 刘翠, 邓晋福, 李宁, 戴蒙, 白立兵. 2014. 内蒙古额仁陶勒盖银矿区火成岩岩石地球化学特征及锆石 SHRIMP 同位素定年[J]. 岩石学报, 30(11): 3203-3212.
- 杨晓勇, 赖小东, 凌明星, 刘玉龙, 章雨旭. 2014. 论白云鄂博 Fe-REE 建造矿床成因[A]. 2014 年中国地球科学联合学术年会——专题 32: 板块俯冲与成矿论文集[C]. 1767-1768.
- 易建, 魏俊浩, 姚春亮, 赵少卿, 余存林, 李青云. 2012. 内蒙古白音诺尔铅锌矿区三叠纪侵入岩体的发现及地质意义: 锆石 U-Pb 年代学证据[J]. 地质科技情报, 31(4): 11-16.
- 翟德高, 刘家军, 杨永强, 王建平, 定立, 刘星旺, 张梅, 要梅娟, 苏犁, 张红雨. 2012. 内蒙古黄岗梁铁锡矿床成岩、成矿时代与构造背景[J]. 岩石矿物学杂志, 31(4): 513-523.
- 张德全, 雷蕴芬, 罗太阳, 鲍修坡, 王胜利. 1991. 内蒙古白音诺尔铅锌矿

- 床地质特征及成矿作用[J]. 矿床地质, 10(3):204-216.
- 张梅, 翟裕生, 沈存利, 刘永慧, 杨帅师, 翟德高, 要梅娟, 王建平, 王守光, 高征西, 张玲. 2011. 大兴安岭中南段铜多金属矿床成矿系统[J]. 现代地质, 25(5):819-831.
- 张彤, 陈志勇, 许立权. 2009. 内蒙古卓资县大苏计钼矿辉钼矿-钼同位素定年及其地质意义[J]. 岩矿测试, 28(3):279-282.
- 张文钊. 2010. 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]. 导师: 顾雪祥. 北京: 中国地质大学. 1-185.
- 张宗清, 唐索寒, 王进辉, 袁忠信, 白鸽. 1994. 白云鄂博稀土矿床形成年龄的新数据[J]. 地球学报 (Z1):85-94.
- 张宗清, 袁忠信, 唐索寒, 白鸽, 王进辉. 2003. 白云鄂博矿床年龄和地球化学[M]. 北京: 地质出版社.
- 赵磊. 2008. 华北板块北缘中段晚古生代镁铁-超镁铁岩的岩石地球化学特征及其构造意义[D]. 导师: 吴泰然. 北京: 北京大学. 1-73.
- 赵磊, 吴泰然, 罗红玲. 2011. 内蒙古乌拉特中旗北七哥陶辉长岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄, 地球化学特征及其意义[J]. 岩石学报, 27(10):3071-3082.
- 赵一鸣, 张德全. 1997. 大兴安岭及其邻区铜多金属矿床成矿规律与远景评价[M]. 北京: 地震出版社.
- 周振华. 2011. 内蒙古黄岗锡铁矿床地质与地球化学[D]. 导师: 毛景文. 北京: 中国地质科学院.