

鄂尔多斯盆地中西部中生代构造抬升及演化

马晓军¹, 梁积伟¹, 李建星², 贾伟航³, 陶文星¹, 刘亚兰¹, 刘晓峰¹

(1. 长安大学地球科学与资源学院, 陕西 西安 710054; 2. 成都地质矿产研究所, 四川 成都 610082;
3. 中国建筑材料工业地质勘查中心甘肃总队, 甘肃 天水 741000)

摘要:通过磷灰石裂变径迹(AFT)分析与热史模拟的方法,探讨了鄂尔多斯盆地中西部地区中生代构造热演化过程及地质响应。不同构造单元及不同层位样品的AFT年龄结果表明,研究区中生代以来经历2次构造抬升:晚白垩世末—古新世早期(79~65 Ma)和始新世—中新世早期(56~15 Ma);AFT年龄空间对比图表明,研究区抬升冷却具有南早北晚、后期整体抬升的特征。热史模拟结果表明,研究区整体于晚白垩世末期快速冷却抬升,古新世—中新世晚期为缓慢抬升,中新世末以来抬升速率明显加快。研究区中生代的构造演化过程与周缘构造单元的相互作用密不可分,晚白垩世以来的构造抬升可能与秦岭造山带构造演化有关,新生代以来的构造抬升与盆地周缘裂陷的演化具有一致性,中新世晚期以来的快速抬升可能与青藏高原隆升的远程效应有关。

关键词: 裂变径迹分析;热史模拟;构造抬升;鄂尔多斯盆地;中—新生代

中图分类号:P543.6;P542

文献标志码:A

文章编号:1009-6248(2019)04-0127-10

Meso-cenozoic Tectonic Uplift and Evolution of Central and Western Ordos Basin

MA Xiaojun¹, LIANG Jiwei¹, LI Jianxing², JIA Weihang³,
TAO Wenxing¹, LIU Yalan¹, LIU Xiaofeng¹

(1. School of Earth Science and Resource, Chang'an University, Xi'an 710054, Shaanxi, China;

2. Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, Chengdu 610082, Sichuan, China; 3. Geological Exploration in the Chinese Building Materials Center Team in Gansu Province, Tianshui 741000, Gansu, China)

Abstract: Through using the fission-track analysis and thermal evolution simulation, this paper discusses the Meso-cenozoic tectonic-dynamic thermal evolution of Central and Western Ordos Basin and its geological response. The AFT age of different tectonic units and the related strata in the studying area reveal that there may be two times uplift process occurred in the end of Late Cretaceous to Early Paleocene (79~65Ma) and Eocene to Early Miocene (56~15Ma). The spatial distribution of AFT ages suggests that the uplift and cooling time in south is early than in north, and the overall uplift was occurred in later period. The thermal evolution simulation indicates that this studying area had wholly experienced rapid uplift in Late Cretaceous, and the low uplift was happened in Paleocene to Late Miocene, while the further rapid uplift was occurred after Late Miocene. The tectonic uplift of Late Cretaceous in this studying area may be related to the evolution of Qinling tectonic units. The tectonic uplift of Cenozoic is consistent with the evolution of rifting around this basin. The rapid uplift since late Miocene may be related to the remote effect of the Tibetan Plateau uplift.

Keywords: fission-track analysis; thermal evolution simulation; tectonic uplift; Ordos Basin; Meso-cenozoic

收稿日期:2018-12-25;修回日期:2019-05-15

基金项目:中国地质调查局“区域地质调查”(0716-1641DK900365/07),“国际地科联、国际地层对比计划”(IGCP652),科技部、国家科技重大专项专题(2017ZX05005002-004),国家自然科学基金委、青年项目(4150210)资助

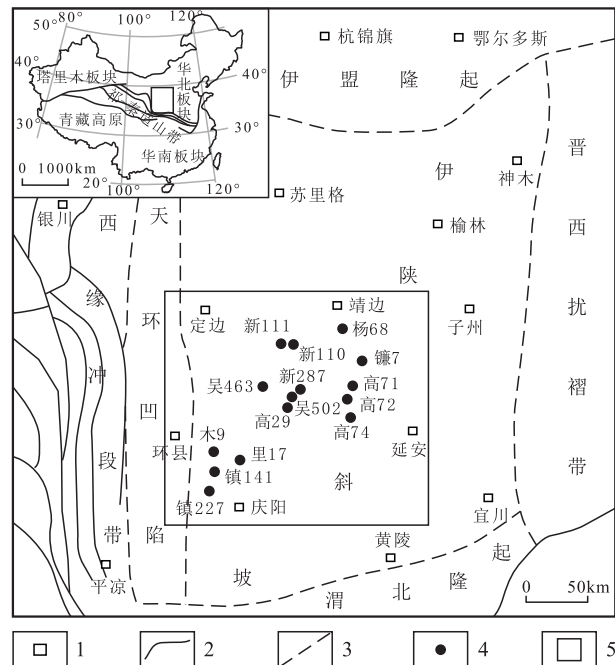
作者简介:马晓军(1995-),男,硕士研究生,矿产普查与勘探。E-mail:1192584847@qq.com

鄂尔多斯盆地位于中国四大不同构造域活动影响的复合部位。新生代以来,受周围阿拉善微陆块、秦祁构造带及青藏高原隆升的影响,鄂尔多斯盆地构造活动频繁,后期改造强烈,地质特征极其复杂,因此对其构造演化过程及成藏响应的研究,有着非常重要的科学意义(刘池阳等,2006)。近年来,已有众多学者基于磷灰石裂变径迹(AFT)分析方法从不同地区、不同角度及不同层次来讨论了鄂尔多斯盆地中生代构造年代学的演化史,任战利等(2006,2007)、赵孟为(1996)和孙少华等(1997)分别给出100~140 Ma、170~160 Ma和215~72 Ma的年龄时限;任战利等(2015)、祁凯等(2017)、王建强等(2010)和肖晖等(2013)认为盆地南缘渭北隆起经历了早白垩世、晚白垩世和始新世—渐新世3期抬升过程;丁超等(2016)认为盆地东北缘经历了三期抬升过程,分别为85~55 Ma、55~35 Ma和35~21 Ma;黄志刚等(2016)和徐小刚等(2017)在研究盆地东南缘时给出51.6~66.3 Ma、33 Ma的年龄时限;刘池阳等(2006)在研究鄂尔多斯盆地构造演化时,在陕北斜坡地区给出了106.45 Ma的磷灰石裂变径迹年龄。这些构造年代学的研究主要集中于盆地周缘地区,而对盆地中西部的研究相对薄弱,这很大程度上制约了人们对鄂尔多斯盆地构造演化的整体研究。笔者针对盆地中西部延安西北部及庆阳北部2个不同地区的岩心样品进行磷灰石裂变径迹测试和热史模拟分析,以反映研究区中生代以来的构造抬升期次、热演化过程及地质响应。

1 地质背景

鄂尔多斯盆地是处于华北陆块西部地区的中生代内陆河湖相大型叠合盆地,东起吕梁山,西抵桌子山—六盘山—贺兰山,北隔新生代河套盆地,与阴山—大青山隆起带相望,南隔渭河盆地与秦岭造山带毗邻,面积约 $25 \times 10^4 \text{ km}^2$,四周被不同地质历史时期形成的隆起带和断陷带环绕,形成特殊的周缘隆起与周边断陷并存的复杂环形盆山耦合构造格局。鄂尔多斯盆地的形成始于中三叠世纸坊期,中晚三叠世延长期及早中侏罗延安期为盆地发育的鼎盛时期(刘池阳等,2006),早白垩世末期盆地消亡,晚白垩世以来盆地在区域挤压应力的作用下整体抬升,普遍缺失这一时期的地层记录,下白垩统及其下伏地层也遭受了不同程度的抬升剥蚀。研究区位于鄂尔多斯盆地陕北斜坡中西部,北起定边—靖边—南至

庆阳、东达延安、西邻环县,涵盖了定边、靖边、吴起和志丹的广大区域(图1)。该地区构造较平缓,褶皱和断裂不发育。



1. 地名;2. 断层;3. 构造单元线;4. 取样井位;5. 研究范围

图1 鄂尔多斯盆地构造简图及采样点位置图

Fig. 1 Sketch tectonics geological map and sampling sites in Ordos basin

2 方法原理与样品采集

磷灰石裂变径迹(AFT)分析法作为研究沉积盆地演化中一种新的且有效的方法(孙建博等,2006),在盆地热历史恢复及油气资源评价中取得了明显的应用效果(任战利等,2017)。该方法是建立在矿物 ^{238}U 在自发裂变过程中对矿物晶体产生一定的辐射损伤的基础上,通过分析矿物中 ^{238}U 含量与自发径迹密度而产生的同位素测年方法。磷灰石裂变径迹在高温背景下具有径迹密度减少、径迹长度变短甚至完全消失的特点,而新的抬升冷却又会在低于其封闭温度条件下形成新的径迹(王瑜,2004;GLEADOW A J W.,1986)。所以 AFT 年龄可以提供沉积盆地经历热事件后抬升冷却的年龄信息。

笔者所用的样品采自鄂尔多斯盆地中西部不同区段延安组—延长组中的23块钻井岩心样品,其中9块位于研究区南段,14块位于北段,采样位置见图

1. 裂变径迹测试由中国科学院高能物理研究所完成。磷灰石裂变径迹分析采用外探测器法,具体试验方法见朱文斌等(2007),中子注量利用 CN5 铀玻璃标定,Zeta 常数为(416±24.7),测试结果见表 1。值得注意的是,对测得样品的年龄值必须进行 χ^2 检验,当泊松分布检验概率 $P(\chi^2) > 5\%$ 时,表明样品年龄值服从泊松分布,说明样品颗粒年龄属于同一组分,样品中心年龄可代表样品真实的抬升年龄;若 $P(\chi^2) < 5\%$,表明样品年龄值不服从泊松分布,裂变径迹年龄值为混合年龄,此时必须采用雷达年龄图与高斯拟合曲线法对其进行分解,得出不同的峰值年龄,提供不同期次构造抬升事件的冷却年龄(许立青等,2016;陈刚等,2007)。

3 裂变径迹年龄分析

研究区南部 9 块样品的表现年龄分布在 82~

31 Ma,均小于沉积地层年龄,代表样品层段经历埋藏增温后抬升冷却至 AFT 封闭温度以前的冷却年龄;裂变径迹长度分布在 10.5~11.1 μm ,均小于初始裂变径迹平均长度 16.5 μm ;9 块样品中只有 D0007 的 $P(\chi^2) > 5\%$,表明具单一的年龄平均值,中值年龄均可代表最近一次抬升冷却年龄,其径迹长度呈现为右偏单峰;其余的 8 个样品的 $P(\chi^2)$ 均小于 5%,径迹长度主要呈现右偏单峰或是不明显的双峰(图 2),中值年龄小于相应的沉积年龄,说明年龄组分主要为沉积期后不同阶段构造事件混合作用的结果。利用单颗粒年龄雷达图、年龄分布图及年龄高斯拟合曲线对样品的混合年龄进行解析,给出不同年龄组分对应的最佳高斯拟合年龄,提供不同期次构造抬升事件的样品冷却年龄记录。高斯拟合曲线得到的峰值年龄见图 3,南部地区 AFT 年龄主要在 79~15 Ma(图 4),表明南部地区于晚白垩世末开始抬升。

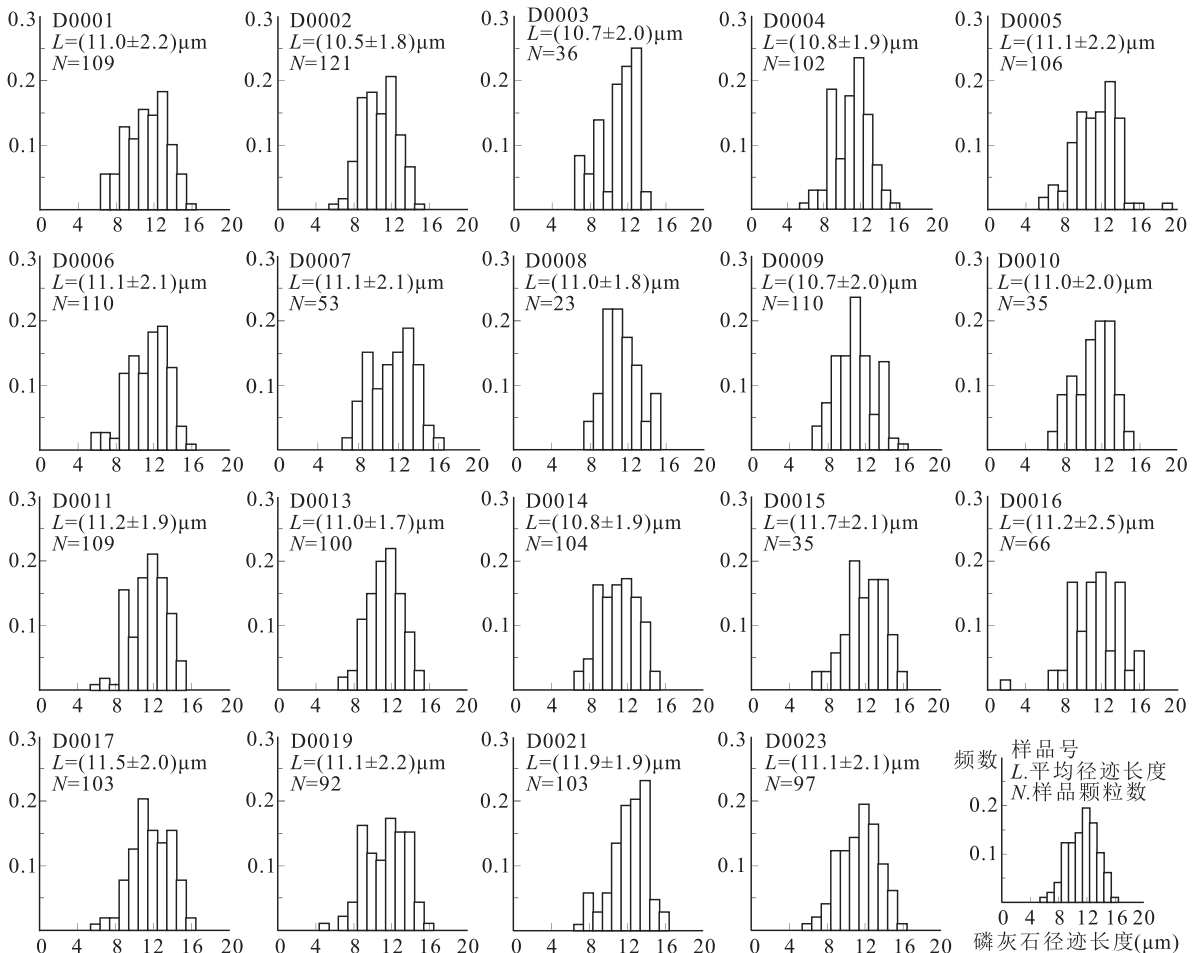
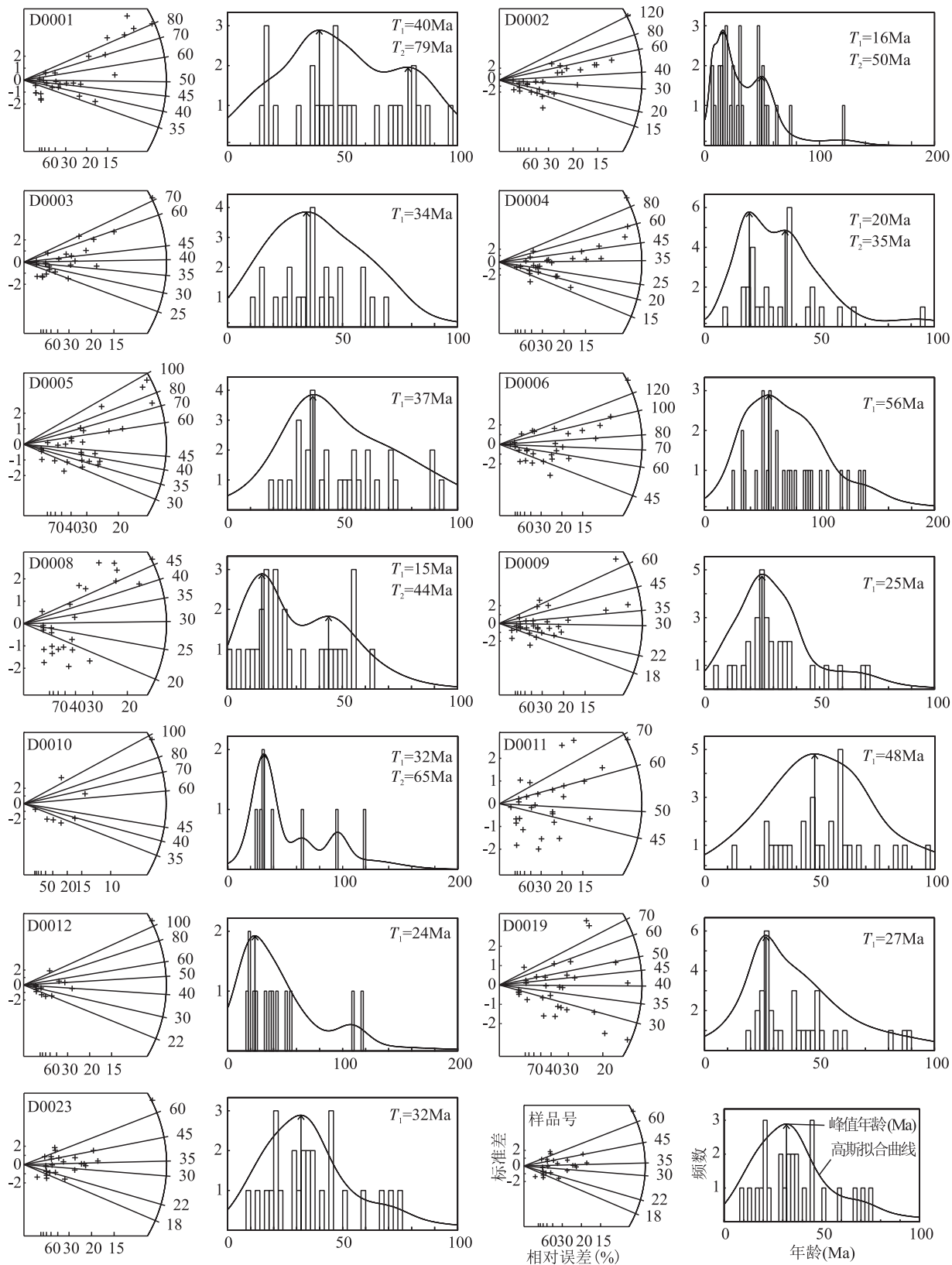


图 2 鄂尔多斯盆地中西部 AFT 长度分布图

Fig. 2 Length distribution of AFT in the midwest of Ordos Basin



(每个样品左侧为单颗粒年龄分布雷达图,右侧为单颗粒年龄分布直方图)

图3 鄂尔多斯盆地中西部 AFT 年龄组分分解图

Fig. 3 Estimating age populations in a mixed distribution of AFT analysis in the Midwest of Ordos Basin

表 1 鄂尔多斯盆地中西部 AFT 测试分析数据表
Tab.1 AFT data of apatite on the midwest of Ordos Basin

地区	样品号	时代	井深 (m)	井名	<i>n</i>	$\rho_s(10^5/cm)$ (Ns)	$\rho_i(10^5/cm)$ (Ni)	$P(\chi^2)$ (%)	中值年龄 ($\pm 1\sigma$)(Ma)	池年龄 ($\pm 1\sigma$)(Ma)	L(μm) (N)
南部地区	D0001	延 9	1 919.7	镇 277	28	6.804(842)	22.730(2 813)	0	56 \pm 6	65 \pm 5	11.0 \pm 2.2(109)
	D0002	延 10	1 980.2	镇 277	28	3.290(574)	17.876(3 119)	0	34 \pm 5	40 \pm 3	10.5 \pm 1.8(121)
	D0003	长 3	2 042.6	镇 277	24	4.182(407)	18.671(1 817)	0.6	43 \pm 5	49 \pm 4	10.7 \pm 2.0(36)
	D0004	长 7	2 232.8	镇 141	28	4.602(898)	25.271(4 931)	0	34 \pm 4	40 \pm 3	10.8 \pm 1.9(102)
	D0005	长 4+5	2 167.5	镇 277	30	3.101(471)	11.964(1 817)	0.2	52 \pm 5	56 \pm 5	11.1 \pm 2.2(106)
	D0006	长 6	2 317.2	镇 277	28	3.753(884)	9.986(2 352)	0	72 \pm 7	82 \pm 6	11.1 \pm 2.1(110)
	D0007	长 8	2 451.1	镇 227	27	2.949(369)	13.721(1 717)	16.9	45 \pm 4	47 \pm 4	11.1 \pm 2.1(53)
	D0008	长 9	2 951.8	里 17	27	1.548(256)	9.768(1 615)	0.2	31 \pm 4	35 \pm 3	11.0 \pm 1.8(23)
	D0009	长 10	2 548.8	木 9	30	1.088(584)	6.89(3 698)	0	31 \pm 3	34 \pm 3	10.7 \pm 2.1(110)
北部地区	D0010	长 2	1 527.6	新 110	8	5.347(502)	16.628(1 561)	0	53 \pm 11	70 \pm 6	11.0 \pm 2.0(35)
	D0011	长 3	1 305.5	高 72	29	3.078(711)	12.078(2 790)	3.8	53 \pm 5	55 \pm 4	11.2 \pm 1.9(109)
	D0012		1 733.1	新 287	13	3.655(203)	11.307(628)	0	45 \pm 10	70 \pm 7	11.3 \pm 2.1(15)
	D0013	长 4+5	1 341.9	镰 7	29	2.502(675)	11.804(3 185)	7.5	44 \pm 4	46 \pm 3	11.2 \pm 1.7(100)
	D0014	长 6	1 654.3	高 29	32	3.495(472)	14.482(1 956)	26.6	50 \pm 5	52 \pm 4	10.8 \pm 1.9(104)
	D0015		1 367.8	镰 7	21	1.594(268)	6.609(1 111)	56	52 \pm 5	52 \pm 5	11.7 \pm 2.1(35)
	D0016	长 7	1 948.6	杨 68	32	2.516(228)	12.655(1 147)	65.4	43 \pm 4	43 \pm 4	11.2 \pm 2.1(66)
	D0017		1 877.5	高 29	29	2.236(444)	12.756(2 533)	39.4	38 \pm 3	38 \pm 3	11.6 \pm 1.9(103)
	D0018	长 8	2 096.6	新 111	8	4.081(339)	24.427(2 029)	7.8	32 \pm 4	36 \pm 3	11.8 \pm 1.7(39)
	D0019		2 243.1	吴 463	32	2.464(391)	14.604(2 317)	0.3	39 \pm 4	37 \pm 3	11.1 \pm 2.0(92)
	D0020	长 9	1 961.8	高 29	10	0.311(10)	1.338(43)	97.3	51 \pm 18	51 \pm 18	
	D0021		1 882.4	高 72	28	2.344(619)	9.832(2 596)	26	50 \pm 4	52 \pm 4	11.9 \pm 1.9(103)
	D0022	长 10	1 743.8	高 71	12	1.077(72)	7.211(482)	90.8	33 \pm 5	33 \pm 5	10.6 \pm 1.5(5)
	D0023		2 203.5	吴 502	28	1.844(378)	10.041(2 058)	0	35 \pm 4	40 \pm 3	11.1 \pm 2.1(97)

注:*n* 为样品颗粒数; ρ_s 、 ρ_i 、 ρ_d 为样品的自发、诱发和标准铀玻璃产生在白云母外探测器上的诱发裂变径迹密度;Ns、Ni、和 Nd 分别为与 ρ_s 、 ρ_i 、 ρ_d 相对应的径迹数目。 $P(\chi^2)$ 为 χ^2 统计值;N 为所测径迹数。

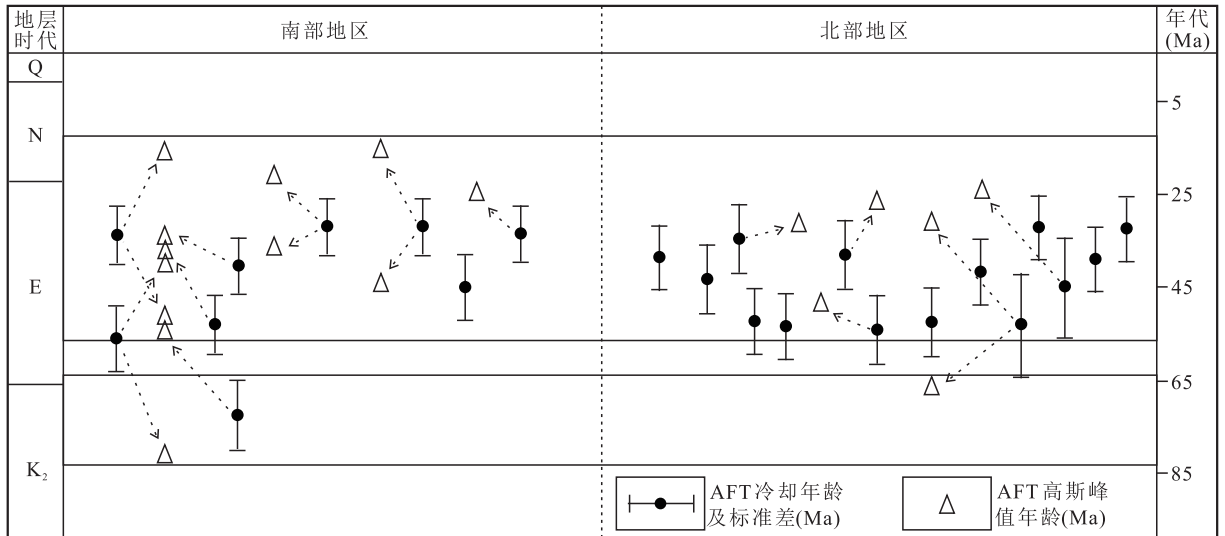


图 4 鄂尔多斯盆地中西部磷灰石裂变径迹峰值年龄对比关系图

Fig. 4 The comparison of apatite fission-track ages in the midwest of Ordos basin

研究区北部 14 块样品的表观年龄分布在 70~32 Ma, 均小于沉积地层年龄; 裂变径迹长度分布在 10.6~11.9 μm , 均小于初始裂变径迹平均长度 16.5 μm , 径迹长度主要呈现单峰或是不明显的双峰(图 2); 14 块样品中有 9 块样品的 $P(\chi^2) > 5\%$, 表明其单颗粒年龄来自同一组分, 5 块样品的 $P(\chi^2) < 5\%$, 说明这些样品的中值年龄为混合年龄, 通过峰值年龄拟合解析, 获得一系列峰值年龄(图 3), 北部地区 AFT 年龄主要集中在 65~24 Ma, 表明北部地区于古新世早期开始抬升。

另外, 通过研究区裂变径迹冷却年龄及峰值年龄, 绘制了研究区 AFT 年龄关系图(图 4), 图中显示的 AFT 年龄时间与研究区普遍地层缺失的时间具有很好的对应性, 按照年龄分布程度, 笔者将峰值年龄分为 2 组, 晚白垩世末—古新世早期(79~65 Ma)、始新世—中新世早期(56~15 Ma), 其中大部分样品年龄都落入古近纪, 说明古近纪是研究区主要抬升期。

4 热史模拟

磷灰石裂变径迹方法不仅可以提供抬升冷却的时间, 还可以结合年龄和径迹长度 2 个参数进行热演化史模拟, 从而获得更多构造演化过程信息。对于样品混合年龄和经受过扰动的数据, 可通过热史演化史模拟来进一步揭示快速冷却幕的时间、冷却前的温度和样品首次进入退火带的时间(KETCHAM R A., 2009; 周祖翼等, 2001)。笔者模拟运用 HeFTy 软件对鄂尔多斯盆地中西部磷灰石样品进行热史模拟, 初始径迹长度定为 16.3 μm , 模拟次数为 10 000 条, 并获得 50~100 条以上的良好拟合路径, 且最佳模拟曲线可代表该样品的热历史路径。模拟过程中, 设定合理的模拟温度及时间范围, 根据样品实测的年龄、裂变径迹长度和样品所处的地质背景来确定热史模拟过程中关键地质事件的温度和时间, 并结合研究区北部陕参 1 井的热演化史图(图 5), 对样品完全退火之前的热史路径约束。一般用 K-S(长度拟合度)及 Age GOF(年龄拟合度)参数来检验模拟结果, 若 2 个参数数值都大于 0.05 时, 模拟过程是比较可信的; 若都大于 0.5, 表示模拟过程可信。

笔者利用南部地区延安组—延长组的 2 件岩心样品和北部地区延长组的 4 件岩心样品的 AFT 实测数据进行热史模拟。模拟结果(图 6)显示: 南部地区的 2 件样品模拟得到的平均年龄分别为 47.1 Ma 和 34.4 Ma, 年龄拟合度 Age GOF 分别为 0.94 和 1, K-S 值分别为 0.76 和 0.62, 说明模拟结果可信; 北部地区 4 件样品模拟得到的平均年龄分别为 46.1 Ma、43 Ma、38.3 Ma 和 36.1 Ma, 年龄拟合度 Age GOF 均不小于 0.84, K-S 值为 0.44~0.71, 说明模拟结果比较可信。

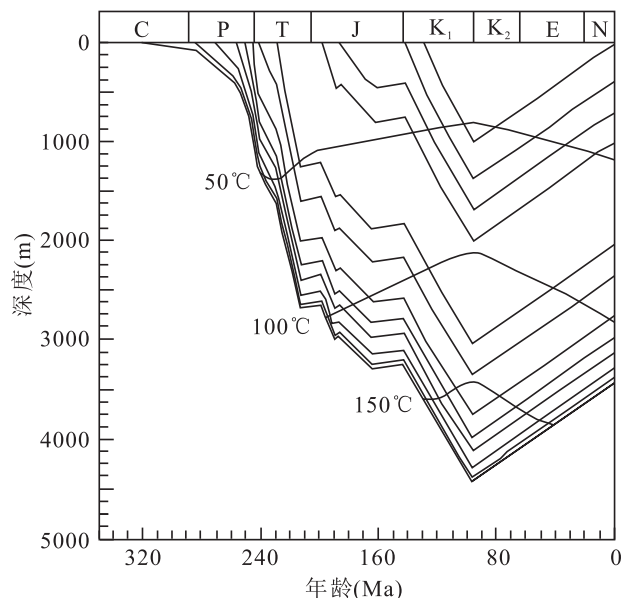
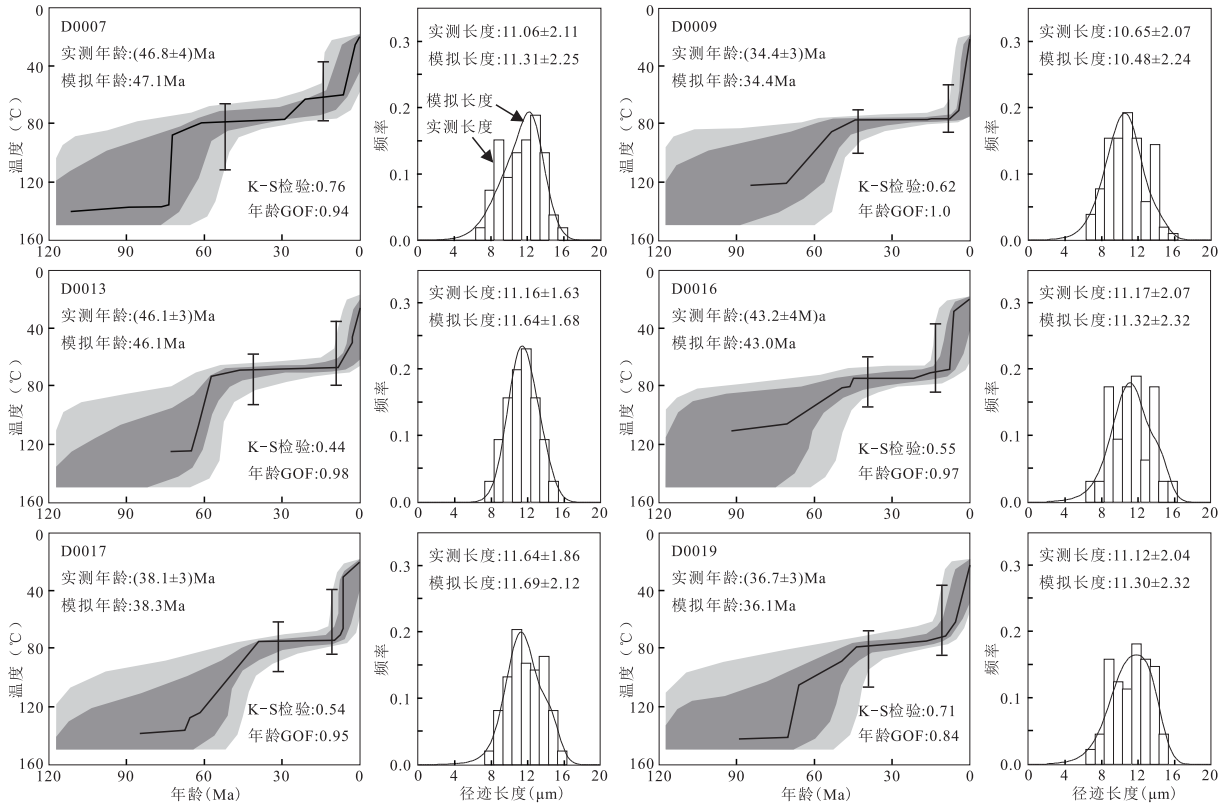


图 5 伊陕斜坡陕参 1 井热演化史图(任战利等, 2007)

Fig. 5 Thermal evolution of Shancan 1 well in Yishan slope(Ren Zhanli, et al. 2007)

从温度演化路径可以看出, 南部地区 2 件样品在 75~70 Ma 开始快速冷却抬升, 60 Ma 进入缓慢抬升阶段, 之后在 8~5 Ma 快速冷却抬升; 北部地区 4 件样品在 70 Ma 时快速冷却抬升, 45 Ma 进入缓慢抬升阶段, 之后同样在 8~5 Ma 时快速冷却抬升。由此可以看出, 研究区整体于晚白垩世末开始冷却抬升, 但南部地区相对于北部地区抬升稍早, 这与之前得出的裂变径迹年龄基本相符, 之后研究区整体进入长时间的缓慢抬升剥蚀阶段, 导致研究区缺失了晚白垩世末期以及古新统的地层记录, 最后经历了中新世末期以来的快速冷却抬升, 说明研究区冷却抬升具有南早北晚, 后期整体抬升的特征。



(图中浅色区域为可接受的拟合路径区域,深色区域为拟合较好的路径区域,黑色实线表示最佳拟合路径)

图 6 鄂尔多斯盆地中西部地区 AFT 热史模拟图

Fig. 6 Thermal history based on AFT inverse modeling in the midwest of Ordos basin

5 讨论

早白垩世末—晚白垩世初,中国东西部发生重大体制转换与叠加,在区域挤压应力作用下,鄂尔多斯盆地及其相邻地区发生了较大规模的区域隆升和构造变形(刘池洋等,2006),晚白垩世—古新世,随着地球动力学环境的转变及古今太平洋构造体制之间的转换(刘池阳,2005),研究区开始抬升并遭受剥蚀。笔者与这一期构造事件有关的磷灰石裂变径迹年龄为 79~65 Ma。万景林等(2005)给出秦岭造山带不同岩浆岩的裂变径迹年龄为 84~66 Ma,这与研究区裂变径迹年龄与热史模拟结果基本一致;表明研究区晚白垩世以来的构造抬升与秦岭造山带后期演化具有一致性;另一方面,鄂尔多斯盆地陇东油田油气大规模聚集成藏时期为 80 Ma(李荣西等,2006),由此表明研究区晚白垩世以来的主要构造事件及适度的抬升强度控制着油气成藏事件的时间,

并表现出构造事件与油气成藏可能具有一定的耦合关系。

进入新生代,其受太平洋板块西北向的俯冲作用及中国东部大规模走滑伸展影响,鄂尔多斯盆地晚白垩世的抬升-剥蚀作用持续进行,表现为多旋回的抬升改造,盆地内部以整体不均匀抬升为主,导致盆地内部普遍缺失古新统记录,盆地周缘发生差异断陷,并形成一系列断陷盆地。例如,宁南盆地、渭河盆地、河套盆地及银川盆地等(赵晓辰等,2016)。这一时期的裂变径迹年龄在盆地各个单元均有分布,赵晓辰等(2016)和张进等(2006)对宁南地区新生代以来构造抬升事件的研究中分别给出 45.4~40.8 Ma 和 40~30 Ma 的年龄;吴中海等(2003)对渭河盆地南缘华山的磷灰石裂变径迹研究中给出 57~42 Ma 的年龄;河套盆地北缘大青山地区的快速隆升事件发生在 50 Ma 左右(吴中海等,2003);银川盆地西缘贺兰山于 50.1~42 Ma 大规模隆升(刘池阳等,2006);这与本次研究区给出的 56~

32 Ma的磷灰石裂变径迹年龄基本一致,共同反应了这期区域重大构造事件。

古近纪末,以挤压应力为主的地球动力学环境使得鄂尔多斯盆地及其邻区普遍抬升,遭受剥蚀,形成了盆地内部及周缘中新统与渐新统之间的区域不整合。研究区在这一时期的磷灰石裂变径迹年龄为25~15 Ma,这与刘池阳等(2006)给出盆地内部的12个磷灰石裂变径迹年龄(24~18.4 Ma)基本一致,这显示了盆地内部各构造单元整体抬升的时间;吴中海等(2003)给出华山5个磷灰石裂变径迹年龄在23.5~20.6 Ma;刘武生等(2008)给出盆地东南缘4个磷灰石裂变径迹年龄为27~14 Ma,这与盆地内部的年龄基本一致,同样揭示了这期快速隆升事件。

中新世晚期,鄂尔多斯盆地构造演化及区域地球动力学环境发生重大转换,青藏高原构造域对盆地及邻区演化和改造的影响变得更为重要,受青藏高原隆升及向外扩展的影响,盆地西缘六盘山地区于8.0 Ma左右发生快速隆升与冷却事件(郑德文等,2005;张培震等,2006);渭河地堑的快速沉降和华山快速抬升同样发生于8.0 Ma左右(刘池阳等,2006;吴中海等,2003);而本次热史模拟曲线中,所有样品的热史模拟曲线在8~5 Ma均有所显示,相比盆地南部及西部地区的抬升年龄稍晚一些,表明青藏高原构造域在中新世晚期开始对鄂尔多斯盆地中西部产生影响,并且表现出南早北晚的现象。

6 结论

(1)利用磷灰石裂变径迹方法研究盆地中西部地区不同区段的构造抬升期次,通过对23件磷灰石样品的裂变径迹年龄分析认为,研究区整体经历了2次构造抬升:晚白垩世末—古新世早期(79~65 Ma)和始新世—中新世早期(56~15 Ma),AFT年龄空间对比图表明研究区南部先于北部地区抬升冷却,后期整体抬升,主要抬升期为古近纪。

(2)裂变径迹热史模拟结果表明,研究区整体于晚白垩世末期(75~70 Ma)开始快速冷却抬升,且南部地区抬升稍早于北部地区,古新世—中新世晚期为缓慢抬升期,中新世末(8~5 Ma)以来抬升速率明显加快。

(3)研究区中新世以来的构造热演化在盆地周缘秦岭造山带、裂陷盆地和青藏高原具有一定的地质响应;晚白垩世以来的抬升可能与秦岭造山带的演化有关;新生代以来的构造抬升与盆地周缘裂陷的演化具有一致性;中新世晚期以来的构造抬升可能与青藏高原的远程效应有关。

参考文献(References):

- 刘池阳,赵红格,桂小军,等.鄂尔多斯盆地演化—改造的时空坐标及其成藏(矿)响应[J].地质学报,2006,80(5):617-638.
- LIU Chiyang,ZHAO Hongge,GUI Xiaojun,et al. Space-time coordinate of the evolution and reformation and mineralization response in Ordos Basin[J]. Acta Geologica Sinica,2006,80(5):617-638.
- 任战利,张盛,高胜利,等.鄂尔多斯盆地热演化程度异常分布区及形成时期探讨[J].地质学报,2006,80(5):674-684.
- REN Zhanli,ZHANG Sheng,GAO Shengli,et al. Research on region of maturation anomaly and formation time in Ordos Basin[J]. Acta Geologica Sinica,2006,80(5):674-684.
- 任战利,张盛,高胜利,等.鄂尔多斯盆地构造热演化史及其成藏成矿意义[J].中国科学:D辑,2007,37(增刊):23-32.
- REN Zhanli,ZHANG Sheng,GAO Shengli,et al. Tectonic thermal history and its significance on the formation of oil and gas accumulation and mineral deposit in Ordos Basin[J]. Science in China; Series D,2007,37(Suppl.):23-32.
- 赵孟为.磷灰石裂变径迹分析在恢复盆地沉降抬升史中的应用——以鄂尔多斯盆地为例[J].地球物理学报,1996,39(增刊):238-248.
- ZHAO Mengwei. The application of apatite fission track analysis to the reconstruction of subsidence and uplift history of sedimentary basins: A case study from the Ordos Basin[J]. Acta Geophysica Sinica,1996,39(Suppl.):238-248.
- 孙少华,李小明,龚革联,等.鄂尔多斯盆地构造热事件研究[J].科学通报,1997,42(3):306-309.
- SUN Shaohua,LI Xiaoming,GONG Gelian,et al. Tectono-thermal events in Ordos Basin, China[J]. Chinese Science Bulletin,1997,42(3):306-309.
- 任战利,崔军平,郭科,等.鄂尔多斯盆地渭北隆起抬升期次

- 及过程的裂变径迹分析[J]. 科学通报, 2015, 60(14): 1298-1309.
- REN Zhanli, CUI Junping, GUO Ke, et al. Fission-track analysis of uplift times and processes of the Weibei Uplift in the Ordos Basin[J]. Chinese Science Bulletin, 2015, 60(14): 1298-1309.
- 祁凯, 任战利, 崔军平, 等. 鄂尔多斯盆地渭北隆起岐山—麟游地区中生代构造热演化及地质响应——来自裂变径迹分析的证据[J]. 地质学报, 2017, 91(1): 151-162.
- QI Kai, REN Zhanli, CUI Junping, et al. The Meso-cenozoic tectonic thermal evolution of the Qishan—Linyou areas in Weibei Uplift of Ordos Basin and its response in geology: evidence from fission-track analysis[J]. Acta Geologica Sinica, 2017, 91(1): 151-162.
- 王建强, 刘池洋, 闫建萍, 等. 鄂尔多斯盆地南部渭北隆起发育时限及其演化[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2010, 46(4): 22-29.
- WANG Jianqiang, LIU Chiyang, YAN Jianping, et al. Development time and evolution characteristics of Weibei Uplift in the south of Ordos Basin[J]. Journal of Lanzhou University(Natural Sciences), 2010, 46(4): 22-29.
- 肖晖, 李建新, 韩伟, 等. 鄂尔多斯盆地南缘渭北隆起中生代构造抬升及演化[J]. 西安科技大学学报, 2013, 33(5): 576-593.
- XIAO Hui, LI JianXing, HAN Wei, et al. The tectonic uplift time and evolution characteristics of Weibei uplift in the south edge of Ordos Basin[J]. Journal of Xi'an Technology University, 2013, 33(5): 576-593.
- 丁超, 陈刚, 郭兰, 等. 鄂尔多斯盆地东北部差异隆升过程裂变径迹分析[J]. 中国地质, 2016, 43(4): 1238-1247.
- DING Chao, CHEN Gang, GUO Lan, et al. Differential uplift on the northeast margin of Ordos Basin: Evidence from apatite fission-track analysis [J]. Geology in China, 2016, 43(4): 1238-1247.
- 黄志刚, 任战利, 高龙刚. 鄂尔多斯盆地东南缘白垩纪以来构造演化的裂变径迹证据[J]. 地球物理学报, 2016, 59(10): 3753-3764.
- HUANG Zhigang, REN Zhanli, GAO Longgang, et al. Fission-track evidence of tectonic evolution since Cretaceous in the southeastern margin of Ordos Basin[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2016, 59(10): 3753-3764.
- 徐小刚, 陈刚, 刘腾, 等. 鄂尔多斯盆地东南缘金锁关地区延长组构造—热演化特征[J]. 地质科技情报, 2017, 36(3): 46-52.
- XU Xiaogang, CHEN Gang, LIU Teng, et al. Tectono-thermal evolution of Yanchang Formation in the Jinsuoguan area of the southeastern Ordos Basin[J]. Geological Science and Technology Information, 2017, 36(3): 46-52.
- 孙建博, 陈刚, 章辉若, 等. 鄂尔多斯盆地中生代构造事件的峰值年龄及其沉积响应[J]. 西北地质, 2006, 36(3): 91-96.
- SUN Jianbo, CHEN Gang, ZHANG Huiruo, et al. Peak ages and sedimentary responses of the Mesozoic-Cenozoic tectonic events in Ordos Basin[J]. Northwestern Geology, 2006, 36(3): 91-96.
- 任战利, 于强, 崔军平, 等. 鄂尔多斯盆地热演化史及其对油气的控制作用[J]. 地学前缘, 2017, 24(3): 137-148.
- REN Zhanli, YU Qiang, CUI Junping, et al. Thermal history and its controls on oil and gas of the Ordos Basin[J]. Earth Science Frontiers, 2017, 24(3): 137-148.
- 王瑜. 构造—热年代学——发展与思考[J]. 地学前缘, 2004, 11(4): 435-443.
- WANG Yu. Some thoughts on tectono-thermochronology [J]. Earth Science Frontiers, 2004, 11(4): 435-443.
- 朱文斌, 张志勇, 舒良树, 等. 塔里木北缘前寒武基底隆升剥露史: 来自磷灰石裂变径迹的证据[J]. 岩石学报, 2007, 23(7): 1671-1682.
- ZHU Wenbin, ZHANG Zhiyong, SHU Liangshu, et al. Uplift and exhumation history of the Precambrian basement, Northern Tarim: Evidence from apatite fission track data [J]. Acta Petrologica Sinica, 2007, 23(7): 1671-1682.
- 许立青, 李三忠, 郭玲莉, 等. 庐断裂带对鲁西隆升过程的影响: 磷灰石裂变径迹证据[J]. 岩石学报, 2016, 32(4): 1153-1170.
- XU Liqing, LI Sanzhong, GUO Lingli, et al. Impaction of the Tan-Lu fault zone on uplift of the Luxi rise: Constraints from apatite fission-track thermochronology [J]. Acta Petrologica Sinica, 2016, 32(4): 1153-1170.
- 陈刚, 王志维, 白国娟, 等. 鄂尔多斯盆地中生代峰值年龄事件及其沉积—构造响应[J]. 中国地质, 2007, 34(3): 375-383.
- CHEN Gang, WANG Zhiwei, BAI Guojuan, et al. Meso-Cenozoic peak-age events and their tectono-sedimentary response in the Ordos Basin[J]. Geology in China, 2007, 34(3): 375-383.
- 周祖翼, Donelick R. 基于磷灰石裂变径迹分析数据的时间—温度历史的多元动力学模拟[J]. 石油实验地质, 2001, 23(1): 97-102.
- ZHOU Zuyi, DONELICK R. Multikinetic modelling for time-temperature history on Apatite fission track data[J]. Petroleum Geology and Experiment, 2001, 23(1): 97-102.

- 刘池洋. 盆地构造动力学研究的弱点、难点及重点[J]. 地学前缘, 2005, 12(3): 113-124.
- LIU Chiyang. The weakness, difficulty and key point in the study of basin tectonic dynamics [J]. Earth Science Frontiers, 2005, 12(3): 113-124.
- 李荣西, 席胜利, 邸领军. 用储层油气包裹体岩相学确定油气成藏期次—以鄂尔多斯盆地陇东油田为例[J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(2): 194-199.
- LI Rongxi, XI Shengli, DI Lingjun. Oil/gas reservoiring phases determined through petrographic analysis of hydrocarbon inclusions in reservoirs: Taking Longdong oil field, Ordos Basin, as an example [J]. Oil & Gas Geology, 2006, 27(2): 194-199.
- 万景林, 王瑜, 李齐, 等. 太白山中生代抬升的裂变径迹年代学研究[J]. 核技术, 2005, 28(9): 712-716.
- WAN Jinglin, WANG Yu, LI Qi, et al. Apatite fission track study of Taibai Mountain uplift in the Mesozoic-Cenozoic [J]. Nuclear Techniques, 2005, 28(9): 712-716.
- 赵晓辰, 刘池洋, 王建强, 等. 南北构造带北部香山地区中-新生代构造抬升事件 [J]. 岩石学报, 2016, 32(7): 2124-2136.
- ZHAO Xiaochen, LIU Chiyang, WANG Jianqiang, et al. Mesozoic-Cenozoic tectonic uplift events of Xiangshan Mountain in northern North-South Tectonic Belt [J]. Acta Petrologica Sinica, 2016, 32(7): 2124-2136.
- 张进, 马宗晋, 任文军, 等. 试论宁夏地区始新统寺口子组沉积的构造背景 [J]. 地质论评, 2006, 52(2): 207-214.
- ZHANG Jin, MA Zongjin, REN Wenjun, et al. Discussion on the tectonic setting of deposition of the Eocene Sikouzi Formation in Ningxia region [J]. Geological Review, 2006, 52(2): 207-214.
- 吴中海, 吴珍汉, 万景林, 等. 等华山新生代隆升—剥蚀历史的裂变径迹热年代学分析 [J]. 地质科技情报, 2003, 22(3): 27-32.
- WU Zhonghai, WU Zhenhan, WAN Jinglin, et al. Cenozoic uplift and denudation history of Huashan Mountains; evidence from fission track thermochronology of Huashan granite [J]. Geological Science and Technology Information, 2003, 22(3): 27-32.
- 吴中海, 吴珍汉. 大青山晚白垩世以来的隆升历史 [J]. 地球学报, 2003, 24(3): 205-210.
- WU Zhonghai, WU Zhenhan. Uplift history of the Daqing Mountain since the late Cretaceous [J]. Acta Geoscientia Sinica, 2003, 24(3): 205-210.
- 刘武生, 秦明宽, 漆富成, 等. 运用磷灰石裂变径迹分析鄂尔多斯盆地周缘中生代沉降隆升史 [J]. 铀矿地质, 2008, 24(4): 221-232.
- LIU Wusheng, QIN Mingkuan, QI Fucheng, et al. Analysis on the Meso-Neozoic subsidence and uplift history of the periphery of Ordos Basin using apatite fission track [J]. Uranium Geology, 2008, 24(4): 221-232.
- 郑德文, 张培震, 万景林, 等. 六盘山盆地热历史的裂变径迹证据 [J]. 地球物理学报, 2005, 48(1): 157-164.
- ZHENG Dewen, ZHANG Peizhen, WAN Jinglin, et al. Apatite fission track evidence for the thermal history of the Liupanshan basin [J]. Chinese Journal of Geophysics, 2005, 48(1): 157-164.
- 张培震, 郑德文, 尹功明, 等. 有关青藏高原东北缘晚新生代扩展与隆升的讨论 [J]. 第四纪研究, 2006, 26(1): 5-13.
- ZHANG Peizhen, ZHENG Dewen, YIN Gongming, et al. Discussion on Late Cenozoic growth and rise of northeastern margin of the Tibetan plateau [J]. Quaternary Sciences, 2006, 26(1): 5-13.
- GLEADOW A J W, DUDDY I R, GREEN P F, et al. Fission track lengths in the apatite annealing zone and the interpretation of mixed ages [J]. Earth and Planetary Science Letters, 1986, 78(2/3): 245-254.
- KETCHAM R A, DONELICK R A, BALESTRIERI M L, et al. Reproducibility of apatite fission-track length data and thermal history reconstruction [J]. Earth and Planetary Science Letters, 2009, 284(3/4): 504-515.