文章编号:0258-7106(2014)03-0471-15

中亚成矿域核心区地质演化和巨型成矿带划分

朱永峰

(造山带与地壳演化教育部重点实验室,北京大学地球与空间科学学院,北京 100871)

摘 要 随着中亚成矿域地质矿产研究的不断升温和新资料的不断积累,学术界对其地质演化和成矿作用的 认识出现诸多争议和矛盾。文章主要基于前苏联时期有关中亚地区的地质资料,并结合近年来地质矿产勘查新进 展和高精度年代学数据,梳理了中亚成矿域核心区的主要地质特征及其演化规律,划分出中亚成矿域核心区的成矿 省和巨型成矿带,论述了重要成矿带的形成和演化特征,并进行对比分析。在中亚成矿域核心区划分出4个成矿省: 阿尔泰成矿省、巴尔喀什-准噶尔成矿省、楚伊犁-天山成矿省和西南天山成矿省,并重点论述了巴尔喀什-准噶尔成 矿省和楚伊犁-天山成矿省的地质特征以及其中的巨型成矿带。巴尔喀什-准噶尔成矿省由4个巨型成矿带(含11 个大型矿集区)组成:扎尔玛-萨吾尔成矿带、塔尔巴哈台-谢米斯台成矿带、阿科斗卡-巴尔鲁克成矿带和巴尔喀什-西 准噶尔成矿带。楚伊犁-天山成矿省由4个巨型成矿带(含22个大型矿集区)构成,建因特-阿拉套-赛里木成矿带、楚 伊犁-博洛霍勒成矿带、伊赛克-阿吾拉勒成矿带和卡扎尔曼-那拉提成矿带。文中所提出的成矿省和巨型成矿带划 分方案依然是初步的,在以后的工作中还需要不断修订和完善。我们期待着发现更多大型矿床和矿集区,使中亚成 矿域核心区更丰富、更完善。地质资料的不断积累和新数据的不断补充,必然带动科学认识的提高和深化。

关键词 地质学 ;中亚成矿域 ;成矿省 ;成矿带 ;矿集区 ;哈萨克斯坦 ;新疆中图分类号 : P617文献标志码 ;A

Geological evolution and division of giant metallogenic belts in core part of Central Asian Metallogenic Region

ZHU YongFeng

(Key Laboratory of Orogenic Belts and Crustal Evolution, Ministry of Education; School of Earth and Space Science, Peking University, Beijing 100871, China)

Abstract

The Central Asia may be described as a series of events characterized by volcanic arcs developed from fragmentation of the continental margin of eastern Paleo-Gondwana as well as accretion processes on the margin of the Siberian Craton. Its multi-stage geological evolution and strong continental deformations during the course of its history have made the Central Asian Metallogenic Region (CAMR) a unique and complicated large-scale metal province. The CAMR is rich in different ore deposits as well as complex geological records. Recently, numerous new geological observations and many precise isotope age data allow an improved reconstruction of the geological evolution of the CAMR. This paper summarizes the Paleozoic accretionary orogenic evolution and related ore formation in the core part of the CAMR mainly based on the geological data published by the former USSR in combination with recently published geological and isotopic data. Four ore-forming provinces (Altay, Balkash-Junggar, Chu-Yili-Tianshan, and Southwest Tianshan) could be recognized. The Balkash-Junggar and Chu-Yili-Tianshan Provinces are the main topics of this paper. The Balkash-Junggar Province consists of four huge ore-

收稿日期 2013-11-19;改回日期 2014-03-09。张绮玲编辑。

作者简介 朱永峰,男,1965年生,教授,博士生导师,矿床学、地球化学专业。Email:yfzhu@pku.edu.cn

forming belts (Zharma-Saur, Taerbahatai-Xiemisitai, Aktogay-Baerluke, Balkash-western Junggar) with eleven large ore concentration areas. Chu-Yili-Tianshan Province also consists of four huge ore-forming belts (Moint-Alatau-Sailimu, Chu-Yili-Bolehuole, Issyk-Awulale, Kazharman-Nalati) with twenty two large ore concentration areas. The formation of large ore concentration areas corresponded to a specific stage during continental growth in the core part of the CAMR. A comparison of Xinjiang and its adjacent regions in the aspects of geology and ore deposits provides rich information for future exploration and research on ore-forming processes.

Key words: geology, Central Asia Metallogenic Region, ore-forming province, ore-forming belt, ore concentration area, Kazakhstan, Xinjiang

随着中亚成矿域、主要指境内外西南天山、哈萨 克斯坦东部及中国新疆北部)地质矿产研究的不断 升温和新资料的不断积累(何国琦等,2004;李锦轶 等 2006 ;陈毓川等 ,2008 ;杨富全等 ,2010 ;陈宣华 等 2012 ;罗照华等 2012 ;朱永峰等 2013 ;Dobretsov et al., 2005; Zhang et al., 2007; Windley et al., 2007 ; Kröner et al., 2008 ; Zhu et al., 2009 ;Han et al., 2011; Alexeiev et al., 2011; An et al., 2013; Zhu et al., 2013;2014),学术界对其地质演化和成 矿作用的认识出现争议 ,主要原因是对哈萨克斯坦 中东部地区的地质特征认识还有待进一步深入。由 于该地区的基础地质和矿产勘查工作均在前苏联时 期完成 大量的地质矿产资料是以俄文表述(包括勘 查研究报告、《苏联地质》和《哈萨克斯坦地质和金属 矿床》等著作)。20世纪90年代以后,西方学者虽然 发表了一些有关哈萨克斯坦地质的学术论文,但均 缺乏对原始资料的系统整理和分析 ,得出的结论往 往与前苏联学者对该地区地质演化的基本认识相矛 盾。研究中亚成矿域的成矿规律 需要了解该区域 的地质特征及其演化格局。本文依据萨梅金 1974 年出版的《哈萨克斯坦大地构造》(Samygin,1974)、 米兰诺夫斯基 1987 年出版的《苏联地质》(Milannuovski ,1987)和阿布杜林 1989 年出版的《哈萨克斯 坦地质与金属矿床》(Abdulin,1989)(除了特别标注, 本文有关哈萨克斯坦的资料主要引自上述俄文著 作)和相关文献(Abudulin, 1980; Abudulin et al., 1998; Веймарн, 1986; Наркелюн et al., 1988; Кудрин et al., 1988; 1990; Mukhin et al., 1989; Кудрин et al., 1992; Nurlybaev et al., 2000; Kurchavov et al., 2002; Bespaev et al., 2004; Дженчураева, 1990 ;De Grave et al., 2012 ; Kröner et al., 2013; Mao et al., 2014; Seltmann et al., 2014)以及其他俄文资料(何国琦编译,2006)。为了 文章的可读性 本文仅列出代表性文献 并结合近年

来取得的地质矿产勘查进展和高精度年代学数据, 梳理了中亚成矿域核心区的主要地质特征及其演化 规律,划分出中亚成矿域核心区的成矿省和巨型成 矿带,论述了重要成矿带的形成和演化特征,并进行 对比分析,为研究区域成矿规律提供依据。

1 中亚成矿域地质特征简述

地壳生长的复杂性和特殊性造就了中亚成矿域 复杂多样的地质构造格局和丰富的矿产资源。大多 数前寒武纪地质单元是从冈瓦那大陆上裂解下来, 然后漂过古亚洲洋 ,最终拼贴到东欧和西伯利亚板 铗上 形成了中亚造山带(Zonenshain et al., 1990)。 一些学者认为哈萨克斯坦的蛇绿岩代表古洋壳,另 一些学者认为蛇绿岩记录了弧内及弧后盆地 ,这些 盆地在前寒武纪地体间张开,随着前寒武纪地体碰 撞而缝合。Sengör 等(1993)认为中亚地区的前寒武 纪地体以及早古生代浊积岩分别组成了 Kipchak 和 Tuva-Mongol(图瓦-蒙古)岛弧带的基底和增生楔。 这些前寒武纪地体从古生代早期开始 ,自东欧-西伯 利亚板块裂解出来 形成了 Kipchak 岩浆弧和 Khanty-Mansi 弧后洋盆。Kipchak 岩浆弧一直连在东欧 板块和西伯利亚板块之上,图瓦-蒙古弧的北部连接 西伯利亚板块。这些岩浆弧以及它们的增生楔在晚 古生代曾经发生大规模走滑和构造-岩浆叠加。

然而,Yakubchuk(2004)认为,古亚洲洋是古特 提斯洋的一个分支,中亚成矿域是古特提斯洋俯冲 消减的产物。新元古代—古生代的中亚成矿域位于 东欧、西伯利亚、华北、塔里木板块、蒙古前寒武纪地 块以及晚古生代造山带之间,造山带的框架由3个 岩浆弧(Kipchak、图瓦-蒙古、Mugodzhar-矿山阿尔 泰)构成。这些岛弧从东欧板块、西伯利亚板块和劳 亚古陆上裂解出来(新元古代期间),并形成弧后盆 地。在晚奥陶世,西伯利亚板块相对于东欧板块开 始顺时针旋转。这个地质过程一直持续到早二叠 世,形成了多期岩浆弧(如 Zharma-Saur-Valerianov-Beltau-Kurama,简称 ZSVBK),这些岛弧连接了 Kipchak 岩浆弧和图瓦-蒙古岛弧。这些构造单元拼 贴融合,最终形成了中亚成矿域。Kipchak 岛弧后部 存在文德纪—早古生代 Baikonur-Karatau 裂谷,北天 山 Kipchak 岛弧中的蛇绿岩代表寒武纪—奥陶纪的 弧内盆地。奥陶纪末的走滑变形和晚奥陶世花岗岩 侵位,形成了大量金矿床和各种热液矿床。从吐番 盆地一直延伸到准噶尔-巴尔喀什盆地的志留纪— 中泥盆世岩浆弧,叠加在图瓦-蒙古和 Kipchak 岩浆 弧的连接部分,并在其中形成了海底喷流矿床和斑 岩型矿床。

晚泥盆世—二叠纪是中亚成矿域形成和演化的 重要阶段。在中哈萨克斯坦和吉尔吉斯斯坦的前晚 古生代构造基底上发育了 ZSVBK 岛弧,并形成了大 量富铜矽卡岩型矿床、斑岩型矿床和浅成低温热液 型矿床。晚石炭世—二叠纪花岗岩是大陆地壳增生 的主要机制,形成许多斑岩型铜-钼-金矿床、矽卡岩 型矿床和低温热液型矿床。早二叠世形成了穆龙 套、库姆托尔等巨型金矿床。

2 中亚成矿域核心区地质演化

中亚成矿域规模巨大 本文仅关注其核心区(哈 萨克斯坦中东部 + 吉尔吉斯斯坦 + 中国新疆北部, 面积约 200 万 km²,图 1)的地质演化与成矿作用。 哈萨克斯坦东部可以分解为以下 3 个主要地质构造 单元 :① 平面上呈马蹄形的加里东期构造 ,在南部 与北天山相连,构成统一的哈萨克斯坦-北天山地 块 ② 位于其中的准噶尔-巴尔喀什海西期构造带 (俄文文献中称为褶皱系)③ 加里东期构造带与海 西期构造带之间发育泥盆纪边缘火成岩带。加里东 期构造带中最古老的地质单元是科克切塔夫和乌龙 套地块 由太古宙和元古宙变质岩构成。乌龙套地 块南部被楚萨雷苏盆地超覆 ,其北部出露前晚里菲 期基底 被中泥盆世—早石炭世上叠盆地和地堑分 隔。科克切塔夫地块出露古元古代石英岩、绢云母 片岩、绢云绿泥石英片岩、含碳片岩和含金刚石大理 岩(Zhu et al., 2002; 2004; Dobretsov et al., 2005)。 从中哈萨克斯坦断裂带向东,出现成吉斯-塔尔巴哈 台巨型复背斜(NW 向延伸 700 km)。在晚加里东马 蹄形构造的西南部分,热拉依尔-纳依曼复向斜(延

伸 600 km)受 NW 向断裂控制,其中出露众多超基 性岩岩体和蛇绿混杂岩。早-中里菲期弱变质火山-沉积岩覆盖在古元古界地体之上。加里东构造层不 整合在太古宇-中里菲统的不同层位上,主要由文德 期陆相火山岩-碎屑岩-硅质岩建造和寒武系—中奥 陶统火山-沉积建造组成,局部出现下志留统。寒武 纪—志留纪期间,大陆地壳分解为若干中间地块,其 中发育各类坳陷,并逐渐向东扩大。在科克切塔夫-卡拉套地区,在晚里菲期—文德纪开始形成坳陷,在 寒武纪—奥陶纪期间接受火山-沉积,在一些地区见 晚寒武世—早奥陶世蛇绿混杂岩,局部出现志留系 磨拉石建造。在叶尔缅套-楚伊犁和成吉斯-塔尔巴 哈台晚加里东期构造内,坳陷主要形成于寒武纪— 早奥陶世,局部持续到中志留世,被上志留统磨拉石 建造覆盖。

哈萨克斯坦东部马蹄形构造带的雏形形成于奥 陶纪(图1,俄文文献中称之为巴尔喀什-准噶尔坳 陷) 其中分布着奥陶纪—志留纪火山-沉积建造,并 在多地保存着早奥陶世蛇绿混杂岩。在拜科努尔坳 陷,下-中奥陶统底部由硅质及泥岩组成。卡尔梅库 尔坳陷主要为巨厚的基性火山岩-碧玉岩-碎屑岩建 造。中奥陶统顶部及上奥陶统在这些坳陷内均为巨 厚类复理石建造,再向上转变为类磨拉石建造。寒 武纪—奥陶纪地层及下伏地层在奥陶纪末发生褶皱 变形,并被花岗闪长岩-花岗岩侵入。在早奥陶世中 期形成一些新坳陷 ,其中充填砂岩和含牙形石的硅 质岩。 在中-晚奥陶世构造新格局重建之后,坳陷内 堆积了巨厚的玄武岩-安山岩-火山碎屑岩,它们交互 出现,在侧向上可被陆源碎屑岩夹寒武纪灰岩滑塌 岩更替。下古生界被下志留统的红色磨拉石不整合 超覆。成吉斯-塔尔巴哈台带中广泛分布的下-中寒 武统火山-沉积建造之间夹杂着一些前寒纪块体。 上寒武统碎屑岩-碳酸盐岩不整合于其上(代表萨拉 依尔造山运动)。下-中奥陶统下部为碎屑岩-碧玉岩 层,中奥陶统顶部和上奥陶统为陆源碎屑岩以及安 山岩-英安岩,向上出现下志留统红色磨拉石建造, 被下泥盆统不整合覆盖。

在巴尔喀什-准噶尔海西褶皱区,寒武系和下奥 陶统为碳酸盐岩或碎屑岩,局部出现奥陶纪滑塌岩。 早-中奥陶世,在巴尔喀什地区局部形成了新洋壳 (特科图尔玛斯和北巴尔喀什的蛇绿混杂岩)。特科 图尔玛斯蛇绿混杂岩上部的碧玉岩-玄武岩属于中 奥陶统,其上为上奥陶统硅质岩-陆源碎屑岩、火山



图 1 a. 卫星遥感图显示哈萨克斯坦东部-中国新疆西北部地区(基于 GoogleEarth); b. 哈萨克斯坦东部-中国新疆

西北部地区晚奥陶世古构造简图(境外资料依据 Samygin, 1974; Milannuovski, 1987,新疆资料主要依据何国琦等(2004)、西 安地质矿产研究所(2006)、Zhu 等(2013)以及该文所列的相关文献)

Fig. 1 a. Remote sensing map showing east Kazakhstan-northwestern Xinjiang (GoogleEarth), b. Simplified geological-tectonic map showing Late Ordovician paleo-environment in east Kazakhstan-northwestern Xinjiang (modified after Samygin, 1974; Milannuovski, 1987; He et al., 2004; Zhu et al., 2013, etc)

岩-碧玉岩-硅质岩和含中奥陶世碧玉岩的滑塌岩,后 者被志留纪硅质岩-碎屑岩和早泥盆世碎屑岩超覆。 加里东造山带往往被弱变形的泥盆纪一二叠纪火山 -沉积岩覆盖。下-中泥盆统及上泥盆统底部构成泥 盆纪边缘火成岩带(图 2),其外带不整合在加里东褶 皱基底上,较窄的内带位于加里东构造带与海西构 造带的边界。泥盆纪火成岩带呈马蹄形。泥盆系火 山-沉积建造可以划分出 4 个带:火山岩外带、边缘 火山岩带、海西褶皱带和未变形的内带。在火山岩 外带,巨厚的下泥盆统陆相火山熔岩-火山碎屑岩不 整合覆盖在强变形的下志留统之上。与早泥盆世火 山-沉积建造不同,中-晚泥盆世陆相火山岩主要分布 在成吉斯地区,成分变化巨大,伴随磨拉石建造,碎 屑物质来自火山岩带的隆升部分和加里东构造内的 隆起部分。法门阶与下石炭统主要为海相碎屑岩-碳酸盐岩。在萨雷苏-田吉兹地区,法门阶的厚度显



图 2 哈萨克斯坦东部-中国新疆西北部地区早-中泥盆世古构造图(据 Samygin, 1974; Milannuovski, 1987 修改) Fig. 2 Simplified geological-tectonic map showing Early to Middle Devonian paleo-environment in east Kazakhstan-northwest Xinjiang (modified after Samygin, 1974; Milannuovski, 1987)

著增大,局部出现较深海相泥质-硅质岩层。超覆在 乌龙套和莫因特前寒武系之上的法门期地层由红色 和杂色砂岩-粉砂岩构成,向上转变为碳酸盐岩和磷 酸盐-石盐岩层。类似的红色蒸发盐岩层堆积在萨 雷苏-田吉兹坳陷北缘,其上为下泥盆统陆相火山-沉 积岩,向内带转变为海相火山-碎屑岩建造,向外侧 转变为陆相磨拉石建造。早年的工作表明,准噶尔 盆地周边蛇绿混杂岩多属于泥盆纪、泥盆纪—二叠 纪的火山-沉积岩组合及相伴的深成岩类,与北天山 洋的消减相关,属于岛弧性质。然而,准噶尔周边不 断厘定出早古生代蛇绿混杂岩(徐新等,2006;朱永 峰等,2006;何国琦等,2007;赵磊等,2013;Zhu et al.,2013,2014),说明晚古生代岛弧带属于裂谷带 或上叠火山-沉积盆地。

加里东构造带大部分地区在晚古生代经受了差 异性隆起和剥蚀。除火山岩带外,泥盆系—石炭系 仅保存于上叠地堑中。田吉兹和热兹卡兹甘盆地的 石炭系—二叠系遭受断裂破坏。在加里东基底上, 这些经受差异性垂直活动的断块构成了狭窄的地垒 和地堑系。加里东基底的近南北向褶皱构造与其上 叠泥盆纪—石炭纪杂岩的近东西向褶皱-断块构造, 构成了一种不同年龄构造带交互镶嵌的'立交桥'格 局。萨雷苏-田吉兹带在泥盆纪和早石炭世发生了 大规模沉降,并从晚石炭世开始隆升。晚石炭世在 卡拉干达坳陷和其他一些较小盆地中形成了灰绿色 砂岩层,其中产出大型铜矿床。上维宪阶和谢尔普 霍夫阶巨厚陆相火山-沉积岩填充巴尔喀什和楚伊 犁地区的火山-沉积盆地。晚古生代末期,花岗岩侵 入上述地层单元,并形成了大规模斑岩型矿床。

有关中国新疆和毗邻中亚国家矿产资源找矿潜 力和成矿规律的国际对比研究(涂光炽,1999;戴自 希等,2001;聂风军等,2005;何国琦等,2006;朱永峰 等,2007;杨富全等,2006;2010;申萍等,2010;Mao et al.,2014),为深入认识中亚成矿域的形成和演化 奠定了良好基础。本文有关新疆地质单元的划分主 要依据新疆地质矿产局(1993),何国琦等(1994; 2004)和西安地质矿产研究所(2006),境外地质单元 的划分主要依据《苏联地质》(Milannuovski,1987)和 《哈萨克斯坦地质与金属矿床》(Abdulin et al., 1989)等文献。在中亚成矿域初步厘定了6类大型-超大型矿床的成矿环境(何国琦等,2006):①在夹 杂于显生宙造山带中的众多前寒武纪地块内部形成 了重要的原生铀矿和稀有金属矿床;②形成于早古 生代陆缘增生带的重要金、铜多金属矿床(加里东晚 期成矿)③在加里东期和前加里东陆壳围限的环巴 尔喀什地区具有多个峰期和在空间上相互叠加或有 一定迁移规律的成矿作用④西南天山Au-Cu-Mo-W 成矿带与一个长期活动的巨型水热系统相关⑤中、 新生代盆地中的可地浸型铀矿、晚古生代超大型砂 岩铜矿等形成于碰撞后的陆内环境。⑥大型矿床主 要产在大型"横向构造"与成矿带交叉的部位。

在伊塞克地块北缘(伊塞克湖北岸)的奥陶纪岛 弧岩浆岩中识别出超大型斑岩铜金成矿体系 (Taldybulak-Karakol-Oktorkoy-Zharkulak斑岩铜金 矿带),Taldybulak斑岩铜金矿床的成矿时代为464 Ma(Re-Os年龄,Yakubchuk et al.,2011)。新疆北 部的早古生代造山带多被强烈的晚古生代岩浆-构 造改造和破坏,大部分地区已经面目全非。通过系 统工作,在西准噶尔识别出几条早古生代俯冲带,建 立塔尔巴哈台-谢米斯台奥陶纪造山带(朱永峰等, 2006,赵磊等,2013;Zhao et al.,2012;Zhu et al., 2013)。

不同时期的构造带以巴尔喀什湖地区为中心, 围限成一个向南东方向开口的马蹄形构造(图2)。 如果火山岩带是一条与俯冲作用相关的岩浆弧,那 么如此弯曲的俯冲带令人难以理解。Zonenshain 等 (1990)认为,哈萨克斯坦的马蹄形构造是因一系列 晚古生代末—早中生代初的 NW 向右行走滑断裂 (如成吉斯断裂、中哈萨克斯坦断裂)活动形成的,如 果按照每条走滑断裂带的走滑量为 200 km 加以复 原 那么 ,马蹄形构造将变成一个新月形。该构造中 可以划分出早-中泥盆世火成岩带(即"泥盆纪陆缘 火成岩带"和石炭纪—二叠纪火成岩带。马蹄形构 造的核心部分被称为"巴尔喀什-西准噶尔残留洋 盆(何国琦等,1994)。在东哈萨克斯坦,它被早古 生代古陆所环绕。在巴尔喀什-准噶尔残留洋发育 时期 塔尔巴哈台地区已是古陆环境。巴尔喀什-准 噶尔残留洋南侧是伊犁地块及其早古生代增生带。

前苏联学者(Zvezdov et al., 1993; Генкин, 1994; Курчавов, 1995; Zhukov et al., 1997)和欧洲 一些学者(Heinhorst et al., 2000; Bekzhanov et al., 2004; Yakubchuk, 2004; Chiaradia et al., 2006; Pavlova et al., 2009)在研究中亚地区地质演化时, 没有简单地套用岛弧模型,而是从不同地区的地质 演化历史入手,探讨成矿规律。中亚成矿域中分布 着众多性质和演化历史不同的地体,这些地体具有 截然不同的成矿背景,并形成不同类型的矿床。由 于西南天山、楚伊犁-天山、巴尔喀什-准噶尔和阿尔 泰成矿省的地质演化具有相对的独立性,它们的演 化历史和成矿作用差异显著。

传统上将境外天山划分为北、中、南天山。吉尔 吉斯斯坦北天山在构造上与哈萨克斯坦划为一体, 其组成以前寒武纪陆块为主。中天山在塔拉斯-费 尔干断裂以西大部分被克孜勒库姆沙漠和费尔干盆 地覆盖。在南天山以北,吉尔吉斯-Terskev 洋向西 延伸,在其西段北侧划出了一个属于该古洋的分支, 它与主大洋之间出露塔拉斯-卡拉套地体。Terskev 洋于中奥陶世晚期闭合 ,形成统一的哈萨克斯坦-北 天山地体。因此 境外中天山属于哈萨克斯坦-吉尔 吉斯天山-准噶尔板块。境外的北、中、南天山的范 围和中国北、中、南天山的范围有很大区别,不能直 接连接。中国的北天山是西邻区东哈萨克斯坦南部 准噶尔地块的延伸。中国伊犁-中天山地块与邻区 伊塞克地块连接 其南缘的那拉提山与伊犁-中天山-伊塞克地块之间的分界线就是尼古拉耶夫线-那拉 提断裂带。西南天山构造带被 NW 向的塔拉斯-费 尔干断裂(华力西晚期、右旋压扭性)分割为东、西两 部分。

3 成矿省和巨型成矿带的划分

成矿省的区域成矿作用是经几个或一个大地构 造-岩浆旋回的地质历史时期形成的,发育特定的矿 化类型。在区域成矿作用演化过程中,成矿物质的 富集受地壳物质不均匀性控制,矿床类型明显受构 造控制。成矿省由多个巨型成矿带组成,每个巨型 成矿带由若干个矿集区组成,而每一个矿集区至少 包含一个大型-超大型矿床(朱永峰等,2007)。巨型 成矿带指在成矿省内的一定地壳演化阶段,形成独 特的一种或多种矿化集中分布区,成矿受控于某一 构造-岩浆带、区域构造或变质作用。矿集区是指在 成矿带中,受同一区域成矿作用控制的矿田分布带。

中亚成矿域核心区可以划分出 4 个成矿省:阿尔泰成矿省、巴尔喀什-准噶尔成矿省、楚伊犁-天山 成矿省和西南天山成矿省。本研究重点关注巴尔喀 什-准噶尔成矿省和楚伊犁-天山成矿省,对西南天山 成矿省也作一些介绍。关于阿尔泰成矿省已经有较 多著作出版(杨富全等,2006;2010),这里不再论述。 各成矿省中包含多个巨型成矿带,其划分方案和分 布图分别见表1和图3。

3.1 巴尔喀什-准噶尔成矿省

哈萨克斯坦中部马蹄形岩浆构造带(即环巴尔 喀什岩浆岩带,图1、图2)的外部从寒武纪到奥陶纪 增长,内部从泥盆纪到石炭纪增长。寒武纪—奥陶 纪在环巴尔喀什的外环形成了块状硫化物型矿床和 各种铜-金矿床,志留纪—泥盆纪形成了钨锡钼-铜-金矿床,石炭纪—二叠纪在环巴尔喀什的内环形成 了规模巨大的斑岩型铜-钼-金矿床、热液型钨-金-铜 矿床和与碱性岩浆演化有关的稀有-稀土金属矿床 (Heinhorst et al., 2000)。在空间上由外向内,时间 上从早古生代逐渐变化到晚古生代,矿床类型从块 状硫化物型演化到斑岩型—矽卡岩型—热液脉型, 成矿环境从海底演化到大陆边缘,并最终发展到大 陆裂谷。

巴尔喀什-准噶尔成矿省主要由以下 4 个巨型 成矿带组成(表1) 扎尔玛-萨吾尔成矿带(图 3 中的 II) 堵尔巴哈台-谢米斯台成矿带(图 3 中的III) 阿 科斗卡-巴尔鲁克成矿带(图 3 中的IV)和巴尔喀什-西准噶尔成矿带(图 3 中的V)。巴尔喀什-准噶尔 成矿省东北部的斋桑-额尔齐斯成矿带与阿尔泰成 矿省相邻,其西南侧的莫因特-捷克利-赛里木成矿带 与楚伊犁-天山成矿省相邻。该成矿省形成数量众 多的大型金属矿床,包括热液型金-银-钨矿床、砂 卡岩-斑岩型矿床、斑岩型铜-钼-金矿床、浅成低温热 液型金-银-稀有金属矿床。这些斑岩矿床均受石炭 纪—早二叠世次火山岩-侵入岩控制,成矿作用主要 发生在晚石炭世—早二叠世(李光明等,2008;陈宣 华等,2010;Liu et al., 2009;Yang et al., 2012; Chen et al., 2014)。

环巴尔喀什-西准噶尔的地质演化与成矿作用 具有很好的耦合性。尽管在单独岩浆系统中壳-幔 组分比例变化很大,大部分岩石有相似的 + ϵ_{Nd} 值。 包括中国新疆在内的中亚成矿域广泛分布的晚古生 代岩浆岩具正的 ϵ_{Nd} 值(Han et al., 1997;Heinhorst et al., 2000;Kovalenko et al., 2004;周涛发等, 2006),这也是中亚成矿域的重要特征。环巴尔喀什 地区斑岩铜矿成矿时代跨度巨大(从奥陶纪到二叠 纪),主要斑岩铜矿的成矿期集中于石炭纪(李光明 等,2008;陈宣华等,2010;2012;Chen et al., 2010; 2014;Li et al., 2014)。在斑岩铜矿的外围常与之 伴生着砂卡岩型铜矿或浅成低温热液金-银矿床,与 斑岩型铜-钼-金矿床构成统一的成矿体系。

₹1 中亚成矿域核心区成矿省和巨型成矿带划分方案

	成矿省及成矿带名称	矿集区名称
阿尔泰成矿省		
	⊺斋桑-额尔齐斯成矿带	
巴尔喀什-准噶尔成矿	省	
		(1) 萨雷姆赛克 Au-W-RFF 矿隼区
	Ⅱ 扎尔玛-萨吾尔成矿带	(2) 肯赛依 Cu-Mo 矿集区
		(3)阔尔真阔拉 Au-Cu 矿集区
		(4) 阿亚古斯 Cu Ph Zn 名全尾矿集区
	Ⅲ 塔尔巴哈台-谢米斯台成矿带	(5)白杨河-谢米斯台 Cu-Au-Be-II 矿隼区(带)
	Ⅳ 阿科斗卡-巴尔鲁克成矿带	(0) 阿村子ト Cu-Mo-Au W 朱区 (7) 田尔鱼古 W Se Ma Cu Ea Au 矿集区
		(8)科翁脂偲 Cu-Mo fy 集区
	Ⅴ巴尔喀什-西准噶尔成矿带	(9)) デ业兄 Cu-Au-Mo ty 朱区 (10)) P 回 英々北海 A C だまい
		(10) 哈图-玉贝-萨尔托海 Au-Cr 10 集区 (11) 句士图 c 花典
		(II)巴古图 Cu-Au 10 带
楚伊犁-天山成矿省		
		(12)乌中扎尔-卡拉盖雷 W-Mo-Pb-Zn 矿集区(带)
		(13)布鲁塔什-凯龙古尔 Pb-Zn-W-Fe-Sn 矿集区(带)
	Ⅶ 莫因特₋阿拉套₋赛里木成矿带	(14)科克赛-阿尔哈雷 Cu-Mo-Au 矿集区
		(15)捷克利-科古琴 Pb-Zn-Cu 矿集区(带)
		(16)准噶尔阿拉套 W-Sn 矿集区(带)
		(17)Akbakai Au矿集区
	Ⅷ 楚伊犁₋博洛霍勒成矿带	(18)博古提 W 矿集区
		(19)达巴特-莱历斯高尔 Cu-Mo 矿集区
	6	
		(20) 阿布-伊尔罗德 Au 划 集区(虹拉办盆地)
	19	(21) Bala Chichkan-Jerooy 1) 朱区 (22) 阿古秋兹 Pla DEE Ca Ma Ea 矿焦区
	1 Million	(22)阿兄你怒 PD-REE-Cu-MO-Fe W 朱区
	₩ 伊赛克 阿吾拉勒成矿带	
	No Mar	
		(27)天格尔-望峰 Au 矿带
	0	(28)莫托萨拉 Fe-Mn 矿集区
		(29)卡扎尔曼 Au-Cu-Fe-W-Sn 矿集区
	Ne William	(30)杰特姆 Fe-W 矿集区
	Ⅲ 卡扎尔曼-那拉提成矿带	(31)卡拉科尔 Cu-Mo-Au 矿集区
	WIL	(32)库姆托尔 Au 矿集区
	Jun 1	(33) 萨瓦亚尔顿-大山口 Au 矿集区
西南天山成矿省		
		(34)赛拉加兹 Sn 矿集区
		(35)察汉萨拉 Au-Sb-Hg 矿集区

3.2 楚伊犁-天山成矿省

楚伊犁-天山成矿省主要由以下4个巨型成矿 带构成:莫因特-阿拉套-赛里木成矿带(图3中的\∏ 带)、楚伊犁-博洛霍勒成矿带(图3中的\□带)、伊赛 克-阿吾拉勒成矿带(图3中的\□带)、和卡扎尔曼-那 拉提成矿带(图3中的\\T带)。楚伊犁晚古生代岩浆 岩带可区分出3个阶段:泥盆纪—早石炭世,洋壳俯 冲消减,形成岛弧安山岩-英安岩-流纹岩和闪长岩-花岗闪长岩-花岗岩组合。晚石炭世发育大规模酸 性火山岩,辉长岩和淡色花岗岩侵入其中。早二叠 世碰撞后伸展期间,形成双峰式火山岩和闪长岩-正 长岩-碱性花岗岩-白岗岩。

新疆西北天山属于楚伊犁-天山成矿省的东延 部分。该地区泥盆纪—早石炭世火山活动强烈,形 成阿拉套-科古琴晚古生代火山弧。阿希和京希-伊 尔曼德金矿区容矿安山岩中锆石 U-Pb 年龄测定表 明,该地区火山岩形成于中晚泥盆世(安芳等, 2008),并一直持续到晚石炭世。天山地区的金矿除



图 3 中亚成矿域核心区的成矿省和巨型成矿带划分(大型矿集区的编号与表 1 中的编号对应)

Fig. 3 Map showing the classification of ore-forming provinces and huge ore-forming belts in the core part of the Central Asia etallogenic Region (Number in circle indicates the large ore concentration area corresponding to the serial number listed in Table 1)

与火山作用有关外,许多大-中型金矿主要受剪切带的 控制。例如中天山北缘的冰达坂-天格尔剪切带控制 着望峰、天格尔和萨日达拉金矿。对该剪切带型金矿 的研究发现,韧性剪切带的活动历史长,最后一次剪 切变形发生在三叠纪,且成矿作用主要与晚期韧性-脆 性变形有关(Zhu et al., 2007; Zhu, 2011)。

莫因特-阿拉套-赛里木成矿带,在早古生代以发 育铅锌矿为主,晚古生代主要形成斑岩型矿床、热液 金矿及热液型钨钼矿等。厘定出5个矿带(矿集 区):乌中扎尔-卡拉盖雷 W-Mo-Pb-Zn 矿带、布鲁塔 什-凯龙古尔 Pb-Zn-W-Fe-Sn 矿带、科克赛-阿尔哈雷 Cu-Mo-Au 矿集区、捷克利-科古琴 Pb-Zn-Cu 矿带、 准噶尔阿拉套 W-Sn 矿带。一般将捷克利型矿床归 属于产在碎屑岩和碳酸盐岩建造中的黄铁矿型多金 属矿床,矿床主体产在下.中奥陶统碳酸盐岩-碎屑岩 强动力变质的一条窄带之中。矿体的轮廓与断裂基本一致,矿床主要分布在挠曲部位。含矿围岩是绿 片岩相变质的碳质-硅质含黄铁矿层和透镜体的泥 岩-泥灰岩-灰岩-白云岩。识别出2个成矿期(何国 琦编译,2006):①加里东伸展阶段:形成了热水沉 积,矿层与硅-泥-钙质沉积交替产出,沿盆地沉降最 大的轴部形成了最厚的矿层;②华力西造山阶段: 沿深断裂迁移的变质热液从围岩中萃取成矿元素 (并改造先期形成的黄铁矿-闪锌矿矿体),形成雁行 式排列的矿体。捷克利矿集区东延进入中国的准噶 尔-阿拉套。新疆赛里木-科古琴 Cu-Pb-Zn 成矿带可 能是该成矿带的东延部分(钟莉等,2003)。赛里木 微陆块边缘出露元古界变质岩、蓟县系库松木切克 群浅海相碳酸盐岩夹碎屑岩建造、中泥盆统砾岩-石 英砂岩夹生物碎屑灰岩以及晚古生代火山-沉积岩,

2014 年

其中蓟县系库松木切克群是铜矿的赋矿层位 ,上泥 盆统托斯库尔他乌组为铜铅锌矿床的主要赋矿层 位。

楚伊犁-博洛霍勒成矿带在新疆对应着博洛霍 勒早古生代造山带。近10年来,在博洛霍勒成矿带 发现了一些斑岩型铜金多金属矿床和热液脉型金铜 矿床,包括喇嘛苏铜-锌矿床、达巴特铜矿、莱历斯高 尔铜-钼矿以及科克赛铜矿等。喇嘛苏和莱历斯高 尔矿床与晚石炭世—早二叠世中酸性斑岩体有关 (张东阳等,2010;朱明田等,2010;Zhang et al., 2012),达巴特和科克赛矿床与早石炭世岩浆侵位相 关。上泥盆统托斯库尔他乌组是达巴特矿床的赋矿 层位。矿体产在由晶屑凝灰岩-流纹斑岩-花岗斑岩 构成的椭圆形火山机构中。铜矿化主要分布在火山 机构南北两侧与地层的接触带中(张作衡等,2008)。

伊赛克-阿吾拉勒成矿带的西界为楚河断裂。 早-中元古代的角闪岩-片麻岩建造被晚震旦世---早 寒武世安山岩-流纹岩不整合覆盖。早加里东构造 层为晚寒武世石英-长石砂岩建造和早奥陶世蚀变 玄武岩-辉绿岩。晚加里东构造层由奥陶系和泥盆 系构成 ,早-中奥陶世复理石和海相磨拉石被泥盆纪 陆相火山-陆源沉积岩不整合覆盖。楚伊犁带以泥 盆纪岩浆岩占主导地位,造成大规模中酸性火山喷◎ 发和岩浆侵入。晚古生代花岗岩侵入并形成了石英 -云英岩型矿床。在火山岩中形成了细脉浸染状钼-铜多金属矿床。伊赛克-阿吾拉勒 Au-Cu-W-Sn 巨型 成矿带的形成和演化具多阶段性 同一个矿床中往 往出现多种矿化类型的多期叠加。在纳曼-贾拉依 尔缝合带中形成浅成低温热液型矿床、以沉积岩为 容矿岩石的喷流沉积铅锌矿床、以火山岩为容矿岩 石的块状硫化物铁锰矿床。斑岩铜矿与奥陶纪闪长 岩-花岗闪长岩有关,含矿岩体的同位素年龄为444 ~468 Ma(Jenchuraeva, 1997)。Taldybulak 斑岩铜 矿床产于石英闪长斑岩体中,其中发育爆破角砾岩。 岩体中心钾化,外带泥化-黄铁细晶岩化,围岩青磐 岩化。Andash 斑岩铜矿床为产于奥陶纪闪长岩-花 岗闪长岩体中的2个爆破角砾岩筒中的细脉浸染型 铜矿。岩筒内发育钾化和硅化,边部发育泥化和青 磐岩化。

比什凯克南的肯德克塔斯-塔拉斯奥陶纪斑岩 铜矿带的发现和勘探,为在新疆早古生代造山带中 寻找斑岩铜矿提供了新思路。该成矿带的晚石炭世 花岗岩也是重要的找矿勘探对象,近年来不断取得 重大突破 新发现包括墩德 Fe-Au-Zn 和卡特巴阿苏 金矿在内的数十个大型-超大型矿床。卡特巴阿苏 金矿产在受断裂带破坏的二长花岗岩和花岗闪长岩 体中,这些岩体侵入下石炭统火山-沉积岩(赵树铭 等 2012)。该矿床的勘探目前正在进行,具有大型 金矿的规模,且在其深部发现大型斑岩型矿床的潜 力很大。

卡扎尔曼-那拉提成矿带以尼古拉耶夫线-那拉 提断裂带为界,其南侧为西南天山成矿省。在早古 生代加里东构造层上叠加了泥盆纪火山-沉积盆地。 下层由早-中泥盆世火山岩和火山-沉积岩组成,中层 由晚泥盆世—早石炭世碳酸盐岩-陆源滨海相沉积 和红色陆相碎屑沉积组成,上层由晚石炭世—二叠 纪的砂质黏土沉积和安山岩-粗面安山岩构成。加 里东旋回早期出现重晶石-铅锌矿化、脉状多金属矿 化、含铜黄铁矿矿床和矽卡岩矿床,晚期主要发育稀 有金属云英岩-石英脉型矿化、矽卡岩-碳酸盐-云英 岩矿化以及与花岗岩侵入体有关的钨-钼-锡矿化。 金矿多产在碳质黑色岩系中,并受剪切带的控制,其 中的库姆托尔金矿形成于早二叠世(Mao et al., 2004)。

3.3 西南天山成矿省

西南天山成矿省以形成斑岩型铜-金和热液型 金-钨矿带为重要特征。西南天山地质构造复杂 ,剪 切带发育,并控制着大型金矿(Kotov et al., 1992; Graupner et al., 2010; Pasava et al., 2013)。该成 矿省在图 3 中仅显示一小部分(፲) ,主体在图 3 所 示范围的西侧,本文不做详细论述。 西南天山成矿 省的关键科学问题包括 :① 古南天山洋俯冲带流体-岩浆演化过程对成矿作用的制约 ;② 沿尼古拉耶夫 线分布的火山岩-次火山岩中的低温 Au-Ag-Sb-Te-Hg 矿床的成矿机制;③ 巨型斑岩铜矿带的形成环 境与晚古生代大地构造格局重建 ④ 中-南天山韧性 剪切带的特征及其对金成矿作用的控制意义。西南 天山发育加里东期和海西期岩浆活动,存在早古生 代和晚古生代两期洋壳俯冲-岛弧体系。早二叠世 碰撞后花岗岩及大规模剪切带活动控制着西南天山 的成矿作用。来自地球深部的物质通过长期活动的 热液体系在特定区域不断有效地聚集 是形成巨型 矿床的必要条件之一。

穆龙套金矿是目前世界上最大的单个金矿(金 储量超过 5000 吨)。穆龙套地区出露元古宙—早古 生代海相硅质碎屑岩、镁铁质火山岩、碳质页岩和白 云岩,多以构造窗的形式出现(Marakushev et al., 1992;Kempe et al., 2001; Morelli et al., 2007)。穆 龙套金矿的赋矿地层是 Besopan 组(厚约5 km)。从 古到新由 BS1、BS2、BS3和 BS4 四段组成。最下部 岩层 BS1 又称灰色 Besopan 段,由绢云母绿泥石片 岩构成,底部夹火山岩透镜体。BS2 又称黑色 Besopan 段,主要由变质粗砂岩和砾岩组成,不含火山 物质和燧石。BS4 主要由石英砂岩组成,含绿泥石 呈绿色调称为"绿色 Besopan",含变质粉砂岩、黏土 岩和变质砂岩透镜体。穆龙套金矿的主要含矿地层 是 BS3(晚奥陶世—早志留世),主要由赤铁矿千枚 岩、碳质粉砂岩、砂岩、凝灰岩、绢云母片岩组成,风 化露头呈杂色,因此被称为"斑杂 Besopan"。穆龙套 地区发育的 2 条重要剪切带均形成于早二叠世,这 些剪切带的相互作用形成了含金的穆龙套透镜体。

塔吉克斯坦中西部的奥陶系被志留纪纪泥盆系 厚层碳酸盐岩和薄层陆源碎屑岩不整合覆盖。花岗 质岩浆侵入于志留系—泥盆系碳酸盐岩中并形成矽 卡岩化和矿化。成矿作用与花岗闪长质侵入体关系 密切。海西期发育强烈褶皱和向北的逆冲推覆,花 岗闪长岩、石英二长岩和英云闪长岩侵入于志留系 —泥盆系陆源碎屑-碳酸盐岩中,形成了 Jilau 钨-金 矿床。在强蚀变花岗闪长岩中形成了近直立的石英 脉和透镜状富矿体。自然金与毒砂、白钨矿和铋矿 物伴生,是由低盐度的H₂O-CO₂-CH₂-N,流体经二 次沸腾后沉淀出的。金品位与流体的高浓度 CH4 相 关 表明矿化流体的一部分起源于还原性含碳岩层 , 并与矽卡岩钨矿体发生作用 形成富金-钨的成矿流体 (Cole et al., 2000)。许多热液金矿的形成与 CH₄ 流体 密切相关,中亚地区蛇绿岩也富含 CH4 流体(Liu et al., 2006)。这些事实以及天山许多巨型矿床与深部 构造的对应关系 ,表明深部成矿流体长期活动并在 特定区域内有效聚积,是形成巨型矿床的必要条件。

4 存在问题与展望

中亚成矿域地处亚洲和欧洲的交界,大面积被 雪域高山和沙漠覆盖,地质工作环境比较艰苦。该 广大地区的地质矿产勘探工作在前苏联时期已基本 完成,在发现并开采了大量金属、非金属和能源矿产 资源的同时,前苏联地质工作者测绘了几乎所有地 区的地质矿产图。如今来看,这些图件资料可信,依 然是研究中亚成矿域地质演化和成矿规律的最重要

资料。苏联解体后,在该地区投入的基础地质工作 量很少,地质矿产部门和矿业公司主要在一些矿田 开展勘查和研究,所获得的资料和数据有限,仅对前 苏联时期的工作进行了有限的补充。近年获得的高 精度同位素年龄数据 ,对解析地质资料和构建地质 演化提供了帮助。随着新资料和高精度数据的不断 积累 对中亚成矿域的认识会不断提高和完善。半 个多世纪的地质矿产工作表明,地壳生长的复杂性 和特殊性造就了中亚成矿域复杂多样的地质构造格 局和丰富的矿产资源。如此丰富的地质现象和矿产 资源不可避免地伴随着科学探索的阶段性和对其认 识的多元性。对该区域地质矿产资料的梳理、总结 显然极具挑战性。例如,本文首次在巴尔喀什-准噶 尔成矿省中厘定出的塔尔巴哈台-谢米斯台成矿带 和阿科斗卡-巴尔鲁克成矿带,就是在新疆塔城地区 开展大量基础性地质工作的过程中 ,识别出一些早 古生代蛇绿混杂岩等关键地质体 ,通过与境外地质 单元开展对比分析 ,逐渐清晰后才划分出巨型成矿 带。虽然这2个巨型成矿带中的大型矿集区目前还 比较少,但找到大型矿集区的潜力却应是巴尔喀什-准噶尔成矿省中最大的。例如,塔尔巴哈台-谢米斯 台成矿带中的白杨河-谢米斯台 Cu-Au-Be-U 矿集区 (带)是2009年以来、国土资源部、核工业地质部门 和国家 305 项目在一些找矿线索和小矿点基础上不 断工作的结果 这个矿集区目前已经具有超大型铀-铍矿、大型金矿和中型铜矿的规模;阿科斗卡-巴尔 鲁克成矿带中的巴尔鲁克 W-Sn-Mo-Cu-Fe-Au 矿集 区 是国家 305 项目在 2010 年提交的预测靶区 ,通 过近几年的工作,目前已经在其中发现了中、小型铜 矿床多处 ,钨-锡矿床和矿点多处 ,以及多个小型金 矿床和金矿点。相信随着地质勘查工作的进一步深 入,上述巨型成矿带的成矿潜力会进一步被挖掘。

尽管如此,本文所提出的成矿省和巨型成矿带 的划分方案依然是初步的,在以后的工作中还需要 不断修订和完善。每个巨型成矿带的延伸特征及其 形成和演化过程,还需要依据新的地质矿产资料和 高精度数据不断修改完善。在目前不断发现新矿床 和矿集区的情况下,我们期待发现更多大型矿床和 矿集区,使中亚成矿域更丰富、更完善。同时,地质 资料的不断积累和新数据的不断补充,必然带动科 学认识的提高和找矿勘探的深化。

志 谢 作者与北京大学何国琦教授和新疆资

环中心徐新研究员就有关问题开展了深入讨论,两 位先生热情地指导了相关国际对比研究,无私地提 供了多年积累的宝贵资料。《矿床地质》两位匿名审 稿专家提出的具体的修改意见,对完善本文有很多 帮助,特此志谢。

参考文献/References

- 安 芳 朱永峰.2008. 西北天山吐拉苏盆地火山岩 SHRIMP 年代学 和微量元素地球化学研究 J] 岩石学报 24(12):2741-2748.
- 陈宣华,屈文俊,韩淑琴,Seitmuratova E,施炜,杨 农,陈正乐,叶宝 莹,曾法刚,杜安道,蒋荣宝,王志宏. 2010. 巴尔喀什成矿带 Cu-Mo-W 矿床的辉钼矿 Re-Os 同位素年龄测定及其地质意义[J]. 地质学报,84:1333-1348].
- 陈宣华,王志宏,陈正乐,韩淑琴, Seitmuratova E,杨 屹,叶宝莹, 陈 文. 2012. 中亚萨亚克大型铜矿田矽卡岩型铜成矿作用的 年代学制约[J]. 岩石学报,28:1981-1994.
- 陈毓川,刘德权 唐延龄,王登红,董连慧,徐 新,王晓地. 2008.中 国天山矿产及成矿系统(上册)[M].北京:地质出版社. 580 页.
- 戴自希,白 冶,吴初国.2001.中国西部及毗邻国家铜金找矿潜力的《 对比研究[M].北京 地震出版社.201页.
- 何国琦,李茂松,刘德权. 1994. 中国新疆古生代地壳演化及成矿 [M]. 乌鲁木齐,新疆人民出版社. 437页.
- 何国琦,成守德,徐 新. 2004. 中国新疆及邻区大地构造图 (1:1 500 000 JM]. 北京地质出版社.
- 何国琦 编译. 2006. 新疆毗邻地区矿产研究新进展 R]. 973 项目内部印刷资料.
- 何国琦 朱永峰. 2006. 中国新疆及其邻区地质矿产对比研究 J]. 中 国地质 33 451-460.
- 何国琦,刘建波,张跃迁,徐 新,2007. 准噶尔盆地西缘克拉玛依早 古生代蛇绿混杂岩带的厘定[]]. 岩石学报,23:1645-1654.
- 李光明,秦克章,李金祥.2008.哈萨克斯坦环巴尔喀什斑岩铜矿地质 与成矿背景研究 J].岩石学报,24:2679-2700.
- 李锦轶,何国琦,徐 新. 2006. 新疆北部及邻区地壳构造格架及其 形成过程的初步探试[J]. 地质学报,80:148-168.
- 罗照华,陈必河,江秀敏,王章棋,王永恒. 2012. 利用宽谱系岩墙群 进行勘查靶区预测的初步尝试:以南阿拉套山为例[J]. 岩石学 报 28:1949-1965.
- 聂风军 江思宏 ,白大明. 2005. 中天山及邻区金属矿床成矿规律和 找矿方向[M]. 北京 地质出版社. 371 页.
- 申 萍 沈远超. 2010. 西准噶尔与环巴尔喀什斑岩型铜矿床成矿条
 件及成矿模式对比研究 J].岩石学报 26 2299-2316.
- 涂光炽. 1999. 初议中亚成矿域 J]. 地质科学 34 397-404.

- 西安地质矿产研究所. 2006. 西北地区矿产资源找矿潜力[M].北 京:地质出版社,438页.
- 新疆地质矿产局. 1993. 新疆维吾尔自治区区域地质志[M]. 北京: 地质出版社. 841页.
- 徐 新,何国琦,李华芹.2006. 克拉玛依蛇绿混杂岩带的基本特征 和锆石 SHRIMP 年龄信息[1]. 中国地质 33:470-475
- 杨富全,毛景文,郑建民,徐林刚,刘德权,赵财胜,叶会寿.2006.哈 萨克斯坦阿尔泰巨型成矿带的地质特征和成矿模型J].地质学 报 80 963-983.
- 杨富全,刘德全,赵财胜,柴凤梅,何国琦,唐延龄,肖克炎,刘 锋,刘 亚玲,王晓地.2010.中国新疆北部与西部邻区地质矿产对比研 究[M].北京:地质出版社.
- 张东阳,张招崇,薜春纪,艾 羽. 2010. 西天山喇嘛苏铜矿成矿斑岩的岩石学、地球化学特征及成因探试[]].岩石学报 26(3):680-694.
- 张作衡,王志良,左国朝,刘 敏,王龙生,王见 . 2008. 西天山达巴 特矿区火山岩的形成时代、构造背景及对斑岩型矿化的制约 [J]. 地质学报,82-:1496-1505.
- 赵 磊,何国琦,朱亚兵.2013.新疆西准噶尔北部谢米斯台山南坡 蛇绿岩带的发现及其意义[J].地质通报,195-205.
- 赵树铭 杨维忠,王墩科,宋安强. 2012. 卡特巴阿苏金矿床地质特征 及成因探试[J]. 矿床地质 31(增刊) 825-826.
- 钟 莉,卢全敏,康正文. 2003. 新疆赛里木湖一带铜多金属矿找矿 前景分析[J]. 新疆地质,21:371-372.
- 周涛发,袁 峰,谭绿贵.2006.新疆萨吾尔地区晚古生代岩浆作用 的时限、地球化学特征及地球动力学背景[J].岩石学报,22: 1225-1237.
- 朱明田,武 广,解洪晶. 2010. 新疆西天山莱历斯高尔斑岩型铜钼 矿床辉钼矿 Re-Os 同位素年龄及流体包裹体研究[J]. 岩石学 报 26:3667-3682.
- 朱永峰,徐 新. 2006. 新疆塔尔巴哈台山发现早奥陶世蛇绿混杂岩 [J]. 岩石学报, 22:2833-2842.
- 朱永峰,何国琦,安 芳.2007.中亚成矿域核心区地质演化与成矿规 (律,J].地质通报,26:1167-1177.
- 朱永峰,安 芳,徐存元,郭海棠,夏 芳,肖 飞,张凤军,林彩香, 邱 添 魏少妮. 2013. 新疆哈图及其周边金铜成矿规律和深部 找矿预测[M].北京:地质出版社. 161页.
- Abdulin A A. 1980. Chu-Yili ore belt. Part I : Geology of the Chu-Yili regior[M]. Alma-Ata : Nauka. 504 p(in Russian).
- Abdulin A A , ed. 1989. Geology and metallogeny of Kazakhstar[M]. Moscow , Nauka. 1-343 (in Russian).
- Abdulin A A , Bespaev H A and Daukeev C Zh. 1998. Copper deposits of Kazakhstan , reference book. Almaty , Kazakhstan[M]. Ministry of Ecology and Natural Resources of the Republic of Kazakhstan. 141 p (in Russian).

- Alexeiev D V , Ryazantsev A V , Kroner A , Tretyakov A A , Xia X and Liu D Y. 2011. Geochemmical data and zircon ages for rocks in a high-pressure belt of Chu-Yili mountains , southern Kazakhstan : Implications for the earliest stages of accretion in Kazakhstan and the Tianshar[J]. Journal of Asian Earth Sciences , 42 : 805-820.
- An F, Zhu Y F, Wei S N and Lai S C. 2013. An Early Devonian to Early Carboniferous volcanic arc in North Tianshan, NW China : Geochronological and geochemical evidence from volcanic rocks J J. Journal of Asian Earth Sciences, 78 : 100-113.
- Bekzhanov G R and Uzhkenov B S, et al. 2004. Geosciences in Kazakhstan (Reports of Kazakhstanian Geologists J M]. Almaty , Kazakhstan Geological Society < KazGEO> : 378 p (in Russian).
- Bespaev Kh A and Miroshnichenko L A. 2004. Atlas of mineral deposit models M J. Almaty : K. I. Satpaev Institute of Geological Sciences :141p (in Russian).
- Chen X H, Qu W J and Han S Q, Seitmuratova E, Yang N, Chen Z L, Zeng F G, Du A D and Wang Z H. 2010. Re-Os geochronology of Cu and W-Mo deposits in the Balkhash metallogenic belt, Kazakhstan and its geological significance J]. Geoscience Frontiers, 1: 115-124.
- Chen X H, Seitmuratova E, Wang Z H, Chen Z L, Han S Q, Li Y, Yang Y, Ye B Y and Shi W. 2014. SHRIMP U-Pb and Ar-Ar geochronology of major porphyry and skarn Cu deposits in the Balkhash Metallogenic Belt, Central Asia, and geological implications [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 79:723-740.
- Chiaradia M , Konopelko D and Seltmann R. 2006. Laed isotope variations across terrane boundaries of the Tien Shan and Chinese Altay [J]. Mineralium Deposita , 41:411-428.
- Cole A, Wilkinson J J and Halls C. 2000. Geological characteristics, tectonic setting and preliminary interpretations of the Jilau gold-quartz vein deposit, Tajikistar[], Mineralium Deposita, 35:600-618.
- De Grave J , Glorie S and Buslov M^AM. 2012. Thermo-tectonic history of the Issyk-Kul basement (Kyrgyz Northern Tien Shan , Central Asia) [J]. Gondwana Research , doi :10. 1016/j. gr. 2012. 06. 014.
- Dobretsov N L , Buslov M M and Zhimulev F I. 2005. Cambrian-Ordovician tectonics and geodynamics of the Kokchetau metamorphic belt , northern Kazakhstan[J]. Russian Geology and Geophysics , 46:785-795.
- Graupner T , Niedermann S and Rhede D. 2010. Multiple sources for mineralizing fluids in the Charmitan gold (-tungsten) mineralization (Uzbekistan)[J]. Mineralium Deposita, 45:667-682.
- Han B F , Wang S G and Jahn B M. 1997. Depleted-mantle source for the Ulungur River A-type granites from North Xinjiang , China : Geochemistry and Nd-Sr isotopic evidence , and implications for

Phanerozoic crustal growth [J]. Chemical Geology, 138:135-159.

- Han B F, He G Q and Wang X C. 2011. Late Carboniferous collision between the Tarim and Kazakhstan-Yili terranes in the western segment of the South Tian Shan Orogen, Central Asia, and implications for the Northern Xinjiang, western China [J]. Earth-Science Reviews, 109:74-93.
- Heinhorst J , Lehmann B and Ermolov P. 2000. Paleozoic crustal growth and metallogeny of Central Asia : Evidence from magmatic-hydrothermal ore systems of Central Kazakhstar[J]. Tectonophysics , 328:69-87.
- Jenchuraeva R J. 1997. Tectonic settings of porphyry-type mineralization and hydrothermal alteration in Paleozoic island arcs and active continental margins ,Kyrghyz Range(Tien Shan)Kyrghyzstar[J]. Mineralium Deposita , 32 : 434-440.
- Kempe U, Belyatsky B V and Krymsky R S. 2001. Sm-Nd and Sr isotope systematics of scheelite from the giant Au(-W) deposit Muruntau (Uzbekistan): Implications for the age and sources of Au mineralization()]. Mineralium Deposita, 36:379-392.
- Kotov N V and Poritskaya L G. 1992. The Muruntau gold deposit : Its geologic structure , metasomatic mineral associations and origin[J]. International Geology Review , 34 :77-87.
- Kovalenko V I, Yarmolyuk V V and Kovach V P. 2004. Isotope provinces, mechanisms of generation and sources of the continental crust in the Central Asian mobile belt : Geological and isotopic evidence J J. Journal of Asian Earth Sciences, 23:605-627.
- Kröner A, Hegner E, Lehmann B, Heinhorst M T D, Wingate D Y, Liu P and Ermelov. 2008. Palaeozoic arc magmatism in the Central Asian Orogenic Belt of Kazakhstan: SHRIMP zircon ages and whole-rock Nd isotopic systematics J]. Journal of Asian Earth Sciences, 32:118-130.
- Kröner A, Alexeiev D V and Rojas-Agramonte Y. 2013. Mesoproterozoic (Grenville-age) terranes in the Kyrgyz North Tianshan : Zircon ages and Nd-Hf isotopic constraints on the origin and evolution of basement blocks in the southern Central Asian Orogen[J]. Gondwana Research, 23:272-295.
- Kurchavov A M , Grankin M S and Malchenko E G. 2002. Metallogenic zonality of the Devonian volcanoplutonic belt in Central Kazakhstan [J]. Geology of Ore Deposits , 44 : 22-30 (in Russian).
- Li G M , Cao M J , Qin K Z , Evans N J , McInnes B I A and and Liu Y S. 2014. Thermal-tectonic history of the Baogutu porphyry Cu deposit , West Junggar as constrained from zircon U-Pb , biotite Ar/ Ar and zircon/apatite (U-Th)/He dating[J]. Journal of Asian Earth Sciences , 79 : 741-758.
- Liu W and Pan X F. 2006. Methane-rich fluid inclusions from ophiolitic dunite and post-collisional mafic-ultramafic intrusion : The mantle

dynamics underneath the Palaeo-Asian Ocean through to the postcollisional period [J]. Earth and Planetary Science Letters , 242 : 286-301.

- Liu Y L, Guo L S, Liu Y D, Song H X, Song B, Zhang R, Xu F J and Zhang Y X. 2009. Geochronology of Baogutu porphyry copper deposit in Western Junggar area, Xinjiang of China[J]. Science in China, Ser. D-Earth Sci., 52(10):1543-1549, doi:10.1007/ s11430-009-0127-7.
- Mao J W , Konopelko D , Seltmann R , Lehmann B , Chen W , Wang YT , Eklund O and Usubaliev T. 2004. Postcollisional age of the Kumtor gold deposit and timing of Hercynian events in the Tien Shan , Kyrgyzstar[J]. Econ. Geol. , 99 :1771-1780.
- Mao J W , Piranco F , Lehman B , Luo M C and Berzina A. 2014. Distribution of porphyry deposits in the Eurasian continent and their corresponding tectonic settings [J]. Journal of Asian Earth Sciences , 79 : 576-584.
- Marakushev A A and Khoklov V A. 1992. A petrological model for the genesis of the Muruntau gold deposit J J. International Geology Review, 34:59-76.
- Milannuovski E E. 1987. Geology of USSR M]. Moscow, Nauka. 48-160 (in Russian).
- Morelli R , Creaser R A , Seltmann R , Stuart F M , Selby D and Graupner T. 2007. Age and source constraints for the giant Muruntau gold deposit , Uzbekistan , from coupled Re-O-He isotopes in arsenopyrite J J. Geology , 35 : 795-798.
- Mukhin P A , Abdullayev K A and Minayev S Y. 1989. The Palaeodynamics of Central Asia[J]. International Geology Review , 31: 1073-1083.
- Nurlybaev A V , Berdina L E and Gafurova I. A. 2000. Geodynamic position of magmatic formations of Kazakhstan and their ore content. In : Bespaev Kh A , ed. Geodynamics and mineralogy of Kazakhstan [M]. Almaty , VAC Publishing House. 82-94 (Russian).
- Pasava J , Frimmel H , Vymazalová A , Dobes P , Jukov A V and Koneev R I. 2013. A two-stage evolution model for the Amantaytau orogenic-type gold deposit in Uzbekistan[J]. Minerelium Deposita , DOI 10.1007/s00126-013-0461-8.
- Pavlova G G and Borisenko A S. 2009. The age of Ag-Sb deposits of Central Asia and their correlation with other types of ore systems and magmatism[J]. Ore Geology Reviews, 35:164-185.
- Samygin S G. 1974. Chiningiz wrench fault and its role in the structure of central Kazakhstar [M]. Moscow , Nauka. 1-206 (in Russian).
- Seltmann R , Porter T M and Pirajno F. 2014. Geodynamics and metallogeny of the central Eurasian porphyry and related epithermal mineral systems : A review [J]. Journal of Asian Earth Sciences , 79:810-841.

- Sengör A M C , Natal 'in B A and Burtman V S. 1993. Evolution of the Altaid tectonic collage and Paleozoic crustal growth in Eurasia[J]. Nature , 364 : 299-307.
- Windley BF, Alexeiev D and Xiao WJ. 2007. Tectonic models for accretion of the central Asian orogenic bel [J]. Journal of the Geological Society, London, 164:31-47.
- Yakubchuk A. 2004. Architecture and mineral deposit settings of the Altaid orogenic collage : A revised mode[J]. Journal of Asian Earth Sciences , 23 : 761-779.
- Yakubchuk A, Schlodeer J, Woodcock J and Wurst A. 2011. Taldybulak Au-Cu-Mo deposit : A new >5 Moz Au (11.7 Moz Au eq)
 Prdovician porphyry hosted gold system in Kyrgzstan, central Asia
 [A]. Abstract Volume with Program for CERCAMS 14 & MDSG
 [C]. 34:14-14.
- Yang F Q, Mao J W, Pirajno F, Yan S H, Liu G R, Zhou G, Zhang Z X, Liu F, Geng X X and Guo C L. 2012. A review of the geological characteristics and geodynamic setting of Late Paleozoic porphyry copper deposits in the Junggar region, Xinjiang Uygur Autonomous Region, northwest China J. Journal of Asian Earth Sciences, 49:80-98.
- Zhang D Y, Zhang Z C and Encarnación J. 2012. Petrogenesis of the Kekesai composite intrusion, western Tianshan, NW China : Implications for tectonic evolution during late Paleozoic time J]. Lithos, 146-147:65-79.
- Zhang L F , Ai Y L , Song S G , Liou J and Wei C J. 2007. A brief review of UHP meta-ophiolitic rocks , SW Tianshan , western China [J]. International Geological Review , 49 :811-823.
- Zhao L and He G. 2012. Tectonic entities connection between West Junggar (NW China) and East Kazakhstan [J]. Journal of Asian Earth Sciences , http://dx.doi.org/10.1016/j.jseaes.2012.08. 004.
- Zhu Y F and Ogasawara Y. 2002. Carbon recycled into the deep Earth : Evidenced by dolomite dissociation in subduction-zone rocks[J]. Geology , 30 : 947-950.
- Zhu Y F and Ogasawara Y. 2004. Clinopyroxene phenocrysts (with green salite cores) in trachybasalts : Implications for two magma chambers under the Kokchetav UHP massif, North Kazakhstan [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 22:517-527.
- Zhu Y F , Zhou J and Zeng Y S. 2007. The Tianger (Bingdaban) shear zone hosted gold deposit , west Tianshan , NW China : Petrographic and geochemical characteristics J]. Ore Geology Review , 32 : 337-365.
- Zhu Y F, Xuan G, Song B, Zhang L F and Gu L B. 2009. Petrology, Sr-Nd-Hf isotopic geochemistry and zircon chronology of the Late Palaeozoic volcanic rocks in the southwestern Tianshan Mountains,

Xinjiang, NW China J]. Journal of the Geological Society, London, 166:1085-1099.

Zhu Y F. 2011. Zircon U-Pb and muscovite ⁴⁰Ar/³⁹Ar geochronology of the gold-bearing Tianger mylonitized granite, granite, Xinjiang, northwest China: Implications for radiometric dating of mylonitized magmatic rocks[J]. Ore Geology Reviews, 40:108-121.

- Zhu Y F, Chen B, Xu X, Qiu T and An F. 2013. A new geological map of the western Junggar, north Xinjiang (NW China): Implications for Paleoenvironmental reconstructior[J]. Episodes, 36(3): 205-220.
- Zhu Y F, Chen B and Qiu T. 2014. Geology and geochemistry of the Baijiantan-Baikouquan ophiolitic mélanges : Implications for geologic evolution of west Junggar, Xinjiang, NW China[J]. Geological Magazine, doi:10.1017/S0016756814000168 (in press).
- Zhukov N M , Kolesnikov V V and and Miroshnichenko L M. 1997. Copper deposits of Kazakhstan , reference book[M]. Alma-Ata : 149 p (in Russian).
- Zonenshain L P , Kuzmin M I and Natapov L M. 1990. Geology of the USSR: A plate-tectonic synthesis[M]. Geodynamics Series 21 , American Geophysical Union. 242p.
- Zvezdov V S , Migachev I F and Girfanov M M. 1993. Porphyry copper deposits of the CIS and the models of their formation[J]. Ore Geology Reviews , 7:511-549.

Веймарн А.Б. 1986. Фаменская маргацерудная эпоха в Казахстане

[J]. Геология Рудных Месторождений, 5:81-90.

- Генкин А.Д. 1994. Новые данные о джезказганите-сулъфиде Рения, Молибдена, меди и свинца-из месторождения джезказган (Казахстан I J]. Геология Рудных Месторождений, 36 (6): 536-544.
- Дженчураева Р Д. 1990. Явления полигенности на месторождениях Срединного Тянъ-Шаня[J]. Геология Рудных Месторождений, 1:59-71.
- Наркелюн Л Ф, Фатиков Р Ф. 1988. Сетиментационные признаки локалъзации оруденения джезказганского месторождения меди [J]. Геология Рудных Месторождений, 6:66-75.
- Кудрин В С, Кудрин С, Малъев В, и др. 1988. О возрасте стратиформного волъфрамового оруденения Северного Казахстана [J]. Геология Рудных Месторождений, 5:81-87.
- Кудрин В С, Соловъев С, Ставйский В, и др. 1990. Золото-медномолибден- волъфрамовый рудный пояс Тянъ-Шаня[J]. Геология Рудных Месторождений, 4:13-26.
- Кудрин В С and Соловъев С. 1992. Кесуйское волъфраммолибденовое месторождение в Восточной Киргизии [J]. Геология Рудных Месторождений , 2:68-88.
- Курчавов А. М. 1995. Эпохи позднепалеозойского рудообразования в герцинских орогенных структурах Централъного Казахстана J. Л. Геология Рудных Месторождений, 37 (3): 250-264.