

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: 莫因特-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-

* 本研究得到国际科技合作项目(编号: 2010DFB23390)和国家自然科学基金项目(编号: 41121062, 41372062)资助

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

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

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》(Milannouovski, 1987)和阿布杜林1989年出版的《哈萨克斯坦地质与金属矿床》(Abduln, 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; Seltnann 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块上,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-Mongo(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Khan-ty-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。从吐鲁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,并被花岗岩闪长岩-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

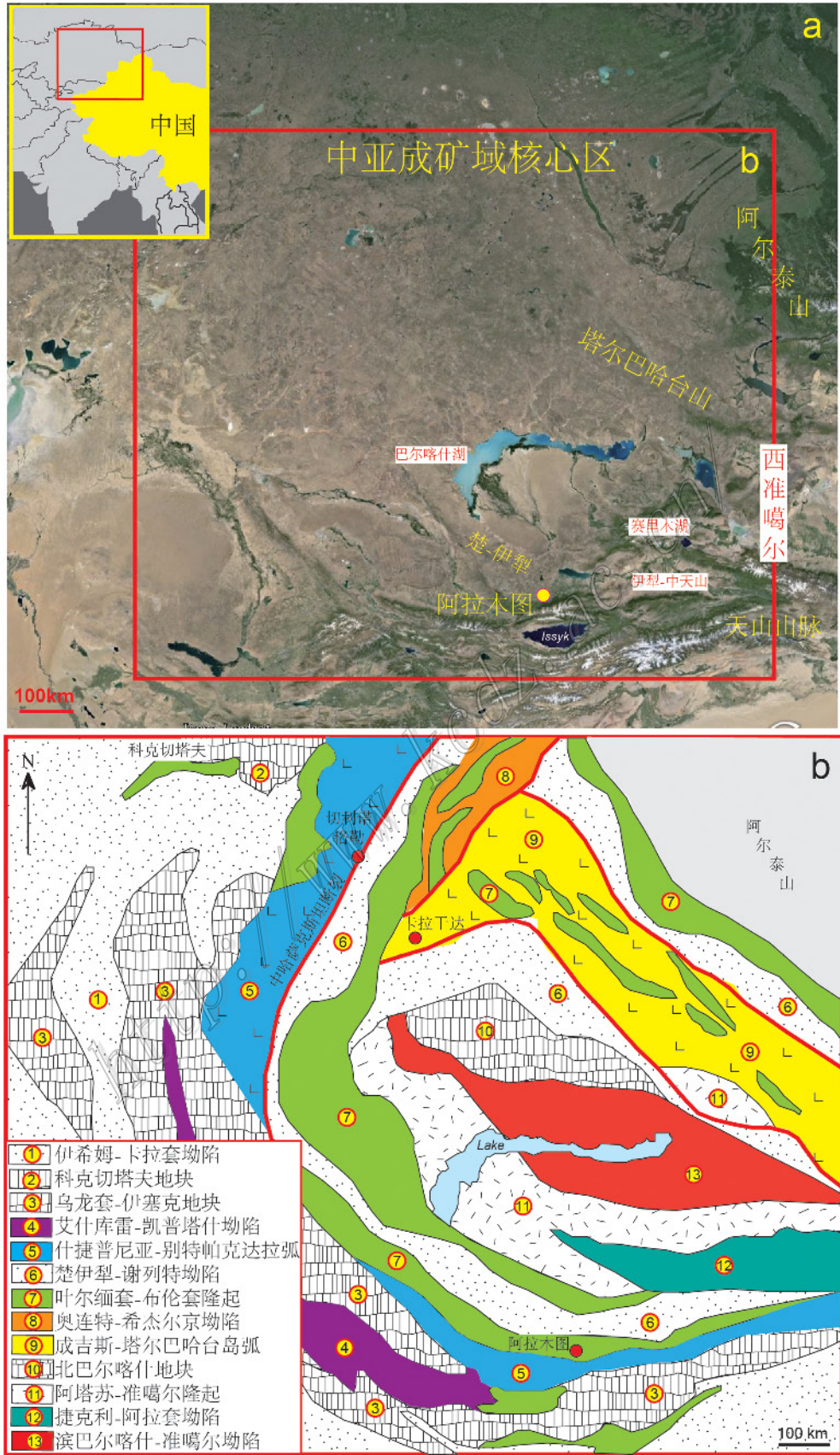


图 1 a. 卫星遥感图显示哈萨克斯坦东部-中国新疆西北部地区(基于 GoogleEarth); b. 哈萨克斯坦东部-中国新疆

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—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

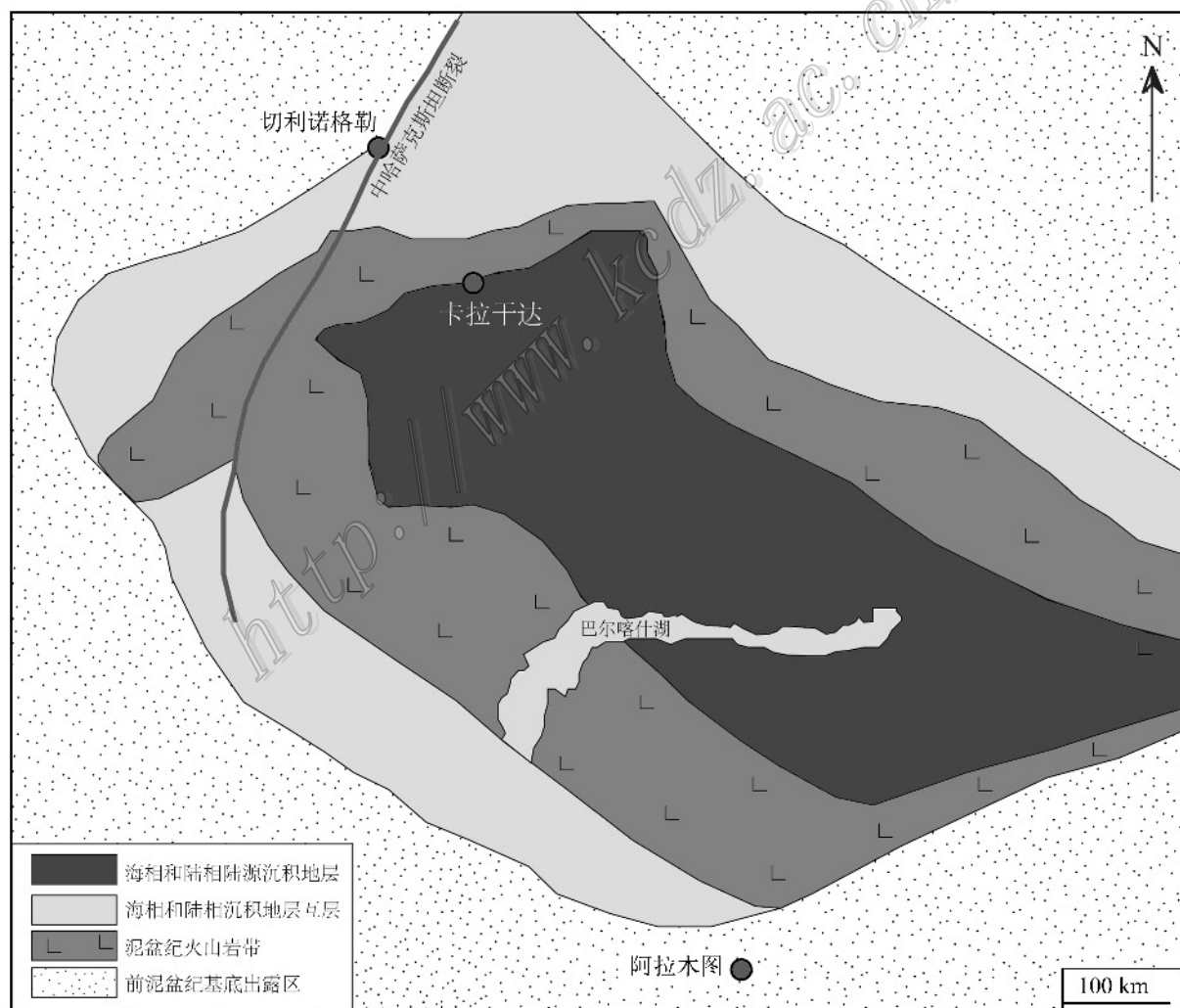


图2 哈萨克斯坦东部-中国新疆西北部地区早-中泥盆世古构造图(据 Samygin, 1974; Milannuovski, 1987 修改)

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-田吉兹拗陷北缘,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拗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-Terskey 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。Terskey 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)、塔尔巴哈台-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-锡矿床、矽卡岩-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 $+ \epsilon_{Nd}$ 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矽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。

表 1 中亚成矿域核心区成矿省和巨型成矿带划分方案

Table 1 Ore-forming provinces and huge metallogenic belts in the core part of Central Asian Metallogenic Region

成矿省及成矿带名称	矿集区名称
阿尔泰成矿省	
I 斋桑-额尔齐斯成矿带	
巴尔喀什-准噶尔成矿省	
II 扎尔玛-萨吾尔成矿带	(1) 萨雷姆赛克 Au-W-REE 矿集区 (2) 肯赛依 Cu-Mo 矿集区 (3) 阔尔真阔拉 Au-Cu 矿集区
III 塔尔巴哈台-谢米斯台成矿带	(4) 阿亚古斯 Cu-Pb-Zn 多金属矿集区 (5) 白杨河-谢米斯台 Cu-Au-Be-U 矿集区(带)
IV 阿科斗卡-巴尔鲁克成矿带	(6) 阿科斗卡 Cu-Mo-Au 矿集区 (7) 巴尔鲁克 W-Sn-Mo-Cu-Fe-Au 矿集区
V 巴尔喀什-西准噶尔成矿带	(8) 科翁腊德 Cu-Mo 矿集区 (9) 萨亚克 Cu-Au-Mo 矿集区 (10) 哈图-宝贝-萨尔托海 Au-Cr 矿集区 (11) 包古图 Cu-Au 矿带
楚伊犁-天山成矿省	
VI 莫因特-阿拉套-赛里木成矿带	(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) (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)
VII 楚伊犁-博洛霍勒成矿带	(17) Akbakai Au 矿集区 (18) 博古提 W 矿集区 (19) 达巴特-莱历斯高尔 Cu-Mo 矿集区
VIII 伊赛克-阿吾拉勒成矿带	(20) 阿希-伊尔曼德 Au 矿集区(吐拉苏盆地) (21) Bala Chichkan-Jerooy 矿集区 (22) 阿克秋兹 Pb-REE-Cu-Mo-Fe 矿集区 (23) Taldybulak-Kensu-Oktorkoy 矿带 (24) 阿吾拉勒 Cu-Ag 多金属矿集区 (25) 卡特巴阿苏 Au 矿集区 (26) 查岗诺尔-式可布台 Fe-Cu 矿集区 (27) 天格尔-望峰 Au 矿带 (28) 莫托萨拉 Fe-Mn 矿集区
IX 卡扎尔曼-那拉提成矿带	(29) 卡扎尔曼 Au-Cu-Fe-W-Sn 矿集区 (30) 杰特姆 Fe-W 矿集区 (31) 卡拉科尔 Cu-Mo-Au 矿集区 (32) 库姆托尔 Au 矿集区 (33) 萨瓦亚尔顿-大山口 Au 矿集区
西南天山成矿省	
X 西南天山成矿带	(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 VI 带)、楚伊犁-博洛霍勒成矿带(图 3 中的 VII 带)、伊赛克-阿吾拉勒成矿带(图 3 中的 VIII 带)和卡扎尔曼-那拉提成矿带(图 3 中的 IX 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

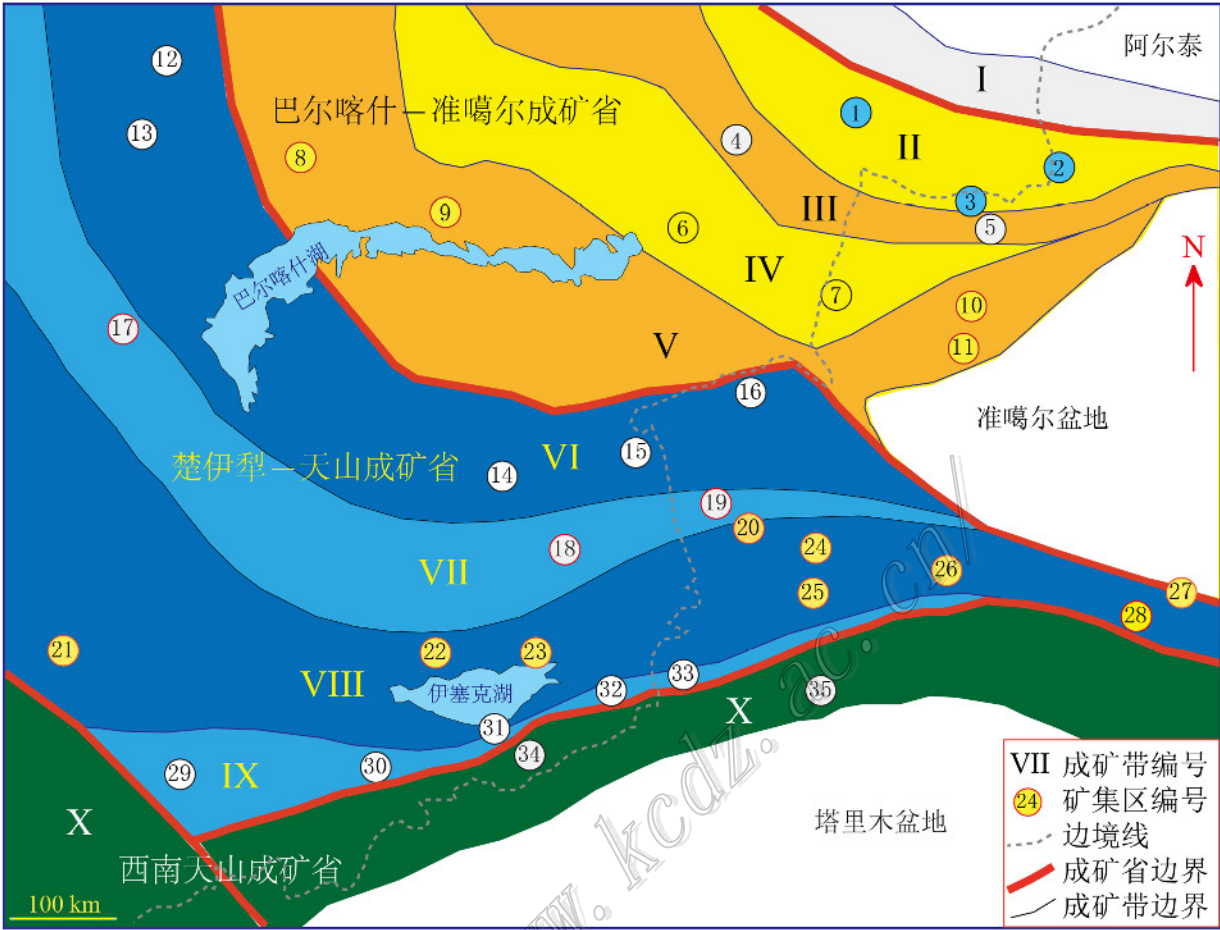


图 3 中亚成矿域核心区的成矿省和巨型成矿带划分(大型矿集区的编号与表 1 中的编号对应)

Fig. 3 Map showing the classification of ore-forming provinces and huge ore-forming belts in the core part of the Central Asia metallogenic 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,

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(X),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泥盆系厚层碳酸盐岩和薄层陆源碎屑岩不整合覆盖。花岗岩浆侵入于志留系—泥盆系碳酸盐岩中并形成砂卡岩化和矿化。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 $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{CH}_4-\text{N}_2$ 流体经二次沸腾后沉淀出的。金品位与流体的高浓度 CH_4 相关,表明矿化流体的一部分起源于还原性含碳岩层,并与砂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 CH_4 流体密切相关,中亚地区蛇绿岩也富含 CH_4 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 $\text{Cu}-\text{Au}-\text{Be}-\text{U}$ 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-钼矿、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 $\text{W}-\text{Sn}-\text{Mo}-\text{Cu}-\text{Fe}-\text{Au}$ 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)[M].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[J].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讨[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[J].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,薛春纪,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讨[J].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讨[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.

Abduln A A. 1980. Chu-Yili ore belt. Part I: Geology of the Chu-Yili region[M]. Alma-Ata: Nauka. 504 p (in Russian).

Abduln A A, ed. 1989. Geology and metallogeny of Kazakhstan[M]. Moscow, Nauka. 1-343 (in Russian).

Abduln 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).

- Alexeev D V, Ryazantsev A V, Kroner A, Tretyakov A A, Xia X and Liu D Y. 2011. Geochemical 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 Tianshan [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]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 78: 100-113.
- Bekzhanov G R and Uzhkenov B S, et al. 2004. Geosciences in Kazakhstan (Reports of Kazakhstani Geologists [M]). Almaty, Kazakhstan Geological Society <KazGEO>: 378 p (in Russian).
- Bespaev Kh A and Miroshnichenko L A. 2004. Atlas of mineral deposit models [M]. Almaty: K. I. Satpaev Institute of Geological Sciences: 141 p (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 Seltnann 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, Tajikistan [J]. *Mineralium Deposita*, 35: 600-618.
- De Grave J, Glorie S and Buslov M M. 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 Charrmitan 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 Kazakhstan [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, Kyrgyz Range (Tien Shan) Kyrgyzstan [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 [J]. *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]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 23: 605-627.
- Kröner A, Hegner E, Lehmann B, Heinhorst M T D, Wingate D Y, Liu P and Ermolov. 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, Alexeev 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 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 post-collisional 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 Y T , Eklund O and Usabaliev T. 2004. Postcollisional age of the Kumtor gold deposit and timing of Hercynian events in the Tien Shan , Kyrgyzstan [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]. *International Geology Review* , 34 : 59-76.
- Milannuvski 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]. *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 L 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]. *Minerium 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 Kazakhstan [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 W J. 2007. Tectonic models for accretion of the central Asian orogenic belt [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 model [J]. *Journal of Asian Earth Sciences* , 23 : 761-779.
- Yakubchuk A , Schloeder J , Woodcock J and Wurst A. 2011. Taldybulak Au-Cu-Mo deposit : A new > 5 Moz Au (11. 7 Moz Au eq) Proterozoic porphyry hosted gold system in Kyrgyzstan , 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. jseas. 2012. 08. 004](http://dx.doi.org/10.1016/j.jseas.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 Paleozoic 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 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 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 reconstruction[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 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-сульфиде Рения , Молибдена , меди и свинца-из месторождения джезказган (Казахстан [J]. Геология Рудных Месторождений , 36 (6) : 536-544.
- Дженчураева Р. Д. 1990. Явления полигенности на месторождениях Срединного Тянь-Шаня[J]. Геология Рудных Месторождений , 1 : 59-71.
- Наркелюн Л. Ф. , Фатиков Р. Ф. 1988. Сетиментационные признаки локализации оруденения джезказганского месторождения меди [J]. Геология Рудных Месторождений , 6 : 66-75.
- Кудрин В. С. , Кудрин С. , Малъев В. , и др. 1988. О возрасте стратиформного вольфрамового оруденения Северного Казахстана [J]. Геология Рудных Месторождений , 5 : 81-87.
- Кудрин В. С. , Соловьев С. , Стайский В. , и др. 1990. Золото-медно-молибден- вольфрамовый рудный пояс Тянь-Шаня[J]. Геология Рудных Месторождений , 4 : 13-26.
- Кудрин В. С. and Соловьев С. 1992. Кесуйское вольфрам-молибденовое месторождение в Восточной Киргизии [J]. Геология Рудных Месторождений , 2 : 68-88.
- Курчапов А. М. 1995. Эпохи позднепалеозойского рудообразования в герцинских орогенных структурах Центрального Казахстана[J]. Геология Рудных Месторождений , 37 (3) : 250-264.