文章编号:0258-7106(2013)04-0715-15

内蒙古及邻区矿床成矿规律与成矿系列

毛景文 周振华 武 广 江思宏 刘成林 李厚民 欧阳荷根 刘 军

(中国地质科学院矿产资源研究所 国土资源部成矿作用与资源评价重点实验室,北京 100037)

摘 要 成矿系列是矿床地质学科中研究区域成矿规律的一种学术思想,主张用系统论、活动论的观点研究在 地质历史发展的各阶段、各特定地质构造环境中 成矿作用的过程及形成的矿床组合自然体。 文章基于对内蒙古大 地构造演化的新认识和新理解 结合周边省、自治区以及境外地质和矿产研究新进展 尤其是大批成矿年龄精测数 据和对成岩成矿物质来源的新认识 将内蒙古矿产资源划分为 11 个主要矿床成矿系列 ① 太古代鞍山式沉积变质 型铁矿成矿系列(包括中太古代和新太古代2个系列);② 中元古代海底喷流型铅锌铜硫矿成矿系列 ;③ 中元古代 白云鄂博稀土元素-铁-铌矿床成矿系列 ④ 奥陶纪—志留纪岛弧环境斑岩铜(金)钼)矿成矿系列 ⑤ 泥盆纪与蛇绿 岩有关的铬铁矿矿床成矿系列 ⑯ 晚二叠纪—三叠纪与花岗岩有关的钼金多金属成矿系列 ⑦ 三叠纪—中侏罗世 斑岩铜矿床成矿系列 ⑧ 得尔布干地区晚侏罗世—早白垩世与花岗岩有关的浅成低温热液型铅锌多金属矿床成矿 系列 ற 大兴安岭及邻区晚侏罗世—早白垩世与花岗岩有关的铅锌锡钼金多金属矿床成矿系列 ற 新生代与湖相 沉积-蒸发作用有关的盐类矿床成矿系列。在成矿系列划分的基础上 编制了各成矿系列主要矿床分布图 ,并简要论 述了各个成矿系列的成矿地质背景、成矿特征、矿床组合及时空分布规律等。本次成矿系列的划分,强调以重大构 造事件作为背景 突出以重大构造事件与大规模成矿的耦合关系作为出发点 ,力求从更大尺度上认识当时的地质背 景,如将多宝山与白乃庙 2 个同时代矿床作为一个矿床成矿系列、尽管目前尚不清楚它们属于同一个断续的岛弧链, 还是被后来构造运动所分裂)。值得指出的是 ,内蒙古幅员辽阔 ,不少矿床的成矿系列具有明显空间递变性 ,如与古 亚洲洋闭合和碰撞有关的成矿事件横跨晚石炭世、二叠纪和三叠纪,与蒙古-鄂霍茨克洋俯冲有关的成矿事件横跨三 叠纪—中侏罗世。

关键词 地质学 浙床成矿系列 ;成矿规律 ;成矿历史演化 ;内蒙古中图分类号 : P612文献标志码 :A

Metallogenic regularity and minerogenetic series of ore deposits in Inner Mongolia and adjacent areas

MAO JingWen, ZHOU ZhenHua, WU Guang, JIANG SiHong, LIU ChengLin, LI HouMin, OUYANG HeGen and LIU Jun

(MLR Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment, Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China)

Abstract

In the discipline of ore deposits, minerogenetic series is a kind of academic thought of studying regional metallogeny. It advocates using system theory and activity theory to study ore-forming process and ore deposit association that have been developed in various stages of geological history and in specific tectonic environment. In this study, based on the new understanding of tectonic evolution of Inner Mongolia, the new progresses in

^{*} 本文得到内蒙古重要矿产资源潜力评价及区域成矿规律研究项目(编号:2006-02-YS01)和中国地质调查项目(编号:12120113093600 和编号:1212011085260)的联合资助

第一作者简介 毛景文,男,1956年生,博士,研究员,主要从事矿床地质和地球化学研究。Email jingwenmao@263.net 收稿日期 2013-06-08;改回日期 2013-06-23。秦思婷编辑。

geosciences of its adjacent areas, especially a large number of precise mineralization ages data, and the new understanding of the sources of rock-forming and ore-forming materials, the authors divided the ore deposits in Inner Mongolia into 11 metallogenic series: ① the Archaean Anshan type metamorphic sedimentary iron deposit metallogenic series (consisting of the Middle Archaean and the Late Archaean series); 2) the Middle Proterozoic submarine exhalative type lead-zinc-copper-sulfur deposit metallogenic series; 3 the Mesoproterozoic Bayan Obo REE-Fe-Nb deposit metallogenic series; ④ the Ordovician-Silurian porphyry copper deposit metallogenic series; (5) the Devonian ophiolite related chromite deposit metallogenic series; (6) the Late Permian-Triassic granite related molybdenum-gold polymetallic deposit metallogenic series; ⑦ the Triassic-Middle Jurassic porphyry copper deposit metallogenic series; (8) the late Jurassic-Early Cretaceous granite related epithermal type lead-zinc polymetallic deposit metallogenic series in De'erbugan area; ⁽⁹⁾ The late Jurassic-Early Cretaceous granite related lead-zinc-tin-molybdenum-gold polymetallic deposit metallogenic series in the Da Hinggan Mountains and adjacent areas; 10 the Cenozoic lacustrine sedimentary-evaporation related salt deposit metallogenic series. Furthermore, On the basis of such division, the ore deposit metallogenic series distribution map was drawn up, with a brief discussion on their ore-forming geological background, mineralization characteristics, ore deposits association and spatial-temporal distribution patterns. The metallogenic series division in this study emphasizes the importance of tectonic events and highlights the coupling between the major tectonic events and the large scale mineralization, with the purpose of recognizing the geological background of the mineralization episode on a larger scale. For example, the authors set the two coeval deposits of Duobaoshan and Bainaimiao as a metallogenic series, though it is not clear whether they belonged to the same intermittent arc chain or whether they were split by later tectonic movement. It is worth noting that a lot of minerogenetic series in Inner Mongolia show significant diachronism. For example, the metallogenic events related to the closure of Paleo-Pacifc Ocean lasted from Late Carboniferous through Permian to Triassic, and those related to the subduction of Mongol-Okhotsk Ocean lasted from Triassic to Middle Jurassic.

Key words: geology, minerogenetic series, metallogenic regularity, metallogenic evolution, Inner Mongolia

成矿系列是中国科学家在实践中 ,研究总结并 提出的概念。它是研究区域成矿规律的一种学术思 想 ,主张用系统论、活动论的观点 ,研究在地质历史 发展的各阶段、各特定地质构造环境中成矿作用的 过程及形成的矿床组合自然体(陈毓川等,2006)。 成矿系列是对地球科学发展的重要贡献,在中国已 经得到广泛认同 ,尤其为地勘队伍在找矿勘查中熟 悉并广泛应用。但如何在国际上推广成矿系列,使 其成为全球同行接受并运用的科学思维 ,是摆在中 国地质工作者和勘查同仁们面前的一道科学命题。 经过 30 多年的研究和实践,成矿系列已经成为一个 层次多、功能庞大的体系。如何能够突出大体系中 的关键要素 使国内外同行易于了解和运用 是我们 面临的首要任务。实践证明 ,成矿系列的区域分布 和演化规律研究必须与板块构造的发展和演化密切 结合,只有从块体之间相互作用研究入手,才能从深 层次了解成矿系列在区域上的分布规律以及不同成 矿系列之间的关系 建立区域成矿动力学模型 这可

能是成矿系列概念全球化的一个接口。此外,还需 在成矿系列学术思想的指引下,科学地建立矿床模 式。矿床式是否能够成为大家都可以运用的普适性 模型,最重要的是简明、具代表性和置于一定构造背 景下。由此,地质工作者可以在一定的构造环境,运 用所提出的矿床式有目的地发现和探明某种矿床或 矿床组合。本文尝试运用矿床成矿系列的学术思 想,探讨内蒙古地区矿床成矿系列及其在地质历史 过程的分布规律。

关于内蒙古矿床成矿系列,邵和明等(2001)已 经进行了详细的研究,以成矿区带为单元,划分出32 个成矿系列。如此详细地划分成矿系列,提出每一 成矿系列中的若干矿床式,无疑对于每个成矿区带 中开展找矿勘查部署具有重要的指导意义。另一方 面,太多的名称有碍于记忆和推广应用,更重要的是 地质历史演化具有洲际性和大区域性,只有基于整 体地球动力学过程,才能更全面、更合理地划分归并 矿床成矿系列。在一定大的背景下,提出的矿床模 型(或矿床式)才具普适性,有利于指导开展找矿部 署和勘查。

成矿系列的划分与大地构造演化历史密切关 联,在面积广袤的内蒙古自治区涉及两大构造单元, 即南部的华北地块北缘和北部的古亚洲造山带(或 天山-兴蒙造山带、中亚造山带、泛阿尔泰造山带)。 位于西伯利亚地块与华北地块之间的古亚洲造山带 经历了一个长期而复杂的演化过程,多次俯冲、拼 贴、碰撞和开合,沿二连-贺根山-黑河残留有泥盆纪 的蛇绿岩套(邵积东等,2006),沿西拉木伦河和索伦 山出现二叠纪蛇绿岩套(Li, 2006)。目前,多数学者 倾向于二连-贺根山蛇绿岩套可能代表着古亚洲洋 主体的消亡 因此 在该带以南属于华北地块及其增 生带,以北为西伯利亚地块及增生带。在造山带中 还出现一系列不同地质时期的地体,如额尔古纳地 块、兴安地块、松辽地块和旱山微陆块。到目前为 止 古亚洲造山过程仍然在探讨中(engör et al., 1993; Li, 2006; Xiao et al., 2003; 2008), 很多科学 之谜有待于解开。通过野外调查和室内资料的阅 读 基于多数学者对内蒙古及邻区大地构造演化的 初步认识 结合矿产资源的时空分布特点 本文划分 出11个矿床成矿系列(图1),即:① 太古代鞍山式 沉积变质型铁矿成矿系列(包括中太古代和新太古 代两个系列);② 中元古代海底喷流型铅锌铜硫矿 成矿系列 ;③ 中元古代白云鄂博稀土元素-铁-铌矿 床成矿系列 ④ 奥陶纪—志留纪岛弧环境斑岩铜 金 , 钼 矿成矿系列 ⑤ 泥盆纪与蛇绿岩有关的铬铁矿矿 床成矿系列 ⑥ 晚二叠世—三叠纪与花岗岩有关的钼 金多金属成矿系列 (7) 三叠纪—中侏罗世斑岩铜矿床 成矿系列 ⑧ 得尔布平地区晚侏罗世—早白垩世与花 岗岩有关的浅成低温热液型铅锌多金属矿床成矿系 列 ⑨ 大兴安岭及邻区晚侏罗世—早白垩世与花岗岩 有关的铅锌锡钼金多金属矿床成矿系列 💷 新生代与 湖相沉积-蒸发作用有关的盐类矿床成矿系列。

1 中太古代和新太古代鞍山式沉积变 质型铁矿成矿系列

该成矿系列主要发育于华北地块北缘内蒙地轴 中部的包头-集宁一带,是地球演化早期形成的一套 铁矿床,具有硅质条带与磁铁矿条带相间产出的特 点,通常称为 BIF(Banded Iron Formation)型铁矿。 内蒙古沉积变质型铁矿的赋矿围岩为中太古界乌拉

山群和新太古界色尔腾山群,在以中太古界乌拉山 群第三岩组为围岩的 BIF 型铁矿,包括壕赖沟、点力 斯太、乌日图和小壕赖等中小型铁矿(梁宝俊等, 2008) 而以新太古界色尔腾山群东五分子组为围岩 的 BIF 型铁矿,包括三合明、东五分子、书记沟、合 教、高腰海和黑脑包等。 尽管两者在矿石组成和结 构、构造方面都比较相似,但其形成时间上有差别, 乌拉山群形成于中太古代晚期,而色尔腾山群为新 太古代晚期。由此可以划分为两个成矿系列,即中 太古代沉积变质型铁矿成矿系列和新太古代沉积变 质型铁矿成矿系列。事实上,中太古代晚期(约2.8 ~2.9 Ga) 是全球性形成 BIF 型铁矿的重要时期 广 泛发育于西澳大利亚、西非、北美等地区。而中国华 北地块大多数 BIF 型铁矿的形成时期为 2.5~2.6 Ga。正如张连昌等(2012)总结的,这一大规模的 BIF 型铁矿成矿事件与大规模花岗岩形成有关,也 指示出一次重要的地壳增生事件。

最近几年,已经完成了大量关于 BIF 型或沉积 变质型铁矿形成机制的研究工作。业已查明内蒙地 轴固阳绿岩带产出多种火成岩,自下而上典型岩石 类型包括科马提岩、玄武质科马提岩、拉斑玄武岩、 高镁安山岩、富 Nb 玄武岩。三合明、东五分子、书记 沟、合教、高腰海、黑脑包、公益民和汗海子铁矿等 BIF 型铁矿主要产于固阳绿岩带中下部,与科马提 岩等超基性岩有一定关系(陈亮,2007;刘利等, 2012)。色尔腾山群自下而上分为东五分子组、柳树 沟组和点力素泰组,BIF 型铁矿主要集中分布在东 五分子组中。东五分子组主要由灰绿色斜长角闪岩 夹磁铁石英岩、灰绿色绿帘斜长片岩夹长石石英片 岩、钠长阳起片岩,顶部含橄榄透辉大理岩。原岩建 造为基性火山岩、少量中酸性火山碎屑岩、沉积岩夹 硅铁建造。

对于 Fe 和 Si 的物质来源问题,目前有陆壳风化 对海洋供给和海底火山喷发后热液活动 2 种主流的 观点,但近年来,越来越多的地球化学证据,包括 Eu 异常、REE 异常和 Nd 同位素特征等,支持成矿物质 主要来自深海热液(Holland, 1973; Rao et al., 1995)。对含铁流体运移、沉淀形成 BIF 型大矿的机 制主要有上升洋流和海底喷流 2 种认识:①上升洋 流模式 深部富 Fe²⁺的海水上涌到大陆边缘浅海盆 地和陆棚时, Fe^{2+} 在缺氧水体与上部氧化层界面附 近氧化成 Fe³⁺,大量沉淀形成含铁建造(Clout et al., 2005);② 海底喷流模式:下伏岩浆房加热新形



成的镁铁质-超镁铁质洋壳,海水对流循环从新生洋 壳中淋滤出 Fe和 Si 等元素,在海底减压排泄成矿, 成矿流体的脉动式喷发导致形成条带状构造(Wang et al., 2009)。

尽管全球大多数 BIF 型铁矿的形成环境为古岛 弧或凹陷槽,但对于三合明等铁矿的形成背景和机 制,陈亮(2007)和刘利等(2012)研究认为,其可能形 成于深部有地幔柱发育的岛弧环境,镁铁质新生洋 壳形成后,由下伏岩浆房加热,海水对流循环并从新 生洋壳中淋滤出铁和硅等元素,然后在海底减压排 泄。

2 中元古代海底喷流型铅锌铜硫矿成 矿系列和中元古代白云鄂博稀土元 素-铁-铌矿床成矿系列

正如邵和明等(2001)总结指出,中元古代沿大 陆边缘和内部发生裂解,形成白云鄂博和渣尔泰山 裂陷槽(或裂谷、坳拉谷),其中堆积了复理石建造, 同时出现火山活动。白云鄂博群尖山组玄武岩单颗 粒锆石 U-Pb 年龄为(1728±5)Ma(王辑等,1989), 标志裂陷作用达到很高程度。1400 Ma 左右的抬升 造成白云鄂博群尖山组与哈拉霍疙特组之间的沉积 间断以及渣尔泰山群增隆昌组与阿古鲁沟组的风化 壳。晋宁运动导致这两个裂陷槽消亡,并遭受绿片 岩相区域变质作用。

邵积东等(2011)认为,接受巨厚沉积的白云鄂 博群和渣尔泰山群属于同期而不同环境的产物,为 截然不同的两套建造,并相应在其内发育了两套截 然不同的矿床组合,构成了两个矿床成矿系列。

渣尔泰山裂陷槽发育一套海底喷流型铅锌铜硫 矿床,包括东升庙、炭窑口、甲生盘和霍各乞等。这 些矿床具有明显的"层控"、"岩控"和"时控"特点(彭 润民等,1999;2004),是中国比较典型的 SEDEX 型 矿床(以沉积岩为容岩的海底喷流型矿床)。该套矿 床赋存于中元古界渣尔泰山群(包括过去部分地段 曾经命名的狼山群),包括4个组,自下而上为书记 沟组、增隆昌组、阿古鲁沟组和刘鸿湾组。矿床的赋 矿围岩均为增隆昌组和阿古鲁沟组(包括以往论著 中所写的狼山群第二岩组),主要岩性为白云质大理 岩、碳质千枚岩(碳质板岩)和二云母碳质千枚岩。 在炭窑口和霍各乞矿区,石英岩也是主要的赋矿围 岩之一。

通过野外考察,可以认为渣尔泰山裂陷槽中或 狼山地区这套铅锌矿床与澳大利亚北昆士兰芒特艾 萨地区 SEDEX 型铅锌矿比较类似 都是以富含碳质 的板岩及千枚岩为赋矿围岩,铅锌矿具有明显的层 状和层控性。但是,芒特艾萨地区铅锌矿成层性很 好,未经过明显的后期改造;矿石矿物微细,尽管矿 石品位高达 10%~20% 肉眼难辨金属矿物 但比重 明显有别。与之相对比,狼山地区的铅锌矿曾经历 过后期改造 可见大量细微矿脉或矿层纹 尽管与碳 质千枚岩和碳质板岩的千枚理或板理基本一致,但 具有清楚的活化和重置特点 ,甚至有细脉状矿体产 出 这些更多显示出后生交代和沉淀的信号。金属 矿物粒度也相应明显变粗 甚至有粗晶方铅矿、闪锌 矿、黄铁矿和黄铜矿的出现。这种受到后期改造的 特点 类似于美国阿拉斯加红狗超大型铅锌矿。因 此,对于美国红狗铅锌矿的成因有 SEDEX 型与 MVT型(密西西比河谷型)的激烈争论(Leach et al., 2001 ;David et al., 2004)。此外 对于霍各乞和 炭窑口以石英岩为主岩的铜矿应引起关注,这种层 位稳定、连续性好、黄铜矿呈现出浸染状特点的矿 体 很可能表明其为受变质的砂岩型铜矿。由于位 于古陆边缘坳拉谷,在沉积期间发育砂岩铜矿是一 种自然过程。但作为以沉积岩为容岩的铅锌矿床, 很难形成海底喷流型铜矿。形成海底喷流型铜矿所 具备的先决条件是面积大和厚度大的基性-中基性 火山岩为容岩,以保障在海底海水受热进行对流循 环时 从围岩中萃取铜等金属元素。

白云鄂博裂陷槽向西南与渣尔泰山裂陷槽相 连,其内赋存着白云鄂博 REE-Fe-Nb 矿床,尽管涂 光炽(1998)将白云鄂博矿床称之为独生子,但 Hitzman 等(1992)还是将其归为氧化铁-铜-金矿床 (IOCG型)大家庭中的成员之一。事实上,在美国西 部内华达州与加利福尼亚州之间的 Sierra Nevada 山 脉上 Mountain Pass 稀土元素矿床与白云鄂博十分 类似。

白云鄂博矿区的赋矿围岩由中-新元古代白云 鄂博群石英岩、板岩和碳酸盐岩组成,矿体主要产在 白云岩中,矿区地质工程师认为是受层间断裂的控 制。碳酸盐岩中含有大量稀土元素矿物,并伴随着 氧化铁,构成主矿体。同时,又由于海西期花岗岩侵 位,导致形成砂卡岩矿化及其富含稀土元素的矿脉。 近年来,大量测年获得的基本规律表现为,白云鄂博 海相沉积白云岩为 16 亿年,火成碳酸岩时代为 13 亿年左右 3.5 亿年可能与花岗岩侵位关系密切。

对于白云鄂博矿床的成因,认识较多,争议颇 大,主要可以归结为:中元古代沉积成岩,后期交代 成矿(李毓英,1959;Chao et al., 1992);与碳酸岩浆 侵位有关(周振玲等,1980;刘铁庚,1985);幔源碳酸 岩流体喷溢同生沉积及富稀土元素地幔对碳酸盐岩 的交代成矿(白鸽等,1983;汪辑等,1987);深源热卤 水与海水混合沉积(陈辉等,1987);既有中元古代同 生沉积成矿,又有后期叠加交代(王中刚等,1973)以 及赋矿白云岩为一个大型微晶丘(章雨旭等,1998)。 近几年 ,通过进一步系统的成岩成矿年龄精测和物 质来源探讨,白云鄂博矿床的成因基本趋于一致,即 中元古代与碳酸岩浆有关的含矿流体沿断裂上涌, 至白云鄂博群沿沉积白云岩层进行交代,形成 REE-Fe-Nb 矿层,古生代由于大规模花岗岩浆侵位,导致 物质重置 原来层状矿体的成矿物质被活化和再次 沿不同类型裂隙沉淀成矿(Yang et al., 2009)。

3 奥陶纪—志留纪岛弧环境斑岩铜 (金-钼)矿成矿系列

自从新元古代(约 820~540 Ma)沿天山南缘印 山-狼山-白云鄂博-赤峰一线,华北古陆和塔里木古 陆与其以北的古陆群逐渐分离 随之古亚洲洋经过 多次扩张、俯冲、拼贴和碰撞,直至古生代末逐渐关 闭(邵和明等,2001;邵积东等;2011;邵积东,2012; Li, 2006; 李锦轶, 2009; 李锦轶等, 2013)。至于大 洋关闭时间 ,中国绝大多数学者认为北山或包头以 西于石炭纪末关闭、东部西拉木伦河一带于二叠纪 末关闭(Li, 2006;李锦轶等, 2006; 2013; 张拴宏等, 2010;韩宝福等,2006;高俊等,2006;毛景文等, 2002a ;2002b ;2005 ; 王京彬等 ,2006)。但也有不同 的看法,主张为三叠纪末闭合(肖文交等,2006;Xiao et al., 2008)。尽管邵积东(2012)强调,贺根山蛇绿 岩带(380~360 Ma)为西伯利亚地块与华北地块的 对接缝合带,但也不排除沿西拉木伦在晚二叠世闭 合——代表古亚洲洋的最终消亡。目前已探明的矿 产资源显示,位于红格尔-伊尔施-多宝山加里东-华 力西早期岛弧(亦称造山带)中的奥陶纪—志留纪斑 岩铜-钼-金矿构成古生代第一个成矿系列。

这一矿床成矿系列主要包括位于黑龙江省境内 的多宝山-铜山斑岩铜钼矿床和内蒙古白乃庙斑岩 铜金矿床。这些矿床的赋矿围岩分别为中奥陶统海 相中性火山-沉积岩类 ,由安山岩、凝灰岩、凝灰熔 岩、凝灰角砾岩、凝灰质砂岩、粉砂岩和凝灰质砂砾 岩等组成(赵一鸣等,1997)和早-中奥陶世包尔汉图 群火山岩-次火山岩(邵积东 ,2012)。矿床中辉钼矿 的 Re-Os 同位素测年表明其成矿时代分别为 486~ 482 Ma Liu et al., 2012 承45.0±3.4) Ma Li W B et al., 2012),前者与成矿有关的花岗闪长斑岩的 年龄为(477.2±4.0) Ma(Zeng et al., 2013a),后者 与成矿有关的花岗闪长岩的年龄为(445±6) Ma(Li W B et al., 2012)。由于成矿后的强烈造山作用,该 系列矿床均表现出并非通常看到的斑岩矿床呈圆形 或椭圆形的特点,而是呈拉长状,像白乃庙整体挤压 成条状,甚至呈似层状。但是,野外可以看到矿体仍 然具有细脉浸染状的特点 ,中心为钾长石化和外部 发育广泛的石英绢云母化 这些正是受变质的斑岩 铜矿的基本特点。

对于该系列矿床的形成环境,富含亲地幔铜和 金元素的白乃庙斑岩铜金矿床本身就明显反映出成 矿物质主要来自地壳很薄或缺少地壳的大洋岛弧。 尽管多宝山和铜山是斑岩铜钼矿床,其辉钼矿不是 低 Re 含量的地壳源区,而是高度富集 Re 和 Os,同 样表现出地幔来源为大洋岛弧环境之特点。因此, 笔者推测在奥陶纪—志留纪古亚洲洋演化期间,由 于板片俯冲于红格尔-伊尔施-多宝山岛弧,形成一套 斑岩铜金钼矿床成矿系列。

4 泥盆纪与蛇绿岩有关的铬铁矿矿床 成矿系列

对于二连-贺根山-黑河与温都尔庙-西拉木伦, 哪一条是西伯利亚地块与华北地块的分界线,目前 尚在争论之中,但野外可见沿二连-贺根山出现了 600多公里长的蛇绿岩带(肖序常等,1991;徐志刚 等,1995,邵济安等,1996)。该蛇绿岩带尚缺乏精确 的测年资料,邵积东(2012)总结前人测定年龄的大 致范围为 380~360 Ma;邵和明等(2001)总结前人 获得的 K-Ar 年龄为 430~346 Ma,平均 385 Ma;包 志伟等(1994)开展蛇绿岩的全岩 Sm-Nd 等时线测 年 获得(403±37) Ma 的数据。这些数据均表明其 为泥盆纪的产物。

铬是中国的紧缺资源,除了西藏罗布莎和祁连 山大道尔吉,二连-贺根山是中国第三条受到关注的 铬铁矿成矿带。二连-贺根山铬铁矿与蛇绿岩关系 1

密切,鲍佩声等(1999)厘定其为富铝型,形成于地壳 厚度较薄的扩张环境中,诸如洋中脊、弧后盆地或边 缘海;白文吉等(1995)则认为属于边缘海-岛弧环 境。由此,可能给出一个信号,二连-贺根山蛇绿岩 带尽管出露的长度和面积都比较大,但很可能属于 SSZ型(俯冲带型),但也不排除 MORB型(洋中脊 型)。

二连-贺根山地区,尚未发现规模较大的铬铁矿 矿床,主要为中小型,包括贺根山地区的赫格敖拉。 总体来讲,含矿岩体属于分异强的纯橄岩-斜辉橄榄 岩-橄长岩-辉长岩型岩体组合,铬铁矿矿体产在基性 程度较高的岩相中,如赫格敖拉铬铁矿矿体就产在 斜辉辉橄岩岩相带内断续相连的纯橄岩异离体中。 金属矿物以铬尖晶石为主,有少量磁铁矿、黄铁矿和 黄铜矿。脉石矿物为蛇纹石、镁绿泥石。矿石多呈 浸染状、条带状,很少呈块状。

5 晚二叠世—三叠纪与花岗岩有关的 钼金多金属成矿系列

古亚洲洋从西向东逐渐关闭 ,新疆乃至中亚地 区在石炭纪晚期闭合 ,而西拉木伦地区在晚二叠世 闭合(Li, 2006;李锦轶等, 2013)。Xiao等(2003; 2008)认为,古亚洲洋整体于三叠纪闭合。在西拉木 伦河以南地区,刘建峰等(2013)不仅识别出泥盆纪 富碱侵入岩 晚石炭世和二叠纪中期弧岩浆岩 还发 现了与二叠纪晚期至三叠纪碰撞造山相关的岩浆 岩。由此可见 这一造山过程持续到三叠纪 甚至早 侏罗世。与此相对应、石炭纪末期至三叠纪发育了 古亚洲地区规模宏大的成矿事件 ,中亚天山包括穆 龙套巨型金矿在内的造山型金矿带形成于 300~260 Ma(Yakubchuk et al., 2002; Goldfarb, 2013),中国 东天山不仅有造山型和浅成低温热液型金矿(如康 古尔塔格和西滩)和矽卡岩型铜铅锌银矿(如维权) (毛景文等,2002a;2002b;2006;Mao et al., 2005), 还有与基性-超基性岩有关的铜镍硫化物矿床(如黄 山东、白石泉和喀拉通克),其成矿时代为 298~270 Ma 毛景文等,2006;Mao et al., 2008a; Zhang et al., 2008),甚至还有矽卡岩型磁海铁矿等,Huang 等(2013)最近获得硫化物 Re-Os 年龄为(262.3 ± 5.6) Ma。除此之外,个别矿床形成于三叠纪,如白 山斑岩钼矿和新发现的东戈壁斑岩钼矿 ,其成矿时 代约为(224.8±4.5) Ma(Zhang et al., 2005) (229

±2) Ma(李华芹等 2006)和(231.9±6.5) Ma(吴艳 爽等 2013)。

该带延伸到北山,有南金山〔(242.8±0.8) Ma认马庄山〔(298 ± 28) Ma认交叉沟〔(275.1 ± 1.0) Mal 金窝子((230±5.7) Mal 和小西弓(267~ 284 Ma) 等造山型金矿(聂凤军等, 2002;李华芹等, 1999;2004;Jiang et al., 2004)。除了造山型金矿 外 还有小狐狸山斑岩钼矿 其时代为(220.0±2.5) Ma(彭振安等,2010)。该带向东延伸,进入狼山地 区及其相邻的华北地块北缘的北部边缘。在该区发 育有朱拉扎嘎金矿〔(275±6) Ma ,江思宏等 ,2001 〕 和浩尧尔忽洞造山型金矿〔(270.1±2.5) Ma,王建 平等,2011]以及一系列斑岩型或热液型钼多金属 矿床(聂凤军等,2002)。哈达门沟金钼矿具脉状和 细脉浸染状构造 ,可能为斑岩型-热液型矿床 ,时代 为(239±3) Ma(聂凤军等, 2005), 流沙山斑岩钼金 矿或热液脉型钼金矿的成矿时代为 260 Ma 聂凤军 等 2002) ,而查干花、西沙盖得和大苏计均形成于三 叠纪 辉钼矿 Re-Os 同位素年龄为(242.7±3.5) Ma 从(222.5±3.2)Ma(侯万荣等,2010;蔡明海等, 2011 涨彤等 2009)。

沿该矿床成矿系列继续向东(在呼和浩特以东) 出现 2 个分支,其一沿西拉木伦河断裂发育,主要出 现在断裂之南;另一分支向东北,沿二连-贺根山古 缝合带发育。在西拉木伦河地区已经发现二叠纪矿 产,如好力宝斑岩钼铜矿,时代为 265 Ma(Zeng et al.,2013b),但主要是一套三叠纪斑岩钼矿,包括库 里吐、车户沟、元宝山,乌兰乌德、宝格达乌拉以、岱 沟门和河坎子,时代为 245~220 Ma(曾庆栋等, 2012;聂凤军等,2011;毛景文等,2012;Jiang et al., 2013),以及造山型金矿,包括金厂沟梁、红花沟、金 厂峪和道巴彦哈尔(聂凤军等,2011)。

晚石炭世—三叠纪与花岗岩有关的钼金多金属 矿床成矿系列总体呈东西向展布,其成矿时代从晚 石炭世逐渐变成以二叠纪为主,向东以三叠纪成矿 为主。这在一定程度上反映出古亚洲洋闭合是从西 向东完成的,该套矿产可能是后碰撞过程的成矿响 应。

除上述沿主碰撞带矿产的基本规律以外,在东 部的另外一个分支向东北方向(苏尼特右旗和苏尼 特左旗)延伸,大多数沿二连-贺根山古缝合带两侧 分布。迄今为止,除了少量二叠纪矿床,如准苏吉花 斑岩钼矿的辉钼矿 Re-Os 年龄为(298.1±3.6) Ma (刘翼飞等 2012),毕力赫斑岩金矿的辉钼矿 Re-Os 同位素年龄为(272.7±1.6) Ma(卿敏等,2011);大 多数矿产形成于三叠纪,而且矿床类型呈现出多样 化,包括敖尔盖斑岩铜矿、喇嘛罕山热液型铅锌矿 (Zhou et al.,2013),阿尔哈达脉状铅锌矿和查干敖 包矽卡岩型铁锌矿(张万益,2008)和沙麦热液脉型 钨矿(聂凤军等,2011)。这些矿产的形成时代基本 在230~218 Ma,似乎略晚于西拉木伦河分支。

该成矿系列中,尽管成矿类型较多,从西向东成 矿时代逐渐变新,但未出现明显的成矿空间分带,而 且各类矿床通常交织在一起。因此,按照成矿类型 并兼顾成矿物质来源,可以划分出造山型金矿成矿 亚系列、斑岩钼(铜、金)矿床成矿亚系列和与基性-超基性岩有关的铜镍硫化物矿床成矿亚系列。

6 三叠纪—中侏罗世斑岩铜矿床成矿 系列

蒙古-鄂霍茨克洋作为古太平洋的残留海曾出 现于蒙古国中部 向东南延伸到中俄蒙边界 然后沿 黑龙江省北侧向东北延伸至俄罗斯远东地区 从西 向东于二叠纪—晚侏罗世,乃至早白垩世逐渐闭合 (Enkin et al., 1992; Yin et al., 1996; Xiao et al., 2003;董树文等,2007;Li et al.,2007;武广等, 2008)。蒙古-鄂霍茨克洋的演化,包括开裂、俯冲和 碰撞 ,对于中国东北地区有什么影响以及影响到什 么程度,至今仍有争议。长期以来,认为蒙古-鄂霍 茨克洋向北俯冲,南部是一个被动大陆边缘(Zonenshain et al., 1990; Parfenov et al., 1995; Zorin, 1999)。但最近几年 高锐等(个人交流)实施的地球 物理深部探测资料表明 蒙古-鄂霍茨克洋曾经向东 南方向俯冲,在中国东北(包括大兴安岭北部)大陆 深部有比较清楚的显示。不过,对于哪些矿产与蒙 古-鄂霍茨克大洋板块俯冲或碰撞有关,尚难查证。 就目前资料来看,从蒙古国中部额尔登特等三叠纪 斑岩铜钼矿到中国得尔布干地区三叠纪太平川斑岩 铜钼矿和八大关斑岩铜钼矿及早-中侏罗世的乌奴 格吐山斑岩铜钼矿,可能构成了一个活动大陆边缘 铜钼矿带。陈广志等(2010)获得太平川含矿花岗闪 长斑岩的锆石 U-Pb 年龄为(202±5.7) Ma ,表明其 为三叠纪末成岩成矿,并根据岩石地球化学特征推 测成矿环境为额尔古纳陆缘 岩浆来自俯冲洋壳的

重熔。江思宏等(2010)对蒙古国西北部额尔登特铜 钼矿区内的含矿斑岩体——石英闪长岩开展了锆石 SHRIMP和 LA-MC-ICP-MS 同位素测年,获得成岩 时代为 240 Ma 左右 辉钼矿的 Re-Os 等时线年龄为 (241.0±3.1) Ma。表明俯冲大陆边缘成矿从西部 向东部,时代逐渐变新。Chen 等(2011)和 Li 等 (2012)通过对乌奴格吐山斑岩铜钼矿的研究,获得 成矿的辉钼矿 Re-Os 等时线年龄为(177.6±4.5) Ma。通过对含矿斑岩体的岩石地球化学研究和区 域对比 提出了蒙古-鄂霍茨克洋在二叠纪—三叠纪 期间双向俯冲 ,中国东北地区当时属于活动大陆边 缘。该大洋于早-中侏罗世关闭,在大陆碰撞期间, 来自壳幔过渡带的岩浆在上升过程中混合了大量地 壳物质 ,并于地壳浅部定位和分异演化成矿。但是 , 一般来讲 斑岩铜矿通常形成于活动大陆边缘 即使 在碰撞造山带,斑岩铜矿的物质来源也是来自于滞 留的俯冲板片 ,只有俯冲板片才满足形成斑岩铜矿 所需要的铜物质和巨量流体。

7、得尔布干地区晚侏罗世—早白垩世 浅成低温热液型铅锌金银矿床成矿 系列

得尔布干斑岩钼矿_浅成低温热液型铅锌银金 矿床成矿系列的大地构造位置位于额尔古纳褶皱 系。主要为一套浅成低温热液型矿床,包括甲乌拉 中-低温热液脉型银铅锌(铜)矿、查干布拉根中-低温 热液脉型银铅锌矿、得耳布尔铅锌 银 矿、比利亚谷 铅锌(银)矿、额仁陶勒盖中-低温火山热液脉型银 矿、四五牧场式高硫化型浅成低温热液金(铜)矿床、 莫尔道嘎式低硫化型浅成低温热液金(银)矿床、奥 拉齐式低硫化型浅成低温热液金矿点、下护林矽卡 岩型铅、锌(银)矿床等。次火山热液型和浅成低温 热液型矿床多赋存于中-上侏罗统---下白垩统火山 岩中 ,而斑岩型钼矿则产于前中生代隆起边缘的岩 体顶部。成矿均与燕山中-晚期中酸性、酸性侵入杂 岩有关 ,与成矿有关的岩浆活动表现出由中基性向 酸性演化之特征。侵入岩体接触体系、NW 向和 NE 向断裂交汇部位、爆破角砾岩筒以及火山机构是成 矿的重要控制因素(李进文等 ,2006 ;武广等 ,2010)。 最新的年代学数据显示 ,甲乌拉矿区围岩钾长花岗 岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为(251.9±1.5) Ma ~(257.9±1.3) Ma 而成矿岩体二长花岗斑岩的年 龄为(143.8±2.5)Ma(武广等,未发表数据),与最 近获得的黄铁矿、闪锌矿 Rb-Sr 等时线年龄[(142.0 ±3.0)Ma~(143.0±2.0)Ma ,李铁刚等,未发表数 据)在误差范围内一致。最近几年在得尔布干成矿 带北段探明的岔路口斑岩钼矿床也应该属于该成矿 系列,聂凤军等(2012)和 Liu 等(2013)测定该矿床 的辉钼矿 Re-Os 同位素年龄为(148±1.0)Ma,而有 关的花岗斑岩 LA-ICP-MS 锆石年龄为(149±5.0) $Ma~(148\pm1.0)Ma_{o}$

关于这一矿床成矿系列形成的地球动力学背 景,过去通常将其与大兴安岭南段作为一个统一体 考虑,认为由太平洋板块于晚侏罗世—早白垩世向 大陆俯冲而生成。但是,考虑到浅成低温热液型矿 床大都形成于大陆边缘,因此,推测很可能发育于蒙 古-鄂霍茨克洋闭合后的碰撞后伸展环境。由于岩 石圈拆沉作用导致软流圈上涌,引致壳幔相互作用 形成这套火山-侵入岩及与其有关的矿床成矿系列。 尽管得尔布干成矿带与大兴安岭成矿带形成的时代 相近,但成矿背景明显不同,后者可能形成于大陆边 缘弧后伸展带,与太平洋板块俯冲有密切关系。

8 大兴安岭及邻区晚侏罗世—早白垩 世与花岗岩有关的铅锌锡钼金多金 属矿床成矿系列

过去十多年的大量研究表明 在 240~220 Ma 期间,印支、华南与华北三大板块碰撞对接,形成了 一个整体大陆。在早侏罗世,华南曾经历了一个相 对宁静期(Zhou et al., 2006)。Maruyama 等 (1986), Moore(1989), 万天丰(1993) 及万天丰等 (2002)指出 进入侏罗纪以来 作用最强的是伊泽奈 奇板块朝 NW 方向运移 ,俯冲到东亚大陆之下 ,初生 的太平洋板块则在南半球微弱向 NW 方向俯冲,致 使中国大陆及邻区受到较强的总体向北西的挤压和 缩短作用。正是这种朝 NW 方向的挤压、俯冲作用, 导致中国大陆块体发生了逆时针 20~30°的重要转 变 各块体同时向北移动了一点。但究竟什么时间 伊泽奈奇板块开始向大陆俯冲,一直是颇受关注的 且尚未解决的科学问题。古太平洋板块从南向北渐 次向欧亚大陆俯冲,华南早于华北和东北首先纪录 了这一轨迹。毛景文等(2007)根据华南金属矿产形 成最早时间及其动力学特点,推测伊泽奈奇板块于 (175±5) Ma 左右从南东向北西俯冲,不仅导致大 陆加厚,而且首先沿扬子地块与华夏地块之间的新

元古代拼合带发生活化 ,形成了 175~155 Ma 的钦 杭斑岩-矽卡岩铜多金属成矿带(杨明桂等,2009;毛 景文等 ,2008 ;2011 ;Mao et al. , 2013) ,接着在华南 中部的南岭及其邻区出现 160~150 Ma 的大规模钨 锡多金属矿产(毛景文等 ,2004 ;2007 ;2008)。在华 北地区 (伊泽奈奇(或古太平洋)板块俯冲纪录明显 较晚 ,牛宝贵等(2003)和董树文等(2007)提出 ,髫髻 山火山岩是古太平洋俯冲的开始。董树文等(2007) 提出俯冲起始时间为(165±5)Ma,结束时间在华北 及长江中下游地区基本在 135 Ma 左右(毛景文等, 2003;2005),在东北的结束时间可能到133 Ma 或 130 Ma。由于太平洋板块的俯冲,在大陆边缘的弧 后伸展带出现大规模成矿作用,如在东秦岭广泛发 育150~135 Ma的斑岩-矽卡岩型钼多金属矿床 (Mao et al., 2008b)。华北地块北缘及包括大兴安 岭在内的中国东北地区具有类似的成矿特点,但成 矿类型表现多样化 ,形成一个与花岗岩有关的铅锌 银铜钼锡铁多金属矿床成矿系列。赵一鸣等(1994) 曾经将这套矿产划分为 2 个成矿系列,即与燕山期 中酸性超浅成-浅成岩浆活动有关的铜多金属成矿 系列和与燕山期酸性岩浆作用有关的钨锡多金属矿 床成矿系列。鉴于这2套矿床是在同一时代和同一 地质背景下形成的不同类型矿床组合,因而将其称 为亚系列较为合适。随着近几年新发现和探明的大 量矿产 按照成矿物质来源和矿床组合 这里划分出 3个矿床成矿亚系列 从大兴安岭南段东侧向西渐次 为 突泉-林西与晚侏罗世—早白垩世花岗闪长斑岩 有关的斑岩-热液脉状铜-银-铅锌成矿亚系列、黄岗-甘珠尔庙-乌兰浩特与花岗岩有关的锡铅锌多金属 矿床成矿亚系列和大兴安岭南段西坡与燕山期花岗 质岩石有关的铅锌银多金属矿床成矿亚系列。

突泉-林西与晚侏罗世—早白垩世花岗闪长斑 岩有关的斑岩-热液脉状铜-银-铅锌成矿亚系列矿床 分布于内蒙古东南部嫩江断裂以西(大兴安岭南段 东带)赋矿地层主要为二叠纪的火山-沉积岩系和 中生代陆相火山岩、火山-沉积岩系。与成矿有关的 岩浆岩主要有闪长玢岩-花岗闪长斑岩-英云闪长斑 岩。该成矿亚系列的主要矿床有闹牛山次火山热液 型铜矿、布敦化斑岩-热液脉型铜矿、台布呆斑岩型 铜矿等斑岩-脉状铜矿等。由于该亚系列矿床均为 中小型,研究程度较低,仅布敦化铜矿区辉钼矿的 Re-Os 年龄测定为 152 Ma(武新丽,未发表资料)。 该矿带向西南延伸,与太行山北段包括木吉村斑岩 铜矿床的涞易成矿带相接,后者与晚侏罗世髫髻山 组火山岩-次火山岩关系密切,这套岩石的年龄为 156~137 Ma(Liu et al.,2006;Yuan et al.,2006), 其辉钼矿 Re-Os等时线年龄为(142.5±1.4)Ma~ (138.5±1.9)Ma(Gao et al.,2013;Dong et al., 2013)。新近发现的曹四夭超大型斑岩钼矿位于太 行山涞易成矿带的西北侧,成矿时代为148.3 Ma (武广,未发表数据)。

黄岗-甘珠尔庙-乌兰浩特与花岗岩有关的锡铅 锌多金属矿床成矿亚系列位于大兴安岭南段中带, 包括黄岗矽卡岩型锡铁矿、敖脑达坝铜矿、浩布高矽 卡岩型铅锌银矿和大井次火山热液型铜锡多金属矿 等,向南可以延伸到小东沟斑岩钼矿。这套矿产与 地壳来源的花岗质岩石成因关系密切 尽管在部分 矿区尚未见到与成矿关系密切的岩体,但物质组成 和断裂控矿的特点表明两者之间的关系。周振华等 (2010)在黄岗矿区获得与磁铁矿共生辉钼矿 Re-Os 模式年龄加权平均值(135.31±0.85) Ma 和与成矿 关系密切的钾长花岗岩和花岗斑岩 LA-ICP-MS 锆 石 U-Pb 年龄为(136.7±1.1) Ma 和(136.8±0.57) Ma 而大井矿床蚀变矿物绢云母的40 Ar-39 Ar 年龄为 138.3 Ma;小东沟钼矿的辉钼矿年龄为(135.5 ± 1.5)Ma(聂凤军等, 2007), 有关花岗质岩石及辉钼 矿的 Re 含量均表明其为地壳来源。这组年龄数据 表明该成矿亚系列形成于早白垩世。

大兴安岭南段西坡与燕山期花岗质岩石有关的 铅锌银多金属矿床成矿亚系列位于大兴安岭南段西 侧,是最近10年探明的一组矿床,包括拜仁达坝、维 拉斯托、道伦达坝、哈尔楚鲁图、花敖包特和白音乌 拉。后4个矿床的赋矿围岩主要为二叠系(林西组、 哲斯组、大石寨组)。 拜仁达坝和维拉斯托 2 个矿床 的赋矿围岩主要为古生代的黑云斜长片麻岩和角闪 斜长片麻岩及石炭纪的闪长岩类岩石(常勇等, 2010 ;潘小菲等 ,2009 ;刘翼飞等 , 2010)。该类型矿 床构造控矿特征明显,主要赋存在近 NW 向的压扭 性断裂中。 围岩蚀变强烈 普遍发育伊利石化、萤石 化、绿泥石化和硅化。成矿流体具中温、低盐度特 征 ,显示出岩浆热液来源并混有部分大气降水的特 征。硫化物的 S 和 Pb 同位素表明成矿物质主要来 源于岩浆。拜仁达坝矿床白云母⁴⁰Ar-³⁹Ar 测年显示 其成矿时代为早白垩世(拜仁达坝为(135 ± 3) Ma; 维拉斯托为(133.4±0.8) Ma (常勇等,2010;潘小 菲等,2009)。尽管道伦达坝矿床位于二叠系粉砂质

板岩(林西组)与黑云母花岗岩(273~278 Ma)(徐佳 佳等 2012)的接触带上,但两者是否存在成因联系, 尚需进一步研究。总体来讲,该亚系列属于与早白 垩世岩浆活动有关的岩浆热液脉型矿床,是同一岩 浆-热液活动在不同空间位置运移、沉淀和富集的产物。

上述 3 个成矿亚系列位于大兴安岭南段,从西 向东呈北东走向,平行排列,从东向西成矿时代逐渐 变新,成矿物质从高氧化度的壳幔混源到高还原度 的地壳来源。很可能是古太平洋板片低角度或平板 俯冲到大兴安岭-太行山东北段,发生局部撕裂,由 板片重熔形成岩浆及与其有关的斑岩-矽卡岩型-脉 状铜钼矿,向北西方向,壳幔相互作用增强,逐渐变 成以地壳重熔岩浆为主,因而有关花岗质岩浆性质 及其成矿元素组合发生了变化。

9 新生代与湖相沉积-蒸发作用有关的盐类矿床成矿系列

内蒙古地区自第三纪末期以来 ,气候干旱 ,物源 丰富 形成了多种类型的盐湖 如硫酸镁亚型、硫酸 钠亚型及碳酸盐型等。硫酸盐(钠镁)型盐湖主要分 布于内蒙古西北部,碳酸盐型盐湖多分布于东南部 (石蕴琮,1987)。第四纪时期 构造运动使得内蒙古 区域地形地势的差异变化加大 ,高原东部和东北部 以张裂坳陷为主 ,而西南部则以不均匀隆起占优势。 盐湖沉积物类型与周围地区植被发育情况和风化剥 蚀作用的强弱有密切相关性(杨清堂,1997)。盐湖 区外围岩石及河水和泉水中的 Na^+ 、 Cl^- 、 $SO_s^2^-$ 等含 量较高,为石盐和芒硝矿床的形成提供了物质来源, 而盐湖外围广泛分布的白垩系富含碳酸盐灰绿色砂 泥岩为碳酸盐型盐湖矿床的形成,提供了大量的 CO² 和 HCO³。雅布赖盆地外围山系广泛分布着 不同时期的花岗岩类,一般 u(K,O)较高,最高为 6.5%,平均为3.49%(刘振敏等,1998),为本区富钾 卤水矿的形成提供了钾来源。

内蒙古盐类矿床属于现代盐湖矿床,包括盐矿、 钾盐、芒硝、天然碱等多种矿产,构成了内蒙古盐类 矿床成矿系列,进一步划分为:① 与碳酸盐型水补 给有关的盐类成矿亚系列,碳酸盐型盐湖形成天然 碱、泡碱、芒硝等;② 与硫酸盐型水补给有关的盐类 成矿亚系列,分钠亚型和镁亚型2种成因类型:硫酸 钠亚型卤水形成芒硝矿以及薄层石盐矿;硫酸镁亚 型卤水由硫酸钠亚型卤水演化而来,形成石盐矿、芒 硝矿及钾石膏矿,含钾-富钾卤水矿则是由硫酸镁亚 型卤水进一步蒸发浓缩演变而来。

内蒙古典型的盐类矿床主要有吉兰泰盐湖盐 矿、察干里门诺尔碱矿和伊克昭盟(现鄂尔多斯市) 达拉特旗北大树湾芒硝矿等。长期以来,这些矿床 已进行了较大规模的开发,为中国盐化工业提供了 重要原料。

本文仅为初步思考,有诸多不妥之处,敬请指 正。值得指出的是,对于某些矿床的成因仍然存在 不同认识,如认为白乃庙铜矿区存在元古代海底喷 流成矿事件,霍各乞以石英岩为主岩的铜矿与海底 喷流作用有关,等等。不同认识和争鸣是推动逼近 客观认识自然过程的必然途径,只有争论才能发展, 我们渴望有更多的良性讨论和互动。此外,一些工 作有待于完善和提高,如东部贺根山一带蛇绿岩形 成于中-晚泥盆世 而西部索伦山蛇绿岩主要为早二 叠世产物 通过进一步工作,可将其划分为2个铬铁 矿成矿系列;而多宝山和白乃庙岛弧链可能是2个 独立的岛弧链 前者属于西伯利亚板块南东缘 而后 者属于华北板块北缘 通过进一步工作可以划分出 2 个矿床成矿系列。白云鄂博稀土元素-铁多金属矿 床在海西期曾经受过后期改造,是否有必要将改造 作用形成的矿化划分为另一个矿床成矿系列.也将 在进一步深入研究后确定。

中国矿床学界著名科学家裴荣富院士 90 华诞 在即,谨以此文表达热烈祝贺和崇高敬意。

志 谢 本文是在执行内蒙古自治区勘查基金 项目期间,通过野外地质调查和广泛吸纳前人成果 的基础上,在陈毓川院士和邵和明教授级高级工程 师指导下完成,并与邵积东、陈志勇、王挨顺等先生 进行过多次讨论,受益匪浅,在此一并表示热忱谢 意。

参考文献/References

- 白 鸽 袁忠信. 1983. 白云鄂博矿床成因分析[J]. 中国地质科学院 矿床地质研究所所刊,10 :5-21.
- 白文吉 周美夫 杨经绥 胡旭峰. 1995. 内蒙古贺根山蛇绿岩岩石和 地壳增生的地球化学制约[1] 岩石学报 ,11(增刊):112-124.
- 包志伟 陈森煌,张祯堂. 1994. 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 23(4) 339-349.

- 鲍佩声,王希斌,彭根永,陈方远,1999.中国铬铁矿矿府[M],北京: 科学出版社,1-355.
- 蔡明海 涨志刚 /屈文俊 ,彭振安 ,张诗启 ,徐 明 ,陈 艳 ,王显彬. 2011. 内蒙古乌拉特后旗查干花钼矿床地质特征及 Re-Os 测年 []]. 地球学报 ,32(1):64-68.
- 常 勇,赖 勇.2010.内蒙古银都银铅锌多金属矿床成矿流体特征 及成矿年代学研究[J].北京大学学报(自然科学版),46(4): 581-593.
- 陈广志,张连昌,卢百志,李占龙,吴华英,相 鹏,黄世武. 2010.内 蒙古太平川铜钼矿成矿斑岩时代、地球化学及其地质意义[J]. 岩石学报,26:1437-1449.
- 陈 辉 . 邵济安. 1987. 白云鄂博地区碳酸岩的形成方式及构造背景 [A]. 地质矿产部沈阳地质矿产研究所. 中国北方板块构造论文 集[C]. 北京 地质出版社: 73-79.
- 陈 亮. 2007. 固阳绿岩带的地球化学和年代学[D]. 博士后出站报 告. 北京:中国科学院地质与地球物理研究所. 1-40页.
- 陈毓川 裴荣富 王登红. 2006. 三论矿床的成矿系列问题[J]. 地质 学报 80:1501-1508.
- 董树文, 张岳桥, 龙长兴, 杨振宇, 季强, 王涛, 胡建民, 陈宣化. 2007. 中国侏罗纪构造变革与燕山运动新诠释[J]. 地质学报, 81:1449-1461.
- 高 俊,龙灵利,钱 青,黄德志,苏 文. 2006. 南天山 晚古生代还 是三叠纪碰撞造山带, J]. 岩石学报, 22(5):1049-1061.
- 韩宝福 季建清 宋 彪 陈立辉 张 磊. 2006.新疆准噶尔晚古生 代陆壳垂向生长(I)——后碰撞深成岩浆活动的时限 J]. 岩石 学报 22:1077-1086.
- 侯万荣,聂凤军,杜安道,李 超,江思宏,白大明,刘 妍. 2010.内 蒙古西沙德盖钼矿床辉钼矿 Re-Os 同位素年龄及其地质意义 [J].矿床地质,29(6):1043-1053.
- 江思宏 杨岳清 , 晨凤军 , 张建华 , 刘 妍 ,李福喜 , 贾林柱. 2001.内 蒙古朱拉扎嘎金矿矿床地质特征[J].矿床地质 , 20(3):234-242.
- 江思宏 聂凤军 苏永江,白大明,刘翼飞. 2010. 蒙古国额尔登特特 大型铜-钼矿床年代学与成因研究 J]. 地球学报 31 289-306.
- 李华芹 陈富文 蔡 红 刘后群. 1999. 新疆东部马庄山金矿成矿作 用同位素年代学研究 1]. 地质科学 A(2)251-256.
- 李华芹 陈富文 ,等. 2004. 中国新疆区域成矿作用年代学[M]. 北京 地质出版社. 1-365.
- 李华芹 陈富文,李锦轶,屈文俊,王登红,吴 华,邓 刚,梅玉萍. 2006. 再论东天山白山铼钼矿区成岩成矿时代[J]. 地质通报, 25 916-922.
- 李锦轶,何国琦,徐 新,李华芹,孙桂华,杨天南. 2006. 新疆北部及 邻区地壳构造格架及其形成过程的初步探讨[J]. 地质学报,80 (1):148-168.
- 李锦轶. 2009. 中国大陆地质历史的旋回与阶段 J]. 中国地质 ,36: 504-527.

- 李锦轶,曲军锋,张 进,刘建峰,徐文良,张拴宏,郭瑞清,朱志新,李 亚萍,李永飞,王 涛,徐学义,李智佩,柳永清,孙立新,简 平, 张 昱,王励嘉,彭树华,冯乾文,王 煜,王洪波,赵西西. 2013. 中国北方造山带显生宙地质历史重建与成矿地质背景研究进展 [J].地质通报,32(2-3)207-218.
- 李进文 涨德全 赵士宝 ,关继东 ,佘宏全 ,丰成友. 2006. 得尔布干成 矿带西南段金属成矿规律及找矿方向[J]. 矿床地质 25(增刊): 19-22.
- 李毓英. 1959. 白云鄂博铁矿地质与勘探 M]. 北京 地质出版社.
- 梁宝俊 李云刚 李双庆 张建生. 2008. 内蒙古中部鞍山式铁矿及找 矿方向[J]. 西部资源 2(28) 59-61.
- 刘建峰 迟效国 赵 芝,胡兆初,陈军强. 2013. 内蒙古巴林右旗建 设屯埃达克岩锆石 U-Pb 年龄及成因讨论[J]. 岩石学报, 29 (3) 827-839.
- 刘 利,张连昌,代堰锫,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) 3623-3638.
- 刘铁庚. 1985. 白云鄂博白云碳酸岩地质及地球化学特征——白云 鄂博白云岩成因讨论[J]. 岩石学报,1(3):15-27.
- 刘翼飞 江思宏 涨 义. 2010. 内蒙古锡林浩特地区拜仁达坝矿区 闪长岩体锆石 SHRIMP U-Pb 定年及其地质意义[J]. 地质通报, 29(5) 587-696.
- 刘翼飞, 聂凤军, 江思宏, 侯万荣, 梁清玲, 张 可, 刘 勇. 2012. 内蒙古苏尼特左旗准苏吉钼矿床成岩成矿年代学及其地质意义
 [J]. 矿床地质, 31:119-128.
- 刘振敏,崔天秀,韦 钊,高月珍.1998. 腾格里沙漠地区钾芒硝的首 次发现及地质意义[J]. 矿物岩石地球化学通报,17(1):62-65.
- 毛景文 杨建民 韩春明,王志良. 2002a. 新疆东天山铜金矿床成矿 系统和成矿地球动力学过程 J1. 地球科学 27(4)413-424.
- 毛景文 杨建民 屈文俊 杜安道 韩春明,王志良. 2002b. 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 21(4) 323-330.
- 毛景文 涨作衡 余金杰,王义天,牛宝贵. 2003. 华北及邻区中生代 大规模成矿的地球动力学背景:从金属矿床年龄精测得到启示 [J].中国科学(D辑),33(4)289-299.
- 毛景文,谢桂青,李晓峰,张长青,梅燕雄,2004.华南地区中生代大 规模成矿作用与岩石圈多阶段伸展[J].地学前缘,11(1):45-55.
- 毛景文,谢桂青 涨作衡,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[]]. 岩石学报 21(1):169-188.
- 毛景文, Pirajno F, 张作衡, 柴凤梅, 杨建民, 吴 华, 陈志平, 程松林, 张长青. 2006. 天山-阿尔泰东部地区海西晚期后碰撞铜镍硫化物矿床:主要特点以及可能与地幔柱关系[J]. 地质学报, 80: 925-942.
- 毛景文 谢桂青 郭春丽 陈毓川. 2007. 南岭地区大规模钨锡多金属 成矿作用:成矿时限及地球动力学背景[J]. 岩石学报 23(10):

2329-2338.

- 毛景文,谢桂青,郭春丽,袁顺达,程彦博,陈毓川. 2008. 华南地区中 生代主要金属矿床时空分布规律和成矿环境[J]. 高校地质学 报,14(4)510-526.
- 毛景文 陈懋弘 袁顺达 郭春丽. 2011. 华南地区钦杭成矿带地质特 征和矿床时空分布规律[]]. 地质学报 85 536-657.
- 毛景文,周振华,丰成友,王义天,张长青,彭慧娟,于 淼. 2012.初 论中国三叠纪大规模成矿作用及其动力学背景[J].中国地质, 39:1437-1471.
- 聂凤军 江思宏 ,白大明. 2002. 北山地区金属矿床成矿规律及找矿 方向[M]. 北京 地质出版社. 408.
- 聂凤军 江思宏 刘 妍 胡 朋. 2005. 再论内蒙古哈达门沟金矿床 的成矿时限问题 J]. 岩石学报 21:1719-1728.
- 聂凤军 涨万益 杜安道 江思宏 刘 妍. 2007. 内蒙古小东沟斑岩 型钼矿床辉钼矿铼 银同位素年龄及地质意义[J]. 地质学报 81 (7)898-905.
- 聂凤军 涨 可 刘翼飞 江思宏 刘 勇 刘 妍. 2011. 华北克拉通 北缘及邻区印支期岩浆活动与钼和金成矿作用[J]. 吉林大学学 报(地球科学版) A1:1651-1666.
- 聂凤军 孙振江 李 超,刘翼飞,吕克鹏,张 可,刘 勇. 2012. 黑 龙江岔路口钼多金属矿床辉钼矿铼-锇同位素年龄及地质意义 []]. 矿床地质,30(5)828-836.
- 牛宝贵 和政军 宋 彪,任纪舜. 2003. 张家口组火山岩 SHRIMP 定 年及其重大意义[J]. 地质通报 22(2):140-141.
- 潘小菲,郭利军,王硕,薛怀民,侯增谦,童英,李志明. 2009.内蒙古维拉斯托铜锌矿床的白云母³⁹Ar/⁴⁰Ar 年龄探讨[J]. 岩石 矿物学杂志,28(5):473-479.
- 彭润民,濯裕生,邓 军,肖荣阁,黄春鹏. 1999.内蒙古狼山-渣尔泰 山中元古代 SEDEX 型矿带火山活动与成矿关系[]]地质论评, 45(增刊):1139-1151.
- 彭润民,濯裕生. 2004.内蒙古狼山-渣尔泰山中元古代被动大陆边 缘热水喷流成矿特征[J].地学前缘,11(1)257-268.
- 彭振安,李红红,屈文俊,张诗启,丁海军,陈晓日,张 斌,张永正,
 徐 明,蔡明海. 2010.内蒙古北山地区小狐狸山钼矿床辉钼矿
 Re-Os 同位素年龄及其地质意义[J].矿床地质 29(3)510-516.
- 卿 敏,葛良生,唐明国,屈文俊,袁世松,赵玉锁. 2011. 内蒙古苏尼 特右旗毕利赫大型斑岩金矿床辉钼矿 Re-Os 同位素年龄及其地 质意义[J]. 矿床地质,30:11-20.
- 邵和明 涨履桥. 2001. 内蒙古自治区主要成矿区(带)和成矿系列 [R]. 内蒙古地质矿产勘查局内部资料. 1-275.
- 邵积东,王守光,赵文涛. 2006. 内蒙古大兴安岭地区找矿思路及找 矿重点."十五"重要地质科技成果暨重大找矿成果交流会材料 三——"十五"地质行业重大找矿成果资料汇编 R].
- 邵积东,王 惠,张 梅,赵文涛. 2011. 内蒙古大地构造单元划分及其地质特征[J]. 西部资源 2 51-56.
- 邵积东. 2012. 内蒙古境内有关重大基础地质问题的讨论[J]. 西部 资源 3:47-50.

- 邵济安 唐克东. 1996. 蛇绿岩与内蒙古洋的演化[A] 蛇绿岩与地 球动力学研讨会论文集[C] 北京 地质出版社. 117-120.
- 宋 杨,王瑞江,聂凤军,胡建中,石成龙,张 松. 2011. 冀东金厂峪 金矿区印支期成矿作用的发现及地质意义[J]. 地球学报,32 (1):125-128.
- 石蕴琮. 1987. 内蒙古盐湖及成盐区域特征 J]. 内蒙古师大学报(自 然科学) *A* 43-51.
- 涂光炽. 1998. 试论非常规超大型矿床物质组成、地质背景、形成机制的某些独特性——初谈非常规超大型矿床[J]. 中国科学(D 辑),28(增刊):1-6.
- 武 广 范传闻 李忠权 ,糜 梅 ,刘 军 ,朱明田. 2008. 大兴安岭北 部漠河韧性剪切带白云母⁴⁰Ar-³⁹Ar 定年及地质意义[J]. 成都理 工大学学报(自然科学版) 35(3) 297-302.
- 武 广 ,糜 梅 ,高峰军 ,李宗彦 ,乔翠杰. 2010. 满洲里地区铅锌银 矿床成矿流体特征及矿床成因[]]. 地学前缘 ,17(2) 239-255.
- 万天丰. 1993. 中国东部中、新生代板内变形,构造应力场及其应用[M]. 北京 地质出版社. 103 页.
- 万天丰朱 鸿. 2002. 中国大陆及邻区中生代—新生代大地构造与 环境变迁 J]. 现代地质 16(2):107-120.
- 王 辑,李双庆. 1987. 狼山-白云鄂博裂谷系及其成矿特征[A].中 国板块构造文集,第2集[C].北京地质出版社. 59-72.
- 王 辑,李双庆,王保良. 1989. 狼山-白云鄂博裂谷系[A] 中国北 方板块构造丛刊[C] 北京 北京大学出版社. 132.
- 王建平,刘家军,江向东,王 彬,姜胜梅.2011.内蒙古浩尧尔忽洞 金矿床黑云母氩氩年龄及其地质意义[J].矿物学报,SI:643-644.
- 王京彬 徐 新. 2006. 新疆北部后碰撞构造演化与成矿[J]. 地质学 报 80 23-31.
- 王中刚,李绍柄,苏贤泽.1973. 沉积变质-热液交代型稀土、铁矿床 的成因特征[J]. 地球化学, 1(1)5-11.
- 吴艳爽 顶 楠 汤好书 周可法 杨永飞. 2013. 东天山东戈壁钼矿 床辉钼矿 Re-Os 年龄及印支期成矿事件[J]. 岩石学报 29:121-130.
- 肖文交 韩春明 ,袁 超,陈汉林,孙 敏,林寿发,厉子龙,毛启贵,张 继恩,孙 枢,李继亮.2006.新疆北部石炭纪—二叠纪独特的 构造-成矿作用:对古亚洲洋构造域南部大地构造演化的制约 [J]. 岩石学报 22(5):1062-1076.
- 肖序常 唐耀庆 李锦轶. 1991. 古中亚复合巨型缝合带南缘构造演 (1/1) 化京 北京科学技术出版社.
- 徐佳佳 赖 勇 准 栋 鲁 彬. 2012. 内蒙古前进场岩体岩石学与 锆石 U-Pb 年代学研究[].北京大学学报:自然科学版,48(4): 617-628.
- 徐志刚 赵一鸣, 涨德全. 1995. 大兴安岭及其邻区铜多金属成矿地 质背景、成矿系列、找矿标志及预测."八五'国家科技攻关计划 专题成果报告[R].
- 杨明桂,黄水保,楼发生,唐维新,毛素斌. 2009.中国东南陆区岩石圈 结构与大规模成矿 J].中国地质 36 528-543.

- 杨清堂. 1997. 内蒙古盐湖的主要沉积特征及其古气候意义[J]. 化 工矿产地质 18(4):49-53.
- 曾庆栋、刘建明,褚少雄,付国立,于文斌,李泽明,高玉友,李元九, 孙 燕,周伶俐,段晓侠,张 松,王永彬. 2011. 西拉沐伦成矿 带中生代花岗岩浆活动与钼成矿作用[J]. 吉林大学学报(地球 科学版),41(4):1705-1714.
- 曾庆栋,刘建明,肖文交,褚少雄,王永彬,段晓侠,孙 燕,周伶俐. 2012. 华北克拉通南北缘三叠纪钼矿化类型、特征及地球动力学 背景[J]. 岩石学报 28 357-371.
- 张连昌,濯明国,万渝生,郭敬辉,代堰锫,王长乐,刘 利. 2012. 华 北克拉通前寒武纪 BIF 铁矿研究:进展与问题[J]. 岩石学报, 28:3431-3445.
- 张拴宏,赵 越,刘建民,胡健民,宋 彪,刘 健,吴 海. 2010. 华 北地块北缘晚古生代一早中生代岩浆活动期次,特征及构造背 景[J]. 岩石矿物学杂志,29(6)824-842.
- 张 彤 陈志勇, 许立权,陈郑辉. 2009. 内蒙古卓资县大苏计钼矿辉 钼矿铼-锇同位素定年及其地质意义[J]. 岩矿测试, 28(3):279-282.
- 张万益,2008.内蒙古东乌珠沁旗岩浆活动与金属成矿作用(博士论 文][D].北京:中国地质科学院,179.
- 赵一鸣,王大畏,张德全. 1994. 内蒙古东南部铜多金属成矿地质条 件及找矿模式 M]. 北京 地震出版社. 197.
- 赵一鸣,王大畏,涨德全,傅先政,鲍修坡,李鹤年,艾永富.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.318页.
- 周振华, 吕林素, 冯佳睿, 李超, 李涛, 2010. 内蒙古黄岗砂卡岩 型锡铁矿床辉钼矿 Re-Os 年龄及其地质意义[J], 岩石学报, 26 (3) 567-679.
- 周振玲 李功元 宋同云 刘宇光. 1980. 内蒙古白云鄂博白云石碳酸 岩的地质特征及其成因探试 J]. 地质论评 26(1):35-41.
- Chao E C T , Back J M , Minkin J A and Ren Y C. 1992. Host-rock controlled epigenetic , hydrothermal metasomatic origin of the Bayan Obo REE-Fe-Nb ore deposit , Inner-Mongolia , P. R. China [J]. Applied Geochemistry , 7:443-458.
- Chen Z G, Zhang L C, Wan B, Wu H Y and Cleven N. 2011. Geochronology and geochemistry of the Wunugetushan porphyry Cu-Mo deposit in NE China , and their geological significance[J]. Ore Geology Reviews , 43:92-105.
- Clout J M F and Simonson B M. 2005. Precambrian iron formations and iron formation-hosted iron ore deposits A]. In : Hedenquist J W , Thompson J F H Goldfarb R J and Richards J P , eds. Econ. Geol. , One Hundredth Anniversary Volume , 1905-2005 [C]. Littleton , Society of Economic Geologists , 643-679.
- David L L , Erin M , Poul E , Cameron S R , Karen D K and Mike A. 2004. Nature of hydrothermal fluids at the shale-hosted Red Dog

Zn-Pb-Ag deposits, Brooks Range, Alaska [J]. Econ. Geol., 99 (7):1449-1480.

- Dong G C , Santosh M , Li S R , Shen J F , Mo X X , Scott S , Qu K and Wang X. 2013. Mesozoic magmatism and metallogenesis associated with the destruction of the North China Craton : Evidence from U-Pb geochronology and stable isotope geochemistry of the Mujicun porphyry Cu-Mo deposit J]. Ore Geology Reviews , 53 : 434-445.
- Enkin R Z, Yang Z, Chen Z and Courtillot V. 1992. Paleomagnetic constraints on the geodynamic history of main Chinese blocks from the Permian to the present : A review[J]. Journal of Geophysical Research, 97:13953-13989.
- Gao Y F , Santosh M , Wei R H , Ma G X , Chen Z K and Wu J L. 2013. Origin of high Sr/Y magmas from the northern Taihang Mountains : Implications for Mesozoic porphyry copper mineralization in the North China Craton[J]. Journal of Asian Earth Sciences , doi.org/10.1016/j.jseaes.2012.10.040.
- Goldfarb R J. 2013. Franco Pirajno : The geology and tectonic settings of China 's mineral deposits[J]. Mineralium Deposita , 48(4): 543-544.
- Hitzman M W , Oreskes N and Einaudi M T. 1992. Geological characteristics and tectonic settings of Proterozoic iron oxide (Cu-U-Au-REE) deposits J]. Precambrian Research , 58 : 241-287.
- Holland H D. 1973. The oceans : A possible source of iron in iron formatior[J]. Econ. Geol. , 68(7):1169-1172.
- Huang X W, Zhou M F, Qi L, Gao J F and Wang Y W. 2013. Re-Os isotopic ages of pyrite and chemical composition of magnetite from the Cihai magnatic-hydrothermal Fe deposit, NW China[J]. Mineralium Deposita, Doi: 10.1007/s00126-013-0467-2.
- Jiang S H, Nie F J and Liu Y. 2004. Gold deposits in the Beishan Mountain, northwestern Chinal J J. Resource Geology, 54: 325-340.
- Jiang S H , Liang Q L and Bagas L. 2013. Re-Os ages for molybdenum mineralization in the Fengning region of northern Hebei Province , China : New constraints on the timing of mineralization and geodynamic setting J J. Journal of Asian Earth Sciences , doi : 10.1016/ j. jseaes. 2013.03.014.
- Leach D L , Bradley D C , Lewchuk M , Symons D T A , Brannon J and Marsily G. 2001. Mississippi Valey-type lead-zinc deposits through geological time : Implication from recent age-dating research [J]. Mineralium Deposita , 36 :711-740.
- Li J Y. 2006. Permian geodynamic setting of Northeast China and adjacent regions : Closure of the Paleo-Asian Ocean and subduction of the Paleo-Pacific Plate[J]. Journal of Asian Earth Sciences , 26 : 207-224.
- Li J Y, Gao L M, Sun G H, Li Y P and Wang Y B. 2007. Shuangjingzi middle Triassic syn-collisional crust-derived granite in the east Inner Mongolia and its constraint on the timing of collision between

Siberian and Sino-Korean paleo-plates J] Acta Petrologica Sinica, 23(3):565-582.

- Li N , Chen Y J , Ulrich T and Lai Y. 2012. Fluid inclusion study of the Wunugetu Cu-Mo deposit , Inner Mongolia , China J]. Mineralium Deposita , 47(5):467-482.
- Li W B , Zhong R C , Xu C , Song B and Qu W J. 2012. U-Pb and Re-Os geochronology of the Bainaimiao Cu-Mo-Au deposit , on the northern margin of the North China Craton , Central Asia Orogenic Belt : Implications for ore genesis and geodynamic setting J]. Ore Geology Reviews , 48 : 139-150.
- Liu J , Zhao Y and Liu X M. 2006. Age of the Tiaojishan Formation volcanics in the Chengde Basin , Northern Hebei province[J]. Acta Petrologica Sinica , 22 : 2617-260.
- Liu J, Wu G, Li Y, Zhu M T and Zhong W. 2012. Re-Os sulfide (chalcopyrite, pyrite and molybdenite) systematics and fluid inclusion study of the Duobaoshan porphyry Cu (Mo) deposit, Heilongjiang Province, China[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 49:300/312.
- Liu J, Mao J W, Wu G, Wang F, Luo D F and Hu Y Q. 2013. Zircon U-Pb and molybdenite Re-Os dating for Chalukou porphyry Mo deposit in the Northern Great Xing 'An Range, China, and its Geological significance J]. Journal of Asian Earth Sciences (in press).
- Mao J W , Goldfarb G J , Wang Y T , Hart C J , Wang Z L and Yang J M. 2005. Late Paleozoic base and precious metal deposits , East Tianshan , Xinjiang , China : Characteristics and geodynamic setting [J]. Episodes , 28(1):23-36.
- Mao J W, Pirajno F, Zhang Z H, Chai F M, Wu H, Chen S P and Zhang C Q. 2008a. A review of the Cu-Ni sulphide deposits in the Chinese Tianshan and Altay orogens (Xinjiang Autonomous Region, NW China): Principal characteristics and ore-forming processes J J. Journal of Asian Earth Sciences, 32(2):184-203.
- Mao J W, Xie G Q, Bierlein F, Qu W J, Du A D, Ye H S, Pirajno F, Li H M, Guo B J, Li Y F and Yang Z Q. 2008b. Tectonic implications from Re-Os dating of Mesozoic molybdenum deposits in the East Qinling-Dabie orogenic bel[J]. Geochim. Cosmochim. Acta, 72(18):4607-4626.
- Mao J W , Cheng Y B , Chen M H and Franco P. 2013. Major types and time-space distribution of Mesozoic ore deposits in South China and their geodynamic settings J]. Mineralium Deposita , 48 :267-294.
- Maruyama S and Seno T. 1986. Orogeny and relative plate motion : Example of the Japanese Islands J J. Tectonophysics , 127 : 305-329.
- Moore G W. 1989. Mesozoic and Cenozoic paleographic development of the Pacific regior[J]. Abstract , 28th IGC (2), Washington DC , USA : GAS Press , 455-456.
- Parfenov L M , Bulgatov A N and Gordigenko I V. 1995. Terranes and accretionary history of the Transbaikal orogenic belts[J]. Interna-

tional Geology Review, 37:736-751.

- Rao T G and Naqvi S M. 1995. Geochemistry depositional environment and tectonic setting of the BIF 's of the Late Archaean Chitradurga Schist Belt, India J]. Chemical Geology, 121(1-4):217-243.
 - engör A M C , Natal 'in B A and Burtman U S. 1993. Evolution of the Altaid tectonic collage and Paleozoic crustal growth in Eurasia J J. Nature , 364 : 209-304.
- Wang Y , Xu H , Merino E and Konishi H. 2009. Generation of banded iron formations by internal dynamics and leaching of oceanic crust [J]. Nature Geoscience , X 11):781-784.
- Xiao W J , Windley B F , Hao J and Zhai M G. 2003. Accretion leading to collision and the Permian Solonker suture , Inner Mongolia , China :Termination of the Central Asian Orogenic Bel[J]. Tectonics , 22 :1-20.
- Xiao W J , Han C M , Yuan C , Sun M , Lin S F , Chen H L , Li Z L , Li J L and Sun S. 2008. Middle Cambrian to Permian subduction-related accretionary orogenesis of Northern Xinjiang , NW China : Implications for the tectonic evolution of central Asia [J]. Journal of Asian Earth Sciences , 32 : 102-117.
- Yakubchuk A, Cole A, Seltmann R and Shatov V. 2002. Tectonic setting , characteristics , and regional exploration criteria for gold mineralization in the Altaid orogenic collage : The Tien Shan province as a key example J]. Society of Economic Geologists Special Publication , 9 : 177-201.
- Yang X Y , Sun W D , Zhang Y X and Zheng Y F. 2009. Geochemical constraints on the genesis of the Bayan Obo Fe-Nb-REE deposit in Inner Mongolia , China[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta , 73 : 1417-1435.
- Yin A and Nie S. 1996. A Phaneozoic palinspastic reconstructure of China and its neighboring regions A. In: Yin A and Harrison T.M., ed. The tectonic Evolution of Asia [C]. Cambrian University Press, 442-485.

Yuan H L , Liu X M , Liu Y S , Gao S and Ling W L. 2006. Geoche-

mistry and U-Pb zircon geochronology of Late-Mesozoic lavas from Xishan, Beijing J]. Science in China (D), 49(1): 50-67.

- Zeng Q D , Liu J M , Chu S X , Wang Y B , Sun Y , Duan X X , Zhou L L and Qu W J. 2013a. Re-Os and U-Pb geochronology of the Duobaoshan porphyry Cu-Mo(Au) deposit , northeast China , and its geological significance J J. Journal of Asian Earth Sciences , doi : 10.1016/j.jseaes.2013.02.007.
- Zeng Q D, Sun Y, Duan X X and Liu J M. 2013b. U-Pb and Re-Os geochronology of the Haolibao porphyry Mo-Cu deposit, NE China : Implications for a Late Permian tectonic setting J J. Geological Magazine, doi: 10.1017/S0016756813000186.
- Zhang L C , Xiao W J , Qin K Z , Qu W J and Du A D. 2005. Re-Os isotopic dating of molybdenite , and pyrite in the Baishan Mo-Re deposit , eastern Tianshan , NW China , and its geological significance [J]. Mineralium Deposita , 39 : 960-969.
- Zhang Z H , Mao J W , Du A D , Pirajno F , Wang Z L , Chai F M , Zhang Z C and Yang J M. 2008. Re-Os dating of two Cu-Ni sulfide deposits in northern Xinjiang , NW China and its geological significance J J. Journal of Asian Earth Sciences , 32 :204-217.
- Zhou B X , Sun T , Shen W , Shu L and Niu Y. 2006. Petrogenesis of Mesozoic granitoids and volcanic rocks in South China : A response to tectonicevolutior[J]. Episodes , 29 : 26-33.
- Zhou Z H , Li B Y , Wang A S , Wu X L , Ou 'yang H G and Feng J R. 2013. Zircon SHRIMP U-Pb dating and geochemical characteristics of late Variscan granites of the Daitongshan copper deposit and Lamahanshan polymetallic-silver deposit , southern Daxinganling , Ching J J. Journal of Earth Science (English Edition), in press.
- Zonenshain L P , Kuzmin M I and Natapov L M. 1990. Geology of the USSR: A plate tectonics synthesis[M]. Washington: American Geophysical Union. 1-242.
- Zorin Y A. 1999. Geodynamics of the western part of the Mongolia-Okhotsk collisional belt, Trans-Baikal region (Russia) and Mongolia [J]. Tectonophysics, 306:33-56.