

甘肃北山营毛沱地区公婆泉群中玄武岩 同位素定年及其地质意义

王立社¹⁾, 杨建国¹⁾, 王育习¹⁾, 雷永孝¹⁾,
谢春林¹⁾, 曹红霞²⁾, 杨鹏飞¹⁾, 齐亚林³⁾, 高明⁴⁾

1)西安地质矿产研究所, 陕西西安 710054;

2)陕西延长石油集团有限责任公司研究院 陕西 西安 710075;

3)长庆油田研究院, 陕西西安 710021;

4)陕西核工业局 224 大队, 陕西西安 710024

摘 要: 首次利用锆石 LA-ICP-MS U-Pb 法定年, 发现甘肃北山营毛沱地区火石山西北处原中上志留统公婆泉群中有结晶年龄为早石炭世(333.1 ± 9.8 Ma)的玄武岩, 同时发现公婆泉群中存在晚泥盆世物质的信息(继承性锆石年龄 358 ± 17 Ma), 结合北山各地段公婆泉群中志留纪化石部分可延至泥盆-石炭纪, 认为公婆泉群形成时代可能从志留纪跨越至早石炭世, 进而表明塔里木板块与哈萨克斯坦板块的俯冲效应可能延续到早石炭世。

关键词: 北山; 公婆泉群; 玄武岩; 同位素年龄

中图分类号: P588.145; P597 文献标志码: A 文章编号: 1006-3021(2009)03-363-06

Isotopic Dating of Basalt from Gongpoquan Group in Yingmaotuo Area of the Beishan Mountain, Gansu Province, and Its Geological Significance

WANG Li-she¹⁾, YANG Jian-guo¹⁾, WANG Yu-xi¹⁾, LEI Yong-xiao¹⁾, XIE Chun-lin¹⁾,
CAO Hong-xia²⁾, YANG Peng-fei¹⁾, QI Ya-lin³⁾, GAO Ming⁴⁾

1) Xi'an Institute of Geology and Mineral Resources, Xi'an, Shannxi 710054;

2) Research Institute of Shannxi YanChang Petroleum Group, CO., LTD, Xi'an, Shannxi 710075 ;

3) Research Institute of Changqing Oil Field, Xi'an, Shannxi 710021;

4) No. 224 Geological Party, Shannxi Geological Bureau of Nuclear Industry, Xi'an, Shannxi 710024

Abstract: The U-Pb isotopic dating of zircon from basalt of Gongpoquan Group in Yingmaotuo area of the Beishan Mountain yields the ages of (333.1 ± 9.8) Ma and (358 ± 17) Ma. The former indicates that the basic rocks were formed in Early Carboniferous and the latter suggests that the Gongpoquan Group included some Devonian events. A comparative study of this discovery and fossils of Gongpoquan Group has led the authors to believe that this group is composed of Silurian, Devonian and Lower Carboniferous strata instead of merely Silurian strata. In other words, the effect of subduction and collision between the Tarim plate and the Kazakhstan plate probably continued into Lower Carboniferous.

Key words: Beishan Mountain; Gongpoquan Group; basalt; isotopic age

本文由中国地质调查局战略性矿产远景调查项目(编号: 矿调[2004]8-2 号)和中央地质勘查基金 2007 年度地质矿产勘查项目(编号: 2007651139)联合资助。

收稿日期: 2008-03-07; 改回日期: 2009-03-13。

第一作者简介: 王立社, 男, 1976 年生。助理研究员。主要从事地质矿产、构造调查研究工作。通讯地址: 710069, 陕西省西安市太白北路 229 号。电话: 029-87821985。E-mail: xawlishe@cgs.gov.cn。

位于新疆-甘肃-内蒙古交接处的北山造山带,属中亚古生代造山带,处在天山-兴蒙构造域的枢纽部位,介于西伯利亚板块、哈萨克斯坦板块和塔里木板块之间,是在前寒武纪稳定陆块基础上发育起来的多阶段构造-岩浆岩带,因此北山造山带的演化比较复杂。前人先后对其从构造、岩浆、地层等不同的方面进行了研究探讨(Coleman, 1989; 穆治国等, 1992; 左国朝等, 1995a; 修群业等, 1999; 刘明强等, 1999; 李伍平等, 2001; 任秉琛等, 2001; 龚全胜等, 2002; 刘晓春等, 2002; 聂凤军等, 2002a, 2002b, 2003; 洪大卫等, 2003; 江思宏等, 2003; 魏志军等, 2004; 郭召杰等, 2006; 杨合群等, 2006), 取得了较多的成果。但是由于工作程度的限制或探讨问题的角度不同, 现在仍然还有一些地质问题尚须解决。例如, 在北山营毛沱地区火石山的西北部及北部分布了一套由变灰绿色凝灰质石英砂岩、变深灰色长石石英砂岩、薄层灰黑色硅质板岩、安山玄武岩、玄武岩、细碧岩、凝灰岩及褐黄色含不规则燧石条带状及团块状的硅质白云岩、铁碧玉岩、含铁碳酸岩等组成的岩系, 该岩系在某些地段变质程度较深, 出现绢云绿泥石微晶片岩。对该岩系的地质时代目前尚无定论, 如早期 1:20 万牛圈子幅将其定为志留系公婆泉群(S_{2-3g}), 而新近完成的 1:25 万马鬃山幅区域地质调查报告将其划归长城系古铜井群(ChG), 作者等在进行 1:5 万营毛沱幅矿产地质调查过程中有目的地采集了该岩系变灰绿色凝灰质砂岩夹层中玄武岩样品进行同位素定年。

1 采样位置及样品特征

样品(玄武岩)采自距甘肃省苏北县马鬃山镇西约 50 km 的营毛沱地区(图 1), 在大地构造位置上位于红柳河-火石山-牛圈子深大断裂带北侧(地理坐标为 Y: 17254912; X: 4610310; H: 2203 m)。

该玄武岩为暗绿色, 呈 EW 向层状产出, 与南北两侧的变灰绿色凝灰质砂岩为整合接触关系。玄武岩普遍发生绿帘石化, 且在构造片理化带部位碳酸盐化较强。镜下观察岩石呈变余交织结构、块状构造; 原岩已受到强烈的次生变化; 原生结构已遭到破坏, 在局部可见到不太清晰基性斜长石细板条状晶体交错分布, 显示交织结构的特征; 斜长石也产生了一定程度的黝帘石化, 暗色矿物绝大多数次生变化为黑云母, 少部分次生变化为纤闪石; 岩石中还有较多副矿物磷灰石, 晶体较大者可达 0.15 mm, 磁铁矿约占 20%; 另外岩石中局部可见石英聚集团块, 表明岩石有轻微硅化现象。

测年样品重约 35 kg, 先在实验室利用鄂式机和一次对辊机、二次对辊机破碎后, 筛分出 32 目以下的矿物, 通过洗泥、摇床分选及手工精淘, 选出精矿烘干, 再通过电磁选和重液选, 最后挑选出锆石。锆石为褐黄色或浅褐黄色的双锥柱状、锥状及短柱状, 锆石透明度好, 具玻璃光泽, 极少量见细小暗色矿物包体, 晶面光滑、平整, 晶体轮廓清晰, 个别见沿横向裂纹。锆石粒径在 0.22 mm×0.14 mm~0.16 mm×0.04 mm 之间, 晶体长宽比为 2:1~4:1。

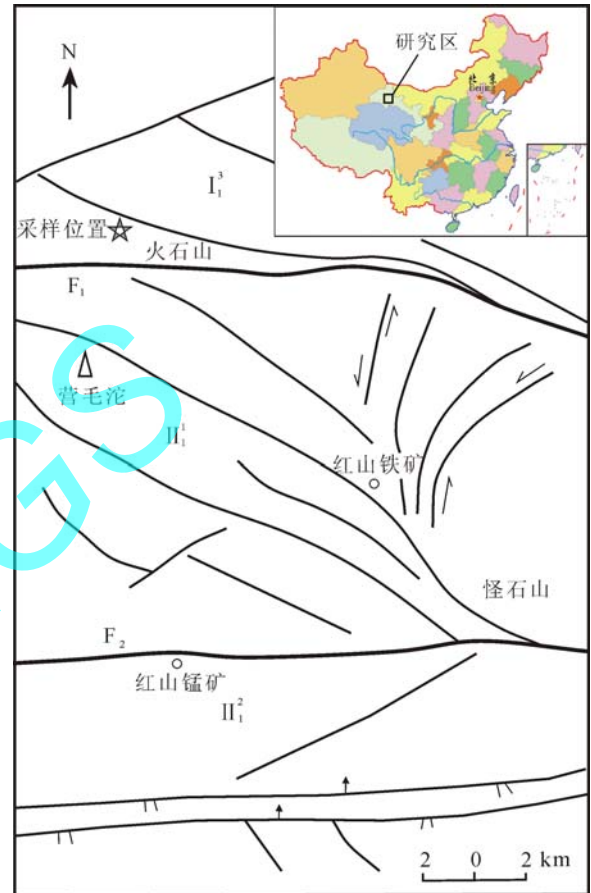


图 1 营毛沱地区构造略图及采样位置图

Fig. 1 Structural sketch map of Yingmaotuo area, showing sampling locations

F₁-红柳河-火石山-牛圈子断裂; F₂-庙庙井-双鹰山断裂带; I₁³-哈萨克斯坦早古生代活动陆缘带; I₁¹-营毛沱-牛圈子早古生代裂谷带; I₂²-黑山-双鹰山早古生代裂陷带; F₁-Hongliuhe-Huoshishan-Niujuanzi fault; F₂-Miaomiaojing-Shuangyingshan fault zone; I₁³-Early Paleozoic Kazakhstan active continental margin; I₁¹-Early Paleozoic Yingmaotuo-Niujuanzi rift zone; I₂²-Early Paleozoic Heishan-Shuangyingshan aulacogen

2 测试方法和标准

将分选出的锆石, 在双目镜下选择晶形好无明显包裹体及裂隙的锆石作为测定对象, 将其用 DEVCON 环氧树脂固定, 待充分固化后, 仔细抛光

至锆石露出核部, 对其进行锆石显微(反射光和透射光)照相、CL 显微成像研究及 LA-ICP-MS 分析。

锆石的 CL 图像分析是在北京大学物理学院扫描电镜室采用 Gatan 公司 MONOCL3 仪器完成。测试点的选择首先根据锆石反射光和透射光照片进行初选, 再与 CL 图像对比后选定。锆石 U-Pb 年龄测定在西北大学大陆动力学国家重点实验室进行, 所用仪器 ICP-MS 为 PerkinElmer/SCIEX 公司最新一代, 带有动态反应电池的四极杆 ICP-MS Elan6100DRC, 所采用的激光剥蚀系统为德国 MicroLas 公司生产的 GeoLas200M。本研究在标准模式下进行, 测试时激光束斑直径为 30 μm, 激光剥蚀样品的深度为 20~40 μm。实验中采用 He 作为剥蚀物质的载气, 用美国国家标准技术研究院研制的人工合成硅酸盐玻璃标准参考物质 NIST SRM610 和标准锆石 91500 进行仪器最佳化。数据处理及同位素比值计算采用 GLITTER(Version4.0)软件进行计算, 并按照 Andersen Tom 的方法(Andersen, 2002), 用 LAM- ICPMS common Lead Correction(ver3.15)对其进行了普通铅的矫正。U-Pb 年龄由 Isoplot(ver3.23)软件计算。详细分析步骤和数据处理方法以及仪器工作参数等参见柳小明等(2002)和袁洪林等(2003)文章。

3 测试结果及讨论

3.1 U-Pb 年龄

对选定的 6 颗锆石利用 30 μm 的激光剥蚀斑径分别在四颗锆石锆石的边部和两颗锆石的核部打点。由于有些环带宽度小于 30 μm, 因此不能保证每一个点只落在一个环带的区域内, U-Pb 同位素分析的差异和锆石 CL 相片均证实了这一点;此外, 谐和图显示样品有少量的放射成因 Pb 丢失使得数据点中心稍偏离谐和线, 但对年龄的新老并无大的影响;谐和图上锆石的数据点明显的分为两段即(358±17) Ma 和(333.1±9.8) Ma, 对照其 CL 图像发现(358±

17) Ma 为 和 号分析点的加权平均年龄, 而这两点正是位于锆石核心部位的点, 由于玄武岩为喷出岩, 其结晶年龄时间跨度 20~30 Ma 的可能性不大, 因此这个年龄可能代表了岩石中的捕获晶锆石或残留的继承性锆石。而锆石边部环带的(333.1±9.8) Ma 加权平均年龄则代表了玄武岩的生成年龄。

3.2 Th/U 值

对测试数据 Th/U 比值的计算结果(表 1)显示, 锆石 Th/U 值均大于 0.4, 特别是 、 、 、 点均大于 0.56, 图像环带清晰, 显示岩浆成因;而 和 Th/U 值稍低于 0.56, 而且颜色较暗, 对应的年龄也较老。此外绝大多数锆石的最外部发暗, 可能是受到蚀变或熔蚀的影响, 这与岩石镜下见到的整体特征一致。

4 结论和讨论

由西安地质矿产所修泽雷创名的古碛井群, 原始定义指分布于马鬃山、大红山、豹皮山及古碛井等地的一套紫红色、灰绿色砂岩、千枚岩、板岩、石英岩等。后经甘肃省地矿局重新定义:“指分布于额济纳旗南月牙山至古碛井一带, 位于下、中元古界间断面之上的一套浅海相的陆源碎屑岩, 局部夹灰岩凸镜体。识别标志是陆源碎屑石英含量大、粒度细、层薄、轻微变质及褐红色的风化面等宏观特征明显”。区域上古碛井群以不整合覆于下元古界敦煌岩群之上, 上界与圆藻山群碳酸盐岩为连续沉积。据 1:25 万马鬃山幅区调资料, 在马鬃山幅内(包含营毛沱地区)古碛井群大多呈构造岩片(断片)形式卷入逆冲推覆构造带, 或构成伸展变质核杂岩的上盘韧性层或脆性岩系。在营毛沱幅的火石山东北部、哈尔根头口布东部、西部及北部一些地区分布有古碛井群, 主要由灰黑色黑云石英片岩、大理岩、千枚岩夹石英岩组成。而分布在火石山西北处的是一套由变灰绿色凝灰质石英砂岩、变深灰色长石石英砂岩、薄层灰黑色硅质板岩、安山玄武岩、

表 1 火石山玄武岩中锆石的 LA-ICP-MS U-Pb 同位素分析结果
Table 1 LA-ICP-MS U-Pb data for zircons from Huoshishan basic rocks

序号	含量			Th/U	$\frac{n(^{207}\text{Pb})}{n(^{206}\text{Pb})} \pm \sigma$	$\frac{n(^{207}\text{Pb})}{n(^{235}\text{U})} \pm \sigma$	$\frac{n(^{206}\text{Pb})}{n(^{238}\text{U})} \pm \sigma$	年龄±σ(Ma)		
	^{206}Pb	Th	U					$\frac{n(^{207}\text{Pb})}{n(^{206}\text{Pb})}$	$\frac{n(^{207}\text{Pb})}{n(^{235}\text{U})}$	$\frac{n(^{206}\text{Pb})}{n(^{238}\text{U})}$
	/μg·g ⁻¹									
1	3.11	739.31	1015.62	0.72794	0.05442±0.00244	0.40577±0.01783	0.05407±0.00048	389±103	346±13	339±3
2	2.48	238.3	254.46	0.936493	0.05765±0.00288	0.41984±0.02053	0.05282±0.00052	517±112	356±15	332±3
3	2.28	251.63	460.89	0.545965	0.05524±0.00267	0.44089±0.02083	0.05788±0.00058	422±111	371±15	363±4
4	2.66	457.00	529.25	0.863486	0.05677±0.00237	0.41724±0.01702	0.05331±0.00046	483±94	354±12	335±3
5	1.17	602.68	1220.78	0.493684	0.05654±0.00163	0.44095±0.01229	0.05656±0.00043	474±65	371±9	355±3
6	5.91	359.02	639.46	0.561442	0.05562±0.00291	0.40205±0.02066	0.05243±0.00049	437±119	343±15	329±3

玄武岩、细碧岩、凝灰岩及褐黄色含不规则燧石条带状及团块状的硅质白云岩、铁碧玉岩、含铁碳酸岩等组成的岩系。不难看出两者在岩石类型及组合上差别较大。特别是后者常见夹有安山玄武岩、玄武岩等。“公婆泉群”一名系甘肃区测一队所创，创名地点为公婆泉铜矿区。其新定义为：“为中基性、中酸性火山岩、紫红色钙质砂砾岩(相变为灰岩或粉红色条带状大理岩)及数层生物碎屑灰岩，盛产珊瑚、腕足类、海百合茎、苔藓虫化石。并且顶底界线不清。”区域上公婆泉群主要沿公婆泉铜矿一带呈

近东西向分布，与其它时代地层(包括古铜井群)多呈断层接触。前人(杜刚等, 2003; 聂凤军等, 2002a; 戴霜等, 2003; 左国朝等, 1995b)对公婆泉群进行了详细研究，所作描述与上述一致。

前人对公婆泉群地质年代进行过较详细探讨，如左国朝等(1994)曾采到牙形刺化石，经中科院田树刚鉴定主要属种有 *Amarphognathrs* sp., *A. amarphognthiform*, *A. hrladontiporm*, *A. tetropriodiform*, *Paraspathlgnathus Obesus*, *Spathognathodus primas* 等。其中 *Paraspathlgnathus obesus* 是志留纪化石。窑洞努如一带，该群中产 *Halysites cf. mirandus*、*Favosites* sp., 长岭安山岩段中产珊瑚：*Favosites* sp., *Halysites* sp., *Stelliporella abnormis*, *Pataeifavosites* sp., *Multisolexis Tortuosa*; 腕足类 *Eospirifer* sp., 在上部安山岩段底部产珊瑚 *Favosites aff. latus* 及 *Mesofavosites* sp. 等。这些化石组合面貌与北祁连泉脑沟山组、西伯利亚地台中志留世温洛克期地层中所含珊瑚化石面貌相似。但 *Mesofavosites*、*Halysites* 等在西伯利亚未出现。因此该古生物群更具有我国华南和西伯利亚生物区的混生特点。虽然所见腕足类其时代大多为志留世前后，但部分可延至泥盆纪或二叠纪(1:25 万马鬃山区调查报告)，这种情况与本文报道的同位素年龄一致，从而提出公婆泉群的时代不仅仅是局限于志留纪，极有可能延续到早石炭世(玄武岩成年龄为(333.1±9.8) Ma)。前人(左国朝等, 1990; 于福生等, 2000; 戴霜等, 2003)的研究结果表明公婆泉群为活动陆缘(岛弧)型火山-沉积岩系。大地构造位置上，公婆泉群出露于红柳河-火石山-牛圈子蛇绿混杂岩带的北侧，根据西安地质矿产研究所何世平等(2005)和王立社等(2007)的研究结果，公婆泉群是由于塔里木板块向哈萨克斯坦板块俯冲而形成的，俯冲运动在中志留世之前就已经开始。现今公婆泉群中测得的玄武岩同位素年龄，表明塔里木板块和哈萨克斯坦板块的俯冲碰撞效应可能一直持续到早石炭世。

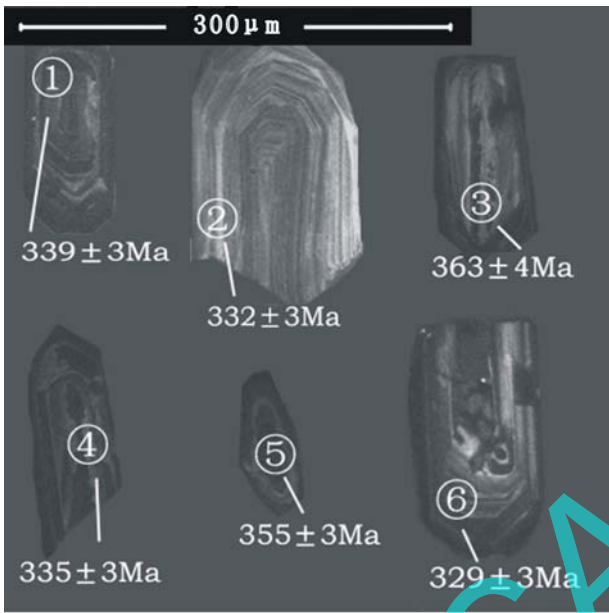


图2 火石山玄武岩中锆石的阴极发光电子图像
 Fig. 2 CL images of zircons from Huoshishan basic rocks
 圈内数字表示 U-Pb 分析点，其它数据表示 ²⁰⁶Pb/²³⁸U 表面年龄
 Numbers in the circle represent U-Pb analytical spots, whereas other numbers represent ²⁰⁶Pb/²³⁸U ages

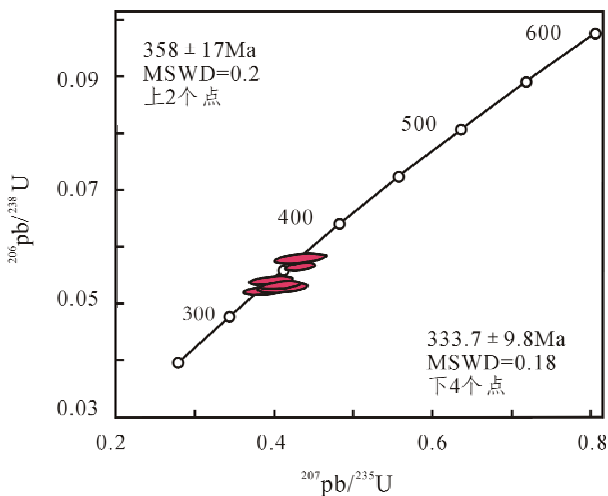


图3 火石山玄武岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄谐和图
 Fig. 3 Concordia diagrams showing U-Pb analyses of zircons from Huoshishan basic rocks

致谢：李智佩、宋忠宝研究员给予辛勤指导，李行、秦克令研究员、王静平工程师、陈隽路博士一同参加了野外工作，本文测试数据得到柳小明教授、田新红老师、刘军锋、第五春荣、林慈奎、张红同志等的热情帮助，在此一并感谢！

参考文献：

戴霜, 方小敏, 张翔, 王方成, 任育智, 高兆奎, 雷天柱, 程或. 2003. 塔里木-中朝板块北缘志留纪公婆泉群火山岩地球化学及构造意义[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 39(4): 80-87.

- 杜刚, 李卫红, 杨文彬, 王伟, 白云来. 2003. 勒巴泉-公婆泉绿弧主要特征及动力学背景[J]. 甘肃地质学报, 12(1): 16-20.
- 龚全胜, 刘明强, 李海林, 梁明宏, 代文军. 2002. 甘肃北山造山带类型及基本特征[J]. 西北地质, 35(3): 28-35.
- 郭召杰, 史宏宇, 张志诚, 张进江. 2006. 新疆甘肃交界红柳河蛇绿岩中伸展构造与古洋盆演化过程[J]. 岩石学报, 22(1): 95-102.
- 何世平, 周会武, 任秉琛, 姚文光, 付力浦. 2005. 甘肃内蒙古北山地区古生代地壳演化[J]. 西北地质, 38(03): 6-15.
- 洪大卫, 王式洸, 谢锡林, 张季生, 王涛. 2003. 从中亚正 ϵ Nd值花岗岩看超大陆演化和大陆地壳生长的关系[J]. 地质学报, 77(2): 203-209.
- 江思宏, 聂凤军, 陈文, 刘妍, 白大明, 刘新宇, 张思红. 2003. 北山明水地区花岗岩时代的确定及其地质意义[J]. 岩石矿物学杂志, 22(2): 107-111.
- 李伍平, 王涛, 李金宝, 康旭, 于福生, 韩庆军, 马中平. 2001. 东天山红柳河地区海西期花岗岩的岩石学、地球化学及其构造环境[J]. 地质论评, 47(4): 368-375.
- 刘明强, 龚全胜, 梁明宏. 1999. 甘肃北山地区音凹峡多旋回裂谷带[J]. 甘肃地质学报, 18(2): 15-23.
- 刘晓春, 吴淦国, 陈柏林, 舒斌. 2002. 甘肃北山榴辉岩的变质历史[J]. 地球学报, 23(1): 25-29.
- 柳小明, 高山, 袁洪林, Bodo Hatten, Dorf G ü nther, 陈亮, 胡圣红. 2002. 193 nm LA-ICP-MS 对国际地质标准参考物质中 42 种主量和微量元素的分析[J]. 岩石学报, 18(3): 408-418.
- 陆远发. 2004. Geokit: 一个用 VBA 构建的地球化学工具软件包[J]. 地球化学, 33(5): 459-464.
- 穆治国, 刘弛, 黄宝玲, 侯贵廷, 左国朝, 刘春燕, 冯永忠. 1992. 甘肃北山地区同位素定年与构造岩浆热事件[J]. 北京大学学报(自然科学版), 28(4): 486-497.
- 聂凤军, 江思宏, 白大明, 张义, 赵月明, 王新亮. 2003. 北山中南带海西-印支期岩浆活动与金的成矿作用[J]. 地球学报, 24(5): 415-422.
- 聂凤军, 江思宏, 白大明, 王新亮, 苏新旭, 李景春, 刘妍, 赵省民. 2002a. 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, 1-200.
- 聂凤军, 江思宏, 刘妍, 陈文, 刘新宇, 张思红. 2002b. 甘肃花牛山东钾长花岗岩 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 同位素年龄及其地质意义[J]. 地质科学, 37(4): 415-422.
- 任秉琛, 何世平, 姚文光, 傅力浦. 2001. 甘肃北山牛圈子蛇绿岩铷锶同位素年龄及其大地构造意义[J]. 西北地质, 34(2): 21-27.
- 王立社, 杨建国, 谢春林, 王育习. 2007. 甘肃北山火山地区早古生代蛇绿混杂岩的发现及其地质意义[J]. 现代地质, 21(3): 451-456.
- 魏志军, 黄增保, 金霞, 孙永君, 火军昌. 2004. 甘肃红石山地区蛇绿混杂岩地质特征[J]. 西北地质, 37(1): 13-18.
- 修群业. 1999. 甘肃北山地区花岗岩类地球化学特征及大地构造意义[J]. 前寒武纪研究进展, 22(1): 32-40.
- 杨合群, 李英, 杨建国, 李文明, 杨林海, 赵国斌, 叶得金, 赵彦青, 赵建国, 沈存利, 王新亮, 苏新旭. 2006. 北山造山带的基本成矿特征[J]. 西北地质, 39(2): 78-85.
- 于福生, 王春英, 漆家福, 王涛. 2000. 甘新交界红柳河地区早志留世蛇绿混杂岩的厘定及大地构造意义[J]. 矿物岩石, 20(4): 60-66.
- 袁洪林, 吴福元, 高山, 柳小明, 徐平, 孙德有. 2003. 东北地区新生代侵入岩的激光铅石探针 U-Pb 年龄测定与稀土元素成分分析[J]. 科学通报, 48(4): 1511-1520.
- 左国朝, 何国琦. 1990. 北山板块构造及成矿规律[M]. 北京: 北京大学出版社, 6-167.
- 左国朝, 金松桥, 冯铁全. 1994. 甘肃省公婆泉群发现牙形石[J]. 中国区域地质, (02): 185.
- 左国朝, 金松桥, 冯铁全. 1995b. 甘肃公婆泉地区志留纪弧盆体系前寒武纪基底的发现及找矿意义[J]. 西北地质科学, 16(1): 104-115.
- 左国朝, 刘义科, 刘春燕. 1995a. 甘新蒙北山地区构造格局及演化[J]. 甘肃地质学报, 12(1): 1-15.

References:

- ANDERSEN T. 2002. Correction of common lead in U-Pb analyses that do not report ^{204}Pb [J]. Chemical Geology, 192: 59-79.
- COLEMAN R G. 1989. Continental growth of northwest, China[J]. Tectonics, 8(3): 621-635.
- DAI Shuang, FANG Xiao-min, ZHANG Xiang, WANG Fang-cheng, REN Yu-zhi, GAO Zhao-kui, LEI Tian-zhu, CHEN Yu. 2003. Island arc north of the Tarim-SK plate: the geology and geochemistry of Gongpoquan Group[J]. Journal of Lanzhou University(Natural Science Edition), 39(4): 80-87(in Chinese with English abstract).
- DU Gang, LI Wei-hong, WANG Wei, BAI Yun-lai. 2003. The main characteristics of Ldbaquanqun-Gongpoquanqun epicontinental arc and the dynamic background for ilts forming in the contiguous area across Gansu, Xinjiang and Inner Mongolia[J]. Acta Geologica Gansu, 12(1): 16-20 (in Chinese with English abstract).
- GONG Quan-sheng, LIU Ming-qiang, LI Hai-lin, LIANG Ming-hong, DAI Wen-jun. 2002. The type and basic characteristics of Beishan orogenic belt, Gansu[J]. Northwestern Geology, 35(3): 28-35 (in Chinese with English abstract).
- GUO Zhao-jie, MA Rui-shi, GUO Ling-zhi, SHI Yang-shen. 1993. A comparative study on three ophiolitic melange belts in eastern Xinjiang[J]. Geological Review, 39(3): 236-247(in Chinese with English abstract).
- HE Shi-ping, ZHOU Hui-wu, REN Bing-chen, YAO Wen-guan, FU Li-pu. 2005. Crustal evolution of Palaeozoic in Beishan area, Gansu and Inner Mongolia, China [J]. Northwestern Geology, 38(03): 6-15(in Chinese with English abstract).
- HONG Da-wei, WANG Shi-guang, XIE Xi-lin, ZHANG Ji-sheng, WANG Tao. 2003. Correlation between continental crustal growth and the supercontinental cycle: evidence from the granites with positive Nd in the Central Asian orogenic belt[J]. Acta Geologica Sinica, 77(2): 203-209(in Chinese with English abstract).
- JIANG Si-hong, NIE Feng-jun, CHEN Wen, LIU Yan, BAI Da-ming, LIU Xin-yu, ZANG Si-hong. 2003. The determination of the emplacement age of granite in Mingshui, Beishan area, and its impl ication[J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 22 (2): 107-111(in Chinese with English abstract).
- LI Wu-ping, WANG Tao, LI Jin-bao, KANG Xu, YU Fu-sheng, HAN Qing-jun, MA Zhong-ping. 2001. Petrology, geochemistry of hercynian granites of Hongliuhe area and its tectonic setting in eastern Tianshan mountains, western China[J]. Geo-

- logical Rivew, 47(4): 368-375(in Chinese with English abstract).
- LIU Ming-qiang, GONG Quan-sheng, LIANG Ming-hong. 1999. Yinwaxia polycyclic rift zone in Beishan area in Gansu province[J]. *Acta Geologica Gansu*, 18(2): 15-23(in Chinese with English abstract).
- LIU Xiao-chun, WU Gan-guo, CHEN Bo-lin, SHU Bin. 2002. Metamorphic history of eclogites from Beishan, Gansu province[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 23(1): 25-29(in Chinese with English abstract).
- LIU Xiao-ming, GAO Shan, YUAN Hong-lin, HATTENDORF B, GÜNTHER D, CHEN Liang, HU Sheng-hong. 2002. Analyses of 42 major and trace elements in glass standard reference materials by 193 nm LA-ICP-MS[J]. *Acta Petrological Sinica*, 18(3): 408-418(in Chinese with English abstract).
- LU Yuan-fa. 2004. GeoKit- A geochemical toolkit for Microsoft Excel[J]. *Geochimica*, 33(5): 459-464(in Chinese with English abstract).
- MU Zhi-guo, LIU Chi, HUANG Bao-ling, et al. 1992. The isotope age-dating and tectonics thermal events in the Beishan region, Gansu Province[J]. *Universitatis Pekinensis (Acta Scientiarum Naturalium)*, 28(4): 486-497(in Chinese with English abstract).
- NIE Feng-jun, JIANG Shi-hong, ZHAO Xin-min, BAI Da-ming. 2002. Geological features and origin of the Zhaobishan gold deposits in Beishan region, NW China[J]. *Chinese Journal Of Geology*, 37(2): 207-218(in Chinese with English abstract).
- NIE Feng-jun, JIANG Si-hong, BAI Da-ming, WANG Xin-liang, SU Xin-xu, LI Jing-chun, LIU Yan, ZHAO Sheng-min. 2002a. Metallogenic studies and ore prospecting in the Conjunction area of inner Mongolia autonomous region, Gansu province and Xinjiang uygur autonomous region, Northwest China[M]. *Gwological Publishing House*, 1-200(in Chinese with English abstract).
- NIE Feng-jun, JIANG Si-hong, BAI Da-ming, ZHANG Yi, ZHAO Yue-ming, WANG Xin-liang. 2003. Hercynian-Indosinian Magmatic activities and gold metallogeny in central and southern Beishan region, Northwest China[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 24(5): 415-422(in Chinese with English abstract).
- NIE Feng-jun, JIANG Si-hong, LIU Yan, CHEN Wen, LIU Xin-yu, ZHANG Si-hong. 2002b. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ Isotopic Age Dating on K-Feldspar separates from Eastern Huaniushan Granite, Gansu Province, and its Geological Significance[J]. *Chinese Journal of Geology*, 37(4): 415-422(in Chinese with English abstract).
- REN Bing-chen, HE Shi-ping, YAO Wen-guang, FU Li-pu. 2001. Rb-Sr-isotope age of Niuquanzi ophiolite and its tectonic significance in Beishan district, Gansu[J]. *Northwestern Geology*, 34(2): 21-27(in Chinese with English abstract).
- WANG Li-she, YANG Jian-guo, XIE Chun-lin, WANG Yu-xi. 2007. The discovery and geological significance of an early Paleozoic ophiolite mé lange belt in the Huoshishan part of Beishan Mountain, Gansu Province, China[J]. *Geoscience*, 21(3): 451-456(in Chinese with English abstract).
- WEI Zhi-jun, HUANG Zeng-bao, JIN Xia, SUN Yong-jun, HUO Jun-chang. 2004. Geological characteristics of ophiolite migmatitic complex of Hongshishan region, Gansu[J]. *Northwestern Geology*, 37(1): 13-18(in Chinese with English abstract).
- XIU Qun-ye. 1999. Geochemical characteristics and tectonic significance of the granitoids in Beishan Area, Gansu Province[J]. *Progress in Precambrian Research*, 22(1): 32-40(in Chinese with English abstract).
- YANG He-qun, LI Ying, YANG Jian-guo, LI Wen-ming, YANG Lin-hai, ZHAO Guo-bin, YE De-jin, ZHAO Yan-qing, ZHAO Jian-guo, SHEN Cun-li, WANG Xin-liang, SU Xin-xu. 2006. Main metallogenic characteristics in the Beishan Orogen[J]. *Northwestern Geology*, 39(2): 78-95(in Chinese with English abstract).
- YU Fu-sheng, WANG Chun-ying, QI Jia-fu, WANG Tao. 2000. The clarification and tectonic implication of the early Silurian ophiolite melange in Hongliuhe Area[J]. *Journal of Mineralogy and Petrology*, 20(4): 60-66(in Chinese with English abstract).
- YUAN Hong-lin, WU Fu-yuan, GAO Shan, LIU Xiao-ming, XU Ping, SUN De-hou. 2003. LA-ICP-MS zircon U-Pb age and Ree of cenozoic pluton in NE China[J]. *Chinese Science Bulletin*, 48(14): 1511-1520(in Chinese with English abstract).
- ZUO Guo-chao, HE Guo-qi. 1990. Plate Tectonics and Metallogenic Regularities in Beishan, China[M]. Beijing: Peking University Press, 6-167(in Chinese with English abstract).
- ZUO Guo-chao, JIN Song-qiao, FENG Tie-quan. 1994. The discovery of conodonts from Gongpoquan group in Gansu province[J]. *Regional Geology Of China*, (02): 185(in Chinese with English abstract).
- ZUO Guo-chao, JIN Song-qiao, FENG Tie-quan. 1995. The discovery of Precambrian basement in arc-basin system of Silurian and its significance for prospecting in Gongpoquan area, Gansu[J]. *Northwest Geoscience*, 16(1): 104-115(in Chinese with English abstract).
- ZUO Guo-chao, LIU Yi-ke, LIU Chun-yan. 1995. Framework and evolution of the tectonics structure in Beishan area across Gansu province, Xijiang autonomous region and inner Mongolia autonomous region[J]. *Acta Geologica Gansu*, 12(1): 1-15(in Chinese with English abstract).