https://doi.org/10.3799/dqkx.2020.118



准噶尔盆地西北腹部燕山期构造活动与沉积响应

朱 文¹, 王 任^{2,3*}, 鲁新川⁴, 石万忠^{2,3}, 任梦怡⁵, 刘 凯^{2,3}

1. 中国石化石油勘探开发研究院,北京 100083

2. 中国地质大学构造与油气资源教育部重点实验室,湖北武汉 430074

3. 中国地质大学资源学院,湖北武汉 430074

4. 中国科学院西北生态资源环境研究院,甘肃兰州 730000

5. 中海油研究总院有限责任公司,北京 100028

摘 要:燕山运动是侏罗纪/白垩纪之交,区域规模和岩石圈尺度的重大构造运动.与中国东部地区相比,该运动在中国西部盆地的岩浆作用、构造事件动力学机制及其沉积响应等方面还存在诸多争议.利用碎屑锆石年代学和砂岩岩相学分析, 对准噶尔盆地腹部石南地区的燕山期构造运动及盆地内的沉积响应进行分析,得到以下认识:(1)准噶尔盆地腹部侏罗纪– 白垩纪同沉积期火山活动相关碎屑锆石是燕山期区域性火山活动的重要沉积响应.(2)准噶尔盆地燕山期发生强烈的陆内 造山运动,盆地内构造单元发生相应的挤压变形.(3)准噶尔盆地内沉积体系对燕山期构造运动具有良好响应,白垩系底砾 岩指示了盆地周缘造山带的快速隆升和盆地边界的萎缩.

关键词:准噶尔盆地;燕山运动;构造演化;沉积响应;盆山耦合;碎屑锆石年代学;构造地质学. **中图分类号:** P54 **文章编号:** 1000-2383(2021)05-1692-18 **收稿日期:** 2020-07-22

Yanshanian Tectonic Activities and Their Sedimentary Responses in Northwestern Junggar Basin

Zhu Wen¹, Wang Ren^{2,3*}, Lu Xinchuan⁴, Shi Wanzhong^{2,3}, Ren Mengyi⁵, Liu Kai^{2,3}

1. Exploration and Development Research Institute, SINOPEC, Beijing 100083, China

2. Key Laboratory of Tectonics and Petroleum Resources, Ministry of Education, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

- 3. School of Earth Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China
- 4. Northwest Institute of Eco-Environment and Resources, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China
- 5. Research Institute Co., Ltd., CNOOC, Beijing 100028, China

Abstract: The Yanshanian movement was a major tectonic movement on a regional and lithospheric scale at the turn of the Jurassic to Cretaceous, which laid the foundation of tectonics in China. Compared with eastern China, there are still many controversies on the magmatism, tectonic dynamic mechanism and sedimentary response of the Yanshanian movement in the western China basin. In this study, the Yanshanian tectonic movement and sedimentary response of the basin are discussed based on the clastic zircon chronology and sandstone lithofacies of the Late Jurassic-Early Cretaceous sandstone samples in the Shinan area of the Junggar basin. The main conclusions can be drawn as follows. (1) Age of syndepositional volcanism recorded

引用格式:朱文,王任,鲁新川,等,2021.准噶尔盆地西北腹部燕山期构造活动与沉积响应.地球科学,46(5):1692-1709.

基金项目:中央高校基本科研业务费专项基金资助项目(No.CUG200608).

作者简介:朱文(1989一),高级工程师,主要从事沉积与构造演化的研究工作.ORCID:0000-0003-1010-3938.E-mail: zhuwen.syky@sinopec.com *通讯作者:王任,E-mail: rwang@cug.edu.cn

by the detrital zircons derived from magmatic rocks in the southern margin and northern part of the Junggar basin effectively indicates the existence of regional volcanism in the Late Jurassic-Early Cretaceous. (2) Intense intracontinental orogeny in the Yanshanian period led to extrusion deformation of tectonic units in the Junggar basin. (3) The sedimentary system had a good response to the Yanshanian tectonic movement. Cretaceous conglomerates indicate the rapid uplift of the orogenic belt around the basin and the shrinkage of the basin boundary.

Key words: Junggar basin; Yanshanian movement; tectonic evolution; sedimentary response; basin-mountain coupling; clastic zircon chronology; tectonics.

中亚造山带是欧亚大陆内部的重要构造单元, 被西伯利亚地块、塔里木地块和华北克拉通等围 限,经历了陆缘增生、后碰撞和陆内演化等阶段(肖 文交等,2008).准噶尔盆地是研究中亚造山带构造 演化的天然实验室,经历了古生代俯冲消减过程、 多板块碰撞造山过程以及新生代陆内造山过程(郭 召杰等,2006).准噶尔盆地一直以来都是学者们关 注的焦点,但对于中生代盆地与造山带的耦合关 系、构造演化机制等还存在诸多争议,尚待进一步 深入研究.燕山运动是早侏罗世到晚白垩世的多幕 式构造运动,常伴随大规模的岩浆活动(董树文等, 2019).但是在准噶尔盆地,关于中生代岩浆岩特别 是燕山中期(晚侏罗世一早白垩世)岩浆岩的报道 相对较少(Han et al., 2011). 准噶尔盆地晚侏罗 世一早白垩世火山作用的证据被更多地记录在了 南缘和东北部地区同时代的沉积岩中,包括准噶尔 盆地南缘侏罗系砂岩地层中161~135 Ma(Fang et al., 2015)和 200~170 Ma的碎屑锆石(武富礼和姚 志 刚, 2011), 盆 地 东 北 部 中 生 界 砂 岩 中 185~ 150 Ma的碎屑锆石(杨甫等,2013).除此之外,不论 是在准噶尔盆地,还是盆地周缘造山带,磷灰石裂变 径迹年龄均记录了晚侏罗世一早白垩世的冷却事件 (郭召杰等,2006).因此,燕山期,特别是燕山中期(晚 侏罗世--早白垩世)构造作用及岩浆活动是准噶尔 盆地及周缘造山带陆内碰撞过程中不可忽视的演化 阶段.虽然该期构造活动在准噶尔盆地已经有所报 道,但是由于中生代岩浆岩出露有限,研究还有待进 一步加强.值得注意的是,在准噶尔盆地腹部和西北 部尚没有晚侏罗世一早白垩世火山活动及相关沉积 记录的报道,需要做进一步的研究与补充.

本文对准噶尔盆地腹部石南地区晚侏罗世一 早白垩世的砂岩样品进行碎屑锆石年代学和砂岩 岩相学分析,并将结合黏土矿物数据、古流向数 据、火山岩年代学数据以及裂变径迹等数据,在进 行物源分析的基础上,对盆地及周缘造山带燕山 期的构造运动进行研究,进而对周缘造山带动力 学机制及演化模式进行深入分析,进一步揭示燕 山运动在准噶尔盆地的构造与沉积响应.

1 地质背景

准噶尔板块位于中亚造山带的中部,以西伯 利亚和哈萨克斯坦板块以及阿尔泰和天山造山带 为边界(图 1a, Li et al., 2016). 准噶尔板块(图 1b)可划分为阿尔泰造山带、东准噶尔造山带(青 格里底山一卡拉麦里山)、西准噶尔造山带(扎伊 尔山一哈拉阿拉特山一谢米斯台山一萨吾尔山)、 准噶尔盆地以及准噶尔南缘造山带(伊林黑比尔 根山一博格达山). 准噶尔盆地是一个呈三角形封 闭式的内陆盆地, 盆地面积为 13×10⁴ km², 盆地中 沉积岩最大厚度可达 14 km(王家林, 2019).

准噶尔盆地周缘造山带的岩浆活动是进行源 汇分析的重要依据.阿尔泰造山带位于中亚造山带 腹部,是晚古生代西伯利亚板块和哈萨克斯坦板块 碰撞形成(肖文交等,2008).阿尔泰地区岩浆活动可 以划分为奥陶纪(482~457 Ma)、中志留世一中泥 盆世(425~387 Ma)、中石炭世一二叠纪(330~ 250 Ma)和燕山期(180~160 Ma,149~135 Ma)等4 期,先后经历了俯冲碰撞、后碰撞以及陆内挤压碰 撞等构造阶段.东准噶尔造山带南部以卡拉麦里缝 合带为界,北部以斋桑一额尔齐斯缝合带与阿尔泰 微板块为界(白建科等,2018;王家林,2019),包括 青格里底山和卡拉麦里山.东准噶尔造山带岛弧火 山岩、俯冲相关岩浆岩以及后碰撞花岗岩的年龄分 别为510~453 Ma、440~360 Ma和330~260 Ma.西 准噶尔造山带包括扎伊尔山一哈拉阿拉特山一谢 米斯台山-萨吾尔山,岩浆活动时代与东准噶尔地 区具有一定相似性,包括中寒武世一奥陶纪(523~ 444 Ma) 岩浆岩、志留纪一早泥盆世(436~400 Ma) 俯冲碰撞相关岩浆岩、石炭纪一早二叠世(350~ 270 Ma)和中晚二叠世(270~263 Ma)后碰撞岩浆 岩.准噶尔南缘造山带包括北天山-中天山-南天 山以及博格达山构造带等.与准噶尔盆地关系最为



图1 中亚造山带及邻区板块位置图(a)和准噶尔盆地及邻区地质简图(b)以及准噶尔盆地周缘造山带中酸性结晶岩年龄频 率直方图(c)

Fig.1 Location of the Central Asian orogenic belt and its adjacent plates(a), schematic map of the Junggar basin and adjacent areas (b) and histograms of age frequency of acidic crystalline rock in the peripheral orogenic belt of the Junggar basin (c)

a. Li et al.(2016); b. 据新疆维吾尔自治区地质矿产局(1993)修改;阿尔泰造山带中酸性结晶岩年龄参考自胡霭琴等(1997);陈富文等(1999);李玮(2007);杨甫等(2013);田红彪(2018);东北缘造山带中酸性结晶岩年龄参考自韩宝福等(2006);苏玉平等(2010);陈万峰(2017);王家林(2019);西北缘造山带中酸性结晶岩年龄参考自Chen and Jahn(2004);韩宝福等(2006);李辛子等(2010);靳松(2016);陈万峰(2017);王家林(2019);北天山-中天山及博格达山中酸性结晶岩年龄参考自Dumitru et al.(2001);王家林(2019)

紧密的北天山(包括伊林黑比尔根山和博格达山) 由大量中酸性岩浆岩和沉积碎屑岩组成,包括晚奥 陶世-早石炭世(460~350 Ma)花岗岩、花岗闪长 岩、玄武岩、凝灰质硅质碎屑岩等,与北天山洋壳俯 冲相关的石炭纪(340~300 Ma)火山岩以及二叠纪 (300~260 Ma)后碰撞火山岩和陆相碎屑岩等.准 噶尔盆地周缘造山带潜在物源区岩浆活动详见表1.

准噶尔盆地自形成以来,先后经历了古生代 洋内俯冲阶段、二叠纪陆内湖盆发展阶段、中生代 陆内坳陷盆地阶段以及新生代陆内前陆盆地阶段 (Han et al., 2011; Yang et al., 2013),形成了包括 乌伦古坳陷、陆梁隆起、中央坳陷、西部隆起、东部 隆起以及北天山山前冲断带等多个次级构造单元 (图 1b).研究区石南地区位于古尔班通古特沙漠 腹地,陆梁隆起西段,包括石西凸起、三南凹陷、夏 盐凸起和三个泉凸起等4个三级构造单元,面积 为1700 km².侏罗系和白垩系自下而上分别为侏 罗系八道湾组、三工河组、西山窑组、头屯河组,白 垩系清水河组、呼图壁组、胜金口组、连木沁组和 艾里克湖组.研究区缺失上侏罗统,侏罗系头屯河 组与西山窑组、侏罗系与白垩系之间均为区域不 整合接触(图2,岳云雷,2008).

本文研究层位为下侏罗统三工河组、中侏罗统 西山窑组和头屯河组以及下白垩统清水河组.三工 河组分布稳定,与下伏八道湾组及上覆西山窑组整 合接触.整体表现为上、下细,中部粗的岩性特征. 颜色以灰、灰绿色为主.下部以中薄层砂、泥岩互层 为特征;中部以大套砾岩和砂砾岩为特征;上部以

1605	5
TOUL	,

表1 准噶尔盆地周缘造山带潜在物源区岩浆活动

Table 1 Magmatic activities in the orogenic belts around the Junggar basin

	年龄分布	the fol-		\$ * -> +>	
潜在初源区	(Ma)	着性	构适阶段	<u> </u>	
	482~457	安山岩-英安斑岩-流纹斑岩、 闪长岩-花岗闪长岩-英云闪长岩- 二长花岗岩-正长花岗	俯冲-大陆 边缘弧	田红彪,2018	
阿尔泰造山带	425~387	英安质-流纹质凝灰岩-流纹斑岩、 辉长岩-英云闪长岩-花岗闪长岩- 二长花岗岩-白云母二长花岗岩- 正长花岗岩-碱长花岗岩	俯冲碰撞	李玮,2007;田红彪,2018	
	330~250	花岗岩(碱性花岗岩、黑云母 花岗岩、片麻理花岗岩等)	后碰撞	李玮,2007	
	180~160,	黑云母花岗岩、钠长花岗岩、	陆内挤压碰	胡霭琴等,1997;陈富文等,1999;	
	$149 \sim 135$	二云母花岗岩等	撞	杨甫等,2013	
	$510 \sim 453$	玄武岩、石英闪长岩、斜长花岗岩等	岛弧	苏玉平等,2010	
东准噶尔造山带	$440 \sim 360$	斜长花岗岩、辉长岩、石英闪长岩等	洋壳俯冲	陈万峰,2017	
(青格里底山-卡拉麦里山)	330~260	钾长花岗岩、花岗闪长岩、二长花岗 岩和碱性花岗岩等	后碰撞	韩宝福等,2006	
西淮噶尔造山带 (扎伊尔山-哈拉阿拉特山-谢米斯 台山-萨吾尔山)	523~444	堆晶岩、辉长岩、闪长岩、 斜长花岗岩等	洋内俯冲	Chen and Jahn, 2004	
	436~400	花岗岩、闪长岩、安山岩、 流纹岩、凝灰岩等	俯冲消减	靳松,2016;陈万峰,2017	
	350~270	伊长花岗岩、二长花岗岩、 花岗斑岩、闪长岩等	后碰撞	Chen and Jahn, 2004;韩宝福等, 2006;靳松,2016	
	270~263	辉绿岩、闪长玢岩等	后碰撞	李辛子等,2010;靳松,2016	
准噶尔南缘造山带 (伊林黑比尔根山-博格达山)	460~350	花岗岩、花岗闪长岩、玄武岩、 黑云母花岗岩、花岗片麻岩等	弧岩浆		
	340~300	闪长岩、花岗闪长岩、流纹岩、 安山岩、正长岩、斜长花岗岩等	洋壳俯冲	Dumitru <i>et al.</i> , 2001; 王家林,2019	
	300~260	花岗岩、黑云母花岗岩、花岗闪长 岩、黑云母钾长花岗岩、流纹岩等	后碰撞		

泥岩夹粉细砂岩为特征.西山窑组以多套煤层为 主要特征.中细砂岩、泥岩、碳质泥岩和煤层互层 分布,该组残余厚度变化较大,是盆地内重要的 标志层.头屯河组与下伏西山窑组为不整合接 触,岩性三段性明显(上、下段细,中段粗),普遍 发育杂色泥岩.岩性以中细砂岩和杂色泥岩为 主.下白垩统清水河组在研究区内稳定分布,与 头屯河组之间为不整合接触,自下而上可分为清 一段和清二段.清一段以底部杂色砂砾岩和顶部 湖相泥岩为特征.清二段以广泛发育的红褐色泥 岩、粉砂岩、中砂岩为主要特征.

2 样品及实验方法

本文在准噶尔盆地西北腹部石南地区自下而

上分别选取了侏罗系西山窑组、头屯河组以及白垩 系清水河组的砂岩样品进行碎屑锆石年代学及岩 相学分析.西山窑组样品为石203井灰色细砂岩,采 样深度为2561.9m,可见碳屑夹层(图3a).头屯河 组中砂岩采自石108井,采样深度为2520.5m,为 一套三角洲前缘水下分流河道沉积物(图3b).白垩 系清水河组砂岩样品为石南30井灰色中粗砂岩,粒 度明显变粗,取样深度为1884.8m(图3c).

2.1 锆石年代学及成因分析

碎屑砂岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb年代学分析 是进行物源分析的重要方法,可应用于盆地动力学 和构造演化分析等.首先,在对2件侏罗系和1件白 垩系碎屑砂岩样品充分清洁后进行重矿物分离.挑 选出的锆石矿物颗粒随机固定在环氧树脂中,并对 固化后的环氧树脂进行抛光直至露出光滑平整的



Fig.2 Histogram of stratigraphic and sedimentary environments in the study area 地层划分以准噶尔盆地石南地区地层为标准;地层岩性以石南49井为参考;构造应力场变化参考自李玮(2007)



图 3 样品岩心照片及岩性描述 Fig.3 Sample core photos and lithologic description a.石 203 井,2 561.9 m,J₂*x*,灰色细砂岩;b.石 108 井,2 520.5 m,J₂*t*,灰色中砂岩;c.石南 30 井,1 884.8 m,K₁*q*,灰色中粗砂岩

锆石内表面.为更好地表征锆石的内部特征,避免 裂缝或夹杂物等对定年实验造成干扰,锆石U-Pb 年代学分析实验均利用CL图像进行定位参考.告 石阴极发光(CL)图像在河北省廊坊市地球科学勘



图 4 砂岩样品碎屑锆石阴极发光图像 Fig.4 Cathodoluminescence images of detrital zircon in the sandstone samples

查技术服务有限公司拍摄(图4).

碎屑锆石 U-Pb 年代学分析在中国科学院地 质与地球物理研究所油气资源研究重点实验室完 成.分析所用仪器为Nu Attom型激光剥蚀一电感 耦合等离子体质谱仪(LA-ICP-MS).数据采集时 先进行 30 s 的背景信号采集,之后以 He/Ar(+N) 为载气进行 30 s 的样品剥蚀.激光剥蚀采用的斑 束直径为30 μm. 实验采用标准样品GJ-1进行质 量偏差校正和 U-Th-Pb 同位素比值校正. 样品的 同位素比值和元素含量数据处理采用 ICPMS-DataCal程序计算.为了满足统计学分析要求,每 个砂岩会对130~170个矿物颗粒进行U-Pb定年 实验.需要注意的是,碎屑砂岩锆石颗粒是随机挑 选的,分析数据的误差为1o.碎屑颗粒加权平均年 龄及谐和图的绘制使用 Isoplot V3.0 完成.为保证 实验数据的有效性和精确性,在进行分析时,对谐 和值小于10%的年龄作为无效年龄处理.

2.2 岩相学分析

岩相学分析是对物源区母岩恢复的重要方法, 通过分析样品中不同矿物的种类、含量及成分,可 有效对母岩类型以及相关的构造一岩浆活动进行 研究.在岩相学分析中,除了利用薄片进行矿物特 征观察外,碎屑成分统计也是重要的分析方法.碎 屑成分统计可分为砾石成分统计和砂岩碎屑成分 统计.本文的3个样品均为盆地腹部的中细砂岩,砂 岩碎屑成分分析是相对有效的碎屑成分统计方法, 可以指示物源母岩特征.本文采用 Dickinson 统计 法,在光学显微镜下对中细砂岩样品进行石英、长石和岩屑含量的统计.每件砂岩样品至少统计300颗0.0625mm以上的碎屑颗粒,且统计时同一视域内>0.0625mm的颗粒均需进行鉴定.

3 实验结果

3.1 锆石年代学及成因分析

研究区3件砂岩样品碎屑锆石U-Pb年龄组分 及统计分析见表2.中侏罗统西山窑组样品(样品 号:S203)碎屑锆石年龄谐和度较好(图5a),谐和度 在90%以上可用于解释分析的有效样品数量为121 个.西山窑组样品年龄区间较大,分布范围在161~ 1561 Ma.根据年龄谱图特征,西山窑组样品碎屑锆 石年龄中含量最高的主峰值年龄为~322 Ma.根据 年龄占比由高到低,西山窑组样品年龄可划分为6 组(表2),分别为369~279 Ma(50%,区间峰值年龄 为~322 Ma)、504~386 Ma(17%,区间峰值年龄为~ 170 Ma)、504~386 Ma(17%,区间峰值年龄为~ 170 Ma)、270~217 Ma(14%,区间峰值年龄为~ 244 Ma)、572~538 Ma(3%)和1561~1407 Ma (2%).~170 Ma的峰值年龄与西山窑组沉积时间具 有一致性,指示了中侏罗世的同沉积期火山活动.

中侏罗统头屯河组样品(样品号:S108)碎屑锆 石同样具有较好的谐和度(图5b),有效年龄数量为 139个.头屯河组年龄分布范围为1702~161 Ma. 根据年龄谱图特征,头屯河组样品碎屑锆石年龄中 含量最高的主峰值年龄为~299 Ma.头屯河组样品 表2 研究区砂岩样品碎屑锆石 U-Pb 年龄组分及统计分析

Table 2	2 U-Pb age co	ompositions and statistical	analyses of detrital zir	cons from sand	stone samples in	the study area
样品号	样品年代	碎屑锆石年龄组(Ma)	峰值年龄(Ma)	所占比例	有效年龄数	Th/U
S203 J ₂ <i>t</i>		194~161	170,181	0.14	17	$0.54 \sim 1.49$
		270~217	244,220	0.14	17	$0.30 \sim 1.99$
	т	369~279	323,297,283	0.50	60	$0.12 \sim 1.51$
	$J_2 x$	$504 \sim 386$	455,493	0.17	21	0.23~1.13
		$572 \sim 538$	539,572	0.03	4	$0.35 \sim 1.35$
		$1\ 561{\sim}1\ 407$	1 407 1 561	0.02	2	0.31~0.49
S108 J ₂ t		194~161	174	0.10	14	0.29~2.25
		$360 \sim 249$	299,316,344	0.49	68	$0.21 \sim 1.98$
	τ.	420~371	392,375	0.19	27	0.20~0.89
	$J_2 t$	$517 \sim 437$	489,506,470	0.14	19	0.33~1.11
		905~720	900,803,723	0.04	6	0.11~0.80
	$1\ 702{\sim}1\ 510$	1 526	0.03	4	0.73~1.11	
SN30		184~132	135,153	0.26	41	0.30~1.95
		260~220	246,221	0.03	4	$0.33 \sim 1.27$
		369~271	280,321,302	0.48	76	0.20~1.83
	K_1q	$446 \sim 379$	394,431	0.10	15	0.35~0.68
		522~479	503	0.04	7	$0.52 \sim 0.62$
		936~772	824,786,936	0.06	10	$0.13 \sim 1.24$
		$1.780 \sim 1.458$	1 458, 1 600, 1 780	0.02	3	$0.39 \sim 0.48$



a. 西山窑组砂岩样品(J₂x,样品号:S203);b.头屯河组砂岩样品(J₂t,样品号:S108);c.清水河组砂岩样品(K₁q,样品号:SN30)

年龄谱图特征与西山窑组具有一定的相似性,根据 年龄占比由高到低,头屯河组样品年龄可划分为6 组(表2),分别为360~249 Ma(49%,区间峰值年龄 为~299 Ma)、420~371 Ma(19%,区间峰值年龄为 ~392 Ma)、517~437 Ma(14%,区间峰值年龄为~ 489 Ma)、194~161 Ma(10%,区间峰值年龄为~



Fig.6 Clastic composition of the Middle Jurassic-Lower Cretaceous sandstone in the study area

174 Ma)、905~720 Ma(4%)和1702~1510 Ma (3%).194~161 Ma(10%)的锆石年龄同样指示了 中一晚侏罗世的同沉积期火山活动.

下白垩统清水河组砂岩样品(样品号:SN30)共 有168个进行了分析,其中谐和度在90%以上可用 于解释分析的有效样品数量为157个(图5c).与侏 罗系样品相比,下白垩统清水河组砂岩样品碎屑锆 石 年龄 谱图具有一定差别,年龄分布范围为 1780~132 Ma.根据年龄谱图特征,清水河组样品 碎屑 锆 石 年龄中含量最高的主峰值年龄为 ~135 Ma.根据年龄占比由高到低,清水河组样品年 龄可划分为7组(表2),分别为369~271 Ma(48%, 区间峰值年龄为~280 Ma和~321 Ma)、184~ 132 Ma(26%,区间峰值年龄为~135 Ma和 ~154 Ma)、446~379 Ma(10%,区间峰值年龄为 ~394 Ma)、936~772 Ma(6%)、522~479 Ma (4%)、260~220 Ma(3%)和1780~1458 Ma(2%). 通过数据特征可以看到,晚侏罗世一早白垩世的 碎屑锆石年龄明显增多,且成为了主要的峰值年龄.184~132 Ma的碎屑锆石年龄占到了清水河 组样品锆石年龄的26%,指示了晚侏罗世一早白 垩世持续的同沉积期火山活动.

锆石是沉积岩、岩浆岩和变质岩常见的副矿物,其内部结构、微量元素含量等可有效指示成因 类型(吴元保和郑永飞,2004).岩浆成因和变质成因 是最为常见的锆石成因类型.大量研究表明,岩浆 成因的锆石 Th/U比值一般>0.4;而变质增生锆石 由于受到富U贫 Th的变质流体的影响,Th/U比值 一般<0.1(Corfu,2003).石南地区3件砂岩样品碎 屑锆石颗粒的 Th/U比值基本均>0.1,且西山窑 组、头屯河组以及清水河组砂岩中侏罗纪一白垩纪 同沉积期火山活动相关碎屑锆石的 Th/U比值分别 为0.54~1.49、0.29~2.25和0.30~1.95,主要表现出 岩浆成因锆石 Th/U比值的特征.但由于在变质成

因锆石中,麻粒岩中的变质增生锆石的Th/U同样 会大于0.1,即使麻粒岩相变质岩带在准噶尔周缘造 山带的分布相当有限,但仅凭锆石的Th/U比值也 并不能有效地鉴别岩浆锆石和变质锆石.为了进一 步对锆石成因进行分析,本文利用CL图像对碎屑 锆石的内部结构进行研究.岩浆锆石自形程度较 高,通常为半自形到自形,一般具有特征的岩浆振 荡生长环带.振荡环带的宽度取决于锆石的母岩类 型及锆石结晶温度(李长民,2009).石南地区砂岩样 品中侏罗纪一白垩纪同沉积期火山活动相关碎屑 锆石具有典型的岩浆振荡环带.碎屑锆石中岩浆 环带的主要类型为在低温条件下,酸性岩浆岩中 (如花岗岩)形成的较窄的岩浆环带(图 4a-3, 4a-4,4b-1,4b-2,4c-1,4c-2),可见少量高温条件下 形成于中基性岩浆岩(如辉长岩和闪长岩)中的较 宽的结晶环带(图4a-1).除此之外,个别同沉积期 火山活动相关碎屑锆石还出现了扇形分带的结构 (图 4a-2),但该锆石具有很好的柱状晶体,且Th/ U比为0.57.综合来看,图4a-2具有扇形分带结构 的锆石应为岩浆锆石,扇形分带结构是锆石各晶面 生长时受外部条件影响而造成的差异生长而形成. 值得注意的是,在少量同沉积期火山活动相关碎屑 锆石可见有继承锆石的残留晶核(图4a-2).

因此,综合物源区地层和岩浆岩出露情况、碎 屑锆石 Th/U 比值以及碎屑锆石内部结构,石南 地区西山窑组、头屯河组以及清水河组砂岩中的 碎屑锆石,特别是侏罗纪一白垩纪同沉积期火山 活动相关碎屑锆石主要为岩浆成因,是燕山期区 域性构造一岩浆活动的重要沉积响应.

3.2 岩相学分析

西山窑组、头屯河组以及清水河组砂岩样品 的碎屑颗粒主要为岩屑,石英和长石含量均较低 (图 6).西山窑组和头屯河组均以岩屑砂岩为主, 成分成熟度均较低,靠近物源区快速堆积形成.岩 屑类型受物源区母岩类型影响密切,中酸性火山 岩岩屑含量高,可见部分沉积岩屑.下白垩统清水 河组碎屑成分发生一定变化,碎屑成分明显可分 为2组,其中一组与西山窑组和头屯河组砂岩样 品碎屑颗粒含量相似,而另外一组岩屑含量明显 增加,可与西山窑组以及头屯河组砂岩相区分.总 的来看,中一上侏罗统一下白垩统砂岩碎屑成分 变化不大,主要为岩屑砂岩,成分成熟度较低.

4 讨论

4.1 物源分析

准噶尔盆地侏罗纪一白垩纪经历了复杂的构造运动,盆地内沉积区的沉积供给受到碎屑物源区的演化而发生不断调整.通过本次实验获取的中侏罗统一下白垩统碎屑锆石年龄数据,并结合西天山北缘、博格达山西北缘、博格达山南缘、吐哈盆地中部以及准噶尔盆地东北部的碎屑锆石年龄(王志维,2009;杨甫等,2013;Yang et al.,2013;Tang et al.,2014;Fang et al.,2015,2019),综合分析燕山期准噶尔盆地内物源的变化情况,进一步指示构造活动及演化.

下侏罗统西天山北缘和博格达山西北缘砂 岩样品表现出较为相似的碎屑锆石年龄分布特 征(图7a,Tang et al., 2014; Fang et al., 2015), 年龄主要集中在石炭一二叠纪.除了石炭纪和二 叠纪锆石,少量三叠纪和志留纪一奥陶纪的锆石 也出现在年龄谱中,指示了该时期的小规模火山 活动.准噶尔盆地东北部地区砂岩样品则表现出 了不同的碎屑锆石年龄分布特征(图7a,杨甫等, 2013),早泥盆纪年龄含量明显高于准南地区砂 岩样品.结合周缘造山带岩浆岩分布及年龄可知 (图1c),准噶尔盆地东北部地区早侏罗世受阿尔 泰造山带影响密切,大量下泥盆统锆石自阿尔泰 造山带剥蚀后,沉积于盆地东北部地区.

中侏罗统准噶尔盆地碎屑砂岩锆石年龄谱图 表现出明显分异的特征.与早侏罗世相比,博格达 山南缘一西北缘表现出与西天山北缘截然不同的 碎屑锆石谱图特征(图7b, Tang et al., 2014; Fang et al., 2019).博格达山南缘一西北缘碎屑锆石均以 石炭一二叠纪锆石为主,而西天山北缘石炭一二叠 纪锆石含量明显降低,以~415 Ma的早泥盆世单峰 年龄为主要特征(Fang et al., 2015). 中侏罗世西天 山北缘和博格达山前砂岩碎屑锆石年龄的变化可 能与博格达山的初始隆升有关.西山窑组沉积时 期,博格达山南部古流向为南向,而博格达山北部 古流为北向(图10),结合早古生代锆石年龄的减 少,说明博格达山在中侏罗世已经开始隆升,并阻 碍了中天山的物源供给(Tang et al., 2014; Fang et al., 2015). Zhou et al. (2019)利用重矿物数据对准 噶尔盆地南缘的物源体系进行了分析,同样提出博 格达山在西山窑组沉积时期开始隆升,准南东部物





源体系开始发生变化.准噶尔盆地西北部石南地 区碎屑锆石年龄以石炭一二叠纪(369~279 Ma) 为主要峰值,占到锆石年龄的50%.值得注意的 是,石南地区西山窑组砂岩中开始出现中侏罗世 同沉积期锆石(194~161 Ma),占到锆石年龄的 14%,是一期不可忽视的岩浆活动.由于准噶尔 盆地西北缘造山带和东北缘造山带具有较为相 似的岩浆岩年龄(图1c),中侏罗世同沉积期火山 活动成为了指示物源区的重要指标.准噶尔盆地 东北缘卡拉麦里地区于210~180 Ma开始发生隆 升和剥蚀,快速隆升阶段为160~80 Ma(宋继叶 等,2019).而准噶尔盆地西北缘扎伊尔山发生小 幅度隆升的时间为 163~158 Ma (Yang et al., 2017),明显晚于该期同沉积岩浆活动.因此,准 噶尔盆地腹部石南地区西山窑组更多地受到东 北缘造山带中侏罗世初始隆升的影响.

晚侏罗世,盆地周缘造山带经历了剧烈的构造 运动,西天山北缘和博格达山西北缘碎屑锆石以大 量出现的晚侏罗世(161~153 Ma)锆石年龄为主要 特征(图 7c, Tang et al., 2014; Fang et al., 2015). 同沉积期碎屑锆石的大量出现表明了物源区在晚 侏罗世存在大规模同沉积期火山活动,指示了北天 山的再次隆升(Fang et al., 2015).受强烈构造活动 的影响,盆地周缘造山带发生快速隆升剥蚀,准噶 尔盆地南缘地层中绿帘石含量突然升高,ZTR不稳 定矿物指数迅速下降(Zhou et al., 2019).晚侏罗世 碎屑锆石年龄并没有在博格达山南缘和吐哈盆地 中部的碎屑砂岩样品中有所体现,锆石年龄以石 炭一二叠纪单峰年龄为主,基本继承了中侏罗世的 物源特征(Fang et al., 2019). 准噶尔盆地西北腹部 石南地区的碎屑锆石年龄基本继承了中侏罗统西 山窑组样品的特征,下泥盆统锆石含量稍有增加. 根据岩相学分析,中一上侏罗统一下白垩统砂岩经 历了较短距离的搬运,受准噶尔南缘造山带的影响 有限.此外,准噶尔盆地东北部和西北部沉积地层 晚侏罗世同沉积期碎屑锆石年龄为174~162 Ma, 相比于准噶尔盆地南缘159~154 Ma的年龄要更 早,应与准噶尔盆地北部造山带火山活动的关系更 为密切.因此,晚侏罗世北天山、准噶尔西北缘和东 北缘造山带均发育有较为强烈的岩浆活动,在沉积 物中表现为同沉积期碎屑锆石的大量增加.

早白垩世,西天山北缘沉积物中开始出现同沉 积期碎屑锆石年龄(图7d, Yang *et al.*, 2013; Fang et al., 2015). 吐哈盆地中部砂岩样品中出现的侏罗 纪碎屑锆石年龄, 表明其可能同样受到了西天山物 源的影响(Fang et al., 2019). 准噶尔盆地西北腹部 石南地区砂岩样品同样开始出现早白垩世同沉积 期碎屑锆石, 且侏罗系一白垩系(184~132 Ma)碎 屑锆石的比例相比于上侏罗统样品有所提高, 达到 了 26%, 指示了火山活动的持续增强.

总体来看,准噶尔盆地周缘造山带燕山期的 构造活动对盆地的物源供给造成了重要影响.西 天山北缘、博格达山西北缘和南缘以及吐哈盆地 受到西天山和博格达山中一晚侏罗世快速隆升 的影响,沉积体系发生剧烈而富有规律的变化. 而准噶尔盆地北部区域则主要受到东准噶尔造 山带、西准噶尔造山带以及阿尔泰造山带混合物 源的影响,扎伊尔山及卡拉麦里山作为重要的物 源供给区,其燕山期的隆升与剥蚀活动也有效地 记录在了石南地区西山窑组和头屯河组砂岩中 的中一晚侏罗世同沉积期锆石中.

4.2 燕山运动在准噶尔盆地的构造-岩浆记录

燕山运动定义为起始在侏罗纪/白垩纪之交 (165±5 Ma),具区域规模和岩石圈尺度的一期重 大构造事件(董树文等,2019),可划分出3个主要构 造期:挤压期(175~136 Ma)、主伸展期(135~ 90 Ma)和弱挤压期(~80 Ma).其中,强挤压变形期 对东亚和中亚大陆的构造定型具有重大作用,以晚 侏罗世(峰期年龄~160 Ma)大规模的岩浆活动为 特征.准噶尔盆地及周缘造山带古生代以来经历了 复杂的构造演化过程,但自二叠纪造山后期大规模 的岩浆活动之后,鲜有中生代岩浆岩,特别是燕山 期岩浆岩的报道(Han et al., 2011). 燕山期岩浆岩 缺乏野外岩体的直接证据,晚侏罗世一早白垩世火 成岩证据主要集中在准噶尔盆地北部地区,如阿尔 泰地区~130 Ma花岗岩体(张前锋等,1994;胡霭琴 等,1997)和可可托海149~135 Ma 伟晶岩脉(陈富 文等,1999).在准噶尔盆地南缘,仅有红沟剖面~ 164.6 Ma的凝灰岩指示了晚侏罗世的岩浆活动(王 思恩和高林志,2012). 与燕山期岩浆岩体分布具有 一致性,燕山中期的碎屑锆石也主要集中在准噶尔 盆地北部和南缘沉积地层中(李振华,2011; Yang et al., 2013; Tang et al., 2014; Fang et al., 2015), 其中西天山北缘沉积地层中与晚侏罗世同沉积期 火山活动相关的沸石,反映了中生代天山持续性的 岩浆活动(Fang et al., 2015).在西准噶尔地区并没



Fig.8 The Late Jurassic-Early Cretaceous fission track ages in the Junggar basin and surrounding orogenic belts 磷灰石和锆石裂变径迹年龄参考自Dumitru *et al.*(2001);郭召杰等(2006);Yuan *et al.*(2006, 2009);李丽等(2008);沈传波等(2008);李玮等(2010);李振华(2011)

有燕山中期岩浆活动的直接证据,仅在克拉玛依地 区发现了早侏罗世(192.7±1.3 Ma)玄武岩(徐新 等,2008),但在受准噶尔盆地西北地区影响密切的 石南地区砂岩中,存在晚侏罗世一早白垩世的锆石 年龄(图5,表2).准噶尔盆地及周缘造山带燕山期 构造活动的岩浆岩证据虽然相对缺乏,但裂变径迹 年龄却记录下了燕山期内的多次快速冷却事件. 阿尔泰造山带的磷灰石裂变径迹(AFT)和锆石裂 变径迹(ZFT)年龄分析反映燕山期的岩浆侵入活 动和断裂带构造运动主要集中在189~155 Ma (ZFT)、160~100 Ma(AFT)和100~62 Ma(AFT, 图 8). 其中 189~155 Ma 和 100~62 Ma 的年龄是 相同构造热事件在锆石和磷灰石裂变径迹的不同 年龄反映(Yuan et al., 2006, 2009). 准噶尔盆地 南缘天山陆内造山带内早侏罗世一早白垩世的 AFT 年龄(187~143 Ma)同样记录了区域性的剥 蚀事件(图8),是天山中新生代的陆内构造复活 的具体表现(郭召杰等,2006).准噶尔盆地两侧造 山带(西北缘造山带和东北缘造山带)具有不同 的隆升历史,准噶尔东北缘造山带和西北缘造 山带分别获得了184~152 Ma(郭召杰等,2006; 李丽等,2008;李玮等,2010)和171~102 Ma的 磷灰石裂变径迹年龄(郭召杰等,2006;Yuan et al.,2006,2009;李玮等,2010;李振华,2011). 总体来看,燕山运动中期晚侏罗世一早白垩世 的冷却事件在准噶尔盆地周缘的各个构造单元 均有表现,是一期区域性的构造一岩浆活动.

除了岩浆岩和裂变径迹记录外,准噶尔盆地 多个构造单元的形成与演化过程均与燕山运动有 着重要的联系.燕山运动中期,NE-SW向挤压作 用增强,乌伦古坳陷发生强烈的逆冲推覆作用,造 成周边构造单元大规模的隆升与剥蚀,形成了侏 罗系与白垩系的区域性角度不整合.此外,准噶尔 盆地腹部的车-莫古隆起同样形成于中一晚侏罗 世,其经历了西山窑组沉积晚期和晚侏罗世末两 次强隆升阶段,形成了J₂t/J₂x和K/J的两期区域 性不整合.晚侏罗世末的强烈隆升,导致盆地腹部 整体抬升,上侏罗统被大规模剥蚀.

古生代		中生代			
寒武纪 奥陶纪 志留纪 泥盆纪	石炭纪 二叠纪	三叠纪	侏罗纪	白垩	纪
223 第 第 芙 下奥中奥 上奥 兰多维温洛罗德海 王 世 世 世 世 世 則 別世 克也洛世逝世	奮西西 <mark>宾夕法尼</mark> 乌拉 瓜德鲁 鉅 北亚纪 亚亚纪 尔世 普世	下三中三 上三 叠世叠世 叠世	下株 中株 上株 罗世 罗世	下 白 垩 世	上白 垩世
541.0 Ma 485.4 Ma 443.8 Ma 419.2 Ma 358	3.9 Ma 298.9 Ma 25	52.17 Ma 201	1.3 Ma 14	5.0 Ma	66.0 Ma
加里东运动构造层	海西运动构造层 印	1 支运动构造层	燕山	山运动构造层	
阿尔泰造山带 俯冲-大陆边缘弧 俯冲碰撞岩浆作用 东准噶尔造山带	后碰撞岩浆作用		燕山期岩浆	作用	
岛弧火山岩 洋壳俯冲阶段	后碰撞岩浆作用				
西准噶尔造山带					
洋内俯冲事件 俯冲消减阶段	后碰撞岩浆作用				
准噶尔南缘造山带					
弧岩浆作用	洋壳俯 后碰撞 冲阶段 岩浆作用	陆内阶段性 挤压隆升	燕山期岩浆作) (推测,露头及数据	书 雪少)	
侏罗纪		白羿			
下侏罗世 中侏罗世 上侏罗世	下白垩世			上白垩世	
201.3 Ma 174.1 Ma 163.5 Ma 145.	0 Ma	1	00.5 Ma		66.0 Ma
燕山运动早期 燕山运动甲期 燕山I幕	幕	燕田运			
阿尔泰造山带不整合界面	界面		00.14		
189 Ma 155 Ma		1	00 Ma		
186 Ma 160 Ma 145 Ma	130 Ma				
东淮噶尔造山带 185 Ma 170 Ma 151 Ma	124 Ma				
西准噶尔造山带					
171 Ma 158 Ma 175 Ma 160 Ma	135 Ma	102 Ma	ı 		
准噶尔南缘造山带北天山				岩浆活	动
187 Ma 153 Ma 1	43 Ma			AFT-磷灰石裂	要径迹
152 Ma				ZFT-锆石裂	变径迹
准噶尔盆地 晚侏罗世-早白垩世	①地层不整合及缺失 ②盆地	渐趋萎缩			
	③白垩系底砾岩广布 / ① 溢 油	构造变形			

图 9 准噶尔盆地及周缘造山带燕山期构造-岩浆活动与盆地沉积响应示意图

Fig.9 Schematic diagram of tectonic - magmatic activity and sedimentary response of Yanshanian period in the Junggar basin and its surrounding orogenic belt

阿尔泰造山带岩浆活动参考自胡霭琴等(1997);陈富文等(1999);李玮(2007);杨甫等(2013);田红彪(2018);东准噶尔造山带岩浆活动参考 自韩宝福等(2006);苏玉平等(2010);陈万峰(2017);王家林(2019);西准噶尔造山带岩浆活动参考自 Chen and Jahn(2004);李辛子等(2010); 韩宝福等(2006);靳松(2016);陈万峰(2017);王家林(2019);准噶尔南缘造山带岩浆活动参考自 Dumitru *et al.*(2001);王家林(2019);准噶尔 盆地及周缘造山带磷灰石和锆石裂变径迹年龄参考自 Dumitru *et al.*(2001);郭召杰等(2006);Yuan *et al.*(2006, 2009);李丽等(2008);沈传波 等(2008);李玮等(2010);李振华(2011)

综合中亚造山带侏罗纪一白垩纪的演化过程 及燕山运动在东亚造山带的构造表现,认为燕山期 的构造一岩浆运动是准噶尔盆地中生代重要的一 期构造转折事件.中一晚侏罗世随着鄂霍次克洋 关闭,西伯利亚板块与华北板块发生强烈碰撞,强 烈的陆缘造山和陆内再生造山作用引发了大规模 的岩浆成矿作用,产生的自北向南的作用力使得阿 尔泰造山带及准噶尔盆地东北缘地区(青格里底 山一卡拉麦里山)发生强烈的挤压抬升.与此同 时,拉萨板块在欧亚板块南缘碰撞事件产生的向北 挤压应力导致准噶尔盆地南缘造山带发生快速隆 升.除此之外,燕山运动时期,盆地内乌伦古坳陷 与车一莫古隆起发生强烈的逆冲和整体抬升,侏罗 系齐古组、头屯河组及西山窑组遭受强烈剥蚀,形 成了J₂t/J₂x和K/J的区域性不整合界面.

4.3 燕山期构造运动的沉积响应

燕山运动中期中亚造山带广泛的挤压作用 造成准噶尔盆地的强烈挤压和快速沉降,在盆地 内表现为中、晚侏罗世之间及侏罗纪与白垩纪之 间的区域性不整合、盆地内普遍发育的白垩系底 砾岩以及沉积环境与气候的变化等(图9),是构 造一岩浆活动在盆地内的记录.

燕山运动可划分为燕山运动早期、燕山运动中 期和燕山运动晚期,分别形成了准噶尔盆地西山窑



Fig.10 Diagram of Middle Yanshanian paleoflow and Cretaceous basal conglomerate distribution in the Junggar basin 白垩系底砾岩分布据方世虎等(2006)修改

组顶界、侏罗系顶界和白垩系顶界的3个区域性 不整合面(李振华,2011).燕山运动早期从下侏罗 统八道湾组到中侏罗统西山窑组,以西山窑组和 头屯河组之间的区域不整合界面为结束标志.该 期区域不整合主要分布在准噶尔盆地东部和西北 部.燕山运动中期准噶尔盆地周缘造山带发生快 速隆升,准噶尔盆地南缘表现为在氧化环境下形 成的巨厚上侏罗统喀拉扎组砾岩,盆地边缘和中 央低凸起则表现为广泛分布的白垩系底砾岩(图 10,方世虎等,2006).底砾岩是构造抬升剥蚀的沉 积响应,包含丰富的地质信息.准噶尔盆地上侏罗 统喀拉扎组砾岩和白垩系底砾岩成分成熟度低、 分选差,表现出近源快速沉积的特征,是晚侏罗 世一早白垩世强烈构造隆升和剥蚀作用下的沉积 产物.燕山运动中期以白垩系与侏罗系之间的底 砾岩为标志的区域性不整合界面是晚侏罗世晚 期一早白垩世准噶尔盆地及周缘造山带强构造活 动的沉积响应,是盆地边界萎缩和周缘造山带快 速隆升的重要证据(方世虎等,2006).因此,盆地 内侏罗系强烈的剥蚀作用、盆地边缘广布的粗碎 屑沉积物以及白垩系底砾岩共同指示了准噶尔盆 地燕山运动中期构造活动的快速增强.

受构造活动快速增强的影响,盆地内的沉积环

境和气候在燕山运动中期也发生相应改变.晚侏罗 世一早白垩世沉积物粒度较早一中侏罗世明显变 粗,盆地的快速沉降和强烈挤压作用使得盆地边缘 形成了大规模的砾岩冲积体系,向盆地内部逐渐演 化为河流沉积.准噶尔盆地南缘和东部地区早一中 侏罗世广泛分布曲流河三角洲相沉积物,在盆地内 部为半深湖相一深湖相,是重要成煤期.晚侏罗世, 强挤压作用下,盆地发生快速沉降,砾岩层发育.准 噶尔盆地西北缘早中侏罗世表现伸展盆地的特征, 主要发育湖相一辫状河相沉积物;中侏罗世晚期, 湖盆范围逐渐萎缩,沉积物粒度变粗,开始出现冲 积扇相粗碎屑沉积物;晚侏罗世,盆地属性发生明 显改变,由早中侏罗世的走滑伸展盆地变为挤压坳 陷盆地,盆地西北缘以干旱环境下的红层和砾石层 为主要特征(李玮等,2010).除了沉积环境的改变, 盆地气候也发生了明显变化.泥岩中黏土矿物的类 型和相对含量受气候条件影响密切,可有效推断物 源区的气候变化特征.在干旱气候条件下,伊利石 和绿泥石更容易形成与保存;而在潮湿的气候条件 中,长石等富铝矿物或花岗岩在酸性介质条件下, 经过强烈淋滤可形成大量高岭石.准噶尔盆地石南 地区自中侏罗统西山窑组到下白垩统清水河组泥 岩中,高岭石含量呈现逐渐减少的趋势,而伊利石





图11 准噶尔盆地石南地区泥岩中黏土矿物类型及平均 含量变化



和绿泥石则呈现相反的变化趋势(图11).高岭石 矿物含量的增加以及伊利石和绿泥石含量的降 低指示了气候由潮湿向干旱的转变.准噶尔盆地 南缘头屯河剖面喀拉扎组的大型风成砂丘,指示 晚侏罗世气候干旱的顶峰可能发生在喀拉扎组 沉积时期(Jolivet *et al.*, 2017).

燕山运动晚期对应白垩纪,以白垩系与古近 系之间的不整合为结束标志(洪太元,2006).白 垩纪以来,盆地内构造活动明显减弱,盆地接受 稳定均匀沉降,气候也逐步湿润,总体表现为坳 陷盆地发育阶段的特征.

因此,燕山期构造运动对准噶尔盆地的沉积体 系具有决定性的影响,表现为大规模地层抬升与剥 蚀而形成的区域性不整合界面,在盆地边缘广泛分 布的晚侏罗世粗碎屑沉积物,在盆地内普遍发育的 白垩系底砾岩,以及盆地气候由潮湿向干旱的转变 等.燕山期构造活动的沉积记录有效补充了侏罗 系一白垩系岩浆岩年代学数据严重不足的缺陷,为 中国西部盆地侏罗纪与白垩纪间的构造一岩浆活 动提供了有效的证据支撑.

5 结论

燕山期构造运动是准噶尔盆地及周缘造山带 陆内演化阶段重要的构造运动,对准噶尔盆地内沉 积体系的演化具有重要影响,本文对该时期的盆山 耦合关系进行研究,得到以下结论:

(1)准噶尔盆地周缘造山带古生代以来经历了 复杂的构造一岩浆演化过程.准噶尔盆地燕山构造 期物源体系受周缘造山带影响密切,准噶尔南缘沉 积区主要物源区为北天山和博格达山,准噶尔盆地 北部区域则受到东准噶尔造山带、西准噶尔造山带 以及阿尔泰造山带混合物源的影响.

(2)燕山中期(晚侏罗世一早白垩世)岩浆岩在 盆地周缘造山带出露较少,但在盆地碎屑锆石沉积 记录中得到了很好体现.晚侏罗世一早白垩世同沉 积期火山活动年龄在准噶尔盆地南缘和北部区域 中侏罗统到下白垩统的碎屑锆石中开始持续出现, 指示了区域性火山活动的存在.

(3) 燕山期受准噶尔盆地北部西伯利亚板块与 华北板块之间,以及南部拉萨地块与欧亚大陆之间 双向挤压作用的影响,准噶尔盆地区域发生强烈的 陆缘造山和陆内再生造山作用,周缘造山带可见大 规模的岩浆成矿作用.受周缘造山带构造活动的影 响,盆地内构造单元发生相应的挤压变形,乌伦古 坳陷与车-莫古隆起发生强烈的逆冲和整体抬升.

(4)准噶尔盆地沉积体系受燕山期构造运动影 响明显.受剧烈构造活动的影响,盆地内侏罗系齐 古组、头屯河组及西山窑组遭受强烈隆升剥蚀,形 成了 J₂t/J₂x和K/J的区域性不整合界面.盆地边缘 和中央低凸起处广泛分布的粗碎屑沉积物和白垩 系底砾岩,是晚侏罗世一早白垩世强烈构造隆升和 剥蚀作用下的沉积产物,指示了燕山运动中期盆地 周缘造山带的快速隆升和盆地边界的萎缩.与此同 时,盆地气候也发生由潮湿向干旱的转变.

References

- Bai, J. K., Chen, J. L., Zhu, X. H., et al., 2018. Provenance Characteristics of Kalamaili Formation in Northeastern Margin of Junggar Basin: Constraints of Geochemistry and Detrital Zircon U - Pb Geochronology. *Earth Science*, 43(12): 4411-4426 (in Chinese with English abstract).
- Chen, B., Jahn, B. M., 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(5): 691– 703. https://doi.org/10.1016/s1367-9120(03)00118-4
- Chen, F. W., Li, H. Q., Gong, D. H., et al., 1999. New Evidence of Isotopic Chronology of Yanshanian Diagenesis and Mineralization in the Altai Orogenic Belt, China. *Chinese Science Bulletin*, 44(11): 1142–1147 (in Chinese).
- Chen, W. F., 2017. Comparative Study on Late Paleozoic Tectonic-Magmatism Evolution in Eastern and Western Junggar, Xinjiang, Western China (Dissertation).

Lanzhou University, Lanzhou (in Chinese with English abstract).

- Corfu, F., 2003. Atlas of Zircon Textures. *Reviews in Miner*alogy and Geochemistry, 53(1): 469-500. https://doi. org/10.2113/0530469
- Dong, S. W., Zhang, Y. Q., Li, H. L., et al., 2019. The Yanshan Orogeny and Late Mesozoic Multi-Plate Convergence in East Asia—Commemorating 90th Years of the "Yanshan Orogeny". Science in China (Series D: Earth Sciences), 49(6): 913-938 (in Chinese with English abstract).
- Dumitru, T. A., Zhou, D., Chang, E. Z., et al., 2001. Uplift, Exhumation, and Deformation in the Chinese Tian Shan. Paleozoic and Mesozoic Tectonic Evolution of Central and Eastern Asia: From Continental Assembly to Intracontinental Deformation. Memoirs - Geological Society of America, Boulder, 71–100. https://doi.org/ 10.1130/ 0-8137-1194-0.71
- Fang, S. H., Song, Y., Jia, C. Z., et al., 2006. Relationship between Cretaceous Basal Conglomerate and Oil/ Gas Reservoiring in the Junggar Basin. *Natural Gas Industry*, 26(5): 13-16 (in Chinese with English abstract).
- Fang, Y. N., Wu, C. D., Guo, Z. J., et al., 2015. Provenance of the Southern Junggar Basin in the Jurassic: Evidence from Detrital Zircon Geochronology and Depositional Environments. *Sedimentary Geology*, 315: 47– 63. https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2014.10.014
- Fang, Y. N., Wu, C. D., Wang, Y. Z., et al., 2019. Topographic Evolution of the Tianshan Mountains and Their Relation to the Junggar and Turpan Basins, Central Asia, from the Permian to the Neogene. *Gondwana Research*, 75: 47-67. https://doi.org/10.1016/j.gr.2019.03.020
- Guo, Z. J., Zhang, Z. C., Wu, C. D., et al., 2006. The Mesozoic and Cenozoic Exhumation History of Tianshan and Comparative Studies to the Junggar and Altai Mountains. *Acta Geologica Sinica*, 80(1): 1–15 (in Chinese with English abstract).
- Han, B. F., He, G. Q., Wang, X. C., et al., 2011. Late Carboniferous Collision between the Tarim and Kazakhstan-Yili Terranes in the Western Segment of the South Tian Shan Orogen, Central Asia, and Implications for the Northern Xinjiang, Western China. *Earth - Science Reviews*, 109(3-4): 74-93. https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2011.09.001
- Han, B. F., Ji, J. Q., Song, B., et al., 2006. Late Paleozoic Vertical Growth of Continental Crust around the Junggar Basin, Xinjiang, China (Part I): Timing of Post -Collisional Plutonism. Acta Petrologica Sinica, 22(5): 1077-1086 (in Chinese with English abstract).

- Hong, T. Y., 2006. The Study on the Features of the Bottom Cretaceous Unconformity and Its Controlling Affect on the Hydrocarbon Accumulation in the Hinterland of Junggar Basin (Dissertation). China University of Geosciences, Beijing (in Chinese with English abstract).
- Hu, A. Q., Wang, Z. G., Tu, G. C., 1997. Geological Evolution and Diagenesis and Mineralization Laws in the Northern Xinjiang. Science Press, Beijing (in Chinese).
- Jin, S., 2016. Study on Geochronology and Geochemistry of Paleozoic Magmatism in West Junggar Area, Xinjiang (Dissertation). China University of Geosciences, Wuhan (in Chinese with English abstract).
- Jolivet, M., Bourquin, S., Heilbronn, G., etal., 2015. The Upper Jurassic - Lower Cretaceous Alluvial - Fan Deposits of the Kalaza Formation (Central Asia): Tectonic Pulse or Increased Aridity?. *Geological Society, London, Special Publications*, 427(1):491-521.https://doi.org/10.1144/sp427.6
- Li, C.M., 2009. A Review on the Minerageny and Situ Microanalytical Dating Techniques of Zircons. *Geological Survey and Research*, 32(3): 161-174(in Chinese with English abstract).
- 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. https://doi.org/ 10.1016/j.jseaes.2016.02.010
- Li, L., Chen, Z. L., Qi, W. X., et al., 2008. Apatite Fission Track Evidence for Uplifting-Exhumation Processes of Mountains Surrounding the Junggar Basin. Acta Petrologica Sinica, 24(5): 1011-1020 (in Chinese with English abstract).
- Li, W., 2007. The Mechanic and Tectonic Evolution of Mesozoic Basins in Northwestern Junggar Orogenic Belt (Dissertation). Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing (in Chinese with English abstract).
- Li, W., Hu, J.M., Qu, H.J., 2010. Fission Track Analysis of Junggar Basin Peripheral Orogen and Its Geological Significance. Acta Geologica Sinica, 84(2): 171-182 (in Chinese with English abstract).
- Li, X.Z., Han, B.F., Ji, J.Q., et al., 2004. Geology, Geochemistry and K-Ar Ages of the Karamay Basic - Intermediate Dyke Swarm from Xinjiang, China. *Geochimica*, 33(6): 574-584 (in Chinese with English abstract).
- Li, Z. H., 2011. Analysis on the Tectonic Event and Palaeo-Geothermal Feature of Yanshanian in the Northern Junggar Basin (Dissertation). Northwest University, Xi' an (in Chinese with English abstract).

- Shen, C. B., Mei, L. F., Zhang, S. W., et al., 2008. Fission-Track Dating Evidence on Space-Time Difference of Mesozoic - Cenozoic Uplift of the Yilianhabierga Mountain and Bogeda Mountain. *Mineralogy and Petrology*, 28 (2): 63-70 (in Chinese with English abstract).
- Song, J. Y., Qin, M. K., Cai, Y. Q., et al., 2019. Uplift-Denudation of Orogenic Belts Control on the Formation of Sandstone Type Uranium (U) Deposits in Eastern Junggar, Northwest China: Implications from Apatite Fission Track (AFT). *Earth Science*, 44(11): 3910– 3925 (in Chinese with English abstract).
- Su, Y.P., Zheng, J.P., Griffin, W., et al., 2010. Zircon U-Pb Ages and Hf Isotopes of Volcanic Rocks from the Batamayineshan Formation, East Junggar Basin. *Chinese Science Bulletin*, 55(30): 2931-2943 (in Chinese).
- Tang, W. H., Zhang, Z. C., Li, J. F., et al., 2014. Late Paleozoic to Jurassic Tectonic Evolution of the Bogda Area (Northwest China): Evidence from Detrital Zircon U-Pb Geochronology. *Tectonophysics*, 626: 144-156. https://doi.org/10.1016/j.tecto.2014.04.005
- Tian, H. B., 2018. The Paleozoic to Mesozoic Magmatism and Tectonic Evolution of the Central Altay Tectonic Belt, Xinjiang, China (Dissertation). China University of Geosciences, Beijing (in Chinese with English abstract).
- Wang, J. L., 2019. Source-to-Sink System and Sedimentary Filling Evolution of the Permian-Triassic Sediments in the Southern Junggar Basin and Its Adjacent Regions (Dissertation). Peking University, Beijing (in Chinese with English abstract).
- Wang, S. E., Gao, L. Z., 2012. SHRIMP U-Pb Dating of Zircons from Tuff of Jurassic Qigu Formation in Junggar Basin, Xinjiang. *Geological Bulletin of China*, 31(4): 503-509 (in Chinese with English abstract).
- Wang, Z. W., 2009. Research on the Tectonic Event and Thermal Evolution History of Piedmont Zone in Northern Margin of Junggar Basin (Dissertation). Northwest University, Xi'an (in Chinese with English abstract).
- Wu, F. L., Yao, Z. G., 2011. Application of U-Pb Dating in the Study on the Provenance Analysis of Detrital Zircons in the Southern Margin of Junggar Basin, China. Journal of Xi' an Shiyou University (Natural Science Edition), 26(3): 6-13 (in Chinese with English abstract).
- Wu, Y. B., Zheng, Y. F., 2004. Zircon Genetic Mineralogy and Its Restriction on the Interpretation of U-Pb Age. *Chinese Science Bulletin*, 49(16): 1589–1604 (in Chinese).
- Xiao, W.J., Shu, L.S., Gao, J., et al., 2009. Geodynamic Processes of the Central Asian Orogenic Belt and Its Metallogeny. *China Basic Science*, 11(3): 14-19 (in

Chinese with English abstract).

- Xinjiang Bureau of Geo-Exploration & Mineral Development, 1993. Regional Geology of the Xinjiang Uygur Autonomous Region. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Xu, X., Chen, C., Ding, T. F., et al., 2008. Discovery of Lisa Basalt Northwestern Edge of Junggar Basin and It's Geological Significance. *Xinjiang Geology*, 26(1): 9-16 (in Chinese with English abstract).
- Yang, F., Chen, G., Zhang, H. R., et al., 2013. LA-ICP-MS U-Pb Dating of Detrital Zircon from the Mesozoic Sandstone Core-Samples in Well DB1 of Northeast Junggar Basin. *Journal of Lanzhou University (Natural Sciences)*, 49(3): 313-319 (in Chinese with English abstract).
- Yang, W., Jolivet, M., Dupont-Nivet, G., et al., 2013. Source to Sink Relations between the Tian Shan and Junggar Basin (Northwest China) from Late Palaeozoic to Quaternary: Evidence from Detrital U-Pb Zircon Geochronology. *Basin Research*, 25(2): 219-240. https:// doi.org/10.1111/j.1365-2117.2012.00558.x
- Yang, Y. T., Guo, Z. X., Luo, Y. J., 2017. Middle-Late Jurassic Tectonostratigraphic Evolution of Central Asia, Implications for the Collision of the Karakoram - Lhasa Block with Asia. *Earth-Science Reviews*, 166: 83–110. https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2017.01.005
- Yuan, W. M., Carter, A., Dong, J. Q., et al., 2006. Mesozoic-Tertiary Exhumation History of the Altai Mountains, Northern Xinjiang, China: New Constraints from Apatite Fission Track Data. *Tectonophysics*, 412(3-4): 183-193. https://doi.org/10.1016/j.tecto.2005.09.007
- Yuan, W. M., Zheng, Q. G., Bao, Z. K., et al., 2009. Zircon Fission Track Thermochronology Constraints on Mineralization Epochs in Altai Mountains, Northern Xinjiang, China. *Radiation Measurements*, 44(9–10): 950– 954. https://doi.org/10.1016/j.radmeas.2009.10.094
- Yue, Y. L., 2008. Filling Characteristics of Sequence and Deposition and Recognition of Litho-Stratigraphic Traps of Formations from J₁s to K₁q₁ in Shinan Area, Junggar Basin (Dissertation). China University of Geosciences, Beijing (in Chinese with English abstract).
- Zhang, Q. F., Hu, A. Q., Zhang, G. X., et al., 1994. Evidence from Isotopic Age for Presence of Mesozoic - Cenozoic Magmatic Activities in Altai Region, Xinjiang. *Geochimica*, 23(3): 269–280 (in Chinese with English abstract).
- Zhou, T.Q., Wu, C.D., Yuan, B., et al., 2019. New Insights into Multiple Provenances Evolution of the Jurassic from Heavy Minerals Characteristics in Southern Junggar Basin, NW China. *Petroleum Exploration and Development*, (1): 67-81.

1709

附中文参考文献

- 白建科,陈隽璐,朱小辉,等,2018.准噶尔盆地东北缘卡拉麦 里组物源区特征:碎屑岩地球化学及锆石U-Pb年代学 的制约.地球科学,43(12):4411-4426.
- 陈富文,李华芹,工登红,等,1999.中国阿尔泰造山带燕山 期成岩成矿同位素年代学新证据.科学通报,44(11): 1142-1147.
- 陈万峰,2017.新疆东、西准噶尔地区晚古生代构造岩浆演化 对比研究(博士学位论文).兰州:兰州大学.
- 董树文,张岳桥,李海龙,等,2019."燕山运动"与东亚大陆晚 中生代多板块汇聚构造——纪念"燕山运动"90周年. 中国科学(D辑:地球科学),49(6):913-938.
- 方世虎,宋岩,贾承造,等,2006.准噶尔盆地白垩系底砾岩与 油气成藏的关系.天然气工业,26(5):13-16.
- 郭召杰,张志诚,吴朝东,等,2006.中、新生代天山隆升过程 及其与准噶尔、阿尔泰山比较研究.地质学报,80(1): 1-15.
- 韩宝福,季建清,宋彪,等,2006.新疆准噶尔晚古生代陆壳垂 向生长(I):后碰撞深成岩浆活动的时限.岩石学报,22 (5):1077-1086.
- 洪太元,2006.准噶尔盆地腹部白垩系底部不整合特征及其 控油作用研究(博士学位论文).北京:中国地质大学.
- 胡霭琴,王中刚,涂光炽,1997.新疆北部地质演化及成岩成 矿规律.北京:科学出版社.
- 靳松,2016.新疆西准噶尔地区古生代岩浆活动的年代学和 地球化学研究(博士学位论文).武汉:中国地质大学.
- 李长民,2009. 锆石成因矿物学与锆石微区定年综述. 地质 调查与研究,32(3):161-174.
- 李丽,陈正乐,祁万修,等,2008.准噶尔盆地周缘山脉抬升一 剥露过程的FT证据.岩石学报,24(5):1011-1020.
- 李玮,2007.准噶尔西北缘造山带中生代盆地形成机制及构 造演化(博士学位论文).北京:中国地质科学院.
- 李玮,胡健民,渠洪杰,2010.准噶尔盆地周缘造山带裂变径 迹研究及其地质意义.地质学报,84(2):171-182.
- 李辛子,韩宝福,季建清,等,2004.新疆克拉玛依中基性岩 墙群的地质地球化学和 K-Ar 年代学.地球化学,33 (6):574-584.
- 李振华,2011.准噶尔盆地北部燕山期构造事件及其古地温

特征分析(博士学位论文).兰州:西北大学.

- 沈传波,梅廉夫,张士万,等,2008.依连哈比尔尕山和博格达 山中新生代隆升的时空分异:裂变径迹热年代学的证 据.矿物岩石,28(2):63-70.
- 宋继叶,秦明宽,蔡煜琦,等,2019.准东构造隆升对砂岩型铀 成矿作用的制约:磷灰石裂变径迹证据.地球科学,44 (11):3910-3925.
- 苏玉平,郑建平,Griffin,W.,等,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.
- 田红彪,2018. 新疆中阿尔泰构造带古生代一中生代岩浆 作用及大地构造演化(博士学位论文). 北京:中国 地质大学.
- 王家林,2019. 准噶尔盆地南缘及邻区二叠-三叠纪源汇系 统与沉积充填演化(博士学位论文).北京:北京大学.
- 王思恩,高林志,2012.新疆准噶尔盆地侏罗系齐古组凝灰岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄.地质通报,31(4):503-509.
- 王志维,2009.准噶尔盆地北缘山前带构造事件与热演化史 研究(硕士学位论文).西安:西北大学.
- 武富礼,姚志刚,2011.碎屑锆石U-Pb定年在准噶尔盆地南 缘物源研究中的应用.西安石油大学学报(自然科学 版),26(3):6-13.
- 吴元保,郑永飞,2004. 锆石成因矿物学研究及其对 U-Pb年 龄解释的制约. 科学通报,49(16): 1589-1604.
- 肖文交,舒良树,高俊,等,2009.中亚造山带大陆动力学过 程与成矿作用.中国基础科学,11(3):14-19.
- 新疆维吾尔自治区地质矿产局,1993.新疆维吾尔自治区区 域地质志.北京:地质出版社.
- 徐新,陈川,丁天府,等,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.
- 杨甫, 陈刚, 章辉若, 等, 2013. 准噶尔盆地东北部 DB1 井 中生界碎屑锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年. 兰州大学学 报(自然科学版), 49(3): 313-319.
- 岳云雷,2008.准噶尔盆地石南地区三工河组-清水河组层 序沉积充填特征及岩性地层圈闭识别(博士学位论文). 北京:中国地质大学.
- 张前锋,胡蔼琴,张国新,等,1994.阿尔泰地区中、新生代岩 浆活动的同位素年龄证据.地球化学,23(3):269-280.