

中亚成矿域地质矿产研究的若干重要问题^{*}

朱永峰

ZHU YongFeng

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

School of Earth and Space Sciences, Peking University, Beijing 100871, China

2009-03-03 收稿, 2009-04-28 改回.

Zhu YF. 2009. Some important issues for the studies on the Central Asian Metallogeny Domain. *Acta Petrologica Sinica*, 25 (6):1297–1302

Abstract Located in the core area of Central Asian Metallogenic Domain (CAMD), Chinese Xinjiang has the unique geographic and resource advantages. A steady political situation with government encouraging the cooperative research project focused on CAMD, as well as the friendly diplomatic relationship and staff communication with surrounding countries, all build a firm foundation for us to investigate the CAMD as a whole. With some new achievements, we come to realize that, in the current study on CAMD, there are such scientific problems as followed: The status and role that the formation and evolution of CAMD in global geological tectonic system; the geological background of circum Balkhash-Junggar metallogenic province: was it island-arc or post-collisional setting that develop the porphyry deposits and related epithermal deposits? The geological evolution of the Chigiz-Taerbahatai and its constraints on ore-formation; Problems of the widespread shear zones in Tianshan and Altay mountains on the timing control of gold deposition and coupling with regional tectonic evolutions; how do the shear zones in middle-crust level concentrate the ore-forming fluids? Formation and evolution of the ore-concentrated area in Late Paleozoic volcanic and sub-volcanic rocks: was it the magmatic fluid forced by caldera or the activity of ancient hot spring that form the giant gold deposits? The ore-forming significance and geodynamic background of the Indosinian geological processes. Discussions on those crucial scientific problems would definitely lead to further research on the geological development of CAMD, along with new breakthrough of mineral exploration. In order to promote the survey on the geology and mineralization in CAMD, we selected 44 scientific papers in these two special issues (*Acta Petrologica Sinica* 2008 December volume and this volume), which mainly illustrate the latest progresses on the related topics.

Key words Central Asian Metallogenic Domain (CAMD); Junggar; Tianshan Mts.; Tarim; Xinjiang

摘 要 我国新疆地处中亚成矿域的核心地区,具有得天独厚的地理和资源优势。在执行国家“十一五”科技支撑计划重点项目 08 课题并取得初步成果的同时,我们意识到中亚成矿域目前还存在如下关键科学问题:中亚成矿域的形成和演化在全球地质构造体系中的地位和作用;环巴尔喀什-西准噶尔成矿省的地质背景:是岛弧环境还是后碰撞环境形成了斑岩型矿床以及相关浅成低温热液型矿床? 成吉斯-塔尔巴哈台山的地质演化及其对金属成矿作用的制约机制;天山和阿尔泰地区广泛发育的韧性剪切带对金成矿作用控制时限与区域构造演化的耦合问题:中地壳的韧性剪切带如何会聚成矿流体? 晚古生代晚期火山岩和次火山岩中铜金多金属矿集区的形成和演化;印支期地质过程的成矿意义和地球动力学背景;中生代陆相盆地演化与能源资源形成的动力学过程。对这些科学问题的探讨必然带动中亚成矿域地质研究的深入,并取得矿产资源勘查的突破。

关键词 中亚成矿域;准噶尔;天山;塔里木;新疆

中图法分类号 P611

^{*} 国家自然科学基金创新群体(40821002)和国家科技支撑计划重点项目(2006BAB07B08)资助。

第一作者简介:朱永峰,男,1965年生,教授,博士生导师,矿床地球化学专业,E-mail: yfzhu@pku.edu.cn

1 引言

113 个国家和地区的 5925 名正式代表参加了 2008 年 8 月在挪威首都奥斯陆召开的 33 届国际地质大会 (IUGS, 2008), 尽管 33 届国际地质大会的议题涉及地球科学的各个领域, 但参加本次会议的学者对矿产资源问题高度重视, 包括新勘查靶区的寻找、矿产勘查理论的检验和新勘查技术的应用和开发、矿产资源的开发及其法律和政治问题、海底资源开发利用的技术和政治问题、矿产资源的开发利用可能引发的环境问题以及对子孙后代的影响等道德伦理问题。本届国际地质大会关注中亚成矿域地质与矿产的研究, 37 个国家的 400 多位科学家提交了涉及中亚成矿域的 1447 篇论文 (包括中国学者提交的关于新疆地质矿产研究的 20 篇论文)。

与 32 届国际地质大会 (意大利, 2004 年) 相比, 33 届国际地质大会明显重视中亚成矿域, 这不仅反映在参加会议的中亚国家学者人数的显著上升和提交论文的明显增加, 还主要表现在大会特别组织的 7 个有关中亚成矿域的专题会议 (ASI-01 Geodynamic evolution of Asia; ASI-05 Tectonics and crustal growth in Central Asia; ASI-06 Pre-Mesozoic accretionary tectonics in Central Asia; ASI-07 The Himalayas and neighbouring regions; EUR -07 Comparison of the Uralides and Variscides; MRD-07 Geology and mineral potential of CIS countries; MRD-10 Large ore provinces of Central Asia)。除了这些专题会议外, 在多个主题会议上还安排了 200 多个有关中亚成矿域研究成果的报告。

与以往不同的是, 在这次会议期间, 除了独联体国家、土耳其、蒙古和中国这些毗邻中亚成矿域的国家外, 来自欧洲、北美和澳大利亚的科学家和矿业公司也深度参与中亚成矿域地质与矿产的研究。造成这个局面的实质因素是: 中亚成矿域拥有丰富的矿产资源 (包括能源), 并具有良好的勘查潜力。随着中亚地区大多数国家政治的稳定和经济的发展, 西方矿业企业和利益集团分享中亚矿产资源的愿望逐渐变成现实。

中亚成矿域包括我国的新疆和内蒙古西部的广大地区, 是我国现代矿业发展的重要基地。重视对中亚成矿域的研究和保护利用, 具有重要的战略意义。在国家“十一五”科技支撑计划重点项目专门研究中亚成矿域核心区成矿带的连接和大型矿集区的识别标志等问题, 并初步取得一些成果 (例如: 何国琦和朱永峰, 2006; 朱永峰等, 2007a, b, 2008; 董连慧等, 2009; An and Zhu, 2009)。然而, 从参加 33 届国际地质大会的情况来看, 有关新疆地质与矿产研究的成果相对较少 (提交的论文摘要仅占有关中亚地区地质矿产研究论文摘要的 1.3%)。这与我国地质工作者所取得成果不相符。

2 存在的科学问题

近几年来, 我国学者就新疆地质与矿产的研究发表大量学术论文, 矿山企业也在新疆发现并勘查了大量新矿床。通过最近几年的工作, 中国学者在中亚成矿域地质与矿产研究领域的影响在不断增加, 例如成功召开“International Workshop on Central Asia Orogenesis and Metallogeny” (会议报道见: Zhu *et al.*, 2008a), 并在一些相关会议设立中亚成矿域研究专题等, 以及出版各种学术论文专辑 (例如: 朱永峰等, 2007b; Xiao *et al.*, 2008) 促进了该地区地质矿产研究的深入。

我国新疆地处中亚成矿域的核心地区, 具有得天独厚的地理和资源优势。我国政局稳定, 政府鼓励开展国际合作研究, 且周边国家与我国保持着友好的外交关系和人员来往, 这对我们从整体上研究中亚成矿域奠定了良好的基础。在执行国家“十一五”科技支撑计划重点项目 08 课题并取得初步成果的同时, 我们意识到存在的关键科学问题包括:

(1) 中亚成矿域的形成和演化在全球地质构造体系中的地位 and 作用;

(2) 环巴尔喀什-西准噶尔成矿省的地质背景: 是岛弧环境还是后碰撞环境形成了斑岩型矿床以及相关浅成低温热液型矿床?

(3) 成吉斯-塔尔巴哈台山的地质演化及其对金属成矿作用的制约机制;

(4) 天山和阿尔泰山地区广泛发育的韧性剪切带对金成矿作用控制时限与区域构造演化的耦合问题: 中地壳的韧性剪切带如何会聚成矿流体?

(5) 晚古生代晚期火山岩和次火山岩中铜-金多金属矿集区的形成和演化: 是破火山口驱动的岩浆热液还是古热泉活动形成了大型金矿?

(6) 印支期地质过程的成矿意义和地球动力学背景;

(7) 中生代陆相盆地演化与能源资源形成的动力学过程。

对这些关键科学问题的深入探讨必然带动中亚成矿域地质演化研究的深入, 并在矿产资源勘查方面取的突破。《中亚成矿域专辑 I》(岩石学报 2008 年第 12 期) 和《中亚成矿域专辑 II》(本期) 共计收录了 44 篇学术论文, 展示最新的研究成果。

3 成矿作用研究进展

对俄罗斯阿尔泰-萨耶岭 Aksug 斑岩成矿体系的研究表明, 赋矿岩石富集大离子亲石元素和亏损高场强元素, 成岩成矿过程与俯冲带流体作用有关 (Berzina and Berzina, 2008)。李光明等 (2008) 总结了中哈萨克斯坦主要的斑岩铜矿类型的地质和地球化学特征, 表明早古生代斑岩铜矿与岛

弧演化的早阶段有关,晚古生代斑岩铜矿与晚泥盆世-二叠纪的火山-岩浆弧有关。基于在塔城北山发现的早奥陶世蛇绿岩带(朱永峰和徐新,2006)的事实,成吉斯-塔尔巴哈台成矿省延伸到新疆塔城地区,最近在塔城盆地发现的早二叠世铜矿化现象(朱永峰和徐新,2009)显示该地区具有重要的找矿勘探前景。根据透岩浆流体成矿理论认为,熔浆与含矿流体耦合成一个复杂的体系。这种复杂体系演化的不同阶段形成不同类型的矿床(罗照华等,2008)。唐红峰等(2009)对东准噶尔的贝勒库都克锡矿带中4个独立锡矿床矿石的 ^{40}Ar - ^{39}Ar 同位素年代学表明,成矿作用发生在晚石炭世(305~315Ma)。

西天山地区广泛分布的晚古生代火山岩组成极其复杂(Zhu *et al.*, 2005; 朱永峰等,2006; 罗勇等,2009)。对京希-伊尔曼德金矿矿区流纹岩的锆石 SHRIMP 测年表明,火山喷发早于~386Ma(安芳和朱永峰,2008)。阿希金矿赋矿安山岩的锆石 SHRIMP 年龄为363Ma(翟伟等,2006),然而,位于阿希金矿区南侧的东塔尔别克金矿区内出露一些高镁安山岩,其锆石 U-Pb 年龄为347Ma(唐功建等,2009),这些作者认为岛弧环境的熔体-地幔相互作用对形成金矿具有重要意义。阿希金矿热液成矿期由四个阶段组成:玉髓状石英阶段、黄铁矿-石英脉阶段、白铁矿-碳酸盐-石英脉阶段和重晶石-碳酸盐脉阶段(安芳和朱永峰,2009)。从成矿早期到晚期,成矿流体的温度、硫逸度和氧逸度强烈降低(翟伟等,2007)。成矿流体早期以岩浆水为主,之后大气水逐渐加入,是导致成矿流体温度、硫逸度和氧逸度强烈降低,金发生沉淀的主要原因(安芳和朱永峰,2009)。对位于别珍套-科古琴晚古生代岛弧中段的斑岩型矿床(莱历斯高尔钼矿和3571铜矿,岩体的形成年龄分别为346Ma和354Ma)的地球化学研究表明,斑岩体与晚古生代准噶尔洋板块向南俯冲有关(张东阳等,2009)。张作衡等(2009)通过对达巴特斑岩铜钼矿床中石英流体包裹体和氢氧同位素测定,证明早期成矿流体以原生岩浆水为主,大气降水参与了成矿作用,成矿作用与最晚期的花岗斑岩密切相关。

4 新疆地质研究进展

同位素年代学数据的积累,不断地改变我们对中亚成矿域地质演化的认识。例如:所谓的前寒武纪基底出露区实质上是(至少部分是)早古生代的岩浆岩(例如冰达坂-天格尔地区,朱永峰和宋彪,2006)。胡嵩琴等(2008)获得的温泉县城以南粗粒斜长角闪岩年龄为~455Ma,西部中粒斜长角闪岩年龄为~451Ma。因而,原划归前寒武纪的温泉群应该是晚奥陶世的侵入体,而非前寒武纪变质基底。西天山吐拉苏盆地大面积出露的晚古生代火山-沉积岩地层是阿希和京希-伊尔曼德金矿的赋矿围岩。该火山岩剖面下部流纹岩的锆石 SHRIMP 测年表明,火山喷发早于~386Ma(安芳和朱永峰,2008)。下石炭统的地层单位“大哈拉军山组”不再适合

代表吐拉苏盆地中广泛出露的这套火山-沉积地层,这些作者建议创建中-晚泥盆统“伊尔曼德组”。对中天山望峰-天格尔金矿的研究表明,韧性剪切带长期发育是导致金矿成矿的控制因素,金的成矿作用发生在印支期(Zhu *et al.*, 2007c),而非前人认为的海西期。不同方法获得可可托海伟晶岩3号脉边缘带的同位素年龄为~220Ma(Zhu *et al.*, 2006; Wang *et al.*, 2007),确立了阿尔泰含稀有金属伟晶岩的形成时代为印支期,改变了前人提出的海西期或者燕山期的认识。

阿尔泰阿巴宫岩体的地球化学特征显示其形成于大陆岩浆弧环境,是陆壳物质部分熔融的结果(~463Ma,刘锋等,2009)。柴凤梅等(2009)获得阿尔泰南缘康布铁堡组变质流纹岩的锆石 SHRIMP 年龄(407~413Ma),并依据流纹岩的地球化学特征认为,流纹岩是与俯冲作用有关的玄武质岩浆底侵诱发下地壳部分熔融的产物。额尔齐斯-玛因鄂博构造带南侧的乌图布拉克岩体(~360Ma,周刚等,2009)的低Sr初始值和高 $\varepsilon_{\text{Nd}}(t)$ 等地球化学特征表明,岩浆可能来源于年轻的玄武质地壳,并有幔源物质加入。

关于准噶尔板块是否有古老的变质结晶基底,存在争议(这里不做评述)。苏春乾等(2008)研究了准噶尔板块东南部觉罗塔格构造带西段的沙尔德兰变质核杂岩,其中的糜棱岩化花岗岩锆石 SHRIMP 谐和年龄为~922Ma。这些作者认为觉罗塔格构造带前震旦纪结晶基底与准噶尔板块东北部的褶皱基底共同构成了准噶尔的基底。对西准噶尔地区蛇绿混杂岩的研究,近几年取得了一些进展(徐新等,2006;何国瑞等,2007)。达拉布特蛇绿岩中辉长岩的锆石 U-Pb 年龄(~391Ma,辜平阳等,2009)代表了辉长岩的结晶年龄,这些作者据此认为达拉布特蛇绿岩形成于中泥盆世。然而,另一篇论文获得阿克巴斯套岩体中浅色辉长岩的锆石 U-Pb 年龄为 $302 \pm 1.7\text{Ma}$ (刘希军等,2009),这些作者倾向于认为他们所研究的镁铁质岩是蛇绿岩消亡阶段由于扩张脊和俯冲带碰撞作用形成的弧前海山,其形成时代晚于达拉布特蛇绿岩主体。这些作者提供的照片显示,年龄为302Ma的辉长岩没有变形变质,与达拉布特蛇绿混杂岩带中的变质辉长岩(朱永峰等,2008)差别很大。一条蛇绿岩带中出现的变质变形辉长岩与未变质变形辉长岩不可能形成于同一时期。这两类辉长岩的时空关系及其岩浆生成环境还有待深入研究。达拉布特和克拉玛依蛇绿混杂岩几个典型露头的地质图(朱永峰等,2008)显示了该蛇绿岩中存在的变辉长岩与地幔橄榄岩和玄武岩之间的地质关系。研究表明,与地幔橄榄岩伴生的含尖晶石大理岩和石榴角闪岩均在俯冲带环境中通过变质作用形成,白碱滩地区出露的白云石大理岩是尖晶石二辉橄榄岩发生进变质反应的产物。这些变质岩及其岩石组合厘定出西准噶尔地区的早古生代俯冲带(朱永峰等,2008),且该岩石组合中保留着高压变质作用过程的岩石学证据(陈博等,2008;Zhu *et al.*, 2008b)。

塔里木北缘兴地断裂带至少经历了四期地质构造演化,

其深部存在一个中-新太古代和古元古代的基底(邓兴梁等, 2008), 双峰式火成岩测年数据证实, 该区在 820 ~ 800Ma 发生过强烈的裂谷岩浆活动。依据库鲁克塔格贝义西组顶部火山岩中锆石的 SHRIMP 年龄, 徐备等(2008)将贝义西冰期的时限厘定为 740 ~ 732Ma。通过库鲁克塔格地区孜厄肯-厄格孜达坂一带实测地层剖面的研究重建了阿勒通沟组和黄羊沟组的地层层序, 将两者分别确定为独立的冰期和间冰期(寇晓威等, 2008)。阿克苏蓝片岩的原岩是新元古代邻塔里木的某一洋壳的残片, 它作为俯冲带增生楔的一部分经历深俯冲-折返过程(郑碧海等, 2008)。对阿尔金南缘苏普阿勒克塔格岩体中花岗岩以及其暗色包体的研究成果反映了地壳连续伸展减薄的过程, 指示该地区在早古生代末期存在造山后伸展背景下的幔源岩浆底侵作用(王超等, 2008)。南天山额尔宾山中部出露的盲起苏花岗闪长岩曾经被划归泥盆纪, 其锆石 SHRIMP 定年结果为 ~297Ma 和 ~304Ma(朱志新等, 2008)。这些作者据此认为, 南天山古生代洋盆闭合时限为晚石炭世。白石头泉岩体侵位于早二叠世早期, 并于印支期(~214Ma) 经历了一次热事件的改造(刘四海等, 2008), 进一步说明新疆印支期地质事件(朱永峰, 2007)的重要地质意义。

致谢 《中亚成矿域专辑 I & II》的出版得到国家“十一五”科技支撑计划重点项目(2006BAB07B08)的资助。特别感谢审稿专家周新民、顾连兴、许继峰、喻学惠、李锦轶、王涛、徐学纯、储雪蕾、陈汉林、宋彪、李才、罗照华、秦克章、张招崇、周涛发、王强、袁超、唐红峰、韩宝福、吴泰然、张臣和徐备, 他们的辛勤劳动对保证本专辑的质量有重要意义。

References

- An F and Zhu YF. 2008. Study on trace elements geochemistry and SHRIMP chronology of volcanic rocks in Tulasu Basin, West Tianshan. *Acta Petrologica Sinica*, 24 (12): 2741 – 2748 (in Chinese with English abstract)
- An F and Zhu YF. 2009. Significance of native arsenic in Baogutu gold deposit, western Junggar, Xinjiang, NW China. *Chinese Science Bulletin*, 54: 1744 – 1749 doi: 10.1007/s11434-009-0086-6
- An F Zhu YF. 2009. Geology and geochemistry of the Axi gold deposit, Xinjiang. *Mineral Deposit*, 28 (2): 143 – 156 (in Chinese with English abstract)
- Berzina AN and Berzina AP. 2008. Geological and geochemical characteristics of the Aksug porphyry Cu-Mo system, Altay-Sayan region, Russia. *Acta Petrologica Sinica*, 24 (12): 2657 – 2668
- Chai FM, Mao JW, Dong LH *et al.* 2009. Geochronology and genesis of the meta-rhyolites in the Kangbutiebao Formation from the Kelang basin at the southern margin of the Altay, Xinjiang. *Acta Petrologica Sinica*, 25 (6): 1403 – 1415 (in Chinese with English abstract)
- Chen B, Zhu YF, Wei SN and Xu X. 2008. Garnet amphibolite found in Keramay ophiolitic mélange, western Junggar, NW China. *Acta Petrologica Sinica*, 24 (5): 1034 – 1040 (in Chinese with English abstract)
- Deng XL, Shu LS, Zhu WB *et al.* 2008. Precambrian tectonism, magmatism, deformation and geochronology of igneous rocks in the Xingdi fault zone, Xinjiang. *Acta Petrologica Sinica*, 24 (12): 2800 – 2808 (in Chinese with English abstract)
- Dong LH, Xu XW, Qu X and Li GM. 2009. Tectonic setting and formation mechanism of the circum-Junggar porphyritic copper deposit belts. *Acta Petrologica Sinica*, 25 (4): 713 – 737 (in Chinese with English abstract)
- Gu PY, Li YJ, Zhang B, Tong LL and Wang JN. 2009. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating of gabbro in the Darbut ophiolite, western Junggar, China. *Acta Petrologica Sinica*, 25 (6): 1364 – 1372 (in Chinese with English abstract)
- He GQ and Zhu YF. 2006. Comparative study of the geology and mineral resources in Xinjiang, China, and its adjacent regions. *Geology in China*, 33: 451 – 460 (in Chinese with English abstract)
- He GQ, Liu JB, Zhang YQ and Xu X. 2007. Keramay ophiolitic mélange formed during Early Paleozoic in western Junggar basin. *Acta Petrologica Sinica*, 23 (7): 1573 – 1576 (in Chinese with English abstract)
- Hu AQ, Wei GJ, Zhang JB *et al.* 2008. SHRIMP U-Pb ages for zircons of the amphibolites and tectonic evolution significance from the Wenquan domain in the West Tianshan Mountains, Xinjiang, China. *Acta Petrologica Sinica*, 24 (12): 2731 – 2740 (in Chinese with English abstract)
- IUGS. 2008. Bulletin of the International Union of Geological Sciences (No. 34. August 30, 2008). *Geoscience World Congress 2008-Earth System Science: Foundation for Sustainable Development*. <http://www.33igc.org>
- Kou XW, Wang Y, Wei W, He JY and Xu B. 2008. The Neoproterozoic Altungol and Huangyanggou formations in Tarim plate: Recognized newly glaciation and interglaciation? *Acta Petrologica Sinica*, 24 (12): 2863 – 2868 (in Chinese with English abstract)
- Li GM, Qin KZ and Li JX. 2008. Geological features and tectonic setting of porphyry copper deposits rounding the Balkhash region, Central Kazakhstan, Central Asia. *Acta Petrologica Sinica*, 24 (12): 2679 – 2700 (in Chinese with English abstract)
- Liu F, Yang FQ, Mao JW, Chai FM and Geng XX. 2009. Study on chronology and geochemistry for Abagong granite in Altay orogen. *Acta Petrologica Sinica*, 25 (6): 1416 – 1425 (in Chinese with English abstract)
- Liu SH, Wu CZ, Gu LX *et al.* 2008. Geochronology, petrogenesis and tectonic significances of the Baishitouquan pluton in Middle Tianshan, Northwest China. *Acta Petrologica Sinica*, 24 (12): 2720 – 2730 (in Chinese with English abstract)
- Liu XJ, Xu JF, Wang SQ, Hou QY, Bai ZH and Lei M. 2009. Geochemistry and dating of E-MORB type mafic rocks from Dalabute ophiolite in West Junggar, Xinjiang and geological implications. *Acta Petrologica Sinica*, 25 (6): 1373 – 1390 (in Chinese with English abstract)
- Luo Y, Niu HC, Shan Q *et al.* 2009. Discovery of the basaltic andesitic – high-K basaltic andesitic – trachyandesite association in the Yuximolegai Daban, West Tianshan and its geological significance. *Acta Petrologica Sinica*, 25 (4): 934 – 943 (in Chinese with English abstract)
- Luo ZH, Lu XX, Guo SF *et al.* 2008. Metallogenic systems on the transmagmatic fluid theory. *Acta Petrologica Sinica*, 24: 2669 – 2678 (in Chinese with English abstract)
- Su CQ, Jiang CY, Xia MZ *et al.* 2008. Zircon SHRIMP U-Pb dating from granite of the metamorphic core complex system in Jueluotage tectonic belt and its geological significance. *Acta Petrologica Sinica*, 24 (12): 2789 – 2799 (in Chinese with English abstract)
- Tang GJ, Wang Q, Zhao ZH *et al.* 2009. LA-ICP-MS zircon U-Pb geochronology, element geochemistry and petrogenesis of the andesites in the eastern Taerbieke gold deposit of the western Tianshan region. *Acta Petrologica Sinica*, 25 (6): 1341 – 1352 (in Chinese with English abstract)
- Tang HF, Han YJ, Qiu HN and Su YP. 2009. ⁴⁰Ar-³⁹Ar age of tin mineralization in the Beilekuduk tin metallogenic belt, East Junggar, Xinjiang (NW China). *Acta Petrologica Sinica*, 25 (6): 1303 – 1309 (in Chinese with English abstract)
- Wang C, Liu L, Zhang A *et al.* 2008. Geochemistry and petrography of

- Early Paleozoic Yusupuleke Tagh rapakivi- textured granite complex, South Altyn: An example for magma mixing. *Acta Petrologica Sinica*, 24(12): 2809 – 2819 (in Chinese with English abstract)
- Wang T, Tong Y, Jahn BM, Zou TR, Wang YB, Hong DW and Han BF. 2007. SHRIMP U-Pb zircon geochronology of the Altai No. 3 Pegmatite, NW China, and its implications for the origin and tectonic setting of the pegmatite. *Ore Geology Reviews*, 32: 325 – 336
- Xiao WJ, Pirajno F and Seltmann R. 2008. Geodynamics and metallogeny of the Altaid orogen. *Journal of Asian Earth Sciences*, 32: 77 – 81
- Xu B, Kou XW, Song B *et al.* 2008. SHRIMP dating of the upper Proterozoic volcanic rocks in the Tarim plate and constraints on the Neoproterozoic glaciation. *Acta Petrologica Sinica*, 24(12): 2857 – 2862 (in Chinese with English abstract)
- Xu X, He GQ, Li HQ *et al.* 2006. Basic characteristics of the Karamay ophiolitic mélangé, Xinjiang, and its zircon SHRIMP dating. *Geology in China*, 33: 470 – 475 (in Chinese with English abstract)
- Zhai W, Gao J, Sun XM *et al.* 2006. The wallrocks of the Axi gold deposit – Dahalajunshan Group: Its zircon SHRIMP dating. *Acta Petrologica Sinica*, 22(5): 1399 – 1406 (in Chinese with English Abstract)
- Zhai W, Sun XM, He XP, Su LW, Wu YL and Dong YX. 2007. Geochemistry of ore formation fluid and metallogenic mechanism of Axi low – sulfidation gold deposit in Xinjiang, China. *Acta Geologica Sinica*, 81(5): 659 – 669 (in Chinese with English abstract)
- Zhang DY, Zhang ZC, Ai Y and Su HM. 2009. Geochronology, geochemistry of the ores-bearing porphyries in the Lailisigao' er region, western Tianshan; Implications for their tectonic setting and mineralization. *Acta Petrologica Sinica*, 25(6): 1319 – 1331 (in Chinese with English abstract)
- Zhang ZH, Wang ZL, Chen WS *et al.* 2009. Mineralization and fluid geochemistry of Dabate porphyry copper deposit, western Tianshan in Xinjiang. *Acta Petrologica Sinica*, 25(6): 1310 – 1318 (in Chinese with English abstract)
- Zheng BH, Zhu WB, Shu LS *et al.* 2008. The protolith of the Aksu Precambrian blueschist and its geotectonic setting. *Acta Petrologica Sinica*, 24(12): 2839 – 2848 (in Chinese with English abstract)
- Zhou G, Wu GG, Dong LH *et al.* 2009. Formation time and geochemical feature of Wutubulak pluton in the northeastern margin of Junggar in Xinjiang and its geological significance. *Acta Petrologica Sinica*, 25(6): 1390 – 1402 (in Chinese with English abstract)
- Zhu ZX, Li JY, Dong LH *et al.* 2008. The age determination of Late Carboniferous intrusions in Mangqisu region and its constraints to the closure of oceanic basin in South Tianshan, Xinjiang. *Acta Petrologica Sinica*, 24(12): 2761 – 2766 (in Chinese with English abstract)
- Zhu YF, Zhang LF, Gu LB, Guo X and Zhou J. 2005. Study on trace elements geochemistry and SHRIMP chronology of Carboniferous lava, West Tianshan. *Chinese Science Bulletin*, 50(18): 2201 – 2212
- Zhu YF and Xu X. 2006. The discovery of Early Ordovician ophiolite melange in Taerbahatai Mts., Xinjiang, NW China. *Acta Petrologica Sinica*, 22: 2833 – 2842 (in Chinese with English abstract)
- Zhu YF and Song B. 2006. Petrology and SHRIMP chronology of mylonitized Tianger granite, Xinjiang: Also about the dating on zircon hydrothermal zircon rims in granite. *Acta Petrologica Sinica*, 22: 135 – 144 (in Chinese with English abstract)
- Zhu YF, Zeng YS and Gu LB. 2006. Geochemistry of the rare metal-bearing pegmatite no. 3 vein and related granites in the Keketuohai region, Altay mountains, Northwest China. *Journal of Asian Earth Sciences*, 27: 61 – 77
- Zhu YF. 2007. Indosinian movement and the related metallogeny in Xinjiang. *Geological Bulletin of China*, 26(5): 510 – 519 (in Chinese with English abstract)
- Zhu YF, He GQ and An F. 2007a. Geological evolution and metallogeny in the core part of the Central Asia metallogenic domain. *Geological Bulletin of China*, 26(9): 1167 – 1177 (in Chinese with English abstract)
- Zhu YF, Wang T and Xu X. 2007b. Progress of geology study in Xinjiang and its adjacent regions. *Acta Petrologica Sinica*, 23(8): 1785 – 1794 (in Chinese with English abstract)
- Zhu YF, Zhou J and Zeng YS. 2007c. The Tianger (Bingdaban) shear zone hosted gold deposit, West Tianshan, NW China: Petrographic and geochemical characteristics. *Ore Geology Reviews*, 32: 337 – 365
- Zhu YF, Li YC and Xu X. 2008a. International workshop on “Central Asia Orogenesis and Metallogeny”. Episodes, 31: 355
- Zhu YF, Chen B, Massonne HJ and Xu X. 2008b. An Early Paleozoic high-pressure metamorphic belt established in western Junggar, Xinjiang (central Asia), NW China. Abstract of the IGC 33th, ISA-05. Oslo 2008 (CD-ROM)
- Zhu YF, Xu X, Chen B and Xue YX. 2008c. Dolomite marble and garnet amphibolite in the ophiolitic mélangé in western Junggar: Relics of the Early Paleozoic oceanic crust and its deep subduction. *Acta Petrologica Sinica*, 24(12): 2767 – 2777 (in Chinese with English abstract)
- Zhu YF and Xu X. 2009. Zircon SHRIMP chronology of the Biesituobie gabbro in Tancheng, Xinjiang. *Acta Geologica Sinica*, 83 (in press)

附中文参考文献

- 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. *岩石学报*, 24(12): 2741 – 2748
- 安芳, 朱永峰. 2009. 新疆阿希金矿矿床地质和地球化学研究. *矿床地质*, 28(2): 143 – 156
- 柴凤梅, 毛景文, 董连慧等. 2009. 阿尔泰南缘克朗盆地康布铁堡组变质火山岩年龄及岩石成因. *岩石学报*, 25(6): 1403 – 1415
- 陈博, 朱永峰, 魏少妮, 徐新. 2008. 西准噶尔克拉玛依蛇绿混杂岩中的石榴角闪岩. *岩石学报*, 24(5): 1034 – 1040
- 邓兴梁, 舒良树, 朱文斌, 马东升, 王博. 2008. 新疆兴地断裂带前寒武纪构造-岩浆-变形作用特征及其年龄. *岩石学报*, 24(12): 2800 – 2808
- 董连慧, 徐兴旺, 屈迅, 李光明. 2009. 初论环准噶尔斑岩铜矿带的地质构造背景与形成机制. *岩石学报*, 25(4): 713 – 737
- 辜平阳, 李永军, 张兵, 佟丽莉, 王军年. 2009. 西准达拉布特蛇绿岩中辉长岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年. *岩石学报*, 25(6): 1364 – 1372
- 何国琦, 朱永峰. 2006. 中国新疆及邻区地质矿产对比研究. *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(7): 1573 – 1576
- 胡霁琴, 韦刚健, 张积斌等. 2008. 西天山温泉地区早古生代斜长角闪岩的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其地质意义. *岩石学报*, 24(12): 2731 – 2740
- 寇晓威, 王宇, 卫巍, 何金有, 徐备. 2008. 塔里木板块上元古界阿勒通沟组和黄羊沟组: 新识别的冰期和间冰期? *岩石学报*, 24(12): 2863 – 2868
- 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. *岩石学报*, 24(12): 2679 – 2700
- 刘锋, 杨富全, 毛景文, 柴凤梅, 耿新霞. 2009. 阿尔泰造山带阿巴古花岗岩体年代学及地球化学研究. *岩石学报*, 25(6): 1416 – 1425

- 刘希军,许继峰,王树庆,侯青叶,白正华,雷敏. 2009. 新疆西准噶尔达拉布特蛇绿岩 E-MORB 型镁铁质岩的地球化学和年代学及其地质意义. 岩石学报, 25(6):1373-1390
- 刘四海,吴昌志,顾连兴等. 2008. 中天山白石头泉岩体年代学、岩石成因及构造意义. 岩石学报, 24(12):2720-2730
- 罗勇,牛贺才,单强等. 2009. 西天山玉希莫勒盖达坂玄武安山岩-高钾玄武安山岩-粗安岩组合的发现及其地质意义. 岩石学报, 25(4):934-943
- 罗照华,卢欣祥,郭少丰等. 2008. 透岩浆流体成矿体系. 岩石学报, 24(12):2669-2678
- 苏春乾,姜常义,夏明哲等. 2008. 新疆觉罗塔格构造带新元古代变质核杂岩锆石 U-Pb 年龄与地质意义. 岩石学报, 24(12):2789-2799
- 唐功建,王强,赵振华等. 2009. 西天山东塔尔别克金矿区安山岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年代学、元素地球化学与岩石成因. 岩石学报, 25(6):1341-1352
- 唐红峰,苏玉平,邱华宁,韩宇捷. 2009. 新疆东准噶尔贝勒库都克锡矿带锡成矿的 ^{40}Ar - ^{39}Ar 年龄. 岩石学报, 25(6):1303-1309
- 王超,刘良,张安达等. 2008. 阿尔金造山带南缘岩浆混合作用: 玉苏普阿勒克塔格岩体岩石学和地球化学证据. 岩石学报, 24(12):2809-2819
- 徐备,寇晓威,宋彪,卫巍,王宇. 2008. 塔里木板块上元古界火山岩 SHRIMP 定年及其对新元古代冰期时代的制约. 岩石学报, 24(12):2857-2862
- 徐新,何国琦,李华芹等. 2006. 克拉玛依蛇绿混杂岩带的基本特征和锆石 SHRIMP 年龄信息. 中国地质, 33: 470-475
- 张东阳,张招崇,艾羽,苏慧敏. 2009. 西天山莱历斯高尔一带铜(钼)矿成矿斑岩年代学、地球化学及其构造意义. 岩石学报, 25(6):1319-1331
- 张作衡,王志良,陈伟十等. 2009. 西天山达巴特斑岩型铜矿床流体地球化学特征和成矿作用. 岩石学报, 25(6):1310-1318
- 郑碧海,朱文斌,舒良树等. 2008. 阿克苏前寒武纪蓝片岩原岩产出的大地构造背景. 岩石学报, 24(12):2839-2848
- 翟伟,孙晓明,高俊,贺小平,梁金龙,苗来成,吴有良. 2006. 新疆阿希金矿床赋矿围岩——大哈拉军山组火山岩 SHRIMP 锆石年龄及其地质意义. 岩石学报, 22(5):1399-1404
- 翟伟,孙晓明,贺小平,苏丽薇,吴有良,董艺辛. 2007. 新疆阿希低硫型金矿床流体地球化学特征与成矿机制. 地质学报, 81(5):659-669
- 周刚,吴淦国,董连慧等. 2009. 新疆准噶尔北东缘乌图布拉克岩体形成时代、地球化学特征及地质意义. 岩石学报, 25(6):1390-1402
- 朱志新,李锦轶,董莲慧等. 2008. 新疆南天山盲起苏晚石炭世侵入岩的确定及对南天山洋盆闭合时限的限定. 岩石学报, 24(12):2761-2766
- 朱永峰,周晶,宋彪,张立飞,郭璇. 2006. 新疆“大哈拉军山组”火山岩的形成时代问题及其解决方案. 中国地质, 33: 487-497
- 朱永峰,宋彪. 2006. 新疆天格尔糜棱岩化花岗岩的岩石学及其 SHRIMP 年代学研究:兼论花岗岩中热液锆石边的定年. 岩石学报, 22:135-144
- 朱永峰,徐新. 2006. 新疆塔尔巴哈台发现早奥陶世蛇绿混杂岩. 岩石学报, 22:2833-2842
- 朱永峰. 2007. 新疆的印支运动与成矿. 地质通报, 26(5):510-519
- 朱永峰,何国琦,安芳. 2007a. 中亚成矿域核心区地质演化与成矿规律. 地质通报, 26(9):1167-1177
- 朱永峰,王涛,徐新. 2007b. 新疆及邻区地质与矿产研究进展. 岩石学报, 23(8):1785-1794
- 朱永峰,徐新,陈博,薛云兴. 2008. 西准噶尔蛇绿混杂岩中的白云石大理岩和石榴角闪岩:早古生代残余洋壳深俯冲的证据. 岩石学报, 24(12):2767-2777
- 朱永峰,徐新. 2009. 新疆塔城别斯托别苏长辉长岩的岩石学和锆石 SHRIMP 年代学研究. 地质学报, 83(待刊)