

# 鄂尔多斯盆地中新世峰值年龄事件 及其沉积-构造响应

陈 刚 王志维 白国绢 孙建博 章辉若 李向东

(大陆动力学国家重点实验室(西北大学),西北大学地质学系,陕西 西安 710069)

**提要:**通过锆石-磷灰石裂变径迹年龄分布及其与粗碎屑沉积建造和地层不整合关系的综合分析,提供了鄂尔多斯盆地中新世构造事件的年代学约束及其沉积响应特点。印支期构造事件主要发生在 230~190 Ma,包含 215 Ma 和 195 Ma 两个峰值年龄,在盆地西南缘发育晚三叠世粗碎屑类磨拉石建造及其与上覆地层的平行不整合。燕山期构造事件主要发生在燕山中晚期的 150~85 Ma,包含 145 Ma、120 Ma 和 95 Ma 等 3 个峰值年龄,在盆地西南缘发育燕山中期的晚侏罗世和早白垩世的粗碎屑类磨拉石建造及其地层间的角度不整合。喜山期构造事件主要表现为盆地区域的多旋回构造隆升,至少包含 55 Ma、25 Ma 和 5 Ma 等 3 个幕次的峰值年龄事件。其中,锆石和磷灰石叠合分布的峰值年龄(145 Ma)和其相关的角度不整合、逆冲推覆和区域岩浆活动等,共同指示了鄂尔多斯盆地中新世的一次关键构造变革事件。

**关键词:**鄂尔多斯盆地;中新世;裂变径迹(FT)年龄;不整合;构造事件

**中图分类号:**P541 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2007)03-0375-09

鄂尔多斯盆地位于华北克拉通的中西部,是一个发育在古生代华北克拉通海相-滨浅海相盆地基础上的中生代内陆河湖相沉积盆地<sup>[1-3]</sup>,它的形成演化和多种能源矿产的共存富集与中国大陆中部尤其是盆地西南缘祁连-秦岭造山带的新生代大陆动力学演化具有明显的关联性<sup>[1-3]</sup>。长期以来,有关鄂尔多斯盆地构造变形及其演化的地质学研究已经取得了不少重要成果。近年来,构造事件对盆地构造演化及其成矿作用的重要性受到越来越多的重视<sup>[3-7]</sup>,如何将构造地质定性认识与构造年代学定量研究相结合,进一步分析厘定鄂尔多斯盆地的构造演化、构造变革事件及其沉积构造响应与多种能源矿产共存富集的关系,正在成为人们关注的热点问题。笔者以鄂尔多斯盆地西南缘最新测试获得的裂变径迹(FT)年龄数据为基础,结合系统收集的有关盆地的大量 FT 年龄数据,以及盆地西南部中生代的粗碎屑沉积建造和地层不整合关系,分析探讨了鄂尔多斯盆地中新世构造事件的峰值年龄分布序列及其沉积构造响应特点,以期为盆地构造演化及其与多种矿产耦合成矿关系研究提供重要基础信息。

## 1 区域构造动力学背景

鄂尔多斯盆地四周被不同地质历史时期形成的不同类型和规模的陆内造山带所环绕,东起吕梁山、西抵桌子山—贺兰山—六盘山近南北一线,北达阴山南麓,南隔渭河地堑与秦岭造山带为邻,面积约  $25 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。盆地的形成演化经历了早古生代华北陆表海、晚古生代华北滨浅海、中生代内陆湖盆和新生代周缘断陷等多旋回演化阶段,但盆地地下伏的前中生代沉积层序主体属于板块构造体制下华北克拉通盆地的重要组成部分,它真正作为独立沉积盆地的形成演化及其多种能源矿产的共存富集和最终定位,则主要发生在中新世的大陆动力学演化阶段,并经历了新生代以来的多旋回改造过程。

印支期,受古特提斯洋闭合和秦祁碰撞造山过程的联合影响,鄂尔多斯盆地总体处于南北挤压的构造应力场环境<sup>[8-9]</sup>。燕山期,古太平洋板块开始向新生的亚洲大陆下斜向俯冲,包括鄂尔多斯盆地在内的中国大陆中东部地区总体处于 NW-NE 向的左旋挤压构造应力场环境<sup>[1, 8-9]</sup>,鄂尔多斯盆地

收稿日期:2007-04-03;改稿日期:2007-05-04

基金项目:国家重点基础研究发展计划(973)项目(2003CB214607)、教育部长江学者和创新团队发展计划项目(IR T0559)资助。

作者简介:陈刚,男,1965年生,博士,教授,博士生导师,主要从事盆地构造与油气地质学研究;E-mail:chengang@nwu.edu.cn。

及其相邻区域的构造体制发生了重大变革,盆地东部显著向西抬升、盆地西南缘发生了强烈的陆内变形和多期次逆冲推覆,形成西部拗陷、东部斜坡的盆地构造格局。喜山期,受控于新特提斯洋的最终闭合及其随后的陆内俯冲、青藏高原隆升,以及太平洋板块向西的俯冲消减,包括鄂尔多斯盆地在内的中国中东部处于 NW-NE 向右旋拉张的构造应力场环境<sup>[1,8-9]</sup>,鄂尔多斯盆地发生整体抬升改造,周缘发育一系列环绕盆地的新生代断陷。

## 2 构造事件的裂变径迹(FT)年龄分析

### 2.1 基本原理方法

锆石和磷灰石等的裂变径迹(FT)分析是沉积盆地构造热年代学研究的一种重要方法。锆石和磷灰石矿物在高于其封闭温度的构造温热事件作用下,具有径迹密度减少、长度缩短直至完全消失的退火特性,热事件之后的抬升冷却可以在低于封闭温度条件下形成新的径迹<sup>[10-15]</sup>。不同矿物具有不同的封闭温度,锆石和磷灰石的径迹封闭温度一般分布在  $200\pm 50^{\circ}\text{C}$  和  $100\pm 25^{\circ}\text{C}$ ;当地质体冷却到矿物的封闭温度时,矿物的放射性时钟开始计时。因此,锆石和磷灰石的 FT 峰值年龄,可以提供采样层系或岩体经历构造热事件或随后抬升冷却的年代学约束<sup>[16-20]</sup>,同时还有可能通过不同层系样品裂变径迹年龄的统计给出研究地区经历不同构造事件的时间序次。

因此,对于经历了高温埋藏、后又抬升冷却的沉积盆地,沉积岩样品的锆石和磷灰石 FT 中值年龄(Central age),如果

已经小于地层年龄,即表示它曾遭受过高温退火和退火之后的抬升冷却,至少可以提供样品经历抬升冷却事件的下限年龄约束;如果它不仅小于地层年龄且通过了  $P(x^2)$  概率检验,则可将视为冷却年龄,并可较好地提供样品经历抬升冷却事件的确切时限。因此,从裂变径迹年龄的统计学意义考虑,通过对大量小于地层年龄的磷灰石和锆石 FT 年龄的统计分布及其峰值年龄序列的综合分析,能够有效地提供盆地构造演化阶段及其重要构造事件的定量年代学信息。

### 2.2 盆地西南缘 FT 年龄的构造事件记录

对鄂尔多斯盆地西南缘 3 个露头区段的上古生界和中生界不同层系采集了 10 块砂岩样品,在中国科学院高能物理研究所进行了 10 个磷灰石样品和 5 个锆石样品的裂变径迹测试分析(表 1)。每个样品分离出足够的磷灰石和锆石单矿物,分别制成环氧树脂和聚全氟乙丙烯塑料光薄片。磷灰石在  $25^{\circ}\text{C}$  的  $6.6\% \text{HNO}_3$  溶液中蚀刻 30s,锆石在  $220^{\circ}\text{C}$  的  $8\text{g NaOH}+11.5\text{g KOH}$  溶液中蚀刻 30h,分别揭示其自发径迹;然后将低铀白云母分别贴在磷灰石和锆石光薄片上,将低铀白云母外探测器与矿物一并置入反应堆辐照,揭示其诱发裂变径迹密度分别为  $72.92\times 10^5$  和  $10.34\times 10^5$ ,中子注量利用 CN-5 铀玻璃标定,根据 IUGS 推荐的 Zeta 常数法计算年龄值,磷灰石和锆石的 Zeta 常数分别为  $359.2\pm 10.8$  和  $127.1\pm 6.4$ 。

从表 1 给出的样品层位与 FT 中值年龄及其  $P(x^2)$  检验概率的关系可以看出,其 FT 中值年龄的事件年代学含义应该包括 3 种类型。一是样品的 FT 中值年龄明显小于地层年龄且  $P(x^2)>5\%$ ,具有较低封闭温度的磷灰石样品的 FT 中值

表 1 鄂尔多斯盆地西南缘磷灰石和锆石 FT 测试分析数据

Table 1 Apatite and zircon fission-track data on the southwestern margin of the Ordos basin

地区	样品	层位	矿物	$n$	$N_s$	$\rho_s/10^5\text{cm}^{-2}$	$N_i$	$\rho_i/10^5\text{cm}^{-2}$	$P(x^2)/\%$	中值年龄( $\pm 1\sigma$ )/Ma	$L\pm\sigma/\mu\text{m}/(N)$	采样点位置	GPS 坐标
香山	Xs-1a	C	磷灰石	21	168	2.662	3588	56.854	94.2	$65\pm 6$	$13.2\pm 1.7/(99)$	$37^{\circ} 05' 22'' \text{N}$	$105^{\circ} 15' 01'' \text{E}$
	Xs-1b	C	锆石	23	3580	125.152	1107	38.699	0	$194\pm 18$		$37^{\circ} 05' 22'' \text{N}$	$105^{\circ} 15' 01'' \text{E}$
卫宁北山	Bs-1a	C	磷灰石	19	309	5.644	5757	105.145	81.4	$65\pm 4$	$12.9\pm 1.4/(93)$	$37^{\circ} 30' 57'' \text{N}$	$105^{\circ} 33' 23'' \text{E}$
	Bs-1b	C	锆石	18	3959	138.878	1220	42.797	0	$206\pm 16$		$37^{\circ} 30' 57'' \text{N}$	$105^{\circ} 33' 23'' \text{E}$
崆峒山	Kt-1	K <sub>1</sub>	磷灰石	22	194	2.145	3046	33.681	0.5	$81\pm 9$	$11.9\pm 1.8/(113)$	$35^{\circ} 34' 47'' \text{N}$	$106^{\circ} 26' 54'' \text{E}$
	Kt-2	K <sub>1</sub>	磷灰石	21	388	3.987	5509	56.609	0	$89\pm 11$	$12.6\pm 1.8/(111)$	$35^{\circ} 34' 10'' \text{N}$	$106^{\circ} 29' 51'' \text{E}$
	Kt-3a	T <sub>3</sub>	磷灰石	21	261	2.576	1602	15.811	7.6	$55\pm 5$	$11.7\pm 2.2/(69)$	$35^{\circ} 32' 46'' \text{N}$	$106^{\circ} 32' 27'' \text{E}$
	Kt-3b	T <sub>3</sub>	锆石	20	5237	161.932	1079	33.364	0	$304\pm 32$		$35^{\circ} 32' 46'' \text{N}$	$106^{\circ} 32' 27'' \text{E}$
策底安口	Cd-1	K <sub>1</sub>	磷灰石	16	357	3.492	7855	76.835	10.7	$59\pm 5$	$13.1\pm 2.5/(114)$	$35^{\circ} 20' 51'' \text{N}$	$106^{\circ} 28' 18'' \text{E}$
	Cd-2a	T <sub>3</sub>	磷灰石	14	73	1.084	1196	17.762	67.6	$86\pm 11$	$12.8\pm 1.8/(114)$	$35^{\circ} 19' 34'' \text{N}$	$106^{\circ} 35' 01'' \text{E}$
	Cd-2b	T <sub>3</sub>	锆石	19	4265	121.875	679	19.403	0	$385\pm 44$		$35^{\circ} 19' 34'' \text{N}$	$106^{\circ} 35' 01'' \text{E}$
	Ak-1	J <sub>2</sub>	磷灰石	14	369	4.55	4485	55.304	17.0	$115\pm 9$	$12.8\pm 1.2/(104)$	$35^{\circ} 13' 11'' \text{N}$	$106^{\circ} 47' 13'' \text{E}$
渭北口镇	Kz-1	T <sub>2</sub>	磷灰石	15	120	1.023	2245	19.144	83.8	$63\pm 6$	$12.2\pm 1.8/(110)$	$34^{\circ} 44' 40'' \text{N}$	$108^{\circ} 41' 09'' \text{E}$
	Kz-2a	P <sub>3</sub>	磷灰石	17	74	1.246	3520	25.916	15.1	$59\pm 6$	$12.7\pm 1.9/(90)$	$34^{\circ} 44' 39'' \text{N}$	$108^{\circ} 41' 10'' \text{E}$
	Kz-2b	P <sub>3</sub>	锆石	19	4799	121.745	1326	33.639	0	$213\pm 32$		$34^{\circ} 44' 39'' \text{N}$	$108^{\circ} 41' 10'' \text{E}$

注:地层年龄来自 International Stratigraphic Chart (F M Gradstein 等编,2004); $n$ =颗粒数, $N_s$ =自发 FT 条数, $\rho_s$ =自发 FT 密度, $N_i$ =诱发 FT 条数, $\rho_i$ =诱发 FT 密度, $P(x^2)\%$ =检验概率,年龄 $\pm\sigma$ =FT 年龄 $\pm$ 标准差, $L\pm\sigma$ =平均 FT 长度 $\pm$ 标准差, $N$ =封闭 FT 条数。

年龄均属于这种类型,可以指示样品所经历构造抬升冷却事件的真实年龄。二是样品的 FT 中值年龄已经小于地层年龄但  $P(x^2) < 5\%$  或  $P(x^2) = 0$ , 具有较高封闭温度的锆石样品大部分属于这种类型, 锆石 FT 中值年龄应视为混合年龄, 其中已经包含了样品经历部分退火带反弹抬升至冷却带的事件年代学信息, 一定程度上可以提供样品所经历抬升冷却事件的下限年龄约束。三是样品的 FT 中值年龄明显大于地层年龄且  $P(x^2) = 0$ , 如 kt-3 和 cd-2b 等锆石样品, 这种类型的锆石 FT 中值年龄主要代表物源碎屑中残存径迹年龄记录, 不能用来代表沉积期后真实的构造抬升事件年龄。

由此可以认为:(1)位于走廊—六盘山弧形构造带外侧弧顶区段的香山和卫宁北山, 石炭系砂岩 FT 年龄记录了两组事件年龄, 一是锆石 FT 中值年龄限定的印支期构造事件的年龄下限为 206~194 Ma, 二是磷灰石 FT 中值年龄提供的 65 Ma 的峰值年龄事件记录。这一测试结果表明, 现今被新生代中卫断陷盆地分隔的香山和卫宁北山, 在中生代时期应该是经历过相似构造抬升历史的统一构造单元。(2)位于走廊—六盘山弧形构造带内侧构造走向转折突变区段的崆峒山—安口—策底区段, 锆石 FT 中值年龄均属于物源碎屑的事件年龄记录; 磷灰石 FT 中值年龄记录了两组事件年龄记录, 燕山中晚期至少经历了两个幕次的构造抬升事件, 分别发生在 115 Ma 和 81~89 Ma, 喜山期构造抬升事件主要发生在 63~59 Ma。(3)位于盆地南缘渭北隆起带东段的口镇区段, 二叠系样品的锆石 FT 中值年龄显然属于已经小于地层年龄的混合年龄, 一定程度上限定了印支期构造事件的年龄下限接近 213 Ma; 二叠系和三叠系的锆石和磷灰石样品较为一致地给出了 (59±6) Ma 和 (63±6) Ma 的 FT 中值年龄, 表明该区喜山期的构造抬升事件主要发生在 63~59 Ma。

### 2.3 盆地区域 FT 峰值年龄分布与构造事件序列

从裂变径迹(FT)年龄的统计学意义考虑, 在上述最新测得的 FT 年龄测试数据的基础上, 进一步系统收集了近年来的有关盆地内部和其周缘地区的锆石和磷灰石 FT 年龄数据<sup>[2,10,27-31]</sup>, 从中筛选获得小于地层年龄并具有指示抬升冷却事件意义的 131 个 FT 年龄数据。根据矿物封闭温度理论和 FT 年龄的统计学内涵, 对这 131 个 FT 年龄数据进行了计算机处理和统计分布研究, 系统给出鄂尔多斯盆地锆石和磷灰石 FT 峰值年龄的统计分布特征及其与区域地层不整合事件的对比关系(图 1)。结果表明, 具有较高封闭温度的锆石 FT 年龄主要分布在 230~190 Ma, 其中包含 215 Ma 和 195 Ma 两个峰值年龄, 分别指示了印支中晚期的两次主要构造事件。锆石和磷灰石的 FT 年龄重叠分布在 150~95 Ma, 且两种矿物 FT 年龄统计分布的叠合峰值年龄为 145 Ma, 有可能代表了燕山中期具有显著构造热背景的一次关键构造变革事件; 同时, 从封闭温度相对较低的磷灰石 FT 年龄分布中还可得到 120 Ma 和 95 Ma 的 2 个峰值年龄, 显示了研究区燕山中晚期的多旋回构造抬升过程。此外, 磷灰石 FT 年龄统计分布记录了与 3 个年轻年龄组对应的新生代峰值年龄, 分别为

55 Ma、25 Ma 和 5 Ma, 它们显然代表了发生在喜山期的 3 次重要构造事件。

对鄂尔多斯盆地及邻区中生代地层接触关系及其沉积建造类型的对比分析结果表明, 中生代盆地的构造演化及其峰值年龄事件与地层“不整合”事件存在显著的可比关系(图 1)。其中, 中三叠统纸坊组与上三叠统延长组之间多表现为平行不整合或低角度不整合接触关系, 区域性不整合界面的时限大致与上述 215 Ma 的峰值年龄事件相对应。上三叠统延长组与下侏罗统之间呈现为平行不整合或低角度不整合接触关系, 不整合界面的时限大致与上述 195 Ma 的峰值年龄事件相对应。中下侏罗系内部层段主要表现为平行不整合或整合的地层接触关系; 但中侏罗统与上侏罗统或下白垩统之间则发育区域性的角度不整合关系, 不整合界面与燕山中期关键构造变革事件对应的 145 Ma 峰值年龄相吻合。盆地及其邻区新近系、古近系和下白垩统之间存在的多个区域性平行不整合或低角度不整合关系, 实际上分别代表了燕山晚期—喜山期以构造掀斜—隆升为主体的多旋回构造事件记录。这些地层不整合关系从一侧面印证并反映了鄂尔多斯盆地中生代峰值年龄事件的沉积-构造响应。

## 3 峰值年龄事件的沉积-构造响应

鄂尔多斯盆地西南缘位于鄂尔多斯稳定地块与祁连—秦岭造山带之间的接合部位(图 2), 主要包括马家滩—平凉—陇县区段的盆地西缘构造带(I<sub>1</sub>)和渭北隆起区段的盆地南缘构造带(I<sub>2</sub>), 并以青铜峡—固原断裂与其西侧的走廊—六盘山弧形构造带(II)紧密相连, 区域上构成了盆地西南缘的“反 S 型”构造体系。这里的沉积建造和构造变形特点较好地残存并记录着盆地及其相邻造山带中生代构造事件的相关信息。

### 3.1 中生代早期构造事件的沉积-构造响应

区域上, 秦岭—祁连古洋盆最终闭合的强烈碰撞造山作用主要发生在印支期, 碰撞山体的持续挤压隆升可延续至早燕山期<sup>[8-9,31-33]</sup>, 这是研究区及其更大范围由古生代板块构造环境转向中生代陆内变形体制的一次重大构造变革事件。华北区域三叠纪大型内陆挤压拗陷盆地开始自东向西退缩, 鄂尔多斯盆地及其以东的较大范围普遍发育内陆河湖相碎屑岩沉积; 位于造山带北麓弧形构造转折部位的鄂尔多斯盆地西南缘, 开始发育以造山带前缘弧形冲断隆起为特征的反 S 型构造体系。这次构造事件在盆地西南缘的锆石 FT 年龄记录, 主要分布在 225~180 Ma, 且至少包含了 215 Ma 和 195 Ma 两个幕次的峰值年龄事件(图 1)。在此背景下, 反 S 型构造体系内侧的铁匠山和策底—崆峒山—口镇地区, 上三叠统与下侏罗统之间呈明显的角度不整合或平行不整合关系, 并在构造走向转折突变的策底—崆峒山地区发育上三叠统粗碎屑类磨拉石沉积(图 1~2)。反 S 型构造体系外侧的香山—卫宁北山—石沟驿地区, 同样存在上三叠统与下侏罗统之间的平行不整合关系, 但石沟驿剖面可以见到的上三叠统扇三

角洲粗碎屑沉积,不过其厚度和粒度都明显小于策底—崆峒山地区,暗示石沟驿之西可能存在一个范围有限、幅度较低的晚印支期隆起。夹持于反S型构造体系内、外两侧隆起之间的六盘山地区则发育与鄂尔多斯盆地相当可比的晚三叠世内陆河湖相含煤碎屑岩沉积,暗示香山—卫宁北山—石沟驿低幅度隆起的范围相对局限,石沟驿以南至固原炭山这一时期可能并不存在以往认识上的近南北向隆起带。

### 3.2 中生代中晚期构造事件的沉积-构造响应

燕山早期,受华东北部走滑挤压隆升的影响,早中侏罗世沉积范围自东向西退缩至太行山以西;但鄂尔多斯及其相邻的六盘山地区总体上仍呈现为较大区域的弱伸展内陆拗陷环境,广泛发育区域可比的内陆河湖相含煤碎屑岩沉积。燕山中期,秦—祁造山带进入强烈的多旋回陆内造山过程<sup>[31-35]</sup>,晚侏罗世—早白垩世沉积范围已退缩至吕梁山以西的鄂尔多斯

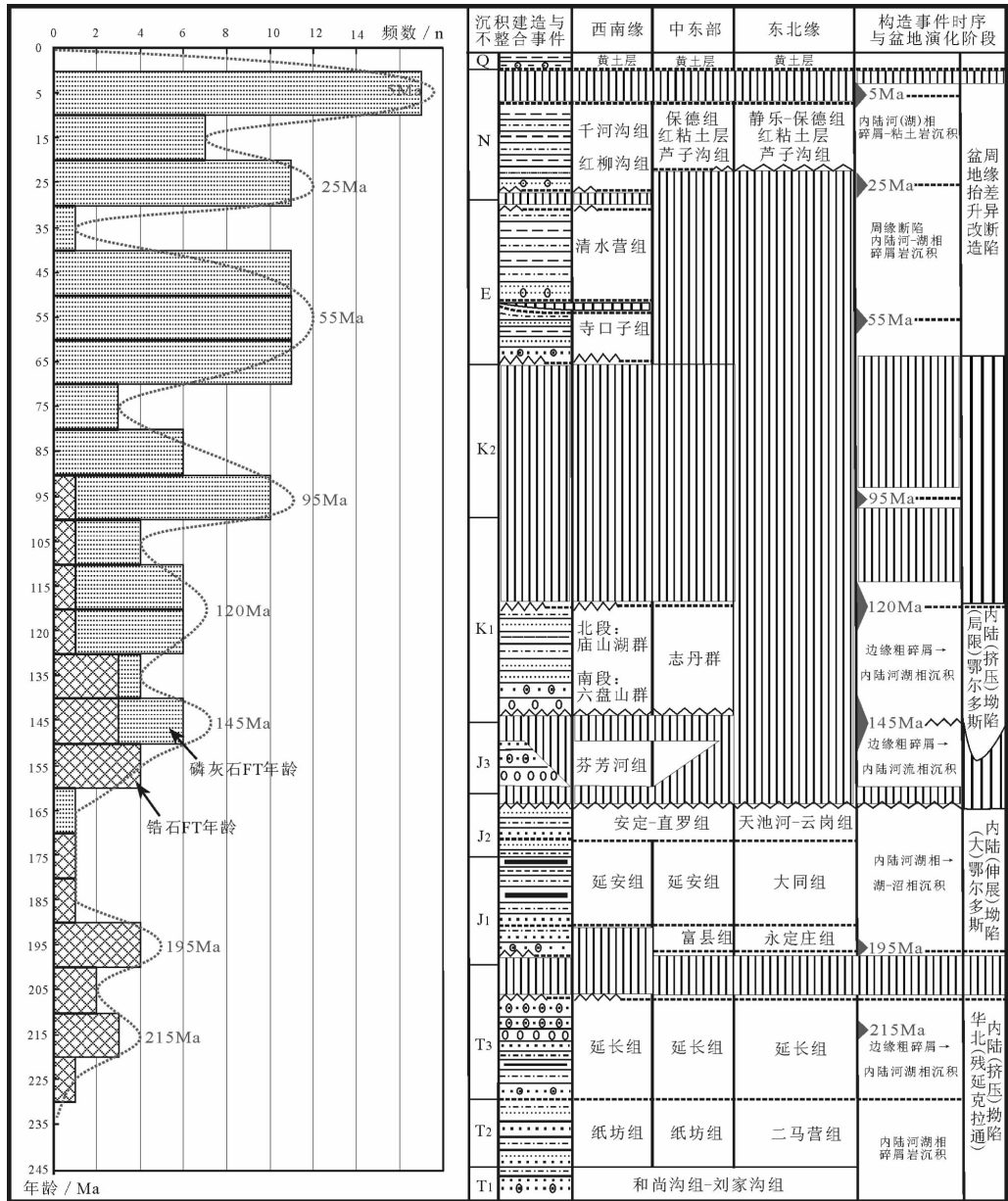


图1 鄂尔多斯盆地 FT 峰值年龄分布特征与中生代构造事件的对比关系

Q—第四系;N—新近系;E—古近系;K<sub>2</sub>—上白垩统;K<sub>1</sub>—下白垩统;J<sub>3</sub>—上侏罗统;J<sub>2</sub>—中侏罗统;J<sub>1</sub>—下侏罗统;  
T<sub>3</sub>—上三叠统;T<sub>2</sub>—中三叠统;T<sub>1</sub>—下三叠统

Fig.1 Fission-track peak age distribution and its relation to the Meso-Cenozoic tectonic event in the Ordos basin  
Q—Quaternary;N—Neogene;E—Paleogene;K<sub>2</sub>—Upper Cretaceous;K<sub>1</sub>—Lower Cretaceous;J<sub>3</sub>—Upper Jurassic;J<sub>2</sub>—Middle Jurassic;  
J<sub>1</sub>—Lower Jurassic;T<sub>3</sub>—Upper Triassic;T<sub>2</sub>—Middle Triassic;T<sub>1</sub>—Lower Triassic

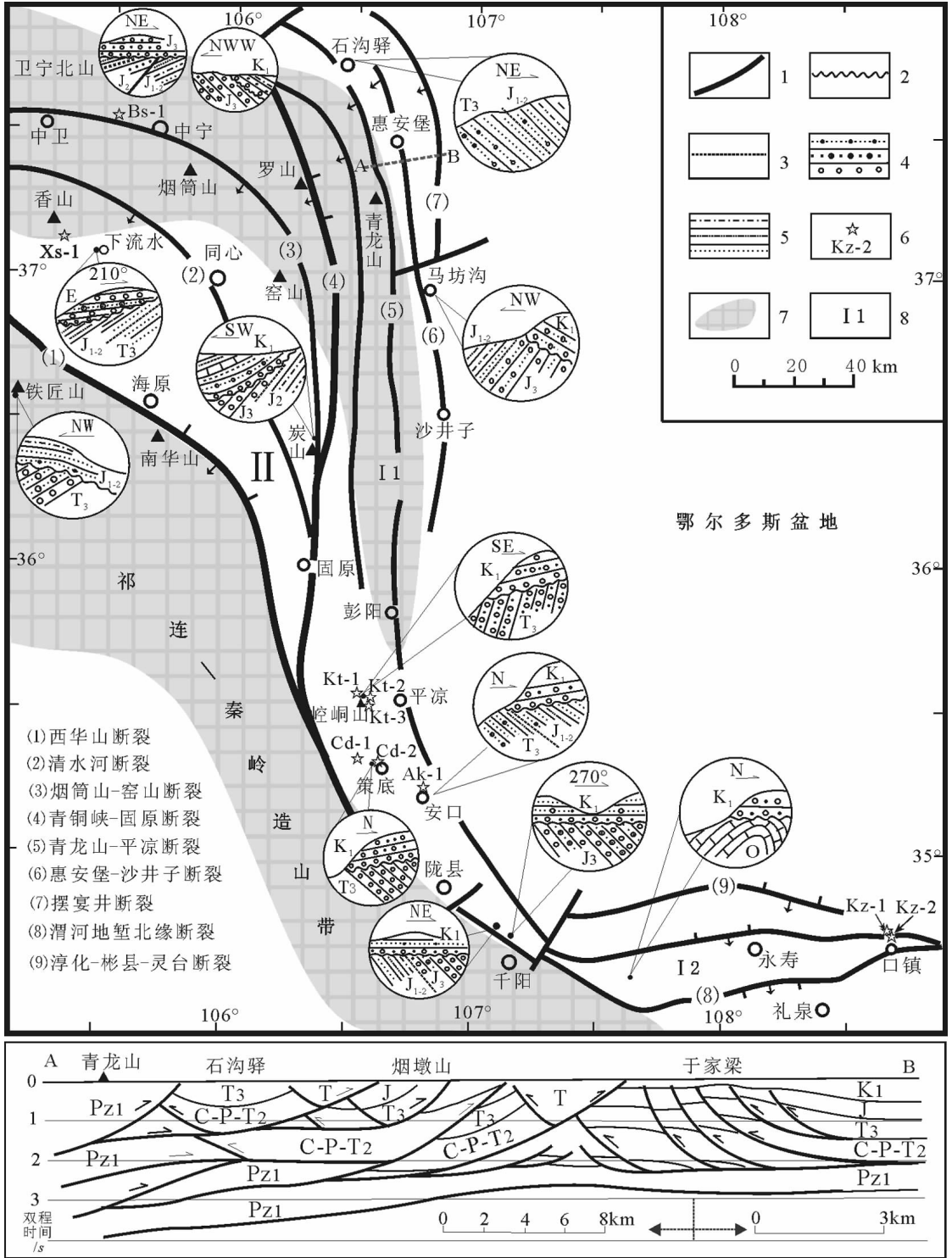


图 2 鄂尔多斯盆地西南缘构造特征、粗碎屑沉积与地层不整合事件

1—断裂;2—角度不整合;3—平行不整合;4—砂(砾)岩;5—泥质砂岩;6—样品点位置及编号;7—(古)隆起:秦—祁造山带隆起和卫宁北山—彭阳弧形古隆起;8—构造单元分区: I<sub>1</sub>—盆地西缘构造带; I<sub>2</sub>—盆地南缘构造带; II—六盘山弧形构造带

Fig.2 Tectonic characteristics, coarse clastic sediments and unconformity on the southwestern margin of the Ordos basin  
1—Fault;2—Angular unconformity;3—Disconformity;4—Sandstone and conglomerate;5—Argillaceous sandstone;6—Sampling site and number;7—Paleouplift: Qilian-Qinling orogen uplift and Weiningbeishan-Pengyang arcuate uplift;8—Tectonic units; I<sub>1</sub>—Western-margin tectonic belt; I<sub>2</sub>—South-margin tectonic belt; II—Liupanshan arcuate tectonic belt

盆地,位于造山带北麓的盆地西南缘反 S 型构造体系发生了以逆冲推覆为主要表现形式的陆内变形。相关区域资料表明,晚侏罗世,卫宁北山—香山—六盘山地区形成了统一的弧形构造隆起区,不仅中下侏罗统遭受剥蚀和上侏罗统普遍缺失,而且在盆地西南缘发育复杂的逆冲推覆变形及其前缘以上侏罗统芬芳河组为代表的活动型粗碎屑沉积(图 1~2),盆地东部则随之发生向西的掀斜隆升和剥蚀;早白垩世,反 S 型构造体系内、外两侧古隆起带再次突现,并呈现为前缘冲断隆升、后缘伸展断陷的沉积构造面貌,反 S 型构造体系内、外两侧古隆起之间的六盘山地区发育六盘山群内陆河湖相断陷沉积,向北超覆于香山—卫宁北山至窑山—炭山的弧形冲断隆起带之上,并在其前缘的鄂尔多斯盆地西部坳陷带发育志丹群粗碎屑沉积;盆地东部斜坡进一步继承发展,盆地东缘晋西挠褶带至离石断裂带发生强烈的走滑挤压变形,并发育以紫金山大型碱性杂岩体为标示的强烈岩浆活动。因此,燕山中期的构造事件突出表现为盆地西南缘先期的逆冲推覆、随后的冲断隆升和区域构造热液活动,前述锆石和磷灰石 FT 年龄统计分析共同给出的 145 Ma 峰值年龄显然与晚侏罗世强烈的逆冲推覆和区域岩浆活动事件密切相关,磷灰石 FT 年龄给出的 120 Ma 的峰值年龄则应该代表了早白垩世晚期差异冲断隆升的构造事件记录。

晚白垩世,是中国东西部重大构造体制转换的重要时期<sup>[4-6,30-35]</sup>。鄂尔多斯盆地及其西南缘相邻的区域范围,普遍缺失这一时期的沉积地层记录,下白垩统及其下伏地层遭受不同程度的隆升和剥蚀,中生代鄂尔多斯盆地消亡并全面进入后期改造过程。从盆地西南缘普遍发育下白垩统的高角度冲断及其相关的宽缓褶皱变形,以及下白垩统与古近系之间的微角度不整合关系分析,研究区晚白垩世的构造作用主要表现为整体隆升—剥蚀,兼有不同程度的挤压冲断。前述磷灰石 FT 年龄统计分析结果表明,早白垩世构造抬升的峰值年龄事件主要发生在 95 Ma。

### 3.3 新生代构造事件的沉积—构造响应

鄂尔多斯盆地晚白垩世的隆升—剥蚀作用在进入新生代之后并没有结束。受中国东部大规模走滑伸展、西部喜马拉雅碰撞造山和青藏高原隆升的影响,鄂尔多斯盆地主要表现为多旋回的抬升改造,并在盆地周缘发生差异断陷<sup>[8-9,31-35]</sup>。盆地主体部分普遍缺失古近纪沉积,仅在其中东部地区发育新近纪 3~8 Ma 的红粘土沉积,以及盆地第四纪 1.7 Ma 以来的黄土层。因此,晚白垩世的盆地构造隆升至少延续至新近纪红粘土沉积之前,前述磷灰石 FT 统计分析给出的 55 Ma 和 25 Ma 的峰值年龄进一步表明,这一较长时期的构造隆升作用并非一个连续过程,至少包含了新生代古近纪时期的两次显著的峰值年龄事件;新近纪红粘土沉积之后的再次隆升事件与磷灰石 FT 统计分析给出的 5 Ma 峰值年龄基本

一致,并有可能在一定程度上反映了青藏高原隆升在鄂尔多斯地区产生的远程效应。

## 4 认识和结论

综合上述锆石—磷灰石 FT 年龄统计分布及其与粗碎屑沉积建造和地层不整合关系的相关分析认为,盆地演化过程的重要构造事件不仅在地表浅层或宏观上突出地表现为沉积、构造形迹的异常突变,同时必然引发不同尺度的构造热液活动和不同类型矿物封闭温度时钟的启动及其同位素年龄记录的异常集中,呈现出构造事件与峰值年龄事件相伴出现的特点,共同指示了鄂尔多斯盆地中生代构造演化的峰值年龄事件与多幕次构造事件的耦合关系。

(1)中生代早期构造事件主要发生在晚三叠世的 225~180 Ma,且至少包含 215 Ma 和 195 Ma 两个幕次的峰值年龄事件,主要以盆地区域地层间平行不整合关系为标示的构造隆升和盆地西南缘粗碎屑类磨拉石沉积为其重要的地质响应,反映了秦—祁造山带印支期碰撞造山过程在鄂尔多斯盆地产生的构造效应。

(2)中生代中期至少包含两个幕次的构造事件,一次主要发生在晚侏罗世末的 145 Ma,二次主要发生在早白垩世晚期的 120 Ma,尤其是最为显著的 145 Ma 左右峰值年龄事件,主要以地层间角度不整合关系为标示的盆地西南缘逆冲推覆及其推覆带前缘活动型粗碎屑类磨拉石沉积和盆地东部掀斜、深部岩浆活动为其重要的地质响应,不仅指示了鄂尔多斯盆地中生代的一次关键构造变革事件,同时反映了秦—祁造山带燕山中期强烈陆内造山过程和华北东部岩石圈减薄在鄂尔多斯盆地产生的联合效应。

(3)中生代晚期以来的构造事件,主体表现为区域性的整体隆升—剥蚀和多幕次的构造抬升特点,其中至少包含 95 Ma、55 Ma、25 Ma 和 5 Ma 的 4 个主要幕次的峰值年龄事件,综合体现了中国东、西部重大构造体制转换与叠加复合过程在鄂尔多斯盆地产生的复杂构造效应,尤其是 5 Ma 峰值年龄事件有可能在一定程度上反映了青藏高原隆升在鄂尔多斯地区产生的远程构造效应。

**致谢:**西北大学刘池阳教授、周立发教授、任战利教授和赵红格博士等,在课题研究、数据分析和论文撰写过程中给予了多方帮助和有益启示,在此深表感谢!

### 参考文献(References):

- [1] 赵重远,刘池阳.华北克拉通沉积盆地形成与演化及油气赋存[M].西安:西北大学出版社,1990.  
Zhao Zhongyuan, Liu Chiyang. The Formation and Evolution of the Sedimentary Basins and Their Hydrocarbon Occurrence in the North China Craton [M]. Xi'an: Northwest University Press, 1990 (in Chinese with English abstract).

- [2] 杨俊杰. 鄂尔多斯盆地构造演化与油气分布规律[M]. 北京:石油工业出版社, 2002.  
Yang Junjie. Tectonic Evolution and Oil-gas Reservoirs Distribution in Ordos Basin [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2002(in Chinese with English abstract).
- [3] 刘池阳. 盆地多种能源矿产共存富集成藏(矿)研究进展[M]. 北京:科学出版社, 2005:1-25.  
Liu Chiyang. Advances in the Accumulation and Formation for Multi-energy Mineral Deposits Coexisting in the Same Basin [M]. Beijing: Science Press, 2005:1-25(in Chinese with English abstract).
- [4] 翟裕生, 吕古贤. 构造动力体制转换与成矿作用 [J]. 地球学报, 2002, 23(2):97-102.  
Zhai Yusheng, Lü Guxian. Transition of tectonic and dynamic regime and mineralization[J]. Acta Geoscientia Sinica. 2002, 23(2):97-102(in Chinese with English abstract).
- [5] 翟明国, 孟庆任, 刘建明, 等. 华北东部中生代构造体制转折峰期的主要地质效应和形成动力学探讨 [J]. 地学前缘, 2004, 11(3):285-294.  
Zhai Mingguo, Meng Qingren, Liu Jianming, et al. Geological features of Mesozoic tectonic regime inversion in Eastern North China and implication for geodynamics[J]. Earth Science Frontiers(in Chinese), 2004, 11(3):285-294(in Chinese with English abstract).
- [6] 陈刚, 李向平, 周立发, 等. 鄂尔多斯盆地构造与多种矿产的耦合成矿特征[J]. 地学前缘, 2005, 12(4):535-541.  
Chen Gang, Li Xiangping, Zhou Lifa, et al. Ordos basin tectonics relative to the coupling coexistence of multiple energy resources [J]. Earth Science Frontiers, 2005, 12 (4):535-541 (in Chinese with English abstract).
- [7] 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):674-682.  
Ren Zhanli, Zhang Sheng, Gao Shengli, et al. Research on region of maturation anomaly and formation time in Ordos basin [J]. Acta Geologica Sinica (in Chinese), 2006, 80 (5):674-682 (in Chinese with English abstract).
- [8] 万天丰, 朱鸿. 中国大陆及邻区中生代—新生代大地构造与环境变迁[J]. 现代地质, 2002, 16(2):107-120.  
Wan Tianfeng, Zhu Hong. Tectonics and environment change of Meso-Cenozoic in China Continent and its adjacent areas [J]. Geosciences, 2002, 16(2):107-120(in Chinese with English abstract).
- [9] 任纪舜, 王作勋, 陈炳蔚. 新一代中国大地构造图[J]. 中国区域地质, 1997, 16(3):225-230.  
Ren Jishun, Wang Zuoxun, Chen Bingwei. A new generation tectonic map of China [J]. Regional Geology of China.1997,16(3):225-230(in Chinese with English abstract).
- [10] 任战利. 中国北方沉积盆地构造热演化史研究[M]. 北京:石油工业出版社. 1999:16-103.  
Ren Zhanli. Research on Tectonic-Thermal History of Sedimentary Basin in North China[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1999:16-103(in Chinese).
- [11] 康铁笙, 王世成. 地质热历史研究的裂变径迹法[M]. 北京:科学出版社. 1991:25-40.  
Kang Tiesheng, Wang Shicheng. Fission Track Analysis Methods for Geothermal History Research[M]. Beijing: Science Press, 1991:25-40(in Chinese).
- [12] 周中毅, 潘长春. 沉积盆地古地温测定方法及其应用[M]. 广州:广东科技出版社. 1992:1-103.  
Zhou Zhongyi, Pan Changchun. Paleotemperature Analysis and Their Application in Sedimentary Basin [M]. Guangzhou: Guangdong Science and Technology Press, 1992:1-103 (in Chinese).
- [13] 胡圣标, 张容燕, 周礼成. 油气盆地热历史恢复方法 [J]. 勘探家, 1998, 3(4):52-54.  
Hu Shengbiao, Zhang Rongyan, Zhou Licheng. Methods of thermal history reconstruction in oil-gas basin[J]. China Petroleum Exploration, 1998, 3(4):52-54(in Chinese with English abstract).
- [14] Gleadow A J W, Dubby I R, Lovering J F. Fission track analysis: a new tool for the evaluation of thermal histories and hydrocarbon potential [J]. Australian Petroleum Exploration Association Journal, 1983, 23:93-102.
- [15] Naeser C W. Thermal history of sedimentary basins: fission-track dating of subsurface rocks [C]//Scholle P A, Schluger R P (eds.). Aspect of Diagenesis. SEPMS special Publication. 1979, 26:109-112.
- [16] Wagner G A, Van den Haute P. Fission-track-dating [M]. Dordrecht:Kluwer Academic Publishers. 1992:180-285.
- [17] Green P F, Duddy I R, Laslett G M, et al. Thermal annealing of fission tracks in apatite 4. Qualitative modeling techniques and extensions to geological timescales [J]. Chemical Geology, 1989, 79:155-182.
- [18] Hurford A J, Green P F. A users, guide to fission-track dating calibration[J]. Earth and Planetary Science Letter, 1982, 59:343-354.
- [19] 王瑜. 构造热年代学-发展与思考 [J]. 地学前缘, 2004, 11(40):435-443.  
Wang, Yu. Some thoughts on tectono-thermochronology [J]. Earth Science Frontiers, 2004, 11 (4):435-443 (in Chinese with English abstract).
- [20] 吴中海, 吴珍汉. 裂变径迹法在研究造山带隆升过程中的应用介绍[J]. 地质科技情报, 1999, 18(4):27-32.  
Wu Zhonghai, Wu Zhenhan. Use of fission track dating in studying the uplift history of orogenic belt [J]. Geological Science and Technology Information, 1999, 18(4):27-32(in Chinese with English abstract).
- [21] Galbraith R F, Laslett G M. Statistical models for mixed fission track grain ages [J]. Nuclear Tracks Radiation Measurement, 1993, 21:459-470.
- [22] Galbraith R F. The Radial Plot: graphical assessment of spread in ages[J]. Nuclear Tracks Radiation Measurement, 1990, 17:207-214.
- [23] Brandon M T. Probability density plot for fission track grain age

- samples [J]. *Radiation Measurement*, 1996, 26(5):663-676.
- [24] Brandon M T. Decomposition of fission track grain age distributions [J]. *American Journal Science*, 1992, 292:535-564.
- [25] 闫义, 林舸, 李自安. 利用锆石形态、成分组成及年龄分析进行物源区示踪的综合研究 [J]. *大地构造与成矿学*, 2003, 27(2): 184-188.  
Yan Yi, Lin Ge, Li Zian. Provenance tracing of sediments by means of synthetic study of shape, composition and chronology of zircon [J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2003, 27(2):184-188(in Chinese with English abstract).
- [26] 郑德文, 张培震, 万景林, 等. 碎屑颗粒热年代学 [J]. *地震地质*, 2000, 22:25-34.  
Zheng Dewen, Zhang Peizhen, Wan Jinglin, et al. Detrital grain thermochronology—A potential method for research on coupling process between basin and mountain [J]. *Seismology and Geology*, 2000, 22 (Supp.):25-34 (in Chinese with English abstract).
- [27] 王世成, 康铁笙, 王兰芬. 鄂尔多斯盆地钻井样品的锆石裂变径迹年龄及意义 [J]. *地球学报*, 1997, 18(增刊):221-223.  
Wang Shicheng, Kang Tiesheng, Wang Lanfen. Zircon fission track age and its significance of drilling-core samples in Ordos basin [J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 1997, 18(Supp.):221-223(in Chinese with English abstract).
- [28] 孙少华, 李小明, 龚革联. 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. Research of the structural heat event in Ordos basin [J]. *Chinese Science Bulletin*, 1997, 42(3):306-309 (in Chinese).
- [29] 高峰, 王岳军, 刘顺生. 利用磷灰石裂变径迹研究鄂尔多斯盆地西缘热历史 [J]. *大地构造与成矿学*, 2003, 24(1):87-91.  
Gao Feng, Wang Yuejun, Liu Shunshen, et al. Thermal history study in the west of the Ordos basin using apatite fission track analysis [J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2003, 24 (1):87-91(in Chinese with English abstract).
- [30] 郑德文, 张培震, 万景林. 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. Apatite fission track evidence for the thermal history of the Liupanshan basin [J]. *Chinese Journal of Geophysics*, 2005, 48 (1):157-164 (in Chinese with English abstract).
- [31] 刘池洋, 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):617-633.  
Liu Chiyang, Zhao Hongge, Gui Xiaojun, et al. Space-time coordinates of the evolution and mineralization response in Qrdos basin [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2006, 80(5):617-633(in Chinese with English abstract).
- [32] 翟明国, 朱日祥, 刘建明, 等. 中生代构造体制 inversion 在东部华北克拉通 [J]. *Science in China(Series D)*, 2004, 47(2):151-159.
- [33] 张国伟, 张本仁, 袁学诚, 等. 秦岭造山带与大陆动力学 [M]. 北京: 科学出版社, 2001:171-282.  
Zhang Guowei, Zhang Benren, Yuan Xuecheng, et al. Qinling Orogenic Belt and Continental Dynamics [M]. Beijing: Science Press, 2001:171-282(in Chinese with English abstract).
- [34] 赵越, 徐刚, 张拴宏. 燕山运动与东亚构造体制的转变 [J]. *地学前缘*, 2004, 11(3):319-328.  
Zhao Yue, Xu Gang, Zhang Shuanghong. Yanshan movement and conversion of tectonic regimes in East Asia [J]. *Earth Science Frontiers*, 2004, 11(3):319-328(in Chinese with English abstract).
- [35] 张岳桥, 廖昌珍. 晚中生代-新生代构造体制转换与鄂尔多斯盆地改造 [J]. *中国地质*, 2006, 33(1):28-36.  
Zhang Yueqiao, Liao Changzhen. Transition of the Late Mesozoic-Cenozoic tectonic regimes and modification of the Ordos basin [J]. *Geology in China*, 2006, 33(1):28-36(in Chinese with English abstract).



## Meso-Cenozoic peak-age events and their tectono-sedimentary response in the Ordos basin

CHEN Gang, WANG Zhi-wei, BAI Guo-juan, SUN Jian-bo,  
ZHANG Hui-ruo, LI Xiang-dong

(Department of Geology, State Key Laboratory of Continental Dynamics(Northwest University)Xi'an 710069, Shaanxi, China)

**Abstract:** An integrated analysis of the distribution of the apatite and zircon fission track ages and its relation to coarse clastic sediments and stratigraphic unconformity provides the chronological constraint on the Meso-Cenozoic tectonic events and their sedimentary response in the Ordos basin. The Indosinian tectonic event mainly occurred at 230–190 Ma with two statistic peak ages (195 and 215 Ma). On the southwestern margin of the basin there occur Late Triassic coarse clastic molasse-like deposits, which have a disconformable contact with the overlying strata. The Yanshanian tectonic event mainly occurred at 150–85 Ma with three statistic peak ages (145, 120 and 95 Ma) in the mid-late Yanshanian. On the southwestern margin of the basin there occur middle Yanshanian Late Triassic and Early Cretaceous coarse clastic molasse-like deposits and angular unconformity. The Himalayan tectonic event is mainly marked by polycyclic tectonic uplift of the basin at a regional scale, including at least three statistic peak age events at 55, 25 and 5 Ma respectively. The peak age of 145 Ma offered by zircon and apatite fission tracks and its related angular unconformity, overthrusting and regional magmatic activity all indicate a key Meso-Cenozoic tectonic reworking event in the Ordos basin.

**Key words:** Ordos basin; fission-track age; Meso-Cenozoic; unconformity; tectonic event

---

**About the first author:** CHEN Gang, male, born in 1965, director of Ph.D students and professor, mainly engages in the study of basin structure and petroleum geology; E-mail: chengang@nwu.edu.cn.