

# 准噶尔盆地及其周缘地区晚古生代火山机构分布与发育环境分析\*

毛翔<sup>1,2</sup> 李江海<sup>1,2</sup> 张华添<sup>1,2</sup> 王洛<sup>3</sup>

MAO Xiang<sup>1,2</sup>, LI JiangHai<sup>1,2</sup>, ZHANG HuaTian<sup>1,2</sup> and WANG Luo<sup>3</sup>

1. 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

2. 北京大学石油与天然气研究中心, 北京 100871

3. 中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081

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

2. Institute of Oil and Gas, Peking University, Beijing 100871, China

3. Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100081, China

2011-07-08 收稿, 2012-01-03 改回.

**Mao X, Li JH, Zhang HT and Wang L. 2012. Study on the distribution and developmental environment of the Late Paleozoic volcanoes in Junggar Basin and its adjacent areas. *Acta Petrologica Sinica*, 28(7):2381–2391**

**Abstract** This paper collects and analyses the 145 Paleozoic volcanoes in north Xinjiang, including 32 volcanoes on the edge of Junggar Basin, which are clustered mainly in Boluokenu Mountain, Bogeda Mountain, Tuoli gold belt and Kerameili Mountain. They can be divided into 3 classes, such as calderas, volcanic domes and volcano vents (volcano necks). There are also 85 volcanoes in Junggar Basin, which are primarily in the Ke-Bai fractured zone of the northwestern margin of Junggar Basin, 3 depressions (Dongdaohaizi depression, Dishuiquan depression, Sannan depression and Wucuiwan depression) and 7 uplifts (Baijiahai uplift, Beisantai uplift, Dibeil uplift, Dinan uplift, Sangequan uplift, Shixi uplift and Xiayan uplift). The volcanoes inside the basin are principally controlled by Hercynian fault systems, along NE and near EW trending faults and most developed in the interjunctions of the faults. The modification by late-stage weathering and leaching made the volcanoes difficult to identify. Remaining volcanic landforms, changing trends of the volcanic lithofacies and the typical volcanic rock, such as the crypto-explosive breccia, are the typical marks of the Late Paleozoic volcanoes in the field; and the concealed volcanic edifices are identified by the techniques of seismic identification, such as seismic slicing, analysis of the attribute and tectonic trend plane. The ages of the volcanic rocks are focused on from 340Ma to 320Ma and from 300Ma to 295Ma, corresponding to the subducting periods of West Junggar and East Junggar. From Early Carboniferous to Late Carboniferous, the volcanic activities in Junggar Basin and its adjacent areas show a variation trend from undersea to continental, from deep water to shallow water and from continental margin to intracontinental.

**Key words** Junggar Basin; Late-Paleozoic; Volcanoes' distribution; Sedimentary environment

**摘要** 本文收集了北疆地区已报道的 145 处晚古生代火山机构信息。其中, 准噶尔盆地周缘 32 处, 主要集中分布于博罗科努山、博格达山以及克拉美丽山, 包括破火山口、火山穹窿、火山通道(火山颈)等多种火山机构类型; 准噶尔盆地盆内火山机构 85 处, 主要分布在西北缘克百断裂带和盆地腹部的四处凹陷(三南凹陷、东道海子凹陷、滴水泉凹陷和五彩湾凹陷)及七处凸起(白家海凸起、石西凸起、夏盐凸起、三个泉凸起、滴北凸起、滴南凸起和北三台凸起)。盆内火山机构分布主要受海西期断裂系控制, 大致沿着 NE、近 EW 两个方向的断裂展布, 并在断裂交汇部位最为发育。由于后期改造, 晚古生代火山机构普遍遭受剥蚀, 且发生强烈变形和风化、淋滤改造, 野外识别主要依靠残留地貌特征、火山岩相变化趋势及引爆角砾岩等特征岩性; 地震识别则主要依靠地震切片、属性分析及构造趋势面分析等手段。准噶尔盆地晚古生代火山岩年龄集中于 340~320Ma, 300~295Ma, 分别对应东、西准噶尔岛弧俯冲时期。自早石炭世至晚石炭世, 准噶尔盆地及邻区火山活动具有自水下向水上、深水向浅水、陆缘向陆内转换的变化趋势。

**关键词** 准噶尔盆地; 晚古生代; 火山机构分布; 沉积环境

**中图法分类号** P317.5; P586

\* 本文受国家重点基础研究发展计划“973 项目”(2009CB219302)资助。

第一作者简介: 毛翔, 男, 1986 年生, 博士生, 构造地质学专业, E-mail: maoxiang.pku@163.com

准噶尔盆地所属的古亚洲洋构造域处在晚古生代古亚洲洋逐渐消亡、洋壳消减、陆壳尚未完全形成的转换时期,地壳活动性强烈,火山活动频繁。火山岩地层的分布约占整个盆地面积的三分之二。

对于准噶尔盆地晚古生代火山活动时期的构造背景与沉积环境,前人已做了大量的研究,如: Windley *et al.* (2007)、Abrajevitch *et al.* (2008)和 Choulet *et al.* (2012)等从中亚造山带的演化入手研究了准噶尔盆地的构造背景;王方正等(2002)、赵霞等(2008)和吴小奇等(2009)从地球化学角度对准噶尔盆地五彩湾、陆梁等地区的构造环境进行了研究;吴晓智等(2008)和靳军等(2009)对整个准噶尔盆地甚至整个北疆地区石炭系的沉积环境进行了分析等。但是,针对火山机构分布的研究多局限于准噶尔盆地内的局部区域(如,李军,2008;周路等,2008;雷天柱等,2008),全盆范围的研究则多针对于火山岩的分布(如,吴晓智等,2008;何登发等,2010),尚没有针对整个准噶尔盆地范围内火山机构特征、分布及其发育环境的研究。

近年来,对准噶尔盆地西北缘断裂带、东准噶尔陆东-五彩湾克拉美丽等地区上古生界火山岩油气勘探取得的大量突破表明,石炭-二叠系火山岩已成为准噶尔盆地油气勘探的重要目标层。火山机构是岩浆出露地表的通道,其规模、分布特征对于研究火山岩和火山岩储层具有重要的指导作用。本次研究从收集前人在准噶尔盆地及其邻区露头和地震勘探报道的火山机构入手,结合野外考察,系统地总结了全盆范围内火山机构的分布特征,并结合前人相关火山活动期间的沉积环境、火山岩年龄和地球化学特征的研究,对火山活动期间的构造环境进行了分析。这项工作为准噶尔盆

地火山岩油气区的地震、测井分析提供依据和参考模型。

## 1 区域地质背景

准噶尔地块位于中亚造山带中部,是中亚哈萨克山弯构造的最东段,为西伯利亚-哈萨克斯坦板块和天山所界限,传统上划分为东、西准噶尔地块和准噶尔盆地(图1; Chen and Jahn, 2004; Shen *et al.*, 2009; Zhang *et al.*, 2009; Long *et al.*, 2012; Yang *et al.*, 2011)。晚古生代准噶尔洋向哈萨克斯坦活动边缘俯冲形成了若干增生楔和岩浆弧(Windley *et al.*, 2007; Abrajevitch *et al.*, 2008; Choulet *et al.*, 2012),准噶尔盆地构造体制出现重大转折,盆内沉积在石炭纪出现了从海相到陆相的转变(Chen and Jahn, 2004; Zhang *et al.*, 2009c)。

准噶尔盆地是典型的叠合盆地,主要经历了古生代末期岛弧增生、陆块拼合、中生代初热点型伸展,以及新生代南缘前陆盆地发育三大构造演化阶段。对于盆地构造基底的认识目前尚不统一,主要观点包括:古老结晶基底(彭希龄, 1994)、洋壳或含有微陆块的洋壳(肖序常等, 1992)、受晚古生代岩浆作用强烈改造的前寒武纪结晶基底(韩宝福等, 1999)、晚古生代火山岩及少量页岩、凝灰岩(Zheng *et al.*, 2007)。古生代时,准噶尔盆地基底周围经历了多期小洋盆演化,并在该区保留了相应蛇绿岩套(陈发景等, 2005),包括:唐巴勒(晚寒武-早奥陶世)、玛依内(志留纪)、达拉布特、卡拉麦里(早-中泥盆世)、阿尔曼太(中-晚泥盆世)和北天山巴音沟(早石炭世)。石炭纪中后期,准噶尔盆地经历了造山期后裂陷槽的开启-闭合阶段(肖序常等, 1992)。二叠纪开始,准噶尔盆地已形成独立盆地(张朝军, 2005),并进入了陆

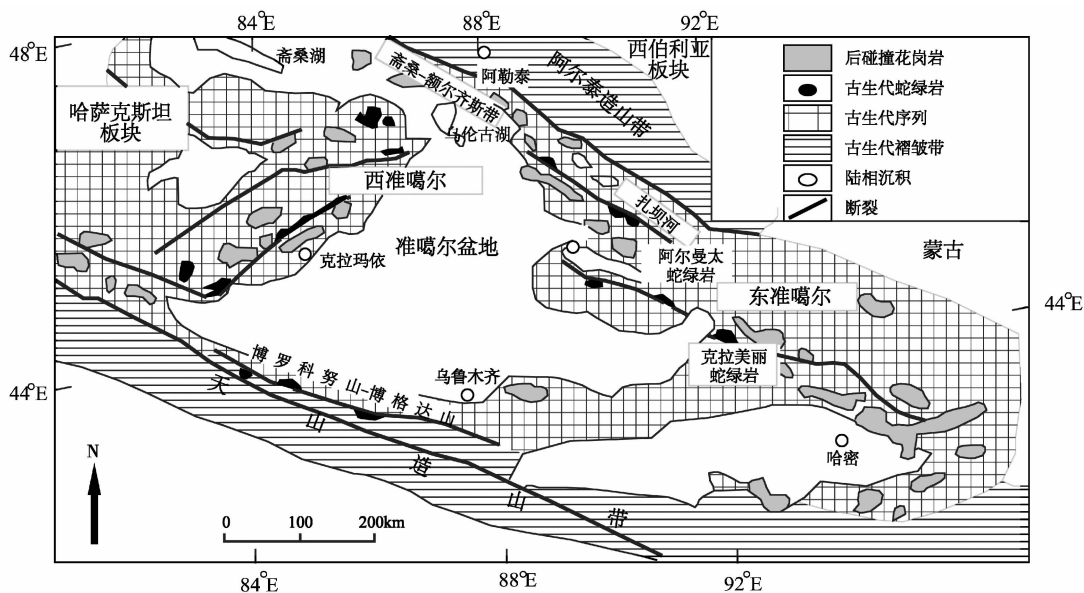


图1 准噶尔地块地质简图(据 Xiao *et al.*, 2011 修改)

Fig. 1 Simplified geological map of the Junggar terrane in northern Xinjiang, NW China (after Xiao *et al.*, 2011)

内盆地发育阶段,陈发景等(2005)通过沉积旋回的研究将其分为:早二叠世裂谷,二叠世中期裂谷期后弱伸展拗陷,晚期弱缩短挠曲拗陷,早三叠世-晚三叠世早期弱伸展拗陷,晚三叠世晚期弱缩短挠曲拗陷,早、中侏罗世弱伸展拗陷,中、晚侏罗世小型陆内前陆拗陷,早白垩世稳定大陆内拗陷,晚白垩世弱缩短挠曲拗陷,古近纪稳定大陆内拗陷。在准噶尔盆地南缘,受喜山运动影响,发育有新近系-第四系早更新世陆内前陆盆地(He *et al.*,2008)。

## 2 准噶尔盆地及其邻近地区火山机构分布

北疆地区共发现、识别出晚古生代火山机构 145 处,其中,32 处位于周缘,113 处位于准噶尔及三塘湖盆内(图 2;新疆维吾尔自治区地矿局,1992a, b; 杨忆和沈远超,1992;新疆维吾尔自治区地方志编纂委会,1997,2002; 邢秀娟,2004; 张超等,2005; 朱志新等,2005; 雷天柱等,2008; 李军,2008; 周路等,2008; 王绪龙等,2010; 曹积新,2010; 李社平,2011)。

准噶尔地区晚古生代火山机构经历长期风化、剥蚀,其

中埋藏区火山机构又被后期沉积所覆盖,均难以保存火山机构完整的外貌特征。一般而言,野外古火山机构多通过寻找火山口、火山通道进行识别,最为常见的识别方法包括:1)通过火山机构的残留地貌特征来识别,如正地貌,放射状、环状水系或断裂等;2)通过火山岩相的变化趋势来识别,通常距离火山口或火山通道由远及近依次分布火山沉积相(常见凝灰岩、沉角砾岩),溢流相(常见玄武岩、安山岩),爆发相(常见凝灰岩、火山角砾岩、火山集块岩),近火山口相(常见闪长岩、辉绿岩)以及火山通道相(常见柱状节理);3)通过特征岩性识别,如隐爆角砾岩,常位于火山机构下部火山口附近,属于火山通道相,是野外识别火山通道的主要标志,东准噶尔地区火山机构多出露隐爆角砾岩(谭佳奕等,2010)。

埋藏火山机构的识别一般通过三种地震学方法(刘洪林等,2008; 邵锐等,2011):1)地震相干分析技术及地震切片,火山机构的特殊地震反射特征导致在层相干切片上显示出杂乱细碎的反射特征,而向外的火山灰堆积和溢流岩浆分布区的地震特征则比较连续,为较强相位的反射,火山地层倾角大,波峰波谷变化频率很高,同相轴显得很窄,呈密集状分布,由此可识别火山机构;2)属性及属性分析,火山形态整体呈丘形,火山岩层多以火山口为中心对称倾斜,对于保存

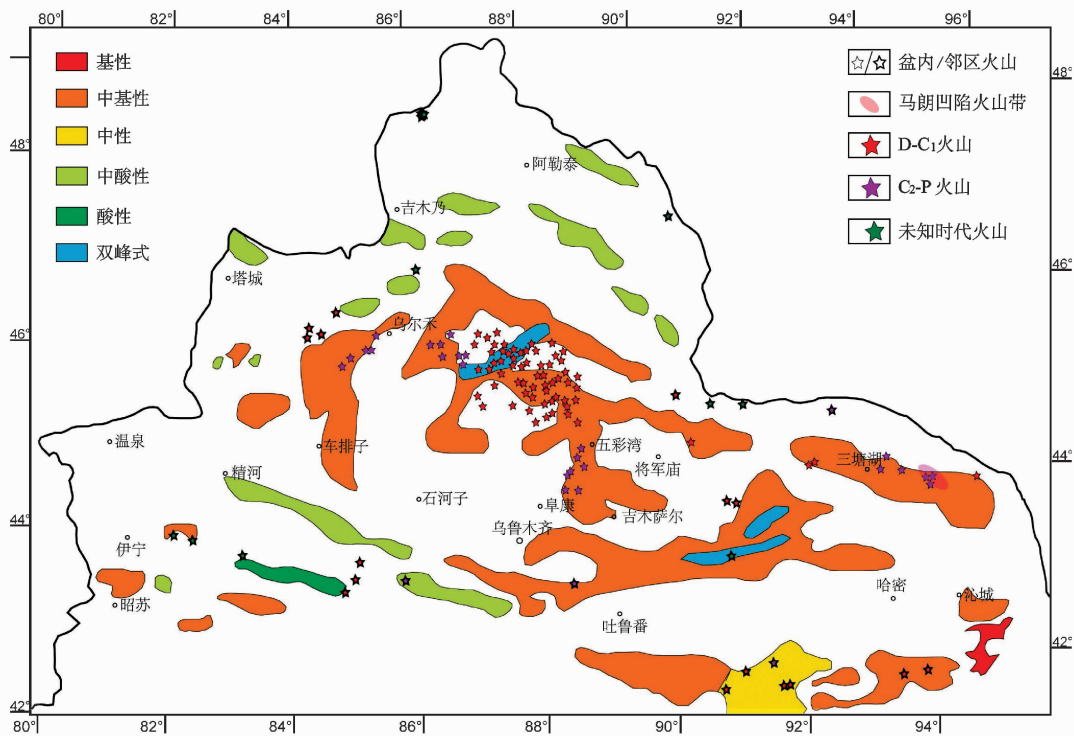


图 2 北疆火山机构与石炭系-下二叠统火山岩分布图

火山岩分布据吴晓智等,2009. 火山分布据新疆维吾尔自治区地矿局,1992a, b; 杨忆和沈远超,1992; 新疆维吾尔自治区地方志编纂委会,1997,2002; 邢秀娟,2004; 张超等,2005; 朱志新等,2005; 雷天柱等,2008; 李军,2008; 周路等,2008; 王绪龙等,2010; 曹积新,2010; 李社平,2011

Fig. 2 Map showing the distribution of volcanoes and Carboniferous-Lower Permian volcanic rocks in northern Xinjiang

Volcanic rocks after Wu *et al.*,2009. Volcanoes after BGMRX, 1992a, b; Yang and Shen, 1992; LCEBX, 1997, 2002; Xing, 2004; Zhang *et al.*, 2005; Zhu *et al.*,2005; Lei *et al.*,2008; Li, 2008; Zhou *et al.*,2008; Wang *et al.*,2010; Cao, 2010; Li, 2011

较好的火山机构, 两侧倾斜的方位是完全相反的, 由此可识别火山机构; 3) 根据构造趋势面分析技术识别火山机构, 为研究区目的层段从深到浅的各向异性切片, 从各向异性切片上可以直观地看出从火山根部到火山口的火山演化过程。

## 2.1 准噶尔盆地周缘火山机构分布及其特征

在准噶尔盆地周缘共报道火山机构 32 处, 主要集中于博罗科努山、博格达山、托里金矿带、哈巴河以及克拉美丽山, 此外吐哈盆地南部还有一些火山机构呈“V”型分布。准噶尔盆地周缘发现的火山机构涵盖破火山口、火山穹窿、层状火山、锥状火山等多种(残余)火山机构类型。

破火山口包括爆发破火山口和塌陷破火山口两类, 分布数量较多, 常具有以下特征: ①破火山口形态多为圆形或椭圆形中心下凹的盆地; ②面积  $1 \sim 5 \text{ km}^2$ ; ③破火山口内出露的火山岩及火山碎屑岩呈环形分布; ④内部岩层产状平缓, 并向中心倾斜, 外围产状变陡; ⑤常有 1 个或多个火山通道, 但多被充填, 火山颈具有环带状构造; ⑥破火山口在平面上呈圆形、椭圆形或环形磁异常; ⑦破火山口内的火山碎屑岩常发育强烈的围岩蚀变, 并且分带; ⑧塌陷破火山口内分布有塌陷角砾岩。研究区内主要破火山口实例以托里县哈图-灰绿山-满洞山-红旗金矿一线及查干诺尔出露的火山机构为代表。

准噶尔盆地周缘火山穹窿以黑尖山特征最为突出: ①岩层呈环状分布, 向外倾斜; ②顶部倾角平缓, 一般为  $10^\circ \sim 20^\circ$ , 向边部逐渐变陡; ③在穹窿顶部中央一般存在 1 个到几个火山通道, 但多被充填, 通道直径约  $1 \text{ km}$  左右; ④在通道周围存在断续环状分布的火山角砾岩。此外, 阿奇山地区的红山爆发岩钟也是一种火山穹窿构造。

准噶尔盆地周缘古火山机构大多经历严重的风化剥蚀,

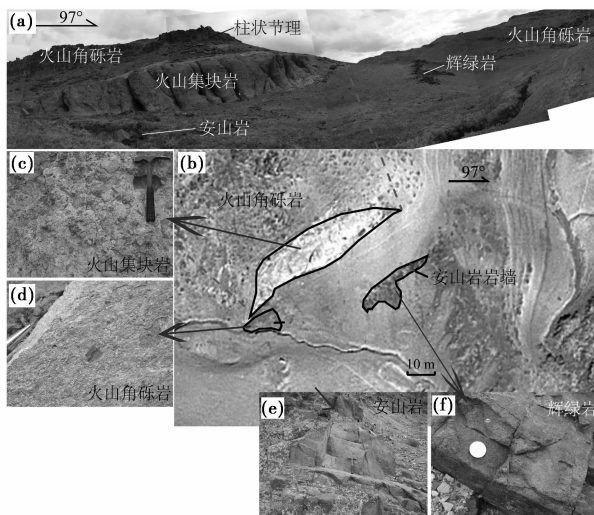


图 3 大石头火山野外照片(a, c-f)及遥感图像(b)

Fig. 3 Field photographs (a, c-f) and satellite image (b) of Dashitou volcano

很多都只保留了火山通道与火山颈, 因此火山通道与火山颈是本区内最为常见的古火山机构, 其特征包括 ①多位于破火山口中心或火山穹窿顶部; ②形态上多为圆形、椭圆形或近圆形; ③直径一般  $200 \sim 500 \text{ m}$ , 但几十米与近千米的也有发现; ④通道周围环形、放射状裂隙分布; ⑤通道四周常有蚀变带; ⑥岩体柱状节理发育, 某些可见斑状构造和流动构造; ⑦岩体与围岩接触带陡立。

大石头火山是野外火山通道的典型代表, 位于木垒县大石头村西北  $2.5 \text{ km}$  处, 所属地层为上石炭统缪林托凯陶山组。火山机构直径约  $1.5 \text{ km}$ , 岩性以安山岩、安山质火山碎屑岩为主, 在平面上由内向外依次为: 溢流相(层状安山岩)、爆发相(火山角砾岩)、爆发相(集块岩)和次火山口相(辉绿岩)(图 3); 火山口中心直径约  $100 \text{ m}$ , 高差  $30 \text{ m}$ 。在火山口的中心位置, 侵入相辉绿岩与爆发相火山集块岩的组合有效指示了该处火山通道的存在。

## 2.2 准噶尔盆地内部火山机构分布及其特征

通过野外调查、文献调研和地震解译, 在准噶尔盆地盆地内共识别出火山机构 85 处, 主要分布在西北缘克百断裂带和盆地腹部的四处凹陷(三南凹陷、东道海子凹陷、滴水泉凹陷和五彩湾凹陷)及七处凸起(白家海凸起、石西凸起、夏盐凸起、三个泉凸起、滴北凸起、滴南凸起和北三台凸起)(图 4)。

晚海西期是准噶尔盆地石炭系断裂主要发育期, 盆地石炭系多数断裂均发育在该构造期(曲国胜等, 2008; 周路等, 2009), 但此期断裂多数在后期又发生了活动, 仅在海西期发育而后期不再活动的断裂主要分布在盆地腹部(周路等, 2009)。盆内火山机构分布区大致耦合于断裂分布区, 具有沿着 NE 和近 E-W 两个方向的断裂展布的趋势, 断裂交汇部位, 火山机构最为发育(图 4)。

由于后期改造, 石炭系火山岩普遍遭受剥蚀, 且发生强烈变形和风化淋滤改造, 在目前深层地震资料条件下, 难以识别出完整的火山机构。盆内不同区域发育的火山机构具有各自的特征, 可归纳为以下四类。

(1) 准西北缘爆发相、火山通道相主要分布在克百断裂带一带, 大体反映了火山机构的位置, 火山岩性以安山岩-凝灰岩、玄武岩为主, 亦沿断裂带分布, 远离断裂带方向火山岩逐渐被沉积岩代替(李军, 2008; 张家政, 2009)。(2) 北三台凸起火山机构由地震相反映出的具有长期继承活动特点的火山通道相所揭示, 石炭系井下钻遇岩性主要为火山岩和碎屑岩, 火山岩岩性主要为绿色安山岩、安山质火山角砾岩, 灰色凝灰岩、沉凝灰岩, 蛋青色玄武岩、玄武质火山角砾岩, 紫色英安岩, 肉红色流纹岩、流纹质火山角砾岩; 碎屑岩主要为黄色凝灰质砂砾岩、砂岩、粉砂岩、泥岩不等厚互层(周路等, 2008)。(3) 陆西地区实测得到 7 处火山机构(雷天柱等, 2008), 火山岩在石炭系-下二叠统大面积出现, 整体上以碱性岩为主, 由西北角的基性逐渐向南东过渡为中性, 火山

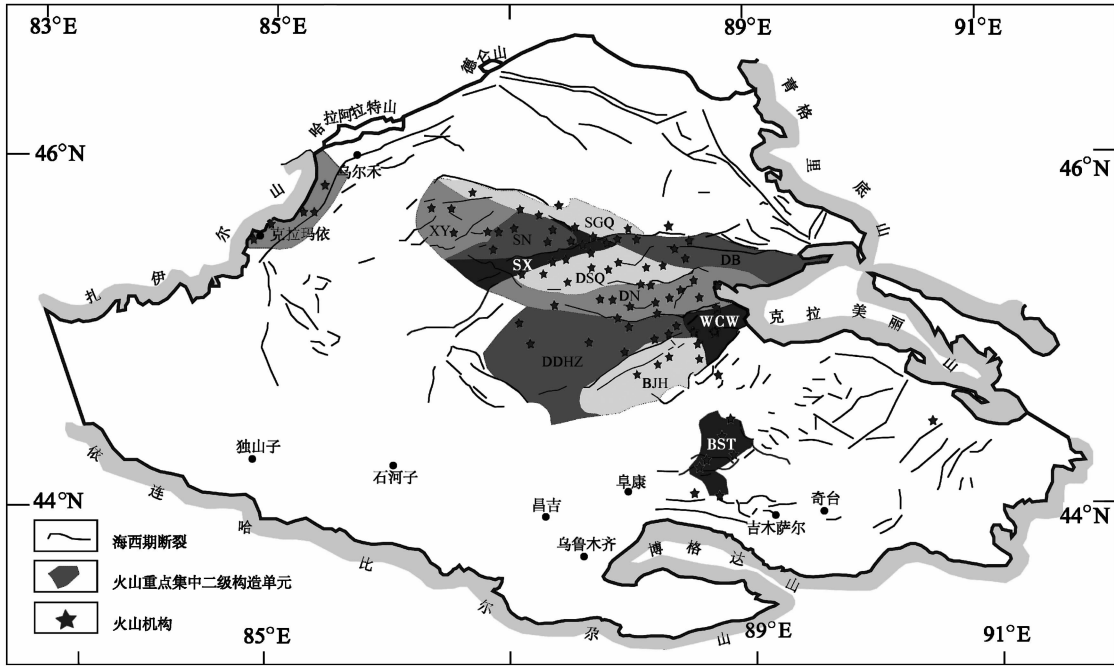


图4 准噶尔盆地内部火山机构-断裂分布图(断裂、构造单元据周路等,2009;火山机构分布出处同图2)

BJH-白家海凸起;BST-北三台凸起;DB-滴北凸起;DN-滴南凸起;SGQ-三个泉凸起;SX-石西凸起;XY-夏盐凸起;DDHZ-东道海子凹陷;DSQ-滴水泉凹陷;SN-三南凹陷;WCW-五彩湾凹陷

Fig. 4 Distribution map of the volcanoes and faults in Junggar Basin (faults and tectonic units from Zhou *et al.*, 2009; source of volcanoes see Fig. 2)

BJH-Baijiahai uplift; BST-Beisantai uplift; DB-Dibei uplift; DN-Dinan uplift; SGQ-Sangequan uplift; SX-Shixi uplift; XY-Xiayan uplift; DDHZ-Dongdaohaizi depression; DSQ-Dishuiquan depression; SN-Sannan depression; WCW-Wucaiwaiwan depression

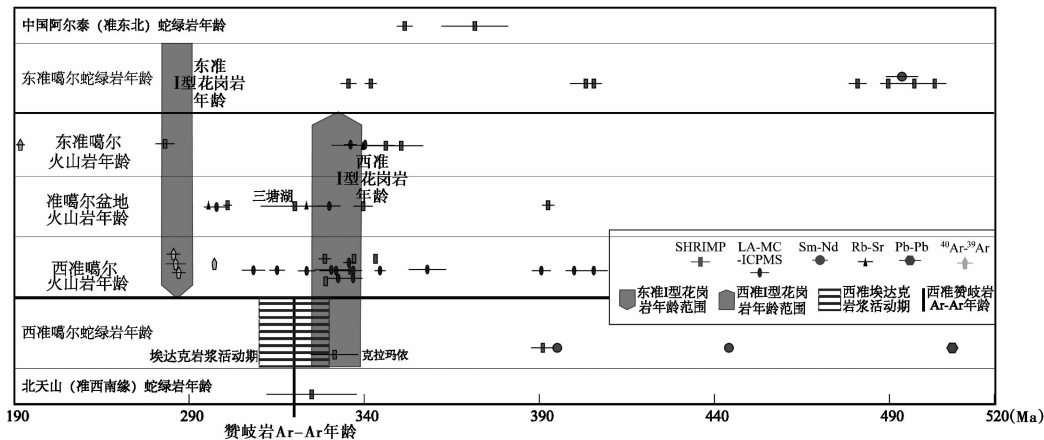


图5 准噶尔盆地及邻近地区火山岩测年年龄分布图

火山岩年龄出处见表1. 蛇绿岩年龄据 Hu *et al.*, 2000; Chen and Jahn, 2004; Xiao *et al.*, 2008; Chen *et al.*, 2010; Geng *et al.*, 2011; Yang *et al.*, 2012. 埃达克岩浆活动期和赞岐岩年龄据尹继元等, 2009

Fig. 5 Age distribution of the volcanic rocks in Junggar Basin

Ages of the volcanic rocks see Table 1. Ophiolites' ages after Hu *et al.*, 2000; Chen and Jahn, 2004; Xiao *et al.*, 2008; Chen *et al.*, 2010; Geng *et al.*, 2011; Yang *et al.*, 2012. Ages of the associated rock and sanukite after Yin *et al.*, 2009

表1 准噶尔盆地及其邻近地区火山岩年龄列表

Table 1 Ages of the volcanic rocks in Jungger Basin and its adjacent areas

位置	岩性	测年方法	年龄 (Ma)	数据来源
西准萨吾尔哈尔加乌组	粗玄武岩	$^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$	296.7 (total age)	周涛发等, 2006
西准萨吾尔地区	英安岩	$^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$	283 ± 2 (坪年龄)	谭绿贵等, 2007
西准萨吾尔地区	玄武岩	$^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$	281.2 ± 3.0 (加权平均年龄)	谭绿贵等, 2007
西准萨吾尔地区	流纹岩	$^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$	280 ± 2 (坪年龄)	谭绿贵等, 2007
克拉玛依西蚊子沟	玄武岩	$^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$	192.7 ± 1.3 (坪年龄)	徐新等, 2008
西准 Boshchekul-钦吉兹火山弧, Saier 岩体	霏细岩	LA MC ICPMS	405 ± 4	Chen <i>et al.</i> , 2010
西准白碱滩	凝灰岩	LA MC ICPMS	400 ± 5	Xiao <i>et al.</i> , 2011
西准苏鲁克乔克	辉长岩	LA MC ICPMS	391 ± 6	Yang <i>et al.</i> , 2012
西准包古图地区	凝灰岩	LA MC ICPMS	357.5 ± 5.4	郭丽爽等, 2010
西准	安山岩	LA MC ICPMS	344 ± 3	Geng <i>et al.</i> , 2011
准噶尔东部大黑山地区出露的姜巴斯套组	晶屑凝灰岩	LA MC ICPMS	339.4 ± 1.9	樊婷婷等, 2011
准噶尔东部大黑山地区出露的姜巴斯套组	晶屑凝灰岩	LA MC ICPMS	336.3 ± 2.6	樊婷婷等, 2011
西准包古图地区	凝灰岩	LA MC ICPMS	336.3 ± 2.5	郭丽爽等, 2010
西准	英安岩	LA MC ICPMS	336 ± 3	Geng <i>et al.</i> , 2011
西准帐篷沟	角斑岩	LA MC ICPMS	336 ± 4	Xiao <i>et al.</i> , 2011
西准野鸭沟	凝灰岩	LA MC ICPMS	334.9 (平均值)	Zhang <i>et al.</i> , 2011
西准帐篷沟	流纹岩	LA MC ICPMS	332 ± 9	Xiao <i>et al.</i> , 2011
西准包古图地区	凝灰岩	LA MC ICPMS	332.1 ± 3.0	郭丽爽等, 2010
西准	玄武岩	LA MC ICPMS	331 ± 9	Geng <i>et al.</i> , 2011
陆梁隆起西段英1井	火山角砾岩、 沉火山碎屑组合	LA MC ICPMS	329.5 ± 3.2	白国娟等, 2009
西准白碱滩	流纹岩	LA MC ICPMS	323 ± 5	Xiao <i>et al.</i> , 2011
西准白碱滩	流纹岩	LA MC ICPMS	315 ± 4	Xiao <i>et al.</i> , 2011
西准野鸭沟	凝灰岩	LA MC ICPMS	308 ± 7	Zhang <i>et al.</i> , 2011
准噶尔盆地北部哈尔加乌组	粗面岩	LA MC ICPMS	297.3 ± 3.6	白国娟等, 2009
克拉美丽地区贝勒库都克一带火山岩	火山岩	Rb-Sr	339 ± 9	杨高等, 2010
陆梁隆起地区火山岩	玄武岩、玄武安山岩、 粗面玄武岩、流纹岩	Rb-Sr	323	王方正等, 2002
陆梁隆起地区火山岩	玄武岩、流纹岩	Rb-Sr	295	王方正等, 2002
陆梁隆起东部三参3井所钻巴塔玛依内山组	玄武岩	SHRIMP	392.0 ± 1.7	苏玉平等, 2010
陆东-五彩湾地区巴塔玛依内山组	粗面安山岩	SHRIMP	350.0 ± 6.3	谭佳奕等, 2009
东准大石头地区原繆林托凯陶山组	安山岩	SHRIMP	345.6 ± 7.1	谭佳奕等, 2010
觉罗塔格山东部扇山头附近的阿奇山组上部	流纹英安岩	SHRIMP	341.7 ± 2.7	苏春乾等, 2009
西准包古图金矿	蚀变凝灰岩	SHRIMP	342.6	安芳和朱永峰, 2009
陆梁隆起东部三参2井所钻巴塔玛依内山组	玄武岩	SHRIMP	339.2 ± 2.7	苏玉平等, 2010
西准包古图金矿	蚀变凝灰岩	SHRIMP	336.5	安芳和朱永峰, 2009
西准包古图金矿	蚀变凝灰岩	SHRIMP	328.4	安芳和朱永峰, 2009
西准宝贝金矿	酸性凝灰岩	SHRIMP	328.1 ± 1.8	安芳和朱永峰, 2009
三塘湖盆地淖毛湖以北 沙依苏北山附近哈尔加乌组	安山岩	SHRIMP	319.6 ± 9.8	陈石等, 2009
陆梁隆起东部三参1井所钻巴塔玛依内山组	玄武岩	SHRIMP	300.4 ± 1.3	苏玉平等, 2010
东准噶尔扎河坝地区	流纹岩	SHRIMP	275.6 ± 2.8	张元元等, 2009

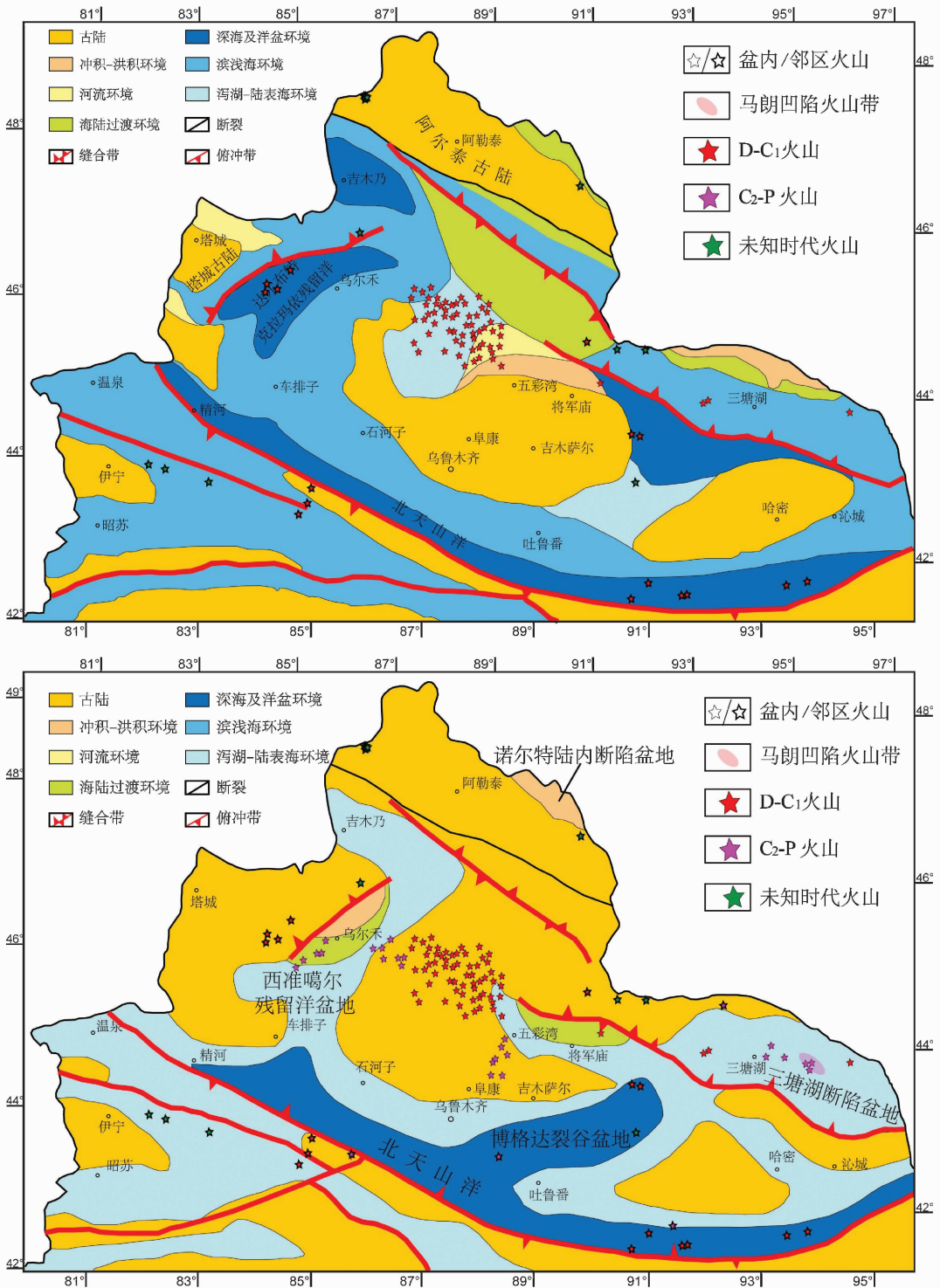


图6 北疆早石炭世(上)、晚石炭世(下)沉积环境-火山分布图(沉积环境据吴晓智等,2008;靳军等,2009;火山机构分布出处同图2)

Fig.6 Maps showing the distribution of volcanoes and Lithofacies paleogeography of Early Carboniferous (above) and Late Carboniferous (below) in northern Xinjiang (sedimentary environment after Wu *et al.*, 2008; Jin *et al.*, 2009. source of volcanoes see Fig. 2)

岩岩相呈北东-南西向的条带状分布,西北部以喷溢相的基性火山岩为主,向东南依次过渡为爆发相火山岩、喷溢相中性火山岩,向北西方向再次出现了爆发相火山岩,该地区东南角是喷溢相的中酸性火山岩(孙国强等,2010)。(4)滴南凸起上一系列纵、横向叠置的火山岩体,主要沿滴水泉北断裂和滴水泉断裂呈串珠状分布,火山口常位于EW向与NE向基底断裂交汇处,由此推测火山机构多表现为沿断裂的裂隙式喷发,常经历多次喷发,形成多期次火山岩序列(王绪龙等,2010)。

### 3 准噶尔盆地火山发育环境

以现有文献资料为基础,对准噶尔盆地,东、西准噶尔及三塘湖盆地火山岩年龄进行了调研,火山岩年龄主要集中在405~390Ma(东准噶尔缺乏此期火山记录),和360~275Ma两个阶段(图5、表1),反映准噶尔区域在晚古生代中早期存在两期火山活动。准噶尔、三塘湖盆地最老的火山岩出现于准噶尔盆地,为392Ma,对应上述两期火山活动的第一期;340~320Ma,300~295Ma为准噶尔盆地内火山年龄集中阶段,分别大致等时于西准噶尔、东准噶尔I型花岗岩年龄,且较早一期火山活动时间不晚于西准噶尔埃达克岩浆、赞岐岩年龄,显示火山岩可能主要发育于西准噶尔、东准噶尔岛弧俯冲时期。

自早石炭世至晚石炭世,北疆地区的沉积环境表现为海域逐渐减小、水深逐渐变浅、陆地面积逐渐增加(吴晓智等,2008;靳军等,2009)。与之相对应,准噶尔盆地泥盆系-下石炭统以海相喷发火山岩为主,火山活动主要集中于准噶尔盆地腹部泻湖-陆表海环境及盆地西北缘深海环境(图6上)。在三塘湖盆地纸房地区下石炭统、火烧山油田白碱沟巴塔玛依内山组等均可见珍珠岩,且在后一地区可见玄武安山质火山岩直接覆盖在黑色页岩之上,显示这些地区火山活动应处于水下,支持了上述观点。上石炭统-二叠系以陆相喷发火山岩为主,火山活动主要集中于准噶尔盆地腹部的西北部和东南部陆上区域、西北缘海陆交互环境以及三塘湖断陷盆地内(图6下)。综上,准噶尔盆地及邻区晚古生代盆内和周边的火山喷发环境具有自水下向水上、深水向浅水、陆缘向陆内转换的变化趋势。

### 4 结论

(1)北疆地区共发现、识别出晚古生代火山机构145处;

(2)准噶尔盆地周缘共报道火山机构32处,主要集中于博罗科努山、博格达山、托里金矿带、哈巴河以及克拉美丽山,涵盖破火山口、火山穹窿、火山通道(火山颈)等多种火山机构类型,大石头火山为火山通道的典型代表;

(3)在准噶尔盆地内部共报道、识别出火山机构85处,大部分由地震识别,主要分布在西北缘克百断裂带和盆地腹

部的四处凹陷(三南凹陷、东道海子凹陷、滴水泉凹陷和五彩湾凹陷)及七处凸起(百家海凸起、石西凸起、夏盐凸起、三个泉凸起、滴北凸起、滴南凸起和北三台凸起);这些火山机构分布主要受海西期断裂系控制,火山机构分布区大致耦合于断裂分布区,具有沿着NE和近E-W两个方向的断裂展布的趋势,断裂交汇部位,火山机构最为发育;

(4)340~320Ma,300~295Ma为准噶尔盆地内火山年龄集中阶段,分别大致等时于西准噶尔、东准噶尔I型花岗岩年龄,且较早一期火山活动时间不晚于西准噶尔埃达克岩浆、赞岐岩年龄,显示火山岩可能主要发育于西准噶尔、东准噶尔岛弧俯冲时期;

(5)准噶尔盆地晚古生代火山活动具有自水下向水上、深水向浅水、陆缘向陆内转换的喷发环境变化趋势。

**致谢** 李曰俊副研究员、肖文交研究员、彭澎副研究员和吴晓智高工在本文的写作过程中给出了重要的建议和指导,使得本文的质量得以较大的提高,谨致最真诚的感谢!

### References

- Abrajevitch AA, Van der Voo R, Bazhenov ML, Levashova NM and McCauseland P. 2008. The role of the Kazakhstan orocline in the Late Paleozoic amalgamation of Eurasia. *Tectonophysics*, 455: 61 - 76
- An F and Zhu YF. 2009. SHRIMP U-Pb zircon ages of tuff in Baogutu Formation and their geological significances. *Acta Petrologica Sinica*, 25(6): 1437 - 1445 (in Chinese with English abstract)
- Bai GJ, Chen G, Wang ZW and Li R. 2009. Lithofacies paleogeography of Late Carboniferous in northern Junggar Basin. *Inner Mongolia Petrochemical Industry*, 6: 124 - 127 (in Chinese with English abstract)
- Bureau of Geology and Mining Resources of Xinjiang Uygur Autonomous Region (BGMRX). 1992a. Geologic Map (1 : 1,500,000) of Xinjiang Uygur Autonomous Region of the People's Republic of China. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese)
- Bureau of Geology and Mining Resources of Xinjiang Uygur Autonomous Region (BGMRX). 1992b. Magmatic Rock Map (1 : 2,000,000) of Xinjiang Uygur Autonomous Region of the People's Republic of China. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese)
- Cao JX. 2010. Discussion on mineralization geological characteristics of Hongqi 9 gold ores in Tuoli, Xinjiang. *Xinjiang Nonferrous Metal*, 2: 11 - 13 (in Chinese)
- Chen B and Jahn BM. 2004. Genesis of post-collisional granitoids and basement nature of the Junggar Terrane, NW China: Nd-Sr isotope and trace element evidence. *Journal of Asian Earth Sciences*, 23: 691 - 703
- Chen FJ, Wang XW and Wang XW. 2005. Prototype and tectonic evolution of the Junggar basin, northwestern China. *Earth Science Frontiers*, 12(3): 77 - 89 (in Chinese with English abstract)
- Chen JF, Han BF, Ji JQ, Zhang L, Xu Z, He GQ and Wang T. 2010. Zircon U-Pb ages and tectonic implications of Paleozoic plutons in northern West Junggar, North Xinjiang, China. *Lithos*, 115(1 - 4): 137 - 152
- Chen S, Zhang YY and Guo ZJ. 2009. Zircon SHRIMP U-Pb dating and its implications of post-collisional volcanic rocks in Santanghu Basin, Xinjiang. *Acta Petrologica Sinica*, 25(3): 527 - 538 (in Chinese with English abstract)
- Choulet F, Faure M, Cluzel D, Chen Y, Lin W and Wang B. 2012. From oblique accretion to transpression in the evolution of the Altaid



- collage: New insights from West Junggar, northwestern China. *Gondwana Research*, 21(2-3): 530-547
- Fan TT, Liu YQ, Li H, Bai QH and Fan CY. 2011. Crystal tuff zircon LA-ICP-MS U-Pb ages from the Lower Jiangbasitao Formation in the East Dabeshan area, Xinjiang and their geological implications. *Acta Sedimentologica Sinica*, 29(2): 312-320 (in Chinese with English abstract)
- Geng HY, Sun M, Yuan C, Zhao GC and Xiao WJ. 2011. Geochemical and geochronological study of Early Carboniferous volcanic rocks from the West Junggar; Petrogenesis and tectonic implications. *Journal of Asian Earth Sciences*, 42: 854-866
- Guo LS, Liu YL, Wang ZH, Song D, Xu FJ and Su L. 2010. The zircon U-Pb LA-ICP-MS geochronology of volcanic rocks in Baogutu areas, western Junggar. *Acta Petrologica Sinica*, 26(2): 471-477 (in Chinese with English abstract)
- Han BF, He GQ and Wang SG. 1999. Postcollisional mantle-derived magmatism, underplating and implications for basement of the Junggar Basin. *Science in China (Series D)*, 29(1): 16-21 (in Chinese)
- He DF, Chen XF, Kuang J, Zhou L, Tang Y and Liu DG. 2008. Development and genetic mechanism of Chepaizi-Mosuowan Uplift in Junggar Basin, China. *Earth Science Frontiers*, 15(4): 42-55
- He DF, Chen XF, Kuang J, Yuan H, Wu XZ, Du P and Tang Y. 2010. Characteristics and exploration potential of Carboniferous hydrocarbon plays in Junggar Basin. *Acta Petrologica Sinica*, 31(1): 1-11 (in Chinese with English abstract)
- Hu AQ, Jahn BM and Zhang Y. 2000. Crustal evolution and Phanerozoic crustal growth in northern Xinjiang; Nd isotopic evidence. Part I. Isotopic characterization of basement rocks. *Tectonophysics*, 328: 15-52
- Jin J, Zhang CJ, Liu LF, Liu HJ and Zhang LP. 2009. Structural/sedimentary environment and hydrocarbon-generating potentials of Carboniferous in Junggar Basin. *Xinjiang Petroleum Geology*, 30(2): 211-214 (in Chinese with English abstract)
- Lei TZ, Shi XP, Kong YH, Zhang SC, Fang LH and Shi JA. 2008. Effect of dissolution on forming high-quality reservoir in alkaline volcanic rocks: An example from Carboniferous volcanic rocks in Luxi area in Junggar basin. *Xinjiang Petroleum Geology*, 29(3): 306-308 (in Chinese with English abstract)
- Li J. 2008. The study on distribution characteristics and controlling factors of Carboniferous volcanic reservoir of the northwestern margin, Junggar Basin. Ph. D. Dissertation. Beijing: China University of Geosciences (in Chinese with English summary)
- Li SP. 2011. Devonian volcanic edifices in Ashele, northwestern margin of the Junggar Basin. *Xinjiang Nonferrous Metal*, 2: 23-29 (in Chinese)
- Liu HL, Jing YL, Li ZM and Zhang JC. 2008. Volcanic edifice reflection feature and its seismic identification method. *Journal of Daqing Petroleum Institute*, 32(4): 20-22 (in Chinese with English abstract)
- Local Chronicles Editorial Board of Xinjiang Uygur Autonomous Region (LCEBX). 2002. *Comprehensive History of Xinjiang Uygur Autonomous-Geology and Mineral*. Urumqi: The Peoples' Press of Xinjiang (in Chinese)
- Local Chronicles Editorial Board of Xinjiang Uygur Autonomous Region (LCEBX). 1997. *Comprehensive History of Xinjiang Uygur Autonomous-Geology and Mineral*. Urumqi: The Peoples' Press of Xinjiang (in Chinese)
- Long XP, Yuan C, Sun M, Safonova I, Xiao WJ and Wang YJ. 2012. Geochemistry and U-Pb detrital zircon dating of Paleozoic graywackes in East Junggar, NW China: Insights into subduction-accretion processes in the southern Central Asian Orogenic Belt. *Gondwana Research*, 21(2-3): 637-653
- Peng XL. 1994. Evidence for the presence of Early Paleozoic continental crust in Junggar Basin. *Xinjiang Petroleum Geology*, 15(4): 289-297 (in Chinese with English abstract)
- Qu GS, Ma ZJ, Zhang N, Li T and Tian Y. 2008. Fault structures in and around Junggar Basin. *Xinjiang Petroleum Geology*, 29(3): 290-295 (in Chinese with English abstract)
- Shao R, Sun YB, Yu HS and Wang HY. 2011. Identification technology of volcanic edifice based on seismic attribute anisotropy. *Chinese J. Geophys.*, 54(2): 343-348 (in Chinese with English abstract)
- Shen P, Shen YC, Liu TB, Meng L, Dai HW and Yang YH. 2009. Geochemical signature of porphyries in the Baogutu porphyry copper belt, western Junggar, NW China. *Gondwana Research*, 16: 227-242
- Su CQ, Jiang CY, Xia MZ, Wei W and Pan R. 2009. Geochemistry and zircons SHRIMP U-Pb age of volcanic rocks of Aqishan Formation in the eastern area of north Tianshan, China. *Acta Petrologica Sinica*, 25(4): 901-915 (in Chinese with English abstract)
- Su YP, Zheng JP, Griffin WL, Tang HY, O'Reilly SY and Lin XY. 2010. Zircon U-Pb and Hf isotopes of volcanic rocks from the Batamayneishan Formation in the eastern Junggar Basin. *Chinese Science Bulletin*, 55(30): 2931-2943 (in Chinese)
- Sun GQ, Zhao JX, Ji HT, Zhang GQ and Shi JA. 2010. Lithofacies of Carboniferous volcanic rocks in the Luxi area, Junggar Basin. *Natural Gas Industry*, 30(2): 16-20 (in Chinese with English abstract)
- Tan JY, Wu RJ, Zhang YY, Wang SF and Guo ZJ. 2009. Characteristics and geochronology of volcanic rocks of Batamayneishan Formation in Kalamaily, eastern Junggar, Xinjiang. *Acta Petrologica Sinica*, 25(3): 539-546 (in Chinese with English abstract)
- Tan JY, Wang SF, Wu RJ, Zhang YY and Guo ZJ. 2010. Types and time of Carboniferous volcanic edifices in eastern Junggar, Xinjiang. *Acta Petrologica Sinica*, 26(2): 440-448 (in Chinese with English abstract)
- Tan LG, Zhou TF, Yuan F, Fan Y and Yue SC. 2007.  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  age of the Kalagang Formation volcanic rocks in western Junggar, Xinjiang. *Chinese Journal of Geology*, 42(3): 579-586 (in Chinese with English abstract)
- Wang FZ, Yang MZ and Zheng JP. 2002. Geochemical characteristics and geological environment of basement volcanic rocks in Luliang, central region in Junggar basin. *Acta Petrologica Sinica*, 18(1): 9-15 (in Chinese with English abstract)
- Wang R and Zhu YF. 2007. Geology of the Baobei gold deposit in western Junggar and zircon SHRIMP age of its wall-rocks, western Junggar (Xinjiang, NW China). *Geological Journal of China Universities*, 13(3): 590-602 (in Chinese with English abstract)
- Wang XL, Zhao MJ, Xiang BL, Da J, Jiang YQ and Liu CM. 2010. Carboniferous source rocks in the Ludong-Wucaian area, Junggar Basin, NW China. *Petroleum Exploration and Development*, 37(5): 523-530 (in Chinese with English abstract)
- Windley BF, Alexeiev D, Xiao WJ, Kröner A and Badarch G. 2007. Tectonic models for accretion of the Central Asian Orogenic Belt. *Journal of the Geological Society of London*, 164: 31-47
- Wu XQ, Liu DL, Wei GQ, Li J and Li ZS. 2009. Geochemical characteristics and tectonic settings of Carboniferous volcanic rocks from Ludong-Wucaian area, Junggar basin. *Acta Petrologica Sinica*, 25(1): 55-64 (in Chinese with English abstract)
- Wu XZ, Qi XF, Tang Y, Wei YZ and Hou LH. 2008. Carboniferous strata and lithofacies paleogeography and source rock in northern Xinjiang. *Geoscience*, 22(4): 549-557 (in Chinese with English abstract)
- Wu XZ, Qi XF, Tang Y and Li BH. 2009. Genetic types and hydrocarbon exploration directions of volcanic rocks in eastern and western Junggar. *China Petroleum Exploration*, 14(1): 1-10 (in Chinese with English abstract)
- Xiao WJ, Han CM, Yuan C, Sun M, Lin SF, Chen HL, Li ZL, Li JL and Sun S. 2008. Middle Cambrian to Permian subduction-related accretionary orogenesis of Northern Xinjiang, NW China: Implications for the tectonic evolution of central Asia. *Journal of Asian Earth Sciences*, 32: 102-117
- Xiao XC, Tang YQ, Feng YM, Zhu BQ, Li JY and Zhao M. 1992. Tectonic Evolution of Northern Xinjiang and Its Adjacent Regions. Beijing: Geological Publishing House, 1-169 (in Chinese)

- Xiao Y, Zhang HF, Shi JA, Su BX, Sakyi PA, Lu XH, Hu Y and Zhang Z. 2011. Late Paleozoic magmatic record of East Junggar, NW China and its significance: Implication from zircon U-Pb dating and Hf isotope. *Gondwana Research*, 20: 532–542
- Xing XJ. 2004. The study on volcanic rocks of Permian in Santanghu Basin, Xinjiang. Master Degree Thesis. Xi'an: Northwest University (in Chinese with English summary)
- Xu X, Chen C, Ding TF, Liu XY and Li HQ. 2008. Discovery of Lisa basalt northwestern edge of Junggar Basin and its geological significance. *Xinjiang Geology*, 26(1): 9–16 (in Chinese with English abstract)
- Yang GX, Li YJ, Si GH, Wu HE, Jin Z and Zhang YZ. 2010. LA-ICPMS U-Pb zircon dating of the Beilekuduke granite in Kalamaili area, East Junggar, Xinjiang, China and its geological implication. *Geotectonica et Metallogenia*, 34(1): 133–138 (in Chinese with English abstract)
- Yang GX, Li YJ, Gu PY, Yang BK, Tong LL and Zhang HW. 2012. Geochronological and geochemical study of the Darbut ophiolitic complex in the West Junggar (NW China): Implications for petrogenesis and tectonic evolution. *Gondwana Research*, 21(4): 1037–1049
- Yang Y and Shen YC. 1992. Petrological characteristics of Paleozoic volcanic rocks from western Junggar, Xinjiang Autonomous Region and relationship between them and gold mineralization. *Journal of Graduate School, Academia Sinica*, 9(1): 61–72 (in Chinese with English abstract)
- Yin JY, Yuan C, Sun M, Xiao WJ, Zhao GC, Long XP, Geng HY and Wang BY. 2009. Sanukitic dykes in West Junggar, Xinjiang: Geochemical features, petrogenesis and links to Cu-Au mineralization. *Geochimica*, 38(5): 413–423 (in Chinese with English abstract)
- Zhang C, Dong LX, Xu D, Su YL and Chen TL. 2005. Late Palaeozoic volcanic rocks in Laoye Miao (Temple) and Er-Ren Shan (Mountain), Balikun County, Xinjiang. *Xinjiang Geology*, 23(3): 225–229 (in Chinese with English abstract)
- Zhang CJ, He DF, Wu XZ, Shi X, Luo JN, Wang BY, Yang G, Guan SW and Zhao X. 2005. Formation and evolution of multicycle superimposed basins in Junggar Basin. *China Petroleum Exploration*, 1: 47–58 (in Chinese with English abstract)
- Zhang JE, Xiao WJ, Han CM, Ao SJ, Yuan C, Sun M, Geng HJ, Zhao GC, Guo QQ and Ma C. 2011. Kinematics and age constraints of deformation in a Late Carboniferous accretionary complex in Western Junggar, NW China. *Gondwana Research*, 19(4): 958–974
- Zhang JZ. 2009. Study of Carboniferous volcanic reservoirs in Hongshanzui oilfield of Junggar Basin. Ph. D. Dissertation. Changsha: Central South University (in Chinese with English summary)
- Zhang YY, Chen S, Guo ZJ and Fang SH. 2009. Zircon SHRIMP U-Pb dating of the Latest Paleozoic volcanic rocks in Zhaheba area, eastern Junggar and its geological implications. *Acta Petrologica Sinica*, 25(3): 506–514 (in Chinese with English abstract)
- Zhang ZC, Zhou G, Kusky TM, Yan SH, Chen BL and Zhao L. 2009. Late Paleozoic volcanic record of the Eastern Junggar terrane, Xinjiang, Northwestern China: Major and trace element characteristics, Sr-Nd isotopic systematics and implications for tectonic evolution. *Gondwana Research*, 16: 201–215
- Zhao X, Jia CZ, Zhang GY, Wei YZ, Lai SC, Fang X and Zhang LJ. 2008. Geochemistry and tectonic settings of Carboniferous intermediate-basic volcanic rocks in Ludong-Wucaiwai, Junggar basin. *Earth Science Frontiers*, 15(2): 272–279 (in Chinese with English abstract)
- Zheng JP, Sun M, Zhao GC, Robinson PT and Wang FZ. 2007. Elemental and Sr-Nd-Pb isotopic geochemistry of Late Paleozoic volcanic rocks beneath the Junggar basin, NW China: Implications for the formation and evolution of the basin basement. *Journal of Asian Earth Sciences*, 29: 778–794
- Zhou L, Jin LC, Lei DW, Jia XY and Wang CM. 2008. Seismic response feature and distribution law of Carboniferous volcanic rock in Beisantai uplift. *Journal of Southwest Petroleum University (Science & Technology Edition)*, 30(6): 5–10 (in Chinese with English abstract)
- Zhou L, Wang CM, Lei DW, Zhang BX and Yang F. 2009. Feature and distribution of Carboniferous surface fault in different tectonic movements in Junggar Basin. *Journal of Southwest Petroleum University (Science & Technology Edition)*, 31(4): 1–7 (in Chinese with English abstract)
- Zhou TF, Yuan F, Yang WP, He LX, Tan LG, Fan Y and Yue SC. 2006. Permian volcanism in the Sawu'er area, western Junggar. *Geology in China*, 33(3): 553–558 (in Chinese with English abstract)
- Zhu ZX, Li SZ and Li SL. 2005. The characteristics of sedimentary system-continental facies volcano in Later Carboniferous Batamayi Group, Zhifang region, East Junggar. *Xinjiang Geology*, 23(1): 15–19 (in Chinese with English abstract)

### 附中文参考文献

- 安芳, 朱永峰. 2009. 新疆西准噶尔包古图组凝灰岩锆石 SHRIMP 年龄及其地质意义. *岩石学报*, 25(6): 1437–1445
- 白国娟, 陈刚, 王志维, 李睿. 2009. 准噶尔盆地北部晚石炭世岩相古地理. *内蒙古石油化工*, 6: 124–127
- 曹积新. 2010. 新疆托里县红旗九号金矿成矿地质特征探讨. *新疆有色金属*, 2: 11–13
- 陈发景, 汪新文, 汪新伟. 2005. 准噶尔盆地的原型和构造演化. *地质学前沿*, 12(3): 77–89
- 陈石, 张元元, 郭召杰. 2009. 新疆三塘湖盆地后碰撞火山岩的锆石 SHRIMP U-Pb 定年及其地质意义. *岩石学报*, 25(3): 527–538
- 樊婷婷, 柳益群, 李红, 白清华, 范昌育. 2011. 新疆大黑山东部姜巴斯套组下段的凝灰岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄及其地质意义. *沉积学报*, 29(2): 312–320
- 郭丽爽, 刘玉琳, 王政华, 宋达, 许发军, 苏犁. 2010. 西准噶尔包古图地区地层火山岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年代学研究. *岩石学报*, 26(2): 471–477
- 韩宝福, 何国琦, 王式洸. 1999. 后碰撞幔源岩浆活动、底垫作用及准噶尔盆地基底性质. *中国科学(D辑)*, 29(1): 16–21
- 何登发, 陈新发, 况军, 袁航, 吴晓智, 杜鹏, 唐勇. 2010. 准噶尔盆地石炭系油气成藏组合特征及勘探前景. *石油学报*, 31(1): 1–11
- 靳军, 张朝军, 刘洛夫, 刘河江, 张立平. 2009. 准噶尔盆地石炭系构造沉积环境与生烃潜力. *新疆石油地质*, 30(2): 211–214
- 雷天柱, 石新璞, 孔玉华, 张顺存, 方琳浩, 史基安. 2008. 溶蚀在形成碱性火山岩优质储集层中的作用——以准噶尔盆地陆西地区石炭系火山岩为例. *新疆石油地质*, 29(3): 306–308
- 李军. 2008. 准噶尔盆地西北缘石炭系火山岩油藏储层分布规律及控制因素研究. 博士学位论文. 北京: 中国地质大学
- 李社平. 2011. 准噶尔盆地西北缘阿舍勒附近泥盆纪火山机构及其地质意义. *新疆有色金属*, 2: 23–29
- 刘洪林, 荆雅莉, 李志明, 张金成. 2008. 火山机构的反射特征及其地震识别方法. *大庆石油学院学报*, 32(4): 20–22
- 彭希龄. 1994. 准噶尔盆地早古生代陆壳存在的依据. *新疆石油地质*, 15(4): 289–297
- 曲国胜, 马宗晋, 张宁, 李涛, 田野. 2008. 准噶尔盆地及周缘断裂构造特征. *新疆石油地质*, 29(3): 290–295
- 邵锐, 孙彦彬, 于海生, 王海燕. 2011. 基于地震属性各向异性的火

- 山机构识别技术. 地球物理学报, 54(2): 343-348
- 苏春乾, 姜常义, 夏明哲, 魏巍, 潘荣. 2009. 北天山东段阿奇山组火山岩的地球化学特征及锆石 U-Pb 年龄. 岩石学报, 25(4): 901-915
- 苏玉平, 郑建平, Griffin WL, 汤华云, O'Reilly SY, 林向洋. 2010. 东准噶尔盆地巴塔玛依内山组火山岩锆石 U-Pb 年代及 Hf 同位素研究. 科学通报, 55(30): 2931-2943
- 孙国强, 赵竞雪, 纪宏涛, 张国清, 史基安. 2010. 准噶尔盆地陆西地区石炭系火山岩岩相. 天然气工业, 30(2): 16-20
- 谭佳奕, 吴润江, 张元元, 王淑芳, 郭召杰. 2009. 东准噶尔卡拉麦里地区巴塔玛依内山组火山岩特征和年代确定. 岩石学报, 25(3): 539-546
- 谭佳奕, 王淑芳, 吴润江, 张元元, 郭召杰. 2010. 新疆东准噶尔石炭纪火山机构类型与时限. 岩石学报, 26(2): 440-448
- 谭绿贵, 周涛发, 袁峰, 范裕, 岳书仓. 2007. 新疆西准噶尔卡拉岗组火山岩<sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar年龄. 地质科学, 42(3): 579-586
- 王方正, 杨梅珍, 郑建平. 2002. 准噶尔盆地陆梁地区基底火山岩的岩石地球化学及其构造环境. 岩石学报, 18(1): 9-15
- 王瑞, 朱永峰. 2007. 西准噶尔宝贝金矿地质与容矿火山岩的锆石 SHRIMP 年龄. 高校地质学报, 13(3): 590-602
- 王绪龙, 赵孟军, 向宝力, 达江, 蒋宜勤, 刘翠敏. 2010. 准噶尔盆地陆东-五彩湾地区石炭系烃源岩. 石油勘探与开发, 37(5): 523-530
- 吴小奇, 刘德良, 魏国齐, 李剑, 李振生. 2009a. 准噶尔盆地陆东-五彩湾地区石炭系火山岩地球化学特征及其构造背景. 岩石学报, 25(1): 55-64
- 吴晓智, 齐雪峰, 唐勇, 卫延召, 侯连华. 2008. 新疆北部石炭纪地层、岩相古地理与烃源岩. 现代地质, 22(4): 549-557
- 吴晓智, 齐雪峰, 唐勇, 李伯华. 2009. 东西准噶尔火山岩成因类型与油气勘探方向. 中国石油勘探, 14(1): 1-10
- 肖序常, 汤耀庆, 冯益民, 朱宝清, 李锦轶, 赵民. 1992. 新疆北部及其邻区大地构造. 北京: 地质出版社, 1-169
- 新疆维吾尔自治区地方志编纂委会. 1997. 新疆通志·地质矿产志. 乌鲁木齐: 新疆人民出版社
- 新疆维吾尔自治区地方志编纂委会. 2002. 新疆通志·地质矿产志. 乌鲁木齐: 新疆人民出版社
- 新疆维吾尔自治区地矿局. 1992a. 中华人民共和国新疆维吾尔自治区 1:150 万地质图. 北京: 地质出版社
- 新疆维吾尔自治区地矿局. 1992b. 中华人民共和国新疆维吾尔自治区 1:200 万岩浆岩图. 北京: 地质出版社
- 邢秀娟. 2004. 新疆三塘湖盆地二叠纪火山岩研究. 硕士学位论文. 西安: 西北大学
- 徐新, 陈川, 丁天府, 刘兴义, 李华芹. 2008. 准噶尔西北缘早侏罗世玄武岩的发现及地质意义. 新疆地质, 26(1): 9-16
- 杨高学, 李永军, 司国辉, 吴宏恩, 金朝, 张永智. 2010. 东准卡拉麦里地区贝勒库都克岩体锆石 LA-ICPMS U-Pb 测年及地质意义. 大地构造与成矿学, 34(1): 133-138
- 杨忆, 沈远超. 1992. 新疆西准地区古生界火山岩岩石特征及其与金矿化的关系. 中国科学院研究生院学报, 9(1): 61-71
- 尹继元, 袁超, 孙敏, 肖文交, 赵国春, 龙晓平, 耿红燕, 王步云. 2009. 新疆西准噶尔地区赞岐岩(sanukite)的地球化学特征、成因机制及其与铜金矿化的关系. 地球化学, 38(5): 413-423
- 张超, 董丽霞, 徐达, 苏延龙, 陈添乐. 2005. 新疆巴里坤县老爷庙、额仁山一带晚古生代火山岩. 新疆地质, 23(3): 225-229
- 张朝军, 何登发, 吴晓智, 石昕, 罗建宁, 王宝瑜, 杨庚, 管树巍, 赵霞. 2005. 准噶尔多旋回叠合盆地的形成与演化. 中国石油勘探, (1): 47-58
- 张家政. 2009. 准噶尔盆地红山嘴油田石炭系火山岩油藏储层研究. 博士学位论文. 长沙: 中南大学
- 张元元, 陈石, 郭召杰, 方世虎. 2009. 东准噶尔扎河坝地区古生代晚期火山岩的锆石 SHRIMP U-Pb 定年及其地质意义. 岩石学报, 25(3): 506-514
- 赵霞, 贾承造, 张光亚, 卫延召, 赖绍聪, 方向, 张丽君. 2008. 准噶尔盆地陆东-五彩湾地区石炭系中、基性火山岩地球化学及其形成环境. 地学前缘, 15(2): 272-279
- 周路, 靳利超, 雷德文, 贾希玉, 汪长明. 2008. 北三台凸起石炭系火山岩地震响应及分布规律. 西南石油大学学报(自然科学版), 30(6): 5-10
- 周路, 汪长明, 雷德文, 张伯新, 杨飞. 2009. 准噶尔盆地不同期次石炭系断裂特征及分布. 西南石油大学学报(自然科学版), 31(4): 1-7
- 周涛发, 袁峰, 杨文平, 何立新, 谭绿贵, 范裕, 岳书仓. 2006. 西准噶尔萨吾尔地区二叠纪火山活动规律. 中国地质, 33(3): 553-558
- 朱志新, 李少贞, 李嵩龄. 2005. 东准噶尔纸房地区晚石炭世巴塔玛依内山组陆相-火山沉积体系特征. 新疆地质, 23(1): 15-19