

# 准噶尔盆地石炭纪成盆动力学机制新模式： 弧后盆地系统\*

陈 桐<sup>1</sup> 尤新才<sup>2</sup> 杨 磊<sup>3</sup> 王居峰<sup>1</sup> 刘超威<sup>2</sup> 何文军<sup>2</sup>  
齐雪峰<sup>1</sup> 杨 帆<sup>1</sup> 卢 山<sup>1</sup> 谷志东<sup>1</sup> 王瑞菊<sup>1</sup> 杨 春<sup>1</sup>

1 中国石油勘探开发研究院, 北京 100083

2 中国石油新疆油田分公司勘探开发研究院, 新疆克拉玛依 834000

3 中国石油西部钻探工程有限公司, 新疆乌鲁木齐 830000

**摘 要** 准噶尔盆地石炭系具有良好的油气地质条件, 且为现实的深层勘探领域, 但目前对该盆地石炭纪演化的认识仍存在分歧。利用钻井、地震与岩心测试资料, 建立了准噶尔盆地地震地质大剖面, 分析石炭系地质结构与构造演化特征; 结合盆内与盆缘岩浆岩年代学与地球化学数据, 探讨准噶尔石炭纪盆地形成演化的构造背景并提出新的成盆动力学模式。结果表明: (1) 准噶尔盆地石炭统松喀尔苏组下亚组、上亚组与上石炭统巴山组为近连续的沉积充填序列, 它们之间不存在明显的构造不整合界面, 石炭系为一套相对完整的构造层; (2) 准噶尔盆地石炭纪经历了从伸展到末期挤压的构造旋回, 在伸展构造阶段发生的早、晚石炭世 2 期正断层活动, 控制了中央坳陷和陆梁隆起 2 幕裂陷作用以及滴水泉、莫索湾和阜东裂陷盆地的发育。基于此, 推测准噶尔石炭纪盆地是在额尔齐斯洋俯冲板片后撤所引起的乌伦古弧后方伸展作用控制下形成的弧后裂陷盆地。该研究成果有助于进一步认识新疆地区增生造山过程与准噶尔盆地石炭系源-储发育条件, 可对准噶尔盆地深层有利勘探区带评价提供支撑。

**关键词** 地质结构 构造演化 成盆机制 石炭纪 准噶尔盆地

**第一作者简介** 陈桐, 男, 1987 年生, 高级工程师, 主要从事石油地质综合研究工作。E-mail: chengang141@petrochina.com.cn。

中图分类号: P618.130.2 文献标志码: A

## A new basin-forming geodynamic model for the Carboniferous Junggar Basin: back-arc basin system

CHEN Gang<sup>1</sup> YOU Xincal<sup>2</sup> YANG Lei<sup>3</sup> WANG Jufeng<sup>1</sup> LIU Chaowei<sup>2</sup> HE Wenjun<sup>2</sup>  
QI Xuefeng<sup>1</sup> YANG Fan<sup>1</sup> LU Shan<sup>1</sup> GU Zhidong<sup>1</sup> WANG Ruiju<sup>1</sup> YANG Chun<sup>1</sup>

1 Research Institute of Petroleum Exploration and Development, PetroChina, Beijing 100083, China

2 Research Institute of Petroleum Exploration and Development, PetroChina Xinjiang Oilfield Company, Xinjiang Karamay 834000, China

3 CNPC Xibu Drilling Engineering Company Limited, Urumqi 830000, China

**Abstract** The Carboniferous in Junggar Basin has favorable hydrocarbon geological conditions and

\* 中国石油天然气股份有限公司重大科技专项 (编号: 2023ZZ02) 资助。[Financially supported by the PetroChina Major Science and Technology Project (No. 2023ZZ02)]

收稿日期: 2025-11-18 改回日期: 2026-01-22

serves as a realistic exploration target, but controversies remain regarding its basin-forming mechanism. This study integrates drilling, seismic, and core analytical data to establish a seismic-geological framework of the Junggar Basin. We analyzed the Carboniferous geological structure and its temporal evolution characteristics, and further constrained the regional tectonic setting and geodynamic history by integrating zircon U-Pb geochronology and whole-rock geochemistry of coeval magmatic rocks across the Junggar region. Based on these integrated analyses, we propose a revised geodynamic model for Carboniferous basin formation. The results indicate: (1) The Lower Carboniferous Songkaersu Formation (subunits) and the overlying Upper Carboniferous Bashan Formation constitute a near-continuous, tectonically coherent sedimentary succession without major angular or disconformable interfaces, and thus define a well-preserved tectonostratigraphic unit. (2) The Junggar Basin underwent a Carboniferous tectonic cycle from extension to compression. Two periods of normal fault activities occurred in the Early and Late Carboniferous and controlled the rifting of the Central Depression and the Luliang uplift, and the development of the Dishuiquan, Mosuowan, and Fudong rift basins. It can be inferred that the Carboniferous Junggar Basin, as a back-arc rift system, was developed in response to lithospheric extension behind the Wulungu magmatic arc, driven by rollback of the Irtysh oceanic slab. The results are conducive to a further understanding of the orogenic process of the accretion in the northern border region and the development conditions of the Carboniferous source and reservoir in the Junggar Basin, thereby providing a scientific basis for the evaluation of favorable deep exploration zones in the Junggar Basin.

**Key words** geological structure, tectonic evolution, basin-forming mechanism, Carboniferous, Junggar Basin

**About the first author** CHEN Gang, born in 1987, senior engineer, is engaged in comprehensive research on petroleum geology. E-mail: chengang141@petroChina.com.cn.

## 0 前言

准噶尔盆地是位于中国西北地区的大型含油气盆地,发育多套主力烃源岩及其配套储-盖组合,蕴含着丰富的油气资源(支东明等, 2025)。随着勘探工作不断向盆地深部进军,已在上古生界取得了多类型、多层系、多区带的规模油气发现,使石炭系一二叠系逐渐成为推动深层一超深层勘探进程、发展全油气系统理论的主要阵地(唐勇等, 2022)。石炭系是准噶尔盆地目前最古老烃源岩及碎屑岩/火山岩储集层的发育层系,在陆梁隆起克拉玛依千亿方大气田发现之后,近年来又相继在阜康凹陷东部阜 26 井火山岩、古城凹陷古城 1 井和古参 1 井火山碎屑岩、石钱滩凹陷石钱 1 井和石钱 3 井砂砾岩取得了勘探进展(杨帆等, 2019; 林潼等, 2024),进一步证实准噶尔盆地石炭系具备大规模油气形成与聚集的潜力,并由此提出了准噶尔盆地海相深层油气勘探新领域。尽管大量研究认为石炭纪是准噶尔地区构造体制转换、海相一陆相沉积演变的重要转折期,但目前对于准噶尔石炭纪盆

地性质和演化的认识尚存在分歧。早期研究认为,准噶尔石炭纪盆地是陆-陆碰撞过程中的残留洋(海)盆或海相前陆盆地(赖世新等, 1999; 匡立春等, 2013),或者准噶尔地区洋盆闭合于石炭纪早期,石炭纪盆地为造山期后的裂陷槽(陈发景等, 2005)或陆内裂谷(王方正等, 2002)。之后,越来越多的资料显示准噶尔地区石炭纪仍存在大洋俯冲活动,在盆地周缘和内部形成了大量岛弧岩浆记录(郑建平等, 2000; 李涤等, 2012; He *et al.*, 2013),据此认为准噶尔石炭纪盆地为北向俯冲主导下的不同类型弧相关盆地(Li *et al.*, 2016)。

总体来看,前人研究重点聚焦于准噶尔盆地石炭系钻井火山岩的构造环境,缺乏与盆地石炭系整体构造变形格架的结合。本研究综合利用准噶尔盆地中的地震大剖面、大量火山岩岩心年代学和地球化学数据等资料,通过分析梳理盆地结构与构造变形演化以及石炭纪火山岩的成因类型与时空分布特征,探讨准噶尔石炭纪盆地的形成演化机制,建立

新的成盆动力学模型，以期对认识北疆地区增生造山过程、准噶尔盆地石炭系源-储发育条件及评价盆地深层有利勘探区带提供支撑。

## 1 区域地质背景

准噶尔盆地位于中亚造山带南部(图 1-a)，夹持于天山和阿尔泰山之间，西邻扎伊尔山—哈拉阿拉特山，东接克拉美丽山和青格里底山，整体呈三角形(图 1-b)。准噶尔盆地西侧为西准噶尔造山带，自北向南依次发育北东-南西走向由断裂分隔的晚古生代萨乌尔弧、早古生代成吉斯弧以及晚古生代库鲁木地和克拉玛依弧。沿成吉斯弧南侧的谢米斯台断裂以及库鲁木地和克拉玛依弧之间的达尔布特断裂分别发育奥陶纪—志留纪、泥盆纪—早石炭世蛇绿混杂岩 (Han *et al.*, 2010)。盆地东侧的东准噶尔造山带主要由杜拉特弧和野马泉弧组成，二者之间发育扎河坝—阿尔曼太寒武纪—奥陶纪蛇绿混杂岩 (Jian *et al.*, 2005)，野马泉弧南缘发育克拉美丽古生代蛇绿混杂岩带 (Han *et al.*, 2010)。东、西准噶尔与阿尔泰山之间发育泥盆纪—早石炭世额尔齐斯蛇绿混杂岩 (张海洋等, 2003; 吴波等, 2006)。

准噶尔盆地及邻区经历了古生代古亚洲洋俯冲—增生过程以及中、新生代多期陆内变形改造。由于准噶尔盆地与东准噶尔造山带具有相似的地质单元与构造走向，本研究重点阐述东准噶尔构造演化背景：寒武纪—奥陶纪，准噶尔地块夹持于阿尔曼太洋与北天山洋之间；晚奥陶世—早志留世，由于阿尔曼太洋闭合，杜拉特弧、野马泉弧和准噶尔地块发生拼贴 (Zhao *et al.*, 2022)，此时南、北两侧分别发育北天山洋和额尔齐斯洋；早泥盆世，区域拉张导致杜拉特—野马泉弧与准噶尔地块分离而形成克拉美丽洋，该洋盆通过北向俯冲、消减并最终闭合于晚泥盆世—早石炭世 (Zhang *et al.*, 2013)；随后，在北天山洋和额尔齐斯洋的消亡过程中，准噶尔盆地及邻区受伸展作用影响，在周缘造山带形成广泛的石炭纪—二叠纪花岗岩侵入体(图 1-b)；自二叠纪晚期以来，准噶尔地区经历了印支期、燕山期、喜马拉雅期等多阶段挤压冲断改造，形成了现今的盆-山格局 (何登发等, 2018)。

准噶尔盆地是在拼合基底上发育起来的大型叠合盆地 (况军, 1993)，可划分为北天山山前冲断带、西部隆起、中央拗陷、东部隆起、陆梁隆起和乌伦古拗陷 6 个一级构造单元(图 1-b)。盆地内发育上古生界至新近系。石炭纪盆地大多被认为形

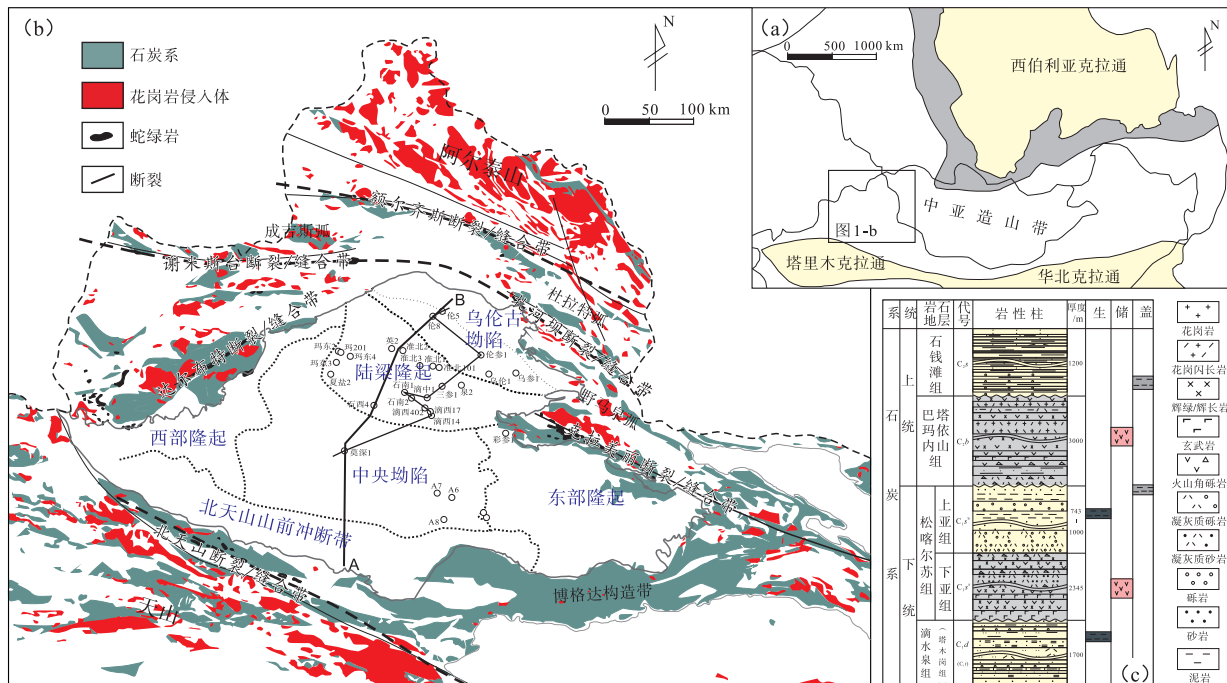


图 1 准噶尔盆地大地构造位置 (a)、区域地质概况 (b) 及石炭系地层柱 (c)

Fig.1 Tectonic location (a), regional geological overview (b) and the Carboniferous stratigraphic column (c) of Junggar Basin

成于伸展构造背景(王方正等, 2002; 陈发景等, 2005; Li *et al.*, 2016), 但区域构造研究表明, 早、晚石炭世其分别经历了伸展—聚敛演化(唐勇等, 2015)。石炭系是目前钻遇的最老层系, 自下而上包括滴水泉组(或塔木岗组)、巴塔玛依内山组(简称巴山组)和石钱滩组(图 1-c)。滴水泉组为一套含陆源碎屑和火山碎屑物质的过渡相沉积, 在盆地东北缘的同期地层(塔木岗组)为一套陆相砾岩、砂砾岩沉积。巴塔玛依内山组为一套火山岩—碎屑岩序列, 可进一步划分出下火山岩段、沉积岩段和上火山岩段, 其中下火山岩段主要为中酸性火山岩, 上火山岩段主要为基性火山岩和酸性火山岩, 具有双峰式特征, 二者之间的沉积岩段发育泥岩、沉凝灰岩夹少量火山岩(Li *et al.*, 2015a), 局部含煤, 为较好的烃源岩层段, 与相邻层系火山岩

和火山岩碎屑岩构成了有利源—储组合(吴晓智等, 2008)。

## 2 地质结构特征

准噶尔盆地内部构造单元及次级的凹陷和凸起总体呈 NW 或 NWW 向展布特征, 局部地区 NE 向延伸的线性凸起则是燕山期北西—南东向挤压改造的产物(图 1-b)(Yang *et al.*, 2012; Li *et al.*, 2015a)。从盆地区域地震地质剖面来看(图 2), 准噶尔盆地具有垂向分层的叠加地质结构特征, 上部表现为盆地边缘发育一系列中—低角度的逆冲断裂, 在北天山山前形成叠瓦构造样式, 中—新生界卷入变形并在中央拗陷南部和乌伦古拗陷形成前渊沉积; 下部的上古生界在各构造单元普遍发育, 主

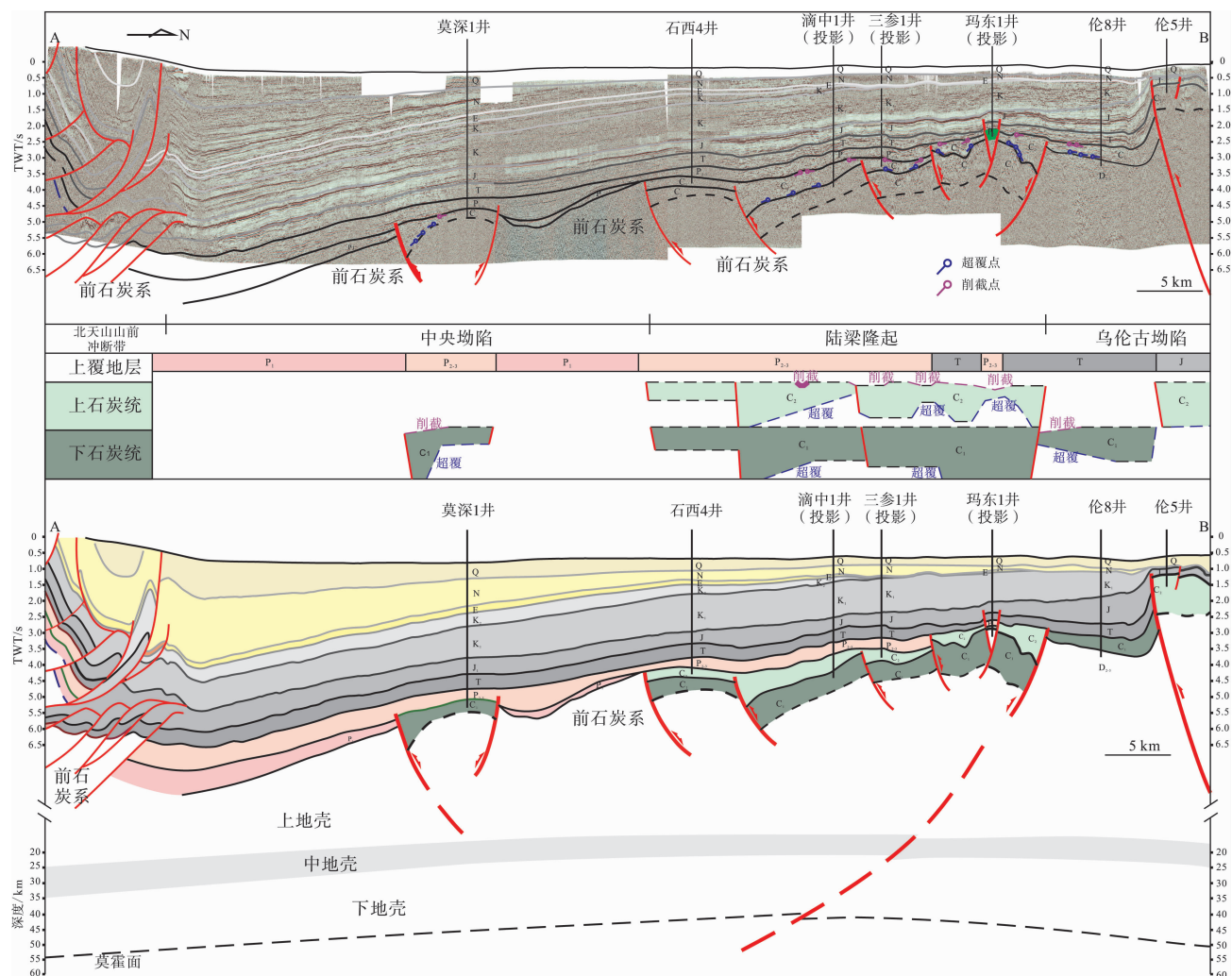


图 2 准噶尔盆地南北向地震剖面及地质结构特征 (剖面位置见图 1-b)

Fig. 2 S-N striking seismic profile and geological architecture feature in Junggar Basin (the profile location shown in Fig. 1-b)

要受中—高角度断裂控制，其中，莫索湾凸起南缘和陆梁隆起北缘断裂与深部地球物理资料识别的基底深大断裂在空间上具有较好的对应关系 (Zhao *et al.*, 2019)。靠近断裂部位的石炭系具有加厚特征，相比之下，二叠系整体厚度变化不大。中央坳陷莫索湾凸起（即莫深 1 井区）和乌伦古坳陷南部的索索泉凹陷（即伦 8 井区）下石炭统底部发育地层上超现象，顶部局地发育地层削截；陆梁隆起中部（即滴中 1 井、三参 1 井和玛东 1 井区）上石炭统底部普遍存在地层上超现象，顶部局地可见地层削截现象；乌伦古坳陷北部红岩断阶带上石炭统与上覆侏罗系之间地层缺失，呈异岩不整合接触关系，未见明显的削截现象。

准噶尔盆地石炭系除了碎屑岩外还发育大量火山岩，形成了不同单元、不同层系的差异充填（图 3）。中央坳陷莫索湾凸起莫深 1 井钻遇的下石炭统松喀尔苏组下亚组以凝灰岩为主，夹薄层安山岩、凝灰质粉砂岩、泥岩，上亚组为凝灰岩、凝灰质粉砂岩和泥岩。陆梁隆起钻遇的石炭系地层相对完整，滴西 14、滴西 17 和滴中 1 井揭示下石炭统松喀尔苏组下亚组主要为安山岩、流纹岩、火山角砾岩和凝灰岩，上亚组主要为凝灰岩、凝灰质砂岩夹砂岩、泥岩和少量砾岩，总体上呈粒度向上变细的碎屑沉积特征；滴西 17、石南 1、滴中 1 和三参 1 井钻揭的上石炭统巴山组主要为玄武岩、玄武质安山岩、流纹岩、火山角砾岩、凝灰岩以及少量凝灰质砂岩。乌伦古坳陷南部索索泉凹陷钻遇的石炭系主要为下石炭统松喀尔苏组上亚组凝灰岩和凝灰质砂岩，而北部的红岩断阶带主要为巴山组安山岩和凝灰岩。目前石炭系钻井火山岩定年结果显示，准噶尔盆地主要存在早、晚石炭世 2 期岩浆活动，分别发生于 337—323 Ma 和 315—300 Ma（王方正等，2002；苏玉平等，2010；李涤等，2012；Yang *et al.*, 2012；He *et al.*, 2013），大致与巴山组下火山岩段（即松喀尔苏组下亚段）和上火山岩段相对应。相比较而言，巴山组沉积岩段岩浆活动较弱，目前仅在少数钻井中（如滴中 1 井）钻遇少量火山岩（Li *et al.*, 2015a）。

### 3 火山岩地球化学特征

为全面了解准噶尔盆地石炭纪火山岩成因，笔者整理汇编了盆地内各构造单元钻井火山岩全岩元

素地球化学数据（吴小奇等，2009；He *et al.*, 2013；Li *et al.*, 2015a, 2015b, 2016；陈春勇等，2018；Han *et al.*, 2019；Wang *et al.*, 2021；焦小芹等，2022；张奎华等，2026），并对主量元素进行了归一化处理。处理后的数据结果显示，准噶尔盆地石炭纪火山岩的  $\text{SiO}_2$  含量变化于 50.95% ~ 77.95% 之间， $\text{TiO}_2$  变化于 0.16% ~ 3.76% 之间， $\text{Al}_2\text{O}_3$  变化于 8.03% ~ 19.60% 之间， $\text{MgO}$  变化于 0.12% ~ 15.55% 之间， $\text{TFe}_2\text{O}_3$  变化于 1.03% ~ 15.84% 之间。 $\text{Mg\#}$  值介于 8~66 之间，表明这些岩石经历了不同程度的分离结晶作用。绝大多数石炭纪火山岩样品具有相对低的 Nb/Y 值（0.06 ~ 0.66），少数样品比值较高（0.73 ~ 1.64）。在 Zr/TiO<sub>2</sub> vs. Nb/Y 图解中，大部分样品落入亚碱性玄武岩、安山岩、英安岩和流纹岩区域，仅有个别样品点落在碱性玄武岩和粗安岩范围，因此从岩石类型上看，乌伦古坳陷石炭纪火山岩以中基性岩为主，而陆梁隆起、中央坳陷和东部隆起的火山岩大致分为中基性火山岩和酸性火山岩 2 个大类，总体具有双峰式岩石组合特征（图 4-a）。在 Th-Co 图解中，所有石炭纪样品几乎均表现为钙碱性火山岩特征，其中少数乌伦古坳陷和陆梁隆起样品呈高钾钙碱性火山岩特征（图 4-b）。总体来看，准噶尔盆地内部早、晚石炭世火山岩在岩石类型、组合和性质上相似。

准噶尔盆地石炭系样品的稀土元素总量变化较大，介于 26~343  $\mu\text{g/g}$  之间，平均值为 121  $\mu\text{g/g}$ 。所有样品表现为较为一致的球粒陨石标准化稀土模式，并具有不明显的 Eu 异常（ $\text{Eu}/\text{Eu}^* = 0.74 \sim 1.26$ ）和轻稀土相对富集的配分模式（ $\text{La}_N/\text{Yb}_N = 1.26 \sim 9.59$ ），其中，乌伦古坳陷石炭系中基性火山岩样品的  $\text{La}_N/\text{Yb}_N$  值变化于 1.95 ~ 7.74 之间，与马利亚纳岛弧玄武岩（0.89~2.87）相似或更高（图 4-c），而其他构造单元中基性火山岩样品的  $\text{La}_N/\text{Yb}_N$  值变化范围相对较小（2.34~7.07），类似于大陆弧后盆地玄武岩（1.50 ~ 5.70）（图 4-c）。在微量元素蛛网图上（图 4-d），所有样品表现出相对富集大离子亲石元素（如 Th 和 U）、亏损高场强元素（如 Nb 和 Ta）的特征（图 4-d），尤其乌伦古坳陷石炭系部分火山岩样品呈现更为明显的 Nb、Ta、Ti 亏损，与典型的俯冲带火山岩微量元素特征一致（图 4-d）。

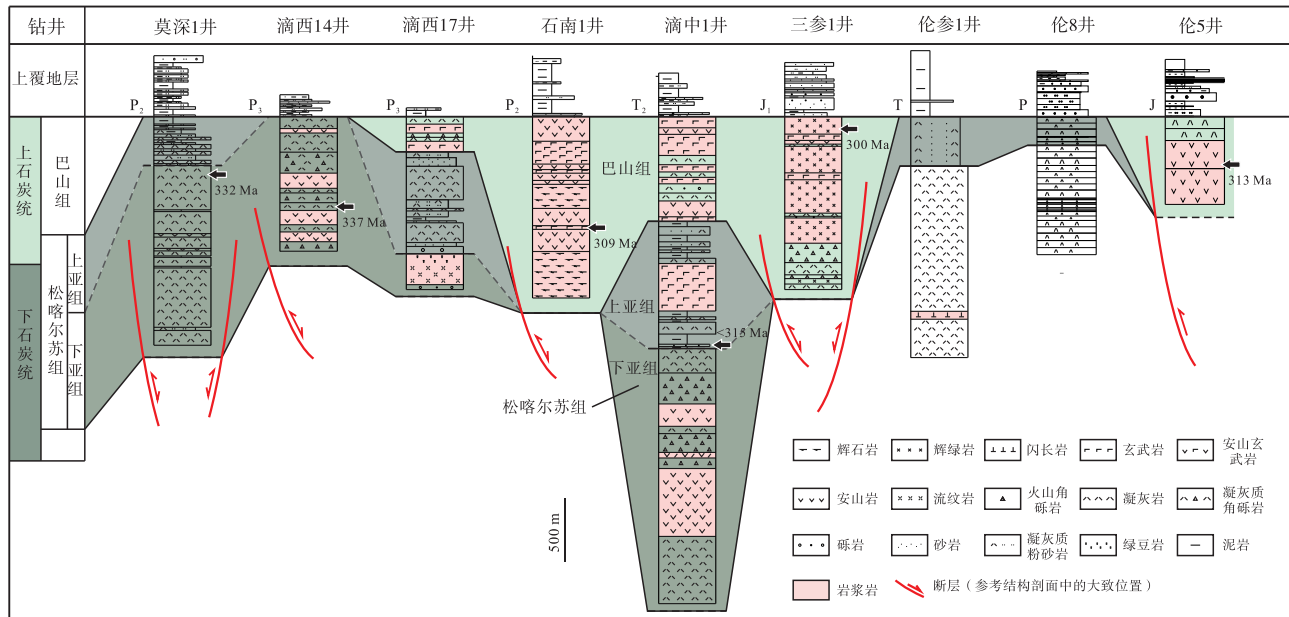


图 3 准噶尔盆地石炭系钻井地层对比与充填特征 (地层剖面位置见图 1-b)

Fig. 3 Drilled stratigraphic correlation and sedimentary characteristics of the Carboniferous in Junggar Basin (the profile location shown in Fig. 1-b)

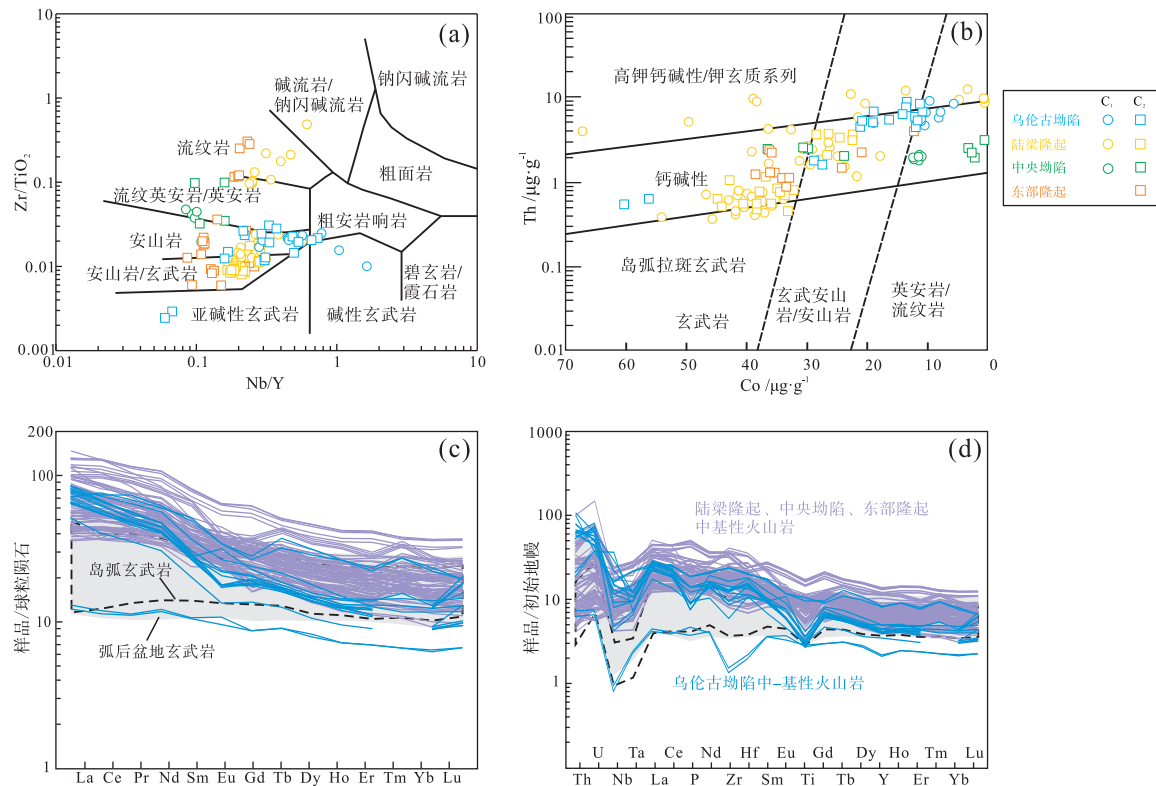


图 4 准噶尔盆地石炭纪火山岩岩石类型和微量元素特征 (岛弧玄武岩和弧后盆地玄武岩数据分别来自 Pearce and Peate, 1995; Shinjo *et al.*, 1999)

Fig. 4 Rock types and trace elemental composition of the Carboniferous volcanic rocks in Junggar Basin (data for the arc and backarc basalts from Pearce and Peate, 1995; Shinjo *et al.*, 1999)

## 4 讨论

### 4.1 盆地构造演化

准噶尔盆地经历了多期成盆与改造演化过程，但对其石炭纪演化阶段的认识尚不明确，从盆地东部地区的研究来看，多认为其经历了早、晚石炭世 2 个构造阶段（Yang *et al.*, 2012; Li *et al.*, 2023）。目前对于准噶尔盆地内部石炭系底部地层界面的性质难以准确厘定，但从盆地周缘的露头上可清晰地观察到泥盆系与石炭系之间的角度不整合或地层缺失（李涤，2016）。盆地内部地震地质大剖面显示，石炭系顶部普遍发育角度不整合现象，甚至有明显的地层缺失（图 2）。值得注意的是，上、下石炭统之间普遍发育上超不整合，界面之下未见到明显削截现象（图 2）。上述结果表明，准噶尔盆地内部石炭系整体为 1 个大构造层，由此笔者认为，准噶尔盆地石炭纪主要经历了 1 个构造演化阶段。此外，盆内中央凹陷莫索湾凸起以及陆梁隆起边缘和内部普遍发育中—高角度断层，其中，靠近莫索湾凸起南缘断裂以及陆梁隆起南、北侧边缘断裂部位可见明显的下石炭统地层加厚现象，陆梁隆起边缘与内部的断层明显控制了石炭统地层的增厚沉积（图 2），表明这些断裂性质为正断层，并且经历了早、晚石炭世 2 幕伸展裂陷活动。而乌伦古坳陷北部红岩断阶带受地震资料品质的限制，未见上石炭统地层厚度变化与相邻断裂的关系，但结合其顶部不整合面的发育，认为红岩断阶带南侧的断裂可能为石炭纪晚期的逆冲断层。因此，笔者认为准噶尔盆地石炭纪总体经历了 1 个伸展—挤压构造旋回，并在伸展作用背景下在中央坳陷和陆梁隆起形成了早、晚石炭世 2 幕裂陷活动（图 5），其中，陆梁隆起地区石炭纪 2 幕裂陷活动的正断层具有长期或继承性活动特征，由此控制了中央凹陷莫索湾裂陷、陆梁隆起坳陷中裂陷伸展断裂的阶段性发育与盆地分布（图 5），石炭纪晚期可能遭受到挤压改造，进而导致乌伦古北部地区的逆冲断裂活动以及中央坳陷和陆梁隆起地区石炭纪裂陷盆地反转。

### 4.2 成盆动力学模式

近年来，越来越多的研究揭示准噶尔石炭纪盆地的形成与伸展作用相关，但对于伸展构造的动力学背景仍存在大陆裂谷、后碰撞裂谷、弧相关裂谷等争议（王方正等，2002；吴小奇等，2009；Li

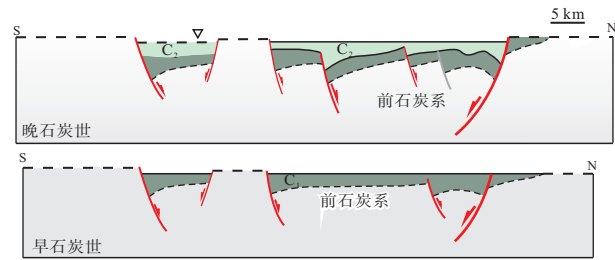


图 5 准噶尔盆地石炭纪构造变形演化特征

Fig. 5 The Carboniferous structural deformation evolution of Junggar Basin

*et al.*, 2015a)。准噶尔盆地石炭纪中基性火山岩整体具有低  $\text{TiO}_2$  含量（平均值 1.33%）及相对高的  $\text{Th}/\text{Yb}$  和  $\text{Nb}/\text{Yb}$  值（分别为 0.16~5.35 和 0.54~9.95）。在  $\text{Th}/\text{Yb}$  vs.  $\text{Nb}/\text{Yb}$  图解中（图 6-a），几乎所有样品均落在火山弧区域，表明准噶尔石炭纪盆地的形成并非与大陆裂谷环境相关，而是与板块汇聚作用相关。另外，除了乌伦古坳陷 2 个晚石炭世样品外，所有火山岩样品均具有相对高的  $\text{Zr}$  含量（91~462  $\mu\text{g/g}$ ）和  $\text{Zr}/\text{Y}$  值（3.95~11.78）（图 6-b），在  $\text{Zr}/\text{Y}$  vs.  $\text{Zr}$  图解中位于板内玄武岩区域，进一步表明准噶尔盆地绝大多数石炭纪火山岩兼具岛弧和板内火山岩地球化学元素组成，类似于典型弧后盆地火山岩（Shinjo *et al.*, 1999），这也与一些样品落在弧后盆地玄武岩范围一致（图 6）。考虑到乌伦古坳陷北部红岩断阶带晚石炭世仍发育岛弧火山岩（图 6-b），笔者认为准噶尔石炭纪裂陷盆地更可能形成于板片俯冲环境。

前期研究大多认为准噶尔石炭纪盆地是北天山洋或克拉美丽洋岩石圈北向俯冲导致的洋内弧相关伸展裂陷作用的结果（Li *et al.*, 2015a; Wang *et al.*, 2021; Hou *et al.*, 2024）。然而，准噶尔盆地航磁异常资料以及盆地东北缘和盆内莫深 1 井石炭系地层揭示出大量古老碎屑锆石记录（李亚萍等，2007；He *et al.*, 2013），表明盆地腹部可能存在前寒武系基底，这也与准噶尔盆地石炭纪弧火山岩大多表现为大陆弧的地球化学特征相吻合（图 6-a）。此外，尽管一些学者认为克拉美丽洋可能向西延伸进入准噶尔盆地陆梁隆起边缘并与达尔布特洋相连，但迄今为止在陆梁隆起两侧尚未发现洋壳残片证据，并且盆地东北缘塔木岗组类磨拉石沉积证据表明克拉美丽洋在石炭纪初期已闭合（Zhang *et al.*, 2013）。另外，晚石炭世早期“钉合岩体”

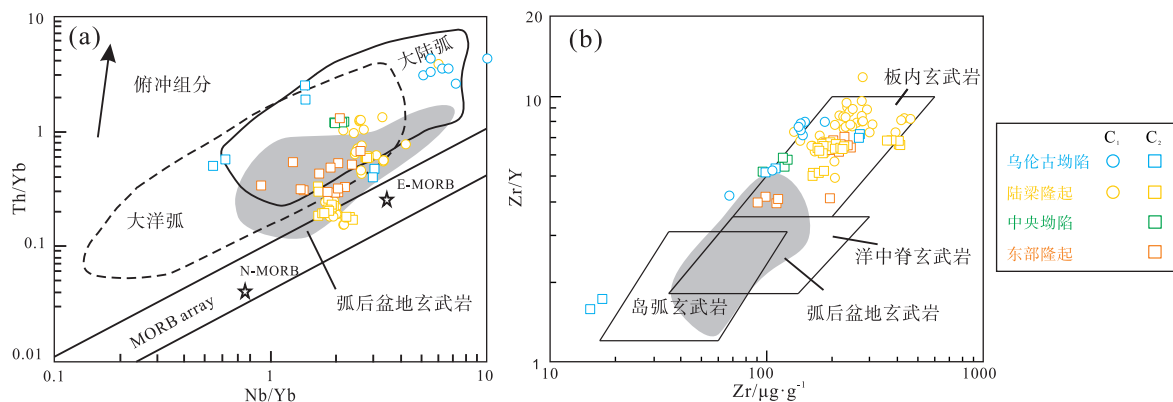


图 6 准噶尔盆地石炭纪火山岩构造环境判别图解 (弧后盆地玄武岩数据来自 Shinjo *et al.*, 1999)

Fig. 6 Tectonic setting discrimination diagrams for the Carboniferous volcanic rocks in Junggar Basin  
(data for the backarc basalts from Shinjo *et al.*, 1999)

的发育表明准噶尔盆地南缘的北天山洋可能闭合于早石炭世晚期 (Han *et al.*, 2010)。上述研究结果似乎不支持北天山洋或克拉美丽洋俯冲对准噶尔石炭纪构造的控制, 反而更倾向盆地北缘的额尔齐斯洋南向俯冲作用的贡献。重要的是沿额尔齐斯断裂发育泥盆纪—早石炭世蛇绿混杂岩 (张海洋等, 2003; 吴波等, 2006), 结合乌兰古坳陷晚石炭世岛弧火山岩的发育 (图 6-b), 表明额尔齐斯洋岩石圈具备南向俯冲消减的背景条件。

准噶尔盆地乌兰古坳陷石炭纪主要发育岛弧火山岩及相关裂谷型火山岩, 而其他构造单元则主要发育弧后裂谷型火山岩, 这样的盆地火山岩成因类型分布特征与相邻的西准噶尔北部和东准噶尔地区相吻合 (图 7)。从区域构造演化与盆地深部结构综合来看, 西准噶尔—乌兰古弧—东准噶尔—野马泉弧可能构成了准噶尔—吐哈地块的古生代增生边缘 (Xu *et al.*, 2013; Zhao *et al.*, 2019)。此外, 在东准噶尔、乌兰古坳陷以及西准噶尔北部地区, 石炭纪弧岩岩浆岩的年龄分布具有向北变年轻的特点 (图 7), 总体呈现向北迁移的特征, 表明额尔齐斯洋俯冲板片后撤是准噶尔石炭纪伸展断陷盆地形成的主要动力因素。进一步综合区域上石炭纪裂陷盆地分布特征, 笔者提出了准噶尔盆地石炭系成盆动力学新模型: 早石炭世早期, 野马泉岛弧与准噶尔—吐哈地块发生拼合并在克拉美丽山前形成前陆盆地类磨拉石沉积 (Zhang *et al.*, 2013), 随后由于额尔齐斯洋俯冲板片后撤导致乌兰古岛弧后方发生岩石圈伸展作用, 在准噶尔盆地陆梁隆起和中央坳陷地区形成早石炭世滴水泉裂陷盆地和莫索湾裂陷

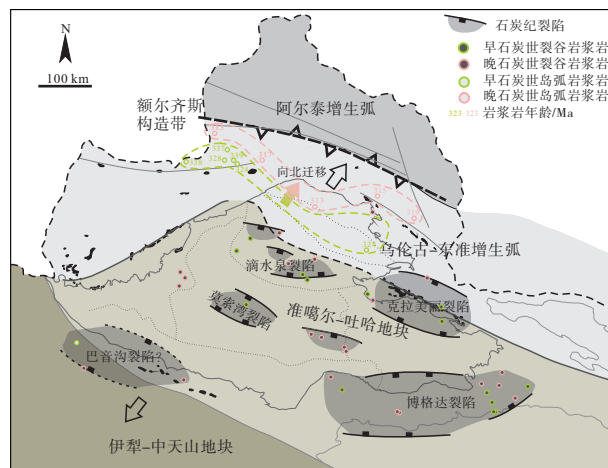


图 7 准噶尔盆地及邻区石炭纪岩浆岩及裂陷盆地分布特征 (数据来自李漆, 2016)

Fig. 7 Distribution features of the Carboniferous magmatic rocks and rift basins in Junggar Basin and its adjacent area (data from Li, 2016)

盆地以及在盆缘形成同期的克拉美丽裂陷盆地和博格达裂陷盆地 (图 7; 图 8), 充填了下石炭统松喀尔苏组下亚段 (即巴山组下火山岩段) 中酸性火山岩; 早石炭世晚期, 北天山洋的闭合导致准噶尔—吐哈地块与伊犁—中天山地块碰撞拼合 (Han *et al.*, 2010), 但该事件对准噶尔早石炭世裂陷盆地未造成明显的改造, 盆内缺乏上、下石炭统之间的角度不整合 (图 2); 晚石炭世, 在持续的弧后伸展背景下, 滴水泉、莫索湾、克拉美丽、博格达裂陷盆地进一步发育, 并可能形成新的阜东裂陷盆地和巴音沟裂陷盆地, 以及出现由基性岩和酸性岩构成的巴山组上火山岩段双峰式组合 (图 7; 图 8)。

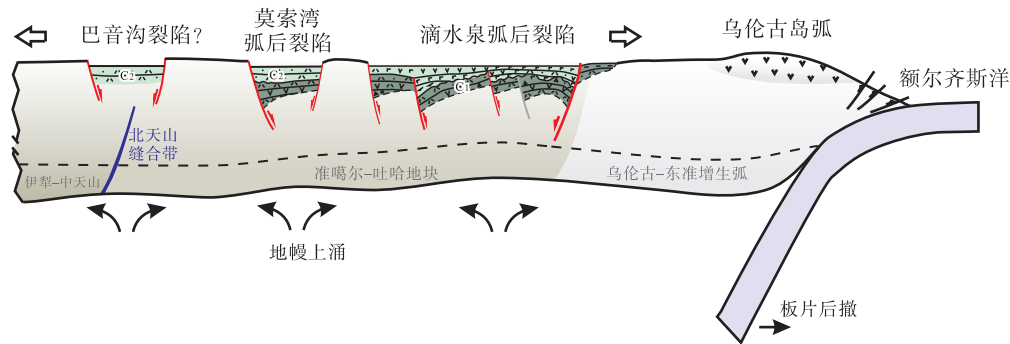


图 8 准噶尔石炭纪盆地成因模式

Fig. 8 Geodynamic genetic model of the Carboniferous Junggar Basin

尽管目前对于巴山组沉积岩（即松喀尔苏组上亚组）的时限及其内部火山岩成因尚缺乏研究，但从构造变形与充填特征上看，该时期主要为弱伸展环境，为早石炭世裂陷后的拗陷阶段，与上石炭统石钱滩组在盆地性质与成因上相似，均为富有机质沉积的有利发育层段。综上所述，准噶尔石炭纪弧 2 幕裂陷活动为下石炭统松喀尔苏组上亚组和上石炭统石钱滩组烃源岩的发育提供了重要的地质条件。

## 5 结论

1) 准噶尔盆地内部下石炭统松喀尔苏组下亚组、上亚组与上石炭统巴山组为近连续的沉积充填序列，它们之间不存在明显的构造不整合界面，为一套构造层。

2) 准噶尔盆地石炭纪经历了 1 个伸展—挤压构造旋回，伸展构造阶段发生早、晚石炭世 2 期正断层活动，控制了中央拗陷和陆梁隆起地区 2 幕裂陷盆地的发育。

3) 准噶尔石炭纪盆地是在额尔齐斯洋岩石圈南向俯冲板片后撤动力控制下由乌伦古弧后伸展作用引起的弧后裂陷盆地。

**致谢** 感谢《古地理学报》期刊主编和审稿专家为本文提出的宝贵意见和建议！

## 参考文献 (References)

陈春勇,汪冲,罗静兰,何贤英,马尚伟,许学龙,代静静,刘勇. 2018. 准噶尔盆地东部北三台地区石炭系火山岩的锆石 U-Pb 年代学、地球化学特征及其构造意义. 地质科学, 53(3): 1136-1156.

[Chen C Y, Wang C, Luo J L, He X Y, Ma S W, Xu X L, Dai J J, Liu Y. 2018. Zircon U-Pb ages and geochemical characteristics of the Carboniferous volcanic rocks in the Beisantai area, eastern Junggar and their tectonic implications. Chinese Journal of Geology, 53(3): 1136-1156]

陈发景,汪新文,汪新伟. 2005. 准噶尔盆地的原型和构造演化. 地学前缘, 12(3): 77-89. [Chen F J, Wang X W, Wang X W. 2005. Prototype and tectonic evolution of the Junggar Basin, northwestern China. Earth Science Frontiers, 12(3): 77-89]

何登发,张磊,吴松涛,李淦,甄宇. 2018. 准噶尔盆地构造演化阶段及其特征. 石油与天然气地质, 39(5): 845-861. [He D F, Zhang L, Wu S T, Li D, Zhen Y. 2018. Tectonic evolution stages and features of the Junggar Basin. Oil & Gas Geology, 39(5): 845-861]

焦小芹,张关龙,牛花朋,王圣柱,于洪洲,熊峥嵘,周健,谷文龙. 2022. 准噶尔盆地东北缘石炭系火山岩形成机制: 对准噶尔洋盆闭合时限的新启示. 地学前缘, 29(4): 385-402. [Jiao X Q, Zhang G L, Niu H P, Wang S Z, Yu H Z, Xiong Z R, Zhou J, Gu W L. 2022. Genesis of Carboniferous volcanic rocks in northeastern Junggar Basin: new insights into the Junggar Ocean closure. Earth Science Frontiers, 29(4): 385-402]

况军. 1993. 地体拼贴与准噶尔盆地的形成演化. 新疆石油地质, 14(2): 126-132. [Kuang J. 1993. Terrene connection, formation and evolution of Junggar Basin. Xinjiang Petroleum Geology, 14(2): 126-132]

匡立春,张越迁,查明,陈中红,李林,孔玉华,张勇. 2013. 新疆北部石炭纪构造背景及演化. 地质学报, 87(3): 311-320. [Kuang L C, Zhang Y Q, Zha M, Chen Z H, Li L, Kong Y H, Zhang Y. 2013. Carboniferous tectonic setting and evolution in northern Xinjiang, China. Acta Geologica Sinica, 87(3): 311-320]

赖世新,黄凯,陈景亮,吴坚,钱万程,陈书平,徐怀民. 1999. 准噶尔晚石炭世、二叠纪前陆盆地演化与油气聚集. 新疆石油地质, 20(4): 293-297. [Lai S X, Huang K, Chen J L, Wu J, Qian W C, Chen S P, Xu H M. 1999. Evolution and oil/gas accumulation of Late Carboniferous and Permian foreland basin in Junggar Basin. Xinjiang Petroleum Geology, 20(4): 293-297]

- 李涤. 2016. 准噶尔盆地及邻区石炭纪构造格架与沉积充填演化. 中国地质大学(北京)博士学位论文. [Li D. 2016. Carboniferous tectonic framework and sedimentary filling evolution in the Junggar Basin and adjacent area, NW China. Doctoral dissertation of China University of Geosciences]
- 李涤, 何登发, 唐勇, 樊春, 孔玉华. 2012. 准噶尔盆地滴南凸起早石炭世火山岩的成因及其对克拉美丽洋闭合时限的约束. 岩石学报, 28(8): 2340–2354. [Li D, He D F, Tang Y, Fan C, Kong Y H. 2012. Genesis of Early Carboniferous volcanic rocks of the Di'nan uplift in Junggar Basin: constraints to the closure time of Kalamaili ocean. *Acta Petrologica Sinica*, 28(8): 2340–2354]
- 李亚萍, 李锦铁, 孙桂华, 朱志新, 杨之青. 2007. 准噶尔盆地基底的探讨: 来自原泥盆纪卡拉麦里组砂岩碎屑锆石的证据. 岩石学报, 23(7): 1577–1590. [Li Y P, Li J Y, Sun G H, Zhu Z X, Yang Z Q. 2007. Basement of Junggar Basin: evidence from detrital zircons in sandstone of previous Devonian Kalamaili Formation. *Acta Petrologica Sinica*, 23(7): 1577–1590]
- 林潼, 杨威, 焦立新, 马强, 杨润泽, 龚德瑜. 2024. 准噶尔盆地东部石炭系海相砂岩气藏特征、潜力与勘探方向. 天然气地球科学, 35(2): 245–258. [Lin T, Yang W, Jiao L X, Ma Q, Yang R Z, Gong D Y. 2024. Characteristics, potential and exploration direction of Carboniferous marine sandstone gas reservoirs in eastern Junggar Basin. *Natural Gas Geoscience*, 35(2): 245–258]
- 苏玉平, 郑建平, Griffin William L, 汤华云, O'Reilly Suzanne Y, 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): 2933–2945. [Su Y P, Zheng J P, Griffin W L, Tang H Y, O'Reilly S Y, Lin X Y. 2010. Zircon U-Pb dating and Hf isotope of volcanic rocks of Batamayinshan Formation in east Junggar Basin. *Chinese Science Bulletin*, 55(30): 2933–2945]
- 唐勇, 王刚, 郑孟林, 陈磊, 冯莉, 孔玉华, 卫延召, 赖世新, 丁靖. 2015. 新疆北部石炭纪盆地构造演化与油气成藏. 地学前缘, 22(3): 241–253. [Tang Y, Wang G, Zheng M L, Chen L, Feng L, Kong Y H, Wei Y Z, Lai S X, Ding J. 2015. Carboniferous basin evolution and its hydrocarbon accumulation in the north of Xinjiang. *Earth Science Frontiers*, 22(3): 241–253]
- 唐勇, 雷德文, 曹剑, 刘寅, 黄立良, 李卉. 2022. 准噶尔盆地二叠系全油气系统与源内天然气勘探新领域. 新疆石油地质, 43(6): 654–662. [Tang Y, Lei D W, Cao J, Liu Y, Huang L L, Li H. 2022. Total petroleum system and inner-source natural gas exploration in Permian strata of Junggar Basin. *Xinjiang Petroleum Geology*, 43(6): 654–662]
- 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): 9–16. [Wang F Z, Yang M Z, Zheng J P. 2002. Geochemical characteristics and geological environment of basement volcanic rocks in Lulliang, central region in Junggar Basin. *Acta Petrologica Sinica*, 18(1): 9–16]
- 吴波, 何国琦, 吴泰然, 李会军, 罗红玲. 2006. 新疆布尔根蛇绿混杂岩的发现及其大地构造意义. 中国地质, 33(3): 476–486. [Wu B, He G Q, Wu T R, Li H J, Luo H L. 2006. Discovery of the Buer-gen ophiolitic mélange belt in Xinjiang and its tectonic significance. *Geology in China*, 33(3): 476–486]
- 吴小奇, 刘德良, 魏国齐, 李剑, 李振生. 2009. 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): 55–66. [Wu X Q, Liu D L, Wei G Q, Li J, Li Z S. 2009. Geochemical characteristics and tectonic settings of Carboniferous volcanic rocks from Ludong-Wucuiwan area, Junggar Basin. *Acta Petrologica Sinica*, 25(1): 55–66]
- 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. [Wu X Z, Qi X F, Tang Y, Wei Y Z, Hou L H. 2008. Carboniferous strata and lithofacies paleogeography & source rock in northern Xinjiang. *Geoscience*, 22(4): 549–557]
- 杨帆, 宋永, 陈洪, 龚德瑜, 卞保力, 刘海磊. 2019. 准噶尔盆地阜东地区石炭系松喀尔苏组烃源岩评价及气源对比. 天然气地球科学, 30(7): 1018–1026. [Yang F, Song Y, Chen H, Gong D Y, Bian B L, Liu H L. 2019. Evaluation of Carboniferous Songkaersu Formation source rocks and gas-source correlation in the Fukang sag of eastern Junggar Basin. *Natural Gas Geoscience*, 30(7): 1018–1026]
- 张海洋, 牛贺才, Terada K, 于学元, Sato H, Ito J. 2003. 新疆北部阿尔泰地区库尔提蛇绿岩中斜长花岗岩的 SHRIMP 年代学研究. 科学通报, 48(12): 1350–1354. [Zhang H X, Niu H C, Terada K, Yu X Y, Sato H, Ito J. 2003. SHRIMP geochronology of plagiogranite from the Kuerti ophiolite in the Altay region, northern Xinjiang. *Chinese Science Bulletin*, 48(12): 1350–1354]
- 张奎华, 赵乐强, 刘彬, 商丰凯, 郑丹, 曲彦胜, 吕铁良. 2026. 准噶尔盆地阜康凹陷石炭纪超深层火山岩的形成机制: 来自锆石 U-Pb 年代学和岩石地球化学的证据. 矿物岩石, 46(1): 79–94. [Zhang K H, Zhao L Q, Liu B, Shang F K, Zheng D, Qu Y S, Lü T L. 2026. Formation mechanism of the Carboniferous ultra-deep volcanic rocks in the Fukang sag, Junggar Basin: evidence from zircon U-Pb geochronology and petrogeochemistry. *Mineralogy and Petrology*, 46(1): 79–94]
- 郑建平, 王方正, 成中梅, 吴晓智, 张义杰. 2000. 拼合的准噶尔盆地基底: 基底火山岩 Sr-Nd 同位素证据. 地球科学, 25(2): 179–185. [Zheng J P, Wang F Z, Cheng Z M, Wu X Z, Zhang Y J. 2000. Nature and evolution of amalgamated basement of Junggar Basin, northwestern China: Sr-Nd isotope evidences of basement igneous rock. *Earth Science*, 25(2): 179–185]
- 支东明, 何文军, 秦志军, 甘仁忠, 郑孟林, 尤新才, 钱海涛, 赵龙. 2025. 全油气系统理论指导下的北疆地区油气勘探实践. 石油学报, 46(7): 1235–1259. [Zhi D M, He W J, Qin Z J, Gan R Z, Zheng M L, You X C, Qian H T, Zhao L. 2025. Oil and gas exploration practice in northern Xinjiang area under the guidance of the Whole Petroleum System theory. *Acta Petrologica Sinica*, 46(7): 1235–1259]
- Han B F, Guo Z J, Zhang Z C, Zhang L, Chen J F, Song B. 2010. Age, geochemistry, and tectonic implications of a Late Paleozoic stitching

- pluton in the North Tian Shan Suture Zone, western China. *Geological Society of America Bulletin*, 122: 627–640.
- Han S J, Sang S X, Liang J J, Wang W F, Zhang G L, Wang S Z. 2019. Geochemistry, petrology, and U-Pb dating of high-K volcanic rocks in wells WC-1 and Y-2 from the northern Junggar Basin, northwestern China: implications for the closure of the Keramaili Oceanic Basin during the Carboniferous. *Geological Journal*, 54: 3921–3939.
- He D F, Li D, Fan C, Yang X F. 2013. Geochronology, geochemistry and tectonostratigraphy of Carboniferous strata of the deepest Well Moshen-1 in the Junggar Basin, northwest China: insights into the continental growth of Central Asia. *Gondwana Research*, 24: 560–577.
- Hou S Q, Li D, He D F, Lu Y, Zhen Y, Yang H, Fan D. 2024. A Late Carboniferous transition from subduction to collision: tectono-sedimentary evidence from southern Junggar, NW China. *Geoscience Frontiers*, 15: 101796.
- Jian P, Liu D Y, Shi Y R, Zhang F Q. 2005. SHRIMP dating of SSZ ophiolites from northern Xinjiang Province, China: implications for generation of oceanic crust in the central Asian orogenic belt. In: Sklyarov E V (ed). *Structural and Tectonic Correlation Across the Central Asian Orogenic Collage: Northeastern Segment. Guidebook and Abstract Volume of the Siberian Workshop IGCP-480*: 246.
- Li D, He D F, Santosh M, Ma D L, Tang J Y. 2015a. Tectonic framework of the northern Junggar Basin, part I: the eastern Luliang Uplift and its link with the East Junggar terrane. *Gondwana Research*, 27: 1089–1109.
- Li D, He D F, Santosh M, Ma D L. 2015b. Tectonic framework of the northern Junggar Basin, Part II: the island arc basin system of the western Luliang Uplift and its link with the West Junggar terrane. *Gondwana Research*, 27: 1110–1130.
- Li D, He D F, Tang Y. 2016. Reconstructing multiple arc-basin systems in the Altai-Junggar area (NW China): implications for the architecture and evolution of the western Central Asian Orogenic Belt. *Journal of Asian Earth Sciences*, 121: 84–107.
- Li X G, Chen G, Wu C, Li J, Haproff P J, Geng M, Wu S H, Xu S H, Li Z J, Yang D. 2023. Tectono-stratigraphic framework and evolution of east Junggar Basin, central Asia. *Tectonophysics*, 851: 229758.
- Pearce J A, Peate D W. 1995. Tectonic implications of the composition of volcanic ARC magmas. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 23: 251–285.
- Shinjo R, Chung S L, Kato Y, Kimura M. 1999. Geochemical and Sr-Nd isotopic characteristics of volcanic rocks from the Okinawa Trough and Ryukyu Arc: implications for the evolution of a young, intracontinental back arc basin. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 104: 10591–10608.
- Wang J, Su Y P, Zheng J P, Belousova E A, Chen M, Dai H K, Zhou X. 2021. Petrogenesis of Early Carboniferous bimodal-type volcanic rocks from the Junggar Basin (NW China) with implications for Phanerozoic crustal growth in Central Asian Orogenic Belt. *Gondwana Research*, 89: 220–237.
- Xu X W, Jiang N, Li X H, Qu X, Yang Y H, Mao Q, Wu Q, Zhang Y, Dong L H. 2013. Tectonic evolution of the East Junggar terrane: evidence from the Taheir tectonic window, Xinjiang, China. *Gondwana Research*, 24: 578–600.
- Yang X F, He D F, Wang Q C, Tang Y. 2012. Tectonostratigraphic evolution of the Carboniferous arc-related basin in the East Junggar Basin, northwest China: insights into its link with the subduction process. *Gondwana Research*, 22: 1030–1046.
- Zhang Y, Pe-Piper G, Piper D J W, Guo Z. 2013. Early Carboniferous collision of the Kalamaili orogenic belt, North Xinjiang, and its implications: evidence from molasse deposits. *Geological Society of America Bulletin*, 125: 932–944.
- Zhao H, Liao Q N, Li S Z, Xiao D, Wang G C, Guo R L, Xue Z Q, Li X Y. 2022. Early Paleozoic tectonic evolution and magmatism in the Eastern Tianshan, NW China: evidence from geochronology and geochemistry of volcanic rocks. *Gondwana Research*, 102: 354–371.
- Zhao J M, Chen S Z, Zhang H, Liu H B, Shao X Z, Chen X F, Xu J, Ma Z J. 2019. Lithospheric structure beneath the eastern Junggar Basin (NW China): inferred from velocity, gravity and geomagnetism. *Journal of Asian Earth Sciences*, 177: 295–306.

(责任编辑 张西娟)