

锆石裂变径迹年龄对济阳拗陷新生界源区构造背景的指示意义*

刘士林^{1,2} 肖焕钦³ 林 舸² 郑和荣¹ 王 毅¹

(1. 中国石油化工股份有限公司石油勘探开发研究院 北京 100083;

2. 中国科学院广州地球化学研究所 广州 510640; 3. 中国石化胜利油田 山东东营 257060)

摘 要 沉积物中的锆石裂变径迹分析可以用于示踪沉积盆地的源区性质及其构造演化信息。济阳拗陷新生界9块砂岩样品的锆石裂变径迹中值年龄介于 $183.1 \pm 15.0 \text{ Ma} \sim 100.0 \pm 5.6 \text{ Ma}$ 之间, 锆石单颗粒年龄均大于其地层沉积年龄。对没有通过 χ^2 检验的6块样品进行了多组分年龄分离分析, 表明多数样品主要由2个年龄组分组成。总体上, 砂岩锆石裂变径迹单组分年龄具有较好的一致性, 主要介于 $389.1 \pm 5.1 \text{ Ma} \sim 272.7 \pm 14.6 \text{ Ma}$ (P1)、 $238.1 \pm 7.8 \text{ Ma} \sim 203.6 \pm 6.6 \text{ Ma}$ (P2)、 $179.3 \pm 13.9 \text{ Ma} \sim 96.8 \pm 17.8 \text{ Ma}$ (P3)、 $80.3 \pm 15.7 \text{ Ma} \sim 55.3 \pm 6.0 \text{ Ma}$ (P4)之间。这4组年龄组分分别记录了晚古生代、三叠纪、晚侏罗—早白垩世及晚白垩世—古新世时期内锆石裂变径迹完全退火时的年龄。结合区域地质背景认为, 济阳拗陷新生界的主要物源是燕山运动中期强烈的构造岩浆活动期内发育的上侏罗统—下白垩统的火山岩和火山—碎屑岩系; 海西期、印支期以及燕山晚期—喜马拉雅山早期过渡时期的构造岩浆活动也对拗陷有少量物源贡献。

关键词 锆石裂变径迹 物源 构造演化 济阳拗陷

中图分类号: P588, P597

文献标识码: A

文章编号: 0563-5020(2012)01-240-11

盆地陆源碎屑沉积物对源区构造演化有重要的指示作用。目前利用盆地陆源碎屑沉积物示踪源区及其演化的方法有很多, 如沉积碎屑组分分析法、重矿物法、地球化学法及同位素年代学方法等。但是由于盆地中碎屑沉积物来源复杂, 其形成往往经历了多阶段的循环和混合, 使得利用碎屑组分、重矿物及元素地球化学特征等传统方法来示踪源区存在着多解性, 而同位素年代学方法则可以从沉积物中获取源区年龄组成的信息, 有利于了解源区年代学特征(闫义等, 2002; Donelick et al., 2005)。

裂变径迹定年技术作为一种同位素年代学方法, 可以记录岩石所经历的低温热历史信息(Naeser et al., 1989)。近10多年, 该技术的应用在研究岩体隆升、盆地构造—热史以及沉积物源示踪等方面取得了不错的成果(朱文斌等, 2005)。国内外学者多通过对沉积物中锆石裂变径迹的研究来识别源区及其构造演化信息(Garver and Brandon, 1994a, 1994b; Gallagher et al., 1998; Carter, 1999; 周祖翼等, 2001; 闫义等, 2003; Donelick et al., 2005; Yan et al., 2005; Carrapa et al., 2006)。这是由于锆石裂变径迹的热

* 国家自然科学基金项目(编号: 40773004)资助。

刘士林, 男, 1982年10月生, 博士, 构造地质学与石油地质学专业。E-mail: liushilin_syky@sinopec.com

2011-04-27 收稿, 2011-08-06 改回。

稳定性强, 在 $200 \sim 350 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 的温度范围内, 其仍能很好地保存 (Wagner and Van den Haute, 1992), 而沉积盆地内则很少能达到这么高的埋藏温度。

济阳拗陷位于渤海湾盆地的东南部, 油气资源丰富, 该拗陷是在华北古生代地台基础上经历了海西、印支、燕山及喜马拉雅山等多期构造运动的改造发育而成的, 存在多个区域性不整合面 (图 1, 表 1)。受不同时期构造运动的影响, 济阳拗陷具有“多幕式”发育特征, 导致中、新生代的构造背景和沉积格局存在明显差异 (宗国洪等, 1999; 吴智平等, 2003; 李丕龙等, 2004)。对于济阳拗陷新生代物源区的研究, 不同学者已从碎屑成分 (杨超等, 2008; 刘惠民, 2010)、重矿物组成 (石永红等, 2009)、元素特征 (陈庆春等, 2003; 刘宁等, 2009) 等方面进行了研究, 丰富了盆地的研究成果, 但对于同位素年代学方法的使用还非常少。因此本文以全新的视角, 通过分析济阳拗陷新生代砂岩锆石裂变径迹资料, 研究了拗陷新生界的物源特征, 并对拗陷形成和演化的区域构造背景进行了探讨, 以期对该区的基础研究有所裨益。

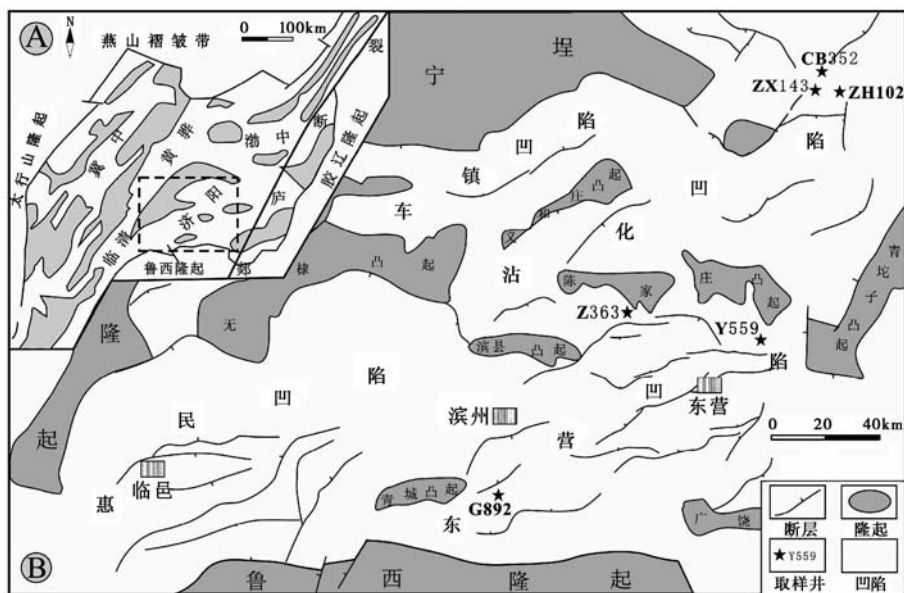


图 1 济阳拗陷构造简图及裂变径迹取样井位

Fig. 1 Simplified structural map of the Jiyang depression and fission track sampling wells

1 测试方法与结果

1.1 测试方法

样品取自济阳拗陷钻井岩心, 层位为古近系沙河街组至新近系馆陶组 (图 1, 表 2), 样品均未受岩浆侵入影响, 岩性为灰白、浅灰色中细粒长石石英砂岩, 重量 $> 1.5 \text{ kg}$, 经粉碎研磨后, 进行常规电磁选和重液分离, 然后在显微镜下挑出锆石颗粒 (粒径在 $60 \sim 150 \text{ }\mu\text{m}$ 之间)。然后将颗粒压嵌在 Teflon 塑片上磨出内表面, 抛光并在 $\text{NaOH} + \text{KOH}$ 的溶液中进行蚀刻。然后将低铀白云母外探测器与颗粒一并放入反应堆辐照, 之后在

表 1 济阳拗陷构造—地层特征简表

Table 1 Simplified table of tectonic-strata characteristics of the Jiyang depression

地层		年龄 /Ma	构造阶段	构造演化	沉积特征			
新生代	第四纪(Q)		2.0	III幕	拗陷沉降	冲积平原相 河流沼泽相		
	新近纪	明化镇组(Nm)	6.0					
		馆陶组(Ng)	24.6					
	古近纪	地层缺失		喜马拉雅山运动	II幕	整体抬升	地层剥蚀	
		东营组(Ed)	32.6					
			沙河街组(Es)		Es ₁	36.7		
		Es ₂						
		Es ₃			43.7			
		Es ₄			50.5			
	孔店组(Ek)	65.0		I幕	断陷阶段	河流沼泽相		
地层缺失			湖湘、三角洲相					
中生代	白垩纪	地层缺失		燕山运动	地壳抬升	地层剥蚀		
		王氏组(K _{2w})						
		西洼组(K _{1x})	137					
		蒙阴组(K _{1m})						
	侏罗纪	地层缺失		二幕	山间断陷盆地,地壳活动、火山活动频繁	山间断陷盆地沉积		
		三台组(J _{3s})						
		坊子组(J _{1+2f})	195					
	三叠纪	地层缺失		印支期	地壳抬升	地层剥蚀		
		聊城组(T ₁)?						
		地层缺失					230	
古生代	二叠纪	中二叠统(P ₂)			海西期	稳定的地台发育阶段	海陆交互相沉积,发育有煤层	
		下二叠统(P ₁)	280					
	石炭纪	上石炭统(C ₂)			稳定的地台发育阶段,形成盖层	地壳平稳抬升	下伏地层遭受强烈剥蚀	
	泥盆纪	地层剥蚀或无沉积		400				
	志留纪	地层剥蚀或无沉积				加里东期	稳定的地台发育阶段,形成盖层	海相沉积以碳酸盐岩为主
		寒武纪—奥陶纪(Є-O)		500	570			
元古代	地层缺失		1800	晋宁期	形成华北原地台	地层缺失		
			2500	吕梁期	形成结晶基底			
太古代	泰山群(Ar ₁)	阜平期		原始陆核	变质岩			

25 °C下 40% HF 中蚀刻 15 min(±15 s)揭示诱发径迹。最后利用自动测量装置选择平行 C 轴的柱面测出自发径迹和诱发径迹密度,根据 IUGS 推荐的 Zeta 常数法和标准裂变径迹年龄方程(Hurford, 1990)计算年龄值。

单一源区样品(如火山岩)的颗粒年龄分布服从放射性衰变的泊松分布。对沉积岩,若其沉积后未经完全退火,则其单颗粒年龄还可能是各源区母岩组分的混合。为此,Galbraith and Green(1990)提出了用 χ^2 检验来判断颗粒年龄是否服从泊松分布,即所有颗粒是否属于同一组分。若 $P(\chi^2) < 5\%$,则表明矿物颗粒来自不同的源区,需要对样品进行多组分分析,以区分其单组分年龄。目前,常用的确定年龄组分的方法有高斯峰值拟合法和二项式峰值拟合法两种(Galbraith and Laslett, 1993; Brandon, 1996)。

1.2 测试结果

9 块砂岩的锆石裂变径迹中值年龄介于 $183.1 \pm 15.0 \text{ Ma} \sim 100.0 \pm 5.6 \text{ Ma}$ 之间,显示了较大的年龄跨度,其中 6 块样品的 χ^2 检验 $< 5\%$, 表明了非均一的物质来源。所测样品的单颗粒锆石径迹年龄均大于其地层沉积年龄,表明济阳拗陷新生界沙河街组及其上覆地层自沉积后未经受过高埋藏温度的影响,沉积碎屑中的锆石裂变径迹未曾完全退火,还包含有物源信息,可以用于物源探讨。对没有通过 χ^2 检验的样品进行了多组分年龄分离分析,将分离结果以年龄组分布频率直方图进行表达。结果表明,除少数样品(ZX143-1、Z363-1、Z363-2)具有 3 个年龄组分外,多数样品均由具不同比例的两个年龄组分构成。总体上,所有样品的年龄组分具有较好的一致性,它们分别落在 $389.1 \pm 5.1 \text{ Ma} \sim 272.7 \pm 14.6 \text{ Ma}$ (P1)、 $238.1 \pm 7.8 \text{ Ma} \sim 203.6 \pm 6.6 \text{ Ma}$ (P2)、 $179.3 \pm 13.9 \text{ Ma} \sim 96.8 \pm 17.8 \text{ Ma}$ (P3)、 $80.3 \pm 15.7 \text{ Ma} \sim 55.3 \pm 6.0 \text{ Ma}$ (P4) 范围内(表 2,图 2)。

2 源区构造背景探讨

利用锆石裂变径迹年代学资料进行源区示踪、反演源区构造演化具有其独特的优势。即可以从沉积物中提取年龄信息,结合对比周缘地层出露和区域构造演化特征情况,从而判断源区及其构造演化特征。

根据济阳拗陷构造演化特征及周边地层发育情况,研究认为 P1、P2、P3、P4 的 4 个年龄组分分别记录了晚古生代、三叠纪、晚侏罗—早白垩世及晚白垩世—古新世时期内锆石裂变径迹完全退火时的年龄。由于样品没有受到后期岩浆活动和埋藏高温的影响,因此,这 4 个年龄组分可能暗示了不同时期的物源特征及其区域构造背景。

P1 组分($389.1 \pm 5.1 \text{ Ma} \sim 272.7 \pm 14.6 \text{ Ma}$)记录了海西构造运动时期内锆石颗粒完全退火时的年龄。其中 $389.1 \pm 5.1 \text{ Ma}$ 的年龄对应于中泥盆纪末期,可能记录的是海西早期的构造抬升及其伴随的岩浆活动,这与研究区缺少志留—泥盆系地层是吻合的。更重要的是,P1 组分记录了早二叠世末海西晚期运动的岩浆活动时间。该时期济阳拗陷所处华北板块的构造活动以整体升降为主,沉积环境由陆表浅海转化为内陆盆地,这是一全球性的构造事件伴随有强烈的岩浆活动,在中国西部的塔里木盆地及准噶尔盆地中都有大面积的火山岩和侵入岩发育。但对于济阳拗陷的海西运动事件研究资料很少,仅杨超等(2008)通过 QFL 图版分析表明,济阳拗陷石炭—二叠纪物源区性质为再旋回造山带和破裂岩浆弧区,物源主要来自盆地南部出现明显的造山带,这也间接表明海西晚期的构造岩浆活动形成的碎屑物质经历了晚古生代—中生代的再循环,成为古近系地层的部分物源。

P2 组分($238.1 \pm 7.8 \text{ Ma} \sim 203.6 \pm 6.6 \text{ Ma}$)主要记录了三叠纪时期锆石颗粒通过封闭温度时的年龄,这与印支运动有关。早-中三叠世,济阳地区作为华北古生界统一板块的一部分,构造环境与晚古生代相一致,原始沉积厚度约为 $1\ 000 \sim 2\ 500 \text{ m}$; 中三叠世末期开始的印支运动使本区进入一个新的构造演化阶段,受控于扬子板块与华北板块北北东—南南西向的挤压应力场,造就了多条北西向逆冲控盆断裂带的形成,济阳地区整体处于抬升剥蚀状态,早-中三叠世沉积的地层几乎被剥蚀殆尽(漆家福等, 2003; 吴智平

表2 济阳拗陷新生代砂岩裂变迹测试数据和年龄组分析

Table 2 Zircon fission track analytical data and age components of Cenozoic sandstones of the Jiyang depression, Bohai Bay Basin

位置	样品号	组段	地层沉积 年龄/Ma	颗粒/ n	$\rho_s/10^5/cm$ (N_s)	$\rho_i/10^5/cm$ (N_i)	$\rho_d/10^5/cm$ (N_d)	U 含量/ 10^{-6}	$P(\chi^2)/%$	Age/Ma ($\pm 1\sigma$)	年龄组 P1/Ma ($\pm 2\sigma$)	年龄组 P2/Ma ($\pm 2\sigma$)	年龄组 P3/Ma ($\pm 2\sigma$)	年龄组 P4/Ma ($\pm 2\sigma$)
沾 化 凹 陷	ZH102-1	Ed	30 ~ 28	21	85.758 (2767)	12.561 (405)	3.360 (4878)	142.46	0	149.8 ± 15.3	272.7 ± 14.6 26.8%	—	126.5 ± 14.6 73.2%	—
	ZX143-1	Ed	30 ~ 28	19	64.899 (1978)	13.616 (415)	3.304 (4878)	151.77	3.7	104.9 ± 9.2	—	203.6 ± 6.6 4.9%	116.4 ± 17.1 61.8%	80.3 ± 15.7 33.3%
	CB352-1	Ng	10 ~ 8	22	70.159 (3094)	14.807 (653)	3.133 (4878)	165.56	20.4	100.0 ± 5.6	—	—	100.0 ± 5.6	—
东 营 凹 陷	CB352-2	Ng	12 ~ 10	21	66.082 (2707)	11.034 (452)	3.077 (4878)	136.90	4.9	125.1 ± 9.0	—	—	140.7 ± 17.8 59.4%	—
	G892-1	Es ₃	43 ~ 40	22	71.245 (2716)	9.942 (379)	3.247 (4878)	109.72	0.2	183.1 ± 15.0	283.2 ± 9.6 28.1%	—	129.3 ± 9.6 71.9%	—
	G892-2	Es ₄	46 ~ 44	26	77.290 (2189)	9.604 (272)	3.190 (4878)	118.06	40.9	179.3 ± 13.9	—	—	179.3 ± 13.9	—
东 营 凹 陷	Z363-1	Ed	30 ~ 28	25	80.822 (3390)	11.778 (494)	3.020 (4878)	145.85	0	130.8 ± 12.4	389.1 ± 5.1 6.7%	—	124.5 ± 9.7 84.9%	77.2 ± 8.2 7.9%
	Z363-2	Es ₄	46 ~ 44	17	94.680 (1698)	12.434 (223)	2.977 (4878)	139.92	0	178.3 ± 28.5	—	238.1 ± 7.8 74.0%	115.9 ± 10.4 14.2%	55.3 ± 6.0 11.8%
	Y559-1	Ed	31 ~ 29	24	58.500 (2190)	9.990 (374)	2.977 (4878)	121.77	31.2	125.4 ± 9.0	—	—	125.4 ± 9.0	—

采用外探测器方法进行测试,中子注量利用CN2铀玻璃标定; ρ_s 为矿物中自发裂变迹密度, N_s 为所测自发裂变迹的数目; ρ_i 为白云母外探测器记录的矿物中诱发裂
变迹密度, N_i 为其对应所测的径迹数; ρ_d 为中子注量监测器标准铀玻璃组件的诱发裂变迹密度; $P(\chi^2)$ 自由度为 ν (ν 为颗粒数量)时 χ^2 的概率;采用IUGS地质年代学
委员会建议的方法(Hurford, 1990)计算;Zeta常数为 132.7 ± 5.5 。年龄多组分计算采用BINOMFIT程序(Brandon, 2002)。

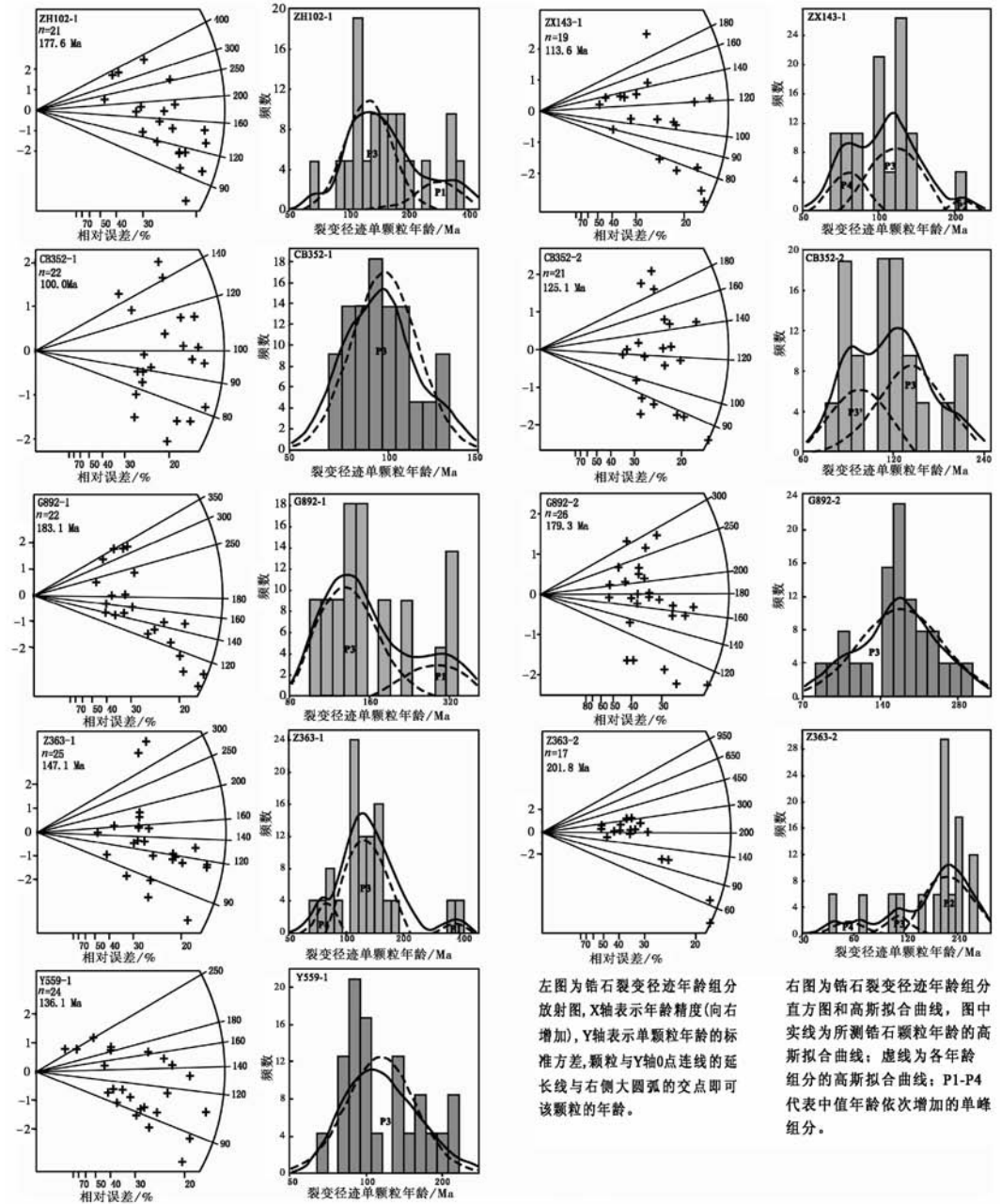


图 2 济阳拗陷锆石裂变径迹年龄放射图和频率直方图

Fig. 2 Radial plots and frequency histogram of fission track age of single-zircon grains in the Jiyang depression

等, 2003; 李勇等, 2006)(图 3A), 也使得拗陷周缘物源区的古生界甚至太古界地层遭受剥蚀, 如北部的埕宁隆起埕北 20 井区和南部鲁西隆起坊子地区出现中、下侏罗统与泰山群直接接触的现象(宗国洪等, 1999); 同时沿北西向断裂发育有中酸性岩浆活动, 这些被剥蚀的碎屑物质经历再循环可能成为拗陷新生界地层的小部分物源。这也与拗陷

的沉积碎屑特征(蔡进功, 2001)和稀土元素特征(陈庆春等, 2003)反映的源区性质基本吻合。

P3 组分(179.3 ± 13.9 Ma ~ 96.8 ± 17.8 Ma)可能与燕山运动中期(晚侏罗—早白垩世)济阳拗陷强烈的构造岩浆活动有关。早白垩世开始(约 150 ~ 140 Ma), 中国东部中生代构造体制发生了以挤压为主到以伸展为主的转变(翟明国等, 2003), 此时西太平洋伊泽奈崎板块改变了运动方向和速度, 以 30 cm/a 的高速沿北北西向俯冲于东亚大陆之下(Northrup et al., 1995), 中国大陆东部处于左旋剪切应力场作用下, 产生了郯庐、太行山东、沧东—兰聊等一系列北北东(北东)向的断裂, 并使得这些断裂带于早白垩世发生了巨大的左行走滑平移, 在大型走滑断层的影响下, 产生了一系列的北西、北西西向张性断裂系统, 如在渤海湾和鲁西南形成北西向雁行排列的中生代断陷盆地(侯贵廷等, 2001)。对济阳拗陷而言, 其夹持于郯庐断裂带与沧东—兰聊断裂带所派生的左旋剪切应力场之间, 受到南西—北东向的拉张, 促使三叠纪时期形成的北西向逆断裂带发生构造反转, 沿着早期的断面发生张性伸展, 并且伴随着强烈的岩浆喷发活动(图 3B)。

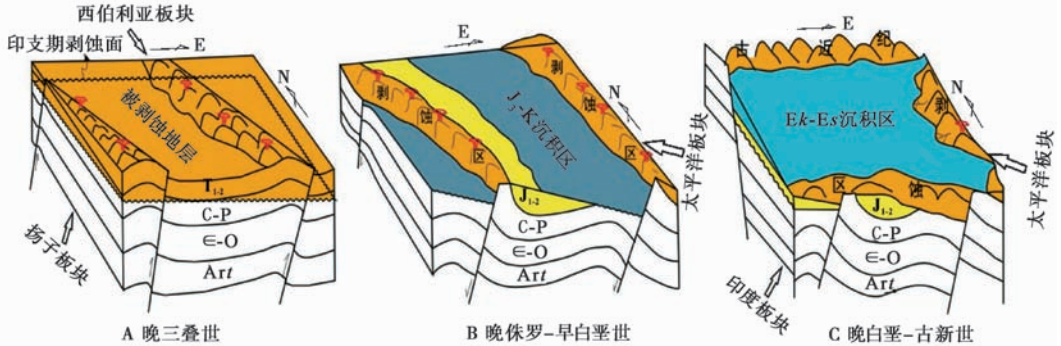


图 3 济阳拗陷中生代构造—沉积模式图(据吴智平等, 2003 改编)

Fig. 3 Meso-Cenozoic tectonic-sedimentary models of the Jiyang depression(modified after Wu et al., 2003)

济阳拗陷区中生代火山活动主要包括晚侏罗世早期和晚侏罗世晚期—早白垩世两期。前者活动较弱, 分布局限, 多是短暂火山喷发, 每次经历的时间短、间隔长, 爆发物不多, 形成的火山岩(单层)厚度薄, 以安山质凝灰岩为主; 后者火山活动最强烈, 是拗陷最重要的火山活动期, 多以持续的、强烈的火山爆发和岩浆喷溢为特征, 活动时间长、间隔短, 以裂隙式或沿断裂分布的中心式喷发和溢流为主, 形成了以火山岩及火山碎屑岩为主, 间有正常沉积岩的火山—沉积岩系, 火山岩分布广、厚度大, 其成分以安山质和玄武质等中基性为特征(王毅等, 1994)。本次测试所得的锆石裂变径迹年龄组分中, P3 所占比重最大, 其对应的地质时代为早白垩世—晚白垩世初期, 和该时期的火山活动时间(翟明国等, 2003)相吻合, 结合样品层位可以表明拗陷新生界沙河街组三段(E_{s3})—馆陶组(N_g)地层的物源主要以其周围隆(凸)起区被剥蚀的中生界侏罗—白垩系地层为主, 并且火山岩碎屑成分居多。陈庆春等(2003)对济阳拗陷地层 REE 特征研究也表明中、新生界具有很大的相似性, 反映了济阳拗陷中生代与新生代构造格局的转变, 即中生代接受沉积的部分洼陷区至古近纪成为供给物源的凸起区。结合古地理背景(李丕龙等,

2004) 和前人成果(蔡进功, 2001; 蔡观强等, 2007; 刘宁等, 2009), 沾化凹陷取样区的物源可能来自北部的埕宁隆起和东部的鲁东隆起; 而东营凹陷取样较分散, 物源主要来自鲁东隆起区, 这与古近系时期东营三角洲由东向西的进积作用有关, 同时北部的陈家庄凸起和南部的鲁西隆起区也可能有部分物源贡献(蒲玉国等, 2005)。

P4 组分($80.3 \pm 15.7 \text{ Ma} \sim 55.3 \pm 6.0 \text{ Ma}$)可能与燕山—喜马拉雅山过渡期(晚白垩世—古新世)的岩浆活动有关, 该时期太平洋板块对欧亚板块的俯冲方向仍为北北西向, 郯庐断裂带继承了燕山期的活动方式, 为左旋走滑, 地层挤压抬升, 岩浆活动较明显, 古新世孔店组继承了晚白垩世济阳拗陷的构造格局(图 3C)。尽管 P4 组分所占比重较小, 但仍表明晚白垩世—古新世的构造岩浆活动对其有物源贡献。

3 结 论

(1) 利用锆石裂变径迹热年代学信息进行源区示踪和构造背景的研究是近年来一种新的尝试, 还处在探索阶段。该方法的使用需要注意: 1) 挑选出足够多的锆石颗粒, 以便进行统计分析; 2) 样品沉积后没有经历过完全退火, 还保留有物源信息。

(2) 济阳拗陷新生界砂岩的锆石裂变径迹中值年龄介于 $183.1 \pm 15.0 \text{ Ma} \sim 100.0 \pm 5.6 \text{ Ma}$ 之间, 样品的单组分年龄具有较好的一致性, 主要介于 $389.1 \pm 5.1 \text{ Ma} \sim 272.7 \pm 14.6 \text{ Ma}$ (P1)、 $238.1 \pm 7.8 \text{ Ma} \sim 203.6 \pm 6.6 \text{ Ma}$ (P2)、 $179.3 \pm 13.9 \text{ Ma} \sim 96.8 \pm 17.8 \text{ Ma}$ (P3)、 $80.3 \pm 15.7 \text{ Ma} \sim 55.3 \pm 6.0 \text{ Ma}$ (P4) 范围内, 这 4 组年龄组分分别记录了晚古生代、三叠纪、晚侏罗—早白垩世、晚白垩—古新世等地质时期内锆石裂变径迹完全退火时的年龄。

(3) 结合区域地质背景认为 P1、P2、P3、P4 的 4 组年龄组分反映了济阳拗陷新生界地层的物源特征和自海西期以来的区域构造演化历史。其中 P1 和 P2 年龄组分表明海西运动和印支运动造成的中-下三叠统、古生界甚至太古界的剥蚀碎屑经历再循环成为了拗陷新生界的一小部分物源; P3 组分表明于燕山运动中期强烈的构造岩浆活动发育期形成的上侏罗统一白垩统的火山岩和火山—碎屑岩系是拗陷新生界的主要物源; P4 组分则可能表明晚白垩—古新世拗陷在构造—沉积特征上具有过渡性, 该时期的岩浆岩对其有小部分物源贡献。

致谢 蒙审稿人对文稿提出的建设性修改意见和精心修改, 谨致衷心谢忱。

参 考 文 献

- 蔡观强, 郭峰, 刘显太, 隋淑玲, 李超文, 高晓峰, 赵亮. 2007. 沾化凹陷新近系沉积岩地球化学特征及其物源指示意义. 地质科技情报, **26**(6): 17—24.
- Cai Guanqiang, Guo Feng, Liu Xiantai, Sui Shuling, Li Chaowen, Gao Xiaofeng and Zhao Liang. 2007. Geochemical characteristics of Neogene sedimentary rocks from Zhanhua sag and its implication for provenance. *Geological Science and Technology Information*, **26**(6): 17—24.
- 蔡进功. 2001. 东营箕状断陷沉积物源的演变. 油气地质与采收率, **8**(6): 5—9.
- Cai Jingong. 2001. The evaluation of sedimental source in Dongying dustpan-like rift. *Petroleum Geology and Recovery*

Efficiency, **8**(6): 5—9.

- 陈庆春, 吴智平, 李伟. 2003. 济阳拗陷稀土元素特征及其在物源对比中的应用. *地质论评*, **49**(6): 622—629.
- Chen Qingchun, Wu Zhiping and Li Wei. 2003. Geochemistry of rare earth elements and its application in the source identification in the Jiyang depression. *Geological Review*, **49**(6): 622—629.
- 侯贵廷, 钱祥麟, 蔡东升. 2001. 渤海湾盆地中、新生代构造演化研究. *北京大学学报*, **37**(6): 845—851.
- Hou Guiting, Qian Xianglin and Cai Dongsheng. 2001. The tectonic evolution of Bohai Basin in Mesozoic and Cenozoic time. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, **37**(6): 845—851.
- 李丕龙, 张善文, 肖焕钦. 2004. 陆相断陷盆地隐蔽油气藏形成. 北京: 石油工业出版社. 1—426.
- Li Pilong, Zhang Shanwen and Xiao Huanqin. 2004. Formation of Subtle Oil and Gas Traps in Continental Rift Basins. Beijing: Petroleum Industry Publishing House. 1—426.
- 李勇, 钟建华, 温志峰, 段洪亮, 王海侨. 2006. 印支运动对济阳拗陷构造形态形成演化的影响. *地质论评*, **52**(3): 321—330.
- Li Yong, Zhong Jianhua, Wen Zhifeng, Duan Hongliang and Wang Haiqiao. 2006. Effects of Indosinian movements on tectonic formation and evolution, Jiyang depression. *Geological Review*, **52**(3): 321—330.
- 刘惠民. 2010. 东营凹陷滨南—利津地区古近系沙四上亚段物源分析与沉积特征. *现代地质*, **24**(2): 321—329.
- Liu Huimin. 2010. Source provenance and depositional characteristics of the upper part of the fourth member of Shahejie Formation in Binnan-Lijin area, Dongying depression. *Geoscience*, **24**(2): 321—329.
- 刘宁, 樊德华, 郝运轻, 李博. 2009. 稀土元素分析方法研究及应用——以渤海湾盆地东营凹陷永安地区物源分析为例. *石油实验地质*, **31**(4): 427—432.
- Liu Ning, Fan Dehua, Hao Yunqing and Li Bo. 2009. REE analysis method and application——Taking source rocks in Yong'an region of the Dongying sag, the Bohai Bay Basin as example. *Petroleum Geology and Experiment*, **31**(4): 427—432.
- 蒲玉国, 吴时国, 李道轩, 宋建勇, 刘元, 王建林. 2005. 东营凹陷高青砂岩体物源方向与沉积模式研究. *地球学报*, **26**(2): 145—150.
- Pu Yuguo, Wu Shiguo, Li Daoxuan, Song Jianyong, Liu Yuan and Wang Jianlin. 2005. The source area and sedimentary pattern of Gaoqing sand bodies in Dongying depression. *Acta Geoscientifica Sinica*, **26**(2): 145—150.
- 漆家福, 于福生, 陆克政, 周建勋, 王子煜, 杨桥. 2003. 渤海湾地区的中生代盆地构造概论. *地学前缘*, **10**(增刊): 199—206.
- Qi Jiafu, Yu Fusheng, Lu Kezheng, Zhou Jianxun, Wang Ziyu and Yang Qiao. 2003. Conspectus on Mesozoic basins in Bohai Bay province. *Earth Science Frontiers*, **10**(suppl.): 199—206.
- 石永红, 李忠, 卜香萍, 许承武. 2009. 博兴洼陷新生代砂岩碎屑石榴石的物源示踪及对鲁西隆起的指示. *沉积学报*, **27**(5): 967—975.
- Shi Yonghong, Li Zhong, Bu Xiangping and Xu Chengwu. 2009. Detrital garnets from Cenozoic sandstones across Boxing sag for provenance indicator and its implication for the Luxi uplift. *Acta Sedimentologica Sinica*, **27**(5): 967—975.
- 王毅, 陆克政, 任安身. 1994. 济阳拗陷东北部中生代构造运动和火山活动及盆地演化. *石油大学学报*, **18**(2): 1—8.
- Wang Yi, Lu Kezheng and Ren Anshen. 1994. Tectogenesis and volcanism and the basin evolution of the Mesozoic era in the northeast of Jiyang depression. *Journal of the University of Petroleum*, **18**(2): 1—8.
- 吴智平, 李伟, 任拥军, 林畅松. 2003. 济阳拗陷中生代盆地演化及其与新生代盆地叠合关系探讨. *地质学报*, **77**(2): 280—288.
- Wu Zhiping, Li Wei, Ren Yongjun and Lin Changsong. 2003. Basin evolution in the Mesozoic and superposition of Cenozoic Basin in the area of the Jiyang depression. *Acta Geologica Sinica*, **77**(2): 280—288.
- 闫义, 林舸, 王岳军, 郭锋. 2002. 盆地陆源碎屑沉积物对源区构造背景的指示意义. *地球科学进展*, **17**(1): 85—90.
- Yan Yi, Lin Ge, Wang Yuejun and Guo Feng. 2002. The indication of continental detrital sediment to tectonic setting. *Advances in Earth Sciences*, **17**(1): 85—90.
- 闫义, 林舸, 李自安. 2003. 利用锆石形态、成分组成及年龄分析进行沉积物源区示踪的综合研究. *大地构造与成*

矿学, **27**(2): 184—190.

- Yan Yi, Lin Ge and Li Zi'an. 2003. Provenance tracing of sediments by means of synthetic study of shape, composition and chronology of zircon. *Geotectonica et Metallogenia*, **27**(2): 184—190.
- 杨超, 陈清华, 吕洪波, 王秀玲. 2008. 济阳拗陷晚古生代—中生代构造演化特点. 石油学报, **29**(6): 859—864.
- Yang Chao, Chen Qinghua, Lü Hongbo and Wang Xiuling. 2008. Late Paleozoic-Mesozoic tectonic evolution features in Jiyang depression. *Acta Petrolei Sinica*, **29**(6): 859—864.
- 翟明国, 朱日祥, 刘建明, 孟庆任, 侯泉林, 胡圣标, 李忠, 张宏福, 刘伟. 2003. 华北东部中生代构造体制转折的关键时限. 中国科学(D辑), **33**(10): 913—920.
- Zhai Mingguo, Zhu Rixiang, Liu Jianming, Meng Qingren, Hou Quanlin, Hu Shengbiao, Liu Wei, Li Zhong and Zhang Hongfu. 2004. Time range of Mesozoic tectonic regime inversion in eastern North China Block. *Science in China* (Series D), **47**(2): 151—159.
- 周祖翼, 毛凤鸣, 廖宗廷, 郭彤楼. 2001. 裂变径迹年龄多成分分离技术及其在沉积盆地物源分析中的应用. 沉积学报, **19**(3): 456—459.
- Zhou Zuyi, Mao Fengming, Liao Zongting and Guo Tonglou. 2001. Estimation of the multi-component fission track age data and its application in the provenance study of sedimentary basins. *Acta Sedimentologica Sinica*, **19**(3): 456—459.
- 朱文斌, 万景林, 舒良树, 孙岩, 赵忠岩. 2005. 裂变径迹定年技术在构造演化研究中的应用. 高校地质学报, **11**(4): 593—600.
- Zhu Wenbin, Wan Jinglin, Shu Liangshu, Sun Yan and Zhao Zhongyan. 2005. Fission-track dating technique and its applications to the problems of tectonic evolution. *Geological Journal of China Universities*, **11**(4): 593—600.
- 宗国洪, 肖焕钦, 李常宝. 1999. 济阳拗陷构造演化及其大地构造意义. 高校地质学报, **5**(3): 275—282.
- Zong Guohong, Xiao Huanqin and Li Changbao. 1999. Evolution of Jiyang depression and its tectonic implications. *Geological Journal of Chinese Universities*, **5**(3): 275—282.
- Brandon M T. 1996. Probability density plots for fission-track grain-age samples. *Radiation Measurements*, **26**(5): 663—676.
- Brandon M T. 2002. Decomposition of mixed grain age distributions using binomfit. *On Track*, **24**: 13—18.
- Carrapa B, Strecker M R and Sobel E R. 2006. Cenozoic orogenic growth in the central Andes: Evidence from sedimentary rock provenance and apatite fission track thermochronology in the Fiambalá Basin, southernmost Puna Plateau margin (NW Argentina). *Earth and Planetary Science Letters*, **247**(1—2): 82—100.
- Carter A. 1999. Present status and future avenues of source region discrimination and characterization using fission track analysis. *Sedimentary Geology*, **124**(1—4): 31—45.
- Donelick R A, O' Sullivan P B and Ketcham R A. 2005. Apatite fission-track analysis. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, **58**(1): 49—94.
- Galbraith R F and Green P F. 1990. Estimating the component ages in a finite mixture. *Nuclear Tracks and Radiation Measurements*, **17**: 197—206.
- Galbraith R F and Laslett G M. 1993. Statistical models for mixed fission track ages. *Nuclear Tracks and Radiation Measurements*, **21**(4): 459—470.
- Gallagher K, Brown R and Johnson C. 1998. Fission track analysis and its applications to geological problems. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, **26**(1): 519—572.
- Garver J I and Brandon M T. 1994a. Fission-track ages of detrital zircons from Cretaceous strata, southern British Columbia: Implications for the Baja BC hypothesis. *Tectonics*, **13**(2): 401—420.
- Garver J I and Brandon M T. 1994b. Erosional denudation of the British Columbia Coast Ranges as determined from fission-track ages of detrital zircon from the Tofino Basin, Olympic Peninsula, Washington. *Geological Society of America Bulletin*, **106**(11): 1398—1412.
- Hurford A J. 1990. Standardization of fission track dating calibration; Recommendation by the Fission Track Working Group of the I. U. G. S. Subcommittee on Geochronology. *Chemical Geology: Isotope Geoscience Section*, **80**(2): 171—178.
- Naeser N D, Naeser C W and McCulloh T H. 1989. The application of fission track dating to the depositional and the thermal

history of rocks in sedimentary basins. In: Naeser N D and McCulloh T H (Eds.). Thermal History of Sedimentary Basin-methods and Case Histories. New York:Springer-Verlag. 157—180.

Northrup C J, Royden L H, Buchfiel Bc. 1995. Motion of the Pacific plate relative to Eurasia and its potential relation to Cenozoic extension along the eastern margin of Eurasia. *Geology*, **23**(8) : 719—722.

Wagner G A and Van den Haute P. 1992. Fission-Track Dating. Kulwer Academic Publishers, Dordrecht. 1—285.

Yan Y, Lin G, Xia B, Li Z A and Li Z C. 2005. Thermochronology of Mesozoic sandstone from the Beipiao Basin and its implication to Meso-Cenozoic tectonic evolution of the eastern Yan-Liao orogenic belt. *Acta Geologica Sinica*, **79**(2) : 254—263.

Indicating significance of Cenozoic zircon fission track ages of the Jiyang depression to its provenance and tectonic background

Liu Shilin^{1, 2} Xiao Huanqin³ Lin Ge² Zheng Herong¹ Wang Yi¹

(1. Exploration & Production Research Institute of SINOPEC, Beijing 100083; 2. Guangzhou Institute of Geochemistry, CAS, Guangzhou 510640; 3. Shengli Oilfield Company of SINOPEC, Dongying, Shandong 257060)

Abstract

Zircon fission track analyses of sediments of sedimentary basins can be used to trace its provenance characters and tectonic evolutionary history. Central ages of zircon fission tracks of 9 Cenozoic sandstones from the Jiyang depression arrange from 183.1 ± 15.0 Ma to 100.1 ± 5.6 Ma, and all the single zircon grain age is bigger than its strata depositional age. Multiple component analyses of zircon fission track ages were calculated to the 6 samples which were not passed by χ^2 -Test, and the results show that most sandstone samples mainly consist of two age components. As a whole, single component of zircon fission track ages of the 9 sandstones show a good coherence, and these can be concluded into four components which arranges from 389.1 ± 5.1 Ma to 272.7 ± 14.6 Ma (P1), 238.1 ± 7.8 Ma to 203.6 ± 6.6 Ma (P2), 179.3 ± 13.9 Ma to 96.8 ± 17.8 Ma (P3), and 80.3 ± 15.7 Ma to 55.3 ± 6.0 Ma (P4) respectively. The four components record the entire annealing ages of zircon grains in the Late Paleozoic, Triassic, Late Cretaceous-Paleocene and Early Cretaceous respectively. Combined with regional geological background, it can be concluded that volcanic rocks and volcano-clastic rocks of the Upper Jurassic to Lower Cretaceous strata which were formed due to the intense tectono-magmatic activation of the Middle Yanshannian Movement are the chief provenance to Cenozoic strata of the depression; meanwhile, the tectono-magmatic activations which are attributed to the Hercynian, the Indosinian, and the Late Yanshannian to Early Himalaya Movements also have a few provenance contribution to those of the Jiyang depression.

Key Words Zircon fission track, Provenance, Tectonic evolution, Jiyang depression